





دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک  
گروه اکتشاف معدن

شناسایی مناطق امیدبخش معدنی ورقه یکصد هزار طارم، با استفاده از داده‌های  
ماهواره‌ای، مغناطیس‌هوایی و ژئوشیمی در سامانه اطلاعات جغرافیایی

سحر معظم

اساتید راهنما:

دکتر حمید آقاجانی

دکتر مهیار یوسفی

استاد مشاور:

مهندس محمد رضایی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ماه ۱۳۹۴



دانشکده : دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه : اکتشاف معدن

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم سحر معظم به شماره دانشجویی: ۹۲۱۳۳۱۴

تحت عنوان:

شناسایی مناطق امیدبخش معدنی ورقه یکصد هزار طارم، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، مغناطیس  
هوایی و ژئوشیمی در سامانه اطلاعات جغرافیایی

در تاریخ ۱۳۹۴/۱۱/۲۸ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه .....  
مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی : مهندس محمد رضایی		نام و نام خانوادگی : دکتر حمید آقاجانی
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی : دکتر مهیار یوسفی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : دکتر سوسن ابراهیمی		نام و نام خانوادگی : دکتر منصور ضیائی
			نام و نام خانوادگی : دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی

تقدیم به

محضر شریف صاحب العصر (عج الله تعالی فرجه الشریف)

به مادرم، دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه  
مهر

پدرم که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، ایستادگی را تجربه نمایم

## تقدیر و تشکر

سپاس و ستایش مر خدای را جل و جلاله که آثار قدرت او بر چهره روز روشن، تابان است و انوار حکمت او در دل شب تار، درخشان. آفریدگاری که خویشتن را به ما شناساند و درهای علم را بر ما گشود و عمری و فرصتی عطا فرمود تا بدان، بنده ضعیف خویش را در طریق علم و معرفت بیازماید.

بی شک این پژوهش بدون یاری و مساعدت سروران و اساتید گران قدر به نتیجه نمی رسید. از این رو بر خود لازم می دانم از مساعدت و راهنمایی های اساتید بزرگوار جناب آقای دکتر حمید آقاجانی و آقای دکتر مهیار یوسفی که در طول مراحل این پروژه همواره بنده را مورد لطف و محبت خود قرار داده و راهگشای مشکلات علمی و پژوهشی بنده بودند، کمال تقدیر و تشکر را دارم. همچنین از زحمات بی دریغ استاد مشاورم جناب آقای مهندس محمد رضایی که از دانش و تجربیاتشان بسیار بهره مند شدم، کمال سپاسگزاری را دارم.

# تعهد نامه

اینجانب سحر معظم دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته اکتشاف معدن دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تحت عنوان: شناسایی مناطق امیدبخش معدنی ورقه یکصد هزار طارم، با استفاده از داده-های ماهواره‌ای، مغناطیس هوایی و ژئوشیمی در سامانه اطلاعات جغرافیایی تحت راهنمایی دکتر حمید آقاجانی و دکتر مهیار یوسفی متعهد می شوم.

- 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 می باشد 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 می گردد.
- 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 افزار ها و تجهیزات ساخته شده است ) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

## چکیده

در مدل‌سازی پتانسیل معدنی به منظور شناسایی اهداف اکتشافی و تهیه نقشه پتانسیل معدنی از داده‌های اکتشافی مختلف برای تولید لایه‌های شاهد وزن‌دار استفاده می‌شود. در واقع مدل‌سازی پتانسیل معدنی یک فرآیند چند مرحله‌ای شامل تولید نقشه‌های شاهد، ترکیب آن‌ها با یکدیگر و در نهایت رده‌بندی مناطق امیدبخش است. بنابراین در تمام روش‌های مدل‌سازی پتانسیل معدنی، پس از تعریف مدل مفهومی یک ذخیره معدنی و انتخاب معیارهای مناسب اکتشافی برای آن، لایه‌های شاهد وزن‌دار مختلف تولید شده و باهم تلفیق می‌شوند. در این پایان‌نامه یک شبکه استنتاج دانش محور با استفاده از روش فازی پیوسته برای پتانسیل‌یابی مناطق امیدبخش مس پورفیری در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ طارم بکارگرفته شده است. منطقه طارم به دلیل وجود چندین اندیس معدنی و پدیده‌های زمین‌شناسی موثر در کانی‌سازی مس مثل توده‌های نفوذی اسیدی تا حد واسط، سنگ‌های ولکانیکی، مناطق وسیع دگرسانی و موقعیت تکتونیکی می‌تواند حاوی مناطق مستعدی جهت پتانسیل‌یابی مواد معدنی باشد.

بنابراین برای تهیه لایه‌های شاهد از داده‌های زمین‌شناسی، دورسنجی، ژئوفیزیک و ژئوشیمی استفاده شد. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (سنجنده‌های ETM<sup>+</sup> و ASTER) و تکنیک‌های مختلف در بارزسازی تصاویر نظیر روش تحلیل مولفه‌های اصلی، روش نسبت باندی و فیلترهای آشکارساز لبه، گسترش و نوع پدیده دگرسانی و واحدهای سنگی و خطواره‌ها و ساختارها شناسایی شد. همچنین با بهره‌گیری از نقشه زمین‌شناسی، مغناطیس‌هوایی و تصاویر ماهواره‌ای خطواره و گسل‌های منطقه نیز مشخص شده‌اند. علاوه بر این، برای استنتاج بهترین ترکیب‌های چند عنصری معرف کانی‌سازی، داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. پس از تهیه نقشه‌های دگرسانی، چگالی گسل، ژئوشیمی آبراهه‌ای و توده‌های نفوذی از یک تابع لجستیک مناسب برای قرارگیری لایه‌ها در محدوده صفر و یک استفاده شد. سپس لایه‌های شاهد وزن‌دار پیوسته با بهره‌گیری از عملگرهای فازی تلفیق شدند. در این مطالعه، برای بهبود نتیجه اکتشاف منابع معدنی و تعیین مناطق هدف جهت اکتشافات تفضیلی، بدون استفاده از اندیس‌های معدنی و بدون قضاوت کارشناس، مدل‌سازی کانی‌زایی براساس وزن‌دهی پیوسته به فاکتورهای زمین‌شناسی انجام شده است. افزون بر این به منظور جلوگیری از وزن‌دهی و طبقه‌بندی به صورت دلخواه در روند کار نیز از روش فازی‌سازی پیوسته استفاده شد. با توجه به بررسی‌های دورسنجی و مد نظر قراردادن عوامل دگرسانی، لیتولوژی آذرین، ساختارهای حلقوی و خطی، و شاخص‌های ژئوشیمیایی مناطق امیدبخش معرفی شدند.

**واژه‌های کلیدی:** سنجش از دور، مغناطیس‌هوایی، ژئوشیمی آبراهه‌ای، فازی‌سازی پیوسته، دگرسانی،

سامانه اطلاعات جغرافیایی، طارم.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول : کلیات
۲	۱-۱- مقدمه
۲	۲-۱- بیان مسئله و ضرورت انجام تحقیق
۵	۳-۱- تاریخچه مطالعات پیشین در منطقه
۵	۴-۱- اهداف تحقیق و روش اجرای آن
۵	۵-۱- ساختار پایان نامه
۹	فصل دوم : زمین شناسی منطقه
۱۰	۱-۲- موقعیت جغرافیایی - سیاسی منطقه
۱۰	۲-۲- راه‌های ارتباطی و وضعیت آب و هوایی منطقه
۱۰	۱-۲-۲- راه‌های ارتباطی
۱۱	۲-۲-۲- وضعیت آب و هوایی منطقه
۱۲	۳-۲- زمین‌شناسی ناحیه‌ای
۱۲	۱-۳-۲- واحدهای سنگی پروتروزوئیک
۱۲	۲-۳-۲- واحدهای سنگی پالئوزوئیک (دوره دونین)
۱۴	۳-۳-۲- واحدهای سنگی مزوزوئیک (دوره ژوراسیک)
۱۴	۴-۳-۲- ائوسن
۱۴	۱-۴-۳-۲- سنگ‌های رسوبی ائوسن
۱۷	۲-۴-۳-۲- سنگ‌های آتشفشانی ائوسن
۱۸	۳-۴-۳-۲- توده‌های نفوذی
۱۸	۵-۳-۲- نئوزن
۱۹	۶-۳-۲- کواترنری
۱۹	۴-۲- زمین‌شناسی ساختمانی
۲۱	۵-۲- زمین‌شناسی اقتصادی
۲۳	فصل سوم : روش‌های سنجش از دور و نتایج بررسی داده‌های سنجش از دور
۲۴	۱-۳- مقدمه



۲۴	.....ETM <sup>+</sup> سنجنده آشکارساز موضوعی
۲۶	.....سنجنده آستر
۲۷	..... روش‌های آنالیز داده‌های سنجش از دور
۲۷	..... روش ترکیب‌های رنگی
۲۸	..... نسبت گیری بین بانندی
۲۸	..... آنالیز مولفه‌های اصلی
۳۰	..... روش کروستا
۳۱	..... برازش به روش حداقل مربعات
۳۲	..... شناسایی واحدهای سنگی
۳۳	..... شناسایی مناطق دگرسان شده
۳۴	..... روش ترکیب رنگی
۳۴	..... نسبت گیری بین بانندی
۳۶	..... تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی
۳۷	..... روش کروستا
۴۵	..... روش برازش به روش کمترین مربعات
۴۶	..... شناسایی گسل و خطواره‌ها
۴۷	..... نتیجه گیری
۴۹	..... فصل چهارم : روش‌های مغناطیس سنجی هوابرد
۵۰	..... ۱-۴ مقدمه
۵۰	..... ۲-۴ روش مغناطیس سنجی
۵۲	..... ۳-۴ برداشت‌های مغناطیسی
۵۲	..... ۴-۴ تصحیح عرض جغرافیایی
۵۳	..... ۱-۴-۴ استفاده از میدان مرجع ژئومغناطیس بین المللی (IGRF)
۵۳	..... ۵-۴ برگردان به قطب داده‌های مغناطیسی
۵۴	..... ۶-۴ تفکیک و آشکارسازی
۵۵	..... ۱-۶-۴ روش روند سطحی
۵۶	..... ۲-۶-۴ گسترش میدان به سمت بالا (ادامه فراسو)
۵۹	..... ۳-۶-۴ فیلتر مشتق قائم

۶۰	۷-۴- فیلتر زاویه تمایل
۶۲	۸-۴- نتیجه گیری
۶۳	فصل پنجم : مطالعات ژئوشیمی رسوبات آبراه‌های
۶۴	۱-۵- مقدمه
۶۴	۲-۵- تحلیل فاکتوری مرحله‌ای
۶۶	۱-۲-۵- استخراج فاکتورهای تمیز
۶۸	۲-۲-۵- استخراج ترکیب چند عنصری با اهمیت
۷۰	۳-۵- محاسبه شاخص احتمال کانی‌سازی ژئوشیمیایی
۷۵	۴-۵- حوضه‌های آبریز وزن‌دار (WDCB)
۸۱	۵-۵- نتیجه گیری
۸۳	فصل ششم : مدل‌سازی پتاسیل معدنی و ارزیابی نتایج
۸۴	۱-۶- مقدمه
۸۴	۲-۶- مدل‌سازی به روش فازی پیوسته
۸۶	۳-۶- روش محاسبه مقدار شیب و نقطه عطف در رابطه لجستیکی
۸۵	۴-۶- تولید نقشه شاهد وزن‌دار فازی توده‌های نفوذی
۸۹	۵-۶- تولید نقشه شاهد وزن‌دار فازی از لایه دگرسانی
۹۱	۶-۶- تولید نقشه شاهد وزن‌دار فازی گسل‌ها
۹۲	۷-۶- تلفیق لایه‌های شاهد
۹۲	۱-۷-۶- تلفیق با استفاده از عملگرهای فازی
۹۲	۱-۱-۷-۶- عملگر گامای فازی
۹۴	۲-۱-۷-۶- عملگر AND فازی
۹۴	۳-۱-۷-۶- عملگر OR فازی
۹۵	۲-۷-۶- تلفیق لایه‌های شاهد به روش میانگین هندسی
۹۶	۹-۶- ارزیابی مدل
۹۸	۱-۹-۶- ارزیابی مدل‌های تولید شده با استفاده از عملگر گامای فازی
۹۹	۲-۹-۶- ارزیابی مدل تولید شده با استفاده از عملگر OR فازی
۱۰۱	۳-۹-۶- ارزیابی مدل تولید شده با استفاده از عملگر AND فازی
۱۰۲	۴-۹-۶- ارزیابی مدل تولید شده با استفاده از عملگر میانگین هندسی

۱۰۴.....	۱۰-۶- شناسایی مناطق پتانسیل دار معدنی با در نظر گرفتن لایه مغناطیس هوایی
۱۱۰.....	۱۱-۶- مقایسه کلیه مدل های تولید شده
۱۱۳.....	فصل هفتم : نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۱۲.....	۱-۷- مقدمه
۱۱۴.....	۲-۷- نتیجه گیری
۱۱۸.....	۲-۷- پیشنهادات
۱۱۹.....	منابع
۱۲۵.....	پیوست

- شکل ۱-۱. نقشه پتانسیل مس پورفیری ..... ۴
- شکل ۱-۲. موقعیت محدوده مورد مطالعه در نقشه تقسیمات سیاسی کشور ..... ۱۰
- شکل ۲-۲. نقشه ساده شده زمین شناسی ..... ۱۳
- شکل ۳-۲. چهار زیرپهنه طارم از دیدگاه زمین شناسی ساختمانی ..... ۲۰
- شکل ۱-۳. رنگ‌های افزایشی ..... ۲۷۰
- شکل ۲-۳: نحوه ایجاد مولفه‌های اصلی از داده‌ها ..... ۳۰
- شکل ۳-۳. تصویر حاصل از ترکیب باندهای ۱، ۴ و ۸ سنجنده آستر ..... ۳۲
- شکل ۴-۳. تصویر حاصل از ترکیب باندهای ۵، ۳ و ۱ سنجنده  $ETM^+$  ..... ۳۳
- شکل ۵-۳. تصویر حاصل از ترکیب باندهای ۶، ۴ و ۸ سنجنده آستر ..... ۳۴
- شکل ۶-۳. نمایش مناطق دگرسانی گرمابی نسبت باندی  $R=3/1, G=5/7, B=4/5$  ..... ۳۵
- شکل ۷-۳. نمایش مناطق دگرسانی گرمابی نسبت باندی  $R=5/7, G=(4/3-5/7), B=3/1$  ..... ۳۵
- شکل ۸-۳. ترکیب رنگی  $RGB:(-PC5), PC4, PC6$  ..... ۳۷
- شکل ۹-۳. الف) نمودار بازتاب طیفی کانی‌های اکسید آهن. ب) نمودار بازتاب طیفی کانی‌های رسی ..... ۴۰
- شکل ۱۰-۳. ترکیب رنگی حاصل از داده‌های سنجنده  $ETM^+$  به روش کروستا ..... ۴۲
- شکل ۱۱-۳. تصویر حاصل از مولفه اصلی چهارم داده‌های سنجنده آستر ..... ۴۳
- شکل ۱۲-۳. تصویر حاصل از مولفه اصلی چهارم مناطق دارای کانیهای رسی به رنگ روشن ..... ۴۴
- شکل ۱۳-۳. تصویر رنگی حاصل از نمایش  $PC4$  نمایان کننده اکسیدهای آهن به رنگ قرمز ..... ۴۴
- شکل ۱۴-۳. تصویر رنگی ایجاد شده با اختصاص باقی‌مانده باند ۳ به فیلتر قرمز ..... ۴۵
- شکل ۱۵-۳. گسل‌ها و خطواره‌های استخراج شده از تصویر ماهواره‌های  $ETM^+$  ..... ۴۶
- شکل ۱-۴. نقشه ناهنجاری میدان کل مغناطیسی منطقه طارم ..... ۵۳
- شکل ۲-۴. نقشه برگردان به قطب میدان مغناطیسی منطقه طارم ..... ۵۴
- شکل ۳-۴. نقشه روند سطح درجه ۳ میدان مغناطیسی منطقه طارم ..... ۵۶
- شکل ۴-۴. نقشه گسترش به سمت بالای ۵۰۰ مترمیدان مغناطیسی منطقه طارم ..... ۵۷
- شکل ۵-۴. نقشه گسترش به سمت بالای ۱۰۰۰ مترمیدان مغناطیسی منطقه طارم ..... ۵۸
- شکل ۶-۴. نقشه گسترش به سمت بالای ۲۵۰۰ مترمیدان مغناطیسی منطقه طارم ..... ۵۸
- شکل ۷-۴. نقشه گسترش به سمت بالای ۵۰۰۰ مترمیدان مغناطیسی منطقه طارم ..... ۵۹

- شکل ۴-۸. نقشه میدان مغناطیسی مشتق قائم منطقه طارم ..... ۶۰
- شکل ۴-۹. نقشه زاویه تمایل داده های برگردان به قطب منطقه طارم. .... ۶۱
- شکل ۵-۱. همراهی فضایی عناصر در مرحله سوم تحلیل فاکتوری ..... ۶۹
- شکل ۵-۲. نقشه توزیع مقادیر GMPI برای ترکیب چند عنصری Cu-Pb-Zn ..... ۷۲
- شکل ۵-۳. نقشه توزیع مقادیر GMPI برای ترکیب چند عنصری As-Sb ..... ۷۲
- شکل ۵-۴. نقشه توزیع مقادیر وزندار فازی برای عنصر Mo ..... ۷۳
- شکل ۵-۵. نقشه توزیع مقادیر وزندار فازی برای کانی سازی مس پورفیری ..... ۷۵
- شکل ۵-۶. حوضه های آبریز آبراهه های و توزیع نمونه های طبقه بندی شده به روش فرکتال ..... ۷۶
- شکل ۵-۷. مقادیر ارزش پی جویی در هر حوضه آبریز با استفاده از رابطه (۵-۷) ..... ۷۸
- شکل ۵-۸. نقشه حوضه های آبریز وزندار، توزیع مقادیر وزن فازی ( $FC_x$ ) ..... ۸۱
- شکل ۶-۱. نقشه وزن دار فازی تولید شده برحسب فاصله از مرز توده های نفوذی ..... ۸۸
- شکل ۶-۲. نقشه وزن دار شده اکسید آهن، مناطق آبی رنگ نشان دهنده اکسیدهای آهن ..... ۹۰
- شکل ۶-۳. نقشه وزن دار شاهد فازی کانی های رسی، مناطق آبی رنگ بیانگر کانی های رسی ..... ۹۰
- شکل ۶-۴. نقشه شاهد وزن دار فازی برای چگالی گسل، توزیع مقادیر  $F_{FD}$  ..... ۹۱
- شکل ۶-۵. مدل پتانسیل معدنی تولید شده اکتشاف کانی سازی تیپ مس پورفیری ..... ۹۳
- شکل ۶-۶. مدل پتانسیل معدنی تولید شده اکتشاف کانی سازی تیپ مس پورفیری با استفاده از ..... ۹۴
- شکل ۶-۷. مدل پتانسیل معدنی تولید شده اکتشاف کانی سازی تیپ مس پورفیری با استفاده ..... ۹۵
- شکل ۶-۸. مدل پتانسیل معدنی تولید شده اکتشاف کانی سازی تیپ مس پورفیری با استفاده از ..... ۹۷
- شکل ۶-۹. نمودار عیار- مساحت برای مدل پتانسیل تولید شده با استفاده از عملگر گامای ..... ۹۸
- شکل ۶-۱۰. نقشه طبقه بندی شده مدل تولید شده با استفاده از گامای ۰/۹ ..... ۹۸
- شکل ۶-۱۱. نمودار نرخ پیش بینی- مساحت برای مدل تولید شده با استفاده از عملگر گامای فازی ..... ۹۹
- شکل ۶-۱۲. نمودار عیار- مساحت برای مدل پتانسیل تولید شده با استفاده از عملگر فازی OR ..... ۹۹
- شکل ۶-۱۳. نقشه طبقه بندی شده مدل تولید شده با استفاده از فازی OR ..... ۱۰۰
- شکل ۶-۱۴. نمودار نرخ پیش بینی- مساحت برای مدل تولید شده با استفاده از عملگر فازی OR ..... ۱۰۰
- شکل ۶-۱۵. نمودار عیار- مساحت برای مدل پتانسیل تولید شده با استفاده از عملگر فازی AND ..... ۱۰۱
- شکل ۶-۱۶. نقشه طبقه بندی شده مدل تولید شده با استفاده از فازی AND ..... ۱۰۱
- شکل ۶-۱۷. نمودار نرخ پیش بینی- مساحت برای مدل تولید شده با استفاده از عملگر فازی AND ..... ۱۰۲
- شکل ۶-۱۸. نمودار عیار- مساحت برای مدل پتانسیل تولید شده با استفاده از روش میانگین ..... ۱۰۳

- شکل ۶-۱۹. نقشه طبقه‌بندی شده مدل تولید شده با استفاده از میانگین هندسی..... ۱۰۳
- شکل ۶-۲۰. نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت برای مدل تولید شده با استفاده از روش میانگین هندسی... ۱۰۴
- شکل ۶-۲۱. نقشه وزن دار فازی توده های نفودی پنهان با استفاده از نقشه مغناطیس مشتق قائم ..... ۱۰۶
- شکل ۶-۲۲. مدل پتانسیل معدنی تولید شده حاصل از تلفیق با استفاده از عمگر گامای فازی ۰/۹ ..... ۱۰۶
- شکل ۶-۲۳. نمودار عیار- مساحت برای مدل پتانسیل تولید شده ذخایر پنهان ..... ۱۰۷
- شکل ۶-۲۴. نقشه طبقه‌بندی شده مدل تولید شده ذخایر پنهان با استفاده از گامای ۰/۹ ..... ۱۰۷
- شکل ۶-۲۵. نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت برای مدل تولید شده ذخایر پنهان ..... ۱۰۸
- شکل ۶-۲۶. مدل پتانسیل معدنی تولید شده حاصل از تلفیق ..... ۱۰۹
- شکل ۶-۲۷. نمودار عیار- مساحت برای مدل پتانسیل تولید شده ذخایر پنهان ..... ۱۰۹
- شکل ۶-۲۸. نقشه طبقه بندی شده مدل تولید شده ذخایر پنهان با استفاده از میانگین هندسی..... ۱۱۰
- شکل ۶-۲۹. نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت برای مدل تولید شده ذخایر پنهان ..... ۱۱۰
- شکل ۷-۱. نقشه طبقه بندی شده مدل تولید شده با استفاده از گامای ۰/۹ ..... ۱۱۵
- شکل ۷-۲. نقشه طبقه بندی شده مدل تولید شده با استفاده از گامای ۰/۹ ..... ۱۱۶
- شکل پ-۱. نقشه وزن دار فازی تولید شده توده‌های نفودی ..... ۱۲۶
- شکل پ-۲. مدل پتانسیل معدنی تولید شده اکتشاف کانی‌سازی تیپ مس پورفیری ۰/۹ ..... ۱۲۷
- شکل پ-۳. نمودار عیار- مساحت برای مدل پتانسیل تولید شده ۰/۹ ..... ۱۲۷
- شکل پ-۴. نقشه طبقه‌بندی شده مدل تولید شده با استفاده از گامای ۰/۹ ..... ۱۲۸
- شکل پ-۵. نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت برای مدل تولید شده با استفاده از عملگر گامای ۰/۹ ..... ۱۲۸
- شکل پ-۶. مدل پتانسیل معدنی تولید شده اکتشاف کانی‌سازی تیپ مس پورفیری ۰/۷۷ ..... ۱۲۹
- شکل پ-۷. نمودار عیار- مساحت برای مدل پتانسیل تولید شده ۰/۷۷ ..... ۱۲۹
- شکل پ-۸. نقشه طبقه‌بندی شده مدل تولید شده با استفاده از گامای ۰/۷۷ ..... ۱۳۰
- شکل پ-۹. نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت برای مدل تولید شده ۰/۷۷ ..... ۱۳۰
- شکل پ-۱۰. مدل پتانسیل معدنی تولید شده اکتشاف کانی‌سازی ۰/۵ ..... ۱۳۱
- شکل پ-۱۱. نمودار عیار- مساحت برای مدل پتانسیل تولید شده ۰/۵ ..... ۱۳۱
- شکل پ-۱۲. نقشه طبقه‌بندی شده مدل تولید شده با استفاده از گامای ۰/۵ ..... ۱۳۲
- شکل پ-۱۳. نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت برای مدل تولید شده ۰/۵ ..... ۱۳۲

## فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۳-۱. خصوصیات اصلی سنجنده ETM+ لندست	۲۵
جدول ۳-۲. خصوصیات اصلی سنجنده آستر	۲۶
جدول ۳-۳. مقادیر ویژه مولفه های اصلی و باندها	۳۷
جدول ۳-۴. مقادیر ویژه مولفه های اصلی انتخابی برای کانی های رسی و باندها (ETM <sup>+</sup> )	۴۱
جدول ۳-۵. مقادیر ویژه مولفه های اصلی انتخابی برای کانی های اکسید آهن و باندها (ETM <sup>+</sup> )	۴۱
جدول ۳-۶. مقادیر ویژه مولفه های اصلی انتخابی برای کانی های اکسید آهن و باندها	۴۲
جدول ۳-۷. مقادیر ویژه مولفه های اصلی انتخابی برای کانی های رسی و باندها	۴۳
جدول ۵-۱. نتایج فاکتوری مرحله اول و دوم از داده های ژئوشیمی منطقه طارم	۶۷
جدول ۵-۲. نتایج فاکتوری مرحله اول و دوم از داده های ژئوشیمی منطقه طارم	۶۸
جدول ۵-۳. نتایج فاکتوری مرحله سوم	۶۹
جدول ۵-۴. پارامترهای محاسبه شده برای هر حوضه آبریز	۷۸
جدول ۶-۱. پارامترهای استخراجی در نقطه برخورد نمودار نرخ پیش بینی - مساحت و محاسبه	۱۱۳

فصل اول :

کلیات



## ۱-۱- مقدمه

گسترش صنایع معدنی مختلف و کاربردهای روزافزون مواد معدنی با توجه به نیازهای مردم سبب شده که کشورها به مواد خام معدنی بیش‌تری نیازمند باشند. با توجه به پیشرفت‌های مختلف در تولید تجهیزات و دستگاه‌های اکتشافی و ثبت پدیده‌های زمینی و نیز ارائه روش‌های اکتشافی جدید باعث شناخت بیش‌تر مناطق پتانسیل‌دار معدنی شده است. اساس هر عملیات اکتشافی، با هدف کشف مناطق امیدبخش معدنی، اکتشاف ناحیه‌ای در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ است. برای رسیدن به این هدف از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای، روش‌های ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی بهره گرفته می‌شود.

## ۱-۲- بیان مسئله و ضرورت انجام تحقیق

از آنجا که نتایج اکتشافات مقدماتی برای شناسایی مناطق امید بخش در مراحل بعدی اکتشاف مورد استفاده قرار می‌گیرد، این مرحله دارای اهمیت بالایی است. شناسایی مناطق هدف یک فعالیت اکتشافی چند مرحله‌ای است که از مقیاس ناحیه‌ای (کوچک مقیاس) شروع شده و تا مقیاس محلی (بزرگ مقیاس) ادامه می‌یابد. در هر یک از مقیاس‌های فوق شناسایی و تولید مناطقی که باید به عنوان هدف مورد توجه قرار گیرند، شامل جمع‌آوری، تجزیه و تحلیل و تلفیق انواع داده‌های مرتبط و مناسب می‌باشد که به منظور استخراج و استنتاج قسمت‌هایی از داده‌های فضایی الگو و شاهد کانی‌سازی، یعنی آنومالی‌های زمین‌شناسی، آنومالی‌های ژئوشیمیایی و یا ژئوفیزیکی همراه با ذخایر مورد پی‌جویی، صورت می‌گیرد. به عنوان مثال دگرسانی گرمابی گرچه ممکن است همراه با هیچ کانی‌سازی نباشد ولی یک آنومالی زمین‌شناسی محسوب می‌شود. یک آنومالی ژئوفیزیکی از نوع مغناطیسی اختلاف بین مقدار مغناطیس اندازه‌گیری شده و مغناطیس نرمال (زمینه) است و همچنین یک آنومالی ژئوشیمیایی در واقع انحراف عیار یک عنصر از میزان پراکندگی زمینه در یک ناحیه می‌باشد. از آنجایی که تمام آنومالی‌های به‌دست آمده حاصل از هر یک روش‌های اکتشافی همراه و یا معرف کانی‌سازی نیستند، بنابراین سعی می‌شود تا از تلفیق نتایج روش‌های مختلف برای تأیید مناطق هدف استفاده شود. بنابراین مناطق هدف، که باید برای پی‌جویی‌های بعدی مورد توجه قرار گیرند با انطباق چنین آنومالی‌هایی تعیین می‌شوند. مجموعه فرآیندها شامل تجزیه و تحلیل داده‌های اکتشافی مختلف، استخراج الگوهای شاهد پیش‌گوی کانی‌سازی و در نهایت ترکیب و تلفیق شواهد فضایی، به منظور شناسایی مناطق هدف و امیدبخش در اکتشاف کانی‌سازی‌های ناشناخته، مدل‌سازی پتانسیل معدنی نامیده می‌شود. خروجی مدل پیش‌گوی معدنی، نقشه‌ای

خواهد بود که در آن محل حضور احتمالی منابع شناخته نشده مورد پیش‌بینی قرار گرفته است [یوسفی و کامکارروحانی، ۱۳۸۹].

امروزه نیاز روزافزون به مواد معدنی از جمله مس توجه به اکتشاف این فلز را هرچه بیش‌تر آشکار کرده است. یکی از انواع کانسارهای مس، کانسارهای مس پورفیری است. کانسارهای مس پورفیری کانسارهایی با تناژ بالا و با ارتباط ژنتیکی با زون فرو رانش حاشیه قاره‌ها و جزایر قوسی هستند. این کانسارها همراه سنگ‌های مونزونیتی، دیوریتی و گرانیتی کالک‌آلکالن کشف می‌شوند. این ذخایر کانسارهای استوک‌ورک بزرگ با عیار پایین هستند [کریم‌پور و سعادت، ۱۳۸۴] که ممکن است حاوی مقادیر ناچیز اما قابل بازیافت مولیبدن، طلا و نقره نیز باشد.

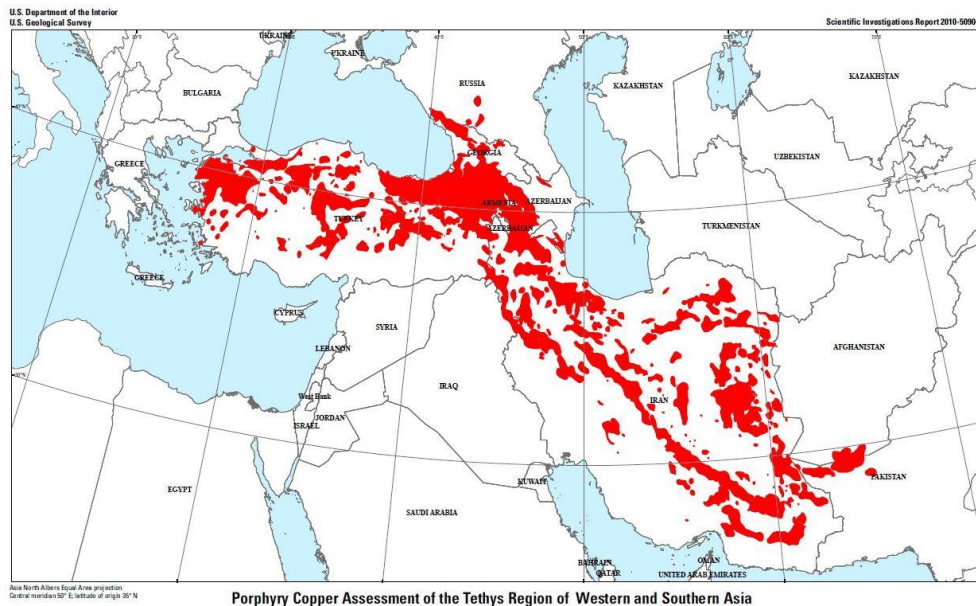
حاشیه داخلی و خارجی توده‌های نفوذی دارای درز و شکاف فراوانی بوده و بنابراین با حرکت سیالات گرمایی در این درز و شکاف‌ها حرارت و مواد تشکیل دهنده خود را با سنگ میزبان مبادله می‌کند و باعث دگرسانی می‌شود [Guillou-Frottier and Burov, 2003]. بنابراین شناسایی گسل‌ها و خطواره‌ها از اهمیت بسزایی برخوردار است. همچنین وجود دگرسانی‌ها یکی دیگر از نشانه‌های کانی-سازی مس پورفیری است. به طور کلی طبق مدل لاول-گیلبرت<sup>۱</sup> (۱۹۷۰) می‌توان چهار منطقه دگرسانی از عمق به سطح زمین به ترتیب شامل منطقه پتاسیک، منطقه فیلیک، منطقه آرژیلیک و منطقه پروپیلیتی در نظر گرفت، البته تمامی این زون‌های دگرسانی الزاماً همزمان وجود ندارند. همچنین بررسی آنومالی‌های ژئوشیمیایی و غلظت عناصر مرتبط با کانی‌سازی مس پورفیری مانند همراهی عناصر مس، مولیبدن، طلا، سرب، روی و آرسنیک از دیگر روش‌های اکتشافی مس پورفیری است.

رشته کوه‌های البرز بخشی از کمربند فلززایی آلپ-همالیاست هستند [Guest et al., 2007] و به همین دلیل یکی از مناطق پتانسیل معدنی بالا محسوب می‌شود که در این میان زون اکتشافی طارم که بر روی رشته کوه‌های البرز شرقی قرار گرفته است می‌توان به‌عنوان یکی از این مناطق پتانسیل‌دار نام برد. این زون اکتشافی که در شمال غرب کشور واقع شده در بر دارنده بخش‌هایی از استان‌های زنجان، گیلان و قزوین می‌باشد که کانسارهای مس، سرب، روی، طلا و آهن در آن حائز اهمیت می‌باشد.

شکل (۱-۱) مناطق پتانسیل‌دار مس پورفیری نشان داده شده است. با توجه به اینکه ورقه یکصد هزار طارم نیز بر روی این نوار قرار گرفته است اهمیت بررسی این منطقه را آشکار می‌سازد. منطقه طارم به دلیل وجود معادن و اندیس‌های معدنی و همچنین فرآیندهای زمین‌شناسی متنوع که در امر کانی-سازی از اهمیت بالایی برخوردار هستند، می‌تواند مناطق مستعدی را جهت پتانسیل‌یابی مواد معدنی

<sup>1</sup> Guilbert & Lowell

معرفی نماید. این منطقه در بخش غربی زون ساختاری البرز قرار گرفته است. وجود سیستم‌های پورفیری گرمایی، توده‌های نفوذی اسیدی تا حد واسط، سنگ‌های آتشفشانی، مناطق وسیع دگرسانی و موقعیت تکتونیکی، سبب شده تا منطقه به لحاظ پتانسیل معدنی ذخایر اپی ترمال مهم باشد.



شکل ۱-۱. نقشه پتانسیل مس پورفیری (سازمان زمین‌شناسی آمریکا، ۲۰۱۵)

استفاده از داده‌ها و اطلاعات مربوط به سیستم‌های طبیعی پیچیده دنیای واقعی (کانی‌سازی) که به طور مستقیم قابل مشاهده نیستند و همچنین انجام تحلیل‌های مناسب روی آن‌ها، توصیف، ارائه یا پیش‌گویی رفتار این سیستم‌ها را به عنوان متغیر هدف، ممکن می‌سازد [یوسفی و کامکارروحانی، ۱۳۸۹]. بنابراین امروزه از روش‌های مختلف زمین‌شناسی، دورسنجی، ژئوشیمی و ژئوفیزیک توامان برای تفکیک مناطق امیدبخش مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مطالعه و پردازش داده‌های ماهواره‌ای در تشخیص عوارضی نظیر نوع سنگ، کنتاکت‌ها، ساختارهای خطی و حلقوی، مناطق دگرسانی می‌توان به طور مستقیم یا غیر مستقیم در شناسایی و اکتشاف ذخایر فلزی نظیر مس، آهن، طلا و ... مفید است. از مزایای این تکنیک شناسایی یک محدوده وسیع با دقت و سرعت بالا و هزینه کم می‌باشد. در این امر از روش‌هایی مانند روش نسبت‌های بانندی، روش رنگ کاذب، روش کمترین مربعات، روش تجزیه مولفه‌های اصلی و ... استفاده می‌شود [Yetkin, 2003].

یکی از روش‌های ژئوفیزیکی مورد استفاده در اکتشاف مواد معدنی در مقیاس ناحیه‌ای، مغناطیسی هوابرد است که با استفاده از اندازه‌گیری میدان کلی مغناطیسی می‌توان ساختارهای بزرگ مرتبط با

کانی زایی را تفکیک و مورد بررسی قرار داد و به عنوان یک لایه اطلاعاتی برای شناسایی مناطق امیدبخش بکارگرفت.

در روش اکتشافات ژئوشیمیایی بر اساس جستجو و ردیابی مناطقی است که در آن‌ها غلظت یک یا چند عنصر معین، بیش از حد زمینه است. به عبارت دیگر، به کمک اکتشافات ژئوشیمیایی مناطقی که دارای این قبیل آنومالی‌ها هستند، مشخص می‌شود. یکی از روش‌های ژئوشیمی هاله‌های ثانویه بررسی رسوبات آبراهه‌ای است. این آنومالی‌ها هنگامی به وجود می‌آیند که سنگ‌ها و ترکیبات تشکیل دهنده کانسار فرسایش و محصولات ناشی از آن به داخل رودخانه راه یابد و در کف آن رسوب کند [مدنی، ۱۳۸۸].

### ۱-۳- بررسی مطالعات انجام شده در منطقه

در این ناحیه پژوهشگرانی به شناسایی و تفکیک مناطق دگرسانی و واحدهای سنگی ماگمایی با استفاده از تصاویر سنجنده  $ETM^+$  و داده‌های سنجنده استر، مدل‌سازی مس پورفیری به روش شاخص هم‌پوشانی و تهیه نقشه پتانسیل معدنی طلای اپی‌ترمال با استفاده از منطق فازی پرداخته‌اند [پیروان و همکاران، ۱۳۸۲؛ محبی، ۱۳۸۳؛ شرقی نمین و همکاران، ۱۳۸۹؛ چراغی و همکاران، ۱۳۸۹]. در مدل سازی مس پتانسیل معدنی به روش فازی که در مقاله محبی و نیز مقاله چراغی و همکارانش انجام شده وزن‌دهی به لایه‌های شاهد زمین‌شناسی، گسل و دگرسانی به صورت گسسته و براساس نظر کارشناس صورت گرفته و در تمام فواصلی که بافر زده شد، ارزش و امتیاز فازی در طول شعاع بافر یکسان است.

### ۱-۴- اهداف تحقیق و روش اجرای آن

در این تحقیق برای نشان دادن روش فازی پیوسته داده‌های شاهد فضایی و نیز تعیین مناطق پتانسیل‌دار معدنی از فاکتورهای زمین‌شناسی مانند پدیده‌های دگرسانی، نوع و جنس واحدهای سنگی و نیز گسل‌ها استفاده شده است. در این راستا از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه مغناطیس هوایی بهره گرفته شده است. برای شناسایی پدیده‌های زمین‌شناسی نظیر دگرسانی و تشخیص گسل و واحدهای زمین‌شناسی مرتبط با کانی‌سازی مورد جستجو از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه مغناطیس هوایی منطقه استفاده شده است. ابتدا به کمک تصاویر ماهواره‌ای و با استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل داده‌های سنجنش از دور نظیر ترکیب‌های رنگی<sup>۱</sup>، آنالیز مؤلفه‌های اصلی، نسبت بانندی و برازش به روش کمترین مربعات دگرسانی‌ها و گسل‌ها و ساختارهای زمین‌شناسی شناسایی شدند. به این منظور ابتدا دو صحنه از تصاویر

<sup>۱</sup>Color Composites

سنجنده ETM<sup>+</sup> موزاییک شده و سپس محدوده مورد نظر برش داده شد. پس از تصحیح اتمسفری این تصویر به همراه تصویر ماهواره‌ای حاصل از سنجنده استر<sup>۱</sup> با استفاده از نسخه ۴/۷ نرم‌افزار ENVI مورد پردازش قرار گرفت. همچنین داده‌های مغناطیس هوایی منطقه (در سال ۱۹۷۷ با فاصله خطوط پرواز ۷/۵ کیلومتر برداشت شده است) که به عنوان یک لایه اطلاعاتی برای شناسایی توده‌های نفوذی بکار رفته، با استفاده از نسخه ۶/۴ نرم‌افزار اوسیسی مونتاژ<sup>۲</sup> شرکت ژئوسافت تصحیح و پردازش شده‌اند. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه طارم نیز با استفاده از نسخه ۱۰ نرم‌افزار ArcGIS در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی<sup>۳</sup> رقومی و سپس ساده سازی شد.

برای تولید نقشه شاهد ژئوشیمیایی ابتدا با روش تحلیل فاکتوری مرحله‌ای بهترین ترکیب چند عنصری معرف شناسایی شده سپس با روش شاخص احتمالی کانی‌سازی<sup>۴</sup> (GMPI) تخصیص وزن مناسب به واحدها داده شده و سپس با استفاده از حوضه‌های آبریز وزن‌دار، لایه شاهد ژئوشیمی برای مدل‌سازی پتانسیل معدنی آماده گردیده است.

در این مطالعه به سبب تسهیل و بهبود نتیجه اکتشاف منابع معدنی و تولید مناطق هدف برای بررسی‌های بیشتر و اکتشافات تفضیلی، مدل‌سازی کانی‌زایی در منطقه بدون استفاده از اندیس‌های معدنی و بدون قضاوت کارشناس و براساس وزن‌دهی پیوسته به فاکتورهای زمین‌شناسی انجام شده است. افزون بر این به منظور جلوگیری از وزن‌دهی و طبقه‌بندی به صورت دلخواه در روند کار از روش فازی-سازی پیوسته نیز استفاده شده است. در این روش از یک تابع لجستیک مناسب برای قرارگیری لایه‌ها در محدوده صفر و یک استفاده شده و لایه‌های شاهد وزن‌دار پیوسته با بهره‌گیری از عملگرهای فازی و نیز میانگین هندسی در نرم افزار Arc GIS با یکدیگر تلفیق شده‌اند.

## ۱-۵- ساختار پایان‌نامه

پایان‌نامه حاضر مشتمل بر هفت فصل می‌باشد. در فصل اول مقدمه‌ای در خصوص پایان‌نامه، اهداف مطالعه، اهمیت و ضرورت انجام تحقیق آورده شده است. همچنین سابقه برخی مطالعات انجام شده در منطقه مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل دوم زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل سوم شناسایی مناطق دگرسازی، توده‌های نفوذی و گسل‌ها با استفاده از روش‌های مختلف نظیر ترکیب رنگی، نسبت باندی، روش مؤلفه‌های اصلی، کروسا و برازش به روش کمترین مربعات بر روی

<sup>۱</sup> ASTER

<sup>۲</sup> Oasis Montaj

<sup>۳</sup> Geographic Information System

<sup>۴</sup> Geochemical Mineralization Probability Index

تصاویر ماهواره‌ای انجام شده است. در فصل چهارم با استفاده از فیلترهای گسترش میدان به سمت بالا، روند سطحی و مشتق قائم توده‌های نفوذی شناسایی شدند و نیز با کمک زاویه تیلت خطواره‌ها تفکیک شدند. فصل پنجم تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی با استفاده از روش تحلیل فاکتوری مرحله‌ای، محاسبه شاخص احتمال کانی‌سازی ژئوشیمیایی و حوضه‌های آبریز صورت گرفت و آنومالی‌های ژئوشیمیایی به منظور تولید لایه ژئوشیمیایی به نقشه درآورده شدند. در فصل ششم مدل‌سازی پتانسیل معدنی به روش فازی پیوسته صورت گرفت. لایه‌های شاهد وزن دار شده با روش‌های مختلف تلفیق و نتایج مورد ارزیابی قرار گرفت. فصل هفتم نیز شامل نتیجه‌گیری و پیشنهادات می‌باشد.



## فصل دوم:

# زمین شناسی منطقه



## ۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه

نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ هزار طارم با مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۷ درجه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۹ درجه شرقی در شرق استان زنجان قرار گرفته است. بخش کوچکی از این محدوده نیز در استان قزوین قرار دارد. استان زنجان که آن را «فلات زنجان» نیز می‌نامند، در ناحیه مرکزی شمال غرب ایران واقع شده است. استان زنجان دارای ۷ شهرستان، ۱۶ بخش، ۴۶ دهستان و ۱۶ شهر می‌باشد [عابدیان، ۱۳۸۸]. محدوده نقشه طارم سه شهرستان زنجان، طارم و ابهر در استان زنجان و بخش کوچکی از بخش طارم سفلی از توابع شهرستان قزوین در استان قزوین را شامل می‌شود (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲. موقعیت محدوده مورد مطالعه در نقشه تقسیمات سیاسی کشور [عابدیان، ۱۳۸۸]

## ۲-۲- راه‌های ارتباطی و وضعیت آب و هوایی منطقه

### ۲-۲-۱- راه‌های ارتباطی

آزاد راه تهران- تبریز و جاده قدیم زنجان- قزوین و همچنین راه آهن تهران- تبریز از بخش جنوب شرقی منطقه می‌گذرد و امکان دسترسی به بخش‌های جنوبی و مرکزی را فراهم می‌سازد. تنها راه آسفالتی اصلی که بخش جنوبی منطقه (محدوده زنجان) را به بخش شمالی (محدوده طارم) متصل می‌کند، جاده زنجان آب‌بر است که بعد از گذشتن از قافلانکوه به جلگه قزل اوزن رسیده و به سمت شرق به شهرهای گیلوان و سپس منجیل و رودبار منتهی می‌شود.

## ۲-۲-۲- وضعیت آب و هوایی منطقه

محدوده یکصد هزار طارم از نظر اقلیم‌شناسی ایران جزء مناطق کوهستانی مدیترانه‌ای با باران بهاره تقسیم می‌شود. به طور کلی استان زنجان تحت تاثیر ناهمواری‌ها و تماس غیرمستقیم با توده‌های هوای مرطوب غربی و شمالی، دو نوع آب و هوای متفاوت دارد:

- آب و هوای کوهستانی که زمستان‌های سرد و پربرف و تابستان‌های معتدل دارد.

- آب و هوای گرم و نیمه مرطوب (منطقه طارم علیا) که تابستان‌های گرم و زمستان‌های ملایم دارد و رطوبت و میزان بارندگی آن نیز بالا گزارش شده است.

این ناحیه را می‌توان از سمت جنوب غربی به شمال شرقی به چهار بخش تقسیم نمود:

الف) دشت آبرفتی زنجان رود و کوهپایه‌های اطراف آن که بلندترین نقطه آن، ۲۱۷۹ متر از سطح دریا بلندی دارد. این بخش در پهنه ایران مرکزی واقع گردیده است. در حوضه آبریز زنجان رود آب و هوا معتدل و خشک است [عابدیان، ۱۳۸۸].

ب) بخش کوهستانی مرکزی با روند شمال غربی - جنوب شرقی، بخشی از کوه‌های البرز است که در این محل با عنوان رشته کوه قافلانکوه شناخته می‌شود. توده‌های نفوذی گوناگون به موازات روند کلی رشته کوه نهشته‌های ائوسن را بریده‌اند. در ارتفاعات حدود ۲۴۰۰ تا ۲۵۰۰ متری از سطح دریا یک پهن-شدگی وجود دارد که بقایایی از دشت آبرفتی قدیمی است. در پهلوی شمال شرقی این رشته کوه به علت بارندگی و رطوبت بیش‌تر، فرسایش شدیدتری صورت گرفته و دره‌های پرشیب و عمیق‌تری به وجود آمده است [عابدیان، ۱۳۸۸].

ج) دره رودخانه قزل اوزن، که در امتداد این رودخانه نهشته‌های نئوژن، ساختمان ناودیسی نشان می‌دهند. این رودخانه در جهت شمال غربی به جنوب شرقی حرکت نموده و به دریاچه سد منجیل وارد می‌شود. اطراف این رودخانه با ارتفاعی نزدیک به ۵۰۰-۴۰۰ متر، آب و هوای معتدلی دارد، به طوری که در نهشته‌های آبرفتی این رودخانه شالیزارها گسترده‌ای دیده می‌شود. از میزان درجه حرارت و رطوبت هوا از حوالی رودخانه قزل اوزن به سمت ارتفاعات بخش کوهستانی کاسته می‌شود [عابدیان، ۱۳۸۸].

د) بخش کوهستانی گوشه شمال شرقی ناحیه که پیرامون شمال شرقی رودخانه قزل اوزن را تشکیل داده، روند شمال غربی - جنوب شرقی نشان می‌دهد. این بخش از دیدگاه زمین ریخت‌شناسی، مرحله بلوغ خود را طی می‌کند. سازندهای کهن‌تر در امتداد گسل‌های راندگی بر روی نهشته‌های جوان‌تر رانده شده‌اند [عابدیان، ۱۳۸۸].

بلندی بلندترین نقطه محدوده مورد مطالعه ۲۹۴۵ متر از سطح دریا در بخش شمال غربی ناحیه در کوه خیرالمسجد، و پست‌ترین نقطه ۴۳۵ متر از سطح دریا در بخش شرقی و در بستر رودخانه قزل اوزن قرار دارد. بخش‌های شمال شرقی، مرکزی، شرق و جنوب شرقی کوهستانی است [عابدیان، ۱۳۸۸].

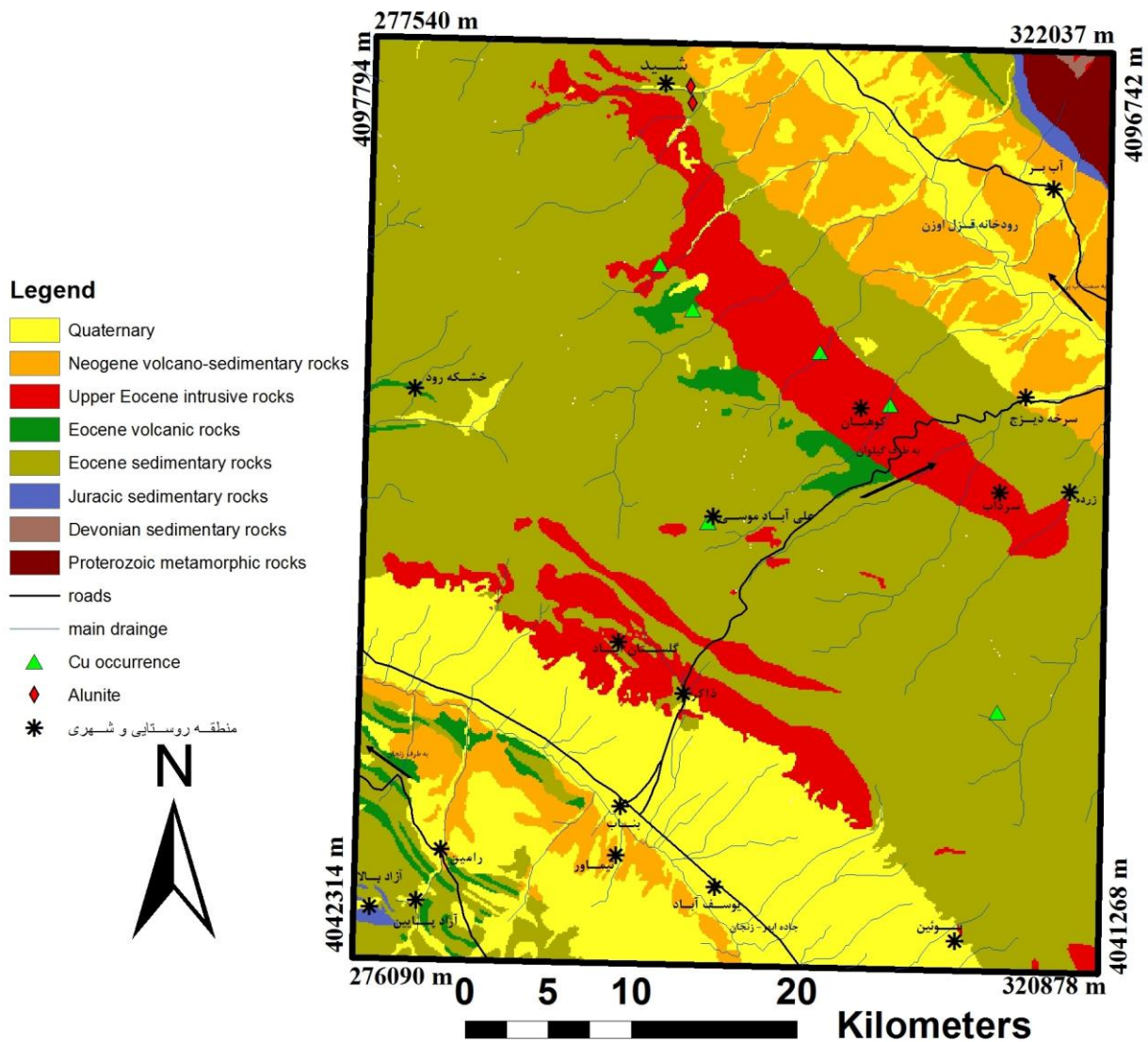
## ۲-۳- زمین‌شناسی ناحیه‌ای

ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ طارم از نظر نقشه پهنه بندی‌های زمین‌شناسی و ساختمانی در بخش غربی پهنه البرز قرار دارد. کهن‌ترین واحد سنگی ورقه طارم سنگ‌های آهکی با سن دونین است که در بخش شمال شرقی ورقه رخنمون محدودی دارد. نهشته‌های رسوبی با دگرگونی ضعیف و سن احتمالی تریاس ژوراسیک و همچنین نهشته‌های تخریبی وسیع با قاعده گنگومرائی به طور ناپیوسته (گاه دگرشیبی) بر روی سازندهای قدیمی‌تر، از جمله سازندهای ژوراسیک نشسته است. نهشته‌های ائوسن در محیط رسوبی کم عمق و گاه قاره‌ای تشکیل یافته و مشتمل بر سنگ‌های آذرآواری، رسوبی و آتشفشانی است که اغلب توسط توده‌های نفوذی قطع شده‌اند.

واحدهای سنگی محدوده طارم را می‌توان از قدیم به جدید به واحدهای سنگی پالئوزوئیک، مزوزوئیک، سنوزوئیک (ائوسن و جوان‌تر)، نئوژن، کواترنری و واحدهای نفوذی تقسیم نمود که در ادامه به اختصار توضیح داده می‌شود [امینی و امینی چهرق، ۱۳۷۹].

## ۲-۳-۱- واحدهای سنگی پروتروزوئیک

کهن‌ترین واحد سنگی است که در گوشه شمال شرقی ورقه طارم رخنمون دارد. این واحد مشتمل است بر فیلیت سربیسیت تا کوارتز شیبست و گاه همراه با کوارتزیت به رنگ سبز است که دگرگونی ضعیفی را تحمل کرده و با ضخامتی نزدیک به ۸۰۰ متر بر روی نهشته‌های دگرگون نشده سازند شمشک رانده شده است. سنگ‌های آهکی تا حدودی بلورین و متعلق به دونین بر روی آنها نشسته است. سن دگرگون شدن سنگ‌ها قبل از ژوراسیک است، زیرا رسوبات تخریبی شمشک هیچگونه دگرگونی نشان نمی‌دهند [امینی و امینی چهرق، ۱۳۷۹].



