



نخستین شماره

GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران سال سیزدهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۰
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.13, No. 3, Autumn 2021

۱-۱۸

مقاله پژوهشی



ارزیابی قابلیت داده‌های MSI سنتینل-۲ و OLI لندست ۸ در تفکیک واحدهای سنگی و کانی‌های دگرسان منطقه کانسار فسفات اسفوردی، ایران مرکزی

سوگند کریمزاده^{۱*} و مجید هاشمی تنگستانی^۲

۱. دانشجوی دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه شیراز

۲. استاد بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۰۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۷/۲۸

چکیده

سنجده‌های دوقلوی MSI سنتینل-۲، از لحاظ توان تفکیک مکانی، شباهت بسیاری به سنجنده OLI لندست ۸ دارند که از آنس فزایی اروپا، با هدف افزایش داده‌های ادامه‌دار برای پایش سطح زمین، آنها را به فضا پرتاب کرد. در این مطالعه، قابلیت این داده‌ها در تفکیک واحدهای سنگی و دگرسانی، در محدوده کانسار فسفات اسفوردی، ارزیابی و با داده‌های لندست ۸ و لندست ۸ تلفیق شده، مقایسه شد. برای بارز کردن واحدهای سنگی منطقه، از روش بسط عدم همبستگی استفاده شد. به منظور مقایسه‌های آماری، واحدهای سنگی با استفاده از اجرای روش ماشین بردار پشتیبان و جنگل تصادفی روی دسته داده‌ها، رده‌بندی و صحت آنها با استفاده از ماتریس آشفتگی بررسی شد. علاوه بر آن، نسبت‌های باندی متناظر با آنچه در مورد سنجنده لندست ۵ TM تعریف شده است، برای آشکارسازی نواحی دگرسان شده در منطقه، روی هر سه دسته داده اجرا و مساحت پهنه‌های بارز شده محاسبه و مقایسه شد. همچنین، نمودارهای پراکندگی برای تصاویر نسبت باندی تولید شده تهیه شد. داده‌های MSI، در رده‌بندی ماشین بردار پشتیبان و جنگل تصادفی، صحت کلی و ضریب کاپای بیشتری را در مقایسه با دو دسته داده دیگر نشان دادند. نتایج نسبت باندی نیز نشان داد که داده‌های MSI و OLI تلفیق شده بیشترین همبستگی و مشابهت را به هم دارند. این مطالعه مشخص کرد که استفاده از داده‌های MSI در تهیه نقشه‌های سنگ‌شناختی و کانی‌شناختی، مطلوب‌تر از داده‌های OLI است. همچنین استفاده از داده‌های OLI تلفیق شده، در تاریخ‌هایی که تصاویر MSI در دسترس نیست، و یا برای تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی پیوسته در مقیاس‌های قاره‌ای، به همراه داده‌های MSI کارآمد است.

کلیدواژه‌ها: داده‌های MSI و OLI، کانسار اسفوردی، بسط عدم همبستگی، الگوریتم‌های یادگیری ماشین، نسبت باندی.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: شیراز، چهارراه ادبیات، دانشکده علوم، بخش علوم زمین.

۱- مقدمه

داده‌های ابزار چندطیفی^۱ ماهواره سنتینل-۲^۲ را آژانس فضایی اروپا^۳، با هدف افزایش داده‌های پایش جهانی سطح زمین در ادامه مأموریت ماهواره‌های لندست و اسپات، برای کاربران تهیه کرده است (ESA, 2012). این داده‌ها دارای سیزده باند در محدوده VNIR-SWIR است و از لحاظ توان تفکیک مکانی، مشابه سنجنده‌های سوپرطیفی لندست (۶۰-۱۰ m) است. پس از عملیاتی شدن ماهواره‌های دوقلوی سنتینل-۲ سری A در سال ۲۰۱۵ و سنتینل-۲ سری B در ۲۰۱۷، در حال حاضر هر پنج روز پوشش کاملی از مشاهده زمین، با زاویه دید یکسان و میدان دید ۲۹۰ کیلومتر، انجام می‌شود. توان تفکیک مکانی، طیفی و زمانی بالای این ماهواره، از یک‌سو، و دسترسی رایگان به داده‌های آن، از سوی دیگر، قابلیت آن را در مطالعات سنجش از دور بسیار مهم جلوه می‌دهد. این سنجنده در زمینه پایش جنگل‌ها، کشاورزی، شهرسازی، رده‌بندی کاربری و پوشش اراضی، کیفیت آب، زمین‌شناسی، پایش تغییرات و مدیریت بحران کاربرد دارد و رضایت کاربران را به همراه داشته است (برای نمونه، de Kok et al., 2017; Karaoui et al., 2019; Turist et al., 2016; Lefebvre et al., 2016). در زمینه کاربرد این داده‌ها در مطالعات زمین‌شناسی می‌توان به تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی متوسط‌مقیاس، که در پروژه‌های اکتشافی کاربرد دارند، اشاره کرد. در ادامه، این سری از مطالعات انجام‌شده را مرور می‌کنیم.

فند میبه^۴ و همکاران (۲۰۱۴) پتانسیل داده‌های سنجنده چندطیفی سنتینل-۲ را، در کاربری‌های زمین‌شناسی، بررسی کردند. در این مطالعه، داده‌های سنتینل-۲ شبیه‌سازی شده با داده‌های استر^۵ شبیه‌سازی شده و استر در توانایی نمایش نتایج نسبت باندهای پیشنهادی مقایسه شد و نتیجه نشان داد که سنتینل-۲ می‌تواند جای خالی داده‌های استر را پر کند.

صالحی^۵ و همکاران (۲۰۱۹) نیز، در مطالعه‌ای موردی در شمال شرق گرینلند، داده‌های استر و سنتینل-۲ را به منظور تهیه نقشه زمین‌شناسی مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که داده‌های استر، به دلیل داشتن تعداد باند بیشتر در محدوده SWIR، در تفکیک واحدهای سنگ‌شناسی موفق‌تر است؛ با این حال سنتینل-۲ کانی‌های آهن‌دار را بهتر بارز می‌کند زیرا چندین باند در محدوده ۹۰۰ nm دارد که متناظر با سیمای جذبی آهن است. فند و فند^۶ و فند میبه (۲۰۱۶) داده‌های سنتینل-۲ را با داده‌های لندست ۸، در تهیه نقشه زمین‌شناسی، مقایسه کردند. فروزان و ارفع‌نیا^۷ (۲۰۱۸) از تلفیق باندهای سنجنده‌های استر، تصویربرداری عملیاتی زمین (OLI)^۸ و MSI برای آشکارسازی دگرسانی‌های گرمایی در جنوب غرب اردستان استفاده کردند. شی^۹ و همکاران (۲۰۱۸) و a (b)، با استفاده از داده‌های سنتینل-۲، واحدهای سنگی کمپلکس افیولیتی شیبانجینگ در چین را رده‌بندی کردند. آنها همچنین نتایج رده‌بندی واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه را با داده‌های سنجنده استر و OLI مقایسه کردند و به صحت رده‌بندی ۷۴/۵٪ در مورد داده‌های سنتینل-۲ رسیدند. این مقدار، به ترتیب، ۲/۵٪ و ۵/۰۸٪ بیشتر از صحت رده‌بندی با استر و OLI بود. فند و فند^{۱۰} (۲۰۱۵) کاربرد داده‌های MSI سنتینل-۲ را، در نقشه‌برداری سیمای جذبی آهن، بررسی کردند. در این مطالعه، تکنیکی برای ارائه مدل شکل سیمای جذبی آهن در کانی‌های گوناگون شامل

1. Multi Spectral Instrument (MSI)
2. Sentinel-2
3. European Space Agency (ESA)
4. van der Meer
5. Salehi
6. van der Werf
7. Forouzan and Arfania
8. Operational Land Imager
9. Ge

تلفیق شده^۳ در محدوده کانسار اسفوردی (شکل ۱) بررسی و بدین منظور، روش‌های بسط عدم همبستگی، رده‌بندی‌های ماشین بردار پشتیبان و جنگل تصادفی و نسبت بانندی به کار می‌رود. منظور از OLI تلفیق شده، در این مقاله، داده‌های OLI است که با استفاده از داده‌های MSI، تغییر مقیاس داده‌اند.

وانگ^۴ و همکاران (۲۰۱۷) پیشنهاد کردند، با تلفیق داده‌های لندست ۸ و سنتینل-۲، مشاهدات بیشتری برای نظارت‌های ادامه‌دار تولید می‌شود و داده‌های لندست ۸ سی‌متری می‌توانند، به توان تفکیک مکانی ده متر، تغییر مقیاس دهند که این محصول توانایی بالقوه‌ای در نظارت‌های زمانی بر تغییرات سریع سطح زمین دارد.

هر ماه، سنتینل-۲ می‌تواند شش مشاهده از هر نقطه زمین داشته باشد که، به‌انضمام دو مشاهده ماهیانه لندست ۸، تعداد مشاهدات هرامه از هر نقطه زمین در مسیر عبور ماهواره‌ها به هشت مرتبه می‌رسد. با کاهش مقیاس لندست به ده متر، به توان تفکیک مکانی بالاتری می‌رسیم که سیمای بیشتری از سطح زمین را بسیار واضح‌تر نشان می‌دهد. سنتینل-۲ در ساعت محلی ۱۰:۳۰ صبح از سطح زمین تصویربرداری می‌کند تا، به‌طور معمول، اطمینان از نور مناسب خورشید و حداقل پوشش ابر حاصل شده باشد. نزدیک‌بودن این زمان به زمان محلی لندست و تطابق آن با زمان محلی اسپات این امکان را فراهم می‌کند که، با استفاده از این داده‌ها و داده‌های مربوط به تاریخ‌های گذشته، سری‌های زمانی طولانی‌مدت از تغییرات سطح زمین فراهم شود.

