

تشخیص و پایش توفان گرد و غبار غرب ایران با استفاده از روش‌های سنجش از دور

فرحناز تقوی^{۱*}، الهه اولاد^۲، طاهر صفرراد^۳ و پرویز ایران‌نژاد^۴

^۱ استادیار، گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد هواشناسی، گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

^۳ دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران، ایران

^۴ دانشیار، گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۹۰/۱۲/۱۳، پذیرش نهایی: ۹۲/۲/۲۴)

چکیده

ایران در منطقه‌ای قرار گرفته که به شدت تحت‌تاثیر توفان‌های گرد و غبار است. تحقیقات نشان می‌دهد که بسامد و شدت این توفان‌ها در سال‌های اخیر افزایش یافته است. علاوه بر این، مدل‌های عددی هواشناسی نیز به‌تنهایی قادر به ردیابی و آشکارسازی توفان‌های غبار نیستند و این امر ضرورت استفاده از روش‌های بارزسازی گرد و غبار براساس داده سنجش از دور را نمایان می‌سازد. در این تحقیق دو رویداد گرد و غبار غرب ایران (۱۴ اسفند ۱۳۸۹ و ۲۴ فروردین ۱۳۹۰) با استفاده از دو الگوریتم متفاوت، بارزسازی و بررسی می‌شود. الگوریتم اولیه به کار رفته، برای جداسازی اراضی نیمه‌بیابانی با پوشش کم گیاهی و ابر از پدیده گرد و غبار، به‌ترتیب از شاخص MNDVI و آستانه دمایی ۲۹۰ درجه کلوین در باند ۳۲ حس‌گر مادیس استفاده کرده است. بررسی‌های صورت گرفته نشان داد که شاخص MNDVI روی آب بارزسازی را به‌طور کامل عملی نمی‌سازد. بنابراین، از الگوریتم ترکیب تفاوت دمایی درخشندگی BTD گرد و غبار در طول موج‌های ۸/۵ میکرومتر (باند ۲۹ حس‌گر مادیس) و ۱۱ میکرومتر (باند ۳۱ حس‌گر مادیس) با مقادیر منفی اختلاف دمایی درخشندگی باندهای ۳۱ و ۳۲ بهره گرفتیم. در روش دوم مقادیر (BT11 - BT8.5-BT11) - (BT12) بزرگ‌تر از آستانه به‌دست آمده و (BT11-BT12) کوچک‌تر از صفر برای استخراج مناطق دارای گرد و غبار اعمال شد. روش اخیر، یعنی استفاده از محدوده فرسوخ گرمایی، گرد و غبار را به‌خوبی آشکار می‌کند. در نهایت با مقایسه تصاویر بارزسازی شده با استفاده از طول موج‌های فرسوخ و مرئی با نقشه‌های همدیدی، مقادیر ضخامت نوری هواویز (AOT)، خروجی مدل DREAM 8b و همچنین گزارش‌های ایستگاه می‌توان دریافت که استفاده از الگوریتم‌های بارزسازی گرد و غبار در مقایسه با روش‌های دیگر (بازیابی هواویز یا خروجی مدل)، راه مطمئن‌تری برای پایش گرد و غبار است. در هر دو رویداد بررسی شده استقرار کم‌فشار در سطح زمین، دلیل اصلی وقوع گرد و غبار است. با توجه به نقشه‌های مسیر گرد و غبار، امکان بررسی دقیق‌تر منشأ دو رویداد توفان و مناطق برداشت ذرات گرد و غبار نیز فراهم می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پایش، سنجش از دور، دمایی درخشندگی، ضخامت نوری، گرد و غبار

Identifying and monitoring dust storm in the western part of Iran using remote sensing techniques

Taghavi, F.¹, Owlad, E.², Safarrad, T.³ and Irannejad, P.⁴

¹Assistant Professor, Space Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

²M.Sc. Student of Meteorology, Space Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

³M.Sc. Student of Climatology, Faculty of Geography, University of Tehran, Iran

⁴Associate Professor, Space Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 03 Mar 2012, Accepted: 14 May 2013)

Summary

Mineral dust can directly affect the solar and terrestrial radiation in both visible and

E-mail: ftaghavi@ut.ac.ir

*نگارنده رابط: تلفن: ۰۲۱-۶۱۱۱۸۲۰۱ دورنگار: ۰۲۱-۸۸۶۳۰۴۷۹

infrared (IR) spectral regions through scattering and absorption processes. Due to specific optical properties of dust particles, satellite observed radiances carry the spectral signatures of dust particles that are different from molecular, cloud, and underlying surface. Based on these differences, various detection schemes have been developed to distinguish dust. In practice, the detection is based on the analysis of reflectance (or radiance) in visible bands or brightness temperature (BT) in IR bands. The magnitude of the difference in BT in selected bands (or channels) can be used to infer the signature of dust. This is the essence of aerosol imagery detection algorithms (Zhao et al, 2010).

Iran is located in a region that is strongly affected by dust storms. The frequency and intensity of these storms have increased in recent years. Recent studies have shown that numerical weather models alone are not able to track and detect dust storms and in many cases have significant errors (Taghavi, 2010). Remote sensing provides a valuable tool for detecting this phenomenon.

In west of Iran some areas are much more prone to dust storms than others due to differing soils and climates. Even in bare deserts, the sandy areas, such as those found on the Arabian Peninsula, generally do not generate dust storms. Generally, areas with silt-and clay-rich soils are responsible for most dust storms. These storms occur when the sub-tropical jet stream migrates northward from south of the Arabian Peninsula and the polar front jet stream moves southward from the European continent (Taghavi, 2008). In this study, we enhance and survey two dust events that occurred in the west of Iran on March the 4th and April the 13th, 2011, using two different algorithms. The first algorithm uses MNDVI index and threshold temperature of 290 K in MODIS band-32 to differentiate dust from semi-arid areas with low vegetation cover and clouds, respectively. Surveys show that MNDVI index cannot clearly detect dust over water surfaces. Therefore, we use the algorithm of combining brightness temperature difference of dust between the wavelengths of 8.5 μ m (MODIS band-29) and 11 μ m (MODIS band-31) with negative values of bands-31 and 32 brightness temperature differences. For defining dust areas we use $(BT_{8.5}-BT_{11}) - (BT_{11}-BT_{12})$ values larger than the obtained threshold and $(BT_{11}-BT_{12})$ smaller than zero. To study the dust loading, we also use the Dust Regional Atmospheric Model (DREAM-8b). The Earth Sciences Department of Barcelona Supercomputing Center (BSC) uses the DREAM-8b model (Nickovic et al. 2001; Perez et al. 2006a, Perez et al. 2006b) to conduct modelling research and development for short-term prediction of dust. The model predicts the atmospheric life cycle of the eroded desert dust and was developed as a pluggable component of the Eta/NCEP (National Centers for Environmental Prediction) model.

The recent method (using thermal infrared spectrum) detects dust well, especially over water. Comparison with quantitative aerosol optical thickness (AOT) retrieval is performed to validate the enhancement algorithms. At the end with comparing the enhanced images using IR technique with synoptic maps, MODIS AOT values, DREAM 8b model outputs and synoptic stations data, it is found that the applied enhancement algorithms provide a more reliable approach for monitoring dust storms compared to MODIS AOT retrievals or model outputs. For both dust storm cases, a low pressure was the main cause of the dust storms. Using trajectory maps, we can track the transport of dust from the main sources. Results show that for the dust storm occurred on the 4th March dust originated from the border of Iran and Iraq, then moved southward towards the Persian Gulf coasts, while that occurred on the case 13th April moved northward and approached Caspian Sea.

