

# مطالعه په‌های دگرسانی در شمال سراب با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، ژئوفیزیک هوایی و تجزیه نمونه‌های صحرایی

داوود رفاهی<sup>۱\*</sup>، احمد خاکزاد<sup>۲</sup>، نیما نظافتی<sup>۳</sup>، خلیل بهارفیروزی<sup>۴</sup> و علی بیاتانی<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

<sup>۳</sup> دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

<sup>۴</sup> دکتر، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

<sup>۵</sup> کارشناسی ارشد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۵/۱۴

## چکیده

پیدایش و گسترش ابزارهای پیشرفته سنجش از دور و ژئوفیزیک هوایی در زمینه اکتشاف منابع معدنی در دهه‌های اخیر، ناشی از اهمیت این صنعت است. در این پژوهش، از تصاویر سنجنده ASTER و داده‌های ژئوفیزیک هوایی به منظور په‌بندی نواحی دگرسانی و تحلیل سیستم حاکم بر کانه‌زایی منطقه و تعیین مناطق پتانسیل معدنی در برکه ۱:۲۵۰۰۰ اوغلان‌سر در شمال شهرستان سراب در استان آذربایجان شرقی، استفاده شد. منطقه از دید زمین‌ساختی په‌بندی ساختاری البرز باختری - آذربایجان قرار می‌گیرد و از دید زمین‌شناسی در بردارنده مجموعه‌ای از سنگ‌های آذرین که سن ترشیری (ائوس و نوژن) به آنها نسبت داده شده است. این مجموعه شامل انواع سنگ‌های آندزیتی، ریوداسیتی، ریولیتی و گرانودیوریتی است. شکل جایگیری سنگ‌های یادشده به‌طور چیره به‌صورت مجموعه‌های آذرآواری شامل انواع توف‌ها و برش‌های آتشفشانی و روانه‌های گدازه‌ای است. در این پژوهش از انواع روش‌های تحلیل طیفی مانند روش فیلترگذاری تطبیقی (MF)، روش پیش‌بینی خطی باند (LS-fit)، روش انطباق سیمای طیفی (SFF)، روش نقشه‌بردار زاویه طیفی (SAM) روی تصاویر ASTER، به‌منظور په‌بندی نواحی دگرسانی استفاده شد. همچنین از روش‌های تجزیه طیفی روی داده‌های ژئوفیزیک هوایی مغناطیسی به‌منظور استخراج توده‌های کم‌ژرفا و گسل‌ها استفاده شد. با تصاویر ASTER و داده‌های ژئوفیزیک هوایی، نقشه اولیه پتانسیل معدنی منطقه به‌دست آمد. برای اعتبارسنجی این نتایج، ۲۰۰ نمونه از منطقه برداشت شد و نمونه‌ها به روش‌های XRD، XRF، ICP، تجزیه شده و مورد مطالعه قرار گرفتند که نتایج ۱۹۰ نمونه (۹۵ درصد)، نتایج حاصل از پردازش‌های سنجش از دور و ژئوفیزیک هوایی را تأیید کردند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که استفاده هم‌زمان از تصاویر دورسنجی و ژئوفیزیک هوایی می‌تواند به بهبود نتایج حاصل کمک کند. به همین دلیل استفاده از روش‌های یادشده برای دسترسی به نتایج مناسب‌تر و با دقت بیشتر و برای انطباق نتایج داده‌ها با هم ضروری به‌نظر می‌رسد.

**کلیدواژه‌ها:** دگرسانی، استر، تحلیل طیفی، ژئوفیزیک هوایی، اوغلان‌سر.

\*نویسنده مسئول: داوود رفاهی

E-mail: d.refah@gmail.com

## ۱- پیش‌گفتار

این سنجنده نیز بر پایه نیازهای اکتشافی طراحی شده بود و ویژگی‌های طیفی خاص خود را داشت. که از آن میان، با داشتن قدرت تفکیک طیفی مناسب در محدوده فرو سرخ بازتابی، امکان جدایش بیشتر کانی‌ها رسی فراهم کرد و همچنین این سنجنده با داشتن پنج باند طیفی فرو سرخ حرارتی، امکان تفکیک واحدهای سنگی سیلیسی را به‌وجود آورد (جاهدی و فرخی، ۱۳۸۳).

گفتنی است در این محدوده، مطالعاتی زیادی توسط وزارت صنایع و معادن و سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و شرکت ملی مس صورت گرفته است که خلاصه و برخی از این مطالعات شامل تهیه نقشه دگرسانی (شکل ۱۳) و نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ از محدوده و اکتشافات ژئوشیمی آبراه‌ای و لیوتوژئوشیمیایی است. از نتایج این بررسی‌ها معرفی مناطق حفاری (۱۱ نقطه) برای اکتشافات مس و مولیبدن است (مهندسین مشاور کاوشگران، ۱۳۸۵). که انجام حفاری گمانه‌های اکتشافی توسط شرکت ملی مس انجام گرفت، ولی متأسفانه نتیجه این عملیات حفاری اکتشافی به یافتن ماده معدنی نینجامیده است.

به‌همین منظور در این پژوهش در صدد بررسی لزوم و اهمیت استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و تلفیق این اطلاعات با دیگر اطلاعات زمین‌شناسی دنبال شد. در محدوده مورد مطالعه برای اولین بار با استفاده از داده‌های سنجنده ASTER و ژئوفیزیک هوایی مغناطیسی، مطالعات دورسنجی صورت گرفت، تا نتایج حاصل از این داده‌ها نسبت به کارهای پیشین مورد ارزیابی قرار گیرد. ابتدا با استفاده از داده‌های سنجنده ASTER و مغناطیس هوایی و با به‌کارگیری روش‌های دورسنجی شامل پردازش

بررسی‌های اکتشافی سامان‌مند ناحیه‌ای با بهره‌گیری از اطلاعات مربوط به نقشه‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمی، ژئوفیزیک هوایی، داده‌های ماهواره‌ای (ASTER, ETM)، نشانه‌های معدنی با تلفیق و مدل‌سازی آنها انجام می‌پذیرد. با داشتن این اطلاعات، شناخت ساختارها، منشأ، سنگ‌های میزبان و برآیندهای کانی‌سازی و تفسیر آنها می‌تواند به هدف اصلی، یعنی استخراج اطلاعات مفید و یا شناسایی نواحی امیدبخش معدنی پرداخت.

تاریخچه سنجش از دور با عکس‌های هوایی آغاز شد و با پرتاب ماهواره‌ها و استفاده از جاروبگرهای چند طیفی وارد مرحله تازه‌ای شد. تصاویر سنجش از دور برتری‌های قابل توجهی دارند، به برخی از مهم‌ترین آنها می‌توان اشاره کرد.

۱) تصویربرداری در نواحی مختلف طیف الکترومغناطیسی شامل نواحی مرئی؛ فرو سرخ بازتابی و حرارتی و بخش‌های مایکروویو؛ ۲) داشتن دید گسترده برای مطالعه پدیده‌های بزرگ مقیاس؛ ۳) تکرار زمانی و قدرت تفکیک زمینی و طیفی گوناگون و متناسب با اهداف مطالعاتی مورد نظر؛ ۴) تصویربرداری از نواحی دشوارگذر.

با پیدایش ماهواره‌های زمینی نسل جدید و استفاده از جاروبگرهای چندطیفی، که اولین سری از این ماهواره‌ها، ماهواره لندست بود که سنجنده جاروبگر چند طیفی MSS (Multi Spectral Scanner) روی آن نصب شد و از سوی دیگر با جایگزین شدن سنجنده نقشه‌بردار موضوعی TM با داشتن ویژگی‌های تفکیک طیفی و مکانی بهتر، امکان تشخیص کانی‌های رسی و کربنات‌ها و اکسید آهن را فراهم ساخت. به‌دنبال آن در سال ۱۹۹۹ سنجنده ASTER که روی ماهواره ترا TERRA نصب شد،

#### ۴-۲. داده‌های ASTER

سنجنده ASTER که در سال ۱۹۹۹ روی ماهواره ترا (TERRA) نصب شد، با داشتن قدرت تفکیک مکانی و طیفی به‌نسبت مناسب، تأثیرات چشمگیری بر مطالعات زمین‌شناسی و اکتشافی گذاشته است و سنجنده‌های تخصصی است که بر پایه نیازهای زمین‌شناسی و اکتشافی طراحی و ساخته شده است، با داشتن قدرت تفکیک طیفی به‌نسبت مناسب در محدوده فرو سرخ بازتابی که بیشتر کانی‌ها در آن دارای نمودار جذب طیفی هستند، امکان تفکیک انواع دگرسانی‌ها را فراهم کرده است. افزون بر آن، این سنجنده با داشتن پنج باند طیفی در محدوده فرو سرخ حرارت تنها سنجنده Multi Thermal به‌شمار می‌آید، که تفکیک واحدهای سنگی و استخراج په‌نهای دگرسانی امکان‌پذیر است (شکل ۳-ب). در این مطالعه از یک صحنه داده استر از نوع Level\_1A و با شماره AST\_L1A\_002\_2003055630.HDR:ID مربوط به تاریخ ۲۰۰۲ است، استفاده شد.

#### ۴-۳. داده‌های ژئوفیزیک هوایی

به‌منظور تعیین مناطق دگرسانی بر پایه داده‌های ژئوفیزیکی از داده‌های مغناطیسی هوایی که به فواصل ۷/۵ کیلومتری توسط سازمان انرژی اتمی و به‌وسیله هواپیما برداشت شده است، استفاده شد. در شکل ۱۷- ب بی‌هنجاری‌های مغناطیسی به‌صورت Color-Shaded یا به‌عبارت دیگر به‌صورت رنگی سایه‌دار نمایش داده شده است. بدین معنا که شدت میدان مغناطیسی بالا با رنگ صورتی یا سرخ که به‌صورت برجسته نیز دیده می‌شود نشان داده شده و شدت میدان مغناطیسی پایین نیز به‌رنگ آبی تیره دیده می‌شود. به‌طور کلی شدت بالای مغناطیسی مربوط به‌سنگ‌های دارای کانی‌های فرومغناطیس مانند بازالت، بازالت-آندزیت و... بوده و شدت پایین مغناطیسی بیشتر مربوط به سنگ‌های آذرین اسیدی، واحدهای رسوبی و نواحی پوشیده از آبرفت‌های ستر است. البته گفتن این نقطه ضروری است که دگرسانی سبب تضعیف میدان مغناطیسی یا اثر مغناطیس می‌شود. همچنین اثر دو قطبی‌های مغناطیسی را نیز که به‌صورت مجاورت یک بی‌هنجاری با شدت بسیار بالا و یک بی‌هنجاری با شدت بسیار پایین دیده می‌شود را نباید از نظر دور داشت. روش‌های ژئوفیزیک هوایی به‌دلیل پوشش گسترده و ارتفاع پروازی مناسب از روش‌های متداول و مفید در اکتشافات ناحیه‌ای است. از کاربردهای این داده‌ها می‌توان به‌تعیین محل توده‌های ژرف و نیمه‌ژرف، بررسی نواحی دگرسانی، تعیین خطواره‌های مغناطیسی (شامل گسل‌های اصلی، همبری واحدهای مغناطیسی متفاوت، محل جدایش یا جابه‌جایی واحدهای مغناطیسی، دایک‌ها یا گسل‌های کانی‌سازی شده و...) اشاره کرد. در پژوهش به‌منظور بررسی مناطق دگرسانی استخراج شده از داده‌های سنجنده ASTER و مقایسه نتایج آن با داده‌های ژئوفیزیک هوایی از داده‌های مغناطیس هوایی ۷/۵ کیلومتری استفاده شد و لایه اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای با تصاویر مغناطیس هوایی تلفیق شد و نتایج خوبی به دست آمد.

