

تلفیق و آنالیز داده‌های سنجنده آستر، ژئوفیزیک هوایی و زمین‌شناسی برای اکتشاف کانی‌زایی مس در منطقه چهارگنبد، مطالعه GIS

مهدی فراهانیⁱ، اردشیر هزارخانیⁱⁱ، مهدی احدیⁱⁱⁱ

چکیده

منطقه چهارگنبد در بخش جنوبی کمربند آتشفشانی- رسوبی ایران مرکزی و در استان کرمان قرار دارد. به علت نفوذ توده‌هایی از جنس گرانودیوریت، دیوریت، گرانیت و مونزونیت با سن الیگومیوسن در سنگ‌های آتشفشانی ائوسن، غالباً کانی‌سازی مس و دگرسانی شدید در منطقه به‌وجود آمده است. روش‌های مختلف پردازش تصاویر از جمله ساخت ترکیبات رنگی، اعمال فیلترهای مختلف بر روی تصاویر، نسبت‌های بانندی، آنالیز مؤلفه‌های اصلی بر روی داده‌های آستر انجام شد. نسبت‌های بانندی به‌دست آمده در این تحقیق نشان داد نسبت بانندی ۷/۹ برای مناطق دگرسانی و ۳/۲ برای پوشش گیاهی و ۲/۱ نیز برای بارزسازی اکسیدهای آهن مفید است. آنالیز مؤلفه‌های اصلی نیز در منطقه نشان داد مؤلفه اصلی پنجم بارگذاری بالا دارد و مناطق دگرسانی را بخوبی بارز می‌کند. داده‌های ژئوفیزیک روی منطقه نشان داد مناطق دگرسان شده، از شدت میدان مغناطیسی پایین، شمارش پتاسیم، توریم و اورانیم بالایی برخوردارند. برای تلفیق داده‌ها، روش طبقه‌بندی فازی بر روی داده‌های ژئوفیزیک هوایی و داده‌های دورسنجی اعمال شد.

کلمات کلیدی

سنجش از دور، دگرسانی، سنجنده آستر، ژئوفیزیک، طبقه بندی فازی

Integration and Analysis of ASTER Data, Geophysical and Geological Data for Exploration of Cu Mineralization in chahargonbad Area, A GIS approach

M.Farahani, A.Hezarkhani, M.Ahadi

ABSTRACT

The Chahargonbad area is located in southern part of the central Iranian volcano-sedimentary belt, in kerman province The intrusions of several intrusives bodies such as granodiorite, monzonite, diorite, granite and quartz diorite in the volcanic sedimentary sequence have given rise to an intense and vast alteration and copper mineralization in the southern part of this belt different image processing techniques such as color composites, image filtering, band ratioing and principal component analysis have been applied on ASTER data. The band ratios technique showed that band ratios of 7/9 and 3/2 enhance the altered and vegetation cover respectively. Band ratio of 2/1 also enhances the iron oxide bearing areas. Principal component analysis showed that the fifth PC has higher loadings of the bands related with alteration. This PC enhances the altered areas. The airborne geophysical data over the altered areas showed that the higher K, Th and U

ⁱ کارشناس ارشد اکتشاف معدن - شرکت مهندسین مشاور کاوشگران

ⁱⁱ دانشیار دانشکده مهندسی معدن، متالورژی و نفت، دانشگاه صنعتی امیر کبیر

ⁱⁱⁱ کارشناس ارشد اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن، متالورژی و نفت، دانشگاه صنعتی امیر کبیر



radiometry and lower total magnetic field is associated with the altered areas. For integration data, Fuzzy classification has been applied on airborne geophysical data, remote sensing data.

KEYWORDS

Remote Sensing, alteration, ASTER, Geophysics, fuzzy classification

هاله‌های دگرسانی کانسارهای مس استفاده شده است. روش‌های مختلف پردازش تصاویر از جمله نسبت‌های بانندی، آنالیز مؤلفه‌های اصلی و ساخت ترکیبات رنگی بر روی تصاویر آستر انجام شد. همچنین از داده‌های ژئوفیزیک هوایی؛ که شامل داده‌های شمارش پتاسیم، اورانیم و توریم و شدت کل میدان مغناطیسی می‌باشد، استفاده شده است. مطالعات قبلی نشان داده‌اند که این داده‌های ژئوفیزیک رابطه نزدیکی با مناطق دگرسان شده دارد [5]، [6]، [9] و [12]. مقایسه مناطق دگرسان شده به دست آمده از تصاویر آستر با مناطقی که از نظر داده‌های ژئوفیزیک هوایی مقادیر بالایی را نشان می‌دهند، ما را در به دست آوردن یک مدل اکتشافی کمک زیادی می‌کند.

یکی از مباحث مهمی که ما را در تلفیق این داده‌ها کمک می‌کند، استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) است. در یک نگاه کوتاه، سیستم اطلاعات جغرافیایی داده‌های مختلف به دست آمده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، ژئوفیزیک و زمین‌شناسی را؛ که به صورت زمین مرجع درآمده‌اند با استفاده از آنالیز همپوشانی- در این مقاله از آنالیز منطق فازی استفاده شده- تلفیق کرده و یک نقشه جدید را؛ که معرف مناطق امیدبخش می‌باشد، در اختیار ما قرار می‌دهد.

۲. زمین‌شناسی منطقه مطالعه شده

منطقه مطالعه شده در بخش جنوبی کمربند آتشفشانی - رسوبی ایران مرکزی قرار گرفته است، شکل (۱). موقعیت جغرافیایی منطقه در عرض جغرافیایی $29^{\circ} 30'$ تا $29^{\circ} 45'$ و طول جغرافیایی $56^{\circ} 00'$ تا $56^{\circ} 15'$ است. کانسار مس چهارگنبد در نواحی کوهستانی شرق سیرجان واقع است. توپوگرافی منطقه برجسته و ارتفاع آن ۲۴۰۰ متر از سطح دریاست. پوشش گیاهی اندک منطقه برای بررسی‌های دورسنجی یک مزیت محسوب می‌شود. این منطقه آب و هوای خشک و نیمه‌خشک دارد.

