

## مقایسه روش‌های ادغام داده‌های تصاویر سنجنده MODIS و OLI در بهبود بارزسازی گردو غبار نواحی صنعتی

میترا شیرازی<sup>۱</sup>، محمد اخوان قالیباف<sup>۲\*</sup>، حمیدرضا متین فر<sup>۳</sup> و منصور نخکش<sup>۴</sup>

۱-دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، ایران

۲-نویسنده مسئول، استادیار، گروه بیابان، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، ایران، پست الکترونیک: makhavan\_ghalibaf@hotmail.com

۳-دانشیار، گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، ایران

۴-دانشیار، گروه برق مخابرات، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه یزد، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۸/۰۲

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۵/۰۹

### چکیده

از عمده مشکلات سنجنده های مستقر بر سکوهای هوایی و فضایی نبود قدرت تفکیک مکانی، رادیومتریک طیفی و زمانی بالا بصورت همزمان است زیرا طراحی چنین سنجنده‌هایی علاوه بر هزینه‌بری بالا دارای مشکلاتی در طراحی سنجنده می‌باشند. از طرف دیگر شناسایی و پایش بسیاری از پدیده‌های محیطی نیازمند به بکارگیری سنجنده‌هایی با قدرت تفکیک مکانی، طیفی و زمانی بالا بصورت همزمان است. بنابراین جهت پایش بسیاری از عوامل موجود در اکوسیستم‌های طبیعی از جمله آب، خاک و اتمسفر بکارگیری روش‌های ریزمقیاس‌سازی در ادغام تصاویر دو یا چند سنجنده با قدرت تفکیک مکانی، رادیومتری و زمانی متفاوت راهگشا است. ریزگردها به خصوص ریزگردهای حاصل از فعالیت صنایع و معادن، جزء ذرات معلق اتمسفر هستند که شناسایی آنها از اهمیت بسیاری برخوردار است. پایش ریزگرد نیازمند به سنجنده‌ای است که همزمان دارای قدرت تفکیک رادیومتری، مکانی و زمانی بالا باشد که این امر در یک سنجنده عملاً غیر ممکن است. بدین منظور می‌توان از تلفیق تصاویر سنجنده مودیس با قدرت تفکیک رادیومتری و زمانی بالا با تصاویر لندست با قدرت تفکیک مکانی بالا استفاده نمود. از جمله شاخص‌های معروف برای بارزسازی ریزگرد، شاخص NDDI است که با استفاده از طول موج‌های مادون قرمز میانی (۱/۲ μm) و آبی (۴۷/۰ μm) بدست می‌آید. در این تحقیق سعی بر آن شد تا از چندین الگوریتم ریزمقیاس‌سازی از جمله STARFM، Gram-Schmidt، Boveri، STARFM، HPF و SIFM، PBIM، wavelet، STARFM استفاده شود و با نتایج حاصل نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص NDDI تهیه گردد. نتایج ارزیابی نشان داد بهترین روش ادغام روش‌های STARFM و ESTARFM است که با تصاویر سنجنده لندست دارای ضریب تبیین ( $R^2$ ) به ترتیب ۰/۸۸، ۰/۹۱، ۰/۹۹ و با تصاویر مودیس ۰/۵۱، ۰/۵ و ۰/۵۷ می‌باشد. مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) برای هر سه روش بسیار ناچیز و به ترتیب ۰/۰۲، ۰/۰۴ و ۰/۰۵۵ برای تصاویر اصلی لندست و ۰/۰۴، ۰/۰۶ و ۰/۱ برای تصاویر اصلی مودیس می‌باشد. بنابراین میتوان از روش‌های STARFM و ESTARFM و PBIM جهت ترکیب تصاویر سنجنده مودیس و لندست به قصد افزایش قدرت تفکیک مکانی، طیفی و زمانی با دقت بالا استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: ادغام تصاویر ماهواره‌ای، ریزمقیاس‌سازی، شاخص NDDI، الگوریتم‌های فیوژن.

## مقدمه

از جمله شاخص های آلودگی هوا، ذرات معلق بوده که توسط ایستگاه های سنجش آلودگی اندازه گیری می شود. ذرات معلق، علاوه بر مشکلات سلامتی برای انسان ها بر روی مقدار تابش خورشید به زمین و تغییر سیستم زمین و جو، الگوهای جریان جوی، تغییر دمای سطحی زمین و بارش و کاهش دید تأثیر می گذارند (Ye, 2003; Wang, 2005; Holms, 2004). مشخصه های ریزگردها از طریق سنجش از دور زمینی و فضایی قابل اندازه گیری هستند. مشکل تکنیک های سنجش از دور در عدم توانایی آنها در اندازه گیری مستقیم مشخصات ریزگردها می باشد و تنها می توان از طریق رفتار اپتیکی سیستم زمین-جو، اطلاعاتی در مورد آنها کسب نمود. مزیت آن ها شامل امکان اندازه گیری در شرایط طبیعی و فراهم آوردن اطلاعات از کل سیستم ریزگردها در سطحی وسیع از طریق ماهواره می باشد (Ackerman, 1996). اندازه گیری های میدانی در حجم و سطحی محلی انجام می شوند که خود از مشکلاتی در هنگام نمونه برداری برخوردار می باشند. با این که شناسایی ریزگردهای با استفاده از تصاویر ماهواره ای، دقت کمتری نسبت به اندازه گیری های زمینی دارد ولی اندازه گیری های ماهواره ای پوشش مکانی وسیعی را فراهم می کنند که در ترکیب با مدل ها و اندازه گیری های زمینی می توانند جهت تعیین شاخص کیفیت هوا با هزینه کمتر، مفید باشند. تصاویر ماهواره ای امکان پایش بسیاری از آلاینده ها به صورت همزمان را فراهم می کنند و به صورت تقریباً آنی اطلاعات را ارسال می کنند. از طرفی می توان با کمک روش های سنجش از دور، دید وسیعی را به صورت یکجا و یکپارچه فراهم کرد. علاوه بر این، با وجود آنکه منابع داده ای فراهم شده با استفاده از تصاویر ماهواره ای بسیار ارزان و به مقرون به صرفه بودن، می توان درک بهتر و دقیق تری از کمیت و توزیع مکانی منابع آلوده کننده به دست آورد. همچنین این روش ها برای پایش و کنترل نتایج و سیاست های اعمال شده، مکانیزم های لازم را فراهم می کنند. بارزسازی غبارهای محلی با کمک سنجش از دور بدلیل تراکم کم ریزگرد و

انعکاس غالب از سطح زیرین و تداخل بازتاب های سطوح زیرین و ریزگرد بخصوص بر روی در سطوح روشن مانند بیابان، یخ، برف و مناطق شهری دشوار است (Kaufman et al., 1997a, b; Kokhanovsky et al., 2007). بسیاری از الگوریتم های بارزسازی آئروسل برای پیکسل های تاریک مناسب است گرچه بازهم شناسایی آنها به وضوح نخواهد بود (Li et al., 2012). بنابراین روش های ادغام یا ریزمقیاس سازی (Downscaling) نقش مهمی را در علم سنجش از دور بازی می کند. به کمک Downscaling می توان قدرت تفکیک مکانی و طیفی را افزایش داد (Atkinson, 2013). Wonsook و همکاران (۲۰۱۳)، طی دو مقاله به بررسی متدهای ادغام تصاویر raster base بر اساس مدیریت کشاورزی اشاره کردند. در مقاله اول روش های downscaling و در مقاله دوم روش های fusion بررسی شد. مبنای بررسی های آنها بهبود کیفیت مکانی و طیفی نقشه های تبخیر و تعرق بود. Prashant و همکارانش در سال ۲۰۱۳ برای بهبود تفکیک مکانی و طیفی نقشه های رطوبت خاک و شوری اقیانوسی واقع در حوزه آبخیز Brue واقع در جنوب غربی انگلستان از روش های GLM, ANN, SVM, RVM تصاویر حرارت سطحی خاک و رطوبت سطحی خاک استفاده نمودند. Yingjie و همکاران (۲۰۱۲) در شهر Beijing چین جهت تهیه نقشه های ریزگرد در مناطق شهری، برای بهبود تفکیک طیفی نقشه های AOD مودیس از تصاویر دوربین CCD استفاده نمودند. در این تحقیق آنها از روش های نسبت گیری دو تصویر استفاده نموده و آن را به عنوان یک متد جدید معرفی نمودند. میزان همبستگی بدست آمده از تصاویر ریز مقیاس شده با تصاویر سایت های Aerosol Robotic Network (AERONET)، RMSE و ۰/۸۹ به میزان ۰/۲۴ بدست آمد. Hwang و همکاران (۲۰۱۱)، جهت بررسی تغییرات تاج پوشش گیاهان در شمال غربی کارولینا و تهیه نقشه های پیوسته NDVI از تصاویر مودیس و لندست استفاده نمودند. تصاویر مودیس با کمک تصاویر لندست TM و اطلاعات جنبی (نقشه های توپوگرافی) به اندازه پیکسل ۳۰ متری تبدیل شد.

