

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/326589536>

# Using Mixture Tuned Matched Filtering for mapping lithology and alteration in north of Arian–Shahr (Southern Khorasan)

Conference Paper · September 2017

CITATIONS

0

READS

42

1 author:



[Aliyeh Seifi](#)

9 PUBLICATIONS 13 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



استفاده از روش پالایش تطبیقی تنظیم شده آمیخته برای نقشه برداری سنگشناسی و

دگرسانی در شمال آراین شهر (خراسان جنوبی)

عالیه سیفی\*

دانش آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور زمین شناختی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری

پیشرفته کرمان، [seifi.aliyeh@yahoo.com](mailto:seifi.aliyeh@yahoo.com)

#### چکیده

سنجش از دور با تهیه اطلاعات بازتابی و گسیلشی مواد زمینی از طریق ثبت انرژی الکترومغناطیس ابزار مفیدی برای بررسی مواد زمینی و اکتشافات معدنی فراهم می‌کند. از ابزار دورسنجی چندطیفی پرکاربرد در زمینه شناسایی مواد زمینی تصویربردار استر و ماهواره لندست است. در این تحقیق با استفاده از تصاویر استر و لندست ۸ واحدهای سنگشناسی و دگرسانی شمال آراین شهر (خراسان جنوبی) نقشه‌برداری شده است. پس از انجام تصحیحات لازم بر روی تصاویر، از تصاویر مورد استفاده طیف خالص (اعضای انتهایی) استخراج و در روش پالایش تطبیقی تنظیم شده آمیخته (MTMF) بکار رفت. تصاویر حاصل از MTMF واحدهای سنگی رسوبی و آذرین را تفکیک نمودند. همچنین مناطق دارای کانیهای ثانویه مانند ایلیت، مسکویت و کائولینیت در سنگهای رسوبی و آذرین منطقه بارزسازی شدند. نتایج نشان داد MTMF یک روش موثر و قوی در نقشه‌برداری واحدهای سنگشناسی و دگرسانی است. کلیدواژه: پالایش تطبیقی تنظیم شده آمیخته، استر، لندست ۸، نقشه‌برداری سنگشناسی، آراین شهر.

### **Using Mixture Tuned Matched Filtering for mapping lithology and alteration in north of Arian-Shahr (Southern Khorasan)**

Aliyeh Seifi

Msc. in geological remote sensing, Graduate University of Advanced Technology, Kerman,

[seifi.aliyeh@yahoo.com](mailto:seifi.aliyeh@yahoo.com)

#### Abstract

Remote sensing provides efficient tools for investigation of ground materials and ore exploration by preparation of reflectance and emissivity data of surface materials with recording electromagnetic energy. ASTER and Landsat images are useful multispectral instruments of remote sensing in order to identify materials on the earth surface. At the present research, lithology and alteration zones have been mapped using ASTER and Landsat 8 images. After preprocessing on the images, the purest spectra (End-member) extracted from the images and the spectra used in Mixture Tuned Matched Filtering (MTMF) technique. The results images of MTMF segregated igneous and sedimentary rocks. Moreover, secondary minerals (illite, muscovite, and kaolinite) bearing areas were detected at the sedimentary and igneous rocks in the area. The results showed that MTMF is an effective and powerful technique for mapping lithology and alteration zones.

Key words: Mixture Tuned Matched Filtering, ASTER, Landsat 8, lithological mapping, Arian-Shahr.



