

بررسی ماهواره‌ها و سنجنده‌های شناسایی کننده گرد و غبار و هواویزها

زهرا خیراندیش*^۱؛ جواد بذاق جمالی^۲

۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشکده محیط زیست، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران
۲ دانشیار دانشکده محیط زیست، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۱۷؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۰۴/۱۰)

چکیده

امروزه فناوری سنجنش از دور در مطالعه‌های مربوط به هواویزها و ذرات گرد و غبار کاربرد فراوانی دارد و به دلیل وسعت منطقه‌ای که مورد پایش قرار می‌دهد، همواره به عنوان یکی از کارآمدترین روش‌ها در مطالعه‌ی هم‌زمان پدیده‌های مختلف اقلیمی، اتمسفری و فرآیندهای هیدرولوژیکی مد نظر محققان بوده است. این فناوری تصاویری با پوشش و تکرار زیاد در زمان‌های مختلف فراهم می‌سازد و به همین دلیل می‌توان از آن برای پایش هواویزها و ذرات گرد و غبار استفاده کرد. سنجنده‌های مختلفی برای تشخیص هواویزها و گرد و غبار وجود دارد که در این مقاله به بررسی برخی از این سنجنده‌ها شامل MODIS، SEVIRI، OMI، POLDER-P، MISR، MERIS و AVHRR پرداخته شده است. نتایج بررسی‌ها نشان داد که MODIS به دلیل دارا بودن قدرت طیفی بالا، سنجنده‌ای پر قدرت برای شناسایی و پایش گرد و غبار است. تصاویر SEVIRI به دلیل زمین ثابت بودن ماهواره، امکان پایش مستمر گرد و غبار را به ما می‌دهد. سنجنده OMI می‌تواند در هر دو شرایط ابری و بدون ابر برای تشخیص هواویزها به کار برده شود. POLDER-P برای تشخیص ذرات ریز هواویز و MISR برای تشخیص زود هنگام طوفان گرد و غبار مناسب است. MERIS نیز دارای اندازه‌گیری‌های جهانی و AVHRR دارای پوشش جهانی روزانه و قدرت تفکیک مکانی بالا است. در نهایت می‌توان اشاره کرد که هر کدام از سنجنده‌ها قابلیت‌های متفاوتی در تشخیص گرد و غبار و هواویزها دارند که بسته به هدف مطالعه می‌توان از داده‌های مربوط به یک سنجنده یا ترکیبی از آن‌ها استفاده نمود.

کلید واژه‌ها: هواویزها، گرد و غبار، سنجنش از دور، سنجنده، ماهواره

سرآغاز

ذرات معلق اتمسفری از جمله بارزترین آلاینده‌های هوا به شمار می‌رود. گرد و غبار یکی از انواع ذرات معلق معدنی و هواویزها است که آسیب‌های شدید آن سبب افزایش نگرانی و تحقیقات گسترده در سطح جهان شده است. این پدیده به طور طبیعی در مناطق خشک و نیمه خشک زمین، عرض‌های جغرافیایی معتدل، حاره و زیر استوایی با خاک خشک و با بافت سیلیتی و رسی اتفاق می‌افتد. مناطق خشک در سراسر دریای عرب مانند ایران، افغانستان، هند و پاکستان معمولاً فرکانس بالایی از طوفان گرد و غبار دارند به گونه‌ای که گاهی تا ۳۰ رویداد در هر سال را تجربه می‌کنند. به عقیده برخی از پژوهشگران با توجه به تغییر اقلیم و افزایش پدیده خشکسالی، پدیده گرد و غبار یکی از جدی‌ترین مخاطرات محیط‌زیستی در مناطق خشک و نیمه خشک به شمار می‌رود (El-Askary et al., 2004). همچنین هنگامی که هواویز^(۱)ها در نتیجه فعالیت‌های انسانی باشد، گرد و غبارهای معدنی نقش مهمی از نقطه نظر مطالعات هواشناسی، بر عهده دارد. به ویژه وقتی که روند جهانی بیابان‌زایی ناشی از توسعه زمین را بررسی می‌کنیم (Hung et al., 2007).

یکی از راه‌های تشخیص و شناسایی هواویزها و ذرات گرد و غبار، فناوری سنجش از راه دور است (عادلی و همکاران، ۱۳۹۱). این روش، یک ابزار مهم است که به طور گسترده در سال‌های اخیر برای شناسایی، ردیابی و تجزیه و تحلیل ذرات گرد و غبار مورد استفاده قرار گرفته است. این تکنیک با ردیابی فرم دودی شکل^(۲) گرد و غبار یک تصویر جهانی از گستره فعالیت طوفان گرد و غبار فراهم می‌آورد و ما را در شناسایی منابع دقیق گرد و غبار یاری می‌رساند و اطلاعات ارزشمندی در مورد پارامترهایی مانند ضخامت، غلظت و ارتفاع طوفان گرد و غبار به دست می‌دهد (Azizi et al., 2012). همچنین با استفاده از اسپکترومتری ماهواره‌ها می‌توان انواع هواویز روی زمین و اقیانوس را شناسایی و تجسم کرد (Boccone, 2010). با توجه به مشاهدات محدود محیط‌زیستی و هواشناسی در مناطق مربوطه، سنجش از دور ماهواره‌ای یک روش مهم برای شناسایی گرد و غبار و ذرات هواویز شده است. در نتیجه روش سنجش از دور می‌تواند نقش مهمی در پایش و آنالیز طوفان گرد و غبار بازی کند. همچنین نظارت ماهواره‌ای به عنوان ابزاری قوی برای مطالعه ویژگی‌های گرد و غبار در مقیاس بزرگ

شناخته شده است (Ajoodani et al., 2014).

فناوری سنجش از دور به دلیل وسعت منطقه‌ای که مورد پایش قرار می‌دهد، همواره به عنوان یکی از کارآمدترین روش‌ها در مطالعه‌ی هم‌زمان پدیده‌های مختلف اقلیمی، اتمسفری و فرآیندهای هیدرولوژیکی مدنظر محققان بوده است (Esmaeili, 2006). یکی از کاربردهای ماهواره‌ها، پایش و مشاهده رویداد گرد و غبار است و از داده‌های به دست آمده از سنجنده‌های مختلف می‌توان برای مطالعات هواویزها و ذرات گرد و غبار استفاده کرد. ذرات معدنی گرد و غبار می‌توانند به طور مستقیم تابش خورشید و زمین را در مناطق طیفی مرئی و مادون قرمز (IR) از طریق فرآیندهای پخش و جذب دگرگون کنند. با توجه به خواص نوری خاص ذرات هواویز و گرد و غبار، تابندگی‌های مشاهده شده ماهواره، اثرات این ذرات را که متفاوت از نظر مولکولی، آب و سطح زیرین هستند، حمل می‌کنند (Zhao et al., 2010).