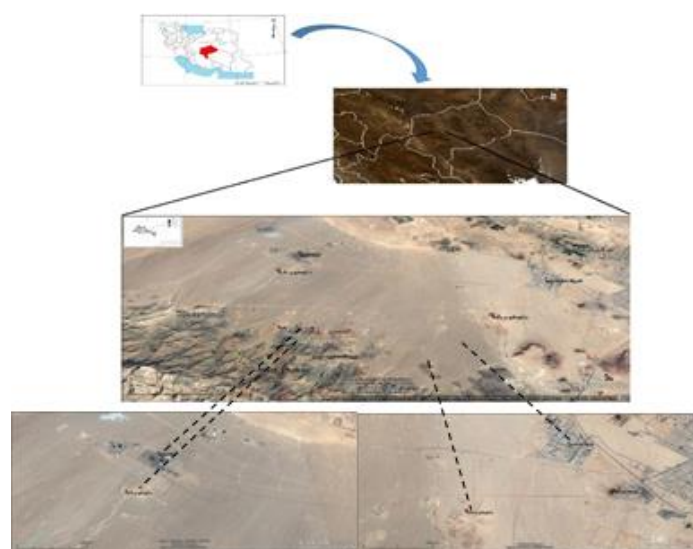
(۱۰ کیلومتری) و ایستگاه راه آهن واقع شده و یکی از تولیدکنندگان اصلی سرامیک به شمار می‌آید. علاوه بر آن کارخانه فولاد آلیاژی در ۲۴ کیلومتری جنوب غربی و معادن متعدد تولید شن و ماسه جزء منابع تولیدکننده ریزگرد می‌باشند که با توجه به اینکه اکثر آنها در نزدیکی مرکز استان و در جهت بادهای شمال شرقی به سمت جنوب غربی استقرار دارند، اهمیت ویژه در کاهش کیفیت هوای دشت یزد دارند. در ضمن به دلیل موقعیت توپوگرافی و وجود رشته کوه‌های خرائق در شمال و وجود رشته کوه‌های مسجد و شیرکوه در جنوب، دشت یزد در مسیر بادهای محلی با سیکل شبانه روزی از کوهستان به دشت و از دشت به کوهستان (آدیاباتیک و کاتیاباتیک) قرار گرفته است. البته از وضعیت پایداری هوا بر روی دشت در شرایط وارونگی نیز نمی‌توان غافل شد که سبب ماندگاری بیشتر آلاینده‌های ریزگرد بر روی دشت شده که از نقطه نظر کنترل آلاینده‌های جوی دارای اهمیت می‌باشد. لذا پایش دوره ای آلاینده‌های تولیدی این صنایع در جهت حفظ سلامت عمومی جامعه و محیط زیست اطراف امری ضروری می‌نماید. شکل ۱ موقعیت دشت یزد و معادن و صنایع آلاینده در کشور و استان یزد را نشان می‌دهد.

و میزان همبستگی تصاویر واقعی با تصاویر ادغام شده ۰/۸۹ بدست آمد. هدف از این تحقیق ارتقاء قدرت تفکیک مکانی و رادیومتریک برخی از باندهای سنجنده مودیس بکمک روش‌های ادغام در شناسایی ریزگرد به کمک سایر سنجنده‌ها و اطلاعات جنبی بود.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوزه آبریز دشت یزد اردکان با مساحت حدود ۶۵۰۰۰۰ هکتار در مرکز ایران و حد فاصل شهرهای یزد و اردکان واقع شده دشت یزد در جنوب غربی استان یزد بین مختصات ۳۲ درجه و ۲/۷۹ دقیقه شمالی تا ۳۱ درجه و ۵۳/۶۸ دقیقه جنوبی و ۵۳ درجه و ۳۹/۴۴ دقیقه غربی تا ۲۴ درجه و ۲۳/۳۸ دقیقه شرقی با مساحت حدود ۱۰۵۹۰۶ هکتار حد فاصل شهرهای یزد و اردکان واقع شده است. وزش باد در استان یزد به دلیل عاری بودن سطح دشت‌ها و کوهستان‌ها از پوشش گیاهی شدید است. جهت وزش باد غالب در فصول گرم سال اغلب از شمالی-شمال شرق و در دوره‌های سرد جنوب غربی است. شهرک صنعتی یزد در ۱۵ کیلومتر غرب شهر یزد و در نزدیکی فرودگاه



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

تصاویر می‌باشد (Stathopoulou *et al.* 2009). در این تحقیق از نرم افزارهای Envi5.3, Arcgis10, Eedas2014, Matlab2017 و Ilwis3.8 برای پردازش تصاویر استفاده شد.

### شاخص (Dust Normalized Difference) NDDI (Index)

Qu و همکاران (۲۰۰۶) از شاخص نرمال شده گرد و غبار برای برای شناسایی طوفان و تغییر رطوبت گرد و غبار استفاده نمودند. در این شاخص از نسبت نرمال شده باند  $2.1\mu\text{m}$  و باند آبی استفاده می‌شود. این شاخص برای خاک دارای مقادیر مثبت و در مورد گرد و غبار دارای مقدار منفی می‌باشد. شاخص NDDI از رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

منطقه مورد مطالعه در محدوده نزدیک به خط نادیر تصویربرداری سنجنده مودیس قرار دارد که این امر موجب کاهش خطای سیستماتیک می‌شود به این دلیل که اندازه پیکسل تصاویر مودیس در تمام طول مسیر تصویربرداری یکسان نبوده و پیکسل‌های نزدیک به خط نادیر در ادغام تصاویر خطای کمتری را ایجاد می‌کنند. بنابراین زاویه تصویربرداری دو سنجنده کمتر از ۲۰ درجه می‌باشد (Tasumi *et al.*, 2008). ضمناً اختلاف زمانی عبور دو سنجنده از روی منطقه ۲۰ دقیقه می‌باشد که این امر خطای ناشی از تغییر زاویه تابش خورشید را کاهش می‌دهد. یکنواختی توپوگرافی و کاربری اراضی غالباً از نوع زمین لخت می‌باشد که خطای ناشی از توپوگرافی را در حاشیه پیکسل‌ها کاهش می‌دهد. تصحیح هندسی، رادیومتریک و اتمسفری تصاویر از اقدامات ضروری جهت ریزمقیاس‌سازی

$$NDDI = (B_{2.13\mu\text{m}} - B_{0.47\mu\text{m}}) / (B_{2.13\mu\text{m}} + B_{0.47\mu\text{m}}) \quad \text{رابطه (۱)}$$

دو سنجنده مودیس و لندست ۸ برای محاسبه شاخص NDDI را نشان می‌دهد.

در این رابطه  $B_{2.13\mu\text{m}}$  طول موج در ناحیه  $2.1\mu\text{m}$  طیف الکترومغناطیس و  $B_{0.47\mu\text{m}}$  طول موج آبی در ناحیه آبی طیف الکترومغناطیس می‌باشد. جدول ۱ باندهای معادل

جدول ۱- مقایسه طول موج باندهای معادل دو سنجنده مودیس و لندست ۸

Landsat8 BAND NO.	Landsat 8 BAND Bandwidth( $\mu\text{m}$ )	MODIS BAND NO	MODIS BAND Bandwidth( $\mu\text{m}$ )
۲	۰/۴۵_۰/۵۱۵	۳	۰/۴۵_۰/۴۷
۷	۲/۱۰۰_۲/۳۰۰	۷	۲/۰۱۵_۲/۱۱۵

### روش (pixel block intensity modulation) PBIM

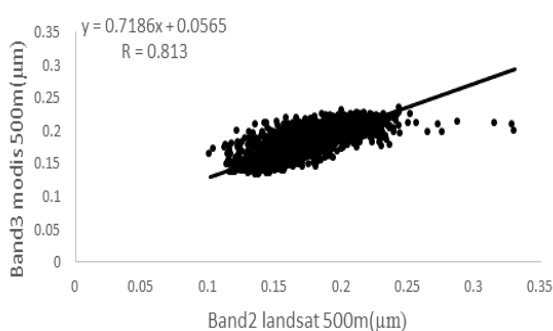
روش (pixel block intensity modulation) PBIM (Guo & Moore, ۱۹۹۸) روش را به عنوان روش خطی غیر ترکیبی برای ترکیب اطلاعات تصاویر با قدرت تفکیک بالا و پایین را پیشنهاد دادند که بوسیله معادله ۲ محاسبه می‌شود.