شکل ۲-۲. نقشه ساده شده زمین‌شناسی (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی امینی و امینی چهرق، ۱۳۷۹)

### ۲-۳-۲- واحدهای سنگی پالئوزوئیک (دوره دونین)

رخنمون نهشته‌های پالئوزوئیک بسیار محدود و منحصر به سنگ‌های آهکی دونین است. در بخش شمال شرقی ورقه رخنمون بسیار اندکی از سنگ‌های آهکی به رنگ خاکستری روشن و تا حدودی بلورین با لایه بندی ضخیم تا توده‌ای دیده می‌شود. توده نفوذی دیوریتی به رنگ خاکستری مایل به سبز آن‌ها را قطع کرده است. در حاشیه توده نفوذی دیوریتی سنگ‌های آهکی این واحد بر اثر دگرگونی مجاورتی مرمری شده‌اند [امینی و امینی چهرق، ۱۳۷۹].

## ۲-۳-۳- واحدهای سنگی مزوزوئیک (دوره ژوراسیک)

رخنمون نهشته‌های مزوزوئیک به صورت محدود در شمال شرقی و جنوب غربی ورقه مورد مطالعه دیده می‌شود. این رخنمون‌ها شامل تناوب واحدهای شیل و ماسه سنگ به رنگ خاکستری تیره و سنگ-های آهکی ضخیم لایه است. در شمال شهرستان آب‌بر رخنمونی از واحد با ضخامت ظاهری حدود ۵۰۰ متر وجود دارد که در آن بخش‌های ماسه سنگی مقاوم‌تر از بخش‌های شیلی است و به صورت برجسته‌تر نمایانند. رسوبات تخریبی این واحد در امتداد سطوح گسله راندگی و معکوس بر روی نهشته‌های ائوسن و یا نئوژن رانده شده‌اند. بر اثر فشارهای تکتونیکی چین خورده بوده و در بسیاری موارد شیب لایه‌ها برگشته است. در بخش‌های بالائی مجموعه سنگ‌های دگرگونی با سن تریاس-ژوراسیک بر روی آن‌ها رانده شده‌اند.

در جنوب غربی ورقه و در اطراف روستای آزاد بالا و کوه‌ساری گونی رخنمونی از واحد به طور عادی و پیوسته بر روی رسوبات شیلی و ماسه سنگی تیره رنگ واحد نشسته و با توجه به تشابه چینه‌ای به سازند لار منسوب گشته است [امینی و امینی چهرق، ۱۳۷۹].

## ۲-۳-۴- ائوسن

بخش اصلی رخنمون‌های سنگی این ناحیه را نهشته‌های آذرآواری، جریان‌های گدازه و لایه‌های رسوبی ائوسن تشکیل داده است. توده‌های نفوذی با سن الیگوسن و یا جوان‌تر سری ائوسن را قطع کرده‌اند. رسوبات ائوسن چین خورده‌اند و راستای محوری آن‌ها شمال غربی- جنوب شرقی تا شرقی- غربی است و محور چین‌ها اغلب شیبدار است. در امتداد رودخانه قزل اوزن نهشته‌ای نئوژن و کواترنری در یک ساختمان ناودیسی و به طور ناپیوسته و دگرشیب بر روی سری ائوسن نشسته‌اند. هیرایاما و همکاران (۱۹۶۶) سری ائوسن رشته کوه‌های البرز را در منطقه طارم به دو عضو کردکند و امند تقسیم کرده‌اند. عضو کردکند بخشی زیرین سازند کرج را تشکیل داده و امتداد عمومی لایه‌ها شمال غربی- جنوب شرقی، و ضخامت کلی آن ۲۴۰۰ متر است.

این بخش شامل سه قسمت سنگ‌های رسوبی، سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی است، که به اختصار توضیح داده می‌شود:

## ۲-۳-۴-۱- سنگ‌های رسوبی ائوسن

در بخش جنوب غربی ورقه طارم و اطراف روستای آزاد بالا واحد (سازند فجن) شامل کنگلومرا و ماسه سنگ قرمز با ستبرایی حدود ۲۰۰ متر به طور ناپیوسته و دگرشیب بر روی سازندهای قدیم تر، از

جمله لار نشسته است و لایه‌های آهکی نومولیت‌دار با میان لایه‌هایی از کنگلومرا به رنگ خاکستری نسبتاً روشن واحد (سازند زیارت) با ستبرایی حدود ۸۰ متر در ساختمان ناودیسی با محور شیب‌دار، به طور عادی بر روی لایه‌های کنگلومرانی سازند فجن قرار گرفته است. در برخی موارد لایه‌های آهکی به شکل عدسی مانند در داخل لایه‌های کنگلومرانی و یا ماسه سنگی قرمز رنگ قرار گرفته است. در همین محل لایه‌های لیتیک کریستال توف سبز تا زرد همراه با تناوب‌های سیلتستون و ماسه سنگ توفی واحد به طور عادی بر روی سازند زیارت قرار گرفته است، این واحد از واحدهای جوان ائوسن به‌شمار می‌آید

باتوجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه، در شمال شرق ورقه و در شمال شهرستان آب‌بر و روستای گچی قشلاق رخنمونی از واحدها، شامل تناوب سیلتستون و ماسه سنگ توفی با توف به رنگ خاکستری و سبز وجود دارد که لایه بندی متوسط تا نازک دارد. سازند شمشک با رنگ خاکستری تیره در امتداد گسل راندگی بر روی نهشته‌های این واحد رانده شده است [امینی و امینی چهرق، ۱۳۷۹].

واحدهای جوان تر ائوسن که در کوه‌های طارم قرار گرفته است، شامل دو کردکند و امند می‌باشد که به اختصار توضیح داده می‌شود:

#### الف) عضو کردکند:

این عضو شامل واحدهای رسوبی - آتشفشانی ائوسن هم ارز با بخش‌های زیرین سازند کرج است که با ضخامتی در حدود ۲۴۰۰ متر به ۸ واحد سنگی تقسیم شده است. بخش قاعده‌ای با مادستون آغاز گشته و در بالا نیز به لایه‌های ضخیم مادستون می‌انجامد. این دو بخش لایه‌های پیروکلاستیک و گدازه فراوان است که نشان‌دهنده یک دوره فعالیت آتشفشانی در این زمان است. بیشتر سنگ‌های آتشفشانی از نوع آندزیتی و ریولیتی بوده، در حالی که بخش‌های بازالتی در آن‌ها کم است. واحدهای مختلف این عضو، به همراه واحدهای هم ارز دیگر، از پایین به بالا به شرح زیر است:

کهن‌ترین بخش عضو کردکند شامل ماسه سنگ توفی، توف سبز و مادستون با لایه بندی متوسط و گاه ضخیم و به رنگ خاکستری مایل به سبز می‌باشد. همبری بخش زیرین این واحد به وسیله توده نفودی گرانودیوریتی قطع شده و یا گسله است و هیچ‌گونه اثری از هورنفلس و کانی‌های دگرگونی مجاورتی نشان نمی‌دهند و فقط آثار اپیدوتی، کلریتی و پروپلیتی شدن گدازه‌ها دیده می‌شود. واحد سنگی بعدی گسترش قابل ملاحظه‌ای در شمال غربی و مرکز ورقه به خود اختصاص داده است و شامل تناوب توف‌های ماسه‌ای با ماسه سنگ توفی و یا سیلتستون توفی و مادستون همراه با میان لایه‌های توف سبز است که با رنگ سبز حنائی، خاکستری، بنفش و یا کرمی و لایه بندی ضخیم تا میانه و در برخی موارد توده‌ای دیده می‌شوند. دایک‌های بازالتی و یا میکروگابروئی آن‌ها را قطع کرده است. این واحد به

طورعادی بر روی واحد زیرین قرار دارد. سنگ‌های رسوبی بعدی شامل ماسه سنگ توفی، توف سبز، مادستون و سیلتستون که توده نفوذی گرانودیوریتی و کوارتز مونزونیتی را قطع کرده است. نهشته‌های این واحد در مجاورت توده نفوذی در بسیاری موارد به شدت دگرسان شده و کانی ساز مس و سایر عناصر در حوالی بخش‌های دگرسان شده است.

واحد سنگی که در بخش شمال غربی منطقه و در کوه قره‌داش و کوه کمر رخنمون دارد، به سمت بخش مرکزی کم ضخامت می‌شود. آندزیت، پورفیری، توف برش و ماسه سنگ دارای حدود نامشخص هستند. این امکان وجود دارد که گدازه‌ها به صورت سیل در بخش قدیمی‌تر نفوذ کرده باشد. توف‌های موجود ترکیب آندزیتی دارند، ولی جوش خورده نیستند.

واحد سنگی شامل توف برش، توف پومیسی، توف‌های جوش خورده<sup>۱</sup> با ترکیب ریوداسیتی و در بخش زیرین لیتیک توف، کریستال توف و خاکستر توف به رنگ سبز تا خاکستری و یا صورتی است که لایه بندی ضخیم تا توده‌ای دارد. این واحد با داشتن رنگ روشن‌تر از واحدهای مجاور، ترکیب اسیدی، گسترش زیاد و ضخامت کم به عنوان لایه راهنما به شمار می‌رود. اغلب بدون لایه‌بندی است و در غرب منطقه قرار گرفته است.

سنگ‌های رسوبی شامل تناوب توف‌های آهن‌دار، توف ماسه‌ای، ماسه سنگ توفی و توف سبز به رنگ خاکستری مایل به بنفش، قهوه‌ای و در مواردی سبز رنگ است که با ستبرایی حدود ۳۰۰ متر به طور عادی بر روی واحد قرار دارد. نهشته‌های آذر آواری و رسوبی این واحد در مجاورت توده‌های نفوذی و بر اثر عملکرد محلول‌های گرمابی به شدت دگرسانی آرژیلیتی، سریسیتی و در مواردی پروپلیتی تحمل کرده‌اند. این واحد در بخش مرکزی ورقه تاق‌دیس و ناودیس‌های ملایمی را به وجود آورده‌اند. ضخامت آن‌ها در بیشترین حالت به ۲۰ متر می‌رسد (امینی و امینی چهرق، ۱۳۷۹).

(ب) عضو امند:

این عضو به طور عادی بر روی عضو کردکند قرار دارد، ولی حد بین آن دو نامشخص است. ضخامت کلی این عضو به حدود ۱۳۷۰ متر می‌رسد و به طور عمده به ۹ واحد سنگی تقسیم شده که برخی از آن‌ها به شرح زیر است:

واحد سنگی شامل لایه‌های نازک توف و لاپیلی توف در شرق روستای همایون و غرب ورقه طارم دیده می‌شود. برخی نقاط حفره‌دار و پومیسی هستند. لاپیلی توف حاوی قطعات آندزیتی و یا ریولیتی با قطر کمتر از ۲۰ میلی‌متر است. ضخامت این واحد به حدود ۲۰-۰ متر می‌رسد.

<sup>۱</sup> Weldeduff

نهشته‌های واحد سنگی بعدی از نوع توف برش و در برخی موارد لاپیلی توف به رنگ خاکستری مایل به بنفش بوده و در حوالی روستای همایون رخنمون دارد. واحد بعدی شامل توف سفید و سفید مایل به صورتی به همراه توف پومیسی در بخش جنوب شرقی منطقه و در شمال روستای بوئین رخنمون دارد. سنگ‌ها از نوع توف ریز دانه حاوی پلاژیوکلاز و اوژیت است. جدیدترین واحد سنگی در این قسمت شامل گدازه آندزیتی، توف برش با ترکیب ریولیتی - داسیتی دیگر انواع توف و کمی ماسه سنگ و مادستون است. بالاترین واحد ائوسن را تشکیل داده است. این واحد در مجاورت توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی دگرسانی گرمایی تحمل کرده‌اند، ولی پدیده هورنفلسی شدن در آن‌ها دیده نشده است [امینی و امینی چهرق، ۱۳۷۹].

#### ۲-۳-۴-۲- سنگ‌های آتشفشانی ائوسن

سنگ‌های آتشفشانی که شمال شرقی ورقه طارم قرار گرفته است شامل آندزیت با بافت پورفیریتی و به شدت اکسیده، به رنگ بنفش تا خاکستری تیره همراه با بخش‌های توفی و توفیتی رخنمون دارد. بخش زیرین این واحد با گسل قطع شده است و ضخامت ظاهری آن به حدود ۲۰۰ متر می‌رسد. در غرب ورقه طارم و در جنوب روستای خشک‌رود گدازه‌های آندزیتی در هسته تاقدیس با شیب محوری به سوی شرق رخنمون دارد. از لحاظ پتروگرافی از نوع آندزیت با بافت پورفیری است که حاوی پلاژیوکلاز و اوژیت به صورت فنوکریست می‌باشد.

این واحد جزء واحدهای جوان‌تر ائوسن که در کوه‌های طارم واقع شده، محسوب می‌شود و در اطراف جاده اصلی زنجان - گیلوان نیز مشاهده شده است. شامل گدازه‌های کوارتز لایتی، آندزیتی - تراکی آندزیتی با بافت پورفیریتیک به رنگ خاکستری مایل به سبز و یا صورتی است که با ضخامت حدود ۱۰۰-۱۲۰ متر می‌باشد. در برخی موارد سنگ‌های این واحد حفره دار بوده و حفرات با کانی‌های ثانوی مانند کلسیت، اپیدوت و کلریت پر شده است. این‌گونه سنگ‌ها در محیط کم‌عمق دریائی تشکیل یافته و در مجاورت توده‌های نفوذی دگرسان شده‌اند.

سنگ‌های آتشفشانی که در جنوب غربی ورقه وجود دارند و جزء واحدهای جوان‌تر ائوسن محسوب می‌شوند. واحدی شامل گدازه‌های آندزیتی به رنگ خاکستری مایل به سبز به صورت مکرر در درون واحد دیده می‌شود. گدازه‌ها در برخی موارد حفره‌دار بوده و به صورت گدازه برشی شده درآمده‌اند و ضخامت آن‌ها بسیار متفاوت است و روند عمومی شمال غربی - جنوب شرقی را نشان می‌دهد. واحد بعدی شامل



گدازه‌های بازالتی و اسپلیتی به رنگ خاکستری تیره مایل به سبز است که با گسترش بسیار کم در کنار واحدهای فوق رخنمون دارد [امینی وامینی چهرق، ۱۳۷۹].

### ۲-۳-۴-۳- توده‌های نفوذی

توده‌های نفوذی ورقه طارم اغلب از نوع نیمه عمیق (و در مواردی عمیق) است. وجود بافت‌های پورفیری، دگرسانی‌های متنوع سرسیت، آرژیلی و سیلیسی و پروپیلیتی در بخش‌های حاشیه‌ای توده‌های نفوذی و از طرفی تأثیر حرارتی ضعیف به سنگ‌های مجاور (در حد دگرسانی و یا در مواردی در حد رخساره آلبیت، اپیدوت و هورنفلس) نشانگر کم‌عمق بودن جایگاه اغلب توده‌های نفوذی ورقه طارم است. توده‌های نفوذی شامل سه واحد است.

واحدی که در گوشه شمال غربی ورقه به صورت محدود رخنمون دارد و شامل دایک‌ها و توده‌های نفوذی نیمه عمیق میکروگابرویی به رنگ خاکستری تیره مایل به سبز است. بافت آن‌ها پورفیروئید است. درشت بلورها از نوع پلاژیوکلاز شکل‌دار کلسیک، اوژیت و اوژیت تیتان‌دار و اولیوین کاملاً دگرسان شده است.

در ورقه طارم توده نفوذی شامل سنگ‌های نفوذی کوارتز مونزودیوریتی، کوارتز مونزونیتی و کوارتز سینیتی به رنگ خاکستری مایل به سبز و یا صورتی است. این توده از حوالی روستای زرده با روند شمال غربی- جنوب شرقی تا شمال ورقه گسترش دارد، همچنین در حوالی ذاکر و گلستان آباد با همان روند قبلی رخ نمون دارد. توده‌های کوارتز مونزودیوریتی به وسیله توده‌های کوارتز مونزونیتی قطع شده‌اند. آخرین فازهای توده نفوذی از نوع گرانیت، کوارتز سینیت و آپلیت است که با رنگ صورتی روشن مشخص هستند. در حواشی توده، به ویژه مناطق دگرسان شده رگه‌های مس و طلا دار سنگ‌های توده را قطع کرده است.

توده نیمه عمیق با ترکیب میکروکوارتزیدیوریت پورفیری، میکرویدیوریت پورفیری به رنگ خاکستری است که با روند شمال غربی- جنوب شرقی در بخش مرکزی ورقه طارم رخنمون دارد و نهشته‌های ائوسن را قطع کرده است [امینی وامینی چهرق، ۱۳۷۹].

### ۲-۳-۵- نئوزن

واحد نئوزن شامل دوبرخس رسوبی و آتشفشانی است که در بخش رسوبی کنگلومرای قرمز رنگ است که با لایه بندی ضخیم و دگرشیبی مشخص بر روی واحدهای ائوسن نشسته است و نیز تناوب مارن

گچ دار، لایه‌های سنگ گچ به رنگ سبز روشن همراه با لایه‌های رس، ماسه سنگ و کنگلومرای مایل به قرمز است که در مجموع بخش‌های سبز و قرمز رنگ با هم تناوب دارند و به طور عادی بر روی کنگلومرای قرمز رنگ واحد قرار گرفته است. در بخش واحدهای آتشفشانی بازالت به رنگ خاکستری تیره است که با رخنمون بسیار محدود در شمال ورقه طارم دیده می‌شود. سنگ‌های بازالتی این واحد با بخش‌های جوان‌تر واحد هم ارز است.

## ۲-۳-۶- کواترنری

نهبشته‌های آبرفتی کواترنری در نتیجه فرسایش رودخانه‌ها و سیلاب‌ها به صورت پادگانه‌های آبرفتی و مخروط افکنه در کنار رودخانه‌ها و دامنه ارتفاعات تشکیل یافته است. در دامنه‌های پر شیب واریزه‌ها شکل گرفته اند. مناطق کشاورزی اغلب در مسیر رودخانه‌های اصلی و اطراف آن‌ها، واحدهای دیگر را پوشانده است.

پادگانه قدیمی هیچ اثری از قطعات گرانیتوئیدی وجود ندارد، که نشانگر رخنمون نداشتن توده نفوذی گرانیتوئیدی در حوضه آبریز بخش‌های بالا دست رودخانه در زمان تشکیل آن است. نهبشته‌های آبرفتی در نتیجه فازهای خشکی‌زائی هم‌ارز پاسادنین در دو سوی کوه‌های طارم کمی شیب‌دار شده‌اند. نهبشته‌های بادبزی و واریزه‌ها در دامنه ارتفاعات تشکیل یافته و به سوی دشت از شیب آن‌ها کاسته می‌شود. در اطراف رودخانه زنجان رود پادگانه‌های آبرفتی دشت وسیعی را به وجود آورده‌اند آمیننی و امیننی چهرق، [۱۳۷۹].

## ۲-۴- زمین‌شناسی ساختمانی

محدوده مورد بررسی که از نظر افتخار نژاد (۱۳۵۹) البرز باختری نام دارد، از دیدگاه ساختمانی محدوده مورد بررسی به چهار زیر پهنه قابل تقسیم است شکل (۲-۳) که از سمت شمال شرقی به جنوب غربی به شرح زیر است:

### الف) زیر پهنه طالش

در این زیر پهنه گسل‌های راندگی متعددی با امتداد شمال غربی - جنوب شرقی سنگ‌های دگرگون شده به ترتیب بر روی نهبشته‌های تخریبی ژوراسیک و سپس واحدهای ائوسن رانده‌اند. رخنمون سنگ‌های دگرگون شده، ظهور واحدهای سنگی پالئوزئیک و مزوزوئیک، تکتونیک فعال از ویژگی‌های این زیر پهنه است.

### ب) افتادگی قزل‌اوزن

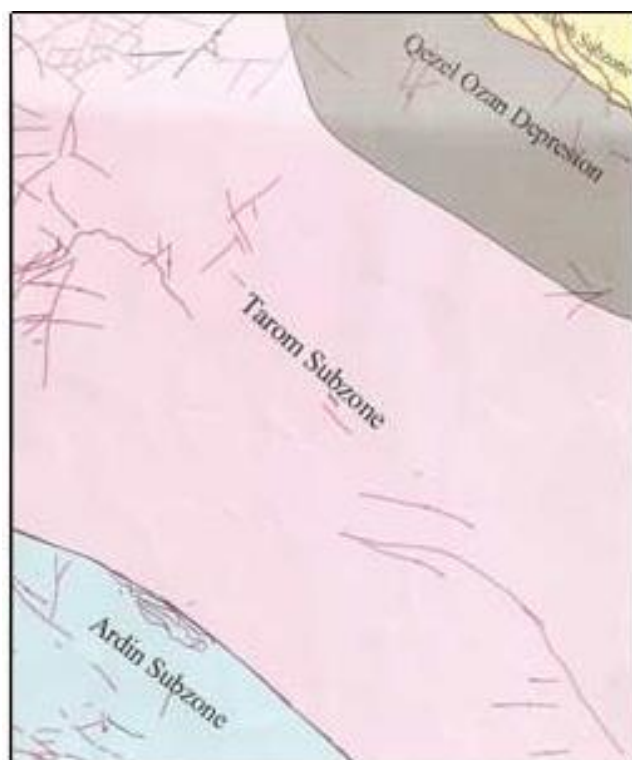
در این افتادگی نهشته‌ای تخریبی و کولابی نئوژن، پلیوکواترنری و کواترنری با امتداد شمال غربی- جنوب شرقی به صورت یک ناودیس بزرگ در اطراف رودخانه قزل‌اوزن رخمون دارند و اثری از رخمون- های ائوسن و قدیمی‌تر دیده نمی‌شود.

ج) زیر پهنه طارم

نهشته‌های آذرآواری و گدازه‌ای ائوسن با ستبرایی نزدیک به ۳ تا ۴ کیلومتر تاقدیس و ناودیس‌های متعدد تشکیل داده‌اند و اغلب محور تاقدیس‌ها و ناودیس‌ها شیبدار هستند. توده‌های نفوذی الیگوسن با کشیدگی در امتداد شمال غربی- جنوب شرقی سنگ‌های ائوسن را قطع کرده و در حاشیه موجب دگرسانی شده‌اند.

د) زیر پهنه اردین

نهشته‌های آذرآواری و گدازه‌ای ائوسن در این زیر پهنه نیز رخمون دارند، لیکن ضخامت و تنوع واحدهای آتشفشانی کم است. اثری از توده‌های الیگوسن، دگرسانی‌های اطراف توده‌ها و کانی‌زایی فلزی دیده نشده است [عابدیان، ۱۳۸۸].



شکل ۲-۳. چهار زیرپهنه طارم از دیدگاه زمین‌شناسی ساختمانی (برگرفته از گزارش اکتشافات سیستماتیک عابدیان، ۱۳۸۸)

## ۲-۵- زمین شناسی اقتصادی

توده‌های نفوذی نقش مؤثری در کانی‌زایی فلزی محدوده ورقه طارم داشته و اغلب در بخش‌های حاشیه‌ای توده‌های نفوذی نیمه عمیق صورت گرفته است. دگرسانی‌های سیلیسی، سرسیتی و آرژیلیکی و به ندرت پتاسیک مرتبط با توده‌های نفوذی در منطقه دیده می‌شود و ردیابی مناطق دگرسان شده در یافتن توده‌های معدنی کمک مؤثری می‌نماید. در این ورقه آثار معدنی فلزی شناخته شده به شرح زیر است:

### الف- کانی‌زایی مس و طلا

در حدود یک کیلومتری جنوب غربی روستای متروکه چال در ایگنیمبریت‌های ائوسن کانی‌زایی مس و طلا گزارش شده است. در این نقطه رگه‌های هماتیتی و مالاکیته کالکوپیریتی توف‌های ائوسن را قطع کرده است. همچنین در حوالی جنوب غربی روستای قوزلجا سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در مجاورت توده‌های نفوذی دگرسان شده و میزان آکالی فلدسپار سنگ به شدت افزایش یافته است. عمده رگه‌های کانی‌زایی دارای امتداد شمال غرب- جنوب شرق بوده که با روند گسل‌ها و کشیدگی رخنمون توده‌های نفوذی مطابقت دارد. سیستم کانی‌سازی مس به صورت رگه‌ای و در مواردی استوک ورک است [امینی و امینی چهرق، ۱۳۷۹].

در اطراف روستای گمان زون کانی‌سازی مس در ابعاد ۲۵۰-۱۰۰ متر مربع به صورت کانی‌های مالاکیته، کالکوپیریت، اولیژیست تطاهر نموده و عیار طلا در آن به ۰/۱ ppm می‌رسد. رگه طویل و نامتد جنوب روستای علی آباد موسی ضمن داشتن ذخیره مناسب مس، در برخی نقاط از طلا غنی است.

در شرق روستای کوهیان در دره رودخانه بیدان چای رگه ضخیم مس با کانی‌های کالکوپیریت، هماتیت و آزوریت شناخته شده است. در نزدیکی روستای ماری و قشلاق در ناحیه دگرسانی گرمابی در گدازه‌ها و مواد آذرآواری سازند کرج دیده شده است. مواد معدنی در امتداد رگه‌های آپلیتی به صورت مالاکیته و در برخی موارد کالکوپیریت و یا بورنیت تمرکز دارد. مواد معدنی در امتداد شکستگی‌ها و درزه‌های شبکه‌ای تمرکز یافته و یا به صورت پراکنده می‌باشد. مواد معدنی از نوع مس طبیعی و یا مالاکیته است.

### ب- آهن

در گوشه شمال شرقی در سطوح فرسایشی توده گرانودیوریتی مقداری مگنتیت یافت شده است. آثار معدنی ضعیفی از آهن در ذاکر و کردناب دیده می‌شود.

### ج- سرب و روی

در شرق شیلاندر در کنار دره گدازه‌های ضخیم آندزیتی حاوی میان لایه‌های توفی بوده و در امتداد شکستگی‌ها و درزه‌ها مواد معدنی از نوع گالن، اسفالریت و مقادیر کمتری از مالاکیت دیده می‌شود. گانگ از نوع کوارتز و کلسیت است. سنگ‌های درونگیر سیلیسی شده‌اند.

### د- آلونیت

در حوالی روستای زاجکان در شمال ورقه طارم کانی‌زایی غیر فلزی دیده شده است. سنگ در برگیرنده شامل سنگ‌های آذرآواری و رسوبی ائوسن است که دگرسانی گرمابی تحمل نموده‌اند. دگرسانی در این نقطه شدید است، به طوریکه بافت و ترکیب سنگ‌شناسی سنگ اولیه کاملاً تغییر یافته و به رنگ سفید در آمده‌اند [امینی وامینی چهرق، ۱۳۷۹].

## فصل سوم :

روش‌های سنجش از دور و نتایج

بررسی داده‌های سنجش از دور

سنجش از دور دانش پردازش و تفسیر تصاویری است که حاصل ثبت تعامل انرژی الکترومغناطیسی و اشیاء می‌باشند [sabin, 1997]. مواد بر روی سطح زمین امواج الکترومغناطیسی که از خورشید ساطع می‌شود را منعکس می‌کند و توسط سیستم‌های سنجش از دور ثبت می‌شوند. بنابراین هر ماده‌ای منحنی انعکاس طیفی<sup>۱</sup> منحصر بفرد خود را دارد. در حالی که طیف الکترومغناطیسی شامل محدوده وسیعی از طول موج‌های مختلف تشکیل شده است، سیستم‌های سنجش از دور تنها بخشی از آن را می‌توانند سنجش نمایند. حساسیت سیستم سنجش از دور که در محدوده طیف مرئی و مادون قرمز تصویربرداری می‌کنند به وسیله تفکیک‌پذیری مکانی، طیفی و رادیومتری اندازه‌گیری می‌شوند.

تفکیک‌پذیری مکانی<sup>۲</sup> در واقع منطقه‌ای است که سنجنده در یک دید آنی پوشش می‌دهد. تصاویر رقومی از جزء تصاویر کوچکی به نام پیکسل تشکیل می‌شود، این پیکسل‌ها واحد تشکیل دهنده تصویر هستند اندازه این پیکسل‌ها میزان تفکیک‌پذیری مکانی را تعیین می‌کند [Biradar et al., 2003]. عبارت تفکیک‌پذیری طیفی<sup>۳</sup> به محدوده‌ای باز می‌گردد که باندهای طیفی یک سنجنده می‌تواند آن‌ها را بر روی تصاویر چند طیفی ثبت نماید. تفکیک‌پذیری رادیومتری<sup>۴</sup> تعداد سطوح رقومی است که برای بیان داده‌های ثبت شده با یک سنجنده استفاده شده است. میزان مشاهده جزئیات تصاویر با افزایش تعداد ارقام دودویی (بیت‌ها) افزایش می‌یابد. با توجه به این‌که کانی‌های مختلف بازتاب طیفی منحصر بفرد خود را دارند، می‌توان از تصاویر ماهواره‌ای برای شناسایی دگرسانی‌ها و واحدهای سنگ‌شناسی استفاده نمود. همچنین با توجه به این‌که عارضه‌های خطی دارای فرکانس بالایی هستند، می‌توان از سایر عارضه‌ها آن‌ها را بارزتر نمود. بنابراین در این تحقیق با استفاده از تصاویر سنجنده آشکارساز موضوعی  $ETM^+$  و سنجنده استر به شناسایی دگرسانی‌ها، توده‌های نفوذی و گسل‌ها پرداخته شده است.

### ۳-۲- سنجنده آشکارساز موضوعی $ETM^+$

ماهواره‌های لندست توسط سازمان فضایی آمریکا (NASA)<sup>۵</sup> به فضا پرتاب شده است. دو نسل از ماهواره‌های لندست اطلاعات با ارزشی را برای اکتشاف مواد معدنی و کاربردهای دیگر در اختیار ما قرار

<sup>1</sup> spectral reflectance curve

<sup>2</sup> Spatial resolution

<sup>3</sup> Spectral resolution

<sup>4</sup> radiometric resolution

<sup>5</sup> National Aeronautics and Space Administration

می‌دهد. این ماهواره‌ها همزمان با خورشید دور زمین چرخیده و از کل زمین به جز مناطق قطبی زمین به طور تکراری تصویر برداری می‌کند. اولین نسل ماهواره‌های لندست ۱، ۲ و ۳ بودند که در طی سال‌های ۱۹۷۲ تا ۱۹۸۵ میلادی مورد استفاده قرار گرفته‌اند که به وسیله ماهواره‌های نسل دوم جایگزین شدند. نسل دوم ماهواره لندست با ماهواره لندست ۷ که در آوریل ۱۹۹۹ پرتاب شد، ادامه یافت، این ماهواره دارای سنجنده  $ETM^+$  می‌باشد. یک باند حساس به همه رنگ‌ها<sup>۱</sup> (باند ۸) نسبت به سنجنده‌های قدیمی‌تر به این سنجنده اضافه شده است جدول (۳-۱). تفکیک‌پذیری باند ۸ پانزده متر است، تفکیک‌پذیری فضایی باند حرارتی فرورسرخ (باند ۶) در این سنجنده از ۱۲۰ متر به ۶۰ متر ارتقاء یافته است [Yetkin, 2003].

سیستم سنجنده  $ETM^+$  سه طول موج انرژی مرئی آبی، سبز و قرمز سه محدوده بانندی انرژی بازتابی فرورسرخ (فرورسرخ نزدیک<sup>۲</sup>، میانی<sup>۳</sup> و دور<sup>۴</sup>) را ثبت می‌کند. باندهای مرئی و فرورسرخ تفکیک‌پذیری مکانی ۳۰ متر دارند. هر تصویر بدست آمده از سنجنده  $ETM^+$  محدوده‌ای به وسعت ۱۸۵ کیلومتر (شرقی غربی) در ۱۷۰ کیلومتر (شمالی جنوبی) را پوشش می‌دهد [Sabins, 1999].

جدول ۳-۱. خصوصیات اصلی سنجنده  $ETM^+$  لندست (Rajendran et al., 2012)

نوع ماهواره	نوع سنجنده	شماره باند	رنگ یا مشخصه	تفکیک طیفی طول موج (میکرومتر)	تفکیک مکانی (متر)	توالی زمانی
لندست ۷	$ETM^+$	محدوده طیف مرئی	آبی (B)	۰/۴۵-۰/۵۱۵	۳۰	۱۶ روز و پهنای تصویربرداری ۱۸۰ کیلومتر
			سبز (G)	۰/۵۲-۰/۶		
			قرمز (R)	۰/۶۳-۰/۶۹		
		محدوده فرورسرخ (IR)	نزدیک	۰/۷۵-۰/۹۰		
			میانی	۱/۵۵-۱/۷۵		
			حرارتی	۱۰/۴۰-۱۲/۵		
			دور	۲/۰۹-۳/۳۵		
			پانکروماتیک	۰/۵۲-۰/۹		

<sup>1</sup> Panchromatic

<sup>2</sup> Near Infrared

<sup>3</sup> Mid Infrared

<sup>4</sup> Far Infrared



### ۳-۳-سنجنده استر

راديو متر پيشرفته فضا برد بازتابی و تابش گرمایی<sup>۱</sup> که به اختصار آستِر (ASTER) نامیده می‌شود، سنجنده‌ای ژاپنی و یکی از پنج ابزار سنجش از دور نصب شده بر روی ماهواره ترا<sup>۲</sup> است که در سال ۱۹۹۹ توسط ناسا در مدار زمین قرار گرفت. این سنجنده از فوریه ۲۰۰۰ به گردآوری داده‌های سطحی از زمین مشغول است.

استر تصاویر ماهواره‌ای از زمین را با قدرت تفکیک بالا و در ۱۴ باند مختلف از طیف الکترومغناطیس در بازه طیف مرئی تا فروسرخ حرارتی تهیه می‌کند. قدرت تفکیک تصاویر استر در سه گروه باندی از ۱۵ تا ۹۰ متر است. داده‌های استر در تولید نقشه‌های تفصیلی دمای سطح زمین، تابندگی، انعکاس و ارتفاع از سطح دریا به کار می‌رود.

جدول ۳-۲. خصوصیات اصلی سنجنده آستر (Rajendran et al., 2012)

تفکیک مکانی (متر)	تفکیک طیفی طول موج (میکرومتر)	رنگ یا مشخصه	شماره باند	نوع سنجنده	نوع ماهواره
۱۵	۰/۵۲-۰/۶	مرئی سبز	۱	استر	ترا
۱۵	۰/۶۳-۰/۶۹	مرئی قرمز	۲		
۱۵	۰/۷۶-۰/۸۶	فرو سرخ نزدیک	۳		
۳۰	۱/۶۰-۱/۷	فرو سرخ کوتاه	۴		
۳۰	۲/۱۴-۲/۱۸	محدوده طول موج فرو سرخ کوتاه	۵		
۳۰	۲/۱۸-۲/۲۲		۶		
۳۰	۲/۲۳-۲/۲۸		۷		
۳۰	۲/۲۹-۲/۳۶		۸		
۳۰	۲/۳۶-۲/۴۳		۹		
۳۰	۲/۴۳-۲/۴۳		۱۰		
۹۰	۸/۱۲-۸/۴۷	محدوده فرو سرخ حرارتی	۱۱		
۹۰	۸/۴۷-۸/۸۲		۱۲		
۹۰	۹/۲۵-۹/۲۷		۱۳		
۹۰	۱۰/۲۵-۱۰/۹۵		۱۴		
۹۰	۱۰/۹۵-۱۱/۶۵				

<sup>۱</sup> Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

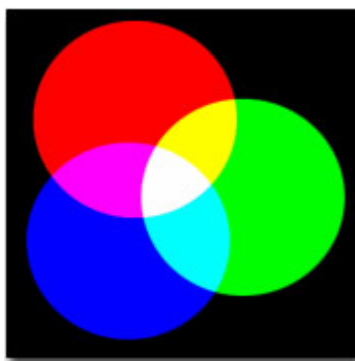
<sup>۲</sup> TERRA Sattelite

### ۳-۴- روش‌های آنالیز داده‌های سنجش از دور

روش‌های مختلفی در تجزیه و تحلیل داده‌های سنجش از دور بکار می‌روند. روش‌های جدید هنوز هم با استفاده از این تکنولوژی توسعه می‌یابند. در بین این روش‌ها، روش ترکیب‌های رنگی<sup>۱</sup>، نسبت‌گیری بین باندها<sup>۲</sup>، تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)<sup>۳</sup> و برازش به روش حداقل مربعات<sup>۴</sup> از روش‌های رایج و شناخته شده هستند.

#### ۳-۴-۱- روش ترکیب‌های رنگی

هر جسم در طبیعت در طول موج‌های مختلف مقدار انعکاس منحصر به فردی از خود نشان می‌دهد. رنگ‌هایی که چشم انسان می‌تواند آن‌ها را ببیند، ترکیبی از انعکاس بخش‌های قرمز، سبز و آبی محدوده طیف مرئی است. ابزارهای نمایش تصویر با نمایش تصویر در محدوده طول موج مرئی از چشم انسان تقلید می‌کند. از نظر فنی، رایج‌ترین روش‌های نمایش رنگی در سیستم‌های رایانه‌ای، نمایش افزایشی است، یعنی نور سفید از اضافه شدن و ترکیب سه رنگ افزایشی اولیه، قرمز (۰/۶ تا ۰/۷ میکرومتر)، سبز (۰/۵ تا ۰/۶ میکرومتر) و آبی (۰/۴ تا ۰/۵ میکرومتر) به وجود می‌آید شکل (۳-۱). به همین دلیل است که به ترکیب رنگ‌های قرمز، سبز و آبی (RGB) باند ۳، باند ۲ و باند ۱ سنجنده ETM<sup>+</sup> ترکیب رنگ واقعی<sup>۵</sup> گفته می‌شود. این‌گونه نمایش تصویر شبیه به طبیعت چشم انسان دیده می‌شود. سایر ترکیب‌های باندهای که به عنوان قرمز، سبز و آبی نمایش داده می‌شوند، ترکیب رنگ دروغین<sup>۶</sup> نامیده می‌شود [Vincent, 1997].



شکل ۳-۱. رنگ‌های افزایشی (Yetkin, 2003)

<sup>1</sup> Color composites

<sup>2</sup> Band rationing

<sup>3</sup> Principal Components Analysis (PCA)

<sup>4</sup> Least Squares Fitting Method

<sup>5</sup> True Color Composition (TCC)

<sup>6</sup> False Color Composition (FCC)

ترکیب رنگی، در واقع، پایه و اساس روش های دیگر است، چرا که نتایج این روش ها را می توان با اختصاص باندهای طیفی مورد نظر به کانال های قرمز، سبز و آبی دلخواه و ایجاد ترکیب های رنگی مورد نظر تفسیر کرد.

### ۳-۴-۲- نسبت گیری بین باندی

نسبت گیری بین باندها روش پردازش تصویر چند طیفی است که شامل تقسیم یک باند بر باند دیگر است. نتایج این تقسیم نسبت انعکاس طیفی اندازه گیری شده در یک باند به انعکاس طیفی اندازه گیری شده در باند دیگر است. مواد سطحی یکسان به دلیل شیب توپوگرافی، ظاهر، سایه ها و یا تغییرات فصلی زاویه تابش خورشید و تغییرات شدت نور می تواند مقادیر درخشندگی متفاوت از خود نشان دهد. این تغییرات در تفسیر شخص بیننده تاثیر گذاشته و ممکن است به نتایج غلط منجر شود. عملیات نسبت گیری باندی باعث تبدیل داده ها و کاهش اثرات این شرایط محیطی است. علاوه بر این نسبت گیری بین باندی می تواند اطلاعات منحصر به فردی که بسیار مفید برای تفکیک مواد در سطح زمین است و در هیچ تک باندی وجود ندارد، در اختیار پژوهشگر قرار دهد [Jensen, 1996]. رابطه ریاضی نسبت گیری بین باندی به صورت زیر است:

$$BV_{i,j,r} = \frac{BV_{i,j,k}}{BV_{i,j,l}} \quad (1-3)$$

در این رابطه  $BV_{i,j,r}$  خروجی نسبت برای پیکسلی که در ردیف  $l$ ام و میزبان ستون  $r$ ام است،  $BV_{i,j,k}$  درخشندگی باند  $k$  در همان مکان بوده و  $BV_{i,j,l}$  مقدار درخشندگی باند  $l$  است. محدوده تغییرات  $BV_{i,j,r}$  از نظر تئوری از صفر تا بی نهایت است، اما در حقیقت بازه ای از ۱ تا ۲۵۵ می باشد.

### ۳-۴-۳- آنالیز مولفه های اصلی

داده های چند طیفی و یا چند باندی را می توان در یک فضای چند بعدی تصویر نمود. ابعاد این فضا به اندازه تعداد باندهای تصویر خواهد بود و در آن هر پیکسل به صورت یک بردار در نظر گرفته می شود. پیکسل ها به صورت نقاط در این فضا بر اساس مقادیر طیفی در هر باند قرار می گیرد. نکته بسیار مهم، وابستگی باندهای همسایه به یکدیگر است. وابستگی و یا همبستگی میان داده های مختلف باندها امری طبیعی است که باعث ازدیاد اطلاعات وابسته و تکراری می گردد. نتیجه اطلاعات تکراری بالا رفتن زمان پردازش و گاه پایین آمدن دقت پردازش می باشد.

در تبدیل مولفه‌های اصلی هدف دستیابی به مولفه‌های جدیدی است که در آن‌ها میزان واریانس داده‌ها بیش‌تر و بنابراین میزان اطلاعات بیشتر و وابستگی بین مولفه‌ها کمتر از حالت اولیه تصاویر می‌باشد [فاطمی و رضایی، ۱۳۸۵]. فرآیند تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی با استفاده از روش تبدیل مولفه‌های اصلی، ابعاد دارای همبستگی چند طیفی را کاهش می‌دهد.

تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی شامل انتقال از مبدا و چرخش محور داده‌ها به جایی که مقادیر درخشندگی اجسام ورودی بهتر باشد. هر ورودی محور مختصات و هر خروجی محور مولفه‌های اصلی است. تبدیل مولفه‌های اصلی شامل دو مرحله است. اولین مرحله از  $n$  هیستوگرام تصویر مورد نظر به عنوان ورودی الگوریتم مولفه‌های اصلی استفاده می‌شود. این الگوریتم  $n$  مولفه اصلی را محاسبه می‌کند. در واقع این مولفه‌های اصلی بردارهای عمود برهم در فضای  $n$  بعدی است که در امتداد بیش‌ترین واریانس باقیمانده قرار گرفته‌اند. ضرایب تصویر  $n$  باند طیفی برای  $n$  مولفه اصلی نهایی از نتایج اولین مرحله با کمک رابطه زیر است:

$$P_k = \sum_i^n a_{i,k} DN(i) \quad (2-3)$$

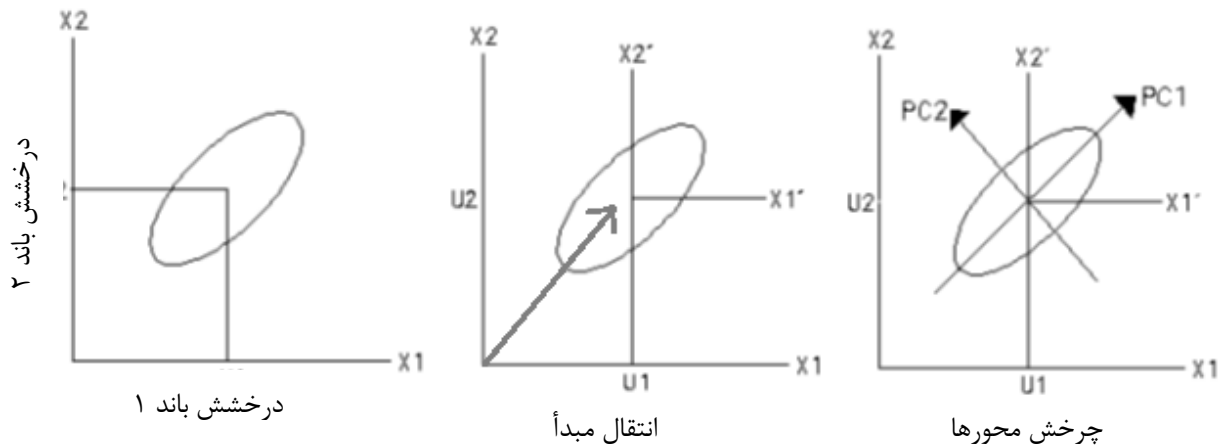
در رابطه فوق  $P_k$  مقدار  $k$ امین مولفه اصلی برای یک پیکسل است،  $DN(i)$  عدد راقومی  $i$ امین باند طیفی برای پیکسل مورد نظر است و  $a_{i,k}$  ضرایب تصویر محاسبه شده با الگوریتم مولفه اصلی برای نمایش اعداد راقومی  $n$  باند طیفی به شکل  $n$  بردار مولفه اصلی است. بیش‌ترین تغییرپذیری اطلاعات در دو یا سه مورد از ورودی‌هاست. ورودی‌های دیگر نقش کم‌تری در تغییرپذیری اطلاعات دارند. نمودار پراکندگی<sup>۱</sup> مقدار درخشندگی دو مورد از ورودی‌هایی که شامل بیش‌ترین تغییرپذیری در اطلاعات هستند، داده‌ها شبیه بیضی است و محورهای اصلی و مبدا مختصات بر آن منطبق نیستند (شکل ۲-۳).

با انتقال مبدا مختصات به نقطه‌ای با مختصات مقادیر میانگین، محورها انطباق بهتری با داده‌ها پیدا می‌کنند. سپس داده‌ها با توجه به محورهای اصلی مبدا جدید انتقال می‌یابند. اولین محور مولفه اصلی در امتداد محور اصلی (طول‌ترین) بیضی قرار دارد و بیش‌ترین تغییرپذیری اطلاعات را شامل می‌شود. محور فرعی که دومین محور مولفه اصلی است، عمود بر محور اصلی بوده و در امتداد واریانس باقیمانده حداکثر قرار دارد. واریانس‌های مولفه‌های اصلی، مقادیر ویژه<sup>۲</sup> نامیده می‌شود. بنابراین حداکثر مقدار واریانس باقی‌مانده، که با افزایش مولفه‌های اصلی کوچکتر می‌شود، توسط هر مولفه بعدی اصلی که عمود بر مولفه‌های اصلی دیگر است، حذف می‌شود. در نتیجه  $n$ امین مولفه شامل همه واریانس‌های باقی‌مانده است و بیش‌ترین پیکسل‌های

<sup>1</sup> Scatter Plot

<sup>2</sup> Eigenvalues

منحصربفرد از نظر طیفی را از پیکسل‌های موجود در تصویر جدا می‌کند. واریانس کل همه مولفه‌های اصلی به صورت خلاصه به صد درصد واریانس کل داده‌ها می‌رسد. اولین سه مولفه اصلی ( $PC_3$ ) معمولاً بیش‌ترین مقدار واریانس (۵۰ تا ۹۵ درصد) را به خود اختصاص می‌دهد، زمانی که  $n > 3$  باشد [Vincent, 1997].



شکل ۳-۲: نحوه ایجاد مولفه‌های اصلی از داده‌ها (Yetkin, 2003)

### ۳-۴-۳-۱- روش کروستا<sup>۱</sup>

تکنیک کروستا همان آنالیز مولفه‌های اصلی جهت‌داری است که از این طریق تعداد باندها برای تحلیل مولفه‌های اصلی کاهش داده می‌شود. کاهش تعداد باندها برای تحلیل مولفه‌های اصلی محققان را مطمئن می‌سازد تا پدیده‌های معینی را شناسایی کرده، احتمال ترسیم محدوده پدیده مورد نظر را در یکی از مولفه‌های اصلی فراهم سازد [Rojas, 2003]. در این روش نیاز به دانستن جزئیات خواص طیفی مواد هدف نیست. نتایج تصاویر تولید شده به روش آنالیز مولفه اصلی به طور دقیق منطقه دگرسان شده را مشخص می‌کند.

مقدار و علامت بردار ویژه درباره خواص طیفی گیاهان، سنگ و خاک اطلاعاتی می‌دهد که مشخص

کننده تغییرات آماری نقشه‌برداری شده در هر مولفه اصلی است و این اساس تکنیک کروستا است.

این روش برای شش باند سنجنده  $ETM^+$  (۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷) و چهارده باند استر بکار برده می‌شود و نتایج روشن ساخته که در هر مورد امکان جداکردن انواع کانی‌ها در هر تصویر مولفه اصلی منفرد نمی‌باشد. بنابراین تعداد کانال‌های ورودی برای پرهیز از تباین طیفی خاص کاهش و تعیین کانال‌های یک مولفه اصلی منحصربفرد برای نوع خاصی کانی افزایش می‌یابد.

میزان همبستگی بین دو باند به مقدار تباین طیفی بین آن‌ها وابسته است. همبستگی بالاتر بین باندهای

طیفی به معنی تباین کم‌تر و همبستگی پایین‌تر به معنی تباین بیش‌تر است [Chavez and Kwarteng, 1989].

<sup>1</sup> Crosta Method

مشخصه انتخاب مولفه اصلی جهت‌دار براساس آزمون بارگیری بردار ویژه آنالیز مولفه‌های اصلی تصمیم‌گیری می‌شود که از مولفه‌های اصلی به طور مستقیم اطلاعات مرتبط با تئوری امضای طیفی اهداف خاص استخراج می‌شود.

### ۳-۴-۴- برآزش به روش حداقل مربعات<sup>۱</sup>

فرض کنید نمونه‌ای از متغیرهای  $y_i$  و  $x_i$  در داده‌های مورد نظر وجود دارد و مقدار  $y_i$  مشخص نیست. روش برآزش حداقل مربعات اجازه می‌دهد متغیر  $y_i$  تخمین زده شود که در آن متغیر  $x_i$  معین است. مقدار تخمین زده شده ( $\hat{y}_i$ ) از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\hat{y}_i = a_0 + a_1 x_i \quad (3-3)$$

که در آن  $y_i$  به وسیله مقدار هر مقدار نامعلوم متغیر متناظر و معلوم  $x_i$  تخمین زده می‌شود. عبارت‌های  $a_0$  و  $a_1$  ضرایب حداقل مربعات نامیده می‌شوند. این ضرایب را می‌توان به وسیله نمونه‌هایی از مقادیر  $X$  و  $Y$  محاسبه نمود. جمع مربع اختلاف بین مقدار واقعی  $y_i$  و مقدار  $\hat{y}_i$  که از معادله تخمین زده می‌شود، برای تمام ضرایب ممکن  $a_0$  و  $a_1$  حداقل می‌شود. این حداقل مربع اختلافات باقی مانده نامیده می‌شود. بنابراین رابطه (۳-۳) به شکل زیر باز نویسی می‌شود:

$$\hat{y}_i = a_0 + a_1 x_i + r_i \quad (4-3)$$

این معادله هنگامی پیچیده می‌شود که بیش از یک متغیر پیشگو<sup>۲</sup> وجود داشته باشد. زمانی که ۶ باند به-عنوان باندهای پیشگو منظور شود، تعداد ضرایب ۷ می‌شود. بنابراین معادله با یک تابع چند جمله‌ای درجه ۶ بیان می‌شود [Mather, 1987].

در این روش فرض بر این است که باندها به عنوان مقادیر ورودی متغیرهای یک عبارت خطی استفاده شود و مقدار  $y$  در معادله، یعنی اطلاعات باند پیشگو، مقدار خروجی محاسبه شده را ارائه دهد. با استفاده از این روش می‌توان مشکل وجود انعکاس نوری گیاهان در باندهای استفاده شده برای شناسایی کانی‌های رسی را برطرف نمود. کانی‌هایی که نسبت به یک باند خاص حساس هستند، فقط با بدست آوردن اختلاف بین مقادیر تخمین زده شده و مقادیر اصلی شناسایی می‌شوند. این اختلاف باقی مانده نامیده می‌شود [Clark et al., 1990].

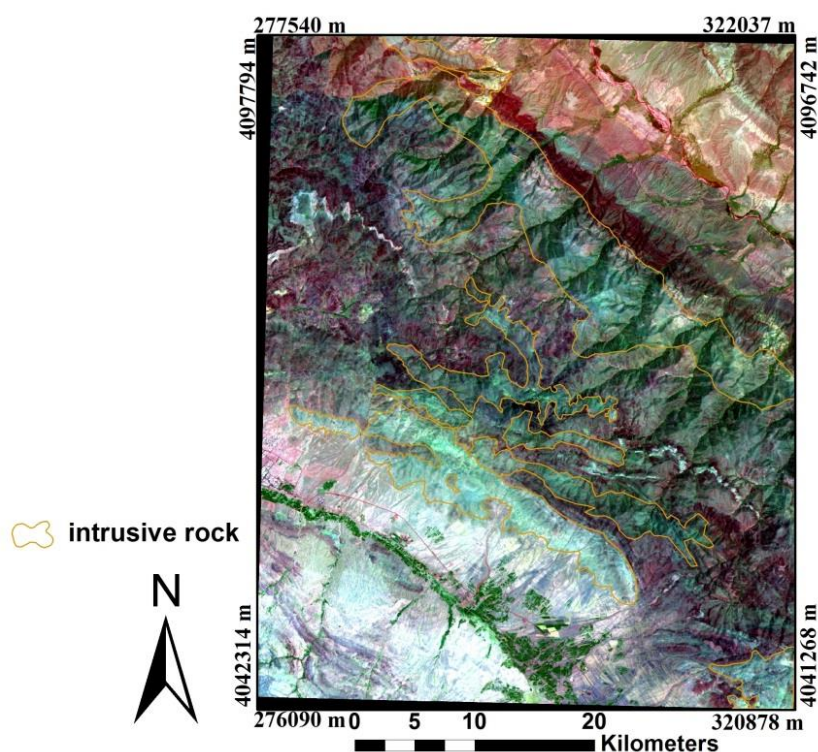
<sup>1</sup> Least Squares Fitting Method

<sup>2</sup> Predictor

### ۳-۵- شناسایی واحدهای سنگی

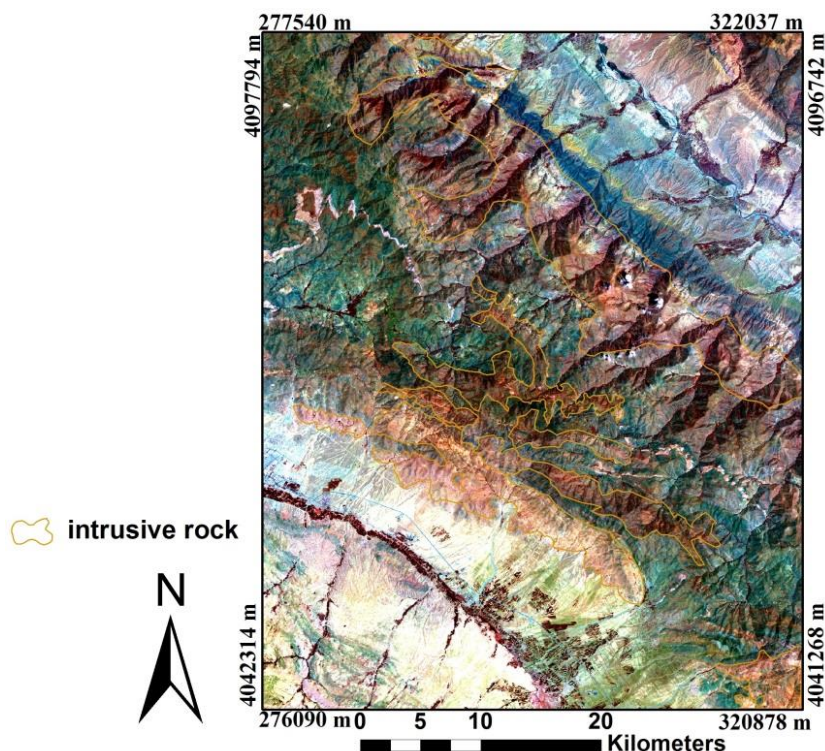
با استفاده از نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌های آستر و  $ETM^+$  می‌توان واحدهای سنگی را شناسایی کرد. از جمله شناسایی توده‌های نفوذی موجود در منطقه که به عنوان شاخصی برای شناسایی کانی‌سازی مس پورفیری استفاده می‌شوند. در این قسمت از ترکیب رنگی باندهای ۳، ۵ و ۱ سنجنده  $ETM^+$  و ترکیب رنگی باندهای ۴، ۱ و ۸ سنجنده آستر برای شناسایی واحدهای سنگی استفاده شده است.

