

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی و مدیریت منابع آب

عنوان:

بررسی زمانی و مکانی وقایع گرد و خاک در جنوب غربی ایران با  
استفاده از داده‌های ماهواره‌ای سنجنش از دور

نگارنده:

روزبه احمدی

استاد راهنما:

دکتر سعید گلیان

خرداد ۱۳۹۸

شماره: ۹۸/۴۴  
تاریخ: ۹۸/۳/۲۶

باسمه تعالی



فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای روزبه احمدی با شماره دانشجویی ۹۵۰۰۹۲۴ رشته عمران-عمران گرایش مهندسی و مدیریت منابع آب تحت عنوان بررسی زمانی و مکانی وقایع گرد و خاک در جنوب غربی ایران با استفاده از داده های ماهواره ای سنچس از دور که در تاریخ ۹۸/۲/۱۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: ..... )  / مردود   
نوع تحقیق: نظری  عملی

اعضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	دانشیار	دکتر سعید کلیان	۱- استاد راهنمای اول
			۲- استاد راهنمای دوم
			۳- استاد مشاور
	استادیار	دکتر سعید علی حسینی	۴- نماینده تحصیلات تکمیلی
	استادیار	دکتر عماد محجوبی	۵- استاد ممتحن اول
	استادیار	دکتر مهدی عجمی	۶- استاد ممتحن دوم

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر رضا نادری  
دانشکده مهندسی عمران  
آموزش تحصیلات تکمیلی تاریخ امضاء و مهر دانشکده:

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

## تقدیم نامه

تقدیم به خدایی که آفرید

جهان را، انسان را، عقل را، معرفت را، عشق را...

و به کسانی که عشقشان را در وجودم دمید

تقدیم به پدر بزرگوار و مادر مهربانم



## سپاس‌گزاری

نخستین سپاس و ستایش از آن خداوندی است که بنده کوچکش را در دریای بیکران اندیشه، قطره‌ای ساخت تا وسعت آن را از دریچه اندیشه‌های ناب آموزگارانی بزرگ به تماشا نشیند. لذا اکنون که در سایه‌سار بنده‌نوازی‌هایش پایان‌نامه حاضر به انجام رسیده است، بر خود لازم می‌دانم تا مراتب سپاس را از بزرگوارانی به‌جا آورم که اگر دست یاری‌گرشان نبود، این پایان‌نامه به انجام نمی‌رسید.

به مصداق «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق» بسی شایسته است از استاد فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر سعید گلیان که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و دانش را با راهنمایی‌های کار ساز و سازنده بارور ساختند و در کمال سعه‌صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند، تقدیر و تشکر نمایم.

با تقدیر و درود فراوان از اساتید بزرگوار جناب آقای دکتر عماد محجوبی و جناب آقای دکتر مهدی عجمی که زحمت داوری این پایان‌نامه را متقبل شدند؛

و با تشکر فراوان از سازمان هواشناسی اهواز که به این پژوهش در راستای اطلاعات مورد نیاز، کاملاً حمایت کرده است.

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

این جانب روزبه احمدی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش مهندسی و مدیریت منابع آب دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی زمانی و مکانی وقایع گرد و خاک در جنوب غربی ایران با استفاده از داده های ماهواره ای سنجش از دور تحت راهنمایی دکتر سعید گلیان متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط این جانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورداستفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود است و مقالات مستخرج بانام "دانشگاه صنعتی شاهرود" و یا "Shahrood University of Technology" به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آن ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ ۱۳۹۸/۲/۱۶

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود است. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

## چکیده

پدیده گرد و غبار یکی از مهمترین مشکلات محیط زیستی در مناطق مختلف جهان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌آید. پدیده گرد و غبار علاوه بر کاهش شدید کیفیت هوا، تخریب پوشش گیاهی و خاک، تشدید بیابان‌زایی و خشکسالی را نیز در پی دارد. تشدید این پدیده در سال‌های اخیر از جمله مشکلاتی است که کشورهای منطقه خاورمیانه با آن مواجه هستند. به‌دلیل نزیک بودن با مناطق بیابانی کشورهای هم‌جوار از جمله عراق، عربستان و سوریه، استان‌های غربی ایران از جمله خوزستان و ایلام در چند سال اخیر در معرض طوفان‌های شدید گرد و غباری قرار گرفته‌اند. در این مطالعه با استفاده از الگوریتم شاخص گرد و غبار خاورمیانه (MEDI) بارزسازی برخی از طوفان‌های گرد و غباری موثر بر جنوب غرب ایران انجام شده است. برای این منظور، ابتدا تصاویر سنجنده MODIS در روزهای گرد و غباری اخذ شد و مدل سازی‌ها و محاسبات لازم در محیط نرم افزار ENVI صورت گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که بسیاری از طوفان‌های تشکیل شده در جنوب غربی ایران بر اثر وزش باد شمال تابستانی به وقوع می‌پیوندند. کانون‌های گرد و غبار شرق سوریه، شمال غرب، مرکز و جنوب عراق و غرب استان خوزستان تحت تاثیر وزش این باد فعال می‌شوند و منجر به کاهش کیفیت هوای استان‌های غربی ایران به‌ویژه خوزستان و ایلام می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** طوفان گرد و غبار، سنجش از راه دور، بارزسازی گرد و غبار

## فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- اهمیت تحقیق	۳
۳-۱- اهداف تحقیق	۴
۴-۱- ساختار پایان نامه	۴
فصل دوم : تعاریف و پیشینه تحقیق	۵
۱-۲- تعریف گرد و غبار	۶
۱-۱-۲- عوامل تاثیر گذار بر تشکیل پدیده های گرد و غباری	۷
۲-۱-۲- تاثیر گرد و غبار بر محیط زیست	۸
۳-۱-۲- تاثیر گرد و غبار بر سلامت انسان	۹
۲-۲- منشا طوفان های گرد و غبار در جهان	۱۰
۱-۲-۲- صحرای آفریقا	۱۱
۲-۲-۲- خاورمیانه	۱۲
۳-۲-۲- آسیای میانه	۱۲
۴-۲-۲- چین	۱۳
۵-۲-۲- استرالیا	۱۳
۳-۲- آشکار سازی گرد و غبار	۱۳
۱-۳-۲- ماهواره های خورشید آهنگ	۱۴
۴-۲- روش های آشکار سازی پدیده گرد و غبار	۱۶
۱-۴-۲- روش های آشکار سازی مبتنی بر استفاده مستقیم از میزان رادیانس	۱۷
۲-۴-۲- مروری بر مطالعات گذشته	۲۷
۵-۲- جمع بندی	۴۱
فصل سوم : مواد و روش ها	۴۳
۱-۳- انتخاب روزهای گرد و غباری	۴۴
۲-۳- بارزسازی گرد و غبار با استفاده از تکنیک های سنجش از دوری	۴۴
۱-۲-۳- الگوریتم MEDI	۴۵
۲-۲-۳- الگوریتم DEEP BLUE AOD	۴۸

۴۸	۳-۲-۳. شاخص نرمال شده گرد و غبار (NDDI).....
۵۲	۳-۳- تعیین جهت باد در روزهای گرد و غباری.....
۵۵	<b>فصل چهارم: نتایج و تفسیر آنها.....</b>
۵۶	۴-۱- نتایج.....
۶۰	۴-۱-۱. آنالیز داده‌های هواشناسی ایستگاه همدیدی اهواز.....
۶۲	۴-۲- نتایج بارزسازی الگوریتم MEDI بر روی طوفان‌های گرد و غباری.....
۶۲	۴-۲-۱. طوفان گرد و غباری ۲۴ مارس ۲۰۱۳.....
۶۵	۴-۲-۲. طوفان گرد و غباری ۵ آوریل ۲۰۱۳.....
۶۵	۴-۲-۳. طوفان گرد و غباری ۱۳ مه ۲۰۱۳.....
۶۷	۴-۲-۴. دوره ی طوفان‌های گرد و غباری ۱ تا ۴ ژوئن ۲۰۱۳.....
۷۲	۴-۲-۵. دوره ی طوفان گرد و غباری ۷ و ۸ ژوئن ۲۰۱۳.....
۷۳	۴-۲-۶. دوره ی طوفان گرد و غباری ۱۰ و ۱۱ ژوئن ۲۰۱۳.....
۷۸	۴-۲-۷. دوره ی طوفان‌های گرد و غباری ۱۴ تا ۱۶ ژوئن ۲۰۱۳.....
۷۸	۴-۲-۸. طوفان گرد و غباری ۲۷ ژوئیه ۲۰۱۳.....
۷۸	۴-۲-۹. دوره ی طوفان‌های گرد و غباری ۴ و ۵ آگوست ۲۰۱۳.....
۸۵	۴-۲-۱۰. دوره ی طوفان‌های گرد و غباری ۱۳ و ۱۴ ژوئیه ۲۰۱۴.....
۸۹	۴-۲-۱۱. طوفان گرد و غباری ۱۸ ژوئیه ۲۰۱۴.....
۸۹	۴-۲-۱۲. طوفان گرد و غباری ۲۰ اکتبر ۲۰۱۴.....
۹۳	<b>فصل پنجم: جمع‌بندی و پیشنهادها.....</b>
۹۴	۵-۱- نتیجه‌گیری.....
۹۵	۵-۲- محدودیت‌ها و پیشنهادها.....
۹۷	<b>مراجع.....</b>
۱۰۲	<b>پیوست‌ها.....</b>
۱۰۳	پیوست ۱.....
۱۰۴	پیوست ۲.....
۱۰۶	پیوست ۳.....

## فهرست اشکال

- شکل (۱-۲) منابع عمده تولید گرد و غبار در جهان (Shepherd et al. 2016) ..... ۱۱
- شکل (۲-۲) منابع تولید گرد و غبار و مسیر غالب حرکت آنها ( O'Hara, Clarke, and Elatrash ) ..... ۱۲
- شکل (۳-۲) ساختار کلی روش درخت تصمیم جهت شناسایی گرد و غبار با استفاده از تصاویر مادیس (Tao et al. 2005) ..... ۲۱
- شکل (۴-۲) راهنمای تفکیک پیکسل‌ها بر اساس روش روسکاونسکی ..... ۲۲
- شکل (۵-۲) مقادیر شاخص MPI برای گرد و غبار ..... ۲۳
- شکل (۶-۲) مقایسه MPI (سمت چپ) و BTD (سمت راست) ..... ۲۳
- شکل (۷-۲) نمونه ای از تصویر: AOT (سمت راست) و TDI (سمت چپ) ..... ۲۵
- شکل (۸-۲) آشکارسازی طوفان گرد و غبار در سطح تیره (a) تصویر MODIS b) نتایج آشکارسازی ..... ۲۶
- شکل (۹-۲) تصاویر سنجنده MISR ..... ۲۷
- شکل (۱۰-۲) اصلی‌ترین منابع تولید گرد و غبار در ایران الف) تالاب هورالعظیم ب) دشت سیستان و دریاچه هامون (Esmaili et al., 2006a) ..... ۲۸
- شکل (۱۱-۲) مناطق مستعد به تولید گرد و غبار در ایران و عراق ( Gerivani et al., ) ..... ۲۹
- شکل (۱۲-۲) منابع تولید گرد و غبار در خاورمیانه برای ماه‌های الف) دسامبر ب) مارس ث) ژوئن د) سپتامبر (Draxler et al., 2010) ..... ۳۰
- شکل (۱۳-۲) منابع شناسایی شده توسط Ginoux و همکاران (۲۰۱۲) در الف) خاورمیانه و ب) جنوب غرب آسیا. منابع هیدرولوژیکی با رنگ آبی، منابع طبیعی با رنگ صورتی، منابع انسان‌ساخت با رنگ نارنجی، و منابع فاقد پیکره آبی خشک‌شده با رنگ زرد مشخص شده‌اند. .... ۳۱
- شکل (۱۴-۲) منابع تولید گرد و غبار در الف) سوریه ب) عراق ث) ایران د) عربستان ی) اردن ( Cao et al., 2015) ..... ۳۵
- شکل (۱۵-۲) جانمایی منابع گرد و غبار در ایران شناسایی شده توسط Cao و همکاران (2015b) ..... ۳۸
- شکل (۱۶-۲) منابع گرد و غباری معرفی شده در خاورمیانه توسط الف) Najafi و همکاران (۲۰۱۴) ب) Choobari و همکاران (۲۰۱۶) ..... ۳۸

- شکل (۱۷-۲) مناطقی که نسبت به سال ۱۹۸۴ در کشورهای عراق و سوریه دچار تغییر کاربری شده‌اند (Moridnejad et al., 2015)..... ۴۰
- شکل (۱۸-۲) منشأهای گرد و غبارهای رخ داده در عراق و سوریه به‌همراه نقشه تغییرات کاربری ایجاد شده (Moridnejad et al., 2015) ..... ۴۱
- شکل (۱-۳) بازتاب ابر یخی، ابر آبی، آب، خاک، شن، ساختمان‌های شهری و علفزارها در محدوده طیفی ۰٫۴ تا ۲٫۵ میکرومتر (کتابخانه طیفی ASTER) ..... ۴۹
- شکل (۲-۳) الگوریتم تشخیص گرد و غبار با استفاده از شاخص MEDI ..... ۵۱
- شکل (۱-۴) تعداد روزهای گرد و غباری شهر اهواز در بازه ی سال های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۶ ..... ۵۶
- شکل (۲-۴) تعداد روزهای گرد و غباری در ماه‌های مختلف سال ۲۰۱۱ ..... ۵۶
- شکل (۳-۴) تعداد روزهای گرد و غباری در ماه‌های مختلف سال ۲۰۱۲ ..... ۵۷
- شکل (۴-۴) تعداد روزهای گرد و غباری در ماه‌های مختلف سال ۲۰۱۳ ..... ۵۷
- شکل (۵-۴) تعداد روزهای گرد و غباری در ماه‌های مختلف سال ۲۰۱۴ ..... ۵۸
- شکل (۶-۴) تعداد روزهای گرد و غباری در ماه‌های مختلف سال ۲۰۱۵ ..... ۵۸
- شکل (۷-۴) تعداد روزهای گرد و غباری در ماه‌های مختلف سال ۲۰۱۶ ..... ۵۹
- شکل (۸-۴) میانگین تعداد روزهای گرد و غباری در ماه‌های مختلف در بازه ی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۶ ..... ۵۹
- شکل (۹-۴) طوفان گرد و غباری ۲۴ مارس ۲۰۱۳ الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب بانندی ۱، ۴ و ۳، ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر پ) نتیجه شاخص NDDI ج) نتیجه شاخص MEDI د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری ..... ۶۳
- شکل (۱۰-۴) طوفان گرد و غباری ۵ آوریل ۲۰۱۳ الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب بانندی ۱، ۴ و ۳، ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر پ) نتیجه شاخص NDDI ج) نتیجه شاخص MEDI د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری ..... ۶۴
- شکل (۱۱-۴) طوفان گرد و غباری ۱۳ مه ۲۰۱۳ الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب بانندی ۱، ۴ و ۳، ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر پ) نتیجه شاخص NDDI ج) نتیجه شاخص MEDI د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری ..... ۶۶

- شکل (۴-۱۲) طوفان گرد و غباری ۱ ژوئن ۲۰۱۳ الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳)، ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گردوغباری ..... ۶۸
- شکل (۴-۱۳) طوفان گرد و غباری ۰۲ ژوئن ۲۰۱۳ الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳)، ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری ..... ۶۹
- شکل (۴-۱۴) طوفان گرد و غباری ۰۳ ژوئن ۲۰۱۳ الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳)، ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری ..... ۷۰
- شکل (۴-۱۵) طوفان گرد و غباری ۰۴ ژوئن ۲۰۱۳ الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳)، ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری ..... ۷۱
- شکل (۴-۱۶) طوفان گرد و غباری ۷ ژوئن ۲۰۱۳ الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳)، ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری ..... ۷۴
- شکل (۴-۱۷) طوفان گرد و غباری ۸ ژوئن ۲۰۱۳ الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳)، ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری ..... ۷۵
- شکل (۴-۱۸) طوفان گرد و غباری ۱۰ ژوئن ۲۰۱۳ الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳)، ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری ..... ۷۶



- شکل (۴-۱۹) طوفان گرد و غباری ۱۱ ژوئن ۲۰۱۳ الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳)، ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری ..... ۷۷
- شکل (۴-۲۰) طوفان گرد و غباری ۱۴ ژوئن ۲۰۱۳ الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳)، ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری ..... ۷۹
- شکل (۴-۲۱) طوفان گرد و غباری ۱۵ ژوئن ۲۰۱۳ الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳)، ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری ..... ۸۰
- شکل (۴-۲۲) طوفان گرد و غباری ۱۶ ژوئن ۲۰۱۳ الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳)، ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری ..... ۸۱
- شکل (۴-۲۳) طوفان گرد و غباری ۲۷ ژوئیه ۲۰۱۳ الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳)، ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری ..... ۸۲
- شکل (۴-۲۴) طوفان گرد و غباری ۰۴ آگوست ۲۰۱۳ الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳)، ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری ..... ۸۳
- شکل (۴-۲۵) طوفان گرد و غباری ۰۵ آگوست ۲۰۱۳ الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳)، ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری ..... ۸۴

- شکل (۴-۲۶) طوفان گرد و غباری ۱۳ ژوئیه ۲۰۱۴ (الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳)، (ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری ..... ۸۶
- شکل (۴-۲۷) طوفان گرد و غباری ۱۴ ژوئیه ۲۰۱۴ (الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳)، (ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری ..... ۸۷
- شکل (۴-۲۸) طوفان گرد و غباری ۱۸ ژوئیه ۲۰۱۴ (الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳)، (ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری ..... ۸۸
- شکل (۴-۲۹) طوفان گرد و غباری ۲۰ اکتبر ۲۰۱۴ (الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳)، (ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری ..... ۹۰
- شکل (۴-۳۰) مقادیر متوسط الگوریتم MEDI برای طوفان‌های گرد و غبار مورد بررسی در منطقه خاورمیانه و جنوب غربی ایران ..... ۹۱

## فهرست جداول

- جدول (۱-۲) طبقه بندی طوفان‌های گرد و غبار بر اساس (Hoffmann et al. 2008)..... ۷
- جدول (۲-۲) استانداردهای غلظت ذرات معلق ارائه شده توسط سازمان‌های حفاظت زیست معتبر..... ۱۰
- جدول (۳-۲) متغیرها و حدود نرمال سازی آنها جهت الگوریتم خشکی میلر ..... ۱۹
- جدول (۴-۲) مقادیر ضرایب موجود در شاخص TDI..... ۲۴
- جدول (۵-۲) خلاصه مطالب در مطالعه Cao و همکاران (2015) در مورد منابع تولید گرد و غبار خاورمیانه..... ۳۵
- جدول (۱-۳) توزیع لایه‌های قائم داده‌های هواشناسی GDAS1.0 (ARL, 2015; Su et al., 2015)..... ۵۳
- جدول (۱-۴) میانگین دمای ماهانه اهواز (°C)..... ۶۱
- جدول (۲-۴) مجموع بارش ماهانه اهواز (mm)..... ۶۱
- جدول (۳-۴) میانگین سرعت باد ماهانه اهواز (m/s)..... ۶۱



# فصل اول :

## مقدمه

## ۱-۱- مقدمه

یکی از مهمترین مشکلات محیط زیستی در مناطق مختلف جهان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، پدیده گرد و غبار به شمار می‌آید (Zarasvandi et al. 2011). در سال‌های اخیر فعالیت‌های انسانی باعث تشدید این پدیده به خصوص در نواحی نیمه خشک که در گذشته از ساختار رسوبی پایدار برخوردار بودند، شده است (Goudie and Middleton 2006). حدود ۲۵٪ درصد طوفان‌های گرد و غباری در جهان از منابع تولید گرد و غبار حاصل از دخالت‌های انسان تشکیل می‌شوند (Prospero et al. 2002). از جمله این فعالیت‌های انسانی می‌توان به چرای بیش از حد دام‌ها، کشاورزی، معدن کاری، ساخت و ساز و جنگ اشاره کرد (Ginoux et al. 2012). زمانی که سرعت بادهای سطحی از سرعت آستانه اصطکاکی بیشتر شود، فرسایش خاک رخ می‌دهد (Kaskaoutis et al. 2015). تعلیق ذرات خاک سطح زمین ناشی از فرسایش بادی، منجر به پدیده گرد و غبار در بخش‌های پایینی جو می‌شود (Shepherd et al. 2016). سرعت حد اصطکاکی به پارامترهای هواشناسی و زمین شناسی مختلفی وابسته است (Givehchi et al. 2013). از دیگر عوامل موثر بر میزان غبار منتشر شده در هوا می‌توان به بارش، پوشش گیاهی و اندازه ذرات خاک در منشاهای تولید گرد و غبار اشاره کرد (Najafi et al. 2017). پدیده گرد و غبار علاوه بر کاهش شدید کیفیت هوا و تخریب پوشش گیاهی و خاک، تشدید بیابان زایی و خشکسالی را نیز در پی دارد (Wang et al. 2011). این بیابان زایی منجر به کاهش منابع آبی و افزایش شوری خاک می‌شود (Cao et al. 2015a). مطالعات سال‌های اخیر تاثیر طوفان‌های گرد و غبار بر فرآیندهای جوی، اقلیمی و بیوشیمیایی را به اثبات رسانده است (Varga et al. 2013). بیماری‌های تنفسی و قلبی عروقی، حساسیت پوستی، منژیت و صدمات ناشی از تصادفات رانندگی از جمله تهدیدات طوفان‌های گرد و غبار برای سلامت انسان برشمرده می‌شود (Cao et al. 2015a; Shepherd et al. 2016). علاوه بر این، این طوفان‌ها دارای تبعات اقتصادی کوتاه مدت و بلند مدت فراوانی برای جوامع هستند. مرگ و

میر دامها، تصادفات جاده ای و هوایی، اختلال در حمل و نقل و ارتباطات، هزینه تمیز کردن غبارات ته نشین شده و کاهش کیفیت خاک از جمله خسارت‌های اقتصادی پدیده گرد و غبار برشمرده می‌شوند (Goudie and Middleton 2006). از آنجا که نواحی خشک و نیمه خشک حدود ۴۰٪ از سطح زمین را تشکیل می‌دهند، بخش وسیعی از زمین به عنوان منشا تولید طوفان گرد و غبار برشمرده می‌شود (Goudie and Middleton 2006). شناسایی این منابع در شناخت مکانیزم طوفان های گرد و غبار، و تاثیر تغییرات اقلیمی و فعالیتهای انسانی بر وقوع این طوفانها موثر است (Cao et al. 2015a). ذرات معلق حاصل از طوفانهای گرد و غباری از طریق فرآیندهای انتقال افقی، پخش، آشفستگی و نشست در هوا جابه جا می‌شوند. میزان غبارات منتشر شده در مقیاس جهانی بین ۱ تا ۳ میلیارد تن در سال تخمین زده شده است (Choozari et al. 2014). حدود نیمی از این غبارات در نزدیکی منشا ته نشین می‌شوند، در حالی که نیمی دیگر با پیمودن مسیرهای طولانی هوای مناطق دور از منابع را تحت تاثیر قرار می‌دهند (Behrooz et al. 2017). مسافت انتقال ذرات معلق در طوفانها ممکن است از چند هزار متر تا هزاران کیلومتر متفاوت باشد (McTainsh et al. 1998). حدود ۲۰٪ درصد از انتشارات گرد و غبار در دنیا در منطقه خاورمیانه رخ می‌دهد (Hamidi et al. 2013).

## ۱-۲- اهمیت تحقیق

اقلیم اکثر کشورهای خاورمیانه خشک و نیمه خشک با بارش کم است (Namdari et al. 2018). در سالهای اخیر تغییرات اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای و جهانی منجر به افزایش و تشدید پدیده گرد و غبار در منطقه خاورمیانه شده است (Najafi et al. 2017). استان خوزستان به دلیل هم‌جواری با مناطق بیابانی کشورهای عراق، عربستان و سوریه در چند سال اخیر در معرض طوفانهای شدید گرد و غباری قرار گرفته است (Shahsavani et al. 2012). علاوه بر هم‌جواری با بیابانهای کشورهای

منطقه، امکان فرسایش بادی از نواحی پست و بیابانی استان خوزستان که حدود ۶۰ درصد از سطح این استان را پوشش داده‌اند، باعث تشدید پدیده گرد و غبار و افزایش غلظت ذرات معلق در این استان شده است (KARIMIAN et al. 2016). افزایش بیماری‌های تنفسی و مراجعه به مراکز درمانی از جمله پیامدهای طوفان‌های گرد و غبار در شهرهای این استان به شمار می‌آید (Maleki et al. 2016). با توجه به پیامدهای این پدیده، بررسی وقوع این طوفان‌ها به منظور برنامه ریزی بهتر سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران، برای حل این بحران ضروری به نظر می‌رسد.

