

مقایسه روش‌های پیکسل مبنا و زیرپیکسل مبنا در شناسایی و استخراج زون‌های دگرسانی با استفاده از داده‌های ASTER

احمد نوحه‌گر^۱، مرضیه بداغی^{۲*}، محمد کاظمی^۳، علیرضا کمالی^۴

۱- استاد دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه هرمزگان

۳- دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشگاه هرمزگان

۴- کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، اداره کل منابع طبیعی استان هرمزگان

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱۰/۱۶

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۳/۷/۲۴

چکیده

مطالعات اولیه اکتشاف که شامل پتانسیل سنجی مناطق می‌باشد، نقش چشمگیری در استفاده‌ی بهینه از امکانات، به منظور اکتشاف کانسارها خواهد داشت. در رسیدن به اهداف فوق، روش‌های مختلف تجزیه مواد معدنی، روش‌های ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی و فرآوری مواد انجام می‌گیرد. همچنین در سال‌های اخیر استفاده از فنون سنجش از دور کمک قابل توجهی در پیشبرد این اهداف داشته است. استفاده از این فنون به دلیل داشتن داده‌هایی با دید وسیع و یکپارچه و محدوده طول موجی مختلف، یکی از بهترین روش‌ها در پی‌جویی کانسارها می‌باشد. این فن‌آوری، کمک قابل توجهی در پیشبرد اهداف زمین‌شناسی از جمله شناسایی و استخراج زون‌های دگرسانی دارد. تحقیق حاضر، با استفاده از باندهای مرئی و مادون قرمز موج کوتاه سنجنده استر و با هدف مقایسه تکنیک‌های پیکسل و زیر پیکسل مبنا به شناسایی زون‌های دگرسانی در منطقه سیاه کوه در استان کرمان می‌پردازد. بدین منظور از روش‌های SAM و SFF به عنوان روش‌های پیکسل مبنا و MTMF و ACE به عنوان روش‌های زیرپیکسل مبنا استفاده گردید. انجام پردازش‌های ذکر شده منجر به شناسایی کانی‌های دگرسانی‌های مختلفی از جمله آرژیلیک، سریسیت (فیلیک)، پروپلیتیک شده است. اعتبار سنجی داده‌ها با استفاده از نقشه واقعیت زمینی آرژیلیکی که از بازدید میدانی و مطالعات پیشین از منطقه مورد مطالعه به دست آمد، نشان داد تکنیک‌های زیرپیکسل مبنا ACE و MTMF با دقت کلی بالاتر و ضریب کاپای به ترتیب برابر با ۶۶.۳۶ و ۶۴.۶۲ درصد نسبت به روش‌های پیکسل مبنا با واقعیت زمینی همخوانی بیشتری دارد.

واژه‌های کلیدی: پیکسل مبنا، دگرسانی، زیرپیکسل مبنا، سنجنده استر، سیاه کوه

مقدمه

استفاده روزافزون از فلزات و مصنوعات فلزی باعث شده است که انسان جهت تامین نیازهای خود با استفاده از روش‌های مختلف، درصدد اکتشاف و استحصال مواد اولیه مورد نیاز از زمین باشد. بی شک اکتشاف این مواد که مهم‌ترین آن‌ها فلزات می‌باشند، کار ساده‌ای نبوده و روش‌های خاص خود را می‌طلبد. نظر به اینکه منابع سهل الوصول سطحی رو به اتمام است، جهت اکتشاف کانسارهای زیرسطحی نیاز به روش‌های نوین اکتشافی می‌باشد. استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به دلیل میدان دید فرا منطقه‌ای، تکرار داده‌ها در مدت زمان کم، دسترسی آسان، چندباندی بودن، توانایی بارز سازی و فراهم نمودن تصاویر رنگی جهت انجام مهم‌ترین کارهای صحرایی از قبیل تعیین موقعیت زون‌های آلتراسیون، تعیین موقعیت قرارگیری، نقشه برداری ساختاری و سنگ شناسی به کار گرفته شده و روشن است که سبب صرفه جویی در زمان، هزینه و نیروی انسانی با کسب دقت بیشتر در بررسی‌های مختلف منابع معدنی شده است. فنون سنجش از دور امکان شناسایی و اکتشاف مقدماتی یک محدوده وسیع را با دقت و سرعت مناسب و هزینه کم میسر می‌سازند (لگ، ۱۹۹۸).

تصاویر سنجش از دور دو کاربرد عمده در اکتشاف مواد معدنی دارند (سایینز، ۱۹۹۹):

- ۱- تهیه نقشه زمین شناسی و شناسایی گسل‌ها و شکستگی‌هایی که نهشته‌های معدنی در بردارند.
- ۲- شناسایی سنگ‌های دگرسان شده بر اساس ویژگی‌های طیفی آن‌ها

توانایی تفکیک بانندی در طول موج‌های محدودتر و بیشتر سبب شده که در سال‌های اخیر علاوه بر سنجنده‌های مختلف از داده‌های سنجنده استر نیز برای بارزسازی پدیده‌های مختلف زمین

استفاده شود. سنجنده استر محصول مشترک آمریکا و ژاپن است که بر روی ماهواره ترا قرار دارد و در سال ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شد. این سنجنده نسبت به سنجنده‌های طیفی قدیمی‌تر از توان تفکیک طیفی بالاتری برخوردار بوده و دارای توانایی بهتری برای تشخیص و شناسایی دگرسانی‌های گرمایی و تمایز واحدهای سنگ شناختی می‌باشد. سنجنده استر اطلاعات منابع زمینی را در ۱۴ باند مجزا تهیه می‌کند. از این ۱۴ باند، ۳ باند در محدوده مرئی و فروسرخ نزدیک با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر، ۶ باند در محدوده فروسرخ موج کوتاه با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و ۵ باند در محدوده فروسرخ گرمایی با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر می‌باشد (بدینی، ۲۰۰۹). از دیگر ویژگی‌های سنجنده استر به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

الف- تصاویر استر بر مبنای نیازهای زمین‌شناسی طراحی شده‌اند، بنابراین در این زمینه کارایی بالایی دارند.