اغلب کانسارهای مس ایران در مجموعه ماگمایی ارومیه - دختر قرار گرفته‌اند. ناحیه مورد مطالعه به‌عنوان بخشی از این کمربند، خاستگاه کانسارهای مهمی همچون سرچشمه، دره‌زار، میدوک و چهارگنبد است. این مجموعه به دلیل موقعیت تکتونیکی مشابه با دیگر کمربندهای مس دنیا، همانند کمربند ولکانیکی آند، استعداد بالقوه‌ای در کانی‌زایی مس دارد که به همین دلیل

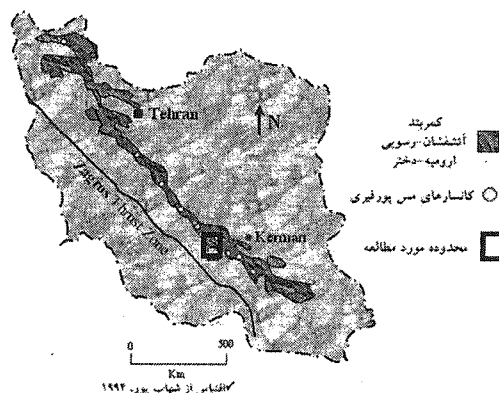
۱. مقدمه

در سال‌های اخیر، اطلاعات ماهواره‌ای و تکنولوژی جدید سنجش از دور، پیشرفت‌های چشمگیری داشته و به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای در بررسی‌های مختلف هر روزه وسعت بیشتری داشته است. بدیهی است این تکنولوژی ویژگی‌هایی دارد که در بعضی موارد، جایگزین عکس‌های هوایی می‌شود. این داده‌ها باعث دستیابی به اطلاعاتی می‌شود که در رسیدن به یک سیستم اطلاعات جغرافیایی جامع کمک مؤثری محسوب می‌شود. برای این منظور باید مشخصات مختلف زمین در لایه‌های متفاوت را با دقت بالا ذخیره کرد تا بتوان نتایج قابل توجهی از آنها گرفت. کانسارهای مس پورفیری و رگه‌ای، منابع سرشاری از مس، مولیبدن و گاهی اوقات طلا هستند. بسیاری از این کانسارها در طول تاریخ استخراج شده‌اند؛ اما طی سال‌های اخیر، پی‌جویی مجدد این کانسارها با اتخاذ روش‌های اکتشافی پیشرفته مورد توجه قرار گرفته است.

اکثر کانسارهای مس دارای یک الگوی منطقه‌بندی خوبی گسترش‌یافته بر مبنای کانی‌سازی و دگرسانی سنگ دیواره دارند [۴]. با توجه به منطقه‌بندی دگرسانی سنگ دیواره می‌توان از اکسیدهای اصلی و عناصر واسطه برای پی‌جویی کانسارهای مس استفاده کرد. ابعاد هاله‌های فلزی و منطقه‌بندی دگرسانی هیدروترمال کانسارهای مس پورفیری نسبت به ابعاد توده معدنی بزرگتر هستند. بنابراین اهداف اکتشافی ساده‌تری به حساب می‌آیند.

هدف کلی این مقاله، بهره‌گیری از داده‌های دورسنجی، ژئوفیزیک و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه و تلفیق آن در سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تعریف مدلی برای اکتشاف کانسارهای مس در کمربند آتشفشانی - رسوبی ایران مرکزی است. داده‌های سنجنده آستر در سال‌های اخیر در نواحی خشک و نیمه‌خشک برای تشخیص اکسید آهن و یا کانی‌های هیدراته مرتبط با زون‌های دگرسانی هیدروترمال بسیار مورد استفاده قرار گرفته است. سنجنده آستر؛ که در سال ۱۹۹۹ بر روی سکوی ترا نصب شده است، قدرت تفکیک مکانی و طیفی بالایی دارد. در این مطالعه، از توانایی سنجنده آستر در بارزسازی دگرسانی هیدروترمال کانسارهای مس در منطقه چهارگنبد استفاده شده است. برای این منظور از باندهای ۱ تا ۹ سنجنده آستر برای تشخیص کانی‌های رسی و اکسید آهن

از جذابیت خاصی برخوردار است و قسمتی از کمربند کوهزایی زاگرس محسوب می‌شود [۱۷].



شکل (۱): موقعیت منطقه مطالعاتی در کمربند آتشفشانی-رسوبی ایران مرکزی [۱۱].

از نظر زمین‌شناسی، مناطق اطراف کانسار مس چهارگنبد از کمپلکس آذرآواری ائوسن و دو زون باریک آهک‌های لیگوسن-میوسن و کوارتزدیوریت نفوذی می‌باشد که احتمالاً بعد از میوسن تشکیل شده است. کمپلکس آذرآواری عمدتاً از توفها با منشا آندزیت، توفیت همراه با سنگ‌آهک، کنگلومرا و آندزیت تشکیل شده است [۱۷].

کوارتزدیوریت‌های پورفیری تنها سنگ‌های نفوذی هستند که در منطقه چهارگنبد رخنمون دارند و توده‌های عدسی‌مانند نامنظمی را تشکیل می‌دهند که در جهت شرقی-غربی کشیده شده‌اند و به احتمال زیاد از نظر سن زمین‌شناسی، به دوران بعد از میوسن مربوط می‌باشد. تنها تأثیر این نفوذی‌ها بر روی سنگ‌های مجاور عبارت است از آلتراسیون هیدروترمال که ظاهراً بدون پدیده تماس یا تشکیل هورن‌فلس می‌باشد [۱۷].

اکثر کوارتزدیوریت‌های یافت‌شده از نوع آمفیبول هستند که بافت پورفیریتیک در آنها بسیار واضح است. رنگ سبز در این سنگ‌ها به خاطر کلریتیزاسیون کانی‌هاست که اغلب حاوی زئولیت می‌باشد که ترکیب شده از کوارتزدیوریت‌پرفیری و آندزیت می‌باشند.