برخلاف تصور عموم، فقط پایش تغییرات محیطی نیازمند داده‌های فراوان و داده‌های با توان تفکیک زمانی بالا نیست بلکه سنجش از دور زمین‌شناختی نیز

برونزیت، گوتیت، زاروسیت، هماتیت و بریل معرفی شد. این تکنیک امکان نگاشت محل دقیق طول موج در بیشینه جذب و عمق دقیق سیمای جذبی را فراهم می‌آورد. این در حالی است که تا پیش از آن، این کار فقط با داده‌های ابرطیفی ممکن بود، اما اکنون با استفاده از داده‌های سنتینل-۲، کانی‌های آهن‌دار با توان تفکیک مکانی بالاتر و زمان بازنگری بالاتر آشکار می‌شوند. بهرامی^۱ و همکاران (۲۰۱۸) قابلیت داده‌های ماهواره‌ای استر، لندست ۸ و سنتینل-۲ را در نقشه‌برداری زون‌های حاوی کانی‌های دگرسانی گرمایی و اکسیدهای آهن در منطقه ابهر، شمال‌غرب ایران، ارزیابی کردند. آنها نتیجه گرفتند که عملکرد تمامی انواع داده‌ها در آشکارسازی اکسیدهای آهن تقریباً مشابه بود اما نتایج داده‌های سنتینل-۲ بهتر از دو نوع داده دیگر بود. نتایج رده‌بندی نشان داد که داده‌های استر، در آشکارسازی زون‌های حاوی کانی‌های دگرسان‌شده گرمایی، موفق‌تر بوده است. فال^۲ و همکاران (۲۰۱۹)، با استفاده از داده‌های سنتینل-۲، واحدهای سنگی حوضه تفیلات در مراکش را رده‌بندی کردند و با توجه به صحت رده‌بندی ۷۶٪، نتیجه گرفتند که داده‌های سنتینل-۲، ضمن داشتن توان تفکیک طیفی بالا در محدوده VNIR و باندهای SWIR، توانایی افزون‌تری نیز، به دلیل توان تفکیک مکانی بالا، دارد که برای نقشه‌برداری واحدهای سنگی مطلوب است. صالحی و هاشمی تنگستانی (۱۳۹۷) داده‌های MSI سنتینل-۲ را، در بارزسازی زون‌های دگرسان‌شده پیرامون کانسارهای مس پورفیری شمال شرق اصفهان، به‌روش MTMF ارزیابی کردند. هاشمی تنگستانی و شایگان‌پور (۱۳۹۸) از داده‌های MSI سنتینل-۲ در نقشه‌برداری واحدهای سنگی کمپلکس سوریان، شرق استان فارس، به‌روش PCA و نسبت بانندی و SID بهره بردند.

در این پژوهش، قابلیت داده‌های MSI سنتینل-۲ در تفکیک واحدهای سنگی و بارزکردن کانی‌های دگرسانی حاوی هیدروکسیل، اکسیدهای آهن و اکسید آهن فرس در مقایسه با داده‌های OLI و OLI

1. Bahrami
2. Fal
3. Fused OLI
4. Wang

جاده خاکی ۲/۵ کیلومتری، منشعب از جاده اصلی بافق- بهاباد، به مجتمع فسفات اسفوردی متصل می‌شود (شکل ۱). واحدهای سنگی در کانسار اسفوردی به قسمتی از سری ریزو به سن پرکامبرین بالایی تا کامبرین تعلق دارند. سری ریزو دارای یک رخساره آتشفشانی- رسوبی در هم و به هم خورده، متشکل از ماسه سنگ و شیل‌های سبز و بنفش و دولومیت‌های خاکستری تا قهوه‌ای چرت‌دار، توف‌های پرشی، ریولیت‌های خاکستری و بالاخره افق‌های آهن- آپاتیت و دایک‌های دیابازی است که با گسل‌های نرمال، با روند شمالی- جنوبی و شمال‌شرق- جنوب‌غرب، قطع شده است. کانی‌زایی آهن و آپاتیت اغلب از روندهای گسلی پیروی می‌کند (Jami et al., 2007).

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- داده‌ها و پیش‌پردازش

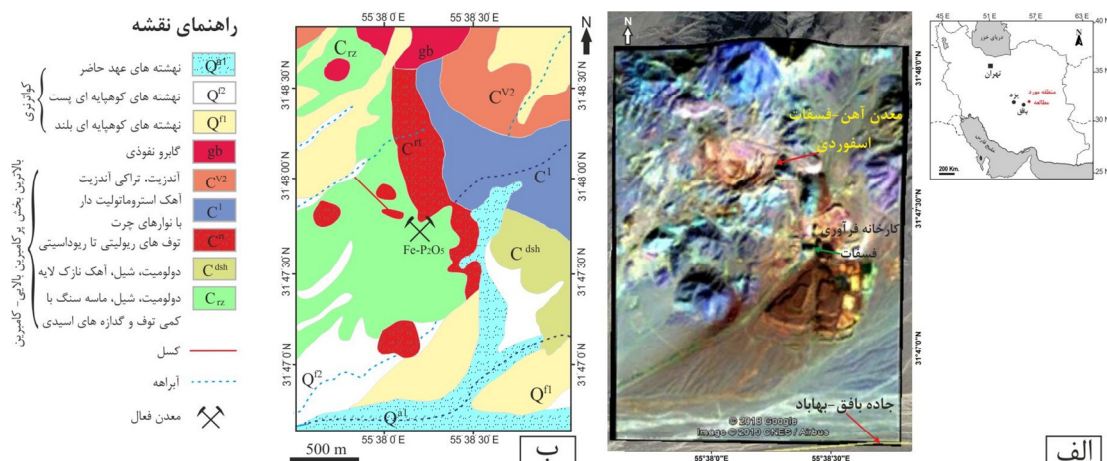
در این مطالعه، از مجموعه داده‌های OLI لندست ۸ در تاریخ اکتبر ۲۰۱۷، و تصاویر MSI سنتینل-۲، LIC A، در دسامبر ۲۰۱۹، استفاده شد. با توجه به فصل و موقعیت مکانی منطقه، وضعیت آب‌وهوایی منطقه در هر دو تاریخ تقریباً مشابه و تصاویر بدون ابر بوده است.

از داده‌های فراوان بهره می‌برد. برای نمونه، می‌توان به مشاهده فعالیت‌های آتشفشان‌ها، تکتونیک و سامانه‌های زمین‌گرمایی اشاره کرد. نمونه دیگر آن نیز مشاهده تغییر پوشش سطح زمین به دلیل نشست، فرسایش و مخاطرات طبیعی است. همچنین، با استفاده از داده‌های سنتینل-۲ A و B و لندست ۸، می‌توان نقشه‌های کانی‌شناسی متوسط‌مقیاس یکپارچه را برای مساحت‌های بزرگ ایجاد کرد؛ مانند آنچه در سال ۲۰۱۶ برای قاره استرالیا تهیه شد. آینده‌سنجش از دور زمین‌شناختی به‌سوی تولید چنین نقشه‌هایی در مقیاس قاره‌ای پیش می‌رود که به داده‌های ادامه‌دار زمانی و مکانی نیاز دارد (van der Werf & van der Meer, 2016).

در این مطالعه، داده‌های لندست ۸ تلفیق شده به کار رفته است تا ظرفیت این نوع داده در مطالعات زمین‌شناسی شناخته شود و شرایط آماری نسبتاً برابر در تعداد باند و اندازه پیکسل پدید آید که بتوان داده‌های لندست ۸ را با سنتینل-۲ مقایسه کرد.

۲- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

کانسار آپاتیت- آهن اسفوردی در ۳۵ کیلومتری شمال‌شرق بافق و ۱۴۰ کیلومتری شرق یزد، در مسیر معادن چغارت- کوشک، واقع شده است که با یک



شکل ۱. موقعیت مکانی منطقه کانسار اسفوردی در گوگل‌ارت، همراه با لایه تصویر ترکیب رنگی (RGB: ۲, ۳, ۱۱) داده‌های MSI (الف)؛ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، برگرفته از برگه ۱:۱۰۰,۰۰۰ اسفوردی (سازمان زمین‌شناسی کشور) (ب).

داده‌های OLI، پس از تلفیق، از لحاظ هندسی تغییری نداشتند و به‌نظر می‌رسید تصحیح هندسی اولیه داده‌ها صحت لازم را داشته است و به تصحیح هندسی دوباره نیاز ندارد اما تعداد پیکسل داده‌های OLI تلفیق‌شده، یک ردیف در جهت محور X و یک ستون در جهت محور Y، بیشتر شده بود که منطقه مورد مطالعه بار دیگر، مطابق با سایز داده‌های MSI، از آن جدا شد.