در شکل (۳-۴) ترکیب رنگی باندهای ۴، ۱ و ۸ حاصل از سنجنده آستر دیده می‌شود. در این تصویر توده‌های نفوذی به رنگ سبز دیده می‌شود.



شکل ۳-۳. تصویر حاصل از ترکیب باندهای ۴، ۱ و ۸ سنجنده آستر، توده‌های نفوذی آذرین با خطوط زرد رنگ مشخص شده

در تصویر ترکیب باندهای ۳، ۵ و ۱ به ترتیب به رنگ‌های قرمز، سبز و آبی، توده‌های نفوذی به رنگ نارنجی کم رنگ، سنگ‌های آذرآواری (توف) و ولکانیک آبی مایل به سبز و رسوبات کواترنری به رنگ کرم دیده می‌شوند. توده‌های نفوذی در تصویر با پلی‌گون مشخص شده‌اند (شکل ۳-۴).



شکل ۳-۴. تصویر حاصل از ترکیب باندهای ۵، ۳ و ۱ سنجنده  $ETM^+$ ، توده‌های نفوذی آذرین با خطوط زرد رنگ مشخص شده

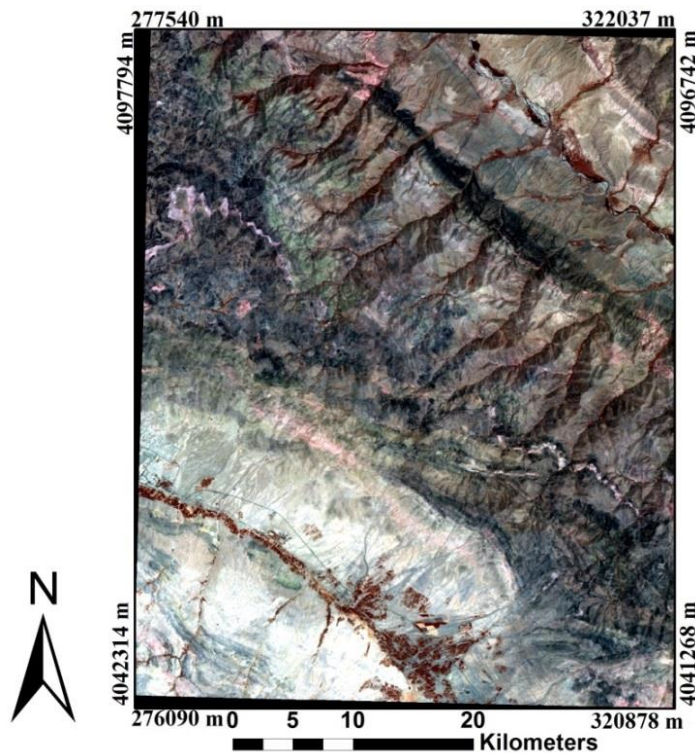
### ۳-۶- شناسایی مناطق دگرسان شده

دگرسانی گرمابی، فرآیند پیچیده درگیر با تغییرات کانی‌شناسی، شیمیایی و بافتی است که از واکنش سیالات آبی داغ با سنگ‌هایی که از میان آن‌ها تحت شرایط فیزیکی‌وشیمیایی عبور می‌کند، بوجود می‌آید. تولید دگرسانی به صورت طبیعی به ویژگی سنگ دیواره، سیال مهاجم، که توسط عواملی مانند اسیدتیه محیط (pH)، الکترونگاتیویته (EH)، فشار بخار انواع مختلف گازهای فرار، ترکیب آنیون- کاتیون و درجه هیدرولیز و دما و فشار که واکنش در آن محل رخ می‌دهد، بستگی دارد [Guilbert and Park, 1986]. در طی دگرسانی گرمابی طیف وسیعی از کانی‌ها ایجاد می‌گردد که مهم‌ترین آن‌ها کانی‌های هیدروکسیل و اکسیدهای آهن است. مطالعه دورسنجی با هدف مشخص نمودن این گونه دگرسانی‌ها انجام شده است. آشکارسازی مناطق دگرسانی از مهم‌ترین کنترل‌کننده‌های کانی‌سازی است. در این‌جا با بهره‌گیری از روش‌های ترکیب رنگی، کروستا، و برازش به روش حداقل مربعات به شناسایی محدوده‌های دگرسانی پرداخته شده است.



### ۳-۶-۱- روش ترکیب رنگی

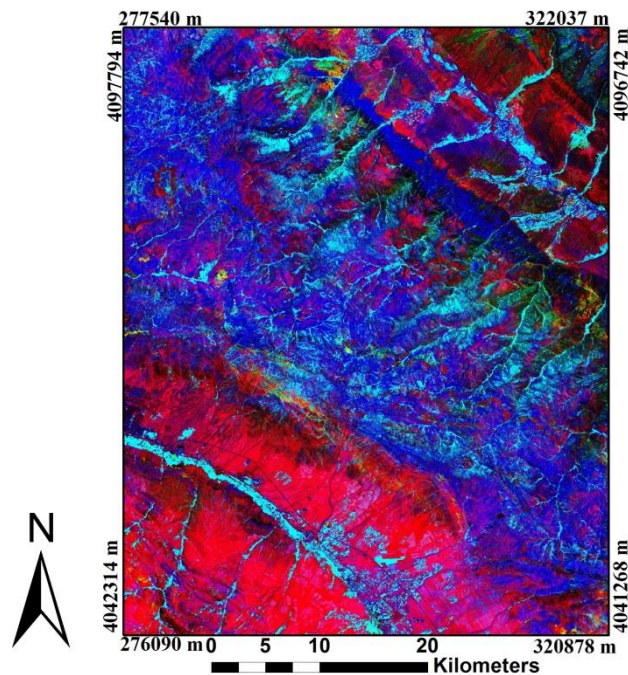
با استفاده از ترکیب باندهای ۴، ۶ و ۸ سنجنده آستر در فیلتر سه‌گانه قرمز، سبز و آبی، تصویری حاصل شده که برای شناسایی مناطق دگرسانی در کانسارهای مس پورفیری مناسب می‌باشد (شکل ۳-۵). در این ترکیب کانی‌های رسی به رنگ صورتی و مناطق پروپلیتیک که کانی‌های شاخص در آن اپیدوت و کلریت هستند، به رنگ سبز دیده می‌شود.



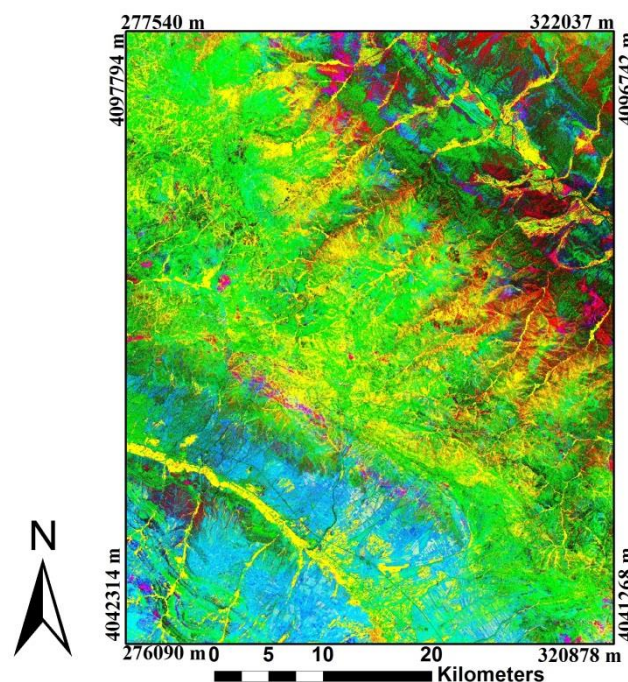
شکل ۳-۵. تصویر حاصل از ترکیب باندهای ۴، ۶ و ۸ سنجنده آستر کانی‌های رسی به رنگ صورتی و زون پروپلیتیک به رنگ سبز

### ۳-۶-۲- نسبت‌گیری بین بانندی

همان‌طور که قبلاً هم گفته شد هدف از نسبت‌گیری بین بانندی تبدیل داده‌ها و کاهش اثرات شرایط محیطی است. انتخاب باندها برای نسبت‌گیری بین بانندی با توجه به خصوصیات طیفی کانی‌ها انجام می‌شود [Jensen, 1996]. نسبت بانندی پنج به هفت نشان‌دهنده کانی‌های رسی است زیرا در باند پنج انعکاس بالا و در باند هفت انعکاس پایین دارند. نسبت بانندی سه به یک برای کانی‌های اکسید آهن بالا و نسبت بانندی چهار به پنج برای آن بسیار پایین است و تقریباً برای شناسایی کانی‌های رسی استفاده می‌شود [Yetkin, 2003]. در شکل (۳-۶) دگرسانی‌های هیدروترمال به رنگ زرد تا نارنجی دیده می‌شود.



شکل ۳-۶. نمایش مناطق دگرسانی گرمایی نسبت بانندی  $R = 3/1$ ,  $G = 5/7$ ,  $B = 4/5$



شکل ۳-۷. نمایش مناطق دگرسانی گرمایی نسبت بانندی  $R = 5/7$ ,  $G = (4/3 - 5/7)$ ,  $B = 3/1$

برای فیلتر کردن نقشه پوشش گیاهی می توان نسبت بانندی چهار به سه را از نسبت پنج به هفت کسر نمود، در مرحله بعد ترکیب رنگی به ترتیب با ساختار  $R = 5/7$ ,  $G = (4/3 - 5/7)$ ,  $B = 3/1$  تهیه نمود (شکل ۳-۷). در این تصویر دگرسانی گرمایی به رنگ ارغوانی دیده می شود.

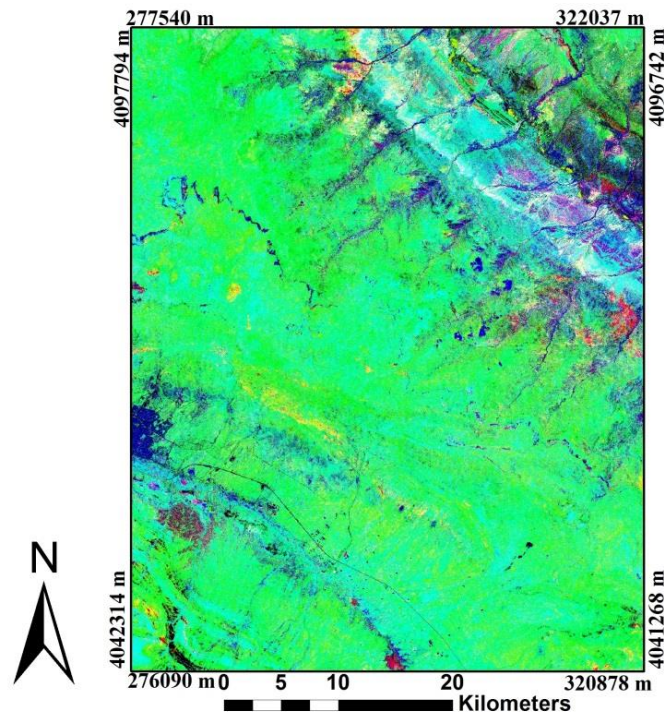
### ۳-۶-۳- تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی

تبدیل مولفه‌های اصلی یکی از روش‌های بارزسازی تصویر برای نشان دادن بیش‌ترین تباین از بین باندهای مختلف با استفاده از ترکیب رنگی قرمز، سبز و آبی است. مولفه اول (PC1) نشان دهنده بیش‌ترین واریانس (تغییرپذیری) است. واریانس مولفه اول بیش‌تر از واریانس مولفه دوم است و به همین ترتیب واریانس مولفه دوم بیش‌تر از مولفه سوم و تا آخر به همین صورت ادامه می‌یابد و به این نحو تفسیر می‌شود که از اولین مولفه اصلی به سمت آخرین مولفه اصلی میزان اطلاعات کم می‌شود [فاطمی و رضایی، ۱۳۸۵]. کاربرد تبدیل مولفه‌های اصلی متنوع هستند. بارزسازی عوارض یکی از کاربردهای شایع تبدیل مولفه‌های اصلی است. اولین مولفه‌ها عوارض را با تمایز بهتری نشان می‌دهند و در مولفه‌های آخر با کاهش اطلاعات مواجه هستیم [فاطمی و رضایی، ۱۳۸۵]. از این روش برای آشکارسازی دگرسانی‌ها نیز استفاده می‌شود. در آنالیز سنجنده  $ETM^+$  باندهای یک تا پنج و باند هفت برای آنالیز مولفه‌های اصلی استفاده شد. در این روش برای انتخاب بهترین مولفه‌های اصلی از مقایسه نسبت‌های باندی سه به یک که برای شناسایی اکسید آهن استفاده می‌شود و نیز نسبت پنج به هفت برای کانی‌های هیدروکسیل و چهار به دو برای نمایش پوشش گیاهی است، استفاده شده است.

همان طور که در جدول (۳-۳) مشاهده می‌شود PC6 برای پوشش گیاهی به کار رفته است که در آن باند ۴ بیش‌ترین انعکاس که از لحاظ عددی مقدار مثبت و باند ۲ مقادیر منفی بیش‌ترین جذب را دارد. همچنین مولفه PC4 نیز برای شناسایی اکسیدهای آهن انتخاب شده‌اند، که در آن‌ها پیکسل‌های روشن نشان دهنده کانی‌های اکسید آهن است زیرا نسبت باند ۳ به باند ۱ مثبت است. برای بارزسازی کانی‌های رسی PC5 بیش‌ترین تباین را نشان می‌دهد. همان طور که در جدول (۳-۳) دیده می‌شود مقادیر ویژه باند پنج در مولفه اصلی پنجم منفی بوده در حالی که مقادیر ویژه باند هفت مثبت است، در نتیجه در تصویر، کانی‌های رسی با پیکسل‌های تیره دیده می‌شود. در باند پنج برای کانی‌های رسی بیش‌ترین انعکاس و برای باند هفت بیش‌ترین جذب را دارد، در نسبت ۵ به ۷ می‌بایست مقادیر صورت مثبت و مقادیر مخرج منفی باشند تا مناطق حاوی کانی‌های رسی روشن نشان داده شوند به همین دلیل مناطق تیره مولفه پنجم در یک منفی ضرب می‌شود. با اختصاص (PC5-) در فیلتر قرمز، (PC4) در فیلتر سبز و (PC6) در فیلتر آبی و پس از آشکارسازی تصویر با استفاده از برابرسازی هیستوگرام تصویر حاصل شده است که مناطق دگرسانی به رنگ زرد تا قرمز کم‌رنگ دیده می‌شود (شکل ۳-۸).

جدول ۳-۳. مقادیر ویژه مولفه های اصلی و باندها

Eigenvector	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 7
PC1	-.۰/۲۴۸	-.۰/۳۴۱	-.۰/۵۲۴	-.۰/۱۶۷	-.۰/۵۳۱	- ۰/۴۸۵
PC2	-.۰/۳۴۹	-.۰/۲۴۴	-.۰/۴۳۸	۰/۶۰۷	۰/۵۰۲	۰/۰۶۴
PC3	۰/۲۲۶	۰/۲۸۸	۰/۲۱۷	۰/۷۱۵	-.۰/۳۱۹	- ۰/۴۵۲
PC4	-.۰/۷۰۶	-.۰/۲۱۲	۰/۵۵۰	۰/۱۳۴	-.۰/۳۰۴	۰/۲۰۳
PC5	۰/۱۵۶	۰/۱۱۹	-.۰/۳۶۰	۰/۲۳۱	-.۰/۵۱۸	۰/۷۱۳
PC6	۰/۴۹۰	-.۰/۸۲۵	۰/۲۲۸	۰/۱۳۷	-.۰/۰۳۶	۰/۰۷۴



شکل ۳-۸. ترکیب رنگی PC6, PC4, PC5: RGB برای آشکارسازی مناطق دگرسانی (پیکسل‌های زرد تا قرمز)

### ۳-۶-۳-۱- روش کروستا

در استفاده از باندهای طیفی مختلف، گاهی فقط به اطلاعات خاصی از بعضی باندهای طیفی احتیاج است و نیاز به تحلیل تمام باندها نیست. آنالیز مؤلفه اصلی انتخابی به همین منظور استفاده می شود، یعنی در حین کاهش ابعاد دادهای ورودی، امکان از دست رفتن اطلاعات مفید به حداقل می رسد و برای نقشه برداری تفاوت‌های طیفی گوناگون مورد استفاده می گیرد. در واقع، اگر تعداد باندهای ورودی کاهش یابد، احتمال تعیین یک PC مشخص برای رده کانی خاص افزایش پیدا می کند [Loughlin, 1991]. در آنالیز

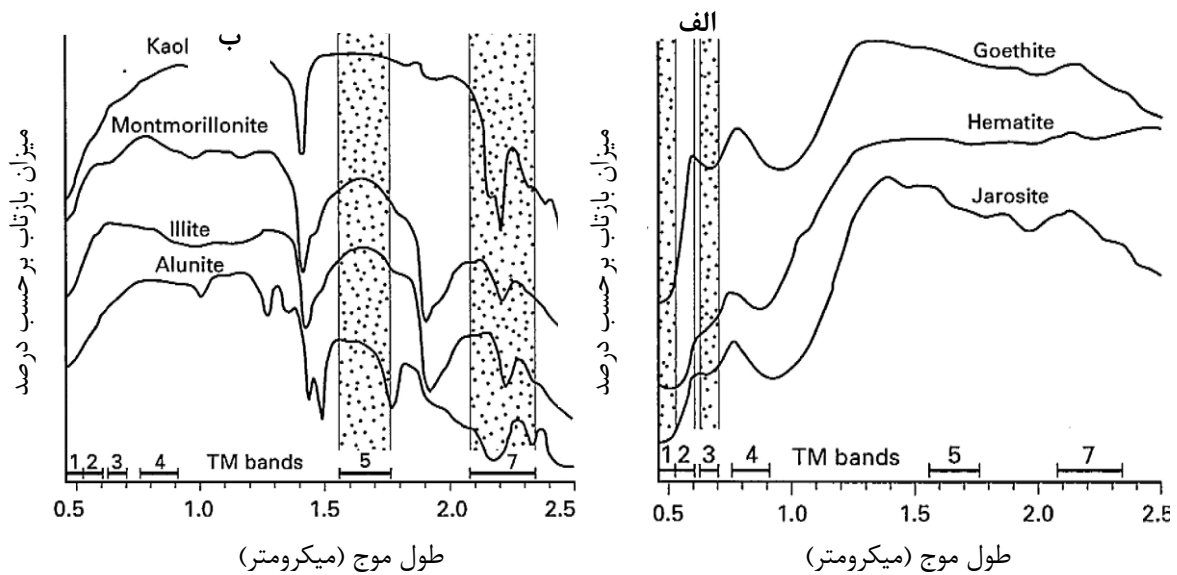
مؤلفه اصلی انتخابی معمولاً از ماتریس همبستگی برای انتخاب باندهای دارای همبستگی پایین تا متوسط برای نقشه برداری تمایز طیفی و باندهای با تمایز بالا برای کاهش ابعاد داده به کار برده می‌شوند [Chaves and Yaw Kwarteng, 1989] انتخاب ۴ باند به عنوان ورودی آنالیز مؤلفه اصلی بر پایه طیف آزمایشگاهی کانی‌های مرتبط با دگرسانی گرمابی است.

کانی‌های مناطق دگرسانی گرمابی، توسط طیف مخصوصی که بیشتر در محدوده مرئی و فرو سرخ نزدیک و میانی طیف الکترومغناطیس است توصیف می‌شوند. باندهای سنجنده  $ETM^+$  به خاطر برخورداری از پهنای زیاد در طیف الکترومغناطیسی، توان تشخیص کانی‌های جداگانه را ندارد. اما به خوبی می‌توانند آن گروه از کانی‌هایی را که در مناطق دگرسانی گرمابی شاخص هستند و ویژگی طیفی آن‌ها بیشتر در محدوده فرو سرخ نزدیک و میانی است، را شناسایی کند. کانی‌های مشخص کننده دگرسانی گرمابی که در اکتشاف کانسارهای مختلف به ویژه نوع پورفیری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شوند، به سه گروه اصلی تقسیم می‌شوند: هیدروکسیل (میکا و رس‌ها)، سولفوهیدرات‌ها (ژیپس و آلونیت) و کانی‌های آهن دار (هماتیت، گوتیت و جاروسیت). کانی‌هایی که طیف آن‌ها متعلق به محدوده فرو سرخ هستند، بیشتر گروه هیدروکسیل‌ها و سولفات‌ها هستند. همچنین اکسید آهن نیز اغلب در مناطق دگرسان شده و در رخنمون‌های سطحی به دلیل هوازدگی مشاهده می‌شود بنابراین تشخیص آن به عنوان کلیدی در ارتباط با مناطقی که احتمال کانی سازی دارند، با اهمیت است. زمانی که اکسید آهن در سنگی حضور دارد، معمولاً سنگ به رنگ سرخ، قهوه ای، نارنجی و خردلی دیده می‌شود. حضور کانی‌های رسی معمولاً یک رنگ روشن به سنگ می‌دهد [Armenta, et al., 1998]. از آنجا که کانی‌های متعلق به مناطق دگرسانی معمولاً در اثر هوازدگی سطحی هم ممکن است در بیرون زدگی‌ها مشاهده شوند، مطالعات صحرایی دقیق و تحقیقات آزمایشگاهی برای کنترل نتایج حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای ضروری است.

فراوانی اکسیدهای آهن به تشخیص مناطق دگرسانی کمک زیادی می‌کند، چون ویژگی‌های طیفی آن‌ها به شدت بر روی باندها  $ETM^+$  در محدوده ۰/۴ تا ۱/۱ میکرو طیف الکترومغناطیسی مربوط به ناحیه مرئی و فرو سرخ اثر می‌کند. طیف شاخص آزمایشگاهی اکسید آهن و ارتباط آن با باندهای لندست در شکل (۳-۹). الف) نشان داده شده است. طیف ژاروسیت در ۰/۴۳ میکرومتر و ۰/۹۲ میکرومتر جذب خوبی از خود نشان می‌دهد. هماتیت بازتاب ضعیفی در ۰/۸۵ میکرومتر و گوتیت در حدود ۰/۹۴ میکرومتر دارد [Hunt and Ashley, 1979]. وقوع پدیده جذب در طول موج‌های کمتر از ۰/۹ میکرومتر نشان دهنده حضور هماتیت به عنوان کانی اصلی است. زمانی که پدیده جذب در طول موج‌های نزدیک و یا بزرگ‌تر از ۰/۹ میکرومتر است ژاروسیت و یا گوتیت بیشتر حضور دارند. حضور ژاروسیت به وسیله بی‌هنجاری‌های جذب در ۰/۴۳ میکرومتر

هم تشخیص داده می شود. بنابراین نسبت باندی ۳ به باند ۱ در سنگ‌های حاوی کانی‌های گروه اکسید آهن مقدار بالایی است. ناحیه فرورسرخ میانی بازتاب بالایی برای بیشتر کانی‌ها (رس‌ها، میکاها، سولفات‌ها و کربنات‌ها) در حدود ۱/۶۵ میکرومتر و جذب بالایی در محدوده حدود ۲/۲ میکرومتر دارد. شکل (۳-۹.ب) طیف بازتاب آزمایشگاهی کانی‌های رسی معمول در مناطق دگرسانی گرمایی یعنی مونت موریلونیت، ایلیت و کائولینیت را به همراه آلونیت و ارتباط آن با باندهای لندست را نشان می دهد. این کانی‌ها جذب و یا حداقل بازتاب را در طول موجی در محدوده باند ۷ لندست و یک بیشینه بازتاب در محدوده باند ۵ لندست نشان می دهند. به همین جهت نسبت باند ۵ به باند ۷ می توان در تشخیص مناطق دارای کانی‌های رسی و آلونیت مناسب باشد. مشکل اصلی در تشخیص این کانی‌ها، پوشش گیاهی است. گیاهان در محدوده ۰/۴۵ میکرومتر تا ۰/۶۸ میکرومتر جذب و به دلیل حضور کلروفیل در برگ‌ها در فرورسرخ نزدیک بین ۱/۶ میکرومتر تا ۲/۲ میکرومتر بازتاب شدید نشان می دهند. در گیاهان جذب مشاهده شده در محدوده ۱/۴ میکرومتر تا ۱/۹ میکرومتر به خاطر حضور آب است. این عملکرد جذبی آب در طیف کانی‌هایی که در ساختار بلوری خود آب یا یون هیدروکسیل دارند، دیده می شود. کانی‌های گروه اکسید آهن و گیاهان در باندهای ۱ (۰/۶۳ - ۰/۵۲ میکرومتر) و ۲ (۰/۶ - ۰/۵۲ میکرومتر)  $ETM^+$  بازتاب مشابهی دارند. بنابراین، این باندها برای تشخیص این دو مناسب نیستند. در باند ۳ (۰/۶۹ - ۰/۶۳ میکرومتر)  $ETM^+$  بازتاب بالایی برای اکسید آهن و جذب قوی برای پوشش گیاهی وجود دارد که میتواند برای تشخیص اکسیدهای آهن از پوشش گیاهی مناسب باشد. باند ۴ (۰/۹ - ۰/۷ میکرومتر)  $ETM^+$  برای تشخیص پوشش گیاهی بسیار مناسب است، زیرا شامل یک جذب قوی برای اکسید آهن در حدود ۰/۹ میکرومتر است. که برای تفکیک اکسید آهن از پوشش گیاهی استفاده می شود. همچنین باندهای ۵ (۱/۷۵ - ۱/۵۵ میکرومتر) و ۷ (۲/۳۵ - ۲/۰۸ میکرومتر)  $ETM^+$  برای تشخیص پوشش گیاهی از هیدروکسیل ها و اکسید های آهن مناسب هستند. چون همان طور که گفته شد، این دو در این باندها طیف بسیار شاخصی دارند [هنرمند و رنجبر، ۱۳۸۴].

تکنیک کروسا با استفاده از چهار باند انتخابی با برجسته سازی پاسخ طیفی گروه کانی‌های اکسید آهن (جذب در قسمت مرئی باند ۱ و ۲ و انعکاس بیش تر در باند ۳) اجرا می شود. کانی‌های حاوی هیدروکسیل (رسی) جذب در باند ۷ و انعکاس بیش تر در باند ۵ دارد. برای شناسایی هیدروکسیل باندهای ۱، ۴، ۵ و ۷ بر اساس ویژگی‌های طیفی کانی‌های هیدروکسیلی انتخاب شده‌اند.



شکل ۳-۹. الف) نمودار بازتاب طیفی کانی‌های اکسید آهن. ب) نمودار بازتاب طیفی کانی‌های رسی (Sabins, 1977)

برای اجتناب از شناسایی اکسیدهای آهن باندهای ۲ و ۳ سنجنده  $ETM^+$  را در بر نمی‌گیرد، اما به جای باند ۱ هر کدام از آنها می‌توانند جایگزین شوند [Loughlin, 1991]. یک ویژگی مهم تصویر H این حقیقت است که سهم منفی برای گیاهان در باند ۴ دارد و بنابراین مناطق با پوشش گیاهی برجسته و از دیگر مناطق تفکیک نمی‌شوند [Tangestani and Moore, 2002].

در اینجا PC4 برای تصویر H (کانی‌های هیدروکسیل، باندهای ۱، ۴، ۵، ۷) انتخاب شد، زیرا بازتاب در PC1 و PC3 برای هر دو باند ۵ و ۷ مثبت است. چون در امضای طیفی کانی‌های هیدروکسیل در باند ۵ مقدار بازتاب بالا و در باند ۷ مقدار بازتاب پایین است، ما به مولفه اصلی که اختلاف بازتاب بالایی دارد، نگاه می‌کنیم، نتایج تجزیه و تحلیل در جدول (۳-۴) آورده شده است. مقدار ویژه باند ۵ و ۷ از نظرتئوری اختلاف بازتاب طیفی بین آنها باید با علامت مخالف باشد. در PC1 و PC3 هر دو علامت مثبت دارند، به این معنی که پیکسل‌های روشن در PC3 مربوط به باند ۵ و ۷ هستند. برای داشتن اختلاف در باند ۵ و ۷، ما به مولفه اصلی با علامت مخالف بردار ویژه آنها نگاه می‌کنیم. در PC4 باند ۵ دارای مقدار ویژه منفی و باند ۷ دارای مقدار مثبت است. بنابراین پیکسل‌های تیره‌تر شناساگر کانی‌های هیدروکسیل در PC4 است. اگر PC4 در یک منفی ضرب شود، پیکسل‌های روشن نشان‌دهنده کانی‌های هیدروکسیل است. در PC2 نیز باند ۵ دارای مقدار ویژه منفی و باند ۷ دارای مقدار مثبت است اما اختلاف بین این دو باند در PC2 کمتر از PC4 می‌باشد.

جدول ۳-۴. مقادیر ویژه مؤلفه‌های اصلی انتخابی برای کانی‌های رسی و باندها (ETM<sup>+</sup>)

Eigenvector	Band1	Band4	Band5	Band7
PC1	۰/۲۹۱	۰/۲۳۰	۰/۶۹۴	۰/۶۱۵
PC2	۰/۴۱۴	-۰/۸۳۹	-۰/۱۶۸	۰/۳۰۹
PC3	-۰/۸۳۷	-۰/۴۰۴	۰/۳۱۲	۰/۱۹۴
PC4	-۰/۲۰۶	۰/۲۸۰	-۰/۶۲۵	۰/۶۹۸

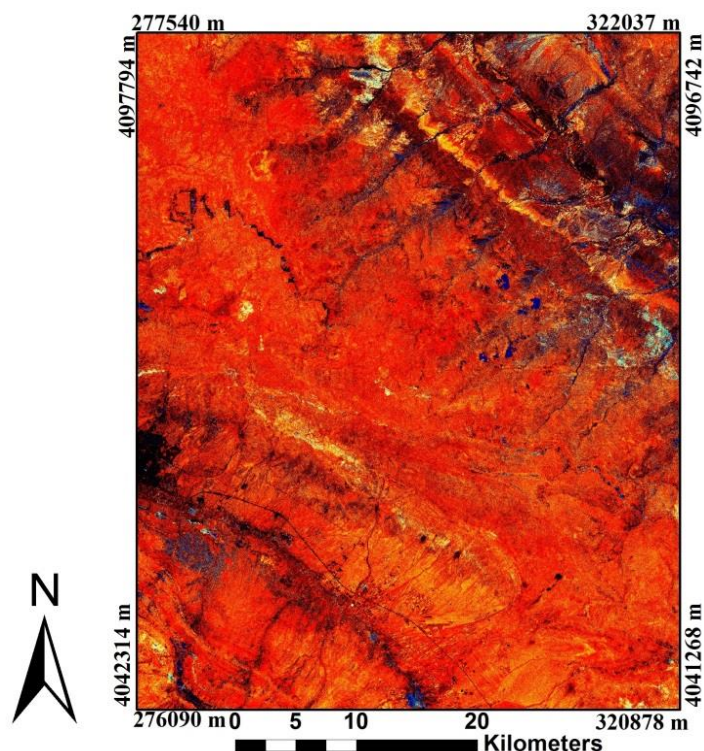
با توجه به مطالب بیان شده در قسمت قبل برای تهیه، نقشه‌های اکسید آهن با استفاده از باندهای ۴،۳،۱ و ۵ سنجنده ETM<sup>+</sup> بدست می‌آیند. حذف باند ۷ به منظور جلوگیری از نقشه برداری هیدوکسید صورت گرفته است. در اینجا PC4 برای تصویر F<sup>-</sup> (کانی‌های اکسید آهن، باندهای ۵،۴،۳،۱) انتخاب شده، زیرا بازتاب در PC4 هر دو باند ۱ و ۳ سنجنده ETM<sup>+</sup> بالاست. همانطور که قبلاً بیان شده کانی‌های اکسید آهن مقدار بازتاب بالا در باند ۳ و بازتاب پایین در باند ۱ دارند، مؤلفه‌های اصلی که اختلاف بازتاب زیادی دارند، مد نظر قرار می‌گیرند. در جدول (۳-۵) PC1 و PC2 باند ۳ و باند ۱ هر دو دارای مقادیر ویژه مثبت و در PC3 هر دو باند مقادیر ویژه منفی هستند که برای جداسازی باند ۱ و باند ۳ مناسب نیستند. علامت مخالف که نشان دهنده میزان اختلاف مقادیر ویژه باند ۱ و باند ۳ در PC4 است، باعث تفکیک شدن باندها می‌شود. در PC4 روشن‌ترین پیکسل‌ها برای شناسایی کانی‌های اکسید آهن است.

جدول ۳-۵. مقادیر ویژه مؤلفه‌های اصلی انتخابی برای کانی‌های اکسید آهن و باندها (ETM<sup>+</sup>)

Eigenvector	Band1	Band3	Band4	Band5
PC1	۰/۳۰۶	۰/۶۴۸	۰/۲۱۸	۰/۶۶۱
PC2	۰/۳۶۶	۰/۴۹۵	-۰/۶۵	-۰/۴۴۱
PC3	-۰/۲۲۴	-۰/۲۵۷	-۰/۷۲۵	۰/۵۹۶
PC4	-۰/۸۴۹	۰/۵۱۶	-۰/۰۱	-۰/۱۰۹

در ترکیب رنگی برای شناسایی مناطق دگرسانی می‌توان میانگینی از F<sup>-</sup> و (-H) گرفت، که در آن F<sup>-</sup> به فیلتر قرمز، F<sup>+</sup>(-H)/۲ به فیلتر سبز و (-H) به فیلتر آبی اختصاص یافته است. پس از تهیه و آشکارسازی تصویر با استفاده از برابرسازی هیستوگرام تصویری حاصل شده است که مناطق دگرسانی به رنگ سفید تا آبی کم‌رنگ دیده می‌شود (شکل ۳-۱۰).



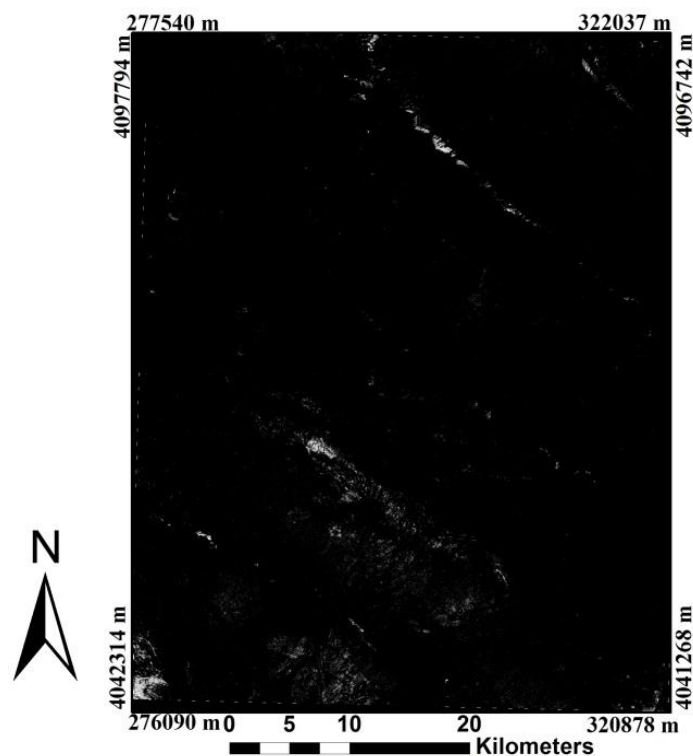


شکل ۳-۱۰. ترکیب رنگی حاصل از داده‌های سنجنده ETM<sup>+</sup> به روش کروسا RGB: F, F+(-H)/2, (-H) برای آشکارسازی مناطق دگرسانی (پیکسل‌های سفید تا آبی کم‌رنگ)

برای شناسایی دگرسانی‌ها با استفاده از تصاویر مربوط به سنجنده استر می‌توان از باندهای ۱، ۲، ۳ و ۴ برای نمایش اکسیدهای آهن استفاده کرد به دلیل اینکه در باند ۲ میزان انعکاس اکسیدهای آهن و در باند ۱ میزان جذب بالاست. مطابق جدول (۳-۶)، در PC4 میزان اختلاف در باند ۱ و ۲ از دیگر باندها بالاتر است.

جدول ۳-۶. مقادیر ویژه مولفه‌های اصلی انتخابی برای کانی‌های اکسید آهن و باندها

Eigenvector	Band 1	Band 2	Band 3	Band4
PC1	-۰/۵۸۲	-۰/۵۳۴	-۰/۵۱۷	-۰/۳۲۸
PC 2	-۰/۳۷۷	-۰/۴۱۸	۰/۸۲۴	۰/۰۵۳
PC 3	۰/۰۷۱	-۰/۴۰۰	-۰/۲۲۸	۰/۸۸۴
PC4	-۰/۷۱۶	۰/۶۱۵	-۰/۰۳۶	۰/۳۲۷

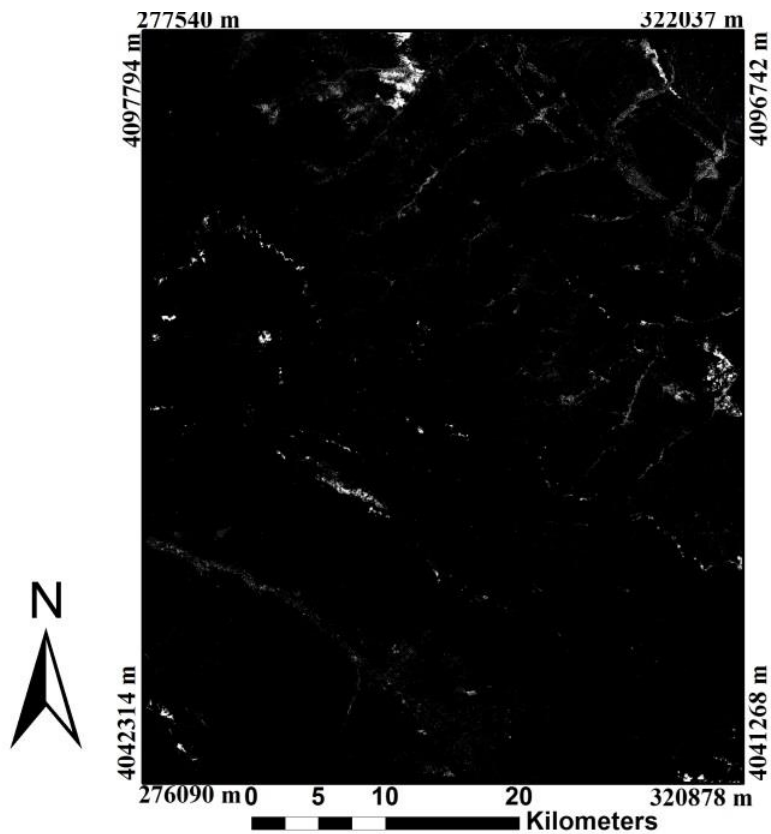


شکل ۳-۱۱. تصویر حاصل از مولفه اصلی چهارم داده‌های سنجنده استر، مناطق دارای اکسید آهن به رنگ روشن

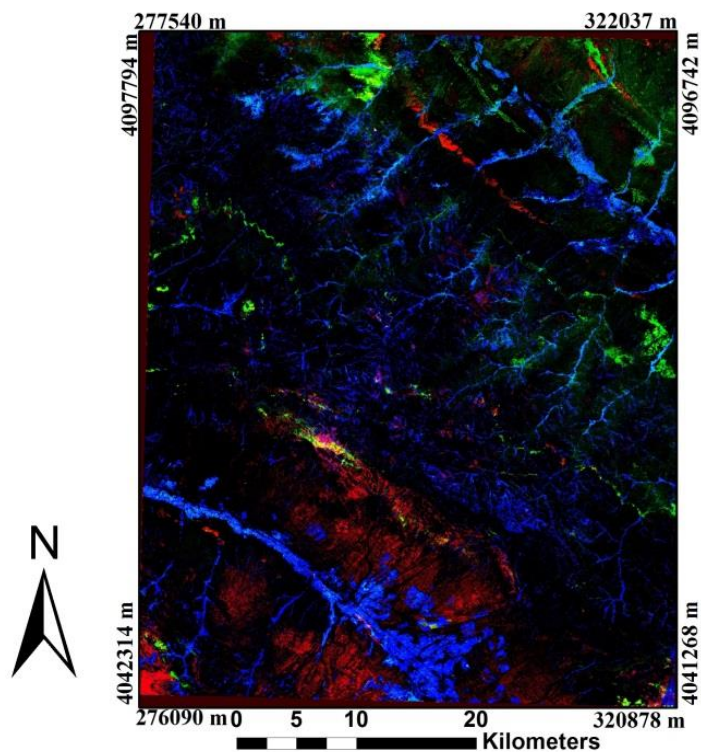
باندهای ۱، ۳، ۴ و ۶ برای کانی‌های هیدروکسیل‌ها استفاده شده است. دلیل انتخاب این مجموعه آن است که کانی‌های هیدروکسیل نظیر کائولینیت در باند ۴ میزان انعکاس بالا و در باند ۶ میزان جذب بالایی دارند. از نظر تئوری اختلاف بازتاب طیفی بین باندها باید با علامت مخالف همراه باشد. در جدول (۳-۷) در PC1، PC2 و PC3 باندهای ۱ و ۶ هر دو علامت منفی دارند اما در PC4 باند ۴ و باند ۶ دارای علامت متفاوتی هستند. در این تصویر پیکسل‌های تیره نشان‌دهنده دگرسانی‌های کانی‌های هیدروکسیل هستند با ضرب نمودن PC4 در یک علامت منفی پیکسل‌های روشن بیانگر دگرسانی مورد نظر است.

جدول ۳-۷. مقادیر ویژه مولفه‌های اصلی انتخابی برای کانی‌های رسی و باندها

Eigenvector	Band 1	Band 3	Band4	Band 6
PC 1	-۰/۶۲۶	-۰/۵۸۳	-۰/۳۷۰	-۰/۲۶۰
PC 2	-۰/۵۴۸	۰/۷۹۸	-۰/۱۲۷	-۰/۲۱۱
PC 3	۰/۵۵۳	۰/۱۳۳	-۰/۵۷۷	-۰/۵۸۵
PC4	-۰/۰۲۴	۰/۰۵۲۴	-۰/۷۱۶	۰/۶۹۵



شکل ۳-۱۲. تصویر حاصل از مولفه اصلی چهارم، مناطق دارای کانی‌های رسی به رنگ روشن

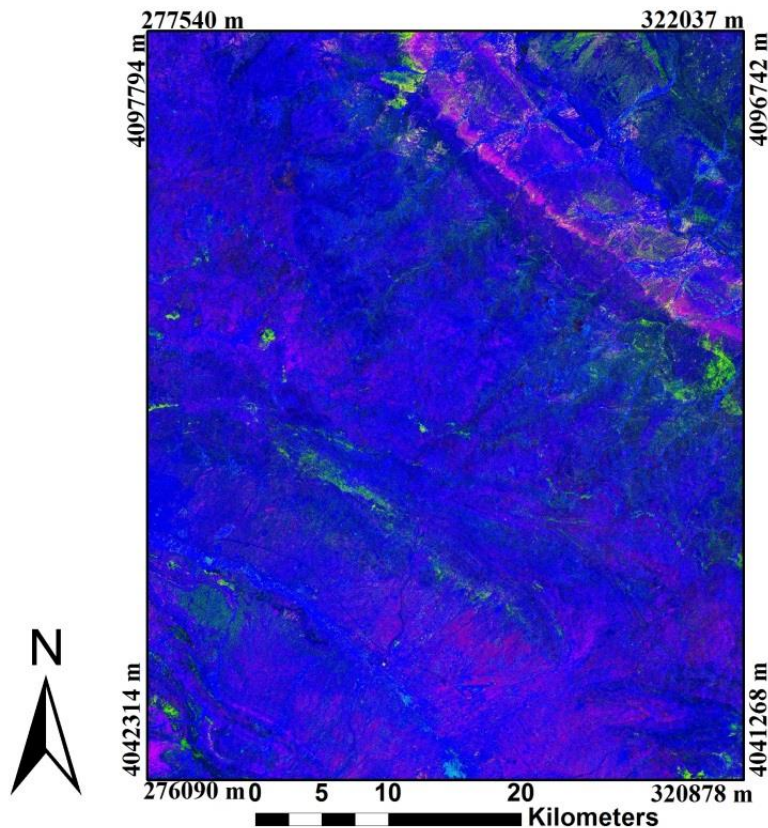


شکل ۳-۱۳. تصویر رنگی حاصل از نمایش PC4 نمایان کننده اکسیدهای آهن به رنگ قرمز، معکوس مولفه اصلی چهار (PC4) بیانگر کانی‌های رسی به رنگ سبز و نسبت باندی 3/2 به رنگ آبی

برای تهیه یک تصویر ترکیب رنگی در محیط RGB، برای شناسایی مناطق دگرسانی از داده‌های سنجنده استر، PC4 حاصل از مجموعه باندهای یک تا چهار سنجنده در فیلتر قرمز، PC4 حاصل از مجموعه باندهای ۱، ۳، ۴ و ۶ در فیلتر سبز و از نسبت باندهای ۳ به ۲ (بیانگر پوشش گیاهی) در فیلتر آبی قرار داده شد (شکل ۳-۱۳). مطابق شکل (۳-۱۳) دگرسانی‌های اکسید آهن به رنگ قرمز و دگرسانی کانی‌های رسی به رنگ سبز دیده می‌شوند که البته بخشی از آن‌ها در مسیر رودخانه‌ها و آبرفت‌ها بوده و در تجزیه و تحلیل‌ها باید منظور شود.

### ۳-۶-۴- روش برازش به روش کمترین مربعات

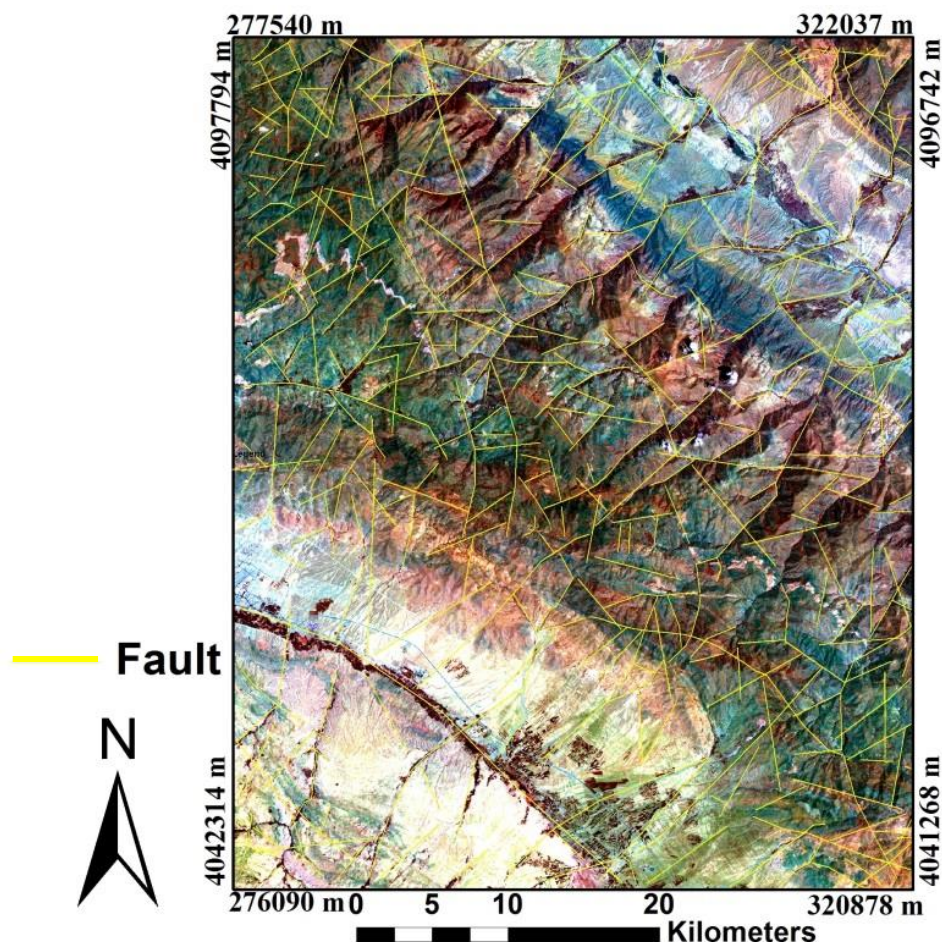
همان‌طور که می‌دانید کانی رسی در باند ۵ بازتاب بالایی دارد، بنابراین از باقی‌مانده باند ۵ می‌توان برای آشکارسازی کانی‌های رسی در تصویر استفاده کرد، به همین ترتیب از باقی‌مانده باند ۳ برای آشکارسازی مناطق دارای اکسید آهن و باقی‌مانده باند ۴ برای مشخص کردن پوشش گیاهی می‌شود. با توجه به شکل (۳-۱۴) و با کمک ترکیب رنگی ۳، ۴ و ۵ قسمت‌های زرد متمایل به سبز دگرسانی‌ها را آشکار کرده‌اند.



شکل ۳-۱۴. تصویر رنگی ایجاد شده با اختصاص باقی‌مانده باند ۳ به فیلتر قرمز، باقی‌مانده باند ۵ فیلتر سبز و باقی‌مانده باند ۴ به رنگ آبی

### ۳-۷- شناسایی گسل و خطواره‌ها

ساختارهای زمین‌شناسی، گسل‌ها و ساختارهای حلقوی در بسیاری از نواحی ارتباط عمده‌ای با کانی‌سازی دارد و شناسایی آن‌ها به کمک تصاویر به اکتشاف مواد معدنی کمک قابل توجهی می‌کند، چون که گسل‌ها می‌توانند به عنوان مجرای برای عبور سیالات هیدروترمال باشند. بنابراین با بکارگیری فیلترهای پردازش تصویر، داده‌های سنجه  $ETM^+$  پردازش شد و با ایجاد تصاویر با ترکیب رنگی متفاوت شرایط لازم برای تفکیک و تشخیص خطواره‌ها فراهم گردید. نمونه‌ای از این تصاویر با ترکیب باندهای ۵، ۳ و ۱ در فیلتر قرمز، سبز و آبی با خطواره‌ها به رنگ زرد در شکل (۳-۱۵) ارائه شده است. البته لازم به ذکر است که در این تصویر افزون بر خطواره‌های حاصل از روش سنجش از دور، از خطواره‌ها و گسل برگرفته از نقشه زمین‌شناسی و نقشه زاویه تمایل داده‌های مغناطیسی برگردان به قطب استفاده شده است.



شکل ۳-۱۵. گسل‌ها و خطواره‌های استخراج شده از تصویر ماهواره‌ای  $ETM^+$ ، نقشه زمین‌شناسی و نقشه زاویه تمایل (زرد رنگ)

### ۳-۸- نتیجه گیری

همان‌طور که نشان داده شده است توده‌های نفوذی بدست آمده در تصاویر سنجش از دور همپوشانی خوبی با توده‌های نفوذی نقشه زمین‌شناسی دارند. دگرسانی‌های بدست آمده از تصاویر سنجده  $ETM^+$  و استر نشان دهنده سه منطقه عمده دگرسانی‌های گرمابی است. در قسمت شمال منطقه دگرسانی شدیدی رخ داده است به طوری که بافت و ترکیب سنگ اولیه کاملاً تغییر یافته و به رنگ سفید در آمده‌اند، با توجه به نقشه زمین‌شناسی در این قسمت اندیس‌های آلونیت وجود دارد. در شرق منطقه دگرسانی‌های گرمابی که نتیجه حرارت توده نفوذی مجاور آن است، دیده می‌شود. در قسمت جنوب غربی منطقه و نیز بر روی توده‌های نفوذی دگرسانی کانی‌های رسی و اکسید آهن وجود دارد. در قسمت‌های دیگر به صورت پراکنده در اطراف توده‌های نفوذی و بر اثر عملکرد محلول‌های گرمابی دگرسانی‌های گرمابی به وجود آمده‌اند.



## فصل چهارم :

روش‌های مغناطیس‌سنجی هوابرد



#### ۴-۱- مقدمه

داده‌های حاصل از برداشت هوایی شامل تمامی توده‌ها و منابع زمین‌شناسی موجود در منطقه مورد مطالعه با اعماق و خواص فیزیکی مختلف می‌باشد. به عبارت دیگر داده‌های برداشت شده در یک منطقه، طیفی از آنومالی‌های سطحی یا باقی‌مانده تا آنومالی‌های عمیق یا ناحیه‌ای را شامل می‌گردد. آنومالی‌های ناحیه‌ای دارای طول موج بلند می‌باشند. در حالی که آنومالی‌های باقی‌مانده دارای طول موج کوتاه هستند [Reynolds, 1997]. بنابراین لازم است این دو دسته آنومالی‌ها از یکدیگر تفکیک شوند تا بدین ترتیب آنومالی‌های مورد نظر آشکارسازی شوند.

در این فصل با استفاده از فیلترهای مختلف به پردازش داده‌های مغناطیس هوایی منطقه مورد نظر جهت تفکیک آنومالی‌های محلی از ناحیه‌ای پرداخته می‌شود که در نتیجه آن به شناسایی توده‌های نفوذی و گسل‌های عمیق منطقه کمک خواهد کرد.

#### ۴-۲- روش مغناطیس‌سنجی

از سه قرن پیش معلوم بوده که زمین به صورت یک مغناطیس بزرگ و تا اندازه‌ای بی‌نظم رفتار می‌کند. اصول و روش مغناطیس‌سنجی برمبنای تغییر در تغییرات و ناهماهنگی‌های مغناطیس زمین قرار دارد و تغییراتی که نیروی مغناطیس در نواحی مختلف با مناطق اطراف خود به وجود می‌آورد مورد اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد.