شکل (۲) نقشه زمین‌شناسی منطقه مطالعه‌شده را نشان می‌دهد که در آن واحدهای مختلف لیتولوژیکی مشاهده می‌شود و از قدیمی‌ترین تا جوان‌ترین نمایش داده شده‌اند.

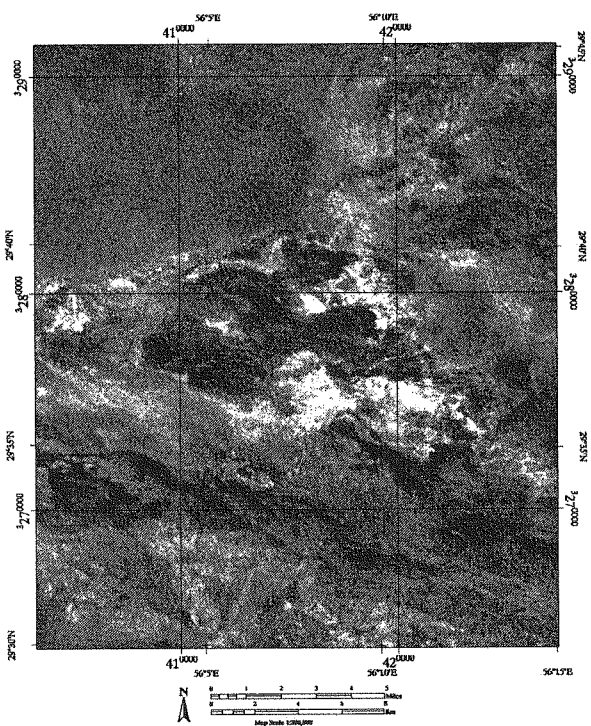
۳. آنالیز داده‌ها

داده‌های استفاده شده در این مقاله شامل نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ نقشه‌های توپوگرافی در مقیاس‌های ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰، تصاویر سنجنده آستر که در تابستان

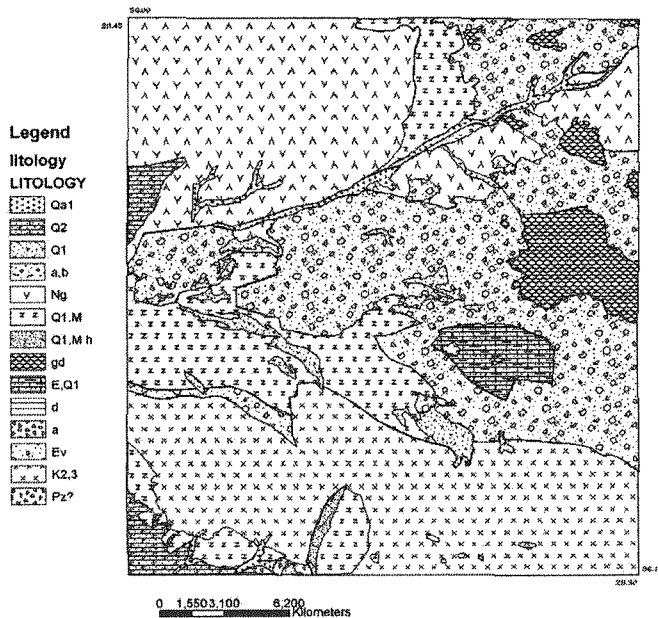
۲۰۰۱ اخذ شده‌اند، نقشه‌های ژئوفیزیک هوایی (شمارش پتاسیم، توریم، اورانیم و شدت میدان مغناطیسی) اخذ شده در سال ۱۳۵۶ می‌باشند. هر یک از این داده‌ها باید به‌صورت مجزا تحلیل شود و نتایج آنها با یکدیگر به‌وسیله آنالیز منطق‌فازی در سیستم اطلاعات جغرافیایی تلفیق گردد.

از روی نقشه رقمی‌شده زمین‌شناسی داده‌های توده‌های نفوذی منطقه استخراج شد تا از آن در تلفیق داده استفاده شود و به کمک نقشه‌های رقمی توپوگرافی تصویر مجازی سه‌بعدی منطقه برای شبیه‌سازی منطقه مورد مطالعه به‌دست آمد. تنها، داده‌های سنجنده آستر و ژئوفیزیک هوایی هستند که در ادامه به آنالیز آنها پرداخته می‌شود.