ب- از تفکیک طیفی خوبی در محدوده مادون قرمز (محدوده‌ای که می‌توان بسیاری از کانی‌ها را از یکدیگر تفکیک کرد) برخوردارند.

ج- برخورداری از قدرت تفکیک رادیومتریک بسیار خوب که (۱۰ و ۱۲ بیت) که تصاویری با کیفیت و نسبت سیگنال به نویز بالا را موجب شده است (رفاهی، ۱۳۹۱).

تاکنون تحقیقات مختلفی در رابطه با استخراج زون‌های دگرسانی با استفاده از سنجش از دور صورت گرفته است، که در این میان می‌توان به تحقیقات گوئتر و همکاران (۱۹۷۵) اشاره کرد. این تیم در گزارشی در منطقه‌ای در آریزونا، توانستند با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و با استفاده از تکنیک نسبت بانندی و استفاده از ترکیب باند‌های خروجی به جداسازی واحد‌های

منطقه‌ی شرق زنجان پرداختند. در این تحقیق پس از استفاده از تکنیک‌های مختلف سنجش از دوری زون‌های پروپلیتیک و فیلیک - آرژیلیک با استفاده از ترکیب معدنی‌شان جداسازی شدند راجندرن و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از داده‌های استر و روش‌های نسبت گیری باندی، آنالیز مؤلفه‌های اصلی و روش نقشه بردار زاویه طیفی و به دست آوردن کمترین میزان نویز و شاخص خلوص پیکسل از عضوهای انتهایی به دست آمده از روش نقشه بردار زاویه طیفی به بررسی و استخراج دگرسانی‌های گرمایی در منطقه عمان مرکزی پرداختند. نتایج نشان داد، استفاده از شاخص خلوص پیکسل و کمترین میزان نویز ابزارهای قدرتمندی به منظور کشف پتانسیل‌های معدنی در مناطق خشک دنیا می باشد. در ایران نیز مطالعات مختلفی انجام شده است که از آن جمله می توان به تحقیقات زیر اشاره کرد: معصومی و رنجبر (۱۳۹۰) با استفاده از تصاویر چند طیفی سنجنده‌های استر و ETM+ با به کارگیری روش‌های مختلف پردازش تصویر، به منظور تعیین مناطق دگرسان شده استفاده کردند. در این پژوهش برای تفکیک زون‌های دگرسان شده از ترکیب رنگی کاذب استفاده شد و زون‌های فیلیک و پروپلیتیک شناسایی شدند. ترکیب رنگی کاذب استر برای جداسازی مناطق دگرسان شده از مناطق کربناتی بسیار مناسب بود. آن‌ها همچنین از تجزیه‌ی مؤلفه‌های اصلی برای جداسازی مناطق دگرسان شده از رگه‌های کربناتی استفاده کردند. همچنین با استفاده از روش نقشه بردار زاویه‌ی طیفی به شناسایی کانی‌های دگرسان شده مانند مسکوویت، کلریت و اپیدوت پرداختند. رفاهی (۱۳۹۱) با استفاده از داده‌های سنجنده‌ی استر در محدوده‌ی نقشه‌ی ۱:۲۵۰۰۰ اوغلاسر با استفاده از تکنیک‌های

سنگی بپردازند و همچنین با استفاده از این تصاویر و تصاویر هوایی منطقه سیستم‌های درزه و گسل موجود در منطقه را به خوبی شناسایی و مطالعه نمودند. سابینز (۱۹۹۹) از روش‌هایی چون نسبت باندی و تجزیه‌ی مؤلفه‌های اصلی برای تعیین موقعیت دگرسانی گرمایی وابسته به کانی‌سازی فلزی استفاده کرد. رنجبر و همکاران (۲۰۰۴) داده‌های استر را در منطقه‌ی سرچشمه برای تعیین مناطق دگرسان هیدروترمال از طریق تکنیک کروستا استفاده کردند. یاماگوچی و نایتو (۲۰۰۳) با استفاده از روش متعامدسازی بردارها به روش گرام اشمیت و با استفاده از ۵ باند مادون قرمز طول موج کوتاه سنجنده‌ی استر شاخص‌هایی را برای کانی‌های آلونیت، کائولینیت، کلسیت و مونت موریلونیت تولید کردند. کراستا و همکاران (۲۰۰۳) با استفاده از تصاویر سنجنده‌ی استر و روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی به نقشه برداری کانی‌های مرتبط با اکتشاف طلای اپی ترمال در پاتاگونیا آرژانتین پرداختند. کوجو (۲۰۱۰) در رساله‌ی کارشناسی ارشد خود به منظور اکتشاف معادن طلا، با استفاده از داده‌های سنجنده‌ی ETM+ و استر تکنیک‌های ترکیب رنگی کاذب، نسبت باندی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی و فیل‌ترهای مکانی به شناسایی و تشخیص واحدهای سنگی، زون‌های دگرسانی و ساختار زمین‌شناسی منطقه‌ای در سودان پرداخت. نتایج نشان داد که زون‌های دگرسانی گرمایی در مکان‌هایی با فلزات شناخته شده مس، زنون و نیکل در منطقه‌ی مورد مطالعه به وسیله‌ی نقشه‌های خطواره‌ی زمین‌شناسی بهتر شناسایی می‌شوند. عزیز و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از داده‌های مادون قرمز موج کوتاه استر در محدوده‌ی طیفی ۱.۶۵-۲.۴۵ میکرومتر به استخراج و شناسایی زون‌های دگرسانی در