#### ۵- روش‌های پژوهش

در تصاویر سنجنش از دور، پردازش روی تصاویر به‌منظور استخراج ۲ دسته اطلاعات صورت می‌گیرد که شامل اطلاعات گسسته و پیوسته است. به‌طور کلی عملیات اصلی پردازش روی تصاویر در دو قالب کلی رده‌بندی (Classification) و مدل‌سازی (Modeling) قرار می‌گیرند. عملیات حسابی از روش‌های مرسوم در پردازش تصاویر ماهواره‌ای است. در میان ۴ عمل اصلی از عملگرهای تفریق و تقسیم استفاده بیشتری می‌شود. در خیلی از موارد به‌جای تقسیم معمولی، از نسبت عادی شده باندها استفاده می‌شود.

تحلیل مؤلفه‌های اصلی یا PCA از روش‌های شناخته‌شده در تحلیل تصاویر سنجنش از دور به‌شمار می‌روند. اهداف بسیاری از به‌کارگیری این روش مد نظر است مانند کاهش ابعاد داده‌ها، کشف تغییرات در تصاویر چند زمانه و آشکار کردن پدیده‌های

و تفسیر بصری و تحلیل‌های طیفی مختلف با نرم افزار 10.3, ENVI4.7 Geomatica که روی داده‌های ASTER انجام پذیرفت، په‌نهای دگرسانی جدا و سپس نمونه‌برداری (۲۰۰ نمونه سنگ) و کنترل صحرایی این مناطق دگرسانی انجام شد. روی نمونه‌های صحرایی برداشت شده مطالعات مقاطع نازک و صیقلی و تجزیه و تحلیل‌های آزمایشگاهی به روش‌های XRF، XRD، JCP و انجام شد، که نتایج این مطالعات (نتایج مطالعات صحرایی و تجزیه‌های آزمایشگاهی) و نتایج دورسنجی بیش از ۹۰ درصد با همدیگر انطباق داشت. بنابراین در پژوهش حاضر ضرورت مطالعات دورسنجی و تلفیق داده آنها با دیگر اطلاعات در راستای کاهش هزینه‌ها و بهبود نتایج پروژه‌های اکتشافی در دیگر مناطق به‌دست آورده شد.

#### ۲- منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعه در برکه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی اهر و مشکین‌شهر، که عمده آن در نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵،۰۰۰ اوغلان‌سر 2NE-۵۴۶۶ و بخش کوچکی از آن در نقشه ۱:۲۵،۰۰۰ مجاور است که در فاصله ۲۰ کیلومتری شمال شهر سراب و در استان آذربایجان شرقی قرار گرفته است. مساحت تقریبی آن ۴۲۷ کیلومتر مربع و مختصات جغرافیایی آن شامل عرض شمالی ۳۸° ۱۴' ۲۳" تا ۳۷° ۰۲' ۲۳" و طول خاوری ۳۰° ۲۲' ۴۷" تا ۳۰° ۳۰' ۴۷" خاوری (شکل ۱).

#### ۳- زمین‌شناسی منطقه

منطقه از دید زمین‌ساختی در په‌نه ساختاری البرز باختری- آذربایجان قرار دارد و از دید زمین‌شناسی مجموعه‌ای از سنگ‌های آذرین که سن تشریری (انوسن و نئوژن) به آنها نسبت داده شده است را در بر می‌گیرد. این مجموعه شامل انواع سنگ‌های آندزیتی، ریوداستیتی و ریولیتی و گرانودیوریتی است. شکل جایگیری سنگ‌های یادشده به‌طور چیره به‌صورت مجموعه‌های آذرآواری شامل انواع توف‌ها و برش‌های آتشفشانی و روانه‌های گدازه‌ای است. واحد gr میکروگرانودیوریت پورفیری است که رخنمونی حدود یک کیلومتر مربع در بخش شمالی محدوده اوغلان‌سر قرار دارد که می‌توان آن را به عنوان یک توده نیمه ژرف (Sub-Volcanic) معرفی کرد. در مشاهدات صحرایی بخش حاشیه‌ای آن بیشتر به مجموعه کانی‌های آرژیلیک دگرسان شده است و نیز په‌نهای سیلیسی با امتداد روندهای خاص در گستره محدوده دیده می‌شوند؛ به‌نظر می‌رسد که حاصل فعالیت‌های گرمایی مربوط به آخرین فاز توده‌های نفوذی منطقه است. این په‌نهای و رگه‌های سیلیسی ارتباط تنگاتنگی با مناطق دگرسانی همچون آرژیلیکی شدن، سریسیتی شدن و سیلیسی شدن و همچنین انواع کانی‌سازی فلزی دارند (بهارفروزی و رفاهی، ۱۳۹۰).

در امتداد رگه‌های تغذیه‌کننده اصلی معمولاً رگه‌های متعدد سیلیسی سبب سیلیسی شدن سنگ‌ها و مجرای عبور شده است که برخی از آنها در بالاترین سطح سبب تشکیل په‌نهای سیلیسی می‌شود که در واقع سازوکار تشکیل آنها همانند تراورتن است، با این تفاوت که به‌جای مواد کربناتی، مواد سیلیسی در مظهر فعالیت‌های زمین‌گرمایی تشکیل می‌شود (بهارفروزی و رفاهی، ۱۳۹۰) (شکل ۲).

#### ۴- داده‌های مورد استفاده

##### ۴-۱. داده‌های ETM<sup>+</sup>

تصاویر داده‌های ETM<sup>+</sup> با داشتن ویژگی‌های طیفی و جدایش زمینی بهتر، امکان تعیین و تشخیص مستقیم کانی‌های رسی و کربنات‌ها و اکسید آهن را فراهم می‌کنند. به‌ویژه برای بررسی‌های زمین‌شناسی ناحیه‌ای و پی‌جویی‌های اکتشافی اولیه بسیار مناسب هستند. بنابراین در پژوهش برای بررسی‌های مناطق دگرسان‌شده کلی و استخراج خطواره‌های محدوده مورد مطالعه از یک صحنه داده سنجنده ETM<sup>+</sup> که دارای شماره کدر و ردیف ۱۶۷-۳۳ به تاریخ ۲۰۰۲ است، استفاده شد.

انتخابی (RGB: PC3-t1, PC4-t1, PC4-t2) در شکل ۱۰ نشان داده می‌شود. همچنین نتایج تجزیه طیفی حاصل از روش PCA به صورت تصویر- نقشه نگاشت کانی در شکل ۱۱- الف آمده است و برای استخراج اکسیدهای آهن نیز از باندهای ۱، ۲، ۳، فرو سرخ نزدیک (NIR) سنجنده ASTER استفاده شد. افزون بر روش‌های یادشده از روش‌های پردازش طیفی دیگر، مانند روش‌های تجزیه طیفی فیلترگذاری تطبیقی (MF) که تصویر- نقشه نگاشت کانی آن در شکل ۱۱- ب، روش پیش‌بینی خطی باند با استفاده از برازش کمترین مربعات (LS-Fit) که تصویر- نقشه نگاشت کانی آن در شکل ۱۱- ج و روش مقایسه زاویه طیفی میان بردار داده‌های طیفی مرجع (SAM) که نتایج و تصویر- نقشه نگاشت کانی آن در شکل ۱۱- د نشان داده شده است و روش مقایسه برازش (Fit) طیف مرجع با تصویر با استفاده از روش کمترین مربعات (SFF) استفاده شد که نتایج و تصویر- نقشه نگاشت کانی این روش در شکل ۱۱- ر نمایش داده شده است. در این پژوهش، بنا به دلایل مختلف مانند موقعیت جغرافیایی و دارا بودن رطوبت بالا و پوشش گیاهی فراوان است، به کارگیری تنها یک روش از روش‌های مختلف تجزیه طیفی، امکان تفسیر و استخراج پهنه‌های دگرسانی با دقت بالا در محدوده مورد مطالعه وجود نداشت، به همین دلیل از روش‌های طیفی مختلف استفاده شد، که به نمونه‌ای از آن اشاره می‌شود. برای مثال تفکیک کانی‌های شاخص پهنه فلیک از آرژلیک به دلیل جذب همانند کائولینیت، ایلیت و مسکوویت در باند ۶ سنجنده ASTER ممکن نیست، برای تفکیک بهتر این پهنه دگرسانی از نتایج روش SFF استفاده شد، به همین دلایل سعی شد تا نتایج حاصل از روش‌های تجزیه طیفی مختلف (SFF & LS-Fit & SAM & MF) به دست آمده با هم بررسی شود. با بررسی نتایج این روش‌های طیفی چهارگانه و تلفیق اطلاعات آنها با همدیگر یک نقشه تلفیق شده پایانی نگاشت کانی‌ها ارائه شد (شکل ۱۲) همچنین از آنجا که ساختارهای خطی مرتبط با گسل‌ها نقش مهمی با کانی‌سازی منطقه می‌توانند داشته باشند، خطوط و گسل‌ها در محدوده مورد مطالعه از داده‌های سنجنده ETM<sup>+</sup> با به کارگیری فیلتر گوسین از نوع High Pass استخراج شد (شکل ۷).

## ۶- مطالعات زمین‌شناسی صحرایی و بررسی نتایج تجزیه‌های آزمایشگاهی

در این پژوهش ابتدا با استفاده از روش‌های دورسنجی، تفسیر بصری و تجزیه‌های طیفی مختلف روی داده‌های سنجنده ASTER و تفسیر اطلاعات ژئوفیزیک هوایی (شدت کل میدان مغناطیس) انجام گرفت؛ که منجر تفکیک انواع پهنه‌های دگرسانی شد و سپس با کنترل صحرایی به همراه نمونه‌برداری از مناطق دگرسانی برای مطالعه مقاطع نازک و صیقلی، تجزیه و تحلیل نتایج آزمایشگاهی به روش (XRD, XRF ICP)، ارزیابی شد، که نتایج این بررسی انطباق مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی با نتایج دورسنجی در محدوده اوغلان‌سر در بیش از ۹۰ درصد موارد مطالعه مورد تأیید قرار گرفت که نتیجه پایانی این مطالعات به صورت تصویر- نقشه پهنه‌های دگرسانی و خطوط و اندیس‌های فلزی از جمله طلا برای محدوده اوغلان‌سر ارائه شد.

باتوجه به مشاهدات زمینی و تصاویر ماهواره‌ای، دگرسانی در شمال گستره اوغلان‌سر بیشترین گسترش را دارد که روند شمال باختری- جنوب خاوری ادامه پیدا می‌کند و در بخش‌های مرکزی محدوده دگرسانی شدت دگرسانی نسبت به دیگر مناطق بیشتر است. در مناطق دگرسان شده گاه تنها کانی‌های مافیک تحت تأثیر دگرسانی قرار گرفته و گاه این دگرسانی به صورت انتخابی بیشتر روی فلدسپارها (دگرسانی انتخابی) پیش رفته است و گاهی نیز کل سنگ دچار تغییرات کانی‌شناسی حاصل از دگرسانی شده است (دگرسانی فراگیر) که روند این دگرسانی شمال باختری، جنوب خاوری است و توسط پهنه‌های گسلی شمال باختری و جنوب خاوری کنترل می‌شود. مشاهدات صحرایی نشان می‌دهد که در شمال باختر محدوده

خاص. در این روش داده‌ها یا باندها در فضای جدیدی قرار می‌گیرند و مؤلفه‌های جدید جایگزین باندها و یا مؤلفه‌های پیشین هستند. در این فضای جدید هر کدام از این مؤلفه‌های جدید، ترکیبی خطی از باندهای پیشین هستند و در این فضای جدید همبستگی میان باندها از بین می‌رود و باندهای مستقلی ایجاد می‌شوند. این روشی تجربی است که توسط Crosta (1989) معرفی شد و به همین دلیل بیشتر با این نام شناخته می‌شود (Crosta et al., 1989). در این روش به جای استفاده از همه باندها، باندهای خاصی را جدا و عمل PCA روی آن انجام می‌شود، سپس پدیده مورد نظر در مؤلفه ویژه‌ای آشکارتر از دیگر پدیده‌ها می‌شود. در کنار استفاده از روش‌های یادشده، در این پژوهش از روش‌های مختلف تجزیه طیفی همچون Match Filtering و Spectral Feature Fitting و Spectral Angle Mapping و از داده‌های ASTER برای پهنه‌بندی دگرسانی‌ها استفاده شد. همچنین از داده‌های ETM<sup>+</sup> به کارگیری فیلتر گوسین خطوط و ساختارهای خطی منطقه و نواحی دگرسانی کلی به روش نسبت نقطه باندی، استفاده شد. تمام عملیات پردازش و تفسیر تصاویر با نرم افزارهای دورسنجی همچون ENVI4.7 و Geomatica10.3 انجام شد.