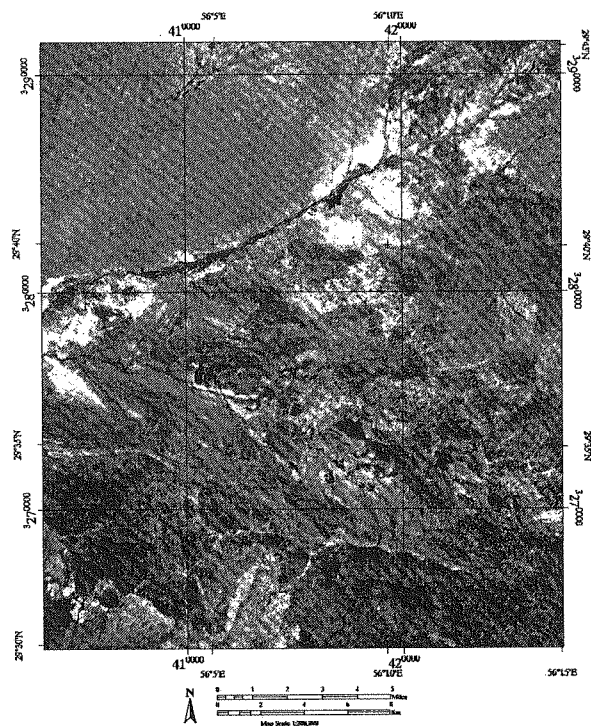
برای پردازش تصاویر سنجنده آستر از روش‌های پردازش تصویر از جمله نسبت‌های بانندی، آنالیز مؤلفه‌های اصلی و تهیه تصاویر رنگی کاذب استفاده شد. با استفاده از همبستگی باندها نسبت به همدیگر و همچنین مطالعه منحنی طیفی کانی‌های هیدروکسیل و اکسید آهن نسبت‌های بانندی مناسب برای بارزسازی کانی‌های رسی و اکسیدهای آهن انتخاب شد. با توجه به جذب امواج الکترومغناطیس کانی‌های رسی (کائولینیت، مونتوریلونیت، ایلیت و ...) در محدوده باند ۹ سنجنده آستر [۱۰] و همچنین بازتاب در باند ۴ و ۷ این سنجنده، از نسبت بانندی ۷/۹ و ۴/۹ این سنجنده برای بارزسازی کانی‌های رسی استفاده شد. بایستی به این نکته توجه داشت که بارزسازی نسبت بانندی ۷/۹ نسبت به ۴/۹ سنجنده آستر ضعیف‌تر است؛ ولی به دلیل اینکه نسبت بانندی ۴/۹ پوشش گیاهی را نیز بارز می‌سازد - درختان در طول موج مربوط به باند ۴ سنجنده آستر بازتاب دارند- در نواحی خشک بهتر جواب می‌دهد که در مقایسه تصاویر به‌دست آمده سنجنده آستر توانست مناطق دگرسان شده را بهتر بارز کند [۱۲]. همچنین با توجه به مطالعه منحنی طیفی اکسیدهای آهن، بازتاب اکسیدهای آهن (هماتیت، لیمونیت، گوتیت) در باند ۲ و جذب در باند ۱ اتفاق می‌افتد [۷]. بنابراین از نسبت بانندی ۲/۱ سنجنده آستر برای بارزسازی اکسیدهای آهن استفاده شد. این نکته را نیز می‌بایستی در نظر گرفت که سنجنده آستر در باندهای مرئی؛ که اکسیدهای آهن را بارز می‌کند، قدرت تفکیک زمینی ۱۵ متر دارد؛ بنابراین از کیفیت خوبی برخوردار است؛ به همین صورت نیز برای بارزسازی پوشش گیاهی در منطقه با توجه به منحنی طیفی گیاهان از نسبت بانندی ۳/۲ استفاده می‌شود. در منحنی طیفی مربوط به کانی‌های رسی و اکسیدهای آهن محدوده قرارگیری باندهای سنجنده آستر را در امتداد منحنی طیفی کانی‌ها می‌توان مقایسه کرد. بنابراین، با مطالعه این منحنی‌ها نسبت‌های بانندی مناسب در بارزسازی کانی‌های موردنظر، تصاویر نسبت‌های بانندی



شکل (۳): نسبت بانندی ۷/۹ سنجنده ASTER (مناطق دگرسان شده با تن روشن بارز شده‌اند.)



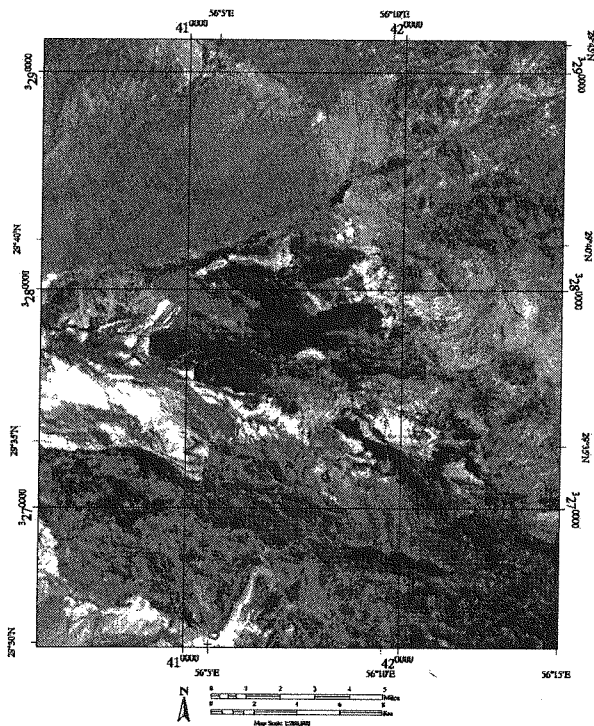
شکل (۲): نقشه زمین‌شناسی منطقه چهارگنبد (اقتباس با تغییرات از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ چهارگنبد، [۱۷]). رسوبات Q2, Q1, Qa1 رسوبات کواترنری؛ a, b جریان گدازه آندزیت بازلت؛ Ng رسوبات نئوژن؛ M, Q1 کنگلومرا و توف و شیل قرمز؛ gd گرانودیوریت و کوارتز دیوریت پرفیری و دیوریت پورفیری؛ Q1, E ماسه سنگ و کنگلومرا و برش؛ d دیاباز؛ a آندزیت؛ Ev سنگهای آتشفشانی سخت‌نشده و جریان گدازه مواد آتشفشانی و سنگهای رسوبی و آتشفشانی؛ K2,3 آمیزه رنگی؛ Pz دولومیت‌های کریستالیزه شده



شکل (۴): نسبت بانندی ۲/۱، سنجنده ASTER (مناطق اکسید آهن با تن روشن بارز شده‌اند.)

برای بارزسازی کانی‌ها، باندهایی که در طول موج‌های مادون قرمز با طول موج کوتاه (SWIR) قرار می‌گیرند؛ که سنجنده آستر ه باند در طول موج SWIR را شامل می‌شود، در اکتشاف از اهمیت بالایی برخوردارند و این یکی از مزیت‌های سنجنده آستر نسبت به سنجنده ETM+ است که تنها یک باند (باند ۷) در محدوده طول موج SWIR دارد.

