



## پتانسیل یابی معدنی و تلفیق اطلاعات داده‌های ژئوفیزیکی مغناطیس‌سنجی هوابرد و داده‌های ماهواره‌ای سنجنده ابرطیفی EO-1، استر ASTER و لندست-۷<sup>+</sup> ETM<sup>+</sup> (ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ مشکین شهر)

سعید مجرد<sup>۱\*</sup>، علی نجاتی کلاته<sup>۲</sup>، حمید آقاجانی<sup>۲</sup>

۱. کارشناسی ارشد، گروه مهندسی نفت و ژئوفیزیک، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود
۲. دانشیار گروه مهندسی نفت و ژئوفیزیک، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۲۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۵/۰۶

### چکیده

پیدایش و گسترش ابزارهای پیشرفته سنجش از دور و ژئوفیزیک در زمینه اکتشاف منابع معدنی در دهه‌های اخیر، نشان‌دهنده اهمیت این صنعت است. در این پژوهش، از سنجنده‌های ETM<sup>+</sup>، ASTER، داده‌های هایپریون EO-1 و داده‌های مغناطیس‌سنجی هوابرد به صورت همزمان به منظور پتانسیل‌یابی منابع معدنی، پهنه‌بندی نواحی دگرسانی و شناسایی بخش‌های پنهان کانی‌زایی معدنی از شمال شرقی مشکین شهر تا نواحی شمال غربی شهرستان سراب استفاده شده است. با استفاده از داده‌های مغناطیسی هوابرد، نقشه برگردان به قطب شده، نقشه مشتق قائم، نقشه زاویه کجی، نقشه گرادیان افقی کل، نقشه سیگنال تحلیلی و نقشه ادامه فراسو تا ارتفاع ۱۰۰۰ متری از سطح زمین برای منطقه مورد مطالعه تهیه شده است. همچنین با استفاده از داده‌های دورسنجی روش‌های نقشه‌برداری زاویه طیفی، آنالیز مولفه اصلی به ترتیب به عنوان روش‌های طیف مینا و آمار پایه و روش فیلتر تطبیقی ترکیبی تعدیل شده برای منطقه مورد مطالعه تهیه و مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به شواهد زمین‌شناسی و نتایج حاصل از این پژوهش، اعم از چشمه‌های آب‌گرم، گسل‌های فعال و فراوان و گنبد‌های ولکانیکی، دگرسانی‌ها و مناطق مستعد که دارای پتانسیل بالایی از منابع معدنی هستند، شناسایی و ارزیابی شدند. دگرسانی‌های سیلیسی و کائولینیتی در شمال مشکین شهر، در نیمه شمال غربی سبلان (دره موئیل) و در شمال غربی سراب از مهم‌ترین آنومالی‌های معدنی در این منطقه محسوب می‌شوند که با معادن فعال سیلیس، کائولن، سرب و مس در منطقه مورد مطالعه انطباق کامل دارند در نهایت از تمامی محدوده‌های پتانسیل‌یابی در منطقه مورد مطالعه، نمونه و آنالیز XRD تهیه شد که نتایج روش‌ها با یکدیگر همخوانی و مطابقت کاملی دارند. به همین دلیل استفاده از روش‌های یادشده برای دسترسی به نتایج مناسب‌تر، برای انطباق نتایج داده‌ها با هم ضروری به نظر می‌رسد.

**کلیدواژه‌ها:** ابرطیفی، استر، نقشه‌برداری زاویه طیفی، دگرسانی، مغناطیس‌سنجی، زاویه کجی

\*نویسنده عهده‌دار مکاتبات: کارشناسی ارشد، گروه مهندسی نفت و ژئوفیزیک، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

Email: mojaradsaeed21@gmail.com

## ۱- مقدمه

به‌طور کلی، روش‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای را می‌توان به دو گروه آمار پایه و طیف مبنا تقسیم کرد. در روش‌های آمار پایه، اصول پردازش بر پایه نحوه پراکندگی هیستوگرام مقادیر پیکسلی هر باند اطراف میانگین، مود و میانه داده‌ها تعریف شده است. در حالی که در روش‌های طیف مبنا، از ابتدای پردازش می‌بایست، الگوی طیفی مرجعی مشخص در دست باشد، هر چند در تفسیر داده‌های حاصل نیز همانند روش‌های آمار پایه باز هم اطلاعات طیفی نیاز است. اما بنای روش پردازش، تنها بر پایه اصول آماری باندهای تصویر است. در روش‌های طیف مبنا از ابتدای پردازش می‌بایست الگوی طیفی مرجعی، مشخص باشد. داده‌های ابرطیفی، در برگزیده مجموعه اطلاعاتی غنی از بازتاب‌های الکترومغناطیس سطح زمین هستند. اجسام مختلف در محدوده طول موج‌های طیف الکترومغناطیسی، بسته به ویژگی‌های فیزیکی و ترکیبات کانی‌شناسی و شیمی خود، امواج الکترومغناطیس را در طول موج‌های مختلف با شدت‌های متفاوتی منعکس و یا جذب می‌کنند. داشتن اطلاعاتی از رفتار طیفی اجسام در طول موج‌های گوناگون، بر اساس منحنی‌های شاخص بازتابندگی و جذب طیف، در سنجش از دور از اهمیت زیادی برخوردار است (گوپتا، ۲۰۰۳).

سنجنده‌های ابرطیفی، با تصویربرداری در طیف‌های طول موجی ظریف، امکان طیف‌نگاری دقیق سطح زمین را فراهم می‌کنند. سنجنده‌های پیریون، یکی از سنجنده‌های ابرطیفی پیشرفته است که روی سکوی ماهواره EO-1 قرار دارد. تصاویرهای پیریون، در ۲۴۲ باند و در طول موج‌های میان ۳۵۶ تا ۲۵۷۷ نانومتر برداشت می‌شوند. از مجموع ۲۴۲ باند تصویربرداری شده توسط سنجنده، تنها ۱۹۸ باند، کالیبره شده و قابل استفاده برای عملیات پردازشی است. قدرت تفکیک مکانی سنجنده‌های پیریون، ۳۰ متر است. مغناطیس‌سنجی، متداول‌ترین روش ژئوفیزیکی برای نقشه‌برداری

زمین‌شناسی، اکتشاف مواد معدنی و نفت است (پترسون و ریوس، ۱۹۸۵).

پی‌جویی‌های هوایی گرادیان گرانی به همراه مغناطیس به‌طور موفقیت‌آمیزی در سال‌های اخیر، برای اکتشاف هماتیت و مگنتیت در قسمت‌های مختلف جهان از جمله شمال کانادا، غرب آفریقا و آمریکای جنوبی انجام گرفته است (ماتاگوریا و همکاران، ۲۰۱۱). در منطقه جزیره بافین (Baffin Island) در کشور کانادا نیز مطالعات نقشه‌های پالئومغناطیس و رادیومتری منجر به کشف ذخایر پنهان روی از نوع MVT شده است (سیمونز و همکاران، ۲۰۰۰). بیشتر یافته‌های جدید اکتشافی ژئوفیزیک، نقش مؤثری در اکتشاف و نمایش ذخایر پنهان در عمق دارد (بیشاپ، ۱۹۹۲). با استفاده از خواص مختلف ذخایر سولفیدی نیز در منطقه شرقی کشور فنلاند با استفاده از مغناطیس‌سنجی هوابرد و اشعه گاما، جایگاه ذخایر شناخته‌شده در ابتدا مشخص شده و سپس بر اساس همین خواص جایگاه ذخایر کشف نشده یا پنهان تعیین شد (آئرو و لئوکوال، ۲۰۰۰).

دستیابی به این گنجینه اطلاعاتی، منوط به اعمال پردازشی مناسب بر روی داده‌های خام ماهواره‌ای و پردازشی است. داده‌های ژئوفیزیک هوابرد در مقیاس ناحیه‌ای، برداشت می‌شود و اغلب به‌عنوان ابزاری برای شناسایی تغییرات جانبی لیتولوژی و مناطق با پتانسیل بالای کانی‌سازی استفاده می‌شود (دیکسون، ۱۹۹۷). با به‌کارگیری و تفسیر داده‌های ژئوفیزیک به همراه اطلاعات زمین‌شناسی، کانی‌سازی، دگرسانی و ژئوشیمی می‌توان نقاط مناسب برای حفاری را پیشنهاد کرد و سپس با تلفیق این اطلاعات، عمق، شکل و اندازه ذخیره کانسار را ارزیابی و تخمین زد.

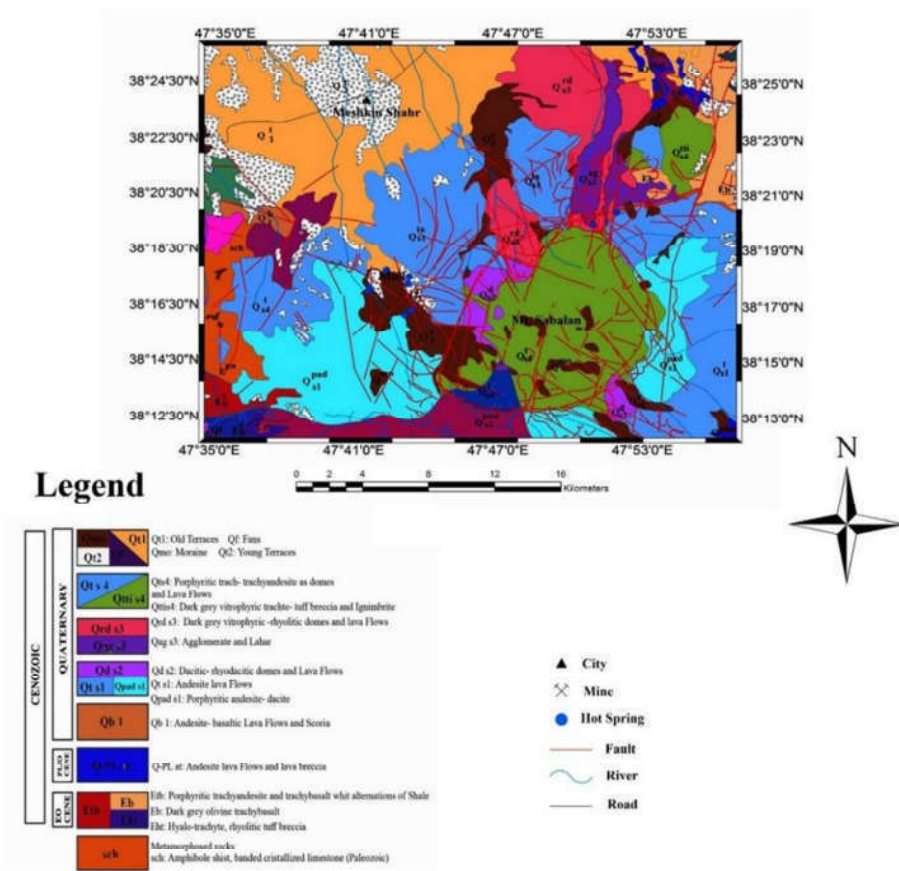
در این پژوهش، با استفاده از نسخه ۴.۷ نرم افزار ENVI، بر روی داده‌های سنجنده ASTER، EO-1 و ETM<sup>+</sup> پردازش، تفسیر بصری و تحلیل‌های طیفی در روش دورسنجی انجام شده است. پهنه‌های دگرسانی که در ارتباط با کانی‌زایی در منطقه مورد مطالعه بودند،

ناحیه کوه سبلان به لحاظ استراتیگرافی وضعیت پیچیده‌ای داشته، دارای توالی سنگی متفاوتی است، با الگوهای ساختاری متفاوت که در اطراف آتشفشان کوه سبلان رخنمون یافته و به لحاظ استراتیگرافی سری‌های ولکانیکی کوه سبلان را پوشانده است (Amidi, 1978; TBCE, 1979; ENEL, 1983; Manouchehri, 1989; Nejad, 1987; Emami, 1994) رسوبات پرکامبرین در شمال شرقی کوه سبلان رخنمون دارند. این تشکیلات، به‌طور ناپیوسته‌ای توسط رسوبات پالئوزوئیک و مزوزوئیک که خود دارای ناپیوستگی هستند، پوشانده شده است. رسوبات مزوزوئیک در غرب کوه سبلان دارای رخنمون هستند. تمامی این توالی رسوبی، حاوی واحدهای کربناتی است.

مشخص شده و در مرحله بعد تمامی نتایج امیدبخش حاصل از پردازش‌های دورسنجی را با اطلاعات پردازشی مغناطیس‌سنجی هوابرد در منطقه مورد مطالعه مطابقت داده و در نهایت مناطق مهم پتانسیل‌دار و امیدبخش معدنی شناسایی و تحلیل و تفسیر شده است.

## ۲- زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل مجموعه‌ای از ولکانیک‌های جوان است، نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. کوه سبلان در جنوب صفحه خزر واقع شده که این صفحه در شمال، به زیر صفحه اوراسیا فروزانده شده است.



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

LILES و LREEs شده، را منشأ آنها در نظر گرفته‌اند (احمدزاده و همکاران، ۱۳۸۹). در مشاهدات صحرایی بخش‌هایی از شمال منطقه مجموعه کانی‌های آرژیلیک دگرسانی شده است و نیز پهنه‌های سیلیسی با امتداد روند‌های خاص در گستره محدوده دیده می‌شوند. به نظر می‌رسد که حاصل فعالیت‌های گرمایی مربوط به آخرین فاز توده‌های نفوذی منطقه است. این پهنه‌ها و رگه‌های سیلیسی ارتباط تنگاتنگی با مناطق دگرسانی همچون آرژیلیکی شدن، سرسیتی شدن، سیلیسی شدن، فیلیک و دگرسانی پروپلیتیکی دارند.

بخش اعظم واحدهای سنگ‌چینه‌ای قبل از کواترنری، در گستره منطقه دارای منشأ آذرین هستند. این مجموعه سنگ‌های آذرین در مجموع، نشان‌دهنده بخشی از یک سیستم بزرگ آتشفشان چینه‌سان است که از لایه‌ها و افق‌های متعدد سنگ‌های آذرآواری، گدازه‌ای و یا سنگ‌های رسوبی آواری با منشأ مواد آتشفشانی است. اغلب واحدهای زمین‌شناسی در مرکز و شمال منطقه مورد مطالعه، شامل تناوبی از سنگ‌های توفی، برشی و لکانیکی، لیتیک توف نازک لایه، سنگ‌های گدازه‌ای آندزیتی، بازالت و دولریت با میان لایه‌های کمی از تراکی آندزیت‌های بازالتی مگاپورفیری هستند. در این بخش‌ها نمونه‌های دستی منطقه در مطالعات پتروگرافی، دارای بافت پورفیریتیک تدریجی با زمینه کریپتوکریستالین است که محتوی پورفیری‌های پلاژیوکلاز با ترکیب آندزین-لابرادوریت اغلب با ساخت زونه‌ای، گاه از بخش داخلی دارای ریز انکلوزین‌هایی از کانی‌های اپاک و نیز دگرسانی نسبی به کلریت (کریپتوکریستالین) و از حواشی به آلکالی فلدسپار، کلینوپیروکسن و کانی فرومنیزین (اولیوین) با دگرسانی کامل به کلریت (سرپانتین) است که در زمینه‌ای متشکل از فلدسپار و نیز بلورهای بی‌شکل (آلکالی فلدسپار)، اغلب ریزبلورهای کانی‌های اپاک، پیروکسن و کلریت و کریپتوکریستالین پراکنده هستند. در قسمت شمالی منطقه، واحدهای متناوبی از سنگ‌های توفی و برش و لکانیکی تراکی آندزیتی،

شرایط تکتونیک ناحیه‌ای در منطقه مورد مطالعه به گونه‌ای بوده که حرکات نسبی صفحات در ناحیه سبلان، تنش‌های فشاری به سمت شمال شرق هستند که دلیل این مهم، به فرورانده شدن صفحه خزر جنوبی و اثر فروراندگی صفحه اوراسیا (فروراندگی صفحه خزر به زیر صفحه اوراسیا) مربوط می‌شود. لذا ساختارهای با روند غرب-شمال غرب، می‌بایست ناشی از این فشارها باشند. ولی احتمالاً حرکات چرخشی که بر اثر فروراندگی در منطقه هستند دلیل آن حرکت رو به شمال صفحه عربی به زیر صفحه ایران است که احتمالاً عامل حرکت راست‌گرد امتداد لغز و ایجاد ساختارهای غربی-شمال غربی نیز باشد.