Keywords: Identify, Dust storm, Brightness temperature, Remote sensing

۱ مقدمه

زمانی این اتفاق می‌افتد که این سامانه‌ها ویژگی حرارتی-دینامیکی پیدا می‌کنند (ذوالفقاری و عابدزاده، ۱۳۸۴). در خاورمیانه بسیاری از نواحی به علت نوع خاک و اقلیم متفاوت برای رویداد توفان گرد و غبار مستعدترند. بیابان‌های خشک، نواحی ماسه‌ای، مانند شبه‌جزیره عربستان به‌طور کلی توفان گرد و غبار تولید نمی‌کنند. نواحی با خاک‌های رُسی و گل‌ولای در ایران و عراق، مسئول بیشتر توفان‌های گرد و غبارند. در این ناحیه خاک دانه‌ای ریز در کف دریاچه خشک و دشت‌های حاصل از رسوبات رودخانه‌ای به فراوانی یافت می‌شود. شکل ۳ نشان‌دهنده نوع خاک‌های موجود در منطقه غرب و جنوب غرب ایران است. با توجه به نوع خاک هر منطقه و نقشه‌های میدان باد می‌توانیم منشا رویدادهای گرد و غباری را تشخیص دهیم. از آنجاکه مدل‌های عددی هواشناسی به تنهایی قادر به ردیابی و بارزسازی این توفان‌های گرد و غبار نیستند و در بسیاری از موارد خطاهای قابل‌توجهی دارند (تقوی، ۲۰۱۰) و به علت مشاهدات اقلیمی و زیست‌محیطی محدود در این نواحی، لزوم استفاده از داده‌های سنجش از دور در کنار مشاهدات زمینی و مدل‌های عددی بیش از پیش احساس می‌شود. سنجش از دور نه تنها می‌تواند متغیرهای اولیه را برای شبیه‌سازی مدل فراهم کند، بلکه برای ارزیابی درستی آن نیز قابل استفاده است (لیو و همکاران، ۲۰۰۵).

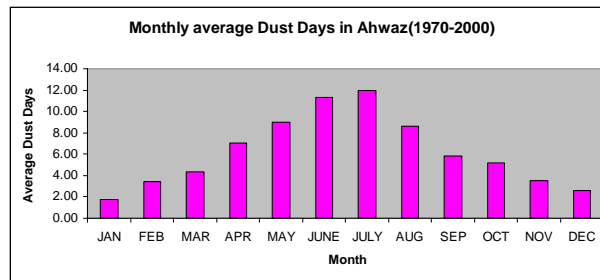
به علت ویژگی‌های اپتیکی خاص ذرات گرد و غبار، رادیانس‌های مشاهده شده ماهواره‌ای، خواص طیفی این ذرات هواویز را به‌همراه دارند (ژائو و همکاران، ۲۰۱۰) به‌نحوی که امکان جداسازی و تشخیص آنها را با توجه به این خصوصیات، فراهم می‌کنند. بدین منظور از روش‌های متفاوتی استفاده شده است. روش‌های گوناگون آشکارسازی معمولاً از مقادیر بازتابندگی در باندهای مرئی و دمای درخشندگی در باندهای فروسرخ استفاده

گرد و غبار یکی از رویدادهای هواشناسی زیان‌بار به‌شمار می‌آید و تأثیر مهمی بر کیفیت هوای منطقه‌ای دارد. ساختار رخدادهای گرد و غبار بسیار پیچیده و وابسته به سامانه هوای محلی، بارندگی، رطوبت خاک و تغییرات پوشش سطح است (لی و سونگ، ۲۰۰۹). به‌جز خسارت‌های زیست‌محیطی و کاهش دید به مقادیر کمتر از ۱ کیلومتر، توفان‌های گرد و غبار با تغییر تابش و در نتیجه انرژی رسیده به سطح زمین، اثرهای اقلیمی در مقیاس ناحیه‌ای و جهانی از خود به جا می‌گذارند. بنابراین، دیدبانی روزانه و مرتب توزیع‌های جهانی ذرات هواویزها، از جمله گرد و غبار، و بررسی تغییرات آنها به‌خصوص برای هواویزهای با تغییرپذیری بزرگ زمانی و مکانی مانند رخدادهای گرد و غبار مفید است (ژائو و همکاران، ۲۰۱۰).

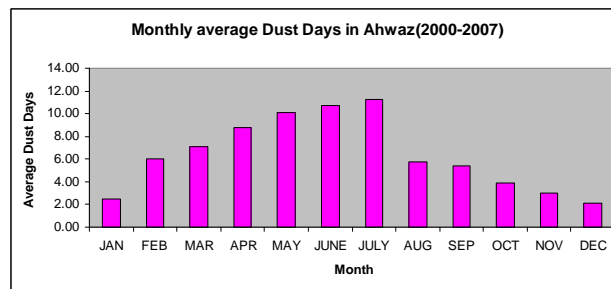
تحقیقات بسیاری نشان می‌دهد که بسامد و شدت توفان‌های گرد و غبار زیاد شده است (تقوی، ۲۰۰۸). همان‌طور که در شکل ۲ در مورد شهر اهواز مشاهده می‌کنیم، بیشترین روزهای گرد و غباری در ماه‌های تابستان است (فصل گرم سال)، ولی این پدیده در سال‌های اخیر در حال کشیده شدن به فصل سرد است (شکل ۳). به‌طور کلی، غرب ایران با توجه به نزدیکی به بیابان‌های کشورهای مجاور در معرض رخدادهای گرد و غباری متعددی است. با توجه به مسیر حرکت این سامانه‌ها و نحوه قرارگیری ناوه‌ها و کم‌فشارها در روزهای متفاوت، مهم‌ترین چشمه‌های گرد و غبار وارد شده به غرب ایران، صحرای سوریه، صحرای نفوذ در شمال شبه‌جزیره عربستان و شمال صحرای بزرگ آفریقا است. بیشترین تأثیر کم‌فشارهای حرارتی شبه‌جزیره عربستان در گرد و غبار منطقه مورد بررسی هم مربوط به زمانی است که آنها به ایران نزدیک‌تر است و همچنین با یک ناوه سطوح بالا حمایت می‌شود. به‌عبارت‌دیگر،

روش بر مبنای جذب بیشتر گرد و غبار در طول موج ۱۲ میکرومتر نسبت به ۱۱ میکرومتر بنا شده است. این رفتار، با رفتار ابرهای یخی و مایع در مغایرت است.

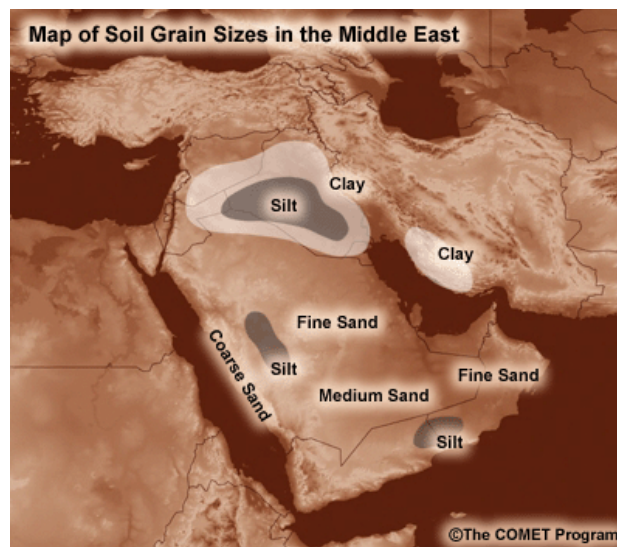
می‌کنند. اختلاف مقادیر دمای درخشندگی در باندهای متفاوت راه مناسبی برای تشخیص گرد و غبار از دیگر پدیده‌ها است. ویژگی طیفی مهم برای بارسازی گرد و غبار در طول موج‌های فروسرخ پنجره باز است. این



شکل ۱. میانگین ماهانه روزهای گرد و غبار در اهواز در بازه زمانی ۱۹۷۰-۲۰۰۰ (تقوی، ۲۰۰۸).