۳-۲- بازسازی تصویر^۱

برای نمایش بهتر واحدهای سنگی، از روش بسط عدم همبستگی^۲ استفاده شد که همبستگی‌های بالای درون‌بندی پیکسل‌های ورودی را حذف می‌کند و آنها را با رنگ‌های متفاوت، که نمایانگر واحدهای سنگی متفاوت است، تفکیک می‌کند (Wahi et al., 2013). این روش، بسیار قدرتمندتر از روش ترکیب رنگی دروغین، می‌تواند واحدهای سنگی گوناگون را بارز کند. این روش، به سه باند ورودی نیاز دارد تا یک تصویر ترکیبی از رنگ‌های بیشتر، در مقایسه با تصویر ترکیب رنگی، و با همبستگی کمتر تولید کند. این روش روی هر سه دسته داده‌ها اجرا شد (شکل ۲) و تصاویر حاصل از داده‌ها به‌صورت چشمی با یکدیگر مقایسه و تفسیر شدند. همچنین، نقشه سنگ‌شناختی تولیدشده با استفاده از داده‌های MSI با نقشه زمین‌شناسی منطقه مقایسه شد.

به‌منظور ایجاد شرایط برابر در مقایسه هر دو دسته داده، فقط باندهای ۷-۲ سنجنده OLI و باندهای متناظر آن از سنجنده MSI، شامل باندهای ۴-۲، ۸، ۱۱ و ۱۲، انتخاب شد (جدول ۱). با استفاده از نرم‌افزار ENVI، تصحیح جوی به‌روش QUAC روی هریک از این مجموعه داده‌ها اجرا شد و مقادیر هر پیکسل به بازتاب در سطح زمین تبدیل شدند. همه باندهای داده‌های MSI به ۱۰ m بازنویسی و منطقه مورد مطالعه از کل صحنه جدا شد (۱۸۵*۲۶۰ پیکسل). داده‌های OLI نیز، با استفاده از باند PAN، به ۱۵ m بازنویسی شد و منطقه مورد مطالعه، برابر با داده‌های MSI، از کل صحنه جدا شد (۱۲۴*۱۷۴ پیکسل). همچنین، برای آنکه بتوان داده‌ها را از لحاظ آماری دقیق‌تر با هم مقایسه کرد، اندازه پیکسل‌های پانزده‌متری تصاویر لندست یک بار دیگر، با استفاده از باند PAN سنتینل-۲ (میانگین باندهای ۲، ۳ و ۴)، به ده متر کاهش یافت و همراه با دو دسته داده لندست پانزده‌متری و سنتینل ده‌متری، ارزیابی شد. تغییر مقیاس لندست سی‌متری، ابتدا با استفاده از PAN پانزده‌متری لندست ۸ و سپس PAN ده‌متری سنتینل-۲، از مقدار خطای تغییر در اعداد روشنایی پیکسل‌ها، تغییرات هندسی، پوشش و کاربری اراضی می‌کاهد (Wang et al., 2017؛ کابلی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷).

جدول ۱. طول موج باندهای استفاده‌شده از داده‌های سنتینل-۲ و لندست ۸.

لندست ۸			سنتینل-۲		
توان تفکیک مکانی (m)	طول موج (nm)	شماره باند	توان تفکیک مکانی (m)	طول موج (nm)	شماره باند
۳۰	۴۵۰-۵۱۵	۲	۱۰	۴۵۸-۵۲۳	۲
۳۰	۵۲۵-۶۰۰	۳	۱۰	۵۴۳-۵۷۸	۳
۳۰	۶۳۰-۶۸۰	۴	۱۰	۶۵۰-۶۸۰	۴
۳۰	۸۴۵-۸۸۵	۵	۱۰	۷۸۵-۹۰۰	۸
۳۰	۱۵۶۰-۱۶۶۰	۶	۲۰	۱۵۶۵-۱۶۵۵	۱۱
۳۰	۲۱۰۰-۲۳۰۰	۷	۲۰	۲۱۰۰-۲۲۸۰	۱۲

1. Image Enhancement
2. Decorrelation Stretch

۳-۳- رده‌بندی

ضمن در نظر داشتن واحدهای سنگی بارز شده با روش بسط عدم همبستگی، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ منطقه و بازدید صحرایی (شکل ۳ و ۴)، نواحی آموزشی مناسب از نوع پلی‌گون، برای رده‌بندی واحدهای سنگی منطقه در هشت کلاس، به صورت نمونه‌برداری چینه‌ای تصادفی^۱، در دسته داده MSI انتخاب شد و به صورت تصادفی، ۲۵٪ از نواحی آموزشی به نواحی آزمون اختصاص یافت. سپس روش‌های رده‌بندی ماشین بردار پشتیبانی (SVM)^۲ و جنگل تصادفی (RF)^۳ روی دسته داده‌ها اجرا و صحت رده‌بندی‌ها، با استفاده از ماتریس آشفتگی و ضریب کاپا، محاسبه و مقایسه شد.

روش‌های رده‌بندی SVM و RF از الگوریتم‌های نظارت‌شده یادگیری ماشین هستند که اغلب نتایج بسیار خوبی در دسته‌بندی داده‌های ماهواره‌ای به دست می‌دهند (Ge et al., 2018; Kadavi & Lee, 2018; Talukdar et al., 2020). الگوریتم SVM با ابرصفحه‌ای جداکننده، که روی داده‌های آموزشی تعریف می‌شود، دو کلاس خاص را از هم تفکیک و جدا می‌کند (De Boissieu et al., 2018; Vapnik, 1995). الگوریتم، با استفاده از توابع کرنل، بر مشکل توزیع غیرخطی داده‌های آموزشی غلبه می‌کند؛ به این صورت که داده‌ها به فضایی با بُعد بیشتر انتقال می‌یابند که، در آن فضا، تفکیک پذیری بهتر صورت می‌گیرد و ابرصفحه جداکننده تعیین می‌شود (Vapnik, 1995; Yang, 2011). در این پژوهش، از کرنل تابع پایه شعاعی (RBF)^۴ استفاده شد (شکل ۵).

RF درخت تصمیم‌های بسیاری را تولید می‌کند. این الگوریتم، برای رده‌بندی پیکسل یا پدیده رده‌بندی نشده، ورودی مورد نظر را در انتهای هر یک از درختان تصمیم قرار می‌دهد؛ به گونه‌ای که تعلق پیکسل به یکی از کلاس‌ها (n کلاس) میان درختان تصمیم به رأی گذاشته می‌شود و هر درخت تصمیم رأی خود را، در مورد گنجاندن پیکسل در یک کلاس، اعلام می‌کند. الگوریتم پیکسل به رأی گذاشته شده را به کلاسی با

بیشترین رأی درختان جنگل اختصاص می‌دهد (Breiman, 2001; Lowe and Kulkarni, 2015). در این مطالعه، از هزار درخت تصمیم استفاده شد (شکل ۵).

۳-۴- نسبت بانندی

نسبت بانندی به منزله بارزکننده گروه‌های کانایی یا یک گروه مجزای کانی عمل می‌کند. در این مطالعه، برای مقایسه این سه دسته داده، از نسبت‌های بانندی متناظر با پیشنهاد سابینز^۵ (۱۹۹۹) در مورد لندست ۵ TM استفاده شده است (جدول ۲) و به باندهای ۲ (آبی)، ۴ (قرمز)، ۶ (SWIR1) و ۷ (SWIR2) از داده‌های OLI و باندهای ۲، ۴، ۱۱، ۱۲ از داده‌های MSI نیاز است. باندهای ۵ داده‌های OLI و باندهای ۸ داده‌های MSI نیز برای محاسبه NDVI استفاده شد که شاخص پوشش گیاهی، با توجه به مقدار اندکش، نادیده گرفته شد. مشاهدات صحرایی نیز نشان داد که حدود ۱۰ تا ۱۵٪ سطح زمین را خار و بوته‌زارهای خشک پوشانده است. با محاسبه NDVI برای هر مجموعه، حاصل این شاخص حدوداً بین ۰/۲- تا ۰/۲+ قرار گرفت.

سه نسبت بانندی، که در جدول ۲ ذکر شده است، برای آشکار کردن کانی‌های دگرسانی منطقه اسفوردی به کار رفت. نسبت بانندی متناظر با ۵/۷ TM برای آشکار کردن دگرسانی‌های هیدروکسیل دار، نسبت بانندی متناظر با ۳/۱ TM برای بارز کردن همه انواع اکسیدهای آهن و نسبت بانندی متناظر با ۳/۵ TM برای آشکارسازی اکسیدهای آهن فرس، روی هر سه دسته داده اجرا شد. مساحت پیکسل‌های بارز شده از طریق هریک از نسبت‌های بانندی با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS محاسبه شد. سپس، با به کارگیری نمودار پراکندگی که در محیط IDL برای کل صحنه تصویر به دست آمد، همبستگی باندهای متناظر نسبت‌های بانندی از داده‌های OLI، OLI تلفیق شده و MSI بررسی و تفسیر شد.

1. Stratified Random Sampling
2. Support Vector Machine
3. Random Forest
4. Radial Basis Function
5. Sabins

جدول ۲. نسبت‌های بانندی اجراشده روی دسته داده‌های لندست ۸ OLI و سنتینل-۲ MSI A، متناظر با نسبت‌های بانندی پیشنهادشده از سوی ساینز (۱۹۹۹) در مورد داده‌های لندست ۵ TM به منظور آشکار کردن کانی‌های دگرسانی.