منطقه مورد مطالعه، در منتهی‌الیه جنوب خاوری کمربند ماگمایی سنوزوئیک اهر - ارسباران واقع شده که خود بخشی از پهنه ماگمایی البرز - آذربایجان معرفی شده است (جمالی، ۲۰۰۹). این پهنه ماگمایی در حاشیه جنوبی اوراسیا شکل گرفته است. به‌طور کلی، تولید انواع مختلف ماگما در الیگوسن در منطقه ارسباران در پاسخ به فرآیند شکسته شدن قطعه فرورونده و یا پوسته‌پوسته شدن گوشته و بالا آمدن نرم‌کره رخ داده است (آقازاده و همکاران، ۱۳۸۹). به‌طور کلی منطقه مورد مطالعه به دلیل قرارگیری بین پهنه‌های بزرگ و مهم ساختاری البرز و تالش در سمت خاور، قفقاز در شمال و گسل بسیار مهم تبریز در جنوب باختر دارای شرایط ساختاری ویژه‌ای است.

از زمان میوسن در این منطقه، همانند مناطق دیگری از زون ارومیه دختر سنگ‌های ساب و لکانیک ریولیتی با ماهیت آداکیتی نفوذ کرده‌اند که نشان دهنده ولکانیسم مرتبط با شکست، شناوری و ذوب پوسته اقیانوسی پس از برخورد است (جهانگیری، ۲۰۰۷؛ عمرانی و همکاران، ۲۰۰۸؛ احمدزاده، ۲۰۱۰). ولکانیسم پلیو-کواترنری آذربایجان نیز از نوع پتاسیک و فوق پتاسیک پس از برخورد معرفی شده و گوشته متاسوماتیزم شده که در اثر اضافه شدن مواد فرار و عناصر ناسازگار عامل غنی شدن این ماگما از عناصر

شیشه هستند. به طور جزئی، تیتانیت و دانه‌های زیرکن نادر و مقادیر زیادی از دانه‌های آپاتیت است. پیروکلاستیک‌ها شامل توف‌های ریز دانه غنی از فلدسپات و قطعات کانی‌های مافیک هستند. تمامی کانی‌ها در حد حداقل متوسط، دگرسان شده‌اند، به گونه‌ای که تشخیص بافت اولیه و کانی‌ها خیلی مشکل است. ب) سازند تواس: این سازند شامل گدازه‌ها و گندهای ریولیتی، تراکی داسیت تا تراکی آندزیت همزمان با تشکیل کالدرای پلیستوسن است. این واحدهای سنگی، به‌عنوان حاشیه داخلی کالدرای نیز تفسیر می‌شوند. در بخش‌های شمالی اغلب، و در جنوب غرب گندهای ریولیتی و تراکی داسیتی قابل مشاهده می‌شوند. در نزدیکی موئیل، گنبد کوچک ترامی داسیتی دیده می‌شود. این گنبد که توسط رسوبات سازند دیزو، پوشیده شده است، توسط بخش دگرسان شده (توف‌های قبل کالدرای)، محصور می‌شود، لذا شاهد حرارتی ژئوترمالی، ناشی از تخلیه چشمه‌های امروزی دره موئیل همراه با توده‌های نفوذی جایگزین شده در منطقه در 900ka سال پیش بوده است. - این امر بیانگر این حقیقت است که نفوذ سنگ‌های آذرین داغ زیر سطحی، می‌بایست در شمال غرب ناحیه سبلان تا زمانهای اخیر ادامه داشته باشد و مطمئناً کمتر از 100ka سال پیش است.

پلاژیوکلاز و فنوکریستال‌های بیوتیت و هورنبلند بدون اوژیت و کمی تیتانیت، کانی‌هایی هستند که در این بخش‌ها شناسایی شده‌اند (همراه با تراکی آندزیت‌ها بخش شمالی منطقه). در داسیت‌ها و ریولیت‌های بخش جنوب غربی فنوکریستال‌های کوارتز متداول ترند. ج) سازند کسرا: این سازند شامل گدازه‌های آتشفشانی تراکی آندزیت بعد از تشکیل کالدرای پلیستوسن است. سنگ‌های مذکور، قلیل اصلی کوه سبلان، سلطان و کسرا را در جنوب و شرق تشکیل می‌دهند. سنگ‌های مذکور در جنوب شرق منطقه مورد مطالعه سبلان قرار گرفته‌اند و حاصل بازشدگی مجدد محور مرکزی کالدرای (شمال-جنوب) هستند. گدازه‌ها و خاکسترهای

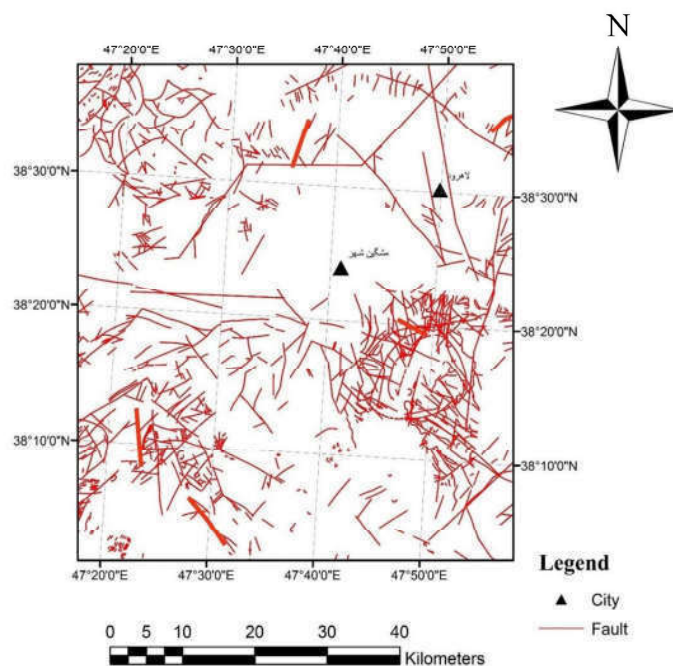
سنگ‌های گدازه‌ای با تورق موضعی از جنس لاتیت تا لاتیت آندزینت و تراکی آندزی بازالت و داسیتیک آندزیت هستند که تقریباً تمام رخنمون‌های این واحدها، دگرسانی آرژیلیکی و سرسیتی را با شدت متحمل شده است. بخش‌های آذراواری هم به صورت سنگ‌های توفی و توف ماسه‌ای نازک لایه هستند.

این سنگ‌ها یکی از رخساره‌های توف شیشه‌ای، لاپیلی توف با ترکیب در حد تراکی آندزیت، لیتیک کریستال توف، کریستال لیتیک توف شیشه‌ای با ترکیب داسیت-ریوداسیت هستند که دارای تناوب‌هایی از سیلیس، سرسیت، کلریت، اکسید و هیدروکسید آهن و گاهی ژاروسیت و در بخش‌هایی به صورت یکپارچه به سیلیس و هیدروکسید آهن دگرسان شده‌اند.

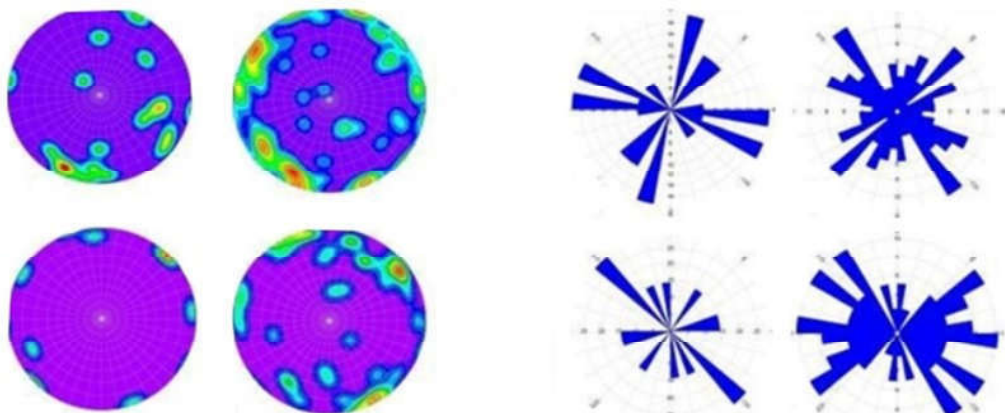
مخروط آتش‌فشانی سبلان، از نوع چینه‌ای است که گدازه‌های آن، سطحی معادل ۱۲۰۰ کیلومترمربع را شامل می‌شوند. با بررسی سه مقطع عرضی زمین‌شناسی از منطقه، در امتدادهای شرقی-غربی، شمال غرب-جنوب شرق و شمال شرق-جنوب غرب، چهار واحد اصلی چینه‌شناسی در منطقه شناسایی شده‌اند که به ترتیب سن، از جدید به قدیم عبارتند از: ۱) رسوبات عهد حاضر، فن و آلوویوم‌های کوارترنری ۲) گدازه‌ها و گندهای تراکی آندزیت بعد از تشکیل کالدرای پلیوسن ۳) گدازه‌ها و گندهای تراکی داسیت تا تراکی آندزیت هم‌زمان با تشکیل کالدرای پلیوسن ۴) گدازه‌های تراکی آندزیت، توف‌ها و پیروکلاستیک‌های قبل از تشکیل کالدرای پلیوسن (SKM, 2005). این واحدها بر اساس موقعیت مکانی با نام‌های دیگری نیز معرفی می‌شوند که عبارتند از: الف) سازند وال هزیر: این سازند متشکل از گدازه‌های تراکی آندزیت، توف‌ها و برش‌های پیروکلاستیک‌های قبل از تشکیل کالدرای پلیستوسن با ضخامت حداقل ۲۰۰۰ متر است. از لحاظ جنس، گدازه‌ها حاوی فنوکریستال‌های پلاژیوکلاز، سانیدین، هورنبلند، بیوتیت و اوژیت در زمینه‌ای غنی از پلاژیوکلاز، کانی‌های ریز مافیک و کانی‌های اوپیک (مگنتیت) و

با توجه به اینکه سیالات از طریق شکستگی‌ها و گسل‌ها به درون واحدهای سنگی نفوذ می‌کنند؛ از این رو در منابع زمین‌گرایی، مطالعات ساختاری نقش مهمی دارد (Ghalehnoee and Ghadimi, 2012). چشمه‌های آب‌گرم فراوانی با ترکیبات شیمیایی  $SO_4^{2-}$  و  $Cl-SO_4$  در دره موئیل یافت می‌شوند (SKM, 2003). در منطقه سبلان از نظر زمین‌شناسی ساختمانی، دو بخش عمده وجود دارد که عبارت‌اند از: مجموعه‌ای از گسل‌های خطی و چندین گسل حلقه‌ای. زون ساختمانی اصلی منطقه، دارای روند غربی - شمال غربی است (Fanaee Kheirabad and Oskoi, 2011). نقشه خطواره‌های منطقه مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است. شکل ۳، نمودار گل سرخی و استریوگرام چگالی قطب درزه‌های بلوک‌های مختلف در محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد (تعداد کل اندازه‌گیری‌ها ۱۳۵ عدد) و برخی از رخنون‌ها و دگرسانی‌ها در مشاهدات صحرایی در شکل‌های (۴، ۵ و ۶) نشان داده شده است.

آتشفشانی حاصل از این مرحله، بر روی سنگ‌های آتشفشان ابتدایی کالدرا جریان یافته، اما روی ارتفاعات و تشکیلات همزمان کالدرا را به طور محلی پوشانده‌اند. کانی‌های اصلی این سنگ‌ها شامل پلاژیوکلاز، فلدسپات پتاسیم، بیوتیت، هورنبلند و فنوکریستال‌های اوژیت در خمیره‌ای از شیشه است. (د) سازند دیزو: این سازند شامل رسوبات عهد حاضر و فن آلیوئال، خاکسترهای و خرده‌های گدازه‌ای کواترنری هستند. در بخش‌هایی از منطقه، این سازند شامل رسوباتی می‌شود که روی سنگ‌های آتشفشانی را به صورت قشر نازکی پوشانده است. خرده‌ها و رسوبات این سازند شامل بخش‌هایی از هر یک از سری سنگ‌های آتشفشانی ذکر شده قبلی می‌تواند باشد (واحدهای آتشفشانی قبل، همزمان و بعد از کالدرا). واحد سنگی مذکور در بالا دره موئیل و بخش کوچکی از دره‌ای می‌شوند که در جنوب دیزو قرار گرفته‌اند.



شکل ۲. نقشه خطواره‌های منطقه مورد مطالعه



شکل ۳. نمودار گل سرخی و استریوگرام چگالی قطب درزه‌های بلوک‌های مختلف در محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد (تعداد کل اندازه‌گیری‌ها ۱۳۵ عدد)



شکل ۴. الف. رخساره‌های آندزی بازالتی در واحدها ب. رخساره توف برشی در محدوده مورد مطالعه



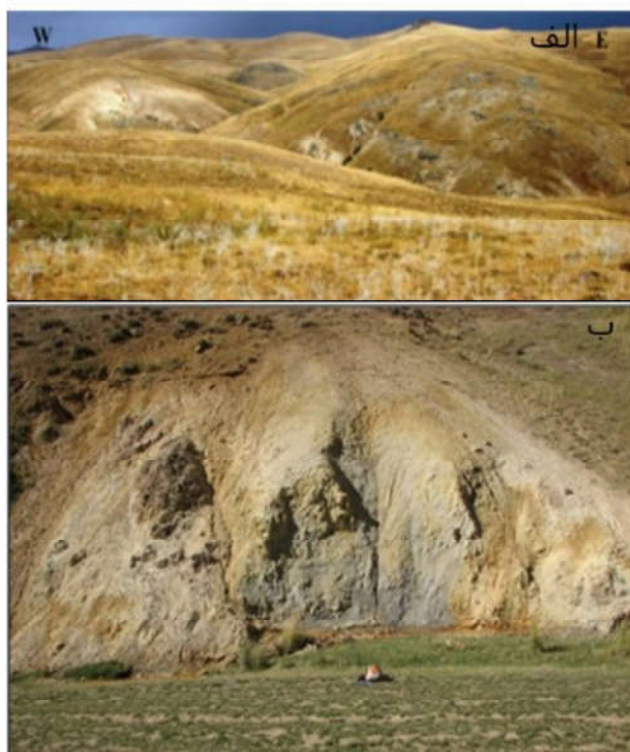
شکل ۵. تصاویری از رخساره‌های تراکی آندزیتی تا لاتیتی در واحدهای منطقه مورد مطالعه

### ۳- داده‌های مورد استفاده

#### ۱-۳- داده‌های مغناطیس‌سنجی هواپرد

داده‌های مغناطیس‌سنجی هواپرد، توسط شرکت ایرو سرویس تگزاس بین سال‌های ۱۹۷۴ و ۱۹۷۷ میلادی، برای سازمان زمین‌شناسی برداشت شده است. خطوط برداشت شده داده‌های مغناطیس‌سنجی هواپرد با فاصله

خطوط پرواز از یکدیگر  $7/5$  کیلومتر و فاصله خطوط کنترلی  $40$  کیلومتر است. هواپیمای به‌کارگرفته شده، یک هدایت‌گر هوایی دوموتوره است که یک مغناطیس‌سنج بخار سزیم با حساسیت ثابت  $0/02$  گاما را حمل می‌کرده است (گزارش زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور). خروجی داده‌های مغناطیسی



شکل ۶. الف. پهنه‌های دگرسانی متشکل از کانی‌های سریسیت، اکسید و هیدروکسید آهن و سیلیس در شمال محدوده مورد مطالعه (دید به سمت شمال). ب. نمایی دیگر از گسترش و توسعه دگرسانی‌های آرژیلیکی در محدوده مورد مطالعه

با منظور نمودن مقادیر  $56/6$  درجه برای میل مغناطیسی و  $4/3$  درجه برای انحراف مغناطیسی و با استفاده از فیلتر برگردان به قطب‌شده نرم‌افزار، داده‌های مغناطیس مورد مطالعه به شرایط میدان مغناطیسی زمین در قطب شمال تبدیل شدند و سپس نقشه برگردان به قطب میدان مغناطیسی منطقه تهیه گردید.