برای تشخیص گرد و غبار و ذرات هواویز، تصاویری با پوشش وسیع و تکرار زیاد نیاز است. از این‌رو، استفاده از ماهواره‌های هواشناسی در تشخیص و پایش ذرات گرد و غبار معمول است. تشخیص و نقشه‌سازی رویداد گرد و غبار و مسیرهای انتقال گرد و غبار به شدت از استفاده از سنجش از دور بهره برده است و در مقیاس جهانی، مناطق منبع گرد و غبار عمده، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای تشخیص‌داده می‌شوند (Baddak et al., 2009). با توجه به اهمیت این موضوع، در این مقاله برخی از سنجنده‌های شناسایی و ردیابی‌کننده ذرات هواویز و گرد و غبار اتمسفر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. هدف از این مطالعه، تعیین ویژگی‌ها و قابلیت‌های هر یک از سنجنده‌ها در تشخیص هواویزها و کمک به انتخاب بهترین داده‌های دورسنجی با توجه به هدف مطالعه‌ها است. در این تحقیق فقط به سنجنده‌های از نوع غیرفعال پرداخته شده و شامل MODIS، SEVIRI، OMI، POLDER-P، MISR، MERIS و AVHRR است. در این میان، ماهواره سنجنده METEOSAT از نوع زمین‌ثابت و بقیه ماهواره‌ها از نوع خورشیدآهنگ هستند. سنجنده‌های اشاره شده در این مطالعه، معمولاً در مطالعات مربوط به هواویزها و گرد و غبار مورد استفاده قرار می‌گیرند و هر کدام دارای ویژگی‌هایی هستند که بسته به هدف مطالعه می‌توان آنها را به کار برد. در ادامه به مزایا و معایب این سنجنده‌ها اشاره خواهد شد.

سنجنده MODIS (ماهواره‌های ترا و آکوا)

مودیس^(۳)، سنجنده ماهواره‌های ترا^(۴) و آکوا^(۵) ناسا است. هر دو ماهواره زمین را از قطب تا قطب دور می‌زنند و در هر روز بیشتر جهان را مشاهده می‌کنند. سنجنده مودیس ماهواره ترا، زمین را در طول صبح می‌بیند در حالی که مودیس آکوا، زمین را در بعد از ظهر دور می‌زند. هر دو ماهواره در حال چرخش قطبی هستند به طوری که ترا در یک مدار نزولی (به سمت جنوب) در بالای خط استوا و حدود زمان خورشیدی محلی ۱۰:۳۰ و آکوا در یک مدار صعودی (به سمت شمال) در بالای خط استوا در حدود ۱۳:۳۰ زمین را دور می‌زنند. هر مودیس، زمین را با یک نوار حدود ۲۳۳۰ کیلومتر می‌بیند؛ در نتیجه تقریباً کل جهان به صورت روزانه مشاهده می‌شود (WMO SDS-WAS, 2015).

سنجنده مودیس یکی از چندین ابزار طراحی شده سیستم مشاهده زمین^(۶) برای پرداختن به نیازهای علمی سنجش از دور ابرها، هواویزها، ویژگی‌های سطح، درجه حرارت اتمسفر و رطوبت به حساب می‌آید (Ackerman, 1997). این سنجنده با توجه به پوشش گسترده، تناوب برداشت اطلاعات بالا و داشتن ۳۶ باند طیفی (قدرت تفکیک باندی بالا) معمولاً برای بررسی رویدادهای گرد و غبار مورد استفاده قرار می‌گیرد (Zare Arnani et al., 2014). مودیس یک سنجنده پر قدرت برای شناسایی منابع تولید و فرم دودی شکل گرد و غبار است. به همین دلیل به طور گسترده در این قبیل مطالعات از آن استفاده می‌شود. این سنجنده برای پایش گرد و غبار بسیار قابل اطمینان است و می‌تواند گرد و غبار موجود در هوا را به خوبی آشکارسازی کند (TaheriShahriayni et al., 2014). سنجنده مودیس دارای ۳۶ باند طیفی از طول موج 0.459 تا 14.385 میکرومتر است. قدرت تفکیک باندهای ۱ و ۲، ۲۵۰ متر، باندهای ۳ تا ۷، ۵۰۰ متر و باندهای ۸ تا ۳۶، ۱۰۰۰ متر است (MODIS Website, 2015). باند ۱ تا ۱۹ و باند ۲۶، باندهای انعکاسی و باند ۲۶ و بقیه باندها، باندهای حرارتی این سنجنده هستند (Ocean Biogeochemistry Lab, 2015).

قدرت تفکیک طیفی بالای سنجنده مودیس (۳۶ باند)، به ما امکان ترکیب‌های باندهای مختلف و ایجاد تصاویر مرکب رنگی^(۷) مناسب برای تشخیص عوارض را می‌دهد. همچنین دارا بودن باندهای حرارتی متعدد، آن را نسبت به سایر سنجنده‌ها در موقعیت ممتازی قرار می‌دهد. پس در مناطقی که تغییرات افقی دما بالا بوده و یا در مطالعات آب و هوایی در سطح وسیع،

استفاده از این سنجنده با داشتن قدرت تفکیک مکانی پایین، مناسب به نظر می‌رسد (Alavipanah, 2006). این سنجنده نسبت به برخی سنجنده‌های دیگر از نظر قدرت تفکیک مکانی، زمانی و طیفی وضعیت مطلوب‌تری دارد. به طوری که قدرت تفکیک مکانی سنجنده AVHRR از ماهواره NOAA، ۱/۱ کیلومتر و تعداد باندهای حرارتی TM لندست فقط یک باند (باند ۶) است. از مزایای دیگر استفاده از تصاویر سنجنده مودیس، به‌روز بودن تصاویر آن، دارا بودن چندین قدرت تفکیک مکانی (محلی، منطقه‌ای، بین‌المللی، قاره‌ای و جهانی) است که آن را برای تحقیقات علمی و مدیریت منابع زمینی و محیطی مناسب کرده است (Alavipanah, 2006).

علاوه بر این، تولیدات هواویز مودیس، پوشش زمانی و مکانی جهانی خوب را با خواص گرد و غبار منطقه‌ای فراهم می‌کند. به ویژه مودیس، ضخامت نوری هواویز روی اقیانوس و زمین را به طور هم‌زمان تشخیص می‌دهد (El-Askary et al., 2004).

سنجنده SEVIRI (ماهواره METEOSAT)

ماهواره‌های METEOSAT، به منظور پایش آب و هوا، توسط سازمان فضایی اروپا^(۸) و سازمان اروپایی بهره‌برداری از ماهواره هواشناسی^(۹) راه اندازی شدند (Murphy, 2013).

ماهواره‌های METEOSAT شامل دو نسل هستند: ۱. ماهواره‌های نسل اول^(۱۰) ۲. ماهواره‌های نسل دوم METEOSAT^(۱۱). این ماهواره‌ها تصاویری از صفحه زمین کامل و داده‌هایی برای پیش‌بینی آب و هوا فراهم می‌کند (EUMETSAT, 2015).