سیمای طیفی	لندست ۵ TM	لندست ۸ OLI	سنتینل-۲ MSI A
دگرسانی‌های هیدروکسیل‌دار	۵/۷	۶/۷	۱۱/۱۲
اکسیدهای آهن (همه نوع)	۳/۱	۴/۲	۴/۲
اکسیدهای آهن فرس	۳/۵	۴/۶	۴/۱۱
پوشش گیاهی	۴/۳	۵/۴	۸/۴
شاخص اختلاف پوشش گیاهی هنجارشده	(۴-۳)/(۴+۳)	(۵-۴)/(۵+۴)	(۸-۴)/(۸+۴)

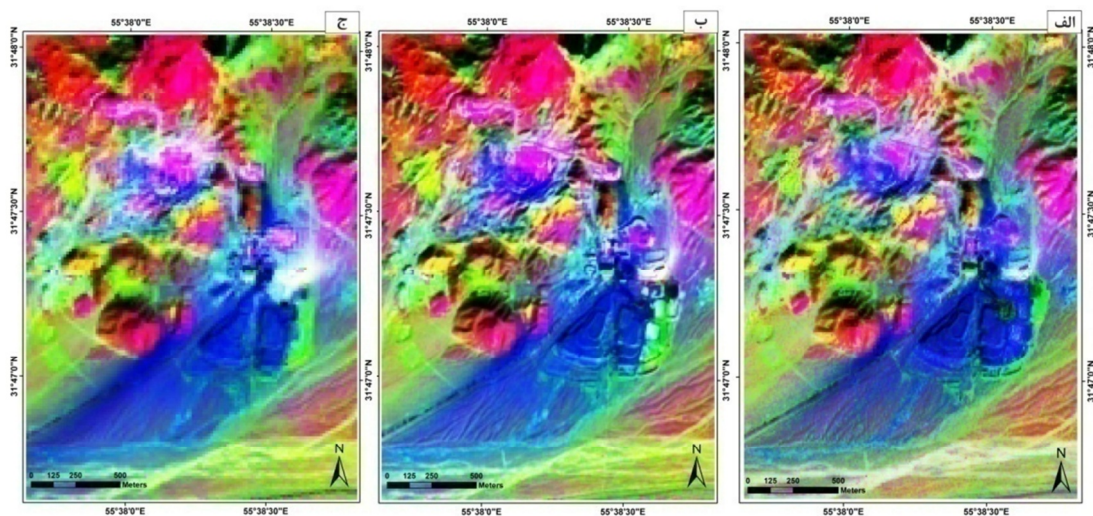
۴- نتایج و بحث

۴-۱- بسط عدم همبستگی

برای افزایش توان تفکیک واحدهای سنگ‌شناختی در منطقه مورد مطالعه، بسط عدم همبستگی روی سه باند ۷، ۴، ۲ OLI و ۱۲، ۴، ۲ MSI، که همبستگی کمتری را با هم در نمودار پراکندگی نشان می‌دادند، اجرا شد (شکل ۲).

تحلیل چشمی تصاویر حاصل از بسط عدم همبستگی نشان می‌دهد که، در هر سه تصویر، تعداد واحدهای سنگی بارز شده برابر است اما، با اندکی دقت، درمی‌یابیم که تعداد پیکسل‌های اختصاص یافته به هر واحد سنگی برابر نیست و از آن جاکه توان تفکیک زمینی داده‌های سنتینل-۲ بیشتر از لندست ۸ است، به واقعیت زمینی نزدیک‌ترند. بنابراین، با مبنای قرار دادن این داده‌ها،

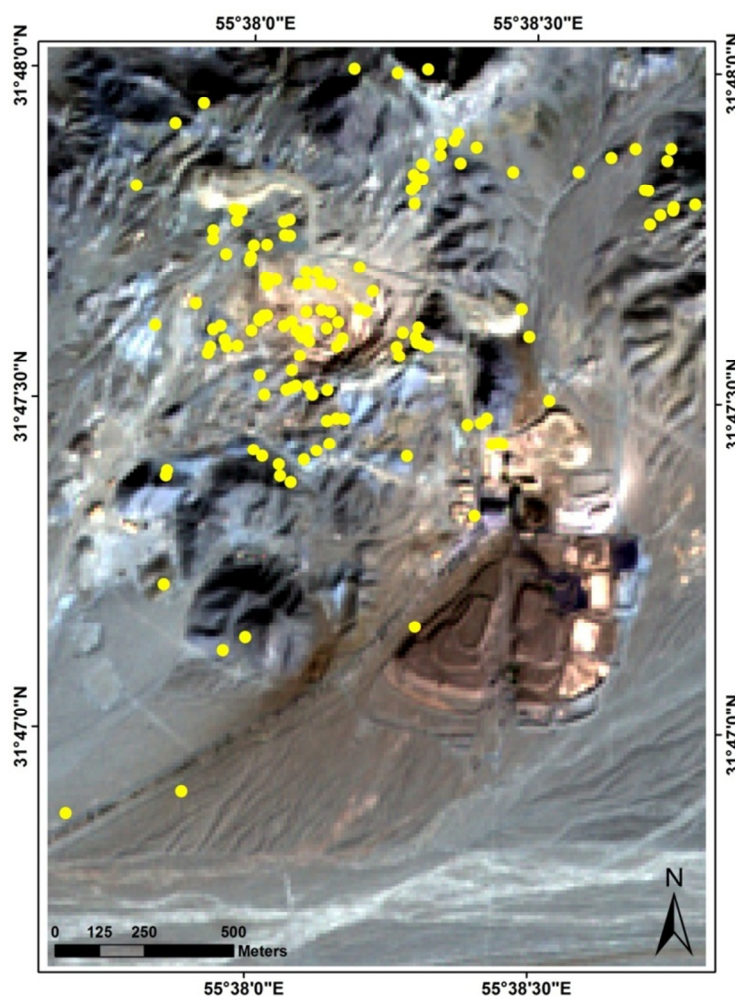
می‌توان گفت داده‌های لندست ۸ واحدهای سنگی را اندکی اغراق‌آمیز بارز کرده‌اند. تصاویر OLI تلفیق شده، با همان کیفیت وضوح داده‌های MSI، پدیده‌ها را از هم تفکیک کرده است اما، با توجه به اینکه ویژگی‌های طیفی خود را از داده‌های OLI به ارث برده‌اند، از لحاظ تعداد پیکسل‌ها برای هر واحد سنگی، به تصویر OLI بسیار نزدیک است. مقایسه تصویر بسط عدم همبستگی MSI با نقشه زمین‌شناسی منطقه (شکل ۱) نشان می‌دهد که این روش توانسته است واحدهای سنگی را به خوبی از هم تفکیک کند و با توجه به بالابودن توان تفکیک مکانی این داده‌ها، در بارز کردن جزئیات بسیار خوب عمل کرده است و همین باعث سخت‌تر شدن مقایسه آن با نقشه کوچک مقیاس زمین‌شناسی می‌شود. اما مشاهدات دقیق صحرایی، نمونه‌برداری و مطالعات



شکل ۲. تصاویر حاصل از اجرای روش بسط عدم همبستگی: باندهای ۱۲۴۲ RGB داده‌های MSI (الف)؛ باندهای ۷۴۲ RGB داده‌های OLI تلفیق شده (ب)؛ باندهای ۷۴۲ RGB داده‌های OLI که به خوبی واحدهای سنگ‌شناختی را تفکیک کرده‌اند (ج).

همراه آن نشان‌دهندهٔ دولومیت‌های ماسه‌سنگی همراه با گدازه‌های اسیدی است. در بالای تصویر، دایک دیابازی (میکروگابرو) به رنگ سبز بسیار تیره دیده می‌شود (شکل ۴-الف). رنگ یاسی اطراف معدن بیانگر توفیت‌های بسیار دگرسان شده است که کمی بالاتر از آن نیز باطله‌های معدنی به همین رنگ دیده می‌شود. از آن‌جا که نهشته‌های کواترنری عموماً غنی از کانی‌های رسی و سیلیکات‌ها هستند، رنگ نارنجی متمایل به قهوه‌ای به خود گرفته‌اند. نهشته‌های کوهپایه‌ای نقاط پست نیز با آبی کمرنگ نمایان شده و نوار سفید پایین تصویر نهشته‌های عهد حاضر را آشکار می‌کند که حاصل رسوبات آبرفتی و بادرفتی‌اند.