شکل ۲. میانگین ماهانه روزهای گرد و غبار در اهواز در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۰۷ (تقوی، ۲۰۰۸).



شکل ۳. نقشه نوع خاک‌ها در غرب ایران (کامت، ۲۰۰۳).

از مشاهدات حس گر مادیس عملکرد الگوریتم مطرح شده را آزمودند. این الگوریتم می‌تواند گرد و غبار و دود سنگین را روی خشکی و اقیانوس به خوبی نشان دهد و توانایی کاربرد در تصاویر چندکانالی حس گرهایی که در محدوده طول موج‌های ۰/۴۷ تا ۱۲ میکرومتر کار می‌کنند را دارد. با این حال، در مورد نواحی شامل یخ و برف به علت دخالت شدید سطح در سیگنال هواویز نتیجه مناسبی نمی‌دهد و مشکلاتی در کشف گرد و غبار و دود پراکنده و ضعیف دارد. آزمون این الگوریتم با استفاده از توزیع AOT (Aerosol Optical Thickness) از مشاهدات مادیس صورت گرفت. به علاوه، ژانگ و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از اجرای مدل (Discrete DISORT Ordinates Radiative Transfer Program for a Multi-Layered Plane-Parallel Medium) روشن ساختند که دمای روشنایی (Brightness Temperature) طول موج ۱۱ میکرومتر (BT11) و اختلاف دمای روشنایی (11-12) BTD دو طول موج ۱۱ و ۱۲ به ترتیب یک رابطه خطی با AOT و اندازه ذرات دارند. بررسی‌های آنها نشان داد که BT11 با افزایش AOT و (11-12) BTD با افزایش شعاع موثر ذرات کاهش می‌یابند. هر ساله، به خصوص در فصل گرم، منطقه مورد بررسی یا ناحیه جنوب غرب ایران به شدت تحت تاثیر توفان‌های گرد و غبار برداشت شده از بیابان‌های بزرگی همچون عراق، عربستان و سوریه قرار می‌گیرد. این توفان‌ها خسارت‌های زیست‌محیطی فراوانی را به دنبال دارد. این توفان‌ها زمانی روی می‌دهند که رودبادهای جنب حاره‌ای از روی شبه جزیره عربستان به عرض‌های جغرافیایی بالاتر و رودبادهای جبهه قطبی از روی قاره اروپا به عرض‌های پایین‌تر کشیده شوند (شکل ۴). بایستی یادآور شد که نبود رطوبت کافی به همراه جریان‌های ناپایدار، این رویدادها را تشدید می‌کند. با توجه به مشکلات زیست‌محیطی که در سال‌های اخیر در این منطقه به وجود آمده است، در این

از سال ۱۹۷۰ دانشمندان با استفاده از دو روش VIR (مرئی و فروسرخ نزدیک) و پنجره TIR (فروسرخ گرمایی) موفق به مشخص کردن وقوع توفان‌های گرد و غبار شده‌اند. شنک و کوران (۱۹۷۴) بارزسازی توفان گرد و غبار را روی خشکی و آب با استفاده از اندازه‌گیری‌های مرئی و فروسرخ ماهواره عملی ساختند. استفاده مستقیم از دمای درخشندگی برای آشکارسازی پدیده‌های متفاوت را اولین بار آکرم (۱۹۹۶) مطرح ساخت. او از مقادیر منفی بزرگ اختلاف دمای درخشندگی طول موج‌های ۱۱ و ۶/۷ میکرومتر برای بارزسازی نواحی آسمان صاف استفاده کرد. آکرم روشن ساخت که گسیل شدید بالاسو از سطح در نواحی جنب‌قطبی در زمستان می‌تواند موجب دمای درخشندگی کمتر در ارتفاع پایین‌تر شود که به اصطلاح به آن وارونگی دما می‌گوییم. در ادامه کارهای آکرم، میلر (۲۰۰۳) برای بارزسازی گرد و غبار از دو الگوریتم متفاوت بهره گرفت. او از ویژگی‌های بازتابی محدوده‌های طیفی ۰/۴۶ و ۰/۸۵ میکرومتر برای بارزسازی گرد و غبار روی آب و از خصوصیات دمای درخشندگی محدوده‌های طیفی ۱۱ و ۱۲ میکرومتر برای مناطق بیابانی استفاده کرد.

برخی محققان برای آشکارسازی گرد و غبار، شاخص‌هایی را مورد استفاده قرار داده‌اند که در بین آنها می‌توان به شاخص گرد و غبار تفاضلی نرمال شده (NDDI) (کو و همکاران، ۲۰۰۶)، و شاخص گرد و غبار تفاضلی فروسرخ (IDDI) (بروکس و لگرند، ۲۰۰۰) اشاره کرد. شاخص NDDI بر مبنای اختلاف محدوده‌های طیفی با طول موج‌های ۲/۱۳ و ۰/۴۶۹ میکرومتر بنا نهاده شده است و شاخص IDDI نیز برای آشکارسازی گرد و غبار از محدوده طیفی فروسرخ استفاده می‌کند. ژائو و همکاران (۲۰۱۰) یک الگوریتم آشکارسازی بر مبنای آزمون‌های مرزی مکانی و طیفی به صورت مقادیر ۰ (فاقد گرد و غبار) و ۱ (گرد و غبار) عرضه کردند و با استفاده

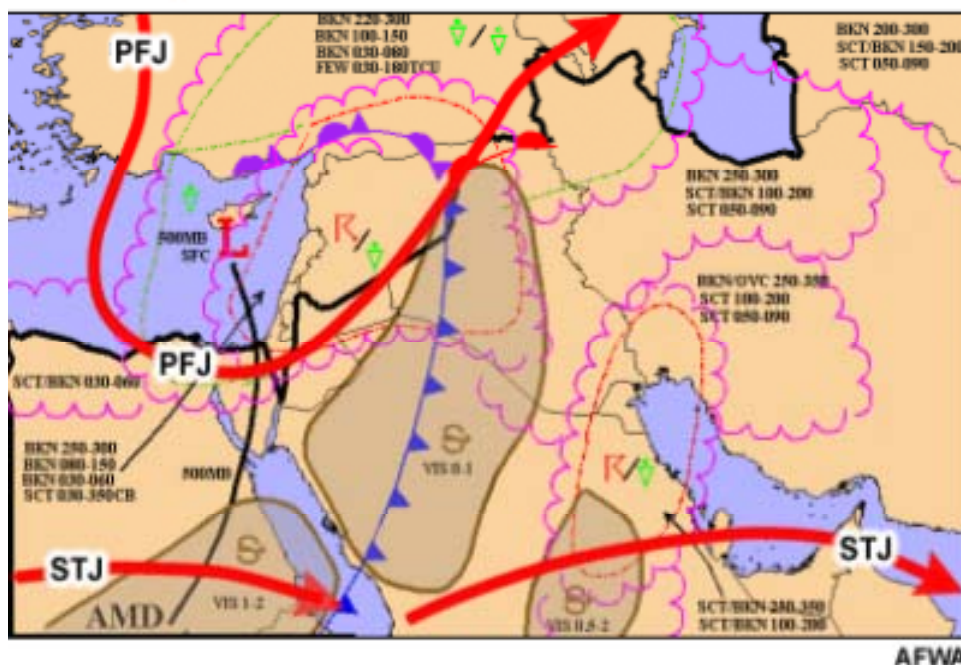
آشکار شدن با حس گر، از جو عبور کند. این عبور باعث تغییر تندی، بسامد، شدت، توزیع طیفی و راستای تابش در نتیجه پراکنش، جذب و شکست جوی می‌شود. این اثرها در طول موج‌های مرئی و فرورسرخ بیشتر است. در واقع جو زمین در طول موج‌های میکروموج چنان تاثیر اندکی بر تابش الکترومغناطیسی دارد که می‌توان از آن چشم پوشید. پراکنندگی جوی بیش از همه بر مسیر تابش مرئی اثر می‌گذارد، اما می‌تواند توزیع طیفی طول موج‌های مرئی و نزدیک مرئی را نیز تغییر دهد.