اگر یک آهنربای میله‌ای را از گرانیگاه آن آویزان کنیم آهنربا بعد از تعادل در جهت خاصی قرار می‌گیرد. در این حالت یک قطب آهنربا که به سمت قطب شمال قرار می‌گیرد، قطب شمال یا قطب مثبت و طرف دیگر آهنربا را قطب جنوب یا قطب منفی می‌نامند. قطب‌های مغناطیسی همیشه به صورت جفت هستند، اما در صورتی که طول آهنربا بی‌نهایت فرض شود، هر کدام از قطب‌ها را می‌توان به صورت یک قطب مجزا در نظر گرفت. شدت مغناطیسی در هر نقطه، مقدار نیروی مغناطیسی در آن نقطه است که بر واحد قطب مغناطیسی وارد می‌شود:

$$H = \frac{F}{P_0} = \frac{P}{\mu R^2} \quad (1-4)$$

که در آن؛ شدت میدان مغناطیسی با واحد اورستد اندازه‌گیری می‌شود و واحد بزرگی است، در نتیجه در عمل از واحد نانو تسلا استفاده می‌شود (اورستد  $1 \text{ nT} = 10^{-5}$ ). ثابت  $\mu$  را قابلیت نفوذپذیری مغناطیسی می‌گویند و مقدار آن به خواص مغناطیسی محلی بستگی دارد که قطب‌ها در آن واقع شده‌اند. میدان مغناطیسی

را می‌توان برحسب چگالی خطوط نیز تعریف کرد یعنی تعداد خطوط نیرویی که از واحد سطح می‌گذرد [Kearey et al., 2002]. قطب مغناطیسی منفرد عملاً وجود ندارد. اگر یک دوقطبی مغناطیسی اندازه قطب-ها مساوی و برابر  $P$  و فاصله آن‌ها از هم  $L$  باشد حاصلضرب  $PL$  به عنوان گشتاور مغناطیسی برای این دو قطبی تعریف می‌شود که در راستای خط واصل دو قطب است و جهت آن از قطب منفی به قطب مثبت است. هنگامی که میدان خارجی  $H$  همگن باشد و گشتاور آن نسبت به خط عمود بر سطح جسم پارامغناطیس زاویه  $\theta$  بسازد شدت مغناطیسی شدن جسم مذکور برابر است با:

$$I = KH \cos \theta \quad (2-4)$$

که در آن؛  $K$  ثابت تناسب جسم پارامغناطیسی یا پذیرفتاری مغناطیسی می‌نامند. مقدار  $K$  برای خلأ و تمامی اجسام غیرمغناطیس صفر است. اجسام دیامغناطیس دارای  $K$  منفی، اجسام پارامغناطیس دارای  $K$  مثبت کوچک و اجسام فرومغناطیس دارای  $K$  مثبت خیلی بالاست [Kearey et al., 2002].

بردار میدان مغناطیسی زمین علاوه بر بزرگی آن، با دو مؤلفه دیگر یعنی زاویه میل مغناطیسی<sup>1</sup> ( $I$ ) و زاویه انحراف مغناطیسی<sup>2</sup> ( $D$ ) شناخته می‌شود. هرگاه عقربه مغناطیسی روی پایه بدون اصطکاکی قرار داده شود، پس از نوسانات متعدد در امتدادی خواهد ایستاد که آن امتداد شمال و جنوب مغناطیسی نامیده می‌شود. این امتداد عموماً با امتداد شمال و جنوب جغرافیایی منطبق نیست، بلکه با آن زاویه می‌سازد که به نام زاویه انحراف مغناطیسی خوانده می‌شود. همچنین عقربه مذکور معمولاً افقی نیست، بلکه با افق زاویه‌ای می‌سازد که زاویه میل مغناطیسی نام دارد. پس بردار کلی مغناطیس زمین را می‌توان به دو مؤلفه به صورت زیر تجزیه کرد:

الف: مؤلفه  $H$  که مقدارش همواره مثبت است، می‌توان آن را به دو مؤلفه شمالی  $X$  و شرقی  $Y$  تجزیه کرد.

ب: مؤلفه قائم  $Z$  که اگر به سمت پایین باشد مثبت و در غیر این صورت با علامت منفی در نظر گرفته می‌شود، هفت پارامتر زاویه انحراف مغناطیسی، زاویه میل مغناطیسی، مؤلفه افقی و قائم میدان، مؤلفه شمالی و شرقی میدان مغناطیسی و میدان کل مغناطیسی که به ترتیب  $F, H, Z, Y, X, I, D$  از اجزای میدان مغناطیسی زمین بوده که با روابط زیر به هم مرتبط می‌شوند [Kearey et al., 2002]:

$$F^2 = H^2 + Z^2 = X^2 + Y^2 + Z^2 \quad (3-4)$$

$$H = F \cos I \quad , \quad Z = F \sin I \quad (4-4)$$

<sup>1</sup> Inclination

<sup>2</sup> Declination

هر ترکیب سه تایی از این اجزا برای مشخص کردن بردار میدان مغناطیسی زمین کافی است. انواع دستگاه-های ژئوفیزیکی برای اندازه‌گیری یک یا چند از این اجزا ساخته شده است. صفحه قائمی که بردارهای  $Z$ ,  $H$ ,  $F$  را در برمی‌گیرد اصطلاحاً نصف النهار مغناطیسی محلی زمین نامیده می‌شوند. شکل آنومالی‌های مغناطیسی و تغییرات میدان مغناطیسی به ضریب خودپذیری  $K$  و عمل مؤلفه‌های بردار میدان مغناطیسی زمین  $I$  (زاویه میل مغناطیسی) و  $D$  (زاویه انحراف مغناطیسی) بستگی دارد. برای نمایش تغییرات مؤلفه‌های مختلف میدان مغناطیسی زمین، نقشه‌های مختلفی مانند نقشه هم شدت میدان، نقشه هم میل مغناطیسی و ... تهیه می‌شود که وضعیت و چگونگی تغییرات آن مؤلفه را نقاط مختلف کره زمین نشان می‌دهد [Kearey et al., 2002].

#### ۴-۳- برداشت‌های مغناطیسی

برداشت‌های مغناطیسی برحسب وسعت زمین‌های مورد تجسس می‌تواند در مقیاس‌های مختلف به اجرا درآید که برای برداشت‌های با وسعت زیاد از هواپیما برای این منظور استفاده می‌شود. اطلاعات حاصل در این مقیاس مربوط به ساختارهای بزرگ زمین‌شناسی مدفون در زیر رسوبات، سنگ‌های پایه‌ی آذرین (به ویژه سنگ‌های بازی و فوق بازی) حوزه‌های رسوبی (اکتشاف نفت) و ساختارهای زمین‌شناسی مانند گسل-های اصلی منطقه است. کاوش‌های صحرایی شامل مطالعات زمین‌شناسی محلی، اکتشاف معدنی و نفتی و نیز در بزرگ مقیاس بررسی‌های زیست محیطی است [انوروزی، ۱۳۸۸]. داده‌های مغناطیس‌هوایی منطقه در سال ۱۹۷۷ با فاصله خطوط پرواز  $7/5$  کیلومتر برداشت شده است [دریافت از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور] با استفاده از نسخه  $6/4$  نرم‌افزار اوسیس مونتاژ<sup>۱</sup> شرکت ژئوسافت تصحیح و پردازش شده‌اند.

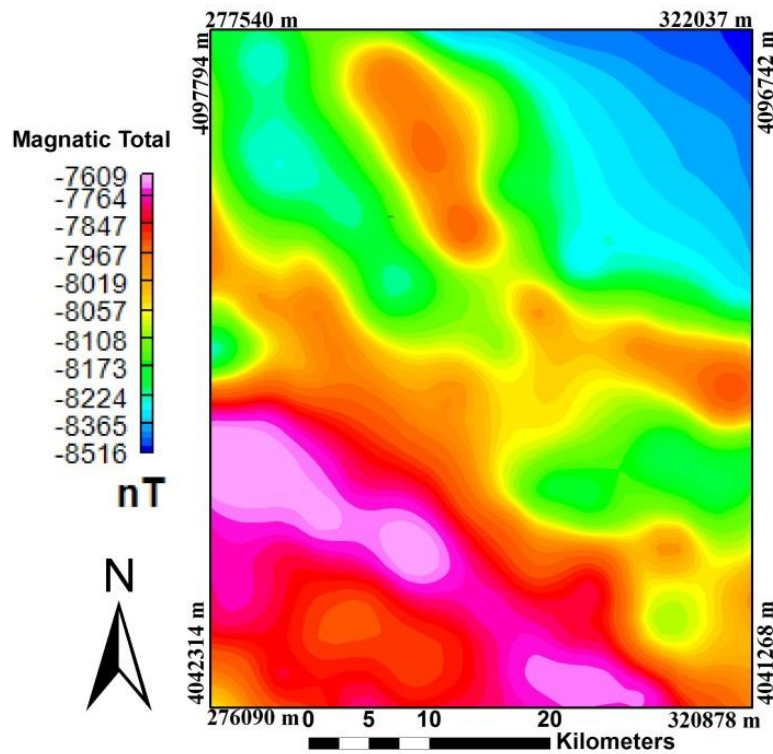
#### ۴-۴- تصحیح عرض جغرافیایی

میدان مغناطیسی اصلی زمین برحسب طول و عرض تغییر می‌کند که در این بین تغییرات برحسب طول جغرافیایی بسیار کم است و در این مطالعات از آن صرف‌نظر می‌شود. میدان مغناطیسی زمین از  $25000$  نانو تسلا در استوا تا حدود  $69000$  نانو تسلا در قطب‌ها متغیر است، که بدین ترتیب، تغییرات میدان زمین برحسب عرض جغرافیایی به ویژه زمانی که منطقه مورد مطالعه گسترش زیادی داشته باشد (مانند مطالعات هوابرد) قابل توجه خواهند بود.

<sup>1</sup> Osis Montaj

#### ۴-۴-۱- استفاده از میدان مرجع ژئومغناطیس بین المللی (IGRF)

تصحیح عرض جغرافیایی هر ایستگاه با تفریق میدان پتانسیل اصلی زمین از مقدار اندازه‌گیری شده به دست می‌آید. مقدار میدان مغناطیسی مربوط به هسته زمین از طریق نرم‌افزار<sup>۱</sup> IGRF براساس طول و عرض جغرافیایی هر ایستگاه محاسبه شد. پس از تصحیح عرض جغرافیایی می‌توان برای تفسیر داده‌های مغناطیس هوایی و زمینی آن‌ها را به صورت نقشه شدت کل میدان مغناطیسی نمایش داد. به منظور نشان دادن شکل و موقعیت آنومالی‌ها از نقشه‌های رنگی که در نرم‌افزار اوسیسی مونتاژ تهیه می‌شود، استفاده شده است. معمولاً رنگ‌های آبی شدت کم و رنگ قرمز شدت بالا میدان مغناطیسی را نشان می‌دهد [ Jaques et al., 1977] (شکل ۴-۱).



شکل ۴-۱. نقشه بی‌هنجاری میدان کل مغناطیسی منطقه طارم

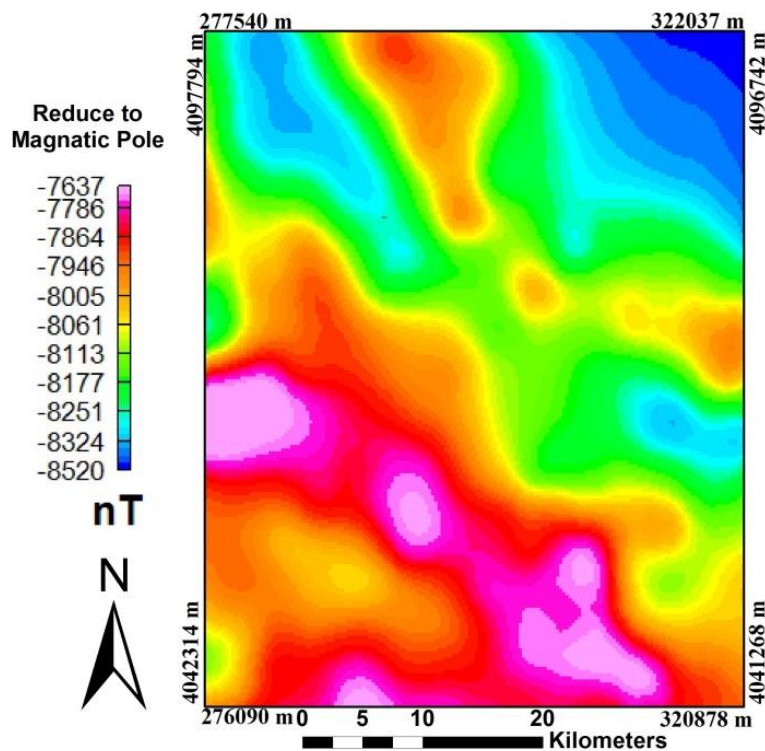
#### ۴-۵- برگردان به قطب<sup>۲</sup> داده‌های مغناطیسی

یکی از عوامل مؤثر بر شکل آنومالی مغناطیسی زاویه میل بردار میدان مغناطیس زمین است. مقدار زاویه میل مغناطیسی در قطب ۹۰ درجه، در استوا صفر و سایر محل‌ها مقادیری بین صفر و ۹۰ درجه بر مبنای عرض جغرافیایی دارد، به غیر از مواردی که توده در قطب مغناطیسی واقع شده است. سایر آنومالی-

<sup>۱</sup> International Geomagnetic Reference Field

<sup>۲</sup> Reduction to the pole (RTP)

های مغناطیسی شکل نامتقارن دارند. به همین دلیل، آنومالی‌های مشاهده‌ای در نقشه کل میدان مغناطیسی درست بر روی محل منبع ایجاد کننده ناهنجاری‌ها قرار نمی‌گیرد. زاویه میل مغناطیسی باعث می‌شود آنومالی‌های مغناطیسی نسبت به منبع ایجاد کننده خود انحراف داشته باشند، از این رو فیلتر برگردان به قطب بر روی داده‌های مغناطیسی اعمال می‌شود. در این حالت بی‌هنجاری‌ها به‌طور قائم در بالای منبع ایجاد کننده خود قرار می‌گیرند [Arkani, 1990]. تفسیرها بر روی داده‌های برگردان به قطب شده انجام می‌گیرد.



شکل ۴-۲. نقشه برگردان به قطب میدان مغناطیسی منطقه طارم

#### ۴-۶- تفکیک و آشکارسازی

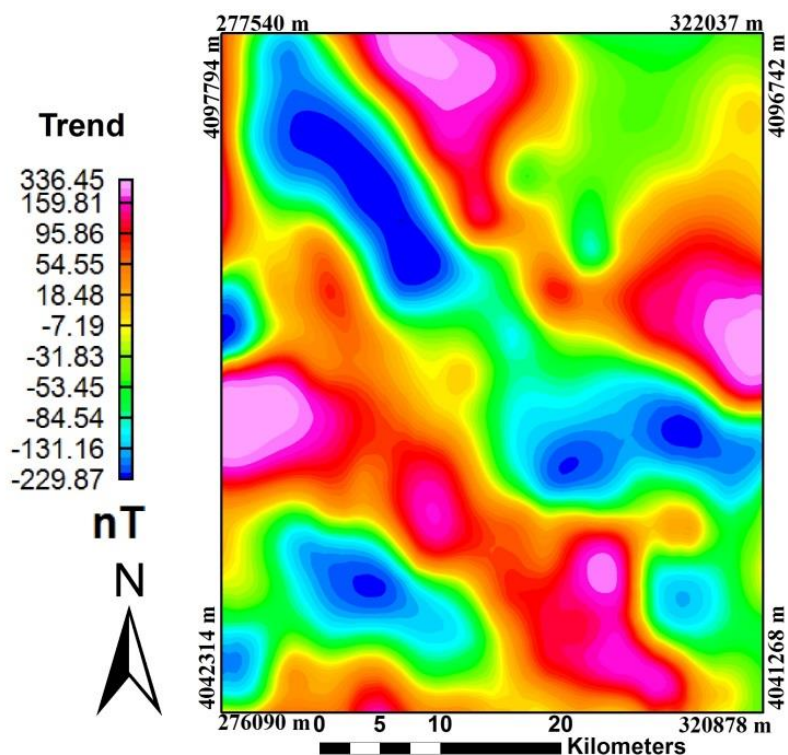
در نقشه‌های میدان پتانسیل، تاثیرات سنگ بستر با تغییرات ملایم و خطی مشخص می‌شوند. این اثرات خطی، آنومالی‌های ناحیه‌ای نامیده می‌شود. آنومالی ناحیه‌ای دارای فرکانس پایین و طول موج بلند در حالی که آنومالی‌های باقی‌مانده که از کم کردن مقادیر آنومالی برداشت شده از آنومالی ناحیه‌ای بدست می‌آیند و ناشی از منابع زیرسطحی کم‌عمق هستند، دارای فرکانس بالا و طول موج کوتاه می‌باشد. در کارهای اکتشافی برای تفکیک آنومالی‌های محلی یا باقی‌مانده، آنومالی‌های ناحیه‌ای از آنومالی‌های مشاهده‌ای کم می‌شوند. برداشت‌های میدان پتانسیل برای مقاصد مختلفی انجام می‌شود مانند کشف امتدادهای ساختمانی، بررسی پی‌سنگ منطقه و کشف و تحلیل منابع آنومالی مربوط به توده‌های معدنی [Grant and west,

1965]. بسته به هدف و همچنین مقیاس برداشت داده‌های میدان پتانسیل آنومالی‌های ناحیه‌ای و یا باقی-مانده به کار گرفته می‌شوند. به عنوان مثال هنگامی که برداشت مغناطیس‌هوایی در مقیاس وسیع در منطقه‌ای انجام می‌گیرد و هدف کشف امتداد ساختمان‌های زمین‌شناسی در منطقه است، نقشه آنومالی ناحیه‌ای کاربرد دارد. یکی از مهم‌ترین مراحل در تفسیر داده‌های میدان پتانسیل تفکیک قائم آنومالی‌های ناشی از منابع محلی و منطقه‌ای و شناسایی مرزهای افقی آنهاست که با استفاده از فیلترهای پردازش تصویر صورت می‌گیرد.

#### ۴-۶-۱- روش روند سطحی

یکی از انعطاف‌پذیرترین تکنیک‌های تحلیلی برای تعیین اثرات ناحیه‌ای، روش روند سطحی می‌باشد. در این روش میدان ناحیه‌ای از مقادیر مشاهده شده‌ای به وسیله روش کمترین مربعات تقریب زده می‌شود [Hinze, 1990]. این روش به علت انعطاف‌پذیری بالا بکارگیری فرمول‌های ریاضی می‌تواند مقدار اثر ناحیه‌ای آنومالی را محاسبه نماید. در این روش، میدان ناحیه‌ای از مقادیر مشاهده‌ای به وسیله کمترین مربعات تقریب زده می‌شود. این روش براساس محاسبه سطحی (به روش ریاضی) استوار است که بهترین تطابق را نسبت به مقادیر مشاهده‌ای داشته باشد. درجه روند سطحی به پیچیدگی زمین‌شناسی ناحیه‌ای بستگی دارد [Dobrin and savit, 1988]. از درجه‌های بیش‌تر روند سطحی برای حالت‌های پیچیده‌تر استفاده می‌شود. هرچه درجه روند بیش‌تر باشد آنومالی‌های باقی‌مانده کوچک‌تر و برجسته‌تر می‌شوند و هم-پوشانی بین مقادیر سطح مذکور و مشاهده‌ای بیش‌تر خواهد شد، بنابراین مقادیر باقی‌مانده به سمت صفر میل خواهند نمود. در این حالت تفکیک اطلاعات به دو مؤلفه باقی‌مانده و ناحیه‌ای مفهومی نخواهد داشت و به این ترتیب هدف اصلی کار نادیده گرفته می‌شود [دولتی، ۱۳۷۵].

با توجه به اینکه میدان پتانسیل حاوی دو مؤلفه محلی و ناحیه‌ای هستند، برای تفکیک آنومالی ناحیه-ای از روش روند سطحی استفاده گردید. در این روش بر داده‌های مغناطیسی سطح چند جمله‌ای عبور داده است که پیچیدگی معادله ریاضی آن سطح به روند حاکم بر داده‌ها بستگی دارد. با توجه به اینکه انتخاب درجه چند جمله‌ای بستگی به میزان پیچیدگی زمین‌شناسی ناحیه‌ای دارد، لذا چند درجه مختلف برای تهیه روند سطحی محدوده محاسبه و از آزمون فیشر برای تعیین نوع درجه چند جمله‌ای بهره گرفته شده است. نتیجه حاصل از این کار، روند سه سطحی برای تفکیک آنومالی انتخاب شد.



شکل ۴-۳. نقشه باقیمانده حاصل از حذف روند سطح درجه ۳ میدان مغناطیسی منطقه طارم

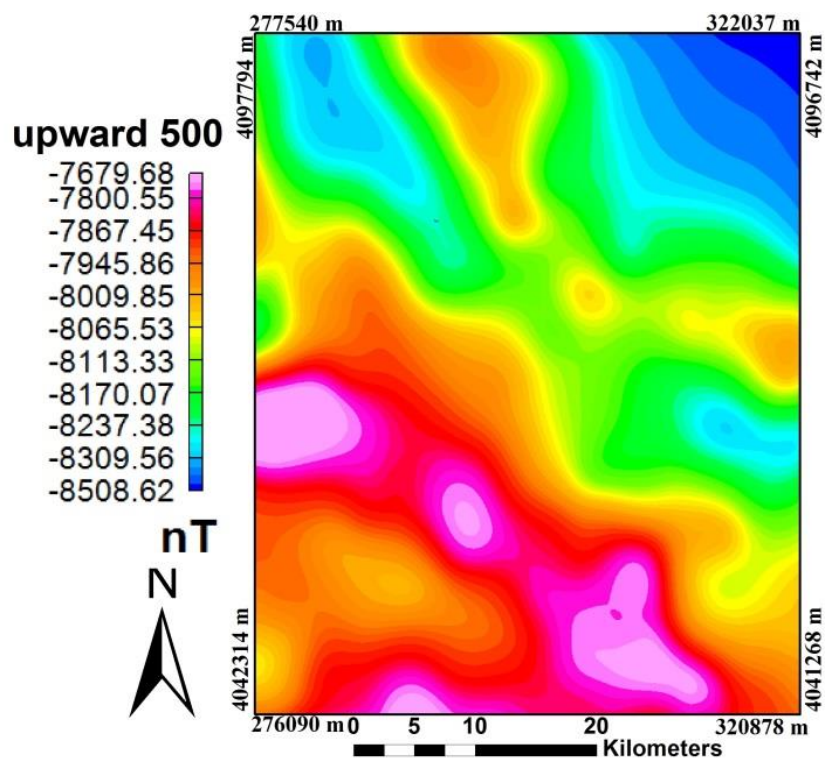
#### ۴-۶-۲- گسترش میدان به سمت بالا<sup>۱</sup> (ادامه فراسو)

محاسبه میدان‌های پتانسیل در سطحی متفاوت از سطح برداشت (معمولاً از زمین) را گسترش میدان پتانسیل گویند این عملیات شامل اندازه‌گیری در سطحی بالاتر از سطح برداشت که گسترش به سمت بالا نام دارد [Bergon et al, 1990]. یکی از روش‌های تفکیک آنومالی‌های میدان پتانسیل، روش گسترش به سمت بالا می‌باشد. با کاربرد این روش تاثیرات عمیق به وضوح مشخص و داده‌های میدان پتانسیل بوسیله معادلات ریاضی از یک سطح مبنا بر روی سطوح ترازوی در بالای آن تصویر می‌شوند. تغییر دادن به یک سطح بالاتر، اثر آنومالی‌هایی را که دورتر هستند کاهش می‌دهد، ولی اثرات آن روی آنومالی‌های سطحی و محلی بسیار بیش‌تر است زیرا تغییر در مسافت برای این منابع به‌طور نسبی بزرگتر از منابع عمیق و وسیع است. بنابراین در یک سطح بالاتر، الگوی تغییرات منطقه‌ای به‌طور واضح نمایان شده و آنومالی‌های باقی‌مانده (محلی) تضعیف می‌شوند [Borgen et al, 1990]. گسترش به سمت پایین ماهیت ناپایدار دارد و نویز زیادی به داده‌ها منتقل می‌کند از این‌رو این روش کم‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین استفاده از روش گسترش به سمت بالا تاثیرات سطحی را حذف و تاثیرات عمقی را به وضوح مشخص می‌نماید. نتایج حاصل

<sup>1</sup> Upward continuation

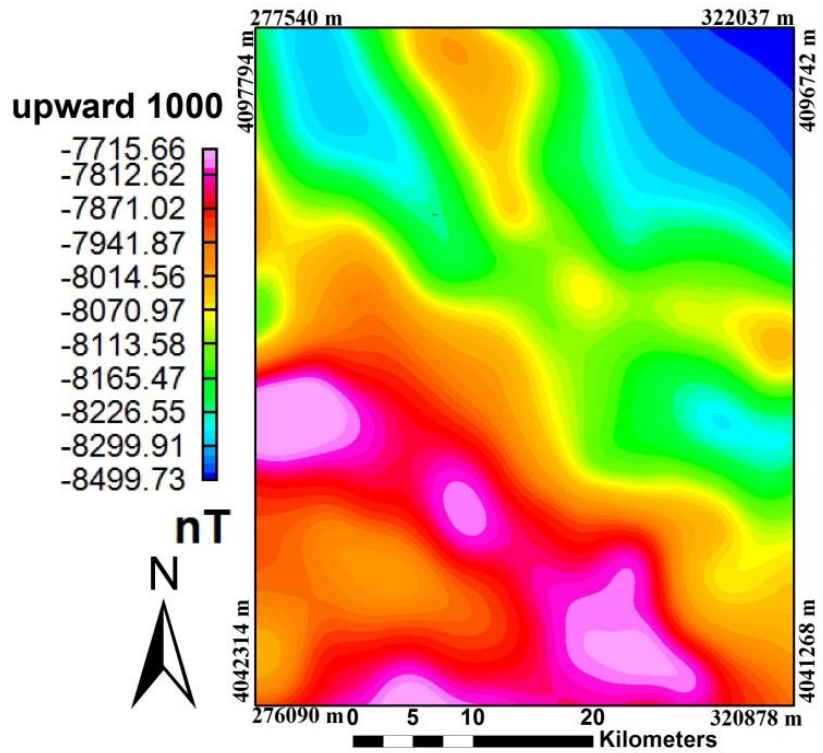
از این روش نشان می‌دهد، با دور شدن از سطح مینا و افزایش میزان ارتفاع، آنومالی‌های کوچک با طول موج کوتاه ضعیف شده و در نتیجه آنومالی‌های منطقه با طول موج بلند باقی می‌مانند. در این روش، تفکیک قائم توده‌های آنومال براساس طول موج‌های متفاوت آنومالی‌ها، انجام می‌گیرد اما در تفکیک جانبی آنومالی‌ها خیلی کارایی ندارد [حدادیان، ۱۳۹۰].

با استفاده از نرم‌افزار اوسیسی مونتاژ مقدار گسترش میدان به سمت بالا در ارتفاع‌های مختلفی مانند ۵۰۰ متر، ۱۰۰۰ متر، ۲۵۰۰ متر و ۵۰۰۰ متر (شکل‌های ۴ تا ۷) ترسیم شده‌اند. در ارتفاع ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۵۰۰ متر به علت بزرگی و ابعاد آنومالی اثر تغییرات آن کم و تدریجی بوده و در ارتفاع‌های بیش از ۵۰۰۰ متر تقریباً آنومالی‌ها از بین رفته است که نشان دهنده نیمه عمیق بودن آنومالی‌های منطقه است.

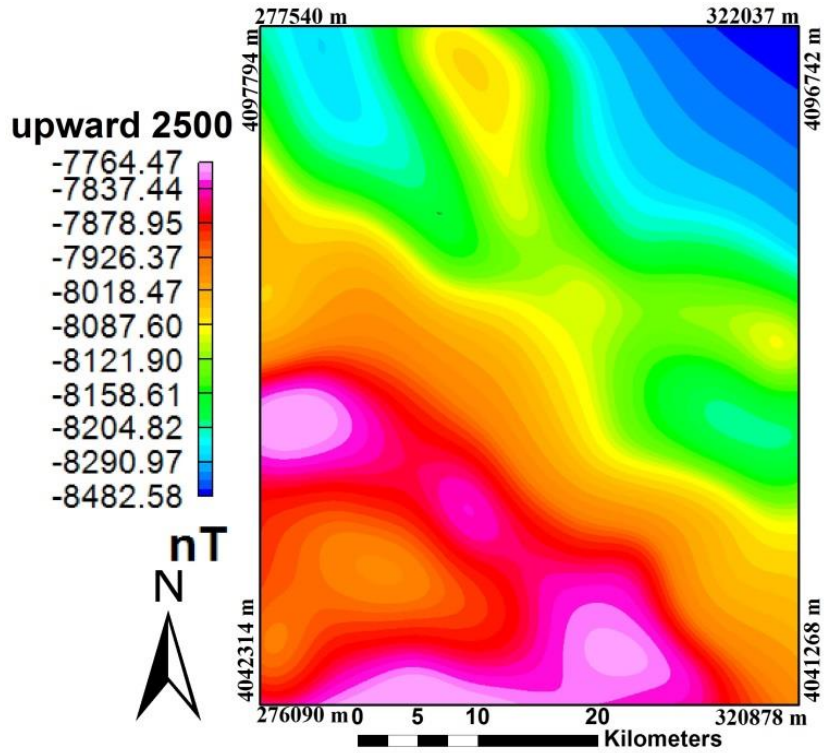


شکل ۴-۴. نقشه گسترش به سمت بالای ۵۰۰ متر بر روی نقشه مقادیر برگردان به قطب میدان مغناطیسی منطقه طارم

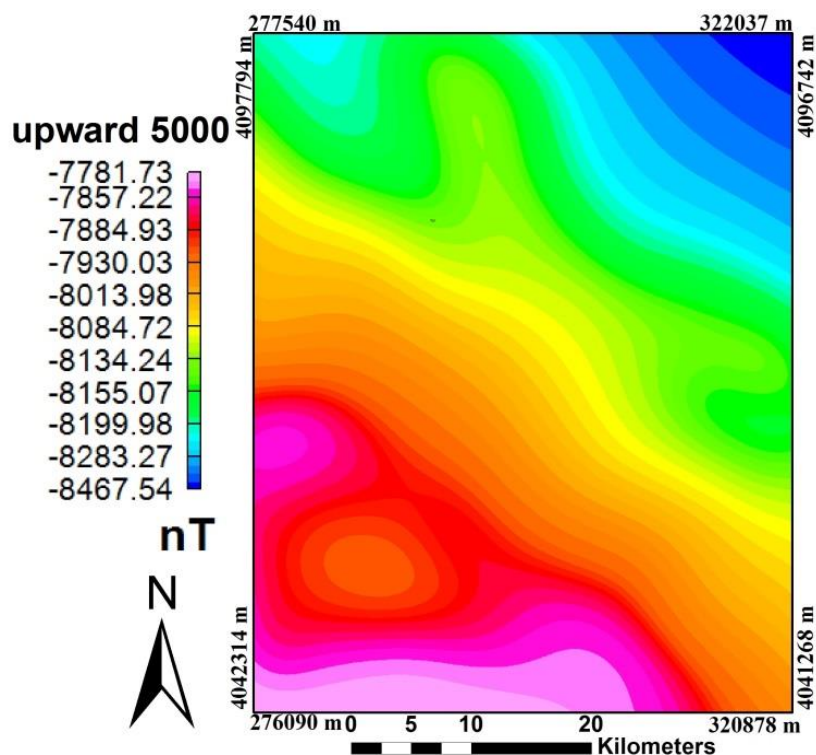




شکل ۴-۵. نقشه گسترش به سمت بالای ۱۰۰۰ متر بر روی مقادیر برگردان به قطب میدان مغناطیسی منطقه طارم



شکل ۴-۶. نقشه گسترش به سمت بالای ۲۵۰۰ متر بر روی مقادیر برگردان به قطب میدان مغناطیسی منطقه طارم



شکل ۴-۷. نقشه گسترش به سمت بالای ۵۰۰۰ متر بر روی مقادیر برگردان به قطب میدان مغناطیسی منطقه طارم

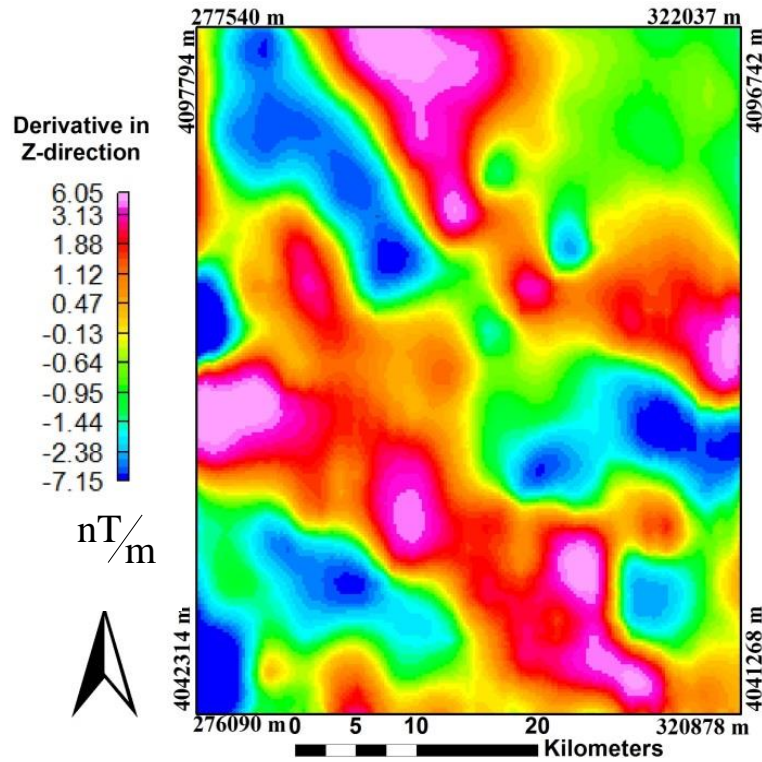
#### ۴-۶-۳- فیلتر مشتق قائم

یکی از پرکاربردترین فیلترهای مورد استفاده در تفسیر داده‌های میدان پتانسیل فیلتر مشتق قائم<sup>۱</sup> است و نقش آن‌ها در جداسازی آنومالی‌های ناحیه‌ای و باقیمانده و تخمین مرز است. فیلتر مشتق قائم با افزایش مرتبه مشتق مرزها و آنومالی‌ها را برجسته‌تر نشان می‌دهند ولی چون در گروه فیلترهای بالاگذر جای می‌گیرند، همزمان با آنومالی‌ها نویزهای موجود در نقشه‌ها و تصاویر نیز برجسته خواهد شد. با افزایش مرتبه مشتق قائم، آنومالی‌ها برجسته‌تر می‌شوند اما از آنجایی که این فیلتر از نوع فیلتر بالاگذر است لذا به طور ناخواسته، نویزها نیز برجسته می‌شوند. این امر به ویژه در مشتقات قائم مرتبه بالاتر ظاهر خواهد شد. به طور معمول استفاده از این فیلتر فقط به مرتبه‌های اول و دوم محدود می‌شود.

فیلترهای متعددی از جمله به کارگیری مشتق قائم برای شناسایی مرزهای افقی توده‌های آنومال وجود دارد. این فیلترها می‌توانند مرز بین واحدهای زمین‌شناسی را با وضوح بیشتری مشخص می‌کنند و ساختمان‌های سطحی و عمیق را برجسته نمایند و یا عوارض را از زوایای مختلف نمایش دهند بر روی مرز آنومالی مشتق قائم صفر است اما به هر حال تفاوتی بین لبه‌های بدست آمده و لبه‌های واقعی وجود دارد که این تفاوت با شکل مرز، عمق، اندازه و دیگر فاکتورهای توده زمین‌شناسی تغییر می‌کند [حدادیان، ۱۳۹۰].

<sup>1</sup> Vertical Derivative

به منظور بررسی وجود احتمالی ساختارهای کم عمق از مشتق جزئی قائم مرتبه ۰/۵ استفاده شده است [Cooper and cowan, 2003]. به منظور بررسی وضعیت آنومالی‌های سطحی تر و نیز حدود گسترش افقی آن‌ها و تعیین مرز آنومالی‌ها، از این فیلتر روی داده‌های منطقه طارم اعمال شد و نتیجه در شکل (۴-۸) ارائه شده است. مطابق این شکل آنومالی‌های مثبت در منطقه و حدود آن‌ها بهتر مشخص شده است.



شکل ۴-۸. نقشه میدان مغناطیسی مشتق قائم منطقه طارم

#### ۴-۷- فیلتر زاویه تمایل<sup>۱</sup>

برای آشکارسازی خطواره‌ها از فیلتر زاویه تمایل استفاده شده است. مقدار زاویه تمایل درحالی که زاویه میل میدان مغناطیسی ۹۰ درجه است (RTP)، بر روی مرز خطواره یا گسل صفر است. به کمک زاویه تمایل می‌توان تا حدودی به جهت شیب گسل نیز پی‌برد چون از محل گسل در جهت شیب مقدار زاویه تمایل منفی است [Verduzco et al., 2004]. فیلتر زاویه تیلت برای اولین بار توسط میلر (۱۹۹۴) به صورت نسبت مشتق قائم به اندازه مشتق کل افقی داده‌های میدان پتانسیل تعریف شد. زاویه تیلت طبق رابطه زیر هم در حوزه فرکانس و هم در حوزه مکان به راحتی قابل محاسبه است [Cooper and cowan, 2008].

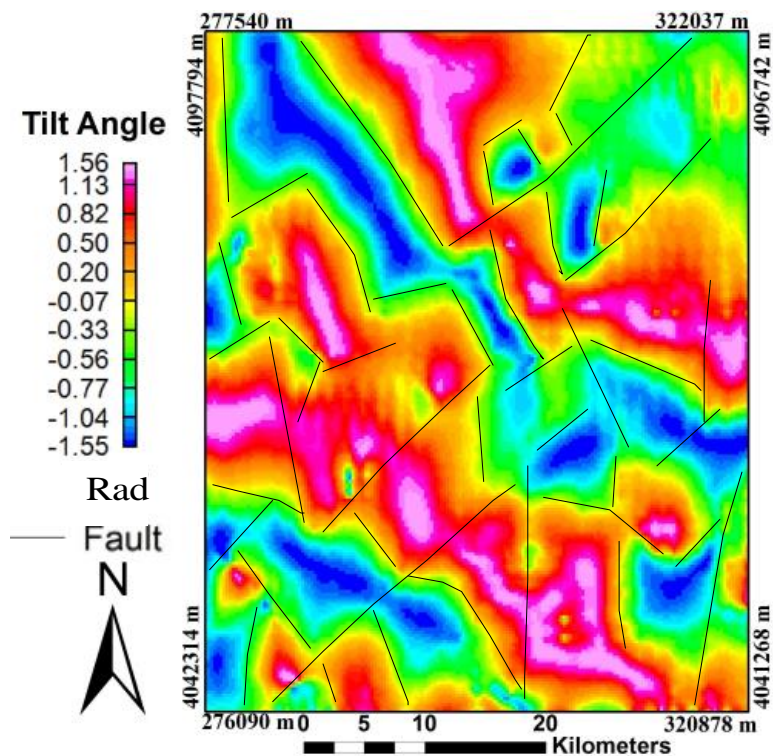
$$G(x, y) = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2} \quad (۴-۵)$$

<sup>۱</sup> Tilt Angle

$$TA = \tan^{-1} \left[ \frac{\frac{\partial g}{\partial z}}{G(x, y)} \right] \quad (6-4)$$

که در آن؛  $G(x, y)$  گرادیان کل افقی و  $TA$  زاویه تمایل است و  $\frac{\partial g}{\partial x}$ ،  $\frac{\partial g}{\partial y}$  و  $\frac{\partial g}{\partial z}$  مشتق میدان مغناطیسی در راستای محورهای  $x$ ،  $y$  و  $z$  هستند. مقادیر زاویه تمایل با صرف نظر از مقدار مشتقات افقی و قائم در بازه  $\left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]$  قرار می‌گیرند [رضایی و همکاران، ۱۳۹۰]. نقشه زاویه تمایل داده‌های برگردان به قطب منطقه در شکل (۹-۴) ارائه شده است.

تغییرات زاویه تیلت در بالای توده‌های معدنی و همچنین بدون بعد بودن آن مهم‌ترین دلیل کاربرد این فیلتر است در ضمن اینکه نتایج آن را می‌توان با نتایج فیلترهای مشتق قائم نیز مقایسه کرد [Cooper and Gowan, 2008]. با بررسی این فیلتر روی داده‌های مغناطیسی منطقه مورد مطالعه خطواره‌های ژئوفیزیک کم و برخی از آن‌ها حتی در نقشه زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای قابل رویت نیست که این خطواره پنهان نامیده می‌شود (شکل ۹-۴).



شکل ۹-۴. نقشه زاویه تمایل داده‌های برگردان به قطب منطقه طارم، خطواره‌ها با خطوط سیاه رنگ مشخص شده

#### ۴-۸- نتیجه گیری

بررسی‌های انجام شده بر روی نقشه‌های برگردان به قطب، روند سطحی و دیگر فیلترها، نشان می‌دهد که مقادیر آنومال (شدت بالای میدان مغناطیسی) روند شمال غربی- جنوب شرقی دارند که با روند توده‌های نفوذی منطقه و نیز با زون سنندج- سیرجان مطابقت دارد. همچنین با توجه به نقشه‌های گسترش به بالای میدان این توده‌ها کم عمق تا نیمه عمیق هستند.

## فصل پنجم :

مطالعات ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای

## ۵-۱- مقدمه

در اکتشافات ناحیه‌ای، ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای یکی از مراحل برای شناسایی مناطق امیدبخش کانی‌زایی است. یکی از نکات ژئوشیمی رسوبات آبراهه، ارزیابی میزان معرف بودن یک نمونه برای پیش‌بینی نوع کانی‌سازی است. به منظور شناسایی نواحی امید بخش یک نوع ماده معدنی خاص باید بهترین ترکیب عناصر ردیاب و معرف برای پی‌جویی شناسایی شود و برای رسیدن به این هدف از تحلیل‌های چند متغیره استفاده می‌شود. همچنین برای نمایش پراکندگی عناصر شیمیایی نمونه رسوبات آبراهه‌ای و از روش حوزه آبریز استفاده شده است. هدف این فصل تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی و یافتن ترکیب چند عنصری معرف و بهینه برای کانی‌سازی مس پورفیری و به نقشه در آوردن آنومالی‌های ژئوشیمیایی به منظور تولید لایه ژئوشیمیایی است.

## ۵-۲- تحلیل فاکتوری مرحله‌ای

یکی از روش‌های بکار رفته در مراحل اولیه اکتشاف برای شناسایی مناطق امیدبخش استفاده از ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای است. برای تهیه لایه‌های ژئوشیمیایی یکی از روش‌ها استفاده از تحلیل‌های چند متغیره است. روش‌های چند متغیره امکان آنالیز آماری همزمان چندین متغیر را فراهم می‌کنند [حسنی پاک و شرف الدین، ۱۳۸۴]. تجزیه و تحلیل فاکتوری یکی از روش‌های تجزیه و تحلیل چند متغیره است که به طور گسترده در اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای به منظور شناسایی نواحی امید بخش کانی‌سازی استفاده می‌شود [Helvoort et al., 2005; sun et al., 2009; Borovec, 1996; Reimann et al., 2000; Kumru and Bakac, 2003]. با وجود استفاده گسترده از این روش سوالاتی در مورد استفاده از روش تحلیل فاکتوری مطرح است، سوالاتی در مانند: ۱- چند عامل معرف باید استخراج شود؟ ۲- کدام عناصر باید در هر فاکتور وجود داشته باشند؟ ۳- چگونه تعداد زیادی نقشه تک عنصری می‌توانند در قالب تعداد اندکی نقشه فاکتوری نمایش داده شوند؟ [یوسفی و همکاران، ۱۳۹۳].

در روش تحلیل فاکتوری با استفاده از مقادیر ویژه<sup>۱</sup> و بردارهای ویژه<sup>۲</sup>، جهت‌هایی با حداکثر تغییرپذیری شناسایی می‌شود. سپس با تعریف متغیرهای جدیدی که ترکیب خطی از متغیرهای اولیه است، تعداد ابعاد (متغیرها) کاهش یافته و نقش هر یک از متغیرها در تغییرپذیری مشخص می‌گردد [حسنی پاک و شرف-الدین، ۱۳۸۴].

<sup>1</sup> Eigenvalue

<sup>2</sup> Eigenvector

هدف از تجزیه و تحلیل فاکتوری تشخیص اصلی‌ترین متغیرهای کنترل کننده از متغیرهایی با نقش کمتر در بین یک سری داده ژئوشیمیایی است. در این صورت می‌توان با حداقل تعداد متغیرهای فاکتوری، حداکثر تغییرپذیری بین داده‌ها را توجیه کرد و سهم نسبی هر یک از متغیرهای فاکتوری را در توجیه تغییرپذیری مشخص نمود [حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۴].

به منظور تشخیص آنومالی‌های واقعی و تمیز مرتبط با ذخایر معدنی، در هر ناحیه‌ای لازم است تا جزء ثابتی از رسوبات آبراهه‌ای (برای مثال جزء ۸۰- مش) و یا کانی سنگین (جزء ۲۰- مش) مورد آزمایش قرار گیرد. قطر این جزء ثابت تابع شرایط آب و هوایی، توپوگرافی و فاصله از منشا کانی‌سازی می‌باشد. از داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای ورقه ۱:۱۰۰,۰۰۰ طارم برای پی‌جویی کانی‌سازی مس، عناصر طلا، نیکل، کروم، سرب، باریوم، تیتانیوم، آهن، وانادیم، نقره، آرسنیک، کبالت، مس، مولیبدن، آنتیموان و روی استفاده شده است. از ناحیه طارم تعداد ۷۵۳ نمونه ژئوشیمیایی آبراهه‌ای برداشته شده است [عابدیان و همکاران، ۱۳۸۸] و شش اندیس معدنی مس نیز وجود دارد.

طبق پژوهش‌های ارائه شده، داده‌های ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای از نوع ترکیبی هستند، یعنی داده‌هایی که در آن متغیرها مستقل نبوده و قسمتی از کل هستند [Flizmoser et al., 2009; caranza, 2011]. بنابراین یک مرحله فرآیند نرمال‌سازی باید بر روی داده‌ها انجام شود و توزیع داده‌ها تا حد امکان به نرمال نزدیک شود. در این خصوص از تبدیل نسبت لگاریتم ایزومتریک<sup>۱</sup> برای تبدیل داده‌ها به یک توزیع تقریباً نرمال استفاده شده است. به این دلیل محققین زیادی از جمله کارانزا (۲۰۱۱) نشان داده است که تبدیل ایزومتریک در مقایسه با تبدیل لگاریتمی و سایر تبدیلات متغیرهای ژئوشیمی چند عنصری مرتبط با کانی‌سازی را بهتر شناسایی می‌کند [Yousefi et al., 2014].

در مطالعه حاضر از روش تحلیل فاکتوری کلاسیک<sup>۲</sup> استفاده شده است. در اجرای تحلیل فاکتوری می‌توان از روش‌های تحلیل مولفه‌های اصلی<sup>۳</sup> (PCA) و حداکثر درست‌نمایی<sup>۴</sup> (ML) برای استخراج فاکتورها و همچنین برای دوران داده‌ها از روش‌های واریماکس<sup>۵</sup> و کواریتیماکس<sup>۶</sup> بهره گرفت [Yousefi et al., 2014]. از روش تحلیل مولفه‌های اصلی برای تشخیص ساختارهای داده‌های چند متغیره پنهان و کاهش تعداد متغیرها در استخراج مولفه‌های اصلی روش تحلیل فاکتوری می‌توان استفاده کرد [Filzmoser et al., 2009]. از واریماکس نیز برای دوران داده‌ها بهره گرفته شده، واریماکس با حفظ تعامد محورها و چرخش

<sup>1</sup> Isometric Log Ratio Transformation (I LR)

<sup>2</sup> Classic

<sup>3</sup> Principal Component Analysis (PCA)

<sup>4</sup> Maximum Likelihood (ML)

<sup>5</sup> Varimax

<sup>6</sup> Quartimax



دستگاه مختصات جدید سعی در یافتن جهتی است که بتواند بیشترین تغییرپذیری را تامین کند [احسنی- پاک و شرفالدین، ۱۳۸۴]. از مقادیر ویژه بزرگتر از یک برای تعداد فاکتورها و همچنین مقدار ۰/۶ را به عنوان یک حد آستانه با قابلیت اعتماد بیش تر انتخاب کرده ایم [ Helvoort et al., 2005; Yousefi et al., 2014].

در روش تحلیل فاکتوری مرحله‌ای<sup>۱</sup> (SFA) به منظور استخراج بهترین ترکیب‌های چند عنصری معرف کانی‌سازی مس پورفیری، از دو فاز اصلی " استخراج فاکتورهای تمیز<sup>۲</sup> " و استخراج ترکیب چند عنصری با اهمیت<sup>۳</sup> استفاده شده است. هریک از دو فاز اصلی تحلیل فاکتوری مرحله‌ای ممکن است خود شامل چند مرحله دیگر باشد [Yousefi et al., 2014].

### ۵-۲-۱- استخراج فاکتورهای تمیز

در این مرحله ابتدا تحلیل فاکتوری بر روی مجموعه عناصر انتخاب اعمال می‌گردد، این مرحله تحلیل فاکتوری مرحله اول می‌باشد. یعنی عناصری که مقدار فاکتور کم‌تر از ۰/۶ دارند، از تحلیل حذف می‌شوند. این عناصر را عناصر مزاحم ژئوشیمیایی<sup>۳</sup> می‌نامند. بعد از حذف عناصر مزاحم، مجدداً تحلیل فاکتوری روی عناصر باقی‌مانده انجام می‌گیرد که در واقع مرحله دوم تحلیل فاکتوری است و می‌تواند فاکتورهای جدید تولید کند. اگر در این مرحله باز هم عناصری باشند که با توجه به حد آستانه در هیچ فاکتوری شرکت نکرده باشند، از مجموعه داده‌ها حذف و تحلیل فاکتوری اجرا می‌شود، اما اگر در مرحله دوم همه عناصر در فاکتورها مشارکت داشته باشند، پایان فاز اول تحلیل فاکتوری خواهد بود [Yousefi et al., 2014]. همانگونه که در جدول شماره (۵-۱) دیده می‌شود، پنج فاکتور معرفی شده است. مطابق جدول (۵-۱)، این روش بر روی داده‌های ژئوشیمی منطقه اعمال شد. در مرحله اول تحلیل فاکتوری، چهار عنصر نقره، وانادیم، باریم و طلا دارای مقدار فاکتوری کمتر از حد آستانه‌ای (۰/۶) بوده و بنابراین حذف شدند و مجدد تحلیل فاکتوری انجام شد. بررسی‌ها نشان داد همه عناصر دارای مقادیر فاکتوری بالاتر از حد آستانه‌ای قرار دارند که در جدول (۵-۲) ارائه شده است. با نگاه به نتایج، مرحله دوم (جدول ۵-۲)، عناصری که با توجه به حد آستانه در هیچ یک از فاکتورها مشارکت نداشته باشد، وجود ندارد، به این ترتیب پایان فاز اول تحلیل فاکتوری بوده و فاکتورهای تمیز استخراج شده‌اند. فاکتورها به ترتیب فاکتور اول (F<sub>1</sub>) شامل عناصر مس، سرب و روی (Zn, Pb, Cu)، فاکتور دوم (F<sub>2</sub>) شامل کبالت، کروم، نیکل (Ni, Cr, Co)، فاکتور سوم (F<sub>3</sub>) شامل

<sup>1</sup> Staged Factor Analysis

<sup>2</sup> Clean Factors

<sup>3</sup> Geochemical Noise

تیتانیوم و آهن (Fe, Ti)، فاکتور چهارم (F<sub>4</sub>) شامل آنتیموان و آرسنیک (As, Sb) فاکتور پنجم شامل عنصر مولیبدن (Mo) بدست آمد.

جدول ۵-۱. نتایج فاکتوری مرحله اول از داده‌های ژئوشیمی منطقه طارم

عنصر	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>
Au	-۰/۱۶۶	۰/۳۴۱	۰/۲۸۰	۰/۲۵۱	۰/۲۵۱
Ni	-۰/۱۴۱	-۰/۰۴۹	۰/۷۸۵	-۰/۲۰۳	-۰/۱۱۴
Cr	۰/۱۵۱	-۰/۰۵۹	۰/۸۵۵	۰/۲۶۷	۰/۰۲۵
Pb	۰/۰۹۶	۰/۹۱۶	-۰/۲۶	۰/۱۱۳	۰/۰۰۵
Ba	۰/۵۸	۰/۰۲۹	۰/۰۹۳	۰/۳۱۶	۰/۳۰۷
Ti	۰/۹۰۵	-۰/۰۹۳	-۰/۱۲۵	-۰/۰۶۲	-۰/۰۸۸
Fe	-۰/۹۶۷	-۰/۱۲۸	۰/۰۴۰	-۰/۰۷۶	۰/۰۰۷
V	-۰/۳۱۰	۰/۰۱۴	-۰/۱۹۳	-۰/۴۹۱	-۰/۴۱۶
Ag	۰/۱۲۲	-۰/۰۴۱	۰/۰۶۷	-۰/۱۱۴	۰/۴۶۷
As	-۰/۰۵۴	۰/۱۴۱	۰/۰۹۳	۰/۸۰۴	-۰/۰۱۶۵
Co	-۰/۰۶۴	۰/۲۳۳	۰/۷۶۵	۰/۰۳۹	۰/۱۸۷
Cu	-۰/۱۳۹	۰/۷۵۶	۰/۱۳۸	-۰/۰۵۷	۰/۴۱۱
Mo	-۰/۱۷۹	۰/۱۷۱	-۰/۰۸۴	۰/۲۳۱	۰/۶۶۸
Sb	۰/۱۷۵	۰/۱۷۴	-۰/۰۹۳	۰/۷۷۳	۰/۱۳۷
Zn	۰/۱	۰/۸۱۳	۰/۰۰۶	۰/۲۳۵	-۰/۱۷۷
Variance %	۱۵/۸۲۵	۱۵/۷۰۳	۱۴/۱۵۱	۱۲/۷۱۷	۸/۴۹۸
Cumulative variance %	۱۵/۸۲۵	۳۱/۵۲۹	۴۵/۶۸۰	۵۸/۳۹۸	۶۶/۸۹۶

با توجه به جدول‌های (۱-۵ و ۲-۵) واریانس در فاکتورهای عناصر در هر مرحله بهبود می‌یابد، در فاکتور مربوط به همراهی عناصر Zn, Pb, Cu از ۱۵/۸۲ درصد به ۱۹/۸۲ درصد افزایش یافته است. علاوه بر این واریانس تحت پوشش مربوط به عناصر Ni, Cr, Co، واریانس عناصر Fe, Ti و واریانس عناصر شامل As, Sb و همچنین عنصر Mo به ترتیب از ۱۵/۴ و ۱۴/۱۵ و ۱۲/۷۱ و ۸/۴ به ۱۸/۵ و ۱۸/۲۹ و ۱۴/۳۴ و ۱۱/۵ افزایش یافته است. بنابراین با بکارگیری روش تحلیل فاکتوری مرحله‌ای نه تنها تعداد فاکتورها کم شده بلکه تغییرات تحت پوشش ترکیب‌های چند عنصری نیز افزایش می‌یابد.