## مقدمه

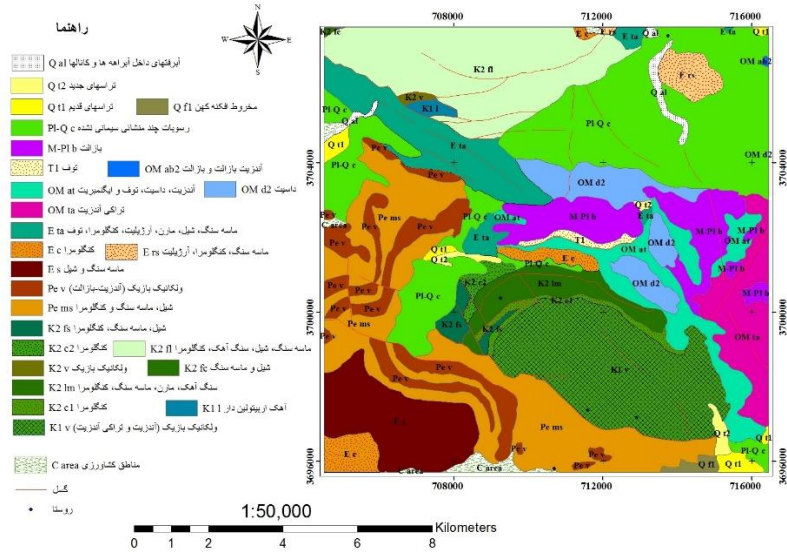
شرق ایران بواسطه وقوع پدیده فرورانش در گذشته و به دنبال آن ماگماتیسم گسترده کالک آلکالن پتانسیل بسیار مناسبی برای تشکیل ذخایر معدنی دارد. ماگماتیسم گسترده کالک آلکالن تا آلکالن محیط مناسبی برای تشکیل ذخایر مس پورفیری و طلائی اپی ترمال ایجاد کرده است. اکتشافات معدنی معمولاً با کمک داده‌های زمین‌شناسی، ژئوفیزیک، ژئوشیمی و سنجش از دور امکان‌پذیر می‌باشد. در این میان، علم سنجش از دور به دلیل دید وسیع و یکپارچه، ثبت خصوصیات پدیده‌ها در قسمتهای مختلف طیف الکترومغناطیس و قابلیت قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسب بعنوان یک روش موثر و جدید جهت کاهش هزینه و زمان مربوط به فعالیتهای اکتشافی معادن معرفی می‌گردد. ابزارهای دورسنجی ابرطیفی و چندطیفی برای اهداف اکتشافی مورد استفاده قرار گرفته اند (کره‌ای و همکاران، ۱۳۹۳؛ حسینجانی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۴a). از ابزارهای دورسنجی چندطیفی، سنجنده استر به دلیل دارا بودن ۶ باند در محدوده فرورسرخ موج کوتاه (محدوده جذبی بنیان Al-OH در کانیه‌های رسی) و ۵ باند در محدوده فرورسرخ حرارتی (محدوده حداکثر گسیلش سیلیس) برای نقشه‌برداری اکتشافی استفاده شده است (ملک‌زاده شفاوردی و همکاران، ۲۰۰۹؛ ملک‌زاده شفاوردی و کریم‌پور، ۲۰۱۳؛ حسینجانی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۴b). همچنین سری ماهواره‌های لندست با داشتن باندهای متعدد در محدوده مرئی-فرورسرخ نزدیک برای شناسایی کانیه‌های ثانویه آهن (هماتیت، گوتیت و ژاروسیت) در گوسانه‌ها استفاده گردیده است (رنجبر و همکاران، ۲۰۰۴). مطالعات اکتشافی در استان خراسان جنوبی در شهرستانهای فردوس و بیرجند با استفاده از ابزارهای دورسنجی مذکور انجام گرفته است. در این مطالعات از تکنیکهای پردازش تصویر مانند SAM، MF، LS-Fit و نسبت بانندی برای شناسایی و تفکیک دگرسانیها استفاده شده است (ملک‌زاده شفاوردی و همکاران، ۲۰۰۹؛ ملک‌زاده شفاوردی و کریم‌پور، ۲۰۱۳؛ صفری، ۱۳۹۴).

منطقه مورد مطالعه در شمال آراین شهر (خراسان جنوبی) و در نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ روم قرار گرفته است. این منطقه که در مرز بین دو پهنه ساختاری سیستان و لوت واقع شده است، دارای واحدهای آذرین و رسوبی متعلق به کرتاسه و ترشیری می‌باشد. مطالعات زمین‌شناسی به منظور بررسی‌های پترولوژی، ژئوشیمی و تکتونیک در منطقه مورد مطالعه صورت پذیرفته است (فلاحی، ۱۳۹۰؛ جلیلیان، ۱۳۹۱). با وجود این، مطالعات دورسنجی قابل توجهی برای نقشه‌برداری سنگ‌شناختی و دگرسانی در این منطقه صورت نگرفته است. در این تحقیق، واحدهای سنگی و دگرسانیهای منطقه شناسایی می‌شوند. بدین منظور از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده OLI لندست ۸ و سنجنده استر و روش پردازش تصویر زیرپیکسلی پالایش تطبیقی تنظیم شده آمیخته (MTMF) استفاده می‌گردد.