ناحیه‌هایی از طیف الکترومغناطیسی که در آنها جذب جوی کم است روزنه‌های جوی نامیده می‌شوند، و از طریق همین روزنه‌ها است که سنجش از دور سطح زمین صورت می‌گیرد. برای مثال، عکسبرداری از راه روزنه مرئی ۰/۴-۰/۹ میکرومتر و سنجش فرورسرخ گرمایی از طریق دو روزنه جوی در ۳-۵ و ۸-۱۴ میکرومتر صورت می‌پذیرد.

تحقیق دو الگوریتم متفاوت با استفاده از داده‌های مادیس برای بارزسازی دو رویداد متوسط و قوی گرد و غبار غرب ایران (۱۴ اسفند ۱۳۸۹ و ۲۴ فروردین ۱۳۹۰) معرفی و اعمال می‌شود. در تاریخ ۱۴ اسفند ۱۳۸۹ ایستگاه‌های سینوپتیکی اهواز، بوشهر و بندرعباس (جنوب غربی کشور و ساحل خلیج فارس) و در تاریخ ۲۴ فروردین ۱۳۹۰ ایستگاه‌های سینوپتیکی اهواز، شهرکرد، خرم‌آباد، قزوین، رشت و به‌طور کل تقریباً نیمه غربی کشور گزارش گرد و غبار داده‌اند.

۲ سنجش از دور و جو

محدوده طیف الکترومغناطیسی را می‌توان به دو بخش بازتابی و گرمایی تقسیم کرد. حس گرها با دریافت امواج بازتابی و گرمایی می‌توانند ویژگی‌های تابشی پدیده‌های زمینی را مشخص و ثبت کنند. همه تابش الکترومغناطیسی پیش و پس از برهم‌کنش با سطح زمین باید پیش از



شکل ۴. شرایط هم‌دیدگی برای وقوع توفان گرد و غبار در غرب ایران (کامت، ۲۰۰۳).

۳ مدل DREAM 8b

در این تحقیق برای ارزیابی و مقایسه نتایج از خروجی‌های مدل DREAM 8b (Dust Regional Atmospheric Model) (<http://www.bsc.es/projects/earthscience/DREAM/>) (نیکویچ و همکاران، ۲۰۰۱) بهره بردیم. این یک مدل منطقه‌ای طراحی شده برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی چرخه جوی هواویز گرد و غباری معدنی و همه فرایندهای اصلی چرخه گرد و غبار جوی است و معادله غیرخطی دیفرانسیل جزئی اویلر را برای پیوستگی جرم گرد و غبار حل می‌کند. DREAM به‌منزله یکی از معادلات اصلی کنترل کننده به درون مدل جوی NCEP/Eta وارد شده است. در طول انتگرال‌گیری مدل، محاسبه شارهای وارد شده گرد و غبار از طریق نقاط مدل که همان صحراها هستند صورت می‌گیرد. هواویز گرد و غباری از متغیرهای مدل به دست می‌آید: متغیرهای تلاطمی در مرحله اولیه فرایند یعنی هنگامی که گرد و غبار از زمین به لایه‌های بالاتر بلند شده است با بادهای مدل در فازهای بعدی فرایند که گرد و غبار از چشمه‌ها دور می‌شود درنهایت، با فرایندهای ترمودینامیکی و بارندگی مدل جوی و سیمای پوشش زمینی که توده خشک و مرطوب گرد و غبار را روی سطح زمینه به وجود می‌آورد. یکی از کلیدهای اصلی مدل گرد و غبار رفتار مولفه‌های چشمه در معادله پیوستگی غلظت است. اشتباه و نبود موفقیت در شبیه‌سازی فاز تولیدی چرخه گرد و غبار منتهی به پیش‌بینی غلط همه فرایندهای دیگر گرد و غباری می‌شود. بنابراین توجه ویژه‌ای برای متغیرسازی فاز تولید گرد و غبار شده است. فرسایش خاک در مدل با متغیرهای: نوع خاک، نوع پوشش گیاهی، مقدار رطوبت خاک و تلاطم جوی سطح کنترل می‌شود. شار عمودی گرد و غبار، تابعی از سرعت اصطکاکی و رطوبت خاک است. نتایج تحقیقات پرز و همکاران (۲۰۰۶a) نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن فاز

تولید گرد و غبار می‌توان پیش‌بینی‌های آب‌وهوایی را در یک مدل منطقه‌ای بهبود بخشید.

۴ روش تحقیق

در این تحقیق برای آشکارسازی گرد و غبار دو الگوریتم مبتنی بر پردازش تصویر، با داده حس گر مادیس MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectro-radiometer) معرفی شده است. داده‌های مادیس از وب‌گاه ناسا اخذ شد. حس گر مادیس دستگاهی با تفکیک رادیومتریکی زیاد (۱۲ بیت) است که با دو ماهواره امریکایی Terra و Aqua، حمل می‌شود. زمان عبور دو ماهواره Terra و Aqua از خط استوا ۱۰:۳۰ و ۳۰:۱۳ به وقت محلی است. لازم به ذکر است که زمان رصد ماهواره با توجه به زمان عبور حس گر مادیس ساعت 9.45 UTC برای رویداد فروردین ۱۳۹۰ و ساعت 7.20 UTC برای رویداد ۱۴ اسفند ۱۳۸۹ بوده است. به علت گذر حس گر در زمان خاص از روی منطقه مورد بررسی، زمان رصد دقیقاً مطابق با زمان دیدبانی نیست. البته سعی شده است که تا حد امکان از زمان‌های نزدیک به هم استفاده شود.