### ۱-۳- اهداف تحقیق

هدف از تحقیق حاضر مطالعه ی پدیده گرد و غبار، توزیع مکانی و زمانی آن در جنوب غربی ایران با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و الگوریتم‌های موجود برای بارز سازی گرد و غبار در منطقه خاورمیانه می‌باشد.

### ۱-۴- ساختار پایان‌نامه

بدین منظور ترتیب بندی مطالعه ی حاضر به شرح ذیل می‌باشد. در فصل دوم با مرور مطالعات گذشته ابتدا منابع تولید گرد و غبار در منطقه خاورمیانه شناسایی شد و روش‌های مطالعه ی پدیده‌ی گرد و غبار با استفاده از روش‌های سنجش از دور مطالعه خواهد شد. در فصل سوم روش شناسی تحقیق حاضر شرح داده خواهد شد. تحلیل نتایج مطالعه ی حاضر نیز به صورت مبسوط در فصل چهارم بیان خواهد شد. در نهایت جمع بندی و ارائه پیشنهادها در فصل پنجم مورد بحث قرار خواهد گرفت.



## فصل دوم :

### تعاریف و پیشینه تحقیق

## ۲-۱- تعریف گرد و غبار

پدیده گرد و غبار به‌عنوان یکی از رویدادهای طبیعی که با افزایش قابل توجه غلظت ذرات معلق و کاهش دید افقی همراه است، شناخته می‌شود (Rashki et al. 2017). ذرات ماسه با اندازه (۶۳- $2000 \mu\text{m}$ )، لای با اندازه (۴-۶۲,۵ $\mu\text{m}$ ) و رس با اندازه ( $>4 \mu\text{m}$ ) بافت طوفان‌های گرد و غباری را تشکیل می‌دهند (Bullard et al. 2011; Middleton 2017). ذرات معلق در طوفان‌های گرد و غباری ممکن است حاوی مقادیر زیادی  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{CaO}$ ،  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ،  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  و  $\text{MgO}$  باشند (Goudie 2014). طبق تعریف سازمان هواشناسی جهانی (WMO)<sup>۱</sup> پدیده‌های گرد و غباری به چهار گروه طبقه بندی می‌شوند: طوفان گرد و غبار<sup>۲</sup> که در آن مقدار قابل توجهی از غبارات در هوا معلق شده و دید افقی به کمتر از ۱۰۰۰ متر کاهش می‌یابد، طوفان ماسه‌ای<sup>۳</sup> که تا ارتفاع متوسط در آسمان معلق می‌شود و دید افقی بین ۱ و ۱۰ کیلومتر خواهد بود، غبار جوی<sup>۴</sup> که ناشی از تعلق مجدد ذرات معلق ناشی از طوفان‌های گرد و غبار قبلی است و غبار گردابی<sup>۵</sup> که ستون‌هایی گردابی از غبارات با ارتفاع کمتر از ۳۰ متر هستند (Rezazadeh et al. 2013). براساس طبقه بندی دیگری که توسط کنوانسیون بین المللی طوفان گرد و غبار<sup>۶</sup> ارائه شده است علاوه بر دید افقی، سرعت باد و غلظت ذرات معلق در تعیین شدت طوفان گرد و غبار موثر هستند (Hoffmann et al. 2008). این طبقه بندی به شرح جدول ۱-۲ است. منشا بسیاری از طوفان‌های گرد و غباری مناطق خشک و نیمه خشک جهان است اما به دلیل امکان انتقال ذرات معلق در طوفان‌های گرد و غباری تا مسافت‌های دور، مشکلات ناشی از این طوفان‌ها به این مناطق محدود نمی‌شود و مناطق خارج از این نواحی را تهدید می‌کند (Middleton

---

<sup>۱</sup> World Meteorological Organization

<sup>۲</sup> Dust Storm

<sup>۳</sup> Blowing Dust

<sup>۴</sup> Haze Dust

<sup>۵</sup> Whirling Dust

<sup>۶</sup> International Convention on Dust Storm

2017). مطالعات گذشته نشان داده است که طوفان‌های تشکیل شده در صحرای آفریقا، آمریکای جنوبی، شمال اروپا و خاورمیانه و طوفان‌های منتشر شده از صحرای شرق آسیا، آمریکای شمالی را تحت تاثیر قرار می‌دهند (Goudie and Middleton 2001; Goudie and Middleton 2006).

جدول (۱-۲) طبقه بندی طوفان‌های گرد و غبار بر اساس (Hoffmann et al. 2008)

سرعت باد (m/s)	میانگین ساعتی غلظت ذرات معلق (PM <sub>10</sub> )	دید افقی (m)	کد شناسایی	طبقه بندی
-	۲۰۰ - ۵۰	> ۲۰۰۰	DA	هوای غبار آلود
-	۲۰۰-۵۰۰	۲۰۰۰ >	DS1	طوفان گرد و غبار خفیف
> ۱۷	۲۰۰۰ - ۵۰۰	۱۰۰۰ >	DS2	طوفان گرد و غبار
> ۲۰	۵۰۰۰ - ۲۰۰۰	۲۰۰ >	DS3	طوفان گرد و غبار شدید
> ۲۵	۵۰۰۰ >	۵۰ >	DS4	طوفان گرد و غبار بسیار شدید

## ۲-۱-۱. عوامل تاثیر گذار بر تشکیل پدیده های گرد و غباری

وجود رسوب قابل انتشار، نبود پوشش گیاهی، نبود رطوبت خاک و افزایش سرعت بادهای سطحی از جمله شرایط تشکیل طوفان‌های گرد و غباری شناخته می‌شوند (Bullard et al. 2011). زمانی که سرعت بادهای سطحی از سرعت حد اصطکاکی بیشتر شود، فرسایش خاک رخ می‌دهد که منجر به طوفان‌های گرد و غباری می‌شود (Kaskaoutis et al. 2015). سرعت حد اصطکاکی به صورت حداقل سرعت اصطکاکی لازم برای جابه جایی ذرات سطحی خاک تعریف می‌شود (Bullard et al. 2011). این سرعت به بافت و ویژگی های ذرات منتشر شده از منشا طوفان بستگی دارد (Bullard et al. 2011).

از نظر زمین شناسی سنگ فرش بیابانی، رسوبات بادی تحکیم نشده، حوضه‌های آبریز به وجود آمده در

اثر فرسایش بادی، رسوب رودخانه‌ای، رسوب آبرفتی و سطوح مقاوم در برابر نفوذ باران، مستعد تشکیل طوفان گرد و غباری هستند (Bullard et al. 2011). پوشش گیاهی بوته، چمن و دیگر پوشش‌های گیاهی نقش مهمی در تثبیت خاک در مقابل فرسایش بادی ایفا می‌کنند. (McTainsh et al. 1998).

## ۲-۱-۲. تاثیر گرد و غبار بر محیط زیست

با جهش بافت ریزدانه و جدایی از سطح خاک، مواد معدنی و آلی موجود در سطح خاک کاهش می‌یابد و منجر به درشت‌دانه شدن بافت خاک سطحی می‌شود. این فرایند منجر به کاهش باروری خاک، پایداری خاک و ظرفیت نگهداشت آب می‌شود (McTainsh et al. 1998; Middleton 2017). در مرحله جابه‌جایی، ذرات معلق گرد و غبار به دلیل خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مختلف بر سلامت انسان اثر گذار هستند. در مرحله نشست وجود آفت کش‌ها، فلزات سنگین، دیوکسین‌ها و مواد رادیو اکتیو بر سلامت افراد ساکن در محل‌های متأثر از طوفان اثر گذار است. کاهش کیفیت آب آشامیدنی از جمله پیامدهای این طوفان می‌باشد (Goudie and Middleton 2006; Middleton 2017). هم‌زمان با پدیده گرد و غبار غلظت برخی از فلزات سنگین از جمله سرب تا ۳ برابر افزایش می‌یابد (Viana M et al. 2008).

یکی دیگر از پیامدهای طوفان‌های گرد و غبار تاثیر آن بر اقلیم و جو زمین است. این طوفان‌ها می‌توانند از طریق جذب و پخش تابش خورشیدی دمای جو را تحت تاثیر قرار دهند. این تغییر دما بر شکل‌گیری هسته‌های تشکیل دهنده ابرها و در نتیجه میزان بارش تاثیر گذارند. غبار اتمسفری مانع از نفوذ نور خورشید شده و می‌تواند منجر به کاهش تولیدات کشاورزی به میزان ۳۰-۵ درصد گردد (Ye B et al. 2003).

همچنین ممکن است بر تابش خورشیدی موج کوتاه فرستاده شده به سطح زمین و تابش مادون قرمز ساطع شده به فضا موثر باشند (Middleton and Goudie 2001). ته‌نشینی آهن در اقیانوس‌ها فعالیت

فیتوپلانکتون‌ها را بهبود می‌بخشد و ممکن است به خنک شدن اقیانوس‌ها منجر شود (Notaro et al. 2013).

## ۲-۱-۳. تاثیر گرد و غبار بر سلامت انسان

ذرات معلق با اندازه ۱۰ میکرومتر و کوچکتر می‌توانند به عمیق ترین بخش‌های ریه مانند نایژک نفوذ کنند. ذرات ریز معلق با اندازه ۲,۵ میکرومتر و کوچکتر و ذرات بسیار ریز (> ۱۰۰ نانومتر) از ریه عبور کرده و به اندام‌های دیگر بدن آسیب وارد می‌کنند و باعث مشکلات قلبی می‌شوند. ممکن است عوامل بیماری‌زا و آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی از طریق طوفان‌های گرد و غباری منتقل شوند (Goudie 2014). مطالعات گذشته نشان داده است که ذرات معلق باعث تشدید بیماری‌های قلبی و عروقی، مشکلات تنفسی، عفونت چشمی و مننژیت می‌شوند (Behrooz et al. 2017; Givehchi et al. 2016; Shepherd et al. 2013). این عوامل به‌ویژه بر افراد مسن، افراد دارای بیماری قلبی و کودکان اثر می‌گذارد (Goudie 2014). علاوه بر غبارات معدنی، انتشار آفت کش‌ها، فلزات سنگین، دیوکسین‌ها، مواد رادیو اکتیو، باکتری‌ها و مواد بیماری‌زا در این طوفان‌ها گزارش شده است. مواجهه‌های طولانی مدت با این ذرات باعث افزایش ۶ درصدی مرگ و میر به ازای افزایش هر ۱۰ میکروگرم بر متر مکعب در غلظت آنها می‌شود. به ازای همین افزایش، بیماری‌های قلبی عروقی به میزان ۱۲٪ و سرطان ریه نیز به میزان ۱۴٪ افزایش می‌یابد. (Goudie and Middleton 2006; Shepherd et al. 2016).

استانداردهای ساعتی و روزانه مختلفی برای ذرات معلق توسط سازمان‌ها و سیاست‌گذاران محیط زیستی مختلف تعریف شده است. استانداردهای PM<sub>10</sub> ارائه شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA)<sup>۱</sup>، سازمان حفاظت محیط زیست اروپا (EEA)<sup>۲</sup> و WHO در جدول ۲-۲ نشان داده شده است. استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران مشابه استاندارد ارائه شده توسط EPA است.

---

<sup>۱</sup> US Environmental Protection Agency

<sup>۲</sup> European Environment Agency

جدول (۲-۲) استانداردهای غلظت ذرات معلق ارائه شده توسط سازمان‌های حفاظت زیست معتبر

نام سازمان	غلظت ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	مدت زمان	حد مجاز
EPA	۱۵۰	۲۴ ساعته	کمتر از یک بار در هر ۳ سال
WHO	۵۰	۲۴ ساعته	کمتر از ۳۵ روز در سال
	۲۰	سالانه	
EEA	۵۰	۲۴ ساعته	کمتر از ۳۵ روز در سال
	۴۰	سالانه	

## ۲-۲- منشأ طوفان‌های گرد و غبار در جهان

شناخت منابع تولید گرد و غبار، از جمله مهم‌ترین پارامترها در مطالعه این پدیده به‌شمار می‌آید. در این راستا، مطالعات بسیاری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های مشاهداتی و مدل‌سازی‌های عددی، به تعیین منابع گرد و غبار در مقیاس جهانی پرداخته‌اند. از جمله مهم‌ترین تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در تعیین منابع گرد و غبار می‌توان به شاخص <sup>۱</sup>AI از سنجنده TOMS<sup>۲</sup> و شاخص <sup>۳</sup>AOD از سنجنده MODIS<sup>۴</sup> به همراه تصاویر ماهواره‌ای لندست<sup>۵</sup> اشاره کرد. به‌طورکلی منشأ طوفان‌های گرد و غباری، فارغ از اندازه ذرات و قدرت طوفان، با مناطق پست و کم‌باران (کمتر از ۲۰۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر در سال) ارتباط تنگاتنگی دارد (Prospero et al. 2002).

طبق مطالعات صورت گرفته حدود ۵۰٪ منابع تولید گرد و غبار در جهان در منطقه صحرای آفریقا قرار گرفته است (Middleton and Goudie 2001). پس از آفریقا، بیشترین گرد و غبار در چین و

<sup>۱</sup> Aerosol Index

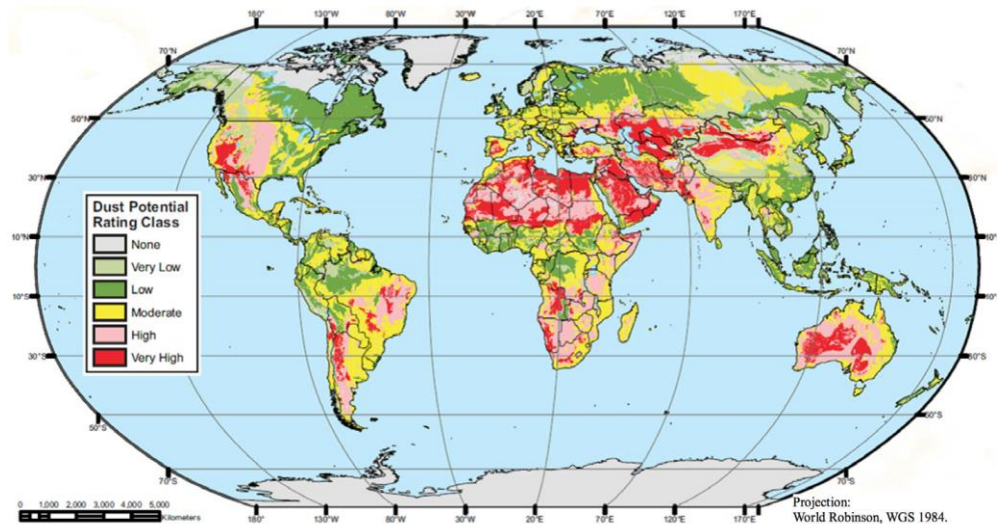
<sup>۲</sup> Total Ozone Mapping Spectrometer

<sup>۳</sup> Aerosol Optical Depth

<sup>۴</sup> Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

<sup>۵</sup> سری ماهواره‌های لندست از سال ۱۹۷۳ تا کنون با فواصل ۱۶ روزه از سطح زمین تصویر برداری می‌کنند.

آسیای میانه تولید می‌شود و خاورمیانه، استرالیا، جنوب آفریقا و بخش‌هایی از قاره آمریکا دیگر منابع تولید طوفان‌های گرد و غباری می‌باشند (Middleton 2017). اکثر این منشاها در ناحیه موسوم به کمربند گرد و غبار قرار گرفته‌اند که گستره‌ای از شمال آفریقا، خاورمیانه، مرکز آسیا و چین را در بر می‌گیرد (Prospero et al. 2002). در ادامه هر یک از این منابع مورد بررسی قرار گرفته‌اند.



شکل (۱-۲) منابع عمده تولید گرد و غبار در جهان (Shepherd et al. 2016)

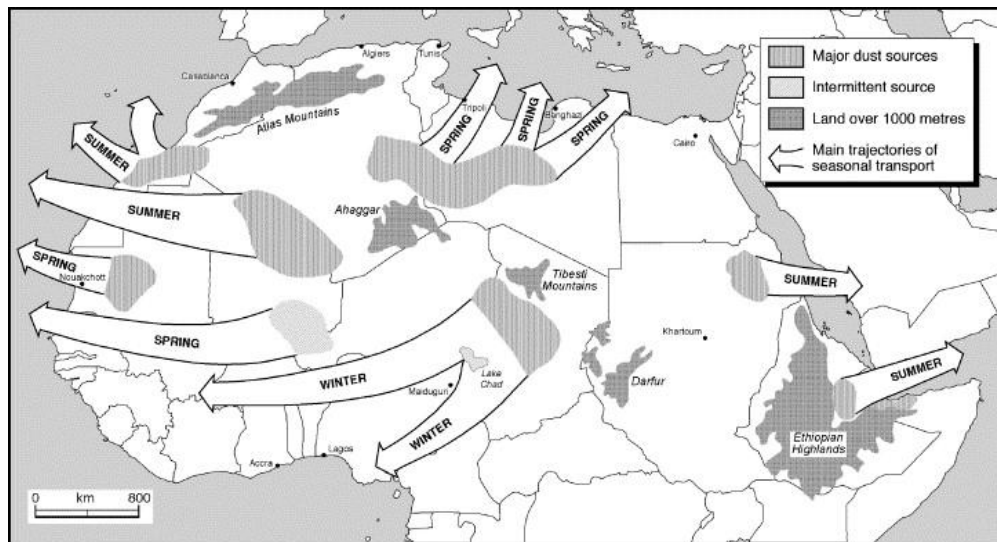
## ۱-۲-۲. صحرای آفریقا

انتقال ذرات معلق از این منشا که به‌عنوان بزرگترین منشا تولید ذرات معلق در جهان شناخته می‌شود، کیفیت هوای مناطق وسیعی از اروپا، خاورمیانه و آمریکای جنوبی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Escudero et al. 2006). وزش بادهای شمال شرقی معروف به هرمتان<sup>۱</sup> بین ماه‌های اکتبر تا آوریل منجر به حرکت رسوبات و تشکیل طوفان‌های گرد و غبار می‌شود (Goudie and Middleton 2006). رسوبات آبرفتی حاصل از دریاچه‌های نمک، دریاچه‌ها و رودخانه‌های خشک شده بافت اصلی ذرات منتشر شده از صحرای آفریقا را تشکیل می‌دهند (Escudero et al. 2006). یازده ناحیه در شمال آفریقا به عنوان منابع اصلی تولید ذرات غبار در صحرای آفریقا تعیین شده است (Prospero et al. )

<sup>۱</sup> Harmattan

Goudie (2002). حوزه بودل 'به‌عنوان شدیدترین منشا تولید ذرات معلق در دنیا شناخته می‌شود ( )

(and Middleton 2001).



شکل (۲-۲) منابع تولید گرد و غبار و مسیر غالب حرکت آنها (O'Hara, Clarke, and Elatrash 2006)

## ۲-۲-۲. خاورمیانه

عامل اصلی ایجاد طوفان‌های گرد و غبار در منطقه خاورمیانه و جنوب غربی آسیا، بادهای "شمال" و "۱۲۰ روزه" در فصل تابستان و بادهای pre-frontal و post-frontal در فصل زمستان است (Kaskaoutis et al. 2015). خاورمیانه به‌عنوان بزرگ‌ترین منبع تولید گرد و غبار در کره زمین بعد از صحرای بزرگ آفریقا شناخته می‌شود (Hamidi et al. 2013; Moridnejad et al. 2015b; Prospero et al. 2002).

## ۲-۲-۳. آسیای میانه

این ناحیه که بین دو دریای خزر و آرال قرار گرفته است، سالانه ۴۰ تا ۸۰ طوفان گرد و غباری را تجربه می‌کند (Goudie and Middleton 2006). این طوفان‌ها عموماً بین ماه‌های می تا اگوست رخ می‌دهند (Prospero et al. 2002). از جمله عوامل ایجاد طوفان گرد و غبار در منطقه می‌توان به

<sup>۱</sup> Bodelle



تغییر سطح آب دریای خزر، توسعه کشاورزی و کاهش سطح دریای آرال اشاره کرد (Goudie and Middleton 2006; Prospero et al. 2002).

## ۲-۲-۴. چین

حدود ۱۳٪ مساحت چین از بیابان تشکیل شده است که به‌عنوان منشا طوفان‌های گرد و غبار شناخته می‌شوند (Song 2004). طوفان‌های گرد و غباری در چین که به غبار زرد معروف هستند، ممکن است مسافت زیادی طی کنند و ژاپن، کره و تایوان را تحت تاثیر قرار دهند (Prospero et al. 2002). منابع عمده تشکیل طوفان گرد و غباری در چین شامل صحرای تاکلامان<sup>۱</sup>، گبی<sup>۲</sup> و صحرای بادین جاری هستند (Huang et al. 2014). تخمین زده می‌شود که سالانه ۸۰ هزار میلیارد گرم از رسوبات صحرای چین وارد جو شود (Goudie and Middleton 2006). ساختار اصلی این طوفان‌ها را ذرات ماسه‌ای تشکیل می‌دهند (Song 2004).

## ۲-۲-۵. استرالیا

استرالیا به‌عنوان بزرگترین منشا طوفان‌های گرد و غباری در نیم‌کره جنوبی زمین شناخته‌شده است (Goudie 2014). انتقال ذرات معلق حاصل از طوفان‌های گرد و غبار از استرالیا به نیوزلند مشخص شده است (McGowan and Clark 2008). حوزه دریاچه ایر<sup>۳</sup> در مرکز استرالیا به‌عنوان اصلی‌ترین منشا تولید گرد و غبار در استرالیا شناخته می‌شود. به‌طور میانگین سالانه ۸۲ طوفان گرد و غبار از این حوزه منتشر می‌شود (McGowan and Clark 2008). این طوفان‌ها در حد فاصل ماه‌های سپتامبر تا فوریه رخ می‌دهند (Prospero et al. 2002). مطالعه (Magee et al. 2004) نشان داد که درصد بسیاری از رسوبات حوزه دریاچه ایر رس و گیپسوم است.

---

<sup>۱</sup> Desert Taklaman

<sup>۲</sup> Gobi

<sup>۳</sup> Lake Eyre

## ۲-۳- آشکارسازی گرد و غبار

ذرات گرد و غبار که نوعی هواویز (ذرات بسیار ریز جامد یا مایع معلق در هوا) هستند دارای اندازه، شکل، ترکیبات، خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوتی هستند که این ویژگی‌ها تابع منشا هواویز و نوع آلاینده‌هایی است که در مسیر حرکت بر هواویزها تاثیر می‌گذارند. این خصوصیات باعث می‌شوند که ذرات گرد و غبار دارای تشعشع و انعکاس‌های متفاوت در طول موج‌های مختلف باشند. از طرف دیگر سنجنده‌های موجود بر روی ماهواره‌ها این توانایی را دارند که انعکاس‌ها و تشعشعات ساطع شده را در باندهای مختلف دریافت کنند. بنابراین می‌توان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، گرد و غبار را با دقت بیشتر و در زمان‌های مختلف شناسایی کرد.

در ادامه ابتدا ماهواره‌های خورشیدآهنگی که برای پایش گرد و غبار مورد استفاده قرار گرفته‌اند، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند، سپس روش‌های آشکارسازی گرد و غبار بر روی تصاویر ماهواره‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرند و معایب و مزایای آنها بیان می‌شود تا بهترین راه برای آشکارسازی انتخاب و مورد استفاده قرار گیرد.