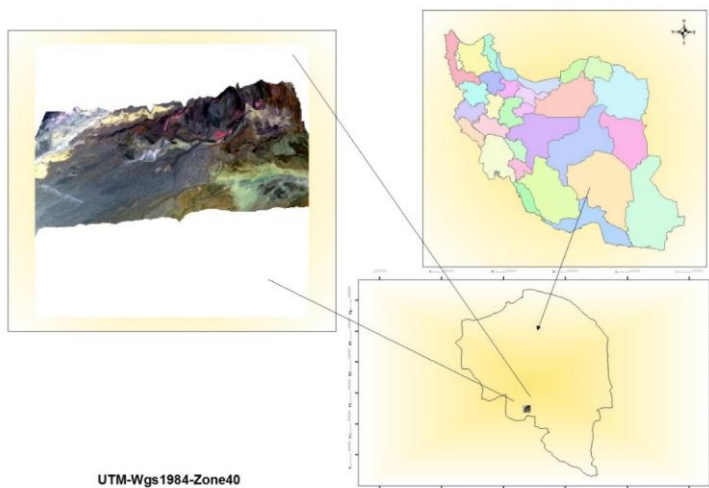
تحقیق حاضر با استفاده از تصاویر چندطیفی استر و تکنیک‌های پیکسل مینا و زیرپیکسل مینا به منظور شناسایی و استخراج کانی‌های دگرسانی در منطقه سیاه کوه استان کرمان انجام شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه در استان کرمان و در ۱۰۰ کیلومتری جنوب شهر بافت و در گستره شرقی نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ حاجی‌آباد قرار دارد و از دیدگاه ساختاری در زون زمین ساختی سندج سیرجان جای دارد و در امتداد آن، بیرون زدگی‌های سنگ‌های الترامافیک، سنگ‌های آتشفشانی و رخنمون‌هایی از فلیش‌های ائوسن و ژوراسیک گسترش دارد. به طور کلی منطقه دارای ساختار فلسی است و سوی کلی راندگی‌ها، از شمال خاور-شمال به سمت جنوب باختر- جنوب است (عشق آبادی، ۱۳۷۷). زمین‌های پیرامون این ناحیه از سنگ‌های وابسته به پالئوزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک پدید آمده است. کهن‌ترین سنگ‌ها یعنی پالئوزوئیک از جنس شیست‌های بلورین، آمفیبولیت و مرمرند. سنگ‌های ژوراسیک و کرتاسه از جنس آهک، و یک سری ناهمگن ولکانیک - رسوبی (آمیزه رنگین) نیز در این ناحیه دیده شده است (شکل ۱).

مختلف سنجش از دوری نقشه بردار زاویه طیفی، کسر کمترین نوفه و روش‌های دیگر اقدام به شناسایی و تفکیک دگرسانی‌ها نموده و در نهایت با اعتبارسنجی صحرایی دقت ۹۰ درصدی برای نقشه‌های تهیه شده را مورد تایید قرار می‌دهد. کریمی بارونقی (۱۳۹۱) با هدف مقایسه بین نتایج دو داده از دو سنجنده استر و هایپریون، با استفاده از چند تکنیک شناسایی دگرسانی، همچون نسبت گیری بانندی، کروستا، شاخص طیفی یاماگوچی، فیلتر انطباقی و روش فیلتر انطباقی تعدیل شده تحقیقی را انجام داد و پس از پردازش‌های اولیه و اعمال این تکنیک‌ها و مقایسه نقشه خروجی با نقشه واقعیت زمینی انطباق هر یک از الگوریتم‌ها را با نقشه واقعیت زمینی بررسی کرد، خروجی کار نشان داد روش فیلتر انطباقی تعدیل شده بهترین نتایج را به دنبال داشته است.

استفاده از تصاویر ماهواره ای یکی از روش‌های مناسب می باشد که مزیت های اصلی آن را می توان شناسایی یک محدوده ی وسیع با دقت، کاهش هزینه های پروژه های اکتشافی و سرعت بالا عنوان کرد. با تجزیه و تحلیل داده هایی که از این طریق به دست می آیند می توان اطلاعات مفیدی تولید نمود که تلفیق آن ها با داده های دیگر می تواند در پی جویی مواد معدنی سودمند باشد.

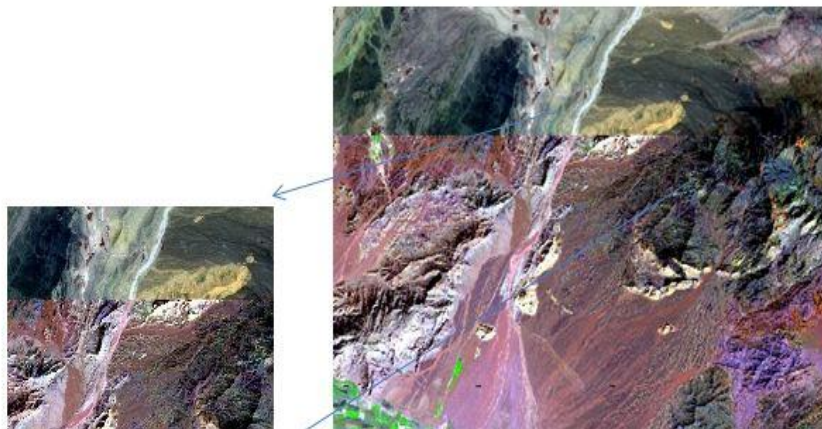


شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور ایران و استان کرمان در ترکیب رنگی ۴۶۸ سنجنده استر

نهشته‌های کواترنر نیز پست‌ترین بخش‌های ناحیه را می‌پوشاند. دامنه‌های باختری سیاه کوه (واقع در مرکز منطقه مورد مطالعه) از جنس آمیزه رنگین اند که استوک‌های کواترنر پورفیری در آنها نفوذ کرده اند. این نفوذیه‌ها و همچنین نهشته‌ها و ولکانیک‌های پیرامون تا اندازه‌ای دگرسان شده‌اند. آمیزه رنگین در این بخش از سیاه کوه، بیشتر، از جنس ولکانیک‌ها، پیروکلاستیک‌ها است (سبزه ای، ۱۳۷۲).

روش کار: در این مطالعه از داده‌های مرئی و مادون قرمز سنجنده استر استفاده شد. بدین منظور، یک سین از سنجنده استر با Path و Row به ترتیب ۱۶۰ و ۴۰ و سطح LIA که در تاریخ ۲۰۰۳.۱۰.۱۹ توسط سنجنده استر اخذ شده است، تهیه شد. بعد از تهیه داده‌ها، پیش پردازش تصاویر همچون تصحیحات رادیومتریکی انجام شد.