حس گر مادیس در ۳۶ محدوده باند طیفی در طول موج‌های ۰/۴۰۵ میکرومتر تا ۱۴/۸۳۵ میکرومتر با تفکیک مکانی ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر در نادر به ترتیب برای باندهای ۱ و ۲، ۳ تا ۷ و باندهای ۸ تا ۳۶ سنسور را عملی می‌سازد. پهنای گذر ۲۳۳۰ کیلومتر مادیس، تصویربرداری از هر نقطه روی سطح زمین را دست کم یک‌بار در هر دو روز میسر می‌کند. با توجه به توان تفکیک طیفی و مکانی زیاد، روش واسنجی (کالیبراسیون) مخصوص و باریک بودن اکثر باندهای طیفی این حس گر، که این ویژگی سبب جلوگیری از جذب طیفی بخار آب در باند فروسرخ و در نتیجه بسیار کوچک بودن خطای ناشی از جذب بخار آب می‌شود و

گسیلی از یک جسم سیاه در دمای T به صورت زیر بیان می شود:

$$B_{\lambda}(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5 [\exp(\frac{hc}{\lambda T}) - 1]} \quad (1)$$

که T دمای مطلق جسم سیاه، h ضریب ثابت پلانک برابر با 6.626×10^{-34} JS، c سرعت نور برابر با 3×10^8 m/s، k ثابت بولتزمن برابر با 1.38×10^{-23} J/K است (سلیبی، ۱۹۹۶). بدین منظور پس از تصحیح هندسی تصاویر، مقادیر رادیانس تصاویر از طریق عکس تابع پلانک به دمای درخشندگی تبدیل شد.

$$T = \frac{hc}{\lambda_i k \ln \left(\frac{2hc^2}{B_{\lambda_i}(T) \lambda_i^5} + 1 \right)} \quad (2)$$

که در آن، T دمای درخشندگی، $L(\lambda_i)$ مقادیر رادیانس باند i و λ_i طول موج مرکزی باند i بر حسب میکرومتر (μm) است.

بنابراین دقت محاسباتی در تعیین شاخص پوشش گیاهی اختلاف نرمال شده (NDVI) افزایش می یابد؛ این حس گر نسبت به بسیاری از حس گرها (از جمله لندست و AVHRR) برتری دارد (پرویز و همکاران، ۱۳۹۰). داده های مادیس در شکل استاندارد به صورت رادیانس های واسنجی شده، قابل دسترسی هستند (ماتر، ۲۰۰۴). تصاویر پیش گفته از وب گاه سازمان ناسا (<http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/realtime>) دریافت شده است. جدول شماره ۱ باندهای استفاده شده در پژوهش حاضر را نشان می دهد.

آشکارسازی پدیده گرد و غبار در روزهای ۴ مارس و ۱۳ آوریل ۲۰۱۱ به واسطه تصاویر MODIS و با تکیه بر ویژگی های دمای درخشندگی صورت گرفته است. براساس قانون پلانک، تابایی تکفام (monochromatic radiance) یا شدت تابش $B_{\lambda}(T)$ (انرژی بر واحد زمان، بر واحد سطح، بر واحد زاویه فضایی، بر واحد طول موج)

جدول ۱. مشخصات باندهای استفاده شده در تحقیق.

کاربرد	شماره باند	طول موج مرکزی [nm]	عرض باند [nm]	تفکیک مکانی [m]
مرزها / هواویز / ابر / خشکی	۱	645	620 - 670	250
	۲	858.5	841 - 876	
ویژگی های هواویزها / ابر / خشکی	۳	469	459 - 479	500
	۴	555	545 - 565	
ویژگی های ابر	۲۹	8550	8400 - 8700	
دمای ابر / سطح	۳۱	11030	10780 - 11280	
	۳۲	12020	11770 - 12270	

مثبت و منفی تغییر می‌کند. با توجه به این نمودار، مقادیر آستانه را به دست می‌آوریم.

گرد و غبار، دمای درخشندگی را در طول موج‌های ۸/۵، ۱۱ و ۱۲ میکرومتر تحت تاثیر قرار می‌دهد. بدین صورت که با رخداد گرد و غبار، دمای درخشندگی در طول موج ۱۲ میکرومتر بیشتر از دمای درخشندگی در محدوده طیفی ۱۱ میکرومتر و آن نیز بیشتر از دمای درخشندگی در طول موج ۸/۵ میکرومتر می‌شود. بنابراین، همان گونه که سان چائو و همکاران (۲۰۰۶) نیز اشاره کرده‌اند و ما نیز عملاً نشان دادیم، روابط زیر برای مناطق دارای گرد و غبار صادق است:

$$(5) \quad \text{آستانه} > (BT11-BT12) - (BT8.5-BT11)$$

$$(6) \quad (BT11-BT12) < 0$$

که در آن، BT8.5 دمای درخشندگی محدوده ۸٫۵ میکرومتر (باند ۲۹ حس گر MODIS)، BT11 دمای درخشندگی محدوده ۱۱ میکرومتر (باند ۳۱ حس گر MODIS) و BT12 دمای درخشندگی محدوده ۱۲ میکرومتر (باند ۳۲ حس گر MODIS) است.

۵ به کارگیری روش‌ها روی دو رویداد گرد و غبار در روش اول، آستانه کوچک‌تر از ۰/۰۸ برای مناطق دارای گرد و غبار اعمال شد. در نهایت تصاویر رنگی حقیقی از منطقه به نحوی که پدیده گرد و غبار به وضوح قابل تشخیص باشد، ایجاد نشد (شکل ۶).

در روش دوم آستانه بزرگ‌تر از ۱- برای نمونه‌های اسفند ۱۳۸۹ و فروردین ۱۳۹۰ از راه بررسی نمودار پراکندگی دمای درخشندگی دو باند پیش گفته، لحاظ شد. همچنین، برای جلوگیری از بازسازی مناطق ابری و سایه ابر به عنوان گرد و غبار از آستانه دمایی ۲۸۰ (اسفند ۱۳۸۹) و ۲۹۰ (فروردین ۱۳۹۰) درجه کلون در باند ۳۲ (۱۲ میکرومتر) بهره گرفته شد. در نهایت برای ایجاد

در حالت عادی دمای درخشندگی طول موج ۱۱ بیشتر از ۱۲ است، ولی هنگام گرد و غبار این وضعیت عکس می‌شود. بنابراین، تفاوت دمای درخشندگی گرد و غبار در طول موج‌های ۱۱ میکرومتر (باند ۳۱ حس گر MODIS) و ۱۲ میکرومتر (باند ۳۲ حس گر MODIS) امکان استخراج گرد و غبار را فراهم می‌کند؛ بدین صورت که مقادیر کوچک‌تر از صفر ($\Delta BT_{31,32} < 0$) بیانگر مناطق دارای گرد و غبار است.

در روش اول برای جداسازی اراضی بیابان و ابر از پدیده گرد و غبار به ترتیب، از شاخص MNDVI (Modified Normalized Difference Vegetation Index) و آستانه دمایی ۲۹۰ درجه کلون در باند ۳۲ استفاده شد. لازم به ذکر است که دمای آستانه کمی است که با توجه به منطقه مورد بررسی و فصل سال برای جداسازی ابر و با استفاده از به کارگیری آن به رویدادهای گوناگون گرد و غباری در این منطقه به طور تجربی به دست آمده است.