## ۲-۳-۱. ماهواره‌های خورشیدآهنگ

این گروه از ماهواره‌ها به ماهواره‌های POES<sup>۱</sup> معروف اند. مدار گردش این ماهواره‌ها در امتداد نصف النهار بوده و طوری تنظیم شده‌اند که زمان گذر آنها از استوا ثابت است. این ماهواره‌ها در ارتفاع بین ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ کیلومتری سطح زمین قرار دارند و زاویه میل آنها نسبت به صفحه استوای زمین بسیار زیاد است تا ماهواره‌ها حد امکان به قطب شمال و جنوب نزدیک شوند. این ماهواره‌ها نسبت به خورشید طوری حرکت می‌کنند که همواره زاویه ثابتی بین خود و خورشید داشته باشند. یک ماهواره مدارقطبی در هر روز ۱۴ تا ۱۵ بار در مدارهای با دوره گردش ۱۰۰ دقیقه گردش می‌کند. این نوع ماهواره‌ها هر روز و شب در یک زمان معین از فراز هر نقطه روی سطح زمین عبور می‌کنند. از این نوع

---

<sup>۱</sup> Polar Operational Environmental Satellite

ماهواره‌ها که برای آشکارسازی و کار بر روی گرد و غبار استفاده می‌شود می‌توان به TOMS<sup>۱</sup>، OMI<sup>۱</sup>، MODIS، CALIPSO<sup>۲</sup> و MISR<sup>۳</sup> اشاره نمود.

سنجنده TOMS جزء اولین سنجنده هاست که به دلیل گرفتن تصاویری در محدوده ماوراء بنفش در ۳۴۰، ۳۶۰ و ۳۸۰ نانومتر برای شناسایی کمی هواویزها به کار گرفته شد. با استفاده از این باندها شاخصی به نام شاخص هواویز (AI) تعریف شد که برای بازیابی و ردیابی دود و گرد و غبار در سرتاسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. با استفاده از این شاخص برخی مطالعات برای آشکارسازی و ردیابی گرد و غبار در بیابان‌های آفریقا استفاده شده است.

سنجنده OMI در سال ۲۰۰۴ پرتاب شد. این سنجنده برای پایش پیوسته اوزون و دیگر پارامترهای جوی که مربوط به شیمی اوزون و هواویزهای جوی می‌باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد. سنجنده OMI دارای طیف سنج با قدرت تفکیک بالا است که رادیانس بالای اتمسفر را در ۶۴ طول موج از ۲۷۰ الی ۵۰۰ نانومتر در محدوده‌های مرئی و فرابنفش اندازه گیری می‌کند.

سنجنده MODIS دارای ۳۶ باند در بازه ۰٫۴۱ تا ۱۴٫۴ میکرومتر می‌باشد. رزولوشن مکانی این سنجنده در محدوده Nadir برابر با ۰٫۲۵، ۰٫۵ و ۱ کیلومتر است. این سنجنده بر روی دو ماهواره‌ی Terra (تاریخ پرتاب دسامبر ۱۹۹۹) و Aqua (تاریخ پرتاب می ۲۰۰۲) قرار دارد.

از جمله مزایای سنجنده MODIS نسبت به دیگر سنجنده‌ها می‌توان به حساسیت رادیومتریک بالا (۱۲ بیت)، تهیه تصاویر با پوشش زیاد منطقه‌ای و دریافت بازه وسیعی از انرژی تابشی در محدوده‌های طیفی مرئی و نامرئی اشاره کرد. همچنین به دلیل اینکه زاویه اسکن این سنجنده  $\pm 55^\circ$  درجه بوده و در مدار ۷۰۵ کیلومتر از سطح زمین قرار دارد، پهنای نوارهای تصویربرداری این سنجنده ۲۳۳۰ کیلومتر می‌باشد و در نتیجه در هر یک یا دو روز، پوشش جهانی را فراهم می‌سازد.

---

<sup>۱</sup> Ozone Monitoring Instrument

<sup>۲</sup> Cloud-Aerosol Lidar and Infrared pathfinder Satellite Observation

<sup>۳</sup> Multiangle Imaging Spectro Radiometer

سنجنده MISR که بخشی از کار سیستم مشاهداتی زمین توسط ناسا بود در دسامبر ۱۹۹۹ بر روی ماهواره ترا (Terra) به فضا پرتاب شد که برای بازیابی عمق نوری هواویزها (AOD) با ۹ دوربین در زوایای مختلف و در ۴ طول موج مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این حال این سنجنده برخی از محدودیت‌هایی را دارا می‌باشد که عبارت‌اند از: ناتوانی در به‌دست آوردن داده در سمت تاریک زمین، دارای دقت زمانی یک هفته بوده و همچنین به‌دلیل پایین بودن عرض برداشت سطح کمتری از زمین را می‌تواند برداشت کند. با این حال داده‌های به‌دست آمده از این سنجنده بسیار با ارزش می‌باشد. همچنین ترکیبی از ماهواره‌های مذکور و ماهواره‌هایی که دارای سنجنده‌هایی هستند که به صورت غیر فعال عمل می‌کنند، مانند سنجنده CALIOP<sup>۱</sup> که بر روی ماهواره CALIPSO قرار گرفته است، می‌تواند مشاهده‌های سه بعدی از توزیع گرد و غبار را فراهم آورد. سایر شاخص‌های کیفی شناخته‌شده عبارت‌اند از: نوع هواویز، شاخص هواویز (AI)، توزیع اندازه ذرات<sup>۲</sup>، غلظت توده هواویزها<sup>۳</sup>.

## ۲-۴- روش‌های آشکارسازی پدیده گرد و غبار

در حال حاضر روش‌های اندازه‌گیری زمینی و فناوری سنجنش از دور از مهمترین روش‌های ردیابی و پایش طوفان‌های گرد و غبار برشمرده می‌شوند که از این بین، روش سنجنش از دور به‌دلیل برخورداری از پوشش وسیع دید، استفاده از اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی (زمانبندی شده و پایش سریع بلایای طبیعی) از اهمیت بسزایی برخوردار است. با استفاده از سنجنش از دور می‌توان مسیر حرکت طوفان‌های گرد و غبار و شدت آنها را مشخص نمود. الگوریتم‌ها و مدل‌های ریاضی مختلفی برای گرد و غبار توسعه یافته است که می‌توانند گرد و غبار را از سایر عوارض زمینی

---

<sup>۱</sup> Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization

<sup>۲</sup> Particle Size Distribution

<sup>۳</sup> Aerosol Mass Concentration

از جمله ابرها تشخیص دهند.

## ۲-۴-۱. روش‌های آشکارسازی مبتنی بر استفاده مستقیم از میزان رادیانس

در این روش از حدود آستانه مختلفی به منظور تشخیص گرد و غبار استفاده می‌شود که شامل حدود آستانه‌ای برای تفکیک گرد و غبار از سطح طبیعی زمین و نیز تفکیک آن از ابر برای تصاویری که پوشش ابری دارند، می‌باشد. مقادیر حدود آستانه برای هر منطقه در تصاویر مختلف، متفاوت است و به صورت تجربی انتخاب می‌شود. همچنین به منظور در نظر گرفتن مقادیر دقیق‌تر از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی نیز می‌توان استفاده نمود. این روش‌ها دارای دقت بالایی هستند.

### □ تصویر ترکیبی رنگی (RGB)

اولین و ساده‌ترین روش جهت شناسایی طوفان‌های گرد و غبار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، تشکیل تصویر ترکیب رنگی می‌باشد. در تحقیقات اولیه از طیف‌های مرئی به منظور پایش طوفان‌های گرد و غبار و تخمین ضخامت اپتیکی آنها بر روی مناطق اقیانوسی استفاده می‌شد. برای مثال با استفاده از رنگ زرد توده‌های گرد و غبار در تصاویر ماهواره‌ای SeaWifs، این پدیده را شناسایی و سیر تکامل و حرکت آن را دنبال می‌کردند. یکی از بهترین ترکیب‌های رنگی مورد استفاده جهت شناسایی گرد و غبار در تصاویر مادیس، ترکیب ۱۴۳ می‌باشد که توده گرد و غبار در آن به رنگ قهوه‌ای، سطح آب به رنگ آبی و ابرها به رنگ سفید می‌باشند. البته به منظور شناسایی هر پدیده می‌توان از ترکیب‌های رنگی مختلف استفاده نمود که با توجه به خواص عوارض و محدوده‌های طیفی، ایجاد می‌شوند (Norton et al. 1980).

### □ روش آکرمن

با توجه به ضعف باندهای مرئی در شناسایی توده‌های گرد و غبار از جمله عدم امکان پایش روی سطوح روشن (به ویژه در مناطق بیابانی) و در طول ساعات شب، آکرمن در سال ۱۹۸۹ میلادی از

اطلاعات طیفی باندهای مادون قرمز حرارتی (۳,۷ و ۱ میکرومتر) به منظور شناسایی و پایش توده‌های گرد و غبار استفاده کرد (Ackerman 1989). وی در سال ۱۹۹۷ روش قبل را کامل کرد و روشی ارائه کرد که در آن باندهای حرارتی مادون قرمز (TIR) با طول موج ۸,۵، ۱۱ و ۱۲ میکرومتر (باند ۱۶، ۳۱ و ۳۲ مادیس) استفاده می‌شود (Ackerman 1997).

میزان انتقال طیفی در بیشتر هواویزها تغییرات شدیدی در نواحی ۸-۱۰ و ۱۰-۱۲ میکرومتر نشان می‌دهد. در این ناحیه اتمسفر شفاف است و افزایش ضخامت نوری گرد و غبار منجر به افزایش اختلاف دمای روشنایی (BT<sub>D</sub>) بین سه طول موج مذکور می‌شود. در روش آکرم از BT<sub>D</sub> بین طول موج‌های ۸,۵ و ۱۱ و همچنین طول موج‌های ۱۱ و ۱۲ میکرومتر به منظور شناسایی گرد و غبار استفاده می‌شود. مقادیر اختلاف منفی بین طول موج‌های فوق نشان دهنده‌ی وجود گرد و غبار است.

(۱-۲)

$$D = BT_{31} - BT_{32}$$

$$BT_{31} : 10.78 - 11.28 \mu m$$

$$BT_{32} : 11.77 - 12.27 \mu m$$

$$DUST < 0$$

## □ روش میلر

این روش مبتنی بر استفاده از اطلاعات طیفی در محدوده مرئی و مادون قرمز می‌باشد. ابتدا میلر در سال ۲۰۰۲ با استفاده از تفاوت بین باند مادون قرمز انعکاسی و باند آبی در مقایسه با شاخص نرمال شده گیاهی (NDVI<sup>۱</sup>) سطوح زیرین را توصیف نمود. ضعف عمده این روش انحصار استفاده آن به سطوح تیره (آب) بود. بنابراین در سال ۲۰۰۳ روشی را ارائه نمود که دارای ۲ الگوریتم جداگانه برای شناسایی گرد و غبار بر روی سطوح خشکی و پیکره‌های آبی است. این روش ابتدا به منظور استفاده از داده‌های ماهواره مادیس طراحی شده بود ولی قابلیت اجرا به وسیله سنجنده‌های مختلف را دارا

---

<sup>۱</sup> Normalize Different Vegetation Index

می‌باشد (Miller 2003). در هر دو الگوریتم (خشکی و آب) انعکاس باندهای ۳ و ۴ مادیس بعد از نرمال‌سازی و تغییر دامنه به محدوده ۰ تا ۲۵۵، به کانال‌های آبی و سبز اختصاص داده می‌شوند ولی ورودی کانال قرمز برای ۲ روش متفاوت است و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

الف- الگوریتم بر روی پیکره‌های آبی:

$$D_{wat} = \log_{10} \left( \frac{R2-R3}{R2+R3} \right) \quad (2-2)$$

که در رابطه فوق  $D_{wat}$  گرد و غبار روی آب و  $R2$  و  $R3$  با استفاده از رابطه ۲-۲ محاسبه می‌شوند.

$$R_k = \frac{\pi I_k}{\mu_0 F_{0,k}} \quad (3-2)$$

که در رابطه فوق رادیانس باند  $I_k$ ، شار طیفی باند  $k$  و  $\mu_0$  کسینوس زاویه زینت خورشید می‌باشند.

ب- الگوریتم بر روی خشکی

$$D_{land} = L_1 + L_3 - L_4 + (1 - L_2) \quad (4-2)$$

که در رابطه ۴-۲  $D_{land}$  گرد و غبار روی خشکی و روش محاسبه سایر متغیرها و حدود نرمال‌سازی آنها در جدول زیر بیان شده است.

جدول (۳-۲) متغیرها و حدود نرمال‌سازی آنها جهت الگوریتم خشکی میسر

پارامتر	رابطه	حدود نرمال‌سازی
$L_1$	$T(32) - T(31)$	-2 to 2 K
$L_2$	$T(31)$	$T_{dyn}(31)$ to $T_{max}(31)$
$L_3$	$2R(1)-R(3)-R(4)-L2$	-1.5 to 0.25

$L_4$	$R(26) > 0.05$ then 0 , else 1	-----
-------	--------------------------------	-------

$$T_{dyn} = \begin{cases} T_{max}(31) - 21 & \text{if } (T_{max}(31) < 301 K) \\ T_{max}(31) - \frac{273}{4} + 273 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (5-2)$$

پس از انجام محاسبات، مقادیر ۱,۳  $\geq D \geq ۲/۷$  باشد نشان دهنده ی وجود گرد و غبار است.

### □ روش درخت تصمیم

این روش توسط تائو و همکارانش در سال ۲۰۰۵ ارائه شد که دارای دو مرحله می باشد که عبارت اند از:

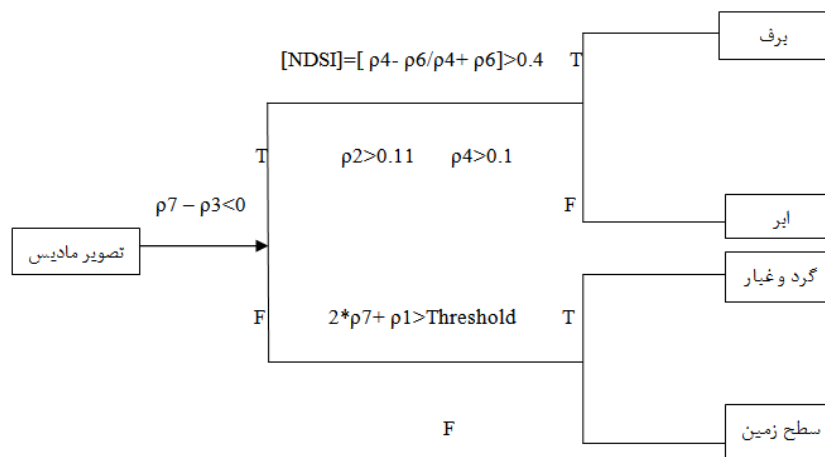
مرحله اول: استخراج داده های آموزشی مورد نیاز برای طبقه بندی کردن درخت تصمیم، با آنالیز بصری از تصاویر حاصل از ترکیب باندهای مرئی مادیس (ترکیب رنگی ۷۲۱).

مرحله دوم: تجزیه و تحلیل خصوصیات طیفی داده های آموزشی برداشت شده با استفاده از روابط زیر:

$$Y_2 = 2 \times \rho_1 + \rho_1 Y_1 = \rho_1 - \rho_3 \quad (6-2)$$

در معادلات فوق  $Y_1$  ،  $\rho_1$  و  $\rho_3$  به ترتیب مقدار بازتابش برای باندهای ۱، ۳ و ۷ سنجنده مادیس می باشند. مقدار پارامتر  $Y_2$  برای ذرات گرد و غبار خیلی بزرگتر از سایر پوشش های زمینی است، بنابراین می توان با استفاده از یک حد آستانه تجربی، این پدیده ها را از یکدیگر تفکیک نمود. تجربه نشان داده است که مقدار این آستانه برای یک منطقه مشخص، تغییرات کوچکی در طول زمان داشته است و می توان با ثابت فرض نمودن آن و انجام مشاهده های زمینی، مقدار مناسبی برای آستانه به دست آورد. ساختار کلی روش درخت تصمیم در شکل زیر نشان داده شده است.





شکل (۲-۳) ساختار کلی روش درخت تصمیم جهت شناسایی گرد و غبار با استفاده از تصاویر مادیس (Tao et al. )

(2005)

## □ روش رونسکاونسکی

رونسکاونسکی و همکارانش در سال ۲۰۰۵ روشی مبتنی بر تلفیق اختلاف دمایی درخشندگی (۸,۶ و ۱۱ میکرومتر) و نسبت انعکاس طول موج ۱,۳۸ به ۰,۶۵ ارائه کردند که هدف اصلی آن بارزسازی ابر سیروس بود. سپس این روش را گسترش داده و روش جدیدی به منظور تفکیک ابر سیروس از گرد و غبار با استفاده از داده‌های مادیس ارائه کردند. استفاده از این روش باعث کاهش خطای تشخیص گرد و غبار روی سطوح خشکی در روش آکرمن می‌شود. در این روش از باندهای ۴، ۱۶، ۳۱ و ۳۲ سنجنده مادیس استفاده می‌شود.

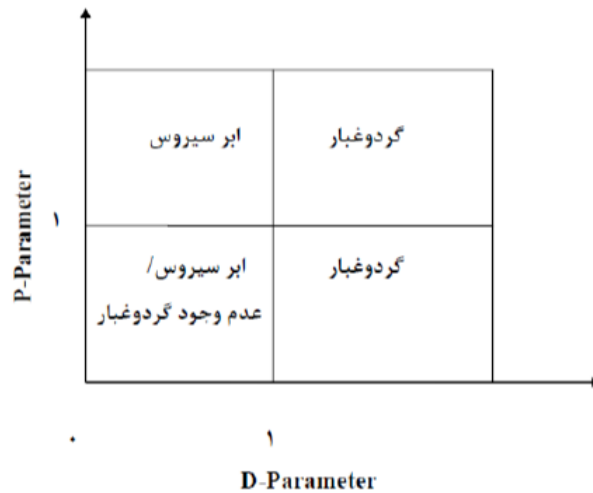
پارامترهای مورد استفاده در این روش P و D می باشند که نحوه محاسبه آنها در زیر ذکر شده است:

$$P = \exp[(RR \times A + (BTD - D))] \quad (۷-۲)$$

در رابطه ۷-۲ RR نسبت انعکاس طول موج های ۱,۳۸ به ۰,۶۵ میکرومتر، A فاکتور مقیاس‌دهی برابر با ۱۰، B آفست اختلاف دمایی روشنایی (BTD) بین طول موج‌های ۸,۶ و ۱۱ میکرومتر است.

$$D = \exp[-(rr \times a + (btd - b))] \quad (۸-۲)$$

در رابطه (۲-۸)،  $\pi$  نسبت انعکاس طول موج‌های ۰,۵۴ به ۰,۸۶ میکرومتر،  $a$  فاکتور مقیاس‌دهی برابر با ۰,۸،  $b$  برابر با ۰,۲ و  $btd$  اختلاف دمای روشنایی بین طول موج‌های ۱۱ و ۱۲ میکرومتر است. پس از محاسبه مقادیر  $P$  و  $D$  تفکیک پیکسل‌ها به وسیله شکل ۲-۴ انجام می‌شود.



شکل (۲-۴) راهنمای تفکیک پیکسل‌ها بر اساس روش روسکاونسکی

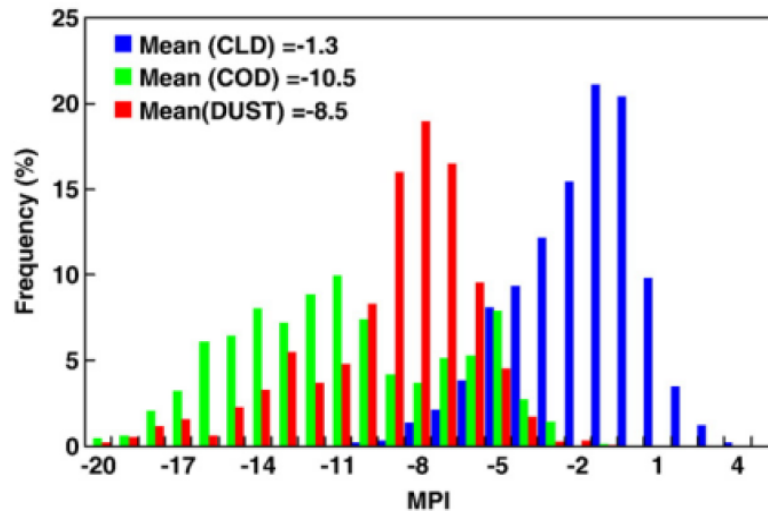
با توجه به شکل مشخص است که زمانی که مقدار  $D$  بزرگتر از ۱ باشد نشان دهنده ی وجود گرد و غبار است ولی علت اینکه نمی‌توان این پارامتر را جایگزین پارامتر  $P$  نمود این است که پارامتر  $D$  به‌تنهایی قادر به تشخیص ابر سیروس از گرد و غبار نمی‌باشد.

#### □ شاخص پلاریزه مایکروویو (MPI)

هوانگ و همکارانش در سال ۲۰۰۷ شاخص پلاریزه مایکروویو را ارائه کردند که در آن می‌توان با استفاده از حد آستانه ی ۷- درجه کلوین حدود ۸۵ درصد پیکسل‌های گرد و غبار که با ابر مخلوط هستند را شناسایی کرد که مزیت فوق العاده ی استفاده از امواج مایکروویو را نشان می‌دهد، اما با استفاده از این حد آستانه، ۵٪ از پیکسل‌های گرد و غبار بدون ابر از دست می‌روند (Huang et al. 2014).

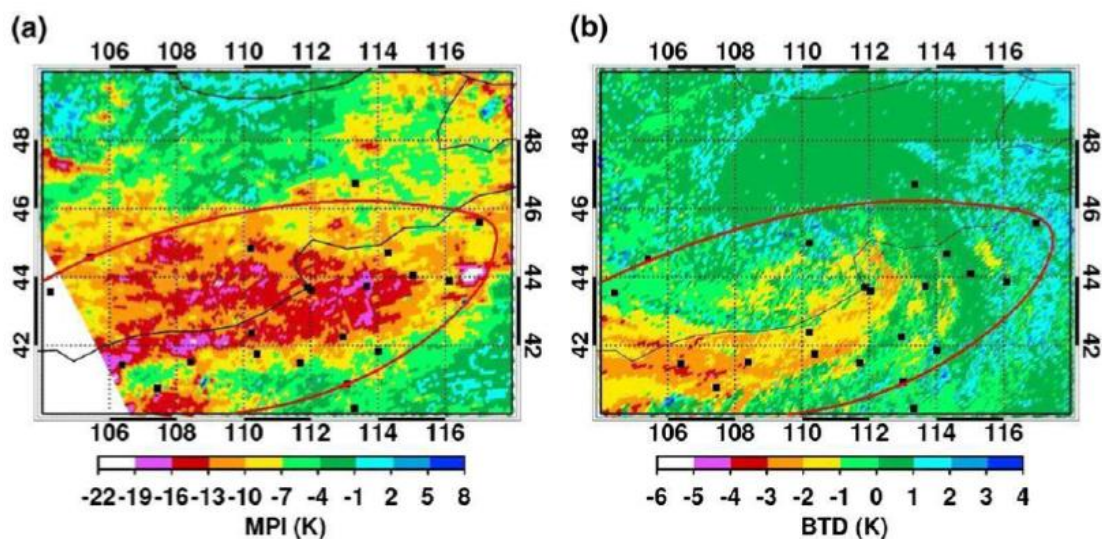
<sup>۱</sup> Microwave Polarize Index

$$MPI = (T_{b89v} - T_{b89h}) - (T_{b23.8v} - T_{b23.8h}) \quad (9-2)$$



شکل (۲-۵) مقادیر شاخص MPI برای گرد و غبار

در شکل ۲-۵ مقادیر شاخص MPI برای گرد و غبار مشخص شده است. منطقه‌ای که با خط قرمز مشخص شده است، منطقه‌ای است که توسط ایستگاه‌های هواشناسی به‌عنوان منطقه‌ی دارای گرد و غبار مشخص شده است. شاخص MPI تنها در مواردی که منطقه مورد مطالعه پوشیده شده از ابرهایی همراه با گرد و غبار باشد مفید است، اما قادر به شناسایی گرد و غبار سبک موجود در منطقه نمی‌باشد (Huang et al. 2014).