به منظور انجام تصحیحات هندسی دقیق‌تر، از روش تصویر به تصویر یا ثبت تصویری استفاده شده‌است. بدین منظور از تصویر سنجنده ETM+ منطقه مورد مطالعه، به عنوان تصویر مبنا استفاده گردید و تصویر استر از طریق یک چند جمله‌ای درجه یک، به تصویر ETM+ هم نهادسازی شد. برای به دست آوردن دقت فرایند تصحیح هندسی نیز از جذر میانگین مربعات خطا استفاده شد. در پایان جذر میانگین مربعات خطا برای ۲۱ نقطه ۴.۵۷ محاسبه شد که خطای قابل قبولی است. به منظور درجات روشنایی در ساختار هندسی جدید، از روش نزدیک‌ترین همسایه استفاده شد. شکل ۲ انجام تصحیح هندسی به روش بالا و انطباق تصویر ترکیب رنگی ۱۴۷ سنجنده ETM+ و ترکیب رنگی ۴۶۸ سنجنده استر پس از تصحیح هندسی را نشان می‌دهد.



شکل ۲: انطباق تصویر ترکیب رنگی ۱۴۷ سنجنده ETM+ و ترکیب رنگی ۴۶۸ سنجنده استر پس از تصحیح هندسی

تصحیح اتمسفری با استفاده از الگوریتم FLAASH انجام گرفت. برنامه FLAASH اثرات جوی در طول موج‌های SWIR و VNIR را تصحیح می‌کند. علاوه بر به کارگیری مدل MODTRAN4 برنامه FLAASH دارای قابلیت‌های زیر می‌باشد (مهرمنش، ۱۳۸۹):

- ۱- تصحیح اثرات مجاور (علاوه بر پیکسل مورد نظر ما پیکسل‌های مجاور به علت پراکندگی تابشی که از سطح منعکس شده است بر روی پیکسل هدف اثر می‌گذارند و باید تصحیح مربوط به این اثر اعمال شود).
- ۲- یک انتخاب برای محاسبه قابلیت دید میانگین سین (مقدار هواویزها و مه) و استفاده از اغلب تکنیک‌های پیشرفته
- ۳- برای رسیدگی ویژه به شرایط جوی خاص (مانند حضور ابرها)

۴- پرداخت طیفی قابل تنظیم برای اثرات مصنوعی تحمیل شده به تصویر

۵- پشتیبانی داده‌های ابرطیفی و چندطیفی

۶- استخراج بخار آب و هواویزه ها زمانی که باندهای مورد نیاز در موقعیت طول موج مناسب در تصویر موجود باشد.

تصحیح تصویر برداشت شده در حالت عمودی (نادیر) و با هندسه مایل را دارا می‌باشد. برای اعمال الگوریتم FLAASH بر روی داده‌های

ASTER_L1A باید مراحل تصحیحات رادیومتریک و هندسی بر روی این داده‌ها انجام گرفته باشد. تصویر ورودی برنامه FLAASH باید تصویر انرژی تابشی یا رادیانس و دارای فرمت BIL یا BIP باشد. برای تبدیل تصویر رادیانس به انعکاس در هنگام ورود داده به FALAASH ، یک فاکتور مقیاس "۱۰" به تصویر اعمال می شود (جدول ۱).

جدول ۱: پارامترهای ورودی الگوریتم FLAASH برای تصویر استر در تحقیق حاضر

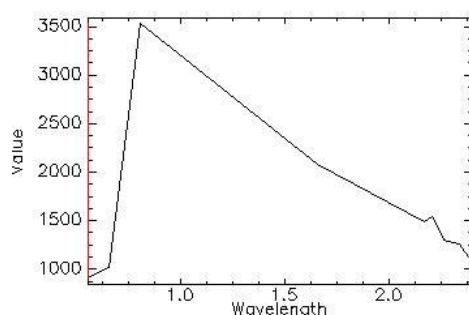
ردیف	پارامتر	مقدار ورودی
۱	مختصات مرکز تصویر	Lot: ۲۸.۲۹۴۳ Long: ۵۶.۳۷.۱۰
۲	نوع سنجنده	Multispectral - ASTER
۳	ارتفاع سنجنده	۷۰۵ کیلومتر
۴	متوسط ارتفاع منطقه	۱.۵ کیلومتر
۵	اندازه پیکسل	۳۰ متر
۶	تاریخ میلادی تصویر	2003.10.19
۷	زمان تصویر برداری	۸:۰۴:۵۰
۸	مدل اتمسفری	T
۹	بازیابی آب	NO
۱۰	بازیابی بخار آب	None
۱۱	قابلیت دید اولیه	۴۰ کیلومتر

جدول ۱: پارامترهای ورودی الگوریتم FLAASH برای تصویر استر در تحقیق حاضر

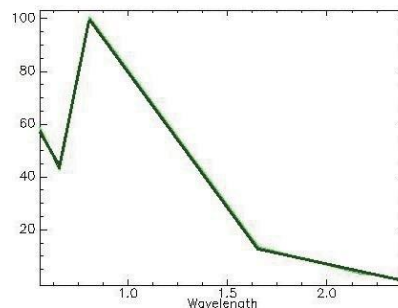
ردیف	پارامتر	مقدار ورودی
۱	مختصات مرکز تصویر	Lot: ۲۸.۲۹۴۳ Long: ۵۶.۳۷.۱۰
۲	نوع سنجنده	Multispectral - ASTER
۳	ارتفاع سنجنده	۷۰۵ کیلومتر
۴	متوسط ارتفاع منطقه	۱.۵ کیلومتر
۵	اندازه پیکسل	۳۰ متر
۶	تاریخ میلادی تصویر	2003.10.19
۷	زمان تصویر برداری	۸:۰۴:۵۰
۸	مدل اتمسفری	T
۹	بازیابی آب	NO
۱۰	بازیابی بخار آب	None
۱۱	قابلیت دید اولیه	۴۰ کیلومتر

در شکل ۳ الف و ب به ترتیب، نمودار طیف رادیانس گیاه بعد از تصحیح رادیومتریک و قبل از اعمال تصحیح اتمسفری FLAASH و نمودار

طیف انعکاسی گیاه پس از اعمال تصحیح اتمسفری FLAASH را به نمایش می‌گذارد.