### ۳-۲- داده‌های هایپریون EO-1

ماهواره EO-1 در تاریخ ۲۱ نوامبر سال ۲۰۰۰ میلادی به‌وسیله ناسا و به‌منظور مقایسه با داده‌های ماهواره لندست-۷ به صورت آزمایشی در مدار قرار داده شد. بر روی این ماهواره سه سنجنده شامل اولین سنجنده‌ی ابرطیفی فضایی به نام هایپریون، سنجنده چندطیفی

برای تفسیر معمولاً به شکل نقشه‌های کنتری و یا نیم‌رخ نشان داده می‌شوند، و از روش‌های فیلتر کردن می‌توان برای نمایش و جداسازی ناهنجاری‌ها استفاده کرد. در این بخش با استفاده از داده‌های مغناطیس‌هوایی منطقه مورد مطالعه و با استفاده از نرم‌افزارهای مربوط، انواع نقشه‌های مورد نیاز تهیه و سپس به کمک آنها محل توده‌های نفوذی موجود در منطقه و دگرسانی خاصیت مغناطیسی سنگ‌های آنها کم‌شده است و گسل‌های اصلی منطقه شناسایی شده و با نتایج حاصل از تفسیر با داده‌های سنجنش از دور مقایسه می‌شوند. برای پردازش و تفسیر کیفی داده‌های مغناطیس‌هوایی، از نرم‌افزار Oasis Montaj نسخه ۸ و نرم‌افزار ArcGIS، نسخه ۱۰.۳ استفاده شده است.



### ۳-۴- 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 می‌کند. بنابراین، در این پژوهش از یک صحنه داده سنجنده ETM<sup>+</sup> که دارای شماره گذر و ردیف ۱۵۹-۳۷ به تاریخ ۲۰۰۷ استفاده شده است.

### ۴-۱- پردازش و تفسیر داده‌ها

#### ۴-۱-۱- پردازش مغناطیسی سنجی هوابرد

#### ۴-۱-۱-۱- فیلتر برگردان به قطب

در تفسیر داده‌های مغناطیسی، اولین گام حذف اثر دوقطبی میدان مغناطیسی است. برای این منظور از روش برگردان به قطب RTP استفاده می‌شود. با استفاده از این فیلتر، میدان مغناطیسی از یک عرض مغناطیسی که در آن بردار میدان زمین مایل و شیب‌دار است، به قطب مغناطیسی یعنی جایی که میدان القایی قائم است، منتقل می‌شود (Arkani-Hamed and Urquhart, 1990; Gunn et al., 1997).

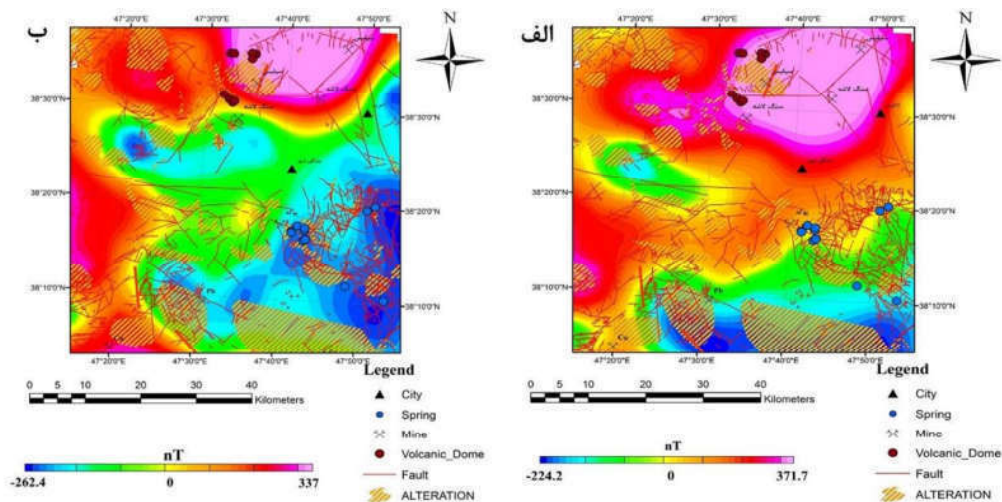
موقعیت گسل‌ها و شکستگی‌های ساختارهای زمین‌شناسی و تمرکزهای چشمه‌های آب‌گرم در محدوده مورد مطالعه، روی نقشه‌های مغناطیسی هوابرد منطقه نشان داده شده است. نقشه شدت کل میدان که در شکل ۳ الف نشان داده شده است، تجسم کلی از داده‌های مغناطیسی فراهم کرده و برای تفسیر کلی استفاده می‌شود (حیدریان شهری، ۱۳۸۴؛ اورگوهارت، ۲۰۰۷). تفسیر نهایی بر روی داده‌های برگردان شده به قطب صورت می‌گیرد (ناکاتسوکا و اوکوما، ۲۰۰۶). پس از اعمال این فیلتر، ناهنجاری‌ها در بالای منبع ایجادکننده خود قرار می‌گیرند (گان و همکاران، ۱۹۹۷). بعد از پردازش مغناطیسی هوابرد، نقشه برگردان به قطب RTP در منطقه تهیه شد. شکل ۷ ب نقشه برگردان به قطب مغناطیسی هوابرد را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

ALI و سنجنده AC قرار گرفته‌اند (سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده USGS).

ماهواره EO-1 با ۶۰ ثانیه اختلاف زمانی، نسبت به ماهواره لندست ۷ و در همان مدار به صورت خورشید آهنگ در فاصله ۷۵۰ کیلومتری از سطح زمین با زاویه میل مداری ۹۸/۲ درجه حرکت می‌کند. دوره مداری آن ۹۸/۹ دقیقه است که بیش از ۱۴ مدار را در طول یک روز پوشش می‌دهد. دوره گردش کامل این ماهواره، ۱۶ روز است و در حالت نزولی در ساعت ۰۱:۱۰ صبح از استوا عبور می‌کند. سنجنده هایپریون، اولین سنجنده ابرطیفی فضابرد است که بر روی سکوی ماهواره EO-1 قرار دارد. تصاویر هایپریون در ۲۴۲ باند ظریف در طول موج‌های مابین ۳۵۶ تا ۲۵۷۷ نانومتر و با توان تفکیک طیفی ۱۰ نانومتر برداشت می‌شوند.

### ۳-۳- داده‌های ASTER

سنجنده ASTER که در سال ۱۹۹۹ روی ماهواره ترا TERRA نصب شد، با داشتن قدرت تفکیک مکانی و طیفی به نسبت مناسب، تأثیرات چشمگیری بر مطالعات زمین‌شناسی و اکتشافی گذاشته است و با دارا بودن سنجنده‌های تخصصی که بر پایه نیازهای زمین‌شناسی و اکتشافی طراحی و ساخته شده است، با داشتن قدرت تفکیک طیفی مناسب در محدوده فرورسوخ 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 فرورسوخ حرارتی، تنها سنجنده Multi Thermal به شمار می‌آید؛ که تفکیک واحدهای سنگی و استخراج پهنه‌های دگرسانی با استفاده از آن امکان‌پذیر است. در این مطالعه از یک برگ داده استر که از نوع 1B\_Level و با شماره AST\_L1T\_00307142000080516\_201504100909 ID:HDR.0 و مربوط به تاریخ ۲۰۰۵ است، استفاده شد.



شکل ۷. الف) نقشه میدان مغناطیسی کل بعد از اعمال تصحیح IGRF (ب) نقشه برگردان به قطب مغناطیسی هواپرد در منطقه مورد مطالعه

بدین وسیله می‌توان رفتار این توده‌های مغناطیسی را در سطح، بهتر مورد بررسی قرار داد (Gunn et al., 1997). مشتق قائم در واقع یک فیلتر بالاگذر است. زیرا بسامدهای بالا را نسبت به بسامدهای پایین افزایش می‌دهد (Neawsuparp et al., 2005). نقشه فیلتر مشتق قائم مغناطیسی هواپرد در منطقه مورد مطالعه در شکل ۸ نشان داده شده است.

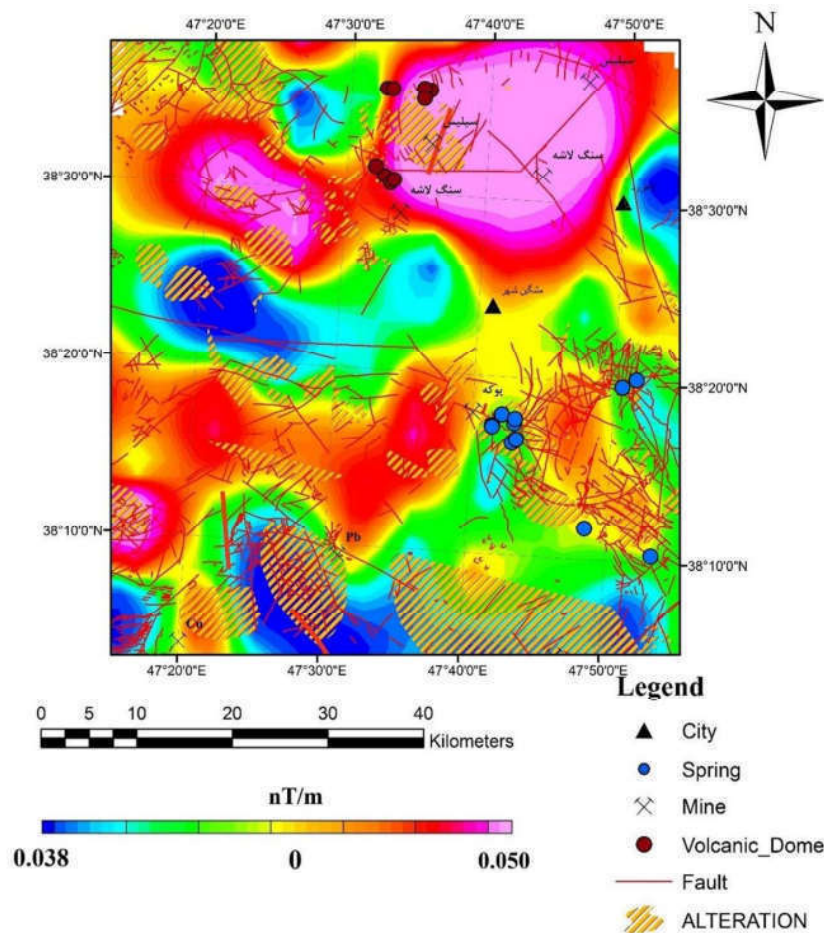
#### ۴-۱-۳- فیلتر زاویه کجی و گرادیان افقی کل

یکی از روش‌های تعیین روندهای ساختاری منطقه، استفاده از داده‌های مغناطیس‌سنجی با روش‌های مختلف است که یکی از این روش‌ها، از ترکیب داده‌های مشتق اول افقی و قائم حاصل می‌شود و با عنوان Derivative Tilt از داده‌های مغناطیسی شناخته شده است. این تحلیل، بر اساس ترکیب گرادیان افقی THDR و تحلیل گر اوپلر انجام شده است؛ که روندهای ساختاری مانند گسل‌ها را بهتر آشکار می‌کند. بر اساس این تحلیل، مقادیر ماکزیمم گرادیان افقی، معرف لبه‌های آنومالی است و تحلیل گر اوپلر نیز عمق آنومالی‌ها را مشخص می‌کند (Saibi et al., 2008).

همانطور که در شکل ۳ الف و ب مشاهده می‌شود، منطقه موردی سبلان از کمترین مقدار خودپذیری مغناطیسی برخوردار است. در شکل ۳ ب، نقشه برگردان به قطب شده مشاهده می‌شود که تجمع فراوان چشمه‌های آب گرم در نیمه جنوب شرقی سبلان که چشمه‌های آب گرم سریع را پوشش می‌دهند و چشمه‌های آب گرمی که در نیمه شمال غربی سبلان (دره موئیل) از کمترین مقدار خودپذیری مغناطیسی برخوردار هستند و توده‌های بسیار بزرگ مغناطیسی نیز در شمال محدوده مشاهده می‌شوند که مناطق، سنگ‌های میزبان آذرینی و آندزیتی را شامل می‌شوند که وجود گنبد‌های ولکانیکی فراوان در آن منطقه گواهی بر این موضوع است.

#### ۴-۱-۲- فیلتر مشتق قائم

محاسبات مشتق اول قائم میدان، یک روش پرکاربرد برای واضح‌تر کردن ناهنجاری‌های محلی است و اثر این روش تضعیف کردن ناهنجاری منطقه‌ای و تقویت ناهنجاری محلی است (حیدریان شهری، ۱۳۸۴). با اعمال این فیلتر بر روی نقشه برگردان به قطب، بی‌ننجاری‌های سطحی نمود بیشتری پیدا می‌کند.