میکروسکوپی، واحدهای سنگ‌شناسی تفکیک‌شده با این روش در تصویر MSI را تأیید و به تفسیر نقشه کمک کرد (شکل ۳ و ۴). فعالیت‌های معدنی، انباشت تل‌کانی‌های باطله و فعالیت‌های کارخانهٔ فرآوری فسفات باعث شده شکل ظاهری منطقه با آنچه در نقشه می‌بینیم تفاوت داشته باشد. در این تصویر، تپه‌های ریولیتی به رنگ قرمز مایل به صورتی، واحدهای شیلی و آهکی نازک‌لایه به رنگ صورتی و آهک‌های سیلیس‌دار به رنگ سبز نمایان شده‌اند (شکل ۴-ب). آبی پررنگ نشان‌دهندهٔ واحدهای کواترنری و محل معدن است که غباری از اکسیدهای آهن روی آن را پوشانده است (شکل ۴-ج). سبز کمرنگ و زرد



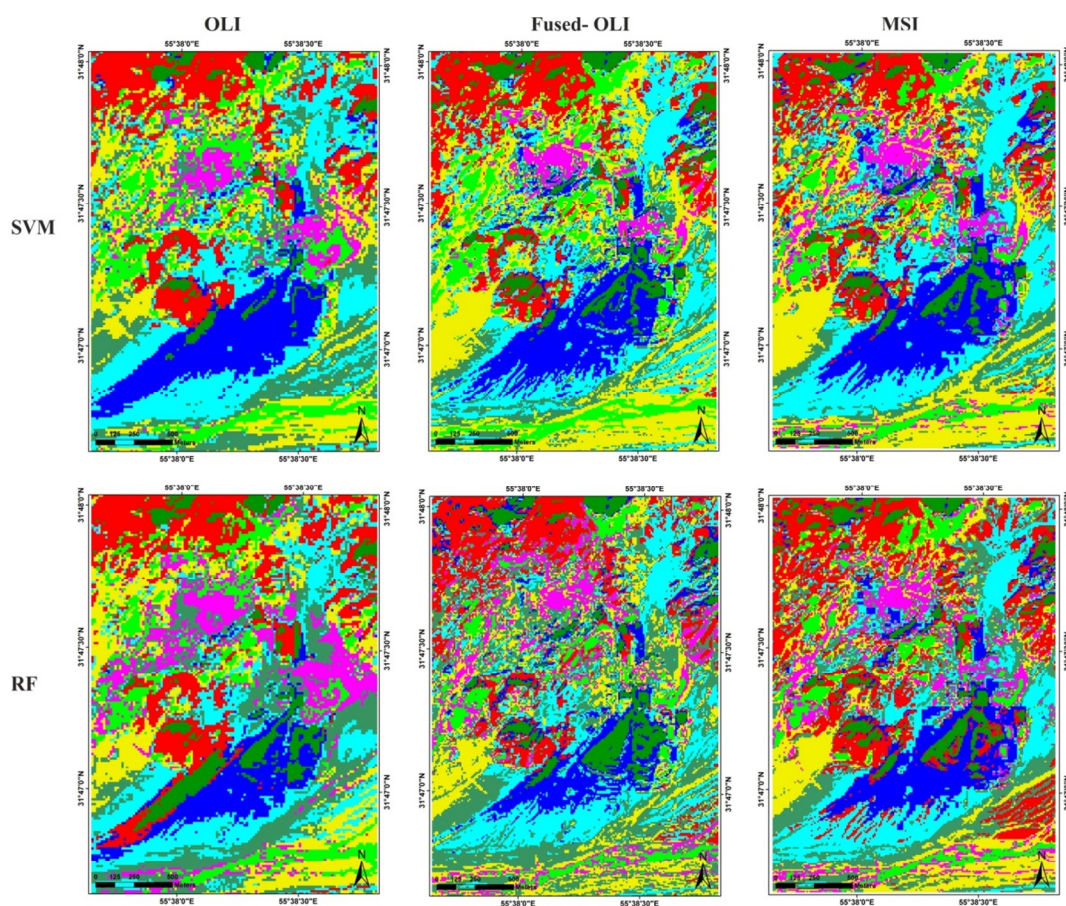
شکل ۳. محل نقاط کنترل‌شده در بازدید میدانی روی تصویر MSI.



شکل ۴. مرز تماس سه واحد سنگی دولومیت، گابرو و دیوریت در شمالی‌ترین بخش منطقه مورد مطالعه (الف)؛ واحدهای ریولیتی، رسوبات کواترنری ۳ و کربنات سیلیسی واقع در شمال شرق معدن روباز آپاتیت- آهن (ب)؛ واحدهای ریولیتی و نمایی از بالای معدن روباز آپاتیت- آهن (ج).

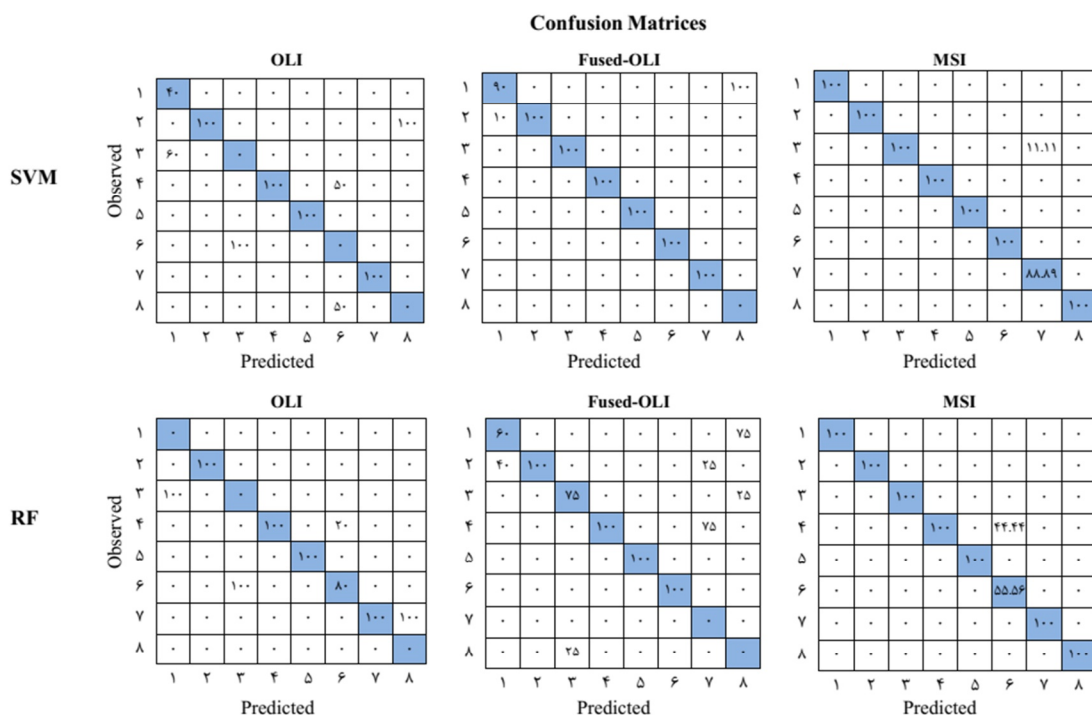
دسته داده MSI، ۰/۹۸/۱۵- /۰/۹۸ در رده‌بندی SVM و ۰/۹۲/۶۰- /۰/۹۱ در رده‌بندی RF است (جدول ۳). کمترین صحت کلی رده‌بندی نیز مربوط به دسته داده OLI است. همچنین، رده‌بندی SVM صحت کلی و ضریب کاپای بیشتر از رده‌بندی RF در هر سه دسته داده نشان می‌دهد.

۲-۴- رده‌بندی واحدهای سنگی و بررسی صحت آنها با اجرای روش‌های رده‌بندی یادگیری ماشین SVM و RF، هریک از دسته داده‌ها به هشت کلاس واحد سنگی رده‌بندی شد (شکل ۵). بررسی نتایج ماتریس آشفتگی محاسبه‌شده برای هریک از دسته داده‌ها در هر نوبت رده‌بندی (شکل ۶) نشان می‌دهد که بیشترین صحت کلی رده‌بندی- ضریب کاپا مربوط به



شکل ۵. دسته داده‌های رده‌بندی‌شده به روش‌های رده‌بندی نظارت‌شده ماشین بردار پشتیبانی و جنگل تصادفی.

اکسید آهن
توفیت
رسوبات کواترنری ۱
رسوبات کواترنری ۲
رسوبات کواترنری ۳
ریولیت
کربنات سیلیسی
گابرو



شکل ۶. ماتریس‌های آشفتگی محاسبه‌شده برای تعیین عملکرد روش‌های رده‌بندی SVM و RF دسته داده‌ها، با استفاده از نواحی آزمون واقعیت زمینی. کلاس‌ها نشان‌دهنده این مواردند: ۱. اکسید آهن؛ ۲. توفیت؛ ۳. رسوبات کواترنری؛ ۴. رسوبات کواترنری؛ ۵. رسوبات کواترنری؛ ۶. ریولیت؛ ۷. کربنات سیلیسی؛ ۸. گابرو.