### ریزمقیاس‌سازی (Downscaling and fusion)

در این تحقیق قدرت تفکیک مکانی تصاویر تاریخ ۸ ژولای ۲۰۱۶ باندهای ۲ و ۷ سنجنده لندست ۸ معادل باندهای ۳ و ۷ سنجنده مودیس به کمک روش‌های ریزمقیاس‌سازی افزایش داده شد و سپس شاخص NDDI تهیه شد.

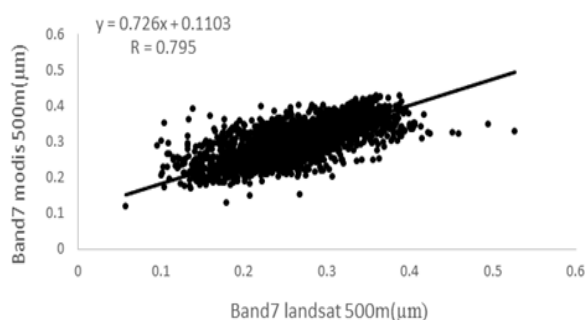
$$band(\lambda)_{downscaled} = \left( \frac{band(\lambda)_{low} \cdot band(\gamma)_{sim-high}}{band(\gamma)_{sim-low}} \right) \quad \text{رابطه (۲)}$$

مودیس) تبدیل شد و همبستگی بین باندهای ۲ لندست و ۳ مودیس و باندهای ۷ هر دو سنجنده محاسبه شد. شکل ۲ ضریب همبستگی و معادله همبستگی باندهای ذکر شده را نشان می‌دهد. در این تحقیق همبستگی باندهای با طول موج ۰/۴۷ میکرومتر دو سنجنده ۰/۸۱۳ و طول موج ۲/۱۳ میکرومتر ۰/۷۵۹ بدست آمد.



$band(\lambda)_{sim}$ : تصاویر ادغام شده،  $band(\lambda)_{low}$ :

تصاویر با قدرت تفکیک کم،  $band(\gamma)_{sim-high}$ : تصاویر شبیه‌سازی شده به قدرت تفکیک مکانی بالا و  $band(\gamma)_{sim-low}$ : تصاویر شبیه‌سازی شده به قدرت تفکیک کم. در این روش ابتدا باند ۲ و ۷ لندست به پیکسل سائز ۵۰۰ متری (معادل پیکسل سائز باندهای ۳ و ۷



شکل ۲- نمودار همبستگی بازتاب طول موج‌های معادل سنجنده‌های لندست و مودیس تاریخ ۸ ژوئای ۲۰۱۶

$$band(3)_{mod\ is\ 500\ m} = 0.7176 \cdot band(2)_{landsat\ 500\ m} + 0.0565 \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$band(7)_{mod\ is\ 500\ m} = 0.726 \cdot band(7)_{landsat\ 500\ m} + 0.1103 \quad \text{رابطه (۴)}$$

روش مدل سازی بر اساس فیلتر (SFIM)

روش SFIM توسط Liu (۲۰۰۰) بر اساس تابش خورشیدی و مدل انعکاس سطح زمین پیشنهاد شد که بوسیله معادله ۵ محاسبه می‌شود.

با استفاده از معادلات همبستگی ۳ و ۴، تصاویر مودیس

از روی تصاویر لندست شبیه سازی شد.

و در نهایت با کمک معادله ۱ شاخص NDDI محاسبه

شد.

$$band(\lambda)_{downscaled} = \left( \frac{band(\lambda)_{low} \cdot band(\gamma)_{high}}{band(\gamma)_{mean}} \right) \quad \text{رابطه (۵)}$$

### روش ادغام bovery

روش ادغام bovery (۱۹۹۶) Vrabel، روش ادغام bovery را به عنوان روش ادغام با محاسبات کم پیشنهاد داد. در این روش یک تصویر چند طیفی دارای قدرت تفکیک مکانی کم با تصویر قدرت تفکیک مکانی بالا ادغام و در انتها یک تصویر چند طیفی با قدرت تفکیک بالا تولید می‌شود. به این منظور تمامی باندهای تصویر چند طیفی نرمال و سپس در تصویر پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی بالا ضرب می‌شوند. معادله ۶ رابطه ادغام bovery را نشان می‌دهد.

$$image_{downscaled} = \left( \frac{MS_i}{\sum MS_i} * P \right) \quad \text{رابطه (۶)}$$

MS: باند i ام تصویر چند طیفی. P: باند دارای قدرت تفکیک مکانی بالا. از مزایای این روش سادگی و حجم محاسبات آن می‌باشد.

جمله تکنیک افزایش وضوح تصاویر چندطیفی است که به طور موفقیت آمیزی استفاده شده است. این روش قادر است خصوصیات تصویر چندطیفی با قدرت تفکیک مکانی کم را در تصویر حاصل از ادغام آن با داده پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی زیاد حفظ کند. این روش یک روش متداول برای متعادل کردن بردارهای پایه یک فضا است. از ماتریس یا تصویر نیز می‌توان به عنوان ورودی در تبدیل GS استفاده کرد. در این روش تصویر با قدرت تفکیک بالا با تصویر با قدرت تفکیک کم به عنوان اولین باند از تبدیل در نظر گرفته می‌شود. برای جایگزینی تصویر با قدرت تفکیک بالای اصلی با اولین باند از تبدیل GS لازم است که ابتدا میانگین و انحراف معیار تصویر با قدرت تفکیک زیاد با میانگین و انحراف معیار باند اول تبدیل GS منطبق شود. با استفاده از معادلات ۷ تا ۹ می‌توان تصویر با قدرت تفکیک بالا منطبق با باند اول از تبدیل GS را بدست آورد.

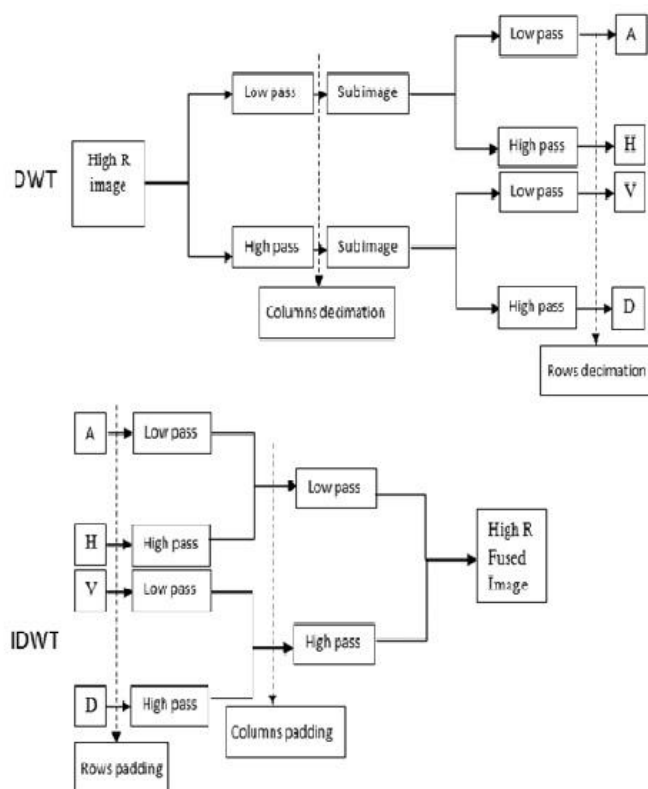
$band(\lambda)_{downscaled}$ : تصاویر ادغام شده: تصویر با تفکیک مکانی پایین: تصویر با تفکیک بالا.  $band(\gamma)_{mean}$ : تصویر با تفکیک بالا که از طریق فیلتر lowpass به تفکیک پذیری پایین تبدیل شده است. در این روش به کمک رابطه فیلتر پایین گذر و تصاویر با تفکیک پذیری بالا، اطلاعات تصاویر با تفکیک پذیری پایین برآورد می‌شود.

### روش پردازش سیگنال موجک

Burrus و همکاران (۱۹۹۸) و Gangkofner و همکاران (۲۰۰۸) روش پردازش سیگنال موجک را جهت نمایش جنبه‌های مختلف داده‌های متفاوت، نقاط شکست و ناپیوستگی‌ها که ممکن است دیگر روش‌های آنالیز سیگنال آنها را نشان ندهند پیشنهاد دادند. در این تبدیل‌ها، یک تصویر بطور پیاپی از مجموعه‌ای از فیلترهای پایین گذر و بالا گذر عبور نموده و خروجی فیلترها یک بعدی شده تا نرخ داده‌ها ثابت باقی بماند. در پردازش سیگنال موجک تنها خروجی پایین گذر به صورت پیاپی فیلتر می‌گردد. تابع موجک، تابعی است که دو ویژگی مهم نوسانی بودن و کوتاه مدت بودن را دارا می‌باشد. شکل ۳ نمودار شماتیک تحلیل دو بعدی موجک را نشان می‌دهد.