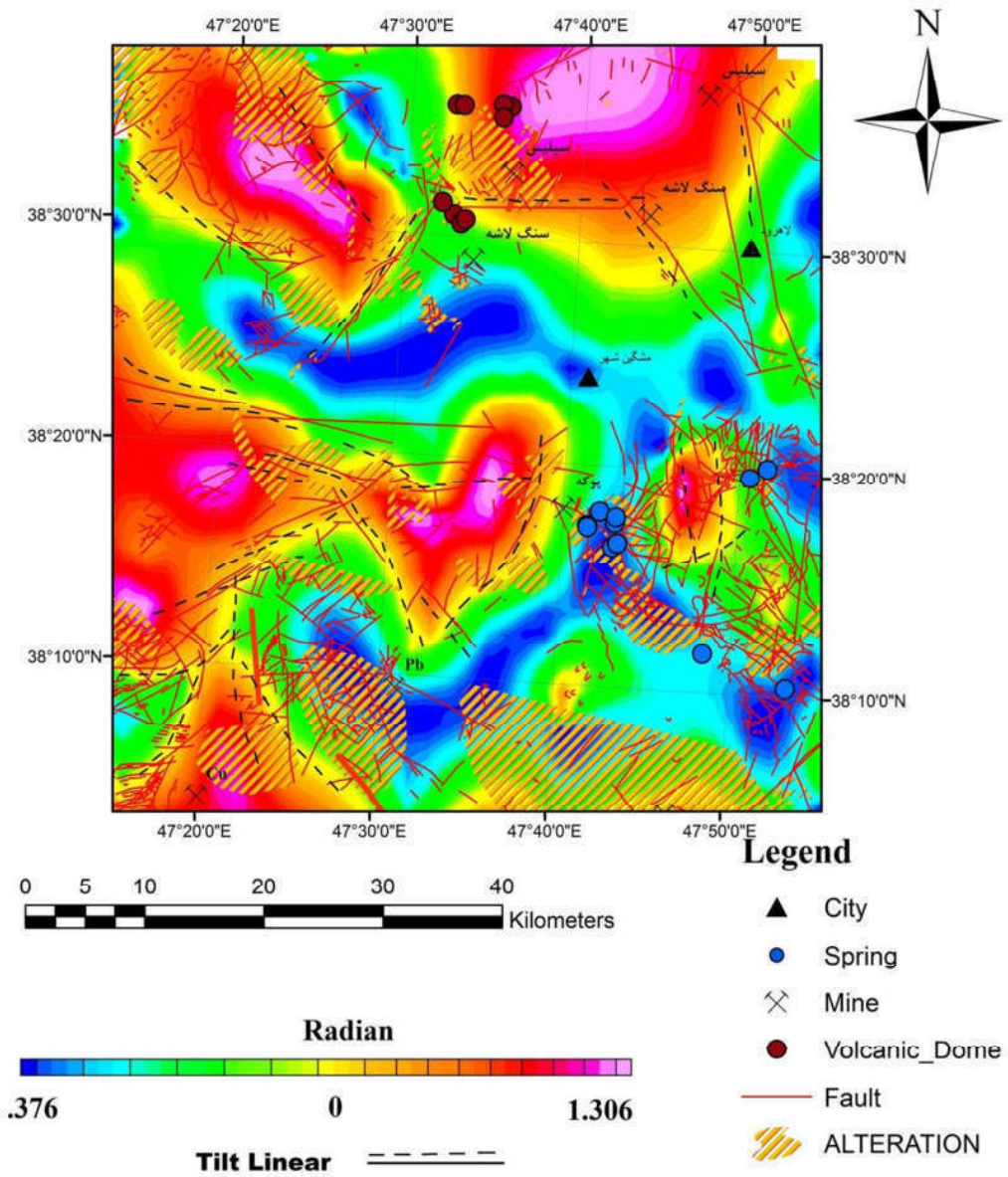


شکل ۸. نقشه فیلتر مشتق قائم مغناطیسی هوابرد در منطقه مورد مطالعه

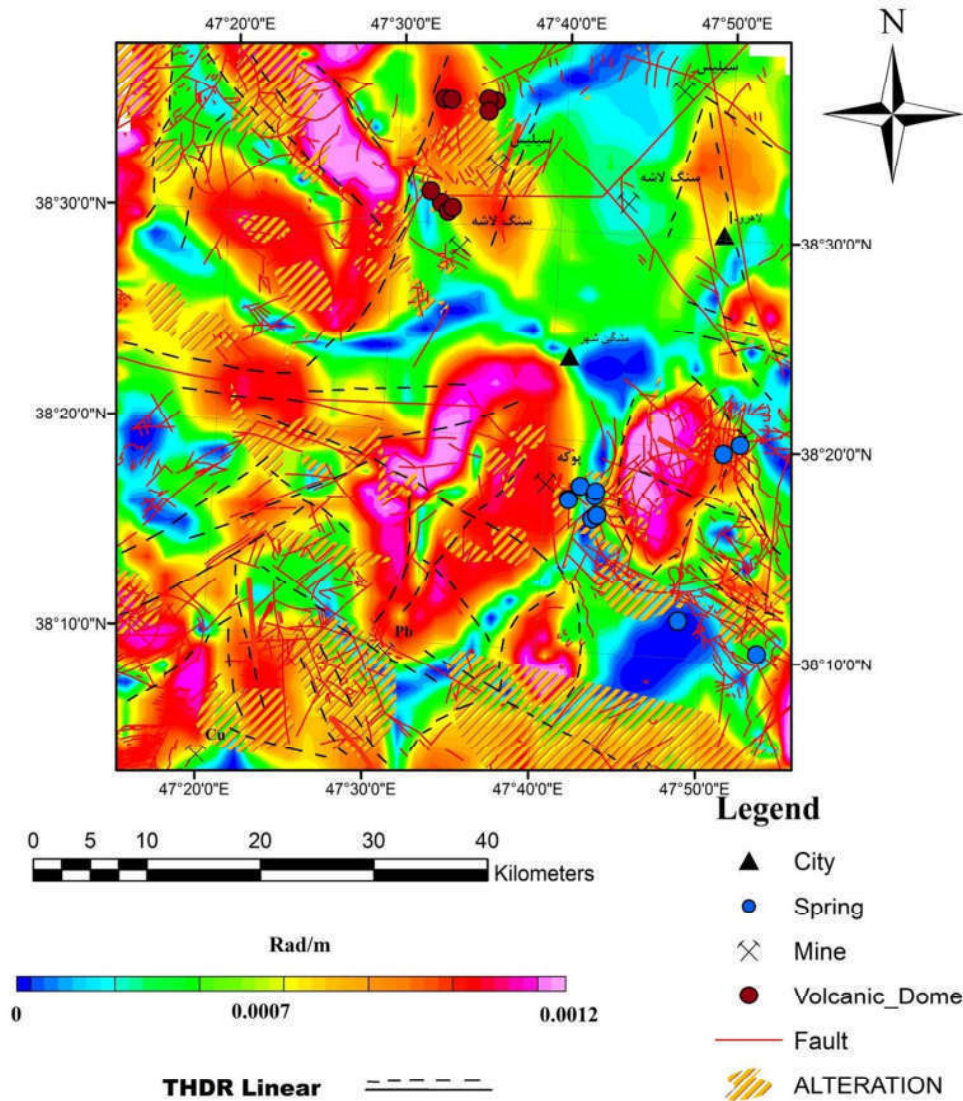
حاصل از روش TDR ، خطواره‌های دیگری نیز شناسایی شد. در شکل ۹، نقشه زاویه کجی مغناطیسی هوابرد به همراه خطواره‌های مغناطیسی شناسایی شده نشان داده شده است. همچنین در شکل ۱۰، نیز نقشه گرادیان افقی کل مغناطیسی هوابرد در منطقه مورد مطالعه به همراه گسل‌های حاصل از زمین‌شناسی منطقه، موقعیت چشمه‌های آبگرم، دگرسانی‌ها، معادن و گنبد‌های ولکانیکی نشان داده شده است. اغلب خطواره‌های شناسایی شده در شکل ۹ و شکل ۱۰ با ساختارهای زمین‌شناسی و گسل‌های منطقه منطبق هستند.

بر این اساس، با استفاده از مقایسه مشتق قائم، سیگنال تحلیلی و سپس با استفاده از ترکیب لایه‌ها و آرک تانژانت آنها، مقدار TDR برای منطقه محاسبه می‌شود. از این روش، برای تعیین دقیق گوشه‌های آنومالی‌ها و تعیین خطوط گسلی استفاده می‌شود. همانطور که ملاحظه می‌شود، محدوده صفر درجه معرف خطواره‌های اصلی و احتمالی در منطقه است؛ که با رنگ زرد جدا شده‌اند و در مقایسه با نقشه زمین‌شناسی می‌توان بیشتر گسل‌های منطقه را شناسایی کرد. پس از مقایسه نقشه گسل‌های منطقه که از نقشه زمین‌شناسی به دست آمده بود، با نقشه

پتانسیل بایی معدنی و تلفیق اطلاعات داده‌های ژئوفیزیکی مغناطیس‌سنجی هواپرد و ...



شکل ۹. نقشه زاویه کجی مغناطیسی هواپرد در منطقه مورد مطالعه (خطواره‌های مغناطیسی شناسایی شده، اغلب منطبق با ساختارها و گسل‌های زمین‌شناسی در منطقه مورد می‌باشد).



شکل ۱۰. نقشه گرادیان افقی کل مغناطیسی هوابرد در منطقه مورد مطالعه (خطواره‌های مغناطیسی شناسایی شده، اغلب منطبق با ساختارها و گسل‌های زمین‌شناسی در منطقه مورد است)

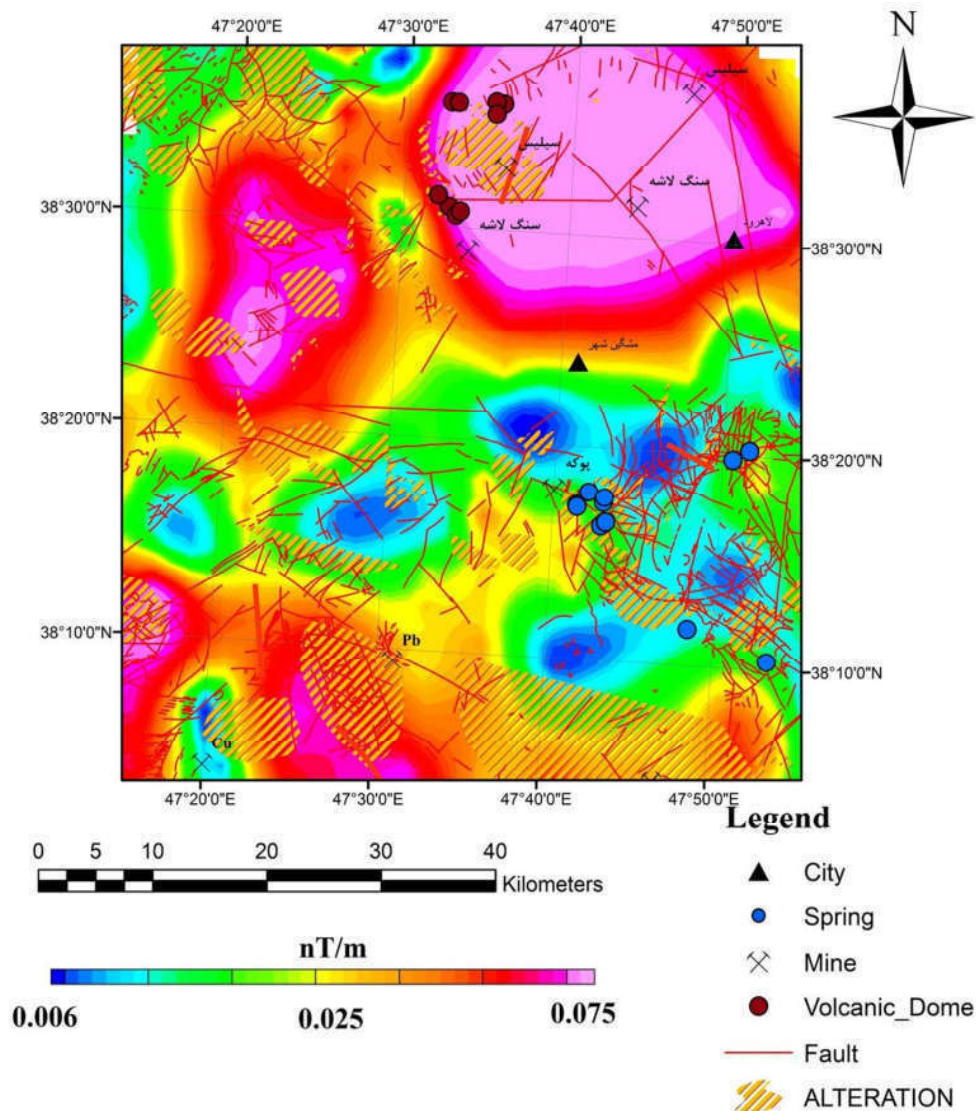
به سطح زمین است که هر چه نزدیک‌تر باشد، پاسخ مناسب‌تری داریم و دیگری اختلاف اثر خودپذیری بدنه مغناطیسی و سنگ‌های اطراف است که هر چه اختلاف بیشتر باشد، نقشه سیگنال تحلیلی واضح‌تر است. مکلود و همکاران (۱۹۹۲)، نشان دادند که تصحیح انتقال به قطب چه تاثیری در جابجایی سیگنال تحلیلی داده‌ها

#### ۴-۱-۴- سیگنال تحلیلی

سیگنال تحلیلی با استفاده از مشتق، در جهات مختلف اثر روند منطقه‌ای را که از نوع درجه اول است در سه جهت حذف می‌کند و با حذف اثر بی‌هنجاری‌های سطحی، بدنه مغناطیسی را بهتر نشان می‌دهد. مشکلات این روش، یکی فاصله بدنه مغناطیسی نسبت

چشمه‌های آبگرم، دگرسانی‌ها، معادن و گنبد‌های ولکانیکی در منطقه مورد مطالعه، در شکل ۱۱ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، مرز آنومالی‌ها و گسترش آنومالی‌های مغناطیسی، بهتر شناسایی شده است.

در عرض‌های جغرافیایی کم و تفسیر دایک‌ها دارد. سو و همکاران (۱۹۹۸)، نشان دادند که سیگنال تحلیلی چگونه باعث تفسیر بهتر عمق بدنه مغناطیسی می‌شود. نقشه سیگنال تحلیلی مغناطیسی هوابرد به همراه گسل‌های حاصل از زمین‌شناسی منطقه، موقعیت

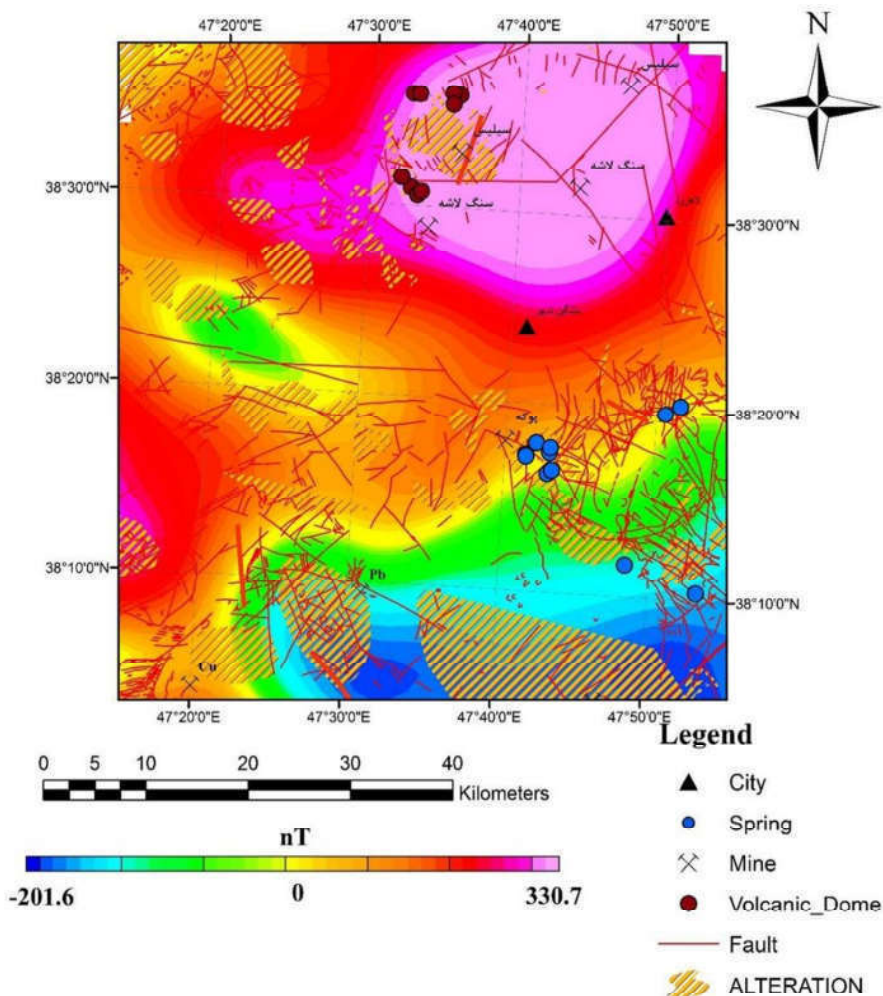


شکل ۱۱. نقشه سیگنال تحلیلی مغناطیسی هوابرد در منطقه مورد مطالعه

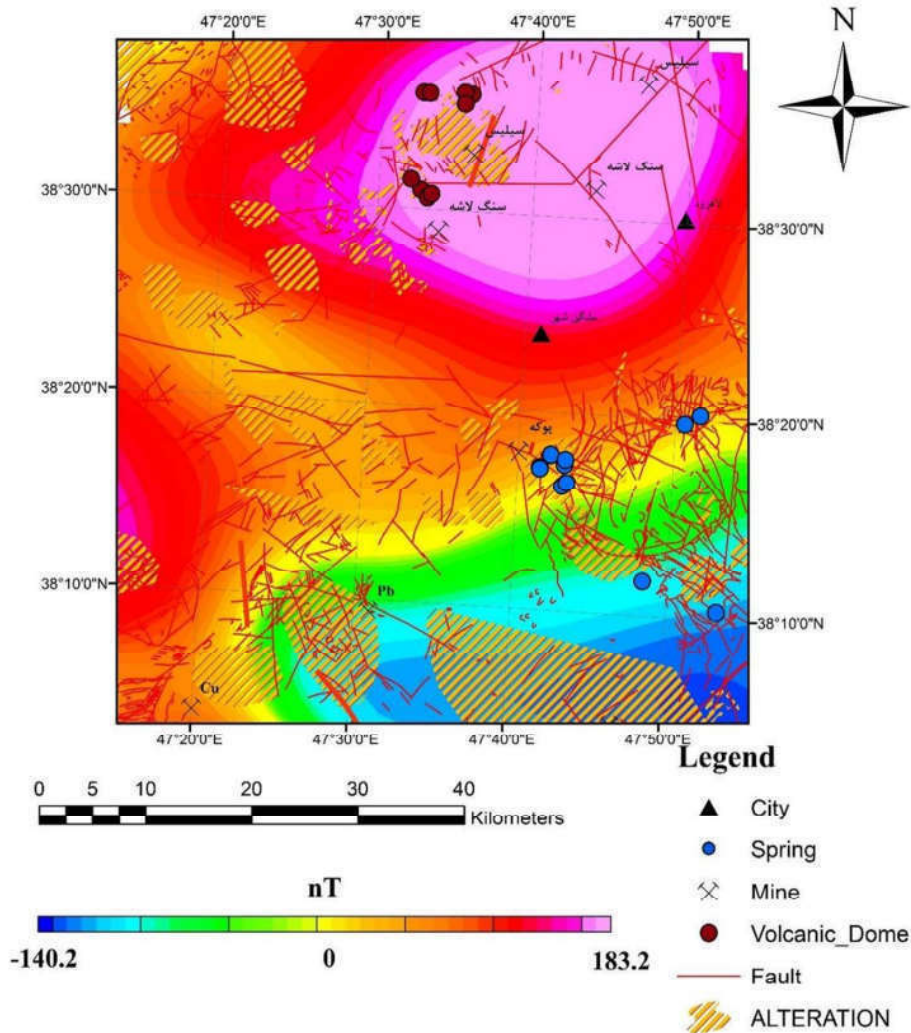
۴-۱-۵- فیلتر ادامه فراسو

فیلتر ادامه فراسو، اثر بی‌هنجاری‌های سطحی با فرکانس بالا را حذف و به این طریق اثر بی‌هنجاری‌های عمیق‌تر را بهتر آشکار می‌سازد (Gunn, 1996). این فیلتر، تأثیر منابع محلی و کم عمق را که در نقشه‌های گرادیان عمودی آشکار بود، حذف می‌کند و بدین‌وسیله اثر بی‌هنجاری‌های عمیق را بهتر آشکار می‌سازد. در واقع این روش، بی‌هنجاری‌های با طول‌موج کوتاه را حذف کرده و دامنه بی‌هنجاری را تضعیف و اختلالات را کاهش می‌دهد (Tarlowski et al., 1997).