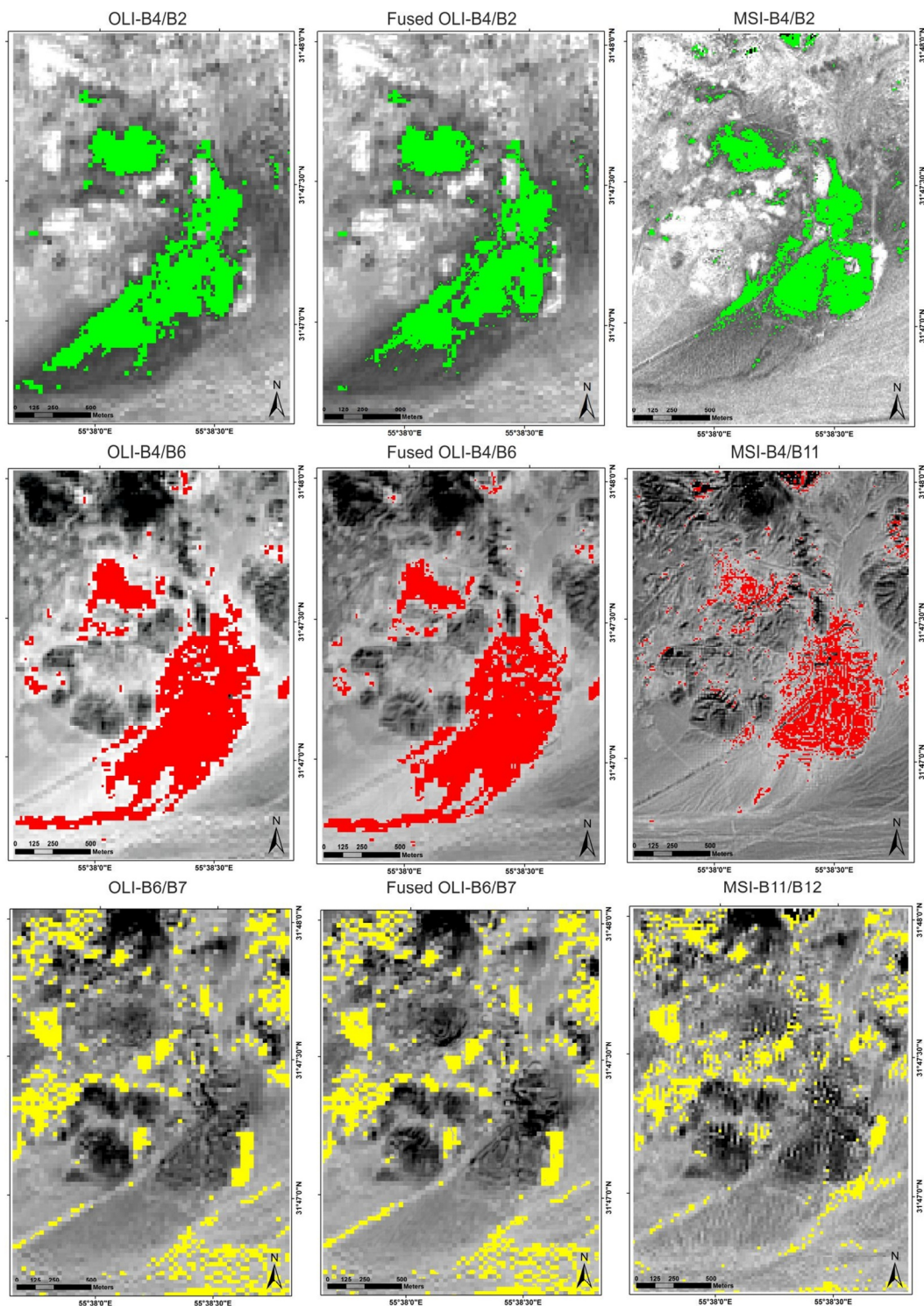
جدول ۳. مقایسه عملکرد روش‌های رده‌بندی در سه نوع دسته داده OLI، OLI تلفیق شده و MSI.

جنگل تصادفی		ماشین بردار پشتیبانی		روش طبقه‌بندی	دسته داده
ضریب کاپا	صحت کلی (%)	ضریب کاپا	صحت کلی (%)		
۰/۴۵	۵۴/۸۵	۰/۵۱	۵۷/۷۰	OLI - پانزده‌متری	
۰/۶۹	۷۴/۰۷	۰/۸۹	۹۰/۷۴	OLI تلفیق شده - ده‌متری	
۰/۹۱	۹۲/۶۰	۰/۹۸	۹۸/۱۵	MSI - ده‌متری	

موجود در باند قرمز (صورت کسر) کمتر از مقادیر پیکسل‌های موجود در باند آبی (مخرج کسر) است اما، در تصاویر تولیدشده از طریق دو نسبت باندهای B4/SWIR1 و SWIR1/SWIR2، اکسیدهای آهن فرس و کانی‌های هیدروکسیل‌دار با رنگ سفید بارز شده‌اند. همان‌طور که در تصاویر نسبت باندهای (شکل ۷) مشخص است، مساحت نواحی بارز شده در هر یک از مجموعه داده‌ها با هم متفاوت است؛ باین حال بررسی عددی (جدول ۴) این تفاوت‌ها نشان می‌دهد که

۳-۴ - مقایسه نتایج نسبت باندهای و نمودارهای پراکندگی نواحی دگرسان‌شده گرمابی حاوی اکسیدهای آهن، اکسیدهای آهن فرس و کانی‌های هیدروکسیل‌دار، با استفاده از نسبت‌های باندهای که در جدول ۲ ذکر شد، آشکار و با استفاده از ابزار برش چگالی، به ترتیب به رنگ سبز، قرمز و زرد نشان داده شد (شکل ۵). نسبت باندهای اکسیدهای آهن تصویری را تولید می‌کند که نواحی مشتمل بر این نوع دگرسانی با رنگ سیاه نشان داده می‌شود. علت این است که مقادیر پیکسل‌های

سوگند کریمزاده و مجید هاشمی تنگستانی



شکل ۷. تصاویر حاصل از اجرای نسبت‌های بانندی روی داده‌های OLI، MSI، تلفیق شده و OLI. با برش چگالی، پیکسل‌های بارز شده نواحی دگرسان شده حاوی اکسید آهن با رنگ سبز، کانی‌های دارای اکسید آهن فرس با رنگ قرمز و کانی‌های دگرسانی هیدروکسیل‌دار با رنگ زرد نشان داده شده است.

جدول ۴. مساحت (هکتار) نواحی بارز شده با هریک از نسبت‌های بانندی در تصاویر OLI، OLI تلفیق شده و MSI

SWIR1/ SWIR2	B4/SWIR1	B4/B2	نوع سنجنده
۶۰/۷۷۲۵	۸۱/۸۱	۶۵/۸۳۵	OLI_ پانزده‌متری
۶۰/۷۱	۷۷/۴۳	۵۸/۸	OLI تلفیق شده_ ده‌متری
۶۲/۱۶	۳۸/۲۹	۴۷/۵۷	MSI_ ده‌متری

تلفیق شده بازمی‌گردد. مقادیر ضریب همبستگی این باندها، در هر سه نسبت بانندی، برای کل صحنه تصویر ۰/۷۶ تا ۰/۶۱ را نشان می‌دهد. پس از آن، نسبت‌های بانندی تولید شده با داده‌های OLI با نسبت بانندی داده‌های OLI تلفیق شده بیشترین همبستگی (۰/۲۵ تا ۰/۰۴) را نشان می‌دهد و در نهایت، نسبت‌های بانندی تولید شده با داده‌های MSI کمترین همبستگی (۰/۱۷ تا ۰/۰۴) را با نسبت‌های بانندی تولید شده با داده‌های OLI بیان می‌کند. با توجه به یکی بودن ویژگی‌های تفکیک مکانی و رادیومتریکی داده‌های MSI و OLI تلفیق شده، داشتن ضریب همبستگی بالا بین باندهای نسبت‌گیری شده بدیهی است. اما به دلیل تفاوت‌هایی که در ویژگی‌های ساختاری سنجنده‌ها وجود دارد، یعنی تفاوت در مقادیر بهره^۱ و انحراف^۲ و در نتیجه، اعداد روشنایی متفاوت حاصل از تصحیح جوی یکسان، داده‌های MSI و OLI کمترین همبستگی را نشان می‌دهند.

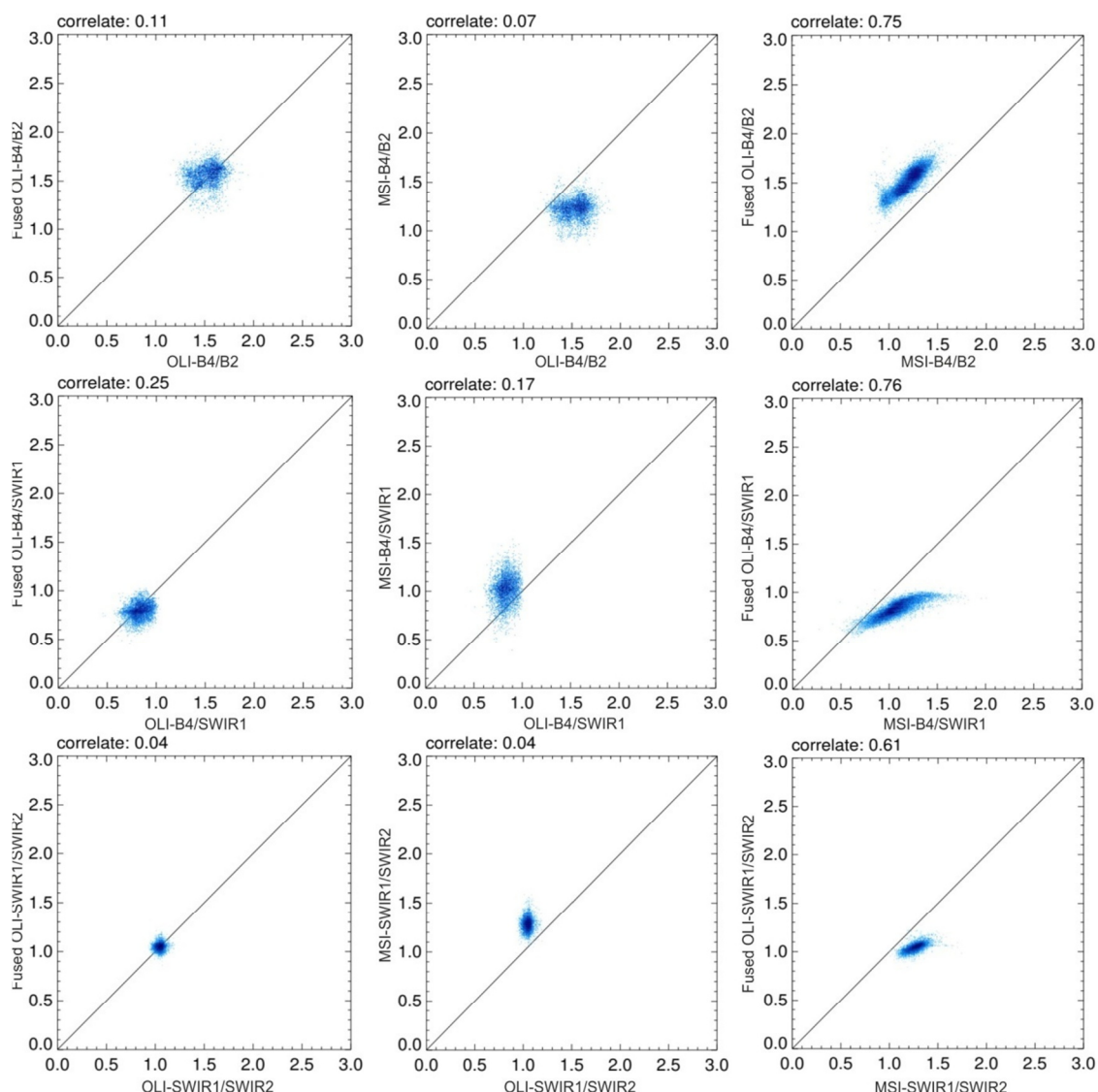
یکی از نکات جالب توجه، در این نمودارهای پراکندگی، همبستگی بالا بین باندهای نسبت B4/SWIR-1 است که در هر سه دسته داده مشخص است. دلیل این همبستگی بالا ممکن است آن باشد که نسبت بانندی مورد اشاره پیکسل‌های بیشتری را در صحنه تصویر به خود اختصاص داده است.