شکل (۲-۶) مقایسه MPI (سمت چپ) و BTD (سمت راست)

## □ شاخص گرد و غبار مادون قرمز حرارتی (TDI)<sup>۱</sup>

هائو و همکارانش در سال ۲۰۰۷ شاخص گرد و غبار مادون قرمز حرارتی را به منظور شناسایی گرد و غبار در صحرا با استفاده از ۴ باند حرارتی (باندهای ۲۰، ۳۰، ۳۱ و ۳۲) تصاویر مادیس ابداع کردند. به دلیل استفاده از باندهای حرارتی علاوه بر روزها در ساعات‌های شب نیز می‌توان از این شاخص برای پایش گرد و غبار استفاده کرد. فرمول کلی این شاخص در رابطه زیر و مقادیر ضرایب آن در جدول ۴-۲ ذکر شده است.

$$TDI = c0 + (c1 \times BT20) + (c2 \times BT30) + (c3 \times BT31) + (c4 \times BT32) \quad (۱۰-۲)$$

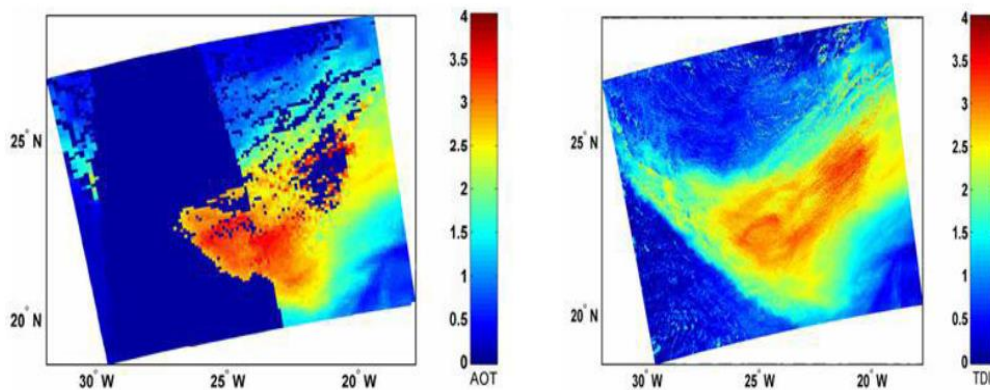
جدول (۴-۲) مقادیر ضرایب موجود در شاخص TDI

ضریب	C0	C1	C2	C3	C4
مقدار	-7.937	0.1227	0.026	-0.7068	0.5883

حد آستانه این روش با توجه به شرایط مکانی و زمانی متفاوت می‌باشد ولی بر اساس تحقیقات صورت گرفته پیکسل‌های بزرگتر از ۲+ حاوی گرد و غبار هستند و می‌تواند به عنوان آستانه انتخاب شود. (SA 1989 Ackerman).

با توجه به اینکه شاخص TDI همبستگی بالایی با محصول AOT مادیس دارد، می‌توان از این معادله برای محاسبه AOT نیز استفاده کرد.

<sup>۱</sup> Thermal Difference Index



شکل (۷-۲) نمونه ای از تصویر: AOT (سمت راست) و TDI (سمت چپ)

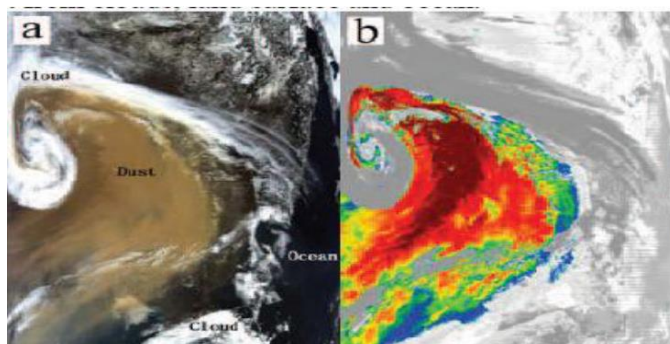
از جمله مزایای استفاده از TDI قدرت تفکیک بالاتر (از ۱۰ کیلومتر به ۱ کیلومتر) نسبت به AOT مادیس، مناسب برای استخراج گرد و غبار در شب، نشان دادن میزان گرد و غبار بر حسب شدت و به بهترین وجه منطبق بر AOT است. از معایب آن نیز این است که به دلیل استفاده از باندهای حرارتی، این روش فقط در مناطق با پوشش ابر به مشکل بر می خورد و همچنین می توان از باندهای انعکاسی نیز در روش استفاده کرد. (برای تصاویر روز) (Hao and Qu 2007).

#### □ شاخص مادون قرمز حرارتی یکپارچه (TIIDI)

لیو و همکارانش در سال ۲۰۱۱ شاخصی را ابداع کردند که از اختلاف دمای ظاهری در ۴ باند (۳،۷، ۸،۶، ۱۱ و ۱۲ میکرومتر) استفاده می کند.

$$TIIDI = (BTD_{12-11}) \times \exp\left[\frac{BTD_{8.6-11a}}{10}\right] \times (BTD_{3.7-11}) \quad (11-2)$$

در این رابطه مقدار ثابت  $a$  زمانی که  $BTD$  (۸،۶-۱۱) مثبت باشد مقدار ثابت ۱۰ و در غیر این صورت ۵ خواهد بود. مقدار این شاخص برای پیکسل های ابر منفی، برای گرد و غبار و سطح زمین مثبت و برای پیکسل های گرد و غبار مقدار بیشتری خواهد داشت. در شکل (۸-۲) نمونه ای از نتایج این روش نشان داده شده است.



شکل (۲-۸) (a) آشکارسازی طوفان گرد و غبار در سطح تیره (b) نتایج آشکارسازی تصویر MODIS

### شاخص هواویز TOMS

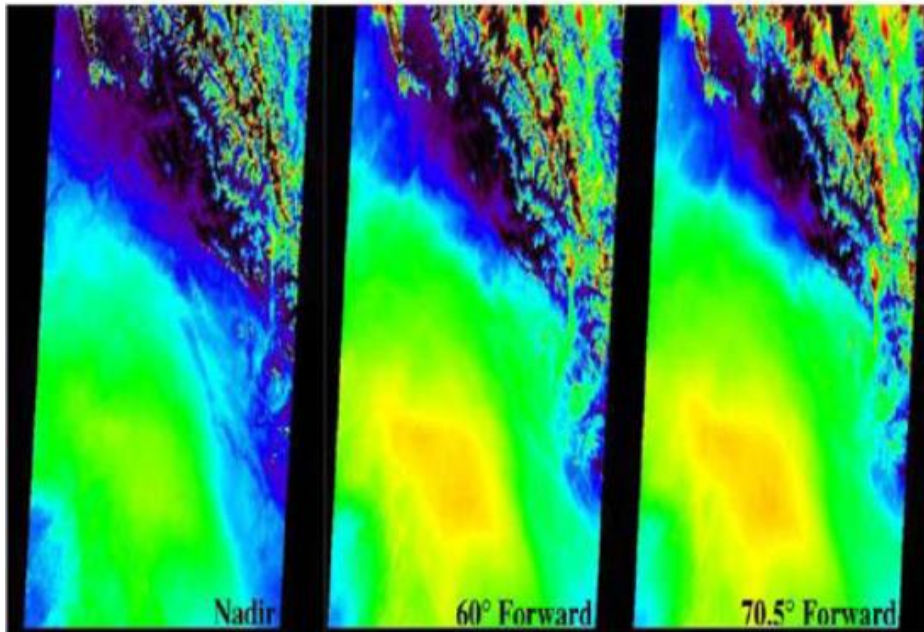
سنجنده TOMS دارای دقت  $1 \times 1$  یک درجه است و تصویر آن در ناحیه ماورابنفش (UV<sup>۱</sup>) طیف الکترومغناطیس استخراج می‌شود. در این روش گرد و غبار با استفاده از میزان بازتاب در ناحیه فرابنفش شناسایی می‌شود. سنجنده TOMS با استفاده از اختلاف طیفی بین کانال های ۳۴۰ و ۳۸۰ نانومتری، قادر به شناسایی ذرات معلق هوا جاذب اشعه UV در جو است. براساس مشاهده‌های این سنجنده، شاخص AI که بیانگر شدت گرد و غبار در جو است، توسعه یافته است (Goudie and Middleton 2001). میانگین سالانه شاخص AI برای سه منشا بودله در صحرای افریقا، ربع الخالی در عربستان و صحرای تاکلامان در چین به ترتیب ۳، ۲،۱ و ۱،۱ تعیین شده است (Washington et al. 2003). با این وجود شناسایی ابر به عنوان ذرات معلق در برخی موارد، از معایب سنجنده TOMS به‌شمار می‌آید (Goudie and Middleton 2006).

### □ استفاده از داده‌های MISR

این سنجنده دارای قدرت تفکیکی  $20 \times 10$  کیلومتر است و تصاویری با زوایای دید متفاوت تهیه می‌کند. با استفاده از این روش می‌توان گرد و غبار را از ابر تشخیص داد. در nadir به‌علت کوتاه بودن

<sup>۱</sup> Ultra Violet

مسیر نور گرد و غبار به خوبی قابل تشخیص نیست، اما در زوایای دیگر به علت مسیر طولانی تاثیر گرد و غبار به خوبی قابل مشاهده است.



شکل (۲-۹) تصاویر سنجنده MISR

## ۲-۴-۲. مروری بر مطالعات گذشته

منابع تولید گرد و غبار خاورمیانه، در چندین مطالعه و با روش‌های متعددی مورد بررسی قرار گرفته‌اند که در ادامه به تفصیل مرور خواهند شد.

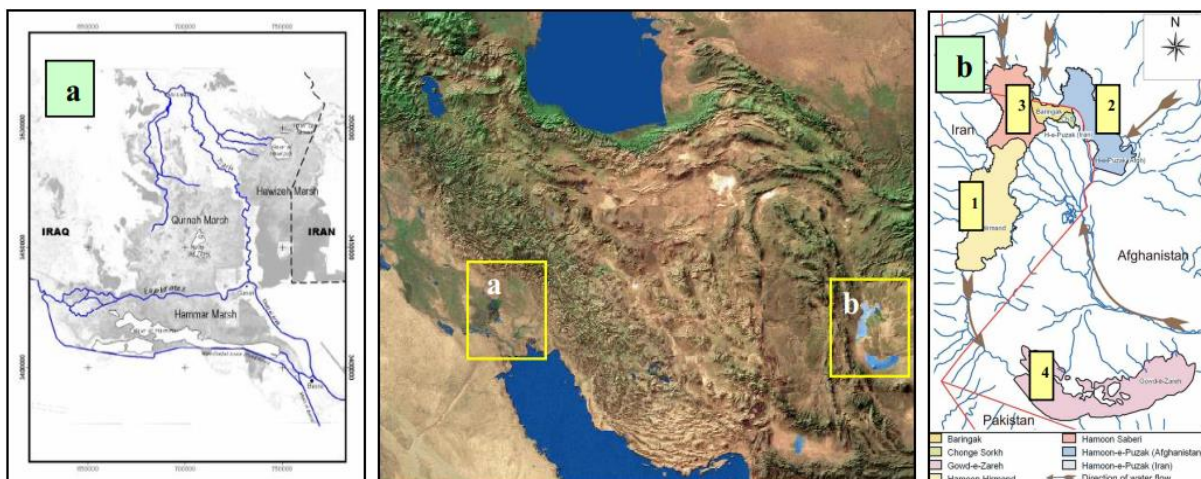
Middleton (۱۹۸۶) با تحلیل دید افقی و آنالیز فرکانس رخداد پدیده‌ی گرد و غبار برای کشورهای ایران، افغانستان و پاکستان، نقشه مناطق با بیشترین فعالیت گرد و غباری را ترسیم کرد (Middleton 1986). براساس نتایج این تحقیق، دو منبع مهم گرد و غباری در ایران در استان‌های سیستان و بلوچستان و خوزستان قرار گرفته‌اند.

تمامی منابع اصلی خاورمیانه به جز بیابان ربع الخالی در عربستان، در نواحی کم‌ارتفاع (کمتر از ۲۰۰ متر) قرار گرفته‌اند. منابع موجود در عراق و عربستان مربوط به رسوبات آبرفتی و منابع گرد و غباری در



امارات نیز از نوع دشت نمکی<sup>۱</sup> می‌باشند. لازم به ذکر است، منابع گرد و غباری عراق مربوط به منطقه هلال حاصلخیز<sup>۲</sup> می‌باشند که در گذشته به صورت گسترده در آن کشاورزی انجام می‌گرفته است (Prospero et al. 2002).

Esmaili و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از داده‌های هواشناسی اخذ شده از ایستگاه‌های هواشناسی ایران و با محاسبه شاخص AI برای بازه ۲۵ سال (۱۹۷۹ تا ۲۰۰۴)، اقدام به شناسایی منابع تولید گرد و غبار در ایران کرده‌اند (Esmaili et al. 2006). در این مطالعه، دشت سیستان در شرق ایران و تالاب هورالعظیم در جنوب غربی ایران (به همراه Lake Hammar و Qurnah Marshes در عراق) به‌عنوان اصلی‌ترین منابع تولید گرد و غبار در ایران معرفی شدند (شکل (۲-۱)).



شکل (۲-۱) اصلی‌ترین منابع تولید گرد و غبار در ایران (الف) تالاب هورالعظیم (ب) دشت سیستان و دریاچه

هامون (Esmaili et al., 2006a)

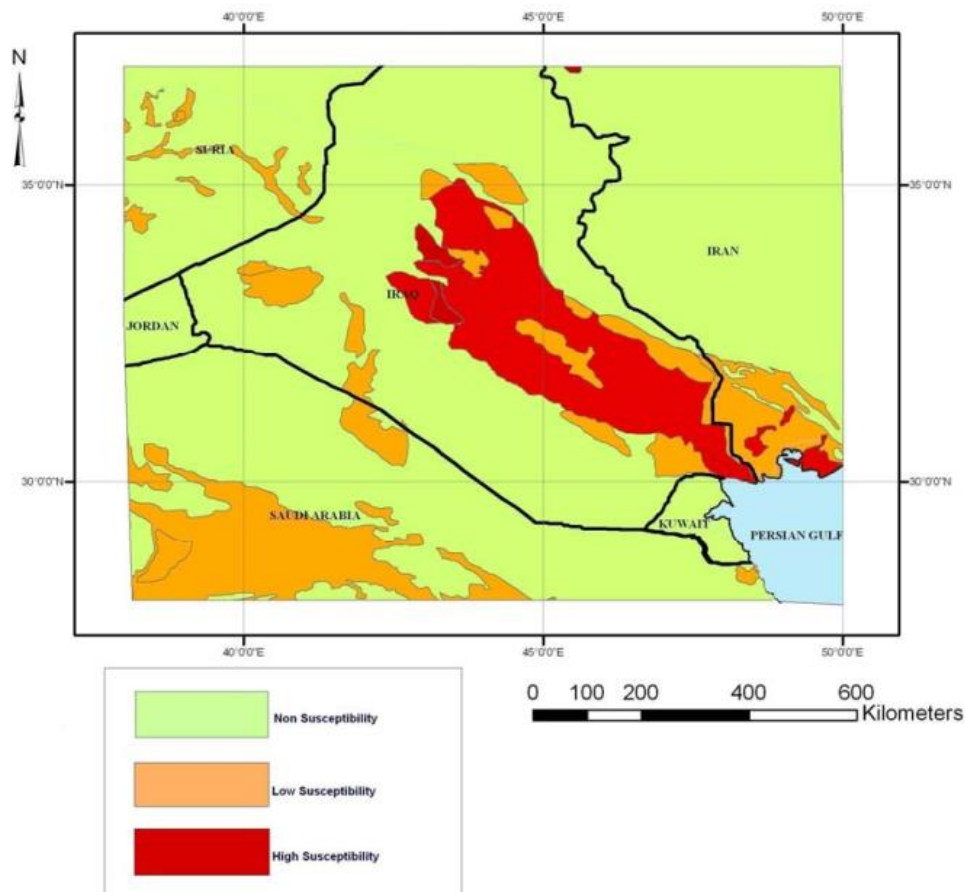
در این مطالعه بجز منابع اشاره شده، دشت کویر و دریاچه خشک شده هامون جازموریان (در جنوب استان کرمان و غرب استان سیستان و بلوچستان) نیز به‌عنوان منابع گرد و غباری ایران معرفی شدند. مناطق حساس به ایجاد گرد و غبار در نواحی غربی ایران و کشور عراق، با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی، اطلاعات بارندگی و با در نظر گرفتن منشأهای گرد و غبار تعیین شده در مطالعات

<sup>۱</sup> Sabkhas

<sup>۲</sup> Fertile Crescent



گذشته، توسط Gerivani و همکاران (۲۰۱۱) تعیین شد (Gerivani et al. 2011). نتایج این تحقیق نشان داد مناطق وسیعی در حوضه دجله و فرات (شکل ۲-۱۱) نسبت به تولید گرد و غبار آسیب پذیر هستند.

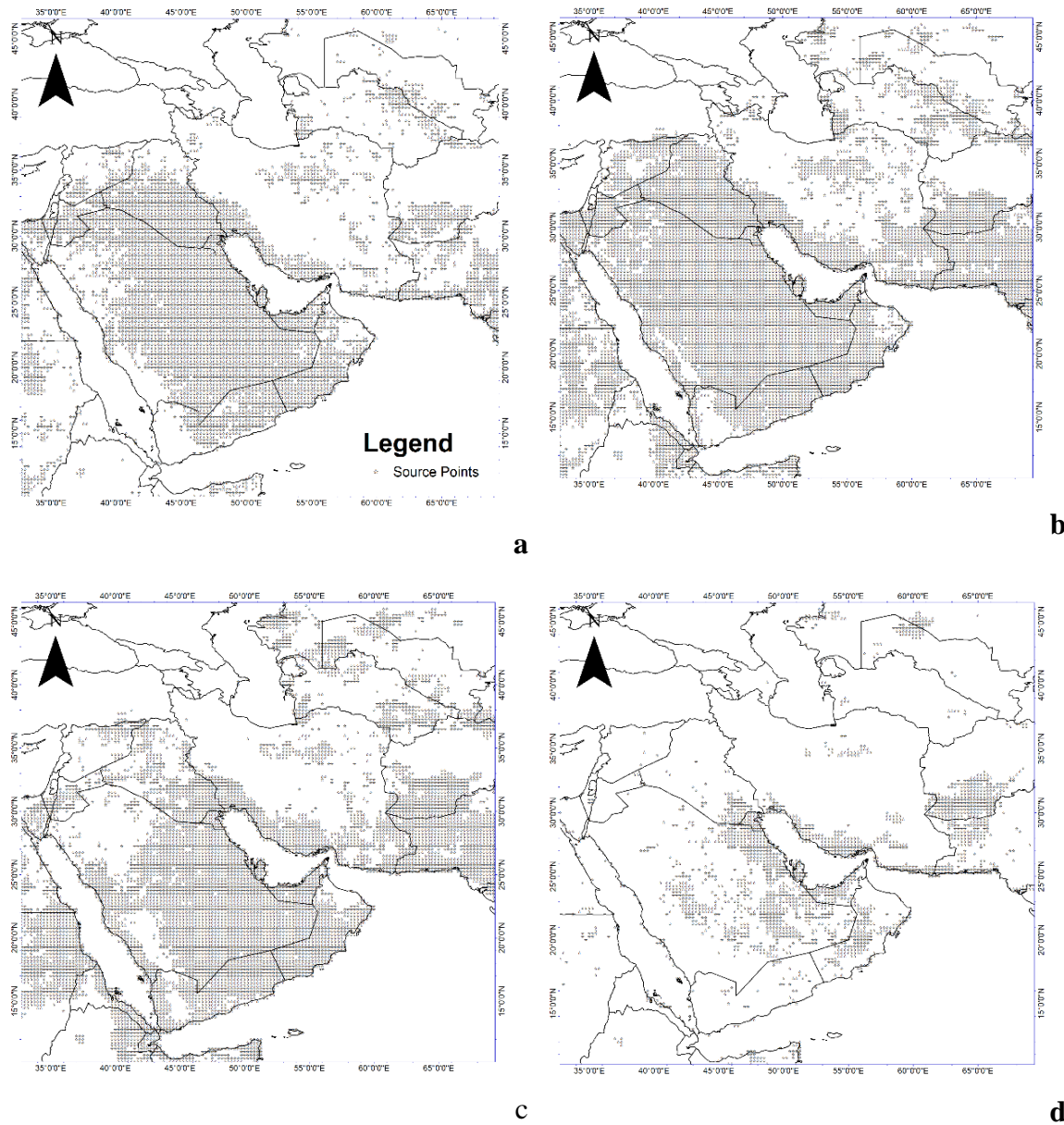


شکل (۲-۱۱) مناطق مستعد به تولید گرد و غبار در ایران و عراق (Gerivani et al., 2011)

دراکسلر و همکاران (۲۰۱۰) نواحی مستعد به تولید گرد و غبار به همراه سرعت آستانه اصطکاکی و چگالی غبارات آنها را با استفاده از شاخص AOD و داده‌های هواشناسی NCEP<sup>۱</sup> به صورت ماهانه در مقیاس جهانی محاسبه کرد. نحوه محاسبه این پارامترها در ادامه این فصل بیشتر توضیح داده خواهد شد. بر اساس نتایج به دست آمده، وسعت منابع گرد و غباری و چگالی غبارها و سرعت آستانه اصطکاکی آنها در هر ماه متفاوت خواهد بود. شکل (۲-۱۲) منشأهای تولید گرد و غبار محاسبه شده توسط Draxler و همکاران (۲۰۱۰)، برای منطقه خاورمیانه را برای ماه‌های دسامبر، مارس، ژوئن و

<sup>۱</sup> National Centers for Environmental Prediction

سپتامبر نشان می دهد (Draxler et al. 2010).

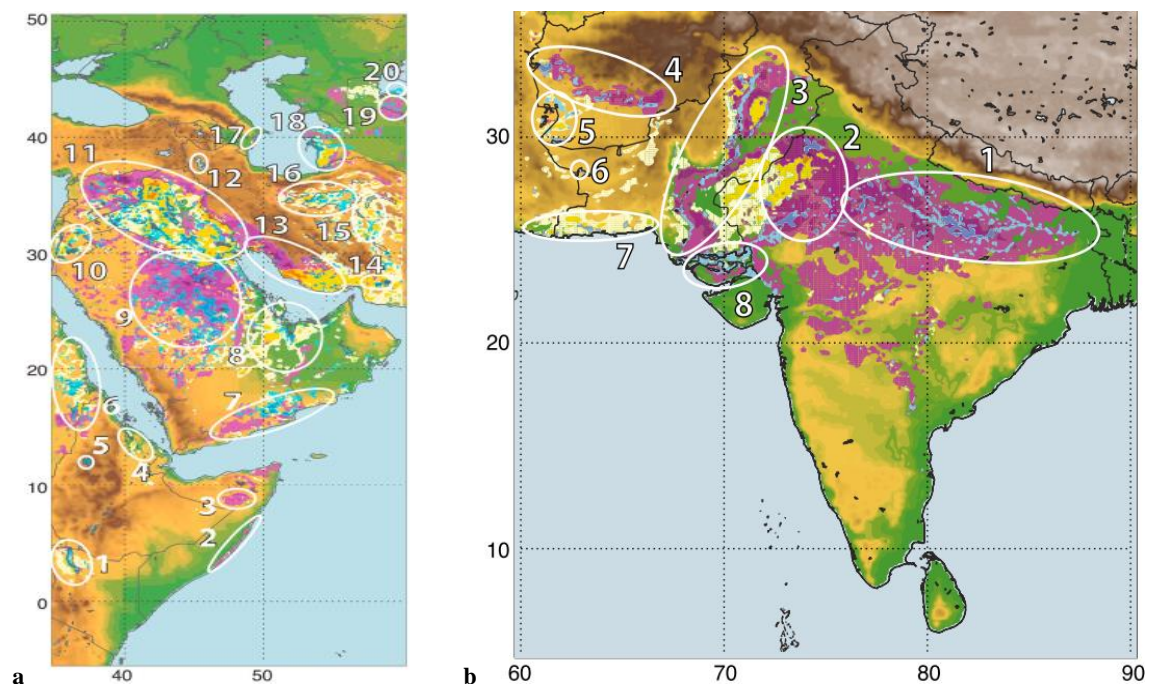


شکل (۲-۱۲) منابع تولید گرد و غبار در خاورمیانه برای ماه‌های الف) دسامبر (ب) مارس (ث) ژوئن (د) سپتامبر

(Draxler et al., 2010)

در مطالعه‌ای توسط Ginoux و همکاران (۲۰۱۲) نقشه منابع تولید گرد و غبار در مقیاس جهانی با استفاده از سنجنده MODIS تهیه شد (Ginoux et al. 2012). در این مطالعه منابع تولید گرد و غبار به دسته‌های مختلفی با نام‌های Hydrologic، Anthropogenic، Natural تقسیم شدند. طبق تقسیم‌بندی انجام شده، منابع Hydrologic مربوط به پیکره‌های آبی خشک شده و یا موقت، منابع

Anthropogenic مربوط به فعالیت‌های انسانی (مانند کشاورزی) و منابع Natural مربوط به نواحی با Lanaduse کمتر از ۳۰ درصد خواهند بود. در این مطالعه، به صورت عمده ۲۰ منشأ گرد و غباری در خاورمیانه و ۸ منشأ در جنوب غربی آسیا شناسایی شده است، که از این میان ۷ منبع گرد و غباری در ایران قرار دارند. مطابق با شکل (۲-۱۳) قسمت اعظمی از عراق و شرق سوریه (بین‌النهرین<sup>۱</sup>) به‌عنوان منشأ گرد و غبار شناسایی شده است (بیضی شماره ۱۱ در شکل ۲-۱۳-a). این منابع گرد و غباری ترکیبی از منابع هیدرولوژیکی، طبیعی و انسانی ساخت می‌باشند. منابع قرارگرفته در عراق غالباً طبیعی و منابع موجود در سوریه غالباً انسان‌ساخت هستند. مهم‌ترین منشأ شناسایی شده در این ناحیه در شمال شرقی شهر Ar Raqqa سوریه قرار دارد که در مطالعات پیشین به‌عنوان یک منبع مهم انسان‌ساخت معرفی شده است. منابع قرارگرفته در مرز عراق و سوریه از نوع دشت‌های نمکی یا Sabkhas هستند و شامل نمکزارهای Albu Gharz، al Burghuth و Ar-Rawda می‌شوند.