فیلتر فراسو، برعکس فیلتر مشتق اول قائم عمل می‌کند، به طوری که ناهنجاری‌های مربوط به منشأهای عمیق را تقویت و ناهنجاری‌های مربوط به سطح را تضعیف کرده (بلکلی، ۱۹۹۶) و تأثیر منابع محلی را کم می‌کند (حیدریان شهری، ۱۳۸۴) در شکل ۱۲، نقشه‌های ادامه فراسو مغناطیسی هوابرد به ارتفاع ۲۰۰۰ متری و شکل ۱۳ نقشه ادامه فراسو به ارتفاع ۵۰۰۰ متری و شکل ۱۴ نقشه ادامه فراسو به ارتفاع ۱۰۰۰۰ متری مغناطیسی هوابرد به همراه گسل‌های زمین‌شناسی، موقعیت چشمه‌های آبگرم، دگرسانی‌ها، معادن و گنبد‌های ولکانیکی در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۱۲. نقشه ادامه فراسو مغناطیسی هوابرد به ارتفاع ۲۰۰۰ متری در منطقه مورد مطالعه

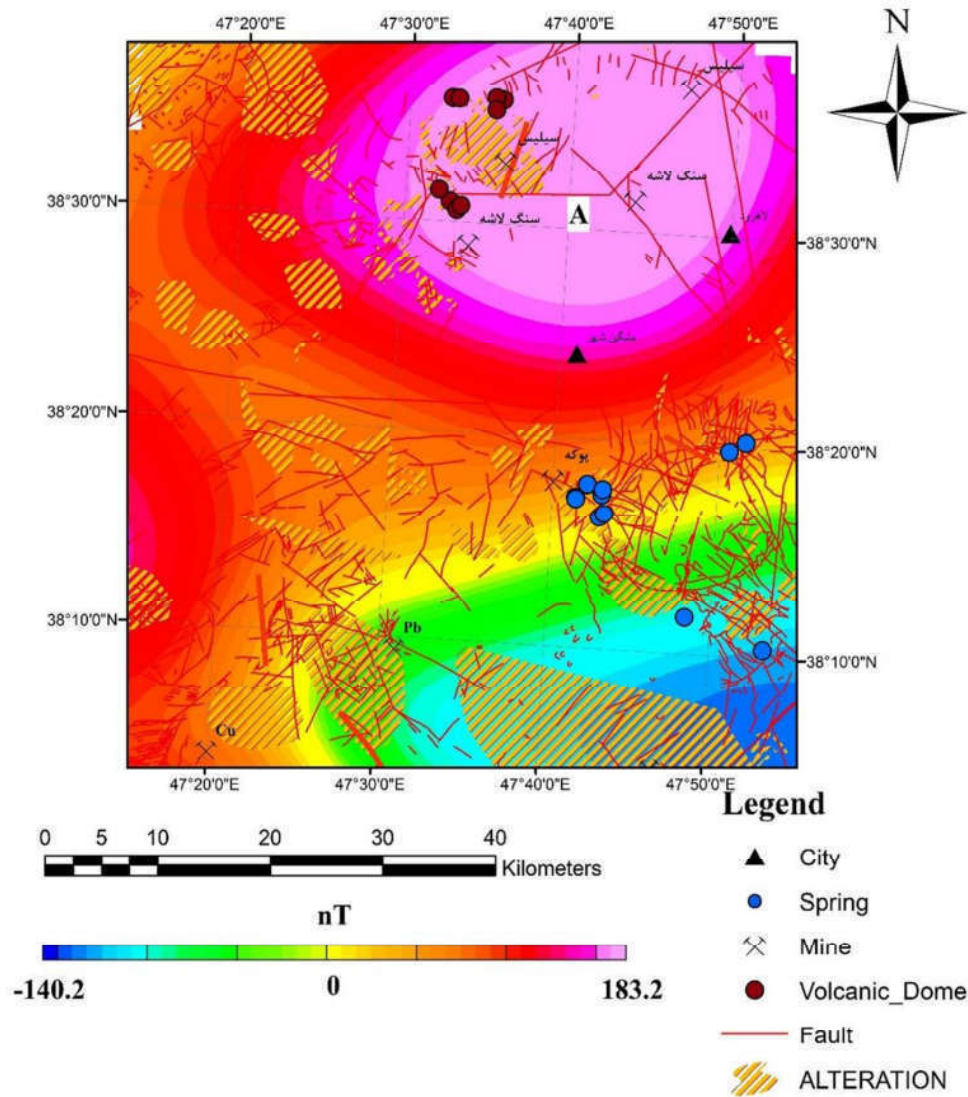


شکل ۱۳. نقشه ادامه فراسو مغناطیسی هوابرد به ارتفاع ۵۰۰۰ متری در منطقه مورد مطالعه

است که دارای بیشترین گنبد‌های ولکانیکی و بیشترین مساحت دارای توده سنگ‌های آذرینی را به خود اختصاص داده، همانطور که در نقشه فوق مشاهده می‌شود یک توده مغناطیسی عظیم در شمال مشکین شهر و اطراف لاهرود مشاهده می‌شود بعد از پردازش‌های مغناطیسی، و در نقشه‌های بعدی (ادامه فراسو) ما متوجه می‌شویم که این توده آذرینی در منطقه لاهرود در عمق‌های بیش از ۵۰۰۰ متری و واقع می‌توان این گونه بیان کرد که این توده عظیم آذرین

با توجه به مطالعات مغناطیس‌سنجی در منطقه مورد مطالعه، محدوده آتشفشانی سبلان و اطراف آن از کمترین مقدار خودپذیری مغناطیسی برخوردار هستند. بعد از مطالعات سنگ‌شناسی و شناسایی آلتراسیون‌های شدید پروپلیتیکی و آرژیلیکی، فیلیکی و سرسیتی در منطقه مورد مطالعه متوجه می‌شویم که دگرسانی شدید باعث تغییرات بسیار زیادی در این منطقه شده است. یکی از مهمترین قسمت‌های در این ناحیه، در نقشه‌های زمین‌شناسی و مطالعات سنگ‌شناسی در منطقه لاهرود در شمال شهر مشکین شهر واقع شده





شکل ۱۴. نقشه ادامه فراسو مغناطیسی هوارد به ارتفاع ۱۰۰۰۰ متری در منطقه مورد مطالعه

هایپرینون، شامل سازماندهی باندها در قالب اطلاعات رقومی قابل پردازش، محاسبه میانه طول موج نوار طیفی مربوط به هر باند و قرار دادن باند مذکور در جایگاه طول موجی صحیح، یافتن باندهای آلوده، حذف اطلاعات ناهنجار، رفع خطوط استریپ (خطوط عدم برداشت یا برداشت تکراری که در داده‌های ابرطیفی از نارسایی‌های مهم به حساب می‌آیند) در طول باندهای تصویر با استفاده از کرنل‌ها، تصحیح هندسی و در

در منطقه لاهرود، در عمق‌های بالا به صورت ریشه‌ایی به سیلان متصل است. (البته در این مورد باید مطالعات فراوانی انجام شود وجود گسل‌ها و ساختارهای فعال در منطقه نیز ممکن است حاکی از این مورد باشد).

#### ۲-۴- پردازش سنجنش از دور

##### الف) پیش‌پردازش داده‌ها

مرحله پیش‌پردازش و آماده‌سازی داده‌های سنجنده

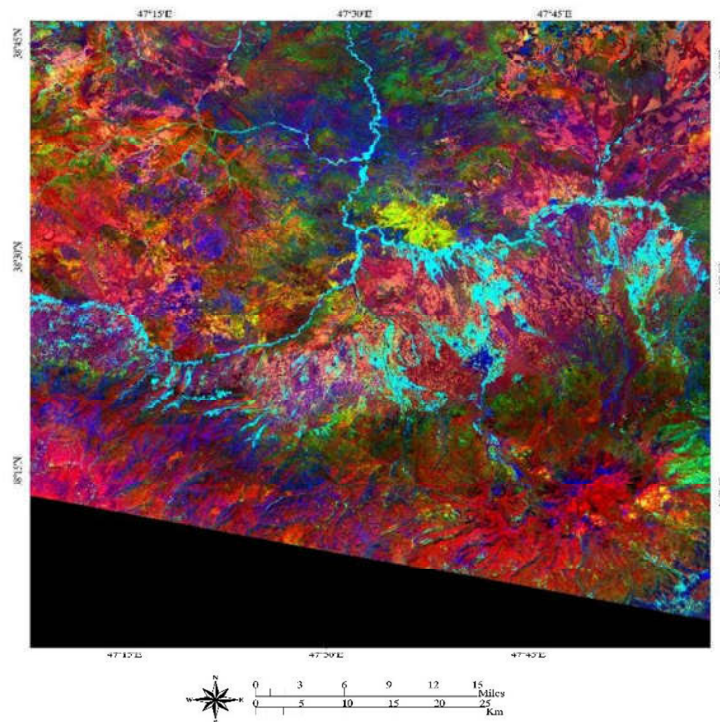
لذا به منظور بارزسازی عوارض طیفی از روش بازتابش متوسط نسبی داخلی IARR برای نرمالیزه کردن تصاویر، با استفاده از یک طیف میانگین استفاده شد. در این روش، طیف میانگین برای ورودی محاسبه شده و این طیف به عنوان طیف مرجع استفاده می‌شود. سپس این طیف بر هر پیکسل تقسیم می‌شود و در نهایت طیف ظاهری پیکسل به دست می‌آید (نجفیان و همکاران، ۱۳۹۰).

#### ۴-۲-۱- تحلیل مؤلفه‌های اصلی Principal Component Analysis-PCA

آنالیز مؤلفه‌های اصلی تبدیلی در فضای برداری است که غالباً برای کاهش حجم داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. تحلیل مؤلفه‌های اصلی در سال ۱۹۰۱ توسط کارل پیرسون ارائه شد. این تحلیل شامل تجزیه مقدارهای ویژه ماتریس کواریانس و یا ماتریس ضرایب

نهایت تصحیحات جوی می‌شود. در مرحله ساماندهی و فیلتراسیون باندهای تصویر، تعداد ۸۸ باند از ۲۴۲ باند تصویربرداری شده به دلیل کیفیت نامناسب داده‌ها از محاسبات خارج شده و مطالعه بر روی ۱۵۴ باند متمرکز شد. به همان میزانی که تصاویر ماهواره‌ای به قدرت تفکیک طیفی بالاتر ارتقا می‌یابند، بیشتر تحت تأثیر اثرات اتمسفر قرار می‌گیرند و تصحیح اتمسفریک تصاویر امری ضروری است.

این امر در مورد تصاویر ASTER که قدرت تفکیک طیفی نسبتاً بالاتری در مقایسه با تصاویر ETM<sup>+</sup> دارند نیز مصداق دارد. به دلیل اینکه امکان حذف کامل خطای رادیومتریک و ایجاد یک تصویر بازتابی Image Reflectance دقیق، مستلزم در اختیار داشتن پارامترهای محیطی و جوی زیادی است، و این اطلاعات در مورد تصویر ASTER مورد استفاده در اختیار نبود؛

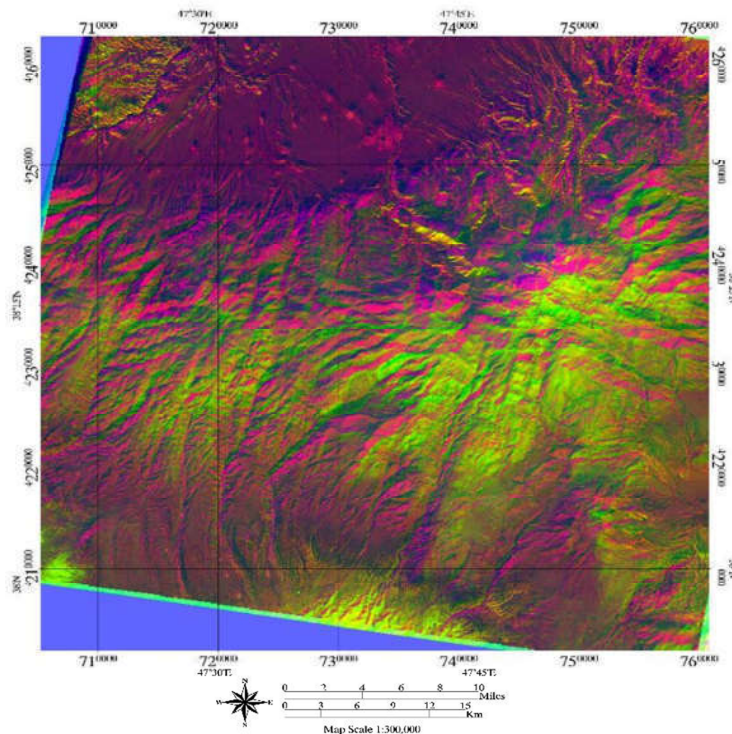


شکل ۱۵. نقشه تحلیل مؤلفه اصلی سنجنده ETM<sup>+</sup> در محدوده مورد مطالعه

حفظ می‌شوند (هستی، ۱۹۹۳؛ اندرسون، ۲۰۰۱). کاربرد این روش، در دورسنجی توسط نویسندگان متعددی تشریح شده است که از آن جمله می‌توان به (ساینز، ۱۹۹۷؛ ریچارد، ۱۹۹۹؛ رنجبر، ۲۰۰۴ و کریم‌پور ۲۰۰۸) اشاره کرد. پس از اعمال روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی بر روی داده‌های ابرطیفی منطقه، با توجه به الگوی طیفی کانی کائولینیت (جذب حداکثری در طول موج باند ۱۴۳ سنجنده هایپریون) و با دقت در مقادیر بردار ویژه مربوط به باند ۱۴۳ که در محدوده طیفی ۲۲۰۳ تا ۲۲۱۳ نانومتر از محدوده‌های فروسرخ کوتاه موج قرار دارد، دومین مؤلفه اصلی از میان ۱۵۴ مؤلفه استخراجی، به‌عنوان مؤلفه مناسب جهت بارزسازی کائولینیت در تصویر هایپریون منطقه مورد مطالعه انتخاب شد.

همبستگی است. تحلیل مؤلفه‌های اصلی در تعریف ریاضی یک تبدیل خطی متعامد است که داده را به دستگاه مختصات جدید می‌برد، به طوری که بزرگترین واریانس داده بر روی اولین محور مختصات، دومین واریانس بر روی دومین محور مختصات قرار می‌گیرد و به همین ترتیب بقیه واریانس‌ها به ترتیب حول محورهایی با مقادیر ویژه کمتر قرار می‌گیرند (جولیف، ۲۰۰۲) در شکل‌های ۱۵، ۱۶ و ۱۷، نقشه آنالیز مؤلفه اصلی بر روی سنجنده  $ETM^+$ ، سنجنده ASTER و هایپریون ابرطیفی EO-1 است.