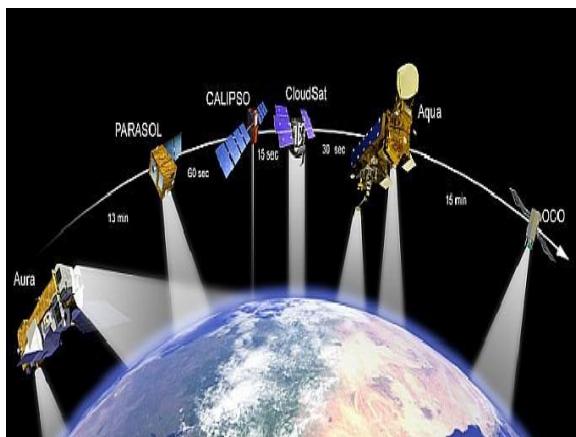
نسل اول ماهواره (MFG) METEOSAT به سه باند مرئی و تصویرساز مادون قرمز و یک چرخه تکرار ۳۰ دقیقه مجهز است (Murphy, 2013). ماهواره‌های نسل دوم، برای کاربردهای وضعیت حال آب و هوا و پیش‌بینی آب و هوای عددی^(۱۲) علاوه بر اطلاعات مهم برای پایش و تحقیقات آب و هوا استفاده می‌شود. سیستم MSG پیشرفت‌های عمده‌ای در این خدمات از طریق ۱۲ باند طیفی رادیومتر خود، SEVIRI^(۱۳)، به ارمغان آورده است. مشاهده صفحه کامل (که شامل تمام اروپا، تمام آفریقا و خاورمیانه است) و نمونه‌برداری مکرر هر ۱۵ دقیقه با قدرت تفکیک مکانی از ۳ کیلومتر به ۱ کیلومتر در باند مرئی رزولوشن بالا^(۱۴) امکان پایش به سرعت تحولات رویدادها را اجازه می‌دهد (WMO SDS-WAS, 2015). این چرخه تکرار ۱۵ دقیقه برای تصویربرداری کامل، مشاهدات چند طیفی تغییر

شود (WMO SDS-WAS, 2015).

قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالای SEVIRI تشخیص گرد و غبار روی زمین را ممکن می‌سازد. مزیت استفاده از اندازه‌گیری‌های یک ماهواره زمین‌ثابت، تشخیص بهبود یافته گرد و غبار اتمسفر نزدیک به منبع با توجه به قدرت تفکیک زمانی بالاتر بازیابی‌ها در مقایسه با بازیابی‌های روزانه ابزارهای مدار-قطبی مانند OMI است. در حضور ابر، محلی کردن (تمرکز در نقطه به خصوص) انتشار گرد و غبار محدود است. بنابراین عدم قطعیت در تعیین محل و تفسیر اشتباه سیگنال‌های MSG، از منابع خطاهای اصلی هستند (Schepanski et al., 2007).

سنجنده OMI (ماهواره Aura)

ماهواره Aura ناسا در سال ۲۰۰۴ در یک مدار خورشید آهنگ نزدیک قطب با ارتفاع ۷۰۵ کیلومتر و با یک زمان عبور در حدود ۱۳:۴۵ دقیقه از استوا و چرخه تکرار شانزده روز، راه‌اندازی شد. این ماهواره با ماهواره‌های دیگر مشاهداتی زمین در پرواز است که A-Train نامیده می‌شود. ماهواره Aura در صف‌آرایی، حدود ۱۵ دقیقه عقب‌تر از Aqua در صورت فلکی ماهواره‌ای A-Train که متشکل از چندین ماهواره است، پرواز می‌کند (NASA, 2015). شکل (۱) تصویری از مجموعه ماهواره‌های A-Train را نشان می‌دهد.



شکل (۱): تصویری از مجموعه ماهواره‌های A-TRAIN (Eo Portal Directory, 2015)

ماهواره Aura دارای ابزارهایی شامل TES, HIRDLS, MLS و OMI است که با استفاده از آن‌ها گازهای با مقادیر ناچیز در اتمسفر را اندازه‌گیری می‌کند (NASA, 2015). از بین این ابزارها، سنجنده OMI^(۱۸) (ابزار پایش ازن)، می‌تواند انواع هواویز

سریع پدیده‌ها مانند انتقال گرما^(۱۵) عمیق را فراهم می‌آورد. این همچنین بازیابی بهتر میدان‌های بادی را که از ردیابی ابرها، بخار آب و ویژگی‌های ازن به دست آمده است، فراهم می‌کند. ۸ باند حرارتی و ۳ باند خورشیدی سنجنده SEVIRI، فاصله نمونه‌برداری ۳ کیلومتر در نادر دارد و دیسک کامل زمین را اسکن می‌کند. باند مرئی قدرت تفکیک بالای آن نیز، تصاویری با ۱ کیلومتر در نادر فراهم می‌کند (Schmetz et al., 2007).

گرد و غبار جو می‌تواند با استفاده از MSG در طول روز و شب در قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا با استفاده از باندهای IR شناسایی شود. برای این منظور از درجه حرارت روشنایی^(۱۶) استفاده می‌شود که از تابندگی‌های اندازه‌گیری‌شده توسط ابزار SEVIRI بر روی ماهواره زمین‌ثابت MSG محاسبه می‌شود. با یک نرخ نمونه‌برداری ۱۵ دقیقه و قدرت تفکیک مکانی ۳ کیلومتر در نادر، درجه حرارت‌های روشنایی SEVIRI در یک قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا موجود هستند که برای تشخیص منابع گرد و غبار فعال از آن استفاده می‌شود. EUMETSAT یک محصول شاخص گرد و غبار برای صحنه‌های MSG در وب‌سایت خود بر اساس اختلاف درجه حرارت روشنایی^(۱۷) ارائه می‌دهد (Schepanski et al., 2007). محصول گرد و غبار EUMETSAT MSG، ترکیب RGB بر اساس باند مادون قرمز SEVIRI است. این برای پایش تکامل طوفان‌های گرد و غبار روی بیابان در هم‌هنگام شب و هنگام روز طراحی شده است. این ترکیب با این حال ردیابی بیشتر (۲۴ ساعت) ابرهای گرد و غبار را در مواقعی که آن‌ها روی دریا گسترش یافته‌اند را اجازه می‌دهد. ترکیب RGB از اختلاف در قابلیت انتشار گرد و غبار و سطوح بیابان بهره‌برداری می‌کند. علاوه بر این در طول روز، آن از اختلاف درجه حرارت بین سطوح بیابان گرم و ابرهای گرد و غبار سرد تر استفاده می‌کند. ترکیب RGB از باندهای MSG IR زیر تولید می‌شود: IR10.8-IR12.0 (gun قرمز)، IR10.8-IR8.7 (gun سبز) و IR10.8 (gun آبی). گرد و غبار به رنگ صورتی یا قرمز در این ترکیب RGB به نظر می‌رسد. زمین خشک به رنگ آبی کم‌رنگ (در طول روز) تا سبز (در هنگام شب) به نظر می‌رسد. ابرهای ضخیم در سطوح بالا، تن قرمز-قهوه‌ای دارند و ابرهای نازک در سطوح بالا بسیار تاریک (نزدیک به سیاه) به نظر می‌رسد. انتشار و انتقال بعدی رویدادهای گرد و غبار منحصر به فرد می‌تواند به خوبی مشاهده شود و در تصاویر ترکیبی RGB درک

۳۶۵-۲۷۰ نانومتر) و باند مرئی (محدوده عملکرد کامل بین ۵۰۰-۳۶۵ نانومتر) است. باند UV خود شامل دو باند فرعی با عملکرد کامل زیر است:

UV-1: محدوده‌ای از ۳۱۰-۲۷۰ نانومتر و UV-2: محدوده‌ای از ۳۶۵-۳۱۰ نانومتر. نمونه‌برداری طیفی و مکانی UV-1 به وسیله‌ی یک ضریب دو در مقایسه با UV-2 کاهش یافته است (Levelt et al., 2006). اندازه پیکسل زمین در موقعیت نادیر در حالت جهانی (عرض نوار در حدود ۲۶۰۰ کیلومتر)، ۱۳×۲۴ کیلومتر برای باندهای UV-2 و VIS و ۱۳×۴۸ کیلومتر برای باند UV-1 است (Fu et al., 2013).