به‌طور کلی، ضرایب همبستگی بین نسبت‌های بانندی این سه دسته داده بیشتر از ۰/۵ و در گستره مورد قبولی است؛ بنابراین، استفاده از داده‌های لندست ۸ و تلفیق آنها با داده‌های سنتینل-۲، در تاریخ‌هایی که داده‌های سنتینل-۲ در دسترس نیست، برای مطالعات زمین‌شناسی مطلوب و کارآمد است.

بیشترین مساحت زون اکسید آهن به تصویر OLI و کمترین آن به تصویر MSI اختصاص دارد. در تصاویر نسبت بانندی B4/SWIR1 نیز، بیشترین مساحت به تصویر OLI و کمترین آن به تصویر MSI بازمی‌گردد. اما در تصاویر نسبت بانندی SWIR1/SWIR2، تصویر MSI برعکس عمل کرده و بیشترین مساحت دگرسانی‌های حاوی کانی‌های هیدروکسیل را به خود اختصاص داده است. تصویر OLI در جایگاه دوم و تصویر OLI تلفیق شده، با کمترین مساحت، در جایگاه سوم قرار گرفته است. آنچه در این مقایسه واضح است این است که تصاویر داده‌های OLI، احتمالاً به دلیل توان تفکیک مکانی پایین‌تر و اختلاط طیفی بیشتر در پیکسل‌های خود، مساحت زون‌های دگرسانی را به‌صورت اغراق‌آمیز و غیرواقعی‌تر نشان می‌دهند. داده‌های OLI تلفیق شده نیز رفتاری مابین داده‌های MSI و OLI، اما بسیار نزدیک به داده‌های OLI، دارند که دور از انتظار هم نیست. یکی از دلایلی که داده‌های MSI مساحت کمتری از زون‌های دگرسانی را نشان دادند ممکن است این باشد که پهنای باندهای این سنجنده کمی کمتر از پهنای باندهای سنجنده OLI است و اختلاف جزئی در مقادیر مرکز باندها باعث می‌شود که امضای طیفی برخی پدیده‌ها از سوی سنجنده شناسایی نشود. با این حال، با توجه به توان تفکیک مکانی بالاتر این داده‌ها آمیختگی طیفی کمتری خواهند داشت و به واقعیت زمینی نزدیک‌ترند.

با تفسیر نتایج نمودارهای پراکندگی مقادیر نسبت‌های بانندی تولید شده (شکل ۸)، مقایسه رفتارهای طیفی این سه مجموعه داده نیز کامل می‌شود. این نمودارها نشان می‌دهند که بیشترین همبستگی بین باندها به داده‌های MSI و OLI

1. Gain
2. Offset



شکل ۸. نمودارهای پراکندگی نسبت‌های باندی تولیدشده با مجموعه داده‌های OLI، MSI و OLI تلفیق‌شده برای آشکارسازی نواحی دگرسان‌شده در منطقه اسفوردی.

۵- نتیجه‌گیری

مطابقت داشت. مقایسه این تصاویر نشان داد که داده‌های OLI تلفیق‌شده، از لحاظ مکانی، به‌اندازه داده‌های MSI وضوح پدیده‌ها را افزایش می‌دهد اما تعداد پیکسل‌هایی که به هر واحد سنگی اختصاص داده به تصویر OLI نزدیک‌تر است. برای مقایسه آماری این سه دسته داده، رده‌بندی ماشین بردار پشتیبان و جنگل تصادفی اجرا شد؛ بیشترین صحت کلی رده‌بندی

در این پژوهش، قابلیت داده‌های OLI، MSI و OLI تلفیق‌شده در تفکیک واحدهای سنگی و نواحی دگرسان‌شده گرمابی، در محدوده کانسار آپاتیت- آهن اسفوردی، بررسی شد. با روش بسط عدم همبستگی، واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه در هر سه دسته داده به خوبی تفکیک شدند که با مشاهدات میدانی، مطالعات میکروسکوپی و نقشه زمین‌شناسی منطقه

در این پژوهش، تشکر و قدردانی کنند. همچنین، از دکتر هارالد فند و قف از دپارتمان تحلیل سیستم‌های زمین، مؤسسه ITC دانشگاه توئنته^۱ هلند، به دلیل کنترل صحت اجرای بخشی از مقاله تشکر می‌کنند.

۷- منابع

سازمان زمین‌شناسی کشور، برگه شماره ۷۱۵۳، نقشه ۱:۱۰۰,۰۰۰ اسفوردی.

صالحی، ط.، هاشمی تنگستانی، م.، ۱۳۹۷، **ارزیابی داده‌های سنجنده تصویربردار چندطیفی ماهواره سنتینل-۲ در بارزسازی زون‌های دگرسان کانسارهای مس پورفیری، مطالعه موردی: شمال شرقی اصفهان**، اولین همایش ملی انجمن سنجش از دور زمین‌شناختی ایران، ۲۳-۲۱ آذر ۱۳۹۷، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان.

کابلی‌زاده، م.، رنگزن، ک.، محمدی، ش.، ۱۳۹۷، **کاربرد تلفیق تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و سنتینل-۲ در پایش محیطی**، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال نهم، شماره ۳، صص. ۷۱-۵۳.

هاشمی تنگستانی، م.، شایگان‌پور، س.، ۱۳۹۸، **تحلیل طیفی و آشکارسازی واحدهای سنگی کمپلکس سوریان، شمال شرق فارس با استفاده از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای استر و سنتینل-۲**، سنجش از دور و GIS ایران، سال یازدهم، شماره ۲، صص. ۷۸-۶۳.

Bahrami, Y., Hassani, H. & Maghsoudi, A., 2018, **Investigating the Capabilities of Multispectral Remote Sensors Data to Map Alteration Zones in the Abhar Area, NW Iran**, Geosystem Engineering, 24(1), PP. 18-30, Retrieved from <https://doi.org/10.1080/12269328.2018.1557083>

و ضریب کاپا مربوط به روش رده‌بندی SVM و داده‌های MSI و پس از آن، داده‌های OLI تلفیق شده است. همچنین، از نسبت‌های بانندی متناظر با آنچه برای داده‌های لندست ۵ TM تعریف شده است استفاده شد و دگرسانی‌های حاوی همه انواع اکسیدهای آهن با نسبت بانندی متناظر با ۳/۱ TM، اکسید آهن فرس با نسبت بانندی متناظر با ۳/۵ TM و کانی‌های هیدروکسیل‌دار با نسبت بانندی متناظر با ۵/۷ TM بارز شد. مقایسه مساحت نواحی دگرسانی آشکارشده، در تصاویر نسبت بانندی حاصل از این سه دسته داده، نشان داد که داده‌های MSI مساحت کمتر و داده‌های OLI مساحت بیشتری از پیکسل‌های بارز شده را نشان می‌دهد زیرا داده‌های OLI، با توان تفکیک مکانی پایین‌تر، آمیختگی طیفی بیشتری دارند و اندازه پدیده‌ها را اغراق‌آمیزتر نشان می‌دهند. داده‌های OLI تلفیق شده نیز، با مساحتی بین این دو داده و نزدیک به داده‌های OLI، واحدهای دگرسانی را آشکار کرده است. الگوی نمودار پراکندگی باندهای نسبت‌گیری شده نیز نشان داد که داده‌های MSI و OLI تلفیق شده بیشترین همبستگی را با هم دارند و پس از آن، باندهای نسبت‌گیری شده OLI و OLI تلفیق شده همبستگی خوبی را نشان می‌دهند.