ضمناً آنالیز مؤلفه‌های اصلی نیز روشی توانا در به نقشه در آوردن کانی‌های رسی و اکسید آهن است که می‌تواند با کم کردن اطلاعات، داده‌های اضافی را حذف و اختلافات را بیشتر کند [۹]. بدین صورت، بارزسازی این کانی‌ها با شدت بیشتری مشخص می‌شود. جدول (۱) آنالیز مؤلفه‌های اصلی بر روی باندهای سنجنده فوق را نشان می‌دهد. با مطالعه این جدول می‌توان به نکته‌های جالبی در بارزسازی کانی‌ها دست‌یافت. با توجه به نتایج جدول (۱)، در مؤلفه اصلی ۳ (PC3) باندهای ۳ (مادون قرمز نزدیک که بازتاب بر روی گیاهان را نشان می‌دهد) و باند ۲ (محدوده جذب گیاهان) بارگذاری بالا؛ اما با



شکل (۴): ترکیب رنگی ۲۵۷ (RGB)، سنجنده ASTER (که مناطق دگرسان شده با رنگ صورتی و پوشش گیاهی به رنگ قرمز تیره نشان داده شده است).

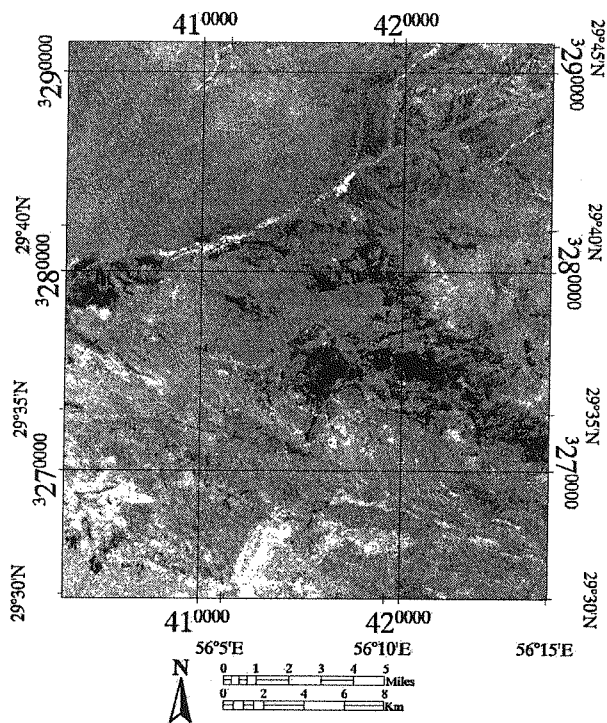
جدول (۱): آنالیز مؤلفه های اصلی بر روی ۹ باند سنجنده

ASTER									
PC9	PC8	PC7	PC6	PC5	PC4	PC3	PC2	PC1	
۰/۰۵	۰/۲۱	۰/۷۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۴۴	۰/۳۵	۰/۳۱	۰/۱۶	باند ۱
-۰/۰۴	-۰/۱۲	-۰/۶۲	-۰/۰۷	-۰/۱۸	۰/۳۶	۰/۲۰	۰/۴۵	۰/۲۴	باند ۲
۰/۰۲	-۰/۰۴	۰/۵۲	۰/۰۷	۰/۲۰	-۰/۳۳	-۰/۲۵	۰/۷۰	۰/۳۰	باند ۳
-۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۰۵	-۰/۲۱	۰/۵۹	۰/۲۷	-۰/۵۵	-۰/۱۲	۰/۴۰	باند ۴
۰/۳۶	-۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۳۷	۰/۳۱	۰/۲۰	-۰/۰۷	-۰/۲۵	۰/۳۳	باند ۵
۰/۲۴	۰/۵۴	-۰/۲۶	-۰/۰۳	۰/۵۵	۰/۲۲	-۰/۰۶	-۰/۲۹	۰/۳۸	باند ۶
۰/۷۹	-۰/۲۴	۰/۰۷	۰/۱۲	-۰/۲۳	-۰/۱۶	۰/۰۹	-۰/۱۴	۰/۳۶	باند ۷
۰/۳۳	۰/۳۴	۰/۰۱	۰/۴۵	-۰/۲۴	-۰/۴۸	۰/۳۴	-۰/۰۹	۰/۳۹	باند ۸
-۰/۱۹	-۰/۲۰	۰/۱۲	-۰/۵۶	۰/۲۵	-۰/۳۱	۰/۲۶	-۰/۱۳	۰/۳۴	باند ۹
۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۰۵	۱/۱	۱/۲	۵/۳	۹۰	%
۰/۹۳	۱/۱	۱/۵	۱/۷	۵/۱۴	۱۲/۱۸	۱۵/۵۶	۴۵/۵	۸۰۷/۹	Eigenvalue

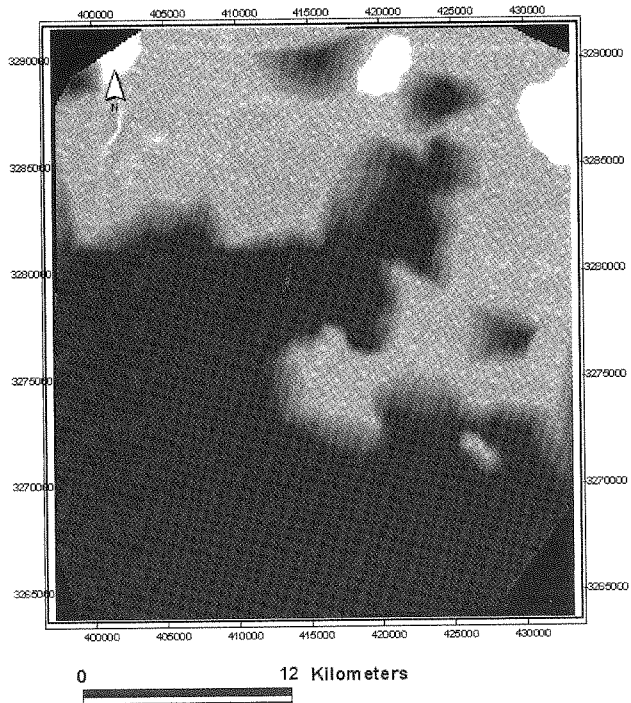
۴. آنالیز داده های ژئوفیزیک هوایی

داده های ژئوفیزیک هوایی؛ که شامل داده های شمارش پتاسیم، توریم، اورانیم و شدت میدان مغناطیسی کل است، در مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ و با فاصله پرواز ۵۰۰ متر و ارتفاع پرواز ۱۲۰ متر از سطح زمین؛ که با نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه مطالعاتی منطبق بودند، از طریق سازمان انرژی اتمی ایران تهیه شدند و تلفیق داده ها در GIS را محققین در گذشته انجام داده اند [۸] و [۱۳].