اندازه‌گیری‌های OMI حساس به جذب هواویزها در طول موج UV هستند؛ بنابراین، یک منبع مستقل از اطلاعات مربوط به تشخیص هواویز معدنی در منظره‌های تحت مشاهده فراهم می‌نماید. علاوه بر این و بر خلاف مودیس، $OMI AI^{(۲۱)}$ حساس به جذب هواویزها هستند حتی وقتی ذرات در بالای ابر هستند. بنابراین، AAI به طور موفق در هر دو شرایط بی ابر و ابری مشتق شده است. OMI قدرت تفکیک مکانی ۱۳×۲۴ کیلومتر در نادیر دارد و از یک الگوریتم بازیابی شبیه به TOMS استفاده می‌کند (Baddak et al., 2009).

OMI AI (شاخص هواویز OMI) به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود:

$$OMI AI = 100 \log_{10} (I_{360}^{Meas} / I_{360}^{Calc}) \quad (۱)$$

که در آن I_{360}^{Meas} تابندگی اندازه‌گیری شده در ۳۶۰ نانومتر و I_{360}^{Calc} تابندگی محاسبه شده در ۳۶۰ نانومتر برای یک اتمسفر رالی است. در اغلب شرایط، AI برای جذب هواویز مثبت و برای غیر جذب هواویز (پراکندگی خالص) منفی است. $AI > 1$ نوعی از جذب ذرات معلق موجود در هوا مانند دود یا گرد و غبار است (Baddak et al., 2009). ارزش‌های AI به عنوان نماینده‌ای برای مناطق منبع گرد و غبار استفاده می‌شود و برای هر روز در دسترس هستند (Schepanski et al., 2007).

یکی از ضعف‌های بازیابی هواویز OMI در این است که OMI در یک مدار خورشید آهنگ از خط استوا در ساعت ۱۳:۴۵ به زمان محلی عبور می‌کند، اما اغلب منابع گرد و غبار در ساعات یا در طول بعد از ظهر و شب (تندبادهای در ارتباط با ابرهای همرفتی) فعال می‌شوند. بنابراین در زمان عبور OMI، گرد و غبار موجود در هوا قبلا و پیش از این، در اتمسفر مخلوط شده

مانند دود، گرد و غبار و سولفات‌ها را تشخیص دهد و فشار و پوشش ابر را که داده‌ها را برای استنتاج ازن تروپوسفری فراهم می‌کند، اندازه‌گیری کند. ابزار OMI ثبت TOMS را برای ازن کل و دیگر پارامترهای وابسته به شیمی ازن، انجام می‌دهد (WMO SDS-WAS, 2015).

سنجنده OMI از یک تصویربردار ابرطیفی برای مشاهده بازتاب خورشیدی در مرئی و ماورا بنفش استفاده می‌کند. قابلیت‌های ابر طیفی، دقت و صحت مقدار کل ازن را بهبود می‌بخشد. OMI یک ابزار کلیدی بر روی ماهواره Aura برای پایش بهبود لایه ازن در پاسخ به تغییر مواد شیمیایی مانند CFCsها است. این ابزار آلاینده‌هایی مانند O_3 ، NO_2 ، SO_2 و هواویزها را اندازه‌گیری می‌کند. آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا این ترکیبات اتمسفر را به عنوان تهدید جدی برای سلامت انسان و بهره‌وری کشاورزی تعیین کرده است. این اندازه‌گیری‌ها در قدرت تفکیک نزدیک مقیاس شهری ساخته شده‌اند و آلودگی‌های صنعتی و سوزاندن بیوماس را ردیابی می‌کند. هیپرومیت^(۱۹)، فرمالدئید و دی اکسید کلر^(۲۰) نیز توسط این ابزار اندازه‌گیری می‌شوند که همه در شیمی استراتوسفر و تروپوسفر نقش بازی می‌کنند. علاوه بر این، مقدار ستون کل NO_2 ازن اتمسفری، همچنین گرد و غبار در اتمسفر پایین‌تر، دود و هواویزهای دیگر را اندازه‌گیری می‌کند (NASA, 2015). قابلیت‌های منحصر به فرد OMI برای اندازه‌گیری‌های گازهای کمیاب مهم با یک ردپای کوچک و پوشش جهانی روزانه، سهم عمده‌ای در درک ما از شیمی استراتوسفر و تروپوسفر و تغییرات آب و هوایی خواهد داشت. علاوه بر این، OMI ویژگی‌های هواویز، ابرهای در ارتفاعات بالا و درخشندگی UV را در سطح اندازه‌گیری می‌کند. قدرت تفکیک مکانی بالای OMI بی‌نظیر است و تشخیص آلودگی هوا در مقیاس شهری را قادر خواهد ساخت. این سنجنده طیف کاملی را در محدوده طول موج ماورابنفش/ مرئی با پوشش روزانه جهانی اندازه‌گیری می‌کند. اندازه پیکسل کوچک، OMI را قادر می‌سازد تا در بین ابرها جستجو کند و این برای بازیابی اطلاعات تروپوسفری خیلی مهم است (Levelt et al., 2006).

OMI یک تصویربردار طیف نگار با دید نادیر و push broom در محدوده طیف ماورابنفش- مرئی (UV-VIS) است که تابندگی را در محدوده طول موج ۲۷۰-۵۰۰ نانومتر با قدرت تفکیک طیفی در حدود ۰/۵ نانومتر اندازه‌گیری می‌کند (Fu et al., 2013). باندها شامل باند UV (محدوده عملکرد کامل بین

است و به وسیله سیستم‌های محلی و منطقه‌ای بادی، انتقال پیدا کرده است. بنابراین احتمالاً سبب ایجاد یک اریبی در محل‌های منابع بازیابی شده OMI می‌شود. علاوه بر این، بازیابی‌های AI گرد و غبار در زیر ارتفاع ۱/۵ کیلومتر مشکل است، به طوری که گرد و غبار معدنی در نزدیکی منبع ممکن است شناسایی نشود (Schepanski et al., 2007).

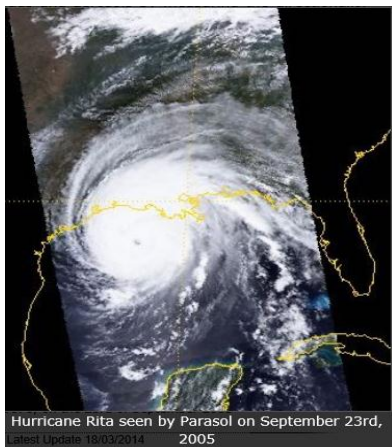
سنجنده POLDER-P (ماهواره PARASOL)

ماهواره PARASOL^(۳۲) ۱۸ دسامبر ۲۰۰۴ از پایگاه فضایی گویان در گویان فرانسه توسط راکت آریان ۵ به فضا پرتاب شد (Cnes, 2015). این ماهواره در شکل یک صورت فلکی A-TRAIN (شکل ۱) با چند ماهواره دیگر برای پنج سال به پرواز در آمد. این ماهواره‌ها برای بار اول، ترکیب یک مجموعه کامل از ابزارها برای مشاهده ابرها و هواویزها از رادیومترهای غیرفعال تا لیدار فعال و ساندرهای رادار را دارد. در ۲ دسامبر ۲۰۰۹، PARASOL از A-TRAIN به مدار ۳/۹ کیلومتر پایین تر در زیر A-TRAIN خارج شد که بتواند داده‌ها را هر دو سه ماه با اعضای A-TRAIN به اشتراک بگذارد (WMO SDS-WAS, 2015).