جدول ۵-۲. نتایج فاکتوری مرحله دوم از داده‌های ژئوشیمی منطقه طارم

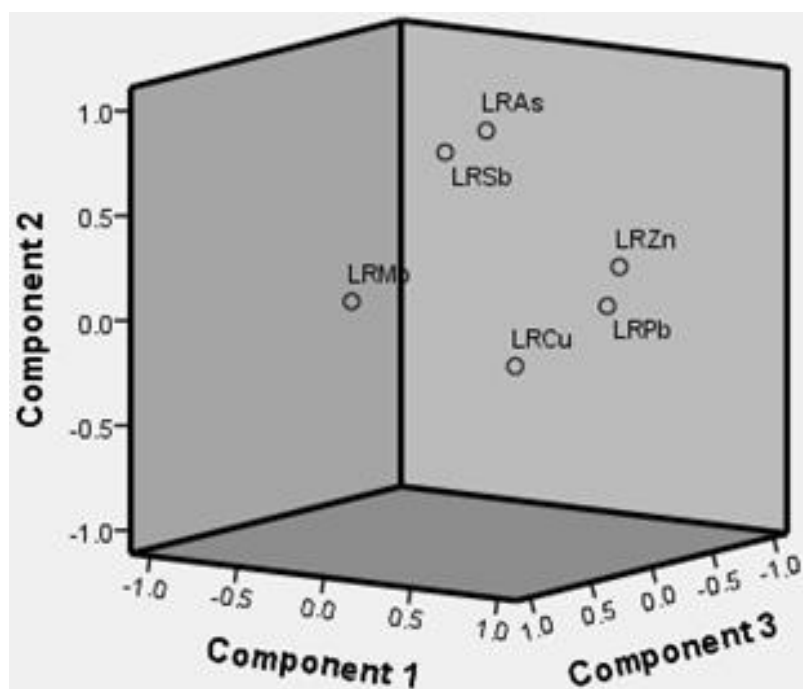
عنصر	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>
Ni	-۰/۰۷۶	۰/۷۹	۰/۱۴۱	-۰/۱۶۰	-۰/۰۸۷
Cr	-۰/۰۳۹	۰/۸۵۸	-۰/۱۲۳	۰/۲۳۷	-۰/۰۴۲
Pb	۰/۹۳۰	-۰/۰۱۳	-۰/۰۱۶۱	۰/۱۱۲	۰/۰۹۳
Ti	۰/۰۹۸	-۰/۰۸۲	-۰/۹۷۷	-۰/۰۱۵	-۰/۰۵۶
Fe	-۰/۱۴۲	۰/۰۰۵	۰/۹۷۰	-۰/۰۹۳	۰/۰۲۴
As	۰/۱۳۶	۰/۱۰۱	۰/۰۸۳	۰/۸۵۷	-۰/۰۵۰
Co	۰/۲۰۷	۰/۷۹۲	۰/۰۷۶	۰/۰۳۰	۰/۲۰۱
Cu	۰/۷۰۰	۰/۱۷۰	۰/۱۲۵	-۰/۱۲۵	۰/۵۰۸
Mo	۰/۰۴۱	۰/۰۰۴	۰/۰۵۲	۰/۱۶۵	۰/۹۰۸
Sb	۰/۱۳۴	-۰/۰۴۶	-۰/۲۱۱	۰/۷۷۱	۰/۳۲۲
Zn	۰/۸۴۲	-۰/۰۰۵	-۰/۰۵۱	۰/۲۶۰	-۰/۱۲۶
Variance %	۱۹/۸۲۶	۱۸/۵۰	۱۸/۲۹۱	۱۴/۳۴۱	۱۱/۵۱
Cumulative variance %	۱۹/۸۲۶	۳۸/۳۳۱	۵۶/۶۲۲	۷۰/۹۶۳	۸۲/۴۸

### ۵-۲-۲- استخراج ترکیب چند عنصری با اهمیت

پس از حذف عناصر مزاحم، در فاز دوم روش تحلیل فاکتوری مرحله‌ای باید با توجه به نوع کانی‌سازی که در این جا مس پورفیری است، یک یا چند فاکتور که معرف کانی مورد جستجو است، انتخاب شود. در این جا عناصر مربوط به نیکل، کروم و کبالت مشارکت بالایی در فاکتور دوم (F<sub>2</sub>) دارند و نیز عناصر آهن و تیتانیوم در فاکتور سوم (F<sub>3</sub>) مقادیر بالایی دارند، این مشارکت بالا به علت واحدهای زمین‌شناسی بوده و برای کانی‌سازی مس پورفیری عناصر معرف محسوب نمی‌شوند و به همین دلیل حذف شده، سپس تحلیل فاکتوری فاز دوم اجرا شد. با توجه به نتایج تحلیل فاکتوری مرحله‌ای تعداد فاکتورها از پنج فاکتور (در تحلیل فاکتوری اول و دوم، جدول‌های (۵-۱ و ۵-۲) به سه (در تحلیل فاکتوری سوم، جدول (۵-۳)) کاهش یافتند. در نتیجه تحلیل فاکتوری مرحله‌ای، شاخص مولفه‌های ژئوشیمیایی فقیر از داده‌ها حذف شده‌اند، همچنین تعداد فاکتورها (متغیرها) کاهش یافته و مجموع واریانس تحت پوشش مربوط به هریک از فاکتورها نیز افزایش یافته است. به این ترتیب امتیاز فاکتوری هر نمونه به مقدار واقعی نزدیک‌تر شده و جدایش فاکتورها بارزتر می‌شود. هر سه فاکتور بدست آمده به عنوان فاکتورهای کلیدی انتخاب شدند. بر این اساس عناصر مولیبدن، مس، سرب، روی، آنتیموان و آرسنیک شاخص خوبی از وجود کانی‌سازی مس پورفیری در منطقه مورد مطالعه است.

جدول ۵-۳. نتایج فاکتوری مرحله سوم

عناصر	فاکتورها	F <sub>1</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>
Pb		۰/۹۳۰	۰/۱۱۲	۰/۰۹۳
As		۰/۱۳۶	۰/۸۷۵	-۰/۰۵۰
Cu		۰/۷۰۰	-۰/۱۲۵	۰/۵۰۸
Mo		۰/۰۴۱	۰/۱۶۵	۰/۹۰۸
Sb		۰/۱۳۴	۰/۷۷۱	۰/۳۲۲
Zn		۰/۸۴۲	۰/۲۶۰	-۰/۱۲۶
Variance%		۱۹/۸۲	۱۴/۳۴	۱۱/۵۱
Cumulative variance%		۱۹/۸۲۶	۷۰/۹۶۳	۸۲/۴۸



شکل ۵-۱. همراهی فضایی عناصر در مرحله سوم تحلیل فاکتوری

در شکل (۵-۱) موقعیت فضایی عناصر شش گانه حاصل از آنالیز فاکتوری مرحله‌ای را در فضای سه مؤلفه اصلی ارائه شده است.

### ۵-۳- محاسبه شاخص احتمال کانی‌سازی ژئوشیمیایی<sup>۱</sup>

همان‌طور که در قسمت قبل بیان شد، در ادامه فاز دوم پس از استخراج فاکتورهای معرف، سه مجموعه داده جداگانه برای سه فاکتور ساخته شده و تحلیل فاکتوری دوباره برای هر یک از مجموعه داده‌ها به طور جداگانه اجرا گردید و بنابراین سه مجموعه فاکتوری بدست آمده است (جدول ۳-۵).

در تحلیل فاکتوری متغیر جواب یعنی امتیاز فاکتوری نمونه‌ها، پیوسته و بدون حد و مرز می‌باشد، به این معنی که پیش‌بینی متغیر جواب می‌تواند هر مقداری را بگیرد. با این حال اگر متغیر جواب مربوط به احتمال باشد، مقادیر خارج از محدوده [۰, ۱] نامناسب است. بنابراین استفاده مستقیم از امتیازات فاکتوری نمونه‌ها، روش مناسبی برای پیش‌بینی احتمال وقوع یک رویداد دوتایی (حضور یا عدم حضور) در مناطق مختلف نیست. زیرا متغیر پیش‌گوی جواب باید بین صفر و یک باشد تا حالت احتمالی در نظر گرفته شود. به منظور محدود کردن جواب‌های مقدار پیش‌بینی شده در واحد بازه [۰, ۱] استفاده از یک مدل منطقی به منظور نشان دادن احتمال توصیه می‌شود. داده‌ها با استفاده از یک تابع لجستیکی، می‌تواند از یک بازه نامحدود متغیر را به محدوده بین صفر و یک انتقال می‌دهد [Yousefi et al., 2012].

پس از شناسایی ترکیب بهینه و همراهی عناصر ردیاب و معرف با استفاده از روش تحلیل فاکتوری مرحله‌ای، باتوجه به اینکه مجموعه مقادیر امتیاز فاکتوری می‌تواند خارج از محدوده صفر و یک قرار گیرند، این مجموعه فازی احتمالی نیست. به‌منظور انتقال این مقادیر به بازه صفر و یک و نیز محاسبه مولفه شاخص GMPI می‌توان از تابع لجستیکی زیر استفاده کرد.

$$GMPI = \frac{\exp(Fs)}{1 + \exp(Fs)} \quad (۱-۵)$$

$$GMPI_{Cu-Zn-Pb} = \frac{\exp(Fs_{Cu-Zn-Pb})}{1 + \exp(Fs_{Cu-Zn-Pb})} \quad (۲-۵)$$

$$GMPI_{As-Sb} = \frac{\exp(Fs_{As-Sb})}{1 + \exp(Fs_{As-Sb})} \quad (۳-۵)$$

که در آن‌ها Fs مقدار فاکتوری یک نمونه ژئوشیمیایی حاصل از روش فاکتوری مرحله‌ای بوده و GMPI (شاخص احتمالی کانی‌سازی) مقدار وزن خروجی در بازه بین صفر و یک می‌باشد. این وزن تخصیص یافته به هر نمونه ژئوشیمیایی است، که نشان دهنده احتمال حضور کانی‌سازی در بالا دست آن می‌باشد [Yousefi et al., 2012]. پس از محاسبه مقادیر GMPI نظیر هر فاکتور معرف، توزیع این مقادیر به نقشه تبدیل شد. برای ترسیم نقشه توزیع غلظت عناصر نقاط نمونه‌برداری شده از روش عکس مجذور فاصله در

<sup>۱</sup> Geochemical Mineralization Probability Index (GMPI)

نرم افزار Arc GIS استفاده شده است (شکل های ۲-۵ و ۳-۵). به همین منظور باید از یک مقیاس مناسب برای نشان دادن تراکم نمونه ها استفاده کرد. برای بدست آوردن مقیاس مناسب برای اندازه هر سلول که در شبکه مورد استفاده قرار می گیرد، از رابطه زیر استفاده شده است [Hengl, 2006]

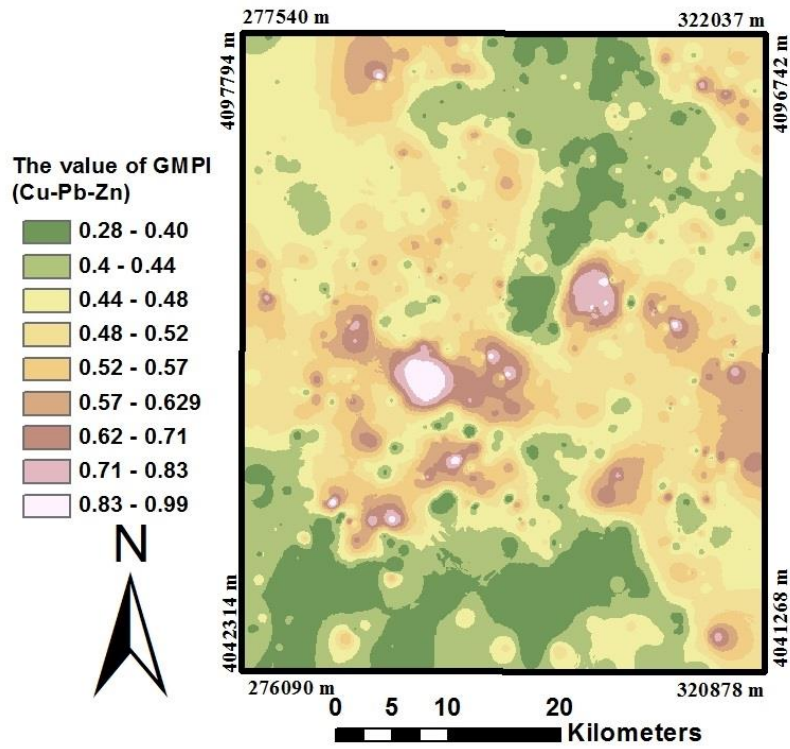
$$PS = SN \times 0.0005 \quad (۴-۵)$$

در رابطه فوق SN معادل  $\sqrt{\frac{A}{n}} \times 100$  بوده و A مساحت منطقه مورد مطالعه که برابر ۲۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰ مترمربع و n تعداد کل نمونه های برداشت شده که ۷۵۳ نمونه می باشد. با استفاده از رابطه فوق اندازه هر سلول (PS) حدود  $۹۱m \times ۹۱m$  بدست آمد که می توان آن را برابر  $۱۰۰m \times ۱۰۰m$  در نظر گرفت. بررسی شکل های (۲-۵ و ۳-۵) که حاصل از به نقشه در آوردن مقادیر GMPI می باشند، نشان می دهد که شدت آنومالی در نقشه ها بیش تر شده و دارای یک وزن احتمالی فازی در بازه صفر و یک برای هر نمونه رسوبات آبراهه ای است که با استفاده از تابع لجستیکی مقادیر نظیر هر فاکتور محاسبه و به نقشه تبدیل شده است. با توجه به راهنمای نقشه قسمت های سبز رنگ ارزش پایین و هرچه به سمت رنگ صورتی تا سفید نزدیک شویم مقادیر آنومال افزایش پیدا می کند. در شکل (۲-۵) مقادیر فاکتور GMPI برای عناصر مس، سرب و روی بین ۰/۲۸ تا ۰/۹۹ بوده و با انتخاب نه کلاس دامنه هر کلاس توسط نرم افزار تعیین شده است، عنصر مس در این فاکتور به عنوان معرف کانی سازی، بهترین متغیر چند عنصری مؤثر برای پی جویی مس استفاده شده است، همچنین عناصر سرب و روی از ردیاب های کانی سازی مس بشمار می رود. در شکل (۳-۵) برای عناصر آنتیموان و آرسنیک تغییرات در بازه تغییرات ۰/۱۲ تا ۰/۹۹ است. این عناصر از قدرت ردیابی خوبی برای کانی سازی مس برخوردار بوده است.

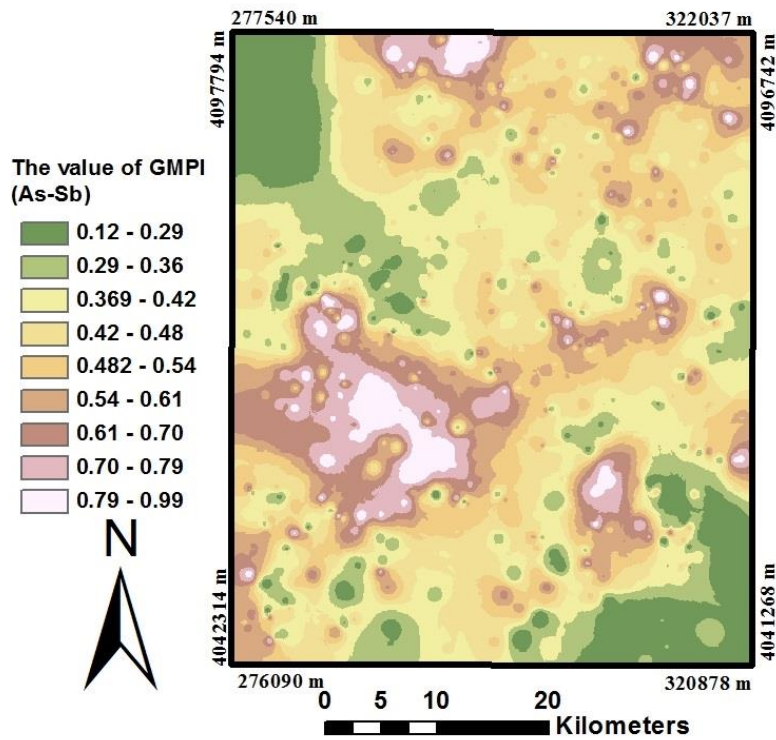
برای محاسبه مقادیر مولیبدن با توجه به اینکه این عنصر در فاکتور پنجم به صورت تک عنصری آمده، به صورت جداگانه با استفاده از رابطه زیر مقادیر آن به فضای لجستیکی [۰ و ۱] انتقال داده شده است.

$$FD_{Mo} = \frac{1}{\exp[-s(FD - i)]} \quad (۵-۵)$$

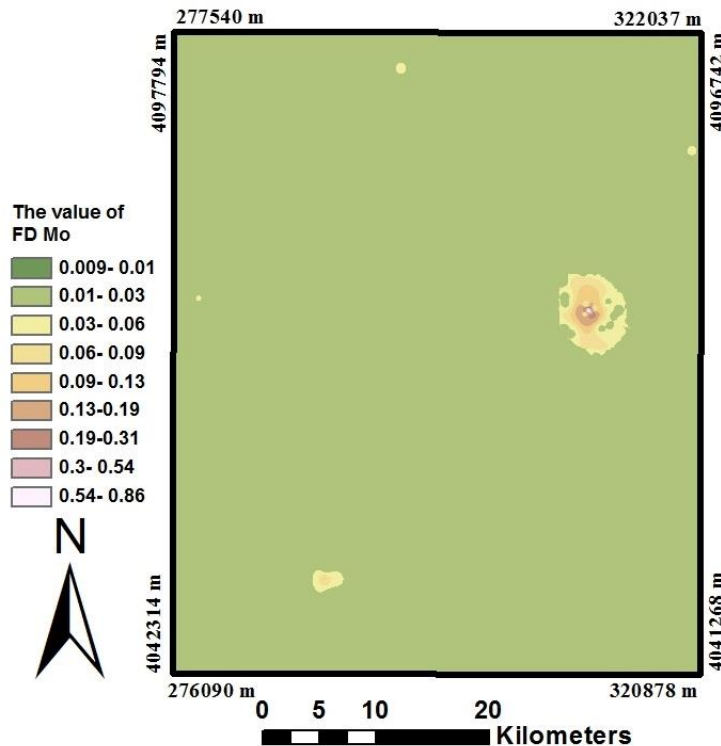
که در آن  $FD_{Mo}$  مقادیر مولیبدن انتقال یافته به بازه [۰ و ۱] و  $i$  و  $s$  نقطه عطف و شیب تابع لجستیک است که با استفاده از رابطه دو معادله و دو مجهول محاسبه شده است [Yousefi et al., 2012].



شکل ۵-۲. نقشه توزیع مقادیر GMPI برای ترکیب چند عنصری Cu-Pb-Zn



شکل ۵-۳. نقشه توزیع مقادیر GMPI برای ترکیب چند عنصری As-Sb



شکل ۴-۵. نقشه توزیع مقادیر وزن دار فازی برای عنصر Mo

همان طور که در قسمت قبل بیان شد، اگرچه همراهی عناصر Cu-Zn-Pb می تواند به عنوان بهترین متغیر چند عنصری موثر برای پی جویی مس مورد استفاده قرار گیرد، اما عناصر As, Mo, Sb نیز از عناصر ردیاب برای کانی سازی مس هستند و برای پی جویی مس مناسب می باشند. همچنین عناصر یک نمونه آبراهه ای تحرک شیمیایی و فیزیکی مختلف دارند و ممکن است همه این عناصر شدت آنومالی یکسانی نشان ندهند، برای مثال عنصر Cu و عنصر Mo که متعلق به یک منشا هستند، دارای محل های آنومالی متفاوت باشند، بنابراین همه ترکیب های چند عنصری باید به عنوان متغیرهای پیش گوی کانی سازی مورد استفاده قرار گیرد و با کمک روشی نقشه های چند عنصری  $GMPI_{Cu-Zn-Pb}$ ،  $GMPI_{As-Sb}$  و  $FD_{Mo}$  را تلفیق نمود. برای تولید یک نقشه سه تایی از مناطق امیدبخش [Carranza, 2008; Bonham-Carter, 1994]، مقادیر بالای  $GMPI$  که در این جا مقادیر بزرگ تر از ۹۰ درصد درصد فراوانی تجمعی است، با استفاده از عملگرهای "AND" و "OR" منطق بولین به صورت زیر ترکیب شده اند. استفاده از مقادیر بزرگ تر از ۹۰ درصد فراوانی تجمعی به منظور جداسازی آنومالی از مقادیر نمونه زمینه است.

برای هر نمونه رسوب آبراهه ای سه حالت مختلف ترکیب به وجود می آید، اولین حالت این است که اگر برای یک نمونه رسوب آبراهه ای تنها یکی از شاخص های احتمالی کانی سازی ژئوشیمیایی ( $GMPI$ ) دارای مقدار بزرگتر از حد فراوانی ۹۰ درصد را به خود اختصاص داده باشد، در این صورت مقدار نهایی برای آن

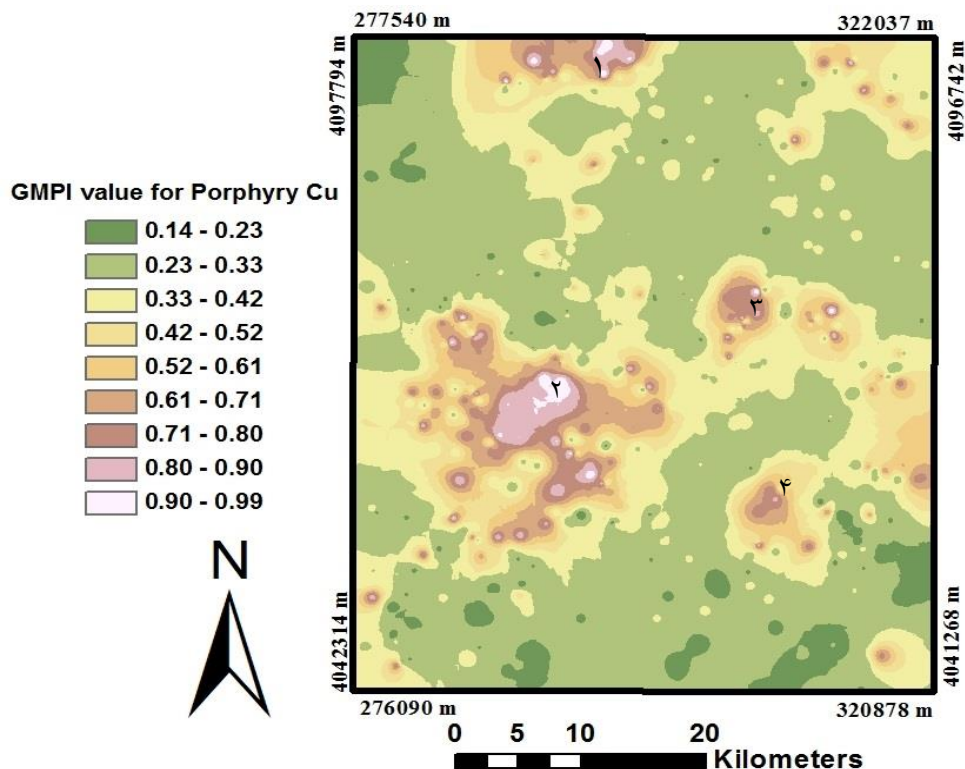


نمونه برابر آن مقدار از GMPI است که بزرگتر از ۹۰ درصد فراوانی تجمعی باشد، سه معادله اول که مانند عملگر فازی "OR" می باشد (رابطه ۵-۶). حالت دوم در صورتی است که نمونه رسوب آبراهه‌ای تنها یکی از شاخص‌های احتمالی کانی‌سازی ژئوشیمیایی دارای مقدار کوچکتر از حد فراوانی تجمعی ۹۰ درصد باشد و دو شاخص دیگر مقادیر بزرگتر از فراوانی تجمعی ۹۰ درصد دارند. در این صورت مقدار GMPI مس برابر میانگین مقادیر شاخص‌های احتمالی کانی‌سازی ژئوشیمیایی بزرگتر از فراوانی تجمعی ۹۰ درصد خواهد بود (سه معادله دوم). در دو معادله پایانی بیان می‌شود که اگر نمونه رسوب آبراهه‌ای تمام مقادیر GMPI دارای مقدار کوچکتر یا بزرگتر از حد فراوانی تجمعی ۹۰ درصد باشند، در این صورت مقدار نهایی GMPI مس برای هر نمونه برابر میانگین مقادیر تمام شاخص‌های کانی‌سازی احتمالی است (شکل ۵-۵).

(۶-۵)

$$\text{GMPI}_{\text{porphyryCu}} = \begin{cases} \text{GMPI}_{\text{Cu-Zn-Pb}} & \text{If } \text{GMPI}_{\text{Cu-Zn-Pb}} \geq 0.612 \text{ and } \text{GMPI}_{\text{As-Sb}} < 0.78 \text{ and } \text{FD}_{\text{Mo}} < 0.143 \\ \text{GMPI}_{\text{As-Sb}} & \text{If } \text{GMPI}_{\text{As-Sb}} \geq 0.78 \text{ and } \text{GMPI}_{\text{Cu-Zn-Pb}} < 0.612 \text{ and } \text{FD}_{\text{Mo}} < 0.143 \\ \text{FD}_{\text{Mo}} & \text{If } \text{FD}_{\text{Mo}} \geq 0.143 \text{ and } \text{GMPI}_{\text{As-Sb}} < 0.78 \text{ and } \text{GMPI}_{\text{Cu-Zn-Pb}} < 0.612 \\ \text{Average}(\text{GMPI}_{\text{Cu-Zn-Pb}}, \text{GMPI}_{\text{As-Sb}}) & \text{If } \text{GMPI}_{\text{Cu-Zn-Pb}} \geq 0.612 \text{ and } \text{FD}_{\text{Mo}} < 0.143 \text{ and } \text{GMPI}_{\text{As-Sb}} \geq 0.78 \\ \text{Average}(\text{GMPI}_{\text{Cu-Zn-Pb}}, \text{FD}_{\text{Mo}}) & \text{If } \text{GMPI}_{\text{Cu-Zn-Pb}} \geq 0.612 \text{ and } \text{GMPI}_{\text{As-Sb}} < 0.78 \text{ and } \text{FD}_{\text{Mo}} \geq 0.143 \\ \text{Average}(\text{GMPI}_{\text{As-Sb}}, \text{FD}_{\text{Mo}}) & \text{If } \text{GMPI}_{\text{As-Sb}} \geq 0.78 \text{ and } \text{GMPI}_{\text{Cu-Zn-Pb}} < 0.612 \text{ and } \text{FD}_{\text{Mo}} \geq 0.143 \\ \text{Average}(\text{GMPI}_{\text{Cu-Zn-Pb}}, \text{GMPI}_{\text{As-Sb}}, \text{FD}_{\text{Mo}}) & \text{If } \text{GMPI}_{\text{Cu-Zn-Pb}} \geq 0.612 \text{ and } \text{GMPI}_{\text{As-Sb}} \geq 0.78 \text{ and } \text{FD}_{\text{Mo}} \geq 0.143 \\ \text{Average}(\text{GMPI}_{\text{Cu-Zn-Pb}}, \text{GMPI}_{\text{As-Sb}}, \text{FD}_{\text{Mo}}) & \text{If } \text{GMPI}_{\text{Cu-Zn-Pb}} < 0.612 \text{ and } \text{GMPI}_{\text{As-Sb}} < 0.78 \text{ and } \text{FD}_{\text{Mo}} < 0.143 \end{cases}$$

بدین ترتیب شکل (۵-۵) یک مقدار نهایی شاخص احتمالی کانی‌سازی ژئوشیمیایی است که شامل همه عناصر معرف و ردیاب کانی‌سازی مس می‌باشد. با توجه به شکل مناطق ۱، ۲، ۳ و ۴ نواحی با آنومالی بالای ژئوشیمیایی و برای پی‌جویی کانی‌سازی مس مناسب است. همچنین بازه تغییرات دامنه از ۰/۱۴ تا ۰/۹۹ است.



شکل ۵-۵. نقشه توزیع مقادیر وزن دار فازی برای کانی سازی مس پورفیری با در نظر گرفتن حد آستانه ۰/۹

## ۵-۴- حوضه های آبریز وزن دار (WDCB<sup>۱</sup>)

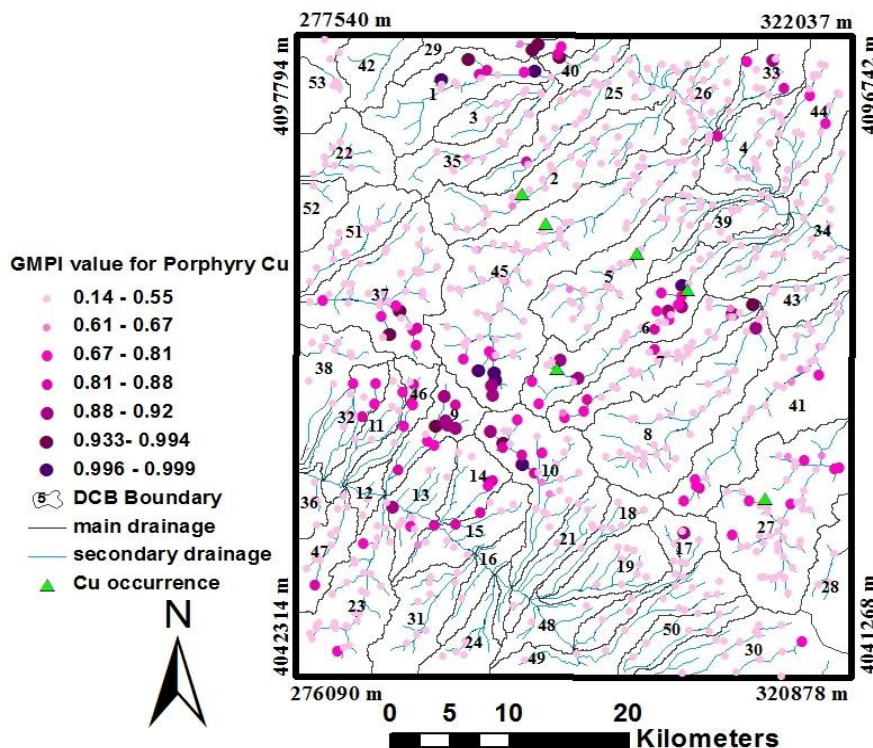
اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه های روشی موثر برای شناسایی مناطق دارای آنومالی به ویژه در مراحل اولیه اکتشاف ذخایری که دارای رخنمون یا پنهان هستند، می باشند. شناسایی آنومالی های با اهمیت، براساس داده های حاصل از تجزیه نمونه های رسوب آبراهه ای و تعیین غلظت عناصر به منظور تولید لایه شاهد ژئوشیمیایی و تلفیق آن با سایر لایه های اکتشافی در مدل سازی پتانسیل معدنی یک تیپ ذخیره مشخص، بسیار مهم است [Carranza, 2010] بدین منظور پس از تهیه نقشه شاهد ژئوشیمیایی وزن دار، به منظور دسترسی به مناطق کانی سازی و برقراری ارتباط بین غلظت عناصر در رسوبات آبراهه ای و منشأ آنها از روش حوضه های آبریز وزن دار استفاده شده است. در روش حوضه های آبریز وزن دار، هر رودخانه (آبراهه اصلی<sup>۲</sup>) یک حوضه آبریز دارد. نقطه خروجی هر آبراهه اصلی که در واقع نقطه تلاقی آن با دیگر آبراهه های اصلی است، نقطه شروع برای تعیین حوضه آبریز بالا دست آن است. بنابراین تمام ناحیه بالا دست نقطه خروجی یک آبراهه اصلی به عنوان حوضه آبریز آن آبراهه تلقی می گردد [Yousefi et al., 2013].

<sup>۱</sup> Weighted drainage catchment basins

<sup>۲</sup> Main drainage

رسوبات آبراهه‌ای شامل اطلاعاتی درباره نحوه پراکنش عناصر ژئوشیمیایی در حوضه آبریز خود هستند [Xie et al., 2010]، زیرا ترکیب مواد تشکیل دهنده یک نمونه رسوب، از هوازگی و فرسایش و پراکنش تمام مواد داخل حوضه آبریز مشتق شده است [Carranza, 2010]. اسپدون<sup>۱</sup> (۲۰۰۶) ثابت کرده است که ناحیه تحت تاثیر یک نمونه رسوب آبراهه‌ای می‌تواند هم در بالادست و هم در پایین دست محل نمونه باشد و نیز بحث کرده که مقدار متغیرهای ژئوشیمیایی بلافاصله در پایین دست محل هر نمونه رسوب آبراهه‌ای، با محل اصلی نمونه اختلاف زیادی ندارد. بنابراین سطح تحت پوشش هر حوضه آبریز آبراهه‌ای به لحاظ پستی و بلندی و شکل زمین تحت تاثیر کلیه نمونه‌های رسوب داخل آن محدوده است.

در این قسمت از داده‌های GMPI تولید شده، به عنوان یک متغیر ژئوشیمیایی برای هر نمونه رسوب آبراهه‌ای استفاده شده است. بدین منظور ابتدا تعداد ۵۳ حوضه آبریز آبراهه‌ای اصلی مشخص شده است. در شکل (۵-۶) نمونه‌های رسوبات ژئوشیمیایی به همراه حوضه‌های آبریز و آبراهه‌های اصلی و فرعی نشان داده شده است. نمونه‌های رسوبات ژئوشیمیایی با استفاده از روش فرکتال طبقه‌بندی شده است.



شکل ۵-۶. حوضه‌های آبریز آبراهه‌ای و توزیع نمونه‌های طبقه‌بندی شده GMPI مس پورفیری به روش فرکتال

باتوجه به اینکه نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای در هر حوضه آبریز دارای سطح غلظت متفاوتی از عناصر هستند، مقادیر غلظت عناصر در جوامع ژئوشیمیایی به عنوان یک ارزش پی‌جویی (Cx) برای هر حوضه آبریز رودخانه‌ای می‌توان معرفی کرد [Yousefi et al., 2013].

$$Cx = L(M_L \frac{n_L}{N_T} \times 100) + (L-1)(M_{L-1} \frac{n_{L-1}}{N_T} \times 100) \dots + (M_{L-(L-1)} \frac{n_{L-(L-1)}}{N_T} \times 100) \quad (7-5)$$

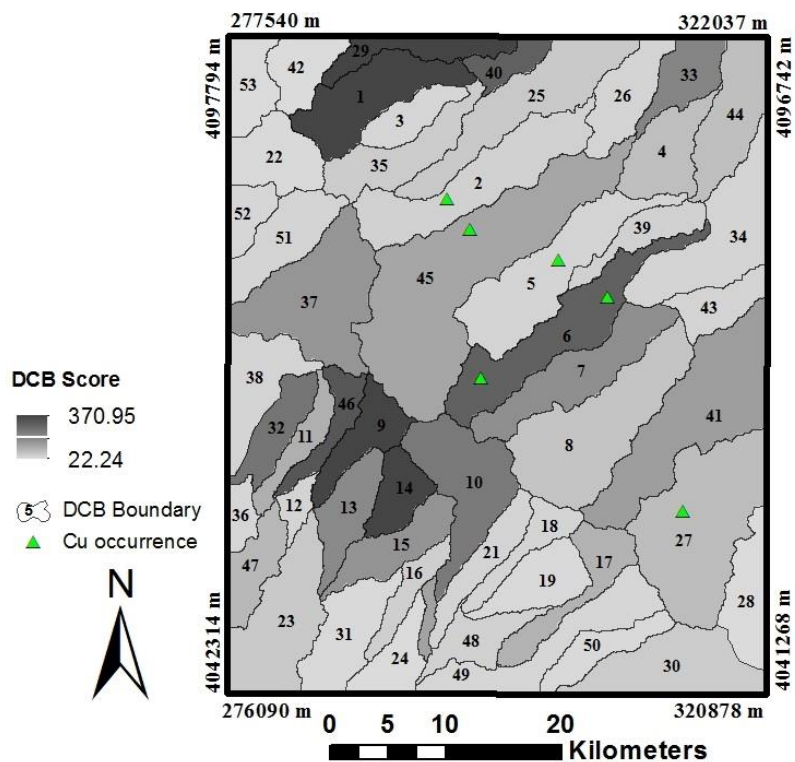
که در آن L تعداد جوامع ژئوشیمیایی برای متغیر ژئوشیمیایی مورد نظر در مجموعه داده‌های مورد استفاده است،  $M_L$  مقدار میانگین غلظت عناصر (مقدار میانگین متغیر ژئوشیمیایی، در این جا مقادیر GMPI) در بالاترین جامعه ژئوشیمیایی (حداکثر آنومالی یا L)،  $n_L$  تعداد نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای در هر حوضه آبریز می‌باشد که در جامعه با حداکثر آنومالی (L) طبقه‌بندی می‌شوند و  $N_T$  تعداد کل نمونه‌های رسوب در هر حوضه آبریز می‌باشد. در این حالت L معادل جامعه با حداکثر غلظت یا جامعه کاملاً آنومال است و  $L-(L-1)$  معادل جامعه با حداقل مقدار غلظت یا جامعه کاملاً زمینه است. در این رابطه تعداد نمونه‌های رسوب آبراهه-ای طبقه‌بندی شده در هر جامعه از متغیرهای ژئوشیمیایی، در تخصیص وزن به حوضه‌های آبریز آبراهه‌ای تاثیر می‌گذارد، برای مثال اگر در یک حوضه آبریز تعداد نمونه‌های آنومالی، نسبت به سایر حوضه‌ها بیش‌تر باشد، مقدار Cx آن عموماً بیش‌تر خواهد بود [Yousefi et al., 2013].

براساس شکل (۵-۶) جوامع ژئوشیمیایی، با استفاده از روش فرکتال به هفت جامعه تقسیم شده‌اند، بنابراین رابطه فوق به صورت زیر بازنویسی می‌شود.

$$Cx = (7(M_7 \frac{n_7}{N_T} \times 100)) + (6(M_6 \frac{n_6}{N_T} \times 100)) + (5(M_5 \frac{n_5}{N_T} \times 100)) + (4(M_4 \frac{n_4}{N_T} \times 100)) + \quad (8-5)$$

$$(3(M_3 \frac{n_3}{N_T} \times 100)) + (2(M_2 \frac{n_2}{N_T} \times 100)) + (M_1 \frac{n_1}{N_T} \times 100)$$

با استفاده از رابطه (۵-۷)، برای هر یک از ۵۳ حوضه آبریز آبراهه‌ای یک وزن Cx محاسبه شد که در جدول (۵-۴) ارائه شده است و همچنین مقادیر Cx به صورت یک نقشه درون‌یابی شده ارائه شده است (شکل ۵-۷). باتوجه به اینکه مقادیر Cx به هر یک از حوضه‌های آبریز تخصیص می‌یابد، نقشه مذکور همچنان به صورت یک مدل گسسته برای هر حوضه می‌باشد.



شکل ۵-۷. مقادیر ارزش پی جویی در هر حوضه آبریز با استفاده از رابطه (۵-۷)

جدول ۵-۴. پارامترهای محاسبه شده برای هر حوضه آبریز:  $N_T$  تعداد نمونه‌ها،  $M_i$  میانگین مقادیر GMPI برای هر حوضه،

$n$  تعداد نمونه در هر حوضه،  $C_x$  ارزش حوضه آبریز،  $FC_x$  ارزش فازی حوضه آبریز

شماره حوضه	$N_T$	$M_1$	$n_1$	$M_2$	$n_2$	$M_3$	$n_3$	$M_4$	$n_4$	$M_5$	$n_5$	$M_6$	$n_6$	$M_7$	$n_7$	$C_x$	$FC_x$
۱	۱۳	۰/۳۳	۷	۰	۰	۰/۷	۱	۰/۸۴	۲	۰	۰	۰/۹۵	۱	۰/۹۹	۲	۲۳۷/۷۶	۰/۷۵۷
۲	۲۷	۰/۲۹	۲۶	۰/۶۲	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۲/۶۲	۰/۰۱۴
۳	۷	۰/۲۶	۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۶/۷۶	۰/۰۱۲
۴	۱۵	۰/۲۹	۱۴	۰	۰	۰	۰	۰/۸۷	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵۰/۶۱	۰/۰۲۳
۵	۳۱	۰/۲۸	۳۰	۰/۶۴	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۱/۸۴	۰/۰۱۴
۶	۳۰	۰/۲۹	۱۷	۰	۰	۰/۷۵	۷	۰/۸۵	۱	۰/۸۹	۴	۰	۰	۰/۹۹	۱	۱۶۴/۳۷	۰/۳۱
۷	۳۰	۰/۳۴	۲۳	۰/۶۲	۳	۰/۷۰	۲	۰/۸۲	۲	۰	۰	۰/۹۶	۲	۰	۰	۱۰۷/۸۳	۰/۰۹
۸	۳۰	۰/۳۰	۲۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۹۰	۱	۰	۰	۰	۰	۴۵/۰۳	۰/۰۲
۹	۹	۰/۴۲	۱	۰	۰	۰/۷۵	۱	۰/۸۵	۲	۰/۸۹	۴	۰/۹۳	۱	۰	۰	۳۶۸/۰۴	۰/۹۸۹
۱۰	۲۶	۰/۳۵	۱۶	۰/۶۳	۲	۰/۷۷	۲	۰/۸۵	۳	۰/۹۱	۱	۰/۹۵	۱	۰/۹۹	۱	۱۳۱/۱۷	۰/۱۶۳

ادامه جدول ۵-۴. پارامترهای محاسبه شده برای هر حوضه آبریز:  $N_T$  تعداد نمونه‌ها،  $M$  میانگین مقادیر  $GMPI$  برای هر حوضه،  $n$  تعداد نمونه در هر حوضه،  $C_x$  ارزش آبریز،  $FC_x$  ارزش فازی حوضه آبریز

۱۱	۶	۰/۳۵	۵	۰	۰	۰/۷۸	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶۸/۶۹	-/۰۳۷
۱۲	۲	۰/۳۰	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۰/۴۹	-/۰۱۴
۱۳	۱۰	۰/۳۰	۷	۰	۰	۰/۷۶	۲	۰	۰	۰/۹۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۱۳/۱۰	-/۱۰۸
۱۴	۶	۰/۳۰	۱	۰	۰	۰/۸۰	۱	۰/۸۶	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۲۲/۳۶	-/۰۶۷۶
۱۵	۱۰	۰/۳۷	۷	۰/۶۵	۱	۰	۱	۰/۸۲	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۰/۹۲	-/۰۰۸
۱۶	۱	۰/۳۴	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۴/۸۶	-/۰۱۵
۱۷	۱۲	۰/۳۱	۱۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۹۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶۷/۰۱	-/۰۳۵
۱۸	۷	۰/۳۸	۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۸/۹۲	-/۰۱۳
۱۹	۱۰	۰/۳۴	۱۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۴/۸۷	-/۰۱۲
۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴۹/۰۷	-/۰۰۲
۲۱	۶	۰/۳۹	۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۹/۹۶	-/۰۱۳
۲۲	۹	۰/۳۴	۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۴/۳۳	-/۰۱۱
۲۳	۳۱	۰/۲۷	۲۹	۰	۰	۰/۷۹	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴۱/۶	-/۰۱۸
۲۴	۴	۰/۲۲	۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۲/۲۴	-/۰۱۱
۲۵	۲۶	۰/۳۰	۲۵	۰	۰	۰	۰	۰/۸۲	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴۱/۸۲	-/۰۱۸
۲۶	۱۷	۰/۳۰	۱۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۰/۹۳	-/۰۱۴
۲۷	۴۷	۰/۲۵	۳۹	۰/۶۳	۲	۰/۷۲	۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵۴/۷۹	-/۰۲۶
۲۸	۴	۰/۲۲	۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۲/۳۲	-/۰۱۱
۲۹	۵	۰	۰	۰/۶۲	۱	۰/۷۹	۱	۰/۸۴	۱	۰	۰	۰/۹۶	۲	۰	۰	۰	۰	۳۷/۹۵	-/۰۹۹
۳۰	۱۴	۰/۲۳	۱۳	۰	۰	۰/۷۴	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۷/۸۹	-/۰۱۶
۳۱	۹	۰/۳۴	۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۴/۹۴	-/۰۱۲
۳۲	۹	۰/۳۸	۵	۰	۰	۰/۷۷	۳	۰/۸۷	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۳۷/۴۷	-/۰۱۸۶
۳۳	۱۱	۰/۳۴	۸	۰	۰	۰/۷۸	۱	۰/۸۴	۱	۰/۹۲	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۱۹/۹۹	-/۰۱۲۷
۳۴	۲۳	۰/۲۹	۲۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۹/۳۰	-/۰۱۳
۳۵	۱۲	۰/۳۰	۱۱	۰/۶۳	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۴/۴۸	-/۰۱۷

<sup>۱</sup> حوضه شماره ۲۰ سطح بسیار کوچکی دارد و از آن‌ها نمونه برداری نشده است و مقادیر بدست آمده از میانگین حوضه‌های بالابدست آمده است

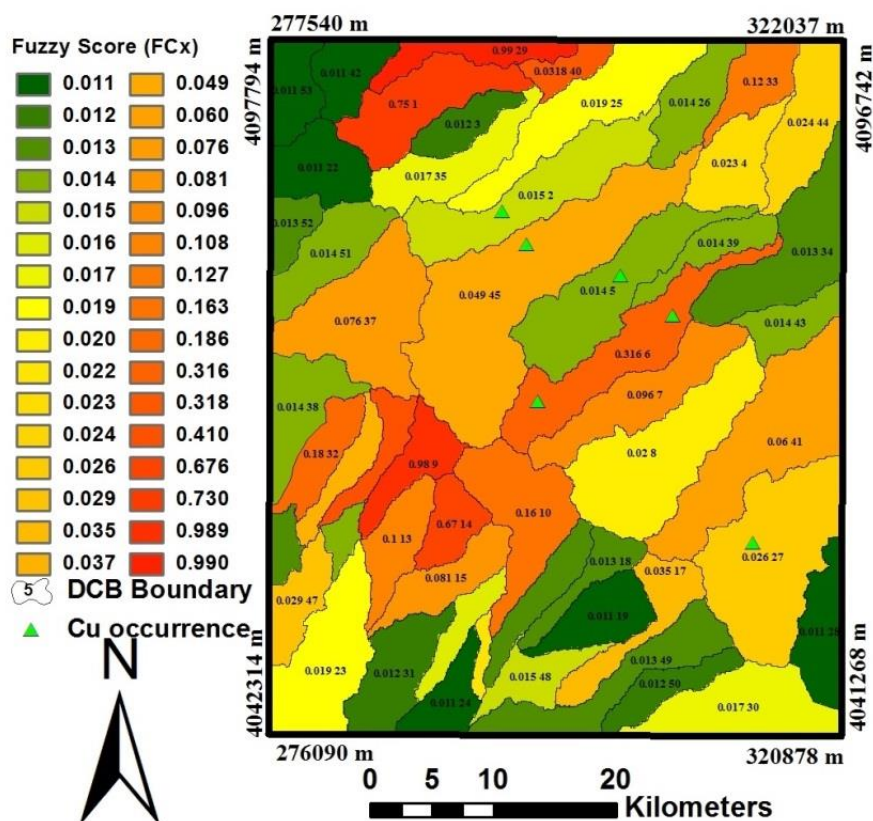
ادامه جدول ۵-۴. پارامترهای محاسبه شده برای هر حوضه آبریز:  $N_T$  تعداد نمونه‌ها،  $M$  میانگین مقادیر  $GMPI$  برای هر حوضه،  $n$  تعداد نمونه در هر حوضه،  $C_x$  ارزش حوضه آبریز،  $FC_x$  ارزش فازی حوضه آبریز

۳۶	۴	۰/۲۷	۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۷/۹۹	۰/۰۱۳
۳۷	۳۷	۰/۲۹	۲۹	۰	۰	۰/۷۶	۴	۰/۸۷	۲	۰	۰	۰/۹۵	۲	۰	۰	۰	۹۸/۱۱	۰/۰۷
۳۸	۱۰	۰/۳۱	۱۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۱/۳۸	۰/۰۱۴
۳۹	۸	۰/۳۱	۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۱/۷۹	۰/۰۱۴
۴۰	۴	۰/۳۰	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۹۴	۱	۰	۰	۰	۱۶۴/۷۰	۰/۳۱۸
۴۱	۲۵	۰/۳۱	۱۷	۰/۶۵	۳	۰/۷۸	۴	۰/۸۵	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۸۸/۴۱	۰/۰۶
۴۲	۱	۰/۲۳	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۳/۵۸	۰/۰۱۱
۴۳	۶	۰/۳۰	۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۰/۰۹	۰/۰۱۳
۴۴	۱۹	۰/۳۲	۱۷	۰	۰	۰/۷۴	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵۲/۲۳	۰/۰۲۴
۴۵	۷۱	۰/۲۸	۶۱	۰/۶۴	۲	۰/۷۷	۳	۰	۰	۰/۹۰	۲	۰	۰	۰/۹۹	۳	۰	۸۰/۴۲	۰/۰۴۹
۴۶	۷	۰/۳۸	۳	۰	۰	۰/۷۸	۲	۰/۸۴	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۸۰/۷۸	۰/۴۱
۴۷	۱۱	۰/۳۱	۱۰	۰	۰	۰	۰	۰/۸۵	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵۹/۷۷	۰/۰۲۹
۴۸	۲	۰/۳۲	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۲/۹۲	۰/۰۱۴
۴۹	۱۳	۰/۲۸	۱۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۸/۶۳	۰/۰۱۳
۵۰	۷	۰/۲۵	۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۵/۲۷	۰/۰۱۲
۵۱	۱۱	۰/۳۰	۱۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۰/۳۳	۰/۰۱۳
۵۲	۱	۰/۲۸	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۸/۱۶	۰/۰۱۳
۵۳	۶	۰/۲۳	۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۳/۵۴	۰/۰۱۱

مطابق در جدول (۵-۴)، مقادیر  $C_x$  که ارزش هر حوضه آبریز، خارج از بازه [۰ و ۱] قرار دارند و این مقادیر احتمالی نیست و برای نمایش احتمالی حضور یا عدم حضور کانی‌سازی مناسب نمی‌باشد. برای تولید وزن‌های احتمالی به روش منطق فازی که مقادیر بین صفر و یک بوده و برای مدل‌سازی پتانسیل معدنی مناسب باشند، می‌توان از تابع لجستیکی مانند رابطه زیر استفاده نمود.

$$FC_x = \frac{1}{1 + \exp[-s(Cx - i)]} \quad (۹-۵)$$

که در آن؛  $FC_x$  ارزش فازی حوضه آبریز بوده و  $i$  و  $s$  نیز مانند قبل نقطه عطف و شیب تابع لجستیک می‌باشد که با استفاده از رابطه دو معادله و دو مجهول محاسبه شده است [Yousefi et al., 2013].



شکل ۵-۸. نقشه حوضه‌های آبریز وزن‌دار، توزیع مقادیر وزن فازی ( $FC_x$ )

شکل (۵-۸) در واقع یک نقشه وزن‌دار حوضه‌های آبریز بوده و به عنوان یک نقشه فازی با سایر لایه‌های اکتشافی در مدل‌سازی پتانسیل معدنی تلفیق می‌گردد.

## ۵-۵- نتیجه گیری

با استفاده از روش تحلیل فاکتوری مرحله‌ای عناصر با اهمیت کم‌تر حذف و فاکتورهای کلیدی و عناصر معرف برای شناسایی نواحی امید بخش منطقه مشخص شدند همچنین واریانس و مجموع درصد تغییرات تحت پوشش افزایش می‌یابند. با کمک تابع لجستیکی و نیز پس از تولید یک نقشه سه تایی از مناطق امید بخش مقادیر بالای GMPI که در این جا مقادیر بزرگ‌تر از ۹۰ درصد فراوانی جمع می‌شود، از مقدار زمینه جدا شد که باعث بهبود هاله‌های ژئوشیمیایی شده است.

همان‌طور که از نقشه شکل (۵-۸) مشخص شده است حوضه‌های آبریز دارای اندیس شناخته شده مس مقادیر متوسط و بالایی را نشان می‌دهد. همچنین تعدادی از حوضه‌ها مانند حوضه‌های ۱، ۹، ۱۴، ۱۰ و ۲۹



که در آنها اندیس شناخته شده وجود ندارد نیز مقدار  $FC_x$  بالا هستند این حوضه‌ها با توده‌های نفوذی و دگرسانی‌ها تطابق خوبی دارد.

**فصل ششم :**

**مدل سازی پتانسیل معدنی**

**و ارزیابی نتایج**

در مدل سازی پتانسیل معدنی به منظور شناسایی اهداف اکتشافی و تهیه نقشه پتانسیل معدنی از داده های اکتشافی مختلف برای تولید لایه های شاهد وزن دار استفاده می شود. در واقع مدل سازی پتانسیل معدنی یک فرآیند چند مرحله ای شامل تجزیه و تحلیل داده های اکتشافی، تولید نقشه های شاهد وزن دار، ترکیب نقشه های شاهد و در نهایت رده بندی مناطق امیدبخش می باشد. در تمام روش های مدل سازی پتانسیل معدنی، پس از تعریف مدل مفهومی و انتخاب معیارهای اکتشافی مناسب برای ذخیره مورد جستجو لایه های شاهد وزن دار مختلف که حاصل روش های اکتشافی مختلف می باشند، تولید و با هم تلفیق می گردند [یوسفی و کامکار روحانی، ۱۳۸۹].

در تحقیق حاضر پس از تولید نقشه های شاهد ژئوشیمیایی وزن دار فازی در فصل گذشته، نحوه تولید سایر نقشه های شاهد وزن دار فازی شامل لایه های دگرسانی اکسید آهن، دگرسانی آرژیلیک، گسل ها و خطوارها و توده های نفوذی در فصل حاضر تشریح می گردد. لازم به ذکر است که کلیه لایه های شاهد وزن دار در این پایان نامه، بدون استفاده از موقعیت اندیس های معدنی شناخته شده در منطقه مورد مطالعه و بدون قضاوت کارشناس و با استفاده از روش فازی سازی پیوسته تولید شدند. اساس این روش، وزن دهی پیوسته به عوارض و شواهد زمین شناسی بدون طبقه بندی و ساده سازی داده های اکتشافی می باشد که باعث تسهیل و افزایش نرخ پیش بینی مدل های پتانسیل معدنی در اکتشاف ذخایر معدنی و تولید مناطق هدف قابل اعتمادتر می شود. علاوه بر این به کمک فازی سازی پیوسته از وزن دهی و طبقه بندی به صورت دلخواه و جهت دار<sup>۱</sup> نیز جلوگیری می شود [Yousefi and Carranza, 2015a, b, c; Yousefi and Nykänen, 2015]. در واقع هدف فصل حاضر مدل سازی پتانسیل معدنی بدون یا با حداقل قضاوت کارشناسی (دانش محور) و همچنین بدون استفاده از موقعیت اندیس های شناخته شده (داده محور) می باشد. بنابراین پس از تولید لایه های شاهد وزن دار، کلیه لایه ها با هم به چند روش مختلف تلفیق شدند و در نهایت با استفاده از روش های موجود مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفتند تا بهترین مدل برای اکتشافات بیش تر معرفی گردد.