ب



الف

شکل ۳: الف: نمودار طیف رادیانس گیاه قبل از اعمال تصحیح اتمسفری FLAASH. ب: نمودار طیف انعکاسی گیاه پس از اعمال تصحیح اتمسفری FLAASH روی تصویر.

پردازش تصاویر به منظور استخراج زون‌های دگرسانی

تحقیق حاضر با استفاده از باندهای مرئی و مادون قرمز موج کوتاه سنجنده استر و با هدف مقایسه تکنیک‌های پیکسل مبنا و زیر پیکسل مبنا به شناسایی و تحلیل زون‌های دگرسانی در منطقه سیاه کوه در دولت آباد استان کرمان می‌پردازد. بدین منظور از روش‌های SAM و SFF به عنوان تکنیک هایپیکسل مبنا و روش های MTMF و ACE به عنوان تکنیک های زیرپیکسل مبنا استفاده گردید. به منظور انجام هر روش از شاخص های هر دگرسانی استفاده شد. کانی‌های کلریت، کائولینیت و موسکویت به ترتیب به عنوان شاخص دگرسانی پروپیلیتیک، آرژیلیک و فیلیک انتخاب شدند. پس از آستانه‌گیری و انجام پس پردازش‌های مورد نظر هر دگرسانی استخراج گردید.

روش‌های پیکسل مبنا

روش SAM: نقشه بردار زاویه طیفی روشی کارآمد برای مقایسه طیف تصاویر نسبت به طیفی مشخص یا طیفی استاندارد (کتابخانه‌ای) است. الگوریتم این روش، مشابهت بین ۲ طیف را به وسیله زاویه طیفی بین آن دو محاسبه می‌کند. در واقع با تبدیل طیف‌ها به بردار در فضایی به ابعاد تعداد باندها، زاویه بین دو بردار محاسبه می‌شود. در این روش برای محاسبه زاویه بردار جهت بردارها اهمیت دارد و نه طول آن‌ها. بنابراین در این روش فاکتورهای دیگر در نظر گرفته نمی‌شود (می‌تر، ۱۹۹۹).

برای بدست آوردن زاویه α بین دو بردار (به دست آمده از طیف نقاط آزمایشگاهی t و مرجع r از رابطه ۱ استفاده می‌شود.

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{\vec{t} \cdot \vec{r}}{\|\vec{t}\| \cdot \|\vec{r}\|} \right) \quad (۱)$$

در صورتی که از تعداد n باند برای شناسایی پدیده مورد نظر استفاده شود، از رابطه ۲ برای به دست آوردن زاویه استفاده می‌شود:

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^{nb} t_i r_i}{\left(\sum_{i=1}^{nb} t_i^2 \right)^{\frac{1}{2}} \left(\sum_{i=1}^{nb} r_i^2 \right)^{\frac{1}{2}}} \right) \quad (۲)$$

که در آن nb تعداد باندها می‌باشد. خروجی این محاسبات یک تصویر رده بندی شده و تصاویر Rule به تعداد عضوهای انتهایی است. تصویر رده بندی شده بهترین تطابق و تصاویر Rule زاویه طیفی بین طیف مرجع و طیف تصویر را نشان می‌دهد. پیکسل‌هایی که زاویه طیفی کوچک‌تری دارند در تصاویر Rule تیره تر دیده شده و بیش‌ترین جورشدگی را با طیف مرجع نشان می‌دهند.

روش SFF: یکی از روش‌های پردازشی طیف مبنا در پردازش داده‌های طیفی است که به بررسی انطباق محدوده‌های جذبی طیف پیکسل‌های ناشناس با طیف مرجع می‌پردازد. مهم‌ترین ویژگی در یک نمودار طیفی که به عنوان یک سیمای شاخص در شناسایی مواد مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد شدت، شکل و محل قرارگیری پیک‌های جذبی در نمودار الگوی طیفی ماده مورد نظر است (گوپتا، ۲۰۰۳). این روش براساس انطباق شکل طیف مجهول با طیف مرجع در محدوده کامل یا محدوده‌های کوچک‌تری از طول موج بنا نهاده شده و درجه شباهت بین دو طیف را اندازه گیری می‌کند (کلارک، ۱۹۹۵). در واقع، برازش مشخصه طیفی یک روش مبتنی بر شدت جذب مشخصه‌های اصلی است که با انطباق طیف تصویر با طیف مرجع، مواد مختلف را شناسایی می‌کند. برای هر طیف تصویر ناشناخته، شدت مشخصه جذبی نسبت به طیف مرجع

با ترکیب روابط ۳ و ۴، رابطه احتمال توام فرض H_0 و H_1 قابل استخراج خواهد بود. سپس اگر مقدار N یک مقدار بسیار بزرگ فرض شود می‌توان واریانس و کوواریانس را تخمین زد. در نهایت می‌توان آشکارساز ACE را در قالب رابطه ۵ ارائه نمود (Broadwater ۲۰۰۷)

$$T = \frac{(a^T \Gamma^{-1} x)^2}{(a^T \Gamma^{-1} d)(x^T \Gamma^{-1} x)} \quad (\text{رابطه ۵})$$

در این معادله d ، طیف مرجع و X طیف پیکسل می‌باشد. در صورت انطباق کامل طیف پیکسل با طیف مرجع ($x=d$)، حاصل این عبارت برابر با ۱ خواهد بود و هر چه اختلاف دو طیف کمتر شود حاصل عبارت کمتر از یک خواهد بود.