PARASOL یک تصویربردار رادیومتر/پلاریومتر زمین-گسترده را حمل می‌کند که POLDER^(۳۳) -P (قطبش و سوبه‌گی بازتابندگی‌های زمین) نامیده می‌شود (WMO SDS-WAS, 2015). POLDER-P برای بهبود دانش ما از خواص تابشی و میکروفیزیکی ابرها و هواویزها با استفاده از اندازه‌گیری جهت و قطبش نور بازتاب شده توسط سیستم زمین-جو طراحی شده است (WMO SDS-WAS, 2015).

POLDER-P نسخه بهبودیافته POLDER1/2 است. هدف آن، اندازه‌گیری چند جهتی و قطبی تابش VIS/NIR خورشیدی بازتاب شده توسط اتمسفر و سطح زمین و هواویزها است (Eo Portal Directory, 2015). این سنجنده بر پایه کاربرد فیلترهای قطبش و اندازه‌ها در تعدادی از باندهای طیفی و در زوایای دید مختلف (قابلیت دید چند زاویه‌ای) عمل می‌کند. در مقایسه با POLDER1/2، باند ۱۰۲۰ نانومتر برای انجام مشاهدات برای مقایسه با داده‌های کسب شده توسط LIDAR بر روی ماهواره CALIPSO (یکی از ماهواره‌های همراه خود در A-train) اضافه شده است. POLDER-P همچنین بر تکنیک‌های نوآورانه توسعه داده شده برای کالیبره کردن ابزارهای

POLDER-P دارای ۹ باند طیفی است که ۳ تای آن با فیلترهای قطبی اجرا می‌شوند (در مجموع ۱۵ باند، سه باند برای هر باند قطبی مورد نیاز است). محدوده‌ی طیفی از ۴۴۳ تا ۹۱۰ نانومتر است. برای طول موج‌های قطبی (پلاریزه)، سه فیلتر، قطبش خطی تابش‌های دریافتی را در سه جهت جدا شده ۱۲۰ درجه، اندازه‌گیری می‌کند. صحنه (یک تصویر 2D) اندازه‌ای در حدود ۱۶۰۰ کیلومتر (در امتداد مسیر) \times ۲۴۰۰ کیلومتر (عرض مسیر) با قدرت تفکیک مکانی زمین 7×6 کیلومتر در نادر دارد (Eo Portal Directory, 2015). شکل (۲) یک صحنه از سنجنده POLDER-P را نشان می‌دهد.



شکل (۲): یک صحنه از ماهواره PARASOL - سنجنده POLDER-P (Cnes, 2015)

بازیابی هواویز PARASOL روی زمین بر اساس اندازه‌گیری‌های قطبش برای به حداقل رساندن سهم سطح است. از آنجا که قطبش عمدتاً توسط ذرات کوچک تولید می‌شود، بازیابی هواویز PARASOL روی زمین برای ذراتی که در حالت درشت هستند خصوصاً برای گرد و غبار مناسب نیست (WMO SDS-WAS, 2015).

سنجنده MISR (ماهواره ترا)

تصویربرداری اسپکترورادیومتر چند زاویه‌ای MISR^(۲۴) در یک مدار قطبی خورشیدآهنگ در دسامبر ۱۹۹۹ بر روی ماهواره ترا سیستم مشاهده زمین NASA راه‌اندازی شد. MISR، تابندگی موج کوتاه را از زمین در ۴ باند طیفی با طول موج‌های مرکزی ۴۴۶، ۵۵۸، ۶۷۲ و ۸۶۶ نانومتر در ۹ زاویه دید در جهت‌های جلو و عقب در طول مسیر پرواز در ۷۰/۵، ۶۰/۰، ۴۵/۶، ۲۶/۱ درجه و نادیر اندازه‌گیری می‌کند (Carboni et al., 2012). این مشاهده ۹ جهتی به منظور تشخیص تغییرات زاویه‌ای نور خورشید بازتاب‌شده توسط هواویزها، ابرها و سطح، انجام می‌شود (Kalashnikova et al., 2004). علاوه بر این، این دیدها برای بازیابی تعدادی از پارامترهای هواویز فیزیکی و همچنین خواص میکروفیزیکی هواویز (اندازه و شکل) استفاده می‌شود (Marey et al., 2011).

الگوریتم بازیابی هواویز استاندارد MISR^(۲۵) AOD و نوع هواویز در قدرت تفکیک ۱۷/۶ کیلومتر را، به وسیله تجزیه و تحلیل داده‌ها از مناطق ۱۶×۱۶ پیکسل با قدرت تفکیک ۱/۱ کیلومتر، تابندگی‌های بالای جو MISR، گزارش می‌دهد (Carboni et al., 2012).

MISR بازیابی‌های بخشی از AOD را به سبب ذرات ریز(شعاع ذرات > ۰/۳۵ میکرومتر) متوسط (شعاع ذرات بین ۰/۳۵ و ۰/۷ میکرومتر) و بزرگ (شعاع ذرات < ۰/۷ میکرومتر) و همچنین بخشی از AOD را به دلیل ذرات کروی و غیر کروی از اندازه‌گیری‌های در ۴ باند طیفی انجام می‌دهد (Marey et al., 2011). بر روی آب تیره، بازیابی‌های عملیاتی (موثر) با استفاده از باندهای طیفی ۶۷۲ و ۸۶۷ نانومتر انجام می‌گیرد. بازیابی‌های همراه سطح-اتمسفر با استفاده از ۴ باند طیفی بر روی بیشتر زمین، از جمله سطوح روشن بیابان انجام می‌شود ولی این کار بر روی برف و یخ صورت نمی‌گیرد (Carboni et al., 2012).

این سنسور برای بهبود درک ما از محیط‌زیست و آب و هوای زمین، خصوصا از اتمسفر و سطح زمین طراحی شده است و زمین روشن از فروغ آفتاب را به‌طور هم‌زمان در نه زاویه مختلف می‌بیند. تقریبا، تمام ویژگی‌های روی سطح زمین شامل ابرها و ذرات ریز معلق شناور در اتمسفر، نور خورشید را وقتی که از زوایای مختلف دیده می‌شوند، به طور متفاوت بازتاب می‌کنند. بنابراین اندازه‌گیری چند زاویه‌ای می‌تواند اطلاعات بیشتری از اندازه‌گیری‌های سنسور از دور زاویه واحد سنتی فراهم کند؛

بنابراین می‌تواند تبعیض خوب بین مواد را بالا ببرد. این نشان داده است که MISR می‌تواند برای شناسایی طوفان گرد و غبار بزرگ استفاده شود (El-Askary et al., 2004).