### روش تبدیل Gram-Schmidt

ادغام تصاویر با استفاده از تبدیل Gram-Schmidt از



شکل ۳- نمودار شماتیک تحلیل دو بعدی موجک

ترکیب تصاویر تفکیک‌پذیری کم با تصاویر تفکیک‌پذیری بالا پیشنهاد دادند. این روش قادر است که تصاویر از یک سنجنده را با تصاویر همان سنجنده یا سنجنده متفاوت ترکیب کند. این روش شامل سه مرحله می‌باشد. مرحله اول فیلتر بالاگذر بر روی تصویر با تفکیک‌پذیری بالا برای استخراج مقادیر  $R$  اعمال می‌شود. نسبت بین اندازه پیکسل‌های لندست ۵۰ متری و مودیس ۵۰۰ متری ۱۰ می‌باشد. به همین منظور جهت تعیین مرکز فیلتر بر روی تصویر از مقدار  $R$  استفاده می‌شود و سایر مقادیر فیلتر بر روی عدد ۱- تنظیم می‌گردد.

محله دوم پیکسل سائز تصاویر با تفکیک‌پذیری کم با روش  $bilinear$  به پیکسل سائز تصاویر با رزولوشن بالا تبدیل می‌شود. جهت ثابت نگه داشتن مقدار میانگین و انحراف معیار، تصویر جدید با تصویر فیلتر شده  $stretch$  می‌شود. برای محاسبه فاکتور وزن از رابطه ۱۰ استفاده می‌شود.

$$\text{modifiedP} = (\text{P} * \text{Gain}) + \text{Bias} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$\text{Gain} = \frac{\sigma \text{GS}_1}{\sigma_p} \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$\text{Bias} = \mu \text{GS}_1 - (\text{Gain} * \mu_p) \quad \text{رابطه (۹)}$$

$P$ : تصویر با قدرت تفکیک مکانی بالا،  $\text{modified}$ : تصویر با قدرت مکانی بالا بعد از انطباق میانگین،  $\mu$ : میانگین،  $\sigma$ : انحراف معیار،  $\text{GS}_1$ : اولین باند از تبدیل Gram-Schmidt. سپس انتقال معکوس  $GS$  به منظور ساختن تصویر با قدرت تفکیک بالا حاصل از ادغام اعمال می‌شود.

روش **HPF (High pass filter method)**

Genderen و Pohl (۱۹۹۸) روش HPF را برای

ادغام،  $SD_{HPF}$  انحراف معیا تصویر با اعمال فیلتر بالاگذر و  $M$  فاکتور مدل که میزان پیچیدگی‌های تصویر خروجی را محاسبه می‌کند. جدول ۲ متغیرهای استخراج شده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

$$W = \left( \frac{SD_{MS}}{SD_{HPF} \times M} \right) \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

$SD_{MS}$  انحراف معیار تصویر با تفکیک‌پذیری کم پس از

جدول ۲ - پارامترهای استخراج شده از اعمال فیلتر بالاگذر

M مقادیر	مقادیر مرکز فیلتر بالاگذر	ابعاد فیلتر بالاگذر	R مقادیر
۰/۲۵	۲۴	۵*۵	$1 < R < 2/5$
۰/۵	۴۷	۷*۷	$2/5 \leq R < 3/5$
۰/۵	۸۰	۹*۹	$3/5 \leq R < 5/5$
۰/۶۵	۱۲۰	۱۱*۱۱	$5/5 \leq R < 7/5$
۱	۱۶۸	۱۳*۱۳	$7/5 \leq R < 9/5$
۱/۳	۳۳۶	۱۵*۱۵	$R \geq 9/5$

مرحله سوم تصویر با تفکیک‌پذیری کم با استفاده از معادله ۱۱ به تفکیک‌پذیری بالا تبدیل می‌شود.

$$band(\lambda)_{downscaled} = band(\lambda)_{low} + (HPF \times W) \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

عنوان پیکسل مشابه به پیکسل مرکزی در نظر گرفته می‌شود. در تعیین وزن نهایی برای هر یک از پیکسل‌های مشابه طیفی از سه فرضیه استفاده می‌شود. اول تصاویر نزدیک به زمان پیش‌بینی، اطلاعات بهتری را برای فراهم می‌کند. دوم پیکسل‌های مشابه وزن بیشتری را به خود اختصاص می‌دهند. سوم پیکسل‌های همسایه نزدیک به مبدأ اطلاعات بهتری را برای پیش‌بینی فراهم می‌کند. گام نهایی ایجاد یک تابع وزن می‌باشد. در این روش، از یک جفت تصویر ورودی در تاریخ T1 استفاده می‌شود. از تصاویر با تفکیک‌پذیری پایین (مودیس) برای هر دو تاریخ مطابق با تصاویر با تفکیک‌پذیری بالا (لندست)، نمونه‌برداری می‌شود. سه فرایند مورد بحث قبلی بر روی تصاویر برای استخراج پیکسل‌های مناسب اعمال می‌شوند. سپس داده‌های با تفکیک‌پذیری پایین و با تفکیک‌پذیری بالا برای تعیین وزن مورد استفاده قرار می‌گیرند.

### روش STARFM (spatial and temporal adaptive reflectance fusion model)

روش STARFM توسط Gao و همکاران (۲۰۰۶) به عنوان روشی برای ترکیب داده‌های دو سنجنده مختلف پیشنهاد شد. در این روش به کمک پیکسل‌های مشابه طیفی تصاویر سنجنده با قدرت تفکیک مکانی پایین از روی سنجنده با قدرت تفکیک زمانی بالا شبیه‌سازی می‌شود. برای تعیین پیکسل‌های طیفی مشابه دو روش وجود دارد. یک روش طبقه‌بندی نظارت نشده جهت دسته‌بندی پیکسل‌های مشابه قبل از ترکیب داده‌ها و روش دیگر استفاده از حد آستانه برای تعیین پیکسل‌های مشابه طیفی است. در ابتدا انحراف معیار پیکسل‌ها محاسبه می‌شود و با کمک انحراف معیار، پیکسل‌هایی که اختلاف بازتاب سطحی آن‌ها نسبت به بازتاب سطحی پیکسل مرکزی پنجره مورد نظر کمتر از حد آستانه (یک سوم انحراف معیار) است به



مرکزی پنجره متحرک در دو تصویر با تفکیک‌پذیری بالا. دوم، محاسبه وزن پیکسل‌های مشابه. سوم، تعیین ضریب تبدیل با رگرسیون خطی در نهایت، محاسبه بازتاب طیفی تصاویر با تفکیک‌پذیری بالا با استفاده از بازتاب تصویر با تفکیک‌پذیری پایین در تاریخ مورد نظر.

### نتایج

شکل ۳ شاخص NDDI حاصل از روش‌های ادغام را نشان می‌دهد.

نتایج شاخص NDDI حاصل از هشت روش ادغام بصورت بصری و آماری با شاخص NDDI لندست و مودیس مقایسه شد. با توجه به شکل ۴ روش‌های ESTARFM، STARFM، Boveri، PBIM و Gram-Shmidt به ترتیب بهترین نتیجه را از لحاظ وضوح تصاویر و بارزسازی ریزگرد نسبت به تصاویر مودیس دارند. روش STARFM و ESTARFM بخوبی قادر به بارزسازی ریزگردهای ناشی از فعالیت معادن شن و ماسه و کارخانجات فولاد آلیاژی می‌باشد. شاخص NDDI مربوط به تصویر لندست مربوط به تاریخ ۸ ژولای ۲۰۱۶، از مجموع ۷۷۰۶۵۰ پیکسل، ۳۸۶۲ پیکسل حاوی ریزگرد نشان داده شده است. تصاویر مودیس به دلیل اندازه پیکسل بزرگ (۵۰۰ متری در باندهای ۳ و ۷) قادر به شناسایی ریزگرد نمی‌باشد. در روش Boveri علاوه بر وضوح بالا تصویر ریزمقیاس شده، از مجموع ۷۷۰۵۶۰ پیکسل در فریم منطقه، ۳۸۶۱ پیکسل به عنوان پیکسل حاوی ریزگرد شناسایی شده است. روش Gram-Shmidt تنها ۵۷۷ پیکسل حاوی گرد و غبار شناسایی شد گرچه از لحاظ وضوح تصویر دارای کیفیت خوبی می‌باشد. روش PBIM نیز قادر به شناسایی ۳۸۵۷ پیکسل حاوی گرد و غبار می‌باشد و همچنین منجر وضوح بالای تصویر شده است. روش SIFM با استفاده از فیلتر میانگین با ابعاد ۱۱×۱۱ در مجموع ۴۴۰۵ پیکسل را حاوی ریزگرد تعیین کرد گرچه از لحاظ وضوح تصویر ضعیف عمل نموده است. روش‌های STARFM و ESTARFM به ترتیب ۸۶۹۴ و ۱۰۱۰۳