## ۵-۱. پیش‌پردازش داده‌ها

با استفاده از نرم‌افزارهای دورسنجی داده‌های ماهواره‌ای پس از تهیه، خواندن و آماده‌سازی با به کارگیری پیش‌پردازش داده‌ها (تصحیح هندسی سه‌بعدی و تصحیح رادیومتریک و موزایک) روی آنها، شناسایی دگرسانی‌ها و خطوط و با استفاده از روش‌های بصری و رقومی انجام شد (شکل ۴- ب).

## ۵-۲. پردازش داده‌ها

در پردازش‌های بصری با توجه به ویژگی‌های تصویر می‌توان عوارض مختلف را استخراج کرد؛ در حالی که در پردازش رقومی الگوی مورد نیاز به عنوان یک الگوی نمونه در نرم افزار مورد استفاده قرار می‌گیرد و به طور خودکار این الگو در همه بخش‌های تصویر شناسایی می‌شود. با تلفیق این دو روش، عوارض مورد نظر با دقت بیشتری از تصاویر ماهواره‌ای قابل تشخیص هستند. روش‌های رقومی پردازش تصاویر ماهواره‌ای عبارتند از: نسبت‌گیری باندها، تجزیه مؤلفه‌های اصلی و تجزیه طیفی که انتخاب این روش‌ها بر پایه نوع اطلاعات مورد درخواست برای استخراج داده‌ها از تصاویر صورت می‌گیرد (شکل ۵ و ۶). اطلاعات استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده ETM<sup>+</sup> و ASTER در این پژوهش شامل استخراج گسل‌ها، خطوط و مناطق دگرسانی و پهنه‌بندی آنهاست که برای استخراج این لایه‌ها از روش‌های نسبت‌گیری باندها، تجزیه مؤلفه‌های اصلی و تجزیه طیفی تصاویر استفاده شد.

## ۵-۳. تفسیر و استخراج اطلاعات لایه دگرسانی

در این مرحله ابتدا برای بررسی دگرسانی‌ها به این صورت کار شد که با ایجاد تصاویر ترکیب رنگی کاذب از راه ترکیب باندهای مختلف و با تفسیر بصری این تصاویر به دست آمد که از روش‌های متداول در شناسایی مناطق دگرسانی است استفاده شد و همچنین با تهیه تصاویر رنگی مجازی از به کارگیری روش بسط عدم همبستگی و روش نسبت‌گیری باندها که با تعبیر و تفسیر این تصاویر، مناطق دگرسانی گرمایی که به ترتیب در شکل ۸ به رنگ صورتی و در شکل ۹ به رنگ زرد در محدوده مورد نظر مشخص شد. همچنین روش مؤلفه‌های اصلی یکی دیگر از روش‌های مفید شناخته شده است و قابلیت استخراج اطلاعات مناسب برای تفکیک پهنه‌های دگرسانی را دارد. برای تجزیه و تحلیل در این روش از باندهای مناسب، استفاده شد (Crosta & Moore, 1989; Loughlin, 1991). برای نمونه برای تفکیک پهنه‌های دگرسانی نوع آرژلیک و آرژلیک پیشرفته، از باندهای ۴ و ۵ و ۶ و ۷ که نتایج مقادیر ویژه مؤلفه‌های اصلی باندهای ۴ و ۵ و ۶ و ۷ در جدول ۱ است و برای تفکیک دگرسانی پروپلیتیک از باندهای ۴ و ۵ و ۶ و ۷ که نتایج مقادیر ویژه مؤلفه‌های اصلی باندهای ۶ و ۷ و ۸ و ۹ در جدول ۲ است، از فرو سرخ (SWIR)، استفاده شد. تصویر ترکیب رنگی مجازی (RGB) حاصل از تجزیه مؤلفه‌های اصلی

تشخیص داده شده است. در بیشتر رگه‌های سیلیسی نیز پیریت در فرایند برونزاد به اکسیدهای آهن تبدیل شده است. (شکل ۱۶-ب).

## ۷- تلفیق انواع لایه‌های مختلف اطلاعات برای تحلیل سامانه حاکم بر دگرسانی منطقه

تلفیق و بررسی داده‌ها در کنار هم می‌تواند نقش به‌سزایی در تفسیر پدیده‌های زمین‌شناسی و سامانه‌های حاکم بر کانی‌زایی داشته باشد و در این پژوهش برای بررسی ارتباط دگرسانی با سامانه‌های کنترل‌کننده دگرسانی از داده‌های ژئوفیزیک هوایی ۷/۵ کیلومتر شدت کل میدان مغناطیسی برگردان به قطب استفاده شد. در محدوده مورد نظر تلفیق داده‌های شدت میدان کل مغناطیسی برگردان به قطب با داده‌های دورسنجی و دیگر اطلاعات زمین‌شناسی انجام گرفت که نتایج خوبی از این تلفیق اطلاعات به‌دست آمد (شکل ۱۷-ب) از نتایج و تفسیر لایه‌های اطلاعاتی مختلف تلفیق شده به‌ویژه دو لایه اطلاعات داده‌های دورسنجی و ژئوفیزیک هوایی چنین به‌نظر می‌رسد که یک سامانه پویای حاکم بر منطقه (احتمال وجود توده نفوذی اسیدی در ژرفای حدود ۲۰۰ متر) به‌عنوان موتور و محرک حرارتی در منطقه وجود دارد، که سبب گسترش دگرسانی در امتداد گسل‌های اصلی با روند شمال باختری و جنوب خاوری (هم‌روند گسل تبریز) در منطقه شده است. از تصاویر تلفیق شده این دو لایه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (شکل ۱۸).

۱) با توجه به نتایج به‌دست آمده از تلفیق تصاویر ماهواره‌ای و مغناطیس هوایی ۴ سامانه شامل ۱ سامانه بزرگ و ۳ سامانه کوچک ایزومتریک (همگون) تشخیص داده شد که این نتیجه می‌تواند الگوی اکتشافی در دیگر مناطق نیز باشد؛ ۲) نواحی دگرسانی در منطقه با بی‌هنجاری شدت میدان مغناطیسی برگردان به قطب همخوانی دارد؛ ۳) بی‌هنجاری پایین شدت میدان کل مغناطیسی برگردان به قطب در محدوده دگرسانی منطبق بر دگرسانی است، احتمال وجود توده‌های نفوذی و نیمه‌آتشفشانی اسیدی در ژرفای تقریباً ۲۰۰ متر پایین‌تر دور از انتظار نیست؛ ۴) در تصویر سمت چپ دوایر کوچک سرخ نقاط حفاری که توسط شرکت ملی مس انجام گرفته است را نشان می‌دهد، گفتنی است این حفاری‌ها در برخی از موارد تا ژرفای ۶۰۰ متری هم انجام شده ولی به‌یافتن کانسار نیانجامیده، که نکته قابل توجهی است. چرا که تلفیق لایه‌های مختلف اطلاعات با همدیگر می‌تواند در راستای رسیدن به نتایج مطمئن و یا با کمترین خطا، کمک کند. باید اشاره کرد، گفتنی است، اگر مطالعات اکتشافی پیشین در این منطقه تلفیق اطلاعات انجام می‌شد، شاید نتایج بهتری، در طراحی بهینه محل حفاری‌ها و صرفه جویی هزینه‌ها به‌دست می‌آمد.

## ۷-۱- تصویر - نقشه پایانی پتانسیل معدنی در محدوده اوغلان سر

با توجه به مطالعات دورسنجی و اطلاعات مغناطیس هوایی و مشاهدات صحرائی و نتایج تجزیه آزمایشگاهی و دیگر لایه‌های اطلاعات زمین‌شناسی در (شکل ۱۹) مناطق امیدبخش معدنی در ۶ محدوده که به‌صورت کادر زرد مشخص شده است، همچنین نتایج تجزیه نمونه‌های طلادار از رگه‌های سیلیسی ارائه شد.

## ۸- بحث و نتیجه‌گیری

از آنجا که نواحی دگرسانی گرمابی می‌تواند ارتباط نزدیکی با مناطق کانی‌سازی و به‌ویژه احتمال کانسارهای گرمابی و پورفیری داشته باشند، بر این پایه تفکیک محدوده‌های دگرسانی می‌تواند کلیدی برای پی‌جویی مواد معدنی با مقیاس ناحیه‌ای برای این نوع کانسارها باشند. دگرسانی، فرایندهای پیچیده تغییرات کانی‌شناسی و شیمیایی و بافتی و حاصل از واکنش سیال‌های داغ با سنگ‌های دربرگیرنده است و عبور این سیال‌های از واحدهای یادشده سبب تغییرات مهم و چشمگیری می‌شود که با توجه به ویژگی‌های امواج الکترومغناطیسی این مناطق دگرسانی قابل تفکیک در تصاویر ماهواره‌ای است. چرا که در طی فرایند دگرسانی مجموعه زیادی از کانی‌ها

رخداد شدید دگرسانی با برونزاد یک آپوفیز گرانودوریتی همراه است، که از بررسی‌های نتایج تجزیه کانی‌شناسی XRD (جدول ۳) و مقایسه نتایج حاصل از داده‌های ASTER با نتایج تجزیه XRD (جدول ۴)، کارهای دفتری و مشاهدات صحرائی مورد تأیید قرار گرفت.

## ۶-۱- دگرسانی آرژیلیک معمولی و پیشرفته

دگرسانی آرژیلیک در حاشیه و بالای دگرسانی فلیک دیده می‌شود. این دگرسانی برپایه نتایج XRD و مطالعه مقاطع نازک با مجموعه کانی‌شناسی آلونیت، مجموعه کانی‌های رسی (کانولینیت، ایلیت، مونتموریلونیت)، فلدسپار، ژاروسیت، کوارتز به‌همراه کلریت، سرسیت و اکسید آهن مشخص می‌شود (شکل ۱۴-الف).

## ۶-۲- دگرسانی فلیک

این دگرسانی در منطقه مورد مطالعه به‌صورت فراگیر، انتخابی و به شکل رگه-رگچه‌ای دیده شده است. در دگرسانی فراگیر بیشتر نمونه‌ها در مرکز کانی‌سازی و همه سنگ به‌مجموعه‌ای از کانی‌های سرسیت، کوارتز، کربنات و پیریت تبدیل شده‌اند و نشانه‌ای از بافت اولیه سنگ به‌چشم نمی‌خورد و نیز پلاژیو کلازها به‌صورت کامل به‌وسیله سرسیت، کوارتز و کربنات‌ها و کانی بیوتیت نیز توسط سرسیت و روتیل جایگزین شده است (شکل ۱۵-الف). در این منطقه فعالیت سیال‌های گرمابی افزون بر دگرسانی، سبب خردشدگی و پرشدگی آنها توسط کانی‌های فلزی (پیریت) شده است (شکل ۱۴-ج). در دگرسانی انتخابی، پلاژیو کلازها به‌طور بخشی به سرسیت و کانی‌های مافیک مانند بیوتیت، پیروکسن و هورنبلند به کلریت تبدیل شده‌اند، زمینه سنگ نیز به‌صورت پراکنده سرسیتی و سیلیسی شده است. این مورد به‌طور چیره در بخش‌های بیرونی و حاشیه‌ای دگرسانی فراگیر تشکیل شده است (شکل ۱۵-ج) همچنین بررسی‌های صحرائی و مقاطع نازک میکروسکوپی نشان می‌دهد که دگرسانی فلیک در منطقه شامل کانی‌های کوارتز-سرسیت-پیریت و کربنات است که با مقادیر کمی کلریت، ایلیت و روتیل نیز همراه شده است (شکل ۱۵-ب). شدیدترین بخش این دگرسانی در فراز فرسایشی حدود ۲۲۶۰ متری از سطح دریا (در کف و حاشیه آبراهه) و همراه با کانی‌زایی پیریت به‌صورت افشان و استوک ورک نمود یافته است (شکل‌های ۱۴-ب و ج).