شکل (۲-۱۳) منابع شناسایی شده توسط Ginoux و همکاران (۲۰۱۲) در الف (خاورمیانه و ب) جنوب غرب آسیا. منابع هیدرولوژیکی با رنگ آبی، منابع طبیعی با رنگ صورتی، منابع انسان‌ساخت با رنگ نارنجی، و منابع فاقد پیکره آبی

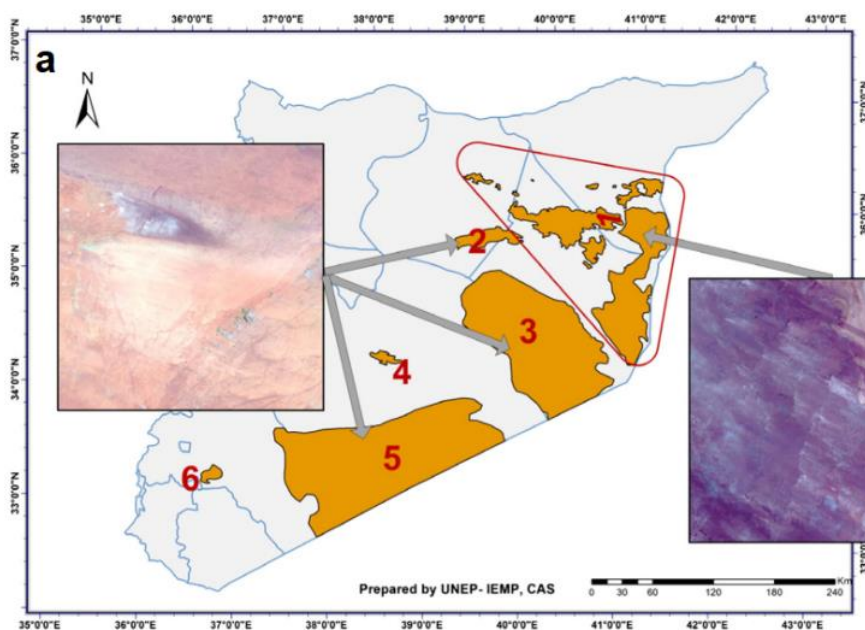
<sup>۱</sup> Mesopotamia

خشک شده بارنگ زرد مشخص شده اند.

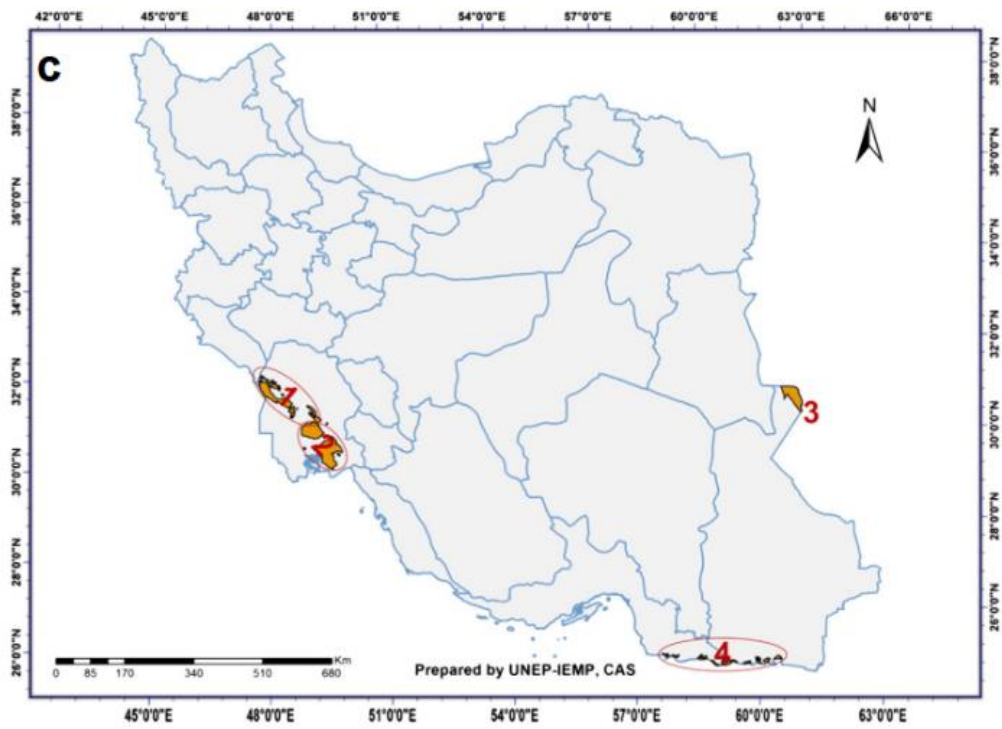
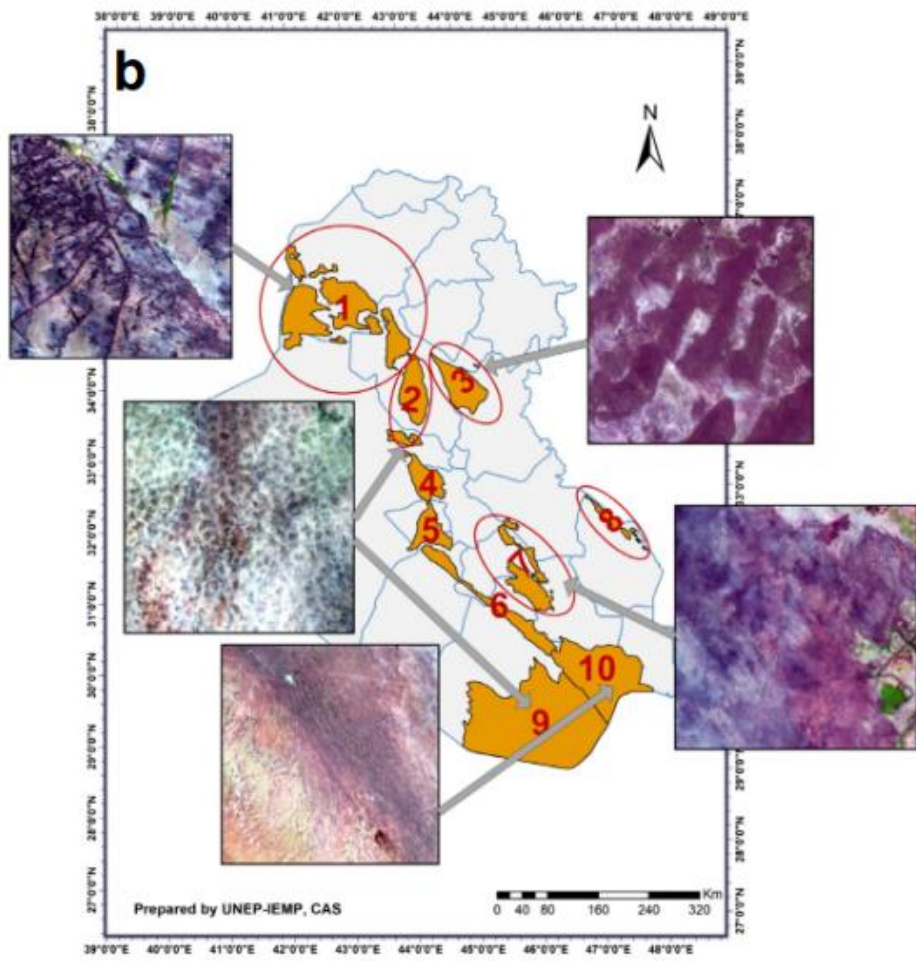
منابع قرارگرفته در عربستان هیدرولوژیکی و انسان ساخت می باشند که به صورت عمده اطراف بسترهای خشک شده رودخانه ها (Wadi) قرار گرفته اند (بیضی شماره ۹ در شکل ۲-۱۳-الف). Al Sahba ، Batin و Al-Rimah مهم ترین رودخانه های خشک شده در این منطقه می باشند. یکی دیگر از منابع مهم قرارگرفته در شبه جزیره عربستان بیابان شنی ربع الخالی و نمکزار Matti در غرب امارات است (بیضی شماره ۸ در شکل ۲-۱۳-الف). منابع گرد و غباری در این ناحیه غالباً پراکنده اند، البته نمکزار Matti متراکم می باشد. این نمکزار از غرب امارات شروع شده و به داخل کشور عربستان نیز کشیده می شود. از دیگر منابع موجود در خاورمیانه که توسط Ginoux و همکاران (۲۰۱۲) شناسایی شده است، می توان به بستر خشک شده رودخانه اردن در بیابان Wadi Araba اشاره کرد (بیضی شماره ۱۰ در شکل ۲-۱۳-الف). مطالعات زیادی انحراف این رودخانه را دلیل اصلی رخداد طوفان های گرد و غباری در حوزه آبریز Lisan در اردن معرفی کرده اند. غالب منابع موجود در کشور یمن مربوط به رسوبات رودخانه ای در نواحی پست ساحلی در ناحیه Hadhramaut در جنوب یمن می باشد (بیضی شماره ۷ در شکل ۲-۱۳-الف). نواحی مهم گرد و غباری در ایران شامل مناطق جنوب غربی ایران (بیضی شماره ۱۳ در شکل ۲-۱۳-الف)، دریاچه ارومیه (بیضی شماره ۱۲ در شکل ۲-۱۳-الف)، هامون جازموریان (بیضی شماره ۱۴ در شکل ۲-۱۳-الف)، دشت کویر (بیضی شماره ۱۶ در شکل ۲-۱۳-الف)، کویر لوت (بیضی شماره ۱۵ در شکل ۲-۱۳-الف) و دریاچه هامون (بیضی شماره ۵ در شکل ۲-۱۳-ب) می باشند. از دیگر منابع موجود در خاورمیانه می توان به دریاچه آرال (بیضی شماره ۲۰ در شکل ۲-۱۳-ب)، دلتای رود اترک (بیضی شماره ۱۸ در شکل ۲-۱۳-الف)، دشت توران ازبکستان (بیضی شماره ۱۹ در شکل ۲-۱۳-ب) و نواحی محدودی در منطقه Qobustan در جنوب باکو (بیضی شماره ۱۷ در شکل ۲-۱۳-ب) اشاره کرد.

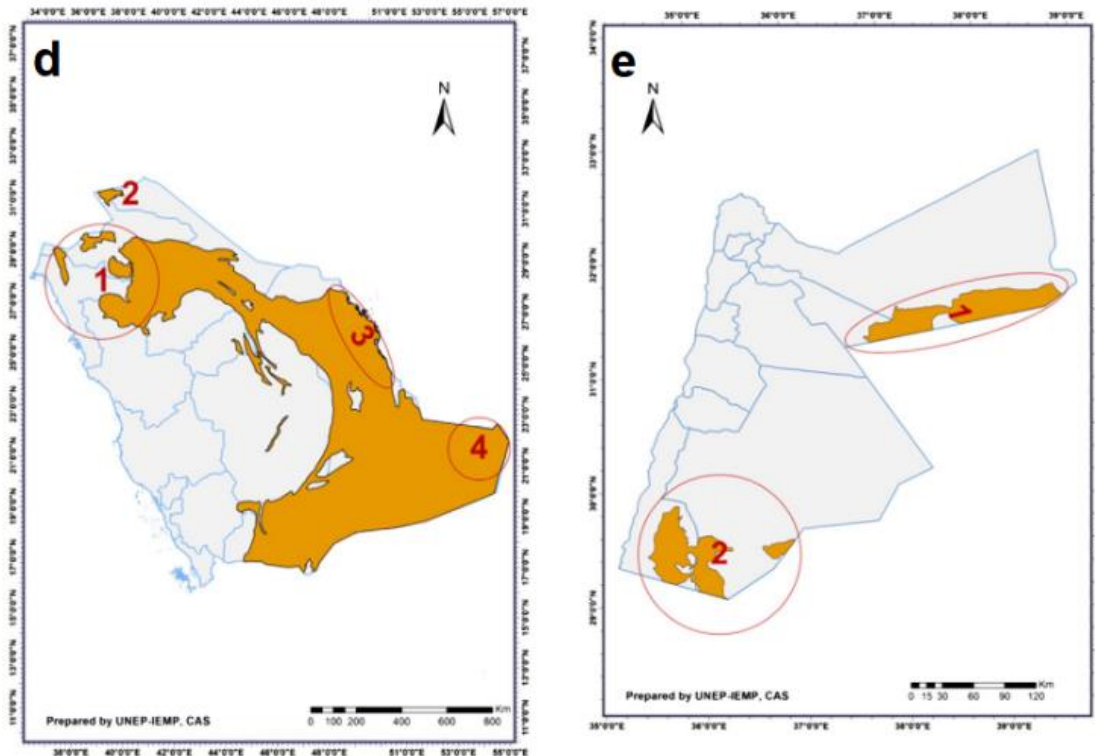
Cao و همکاران (2015) با مطالعه تحقیقات پیشین در رابطه با شناسایی منابع گرد و غبار در منطقه خاورمیانه، آنالیز داده های هواشناسی ایستگاه های همدیدی، محاسبات رو به عقب HYSPLIT.

استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده های MODIS از ماهواره Terra و سنجنده OLI از ماهواره Landsat اقدام به شناسایی منابع گرد و غبار خاورمیانه کردند (Cao et al. 2015a). نتایج این تحقیق به جمع‌بندی تعیین منابع تولید گرد و غبار در کشورهای ایران، عراق، سوریه، اردن و عربستان به همراه بحث بر روی هرکدام از منابع منجر شد که به‌طور خلاصه در شکل (۲-۱۴) و جدول (۲-۳) به آن پرداخته شده است.









شکل (۲-۱۴) منابع تولید گرد و غبار در الف (سوریه ب) عراق ث) ایران د) عربستان ی) اردن (Cao et al., 2015)

جدول (۲-۵) خلاصه مطالب در مطالعه Cao و همکاران (2015) در مورد منابع تولید گرد و غبار خاورمیانه		
کشور	شماره منطقه	توضیحات
سوریه	۱	منطقه شماره ۱ در شمال فرات واقع است و ساختار آن عمدتاً Gypsid می‌باشد. این منطقه ظاهری بنفش‌رنگ با رگه‌های شنی دارد.
	۲ تا ۶	خاک مناطق ۲-۶ عموماً Calcid می‌باشد، در بیابان سوریه واقع هستند، ظاهری آجری رنگ با صفحات پیوسته شنی دارند.
عراق	۱	مشابهت زیادی با منطقه ۱ در شرق سوریه دارد لذا ادامه همان منبع تلقی می‌شود.
	*۲	این منطقه با تپه‌های شنی پوشیده شده و به وسیله رودخانه تخریب شده است. در این منطقه تعداد زیادی چاه نفت وجود دارد که جزو عوامل تخریب در این ناحیه به حساب می‌آید.
	۳	پوشیده از تپه‌های شنی می‌باشد. این منطقه دارای رسوبات مخروطی شکل است که دچار تخریب شده است.
	*۴	در این ناحیه چاه‌های نفت زیادی قرار دارد، عملیات مربوط به اکتشاف و استخراج نفت در این ناحیه باعث تخریب و فرسایش شده است.

		*۵	متشکل از تپه‌های شنی طولی می‌باشد. این منطقه دارای رسوبات مخروطی شکل است که دچار تخریب شده است.
		۶	پوشیده از تپه‌های شنی می‌باشد. به‌عنوان یکی از منابع مهم گرد و غبار در منطقه شناخته می‌شود.
		*۷	پوشیده از تپه‌های شنی می‌باشد. به‌عنوان یکی از منابع مهم گرد و غبار در منطقه شناخته می‌شود.
		۸	پوشیده از تپه‌های شنی می‌باشد. این منطقه در مرز ایران و عراق قرار گرفته و در دوران جنگ تحمیلی به‌شدت تخریب شده است.
		۹	این منطقه پوشیده از تپه‌های شنی و مشابه با منطقه ۲ است. این ناحیه در بیابان Zubair در نواحی پست بین‌النهرین واقع شده است. خاک این منطقه متشکل از رسوبات آهکی <sup>۱</sup> می‌باشد. این منطقه دارای رسوبات مخروطی شکل است که دچار تخریب شده است.
		۱۰	این ناحیه دارای تپه‌های شنی طولی در نتیجه جهت باد در منطقه می‌باشد. در این ناحیه تالاب‌هایی که از سال ۲۰۰۰ به‌سرعت تخریب شده اند، قرار دارد.
	ایران	۱	این منطقه درون محدوده مربوط به تالاب هورالعظیم قرار دارد. این منطقه با تپه‌های شنی ریز پوشیده شده است و ادامه منطقه ۸ از عراق به‌حساب می‌آید.
		۲	این منطقه به دلیل خشک شدن تالاب هورالعظیم و از بین رفتن بیش از ۱۵ میلیون درخت خرما در دوران جنگ به وجود آمده است. همچنین این منطقه در مسیر طوفان‌های گرد و غباری ایجاد شده در عراق قرار دارد و ته‌نشست‌های قابل توجهی از گرد و غبار عراق در آن رخ می‌دهد.
		ادامه جدول (۲-۵)	
		۳	این منطقه درون دشت سیستان قرار دارد. این ناحیه استان سیستان و بلوچستان و شمال افغانستان را متأثر می‌سازد.
		۴	این منطقه در نواحی ساحلی دریای عمان واقع است. این ناحیه محدود می‌تواند خسارات اقتصادی جدی‌ای را به نواحی ساحلی جنوبی ایران وارد کند.
	عربستان	۱	این منطقه و نواحی جنوب شرقی اردن، مرکز و شمال عربستان را به‌صورت عمده متأثر می‌سازند.

<sup>۱</sup> calcareous deposits



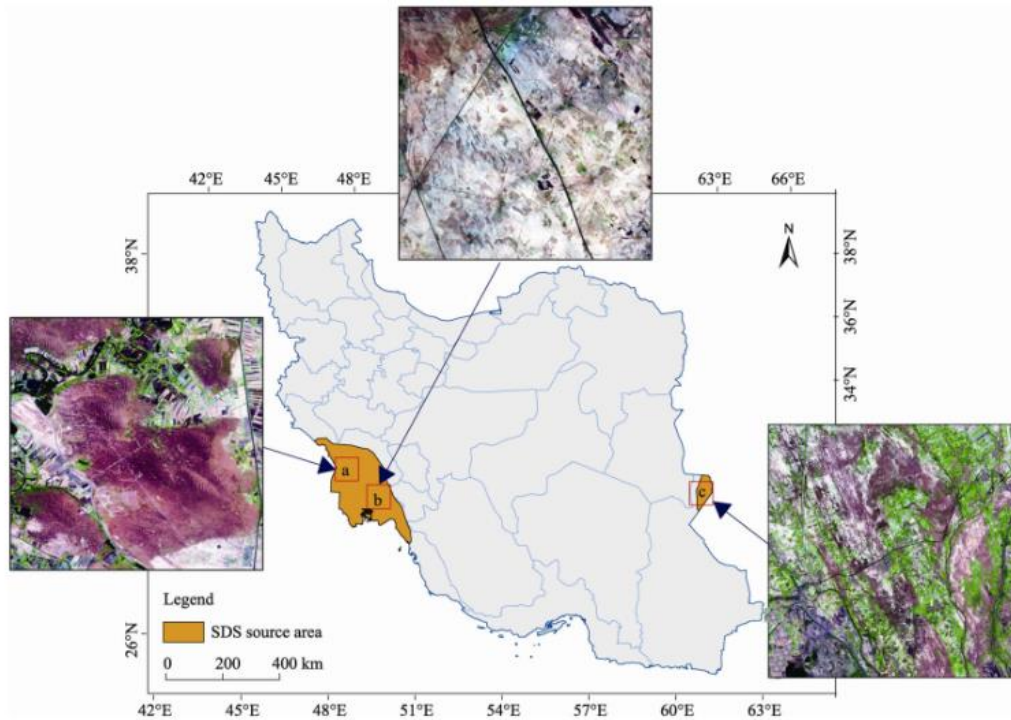
	۲	خصوصیات این ناحیه مشابه خصوصیات منابع شمال شرقی اردن است.
	۳	طوفان‌های گرد و غباری با منشأ سودان در شمال افریقا از دریای سرخ، جنوب عربستان و منطقه شماره ۳ عبور کرده و کویت و مناطق مرکزی عراق را متأثر می‌سازد.
	۴	طوفان‌های گرد و غباری با منشأ سودان در شمال افریقا از دریای سرخ، جنوب عربستان و منطقه شماره ۴ عبور کرده و ایران را متأثر می‌سازد.
اردن	۱	این ناحیه داری نوارهای شنی می‌باشد که بیانگر این موضوع است که این ناحیه منبع ایجاد گرد و غبار است. گرد و غبار این منطقه به سمت عراق حمل می‌شود.
	۲	مناطق غربی این ناحیه پوشیده از تپه‌های ستاره‌ای هستند که به وسیله رسوبات شنی به‌جای مانده در مناطق کوهستانی به وجود آمده‌اند. در نتیجه به دلیل موانع ایجاد شده توسط پستی و بلندی‌ها منبع مهمی به شمار نمی‌آید. مناطق شرقی این ناحیه داری نوارهای شنی می‌باشد که بیانگر این موضوع است که این ناحیه منبع ایجاد گرد و غبار است. این ناحیه مناطق شمالی و شرقی عربستان را متأثر می‌سازد.

در مطالعه‌ای دیگر؛ منابع اصلی گرد و غبار ایران با استفاده از ۹ پارامتر شامل دما، بارندگی، محل خاک‌های شنی، فرکانس رخداد طوفان‌های گردوغباری، تخریب خاک توسط انسان<sup>۱</sup>، شاخص تأثیر انسان، بهره‌وری مصرف بارندگی<sup>۲</sup> و کاهش شاخص Net Primary Production<sup>۳</sup> تعیین شد (Cao et al. 2015b). نتایج ترکیب این پارامترها در نهایت مشخص کرد که تالاب هورالعظیم و دشت سیستان مهم‌ترین منابع تولید گرد و غبار در ایران هستند. پیش از این نیز توسط Esmaili و همکاران (۲۰۰۶) به آن اشاره شده‌بود. این منابع در شکل (۲-۱۵) جانمایی شده‌اند.