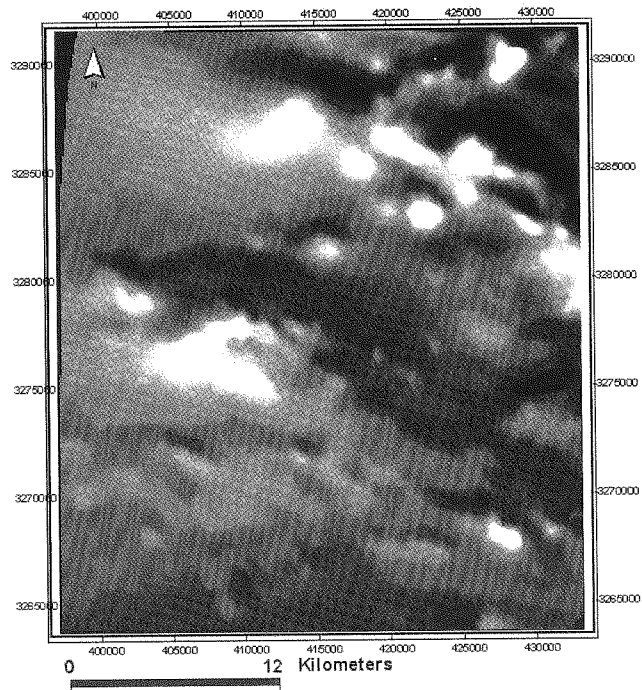
مؤلفه اصلی ۵ (PC5) هاله های دگرسانی و پوشش گیاهی را همراه هم بارز می کند. (همان طور که در جدول (۱) مشاهده می شود، مؤلفه اصلی پنجم در باند ۴ بارگذاری بیشتری نسبت به باند ۷ دارد و این نشان می دهد که بیشتر بارزسازی کانی های رسی در این مؤلفه به دلیل بازتاب بالای باند چهارم می باشد. مؤلفه اصلی چهارم (PC4) نیز تا حدودی مناطق دگرسان شده را نشان می دهد. که در باند ۴ بارگذاری مثبت و در باند ۹ بارگذاری منفی دارد و سایر مؤلفه ها بارزسازی قابل توجهی را نشان نمی دهند. تصاویر رنگی متنوعی با استفاده از باندهای سنجنده آستر و محصولات حاصل از پردازش این باندها می توان ساخت. همچنین ترکیبات رنگی مختلفی از ترکیب مؤلفه های اصلی می توان تهیه کرد که واحدهای مختلف را بتواند از یکدیگر تفکیک کند.



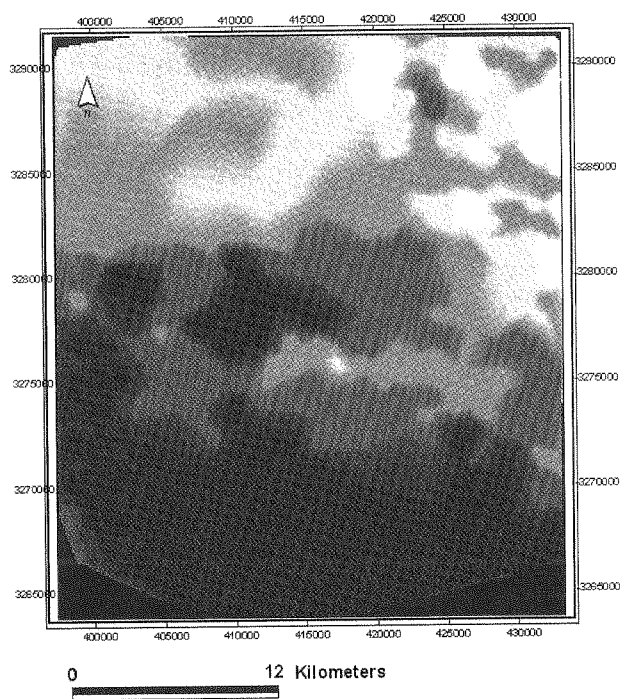
شکل (۵): تصویر پنجمین مؤلفه اصلی داده های سنجنده آستر در منطقه چهارگنبد، محدوده های رسی شده زون های دگرسانی را نشان می دهد که با تن تیره بارز شده اند.