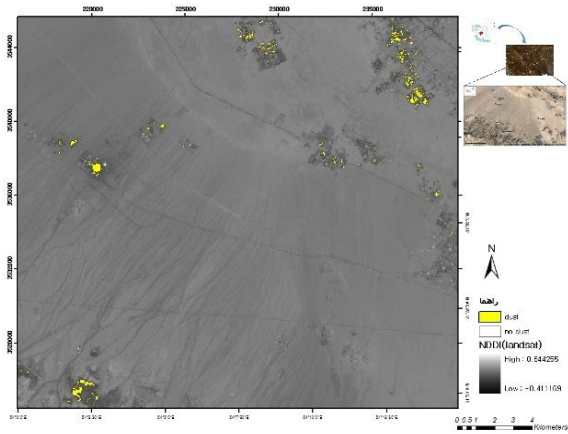
### روش ESTARFM (Enhanced STARFM)

روش STARFM دارای دو محدودیت است که باید قبل از استفاده مورد اصلاح قرار گیرند. اول در صورتی که تغییرات موقتی (رخدادهای ابر و طوفان گرد و غبار) در تصویر با تفکیک‌پذیری پایین رخ دهد و این رخداد در تصاویر با تفکیک بالا وجود نداشته باشد، نمی‌تواند تغییرات مذکور را پیش‌بینی کند (Hilker et al., 2009). دوم در روش STARFM، کیفیت تصویر لندست پیش‌بینی شده، بستگی به وضعیت جغرافیایی منطقه مورد نظر دارد. روش STARFM به اطلاعات زمانی از پیکسل‌های خالص و همگون وابسته است. پیکسل‌های "خالص" به وسیله همگونی پیکسل‌های لندست درون پیکسل مودیس شناسایی می‌شوند. شبیه‌سازی و پیش‌بینی‌ها بر اساس تصاویر واقعی لندست و مودیس نشان می‌دهد که STARFM زمانی می‌تواند به‌طور دقیق بازتاب‌ها را پیش‌بینی کند، که پیکسل‌های همگون در تصاویر با تفکیک‌پذیری کم نیز وجود داشته باشد (Gao et al., 2006). بنابراین کیفیت تصاویر پیش‌بینی شده برای مناطق ناهمگون (مانند اراضی کشاورزی آبی در وسعت کوچک) تا حدودی کاهش می‌یابد.

برای رفع محدودیت‌های فوق، Gao و همکاران (۲۰۱۵) روش پیشرفته STARFM (ESTARFM) را پیشنهاد دادند. در روش ESTARFM، با استفاده از روند تغییرات بازتاب و تئوری جداسازی طیفی تغییرات بازتاب در مناطق ناهمگون به دست می‌آید. این روش با استفاده از تصاویر همزمان تفکیک‌پذیری زیاد (لندست) و مجموعه‌ای از تصاویر با تفکیک‌پذیری پایین (مودیس)، تصاویر با تفکیک بالا را در تاریخ‌های دلخواه پیش‌بینی می‌کند. در این روش حداقل به دو جفت تصویر با تفکیک‌پذیری بالا و پایین در یک زمان و مجموعه‌ای از تصاویر با تفکیک‌پذیری کم برای تاریخ‌های پیش‌بینی نیاز است. ابتدا پیش‌پردازش‌های اولیه (تصحیح هندسی و اتمسفری) بر روی تصاویر اعمال می‌شوند. در اجرای الگوریتم ESTARFM چهار مرحله وجود دارد. ابتدا جستجوی پیکسل‌هایی مشابه پیکسل

۱۴ پیکسل را حاوی ریزگرد نشان می‌دهد و همچنین نتایج وضوح تصویر حاصل از ادغام قابل قبول نمی‌باشد. در روش HPF با اعمال فیلتر بالاگذر  $7 \times 7$ ، قادر به شناسایی ۱۲۲۶۱ پیکسل حاوی ریزگرد می‌باشد و این درحالی است که نتیجه تصویر وضوح بسیار پایین‌تری دارد.

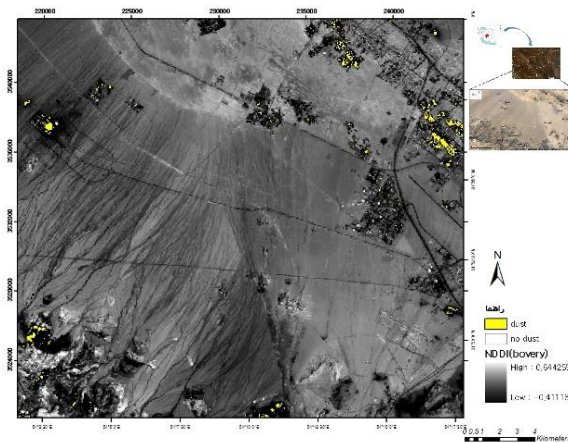
پیکسل حاوی ریزگرد نشان دادند و همچنین عملکرد بالایی در بهبود وضوح تصویر دارند. در ضمن دو روش مذکور علاوه بر شناسایی ریزگردهای حاصل از فعالیت صنایع (فولاد آلیاژی) توانستند ریزگردهای حاصل از فعالیت معادن شن و ماسه را تشخیص دهند که این مورد در سایر روش‌های ادغام وجود ندارد. روش تبدیل موجک تنها