روش MTMF: در این روش با معرفی منحنی طیفی یک هدف خاص فراوانی این هدف تعیین می‌گردد. الگوریتم MTMF شامل دو مرحله می‌باشد:

۱. محاسبه یک فیلتر انطباقی جهت تخمین زدن فراوانی

۲. محاسبه یک معیار اختلاف طیفی برای شناسایی و حذف مقادیر مثبت اشتباه

در بحث سنجش از دور مرئی، فیلترهای انطباقی را می‌توان به عنوان فرآیندی که در آن داده‌های ورودی که بیشترین انطباق را با هدف دارند، در مقابل طیف پس زمینه فیلتر می‌شوند، مطرح نمود. از نظر ریاضی نیز فیلترهای انطباقی معادل حداقل نمودن انرژی قیددار است که توسط هارسینی، در سال ۱۹۹۳ ارائه گردیده است. قدرت شاخص در الگوریتم MTMF، در مرحله دوم آن است، که در آن یک عدد محاسبه می‌شود که می‌توان آن را به عنوان میزان امکان ناپذیری، و یا به عبارت دیگر معیاری برای تعیین میزان درستی انطباق هر پیکسل طبقه بندی شده توسط روش MTMF تعبیر نمود. در روش MTMF می‌بایست داده‌ها برای بهبود محاسبات میزان

محاسبه می‌شود (هریس، ۲۰۰۶). طیف مرجع، از عضوهای انتهایی مشتق شده از تصویر و یا کتابخانه طیفی استخراج می‌شود.

روش‌های زیرپیکسل مبنا

به دلیل بزرگ بودن اندازه پیکسل‌ها در برخی از تصاویر سنجش از دور، معمولاً بیش از یک هدف یا عارضه در داخل یک پیکسل وجود خواهد داشت؛ بنابراین کمتر با پیکسل‌های خالص روبرو خواهیم بود و در نتیجه نمی‌توان هر پیکسل را در یکی از کلاس‌های مربوط به هدف طبقه بندی نمود.

روش ACE: این آشکارساز از یک تابع توزیع به منظور مدل کردن پس زمینه استفاده می‌کند. به عبارت دیگر این روش نیازی به طیف‌های مربوط به اجزای خالص پس زمینه، ندارد که این فرض معادل با حذف پس زمینه ساختار یافته است. در این روش پس زمینه به صورت یک تابع توزیع گوسین با میانگین صفر و کوواریانس مقیاس شده، σ با فرض‌های رابطه ۳ مدل‌سازی می‌شود:

$$H: x \sim N(Sa_s, \sigma_s^2 \Gamma) \quad H_0: x \sim N(0, \sigma_0^2 \Gamma) \quad (\text{رابطه ۳})$$

عبارت مقیاس σ ، معمولاً به صورت تجربی بدست نمی‌آید. به هر حال این عبارت باید به صورت تئوریک بدست آید که توضیح داده خواهد شد. از آنجا که طیف زمینه در این الگوریتم وارد نمی‌شود بنابراین شروط غیر منفی بودن فراوانی‌ها و مجموع برابر ۱ بودن آن‌ها ارضا نخواهد شد. بر خلاف چنین فرض‌های ساده‌ای این آشکارساز یکی از قدرتمندترین آشکارسازهای موجود است (Broadwater ۲۰۰۷) همچنین در این روش فرض بر این است که یک مجموعه داده مستقل به صورت رابطه ۴ وجود داشته باشد:

$$Y = \{Y_i | y_i \sim N(0, \Gamma), i = 1, \dots, N\} \quad (\text{رابطه ۴})$$

استفاده میتواند با ایجاد یک تصویر واحد حاصل از نسبت تصویر MF به تصویر عدم امکانپذیری باشد که در تصویر حاصل پیکسل‌های روشن تر برای هدف مورد نظر مطلوب تر خواهند بود (بهرام بیگی و همکاران، ۱۳۹۱).

نتایج

در این بخش نتایج اعمال روش‌های تحلیل طیفی و شناسایی کانی‌های دگرسانی‌ها با استفاده از تصاویر استر در منطقه مورد مطالعه آورده شده است. در مورد هر کدام از داده‌ها حدود آستانه‌ای ثابت، برای تولید نقشه‌های نهایی کانی‌ها در نظر گرفته شده است (جدول ۲، ۳، ۴ و ۵). در نهایت نیز با اعمال فیلترهای مختلفی از قبیل - Post Classification شامل فیلترهای Seive, Clump و فیلتر Majority، نقشه نهایی جهت ارزیابی دقت تولید شد (شکل ۴ و ۵).

کردن مخلوط طیفی مانند خروجی الگوریتم MNF دارای میانگین صفر و نویز واحد باشند. امتیاز فیلتر انطباق یافته، با تصویر کردن داده تبدیل یافته توسط روش MNF بر روی بردار فیلتر انطباقی تعیین می‌گردد. این بردار، حاصل تبدیل طیف هدف در فضای MNF و تصویر نمودن آن بر روی معکوس کوواریانس داده و نرمال کردن آن به بزرگای طیف هدف می‌باشد. نتیجه اجرای الگوریتم MTMF بر روی داده دو تصویر MF و Infeasibility برای هر هدف معرفی شده به الگوریتم می‌باشد. برای تصمیم‌گیری در مورد اینکه کدام پیکسل‌ها باید به عنوان هدف در نظر گرفته شوند باید هر دو خروجی الگوریتم مورد بررسی قرار بگیرند. برای اینکه یک پیکسل با امتیاز MF پایین به عنوان هدف شناسایی شود باید امتیاز Infeasibility آن مقادیر کمی داشته باشد. استفاده همزمان از مجموعه پیکسل‌های این دو تصویر نتیجه مناسبی خواهد داشت. این

جدول ۲: نحوه آستانه گذاری برای خروجی‌های روش ACE در داده‌های سنجنده استر

نام شاخص	نحوه آستانه گذاری
کانی موسکویت	$B1 \geq \{ \text{mean}(B1) + (2 * \text{std}(B1)) \}$
کانی کائولینیت	$B1 \geq \{ \text{mean}(B1) + (2 * \text{std}(B1)) \}$
کانی کلریت	$B1 \geq \{ \text{mean}(B1) + (1.5 * \text{std}(B1)) \}$