<sup>۱</sup> Human-induced soil degradation (HISD)

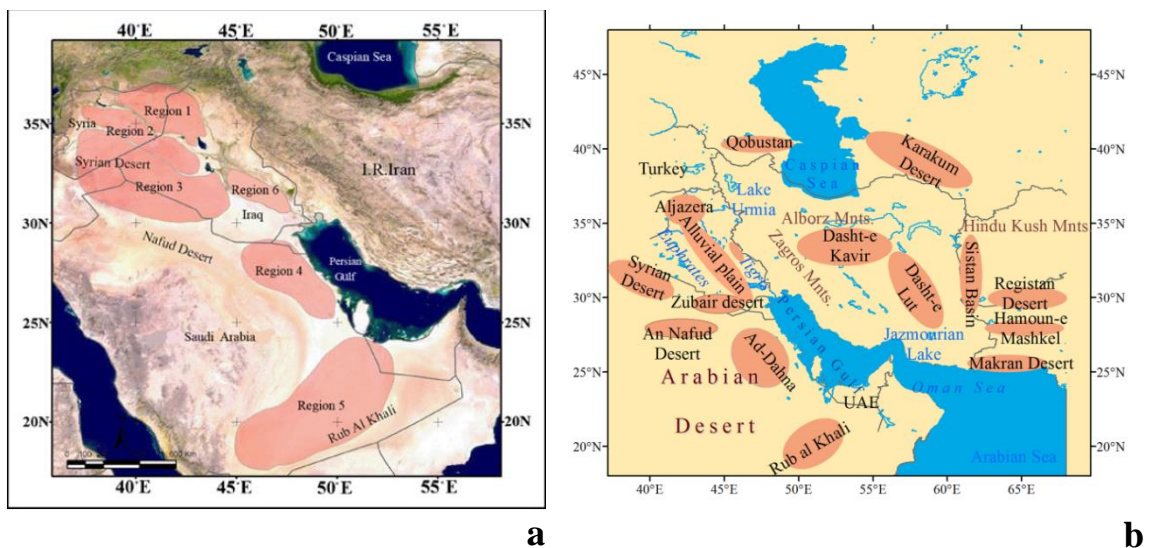
<sup>۲</sup> Rain use efficiency (RUE)

<sup>۳</sup> این شاخص میزان جرمی رشد گیاهان را مشخص می‌کند.



شکل (۲-۱۵) جانمایی منابع گرد و غبار شناسایی شده در ایران توسط Cao و همکاران (2015b)

Choobari و همکاران (۲۰۱۴) و Najafi و همکاران (۲۰۱۴) نیز در مطالعات خود نواحی مستعد تولید گرد و غبار در منطقه خاورمیانه را معرفی کرده‌اند (شکل (۲-۱۶)) (Choobari et al. 2014; Najafi et al. 2014). عمده این نواحی در مطالعات مورد بررسی، معرفی شده بودند.



شکل (۲-۱۶) منابع گرد و غباری معرفی شده در خاورمیانه توسط الف) Najafi و همکاران (۲۰۱۴) ب) Choobari و

همکاران (۲۰۱۶)

در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۳ توسط کریمی و همکاران انجام شد، چهار روش برای منشایابی و شناسایی سه توده‌ی شدید گرد و غبار در منطقه خاورمیانه با استفاده از داده‌های MODIS مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت (Karimi et al. 2012). این چهار روش شامل الگوریتم شناسایی گرد و غبار رونسکاونسکی و لیو، مدل آکرمن، شاخص NDDI و الگوریتم Deep Blue بود. نتایج این مطالعه نشان داد که روش‌هایی که در آنها از اختلاف دمای روشنایی استفاده می‌شود، قابل اطمینان‌ترین روش‌ها برای شناخت منشاهای گرد و غبار به‌شمار می‌آیند. با این وجود ضعف این روش‌ها در تشخیص توده گرد و غبار از سطوح روشن صحرا منجر به توسعه‌ی یک مدل جدید به‌نام شاخص گرد و غبار خاورمیانه (MEDI)<sup>۱</sup> شد. این شاخص با توسعه براساس روش آکرمن قابلیت تشخیص دقیق‌تر توده‌های گرد و غبار را دارا می‌باشد. در نهایت برای رفع مشکل این مدل در تشخیص ابر سیروس از توده‌های گرد و غبار، شاخص NDDI به این مدل افزوده شد.

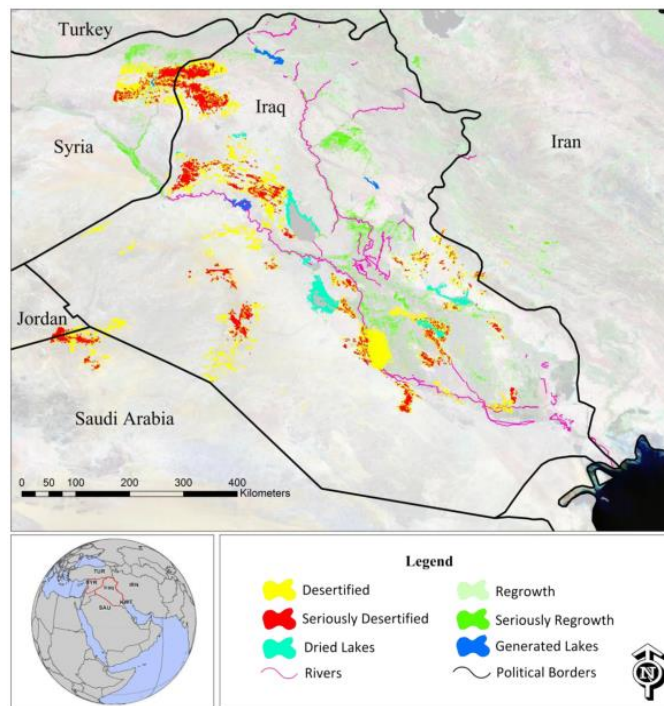
مرید نژاد و همکاران در سال ۲۰۱۵ با بررسی ۷۰ طوفان گرد و غباری در منطقه خاورمیانه در بازه سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۲ و با استفاده از مدل MEDI، منابع تولید گرد و غبار عمده‌ی خاورمیانه را شناسایی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که ۲۷۴ منبع مختلف در تولید گرد و غبار منطقه نقش ایفا می‌کنند. اصلی‌ترین منشأ موثر در تشکیل طوفان‌های گرد و غبار مرکز عراق است. این منشأ بخش عمده‌ای از حوضه‌ی رودخانه‌های دجله و فرات را تشکیل می‌دهد (Moridnejad et al. 2015a).

در مطالعه‌ی دیگری که توسط مریدنژاد و همکاران (۲۰۱۵) انجام شد، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست برای کشورهای عراق و سوریه، اقدام به شناسایی مناطقی که از سال ۱۹۸۴ تا سال ۲۰۱۲ به بیابان تبدیل شده‌اند، نمود. در این پژوهش همچنین اقدام به تعیین منشأ گرد و غبارهای رخ داده در منطقه خاورمیانه با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS شد. نتایج نشان داد منشأ ۴۰ درصد طوفان‌های رخ داده در این بازه زمانی از مناطق تازه بیابانی شده، بوده است. شکل (۲-۱۷) مناطق جدید بیابانی و شکل (۲-۱۸) منشأ طوفان‌های گرد و غباری به‌همراه نقشه تغییر کاربری اراضی در

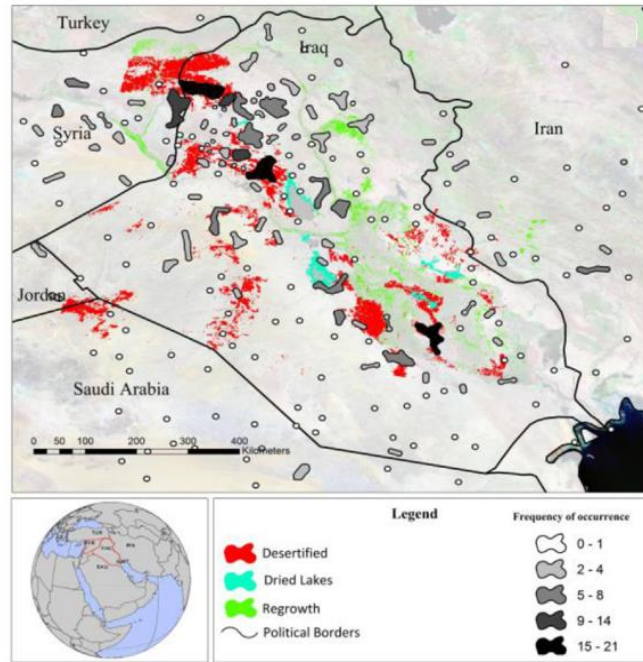
---

<sup>۱</sup> Middle East Dust Index

منطقه را نشان می‌دهد. در این مطالعه سه عامل تغییر کاربری اراضی، خشک شدن پهنه های آبی و کاهش پوشش کشاورزی، به‌عنوان دلایل بیابان زایی در حوضه بین النهرین معرفی شد. از میان این سه عامل، کاهش پوشش گیاهی به‌عنوان دلیل اصلی افزایش منابع تولید گرد و غبار معرفی شد اما شدیدترین طوفان‌ها از بخش‌های مرزی شمال غربی عراق و شرق سوریه که عمدتاً از بایر شدن زمین‌های کشاورزی به‌وجود آمده است، تولید می‌شوند (Moridnejad et al. 2015b).



شکل (۲-۱۷) مناطقی که نسبت به سال ۱۹۸۴ در کشورهای عراق و سوریه دچار تغییر کاربری شده‌اند (Moridnejad et al., 2015).



شکل (۲-۱۸) منشأهای گرد و غبارهای رخ داده در عراق و سوریه به همراه نقشه تغییرات کاربری ایجاد شده

(Moridnejad et al., 2015)

## ۲-۵- جمع‌بندی

منابع تولید گرد و غبار خاورمیانه در چندین مطالعه و با روش‌های متعددی مورد بررسی قرار گرفته‌اند که در قسمت قبلی به مرور تعدادی از آنها پرداخته شد. با توجه به این مطالعات، تفاوت روش‌های بارزسازی و منشایابی گرد و غبار به وسیله علم سنجش از دور در انتخاب نوع سنجنده، انتخاب شاخص‌های بارزسازی گرد و غبار، انتخاب مدل‌های ریاضی و داده‌های هواشناسی می‌باشد. در مطالعه حاضر که با استفاده از فناوری سنجش از دور انجام خواهد شد، از داده‌های سنجنده MODIS و سپس الگوریتم MEDI استفاده خواهیم کرد. از جمله مزایای سنجنده MODIS نسبت به دیگر سنجنده‌ها می‌توان به حساسیت رادیومتریک بالا (۱۲ بیت)، تهیه تصاویر با پوشش زیاد منطقه‌ای و دریافت بازه وسیعی از انرژی تابشی در محدوده‌های طیفی مرئی و نامرئی اشاره کرد. همچنین به دلیل داشتن زاویه اسکن  $\pm 55$  درجه، در هر یک یا دو روز، پوشش جهانی را فراهم

می‌سازد. دلیل استفاده از الگوریتم MEDI این است که به طور خاص برای منطقه خاورمیانه توسعه یافته و با توجه به شرایط خاص خاورمیانه ( بیابان‌های درخشان‌تر و شرایط آب و هوایی مختلف )، این الگوریتم می‌تواند عملکرد کارآمدی در بارزسازی گرد و غبار و جداسازیشان از سطوح بیابانی و سایر عوارض زمینی ( بجز شن و ماسه ) داشته باشد.

همانطور که در قسمت قبل بیان شد، مرید نژاد و همکاران در سال ۲۰۱۵ با بررسی ۷۰ طوفان گرد و غباری در منطقه خاورمیانه در بازه سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۲ و با استفاده از مدل MEDI، منابع تولید گرد و غبار عمده‌ی خاورمیانه را شناسایی کردند. با توجه به اهمیت طوفان‌های گرد و غباری در جنوب غربی ایران که منشا آنها منطقه خاورمیانه می‌باشد، بر آن شدیم که از این الگوریتم برای بارزسازی و منشایابی طوفان‌های گرد و غباری در بازه سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۴ استفاده کنیم تا تغییرات احتمالی در مورد منشا طوفان‌ها (ایجاد منشا جدید یا حذف آنها) مشخص شود.

فصل سوم :

مواد و روش‌ها

### ۳-۱- انتخاب روزهای گرد و غباری

برای تعیین وقایع گرد و غباری در جنوب غرب ایران از داده‌های دید افقی اخذ شده از سازمان هواشناسی کشور برای ایستگاه‌های شهر اهواز استفاده شد. بر این اساس در روزهایی که یکی از کدهای ۶ تا ۹، ۳۰ تا ۳۵ و ۹۸ (نمایانگر طوفان های گرد و غباری) در ایستگاه سینوپتک شهر اهواز ثبت شده اند، به‌عنوان روزهای گرد و غباری اولیه انتخاب شدند (Rashki et al. 2017). (به پیوست ۳ مراجعه شود).

سپس روزهایی که در آنها دید افقی در شهر اهواز به کمتر از ۲ کیلومتر رسیده بود، به‌عنوان روز گرد و غباری انتخاب شد (Rashki et al. 2013). در گام بعد تصاویر ماهواره‌ای مربوط به هر کدام از این وقایع به‌صورت بصری مورد ارزیابی قرار گرفتند تا تصاویری با درصد ابرناکی بالا، حذف شوند (Moridnejad et al. 2015a).

### ۳-۲- بارزسازی گرد و غبار با استفاده از تکنیک های سنجش از دوری

در مطالعه حاضر از داده های سنجنده مادیس (MODIS) استفاده شد. این سنجنده دارای ۳۶ باند در بازه ۰,۴۱ تا ۱۴,۴ میکرومتر می باشد. رزولوشن مکانی این سنجنده در محدوده Nadir برابر با ۰,۲۵، ۰,۵ و ۱ کیلومتر است. این سنجنده بر روی دو ماهواره ی Terra (تاریخ پرتاب دسامبر ۱۹۹۹) و Aqua (تاریخ پرتاب می ۲۰۰۲) قرار دارد. در این تحقیق از داده‌های Level1-B سنجنده مادیس قرار گرفته بر روی ماهواره Aqua (MYD021KM) استفاده شده است. این داده‌ها دارای رزولوشن ۱ کیلومتری هستند و در سطح پردازشی Calibrated radiances قرار دارند. پس از اخذ تصاویر روزهای گرد و غباری تعیین شده در گام قبل و حذف تصاویر با درصد بالای ابرناکی، ابتدا تصاویر با استفاده از نرم افزار ENVI ژئورفرنس شده و سپس محاسبه بازتاب بالای جو (TOA Reflectance) و محاسبه دمای درخشندگی (Brightness Temperature) برای باندهای مختلف انجام شد. همچنین برای



صحت سنجی مدل‌سازی‌ها از داده‌های Level-2 آئروسول این سنجنده با نام MYD04\_3K استفاده شد. ( Karimi et al. 2012; Moridnejad et al. 2015a; Moridnejad et al. 2015b ).

### □ ۱-۲-۳. الگوریتم MEDI

در تحقیق حاضر از تصاویر ماهواره‌ای برای مطالعه‌ی تعیین الگوی مکانی زمانی و محل وقوع پدیده گرد و غبار در منطقه خاورمیانه استفاده شد. به دلیل یکسان بودن میزان بازتاب آئروسول‌ها و مناطق بیابانی فرآیند بارزسازی آئروسول‌ها و ذرات گرد و غبار بر سطوح بیابانی بر خلاف اقیانوس‌ها و پیکره‌های آبی امری مشکل است، در نتیجه استفاده صرف از تصاویر به‌دست آمده در ناحیه مرئی به‌تنهایی کافی نخواهد بود. علاوه بر این، چالش‌های فراوانی برای جداسازی ذرات معدنی، نمک دریایی و آلودگی‌های انسان ساز از ذرات گرد و غبار وجود دارد. در نتیجه همانطور که در فصل قبل بیان شد، مطالعه‌های بسیاری (مانند الگوریتم‌های آکرمین و میلر) اقدام به استفاده از اختلاف دمای درخشندگی (Brightness Temperature) مابین ذرات آئروسول و سطح زمین برای شناسایی پدیده‌ی گرد و غبار کرده‌اند. اختلاف در دمای درخشندگی (BTD) بر اساس اختلاف دما مابین سطح زمین (گرم‌تر) و ذرات آئروسول (سردتر) گسترش یافته است. این الگوریتم‌ها عمدتاً از تاثیر جذب امواج توسط سایر گازهای موجود در اتمسفر نیز تاثیر کمی می‌پذیرند. در مطالعه حاضر از مدلی جدید به نام MEDI که در سال ۲۰۱۲ توسط کریمی و همکاران توسعه یافته است، استفاده شد. در این الگوریتم، ۴ مدل اصلی برای بارزسازی پدیده گرد و غبار شامل آکرمین، روسکاونسکی، شاخص NDDI و الگوریتم Deep Blue برای خاورمیانه با یکدیگر مقایسه و مزایا و معایبشان ارزیابی شد. برای این منظور و برای آنالیز عملکرد داده‌های سنجنده MODIS در مطالعه پدیده گرد و غبار، سه واقعه‌ی مهم گرد و غباری در خاورمیانه مورد مطالعه قرار گرفت. به دلیل شرایط خاص پدیده گرد و غبار در خاورمیانه (بیابان‌های درخشان‌تر، تنوع کانی‌های موجود در منابع گرد و غباری و وقوع گرد و غبار در شرایط آب و هوایی مختلف) هیچ کدام از الگوریتم‌های فوق عملکرد کارآمدی در بارزسازی گرد و غبار و جداسازی‌شان از سطوح بیابانی، از خود نشان ندادند. بر این اساس مدلی جدید متناسب با شرایط

خاورمیانه به نام الگوریتم MEDI بر پایه داده‌های سنجنده MODIS که پیش از این توسعه یافته بود، در مطالعه حاضر استفاده شد. لازم به ذکر است که الگوریتم MEDI به‌طور خاص برای منطقه خاورمیانه توسعه یافته و با توجه به اینکه مطالعه حاضر بر روی وقایع گرد و غباری جنوب غرب ایران، که منشأشان منابع خاورمیانه هستند تمرکز دارد، لذا استفاده از این الگوریتم نتایج دقیق‌تری خواهد داشت. در ادامه روند محاسباتی برای بارزسازی گرد و غبار استفاده شده در الگوریتم MEDI به‌همراه روابط موجود در این الگوریتم، مورد بررسی قرار خواهد گرفت ( Karimi et al. 2012; Moridnejad et al. 2015a; Moridnejad et al. 2015b).

$$MEDI = [(BT31 - BT29) / (BT32 - BT29)] * A \quad (1\_3)$$

$$A = -999 \text{ if } NDDI < 0 \quad (2\_3)$$

$$A = 1 \text{ if } NDDI > 0$$

$$NDDI = (\rho_{2.13} - \rho_{0.469}) / (\rho_{2.13} + \rho_{0.469}) \quad (3\_3)$$

$$Dust = 0 < MEDI < 0.6 \quad (4\_3)$$

همانطور که در روابط (۱-۳ تا ۴-۳) مشخص است، به‌منظور بارزسازی پدیده گرد و غبار با الگوریتم MEDI ابتدا می‌بایست مقدار A در رابطه (۱-۳) را با استفاده از شاخص NDDI (رابطه ۳-۳) محاسبه نمود. برای محاسبه شاخص NDDI، از اختلاف بازتاب گرد و غبار در طول موج ۲,۱۳ میکرومتر (باند ۷ از سنجنده مادیس) با بازتاب آن در طول موج ۰,۴۶۹ میکرومتر (باند ۳ از سنجنده مادیس) استفاده می‌شود. همانطور که در بخش داده‌های مورد استفاده بیان شده، پس از اخذ داده‌های سنجنده مادیس و ژئورفرنس نمودنشان (به پیوست ۲ مراجعه شود)، میزان بازتاب برای باندهای ۳ و ۷ این سنجنده محاسبه می‌شود. با استفاده از ابزار Band Math در نرم افزار ENVI 5.3 اقدام به محاسبه شاخص NDDI برای هر کدام از وقایع گرد و غباری شد. در این الگوریتم پیکسل‌ها با مقادیر بزرگتر از ۰ گرد و غبار و پیکسل‌های با مقادیر کمتر از ۰ نمایانگر ابر هستند. با توجه به این نکته

مقدار A در الگوریتم MEDI بدین شکل تعیین شده است: برای مقادیر کمتر از ۰ معادل با منفی ۹۹۹ و مقادیر بزرگتر از ۰ معادل با ۱ ( Karimi et al. 2012; Moridnejad et al. 2015a; ) (Moridnejad et al. 2015b).

لازم به ذکر است از این شاخص برای ایجاد تمایز مابین ابرهای سیروس، عوارض زمین (به جز شن و ماسه) و آب با گرد و غبار استفاده می‌شود. پس از محاسبه مقدار A می‌بایست مقدار شاخص MEDI (رابطه ۳-۱) را به دست آورد. برای این کار از تفاضل دمای درخشندگی باند ۳۱ و ۲۹ و تفاضل دمای درخشندگی باندهای ۳۲ و ۲۹ سنجنده مادیس استفاده می‌شود. به‌مانند فرآیند انجام گرفته برای شاخص NDDI، برای محاسبه مقدار MEDI ابتدا می‌بایست پس از اخذ و ژئورفرنس نمودن داده‌های سنجنده مادیس، مقدار دمای درخشندگی را برای باندهای ۲۹، ۳۱ و ۳۲ محاسبه کرد و سپس با استفاده از ابزار Band Math اقدام به محاسبه شاخص MEDI نمود. پیسکل‌های دارای مقادیر کمتر از ۰٫۶ و بزرگتر از ۰ عموماً نماینگر گرد و غبار می‌باشند. از حل معادله‌ی پلانک دمای درخشندگی بدست می‌آید که دمای معادل با انرژی تابشی دریافتی از سطح زمین توسط سنجنده است. معادله‌ی پلانک به شکل زیر است:

$$B\lambda = \frac{2hc^2\lambda^{-5}}{\frac{hc}{e^{k\lambda T}} - 1} \quad (5-3)$$

و در آن  $B\lambda$  رادیانس یا شدت تابشی طول موج بر حسب وات بر متر مربع،  $h$  ثابت پلانک و  $6.626 \cdot 10^{-34} \text{js}$ ،  $k$  ثابت بولتزمن  $1.381 \cdot 10^{-23} \text{J/k}$ ،  $c$  سرعت نور،  $\lambda$  طول موج به متر و  $T$  دمای سطح جسم سیاه به کلوین است. به این شکل دمای درخشندگی باندهای ۳۱ و ۳۲ با معادله زیر بدست می‌آید (Gebreyesus et al. 2009).

$$T = \frac{c_1}{\lambda \ln\left(\frac{c_2}{\lambda \pi} + 1\right)} \quad (6-3)$$

$$c_1 = 0.0143843mk \text{ و } c_2 = 3.47192 * 10^{-16}w/m^2$$

### ۲-۲-۳. الگوریتم Deep Blue AOD

عمیق آبی یک الگوریتم است که با استفاده از داده‌ها و ابزارهای ماهواره‌ای، عمق نوری آئروسول (AOD) را بر روی زمین محاسبه می‌کند. الگوریتم عمیق آبی این محاسبه را با استفاده از اندازه‌گیری در طول موج‌های مختلف، با وضوح متفاوت بین خصوصیات سطح و اتمسفر انجام می‌دهد. این فرآیند به عنوان بازیابی شناخته می‌شود. در بسیاری از طول موج‌های نور مرئی وضوح بین آئروسول‌ها و سطح دشوار است، اما سیگنال‌های آئروسول در باند ۴۱۲ نانومتر تمایل به روشن بودن و ویژگی‌های سطح تاریک دارند. باند ۴۱۲ نانومتر اغلب به عنوان گروه عمیق آبی معرفی می‌شود که الگوریتم نام خود را از آن دریافت می‌کند.

بازیابی AOD در باند ۴۱۲ نانومتر، امکان افزایش پوشش مکانی نسبت به الگوریتم هدف تیره را فراهم می‌کند که باعث می‌شود فرض‌های مختلفی در مورد سطوح روشن مانند کویر درست نباشد. بر روی سطح زمین، الگوریتم عمیق آبی از نورهای مختلف برای سطوح روشن (عمدتاً ۴۱۲، ۴۹۰/۴۷۰ نانومتر) و سطوح تاریک (عمدتاً ۴۹۰/۴۷۰، ۶۵۰ نانومتر) استفاده می‌کند. برای سطح آب، الگوریتم عمیق آبی استفاده نمی‌شود. با این حال، داده‌های اطلاعاتی عمیق آبی حاوی داده‌های آئروسول در اقیانوس‌ها هستند که از یک الگوریتم متفاوت بر اساس یک رویکرد معکوس چندمتغیری استفاده می‌شود (Chen et al. 2015).