## زمین‌شناسی

براساس نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ روم قدیمی‌ترین واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه متعلق به کرتاسه هستند. این واحدها شامل ولکانیکهای آذرین بازیک و واحدهای رسوبی می‌باشند. ولکانیکهای بازیک کرتاسه عمدتاً آندزیت، تراکی آندزیت و آندزیت بازالت بوده و واحدهای رسوبی کرتاسه عمدتاً شیل، ماسه سنگ، کنگلومرا، سنگ آهک و مارن هستند. واحدهای سنگی منسوب به پالئوسن و ائوسن بطور عمده مرکب از کنگلومرا، ماسه سنگ، شیل، مارن، آرژیلیت و توف می‌باشند. گرچه واحد ولکانیکی با ترکیب آندزیت-بازالت متعلق به پالئوسن در منطقه مشاهده می‌گردد. فعالیتهای ماگمایی شدید که در نئوژن رخ داده‌اند باعث ایجاد سنگهای ولکانیکی گسترده در طی میوسن و الیگومیوسن شده‌اند. ترکیب سنگ‌شناسی این واحدهای ولکانیکی شامل بازالت، آندزیت-بازالت، آندزیت، تراکی آندزیت، داسیت، توف و ایگنمبریت می‌باشد. از کانیه‌های ثانویه موجود در سنگهای آذرین منسوب به کرتاسه و پالئوسن می‌توان کلسیت، اپیدوت، کلریت، سرپانتین، سریسیت و سایر کانیه‌های رسی را نام برد که در اثر هوازدگی پیروکسن‌ها (عمدتاً اوژیت) و پلاژیوکلازها (آندزین تا لابرادور) تشکیل شده‌اند. بعلاوه در سنگهای آذرین متعلق به الیگومیوسن

اکسیدهای آهن اپاک (مگنتیت)، به دلیل هوازگی الیوین، آمفیبول و پیروکسن (اوژیت)، وجود دارند (شکل ۱) (شهیدی و همکاران، ۱۳۷۸).



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.

### روش مطالعه

در این تحقیق تصاویر استر و لندست به منظور انجام بارزسازی مواد زمینی مورد استفاده قرار گرفتند. تصویر استر دارای ۳ باند در محدوده مرئی و فرورسرخ نزدیک با تفکیک مکانی ۱۵ متر، ۶ باند در محدوده فرورسرخ موج کوتاه با تفکیک مکانی ۳۰ متر و ۵ باند در محدوده فرورسرخ حرارتی با تفکیک مکانی ۹۰ متر است. نقص سنجنده فرورسرخ موج کوتاه به دلیل حرارت خیلی بالای آشکارساز آن، اطلاعات محدوده طیفی فرورسرخ موج کوتاه را از ۱ آوریل ۲۰۰۸ غیرقابل استفاده کرده است (راهنمای کاربر محصول استر سطح ۱، ۲۰۱۵). تصویر استر سطح 1t با تاریخ تصویربرداری ۲۶ ژوئن ۲۰۰۷ و همچنین تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ سطح 1t با تاریخ تصویربرداری ۲۵ ژوئن ۲۰۱۳ از سایت زمین‌شناسی آمریکا (USGS) اخذ گردید. ماهواره لندست ۸ دارای دو سنجنده OLI و حرارتی می‌باشد. سنجنده OLI اطلاعات ۳۰ متری را در ۸ باند طیفی برای محدوده‌های مرئی، فرورسرخ نزدیک و فرورسرخ موج کوتاه و اطلاعات ۱۵ متری را برای باند پانکرماتیک جمع آوری می‌کند (کتابچه کاربر اطلاعات لندست ۸، ۲۰۱۶).