جدول ۳: ماتریس سردرگمی برای سه کلاس در خروجی روش ACE برای داده استر

واقعیت زمینی			کلاس نقشه
کل	آرژلیک	طبقه بندی نشده	
۹۴.۵۲	۱۱.۷۷	۹۷.۴۵	طبقه بندی نشده
۵.۴۸	۲۳ و ۸۸	۲.۵۵	آرژلیک
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	کل

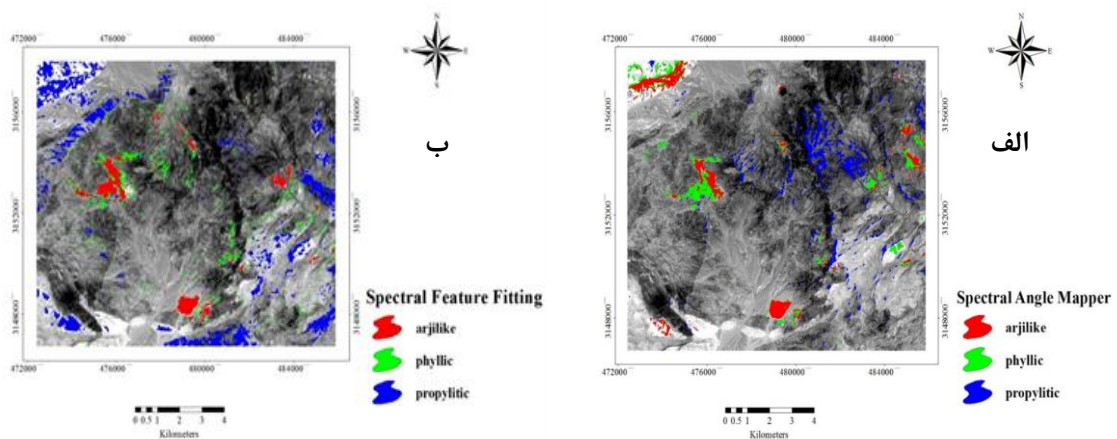
مقایسه روش‌های پیکسل مبنا و زیرپیکسل مبنا در شناسایی و استخراج کانی‌های دگرسانی..... ۱۰

جدول ۴: ارزیابی دقت طبقه‌بندی برای سه کلاس در خروجی روش ACE برای داده استر

دقت کاربر	دقت تولید کننده	خطای حذف	خطای لحاظ شدن	
۹۹.۵۷	۹۷.۴۵	۲.۵۵	۰.۴۳	طبقه بندی نشده
۶۵.۰۲	۸۸.۲۳	۱۱.۷	۳۳.۹۸	آرژیلیک
مساحت ۳.۱۰ km ²		ضریب کاپا ۶۶.۳۶	دقت کلی ۹۷.۱۳۲۵	

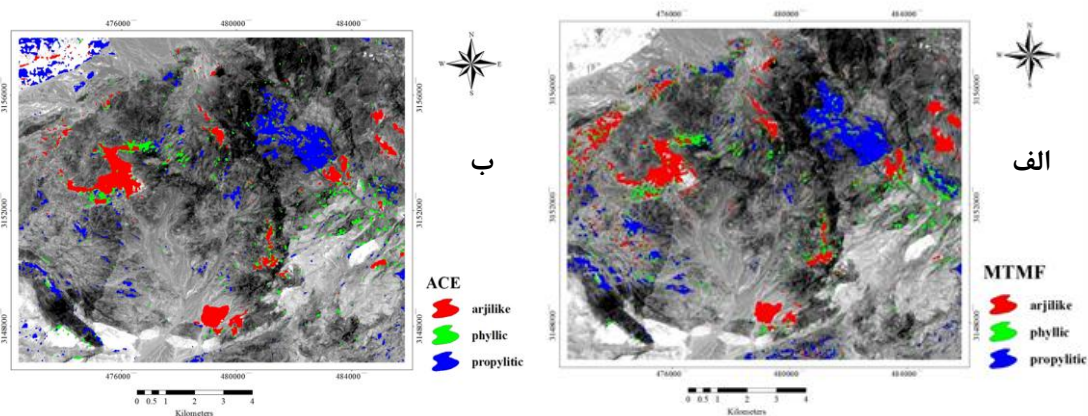
جدول ۵: دقت کلی و ضریب کاپای مربوط به روش‌های اعمال شده

ضریب کاپا	دقت کلی	روش‌های طبقه‌بندی
۶۰.۶۳	۹۵.۴۵۱۰	SAM
۶۱.۸۸	۹۶.۸۹۱۳	SFF
۶۶.۳۶	۹۷.۱۳۲۵	ACE
۶۴.۶۲	۹۷.۱۲۶۱	MTMF



شکل ۴: الف) تصویر خروجی روش نقشه بردار زاویه طیفی بر روی تصویر تک بانندی استر.

ب) تصویر خروجی روش برآزش مشخصه طیفی بر روی تصویر تک بانندی استر



شکل ۵: الف) تصویر خروجی روش ACE بر روی تصویر تک بانندی استر ب).

تصویر خروجی روش MTMF برای داده‌های استر بر روی تصویر تک بانندی استر

بحث و نتیجه‌گیری

داده‌های سنجنده ASTER در گستره وسیعی از کاربردهای مرتبط با مطالعات زمین‌شناسی از جمله شناسایی کانی‌های مناطق دگرسان شده مرتبط با توده‌های کانسار، مورد استفاده قرار می‌گیرد و زمین‌شناسان را قادر به تولید نقشه‌های زمین‌شناسی دقیق در راستای کاهش هزینه‌های مبتنی بر کارهای میدانی خواهد نمود و از نظر وقت و هزینه نیز بسیار مقرون به صرفه می‌باشد. تحقیق حاضر، به منظور مقایسه روش‌های مختلف پیکسل و زیر پیکسل مینا در شناسایی

کانی‌های دگرسانی در منطقه سیاه کوه واقع در استان کرمان انجام شد. با بیان اینکه واقعیت زمینی بر اساس دگرسانی آرژیلیکی بوده و با قبول اینکه ضریب کاپا معیار مناسبی جهت قضاوت در مورد روش‌های شناسایی طیفی می‌باشد، نتیجه‌گیری شد که روش‌های پیشرفته طیف سنجی همچون ACE و MTMF با بالاترین مقادیر شاخص، از بهترین روش‌ها در میان روش‌های به کار برده، جهت شناسایی طیفی کانی‌های دگرسانی می‌باشند (شکل ۶).