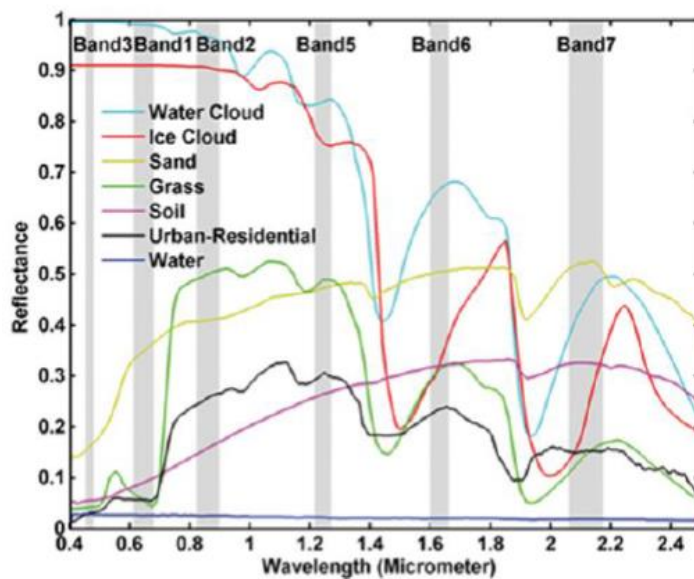
### ۳-۲-۳. شاخص نرمال شده گرد و غبار (NDDI)<sup>۱</sup>

طوفان‌های گرد و غبار زمانی رخ می‌دهند که ذرات گرد و غبار در اتمسفر معلق شوند و توده‌های گرد و غبار شکل گیرند. این پدیده بر روی مسیر حرکت امواج الکترو مغناطیسی اثر می‌گذارد و باعث بازتاب، پخش و جذب انرژی تابشی خورشید می‌شود که این امر باعث تغییر مقادیر آشکار شده

---

<sup>۱</sup> Normalize Different Dust Index

به وسیله سنجنده‌ها می‌شود و به وسیله همین خصوصیت می‌توان طوفان‌های گرد و غبار را در تصاویر ماهواره‌ای آشکار نمود. برای آشنایی با خصوصیات پدیده‌های مختلف در تصاویر می‌توان از پاسخ طیفی آنها استفاده نمود. در شکل (۳-۱) امضا طیفی ابر یخی، ابر آبی، آب، خاک، شن، ساختمان‌های شهری و علفزارها در محدوده طیفی ۰,۴ تا ۲,۵ میکرومتر که در کتابخانه طیفی (ASTER) موجود است، نشان داده شده است.



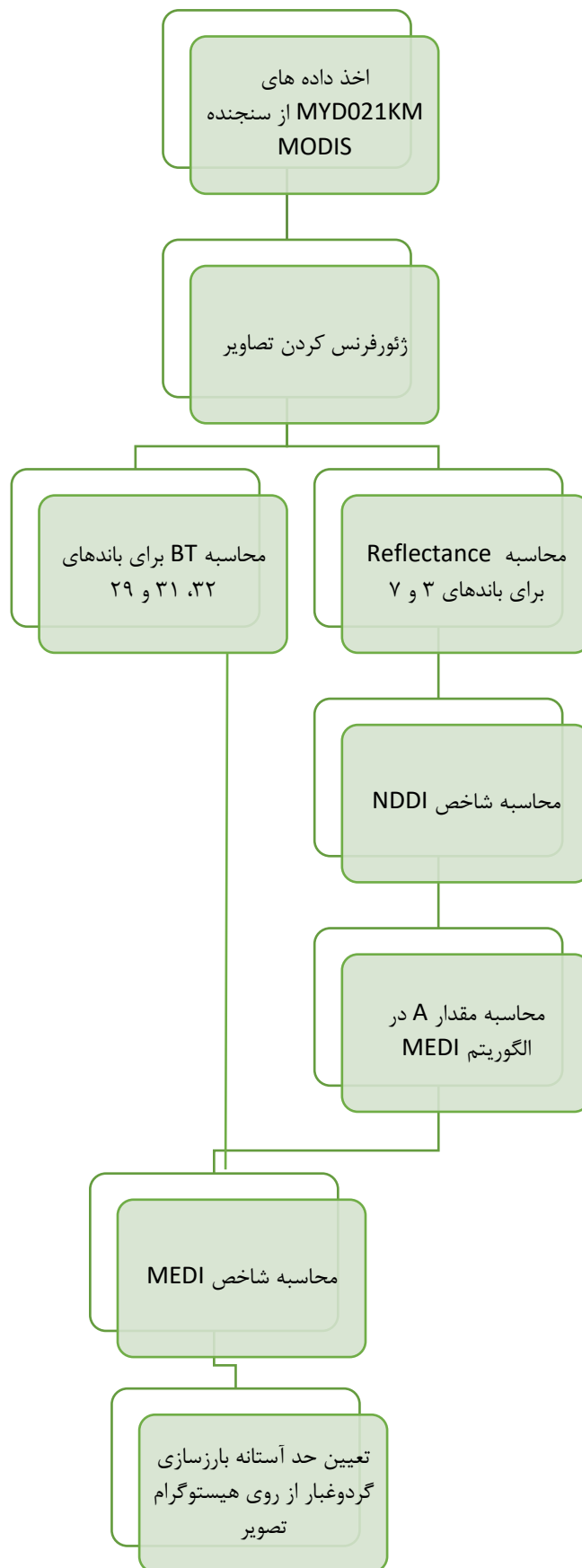
شکل (۳-۱) بازتاب ابر یخی، ابر آبی، آب، خاک، شن، ساختمان‌های شهری و علفزارها در محدوده طیفی ۰,۴ تا ۲,۵ میکرومتر (کتابخانه طیفی ASTER)

با توجه به شکل بالا با افزایش طول موج از ۰,۴ تا ۲,۵ میکرومتر، بازتاب گرد و غبار معمولاً افزایش می‌یابد. کم‌ترین مقدار بازتاب گرد و غبار در باند ۳ مادیس (۰,۴۶۹ میکرومتر) و بیشترین مقدار در باند ۷ (۲,۱۳ میکرومتر) است در حالی که مقدار بازتاب ابر در باندهای ذکر شده برعکس گرد و غبار است و از این خاصیت می‌توان جهت تفکیک این دو پدیده استفاده نمود.

بر همین اساس وانگ و همکاران در سال ۲۰۰۶ شاخص گرد و غبار نرمال شده (NDDI) را به صورت زیر تعریف کردند (Tao et al. 2005):

$$NDDI = \frac{\rho_1 - \rho_3}{\rho_1 + \rho_3} \quad (۷-۳)$$

که در رابطه ۳-۷  $\rho_1$  و  $\rho_3$  مقدار بازتاب در باندهای ۳ و ۷ مادیس در بخش بالای اتمسفر هستند. مقادیر بزرگتر از ۰,۲۸ در این شاخص نشان دهنده‌ی گرد و غبار است. در ادامه روند محاسبات مورد استفاده در مطالعه حاضر به صورت شماتیک ارائه شده است. (Karimi et al. 2012; Moridnejad et al. 2015a; Moridnejad et al. 2015b).



شکل (۲-۳) الگوریتم تشخیص گرد و غبار با استفاده از شاخص MEDDI

### ۳-۳- تعیین جهت باد در روزهای گرد و غباری

جهت تحلیل دقیق‌تر نتایج کار و تعیین مسیر پخش و پراکنش توده‌های گرد و غباری بارز شده در مرحله قبل اطلاع از جهت و سرعت باد در منطقه ضروری است. لذا در این مطالعه اقدام به رسم نقشه باد منطقه خاورمیانه در ساعت ۱۲ (به وقت محلی) روزهای گرد و غباری گردید (ساعت اخذ تصاویر ماهواره مادیس بین ۹ تا ۱۲ ظهر به وقت محلی می‌باشد). برای این منظور از داده‌های هواشناسی GDAS1.0 و نرم افزار MetoInfo استفاده شد. <sup>۱</sup> GDAS یکی از سیستم‌های عملیاتی توسعه یافته توسط NCEP<sup>۲</sup> است. این مدل جوی، داده‌های هواشناسی شبکه بندی شده سه‌ساعته، با رزولوشن مکانی افقی ۱\*۱ درجه با نام GDAS1 و ۰/۵ \* ۰/۵ درجه با نام GDAS0.5 تولید می‌کند. آرشیو فایل‌های هواشناسی GDAS1.0 از دسامبر ۲۰۰۴ در دسترس است، این داده‌ها در سیستم مختصات قائم فشار و در ۲۳ لایه فشار مابین سطح زمین (فشار ۱۰۰۰ هکتوپاسکال) تا ۲۶ کیلومتری (۲۰ هکتوپاسکال) حاوی اطلاعات است (ARL, 2015). رزولوشن مکانی افقی این داده‌ها ۱\*۱ درجه است (هر درجه بیانگر طولی به‌اندازه ۱۰۰ کیلومتر می‌باشد) و هر شبکه مساحتی با ابعاد ۱۰۰\*۱۰۰ کیلومتر مربع را در برمی‌گیرد. این داده‌ها به‌صورت هفتگی از آرشیو ARL قابل دانلود هستند، حجم هر فایل برای هر هفته حدود ۶۰۰ مگابایت می‌باشد. توزیع لایه‌های فشار در این داده‌ها در جدول (۳-۱) آمده است. در این مطالعه جهت تحلیل نتایج از نقشه‌های باد در ارتفاع ۱۰۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال استفاده شد. بررسی نقشه‌های باد در ارتفاع ۱۰۰۰ هکتوپاسکال برای مناطق منبع گرد و غبار و ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال برای مناطق اطراف منبع گرد و غبار دارای اهمیت است. (Hamidi et al. 2013; Moridnejad et al. 2015a).

---

<sup>۱</sup> Global Data Assimilation System

<sup>۲</sup> National Center's for Environmental Prediction



جدول (۱-۳) توزیع لایه‌های قائم داده‌های هواشناسی GDAS1.0 (Su et al., 2015; ARL, 2015)

Vertical level	Height(hPa)	Height(m)
1	1000	0-900
2	975	
3	950	
4	925	
5	900	
6	850	900-4000
7	800	
8	750	
9	700	
10	650	
11	600	
12	550	4000-8500
13	500	
14	450	
15	400	
16	350	
17	300	
18	250	
19	200	8500<
20	150	
21	100	
22	50	
23	20	

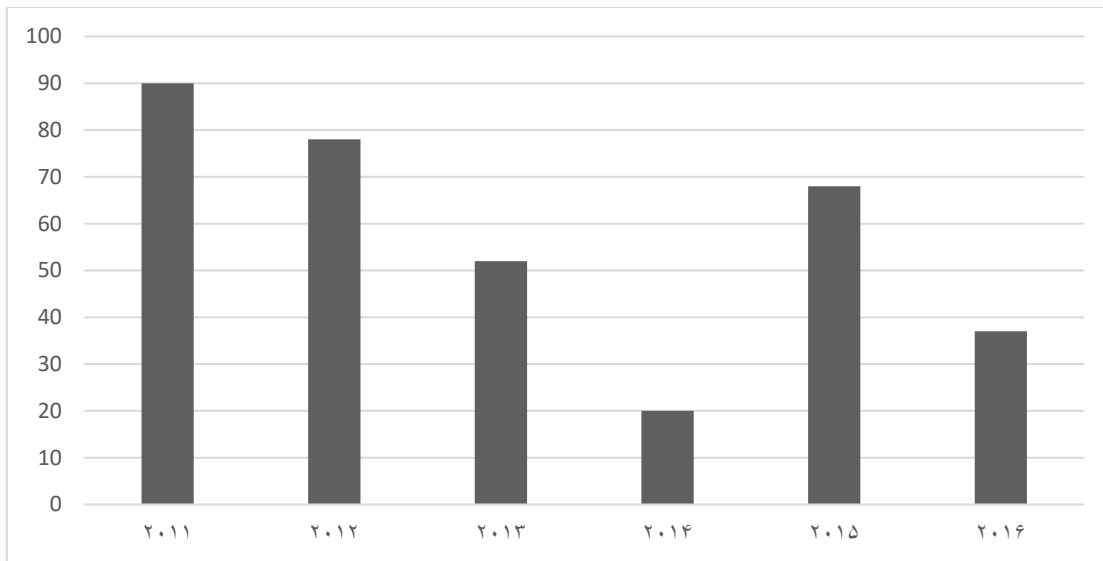


فصل چہارم :

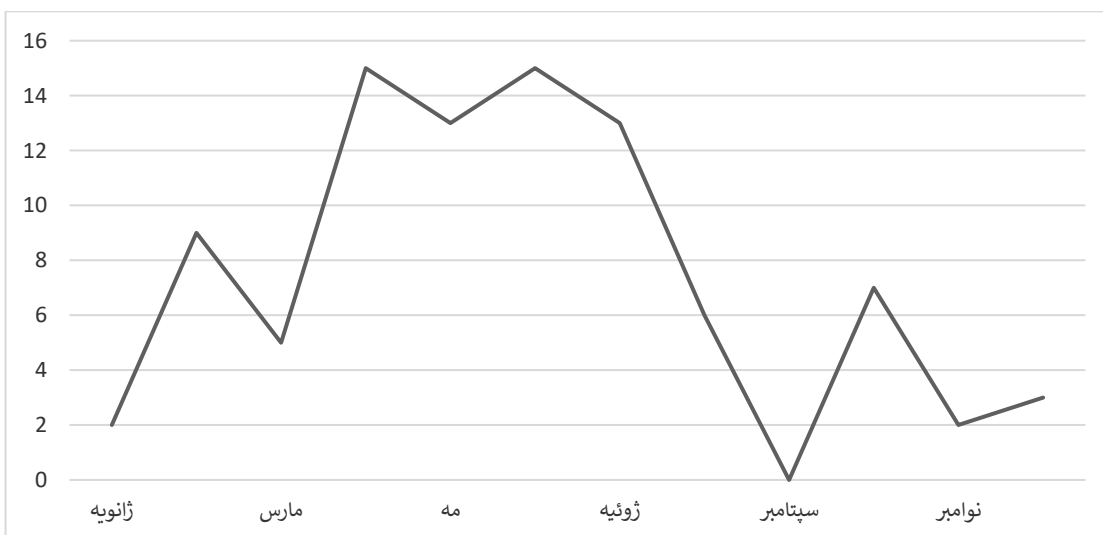
نتایج و تفسیر آنها

#### ۴-۱- نتایج

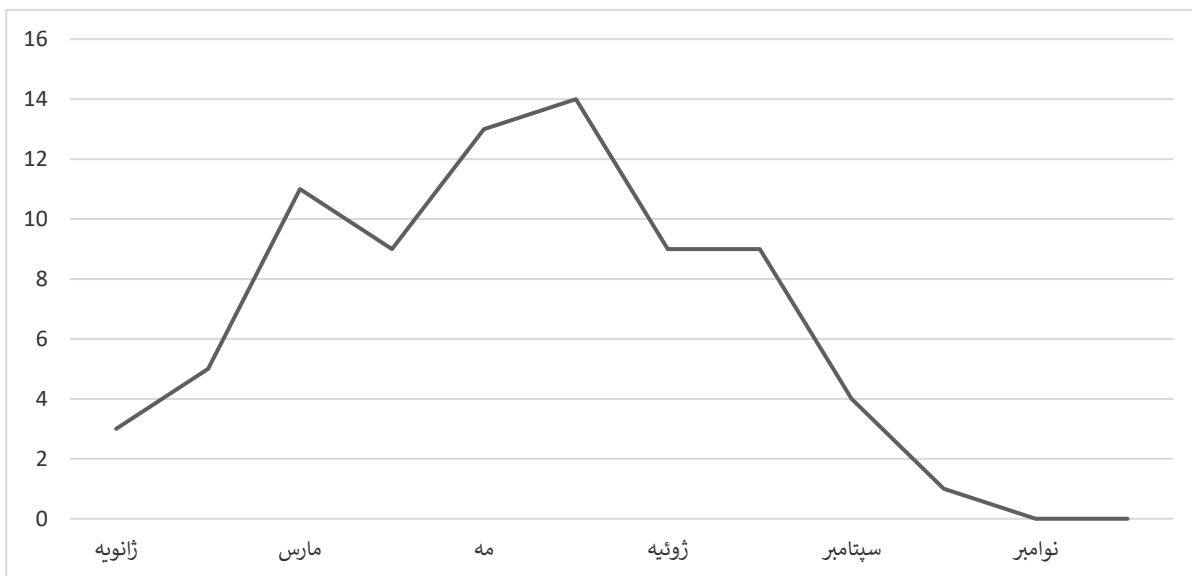
با توجه به معیارهای ذکر شده در بخش روش تحقیق، ۳۴۵ روز به‌عنوان روز گرد و غباری در شهر اهواز در بازه‌ی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۶ تعیین شد. آمار مربوط به روزهای گرد و غباری در بازه مورد مطالعه در شکل‌های ۴-۱ تا ۴-۸ نشان داده شده است.



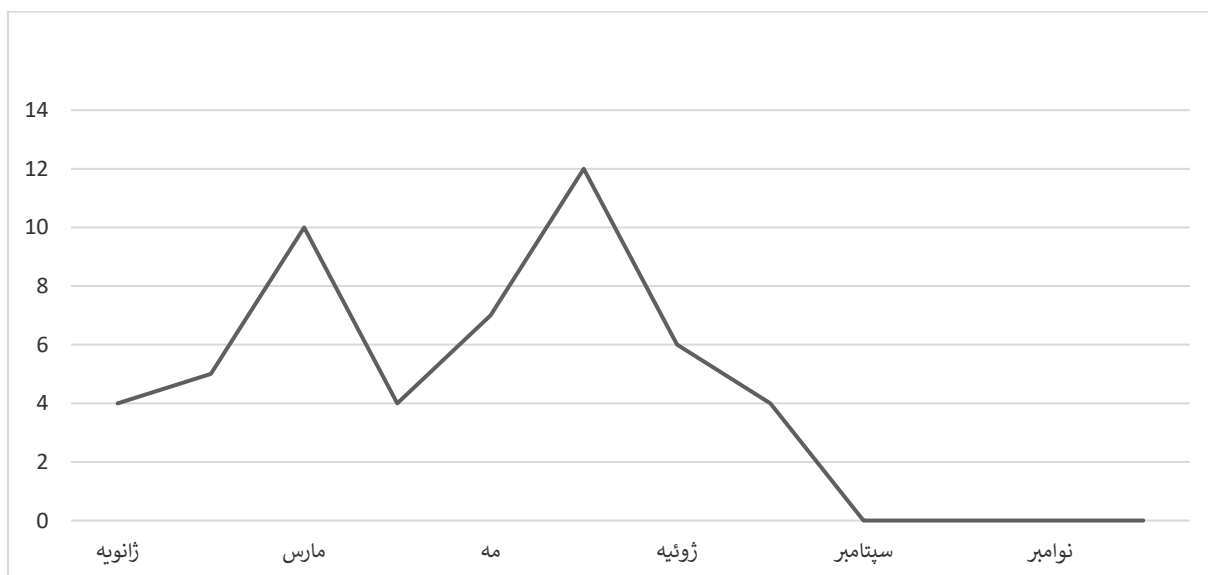
شکل (۴-۱) تعداد روزهای گرد و غباری شهر اهواز در بازه‌ی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۶



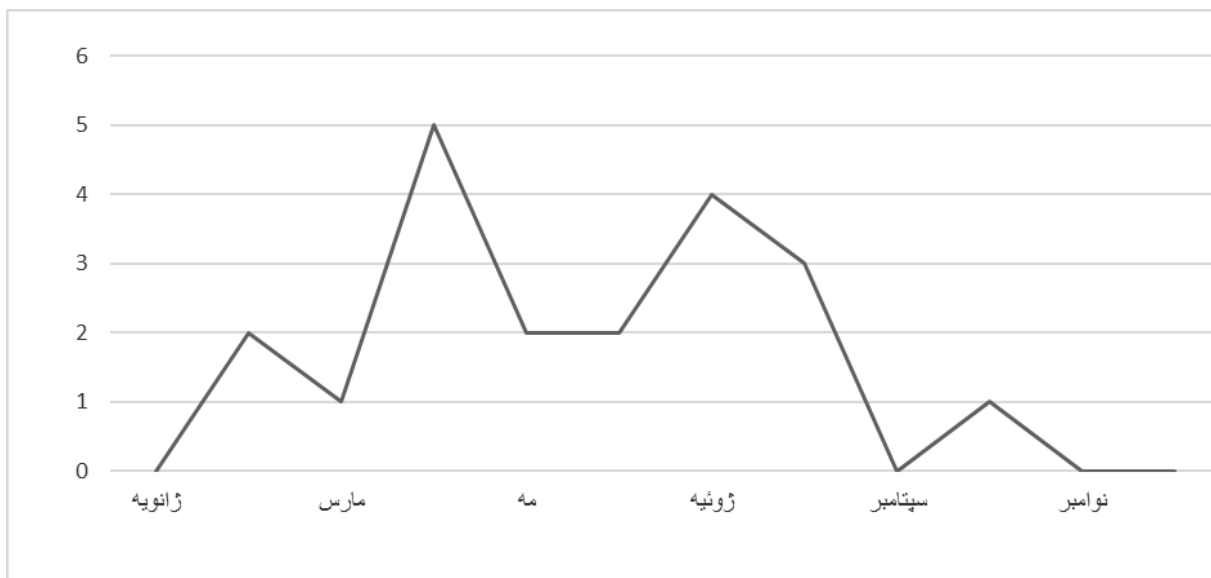
شکل (۴-۲) تعداد روزهای گرد و غباری در ماه‌های مختلف سال ۲۰۱۱



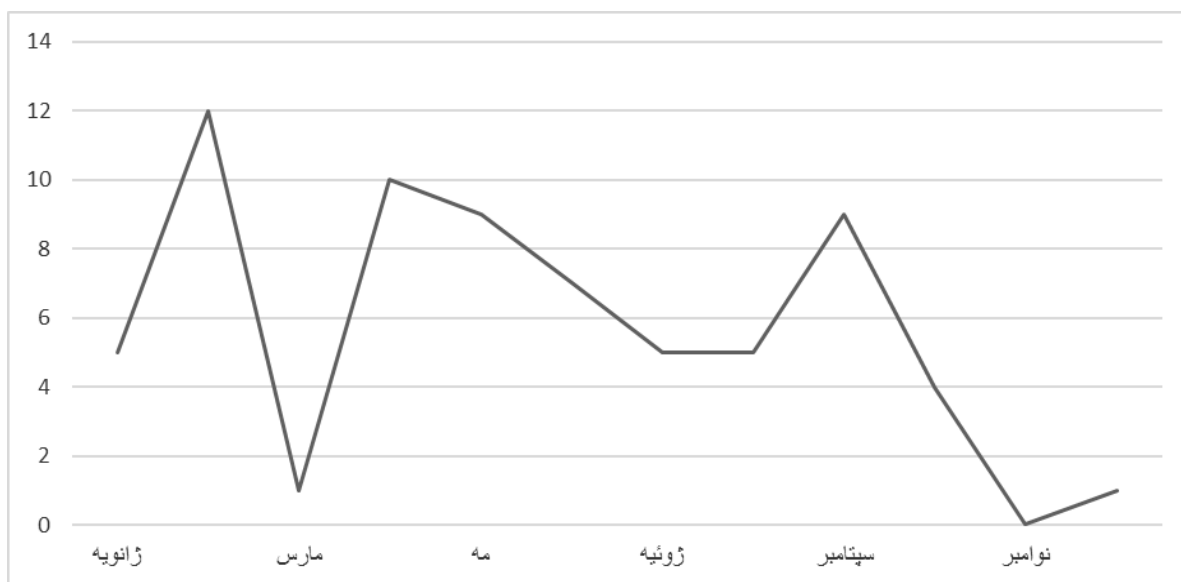
شکل (۳-۴) تعداد روزهای گرد و غباری در ماه‌های مختلف سال ۲۰۱۲