با استفاده از ویژگی‌های جدید MISR با زاویه‌های دید مختلف، شناسایی طوفان‌های گرد و غبار می‌تواند تا حد زیادی بهبود یابد. به عنوان مثال، رویدادهای طوفان گرد و غبار که با دید نادیر تشخیص داده می‌شوند ممکن است به آسانی به وسیله off-nadir دید زاویه‌ای، شناسایی شوند. زیرا، سنسورهای off-nadir عمق ضخیم تر اتمسفر را می‌بینند. MISR پتانسیل برای افزایش تشخیص طوفان‌های ریزگرد کوچک را نیز دارد. بنابراین آن ممکن است در تشخیص زود هنگام طوفان‌های گرد و غبار مفید باشد. علاوه بر این، ترکیب اطلاعات از زاویه‌های دید مختلف می‌تواند در افتراق بین ابرهای گرد و غبار و ابرهای عادی استفاده شود. این می‌تواند در کاهش تاثیرات زمینه (سابق) برای مناطق بیابانی به وسیله انتخاب مناسب زوایای دید مناسب سودمند باشد (El-Askary et al., 2004). علاوه بر این، سنسورهای مربوط به سنجنده MISR را می‌توان برای تصحیح اطلاعات جوی سنجنده مودیس مورد استفاده قرار داد (Alavipanah, 2006).

سنجنده MERIS (ماهواره ENVISAT)

تصویربرداری اسپکترومتر رزولوشن متوسط MERIS^(۲۶) در فوریه ۲۰۰۲ بر روی ماهواره ENVISAT که در حال مشاهدات جهانی از تابندگی‌های بالای جو (TOA) است، راه‌اندازی شد. ENVISAT در یک مدار خورشید آهنگ با زمان عبور از خط استوا ۱۰:۰۰ صبح به وقت محلی است. مریس دارای پانزده باند طیفی در محدوده ۳۹۰ تا ۱۰۴۰ نانومتر است. میدان دید ۶۸/۵ این ابزار در اطراف نادیر، عرض نوار ۱۱۵۰ کیلومتر با یک قدرت تفکیک مکانی ۱/۲ کیلومتر در نادیر را پوشش می‌دهد. دقت مریس ۴٪ ± در بازتابندگی است. این عدم قطعیت مریس بر روی زمین بین ۳ و ۷ درصد بسته به دقت داده‌های حقیقی زمین در دسترس یافت شده است (Vidot et al., 2008).

خواص نوری هواویز، بر روی زمین با استفاده از Look-Up Table (LUT) بر اساس الگوریتم و بازتابندگی‌های سطح در مناطق طیفی آبی و قرمز بازیابی شده‌اند. ابزار MERIS همچنین می‌تواند نقش اساسی در تلاش برای به‌دست‌آوردن یک تصویر جهانی هواویز به دلیل اندازه‌گیری‌های جهانی مکرر آن از

به پرواز در آمد. این پس از آن به یک ابزار با ۵ باند (AVHRR/2) بهبود پیدا کرد که بر روی ماهواره NOAA-7 (راه‌اندازی شده در ژوئن ۱۹۸۱) به پرواز درآمد. آخرین نسخه این ابزار، AVHRR/3 با ۶ باند است که برای اولین بار بر روی ماهواره NOAA-15 (راه‌اندازی شده در می ۱۹۸۸) آغاز به کار کرد (NOAA, 2015). این باندها شامل باندهای مرئی، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز موج-کوتاه، مادون قرمز میانی و دو باند مادون قرمز حرارتی است (Iino et al., 2004). این مجموعه از طول موج‌های گوناگون، بعد از پردازش، اجازه تجزیه و تحلیل چند طیفی را برای تعیین دقیق‌تر پارامترهای هیدرولوژیک، اقیانوس‌شناسی و هواشناسی می‌دهد (NOAA, 2015). مقایسه داده‌ها از دو باند، اغلب برای مشاهده ویژگی‌ها یا اندازه‌گیری پارامترهای محیط‌زیستی مختلف، استفاده می‌شود. سه باند عملیاتی که کاملاً در محدوده مادون قرمز هستند برای تشخیص تابش حرارت از سطح، و بنابراین درجه حرارت زمین، سطح دریا و ابرهای بالای آن‌ها استفاده می‌شود (NOAA, 2015). همچنین AVHRR دارای قدرت تفکیک قابل استفاده برای شناسایی و جدا سازی عددی گرد و غبار از سایر پدیده‌ها است (Zeinali, 2013).

مزیت AVHRR، پوشش جهانی روزانه و قدرت تفکیک مکانی بالای آن (تقریباً ۱٫۱ کیلومتر در نادر) در کانال‌های طیفی با انتقال اتمسفری تقریباً یکپارچه است (Ackerman, 1997); (Evan et al., 2006). داده‌های جهانی در یک رزولوشن اسمی (غیر واقعی) ۴ کیلومتر در دسترس هستند و به عنوان داده‌های پوشش منطقه (سطح) جهانی^(۳۰) شناخته شده است (Ackerman, 1997).

بحث و نتیجه‌گیری

در مطالعه کره زمین، به کارگیری تمامی رشته‌های علمی به درک محیط و عوامل موثر بر تغییرات آن کمک می‌کند. فناوری سنجش از دور و بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای یکی از ابزارهای موثر در زمینه مطالعه‌های محیط‌زیست و علوم زمین، شناخت بسیاری از منابع مانند خاک، آب، معادن و پوشش گیاهی و پایش پدیده‌های زیان‌باری مانند سیلاب‌ها، بیابان‌زایی، فرسایش آبی و بادی، طوفان گرد و غبار، تخریب جنگل‌ها و مراتع، آلودگی آب، خاک و هوا می‌باشد. استفاده از فناوری سنجش از دور، بیشتر موجب کاهش هزینه‌ها و افزایش دقت و

مقدار و نوع هواویز بر روی یک طیف گسترده‌ای از انواع سطوح داشته باشد. هدف اصلی MERIS مشاهده رنگ اقیانوس است در حالی که هدف ثانویه مشاهده جو و سطوح زمینی است (Vidot et al., 2008).

مریس دارای ۱۵ باند طیفی در منطقه ۳۹۰ تا ۱۰۴۰ نانومتر از طیف الکترومغناطیس است. پهنای باند طیفی بین ۱/۲۵ و ۳۰ نانومتر بسته به عرض یک ویژگی طیفی و مقدار انرژی مورد نیاز درون یک باند معین برای انجام یک مشاهده کافی و مناسب، متفاوت است. بر روی اقیانوس باز (آزاد)، پهنای باند متوسط ۱۰ نانومتر برای باندهای واقع در بخش مرئی طیف است. برای دیگر ویژگی‌های طیفی مانند باند جذب اکسیژن واقع در ۷۶۰ نانومتر، پهنای باند طیفی کمتر از ۱۰ نانومتر است. با توجه به اهداف ماموریت و اولویت‌ها برای این ابزار، مجموعه‌ای از ۱۵ باند طیفی برای کاربردهای مربوط به اقیانوس‌شناسی و مربوط به رشته‌های مختلف علمی مشتق شده است. این باندهای طیفی، به عنوان مجموعه مرجع برای نمونه‌سازی الگوریتم‌های بخش زمینی استفاده می‌شود (Bézy et al., 2000).