## ۶-۳- دگرسانی پروپلیتیک

دگرسانی پروپلیتیک در برخی بخش‌ها در حاشیه دگرسانی‌های سرسیتی و آرژیلیک و بیشتر در شمال باختر منطقه دیده می‌شود (شکل ۱۴-د). این دگرسانی در منطقه به‌طور چیره در سنگ‌های هورنبلند آندزیت با اجتماع کانی‌های کلریت، کربنات و اپیدوت مشخص می‌شود که با مقادیر جزئی از کوارتز، کانی‌های رسی و سرسیت همراه است و بیشتر این کانی‌ها حاصل از دگرسان شدن کانی‌های آهن و منیزیم دار مانند هورنبلند و بیوتیت و کمی پلاژیو کلاز است (شکل ۱۵-د).

## ۶-۴- دگرسانی سیلیسی‌شدن

در منطقه سیلیسی‌شدن یکی از گسترده‌ترین دگرسانی‌ها و دارای دو نوع است. در نوع اول دگرسانی، سیلیس که از شبکه کانی‌های سیلیکاتی آزاد شده است، دوباره به‌زمینه سنگ‌ها افزوده و با تبلور سیلیس ریز بلور، موجب سیلیسی‌شدن آن شده و همچنین به‌صورت پرشدگی در امتداد شکستگی‌ها، رگچه‌های کوارتزی را به‌وجود آورده است. این نوع سیلیس بیشتر در دگرسانی سرسیتی (فلیک) شدید و همراه با کانی‌زایی پیریت است و نوع دیگر سیلیس، به‌صورت رگه‌ها و پهنه‌های سیلیسی هستند به‌طور چیره در روندهای خاصی جایگیر شده‌اند (شکل ۱۶-الف).

## ۶-۵- دگرسانی اکسید آهن در منطقه برونزاد

دگرسانی پس از کانی‌زایی شامل آبگیری و اکسایش در منطقه برونزاد است که به اکسید شدن کانی‌های سولفیدی و تولید کانی‌های رسی از فلدسپارهای اولیه می‌انجامد. در منطقه مورد مطالعه این پهنه با فراوانی اکسید و هیدروکسیدهای آهن مانند ژاروسیت-گوتیت و هماتیت مشخص می‌شود، که برپایه نتایج تجزیه XRD

درصد دارد که این دگرسانی‌ها شامل پهنه‌های آرژلیک (معمولی و پیشرفته)، فلیک، پروپلیتیک و سیلیسی شدن و اکسید آهن است.

- در مناطقی که پوشش گیاهی و رطوبت خاک زیاد است نتایج حاصل از پردازش روش‌های طیفی مرسوم، به تنهایی توانایی نگاشت کانی‌ها و استخراج دگرسانی‌ها را ندارد و باید از نتایج تلفیق شده روش‌های تحلیل طیفی استفاده کرد.

- از میان روش‌های طیفی به کار برده شده، برای استخراج دگرسانی‌ها روش FPCS به دلیل کاهش خطای ناشی از پوشش گیاهی و روش MF و LS-Fit به دلیل کاهش نویز تصویر، نتایج بهتری نسبت به دیگر روش‌ها ایجاد کردند.

- مشاهدات صحرایی همبستگی نقاط دارای کانی‌سازی طلا را با دگرسانی‌های سریستی، سیلیسی و آلونیتی حاصل از پردازش داده‌های ماهواره‌ای ASTER تأیید می‌کند.

- گسترش دگرسانی‌ها در منطقه توسط ساختارهای منطقه شمال باختر - جنوب خاور کنترل می‌شود که این مطلب را تصاویر ماهواره‌ای و نشانه‌های زمینی به دست آمده از منطقه تأیید می‌کند.

- با توجه به تشخیص پهنه‌بندی‌های مختلف دگرسانی و اطلاعات حاصل از آن، نتایج تجزیه نمونه‌های آزمایشگاهی، نشانه‌های زمین‌شناسی صحرایی و احتمال کانی‌زایی اپی‌ترمال و پورفیری در منطقه وجود دارد.

- تلفیق لایه‌های مختلف اطلاعاتی به‌ویژه داده‌های ژئوفیزیکی هوایی به همراه داده‌های ماهواره‌ای در شناسایی مناطق کانی‌زایی با توجه به سامانه‌های ساختاری حاکم بر منطقه می‌تواند مناسب‌ترین روش باشد.

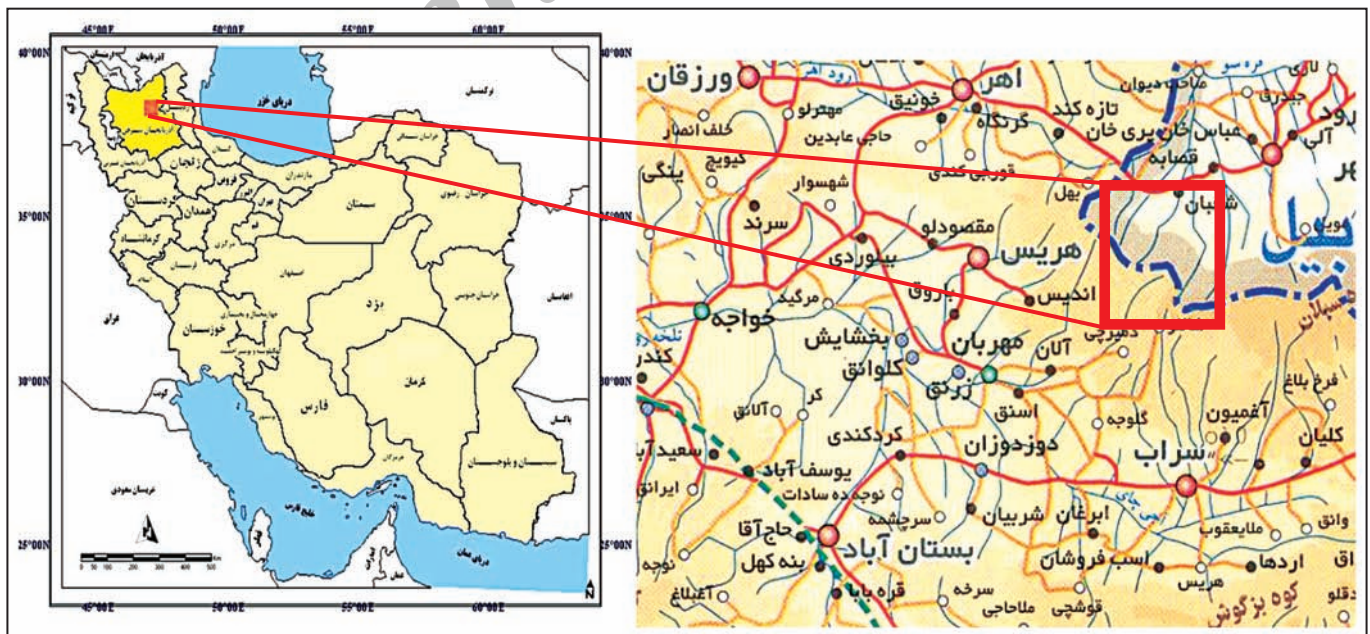
- با توجه به توانایی استخراج پهنه‌های دگرسانی‌های مختلف توسط داده‌های ASTER برای پی‌جویی و اکتشاف مقدماتی کانسارهای پورفیری و اپی‌ترمال ضرورت پیدا می‌کند، ولی این سنجنده در شناسایی پهنه دگرسانی پتاسیک محدودیت دارد و برای این منظور استفاده از داده‌های فراطیفی توصیه می‌شود.

به وجود می‌آید که از مهم‌ترین این کانی‌ها می‌توان به کانی‌های با بنیان OH اشاره کرد. هدف اصلی از این پژوهش پردازش تصاویر سنجنده ASTER به منظور پهنه‌بندی (زون‌بندی) نواحی دگرسانی و اعتبارسنجی این نتایج با مشاهدات زمینی و تجزیه نمونه‌های صحرایی در محدوده مورد مطالعه بود، که در ابتدا این مناطق دگرسانی کلی حاصل از پردازش تصاویر ETM+ تشخیص داده شده‌اند و سپس به منظور پهنه‌بندی (زون‌بندی) نواحی دگرسانی یادشده از تصاویر سنجنده ASTER با توجه به قابلیت‌های فنی این سنجنده استفاده شد. در ادامه به بحث در مورد ضرورت تلفیق داده‌ها در منطقه مورد مطالعه پرداخته شد در پایان پس از تشخیص و تفکیک محدوده‌های دگرسانی توسط داده‌های سنجنده، نتایج با اطلاعات زمینی (مشاهدات صحرایی و نتایج آزمایشگاهی) ارزیابی و با اطلاعات استخراج شده از پردازش داده‌های مغناطیس هوایی تلفیق شد که نتایج حاصل از این بررسی خوب بود. بنابراین در پژوهش حاضر ضرورت مطالعات دورسنجی و تلفیق داده آنها با دیگر اطلاعات در راستای کاهش هزینه‌ها و بهبود نتایج پروژه‌های اکتشافی در دیگر مناطق به دست آمد، که به‌مواردی از این نتایج اشاره می‌شود.

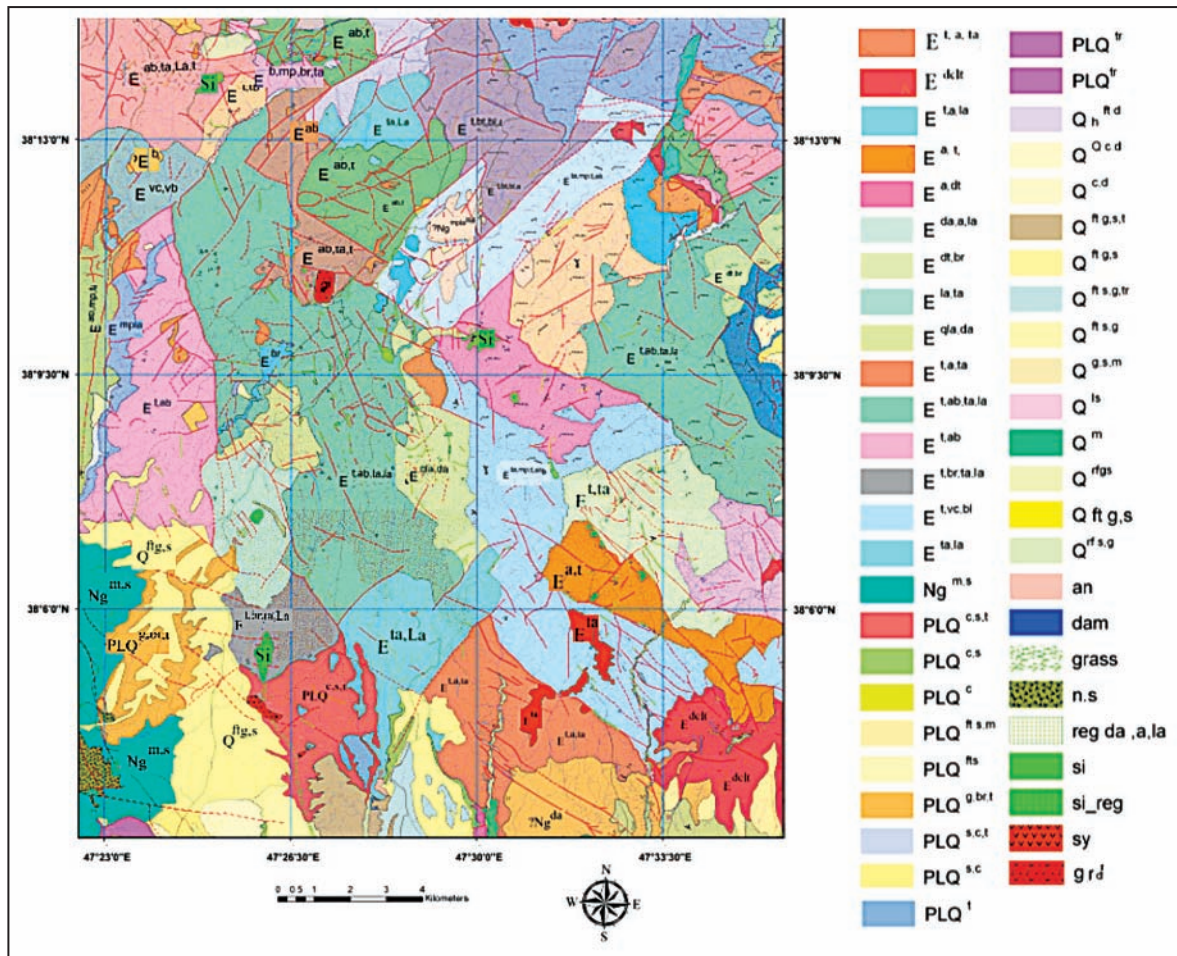
- با توجه به نتایج به دست آمده از تلفیق تصاویر ماهواره‌ای و مغناطیس هوایی ۴ سامانه شامل ۱ سامانه بزرگ و ۳ سامانه کوچک ایزومتریک (همگون) تشخیص داده شد که این نتیجه می‌تواند الگوی اکتشافی در دیگر مناطق نیز باشد.