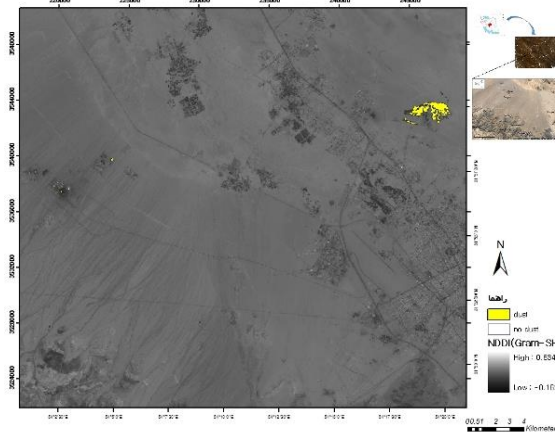
**NDDI LANDSAT**



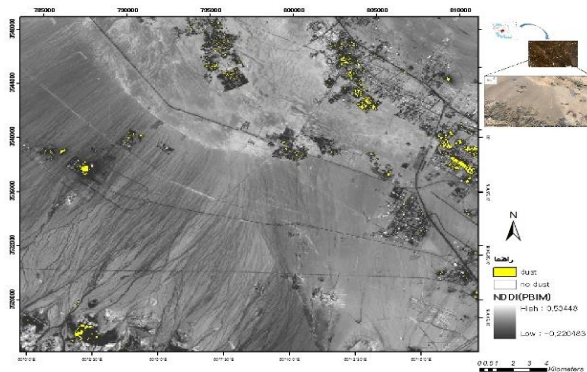
**NDDI MODIS**



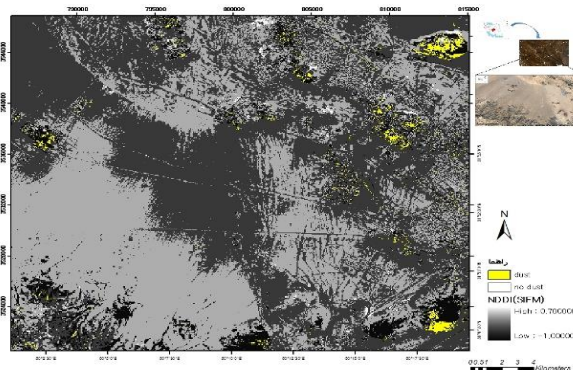
**NDDI**



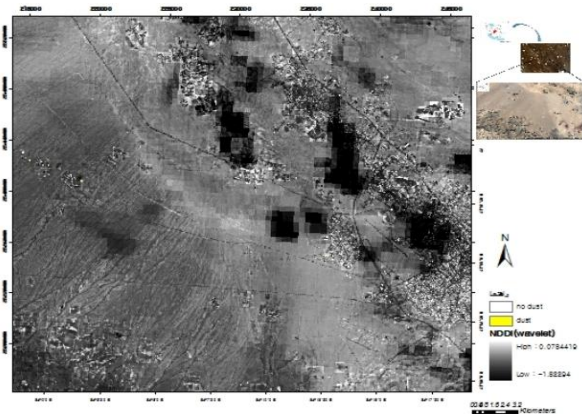
**NDDI GRAM**



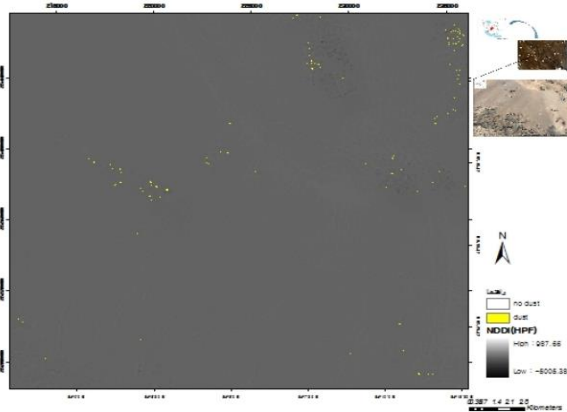
NDDI PBIM



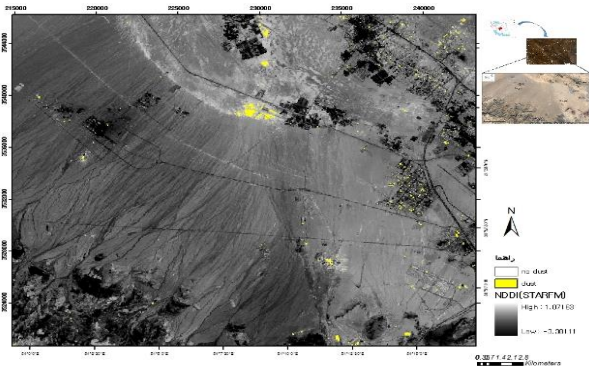
NDDI SIFM



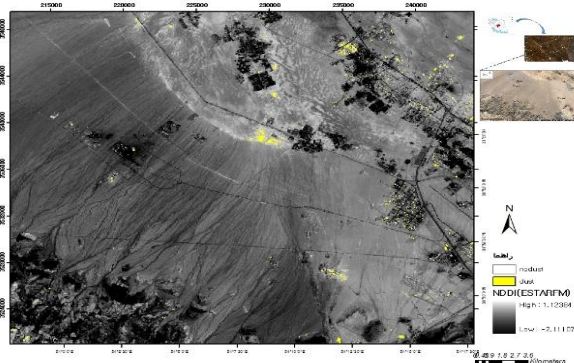
NDDI Wavelet



NDDI HPF



NDDI



NDDI

شکل ۴- نتایج بارزسازی شاخص NDDI با استفاده از روش‌های ریزمقیاسی

بقیه روش‌های ادغام اختلاف زیادی دارند. در حالیکه مقادیر حداکثر و حداقل روش‌های مذکور بیشترین شباهت را با تصویر لندست داشته و در بقیه روش‌ها این مقادیر ادغام شده است. روش HPF دارای اختلاف زیادی با تصویر لندست می‌باشد.

جدول ۳ خصوصیات آماری روش‌های ادغام بکار رفته در این تحقیق را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد اختلاف بین مقادیر حداکثر و حداقل (value<sub>max</sub>-value<sub>min</sub>) تصاویر ادغام شده از روش‌های bovery، STARFM، SIFM و ESTARFM با تصویر لندست بیشترین شباهت و

جدول ۳- مقایسه خصوصیات آماری تصاویر حاصل از روش‌های ادغام

پارامترهای آماری						شاخص NDDI
انحراف معیار	میانگین	دامنه	حداکثر	حداقل	تعداد پیکسل	
۰/۰۴۹	۰/۲۱۴	۱/۰۵۵	۰/۶۴۴	-۰/۴۱۱	۷۷۰۵۶۰	landsat
۰/۰۵۱	۰/۲۸۳	۰/۴۰۵	۰/۴۰۹	-۰/۰۴۴	۷۷۰۵۶۰	modis
۰/۰۴۹	۰/۲۱۴	۱/۰۵۵	۰/۶۴۴	-۰/۴۱۱	۷۷۰۵۶۰	bovery
۰/۰۳۸	۰/۲۵۶	۰/۸۰۴	۰/۶۳۵	-۰/۱۶۹	۷۷۰۵۶۰	gram schmidt
۰/۲۰۵	۰/۰۷۸	۱/۱۹۲	۰/۶۲۵	-۰/۵۶۸	۷۷۰۵۶۰	STARFM
۰/۴۰۰	-۰/۲	۱/۱	۰/۷	-۰/۴	۷۷۰۵۶۰	ESTARFM
۰/۱۵۸	۰/۲۵۲	۰/۷۷۷	۰/۵۵۷	-۰/۲۲	۷۷۰۵۶۰	PBIM
۰/۵	۰/۱	۱/۷	۰/۷	-۱	۷۷۰۵۶۰	SIFM
۲۱۹/۸	۵/۲	۵/۰۵	۳/۰۵	-۲	۷۷۰۵۶۰	HPF

شاخص NDDI حاصل از تصویر اصلی لندست و مودیس استفاده شد (جدول ۴). معادله ۱۲ تا ۱۵ معادله پارامترهای آماری بکار رفته در این تحقیق را نشان می‌دهد.

$$RSME = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum [A - F]^2\right)} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

$$MAD = \frac{\sum [A - F]}{n} \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

$$MSE = \frac{\sum [A - F]^2}{n} \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

$$MAPE = \frac{\sum \left[\frac{A - F}{A}\right]}{n} * 100 \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

$A$  مقادیر متغیر اصلی و  $F$  مقادیر متغیر پیش بینی و  $n$  تعداد متغیر می‌باشد.

به منظور بررسی صحت و اعتبار سنجی روش‌های ادغام، از مقایسه پارامترهای آماری RMSE، MAD، MSE و MAPE شاخص NDDI تصاویر حاصل از ادغام با

بالایی با هردو سنجنده بوده و میزان خطا (RMSE) بسیار کم است. روش PBIM با سنجنده لندست دارای همبستگی بالا و سهم اطلاعات طیفی مودیس در ادغام تصاویر کمتر است. روش‌های wavelet، SIFM و HPF جهت ادغام دو سنجنده لندست و مودیس نتایج ضعیف‌تری را نشان می‌دهد.

نتایج نتایج نشان می‌دهد روش Bovery دارای همبستگی کامل با تصاویر لندست می‌باشد حال آنکه اطلاعات طیفی سنجنده مودیس در آن حذف شده است. روش Gram-Shcmidt نیز همبستگی بالایی با تصاویر لندست می‌باشد و همبستگی آن با تصاویر مودیس ناچیز است. روش STARFM و ESTARFM دارای همبستگی

جدول ۴- صحت، اعتبار سنجی و ضریب همبستگی روش‌های ادغام

پارامترهای آماری مقایسه‌ای					سنجنده	مدل
R <sup>2</sup>	MAPE	MSE	MAD	RMSE		
۱	۰	۰	۰	۰	landsat	Bovery
۰	۹۹/۸۸۳	۰/۰۶۷	۰/۲۵۶	۰/۰۶۷	modis	
۰/۹۹۶	۰	۰/۰۰۲	۰/۰۴۲	۰/۰۴۴	landsat	Gram-Shcmidt
۰/۵۷۳	۸/۷۷۲	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۲	۰/۰۳۳	modis	
۰/۸۸	۰	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۲	۰/۰۲۴	landsat	STARFM
۰/۵۱۵	۱۶/۷۴۵	۰/۰۰۳	۰/۰۳۸	۰/۰۵۷	modis	
۰/۷۸۲	۰	۰	۰	۰/۰۰۴	landsat	ESTARFM
۰/۵	۲۰/۷۲۹	۰/۰۰۴	۰/۰۴۱	۰/۰۶۴	modis	
۰/۲۱۳	۸/۷۹۸	۰/۰۳۸	۰/۱۸۵	۰/۱۹۴	landsat	wavelet
۰/۳۶۶	۹۰/۳۳۶	۰/۰۵۵	۰/۲۲۹	۰/۲۳۴	modis	
۰/۹۹۴	۰	۰/۰۰۳	۰/۰۵۴	۰/۰۵۵	landsast	PBIM
۰/۵۷۱	۲۹۷/۰۰۱	۰/۰۱	۰/۰۹۴	۰/۱	modis	
اندازه فیلتر						
۰/۳۹۴۷۵	-۰/۰۰۰۰۹	-۰/۰۰۰۰۷	-۰/۰۰۰۰۲۹	۰/۰۰۸۵۵	landsat	۵×۵
۰/۴۷۲	۲۰/۶۱۱	۰/۰۰۴	۰/۰۱۳	۰/۰۵۹	modis	
۰/۴۲۴	۰	۰/۰۱	-۰/۰۵۷	۰/۱	landsat	۷×۷
۰/۴۶۷	۲۰/۸۰۹	۰/۰۰۴	۰/۰۱۲	۰/۰۶	modis	
۰/۴۴۵	۰	۰/۰۱	-۰/۰۵۸	۰/۱	landsat	۹×۹
۰/۴۶۵	۲۰/۸۲۴	۰/۰۰۴	۰/۰۱۲	۰/۰۶	modis	
۰/۴۷۵	۰	۰/۰۰۵	-۰/۰۲۹	۰/۰۷	landsat	۱۱×۱۱
۰/۴۶۶	۲۰/۶۶۸	۰/۰۰۴	۰/۰۱۲	۰/۰۶۱	modis	