## ۶-۲- مدل سازی به روش فازی پیوسته

روش های دانش محور و داده محور دو روش اصلی برای ترکیب و تلفیق لایه های شاهد وزن دار مدل سازی پتانسیل معدنی می باشند که برای مشخص کردن مناطق امیدبخش برای اکتشاف بیش تر یک تیپ ذخیره مشخص بکار می روند.

<sup>1</sup> Bias

عموماً در اکتشاف اولیه، برای مدل‌سازی پتانسیل معدنی، پس از بدست آوردن نتایج اجرای روش‌های مختلف اکتشافی نظیر ژئوفیزیک، ژئوشیمی، زمین‌شناسی و دورسنجی می‌توان از مدل‌سازی داده محور<sup>۱</sup> با تکیه بر اندیس‌های معدنی شناخته شده موجود در منطقه اکتشافی و یا از مدل‌سازی دانش محور<sup>۲</sup> براساس تجربه کارشناسی و یا ترکیب این دو روش مدل‌سازی برای تلفیق نتایج روش‌های مختلف اکتشافی و همچنین به منظور تخصیص وزن به شواهد و الگوهای پیش‌گوی مختلف، استفاده نمود [یوسفی و کامکارروحانی، ۱۳۸۹]

در روش‌های دانش محور (مانند روش فازی) با توجه به درجه اهمیت و میزان مطلوبیت یک شاهد برای جستجوی یک تیپ کانی‌سازی و براساس نظر و تجربه کارشناسی ارزیابی اهمیت نسبی شواهد و تخصیص وزن‌ها صورت می‌گیرد. مدل‌سازی به روش منطق فازی یکی از روش‌های دانش محور بوده که براساس تئوری مجموعه‌های فازی [الطفی زاده، ۱۹۵۶] بنا شده است. به طور کلی کاربرد منطق فازی<sup>۳</sup> در مدل‌سازی پتانسیل معدنی شامل سه مرحله اصلی است. مرحله اول شامل فازی‌سازی<sup>۴</sup> داده‌های مربوط به شواهد، مرحله دوم ترکیب منطقی نقشه‌های شاهد فازی با کمک شبکه‌ای از مجموعه عملگرهای مناسب فازی و مرحله سوم قطعی‌سازی و خروج از حالت فازی<sup>۵</sup> به منظور کمک به تفسیر بهتر می‌باشد. فازی‌سازی، فرآیند تبدیل شواهد فضایی به مجموعه‌های فازی است. یک مجموعه فازی به صورت گروه‌هایی از عضوها است که میزان عضویت<sup>۶</sup> و تعلق آن‌ها به مجموعه، با توجه به تخصیص عددی بین صفر و یک تعیین می‌شود. بنابراین شواهد فضایی خاص مربوط به کانی‌سازی که به صورت نقشه می‌باشند، می‌توانند با توجه به درجه اهمیت عضویت و میزان مطلوبیت برای کانی‌سازی در یک مجموعه فازی براساس نظر و تجربه کارشناسی ارزیابی شوند. میزان عضویت معمولاً به وسیله یک تابع ریاضی نشان داده می‌شود که ممکن است خطی یا غیرخطی باشد [یوسفی و کامکارروحانی، ۱۳۸۹]. از آنجا که در روش فازی (دانش محور) وزن‌ها توسط کارشناس به داده‌های ساده شده (طبقه‌بندی شده) تخصیص می‌یابد و این ساده‌سازی موجب کاهش نرخ پیش‌بینی و تولید مدل‌های جهت‌دار می‌گردد، یوسفی و کارانزا (۲۰۱۵) روش فازی پیوسته را برای تولید لایه‌های شاهد وزن‌دار بکار گرفتند. در این روش از تابع لجستیک به منظور تخصیص امتیاز عضویت فازی به مقادیر پیوسته شواهد فضایی استفاده می‌گردد. آن‌ها تبدیلات خطی و غیر خطی (با استفاده از تابع لجستیک) را بر روی داده‌های شاهد اکتشافی اعمال نموده و نتایج را مقایسه نموده و نشان دادند که

<sup>1</sup> Data-driven

<sup>2</sup> Knowledge-driven

<sup>3</sup> Fuzzy logic

<sup>4</sup> Fuzzification

<sup>5</sup> Defuzzification

<sup>6</sup> Membershap

تبدیلات غیرخطی برای وزن‌دهی مناسب‌تر هستند. تابع لجستیکی کل داده‌ها را به یک دامنه محدود [۰-۱] انتقال می‌دهد. این تابع براساس مقادیر کمینه و بیشینه داده‌ها و تغییرات شیب بین آن‌ها، کلیه داده‌ها را به فضای صفر و یک انتقال می‌دهد. در این خصوص تابع لجستیکی بیان شده در رابطه (۶-۱) برای فازی-سازی نقشه‌های شاهد استفاده شده است [Yousefi and Carranza, 2015a]:

$$F_x = \frac{1}{1 + \exp[-s(Ev - i)]} \quad (۶-۱)$$

که در آن؛  $F_x$  امتیاز فازی تخصیص یافته به  $Ev$  در بازه صفر و یک،  $Ev$  مقدار عددی شاهد فضایی در بازه نامحدود،  $s$  و  $i$  پارامترهایی هستند که به ترتیب شیب و نقطه عطف تابع می‌باشند. بنابراین این پارامترها شکل تابع و در نتیجه مقدار تابع عضویت فازی را تعیین می‌کنند و وزن‌ها در دامنه بین صفر و یک قرار می‌گیرند. در رابطه فوق  $Ev$  می‌تواند به عنوان مثال مقدار عددی متغیرهای ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی، چگالی گسل، فاصله از عوارض زمین‌شناسی معرف کانی‌سازی (مانند فاصله از توده‌های نفوذی، فاصله از دگرسانی‌ها و ...) باشد. بنابراین با استفاده از تابع فوق می‌توان نقشه‌های شاهد فازی دگرسانی، گسل، زمین‌شناسی و ... را تولید نمود و در نهایت با تلفیق آن‌ها با استفاده از یک عملگر مناسب مدل پتانسیل معدنی را تولید و اهداف اکتشافی را شناسایی نمود [Yousefi and Carranza, 2015b].

### ۶-۳- روش محاسبه مقادیر شیب و نقطه عطف در رابطه لجستیکی

برای فازی‌سازی یک مجموعه از داده‌های اکتشافی، معمولاً به بالاترین مقادیر عددی شواهد یا بالاترین کلاس از داده‌ها یک امتیاز نزدیک به ۱ (برای مثال ۰/۹ یا ۰/۹۹) اختصاص داده می‌شود، همچنین به کمترین مقدار عددی یا پایین‌ترین کلاس از داده‌های شاهد اکتشافی، امتیاز نزدیک به صفر (برای نمونه ۰/۱ یا ۰/۰۱) اختصاص می‌یابد. این امتیازات با استفاده از قضاوت کارشناس و یا با استفاده از آزمون و خطا بدست می‌آیند. براساس روش ارائه شده توسط یوسفی و نیکانون (۲۰۱۵)، مقادیر مناسب  $s$  و  $i$  در تابع لجستیک رابطه (۶-۱) برای انتقال مجموعه داده‌های پیوسته از شواهد اکتشافی به فضای فازی [۰-۱] با استفاده از یک دستگاه دو معادله و دو مجهول محاسبه می‌گردد این دو معادله به صورت زیر نوشته می‌شود [Yousefi and Nykänen, 2015]:

$$\begin{cases} F_{Ev(\min)} = \frac{1}{1 + \exp[-s(EV_{\min} - i)]} \\ F_{Ev(\max)} = \frac{1}{1 + \exp[-s(EV_{\max} - i)]} \end{cases} \quad (۲-۶)$$

که در آن  $F_{EV(max)}$  و  $F_{EV(min)}$  به ترتیب امتیاز فازی کمترین و بیشترین مقادیر شاهد یعنی ۰/۹۹ و ۰/۰۱ است و  $EV_{max}$  و  $EV_{min}$  مقادیر متناظر حداقل و حداکثر در مجموعه داده‌های شاهد ورودی است. با حل معادلات رابطه (۲-۶)، مقادیر مناسب  $i$  و  $s$  برای انتقال مجموعه داده‌های شواهد فضایی به محدوده [۰ و ۱] بدست می‌آید. بنابراین دستگاه معادلات (۲-۶) می‌تواند به صورت معادلات (۳-۶)، نوشته شود [Yousefi and Nykänen, 2015].

$$\left\{ \begin{array}{l} 0.01 = \frac{1}{1 + \exp[-s(EV_{min} - i)]} \\ 0.99 = \frac{1}{1 + \exp[-s(EV_{max} - i)]} \end{array} \right\} \Rightarrow \quad (3-6)$$

پس از حل دستگاه فوق مقادیر  $i$  و  $s$ ، برحسب پایین‌ترین ( $EV_{min}$ ) و بالاترین ( $EV_{max}$ ) مقادیر شواهد فضایی در مجموعه داده‌های ورودی است، به صورت روابط (۴-۶) و (۵-۶) محاسبه می‌شوند:

$$s = \frac{9.2}{EV_{max} - EV_{min}} \quad (3-6)$$

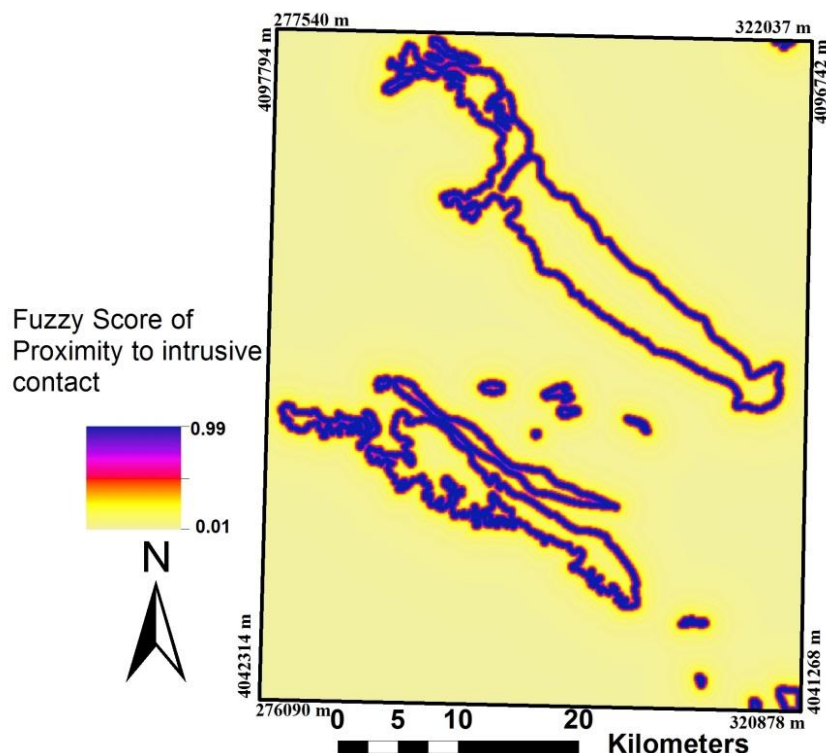
$$i = \frac{EV_{max} + EV_{min}}{2} \quad (4-6)$$

#### ۴-۶- تولید نقشه شاهد وزن دار فازی توده‌های نفوذی

در نهشته‌های مس پورفیری کانی مس به صورت پراکنده در سنگ میزبان یا رگه‌ها و برش‌هایی که در حجم نسبتاً وسیع فضای خالی و شکستگی‌های موجود در سنگ میزبان را پر نموده‌اند، توزیع شده است [Sillitoe, 1972; Sillitoe and Hedenquist, 2003; Sillitoe, 2010]. نهشته مس پورفیری عمدتاً در بالای کمپلکس توده نفوذی متمرکز شده است. انواع توده‌های نفوذی با ترکیبات دیوریت تا گرانیت مرتبط با این تیپ ذخایر و یا میزبان نهشته مس پورفیری است [Sillitoe, 2010].

با توجه به اینکه ذخایر مس پورفیری عموماً در نزدیکی یا همسایگی ساختارها و عوارض زمین‌شناسی مانند دایک، استوک، به ندرت باتولیت‌ها، گسل‌ها و ساختارهای خطی تشکیل می‌شوند، نقشه‌های زمین‌شناسی می‌توانند اطلاعاتی مانند سنگ میزبان کانی‌سازی، مجاورت و محل تماس واحدهای سنگی مرتبط با کانی‌سازی را در اختیار بگذارند. از این‌رو مناطق نزدیک به محل تماس باتوده‌های نفوذی محل‌های مناسب-تری برای جستجوی کانی‌سازی مس پورفیری نسبت به مناطق دورتر می‌باشند [Xiaoming et al., 2007].

برای نشان دادن نقشه فازی مجاورت تماس توده نفوذی به عنوان منبع حرارتی نقشه فاصله از محل تماس با توده نفوذی تهیه شد، به این ترتیب که ابتدا کلیه توده‌های نفوذی به صورت یک لایه جداگانه از نقشه زمین‌شناسی مورد مطالعه جداسازی و تفکیک شدند. سپس مرز آن‌ها به عنوان یک لایه شاهد جدا گردید. در مرحله بعد نقشه‌ای برحسب فاصله از مرز توده‌های نفوذی و سایر واحدهای زمین‌شناسی تولید شد که هر قسمت آن فاصله از مرز توده‌های نفوذی را نشان می‌دهد. سپس از عکس فاصله (عدد ۱ تقسیم بر فاصله هر نقطه در نقشه) برای نمایش میزان مطلوبیت رخداد مس پورفیری استفاده شده و مناطق نزدیک‌تر به مرز توده‌های نفوذی از ارزش بالاتری برخوردار گردیدند. در مرحله بعد برای انتقال مقادیر عددی به محدوده صفر و یک در نقشه معکوس فاصله از رابطه (۶-۱) استفاده شد و به کمک روش منطق فازی مقادیر عضویت فازی پیوسته تعیین شدند. بنابراین به کمترین فاصله از محل تماس با توده نفوذی بالاترین امتیاز فازی و به بیش‌ترین فاصله از محل تماس با توده نفوذی کمترین امتیاز فازی تخصیص داده شد (شکل ۶-۱). در روش وزن‌دهی پیوسته از طبقه‌بندی گسسته مقادیر شاهد با استفاده از فواصل دلخواه اجتناب می‌شود و یک نقشه وزن‌دار فازی برای شاهد زمین‌شناسی، بدون استفاده از اندیس‌های شناخته شده و با حداقل قضاوت کارشناس در تخصیص وزن تولید می‌گردد [Yousefi and Carranza, 2015a].



شکل ۶-۱. نقشه وزن‌دار فازی تولید شده برحسب فاصله از مرز توده‌های نفوذی و سایر واحدهای زمین‌شناسی، خطوط آبی رنگ مرز توده‌های نفوذی را نشان می‌دهد

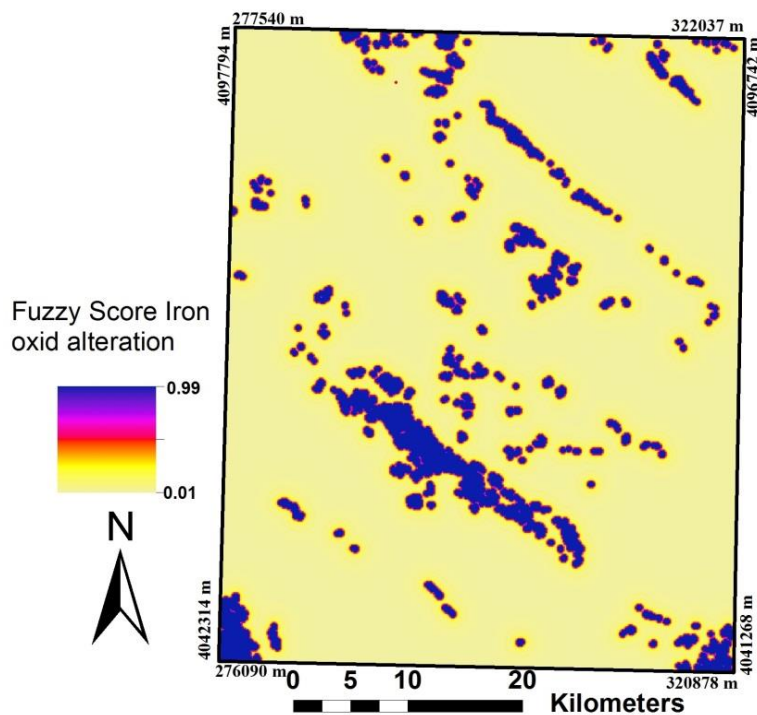
## ۶-۵- تولید نقشه شاهد وزن دار فازی از لایه دگرسانی

دگرسانی گرمابی، یک فرآیند پیچیده درگیر با تغییرات کانی‌شناسی، شیمیایی و بافتی است که از واکنش سیالات مایع داغ با سنگ‌هایی که از میان آن‌ها تحت شرایط فیزیکی‌وشیمیایی عبور می‌کند، بوجود می‌آید [Guilbert and Park, 1996]. در طی دگرسانی گرمابی طیف وسیعی از کانی‌ها ایجاد می‌گردد که مهم‌ترین آن‌ها کانی‌های رسی و اکسیدهای آهن است و در اکتشاف ذخایر گرمابی از اهمیت بالایی برخوردار هستند. بررسی‌های گیلبرت و لاول (۱۹۷۰) نشان داده که در نهشته‌های مس پورفیری چارچوبی که ویژگی‌ها را می‌توان وابسته به آن دانست، طبیعت و توزیع مناطق دگرسانی گرمابی سنگ‌های در برگیرنده است. این محققان چهار منطقه دگرسانی پتاسیک، سرسیت، آرژیلیک و پروپیلیت در اطراف نهشته‌های مس پورفیری در نظر گرفته‌اند. منطقه دگرسانی پتاسیک و سرسیت در نواحی داخلی رخ می‌دهند در حالی که دگرسانی آرژیلیکی که در آن کانی‌های رسی غالب هستند در قسمت خارجی نهشته‌های پورفیری تشکیل می‌شود. خارجی‌ترین منطقه دگرسانی پروپیلیتی است که صدها متر در سنگ احاطه کننده توده نفوذی گسترش دارد و کلریت کانی غالب آن است [خوئی و همکاران، ۱۳۷۸]. با توجه به اینکه منطقه دگرسانی پتاسیک و سرسیت که در عمق بوده و همچنین گسترش و وسعت دگرسانی پروپیلیتی در سطح زیاد می‌باشد، برای بررسی مناطق دگرسانی از دگرسانی آرژیلیکی استفاده شده است.

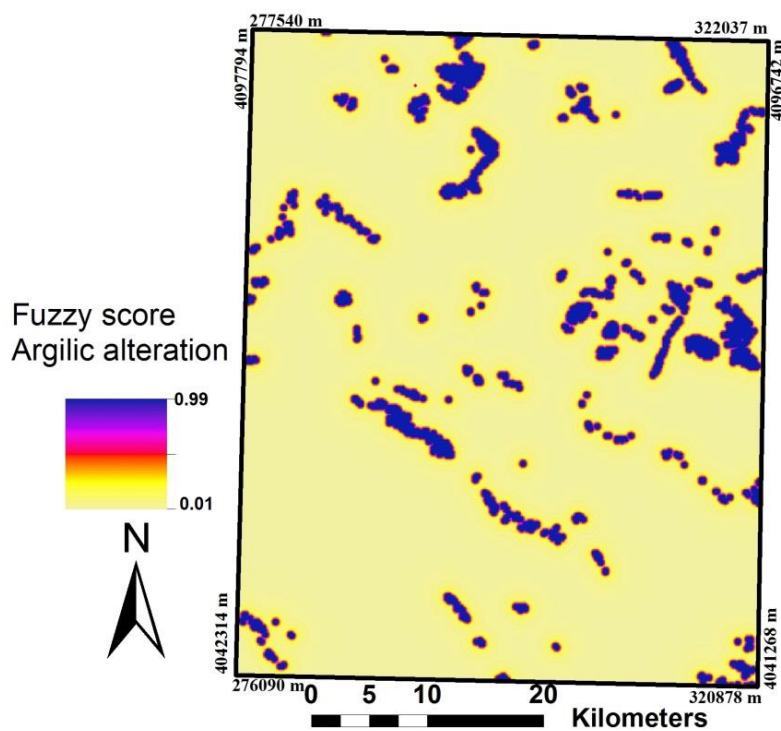
هوازدگی و دگرسانی کانی‌های اولیه برای هرکانی‌سازی که در محدوده نفوذ آب و هوا قرار گیرد رخ می‌دهد. دگرسانی هوازدگی می‌تواند با فروشست بخش‌های بالایی و بی‌مایه کردن آنها، مس فروشسته را به بخش‌های ژرف‌تر حمل کند و در آنجا به صورت سولفور بر جای نهد. کانه‌های فلزی بخش بالایی توده پورفیری که در دسترس اکسیژن آزاد است به کانی‌های اکسیده تبدیل خواهند شد. زون اکسیده تا سطح آب زیرزمینی گسترش دارد. پیریت در اثر ترکیب با آب هیدروکسید آهن و اسید سولفوریک تولید می‌کند [خوئی و همکاران، ۱۳۷۸]. هیدروکسید آهن در محل اکسیدشدگی باقی مانده و تشکیل کلاهدک گوسان را می‌دهد. این گوسان‌ها راهنمای مناسبی برای پی‌جویی محسوب می‌شوند. گوسان‌ها می‌توانند با مناطق دگرسانی گرمابی مرتبط باشند که مناطق مساعد برای اکتشاف نهشته مس پورفیری هستند. در مطالعه حاضر نیز محدوده‌های دگرسانی مانند توده‌های نفوذی ابتدا به صورت لایه‌های جداگانه از تصاویر ماهواره‌ای تفکیک گردید. سپس نقشه فاصله از دگرسانی‌ها تولید شد. در مرحله بعد از عکس فاصله (عدد ۱) تقسیم بر فاصله هر پیکسل در نقشه) برای نمایش میزان مطلوبیت رخداد مس پورفیری استفاده شد. بنابراین در نقشه‌های اخیر خود مناطق دگرسانی و فواصل نزدیک‌تر به آن‌ها دارای مقدار عددی بالاتر و با فاصله گرفتن از دگرسانی‌ها به صورت تدریجی و پیوسته از مقدار عددی آن‌ها کاسته می‌گردد. سپس با استفاده از تابع



لجستیک رابطه (۱-۶) مقدار عددی عکس فاصله به محدوده صفر و یک یعنی فضای فازی منتقل شد. شکل (۲-۶) نقشه وزن دار فازی دگرسانی‌های آهن و شکل (۳-۶) نقشه وزن دار فازی دگرسانی‌های آرژیلیک را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۶. نقشه وزن دار شده اکسید آهن، مناطق آبی رنگ نشان دهنده اکسیدهای آهن



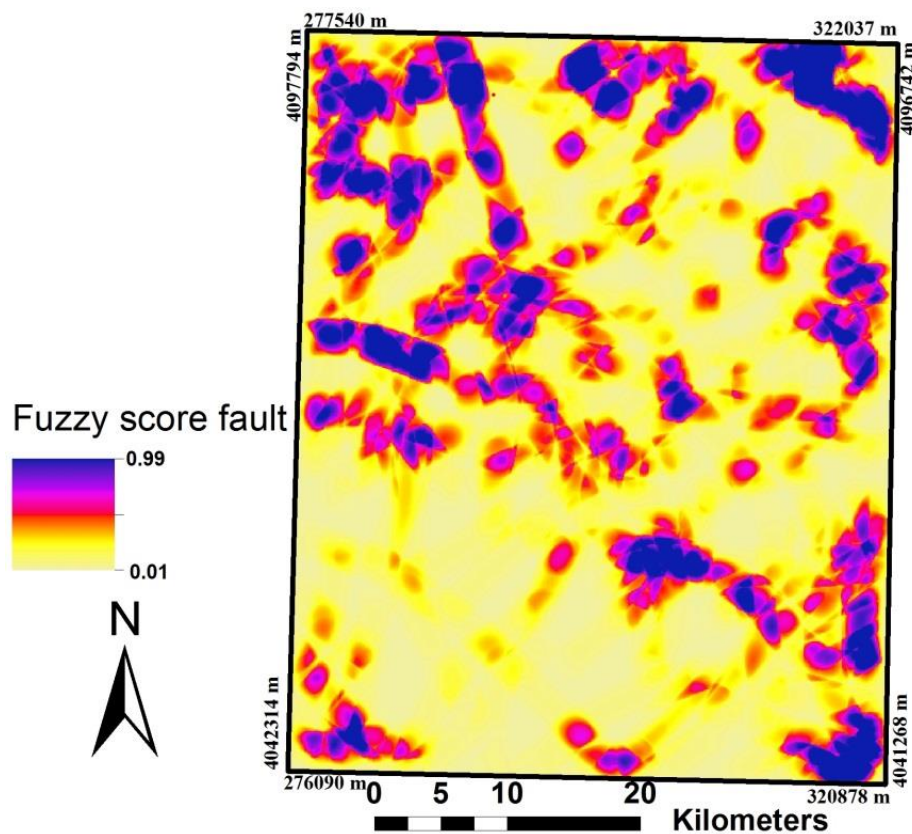
شکل ۳-۶. نقشه وزن دار شاهد فازی کانی‌های رسی، مناطق آبی رنگ بیانگر کانی‌های رسی

## ۶-۶- تولید نقشه شاهد وزن دار فازی گسل‌ها

در حاشیه توده‌های نفوذی شکستگی‌های فراوان وجود دارد که توانایی عبور سیالات گرمایی برای تبادل حرارت و جرم با سنگ‌های نفوذی را مهیا می‌سازد و بنابراین گسل‌ها در بسیاری از کانی‌سازی‌ها نقش مهمی ایفا می‌کند [Guillou-Frottier and Burov, 2003; Sillitoe, 2010]. چگالی گسل‌ها به عنوان یک لایه شاهد تولید شده تا اهمیت نسبی مناطق مورد ارزیابی قرارگیرند. در این بخش ابتدا مجموع طول گسل-ها در هر سلول واحد از منطقه مورد مطالعه محاسبه می‌شود. سپس مقادیر چگالی غیر فازی، به کمک رابطه (۶-۱) که به صورت رابطه (۶-۶) [Yousefi et al., 2014] بازنویسی شده به داخل دامنه صفر و یک انتقال داده شد تا نقشه فازی وزن دار چگالی گسل تولید گردد (شکل ۶-۴).

$$F_x = \frac{1}{1 + \exp[-s(FD - i)]} \quad (6-6)$$

در رابطه فوق FD مقدار چگالی گسل است. در واقع نقشه شکل (۶-۴) میزان مطلوبیت برای پی‌جویی کانی‌سازی مس پورفیری را بر اساس معیار چگالی گسل نشان می‌دهد. در این نقشه بیش‌ترین مقادیر FD امتیاز فازی بالایی دارند، در حالی که کمترین مقادیر FD حداقل امتیاز فازی را به خود اختصاص داده‌اند.



شکل ۶-۴. نقشه شاهد وزن دار فازی برای چگالی گسل، توزیع مقادیر  $F_{FD}$

## ۶-۷- تلفیق لایه‌های شاهد

در مدل‌سازی پتانسیل معدنی نقشه‌های شاهد وزن‌دار، به منظور تعیین اهداف اکتشافی مراحل بعد یک تیپ ذخیره مشخص، با یکدیگر تلفیق می‌شوند [Boham Carter, 1994; Porwal et al., 2003, 2006; Carranza, 2008]. نقشه‌های شاهد فازی تولید شده یعنی لایه زمین‌شناسی (توده‌های نفوذی)، لایه دگرسانی آرژیلیتی، لایه دگرسانی اکسید آهن، ژئوشیمی و چگالی گسل‌ها با استفاده از عملگرهای مناسب فازی تلفیق شدند. در این راستا هر یک از عملگرهای فازی موجود را می‌توان با توجه به هدف مورد نظر و مدل مفهومی ذخیره مورد جستجو استفاده کرد. در این مطالعه از برخی عملگرهای فازی [Boham Carter, 1994; Carranza, 2008] برای ترکیب نقشه‌های شاهد وزن‌دار استفاده شده، همچنین از روش میانگین هندسی [Yousefi and Carranza, 2015c] نیز برای مقایسه استفاده شده است.

### ۶-۷-۱- تلفیق با استفاده از عملگرهای فازی

در این مطالعه به منظور شناسایی مناطق پتانسیل‌دار مس پورفیری از روش فازی به عنوان یکی از روش‌های دانش محور در محیط GIS استفاده شده است، روش فازی در زمینه‌های بسیاری مورد استفاده قرار گرفته است [Boham Carter, 1994; Porwal et al., 2003, 2006; Carranza, 2008]. پس از تولید پنج لایه شاهد اکتشافی شامل چگالی گسل، دگرسانی‌های اکسید آهن، دگرسانی‌های آرژیلیک، حوضه‌های آبریز وزن‌دار (لایه شاهد ژئوشیمی) و لایه شاهد توده‌های نفوذی، این لایه‌ها با استفاده از عملگرهای فازی به صورت تشریح شده در زیر بایکدیگر تلفیق شدند.

### ۶-۷-۱-۱- عملگر گامای فازی

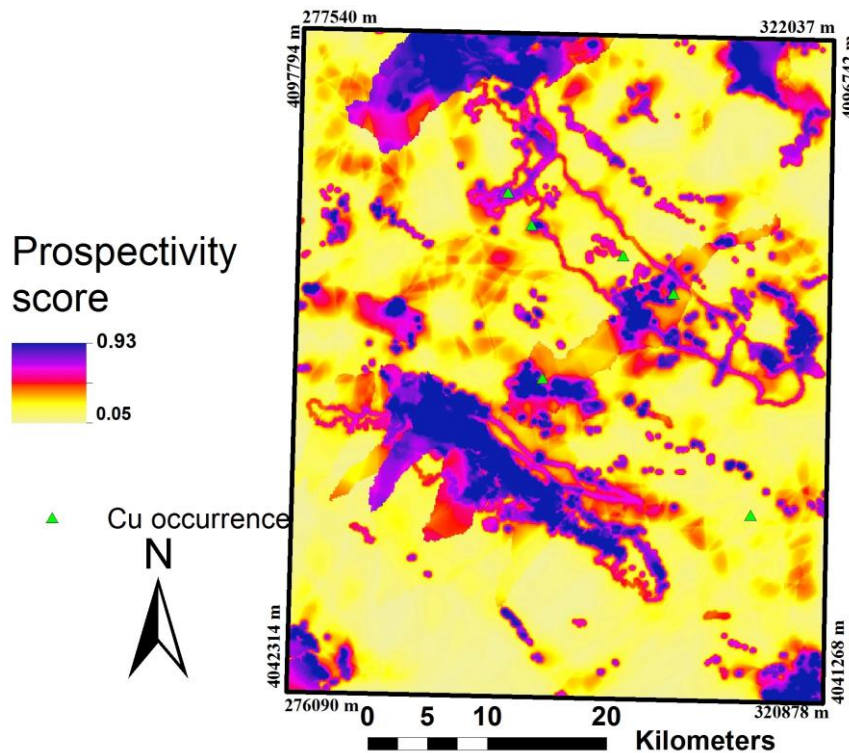
نوع عملگر مورد استفاده بستگی به نحوه تأثیرپذیری فاکتورها از یکدیگر و یا اثر نهایی (افزایشی یا کاهش) عملگر روی مجموعه پارامترها دارد. خروجی حاصل ضرب جبری فازی کمتر یا برابر کمترین امتیاز فازی در هر مکان در نقشه‌های ورودی شاهد فازی است. بنابراین حاصل ضرب جبری فازی تأثیر کاهش‌ی یا بدبینانه دارد و خروجی جمع جبری فازی بیش‌تر یا مساوی بالاترین امتیاز فازی در هر مکان در نقشه شاهد ورودی است. بنابراین جمع جبری فازی تأثیر افزایشی یا خوشبینانه دارد [Boham Carter, 1994; Carranza, 2008]. با توجه به این‌که مناطق هدف برای اکتشاف ذخایر مس پورفیری باید نشان دهنده فعل و انفعالات شرایط مساعد برای تشکیل نهشته‌های معدنی بوده و چنین مناطقی باید دارای ارزش بالای اکتشافی باشند. در نتیجه برای شناسایی نواحی اهداف اکتشافی در این قسمت از عملگر گاما فازی استفاده

شد. این عملگر در واقع تلفیق و استفاده همزمان دو عملگر جمع جبری و ضرب فازی است. استفاده از عملگر جمع جبری فازی در تلفیق مجموعه شواهد، اثر افزایشی دارد اما عملگر حاصل ضرب فازی اثر کاهشی دارد. بنابراین به منظور تعدیل اثر افزایشی و کاهشی دو عملگر فوق از عملگر گاما فازی به صورت یک عملگر واحد، استفاده شده است.

عملگر گاما برحسب دو عملگر ضرب و جمع جبری بوده و به صورت رابطه زیر بیان می‌شود:

$$\mu = (\prod_{i=1}^n \mu_i^{1-\gamma}) \times (1 - \prod_{i=1}^n (1-\mu_i)^\gamma) \quad (7-6)$$

در این رابطه؛  $\gamma$  پارامتری در محدوده صفر و یک است. در صورتی که مقدار گاما برابر با یک انتخاب گردد، نتیجه همان جمع جبری بوده و در صورتیکه که صفر باشد حاصل ضرب جبری خواهد بود. شکل (۵-۶) مدل پتانسیل تولید شده با استفاده از عملگر گاما (برابر ۰.۹) را نشان می‌دهد. تلفیق لایه‌های چگالی گسل، ژئوشیمی رسوبات آبراهه، دگرسانی گرمایی و توده‌های نفوذی با استفاده از گاما‌های مختلف شامل گامای ۰/۹، ۰/۷۷ و ۰/۵ برای مقایسه در پیوست آمده است. در این تلفیق‌ها لایه توده نفوذی به شکل کامل (و نه صرفاً مرز توده‌ها) در نظر گرفته شده است.



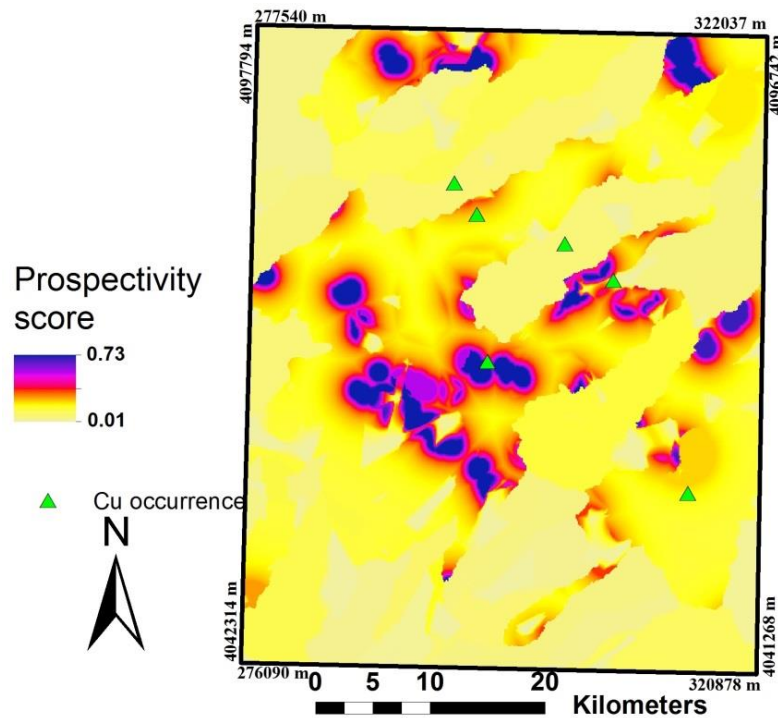
شکل ۵-۶. مدل پتانسیل معدنی تولید شده اکتشاف کانی‌سازی تیپ مس پورفیری با استفاده از تلفیق لایه‌های شاهد به روش گاما فازی ( $\gamma = 0.9$ )

## ۶-۷-۱-۲- عملگر AND فازی

این عملگر از رابطه (۸-۶) بدست می‌آید:

$$\mu = \text{Min}(\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots) \quad (۸-۶)$$

در این رابطه  $\mu_A$ ،  $\mu_B$ ،  $\mu_C$  به ترتیب مقادیر عضویت برای نقشه‌های A، B، C در یک موقعیت خاص از هر نقشه می‌باشند. در صورت استفاده از این عملگر، در هر سلول از نقشه خروجی کوچک‌ترین مقدار عضویت داده‌های ورودی، به عنوان ارزش نهایی تولید می‌شود. در واقع این عملگر تمایل به ایجاد مقادیر کوچک دارد که تخمینی محافظه کارانه است.



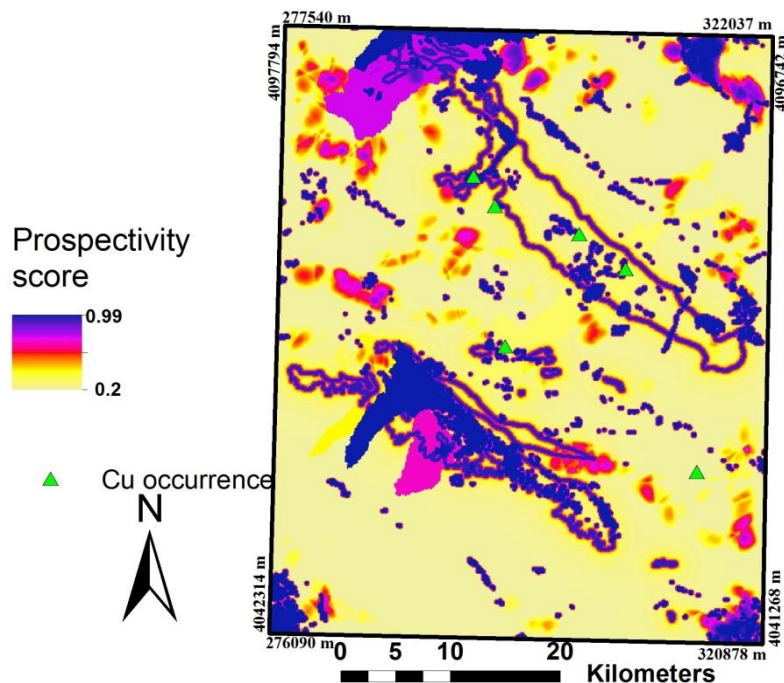
شکل ۶-۶. مدل پتانسیل معدنی تولید شده اکتشاف کانی‌سازی تیپ مس پورفیری با استفاده از تلفیق لایه‌های شاهد به روش AND فازی

## ۶-۷-۱-۳- عملگر OR فازی

عملگر OR به صورت رابطه (۹-۶) تعریف می‌شود:

$$\mu = \text{Max}(\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots) \quad (۹-۶)$$

با استفاده از این عملگر، مقادیر عضویت خروجی توسط مقدارهای حداکثر عضویت نقشه‌ها کنترل می‌شوند. در این عملگر مقدار عضویت ترکیب شده در هر محل تنها توسط مناسب‌ترین نقشه‌های نشانگر محدود می‌شوند. زمانی که شاخص‌های مورد نظر کانی‌زایی کم‌یاب بوده و حضور هر نشانگر مثبت می‌تواند برای مطلوبیت مفید و کافی باشد، از این عملگر استفاده می‌شود.



شکل ۶-۷. مدل پتانسیل معدنی تولید شده اکتشاف کانی سازی تپ مس پورفیری با استفاده از تلفیق لایه های شاهد به روش عملگر OR فازی

### ۶-۷-۲- تلفیق لایه های شاهد به روش میانگین هندسی

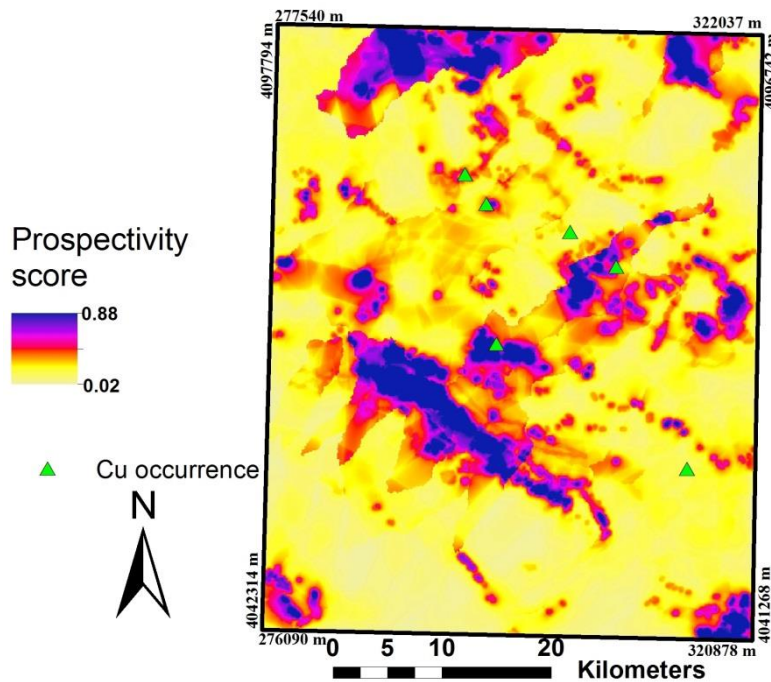
در محیط های مختلف زمین شناسی و مناطق مختلف اکتشافی به دلیل وجود پیچیدگی های زمین شناسی، نتایج روش های مختلف تلفیق، یکسان نخواهد بود. بنابراین لازم است در هر منطقه دو یا چند مدل پتانسیل با استفاده از روش های مختلف تلفیق، تولید شده و مورد مقایسه قرار گیرند تا بهترین مدل برای اکتشافات بعدی انتخاب گردد [Carranza, 2008]. به این منظور در این پایان نامه از روش تلفیق لایه های شاهد وزن دار با استفاده از رابطه میانگین هندسی نیز به عنوان یک رابطه تصمیم گیری چند معیاره استفاده شده است. رابطه میانگین هندسی برای تلفیق لایه های شاهد وزن دار در مدل پتانسیل معدنی به صورت زیر نوشته می شود [Yousefi and Carranza, 2015c]:

$$G_A(F_1, F_2, \dots, F_n) = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n F_i} = \sqrt{F_1 F_2 \dots F_n} \quad (6-10)$$

میانگین هندسی به صورت ریشه  $n$ ام حاصل ضرب مقادیر تعریف شده، که  $n$  تعداد مقادیر است. این رابطه برای هر سلول از منطقه مورد مطالعه بوده که در آن  $G_A$ ؛ میانگین هندسی مجموعه داده های اکتشافی،  $F_i$  مقدار عددی وزنی لایه شاهد  $i$ ام در سلول مورد نظر و  $n$  تعداد لایه ها می باشد. برای منطقه مورد مطالعه در این پایان نامه رابطه میانگین هندسی کانی سازی مس پورفیری در هر سلول از منطقه مورد مطالعه، با توجه به لایه های شاهد مورد استفاده به صورت زیر نوشته می شود:

$$G_{\text{Cu-porphyry}}(F_{\text{FD}}, F_{\text{int}}, F_{\text{GMPI}}, F_{\text{aa}}, F_{\text{io}}) = \left( \sqrt[5]{\prod_1^5 F_i} = \sqrt[5]{F_{\text{FD}} F_{\text{int}} F_{\text{GMPI}} F_{\text{aa}} F_{\text{io}}} \right) \quad (11-6)$$

که در آن  $F_{\text{io}}$  و  $F_{\text{aa}}$ ،  $F_{\text{GMPI}}$ ،  $F_{\text{int}}$ ،  $F_{\text{FD}}$  به ترتیب امتیاز فازی وزن دار مقادیر داده‌های اکتشافی متناظر با نقشه‌های شاهد چگالی گسل، توده‌های نفوذی، ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای، دگرسانی آرژلیک و دگرسانی اکسید آهن هستند. بعد از محاسبه مقادیر  $G_{\text{Cu-porphyry}}$  برای هر پیکسل در منطقه مورد مطالعه این مقادیر به نقشه تبدیل شده، و مدل پتانسیل معدنی کانی‌سازی تیپ مس پورفیری تولید شد (شکل ۶-۸).



شکل ۶-۸. مدل پتانسیل معدنی تولید شده اکتشاف کانی‌سازی تیپ مس پورفیری با استفاده از تلفیق لایه‌های شاهد به روش میانگین هندسی

## ۶-۹- ارزیابی مدل

در مدل‌سازی پتانسیل معدنی وزن اختصاص یافته به یک شاهد فضایی باید منعکس کننده رابطه بین شاهد فضایی و کانی‌سازی تیپ ذخیره مورد جستجو باشد. بنابراین اندیس‌های شناخته شده در منطقه مورد مطالعه می‌توانند به عنوان نقاط آزمون قابلیت نقشه وزن دار شده و مدل پتانسیل معدنی را در پیش‌بینی کانی‌سازی مورد جستجو در منطقه مورد نظر ارزیابی کنند [Carranza et al., 2005; Porwal et al., 2003, 2006]. بنابراین در این تحقیق نیز برای بررسی قابلیت پیش‌بینی مدل‌های تولید شده از شش اندیس مس که در منطقه وجود دارند، استفاده شده است. لازم به ذکر است که از اندیس‌های موجود در این منطقه صرفاً جهت ارزیابی مدل‌ها استفاده شده و در تخصیص وزن و تولید مدل مورد استفاده قرار نگرفته‌اند

به این منظور یوسفی و کارانزا (۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ b) نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت<sup>۱</sup> را توسعه دادند. در این نمودار درصد اندیس‌های شناخته شده و مساحت تحت پوشش هر طبقه (کلاس) از مدل پتانسیل معدنی به درصد (با توجه به کل مساحت منطقه مورد مطالعه) در مقابل حد جدایش دامنه‌های (کلاس‌های) مختلف امتیاز پیش‌گویی مدل تولید شده، رسم می‌گردند [Yousefi and Carranza, 2014, 2015b].

در نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت، دو منحنی وجود دارد، اولین منحنی مربوط به نرخ پیش‌بینی اندیس‌های شناخته شده متناظر با طبقه‌های مدل پتانسیل معدنی بوده و منحنی دیگر مساحت تحت پوشش برحسب درصد هر طبقه از مدل نسبت به کل منطقه مورد مطالعه است. در این نمودار نقطه تقاطع دو (منحنی نرخ پیش‌بینی و مساحت) معیاری برای ارزیابی مدل پتانسیل معدنی است، هرچه نقطه تقاطع دو نمودار بالاتر باشد، ارزش نقشه مدل‌سازی شده بیش‌تر است، زیرا نشان دهنده منطقه‌ای کوچک‌تر شامل تعداد بیش‌تری از اندیس‌های معدنی است و در نتیجه به این معنی است که احتمال رخداد نهشته مواد معدنی در آن ناحیه بالاتر است [Yousefi and Carranza, 2014, 2015b]. اگر برای یک مدل مساحت منظور شده کم‌تر از مدل‌های دیگر باشد، این امر می‌تواند برای پیدا کردن نهشته‌های کشف نشده آسان‌تر باشد.

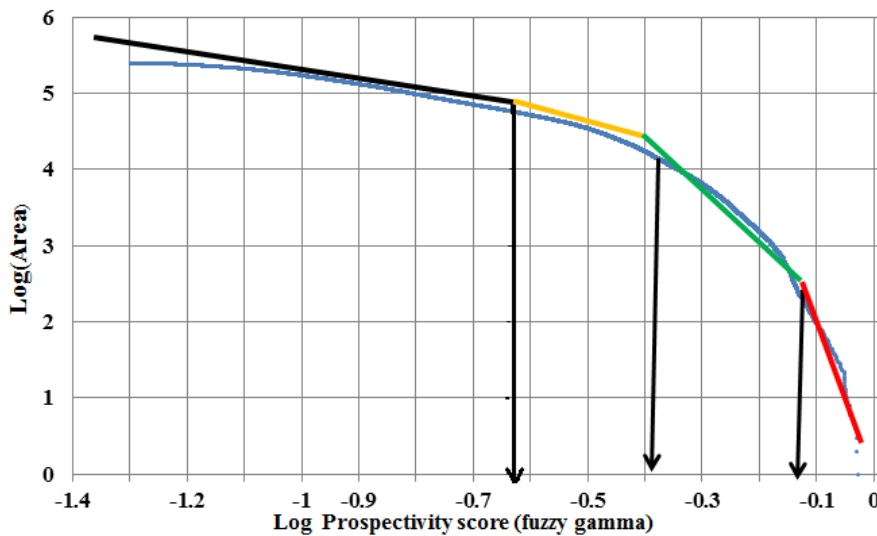
با توجه به توضیحات فوق هدف اصلی از این روش، ارزیابی مدل‌ها می‌باشد و نقطه تقاطع که یک نقطه مشترک روی هر دو منحنی مذکور است، یک معیار مناسب برای ارزیابی مدل‌های تولید شده است. همان‌طور که در بالا توضیح داده شد به منظور رسم نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت مدل‌های پتانسیل لازم است این مدل‌ها طبقه‌بندی شوند. برای نیل به این هدف یعنی طبقه‌بندی مدل‌های پتانسیل معدنی تولیدی، یوسفی و کارانزا (۲۰۱۵b) نشان دادند که از روش فرکتال عیار - مساحت [cheng et al, 1994] برای تعیین حد آستانه‌ای جوامع مختلف استفاده نمود. در مطالعه حاضر نمودارهای عیار مساحت در شکل‌های (۶-۹)، (۶-۱۲)، (۶-۱۵)، (۶-۱۸)، (۶-۲۳) و (۶-۲۷) نشان داده شده است. سپس با توجه به حدهای آستانه‌ای بدست آمده، مدل‌های پتانسیل معدنی مجدداً طبقه‌بندی شدند (شکل‌های ۶-۱۰، ۶-۱۳، ۶-۱۶، ۶-۱۹، ۶-۲۴، ۶-۲۸) در نهایت با توجه به نقشه طبقه‌بندی شده مدل‌های پتانسیل معدنی و تعداد اندیس‌های پیش‌بینی شده در هر کلاس و مساحت متناظر کلاس‌ها، نمودارهای نرخ پیش‌بینی - مساحت به منظور مقایسه و ارزیابی مدل‌ها ترسیم گردیدند (شکل‌های ۶-۱۱، ۶-۱۴، ۶-۱۷، ۶-۲۰، ۶-۲۵، ۶-۲۹).

<sup>1</sup> Prediction-area (P-A)

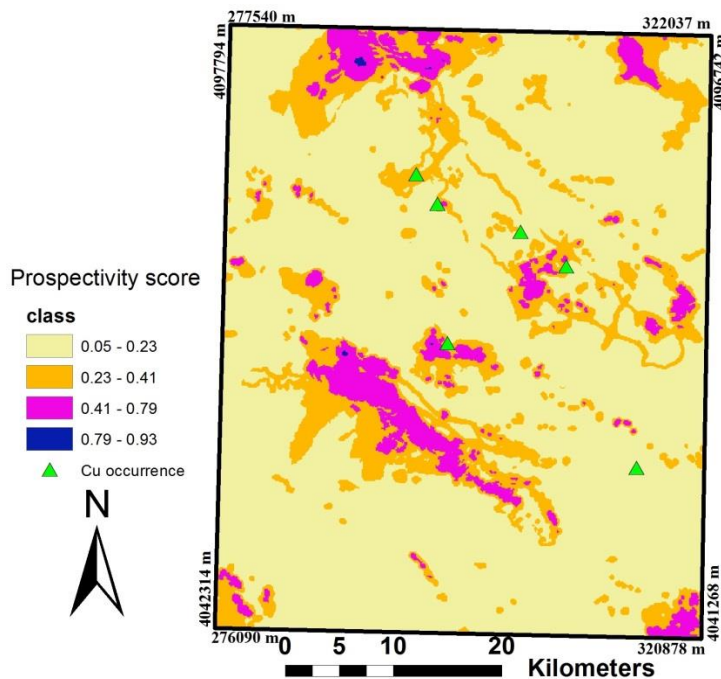


### ۶-۹-۱- ارزیابی مدل‌های تولید شده با استفاده از عملگر گامای فازی

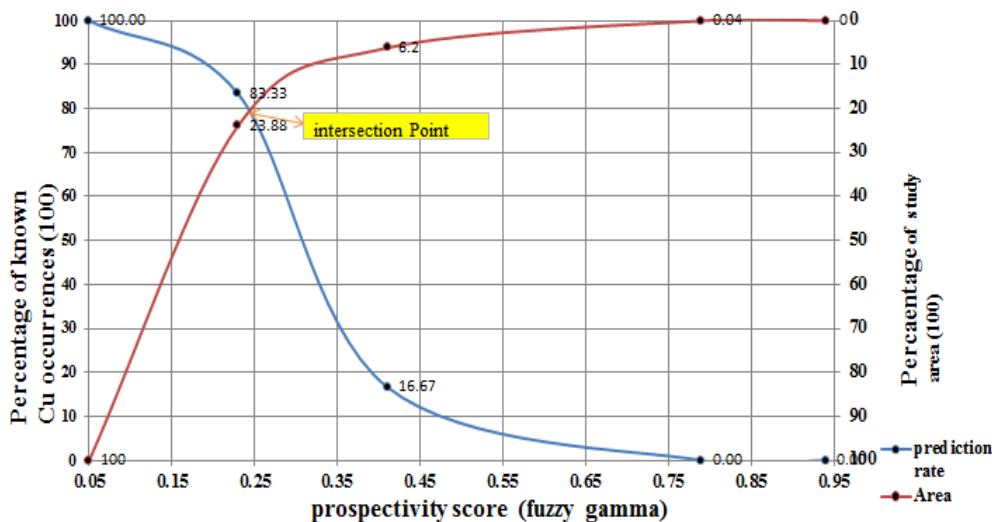
همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، به منظور ارزیابی مدل تولید شده، ابتدا به کمک نمودار عیار-مساحت، مدل تولید شده به چهار کلاس طبقه شده است (شکل ۶-۹). نقشه طبقه‌بندی شده در شکل (۶-۱۰) نشان داده شده است. مطابق شکل (۶-۱۱) نمودار نرخ پیش‌بینی-مساحت نقطه برخورد دو منحنی را نشان می‌دهد. نرخ پیش‌بینی برابر ۸۰ درصد و مساحت تحت پوشش حدود ۲۰ درصد را نشان می‌دهد، این بدان معنی است که ۸۰ درصد از مجموع کل اندیس‌ها در مساحتی حدود ۲۰ درصد از منطقه مورد مطالعه رخ می‌دهد.