- بی‌هنجاری پایین شدت میدان کل مغناطیسی برگردان به قطب ژئوفیزیکی هوایی منطبق بر مناطق دگرسانی است، با تفسیر این مساله احتمال وجود توده‌های نفوذی و نیمه آتشفشانی اسیدی در ژرفای تقریباً ۲۰۰ متر پایین‌تر دور از انتظار نیست.

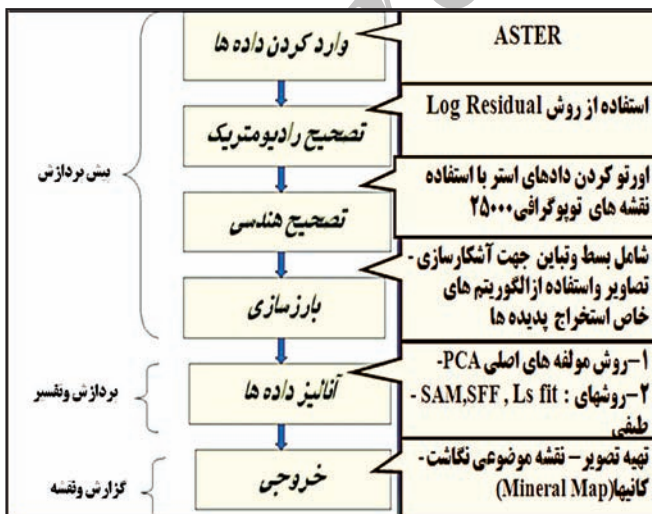
- نواحی دگرسانی در منطقه با بی‌هنجاری شدت میدان مغناطیسی برگردان به قطب همخوانی دارد. پهنه‌های دگرسانی حاصل از پردازش داده‌های ASTER با نتایج حاصل از مطالعات میدانی و آزمایشگاهی محدوده مورد مطالعه همخوانی بالای ۹۰٪



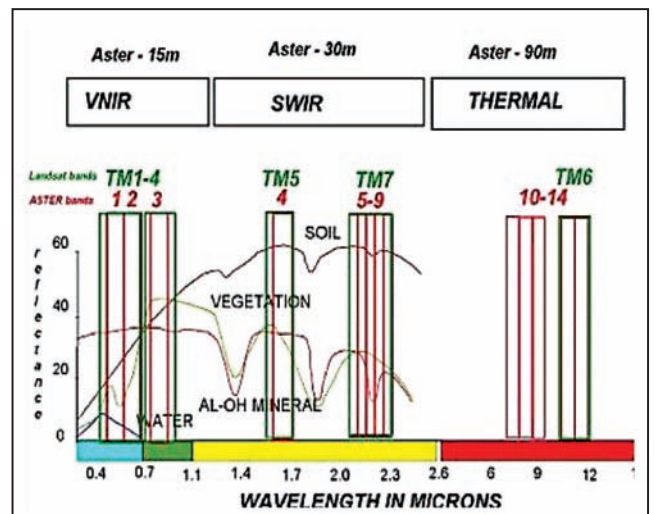
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی محدوده مورد مطالعه (اطلس راه‌های ایران، ۱۳۸۶).



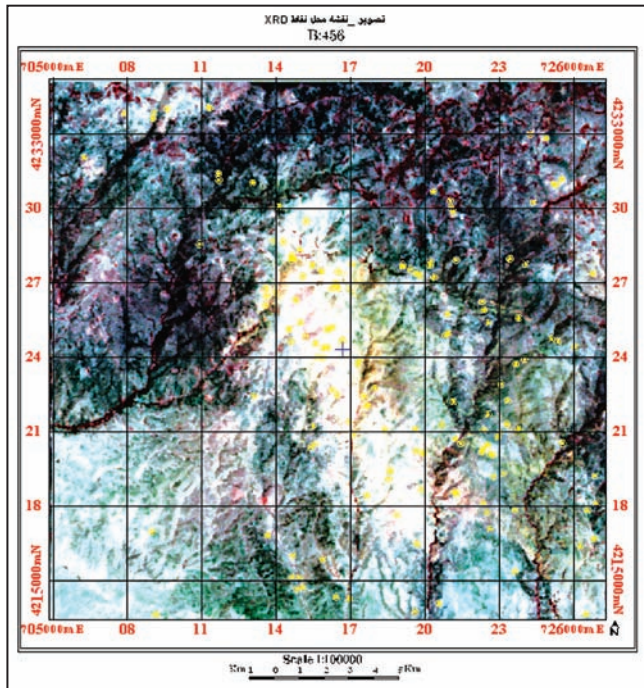
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ از منطقه اوغلان‌سر (بهار فیروزی و رفاهی، ۱۳۹۰).



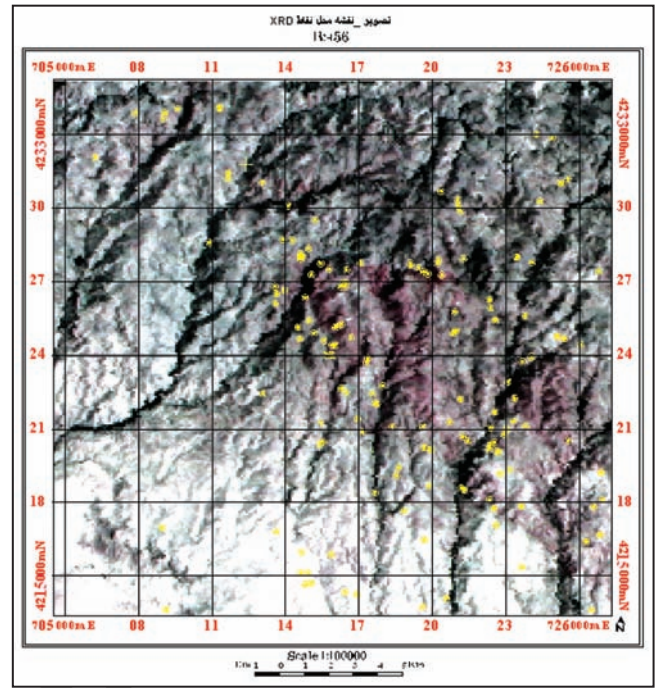
شکل ۴- فلوجارت پردازش داده‌های ASTER.



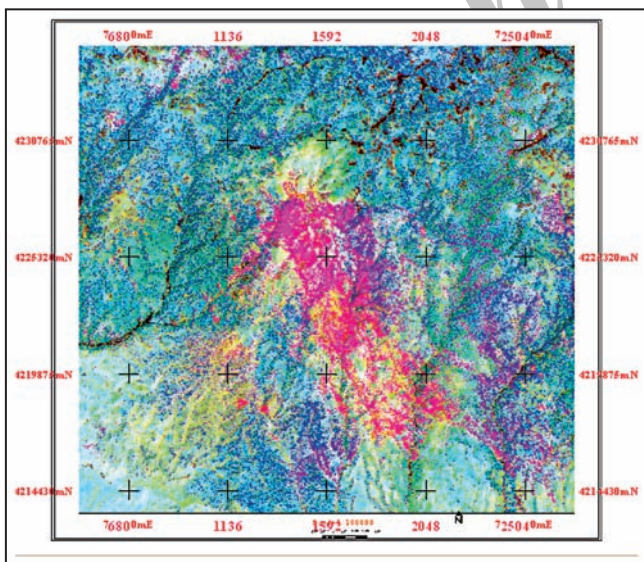
شکل ۳- ویژگی‌های طیفی سنجنده ASTER (Yetkin, 2003).



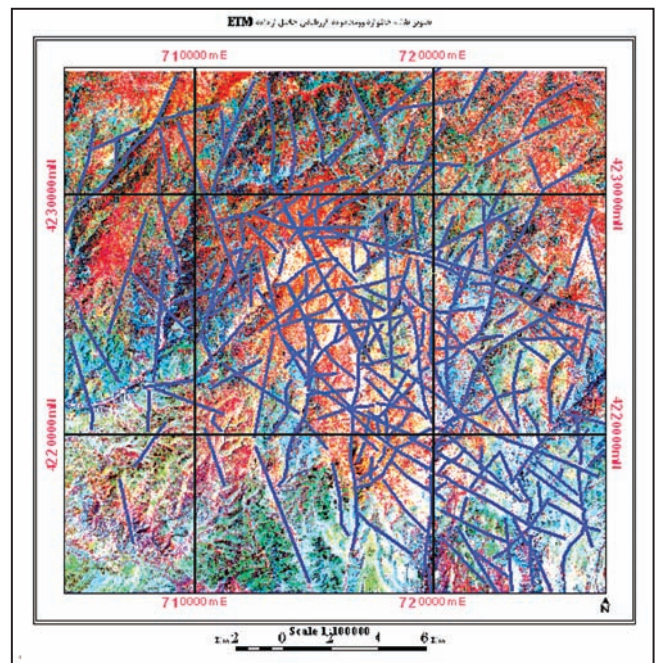
شکل ۶- مناطق دگرسانی سیلیسی به رنگ سرخ در تصویر حاصل از باندهای حرارتی ۱۴، ۱۰ و ۱۲ و نقاط زرد محل نمونه برداری.



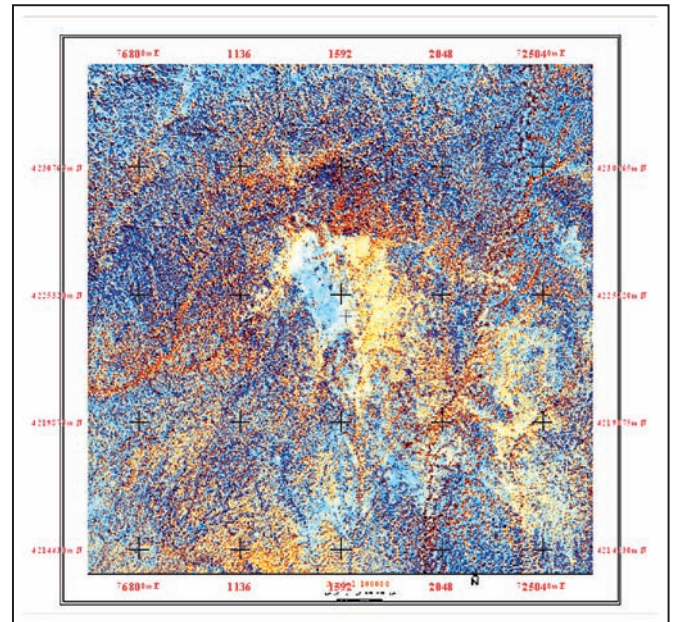
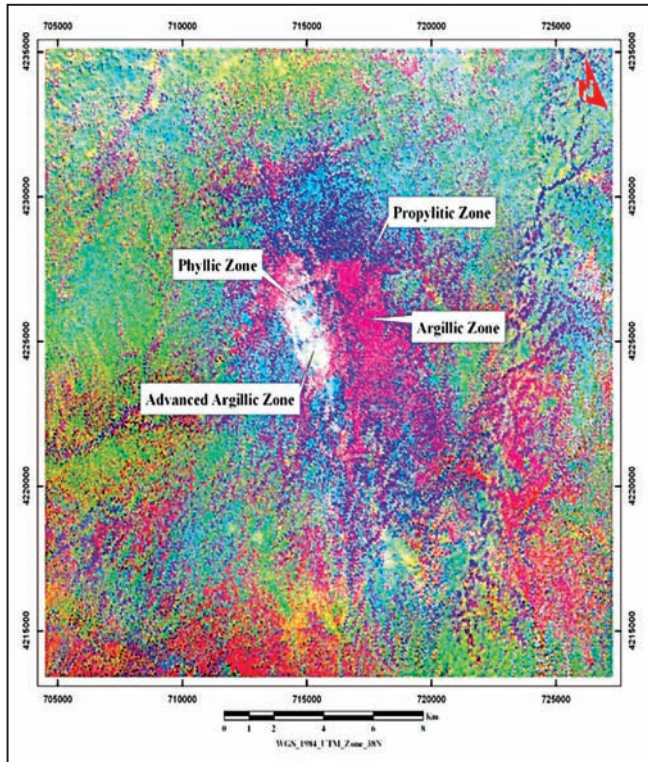
شکل ۵- مناطق دگرسانی آرژیلیک به رنگ صورتی در تصویر حاصل از باندهای SWIR، ۴، ۵ و ۶ نقاط محل نمونه برداری.