شاخص MNDVI از رابطه (۳) حاصل شد.

$$(3) \quad MNDVI = \frac{(NDVI)^2}{(B_1)^2}$$

با

$$(4) \quad NDVI = \frac{B_2 - B_1}{B_2 + B_1}$$

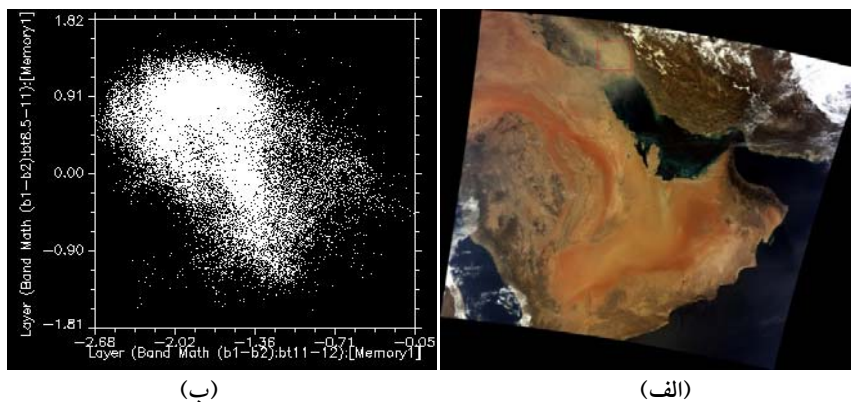
که در آن، B_1 و B_2 به ترتیب باندهای ۱ و ۲ در حس گر MODIS هستند. در روش دوم از طول موج‌های ۸/۵، ۱۱ و ۱۲ میکرومتر برای بازسازی استفاده شد. در شکل ۴-الف یک پیکسل حاوی گرد و غبار بدون ابر با مربع سرخ‌رنگ مشخص شده است. شکل ۴-ب نمودار پراکندگی BT8.5-11 نسبت به BT11-12 را برای این پیکسل نمایش می‌دهد. با توجه به نمودار پراکندگی، مشاهده می‌کنیم که مقادیر BT11-12 برای پیکسل گرد و غباری تماماً منفی است، ولی مقادیر BT8.5-11 بین

در این دو روز گزارش‌های ایستگاهی نیز بررسی شده است. براساس گزارش سازمان هواشناسی که در زیر آورده می‌شود، این پدیده‌ها براساس دید افقی کمتر از ۱ کیلومتر گزارش شده است.

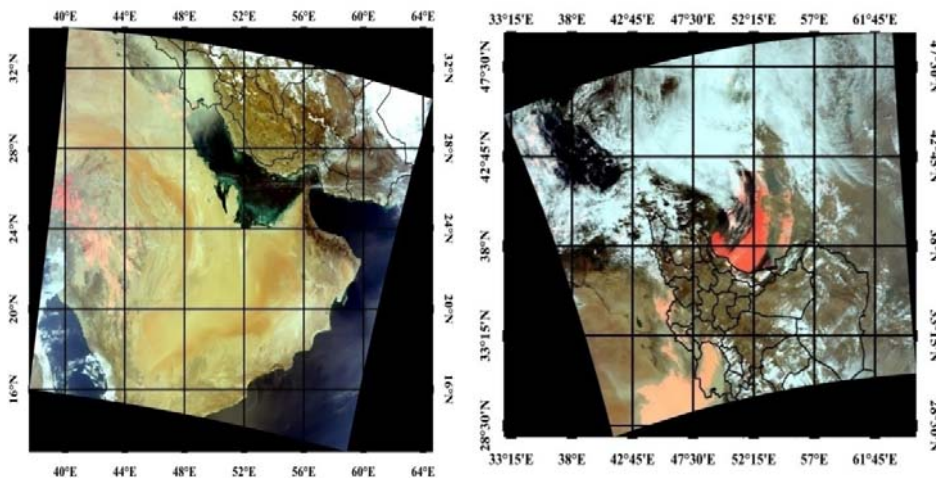
همچنین همان‌طور که اشاره شد، از خروجی‌های مدل DREAM 8b نیز برای ارزیابی بهتر نتایج آشکارسازی بهره بردیم. نتایج خروجی مدل DREAM 8b در این دو روز، بیانگر آن است که مقادیر غلظت بر واحد سطح گرد و غبار در روز ۲۴ فروردین بیشتر از روز ۱۴ اسفند است و محدوده وسیع‌تری را در بر گرفته است.

ترکیب رنگی RGB به‌ترتیب از لگاریتم حاصل جمع تصویر به‌دست آمده با تصویر بانده ۱ و لگاریتم تصاویر باندهای ۴ و ۳ بهره گرفته شد که در خروجی نهایی گرد و غبار به‌رنگ نارنجی ظاهر شده است (شکل ۷).

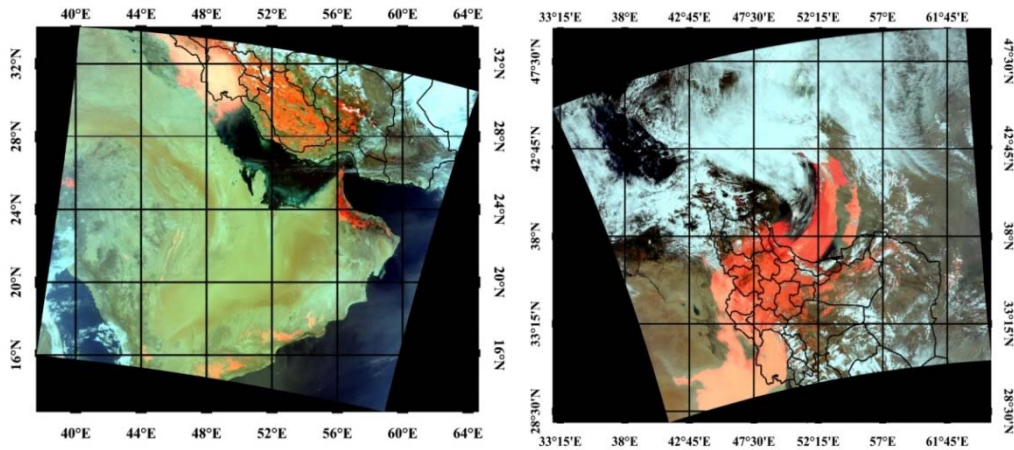
ذرات گرد و غبار به‌طور کلی در نواحی بیابانی و پایین‌دست باد قرار گرفته‌اند. از آنجا که رویداد گرد و غبار با ضخامت نوری بزرگ همراه است، ارزیابی نتایج بارزسازی با مقادیر ضخامت نوری هواویز (AOT) راه مناسب و قابل‌قبولی است. در اینجا از AOT مادیس نیز برای ارزیابی و مقایسه نتایج استفاده شده است (شکل ۸).



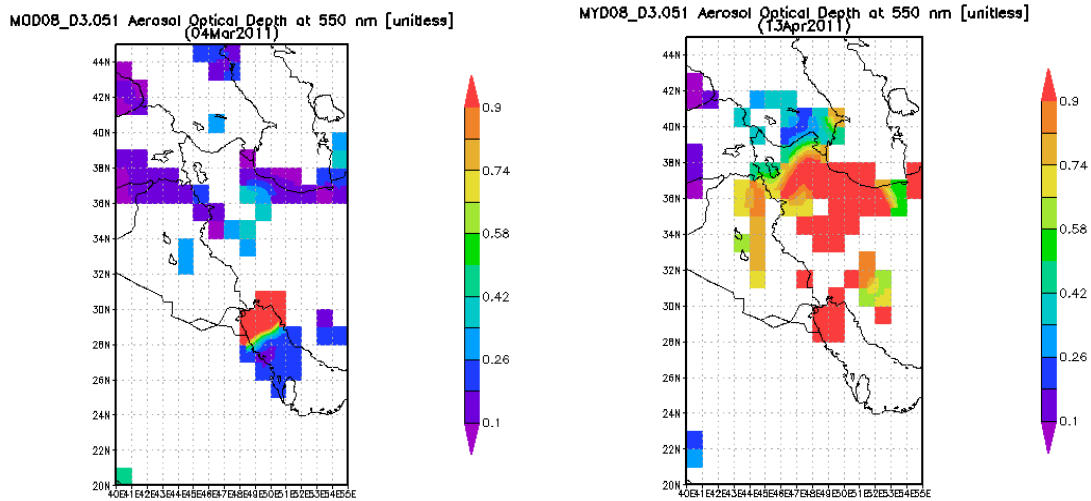
شکل ۵. (الف) تصویر رنگ حقیقی مادیس، پیکسل گرد و غباری با مربع مشخص شده است و (ب) نمودار پراکنش اختلاف دمای درخشندگی برای پیکسل مشخص شده در (الف).