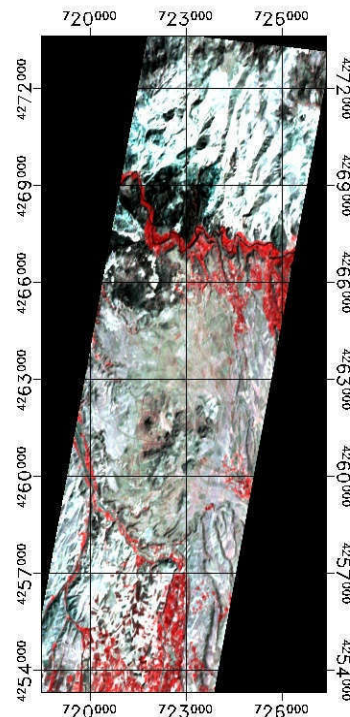
تحلیل مؤلفه‌های اصلی می‌تواند برای کاهش ابعاد داده مورد استفاده قرار گیرد. به این ترتیب مؤلفه‌هایی از مجموعه داده، که بیشترین تأثیر را در واریانس دارند،



شکل ۱۶. نقشه تحلیل مؤلفه اصلی سنجنده ASTER در محدوده مورد مطالعه

پیکسل نمایش دهنده میزان اختلاف بازتاب در طیف‌های تفکیکی الگوی طیفی بازتابیده از سطحش با الگوی طیفی مرجع است. این اختلاف الگوی طیفی به صورت زاویه‌ای و در مقیاس رادیان، در بازه‌ی بین ۰ تا  $\pi/2$  نمایش داده می‌شود (کروز، ۱۹۹۳؛ وان درمر و همکاران، ۲۰۰۳). در شکل‌های ۱۸، ۱۹ و ۲۰ به ترتیب نقشه برداری زاویه طیفی سنجنده‌های  $ETM^+$ ، سنجنده ASTER و سنجنده ابرطیفی‌هایپریون EO-1 نشان داده شده است.

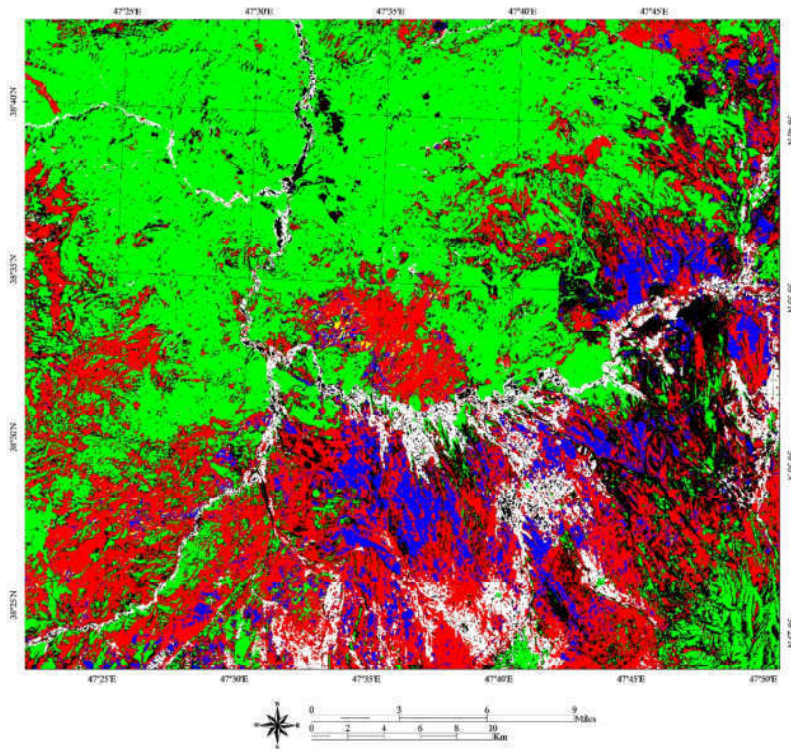
**۴-۲-۳- فیلتر تطبیقی ترکیبی تعدیل شده MTMF**  
روش MTMF، یک آنالیز برای پیکسل‌های ترکیبی براساس پردازش سیگنال‌های شناخته شده است که در این تحقیق به عنوان روشی که هم بر مبنای طیف مرجع و هم اصول آماری بنا نهاده شده، به منظور مقایسه آورده شده است. روش فیلتر تطبیقی ترکیبی تعدیل شده، شامل مراحل زیر است: ۱- عمل تبدیل کسر کمترین نوفه بر روی داده‌های انعکاسی ۲- فیلتر تطبیقی برای تخمین فراوانی پیکسل‌های هدف ۳- تصحیح به وسیله بخش ترکیبی برای مشخص کردن پیکسل‌های دارای خطای قطعی. روش فیلتر تطبیق یافته اثر طیف کانی هدف معلوم را ماکزیمم می‌کند و اثرات پس‌زمینه ترکیبی نامطلوب را کاهش می‌دهد، در واقع اثر معلوم (مطلوب) را تطبیق می‌دهد. این روش، ابزاری سریع جهت شناسایی اهداف مشخص از طریق انطباق با طیف کانی‌های هدف تصویر یا کتابخانه طیفی است و نیازی به داشتن اطلاعات طیفی همه کانی‌های هدف درون یک تصویر نیست. تصاویر عدم امکان، برای کاهش تعداد پاسخ‌های کاذبی است که هنگام استفاده از MF یافت می‌شوند. پیکسل‌های با Infeasibility بالا، نشان دهنده پاسخ‌های کاذب در MF هستند. پیکسل‌هایی که به درستی نگاشته شده‌اند، دارای مقادیر MF بالا، نسبت به پس زمینه و مقادیر Infeasibility پایین هستند (آدام، ۱۹۸۶؛ یعقوب‌پور، ۱۳۸۶) در شکل ۲۱، نقشه فیلتر تطبیقی ترکیب تعدیل شده سنجنده‌های ابرطیفی‌هایپریون EO-1 و سنجنده ASTER نشان می‌دهد.



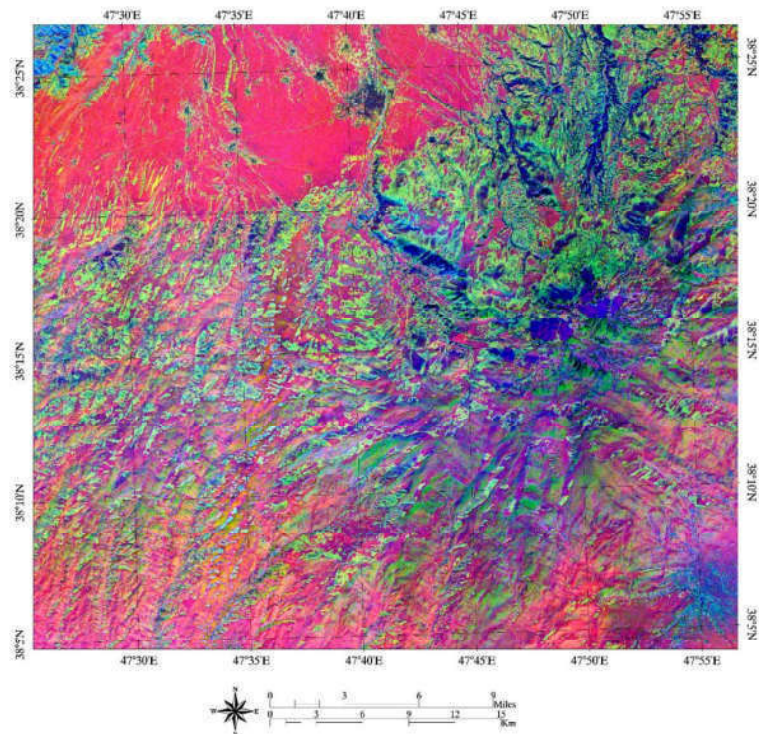
شکل ۱۷. نقشه تحلیل مؤلفه اصلی سنجنده ابرطیفی‌هایپریون EO-1 در محدوده مورد مطالعه

**۴-۲-۲- نقشه برداری زاویه طیفی SAM**  
روش نقشه بردار زاویه طیفی اولین بار در سال ۱۹۹۳ توسط کروز و همکاران به کار برده شد. این روش براساس مشابهت بین طیف کانی مرجع و طیف کانی مورد آزمایش برای کانی‌های کائولینیت و مسکوویت انجام گرفت. شباهت بین طیف مرجع و طیف پیکسل، به وسیله محاسبه زاویه بین طیف‌ها ارزیابی می‌شود. طیف‌ها، به شکل بردارهایی در یک فضای چند بعدی (که ابعاد فضا بستگی به تعداد باندها دارد) در نظر گرفته می‌شوند. زاویه بین طیف بازتابی مرجع و طیف بازتابیده از سطح پیکسل‌ها به عنوان معیار مشابهت ارائه می‌شود. این تکنیک، نسبت به اثرات سپیدایی و روشنایی متفاوت خواهد بود و تحت تأثیر عوامل روشنایی خورشید نیست، زیرا زاویه بین دو بردار مستقل از طول آنهاست (کروز، ۱۹۹۳).  
در تصویر حاصل از روش نقشه بردار زاویه طیفی، هر

سعید مجرد و همکاران



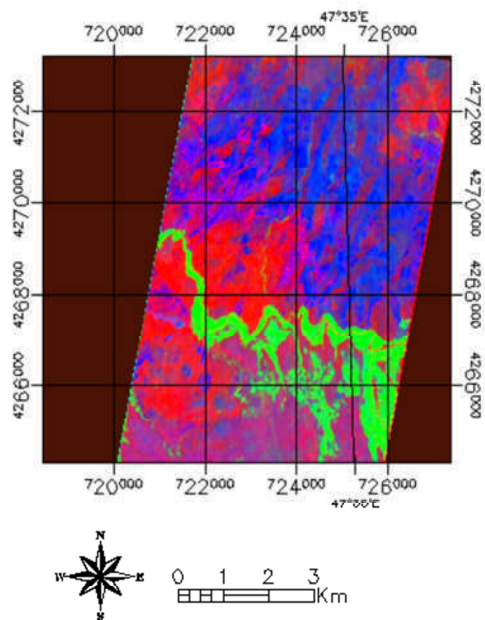
شکل ۱۸. نقشه برداری زاویه طیفی سنجنده ETM<sup>+</sup> در محدوده مورد مطالعه



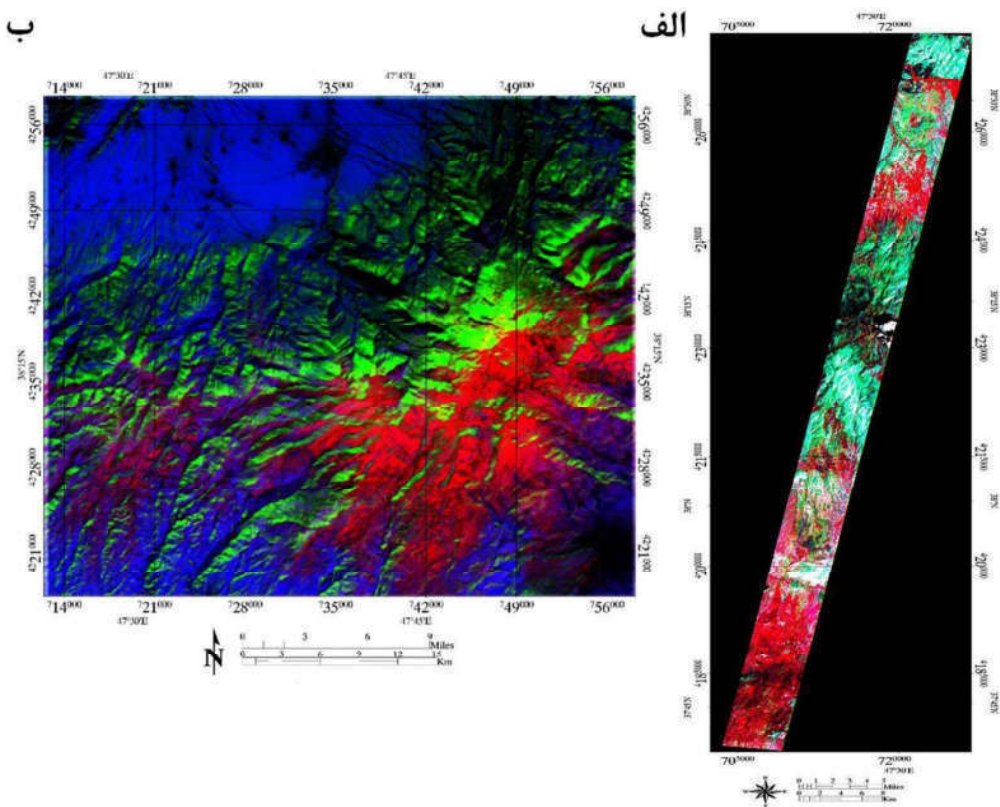
شکل ۱۹. نقشه برداری زاویه طیفی سنجنده ASTER در محدوده مورد مطالعه

سنجش از دور و GIS ایران  
سال یازدهم ■ شماره سوم ■ پاییز ۱۳۹۸

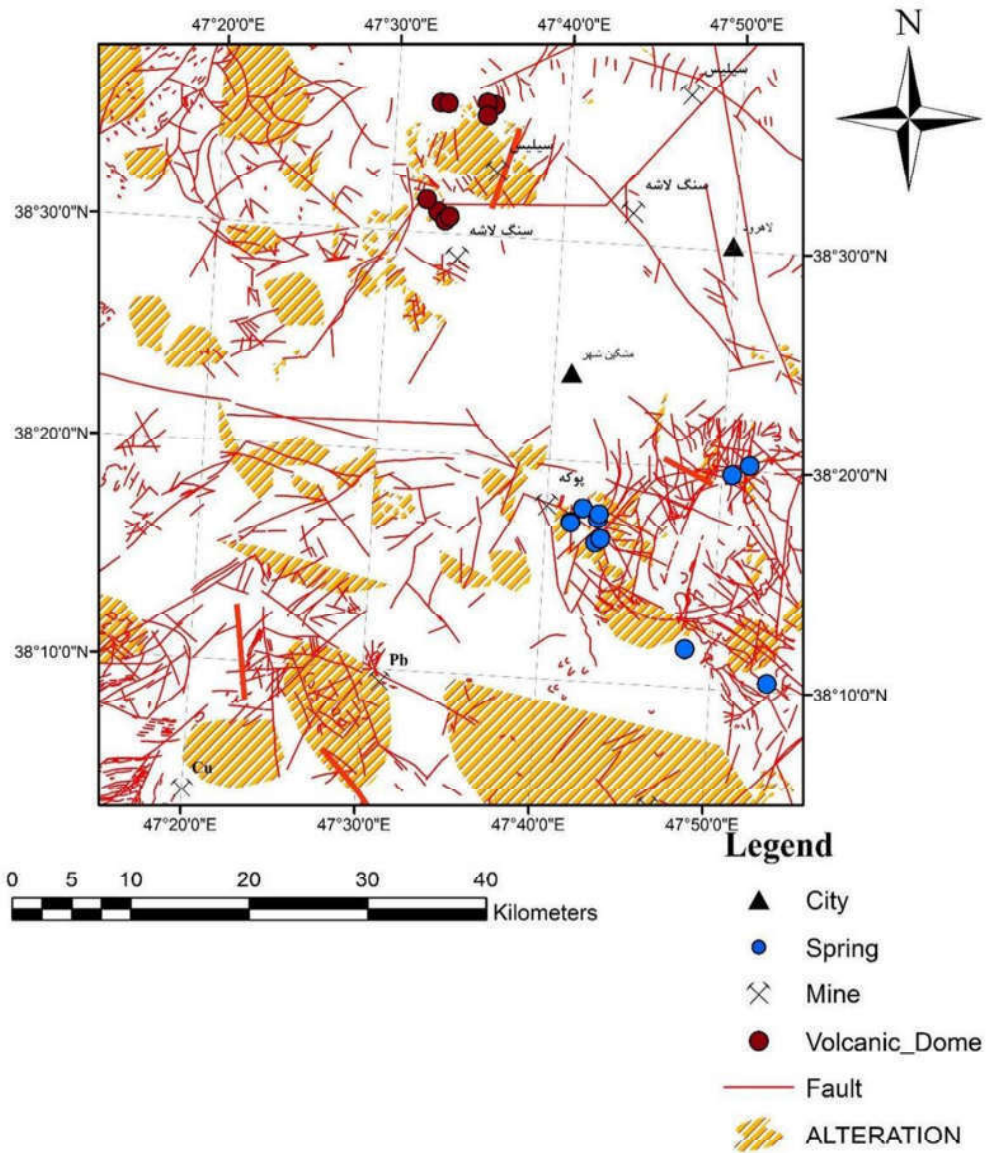
پتانسیل بای معدنی و تلفیق اطلاعات داده‌های ژئوفیزیکی مغناطیس‌سنجی هوابرد و ...