شکل ۸- ترکیب رنگی بسط عدم همبستگی باندهای ۴۶۸ برای نمایش مناطق دگرسانی به رنگ صورتی.

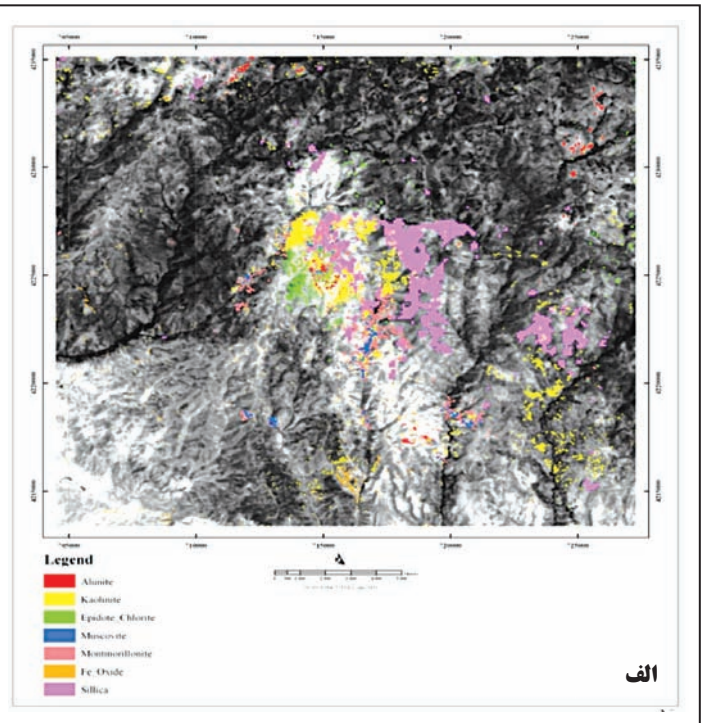
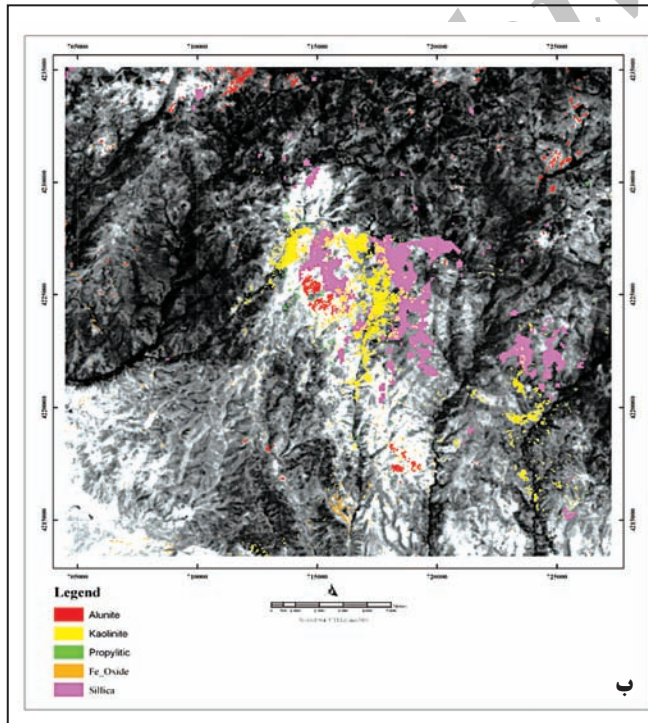


شکل ۷- نقشه خطوطاره‌ها در محدوده اوغلان سر استخراج شده از داده‌های ETM با استفاده از فیلتر گوسین.



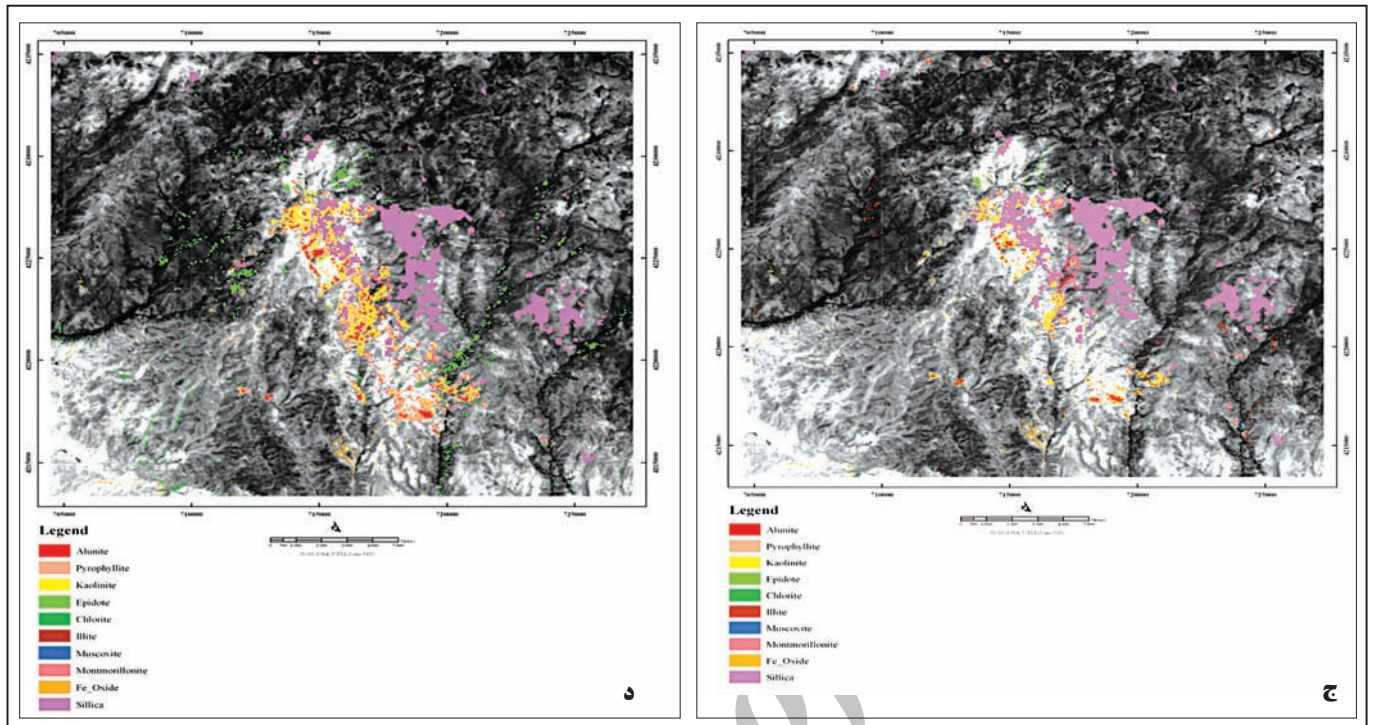
شکل ۱۰- ترکیب رنگی مجازی حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی با داده ASTER  
(RGB: PC3-t1, PC4-t1, PC4-t2).

شکل ۹- ترکیب رنگی نسبت باندی 5/6, 7/6, 7/5 RGB سنجنده ASTER به رنگ زرد.

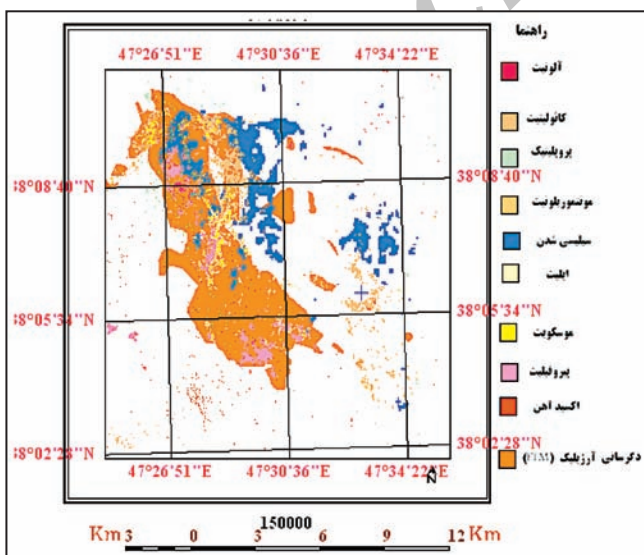


شکل ۱۱- الف) نقشه نگاشت کانی‌های استخراج‌شده از تصویر ASTER با استفاده از روش PCA؛ ب) نقشه نگاشت کانی‌های استخراج‌شده از تصویر ASTER با استفاده از روش LS-FIT؛

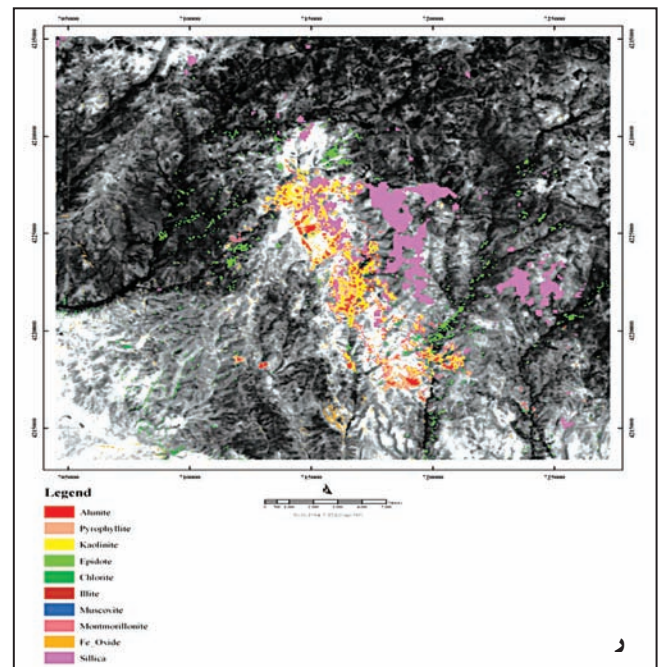




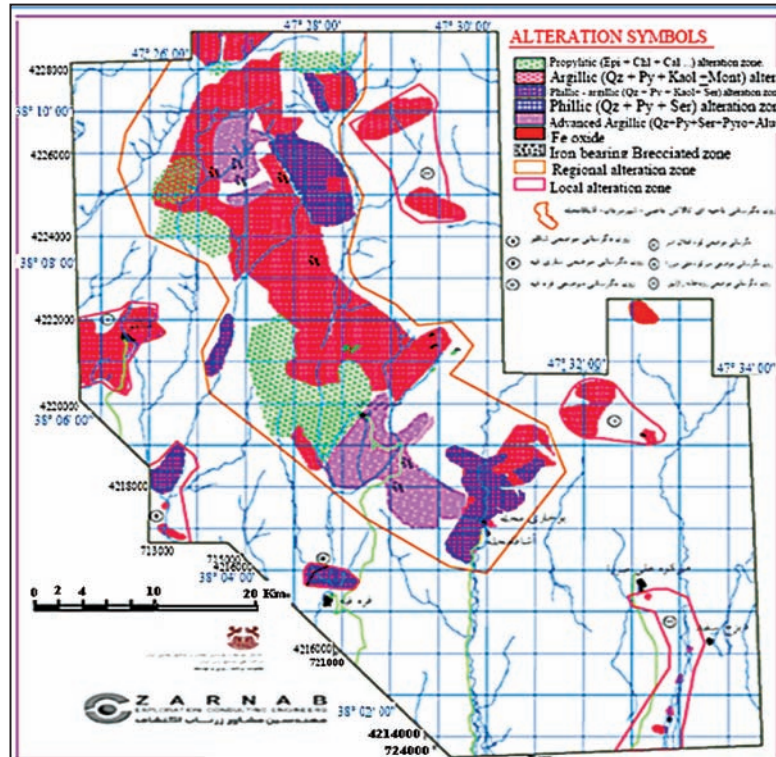
شکل ۱۱- ج) نقشه نگاشت کانی‌های استخراج‌شده از تصویر ASTER با استفاده از روش MF؛ د) نقشه نگاشت کانی‌های استخراج‌شده از تصویر ASTER با استفاده از روش SAM؛