پارامترهای آماری مقایسه ای					سنجده	مدل
R <sup>2</sup>	MAPE	MSE	MAD	RMSE		
۰/۰۰۴	۶/۱۹	۹/۳۳۷	۰/۰۰۶	۳/۰۵۶	landsat	۵×۵
۰/۰۲۴	۱۰۷/۳۷۶	۱/۲۷۱	۰/۲۲۲	۱/۱۲۸	modis	
۰/۰۰۶	۱۰۰	۴۳/۴۳	۰/۱۷۹	۶/۵۹	landsat	۷×۷
۰/۰۴۱	۱۰۸/۷۷۴	۰/۸۳۹	۰/۲۱۹	۰/۹۱۶	modis	
۰/۰۰۵	۱۰۰/۰۲۲	۱۰۲/۲۵۳	۰/۱۶	۱۰/۱۲۶	landsat	۹×۹
۰/۰۲۸	۱۱۲/۰۲۵	۱/۴۴۹	۰/۲۱۷	۱/۲۰۴	modis	
۰/۰۰۹	۱۰۰/۰۳۷	۲۰/۷۶	۰/۱۸۵	۴/۵۵۶	landsat	۱۱×۱۱
-۰/۰۱۶	۱۰۸/۳۶	۱/۱۰۲	۰/۲۲۵	۱/۰۵	modis	
۰/۰۱	۱۰۰/۰۵۳	۱۵/۰۳۹	۰/۱۸۶	۳/۸۷۸	landsat	۱۳×۱۳
-۰/۰۰۳	۹۹/۵۲۲	۱/۴۲۷	۰/۲۵۱	۱/۱۹۵	modis	
۰/۰۱۱	۱۰۰/۰۲۲	۵۵/۰۷۸	۰/۱۹۸	۷/۴۲۱	landsat	۱۵×۱۵
-۰/۰۷۱	-۱۵۲/۱۵۷	۲۳/۴۴	۰/۱۷۱	۴/۸۴۲	modis	

## بحث

یکی از منابع آلاینده‌های جوی، ریزگردهای منتشر شده از کارخانجات صنعتی می‌باشد. تعیین کمیت آلاینده‌ها و توصیف کیفیت هوای خروجی از دودکش صنایع دارای اهمیت می‌باشد. هم‌اکنون پایش و کنترل میزان آلاینده‌های صنعتی و تطابق آنها با استانداردهای زیست محیطی از طریق فرم‌های خود اظهاری صاحبان مشاغل صنعتی و از طریق آزمایشگاه‌های معتمد سازمان محیط زیست صورت می‌گیرد که متأسفانه این گونه روش‌ها علاوه بر صرف هزینه‌های بالا دارای خطاهای نمونه‌برداری، کارشناسی و عدم دقت کافی می‌باشند. ضمن اینکه اینگونه روش‌ها فاقد تضمین کافی در صحت نتایج بوده و چه بسا زمینه را برای سوء استفاده و اعمال سلیقه فراهم را می‌سازند. تصاویر ماهواره‌یی امکان پایش بسیاری از آلاینده‌ها به صورت همزمان را فراهم می‌کنند و به صورت تقریباً آنی اطلاعات را ارسال می‌کنند. از طرفی می‌توان با کمک روش‌های سنجش از دور، دید وسیعی را به صورت یکجا و یکپارچه فراهم کرد. از جمله مشکلات روش‌های سنجش از دوری

محدودیت در قدرت تفکیک مکانی، رادیومتریک و زمانی یک سنجنده در آن واحد می‌باشد که نیاز برای ادغام تصاویر چند سنجنده برای رفع این محدودیت‌ها را دوجندان می‌کند. در این تحقیق تصاویر سنجنده مودیس مربوط به تاریخ ۸ ژولای ۲۰۱۶ با تصاویر لندست ۸ مربوط به همین تاریخ با کمک هشت روش ادغام و با استفاده از تصاویر ریزمقیاس شده شاخص گرد و غبار نرمال شده (NDDI) بدست آمد. روش‌های STARFM، ESTARFM نه تنها در تخمین بازتابیدگی تصاویر عملکرد مناسبی دارند بلکه برای تهیه بسیاری از شاخص‌های سنجش از دوری از جمله شاخص NDVI مناسب هستند (Jarhani et al., 2014). با توجه به نتایج حاصل از بررسی بصری و آماری روش‌های ادغام می‌توان نتیجه گرفت بهترین روش برای ادغام تصاویر دو سنجنده مودیس و لندست و تهیه شاخص گرد و غبار، روش‌های STARFM، ESTARFM و PBIM می‌باشد. روش‌های STARFM، ESTARFM علاوه بر شناسایی پیکسل‌های حاصل از فعالیت صنایع، قادر به بارزسازی ریزگردهای حاصل از فعالیت معادن شن و ماسه نیز

- می‌باشند در حالیکه سایر روش‌های ادغام قادر به تشخیص تنها ریزگردهای حاصل از کارخانجات فولاد آلیاژی و شهرک صنعتی می‌باشند. با توجه به وسعت و همگنی منطقه می‌توان انتظار داشت مقادیر بازتابیدگی تصویر حاصل دقت بالایی داشته باشد (Zhu et al., 2010).
- Gao و همکاران (۲۰۰۶) برای پیش‌بینی شاخص NDVI روش ادغام STARFM را پیشنهاد دادند. آنها این روش را به عنوان روشی با بیشترین شباهت به تصاویر اولیه معرفی نمودند. Zhu و همکاران (۲۰۱۰)، نیز روش ESTARFM را برای ادغام بازتابیدگی تصاویر مودیس و لندست خصوصا در مناطق همگون و ناهمگون مناسب دانستند. Rahimpour و همکاران در سال ۲۰۱۷ نیز برای تهیه شاخص NDVI از ادغام تصاویر مودیس و لندست با استفاده از روش ESTARFM استفاده نمودند که نتایج حاکی از همبستگی بالایی (۰/۸۷) و RMSE ناچیز ۰/۰۵۶ می‌باشد.
- Mokhtari و Busu (۲۰۱۱) از روش‌های SIFM، HPF، PBIM و wavelet برای ادغام تصاویر آلبیدو سنجنده‌های ASTER و مودیس استفاده نمود. آنها اظهار نمودند روش‌های ادغام بکار گرفته شده برای ادغام تصاویر دو سنجنده مناسب هستند. درحالیکه ادغام با روش SIFM برای تشخیص آلبیدو در تحقیق آنها بسیار موثر بود در این تحقیق برای شناسایی ریزگرد با دو سنجنده لندست و مودیس از کارایی پایینی برخوردار بود. بگونه‌ای که وقتی در این روش از فیلتر بالاگذر با ابعاد بیشتر از ۱۱ پیکسل استفاده شد نتیجه شاخص NDDI در مقایسه با تصاویر مودیس همبستگی منفی داشت.
- منابع مورد استفاده**
- Ackerman, S. A., 1989, Using the radioactive temperature difference at 3.7 $\mu$ m and 11 $\mu$ m o Trace dust outbreaks. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 27(2): 129-133.
  - Atkinson, M., 2013. Downscaling in remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 22 (2013): 106-114.
  - Bertina, H., Sayyad, G. A., Matinfar, H. and Hojjat, S., 2013., Dismantling of Dust Masses in the Middle East Based on Madis's Spectral Data. *Journal of Natural Geographic Research (Geographical Research)*, 45( 4): 73 - 84.
  - Gangkofner, U. G., Pradhan, P. S. and Holcomb, D. W., 2008. Optimizing the high-pass filter addition technique for image fusion. *Journal of Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 74(9): 1107-1118.
  - Gao, F., Masek, J. G., Schwaller, M. and Hall, F., 2006. On the Blending of the Landsat and MODIS Surface Reflectance: Predicting daily landsat surface reflectance. *Journal of IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(8):2207-2218.
  - Guo, L.J. and Moore, J.M., 1998. Pixel block intensity modulation: adding spatial detail to TM band 6 thermal imagery. *Journal of Remote Sensing*, 19(13): 2477-2491.
  - Hilker, T., 2009, "Generation of dense time series synthetic Landsat data through data blending with MODIS using a spatial and temporal adaptive reflectance fusion model. *Journal of Remote Sensing, Environment.*, 113(9):1988-1999.
  - Hilker, T., Wulder, M. A., Coops, N. C., Seitz, N., White, J. C., Gao, F., Masek, J. G. and Stenhouse, G., 2009, Generation of dense time series synthetic Landsat data through data blending with MODIS Using a Spatial and Temporal Adaptive Reflectance Fusion Model. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 113(9): 1988-1999.
  - Holms, C. W. and Miller, R., 2004. Atmospherically transported metals and deposition in the southeastern United States, local or transoceanic. *Journal of Applied Geochemistry*, 19 (7) : 2000-1189.
  - Hwang, T., Song, C., Bolstad, P. V. and Band, L. B., 2011. Downscaling real-time vegetation dynamics by fusing multi-temporal MODIS and Landsat NDVI in topographically complex terrain. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 115: 2499-2512.
  - Qu, J. J., Hao, X., Kafatos, M. and Wang, L., 2006. Asian dust storm monitoring combining terra and Aqua MODIS SRB Measurements. *Journal of IEEE Geoscience and Remote*, 3( 4): 484-486.
  - Jarihani, A. A., McVicar, T. R., Van Niel, T. G., Emelyanova, I. V., Callow, J. N. and Johansen, K., 2014. Blending Landsat and MODIS data to generate multispectral indices: a comparison of index-then-blend and blend-then-Index approaches. *Journal of Remote Sensing*, 6(10): 9213-9238.
  - Kaufman, Y. J., Tanré, D., Remer, L. A., Vermote, E. F., Chu, A. and Holben, B. N., 1997. Operational remote sensing of tropospheric aerosol over land