پس از اخذ تصاویر ماهواره‌ای می‌بایست نطفه‌های موجود در مقادیر عددی پیکسهای تصاویر کاهش یافته یا از بین بروند. بدین منظور با اعمال تصحیح جوی سریع خط دید تصاویر ابرطیفی (FLAASH) در محیط نرم افزار ENVI 5.3، تاثیرات جوی روی پیکسلهای تصویر حذف و تصاویر رادیانس به تصاویر طیف بازتابی از سطح زمین تبدیل شدند (راهنمای کاربر مدول FLAASH، ۲۰۰۸). بعلاوه برای پیش‌پردازش تصاویر حرارتی ابتدا با استفاده از تصحیح اتمسفری حرارتی تاثیرات اتمسفری از اطلاعات رادیانس فرورسرخ حرارتی حذف و سپس با کمک نرم‌ساز گسیلش ارزشهای دمایی و گسیلشی از اطلاعات رادیانس فرورسرخ حرارتی محاسبه گردید (راهنمای کاربر ENVI، ۲۰۰۴).

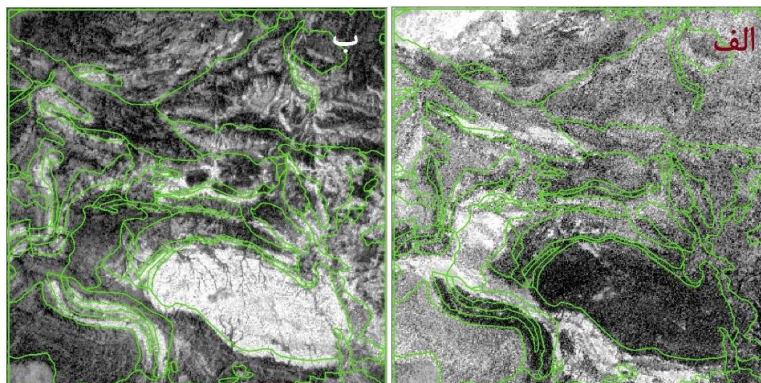
در مرحله پردازش تصویر ابتدا طیف خالص (اعضای انتهایی) از تصاویر استر و لندست ۸ استخراج گردید. برای استخراج طیف خالص از پیکسلهای تصاویر، در مرحله اول، با استفاده از روش انتقال کسر حداقل نوفه (MNF) ابعاد اصلی اطلاعات تصویر تعیین شد تا نوفه موجود در اطلاعات جداسازی شده و نیازهای محاسباتی برای پردازش بعدی کاهش یابد. سپس با استفاده از معکوس MNF از محدوده‌های مورد نظر طیف ذخیره گردید. در مرحله بعد، به منظور جداسازی خالص‌ترین پیکسلها در تصاویر چندطیفی استر و لندست ۸ از روشهای شاخص خلوص پیکسل (PPI) و تجسم عضو انتهایی در محیط n بعدی (n-D Visualizer) استفاده شد. طیفهای خالص جداسازی شده در مرحله

تجسم عضو انتهایی در محیط n بعدی برای انجام روش پالایش تطبیقی تنظیم شده آمیخته (MTMF) بکار رفت. MTMF در واقع یک روش طیفی زیرپیکسلی است. نتایج این روش بصورت تصاویر پالایش تطبیقی (MF) و امکان ناپذیری (Infeasibility) می باشد. تصویر MF میزان نسبی تطبیق طیف تصویر با طیف مرجع و فراوانی تقریبی زیرپیکسل را تعیین می کند. تصویر Infeasibility نیز میزان نوفه (پاسخهای مثبت کاذب در پیکسلهای تصویر) در نتایج حاصل را نشان میدهد (راهنمای کاربر ENVI، ۲۰۰۴). در این تحقیق به منظور کاهش نوفه در تصاویر نهایی، تصاویر MF و Infeasibility در نسبت باندهای قرار گرفتند. در مرحله نهایی، نتایج پردازش تصاویر استر و لندست ۸ توسط نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه ارزیابی شدند.