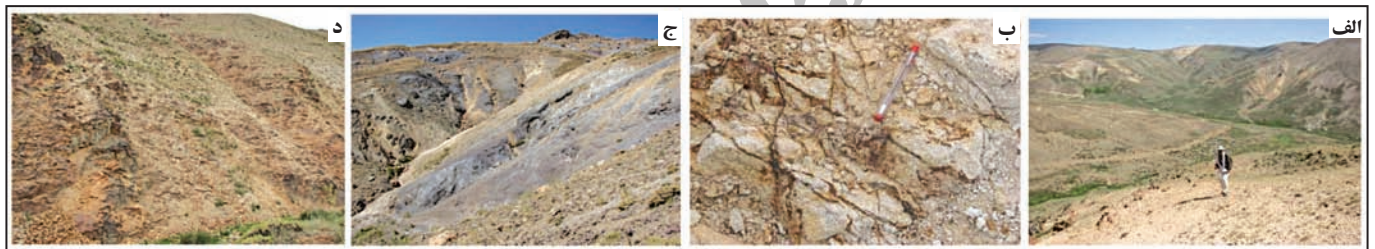
شکل ۱۲- نقشه تلفیق‌شده پایانی نگاشت کانی‌های حاصل از روش‌های مختلف تحلیل طیفی از پردازش داده‌های ETM, ASTER برای مشخص کردن پهنه‌های دگرسانی.



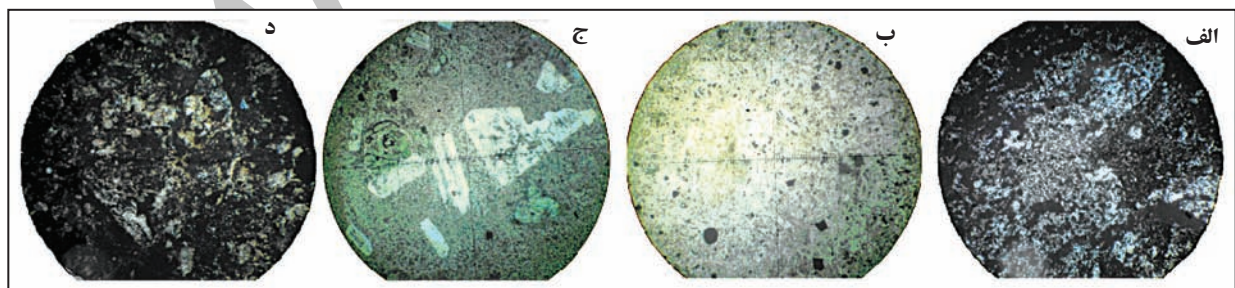
شکل ۱۱- ر) نقشه نگاشت کانی‌های استخراج‌شده از تصویر ASTER با استفاده از روش SFF.



شکل ۱۳- نقشه دگرسانی ۱:۲۵۰۰۰ از منطقه اوغلان‌سر (مهندسین مشاور زرناب اکتشاف، ۱۳۸۵)



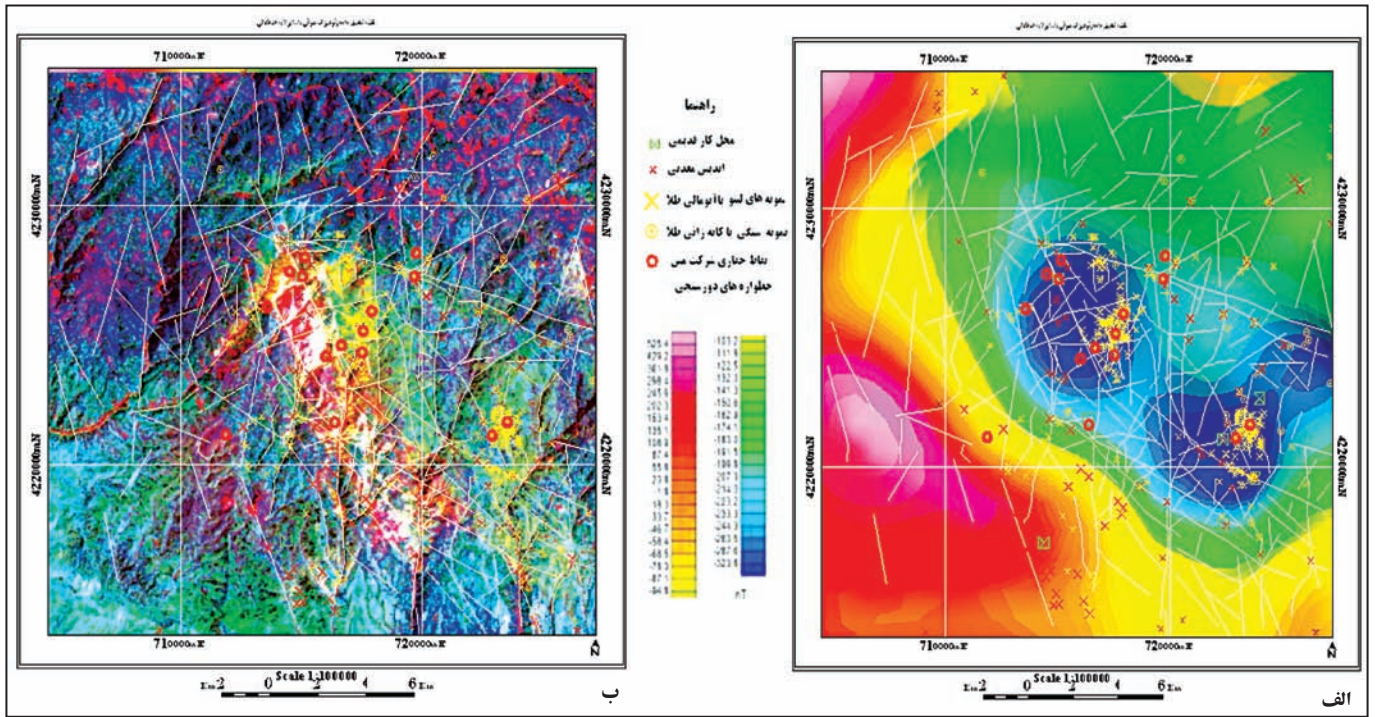
شکل ۱۴- الف) دگرسانی شدید آرژیلیک در منطقه به همراه دگرسانی فیلیک؛ ب) کانی‌زایی پیریت (اکسیدشده) به صورت افشان و استوک‌ورک؛ ج) دگرسانی فیلیک در منطقه به همراه اکسید آهن حاصل از فرایندهای برون‌زاد؛ د) دگرسانی پروپلیتیک به همراه دگرسانی آرژیلیک در حاشیه دگرسانی اصلی.



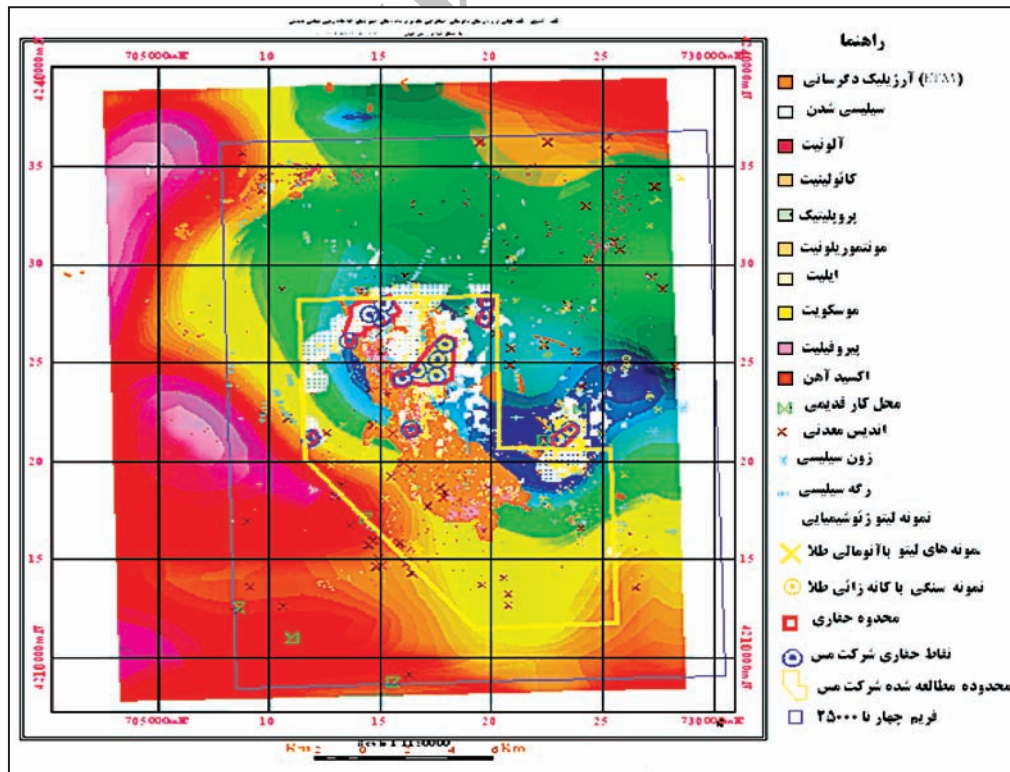
شکل ۱۵- الف) مقطع نازک کانی‌های کوآرتز و سریسیت (XPL 60X؛ ب) مقطع نازک کانی‌های مافیک دگرسان‌شده و پلاژیوکلاز در حال آرژیلیتی و سریسیتی شدن (PPL 60X؛ ج) مقطع نازک فلدسپارهای در حال آرژیلیتی و سریسیتی شدن (PPL 60X؛ د) مقطع نازک از کربیتی و کربناتی شدن (XPL 60X).