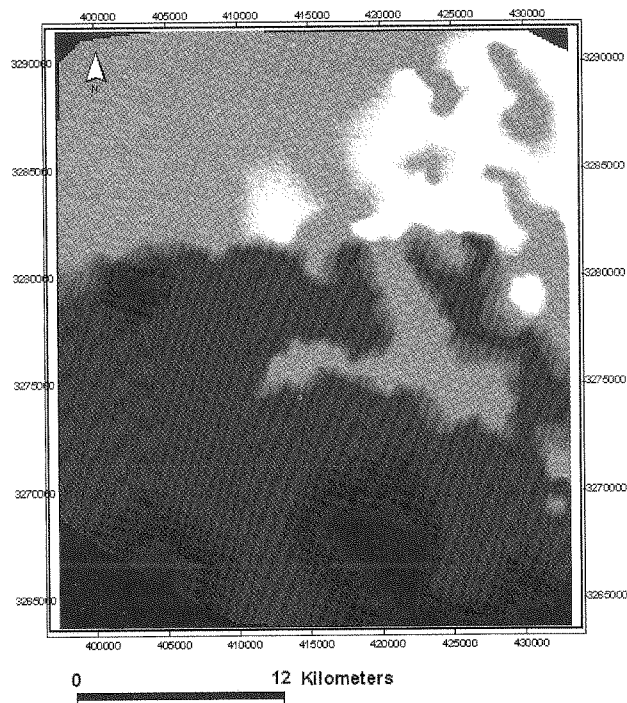
شکل (۹): نقشه شمارش توریم



شکل (۷): نقشه شدت میدان مغناطیسی



شکل (۱۰): نقشه شمارش اورانیم

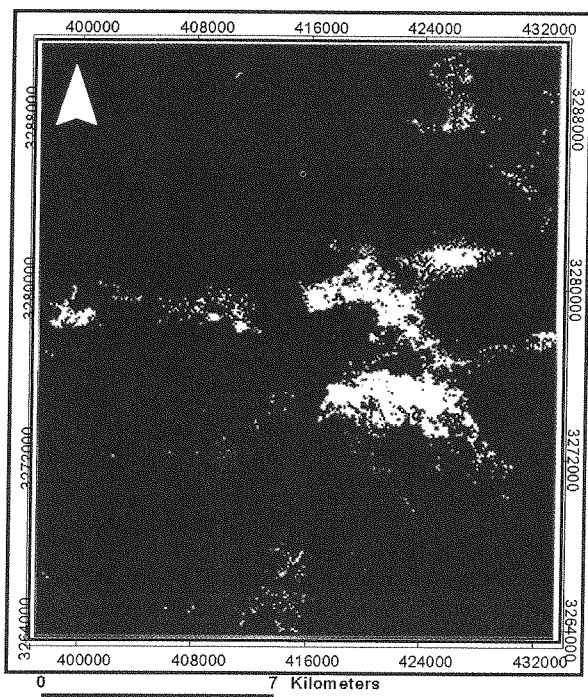


شکل (۸): نقشه شمارش پتاسیم

۵. تئوری منطق فازی و تلفیق داده ها

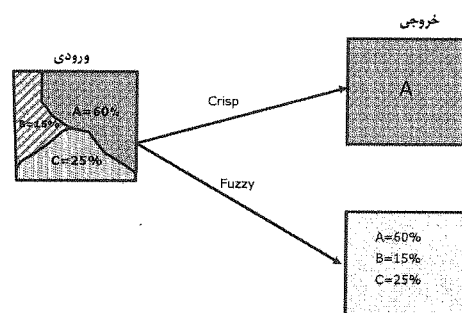
نظریه مجموعه‌های فازی را پروفسور لطفی‌زاده [۱۵] دانشمند ایرانی در مقاله‌ای به‌نام "مجموعه‌های فازی" معرفی کرد. سیستم‌های فازی امروزه در طیف وسیعی از علوم و فنون کاربرد پیدا کرده‌اند، در کنترل، پردازش سیگنال، ارتباطات، خودروسازی، معدن، پزشکی، دانش‌اجتماعی و ... کاربرد دارد

و هر روزه در سیستم‌های جدیدی وارد می‌شود و شاهد پیشرفت چشمگیر آن در سال‌های آتی خواهیم بود [۱۶]. به‌طور خلاصه، نظریه مجموعه‌های فازی فرضیه‌ای برای اقدام در شرایط عدم اطمینان است. این نظریه قادر است بسیاری از مفاهیم و متغیرها و سیستم‌هایی را که نادقیق و مبهم هستند، چنانچه در عالم واقع غالباً چنین است، صورت‌بندی ریاضی ببخشد و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد. زمانی که اصول طبقه‌بندی فازی را بزک [۲] ارائه کرد، تصور نمی‌شد که تئوری مجموعه فازی به‌طور گسترده‌ای برای ترکیب داده‌های مختلف استفاده شود. امروزه از تئوری فازی برای ادغام داده‌های سنجش از دور با سایر داده‌ها استفاده می‌شود [۱]، [۵]، [۱۲]، [۹] و [۱۶]. در روش‌های طبقه‌بندی سنتی، طبقه‌بندی بر اساس اصل یک سلول - یک کلاس صورت می‌گیرد، این بدان معناست که اگر سلولی از تصویر خصوصیت A را ۶۰ درصد و خصوصیت B را ۱۵ درصد و خصوصیت C را ۲۵ درصد دارا باشد طبقه بندی سنتی سلول را در کلاس A؛ که بیشترین مقدار را دارد، قرار می‌دهد؛ در حالی‌که با استفاده از طبقه‌بندی فازی هر کدام از خصوصیت‌های سلول تفکیک‌شده و مقدار درصد آنها برای آن سلول اعمال می‌شود [۳].



شکل (۱۲): تصویر طبقه‌بندی‌شده منطقه مطالعاتی به روش منطبق فازی (مناطق تیره درجه عضویت صفر و مناطق روشن درجه عضویت فازی یک را نشان می‌دهند. مناطق روشن‌تر معرف مناطق دگرسان‌شده می‌باشند.)

شکل (۱۱): مقایسه طبقه‌بندی فازی و طبقه‌بندی غیرفازی [۳]



شکل (۱۱): مقایسه طبقه‌بندی فازی و طبقه‌بندی غیرفازی [۳]

۶. نتیجه گیری

۱. پردازش تصاویر در منطقه چهارگنبد نشان داد نسبت بانندی ۷/۹ سنجنده آستر یکی از بهترین نسبت‌های بانندی در بارزسازی مناطق دگرسان شده می‌باشد و نسبت بانندی ۴/۹ نیز نسبت بانندی مهمی در بارزسازی مناطق دگرسان شده است و تنها ضعف آن بارزسازی مناطق دگرسانی به همراه پوشش گیاهی است.
۲. در منطقه چهارگنبد برای بارزسازی مناطق اکسید آهن بهتر است از نسبت بانندی ۲/۱ استفاده شود.