شکل ۶-۹. نمودار عیار-مساحت برای مدل پتانسیل تولید شده با استفاده از عملگر گامای فازی ( $\gamma = 0/9$ )



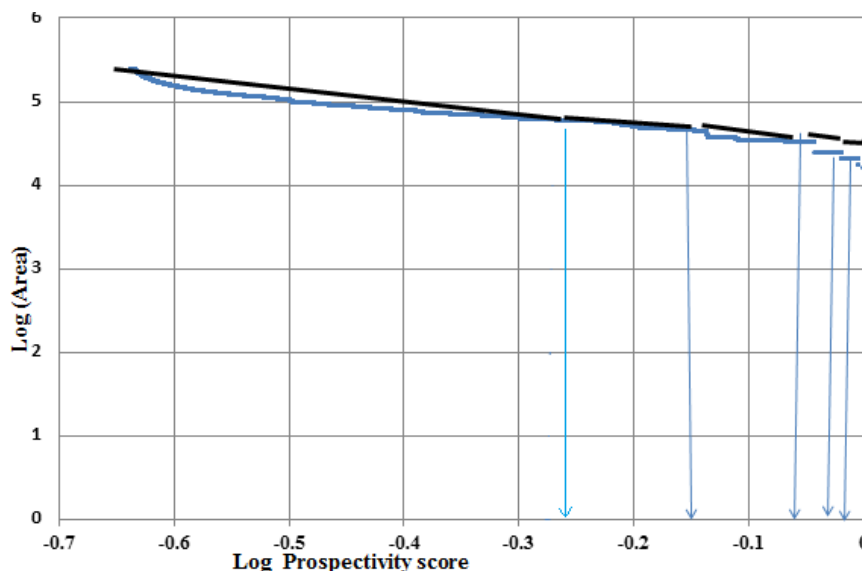
شکل ۶-۱۰. نقشه طبقه‌بندی شده مدل تولید شده با استفاده از گامای ۰/۹



شکل ۶-۱۱. نمودار نرخ پیش‌بینی- مساحت برای مدل تولید شده با استفاده از عملگر گامای فازی ۰/۹

### ۶-۹-۲- ارزیابی مدل تولید شده با استفاده از عملگر OR فازی

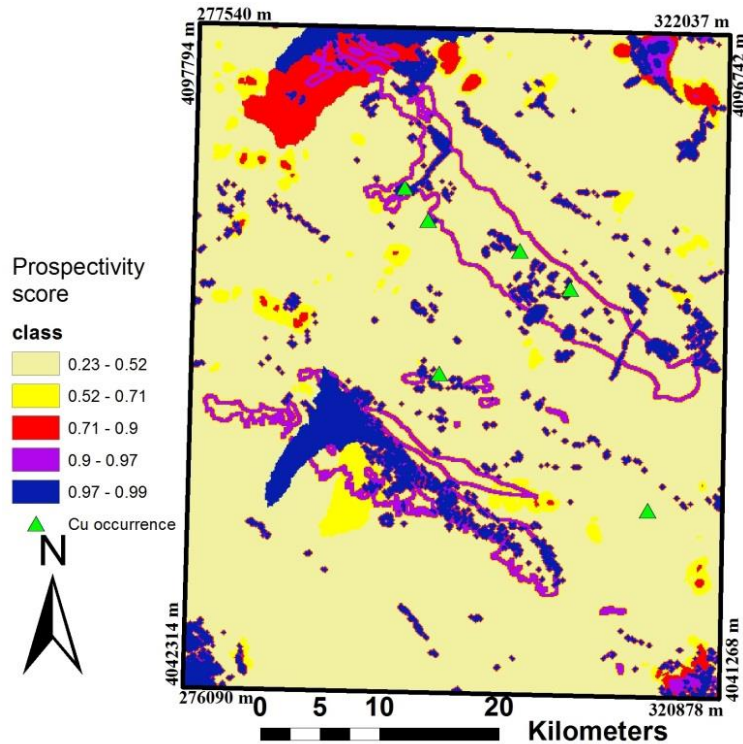
به منظور مقایسه سایر روش‌های تلفیق و سنجش اهمیت نسبی آن‌ها، روش به کار گرفته شده در ارزیابی مدل پتانسیل تولید شده با استفاده از عملگر گامای فازی برای سایر مدل‌ها نیز اجرا گردید. در شکل (۶-۱۲) نمودار عیار- مساحت برای مدل تولید شده با استفاده از عملگر OR فازی نشان داده شده است.



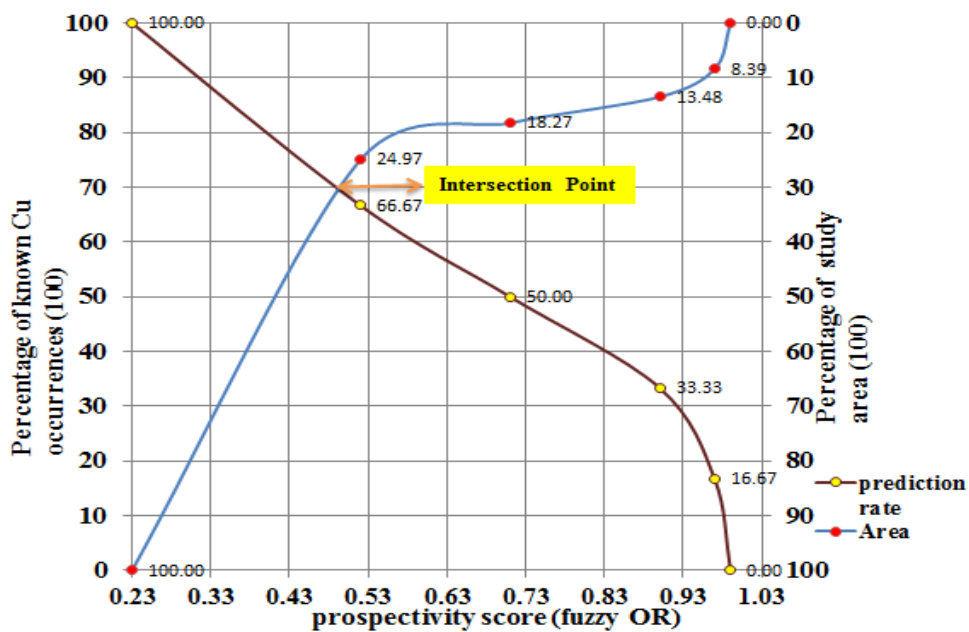
شکل ۶-۱۲. نمودار عیار- مساحت برای مدل پتانسیل تولید شده با استفاده از عملگر فازی OR

همان‌طور که در شکل (۶-۱۲) دیده می‌شود مقادیر امتیاز پیش‌گویی در نقشه مدل OR به پنج کلاس قابل طبقه‌بندی هستند. نقشه طبقه‌بندی شده مدل پتانسیل تولید شده با عملگر OR در شکل (۶-۱۳) نشان داده شده است. به منظور ارزیابی کمی مدل تولید شده با استفاده از عملگر OR فازی نمودار نرخ

پیش‌بینی - مساحت رسم گردید که در شکل (۶-۱۴) نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود مدل تولید شده با استفاده از عملگر OR فازی ۷۰ درصد اندیس‌ها را در ۳۰ درصد مساحت کل منطقه پیش‌بینی می‌کند.



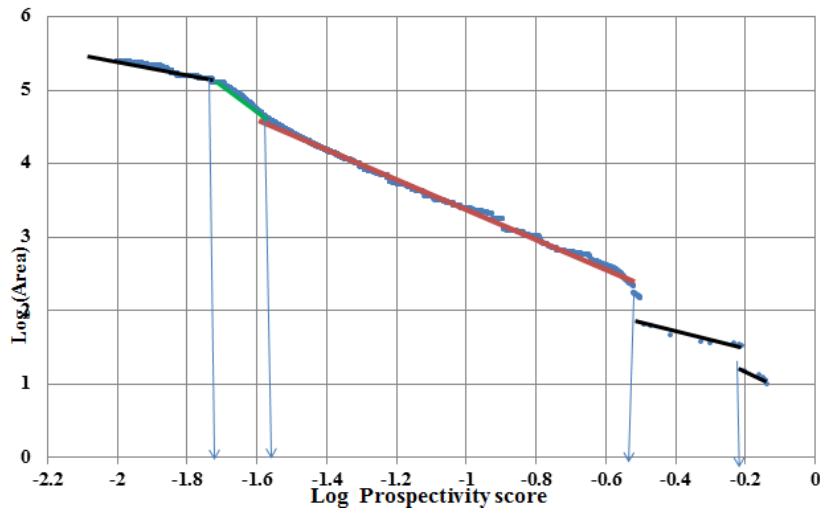
شکل ۶-۱۳. نقشه طبقه‌بندی شده مدل تولید شده با استفاده از عملگر فازی OR



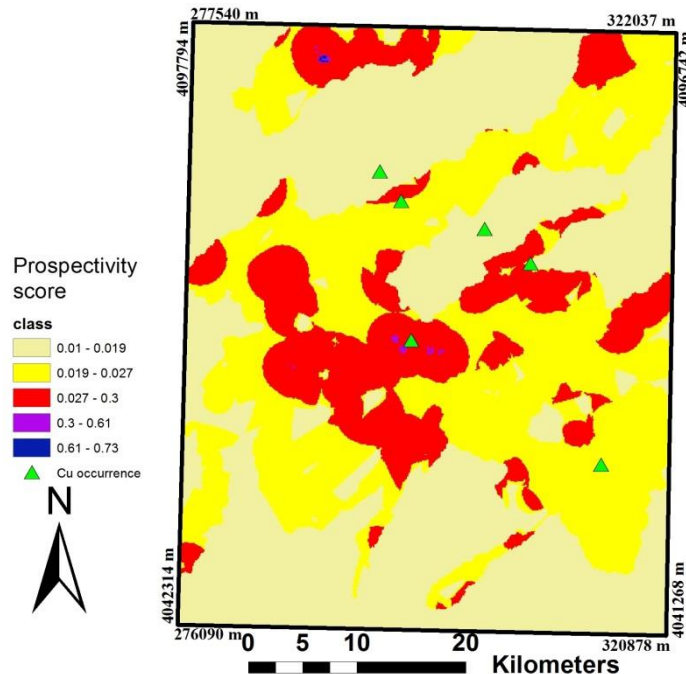
شکل ۶-۱۴. نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت برای مدل تولید شده با استفاده از عملگر فازی OR

### ۳-۹-۶- ارزیابی مدل تولید شده با استفاده از عملگر AND فازی

به منظور کمی‌سازی قدرت پیش‌بینی مدل تولید شده با استفاده از عملگر AND فازی نیز ابتدا مقادیر امتیاز پیش‌گوی بدست آمده از این عملگر با استفاده از نمودار عیار-مساحت (۶-۱۵) طبقه‌بندی شده که نقشه طبقه‌بندی در شکل (۶-۱۶) نشان داده شده است.



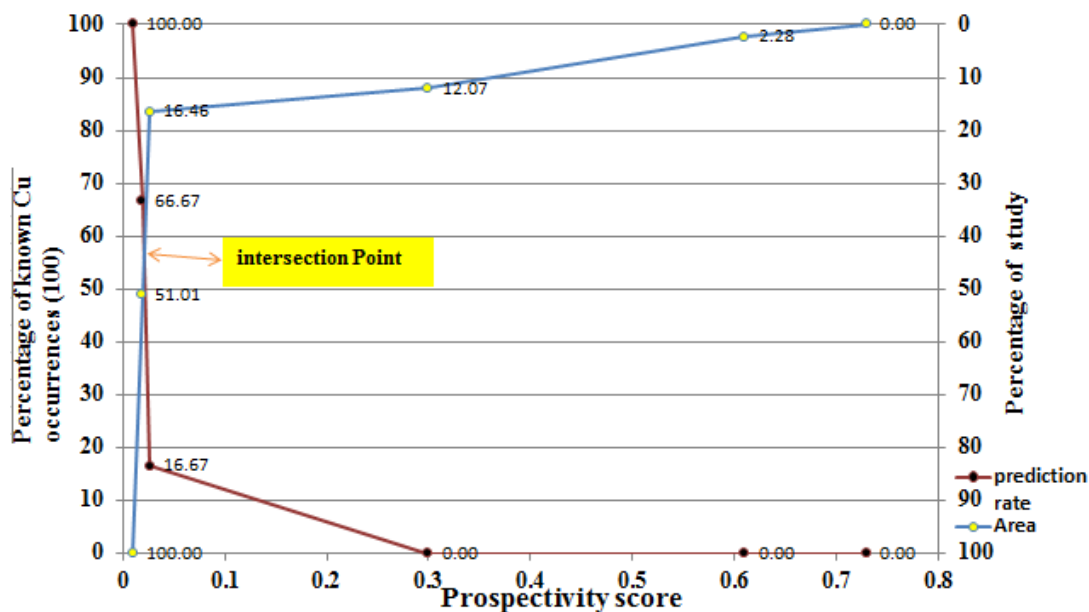
شکل ۶-۱۵. نمودار عیار-مساحت برای مدل پتانسیل تولید شده با استفاده از عملگر فازی AND



شکل ۶-۱۶. نقشه طبقه‌بندی شده مدل تولید شده با استفاده از فازی AND

همان‌طور که در شکل فوق مشخص است مقادیر امتیاز پیش‌گویی با توجه به نمودار عیار-مساحت به پنج کلاس طبقه‌بندی شده است. بنابراین با توجه به این کلاس‌ها و درصد اندیس‌های موجود در آن‌ها و

همچنین مساحت تحت پوشش نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت برای مدل تولید شده توسط عملگر AND فازی تولید گردید (شکل ۶-۱۷).

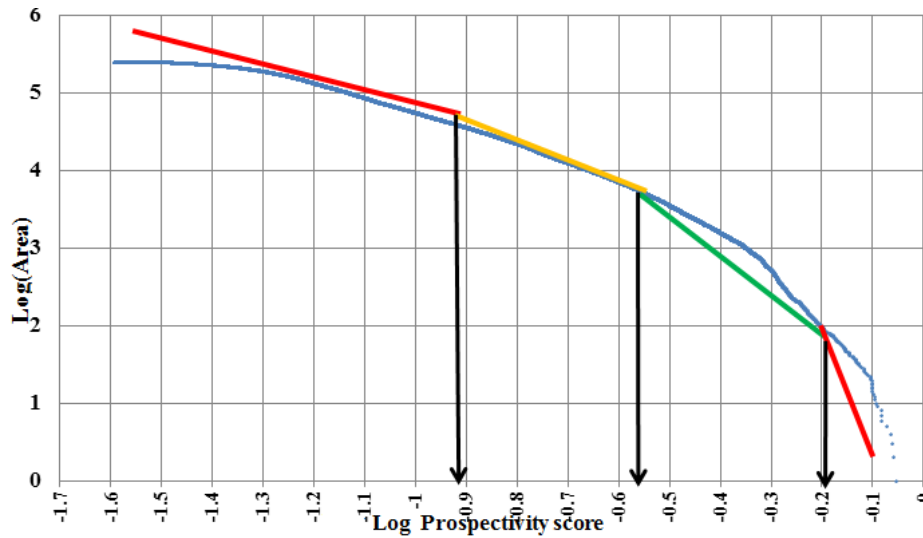


شکل ۶-۱۷. نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت برای مدل تولید شده با استفاده از عملگر فازی AND

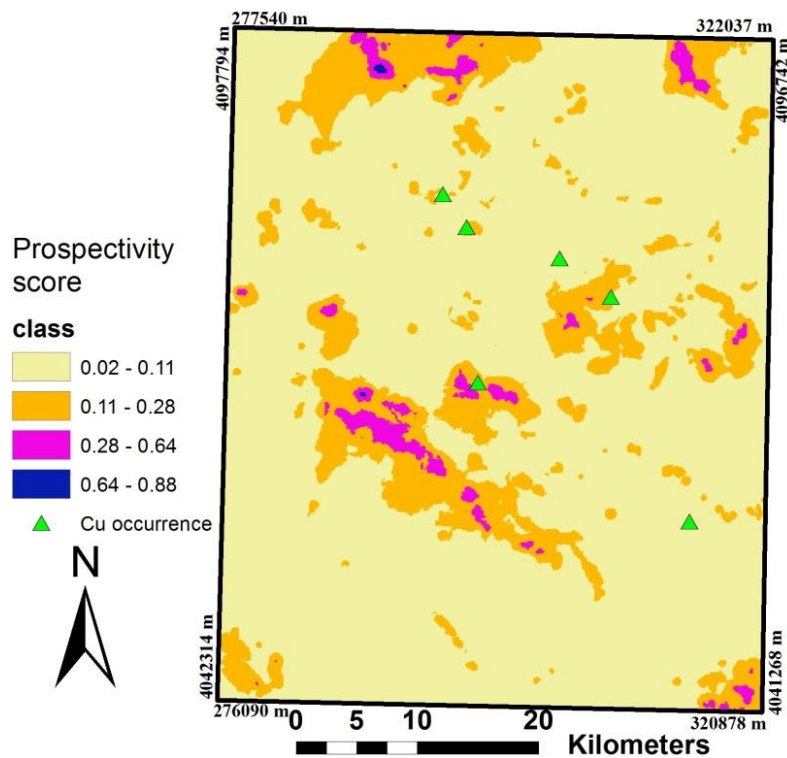
با توجه به نمودار شکل (۶-۱۷) مدل تولید شده به کمک عملگر AND فازی ۵۸ درصد اندیس‌ها را در ۴۲ درصد مساحت منطقه پیش‌بینی می‌کند.

#### ۶-۹-۴- ارزیابی مدل تولید شده با استفاده از عملگر میانگین هندسی

به منظور محاسبه نرخ پیش‌بینی مدل تولید شده با استفاده از عملگر میانگین هندسی نیز ابتدا با استفاده از روش فرکتال عیار- مساحت (شکل ۶-۱۸) مقادیر ارزش پیش‌گویی به دست آمده طبقه‌بندی شدند. همان‌طور که در نمودار عیار- مساحت مشخص است، چهار کلاس قابل طبقه‌بندی است. نقشه طبقه-بندی شده مدل پتانسیل تولید شده با استفاده از روش میانگین هندسی در نقشه شکل (۶-۱۹) نشان داده شده است.

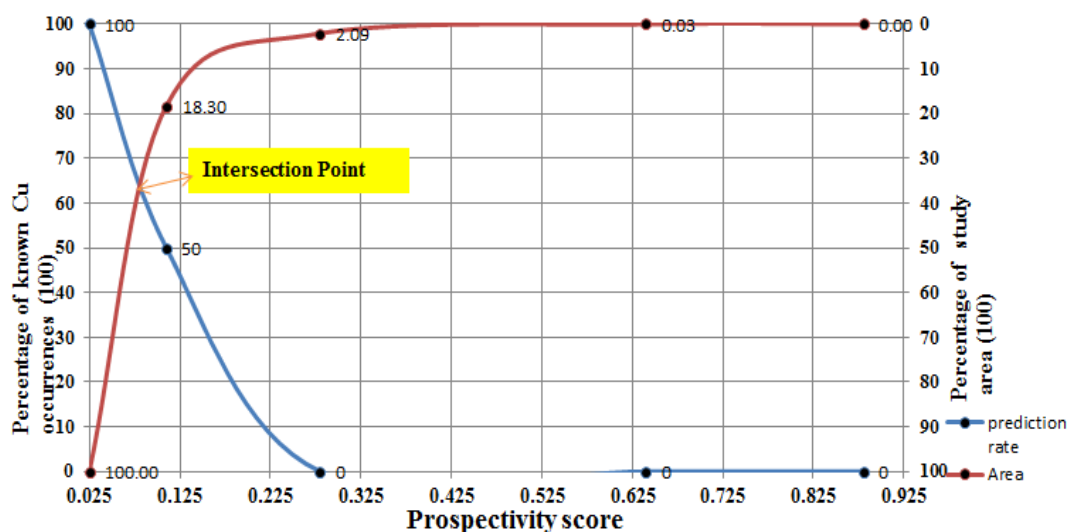


شکل ۶-۱۸. نمودار عیار- مساحت برای مدل پتانسیل تولید شده با استفاده از روش میانگین هندسی



شکل ۶-۱۹. نقشه طبقه‌بندی شده مدل تولید شده با استفاده از میانگین هندسی

پس از طبقه‌بندی مدل پتانسیل میانگین هندسی با توجه به تعداد اندیس‌های پیش‌بینی شده در هر کلاس و مساحت آن‌ها نمودار نرخ پیش‌بینی- مساحت در شکل (۶-۲۰) رسم شده است. با توجه به این نمودار مشخص می‌گردد که این مدل می‌تواند ۶۵ درصد اندیس‌ها را در ۳۵ درصد منطقه پیش‌بینی کند.



شکل ۶-۲۰. نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت برای مدل تولید شده با استفاده از روش میانگین هندسی

همان‌طور که مشاهده می‌شود نرخ پیش‌بینی مدل پتانسیل تولید شده حاصل از تلفیق نقشه‌های شاهد وزن‌دار پیوسته با استفاده از روش میانگین هندسی کمتر از مدل تولید شده حاصل از تلفیق نقشه‌های پیوسته با استفاده از عملگر گامی  $0/9$  است. زیرا همان‌طور که یوسفی و کارانزا (۲۰۱۵C) اشاره کردند اگرچه ممکن است یک روش تلفیق در یک منطقه بهتر از روش‌های دیگر باشد اما به این معنی نیست که روش تلفیق استفاده شده در دیگر مناطق مورد مطالعه نیز باعث افزایش نرخ پیش‌بینی می‌گردد. زیرا پتانسیل نهایی از ویژگی‌های مختلف ذخیره مورد جستجو و در نتیجه لایه‌های شاهد زمین‌شناسی مختلف که هر یک ویژگی خاصی از زمین‌شناسی منطقه را بیان می‌کند، تحت تاثیر قرار می‌گیرد. بنابراین از آنجایی که روش میانگین هندسی مناطق با وسعت کمتری را معرفی می‌کند، ممکن است برخی نواحی حذف شوند در نتیجه لازم است با مدل‌های دیگر مقایسه گردد. تنها در صورتیکه در یک منطقه با کوچک‌تر شدن مناطق اهداف اکتشافی نرخ پیش‌بینی کمتر نشود، می‌توان به نحو مطلوبی از روش میانگین هندسی برای محدودتر نمودن اهداف اکتشافی استفاده نمود.

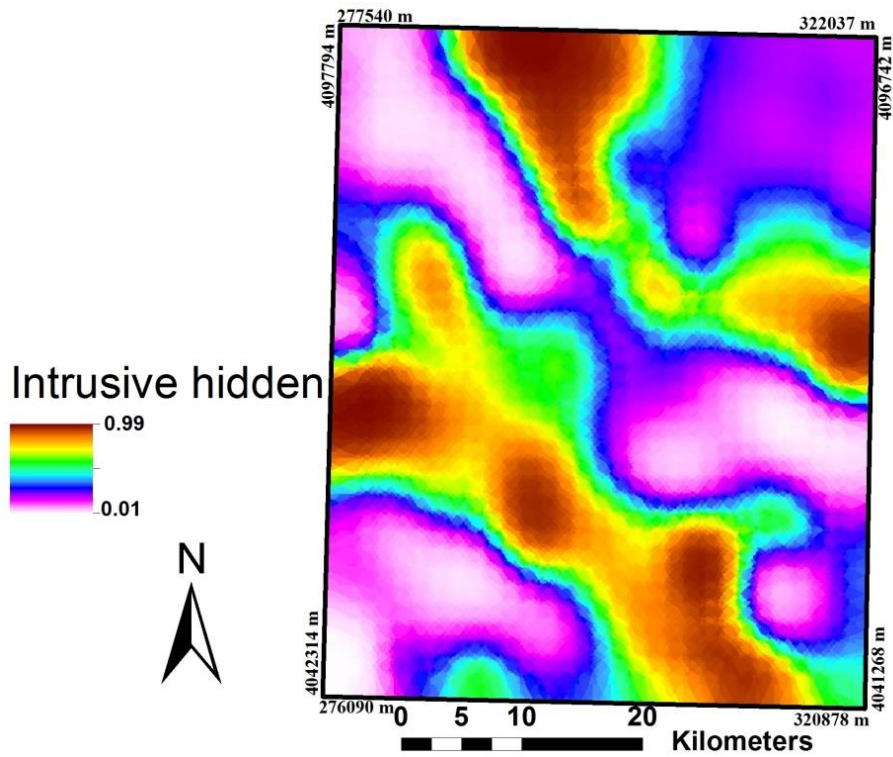
## ۶-۱۰- شناسایی مناطق پتانسیل‌دار معدنی با در نظر گرفتن لایه مغناطیس‌هوایی

مغناطیس‌سنجی قدیمی‌ترین و گسترده‌ترین روش مورد استفاده در اکتشافات ژئوفیزیکی است که برای تعیین محل کانسارهای پنهان بکار می‌رود [Nabighian et al., 2005]. برداشت‌های میدان پتانسیل برای مقاصد مختلفی انجام می‌شود مانند کشف امتدادهای ساختمانی، بررسی پی‌سنگ منطقه و کشف و تحلیل منابع آنومالی مربوط به توده‌های معدنی [Grant and west, 1965]. در مطالعه حاضر به منظور بررسی و شناسایی بیش‌تر مناطق امیدبخش از نقشه مشتق قائم مغناطیس‌هوایی استفاده شده است. مقایسه نتایج

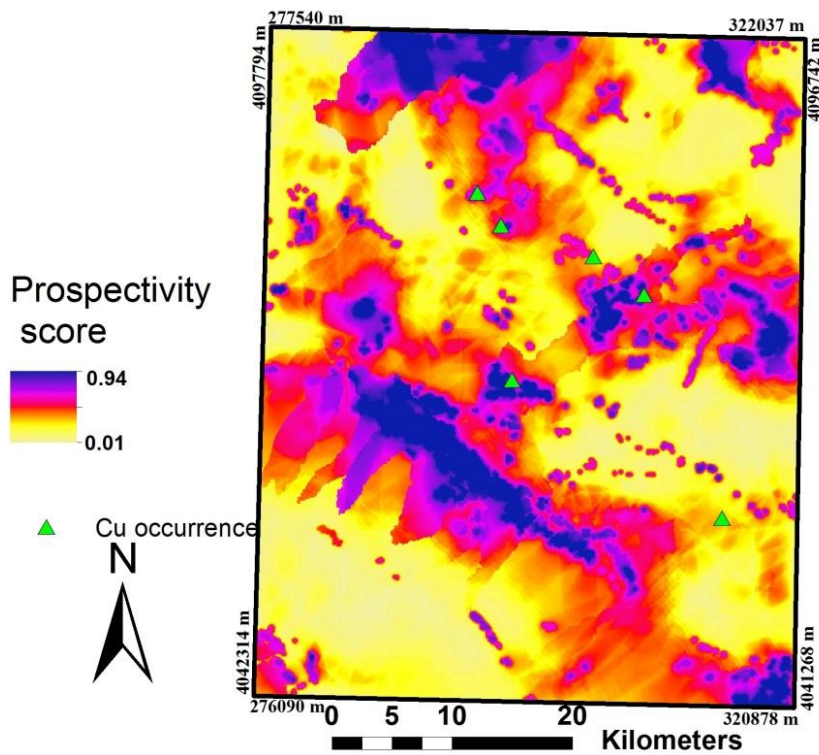
توده‌های نفوذی دو لایه زمین‌شناسی (سطحی، شکل ۲-۲) و مغناطیسی (زیر سطحی، شکل ۴-۸) نشان دهنده تطابق قسمت‌های قرمز رنگ با مقادیر بالا و توده‌های نفوذی پنهان است. با توجه نیم‌رخ زمین‌شناسی منطقه و نقشه مغناطیس آن نشان می‌دهد که این توده‌ها در عمق گسترش دارند. به منظور نقشه‌برداری توده‌های نفوذی پنهان و استفاده از آن در تلفیق لایه‌های اطلاعاتی، لایه شاهد وزن دار توده‌های نفوذی پنهان با کمک پردازش و تفسیر نقشه‌های مغناطیس تهیه شده است. برای تولید این لایه وزن دار مقدار شدت مغناطیسی (مشتق قائم) به جای (Ev) در رابطه (۶-۱) جایگذاری گردید (شکل ۶-۲۱). در لایه شاهد مغناطیسی که به صورت رستری است، هر پیکسل مقدار خاص مربوط به خود را دارد و به صورت تدریجی تغییر می‌کند. بنابراین هنگام وزن‌دهی به لایه شاهد تهیه شده از نقشه مغناطیس، نواحی عمیق‌تر به ویژه در مرکز توده نفوذی امتیاز بالا و هرچه به حاشیه توده و به نواحی کم‌عمق نزدیک شده است، امتیاز کم‌تری تعلق می‌گیرد. با توجه به اینکه حاشیه توده‌های نفوذی شکستگی‌های فراوان دارد و این شکستگی‌ها توده نفوذی را قادر به تبادل حرارت و مواد با سنگ میزبان می‌سازد، این قسمت‌ها از اهمیت بالا برخوردار است و با دور شدن از این قسمت‌ها احتمال حضور کانی‌سازی کم‌تر می‌شود.

در مطالعه حاضر لایه‌های شاهد وزن دار توده‌های نفوذی بدست آمده از داده‌های مغناطیسی شکل (۶-۶-۲۱)، دگرسانی اکسید آهن، دگرسانی آرژبلیتی، خطواره‌ها و گسل‌ها و نیز ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای با استفاده از عملگر فازی گاما، با مقدار تابع  $0.9/\gamma$  و میانگین هندسی با یکدیگر تلفیق شده‌اند. برای بررسی نتایج حاصل از نقشه‌های روش فازی پیوسته، ابتدا به کمک روش فرکتال طبقه‌بندی داده‌ها صورت گرفته (شکل‌های ۶-۲۳ و ۶-۲۷) و نقشه‌ها در کلاس‌های مختلف رسم شدند (شکل‌های ۶-۲۴ و ۶-۲۸). سپس نمودار نرخ پیش‌بینی-مساحت ترسیم و با بدست آوردن نقطه برخورد دو منحنی مدل‌های فوق در شکل‌های (۶-۲۵ و ۶-۲۹) با هم مقایسه شدند.



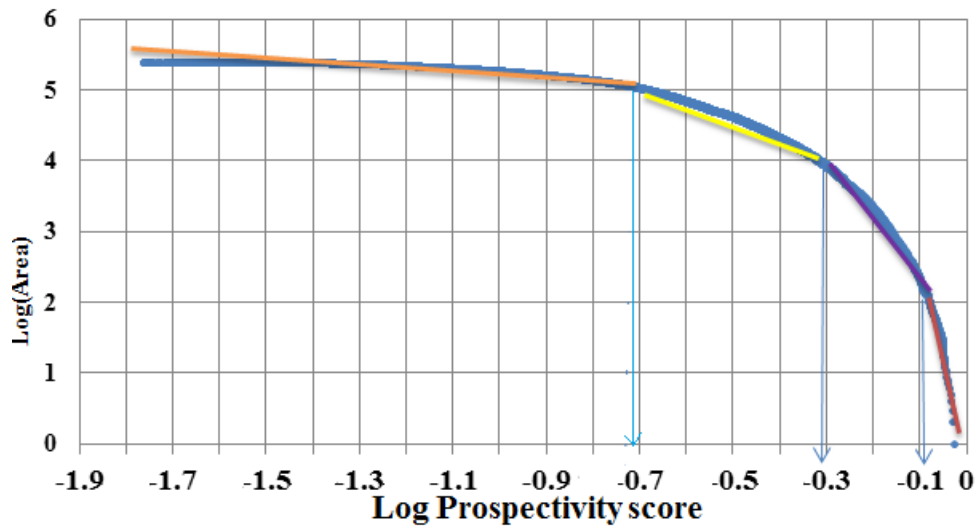


شکل ۶-۲۱. نقشه وزن دار فازی توده‌های نفودی پنهان با استفاده از نقشه مغناطیس مشتق قائم



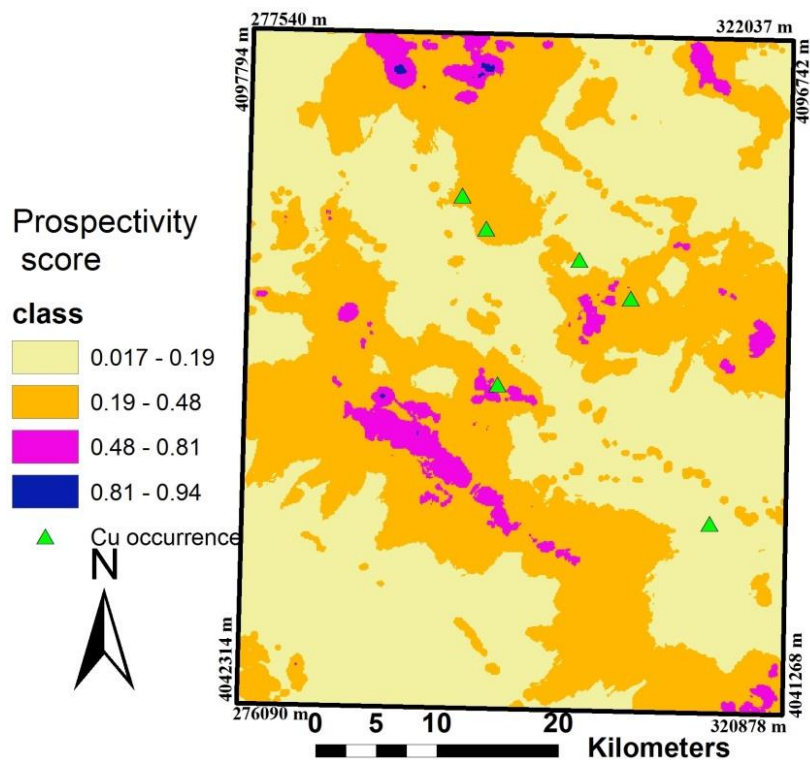
شکل ۶-۲۲. مدل پتانسیل معدنی تولید شده حاصل از تلفیق با استفاده از عمگر گامای فازی (۰/۹). لایه‌های دگرسانی اکسید آهن، دگرسانی آرژیلیکی، چگالی گسل و توده نفودی پنهان حاصل از نقشه مغناطیسی و نیز لایه شاهد ژئوشیمیایی حوضه‌های آبریز

به منظور ارزیابی مدل فوق ابتدا نمودار عیار- مساحت شکل (۶-۲۳) رسم شد.



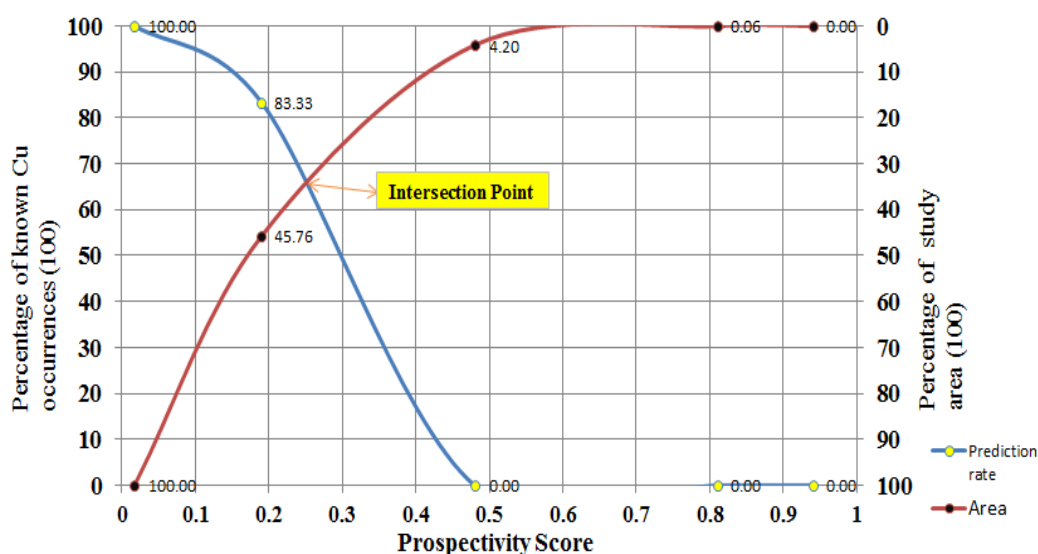
شکل ۶-۲۳. نمودار عیار- مساحت برای مدل پتانسیل تولید شده ذخایر پنهان با استفاده از عملگر گامای فازی ( $\gamma = 0/9$ )

همان طور که از نمودار شکل (۶-۲۳) مشخص است مقادیر امتیاز پیش گویی در مدل پتانسیل تولید شده با استفاده از نقشه مغناطیس هوایی می تواند به چهار کلاس طبقه بندی شود، نقشه طبقه بندی شده در شکل (۶-۲۴) نشان داده شده است.



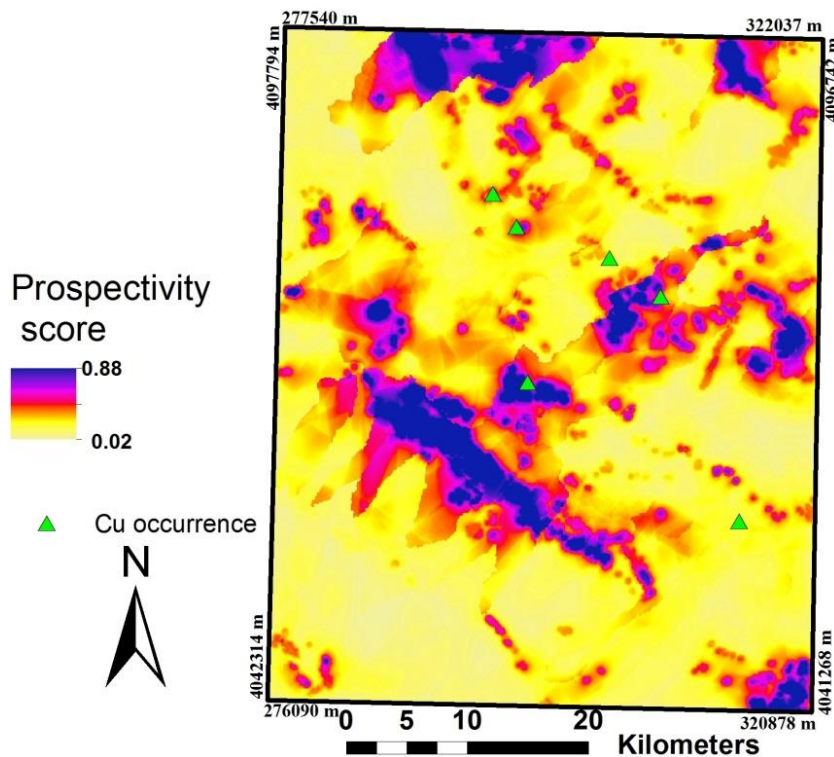
شکل ۶-۲۴. نقشه طبقه بندی شده مدل تولید شده ذخایر پنهان با استفاده از گامای ۰/۹

به منظور رسم نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت مدل پتانسیل معدنی حاصل از تلفیق لایه شاهد مغناطیسی با سایر لایه‌های شاهد اکتشافی از درصد اندیس‌های پیش‌بینی شده در هر کلاس از مدل شکل (۶-۲۴) و مساحت متناظر آن‌ها استفاده شده است، این نمودار در شکل (۶-۲۵) نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود این مدل می‌تواند ۶۵ درصد اندیس‌ها را در ۳۵ درصد منطقه پیش‌بینی کند.

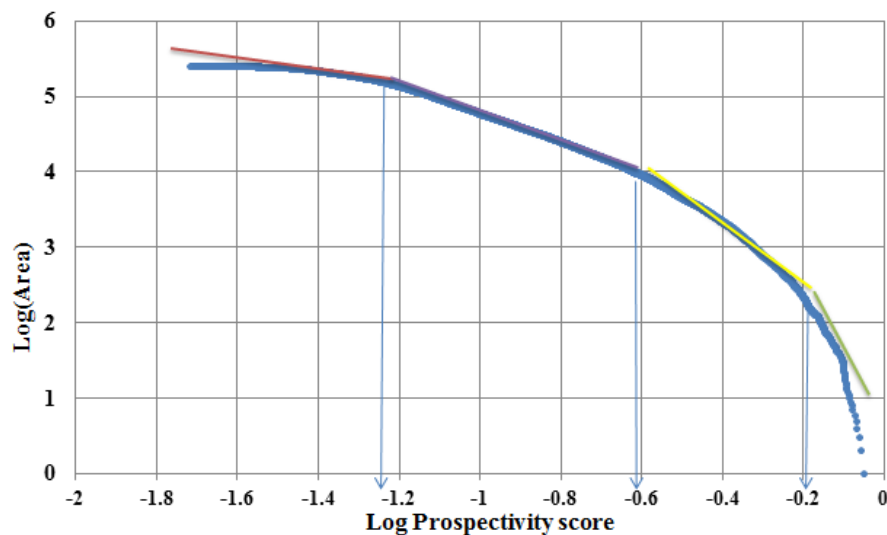


شکل ۶-۲۵. نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت برای مدل تولید شده ذخایر پنهان با استفاده از عملگر گامای فازی ۰/۹

پس از تلفیق لایه‌های شاهد مغناطیسی و سایر لایه‌های شاهد اکتشافی با استفاده از عملگر گامای فازی ( $\gamma = 0.9$ )، از روش میانگین هندسی نیز به منظور مقایسه و انتخاب مدل بهتر استفاده گردید، این مدل در نقشه شکل (۶-۲۶) نشان داده شده است. به منظور ارزیابی کمی مدل میانگین هندسی (شکل ۶-۲۶) همانند سایر مدل‌ها ابتدا مقادیر ارزش پیش‌گویی در این مدل نیز با استفاده از نمودار عیار - مساحت شکل (۶-۲۷) طبقه‌بندی گردید. همان‌طور که در نمودار عیار - مساحت دیده می‌شود، تعداد چهار کلاس قابل استنتاج است. نقشه طبقه‌بندی شده در شکل (۶-۲۸) نشان داده شده است.



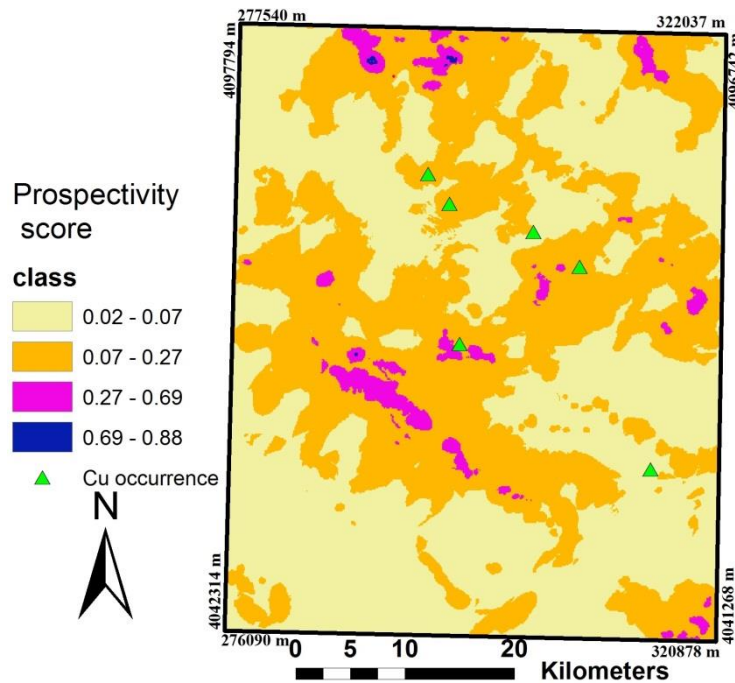
شکل ۶-۲۶. مدل پتانسیل معدنی تولید شده حاصل از تلفیق با استفاده از روش میانگین هندسی. لایه‌های دگرسانی اکسید آهن، دگرسانی آرژیلیکی، چگالی گسل و توده نفودی پنهان حاصل از نقشه مغناطیسی و نیز لایه شاهد ژئوشیمیایی حوضه‌های آبریز



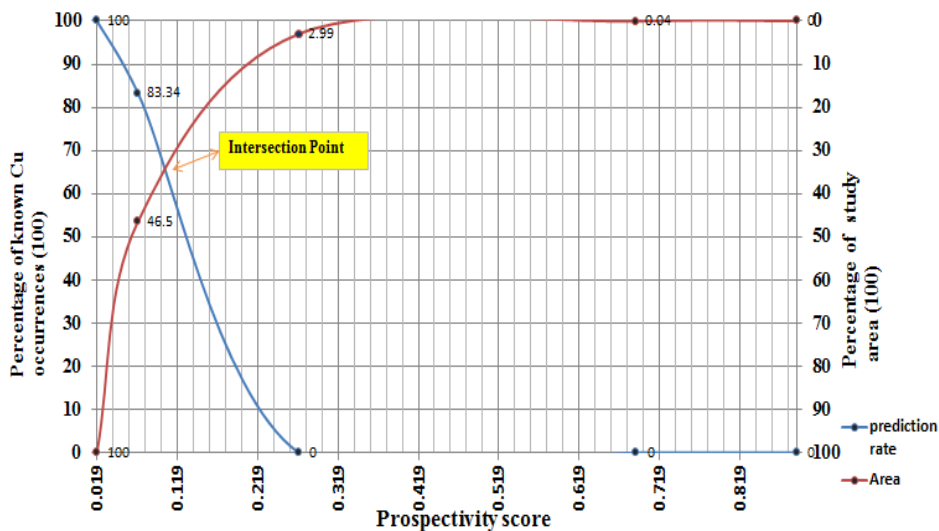
شکل ۶-۲۷. نمودار عیار- مساحت برای مدل پتانسیل تولید شده ذخایر پنهان با استفاده از روش میانگین هندسی

پس از طبقه‌بندی مدل پتانسیل تولید شده با استفاده از نقشه مغناطیسی و عملگر میانگین هندسی به منظور مقایسه با سایر مدل‌ها نمودار نرخ پیش‌بینی- مساحت رسم گردید. این نمودار در شکل (۶-۲۷)

نشان داده شده است. همانطور که از نقطه برخورد دو منحنی در نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت مشخص است مدل تولید شده با استفاده از عملگر میانگین هندسی نیز مانند مدل تولید شده با استفاده از عملگر گامای فازی ( $\gamma = 0.9$ ) ۶۵ درصد اندیس‌ها را در ۳۵ درصد مساحت منطقه پیش‌بینی می‌کند.



شکل ۶-۲۸. نقشه طبقه‌بندی شده مدل تولید شده ذخایر پنهان با استفاده از میانگین هندسی



شکل ۶-۲۹. نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت برای مدل تولید شده ذخایر پنهان با استفاده از روش میانگین هندسی

## ۶-۱۱- مقایسه مدل‌های تولید شده

اگرچه نرخ پیش‌بینی تعریف شده در نقطه برخورد دو منحنی در نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت می‌تواند به طور نسبی اهمیت لایه‌های شاهد را به عنوان معیار مناسب برای ارزیابی مدل‌های تولید شده، نشان

دهد اما وزن لایه در نقطه برخورد بدست نمی‌آید. میهالاسکی و بونهام کارتر (۲۰۰۱) به منظور بدست آوردن چگالی نرمال بر اساس مساحت، نرخ پیش‌بینی هر کلاس را بر مساحت متناظر هر کلاس تقسیم نمودند تا وزن کمی هر کلاس از لایه‌های شاهد محاسبه شود [Mihalasky and Bonham-Carter, 2001]. یوسفی و کارنزا (۲۰۱۵) این روش را اصلاح نمودند را و به منظور محاسبه ارزش هر نقشه شاهد (نه صرفاً هر کلاس از آن) یا هر مدل پتانسیل معدنی با استفاده از نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت توسعه دادند. به این منظور رابطه (۶-۱۲) بر اساس پارامترهای به دست آمده از نقطه برخورد دو منحنی در نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت قابل تعریف است [Yousefi and Carranza, 2015b] برای محاسبه وزن نقشه در نمودار نرخ پیش - بینی - مساحت استفاده کردند.

$$N_d = \frac{P_r}{O_a} \quad (۶-۱۲)$$

در رابطه فوق  $N_d$  چگالی نرمال شده برحسب مساحت در نقطه برخورد دو منحنی،  $P_r$  نرخ پیش‌بینی و  $O_a$  مساحت متناظر با نقطه برخورد در نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت می‌باشد. در این رابطه  $N_d$  اگر کوچک‌تر از یک باشد پیش‌گوی مناسبی نیست و برای بزرگ‌تر از یک به عنوان پیش‌گوی مناسب شناخته می‌شود. برای بدست آوردن وزن نقشه مطابق رابطه زیر لگاریتم طبیعی  $N_d$  محاسبه شده و  $W$  وزن مدل پتانسیل معدنی بدست می‌آید.

$$W = \text{Ln}(N_d) \quad (۶-۹)$$

باتوجه به جدول (۶-۱) در نقشه‌هایی که بدون استفاده از نقشه مغناطیس هوایی است بهترین نتیجه از عملگر فازی گامای ۰/۹ بدست آمده، مدل حاصل از OR، میانگین هندسی و AND به ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار گرفته‌اند. در نقشه‌هایی که با کمک نقشه مغناطیس هوایی بدست آمده‌اند از عملگر فازی گامای ۰/۹ و میانگین هندسی نتیجه مشابه دارند.

جدول (۶-۱). پارامترهای استخراجی در نقطه برخورد نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت و محاسبه چگالی نرمال و وزن مدل پتانسیل معدنی

	عملگر	نرخ پیش‌بینی (درصد)	مساحت (درصد)	$N_d$	$W$
بدون استفاده از لایه مغناطیس هوایی	فازی گاما ۰/۹	۸۰	۲۰	۴	۱/۳۸
	مدل OR	۷۰	۳۰	۲/۳۳	۰/۸۵
	مدل AND	۵۸	۴۲	۱/۳۸	۰/۳۲
	مدل میانگین هندسی	۶۵	۳۵	۱/۸۵	۰/۶۲
با استفاده از لایه مغناطیس هوایی	فازی گاما ۰/۹	۶۵	۳۵	۱/۸۵	۰/۶۲
	مدل میانگین هندسی	۶۵	۳۵	۱/۸۵	۰/۶۲

## فصل هفتم :

# نتیجه‌گیری و پیشنهادات



## ۷-۱- مقدمه

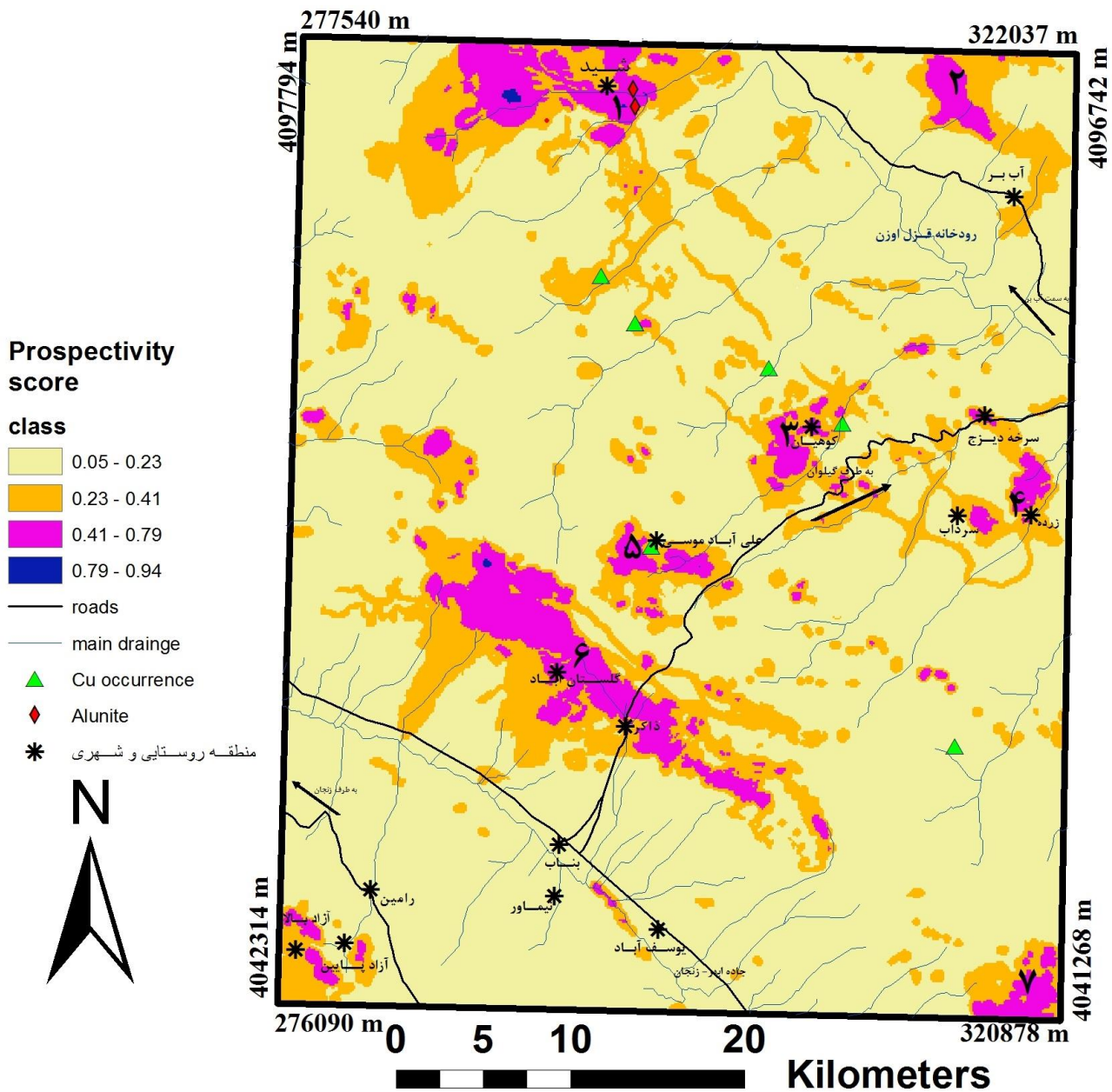
کانسارهای مس پورفیری و رگه‌ای منابع سرشار از مس، مولیبدن و گاهی اوقات طلا می‌باشند. بسیاری از این کانسارها در طول تاریخ استخراج شده‌اند، اما طی سال‌های اخیر پی‌جویی دوباره این کانسارها با اتخاذ روش‌های اکتشافی پیشرفته مورد جستجو قرار گرفته است.

شناسایی مناطق امیدبخش و پتانسیل‌دار معدنی در مقیاس ناحیه‌ای به منظور بررسی و اکتشافات بیش‌تر در مراحل بعدی اکتشاف، دارای اهمیت بسزایی است. در این پایان‌نامه که با هدف شناسایی مناطق امیدبخش کانی‌سازی مس پورفیری انجام شده است. ابتدا لایه‌های دگرسانی‌های گرمایی با استفاده از تصاویر سنجنده استر و  $ETM^+$  تهیه شد است. گسل‌ها و خطواره‌های منطقه نیز با استفاده از نقشه زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های مغناطیس‌هوایی آماده گردید. همچنین نقشه ژئوشیمی رسوبات حوضه‌های آبریز و توده‌های نفوذی نیز تهیه شد. سپس با استفاده از روش فازی پیوسته لایه‌های شاهد آماده و به کمک عملگرهای مختلف فازی و روش میانگین هندسی با یکدیگر تلفیق و مناطقی به عنوان نواحی امیدبخش معرفی شدند.