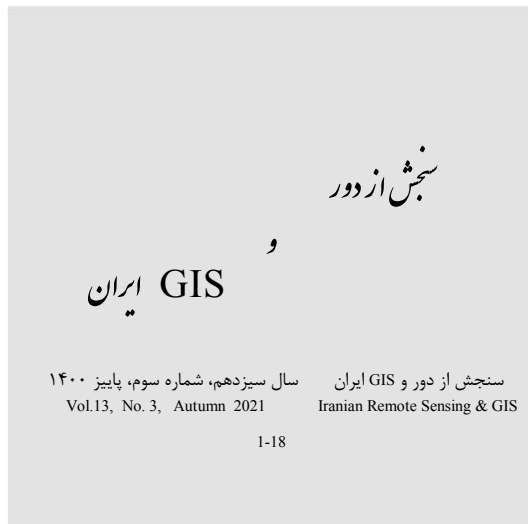
این مطالعه نشان داد که داده‌های MSI، به دلیل توان تفکیک مکانی بالاتر، جزئیات بیشتری از سطح زمین را نشان می‌دهد و در مطالعات زمین‌شناسی و تهیه نقشه سنگ‌شناسی و دگرسانی، مطلوب است. همچنین، با استفاده از داده‌های OLI تلفیق شده، می‌توان به نقشه‌ای دست یافت که کیفیت آن به نقشه حاصل از MSI نزدیک است و این برای تهیه نقشه‌های کانی‌شناسی در مقیاس‌های قاره‌ای، در ادامه داده‌های MSI، بسیار کارآمد خواهد بود.

۶- سیاست‌گذاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از مجتمع فسفات اسفوردی، به دلیل فراهم آوردن تمهیدات بازدید صحرایی

- Breiman, L., 2001, **Random Forests**, Mach. Learn, 45, PP. 5-32.
- De Boissieu, F., Sevin, B., Cudahy, T., Mangeas, M., Chevrel, S., Ong, C., Rodger, A., Maurizot, P., Laukamp, C. & Lau, I., 2018, **Regolith-Geology Mapping with Support Vector Machine: A Case Study over Weathered Ni-Bearing Peridotites, New Caledonia**, Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf., 64, PP. 377-385.
- de Kok, R., Wężyk, P., Papież, M. & Migo, L., 2017, **Applications of Sentinel-2 Data for Agriculture and Forest Monitoring Using the Absolute Difference (ZABUD) Index Derived from the AgroEye Software (ESA)**, Proc. SPIE 10421, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XIX, 104211A (2 November 2017, Event: SPIE Remote Sensing, 2017, Warsaw, Poland).
- ESA, 2012, **Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services**, European Space Agency, (ESA SP-1322/2 March 2012)
- Fal, S., Maanan, M., Baidder, L. & Rhinane, H., 2019, **The Contribution of Sentinel-2 Satellite Images for Geological Mapping in the South of Tafilalet Basin (Eastern Anti-Atlas, Morocco)**, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-4/W12, 2019 5th International Conference on Geoinformation Science – Geo Advances 2018, 10–11 October 2018, Casablanca, Morocco.
- Forouzan, M. & Arfania, R., 2018, **Integration of the Bands of ASTER, OLI, MSI Remote Sensing Sensors for Detection of Hydrothermal Alterations in Southwestern Area of the Ardestan, Isfahan Province, Central Iran**, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, In press, corrected proof, Available online 10 December 2018.
- Ge, W., Cheng, Q., Jing, L., Armenakis, C. & Ding, H., 2018b, **Lithological Discrimination Using ASTER and Sentinel-2A in the Shibanzing Ophiolite Complex of Beishan Orogenic in Inner Mongolia, China**, Advances in Space Research., 62, PP. 1702-1716.
- Ge, W., Cheng, Q., Tang, Y., Jing, L. & Gao, C., 2018a, **Lithological Classification Using Sentinel-2A Data in the Shibanzing Ophiolite Complex in Inner Mongolia, China**, Remote Sens., 10(4), P. 638.
- Iurist, N., Stătescu, F. & Lateş, I., 2016, **Analysis of Land Cover and Land Use Changes Using Sentinel-2 Images**, PESD, 10(2), PP. 161-172.
- Jami, M., Dunlop, A.C. & Cohen, D.R., 2007, **Fluid Inclusion and Stable Isotope Study of the Esfordi Apatite-Magnetite Deposit, Central Iran**, Economic Geology, 102, PP. 1111-1128.
- Kadavi, P.R & Lee, C.W., 2018, **Land Cover Classification Analysis of Volcanic Island in Aleutian Arc Using an Artificial Neural Network (ANN) and a Support Vector Machine (SVM) from Landsat Imagery**, Geosciences Journal, 22(4), PP. 653-665.
- Karaoui, I., Abdelghani, B., Arioua, A., Hssaisoune, M., Sabri, E.M., Ait Ouhamchich, K., Elhamdouni, D., El Amrani, I. & Wafae, N., 2019, **Evaluating the Potential of Sentinel-2 Satellite Images for Water Quality Characterization of Artificial Reservoirs: The Bin El Ouidane Reservoir Case Study (Morocco)**, Meteorology Hydrology and Water Management, 7(1).
- Lefebvre, A., Sannier, C. & Corpetti, T., 2016, **Monitoring Urban Areas with Sentinel-2A Data: Application to the Update of the Copernicus High Resolution Layer Imperviousness Degree**, Remote Sensing, 8(606).
- Lowe, B. & Kulkarni, A., 2015, **Multispectral Image Analysis Using Random Forest**, International Journal on Soft Computing, 6, PP. 1-14.
- Sabins, F.F., 1999, **Remote Sensing for Mineral Exploration**, Ore Geol. Rev., 14, PP. 157-183.

- Salehi, S., Mielke, C., Brogaard Pedersen, C. & Dalsenni Olsen, S., 2019, **Comparison of ASTER and Sentinel-2 Spaceborne Datasets for Geological Mapping: A Case Study from North-East Greenland**, Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin, 43.
- Talukdar, S., Singha, P., Mahato, S., Shahfahad, Pal, S., Liou, Y.A. & Rahman, A., 2020, **Land-Use Land-Cover Classification by Machine Learning Classifiers for Satellite Observations-A Review**, Remote Sens., 12, P. 1135.
- van der Meer, F.D., van der Werff, H.M.A. & van Ruitenbeek, F.J.A., 2014, **Potential of ESA's Sentinel-2 for Geological Applications**, Remote Sens. Environ., 148, PP. 124-133.
- van der Werff, H.M.A. & van der Meer, F.D., 2015, **Sentinel-2 for Mapping Iron Absorption Feature Parameters**, Remote Sens., 7, PP. 12635-12653.
- van der Werff, H.M.A. & van der Meer, F.D., 2016, **Sentinel-2A MSI and Landsat 8 OLI Provide Data Continuity for Geological Remote Sensing**, Remote Sens., 8, P. 883.
- Vapnik, V.N., 1995, **The Nature of Statistical Learning Theory**, 2nd edition, Springer-Verlag, New York.
- Wahi, M., Taj-Eddine, K. & Laftouhi, N., 2013, **ASTER VNIR & SWIR Band Enhancement for Lithological Mapping – A Case Study of the Azegour Area (Western High Atlas, Morocco)**, Journal of Environment and Earth Science., 3, PP. 33-45.
- Wang, Q., Blackburn, G.A., Onojeghuo, A.O., Dash, J., Zhou, L., Zhang, Y. & Atkinson, P.M., 2017, **Fusion of Landsat 8 OLI and Sentinel-2 MSI Data**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 55, P. 7.
- Yang, X., 2011, **Parameterizing Support Vector Machines for Land Cover Classification**, Photogramm. Eng. Remote Sens., 77, PP. 27-38.



The Capability of Sentinel-2 MSI and Landsat-8 OLI Data for Discrimination of Lithological Units and Alteration Minerals of Esfordi Phosphate Deposit Area, Central Iran

Karimzadeh S.*¹ and Hashemi Tangestani M.²

1. Ph.D. Student in Dep. of Earth Sciences, Faculty of Sciences, Shiraz University
2. Prof. of Dep. of Earth Sciences, Faculty of Sciences, Shiraz University

Abstract

Twin Sentinel-2 MSI sensors are spatially like the Landsat-8 OLI super spectral instrument, aiming to additional data continuity for land surface monitoring were launched by European Space Agency. In this paper, the potential of these data was evaluated for discrimination of lithological units and alterations in the Esfordi phosphate deposit area and was compared with OLI and fused OLI data. The decorrelation stretch method was used for enhancing the lithological units of the study area, and all of the 3 datasets acceptably discriminated the rock units. Among these, MSI data could produce the lithological map with high resolution and the highest level of reality owing to its high spatial resolution. For statistical comparison, Support Vector Machine and Random Forest methods were applied on datasets for classification of the lithological units and their accuracy was assessed using confusion matrices. Furthermore, the corresponding band ratios to which were defined for Landsat-5 TM, were applied on datasets for detecting the altered areas. Then the areas of each highlighted alteration zones were estimated for comparison. Furthermore, the scatterplots of band ratio images were prepared. MSI dataset revealed the highest overall accuracy and Kappa coefficient in Support Vector Machine and Random Forest classification. Also, the results of band ratioing showed that MSI and fused OLI data have the most correlation and similarities. This study demonstrated that MSI data are more optimal than OLI data for lithological and alteration mapping. Also, using fused OLI data in dates which there is no MSI data acquisition or for producing seamless geological maps in continental scale besides to MSI data, is efficient.

Keywords: Sentinel-2 and Landsat-8 datasets, Esfordi deposit, Decorrelation stretch, Machine learning algorithms, Band ratio.

* Correspondence Address: Dep. of Earth Science, Faculty of Science, Adabiat Cross, Shiraz.
Email: karimzadeh-shu@shirazu.ac.ir; Karimzadeh208@gmail.com