شکل ۶. راست: تصویر رنگی حقیقی گرد و غبار بارزسازی شده در ۱۴ اسفند ۱۳۸۹، Terra (7:20 UTC). چپ: ۲۴ فروردین ۱۳۹۰، Aqua (9:45 UTC). پدیده گرد و غبار به‌صورت ضعیفی آشکار شده است.



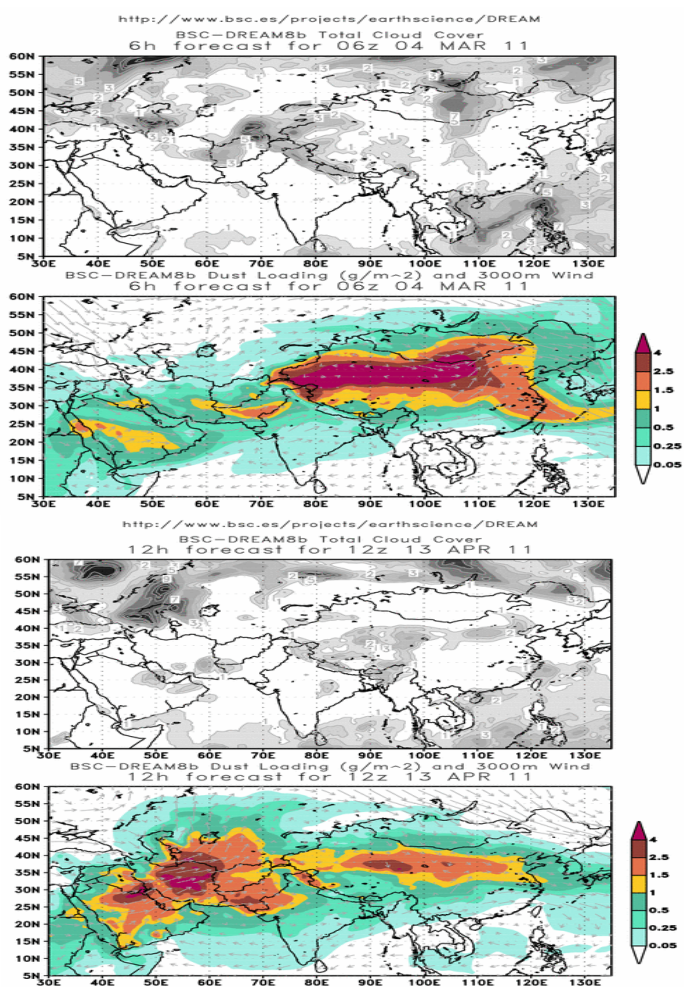
شکل ۷. راست: تصویر رنگی حقیقی گرد و غبار بارزسازی شده در ۱۴ اسفند ۱۳۸۹. چپ: ۲۴ فروردین ۱۳۹۰ به روش فرسوخ پدیده گرد و غبار به وضوح قابل تشخیص است.



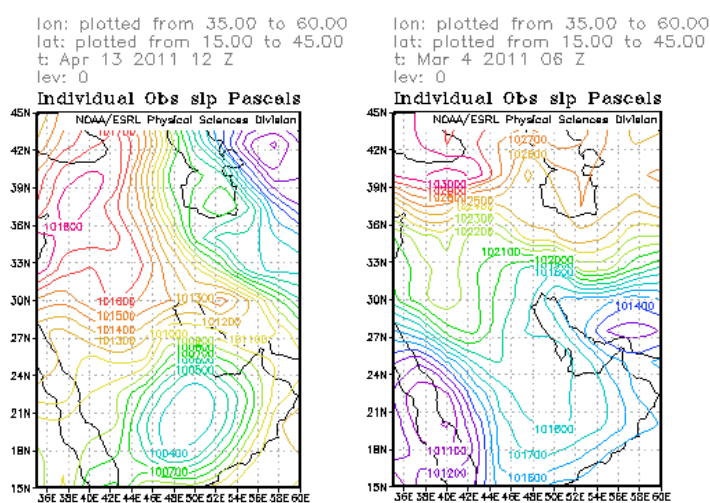
شکل ۸. ضخامت نوری هواویز مادیس در راست: ۱۴ اسفند ۱۳۸۹ چپ: ۲۴ فروردین ۱۳۹۰.

جدول ۲. داده ایستگاهی شهر اهواز در دو رویداد مورد بررسی از سازمان هواشناسی.

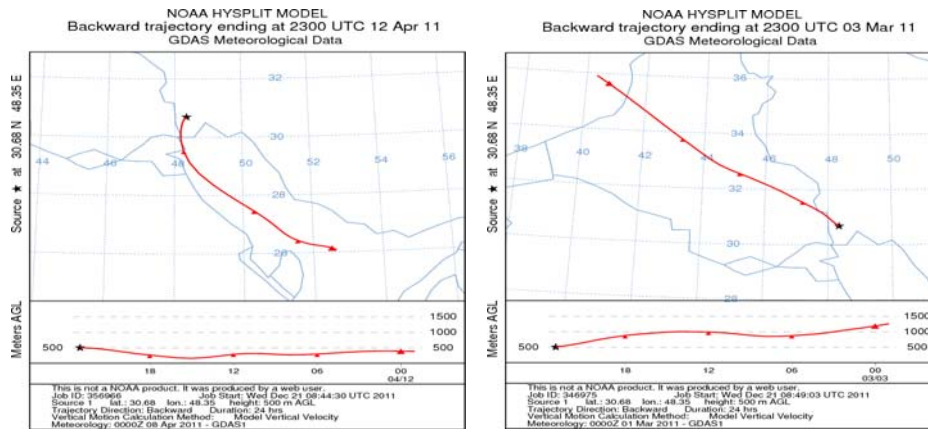
ایستگاه و تاریخ	سرعت و جهت باد	فشار (Hpa)	دیدافقی	وضعیت هوا	ساعت (محلی)
اهواز، ۱۴ اسفند، ۱۳۸۹ 4 march 2011	--- آرام	-	800 m		11:00
اهواز، ۲۴ فروردین ۱۳۹۰، 13 April 2011	شمال غربی 5 mps, 18 km/h	-	50 m		09:30



شکل ۹. راست: خروجی مدل در ۱۴ اسفند ۱۳۸۹ چپ: ۲۴ فروردین ۱۳۹۰.



شکل ۱۰. راست: آرایش خطوط هم‌فشار در سطح زمین در ۱۴ اسفند ۱۳۸۹. چپ: ۲۴ فروردین ۱۳۹۰.



شکل ۱۱. راست: نقشه مسیر گرد و غبار در ۱۴ اسفند ۱۳۸۹. چپ: ۲۴ فروردین ۱۳۹۰.