- Shirazi, M. and Akhavan, M., 2018. Evaluation of satellite imaging for detection of techno dusts in central Iran. XVIII Conference Docuchawvs Conference for Young Scientists. March 2-5.Pp. 146-140.
- Stathopoulou, M. and Constantinos, C., 2009. Downscaling AVHRR land surface temperatures for improved surface urban heat island intensity estimation. *Journal of Remote Sensing of Environment*. 113: 2592-2605.
- Taghavi, F., Ulad, E. and Irannejad, P., 2013. Detection and monitoring of dust storms in western Iran using remote sensing methods. *Journal of Earth and Space Physics*, 39(3) : 83-96.
- Tasumi, M., Allen, R. G. and Trezza, R., 2008. At-surface reflectance and albedo from satellite for operational Calculation of land surface energy balance. *Journal of Hydrologic Engineering*, 13(2): 51-63.
- Vrabel, J., 1996. Multispectral imagery band sharpening study. *Journal of Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62(9) : 1075-1083.
- Wang, L., 2005. Dust around type supernovae. *The Astrophysical Journal*, 635:L33-L36.
- Wonsook, H., Prasanna, A., Gowda, H. and Terry, A., 2013. A review of potential image fusion methods for remote sensing-based irrigation management: part II. *Journal of Springer-Verlag*, 31(4): 851-862.
- Ye, B., Ji, X. and Yang, H., 2003. Concentration and chemical composition of PM 2.5 in Shanghai for a 1 - year period. *Journal of Atmospheric Environment*, 37(4): 449 - 510.
- Yingjie, L., Yong, X., Xingwei, H. and Guang, J., 2012. High-resolution aerosol remote sensing retrieval over urban areas by synergetic use of HJ-1 CCD and MODIS data. *Journal of Atmospheric Environment*. 46: 173-180.
- Zhu, X., Chen, J., Gao, F., Chen, X. and Masek, J. G., 2010, An Enhanced Spatial and Temporal Adaptive Reflectance Fusion Model for Complex Heterogeneous Regions, *Journal of remote sensing of environment*, 114(11): 2610-2623.
- from EOS moderate resolution imaging spectroradiometer. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(14):17051-17067.
- Kokhanovsky, A. A., Breon, F. M., Cacciari, A., Carboni, E., Diner, D., Nicolantonio, W. D., Grainger, R. G., Grey, W. M. F., Höller, R., Lee, K. H., Li, Z., North, P. R. J., Sayer, A. M., Thomas, G. E., von, H. and Huene, W., 2007. Aerosol remote sensing over land: a comparison of satellite retrievals using different algorithms and instruments. *Journal of Remote Sensing*, 85, 372-394.
- Li, Z., Khananian, A., Fraser, R. H. and Cihlar, J., 2001. Automatic detection of fire smoke using artificial neural networks and threshold approaches applied to AVHRR imagery geoscience and remote sensing. *Journal of IEEE Transactions*, 39(9):1859-1870.
- Liu, J. G., 2000. Smoothing filter-based intensity modulation: a spectral preserve image fusion technique for improving spatial details. *Journal of Remote Sensing*, 21(18): 3461-3472.
- Mokhtari, M. and Busu, H., 2011. Downscaling albedo from moderate-resolution imaging spectroradiometer (MODIS) to advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) over an agricultural area utilizing ASTER visible-near infrared spectral bands. *International Journal of the Physical Sciences*, 6(24): 5804-5821.
- Pohl, C. and Van Genderen, J. L., 1998. Multisensor image fusion in remote sensing: Concepts, methods and applications. *International Journal of Remote Sensing*, 19(5):823-854.
- Srivastava, P. K., Han, D., Ramirez, M. R. and Islam, T., 2013. Machine learning techniques for downscaling SMOS satellite soil moisture using MODIS land surface temperature for hydrological application. *Journal of Water Resources Management*, 27 (8), 3127-3144
- Rahimpour, M., Karimi, N., Roozbehani, R. and Rezaei, A., 2017. The combination of OLI and MODIS image sensors to produce surface-to-surface reflection data at a daily scale with a resolution of 30 meters in areas with different user diversity. *Journal of Remote Sensing and GIS*, 9(3):71-90.



## Comparison of MODIS and OLI image downscaling methods for industrial dust detection

M. Shirazi<sup>1</sup>, M. A. Ghalibaf<sup>2\*</sup>, H. R. Matinfar<sup>3</sup> and M. Nakhkesh<sup>4</sup>

1-Ph.D. Student of De-desertification, Desert Group, Faculty of Natural Resources and Desertification, Yazd University, Iran

2\*-Corresponding author, Assistant Professor of Desert Group, Faculty of Natural Resources and Desertification, Yazd University, Iran, Email: makhavan\_ghalibaf@hotmail.com

3-Assistant Professor of Soil Science, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran

4-Associate Professor of Telecommunication Group, Department of Electrical Engineering, Yazd University, Iran

Received:07/31/2018

Accepted:10/24/2018

### Abstract

One of the problems of most airborne and space-based sensors is the lack of high spatial, radiometric and temporal resolution, due to the high technical and sensor design costs. On the other hand, the identification and monitoring of the factors in natural ecosystems, such as water, soil, and atmosphere requires high spatial, radiometric and temporal resolution. Therefore, it is necessary using merge methods for integrating two or more spatial, radiometric and temporal resolution. Aerosols, especially dust of mines and industries, are part of the contaminate particles that are important in identifying them. Aerosol monitoring requires high spatial, radiometric and temporal resolution sensor, which is practically impossible in a sensor. For this purpose, it is possible to merge images with a high radiometric resolution like Modis and high spatial images like Landsat. One of the most popular indicators for dust detection is the NDDI index, which is obtained using SWIR (2.1 $\mu$ m) and blue (0.47  $\mu$ m) wavelengths. In this research, we used several merging algorithms, including Boverly, Gram-Schmidt, STARFM, ESTARFM, wavelet, PBIM, SIFM and HPF to integrate Modis and Landsat image data of 8 July 2016, and then provided NDDI index maps. The results of the evaluation showed that the best method was STARFM, ESTARFM, and PBIM with correlation coefficient (R<sup>2</sup>) of 0.88, 0.91, and 0.99, respectively with Landsat image and 0.51, 0.5, 0.57 with Modis image. The mean squared error (RMSE) for all three methods was negligible: 0.02, 0.400, and 0.055 respectively, with the original Landsat images and 0.004, 0.6 and 0.1 with the main images of Modis. Therefore, the STARFM, ESTARFM and PBIM methods could be used to merge Modis and Landsat images to extract data with high precision.

**Keywords:** Merging satellite data, downscaling, NDDI index, fusion method.