شکل ۲۰. نقشه برداری زاویه طیفی سنجنده ابرطیفی EO-1 در محدوده مورد مطالعه



شکل ۲۱. الف) نقشه فیلتر تطبیقی ترکیبی تعدیل شده سنجنده ASTER (ب) نقشه فیلتر تطبیقی ترکیبی تعدیل شده سنجنده EO-1

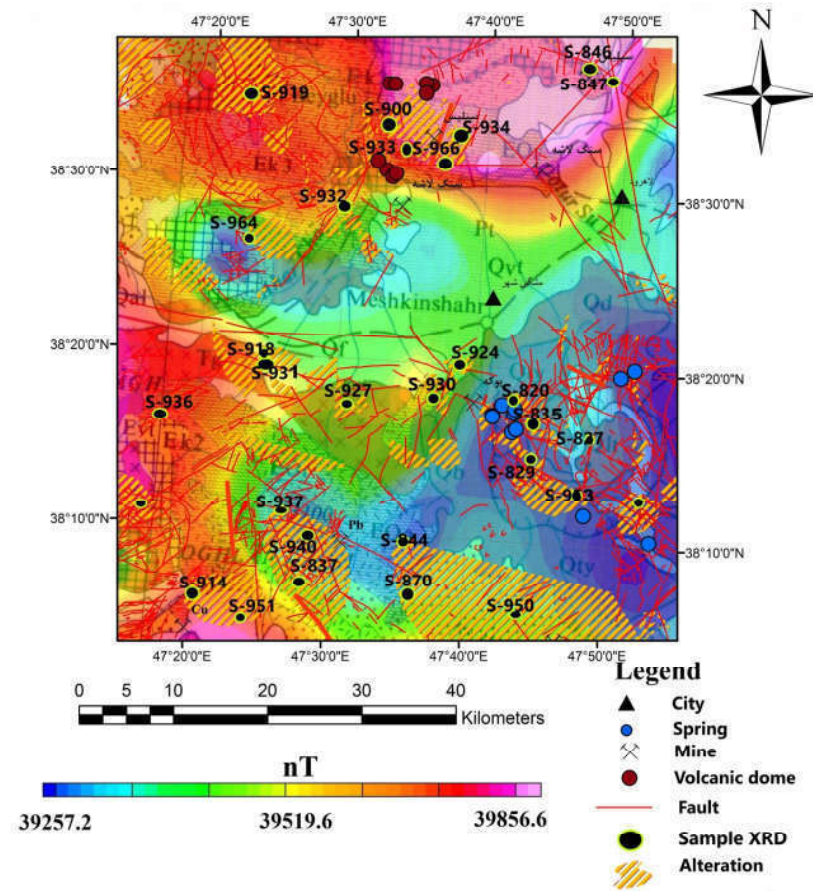


شکل ۲۲. نقشه پراکندگی و گسترش دگرسانی‌ها، معادن مس، سرب، روی، سیلیسی و گسل‌ها در منطقه مورد مطالعه

کشور) و موقعیت آلتراسیون‌ها، چشمه‌های آب گرم، گنبد‌های ولکانیکی و گسل‌های زمین‌شناسی نمایش داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود با توجه به گسترش کانی‌ها و شناسایی انواع دگرسانی‌ها، نتایج نمونه‌های مطالعاتی در این پژوهش با یکدیگر منطبق هستند.

نتایج مطالعات کانی‌شناسی XRD منطقه مورد مطالعه، در جدول ۱ ارائه شده است، همچنین موقعیت نمونه برداری‌های کانی‌شناسی XRD در شکل ۲۳ نشان داده شده است. در شکل ۲۳، نیز نقشه برگردان به قطب شده مغناطیس‌سنجی هوایرد به همراه نقشه زمین‌شناسی (برگرفته شده از سازمان زمین‌شناسی

پتانسیل بایو معدنی و تلفیق اطلاعات داده‌های ژئوفیزیکی مغناطیس‌سنجی هواپرد و ...



شکل ۲۳. نقشه پراکندگی نمونه برداری‌های کانی‌شناسی XRD بر روی نقشه برگردان به قطب (RTP) مغناطیس‌سنجی هواپرد و نقشه زمین‌شناسی (برگرفته شده از سازمان زمین‌شناسی کشور) به همراه موقعیت آلتراسیون‌ها، چشمه‌های آب‌گرم، گنبد‌های ولکانیکی و گسل‌ها در منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. نتایج کانی‌شناسی XRD در محدوده مورد مطالعه

S. NO	XRD RESULTS	S. NO	XRD RESULTS
S-900	Jarosite+ Quartz	S-932	QUARTZ+ CLAYMINERALS+SERPENTINE
S-964	CALCITE.	S-933	Alunite+ QUARTZ+Clay minerals
S-966	QUARTZ+MONTMORILLONITE+FELDSPAR.	S-934	Alunite+ Clay minerals
S-918	Jarosite+ QUARTZ+Tridymite+Crystobalite	S-936	Jarosite+ QUARTZ
S-919	Jarosite+ QUARTZ+ Crystobalite	S-937	Cryptomelane+ QUARTZ
S-924	Calcite+ QUARTZ	S-950	Feldspar+ QUARTZ+(Clay minerals)
S-927	feldspar	S-951	QUARTZ+Goethite+Felspar+Mica+Clay minerals
S-930	feldspar	S-844	QUARTZ+ Clay minerals (minor).
S-832	QUARTZ+ILLITE+HEMATITE (minor).	S-846	QUARTZ.
S-829	QUARTZ+FELDSPAR+CLAYMINERALS (ILLITE+KAOLINITE).	S-847	QUARTZ.
S-820	QUARTZ+KAOLINITE.	S-944	ALUNITE+Mica+ Clay minerals (minor).
S-837	QUARTZ.	S-931	CRYPTOMELANE + QUARTZ.
S-870	QUARTZ+PYROPHYLLITE+KAOLINITE+ILLITES	S-940	FELDSPAR+QUARTZ+CLAYMINERAL (MONTMORILLONITE).
S-914	FELDSPAR+ CLAYMINERAL.	S-953	FELDSPAR+QUARTZ+ Feldspar +CLAYMINERAL (minor).
		S-951	QUARTZ+GOETHITE+FELDSPAR+MICA+ CLAYMINERAL.



## ۵- نتیجه گیری

با توجه به نتایج، مشاهده می‌شود که استفاده همزمان از چندین مجموعه داده، نتایج دقیق‌تری را در تفسیر ارائه می‌کند. از آنجا که نواحی دگرسانی گرمایی، می‌تواند ارتباط نزدیکی با مناطق کانی‌سازی داشته باشند، در نتیجه، تفکیک محدوده‌های دگرسانی می‌تواند کلیدی برای پی‌جویی مواد معدنی با مقیاس ناحیه‌ای باشد. دگرسانی، فرآیندهای پیچیده تغییرات کانی‌شناسی، شیمیایی، بافتی و حاصل از واکنش سیال‌های داغ با سنگ‌های دربرگیرنده است و عبور این سیال‌ها 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. نتایج اطلاعات حاصل از گسل‌های زمین‌شناسی و دورسنجی و مغناطیسی هوابرد در منطقه، نتایج اطلاعات حاصل از موقعیت چشمه‌های آب‌گرم و گنبد‌های آتشفشانی، نتایج مطالعات دورسنجی سنجنده‌های ابرطیفی‌هایپریون و لندست-۷ و استر و نتایج مطالعات مغناطیس‌سنجی هوابرد در منطقه مورد مطالعه به صورت همزمان، برای تفسیر و نتیجه‌گیری، مهم و تاثیرگذار هستند.

منابع ایجادکننده اکثر ناهنجاری‌های مغناطیسی، نقشه برگردان شده به قطب کانی‌سازی است. آنجایی که سنگ میزبان و کانی‌سازی، اختلاف قابل ملاحظه‌ای از نظر پذیرش مغناطیسی دارد، ناهنجاری‌ها به‌طور مستقیم ردیاب کانی‌سازی مگنتیت است. در جایی که توده‌های آذرین اکسیدان و یا سنگ میزبان همراه یا بدون کانی‌سازی هستند، تداخل پاسخ مغناطیسی آنها با کانی‌سازی مگنتیت، تفکیک آنها را مشکل ساخته و سبب پیدایش ناهنجاری‌های کاذب می‌شود. با توجه به عدم یکتایی جواب در داده‌های میدان پتانسیل، وجود مغناطیس باقیمانده در مگنتیت نوع اسکارنی و نبودن امکان اندازه‌گیری مؤلفه باقیمانده میدان مغناطیسی، جهت تعیین صحیح عمق منابع ناهنجاری با روش مدلسازی معکوس یا پیشرو، نقشه‌های گرادیان اول قائم

و فراسو، نقش مهمی در هدایت حفاری ایفا می‌کند. همانطور که می‌دانید گسل‌ها و ساختارهای زمین‌شناسی، در ایجاد موقعیت کانی‌سازی و اکتشافات مواد معدنی بسیار مهم و حائز اهمیت هستند. در شکل ۲، نقشه زمین‌شناسی ساختاری منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است و شکل‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ نیز به ترتیب نمودار گل سرخی، استریوگرام چگالی قطب درزه‌های بلوک‌های مختلف و تصاویری از بررسی‌های مشاهدات صحرایی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

در شکل ۷ الف، نقشه مغناطیسی کل بعد از اعمال تصحیح IGRF شده منطقه مورد مطالعه و در شکل ۷ ب، نیز نقشه برگردان به قطب شده RTP مغناطیسی هوابرد در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است که در شمال محدوده توده بزرگ آذرینی وجود دارد که به صورت کمربند ماگمایی ولکانیکی در شمال محدوده کشیده شده است. روش پردازش مشتق قائم بی‌هنجاری‌های مغناطیسی به کار می‌رود که همانطور در شکل ۸ ملاحظه می‌کنید بی‌هنجاری مغناطیسی بیشتر دیده می‌شود و به صورت دو توده مجزا در شمال محدوده را فرا گرفته است. در جنوب محدوده نیز توده‌های بی‌هنجاری مغناطیسی به صورت پراکنده، دیده می‌شود. به جهت اینکه گسل‌ها و بی‌هنجاری‌های پنهان، مانند گسل‌ها بسیار مهم هستند، در شکل ۹ و ۱۰ به ترتیب نقشه زاویه کجی Tilt Angle و گرادیان افقی کل THDR مغناطیسی هوابرد در محدوده نشان داده شده و خطوط‌ها نیز نمایش داده شده‌اند. با توجه به خطوط‌های مغناطیسی شناسایی شده در شکل‌های ۹ و ۱۰ به ترتیب نقشه‌های زاویه کجی و گرادیان افقی کل داده‌های مغناطیس‌سنجی هوابرد در منطقه مورد مطالعه، مطابقت بسیار خوبی را با کنتاکت‌های زمین‌شناسی، ساختارهای زمین‌شناسی و گسل‌ها داشته‌اند.

فیلتر سیگنال تحلیلی داده‌های مغناطیسی هوابرد به جهت تفسیر بهتر عمق توده بی‌هنجاری و روند

طیفی سنجنده‌های مورد نظر تغییرات طیف‌های بازتابی مرجع و طیف بازتابیده شده از سطح به صورت پیکسل‌ها را به‌عنوان معیار مشابهت انجام می‌شود که در شکل ملاحظه می‌کنید که توده دگرسانی در شمال محدوده به رنگ‌های سرخابی و توده آذرینی بزرگ به رنگ سبز در شمال مشکین‌شهر کشیده شده است و در شکل ۱۶، سنجنده ابرطیفی هایپریون با رنگ آبی رنگ توده دگرسانی کانی‌سازی معدنی را از محدوده با پوشش گیاهی به رنگ قرمز مجزا ساخته است.

در روش فیلتر تطبیقی، ترکیب تعدیل شده MTMF آنالیزی بر اساس پیکس‌های ترکیبی حاصل از پردازش سیگنال‌های بدست آمده از طیف‌های بازتابیده شده از سطح است. روش فیلتر تطبیق یافته اثر طیف کانی هدف معلوم را ماکزیمم می‌کند و اثر پس‌زمینه ترکیبی نامطلوب را کاهش می‌دهد، یعنی اثر معلوم را تطبیق می‌دهد. این روش ابزاری سریع، جهت شناسایی اهداف مشخص از طریق انطباق با طیف کانی‌های هدف تصویر یا کتابخانه طیفی است و نیازی به داشتن اطلاعات طیفی همه کانی‌های هدف، درون یک تصویر نیست. با توجه به نتایج و آنالیزهای انجام شده در این پژوهش و نتایج مطالعات آنالیز XRD در جدول (۱)، از نمونه‌های صحرایی در کل منطقه مورد مطالعه، در محدوده شمال و شمال غربی مشکین‌شهر توده دگرسانی کائولینیت و آرژیلیتی شده به صورت پیشرفته وجود دارد که در همین محدوده کانی‌سازی، سیال هیدروترمال به صورت توده‌های بزرگ سیلیسی به همراه مواد پاراژنز که خاصیت مغناطیس‌پذیری دارند مانند مگنتیت است. در جنوب‌غربی محدوده مورد نظر، کانی‌سازی و دگرسانی‌های آرژیلیتی وجود دارد که معادن مس، سرب و روی فعال در منطقه منطبق بر محدوده دگرسانی شده در نقشه است و آن را تأیید می‌کند. در شمال محدوده، با توجه به توده مغناطیسی بزرگ و کشیده‌ای که به تبع از ادامه فراسو تا ارتفاعات ۱۰۰۰۰ متری نیز وجود دارد و بیشتر به سمت جنوب محدوده کشیده می‌شود و گنبد‌های ولکانیکی، چشمه‌های آبگرم،

منطقه‌ای توده مغناطیسی در منطقه است که همانطور که در شکل ۱۱ ملاحظه می‌شود با توجه به موقعیت توده مغناطیسی و معادن فعال در منطقه مانند مس، سرب، روی، سیلیس و دگرسانی‌های کانی‌سازی، حاکی از دگرسانی‌های شدید هیدروترمال در محدوده هستند. چشمه‌های آبگرم، اغلب در مرکز و جنوب محدوده و گنبد‌های ولکانیکی در شمال منطقه دیده می‌شوند که نتایج مغناطیس‌سنجی هوابرد یک توده عظیم مغناطیسی و آذرینی را در شمال منطقه شناسایی کرده و این توده منطبق بر واحدهای گنبد‌های ولکانیکی در منطقه هستند که به خوبی صحت اطلاعات را تأیید می‌کند.