بررسی‌های مختلف نشان می‌دهد که بر روی زمین، ضخامت نوری هواویز^(۳۷) MERIS، به خوبی در طول موج آبی و به طور ناچیز در طول موج قرمز بازبایی می‌شود که منجر به برآورد کمتر ضریب آنگستروم می‌شود. برای بررسی ضعف الگوریتم مریس، اندازه‌گیری‌های رادیومتر زمین- پایه به منظور بازبایی مدل هواویز جدید بر اساس خواص نوری ذاتی^(۳۸) شان استفاده شده است. این مدل هواویز جدید همبستگی را کمی بهبود می‌دهد اما مشکل اصلی تولیدهای هواویز مریس بر روی زمین را می‌توان به مدل بازتابندگی سطح در باند قرمز نسبت داد (Vidot et al., 2008).

سنجنده AVHRR (ماهواره NOAA)

رادیومتر پیشرفته با قدرت تفکیک بسیار بالا AVHRR^(۳۹)، یک تصویر بردار تابش- تشخیص است که می‌تواند برای تعیین پوشش ابر و درجه حرارت سطح از راه دور استفاده شود. سطح، می‌تواند به معنی سطح زمین، سطوح بالایی ابرها یا سطح یک پیکره آبی باشد. این رادیومتر از ۶ آشکارساز استفاده می‌کند که باندهای مختلف طول موج تابش را فراهم آورده است (NOAA, 2015). اولین AVHRR، ۴ باند داشت و برای اولین بار بر روی TIROS-N (راه‌اندازی شده در اکتبر ۱۹۷۸)

زمانی بین تصاویر مودیس، در مطالعه‌های مربوط به پایش پیوسته گرد و غبار نمی‌توان از آن استفاده کرد در صورتی که تصاویر سنجنده SEVIRI به دلیل زمین ثابت بودن ماهواره و چرخش تکرار پانزده دقیقه‌ای، امکان پایش مستمر رویدادهای گرد و غبار را به ما می‌دهد. سنجنده OMI نیز به دلیل این که حساس به جذب هواویزها و گرد و غبار در طول موج UV است، برخلاف مودیس می‌تواند در هر دو شرایط ابری و بدون ابر ذرات گرد و غبار را تشخیص دهد. POLDER-P برای تشخیص ذرات ریز هواویز بسیار مناسب است ولی توانایی تشخیص ذرات درشت گرد و غبار را ندارد. MISR امکان تشخیص طوفان‌های گرد و غبار کوچک را به دلیل داشتن زوایای دید مختلف فراهم می‌آورد و برای تشخیص زود هنگام طوفان گرد و غبار مفید است. ابزار MERIS همچنین می‌تواند نقش اساسی در تلاش برای به‌دست‌آوردن یک تصویر جهانی هواویز به دلیل اندازه‌گیری‌های جهانی مکرر آن از مقدار و نوع هواویز بر روی یک طیف گسترده‌ای از انواع سطوح داشته باشد. مزیت AVHRR، پوشش جهانی روزانه و قدرت تفکیک مکانی بالای آن (تقریباً ۱/۱ کیلومتر در نادر) در کانال‌های طیفی با انتقال اتمسفری تقریباً یکپارچه است. در نهایت می‌توان اشاره کرد که سنجنده‌های مورد بررسی در این مقاله، قابلیت بالایی در تشخیص هواویزها و ذرات گرد و غبار دارند و با توجه به هدف مطالعه می‌توان از داده‌های مربوط به یک سنجنده یا به صورت تلفیقی از داده‌های سنجنده‌های مختلف استفاده کرد.

یادداشت‌ها

1. Aerosol
2. Plume
3. MODIS: The Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer
4. Terra
5. Aqua
6. EOS: Earth Observing System
7. FCC: False Color Composite
8. ESA: European Space Agency
9. EUMETSAT: the European Organisation for the Exploitation of Meteorological
10. MFG: Meteosat First Generation
11. MSG: Meteosat Second Generation
12. Numerical Weather Prediction (NWP)
13. Spinning Enhanced Visible Infra-Red Imager
14. The High Resolution Visible (HRV)
15. Convection

سرعت می‌شود (Alavipanah, 2003). سنجنش از دور یکی از روش‌های جمع‌آوری داده‌ها است که بدون تماس فیزیکی با عارضه‌ها به دریافت اطلاعات می‌پردازد. برخلاف اندازه‌گیری‌های زمینی که در آن انسان وظیفه برداشت اطلاعات را بر عهده دارد، در سنجنش از دور این کار به وسیله سنجنده انجام می‌شود (Fatemi & Rezaei, 2005). ماهواره‌ها و سنجنده‌های آن‌ها می‌توانند اطلاعاتی در بعدها، مقیاس‌ها و طیف‌های مختلف تهیه کنند که این ویژگی به اهمیت سنجنش از دور می‌افزاید. با استفاده از فناوری سنجنش از دور می‌توان با هزینه و زمان کمتر، طیف وسیعی از پروژه‌ها را در سطح جهانی، منطقه‌ای، ملی، استانی و محلی به نتیجه رساند. علاوه بر این، قابلیت تکرار اخذ داده‌های ماهواره‌ای به فاصله زمانی چند ساعت تا چند روز در طول ماه یا سال، امکان مطالعات تغییرات و پایش پدیده‌های زمینی را به خوبی فراهم ساخته است (Alavipanah, 2003).

از داده‌های به دست آمده از سنجنده‌های مختلف می‌توان برای مطالعات هواویزها و ذرات گرد و غبار استفاده کرد. برای مثال، سنجنده SEVIRI پردازنده ماهواره‌های MSG، محصولات RGB را با قدرت تفکیک مکانی و زمانی خوب و پوشش بسیار عالی و دائمی برای تشخیص کیفی ابرهای گرد و غبار تولید می‌کند. این محصولات در پایش گرد و غبار، کنون‌بینی و تایید مدل بسیار مهم است. علاوه بر این، تلاش‌های ارزیابی‌شده تیم‌های مختلف، برای توسعه یک محصول کمی برای برآورد عمق نوری کل ستون هواویز، از نتایج امیدوارکننده‌ای هستند. از سوی دیگر، محصولات به دست آمده از ابزارهایی مانند MODIS، AVHRR و OMI، MISR و MERIS و بنابراین با قدرت تفکیک زمانی کمتر و بدون پوشش دائمی ممکن است به تخمین توزیع افقی و عمودی، تمایز گونه‌ها، توزیع اندازه و خواص نوری هواویزها کمک کند (WMO SDS-WAS, 2015). نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که هر کدام از سنجنده‌های تشخیص دهنده ذرات هواویز و گرد و غبار، مزایا، معایب و قابلیت‌های متفاوتی دارند که بسته به هدف می‌توان از داده‌های آن‌ها استفاده کرد. برای مثال سنجنده MODIS نسبت به دیگر سنجنده‌ها باندهای طیفی بیشتری دارد و در نتیجه از قدرت تفکیک طیفی بالاتری برخوردار است و از این رو امکان به کار بردن روش‌های بسیار برای تشخیص گرد و غبار با استفاده از باندهای حرارتی و انعکاسی متعدد را به ما می‌دهد ولی به دلیل قدرت تفکیک زمانی نسبتاً پایین آن و وجود فاصله

- | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 16. Brightness Temperature | 23. Polarization and Directionality of the Earth's Reflectances - PARASOL |
| 17. Brightness temperature difference (BTD) | 24. The Multi-angle Imaging SpectroRadiometer |
| 18. The Ozone Monitoring Instrument | 25. Aerosol Optical Depth |
| 19. BrO | 26. The Medium Resolution Imaging Spectrometer |
| 20. OCLO | 27. AOT: Aerosol Optical Thicknesses |
| 21. Absorbing Aerosol Index | 28. IOP: Inherent Optical Properties |
| 22. Polarization and Anisotropy of Reflectances for Atmospheric Sciences coupled with Observations from a Lidar | 29. Advanced Very High Resolution Radiometer |
| | 30. GAC: Global Area Coverage |

فهرست منابع

- Ackerman, S. A. 1997. Remote sensing aerosols using satellite infrared observations. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, 102, D14. pp. 17069-17079
- Ajoodani, S.; Rangzan, K.; Vazifeh doost, M. & Abdolkhani, A. 2014. Monitoring dust storms using remote sensing technology in west and southwest of Iran. The third national conference on Wind erosion and dust storms, Iran, Yazd, 15 and 16, January, 2014. (In Persian)
- Alavipanah, K. 2003. Application of Remote Sensing in Earth Sciences (Soil Sciences). University of Tehran Publications. Tehran.478. (In Persian)
- Alavipanah, K. 2006. Thermal Remote Sensing and its Application in Earth Sciences. University of Tehran Publications. Tehran. 522. (In Persian)
- Azizi, Gh.; Shamsipour, A.; Miri, M. & Safarrad, T. 2012. Synoptic and remote sensing analysis of dust events in southwestern Iran. *Natural Hazards* 64; 2. pp. 1625- 1638
- Baddak, M. C.; Bullard, J. & Bryant R. 2009. Dust source identification using MODIS: A comparison of techniques applied to the Lake Eyre Basin, Australia. *Remote Sensing of Environment* 113.pp.1511-1528
- Bézy, J. L.; Delwart, S. & Rast, M. 2000. MERIS – A New Generation of Ocean- Colour Sensor onboard Envisat. ESA Directorate of Applications Programmes
- Boccone, M. 2010. Dust detection algorithm using MODIS data and HYDRA software. Present environment and sustainable development
- Carboni, E.; Thomas, G. E.; Sayer, A. M. & Siddans, R. 2012. Intercomparison of desert dust optical depth from satellite Measurements. *Atmospheric Measurement Techniques* 5.pp. 1973–2002
- Cnes. 2015. URL: <http://smc.cnes.fr/PARASOL/>. Last accessed 22 Feb. 2015.
- El-Askary, H.; Gutam, R. & Kafatos, M. 2004. Remote sensing of dust storms over the Indo-Gangetic basin. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 32; 2.
- Eo Portal Directory. 2015. URL: https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite_missions/p/parasol. Last accessed 22 Feb. 2015.
- Esmaeili, A. 2006. Primary zoning of the main dust sources of Iran using remote sensing technology. Master of science thesis. College of Civil Engineering, Sharif University of Technology.159. (In Persian)
- EUMETSAT.2015.URL:<http://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/CurrentSatellites/Meteosat/index.html>. Last accessed 12 Feb. 2015.

- Evan, A.; Heidinger, A.K. & Pavolonis, M.J. 2006. Development of a new over-water Advanced Very High Resolution Radiometer dust detection algorithm. *International Journal of Remote Sensing* 27;18.pp. 3903–3924
- Fatemi, B. & Rezaei, Y. 2005. *Basics of Remote Sensing*. Azadeh Publications. Tehran.268. (In Persian)
- Fu, D.; Worden, J. R.; Liu, X.; Kulawik, S. S.; Bowman, K. W. & Natraj, V. 2013. Characterization of ozone profiles derived from Aura TES and OMI radiances. *Atmospheric Chemistry and Physics* 13.pp.3445-3462.
- Hung, J.; Ge, J.; & Weng, F. 2007. Detection of Asia dust storms using multisensor satellite measurements. *Remote Sensing of Environment* 110.pp.186-191.
- Iino, N.; Kinoshita, K.; Tupper, A.C. & Yano, T. 2004. Detection of Asian dust aerosols using meteorological satellite data and suspended particulate matter concentrations. *Atmospheric Environment* 38.pp. 6999–7008.
- Kalashnikova, O. V.; Diner, D.; Kahn, R. & Gaitley, B. 2004. Dust Aerosol Retrieval Results from MISR. *The International Society for Optical Engineering (SPIE): Passive Optical Remote Sensing of the Atmosphere and Clouds*.
- Levelt, P. F.; Van Den Oord, G.H.; Dobber, M.R.; Mälkki, A.; Visser, H.; de Vries, J.; Stammes, P.; Lundell, J.O. & Saari, H. 2006. The Ozone Monitoring Instrument. *TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE and REMOTE SENSING* 44;5
- Marey, H. S.; Gille, J. C.; El-Askary, H. M.; Shalaby, E. A. & El-Raey, M. E. 2011. Aerosol climatology over Nile Delta based on MODIS, MISR and OMI satellite data. *Atmospheric Measurement Techniques* 11.pp. 10637–10648
- MODIS Website. 2015. URL: <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>. Last accessed 22 Feb. 2015.
- Murphy, D. 2013. *EUMETSAT Geostationary Meteorological Satellite Programs*. H and book of Satellite Applications.
- NASA. 2015. URL: <http://aura.gsfc.nasa.gov/about.html>. Last accessed 12 Feb. 2015.
- NOAA. 2015. URL: <http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/avhrr.html>. Last accessed 23 Feb. 2015.
- Ocean Biogeochemistry Lab. 2015. URL: <http://ocean.stanford.edu/gert/easy/bands.html>. Last accessed 22 Feb. 2015.
- Schepanski, K; Tegen, I.; Laurent, B.; Heinold, B. & Macke, A. 2007. A new Saharan dust source activation frequency map derived from MSG-SEVIRI IR-channels. *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS* 34.
- Schmetz, J.; Klaes, D.; Ratier, A. & Stuhlmann, R. 2007. THE METEOSAT and EPS/METOP SATELLITE SERIES. *Measuring Precipitation from Space: EURAINSAT a the Future*, 571–586.
- TaheriShahriayni, H.; Karimi, Kh.; HabibiNokhandan, M. & HafeziMoghadas, N. 2014. Monitoring of dust storm and estimation of aerosol concentration in the Middle East using remotely sensed images. *Arab J Geosci*
- Vidot, J.; Santer, R. & Aznay, O. 2008. Evaluation of the MERIS aerosol product over land with AERONET. *Atmospheric Measurement Techniques* 8.pp. 7603–7617
- WMO SDS-WAS. 2015. URL: <http://sds-was.aemet.es>. Last accessed 12 Feb. 2015.

Zare Arnani, M.; Dehghan Dehnavi, H.; Mokhtari, M. & Ekhtesasi, M. 2014. Evaluation of Satellite Image Indexes for Determination of Dust Storm Properties. The third national conference on Wind erosion and dust storms, Iran, Yazd, 15 and 16, January, 2014. (In Persian)

Zeinali, B. 2013. Identification and monitoring of important dust storms of Iran using MODIS and AVHRR sensors. PhD thesis. College of Geography, Tabriz University. Iran. (In Persian)

Zhao, T. X.; Ackerman, S. & Guo, W. 2010. Dust and Smoke Detection for Multi-Channel Imagers. Remote Sensing 2, pp.2347-2368