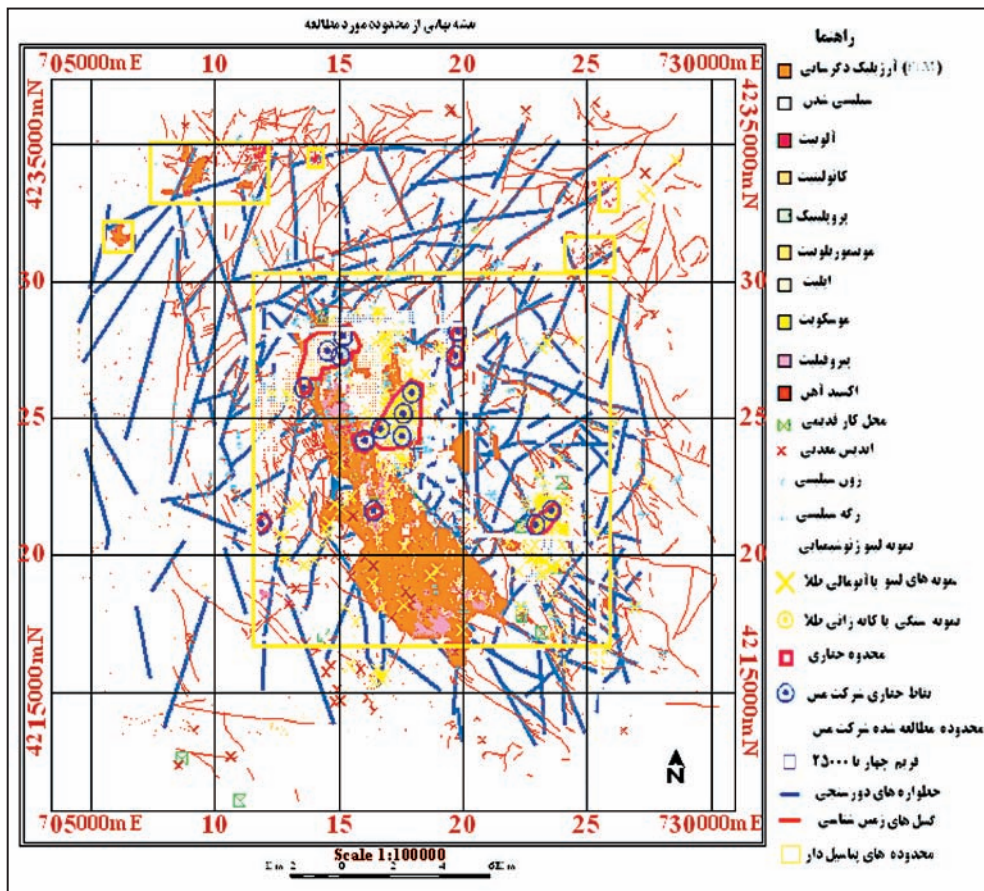
شکل ۱۶- الف) نمایی از پچ‌ها و پهنه‌های سیلیسی به همراه اکسید آهن؛ ب) نمایی از واحدهای سیلیسی شده به همراه دگرسانی اکسید آهن در منطقه برون‌زاد.



شکل ۱۷- مقایسه نقشه حاصل از داده های ماهواره ای تصویر (الف) به همراه محل نقاط کانی زایی طلا (رنگ زرد، خطواره ها (رنگ سفید) و مناطق حفاری شرکت ملی مس (دوایر سرخ) (ب) با داده های مغناطیس هوایی.



شکل ۱۸- تصویر داده ژئوفیزیک با انواع دگرسانی و ساختارهای خطی حاصل از پردازش داده های ماهواره ای ASTER به همراه دیگر اطلاعات معدنی در محدوده مورد مطالعه.



شکل ۱۹- نقشه پایانی انواع دگرسانی و ساختارهای خطی حاصل از پردازش داده‌های ماهواره‌ای ASTER و دیگر اطلاعات معدنی.

جدول ۱- مقادیر ویژه مؤلفه‌های اصلی باندهای ۴ و ۵ و ۶ و ۷.

Band 7	Band 6	Band 5	Band 4	Eigenvector
0.184275	0.187717	0.199041	0.944027	PC 1
-0.51205	-0.58404	-0.53691	0.329291	PC 2
0.76411	-0.64391	-0.03652	-0.01342	PC 3
0.346392	0.457204	-0.81901	0.014152	PC 4

جدول ۲- مقادیر ویژه مؤلفه‌های اصلی باندهای ۶ و ۷ و ۸ و ۹.

Band 9	Band 8	Band 7	Band 6	Eigenvector
0.216831	0.419053	0.615165	0.631625	PC 1
-0.07283	-0.29272	-0.56412	0.768624	PC 2
0.665258	0.543064	-0.50269	-0.09909	PC 3
0.710712	-0.66618	0.225049	-0.02119	PC 4

جدول ۳- نتایج تجزیه XRD برای کانی شناسی.

S. No.	XRD RESULTS	S. No.	XRD RESULTS
S-۹۷۷	ILLITE + KAOLINITE	S-۶۵۷	DOLOMITE+QUARTZ+CALCITE+CLAYMINERAL
S-۹۶۶	ILLITE + CHLORITE.	S-۷۳۰	QUARTZ+ILLITE+FELDSPAR(minor).
S-۱۰۰۷	ILLITE + KAOLINITE.	S-۷۴۴	QUARTZ+ FELDSPAR+MICA+CHLORITE.
S-۱۰۲۰	ILLITE..	S-۷۴۵	QUARTZ+ CLAYMINERALS.
S-۱۰۲۹	ILLITE + KAOLINITE.MICA	S-۷۴۶	QUARTZ+ALUNITE.
S-۱۰۳۳	ILLITE + KAOLINITE.	S-۷۵۳	QUARTZ+ MICA.
S-۱۰۳۷	QUARTZ.+Mica	S-۷۸۴	QUARTZ+KAOLINITE+ GOETHITE+HEMATITE.
S-۱۰۴۲	QUARTZ + CALCITE + CLY MINERAL (minor).	S-۷۸۹	QUARTZ+ALUNITE+FELDSPAR(minor).
S-۱۰۴۳	QUARTZ.	S-۸۰۷	QUARTZ+GOETHITE.
S-۱۰۴۶	QUARTZ + CALCITE + CLAY MINERAL (minor).	S-۸۲۵	QUARTZ+KAOLINITE.
S-۱۱۱	QUARTZ+CALCITE+HEMATITE+CLAY MINERAL	S-۸۴۰	QUARTZ +ILLITE(minor)+KAOLINITE(minor).
S-۱۰۱	QUARTZ+CLAY MINERAL	S-۸۷۵	QUARTZ+ILLITE+FELDSPAR.
S-۱۰۰	QUARTZ+CLAY MINERAL	S-۸۷۳	QUARTZ+MICA+FELDSPAR(minor).
S-۵۲۰	QUARTZ+FELDSPAR+CLAY MINERAL+PYRITE	S-۹۹۴	QUARTZ+KAOLINITE.
S-۴۹۸	QUARTZ+FELDSPAR+CLAY MINERAL	S-۱۰۰۵	QUARTZ+KAOLINITE+ ALUNITE

جدول ۴- مقایسه نتایج تجزیه طیفی تصاویر ASTER با نتایج حاصل از XRD در منطقه دگرسانی.

Sample No	SD_1005	SD_976	SD_969	SD_987
ASTER results	Kao, Mont, Ili, Ser	Mon, Ili, Ser, Jar, SI	ser, SI Kao, Mont	Kao, Mont, Ili, Jar SI
XRD results	Q +Alu. (Cly (Kao,	Q,Cly Mon +Ili	(Q, FLD,Cly (Kao +Ili	Q,Cly (Kao) , Alu
Sample No	SD_753	SD_991	SD_973	SD_995
ASTER results	Kao, Mont, Alu, Jar	Kao, Alu, OX Fe, SI	SI ,Kao, Mont, Alu	SI, Kao, Mont, OX Fe
XRD results	Q,(Kao + Ili), Alu	(Q,Got, Cly (Kao	Q,Kao, Mica, Jar	Q, Ox Fe Kao
Sample No	SD_1038	SD_784	SD_611	SD_978
ASTER results	Kao, Q, Mont, Alu	Kao, Q, Ox F, Ser	Kao, Q, Mont ,SI	SI, Mont, Ili
XRD results	Q,Kao, Alu	Q, HEMA ,KAO	Q+CA+HEM+CLY	Q,ILLI,FELD

جدول ۵- نتایج تجزیه طلا به روش جذب اتمی نمونه‌های برداشت شده از منطقه.

ردیف	شماره نمونه	Au(ppb)	ردیف	شماره نمونه	Au(ppb)
1	S_347	3800	18	S_464	450
2	S_352	3100	19	S_105	400
3	S_444	3100	20	S_361	400
4	S_330	1800	21	S_186	340
5	S_682	1200	22	S_283	310
6	S_701	1100	23	S_109	300
7	S_114	1000	24	S_325	300
8	S_345	700	25	S_477	280
9	S_365	620	26	S_601	253
10	S_372	610	26	S_395	220
12	S_136	600	27	S_126	200
13	S_141	560	28	S_293	200
14	S_331	530	29	S_599	188
15	S_124	500	30	S_267	180
16	S_447	500	31	S_137	170
17	S_700	458	32	S_329	140

### کتابنگاری

- اطلس راه‌های ایران، ۱۳۸۶- مؤسسه جغرافیایی و کارتوگرافی و گیتاشناسی.
- بهارفیروزی، خ. و رفاهی، د.، ۱۳۹۰- گزارش و نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ اوغلانسر، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- جاهدی، ف. و فرخی، ش.، ۱۳۸۳- ترجمه کتاب مبانی سنجش از دور، انجمن سنجش از دور ژاپن، انتشارات مرکز سنجش از دور ایران.
- گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی نیمه تفصیلی (لیتوژئوشیمیایی ۱:۵۰۰۰) منطقه شاللو، ۱۳۸۵- شرکت ملی صنایع مس ایران، مهندسین مشاور کاوشگران.
- گزارش و نقشه زمین‌شناسی و آلتراسیون محدوده ۱۲۵۰۰۰ شاللو، ۱۳۸۵- شرکت ملی صنایع مس ایران، مهندسین مشاور زرناپ اکتشاف.

### References

- Crosta, A. & Moore, J., 1989- Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minais Gerais State, Brazil: a prospecting case history in Greenstone belt terrain. In: Proceedings of the 7th ERIM Thematic Conference: Remote sensing for exploration geology, pp. 1173-1187.
- Loughlin, W. P., 1991- Principal Component Analysis for Alteration Mapping, Photogram metric Engineering & Remote Sensing, 27, No.9, 1163 -1169.
- Yetkin, E., 2003- Alteration mapping by remote Sensing: Application to Hasandag– Melendiz -Volcanic Complex.

Archive of SID

## Alteration Zones Studies North of Sarab by Sateillite Data, Airborne Geophiysic Data & Sampling Analysis

D. Refahi <sup>1\*</sup>, A. Khakzad <sup>2</sup>, N. Nezafati <sup>3</sup>, K. Bahar Firozi <sup>4</sup> & A. Bayatani <sup>5</sup>

<sup>1</sup> M.Sc. Student, Department of Geology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran

<sup>3</sup> Associate Professor Department of Geology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

<sup>4</sup> Ph.D., Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

<sup>5</sup> M.Sc., Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

Received: 2012 April 02

Accepted: 2012 August 04

### Abstract

Development of advance tools in remote sensing and airborne geophysics during recent decades shows this industry importance. In this paper, aster sensor imagery (Advanced Space born Thermal – Radiometer) and airborne geophysics employed in order to zoning alteration area, mineralization system analysis and prospecting in 1:25000 Oghlansar sheet, which is situated in north of Sarab City in East Azerbaijan province. The area is located in structural zone of the Eastern Alborz-Azerbaijan. The lithology of area contains Eocene-Neogene magmatic-volcanic complex such as andesite, rhyodacite, rhyolite, and granodiorite associated with pyroclastics such as tuffs, volcanic breccia and lava flows. In this investigation, we applied different methods of spectral analysis and normal classification such as SAM (Spectral Angel mapping), MF (Match Filtering) using ASTER images. Furthermore, spectral analysis methods on airborne geophysics data were engaged in order to extract shallow bodies and recognition of faults. ASTER imagery process and airborne geophysics data led to primary potential mineral map of the area. For credibility of results, 200 samples were taken and analyzed by XRD, XRF and ICP methods. Consequently, 190 samples (95%) confirmed the results of remote sensing and airborne geophysics processes. Conclusions of this research revealed that applying concurrency both the remote sensing and airborne geophysics data could be led to improve the precision of the results.

**Keywords:** Alteration, Aster, Spectral Analysis, Airborne Geophysics, Oghlansar

For Persian Version see pages 221 to 234

\*Corresponding author: D. Refahi; E-mail: d.refah@gmail.com