روش فیلتر ادامه فراسو داده‌های مغناطیسی هوابرد اثر بی‌هنجاری‌های سطحی را با فرکانس بالا حذف می‌کند و بی‌هنجاری‌های ریشه‌دار و عمیق را بیشتر آشکار می‌کند. همانطور که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود، توده بی‌هنجاری مغناطیسی در شمال محدوده مورد نظر به صورت کمربندی کشیده شده است که در ارتفاع ۲۰۰۰ متری، اثر این توده مغناطیسی وجود دارد و بیشتر به سمت جنوب محدوده کشیده می‌شود که حاکی از این است توده آذرینی منطقه با توجه به دگرسانی‌ها و معادن و گنبد‌های ولکانیکی بسیار مهم هستند. در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ نیز نقشه ادامه فراسو به ارتفاع‌های ۵۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ متری مغناطیسی این توده آذرینی در شمال محدوده مشکین‌شهر بیشتر به سمت جنوب کشیده می‌شود. این توده آذرینی از نظر اکتشافات مواد معدنی فلزی و گرمابی و انرژی ژئوترمال بسیار مهم و حائز اهمیت است. در شکل‌های ۱۵، ۱۶ و ۱۷ نقشه‌های تحلیل مولفات اصلی سنجنده‌های ETM<sup>+</sup>، ASTER و EO-1 در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهند که توده دگرسانی بزرگی در شمال محدوده شهر مشکین‌شهر کشیده شده است که به رنگ زرد لیمویی و مقداری در جنوب آن و شمال غربی توده پراکنده‌اند که در شکل ۱۷، سنجنده‌هایپریون در شمال محدوده به رنگ خاکستری تا آبی رنگ دیده می‌شود. در شکل‌های ۱۸، ۱۹ و ۲۰ روش نقشه‌برداری زاویه

اپی‌ترمال اکثراً به صورت کریپتوکریستالین دیده می‌شود که اصطلاحاً به آن ژاسپروئید می‌گویند. این موضوع در جنوب غربی محدوده که با توجه به معادن فعال مس و قلع پورفیری آن را تأیید می‌کند که دگرسانی سیلیسی شدن در محدوده به‌طور چشمگیری در اکتشاف منابع معدنی مؤثر است. گسل‌ها و ساختارهای زمین‌شناسی از مهمترین و تاثیرگذارترین عوامل کانه‌سازی و شرایط حاکم بر منطقه است با توجه به پردازش‌های نقشه‌های مغناطیسی زاویه کجی و گرادیان افقی کل، اغلب خطواره‌های موجود در منطقه با توجه به گسل‌های زمین‌شناسی شناسایی شدند و مطابقت داشته‌اند. منطقه سبلان با توجه به نتایج مغناطیس‌سنجی از کمترین خودپذیری مغناطیسی برخوردار بوده است و این مقدار خودپذیری مغناطیسی منفی در سبلان، در نقشه‌های ادامه فراسو تا ارتفاعات ۱۰۰۰۰ متری هم مشاهده شده است. در واقع منطقه سبلان به سبب دگرسانی‌های گرمایی شدیدی که در آن منطقه وجود دارد خاصیت مغناطیسی خود را از دست داده است. این موضوع در اهمیت اکتشاف و پتانسیل‌یابی منابع انرژی ژئوترمال با توجه به کانی‌سازی‌های شدید، گنبد‌های پلکانیکی فراوان در منطقه، وجود چشمه‌های آبگرم متعدد و فراوان و ساختارها و گسل‌ها مهم هستند.

#### ۶- منابع

احمدزاده، غ.، جهانگیری، ا.، مجتهدی، م و لنتز، د.، ۱۳۸۹، پتروژنز سنگ‌های آتشفشانی پتاسیک و فوق پتاسیک پس از برخوردی پلیو-کواترنری در شمال باختر مرنند، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، فصلنامه علوم زمین، شماره ۷۸، ص ۷۹-۸۶.

آقازاده، م.، امامی، م.، وزیری، م.، رشیدنژاد، ع.، نعمت‌الله و کاسترو، آ.، ۱۳۸۹، پلوتونیسم شوشونیتی، آداکیتی (C-type) و لامپروفیری

دگرسانی‌های فراوان در جنوب آن و گسل‌های فعال و فراوانی که وجود دارند، حاکی از این است که توده مغناطیسی شمال محدوده، توده‌ای است که در عمق‌های بسیار زیاد بخشی از توده آذرینی سبلان است که در ارتفاعات، ادامه فراسو این توده مغناطیسی، خود را به جنوب محدوده یعنی سبلان متمایل می‌کند. این محدوده از نظر کانی‌سازی مواد معدنی، بسیار فعال و ارزشمند است.

به‌طور خلاصه، در شمال محدوده مشکین‌شهر زون دگرسانی کائولینیتی شدن و در شمال غربی محدوده، دگرسانی آرژیلیتی شدن وجود دارد که کانی‌های مهم زون آرژیلیتی عبارتند از: کائولینیت، دیکیت، دیاسپور، پروفیلیت، سرسیت، کوارتز و توپاز. هیدرولیز شدید سیلیکات‌های آلومینیوم‌دار (محیط اسیدی)، موجب تشکیل کانی‌های رسی از جمله کائولینیت می‌شود. کانی‌های ایجاد شده در زون آرژیلیتی پیشرفته به شدت هیدرولیز، دمای محلول و ترکیب کانی‌شناسی سنگ اولیه بستگی دارد و اغلب بین دمای ۲۷۰ درجه سلسیوس تا ۳۷۰ درجه سلسیوس پیروفیلیت در دمای بیش از ۳۷۰ درجه سلسیوس آندالوزیت تشکیل می‌شود. در شمال محدوده دگرسانی‌شده کائولینیتی، دگرسانی سیلیسی نیز وجود دارد که معادن فعال سیلیس نیز در همان محل آن را تأیید می‌کند، افزایش مقدار درصد کوارتز و اکسیدهای سیلیس (چرت، اوپال و کلسدون) را که در اثر اضافه شدن  $SiO_2$  به سنگ توسط محلول‌های ماگمایی یا گرمایی ایجاد می‌شود. محلول‌های ماگمایی غنی از سیلیس در شرایط مناسب سیلیس خود را برجای می‌گذارند عوامل مهم و مؤثر در ته‌نشینی سیلیس کاهش فشار، حرارت و PH محلول است. مطالعات انجام‌شده توسط فورنیر (۱۹۶۶) در مورد چشمه‌های آبگرم نشان می‌دهد که درصد سیلیس آن در دمای بیش از ۲۷۵ درجه سلسیوس قابل توجه است. دگرسانی سیلیسی در کانسارهای مولیبدن و قلع پورفیری تشکیل می‌شود. در بیشتر کانسارهای گرمایی زون سیلیسی یافت می‌شود. این حالت در ذخایر

- T.W., Anderson, T.W. & Mathématicien, E.U., 1958, An introduction to multivariate statistical analysis (Vol. 2, pp. 5-3). New York: Wiley.
- Arkani-Hamed, J. & Urquhart, W.E.S., 1990, Reduction to pole of the North American magnetic anomalie, *Geophysics*, 55 (2), 218-225.
- Bishop, J.R. & Lewis, R.J.G., 1992, Geophysical signatures of Australian volcanic hosted Massive Sulfide deposits, *Economic Geology*, N 87, 913-930.
- Blakely, R. J., 1996, Potential Theory in Gravity and Magnetic Application, Cambridge University Press, Cambridge, UK, p. 441.
- Emami, M.H., 1994, 1:100,000 geological map of Iran, Sheet 5566, Ministry of Mines and Metals, Geological Survey of Iran, Tehran.
- ENEL, 1983, Geothermal Power Development Studies in Iran, General Report on Sabalan Zone. Ente Nazionale per l'Energia Elettrica (Italy) report to the Ministry of Energy, Islamic Republic of Iran, Tehran, 220 pp.
- Fanaee Kheirabad, G.A. & Oskooi, B., 2011, Magnetotelluric interpretation of the Sabalan geothermal field in the northwest of Iran, *Journal of the Earth and Space Physics*, 37, 1-11.
- Friedman, J., Hastie, T. & Tibshirani, R., 2001, The elements of statistical learning (Vol. 1, pp. 337-387), New York: Springer series in statistics.
- Ganiyu, S. A., Badmus, B. S., Awoyemi, M.O., Akinyemi, O. D., & Olurin, O. T., 2013, Upward continuation and reduction to pole process on aeromagnetic data of Ibadan area, South-Western Nigeria, *Earth Science Research*, 2, 66-73.
- Gupta, H.K. & Roy, S., 2003, geothermal energy: an alternative resource for the 21st century, First edition, Elsevier, 279 P.
- Gunn, P. J., Madment, D., & Miligan, P.R., 1997, Interpretation of aeromagnetic data in area of limited outcrop, *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, 17(2), 175-185.
- پس از برخورد در توده خانکندی، ارسباران (شمال باختر ایران)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، فصلنامه علوم زمین، شماره ۷۸، ص ۱۷۳-۱۸۹.
- حیدری، م.، ۱۳۹۲، پتروگرافی، کانی‌سازی، ژئوشیمی، مغناطیس‌سنجی محدوده تپه قرمز، معدن سنگ آهن سنگان خواف: پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۵۹ صفحه.
- سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده، WWW.USGS.GOV
- سایت سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، WWW.GSI.IR
- شهری، م. ر.، ۱۳۸۴، مبانی اکتشافات ژئوفیزیک، دانشگاه فردوسی مشهد.
- نجفیان، ط.، ۱۳۹۱، نقشه برداری از کانی‌های مناطق دگرسان شده منطقه سرچشمه استان کرمان با استفاده از داده‌های چندطیفی و ابر طیفی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن، گرایش اکتشاف، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- نجفیان، ط.، رنجبر، ح. و فتحیان پور، ن.، ۱۳۹۰، بررسی قدرت تفکیک آلتراسیون‌های مرتبط با کانسارهای مس پورفیری با استفاده از تجمع طیفی داده‌های ASTER, ALI اولین کنگره‌ی جهانی مس، تهران، صفحات.
- یعقوب‌پور، ع. م.، مبانی زمین‌شناسی اقتصادی، مرکز نشر دانشگاهی، ۲۶۶ ۱۳۶۶ص.
- Adams, J.B., Smith, M.O. & Johnson, P.E., 1986, Spectral mixture modeling: A new analysis of rock and soil types at the Viking Lander 1 site, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 91(B8), pp.8098-8112.
- Amidi, M., 1978, 1:250,000 geological quadrangle map of Iran: Ahar. Ministry of Mines and Metals, Geological Survey of Iran, Tehran.
- Anderson, T.W., Anderson, T.W., Anderson,

- Hsu, S. K., Coppens, D. & Shyu, C. T., 1998, Depth to magnetic source using the generalized analytic signal, *Geophysics*, **63**, 1947-1957.
- Jahangiri, A., 2007, **Post-collisional Miocene adakitic volcanism in NW Iran: Geochemical and geodynamic implication**, *Journal of Asian Earth Sciences*, **30**, 433-447.
- Jamali, H., Dilek Y., Daliran F., Yaghubpur A.M. & Mehrabi B., 2009, **Metallogeny and tectonic evolution of the Cenozoic Ahar-Arasbaran volcanic belt, northern Iran-International geology review**, ifirst article, 2009, 1-23.
- Jolliffe, I.T., 2002, **Principal components as a small number of interpretable variables: some examples**, *Principal Component Analysis*, pp.63-77.
- KML, 1998, Sabalan geothermal project, Stage 1—Surface exploration, final exploration report, **Kingston Morrison Limited Co., report 2505-RPT-GE-003 for the Renewable Energy Organization of Iran, Tehran, 83 pp.**
- Kruse, F.A., Boardman, J.W. & Huntington, J.F., 2003, Comparison of airborne hyperspectral data and EO-1 Hyperion for mineral mapping, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **41(6)**, pp.1388-1400.
- Kruse, F.A., Lefkoff, A.B., Boardman, J.W., Heidebrecht, K.B., Shapiro, A.T., Barloon, P.J. & Goetz, A.F.H., 1993, The spectral image processing system (SIPS)—interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data, *Remote sensing of environment*, **44(2-3)**, pp.145-163.
- Manouchehri, M., 1989, 1:250,000 Geological quadrangle map of Iran, **Tabriz-Poldasht No. B1 & B2. Ministry of Mines and Metals, Geological Survey of Iran, Tehran.**
- Newsuparp, K., Charusiri, P. & Meyers, J., 2005, New processing of airborne magnetic and electromagnetic data and interpretation for subsurface structures in the Loei Area, Northeastern Thailand, *ScienceAsia* **65**, 546-56.
- Nejad, J.E., 1987, 1:250,000 scale geological quadrangle map of Iran, **NO D2 Ardabil. Ministry of Mines and Metals, Geological Survey of Iran, Tehran.**
- Oskooi, B., Mohammadi, B. & Mirzaei, M., 2014, A Study on the Geothermal Reservoirs in Mahallat Area, Markazi Province by 1D and 2D Inversion of the Magnetotelluric Data, *Iran Geophysics Magazine*, **8 (2)**, 10-25.
- Omrani, J., Agard, Ph., Whitechurch, H., Benoid, M., Prouteau, G. & Jolivet, L., 2008, **Arc-Magmatism and subduction history beneath the Zagros Mountain**, Iran: A new report of adakites and geodynamic consequences, *Lithos* **106**, 380-398.
- Paterson, N. R. & Reeves, C.V., 1985, Applications of gravity and magnetic,
- Pearson, K., 1901, LIII. On lines and planes of closest fit to systems of points in space, *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, **2(11)**, pp.559-572.
- Ranjbar, H., Honarmand, M. & Moezifar, Z., 2004, Application of the Crosta technique for porphyry copper alteration mapping, using ETM+ data in the southern part of the Iranian volcanic sedimentary belt, *Journal of Asian Earth Sciences*, **24(2)**, pp.237-243.
- Richards, J.A. and Richards, J.A., 1999, Remote sensing digital image analysis (Vol. 3), **Berlin et al.: Springer.**
- Sabins, F.F., 1999, Remote sensing for mineral exploration, *Ore Geology Reviews*, **14(3-4)**, pp.157-183.
- Saibi, H., Nishijima, J., Hirano, T., Fujimitsu, Y. & Ehara, S., 2008, Relation Between Structure and Low Temperature Geothermal System in Fukuoka City, Southwestern Japan, *Earth Planets Space*, **60**, 821-826.
- Salati, E., Shahri, M.H., Karimpour, M.H. & Moradi, M., 2008, Ground Magnetic Survey for Exploration of Massive Sulfide in Northeast Iran, *Journal of applied Sciences*, **8(22)**, pp.4051-4060.
- Siemon, B., 2001, Improved and new resistivity — depth profiles for helicopter

- electromagnetic data, **Journal of Applied Geophysics**, No. 4.
- SKM (Sinclair Knight Merz), 2003**, Northwest Sabalan geothermal project, MT survey reanalysis, **Report submitted to SUNA. (12 P).**
- SKM (Sinclair Knight Merz), 2005**, Resource review of the Northwest Sabalan geothermal project, **Report submitted to SUNA. (61 P).**
- Surveys: The state of the art in 1985, Geophysics, 50, 2558-2594.**
- Tarlowski, C., Gunn, P.J. & Mackey, T., 1997**, Enhancements of the magnetic map of Australia, *AGSO Journal of Australia Geology and Geophysics*, **17 (2), 77-82.**
- TBCE, 1979**, Geothermal power development studies, Sabalan zone. **Tehran Berkeley Consulting Engineers, report to the Ministry of Energy, Islamic Republic of Iran, Tehran, 950 pp.**
- Van der Meer, F. & De Jong, S., 2003**, Imaging Spectrometry. Basic Principles and Prospective Applications, **4. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/ Boston/ London, 35 p.**



## Mineralization potential and integration of airborne magnetometric geophysical data data and EO-1, ASTER ester and Landsat-7 ETM + hyperspectral satellite data (Sheet 1: 100,000 Meshkinshahr)

Mojarad, S.<sup>1\*</sup>, Nejati kalate, A.<sup>2</sup>, Aghajani, H.<sup>2</sup>

1- M.Sc. Graduated, Department of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

2- Assistant Professor, Department of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

### Abstract

In this study, processing and interpretation methods in remote sensing such as visual and spectral analysis have been performed on the EO-1, ASTER and ETM+ data from Meshkinshahr North area, and as a result, the alteration zones in the area have been identified. Then result Aeromagnetic data, using geological information, alteration and mineralization from the area. Development of advanced tools in remote sensing and geophysical exploration during recent decades indicates the necessity and importance of these tools in industry. For this purpose, a variety of image processing methods are used Aeromagnetic methods have an important role for exploration of metallic ore deposits. To achieve good results from these methods. In order to identify alteration zones, image processing methods such as PCA (principal component analysis), SAM (spectral angle mapping) and MTMF (Matched Filtering MF) using ENVI software were applied on the Hyperion EO-1, ASTER and ETM+ images from the study area. After removal of the noise from observed magnetic data, processing steps were considered, including IGRF subtraction for the proper years, reduction to pole, Signal Analytic, Tilt (TDR), THDR, and upward continuation 1000 meters. Identification of alteration zones in the study area using remote sensing and image processing methods, and interpretation of the geophysical Aeromagnetic results using geological and Mineralization and Hot Springs and Faults information in the area have been led to the identification of Alteration zone. Many Anomaly and Alterations Kaolinite and silica located in the Meshkinshahr north area (northwest Sabalan) and the other many situated in the northwest Sarab. For credibility of results, samples were taken and analyzed by XRD methods. Confirmed the results of remote sensing and aeromagnetic processes. Conclusions of this research revealed that applying concurrency both the remote sensing and aeromagnetic data could be led to improve the precision of the results.

**Keywords:** Hyperspectral, Aster, Spectral Angle Mapping, Alteration, Magnetometric, Tilt Angle