گرد و غبار کرد. براساس داده ایستگاهی شهر اهواز در دو رویداد موردنظر لازم به ذکر است که غلظت گرد و غبار در دو رویداد یکی نیست، در رویداد ۲۴ فروردین ۱۳۹۰ مقادیر غلظت بیشتر است. اندازه ذرات در این تحقیق بررسی نشده است که البته مسئله مهمی است و می‌تواند در آینده صورت گیرد، ولی داده‌های ماهواره‌ای براساس تغییر روش به کار برده شده نتایج بهتری به ما داده اند نه تغییر رویداد.

با توجه به نقشه‌های همدیدی (شکل ۱۰) می‌توان استقرار کم‌فشار در سطح زمین را در جنوب غرب کشور، علت اصلی این دو رویداد گرد و غبار دانست. در رویداد ۲۴ فروردین کم‌فشار قوی‌تری در منطقه مستقر است، که شدت آن بر رویداد توفان در این روز و مقادیر ضخامت نوری بازیابی شده حس‌گر مادیس اثر داشته و با افزایش غلظت گرد و غبار نیز همراه است. نقشه‌های مسیر گرد و غبار (شکل ۱۱) و جهت باد نشان‌دهنده نحوه حرکت متفاوت برای این دو رویداد توفان گرد و غبار است. بدین‌صورت که گرد و غبار ۱۴ اسفند ۸۹ به سمت جنوب غرب ایران کشیده شده و رویداد گرد و غبار ۲۴ فروردین ۹۰ به سمت شمال و تا دریای خزر پیش رفته است.

۶ بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به تصاویر حاصل از پردازش، می‌توان گفت که در فرایند آشکارسازی گرد و غبار در جنوب غرب ایران به‌طورکلی استفاده از طول موج‌های فرورسرخ گرمایی (۸/۵، ۱۱ و ۱۲ میکرومتر)، به‌خصوص روی آب‌ها، نتایج بهتری به دست می‌دهد. البته، در برخی موارد این روش مقداری از نواحی که فاقد گرد و غبار هستند را نیز پوشش می‌دهد. با به دست آوردن آستانه‌های جدید و اعمال آنها به رویدادهای متعدد، می‌توان این مشکل را برطرف کرد. همچنین، مقادیر AOT مادیس مطابقت بهتری با بارزسازی صورت گرفته به روش فرورسرخ دارد.

با بررسی خروجی مدل DREAM 8b در این دو روز، مقادیر غلظت بر واحد سطح گرد و غبار در روز ۲۴ فروردین بیشتر از روز دیگر است و محدوده وسیع‌تری را در بر گرفته است. این نتایج در تصاویر بارزسازی شده و AOT مادیس نیز مشهود است. بایستی یادآور شویم که، با توجه به داده‌های ایستگاهی غرب و جنوب غرب ایران، در این دو رویداد گرد و غبار نمی‌توان به خروجی‌های مدل و مقادیر AOT بازیابی شده مادیس به تنهایی اکتفا کرد و بایستی سعی در بهبود و توسعه بیشتر الگوریتم‌های بارزسازی به‌منظور پایش

- Geophys. Res., **106**, 18113-18129.
- Pérez, C., Nickovic, S., Baldasano, J. M., Sicard, M., Rocadenbosch, F. and Cachorro, V. E., 2006a, A long Saharan dust event over the western Mediterranean: Lidar, sun photometer observations, and regional dust modeling, *J. Geophys. Res.*, **111**, D15214, doi:10.1029/2005JD006579.
- Pérez, C., Nickovic, S., Pejanovic, G., Baldasano, J. M. and Özsoy, E., 2006b, Interactive dust-radiation modeling: A step to improve weather forecasts, *J. Geophys. Res.*, **111**, D16206, doi: 10.1029/2005JD006717.
- Qu, J. J., Hao, X., Kafatos, M. and Wang, L., 2006, Asian dust storm monitoring combining Terra and Aqua MODIS SRB measurements, *Geosciences and Remote Sensing Letters, IEEE*, **3**(4), 484-486.
- Salby, Murry, L. 1996, *Fundamentals of atmospheric physics*, Murry L. Salby. pcm., -- Elsevier, International geophysics series, 61.209pp
- San-Chao, L., Qinhuo, L., Maofang, G. and Liangfu, C., 2006, Detection of dust storms by using daytime and nighttime multi-spectral MODIS images: In *Geosciences and Remote Sensing Symposium, IGARSS, IEEE International Conference, Denver, CO.*, 294-296.
- Shenk, W. E. and Curran, R. J., 1974, The detection of dust storms over land and water with satellite visible and infrared measurements, *Mon. Wea. Rev.*, **102**, 830-837.
- Taghavi, F., 2008, The Persian Gulf 12th April 2007 Dust Storm: Observation and model analysis, *EUMETSAT Meteorological Satellite Conference Proceedings (P52)*, Darmeschtad, Germany.
- Taghavi, F., 2010, Dust storm monitoring using satellite observatory and numerical modeling analysis, *EUMETSAT2010 Conference, Spain*.
- Zhang, P., Lu, N., Hu, X. and Dong, C., 2006, Identification and physical retrieval of dust storm using three MODIS thermal IR channels, *Global and Planetary Change*, **52**, 197-206.
- Zhao, T. X.-P., Ackerman, S. and Guo, W., 2010, Dust and smoke detection for multi-channel imagers, *International Journal of remote sensing*, **2**, 2347-2367.
- مراجع**
- پرویز، ل.، خلقی، م.، ولیزاده، خ.، عراقی نژاد، ش. و ایران نژاد، پ.، ۱۳۹۰، بررسی کارایی شاخص های منتج از فناوری سنسچس از دور در ارزیابی خشکسالی هواشناسی، مطالعه موردی: حوضه آبریز سفیدرود، م. جغرافیا و توسعه، **۲۲**، ۱۴۷-۱۶۴.
- ذوالفقاری، ح. و عابدزاده، ح.، ۱۳۸۴، تحلیل همدید سیستم های گرد و غبار در غرب ایران، م. جغرافیا و توسعه، **۶**، ۱۷۳-۱۸۷.
- Ackerman, S. A., 1996, Global satellite observations of negative brightness temperature differences between 11 and 6.7 μ m, *J. Atmos. Sci.*, **53**(19), 2803-2812.
- Brooks, N. and Legrand, M., 2000, Dust variability over northern Africa and rainfall in the Sahel, In: S. J. McLaren and D. Kniveton (eds.), *Linking Climate Change to Land Surface Change*, Kluwer Academic Publishers, 1-25
- Comet, 2003, Cooperative program for operational meteorology, mesoscale primer forecasting dust storms, University Corporation for Atmospheric Research. All RightsReserved
<http://www.meted.ucar.edu/mesoprimer/dust/>.
- Li, X. and Song, W., 2009, Dust storm detection based on MODIS data, *International Conference on Geo-spatial Solutions for Emergency Management and the 50th Anniversary of the Chinese Academy of Surveying and Mapping 14-16 September 2009, Beijing, China, Volume XXXVIII-7/C4*, 169-172.
- Liu, H., Pinker, R. and Holben, B., 2005, A global view of aerosols from merged transport models, satellite, and ground observations, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, **110**(10), 10-15.
- Mather, P. M. 2004, Computer processing of remotely sensed images, An Introduction, John Wiley & Sons.324pp
- Miller, S. D., 2003, A consolidated technique for enhancing dust storms with MODIS, *Geophys. Res. Lett.*, **30**(20), 2071-2075.
- Nickovic, S., Papadopoulos, A., Kakaliagou, O. and Kallos, G., 2001, Model for prediction of desert dust cycle in the atmosphere, *J.*