در مطالعه حاضر، برای ترکیب و آنالیز داده‌های ژئوفیزیک هوایی و آستر از روش طبقه‌بندی فازی استفاده می‌شود. وانگ [۱۴] اصول استفاده از منطق فازی را برای طبقه‌بندی نظارت‌شده بر روی تصاویر ماهواره‌ای به تفصیل توضیح داد. در اینجا طبقه‌بندی فازی با نرم‌افزار IDRISI انجام می‌شود. در این روش ابتدا داده‌های مناطق آموزشی (مناطق کنترلی) بر اساس کلاس‌های معلوم؛ که می‌تواند خالص یا مخلوط باشد، انتخاب می‌شود. با توجه به اینکه هدف اصلی در این مطالعه، مشخص کردن هر چه دقیق‌تر مناطق دگرسانی مرتبط با کانسارسازی در مقیاس ناحیه‌ای است. همان‌طور که مشخص است اگر این نوع طبقه‌بندی بر روی داده‌های خام سنجنده

Pitcher, D.H., Steele, J.P., and Watson, R.K., 1994. The application of airborne geophysical techniques to the delineation of hydrothermal systems in base and precious metal deposit. Northwest Mining Association Conference, November, 1994.

Prost, G.L., 2001. Remote sensing for geologist, A guide to image interpretation, Second edition, Gordon and Breach, Switzerland, 374pp

Ranjbar, H., Honarmand, M., Moezifar, Z., and Shakoori, M., 2002. Integration and analysis of remote sensing, airborne geophysics and geochemical data of Sar Cheshmeh area, using directed principal component analysis, 9th International symposium on Remote Sensing, Crete, Greece.

Ranjbar, H., Honarmand, M. and Moezifar, Z., 2003. Analysis of ETM+ and airborne geophysical data for exploration of porphyry type deposits in the Central Iranian Volcanic Belt, using fuzzy classification, 10th International symposium on Remote Sensing, Spain, Barcelona.

Sabins, F.F., 1997. Remote Sensing Principles and interpretation. Third edition, Freeman and company, New York, 494pp.

Shahabpour, J. 1994. Post-mineralization breccia dike from the Sar Cheshmeh porphyry copper deposit, Kerman, Iran. Exploration and Mining Geology, 3: 39-43.

Shaystehfar, M.R., Ranjbar, H. and Ahmadi, O. 2005. "Alteration mapping by using ETM+ and ASTER data in Dehaj area, southeast of Iran". SPIE Conference, Bruges, Belgium.

Tangestani, M.H. and Moore, F., 2002. The use of Dempster-Shafer model and GIS in integration of geoscientific data for porphyry copper potential mapping, north of Shar-e-Babak, Iran, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 4, p. 65-74

Wang, Fangju., 1990. Fuzzy Supervised Classification of Remote Sensing Images. IEEE.

Zadeh, I.A., 1965. Fuzzy sets, IEEE information and control, v. 8, p. 338-353.

Zimmermann, H.J., 1991 Fuzzy Set Theory and Its Applications, Kluwer Academic Publishers, Boston, 399 pp.

Dimitrijvic, M. D., Djokovic, I., 1973. Geological map of Kerman region (1:500,000). Geological Survey of Iran publication.

[۶] البته این نسبت باندی در مقایسه با نسبت باندی ۳/۱ سنجنده ETM+ از بارزسازی کمتری برخوردار است و این یکی از ضعفهای سنجنده آستر نسبت به سنجنده ETM+ است.

[۷] ۳. آنالیز مؤلفه های اصلی در منطقه انجام شد و نشان داد که مؤلفه اصلی پنجم مناطق دگرسان شده را بخوبی و با تن سیاه بارز می کند. در آنالیز مؤلفه پنجم در باند ۷ مقادیر منفی (۰/۲۳-) و در باند ۹ مقادیر مثبت (۰/۱۵) داریم که علت بارزسازی مناطق دگرسان شده به رنگ سیاه می باشد. البته در همین مؤلفه باند ۴ مقدار ۰/۵۹- است و علت آن بازتاب کانی های رسی در این باند است.

[۸] ۴. مطالعه داده های ژئوفیزیک هوایی منطقه چهارگنبد نشان داد داده های به دست آمده از هواپیما می تواند مناطق دگرسان شده را در مقیاس ناحیه ای جدا کند. همچنین مشخص شد که بر روی مناطق دگرسان شده در منطقه شمارش پتاسیم، توریم و اورانیم متوسط تا بالا و شدت مغناطیسی پایین است که در خصوص مناطق دگرسانی فیلک و آرژلیک است.

[۹] ۵. استفاده از ترکیبات رنگی مختلف در منطقه نشان داد ترکیب رنگی باندهای ۴۵۷ (RGB) می تواند دگرسانی را با رنگ صورتی و پوشش گیاهی را با رنگ قرمز تیره بارز کند.

[۱۰] ۶. استفاده از آنالیز منطق فازی در منطقه نشان داد این آنالیز می تواند نقش بسزایی در تلفیق داده های دورسنجی و ژئوفیزیک داشته و بخوبی مناطق دگرسان شده را از مناطق دیگر تفکیک کند.

[۱۱] ۷. منابع

[۱۲] ۱. An, P., Moon, W.M. and Rencz, A., 1991. Integration of geological, geophysical, and remote sensing data using fuzzy set theory, Canadian Journal of Exploration Geophysics, v. 27, p. 1-11

[۱۳] ۲. Bezdek, J.C., 1981. Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms (New York: Plenum).

[۱۴] ۳. Gupta, R.P., 2003 Remote Sensing Geology, Second edition, Springer-Verlag, Berlin, 655pp

[۱۵] ۴. Lowell, J.D. and Guilbert, J.M., 1970. Laterad and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits, Economic Geology, v. 65, p. 375-408.

[۱۶] ۵. Moon, W.M., Chung, C.F. and An, P., 1991. Representation and integration of geological, geophysical and remote sensing data, Geoinformatics, v. 2, p. 177-182.

[۱۷] ۶. Moon, W.M., Chung, C.F. and An, P., 1991. Representation and integration of geological, geophysical and remote sensing data, Geoinformatics, v. 2, p. 177-182.