### بحث

از مقایسه طیفهای خالص استخراج شده از تصاویر استر و لندست با طیفهای موجود در کتابخانه های طیفی نرم افزار ENVI، کانیها و سنگهای متعددی شناسایی شدند. طیفهای استخراج شده از ۹ باند محدوده های مرئی-فروسرخ نزدیک و فروسرخ موج کوتاه تصویر استر، بعنوان کانیهای رسی از قبیل ایلیت، کائولینیت و مسکویت تعیین شدند. از طیفهای ۷ باند سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ کانیهای آلونیت، کائولینیت، ایلیت، مونتموریلونیت و کوارتز شناسایی شدند. از طیفهای استخراج شده از باندهای محدوده حرارتی برای تشخیص سنگها و کانیهایی که در این محدوده گسیلش دارند، استفاده گردید. کانیهای مشخص شده از باندهای حرارتی سنجنده استر شامل آلبیت، ارتوکلاز، الیون، سانیدین، زوئیزیت، لابرادوریت، اوژیت، آلونیت، مونتموریلونیت می باشند. لازم به ذکر است، از میان کانیهای شناسایی شده توسط باندهای متعدد سنجنده استر و OLI، کانیهای الیون، اوژیت، لابرادوریت (پلاژیوکلاز)، ارتوکلاز، کوارتز، آلبیت و کانیهای رسی شناسایی و گزارش شده اند (شهیدی و همکاران، ۱۳۷۸؛ فلاحی، ۱۳۹۰). سنگهای ماسه سنگ، سیلت سنگ، شیل، سنگ آهک، آندزیت بازالت، آندزیت، بازالت، دیوریت و گابرو در طیفهای استخراج شده از باندهای حرارتی شناسایی شدند. در میان سنگهای شناسایی شده، ماسه سنگ، شیل، سنگ آهک، آندزیت بازالت، آندزیت، بازالت توسط شهیدی و همکاران (۱۳۷۸) در گزارش نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ روم آورده شده اند. فلاحی (۱۳۹۰) نیز وجود دیوریت پورفیری در منطقه را بیان نموده است.

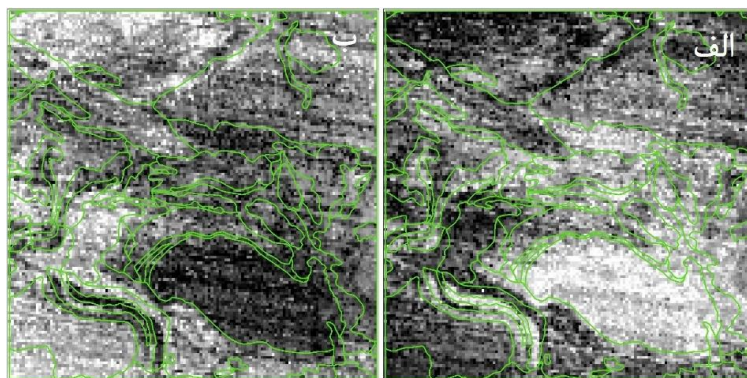
تصاویر MF حاصل از اجرای روش MTMF توسط ۹ باند محدوده های VNIR و SWIR سنجنده استر، کانیهای رسی موجود در سنگهای رسوبی و آذرین را بارز نمودند. در واقع شرط بارزسازی در این تصاویر وجود کانیهای رسی بوده است. بطوریکه واحدهای سنگی ماسه سنگ، شیل، مارن، آرژیلیت، کنگلومرا، توف و رسوبات سیمانی نشده به همراه واحدهای ولکانیک آندزیت بازالت، آندزیت و تراکی آندزیت که دارای کانیهای ثانویه هستند، در یک تصویر MF مشخص شده اند.



شکل ۲: نتایج حاصل از اجرای روش MTMF توسط ۹ باند محدوده های VNIR و SWIR سنجنده استر.