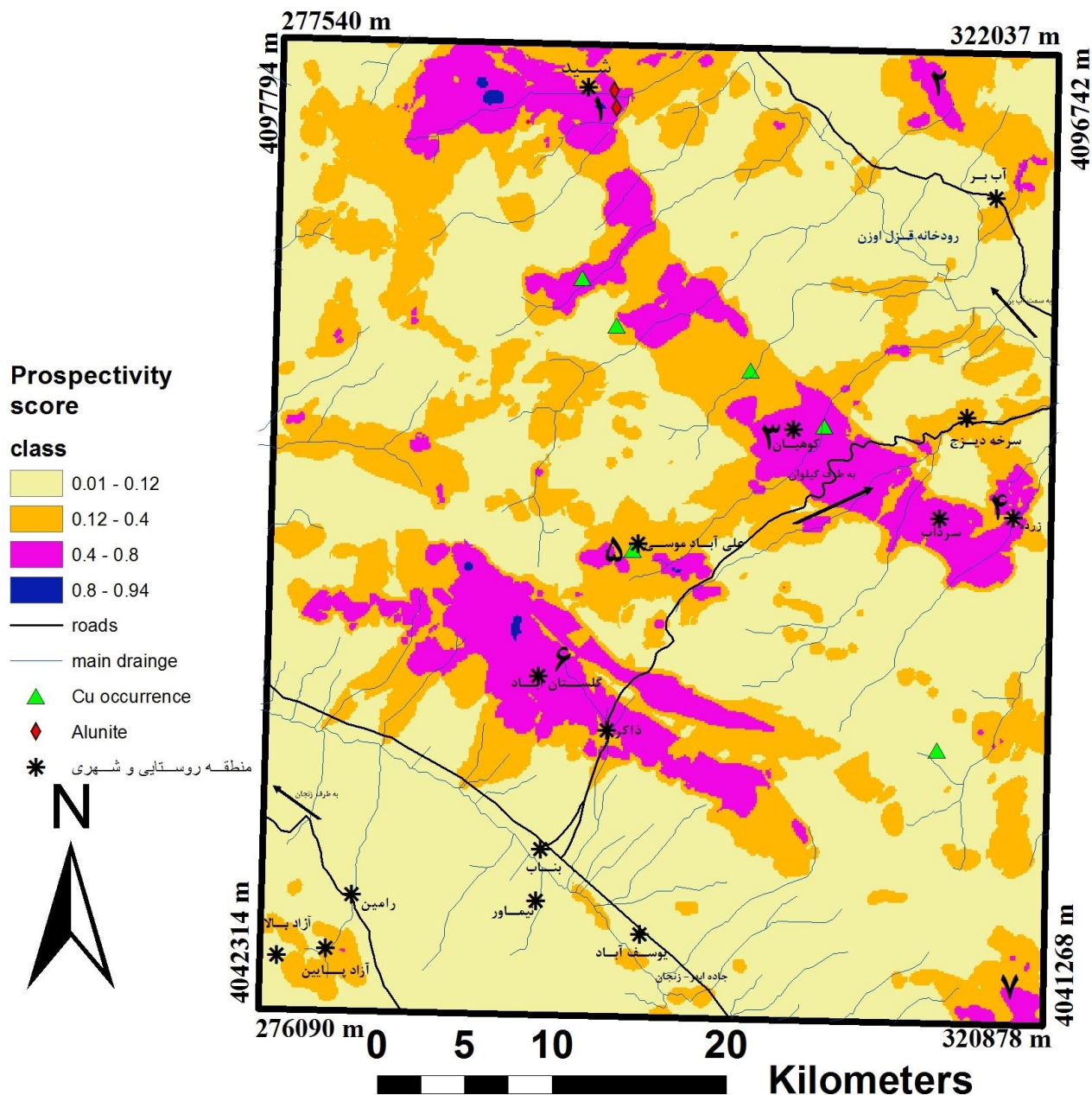
## ۷-۲- نتیجه گیری

با توجه به روش‌های مختلف تلفیق فازی، بهترین نرخ پیش‌بینی اندیس‌ها با گامای فازی ۰/۹ بدست آمده است (اشکال ۷-۱ و ۷-۲). شکل (۶-۱۱) نرخ پیش‌بینی ۸۰ درصدی اندیس‌ها و شکل (پ-۵) نرخ پیش‌بینی ۷۲ درصدی در نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت را نشان می‌دهد. با توجه به این نکته، شکل (۷-۱) با نرخ پیش‌بینی ۸۰ درصد نتیجه مطلوب‌تری می‌دهد.

در منطقه هفت محدوده را به عنوان مناطق امید بخش معدنی می‌توان معرفی نمود: منطقه شماره ۱ در شمال ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ طارم و حوالی روستای شید قرار دارد، این ناحیه با ترکیب سنگ‌شناسی شامل ماسه سنگ توفی، توف سبز، مادستون، سیلتستون و گدازه‌های آندزیتی در محل برخورد با توده نفوذی کوارتز مونزونیتی و کوارتز سینیت قرار دارد. همچنین گسل‌های اصلی منطقه و توده‌های دگرسانی گرمایی نیز در این ناحیه واقع شده‌اند. بررسی‌های ژئوشیمیایی حاکی از بالا بودن هاله‌های ژئوشیمیایی و به ویژه دارا بودن بیش‌ترین امتیاز حوضه-های آبریز ژئوشیمیایی است.



شکل ۷-۱. نقشه طبقه‌بندی شده مدل تولید شده با استفاده از گامای ۰/۹، شامل چگالی گسل، دگرسانی‌های اکسید آهن، دگرسانی‌های آرژیلیک، حوضه‌های آبریز وزن‌دار (لایه شاهد ژئوشیمی) و لایه شاهد توده‌های نفوذی (مرز توده)



شکل ۷-۲. نقشه طبقه‌بندی شده مدل تولید شده با استفاده از گامای ۹/۰، شامل چگالی گسل، دگرسانی‌های گرمابی، حوضه‌های آبریز وزن دار (لایه شاهد ژئوشیمی) و لایه شاهد توده‌های نفوذی (کل توده نفوذی)

منطقه شماره ۲ در گوشه شمال شرقی نقشه واقع شده است، به صورت محلی توده گرانیتی وجود دارد. گسل‌های مهم و اصلی در این ناحیه وجود دارند. هاله‌های ژئوشیمی در این قسمت بالا هستند. دگرسانی‌هایی نیز وجود دارد که ممکن است در ارتباط با توف‌های این قسمت باشد. با توجه به اطلاعات موجود از منطقه در سطوح فرسایشی توده گرانودیوریتی مقداری مگنتیت یافت شده است. مساحت بخش معدنی به ۵۰ متر مربع می‌رسد. مقدار مواد معدنی کم است.

منطقه شماره ۳ حوالی روستای کوهیان بر روی توده نفوذی کوارتزموزنونیتی و کوارتزسینیت قرار گرفته (شکل‌های ۱-۷ و ۲-۷) در این ناحیه اندیس‌های مس رگه‌ای نیز وجود دارد. این ناحیه از نظر داشتن گسل و دگرسانی‌های گرمابی دارای موقعیت مطلوبی است. همچنین مقادیر ژئوشیمی بالایی نیز دارد.

منطقه شماره ۴ قسمت شرقی و اطراف روستای زرده منطقه طارم واقع است. این ناحیه در واحد ائوسن رسوبی (با ترکیب ماسه سنگ توفی، توف، مادستون، سیلتستون، به طور محلی همراه با گدازه‌های آندزیتی) است و در مجاورت توده نفوذی و در محل دگرسانی‌های گرمابی می‌باشد. می‌توان این دگرسانی‌ها را تاثیر توده‌های نفوذی و سیالات عبوری از این توده‌ها و گسل‌های منطقه دانست. هاله‌های ژئوشیمیایی و مقادیر حوضه آبریز ژئوشیمیایی نسبتاً بالایی را نشان می‌دهد.

منطقه شماره ۵ این منطقه در حوالی روستای علی‌آباد موسی و در مرکز منطقه واقع شده است. اندیس طلا و مس رگه‌ای نیز در همین منطقه قرار دارد. در این ناحیه توده‌های نفوذی به صورت پراکنده بیرون‌زدگی‌هایی وجود دارد. در این منطقه گسل خوردگی‌های زیاد به همراه دگرسانی‌های گرمابی و نیز هاله‌های ژئوشیمیایی دیده می‌شود.

منطقه شماره ۶ تقریباً در جنوب شرقی ورکه و محدوده گلستان آباد قرار دارد. این ناحیه بر روی توده نفوذی کوارتزموزنونیتی و کوارتزسینیت و توده میکروکوارتز دیوریت پورفیری قرار گرفته است. در این محل نیز دگرسانی‌های شدیدی رخ داده است. این منطقه از لحاظ گسل‌ها در وضعیت مناسبی قرار دارد. مقادیر ژئوشیمیایی و ژئوشیمیایی حوضه‌های آبریز بسیار بالاست. با توجه به فاکتورهای ذکر شده این منطقه از پتانسیل بالایی برای وجود مس پورفیری برخوردار است.

منطقه شماره ۷؛ این بخش در جنوب شرقی منطقه واقع شده است. با توده نفوذی محدود، مقادیر ژئوشیمی متوسط، دارای گسل و دگرسانی‌های گرمابی که در حوالی توده نفوذی وجود دارند.

## ۷-۲- پیشنهادات

پس از بررسی‌های انجام شده و معرفی مناطق امیدبخش معدنی پیشنهاد می‌شود، در این نواحی بازدیدهای صحرایی بعمل آید، به‌خصوص در منطقه شماره ۶، بدلیل اینکه در این ناحیه اندیس‌های شناخته شده‌ای وجود ندارد.

با توجه به اندیس‌های آلونیت موجود در حوالی روستای شید و نتایج حاصل از دگرسانی‌های موجود در این منطقه همچنین بالا بودن آنومالی‌های ژئوشیمی و وجود گسل‌های متعدد پیشنهاد می‌شود این ناحیه به منظور پی‌جویی کانی‌سازی طلا مورد بررسی قرار گیرد.

همان‌طور که بیان شد استفاده از روش‌های مختلف تلفیق و مقایسه آن‌ها باعث نتیجه‌گیری دقیق‌تر می‌شود. به همین منظور می‌توان با توجه به اندیس‌های موجود در منطقه از روش‌های دیگری نظیر شاخص همپوشانی داده‌محور استفاده کرد.

در این تحقیق از نمودار نرخ پیش‌بینی- مساحت برای بررسی کمی مدل‌ها و مشخص کردن دقت و اهمیت نسبی هر یک از روش‌های تلفیق، استفاده شده است. به همین ترتیب می‌توان از این نمودار برای محاسبه وزن هر یک از لایه‌های شاهد استفاده نمود سپس هر کدام از لایه‌های شاهد را با توجه به وزن‌های محاسبه شده تلفیق نمود.

## منابع

- امینی ب و امینی چهرق م، (۱۳۷۹)، "برگه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ طارم"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی.
- پیروان ح، غیومیان ج، امینی، ص و لطفی م، (۱۳۸۲)، "شناسایی و تفکیک زون‌های آلتراسیون هیدروترمال و سنگ‌های ماگمایی با استفاده از فن و دانش سنجش از دور"، پژوهش و سازندگی شماره ۶۰، ص ۸۰-۸۷.
- چراغی ز، پیروان ح، قدوسی س.ج و مهرنیا س.ر، (۱۳۸۹) "تهیه نقشه پتانسیل معدنی طلای اپی‌ترمال در منطقه طارم غربی با استفاده از منطق فازی در محیط GIS"، انجمن زمین‌شناسی ایران، پانزدهمین همایش، دانشگاه تربیت معلم.
- حدادیان آ، (۱۳۹۰)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "شناسایی دقیق مرزهای توده‌های آنومال در اکتشاف روش‌های میدان پتانسیل با فیلترهای فازی محلی" دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- حسینی پاک ع و شرف‌الدین م، (۱۳۸۴)، "تحلیل داده‌های اکتشافی". چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ص ۳۳۶، ۳۱۷.
- خوئی ن، قربانی م و تاجبخش پ، (۱۳۷۸)، "کانسار مس در ایران". چاپ اول، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- دولتی اردجانی ف، (۱۳۷۵)، "تفکیک آنومالی‌های گرانی منطقه بابلسر به روش‌های روند سطحی ارتونرمال" نهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، تهران.
- رضایی م، آقاجانی، ح و مرادزاده ع، (۱۳۹۱)، "تفسیر ناهنجاری‌های مغناطیس حاصل از داده‌های مغناطیس هوایی منطقه زمین گرم منطقه زمین گرمین گرمایی محلات"، انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، چهارمین همایش.
- شرقی نمین ا، اصلانی س و بحرودی ع، (۱۳۸۹) "شناسایی مناطق دگرسانی هیدروترمال در منطقه طارم زنجان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ASTER" فصلنامه علمی و پژوهشی زمین و منابع، سال سوم، شماره چهارم، ص ۵۵-۶۲.
- عابدیان ن، (۱۳۸۸)، "اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، پروژه ژئوشیمیایی.

فاطمی ب، رضایی ی، (۱۳۸۵)، "مبانی سنجش از دور". انتشارات آزاده.

کریم پور م. ح و سعادت س، (۱۳۸۴)، "زمین شناسی اقتصادی کاربردی"، چاپ دوم، مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ص ۱۷۶، ۱۸۱.

محبی آ، (۱۳۸۳)، "پتانسیل یابی دخیار مس پورفیری در برکه ۱:۱۰۰۰۰۰ طارم با استفاده از GIS"، انجمن زمین شناسی ایران، هشتمین همایش، دانشگاه صنعتی شاهرود، ص ۱۲۸-۱۳۴.

مدنی ح، (۱۳۹۰)، "مبانی اکتشاف مواد معدنی"، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر. نوروزی، غ، (۱۳۸۸)، "ژئوفیزیک اکتشافی". چاپ اول، مؤسسه دانشگاه تهران، تهران، ص ۵۹۳.

هنرمند م. و رنجبر ح، (۱۳۸۴)، "کاربرد روش های مختلف پردازش تصویری روی داده های ETM<sup>+</sup> به منظور اکتشاف کانسارهای مس نوع پورفیری و رگه ای در منطقه کوه ممزار - کوه پنج در استان کرمان"، فصلنامه علوم زمین، شماره ۵۷، ص ۱۱۰-۱۲۷.

یوسفی م، کامکار روحانی ا، (۱۳۸۹)، "اصول روش های مدل سازی پتانسیل معدنی". چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیر کبیر، تهران. ص ۱۰، ۲۵، ۴۲، ۵۵، ۵۶، ۷۲، ۷۴.

## Reference

- Arkani,H., and Urquhart, W.E.S.(1990). “*Reduction to the pole of the North American magnetic anomalies*” *Geophysics*, 55, 218-225.
- Bergeron Jr, C. J., Morris, T. L., and Ioup, J. W ,(1990) , "*Upward and downward continuation of airborne electromagnetic data*" In SEG Technical Program Expanded Abstracts 1990 (pp.696-699). Society of Exploration Geophysicists.
- Biradar, C.M., Singh, S., and Roy, P.S., (2003), "*Geospatial modelling techniques for rapidassessment of biodiversity at landscape level in western Himalayas, Himachal*
- Bonham-Carter, G.F., (1994). “*Geographic Information Systems for Geoscientists: Modeling with GIS*”. Pergamon, Ontario.
- Borovec, Z., (1996) “*Evaluation of the concentrations of trace elements in stream sediments by factor and cluster analysis and the sequential*”, extraction procedure, *The Science of the Total Environment*, 177, 237-250.
- Carranza, E.J.M., (2008)."*Geochemical anomaly and mineralprospectivity mapping in GIS*" ,In: *Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry*, vol. 11. Elsevier, Amsterdam.
- Carranza, E.J.M., (2010).”*Mapping of anomalies in continuous and discrete fields of stream sediment geochemical landscapes. Geochemistry*”, *Exploration, Environment, Analysis* 10, 171–187.
- Carranza, E.J.M., (2011). “*Analysis and mapping of geochemical anomalies using logratiotransformedstream sediment data with censored values*”. *J. Geochem. Explor* 110, 167–185
- Carranza, E.J.M., Woldai, T., Chikambwe, E. M., (2005). "*Application of Data-Driven Evidential Belief Functions to Prospectivity Mapping for Aquamarine-Bearing Pegmatites*", *Lundazi District, Zambia. Natural Resources,Research* 14, 47-63.
- Chavez, Pat. S.,(1989). "*Extracting spectral contrast in Landsat Thematic Mapper image data using selective principal component analysis*". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 55, No. 3.
- Cheng, Q., Agterberg, F.P., and Ballantyne, S.B., (1994)."*The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods*". *J. Geochem Explor* 51, 109–130.
- Clark, R. N., Gallagher, A. J., and Swayze, G. A., (1990), "*Material absorption banddepth mapping of imaging spectrometer data using a complete band shape leastsquaresfit with library reference spectra*". In R. O. Green (Ed.), *Proceedings of the second airborne visible/infrared imaging spectrometer (AVIRIS) workshop*. JPL Publication, 90-54, pp. 176-186
- Cooper, G., and Cowan, D. (2003) “*The application of fractional calculus to potential field data*” *Exploration Geophysics*” 34(2), 51-56.
- Cooper, G.R.J., and Cowan, D.R. (2008). "*Edge enhancement of potential-field data using normalizedstatistics* ",*Geophysics*. 73, (3), H1-H4.



- Dobrin M. B. and Savit C. H. (1998). *“Introduction geophysical prospecting”* McGraw Hill, 867pp.
- Filzmoser, P., Hron, K. and Reimann, C. (2009). “Principal components analysis for compositional data with outliers”. *Environmetrics*, 20, 621–632.
- Grant F. S, and West G. F. (1965) *“Interpretation Theory in Applied Geophysics”* New York, McGraw-Hill, 397 pp.
- Guest, B., Guest, A., and Axen, G., (2007), “Late Tertiary tectonic evolution of northern Iran: A case for simple crustal folding”, *Journal of Global and Planetary Change* 58: 435-453
- Guilbert, M. John., and Park, F. Charles. (1986). *The Geology of Ore Deposits*, W.H.Freeman, New York.
- Guillou-Frottier, and L., Burov, E., (2003) , *"The development and fracturing of plutonic apexes: implications for porphyry ore deposits"*. *Earth and Planetary Science Letters* 214,341–356.
- Helvoort, P. J., Filzmoser, P., and Gaans, P. F. M., (2005), *"Sequential Factor Analysis as a new approach to multivariate analysis of heterogeneous geochemical datasets: an application"*
- Hengl, T. (2006). “Finding the right pixel size”. *Computers & Geosciences*, **32**, 1283–1298.
- Hinze W. J. (1990) *“The role of gravity and magnetic methods in engineering and environmental studies. In: Ward (Ed), Geotechnical and environmental geophysics”* The Society of Exploration Geophysicists, 75-126.
- Hunt, G.R. and Ashley, R.P., Ashley, R.P., (1979), *"Spectra of altered rock in the visible and near infrared"*, *Economic Geology*, v. 74, p. 1613-1629.
- Jaques, A.L., Wellman, P., Whitaker, A., and Wyborn, D. (1997) *“High- resolution geophysics in modern geological Mapping”* AGSO *Journal of Australian Geology and Geophysics*, 17, 159-173.
- Jensen, R. John, (1996), *"Introductory Digital Image Processing A Remote Sensing Perspective"*, 2 nd edition, Upper Saddle River, Prentice Hall, New Jersey.
- John Wiley and Sons, Great Britain.
- Kearey, P., Brooks, M., and Hill, I. (2002) *“An introduction to geophysical exploration”* Third edition, Wiley. Com.
- Kumru, M. N. and Bakac, M., (2003), *"R-mode factor analysis applied to the distribution of elements in soils from the Aydın basin"*, Turkey, *Journal of Geochemical Exploration*, 77, 81–91.
- Loughlin, W. P., (1991), *"Principal Component Analysis for Alteration Mapping"*. *Proceedings of 8th Thematic Conference on Geologic Remote Sensing*, Denver, Colorado, USA.
- Mather, M. Paul, (1989). *"Computer Processing of Remotely Sensed Images: An Introduction"*.

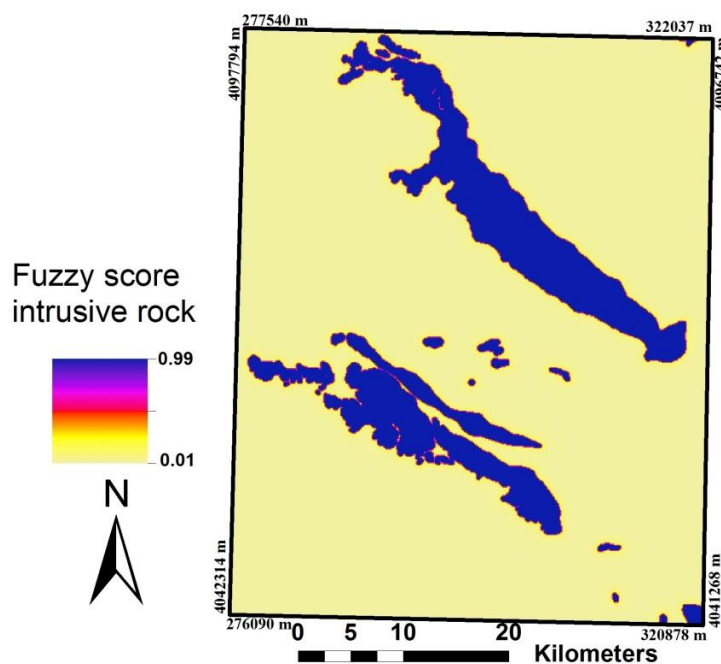
- Mihalasky, M.J., Bonham-Carter, G.F., (2001), "*Lithodiversity and its spatial association with metallic mineral sites*", Great Basin of Nevada. *Natural Resources Research* 10, 209-226.
- Porwal, A., Carranza, E.J.M., Hale, M., (2003). "*Knowledge-driven and data-driven fuzzy models for predictive mineral potential mapping*". *Natural Resources Research* 12, 1-25.
- Porwal, A., Carranza, E.J.M., Hale, M., (2006). "*A hybrid fuzzy weights-of-evidence model for mineral potential mapping*". *Natural Resources Research* 15, 1-14.
- *Pradesh*", *Current Science*, 84 (5), pp. 101-108.
- Rajendran, S., Al-Khirbash, S., Pracejus, B., Nasir, S., Al-Abri, A.H., Kusky, T.M., Ghulam, A., 2012. ASTER detection of chromite bearing mineralized zones in Semail Ophiolite Massifs of the northern Oman Mountains: Exploration strategy. *Ore Geol. Rev.* 44, 121–135.
- Reimann, C. and Filzmoser, P., (2000), "*Normal and lognormal data distribution in geochemistry: dead of a myth*". Consequences of geochemical and environmental data. *Environ. Geol.* 39, 1001–1014.
- Reynolds J. M. (1997) ."*An introduction to applied and environmental geophysics*" John Wiley & Sons, 796pp.
- Rojas, A.S, (2003). "*Predictive Mapping of Massive Sulphid Potential in the Western Part of the Escambray Terrian*", Cuba, Thesis, ITC, Holland.
- Ruiz Armenta, J.R. and Prol Ledesma, R.M., (1998), "*Techniques for enhancing the spectral response of hydrothermal alteration minerals in Thematic Mapper images of Central Mexico*", *International Journal of Remote Sensing*, v. 19, p. 1981-2000.
- Sabin, F.F, (1997). "*Remote sensing principles and interpretation*", Freeman and Co, San Francisco.
- Sabins, F.F, (1999). "*Remote sensing for mineral exploration*", *Ore Geology Reviews*, 14, pp 157-183.
- Sillitoe, R.H., (1972). "*A plate tectonic model for the origin of porphyry copper deposits*". *Economic Geology* 67, 184–197.
- Sillitoe, R.H., (2010.) *Porphyry Copper Systems. Economic Geology* 105, 3–41.
- Sillitoe, R.H., and Hedenquist, J.W., (2003). "*Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits*". *Society of Economic Geologists Special Publication* 10, 315-343.
- Spadoni, M., (2006). "*Geochemical mapping using a geomorphologic approach based on catchments*". *J. Geochem Explore* 90, 183–196.
- Sun, X., Deng, J., Gong, Q., Wang, Q., Yang, L. and Zhao, Z., (2009), "*Kohonen neural network and factor analysis based approach to geochemical data pattern recognition*", *Journal of Geochemical Exploration*, 103, 6–16.
- Tangestani, M.H. and Moore F., (2002). "*Porphyry copper alteration mapping at the Meiduk area, Iran*". *International Journal of Remote Sensing*, 23, 22, 4815-4825.
- *to a bulk chemical characterization of fluvial deposits (Rhine–Meuse delta, The Netherlands)*". *Applied Geochemistry* 20, 2233–2251.

- Vincent, R. K., and F. J. Thomson, (1972), "Rock-Type Discrimination from Ratioed Infrared Scanner Images of Pisgah Crater, California", *Science*, 175, pp. 986-988.
- Xiaoming, Q., Hou, Z., Zaw, K., and Youguo, L., (2007). Characteristics and genesis of Gangdese porphyry copper deposits in the southern Tibetan Plateau: preliminary geochemical and geochronological results. *Ore Geology Reviews* 31, 205–223.
- Xie, S., Cheng, Q., Xing, X., Bao, Z., and Chen, Z., (2010). "Geochemical multifractal distribution patterns in sediments from ordered streams". *Geoderma* 160, 36–46.
- Yetkin, E., (2003). M.SC thesis, "Alteration Mapping By Remote Sensing: Application To Hasandağ – Melendiz Volcanic Complex", The Department Of Geological Engineering, The Middle East Technical University, Turkey.
- Yousefi, M., Kamkar-Rouhani, A., and Carranza, E.J.M., (2012). "Geochemical mineralization probability index (GMPI): a new approach to generate enhanced stream sediment geochemical evidential map for increasing probability of success in mineral potential mapping". *J. Geochem. Explor.* 115, 24–35.
- Yousefi, M., and Carranza, E.J.M., Kamkar-Rouhani, A., (2013). "Weighted drainage catchment basin mapping of stream sediment geochemical anomalies for mineral potential mapping". *J. Geochem. Explor.* 128, 88–96.
- Yousefi, M., Kamkar-Rouhani, A., and Carranza, E.J.M., (2014). "Application of staged factor analysis and logistic function to create a fuzzy stream sediment geochemical evidence layer for mineral prospectivity mapping". *Geochem. Explor. Environ. Anal.* 14, 45–58.
- Yousefi, M., and Carranza, E.J.M., (2015a). "Fuzzification of continuous-value spatial evidence for mineral prospectivity mapping". *Comput. Geosci.* 74, 97–109.
- Yousefi, M., and Carranza, E.J.M., (2015b). "Prediction-area (P-A) plot and C-A fractal analysis to classify and evaluate evidential maps for mineral prospectivity modeling". *Comput. Geosci.* 79, 69–81.
- Yousefi, M., and Carranza, E.J.M., (2015c). "Geometric average of spatial evidence data layers: a GIS-based multi-criteria decision-making approach to mineral prospectivity mapping". *Comput. Geosci.* 83, 72–79.
- Yousefi, M., and Nykänen, V., (2015), "Data-driven logistic-based weighting of geochemical and geological evidence layers in mineral prospectivity mapping". *J. Geochem. Explor.* 1-13.

# پیوست:

تلفیق فازی با استفاده از مقادیر مختلف گاما

به منظور مقایسه و بررسی بیش تر لایه‌های شاهد و نتایج تلفیق آن‌ها چهار لایه شامل چگالی گسل، ژئوشیمی رسوبات آبراهه، دگرسانی گرمایی و توده‌های نفوذی با استفاده از گاما‌های مختلف شامل گامای ۰/۹، ۰/۷۷ و ۰/۵ تلفیق شده است. لایه دگرسانی بر اساس اطلاعات حاصله از تصاویر سنجنده  $ETM^+$  بدست آمده است و به روش توضیح داده شده در فصل ۶ تهیه شده است. لایه زمین‌شناسی که شامل کل توده نفوذی است براساس وجود ذخایر مس پورفیری و تشکیل آن‌ها در سنگ‌های میزبان گرانیتی، مونزوگرانیت، کوارتز دیوریت پورفیری، گرانودیوریت، کوارتز مونزونیت تولید شده است.

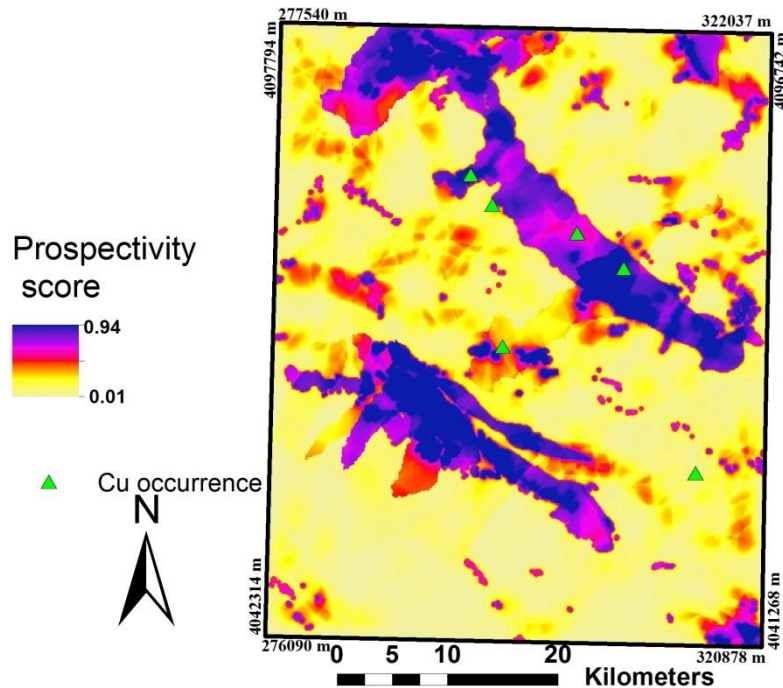


شکل پ-۱. نقشه وزن‌دار فازی تولید شده توده‌های نفوذی، مناطق آبی رنگ مرز توده‌های نفوذی را نشان می‌دهد

با چهار لایه ذکر شده و با استفاده از عملگر فازی گاما و مقادیر گامای ۰/۹، ۰/۷۷ و ۰/۵ تلفیق انجام شده که در ادامه به بررسی آن‌ها پرداخته می‌شود:

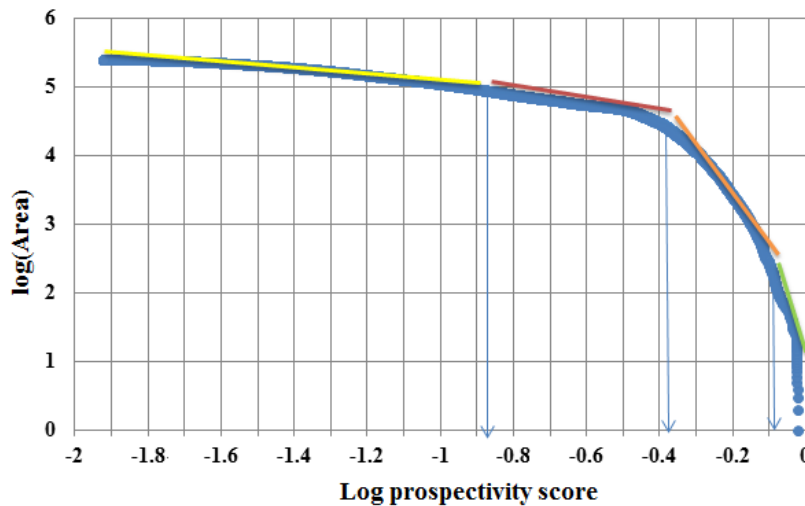
#### پ-۱- عمگر فازی گامای فازی ۰/۹

پس از آماده‌سازی لایه‌های شاهد این لایه‌ها با مقادیر مختلف فازی مانند گامای ۰/۹ با یکدیگر تلفیق شده و نقشه پتانسیل مطلوب بدست آمد (شکل پ-۲).



شکل پ-۲. مدل پتانسیل معدنی تولید شده اکتشاف کانی سازی تیپ مس پورفیری با استفاده از تلفیق لایه‌های شاهد به روش گاما فازی ( $\gamma = 0/9$ )

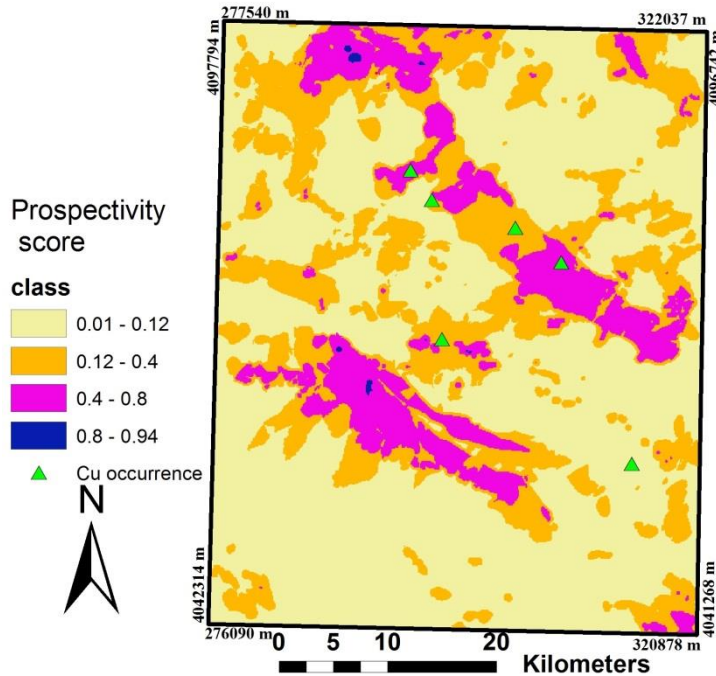
به منظور مقایسه نتایج بدست آمده از مقادیر گامای مختلف و سنجش اهمیت نسبی آن‌ها از روش-های بکار رفته در ارزیابی مدل پتانسیل تولید شده که در فصل ششم استفاده شده برای سایر مدل‌ها نیز اجرا گردیده است.



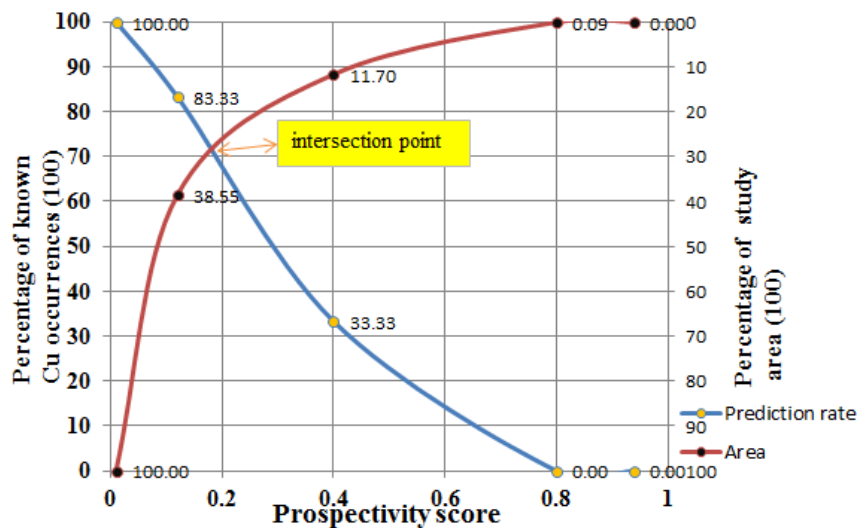
شکل پ-۳. نمودار عیار-مساحت برای مدل پتانسیل تولید شده با استفاده از عملگر گامای فازی ( $\gamma = 0/9$ )

همان‌طور که در شکل (پ-۳) دیده می‌شود مقادیر امتیاز پیش‌گویی در نقشه مدل فازی  $0/9$  به چهار کلاس قابل طبقه‌بندی هستند. نقشه طبقه‌بندی شده مدل پتانسیل تولید شده در شکل (پ-۴) نشان داده

شده است. به منظور ارزیابی کمی مدل تولید شده با استفاده از گامای فازی ۰/۹ نمودار نرخ پیش‌بینی- مساحت رسم گردید که در شکل (پ-۵) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل زیر دیده می‌شود مدل تولید شده ۷۲ درصد اندیس‌ها را در ۲۸ درصد مساحت کل منطقه پیش‌بینی می‌کند.



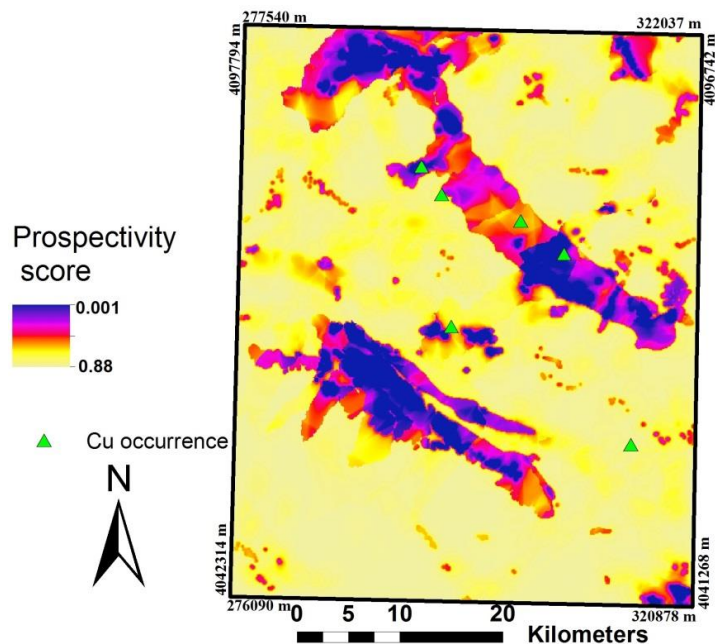
شکل پ-۴. نقشه طبقه‌بندی شده مدل تولید شده با استفاده از گامای ۰/۹



شکل پ-۵. نمودار نرخ پیش‌بینی- مساحت برای مدل تولید شده با استفاده از عملگر گامای فازی ۰/۹

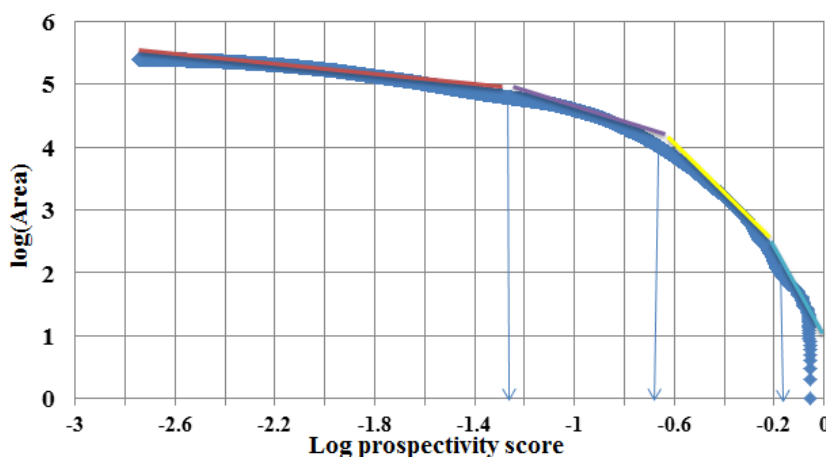
## پ-۲- عمگر فازی گامای فازی ۰/۷۷

لایه‌های شاهد با مقدار گامای ۰/۷۷ با یکدیگر تلفیق شده احتمال ۷۷ درصد برای پیش‌بینی کارهای معدنی مناسب بوده و نقشه پتانسیل مطلوب مطابق شکل (پ-۶) بدست آمده است.



شکل پ-۶. مدل پتانسیل معدنی تولید شده اکتشاف کانی سازی تیپ مس پورفیری با استفاده از تلفیق لایه های شاهد به روش گاما فازی ( $\gamma = 0/77$ )

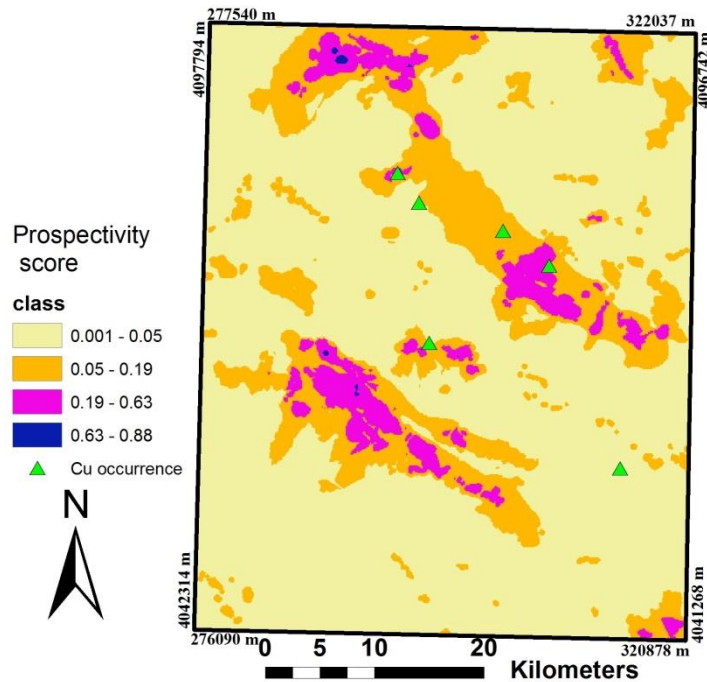
به منظور کمی سازی قدرت پیش بینی مدل تولید شده با استفاده از عملگر فازی  $0/77$  نیز ابتدا مقادیر امتیاز پیش گوی بدست آمده از این عملگر با استفاده از نمودار عیار- مساحت (پ-۷) طبقه بندی شده که نقشه طبقه بندی در شکل (پ-۸) نشان داده شده است.



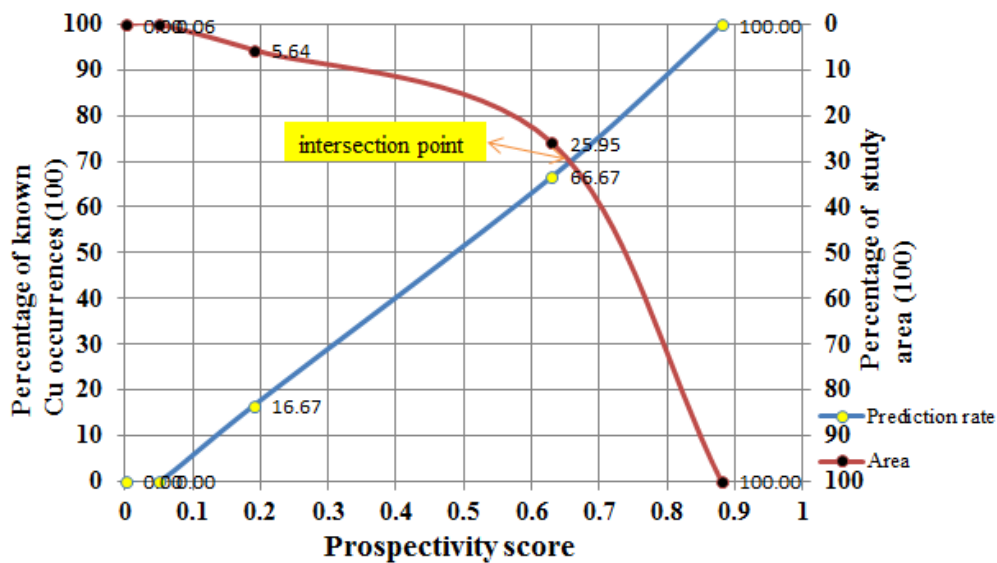
شکل پ-۷. نمودار عیار- مساحت برای مدل پتانسیل تولید شده با استفاده از عملگر گامای فازی ( $\gamma = 0/77$ )

همان طور که در شکل فوق مشخص است مقادیر امتیاز پیش گویی با توجه به نمودار عیار- مساحت به چهار کلاس طبقه بندی شده است. بنابراین با توجه به این کلاس ها و درصد اندیس های موجود در آن ها و همچنین مساحت تحت پوشش نمودار نرخ پیش بینی- مساحت برای مدل تولید شده توسط عملگر فازی  $0/77$  تولید گردید (پ-۱۰). همان طور که نمودار شکل (پ-۱۰) دیده می شود، مدل تولید شده  $70$  درصد اندیس ها را در  $30$  درصد مساحت منطقه پیش بینی می کند.





شکل پ-۸. نقشه طبقه‌بندی شده مدل تولید شده با استفاده از گامای ۰/۷۷

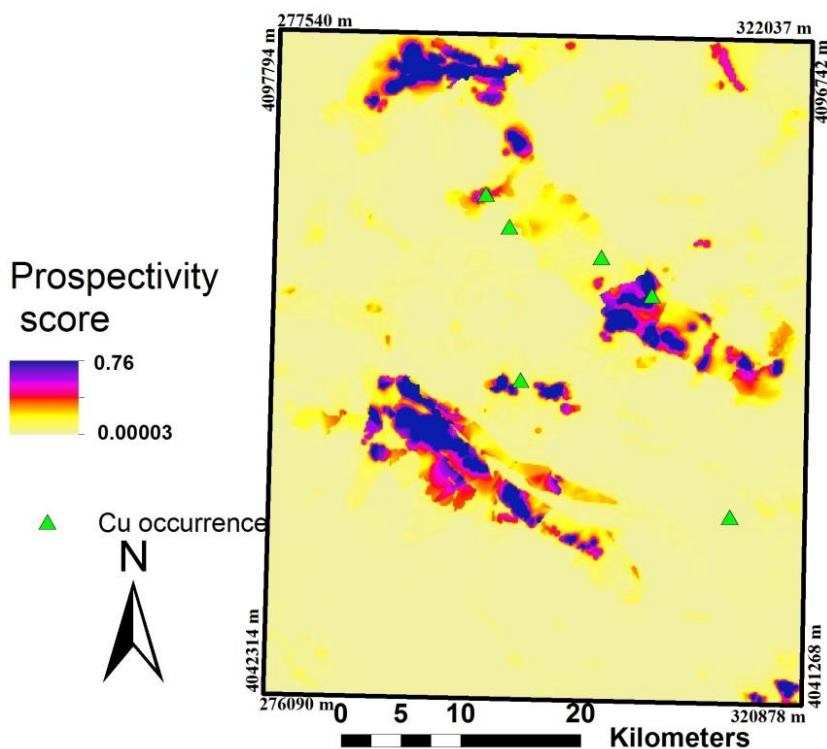


شکل پ-۹. نمودار نرخ پیش‌بینی- مساحت برای مدل تولید شده با استفاده از عملگر گامای فازی ۰/۷۷

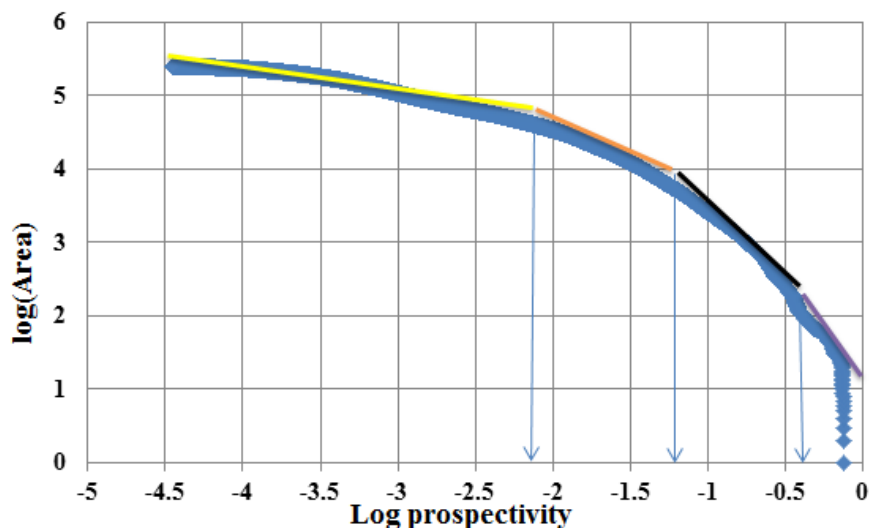
### پ-۳- عملگر فازی گامای فازی ۰/۵

آخرین مقدار گامای فازی که توسط آن لایه‌های شاهد با یکدیگر تلفیق شدند،  $\gamma = 0/5$  می‌باشد. به منظور محاسبه نرخ پیش‌بینی مدل تولید شده با استفاده از عملگر فازی ۰/۵ نیز ابتدا با استفاده از روش فرکتال عیار- مساحت (شکل پ-۱۱) مقادیر ارزش پیش‌گویی به دست آمده و چهار کلاس طبقه‌بندی شده که در نقشه شکل (پ-۱۲) نشان داده شده است. پس از طبقه‌بندی با توجه به تعداد اندیس‌های پیش‌بینی

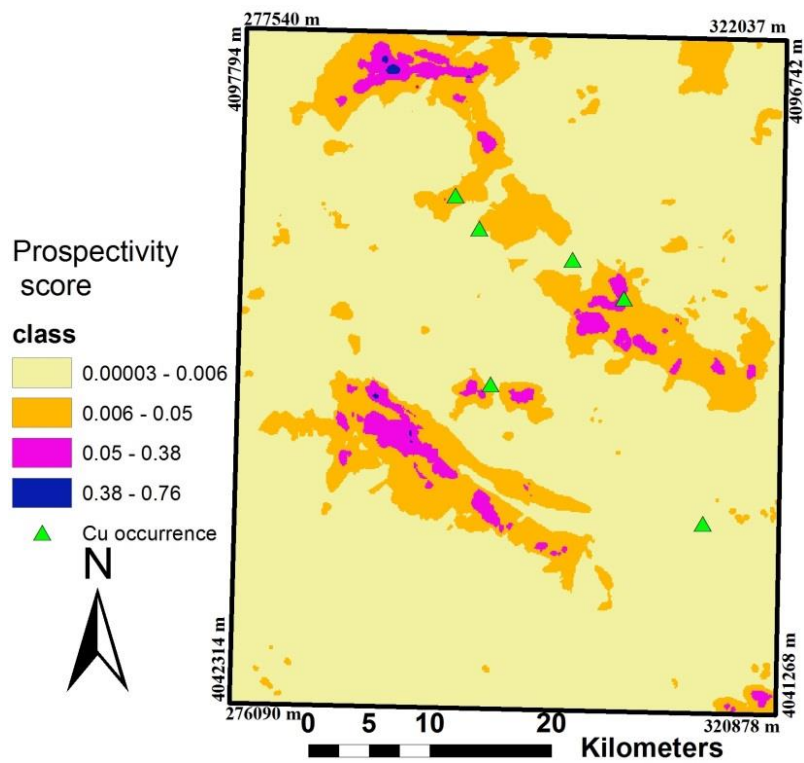
شده در هر کلاس و مساحت آن‌ها نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت در شکل (پ-۱۳) رسم شده است. با توجه به این نمودار مشخص می‌گردد که این مدل می‌تواند ۶۳ درصد اندیس‌ها را در ۳۷ درصد منطقه پیش‌بینی کند.



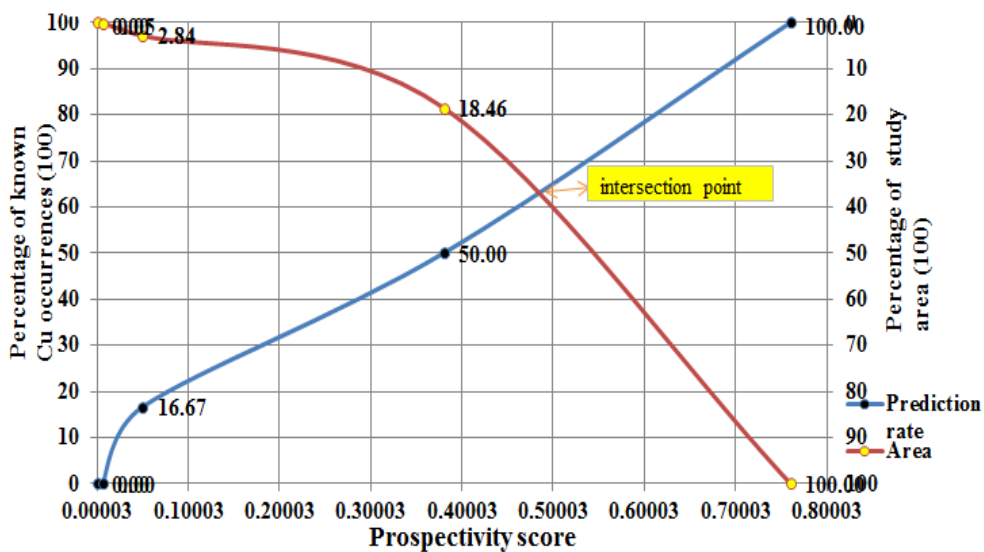
شکل پ-۱۰. مدل پتانسیل معدنی تولید شده اکتشاف کانی‌سازی تیپ مس پورفیری با استفاده از تلفیق لایه‌های شاهد به روش گاما فازی ( $\gamma = 0/5$ )



شکل پ-۱۱. نمودار عیار- مساحت برای مدل پتانسیل تولید شده با استفاده از عملگر گامای فازی ( $\gamma = 0/5$ )



شکل پ-۱۲. نقشه طبقه‌بندی شده مدل تولید شده با استفاده از گامای ۰/۵



شکل پ-۱۳. نمودار نرخ پیش‌بینی - مساحت برای مدل تولید شده با استفاده از عملگر گامای فازی ۰/۵

## **Abstract**

In mineral potential modeling in order to identify exploration targets and to prepare mineral potential map, several exploratory data are used to produce the weighted control layers. In fact, the mineral potential modeling is a multistep process involving the production of control maps, composition of them and the ranking of the mining promising areas. So, in the all of mineral potential modeling methods; after definition of the conceptual model for a deposit and selection of suitable exploration criteria, the weighted control layers are produced and combined together.

In this thesis, to prepare a promising area map of porphyry copper in Tarom sheet (1:100000) we applied a knowledge-based inference networks using continuous fuzzification. In the Tarom sheet, there are several important mineralization factors such as mine indices, acidic to intermediate intrusive rocks, volcanic rocks, alteration phenomena and tectonic setting; cause to this area well be mineralization zone and has to some promising area.

In this research for preparing information layers, geologic, remote sensing and geophysical data have been used. Using satellite images (ETM+ and ASTER data) and different techniques for image detection, such as principal component analysis and band ratio methods and edge detection filters, surface spread of the alteration phenomenon, rock units and structures and lineaments were identified. As well as to identify lineaments and faults in this area geological maps, aeromagnetic and satellite imagery were used. In addition to derive the best combination of multi-element mineralization reagents, analysis of stream sediment geochemical data are used. After the alteration, fault density, watershed and intrusive maps were prepared; a suitable logistics function was used for wrapping layers in to the range of 0 to 1. The weighted continuous control layers are combined using fuzzy operators. In this study, to improve the outcome of the exploration of mineral resources and determine promising areas for detailed exploration, Mineralization modeling has been done base continuous weighting on geological factors. In addition, in order to avoid arbitrary weighting and classification continues fuzzification method was used in the process. According to remote sensing studies and taking into account the factors such as alteration, igneous lithologies, linear and ring structures, and geochemical indicators were identified promising areas.

**Keywords:** remote sensing, aeromagnetic, geochemical data, the continuous fuzzification, alteration, GIS, Tarom



**Shahrood**

**University of Technology**

**Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics**

**Recognition of promising area in one 1:100000 map of Tarom, using  
satellite, geophysical and Geochemical data in GIS**

**Sahar Moazam**

**Supervisors:**

**Hamid Aghajani**

**Mahyar Yousefi**

**Advisor:**

**Mohamad Rezaie**

**February 2016**