(ب)

شکل ۶: بازدید از منطقه مورد مطالعه. دگرسانی آرژیلیکی به رنگ روشن در تصویر الف و ب مشخص است. باشد. در این میان، الگوریتم SAM دقت پایینی را نشان داد، دلیل این امر را می‌توان در استفاده از زاویه طیفی برای محاسبه مشابهت بین دو طیف دانست در حالی که تعیین انطباق طیف تصویر با طیف مرجع به راحتی امکانپذیر نمی‌باشد.

آشفشان مساحیم با استفاده از داده‌های هایپریون، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، شماره ۲، ص ۱۹۹-۲۱۵.



(الف)

در این نوع روش‌های جداسازی طیفی نیاز به داشتن اطلاعات از تمام اعضای خالص نمی‌باشد، در واقع با استفاده از یک فیلتر انطباقی منحنی طیفی هدف در مقابل منحنی‌های طیفی زمینه فیلتر می‌شود به همین دلیل نسبت‌های به الگوریتم‌های پیکسل مینا خطاها تا اندازه‌ای کاهش می‌یابد و از دقت بیشتری برخوردار می‌گردد.

منابع

- بهرام بیگی، ب.، رنجبر، ح. ا. و شهاب پور، ج.، ۱۳۹۱. مقایسه روش‌های داده پایه و طیف مینا جهت نقشه‌برداری از مناطق دارای کائولینیت در

دگرسانی‌ها و اهداف آینده برای منابع کانی‌های فلزی، دانشکده علوم انسانی، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تربیت مدرس، کارشناسی ارشد.

- معصومی، ف.ا. و رنجبر، ح.ا.، ۱۳۹۰. مقایسه بین داده‌های ژئوفیزیک هوایی و تصاویر حسگر استر در نقشه برداری از مناطق دگرسانی گرمایی به منظور اکتشاف کانی‌سازی مس در منطقه بافت کرمان، مجله فیزیک زمین و فضا، شماره؟، ص ۸۳-۱۰۰.

- مهرمنش، ا.، ۱۳۸۹. پتانسیل یابی معدنی با بهره‌گیری از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.

-Bedini, E. 2009. Mapping lithology of the Sarfartoq carbonatite complex, southern West Greenland, using HyMap imaging spectrometer data." Remote Sensing Environmet, v. 113, p. 1208-1219.

-Clark, R. N., 1995. Reflectance spectra, in Rock Physics & Phase Relations, v. 3, p. 178-188.

-Crosta, A. P., C R De souza filho, F Azevedo, and C Brodie. 2003. Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis. International journal of remote sensing (Taylor & Francis), v. 24(21), p. 4233-4240.

-Goetz, A. F. H., 1975. Application of ERTS Images and Image Processing to Regional Geologic Problems and Geologic Mapping in Northern Arizona. TechRept JPL-TR-32-1597, Jet Propulsion Laboratory.

- Gupta, R. P., 2003. "Remote Sensing Geology 2nd ed. Springer, Berlin, 654p.

- Harris, A. t., 2006. spectral mapping tools from the earth sciences applied to

- رفاهی، د.، ۱۳۹۱. بررسی زمین‌شناسی اقتصادی و شناسایی زون‌های دگرسانی در منطقه شمال سراب (برگه ۱:۲۵۰۰۰ اوغلان سر) با تاکید ویژه بر استفاده از داده‌های ماهواره استر، تهران: پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات.

- سبزه ایی، م.، ۱۳۷۲. نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ ورقه حاجی آباد، سازمان زمین شناسی.

- عشق آبادی، م. و روزبه کارگر، س.، ۱۳۷۷. گزارش مطالعات پی‌جوئی مواد معدنی در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ دولت آباد. انتشارات سازمان زمین شناسی کشور.

- کریمی بارونقی، ح.، ۱۳۹۱. ارزیابی تکنیک‌های تحلیل طیفی داده‌های سنجش از دور، در تعیین

spectral, microscopy data, international society for analytical cytology published online in wiley inter science, p. 872-879.

-Azizi, H., Tarverdi, M.A. and Akbarpour, A., 2010. "Extraction of hydrothermal alterations from ASTER SWIR data from east Zanjan, northern Iran, Advances in Space Research, v. 46, p.99-109.

-Kujjo, C. P., 2010. Application of remote sensing for gold exploration in the Nuba mountains, Sudan, College of Bowling Green, master of science, 110 p.

-Legge, C.A., 1997. Remote sensing and Geographic Information System, Published in Association with PRAXIS publishing, 137p.

-Mather, P. M., 2011. Computer Processing Of Remotely- Sensed Image -An Introduction, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Hoboken, p. 32.

- Rajendran, S., Sobhi, N., Timothy, M., Kusky, b., Abduwasit, G., Sfwat, G. and El-Ghali, A.K. 2013. Detection of hydrothermal mineralized zones associated with listwaenites in Central

Oman using ASTER data. *Ore Geology Reviews*, v. 53, p. 470-488.

-Ranjbar, H., Honarmand, M. and 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*, v. 24, p. 237-243.

-Sabins, F. F., 1999. Remote sensing for mineral exploration, *Ore Geology Reviews*, v. 6, 158-173.

-Yamaguchi, Y. and Naito, C., 2003. Spectral indices for lithologic discrimination and mapping by using the ASTER SWIR bands, *International Journal of Remote Sensing*, v. 6 (33), p. 4311- 4323.