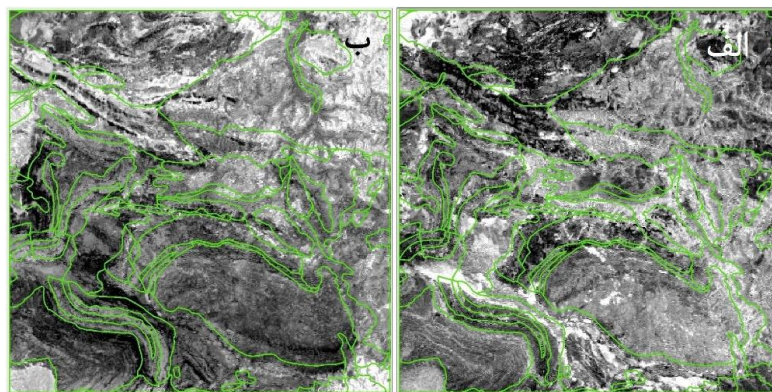
مناطق بارز شده با واحدهای رسوبی  $K_2^{fl}$ ,  $Pe^{ms}$ ,  $E^{ta}$ ,  $Pl-Q^c$  و واحدهای آذرین  $K_1^v$  و  $Pe^v$  در نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ روم مطابقت دارند (شکل ۲ الف). بعلاوه تصویر MF دیگر فقط سنگهای آذرین دارای کانیه‌های ثانویه از قبیل واحدهای آندزیت-بازالت ( $Pe^v$ )، آندزیت و تراکی آندزیت ( $K_1^v$  و  $OM^{ta}$ )، بازالت ( $M-Pl^b$ ) و توف (T1) را بارز کرده‌اند که وجود کانیه‌های ثانویه در این واحدها توسط شهیدی و همکاران (۱۳۷۸) و فلاحی (۱۳۹۰) گزارش شده‌اند (شکل ۲ ب).

تصاویر MF حاصل از اجرای MTMF توسط ۵ باند حرارتی سنجنده استر، واحدهای سنگی رسوبی و آذرین را تفکیک نموده است. در نتایج حاصل، سنگهای آذرین مانند آندزیت بازالت، آندزیت، تراکی آندزیت، بازالت و توف در یک تصویر MF (شکل ۳ الف) و سنگهای رسوبی از قبیل شیل، ماسه‌سنگ، سنگ آهک، کنگلومرا و رسوبات سیمانی نشده در تصویر MF دیگر (شکل ۳ ب) بارز شدند. سنگهای آذرین بارز شده در روش MTMF با واحدهای سنگی  $K_1^v$ ,  $Pe^v$ ,  $OM^{at}$ ,  $OM^d$ ,  $OM^{ta}$  و سنگهای رسوبی با واحدهای  $K_2^{fl}$ ,  $E^c$ ,  $E^s$  و  $Pl-Q^c$  در نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ روم هماهنگی دارند.



شکل ۳: نتایج حاصل از اجرای MTMF توسط ۵ باند حرارتی سنجنده استر.

نتایج اجرای MTMF توسط ۷ باند سنجنده OLI ماهواره لندست در بعضی تصاویر MF، مشابه با ۹ باند استر، کانیه‌های رسی موجود در سنگهای مختلف آذرین و رسوبی آشکار نمودند. برای مثال سنگهای آذرین آندزیت-بازالت ( $Pe^v$ )، آندزیت و تراکی آندزیت ( $K_1^v$ )، که دارای کانیه‌های ثانویه هستند، و سنگهای رسوبی در یک تصویر MF مشخص شده‌اند (شکل ۴ الف). بعضی تصاویر MF دیگر، همانند باندهای حرارتی سنجنده استر، فقط سنگهای خاص اعم از آذرین و رسوبی بارز و واحدهای رسوبی و آذرین را تفکیک کردند. بگونه‌ای که سنگهای آذرین در یک تصویر MF، سنگهای رسوبی در تصویر MF دیگر بارزسازی شدند. شکل ۴ ب تصویری را نشان میدهد که رسوبات کواترنری اعم از رسوبات مخروط افکنه‌ها ( $Q^{fl}$ ) و تراسهای آبرفتی ( $Q^{tl}$ ) و سنگهای رسوبی منسوب به کرتاسه ( $K_2^{fl}$ )، پالئوسن ( $Pl-Q^c$ ) و ائوسن ( $E^{ts}$  و  $E^{ta}$ ) را بارز کرده است.



شکل ۴: نتایج اجرای MTMF توسط ۷ باند سنجنده OLI ماهواره لندست.



### نتیجه گیری

طیفهای خالص استخراج شده از تصاویر دارای شباهت بسیار زیادی با طیفهای موجود در کتابخانههای طیفی بودند بطوریکه استفاده از آنها در روش MTMF منجر به بارزسازی و تفکیک واحدهای سنگی شد. لازم به ذکر است روش MTMF یک روش خوب و موثر برای شناسایی مواد زمینی مخصوصاً تفکیک واحدهای سنگشناسی می باشد. نتایج اجرای MTMF توسط ۹ باند استر کانیهی رسی موجود واحدهای رسوبی و آذرین دارای کانیهی ثانویه را بارز نمودند. نتایج اجرای MTMF توسط باندهای محدوده حرارتی استر واحدهای سنگی رسوبی و آذرین را تفکیک نموده ولی قادر به تفکیک واحدهای مختلف آذرین و یا رسوبی از یکدیگر نبود. سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ با وجود اینکه تعداد باند کمتری در محدوده فرورسرخ موج کوتاه نسبت به استر داشته و همچنین در محدوده حرارتی دارای باند نمی باشد، در شناسایی واحدهای دارای کانیهی رسی و تفکیک واحدهای رسوبی و آذرین توسط روش MTMF موفق بود.

### منابع

- جلیلیان، ح.، ۱۳۹۱، تحلیل ساختاری چین خوردگیهای شمال آراین شهر (خراسان جنوبی)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند.
- شهیدی، ع.، بهار فیروزی، خ.، شفیع، ا.، ۱۳۷۸، گزارش زمین شناسی نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ روم، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- صفری م.، ۱۳۹۴، مطالعات دورسنجی جهت تفکیک نواحی دگرسانی در برگه ۱/۵۰۰۰۰ فردوس (خراسان جنوبی)، سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین، تهران، ایران.
- فلاحی، ح.، ۱۳۹۰، پترولوژی و ژئوشیمی مجموعه ولکانیکی شمال آراین شهر، خراسان جنوبی، شرق ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند.
- Department of the Interior U.S. Geological Survey, 2015, Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Level 1 Precision Terrain Corrected Registered At-Sensor Radiance Product (AST\_L1T), AST\_L1T Product User's Guide, Version 1.0, pp.74.
- Department of the Interior U.S. Geological Survey, 2016, Landsat 8 (L8) Data Users Handbook, Version 2.0, pp.106.
- Hosseinjani Zadeh, M., Tangestani, M. H., Velasco Roldan, F., Yusta, I., 2014b, Mineral Exploration and Alteration Zone Mapping Using Mixture Tuned Matched Filtering Approach on ASTER Data at the Central Part of Dehaj-Sarduiyeh Copper Belt, SE Iran. IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing, 7, 284-289.
- Hosseinjani Zadeh, M., Tangestani, M. H., Roldan, F. V., Yusta, I., 2014a, Sub-pixel mineral mapping of a porphyry copper belt using EO-1 Hyperion data, Advances in Space Research, 53, 440-451.
- ITT Visual Information Solutions, 2008, FLAASH Module User's Guide, FLAASH Module Version 4.5, pp.42.
- Malekzadeh Shafaroudi, A., Karimpour, M. H., 2013, Hydrothermal Alteration Mapping in Northern Khur, Iran, Using ASTER Image Processing: a New Insight to the Type of Copper Mineralization, ACTA GEOLOGICA SINICA (English Edition), Vol. 87, No. 3, pp. 830-842.
- Malekzadeh Shafaroudi, A., Karimpour, M. H., Stern, C. R., Mazaheri, S. A., 2009, Hydrothermal Alteration Mapping in SW Birjand, Iran, Using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Image Processing, Journal of Applied Science 9 (5): 829-842.
- Ranjbar, H., Honarmand, M., Moezifar, Z., 2004, Application of the Crosta technique for porphyry copper alteration mapping, using ETM<sup>+</sup> data in the southern part of the Iranian volcanic sedimentary belt, Journal of Asian Earth Sciences, 24, 237-243.
- Research Systems Inc., 2004, ENVI User's Guide, ENVI Version 4.1, pp.1150