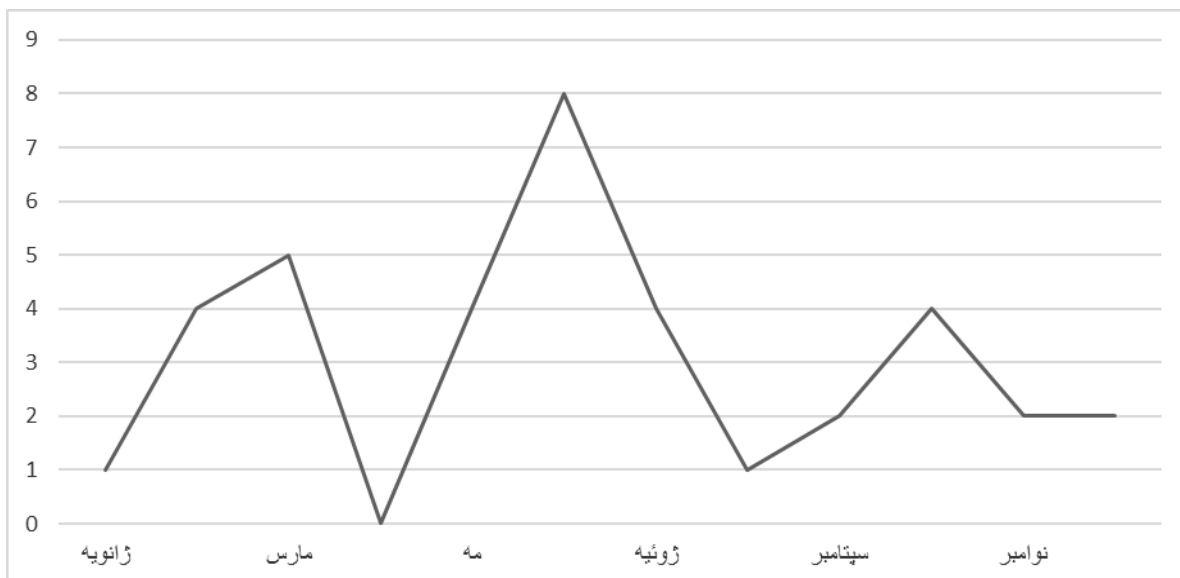
شکل (۴-۴) تعداد روزهای گرد و غباری در ماه‌های مختلف سال ۲۰۱۳



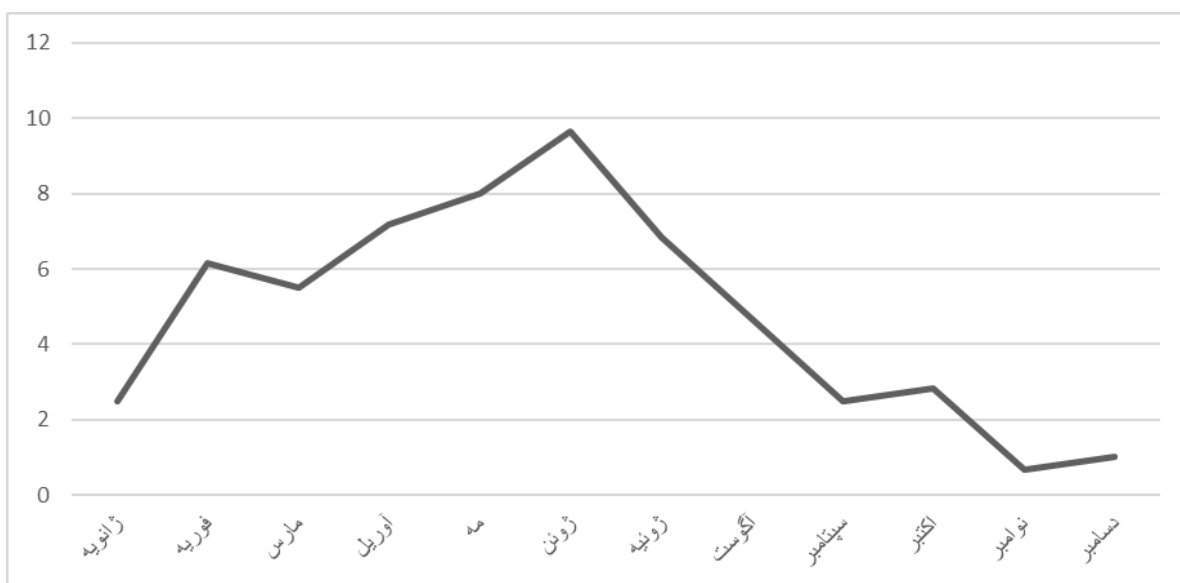
شکل (۴-۵) تعداد روزهای گرد و غباری در ماه‌های مختلف سال ۲۰۱۴



شکل (۴-۶) تعداد روزهای گرد و غباری در ماه‌های مختلف سال ۲۰۱۵



شکل (۴-۷) تعداد روزهای گرد و غباری در ماه‌های مختلف سال ۲۰۱۶



شکل (۴-۸) میانگین تعداد روزهای گرد و غباری در ماه‌های مختلف در بازه ی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۶

مطابق این شکل‌ها بیشترین روزهای گرد و غباری به ترتیب در فصل‌های تابستان (ژوئن، ژوئیه و آگوست)، بهار (مارس، آوریل و مه)، زمستان (دسامبر، ژانویه و فوریه) و پاییز (سپتامبر، اکتبر و نوامبر) مشاهده می‌شود. دلیل اصلی بالا بودن تعداد روزهای گرد و غباری در فصول گرم (بهار و تابستان) افزایش دما، کاهش بارش و رطوبت خاک در کنار افزایش سرعت باد در منطقه است که منجر به کاهش سرعت آستانه اصطکاکی خاک می‌شود. در تابستان، طوفان‌های گرد و غباری در منطقه

خاورمیانه تحت تاثیر اختلاف فشار بین مناطق پرفشار شرق اروپا، مدیترانه یا شمال آفریقا و مناطق کم‌فشار خلیج فارس و شبه جزیره عربستان است. این اختلاف فشار می‌تواند منجر به تشکیل بادهای شمال تابستانی شود. وزش شدید و روزانه باد شمال تابستانی باعث برخاستن توده‌های گرد و غبار از حوضه ی بین النهرین در عراق و سوریه و ایجاد طوفان گرد و غبار در خلیج فارس و شبه جزیره عرب می‌شود. تشکیل طوفان گرد و غبار در فصل زمستان ناشی از وزش دو نوع باد است. نوع اول که Prefrontal نامیده می‌شوند باعث به‌وجود آمدن بادهای شرجی (در عربی به معنای جنوبی) و منجر به انتقال گرد و غبار بر روی شمال شبه جزیره عرب، عراق و جنوب غرب ایران می‌شود. نوع دوم Postfrontal می‌باشد که تحت تاثیر وزش بادی مشابه باد شمال فصل زمستان به‌وجود می‌آیند. با توجه به شکل ۴-۱ بیشترین و کمترین تعداد روزهای گرد و غباری به ترتیب در سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۴ ثبت شده است. لازم به ذکر است با استفاده از الگوریتم MEDI نمی‌توان طوفان‌های گرد و غباری را بر اساس جدول (۲-۱) (Hoffmann et al. 2008) طبقه‌بندی کرد.

#### ۴-۱-۱. آنالیز داده‌های هواشناسی ایستگاه همدیدی اهواز

همانطور که در بخش قبل گفته شد دلیل اصلی بالا بودن تعداد روزهای گرد و غباری در فصول گرم (بهار و تابستان) افزایش دما، کاهش بارش و رطوبت خاک در کنار افزایش سرعت باد در منطقه است که منجر به کاهش سرعت آستانه اصطکاکی خاک می‌شود. آمار مربوط به میانگین دمای ماهانه، مجموع بارش ماهانه و میانگین سرعت باد ماهانه که از ایستگاه هواشناسی اهواز در بازه مورد مطالعه دریافت گردید، در جدول‌های ۴-۱ تا ۴-۳ نشان داده شده است. مطابق این جداول می‌توانیم نتیجه بگیریم در ماه‌های فصول گرم سال (بهار و تابستان)، تعداد روزهای گرد و غباری در بیشتر موارد با مجموع بارش ماهانه رابطه عکس و با میانگین سرعت باد ماهانه و میانگین دمای ماهانه رابطه مستقیم دارد.



جدول (۱-۴) میانگین دمای ماهانه اهواز (°C)

سال	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
<b>2011</b>	13.3	14.7	19.4	26.5	33.5	37.6	39.1	38.1	34.2	27.2	17.7	13.1
<b>2012</b>	12.9	14.1	18.6	26.2	34	37.5	39.6	38.6	33.5	28.3	20.3	14.6
<b>2013</b>	13.2	16.5	21.2	26.3	30.5	36.3	38.2	36.7	33.2	25.1	19.6	13.4
<b>2014</b>	12.5	15.1	20.3	26.9	33.1	36.9	38.5	37.8	34.1	27.5	18.5	15.4
<b>2015</b>	14	16.8	20.3	26.5	33.5	37.7	39.4	39.1	35.2	29.2	19.3	13.3
<b>2016</b>	13.1	17	21	25.9	33.3	37.5	39	38.8	33.8	27.3	19.4	14.3

جدول (۲-۴) مجموع بارش ماهانه اهواز (mm)

سال	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
<b>2011</b>	42.8	56.7	12.1	10.4	3	0	0	0	0	0	19.4	0
<b>2012</b>	9.8	67.4	0.9	6.1	0.4	0	0	0	0	0.3	103.6	55
<b>2013</b>	43.1	0.1	2.7	1.2	22.4	0	0	0	0	0	56.4	7.6
<b>2014</b>	85.8	3.2	44.3	24.4	0.2	0	0	0	0	10.9	35.1	13.3
<b>2015</b>	5.1	30.3	41.1	1.4	0	0	0	0	0	68.7	11	90.1
<b>2016</b>	38.9	4.7	38.3	26.6	0.1	0	0	0	0	0	0	43.2

جدول (۳-۴) میانگین سرعت باد ماهانه اهواز (m/s)

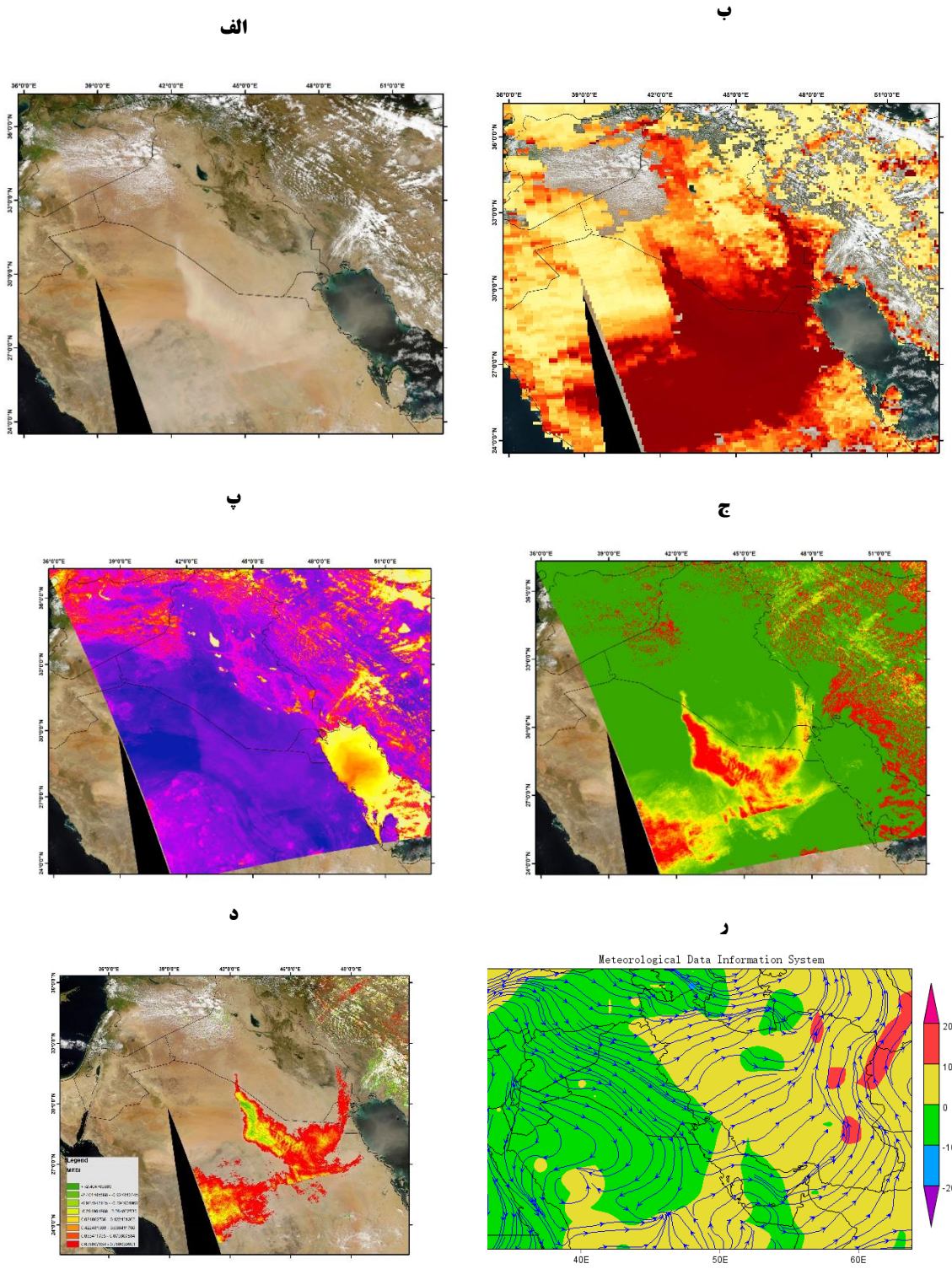
سال	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
<b>2011</b>	2	2.1	2.5	3.1	2.8	3.5	2.9	3	2.4	2.4	2	1.7
<b>2012</b>	1.9	2.5	3.2	2.3	2.7	3.4	2.9	2.8	1.9	1.6	1.7	1.6
<b>2013</b>	1.6	1.9	2.4	2.2	2.7	3.5	2.9	2.1	1.9	1.4	1.2	1.9
<b>2014</b>	1.4	1.7	1.6	1.9	2.1	3	3	2.4	2	2.1	1.6	1.3
<b>2015</b>	1.8	2.3	1.9	2.5	2.1	3.5	2.5	2.1	1.5	1.7	1.3	1.5
<b>2016</b>	1.8	2.1	2.2	1.9	2.8	2.6	2.9	2.3	2.3	1.5	1.9	2.3

## ۲-۴- نتایج بارزسازی الگوریتم MEDI بر روی طوفان های گرد و غباری

در ادامه، با استفاده از الگوریتم MEDI برخی از طوفان های گرد و غباری در بازه ی یاد شده مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

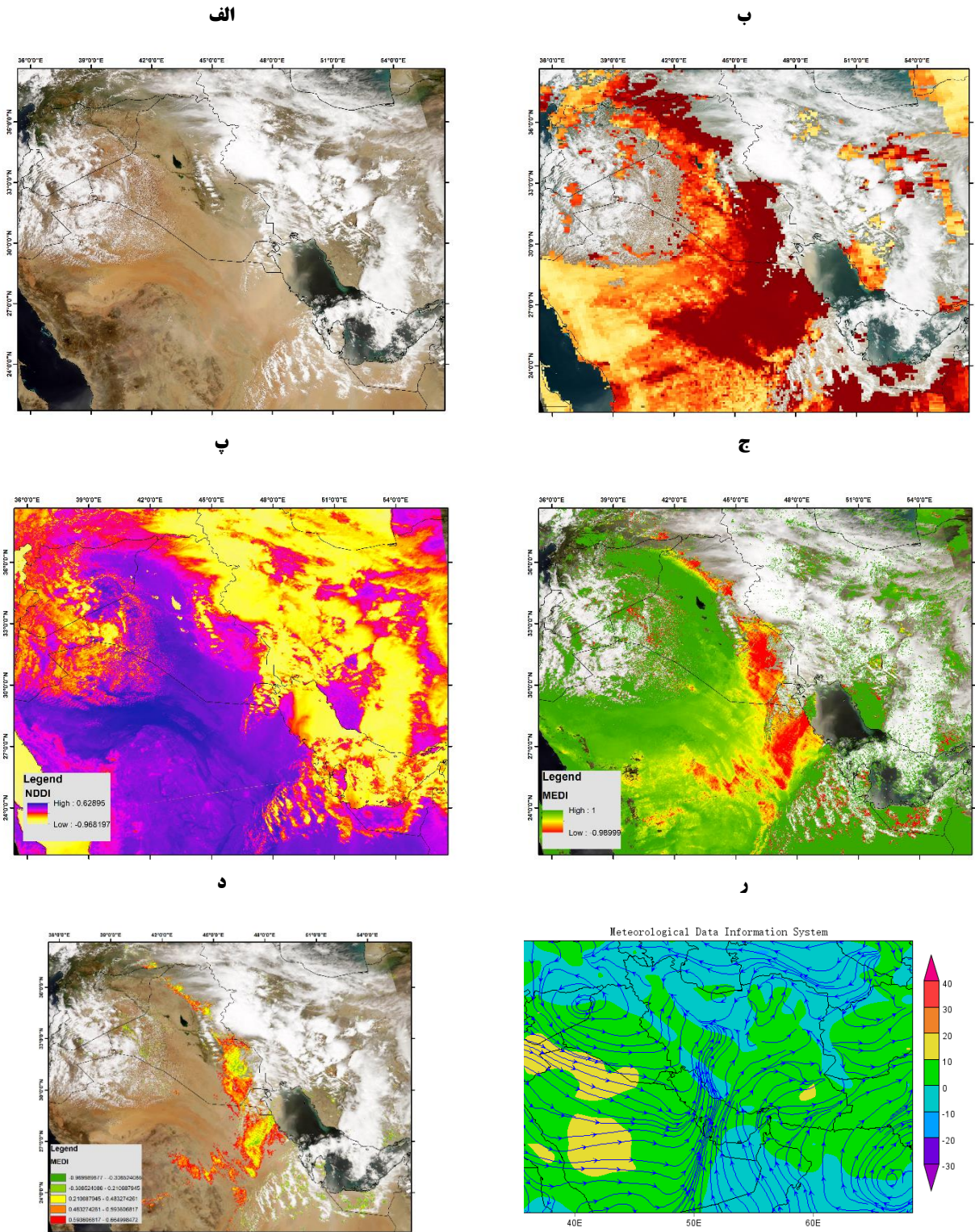
### ۲-۴-۱. طوفان گرد و غباری ۲۴ مارس ۲۰۱۳

براساس شکل ۴-۹ دو توده گرد و غبار در این تاریخ بر روی منطقه خاورمیانه مشاهده می شود. توده شدیدتر بر روی مناطق شمالی عربستان در مرز این کشور و عراق مشاهده می شود. با توجه به الگوی باد در منطقه در این تاریخ، منشا این توده بیابان های جنوب غربی کشور عراق است. همچنین توده ی دیگر با شدت کمتر بر روی مناطق مرزی ایران و عراق مشاهده می شود که بخش های مرکزی و جنوبی استان خوزستان را تحت تاثیر قرار می دهد. منشا این توده جنوب غربی کشور عراق در نزدیکی مرز ایران است. این ناحیه که بخش های جنوبی غربی و غرب استان خوزستان را در بر می گیرد، بخش های خشک شده تالاب های هورالعظیم را شامل می شود. ساخت سد، جنگ، خشکسالی و تغییرات اقلیمی از جمله دلایل خشک شدن در طی دهه های اخیر است.



شکل (۴-۹) طوفان گرد و غباری ۲۴ مارس ۲۰۱۳ (الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳)، (ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر (پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری





شکل (۴-۱) طوفان گرد و غباری ۵ آوریل ۲۰۱۳ الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندهی ۱، ۴ و ۳)، ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر پ) نتیجه شاخص NDDI ج) نتیجه شاخص MEDI د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری

#### ۴-۲-۲. طوفان گرد و غباری ۵ آوریل ۲۰۱۳

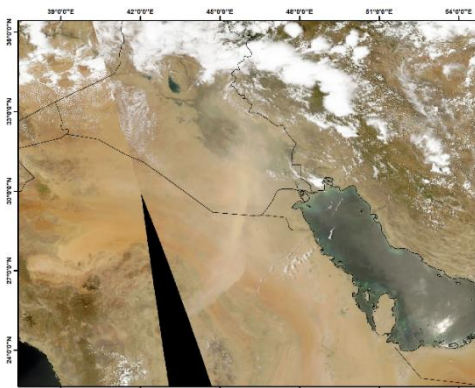
در این تاریخ، وزش باد شمال باعث انتشار و انتقال ذرات گرد و غبار بر روی ناحیه دجله و فرات و شبه جزیره عرب می‌شود (شکل ۴-۱۰). مطابق این شکل منشا یکی از توده‌ها مناطق مرزی شمال غرب عراق و شرق سوریه است. توده‌ی دیگر تشکیل شده بر روی کشور عراق که از شدت بیشتری برخوردار است، از منابع تولید گرد و غبار مرکز عراق منتشر می‌شوند. در گذشته مجموعه تالاب‌های بین‌النهرین (هورالحمار، تالاب مرکزی و هورالعظیم/هورالهویزه) به وسیله‌ی رودهای دجله، فرات و کرخه به هم متصل بوده‌اند. این تالاب‌ها از سال ۱۹۷۰ به صورت تدریجی در نتیجه ساخت سدهای فراوان در بالادست رودهای کرخه، دجله و فرات در کشورهای ایران، سوریه، عراق و ترکیه شروع به کاهش مساحت کردند. تا سال ۲۰۰۰ از میان سه تالاب فقط قسمتی از تالاب هورالعظیم باقی مانده بود و هورالحمار و تالاب مرکزی کاملاً خشک شده بودند. با توجه به الگوهای باد، این توده می‌تواند کویت، بخش‌های جنوب غربی عراق و استان‌های خوزستان و ایلام را تحت تاثیر قرار دهد. همچنین انتشار دو توده گرد و غباری دیگری از بیابان‌های دهننا و نفود در کشور عربستان در تصویر نمایان است.

#### ۴-۲-۳. طوفان گرد و غباری ۱۳ مه ۲۰۱۳

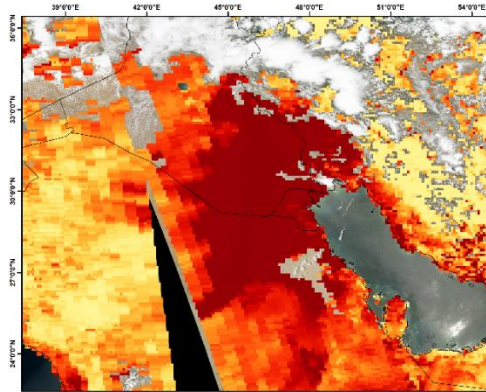
مطابق نقشه‌های الگوی باد برخلاف دو طوفان قبلی که جهت باد از شمال غرب به جنوب شرقی بود، در این تاریخ جهت باد از غرب به شرق است. با توجه به شکل ۴-۱۱، دو توده گرد و غباری بر روی کشورهای عراق و عربستان مشخص است. با توجه به جهت حرکت توده بر فراز عراق، این طوفان بخش‌های شرقی عراق، استان‌های غربی و جنوب غربی ایران (خوزستان، ایلام و لرستان) و کویت را تحت تاثیر قرار می‌دهد. منشا طوفان گرد و غباری ایجاد شده بر فراز عراق بخش‌های مرکزی و جنوبی عراق منتشر است. منشا مرکزی عراق بخش عمده‌ای از حوضه‌ی رودخانه‌های دجله و فرات را تشکیل می‌دهد. اگرچه این منبع از منشاها‌ی طبیعی منطقه محسوب می‌شود، گسترش این منشا حاصل فعالیت شدید کشاورزی، بیابان‌زائی، عدم مدیریت صحیح منابع آبی و تغییرات اقلیمی در سال



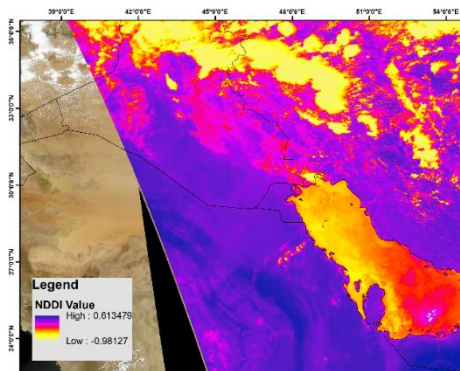
الف



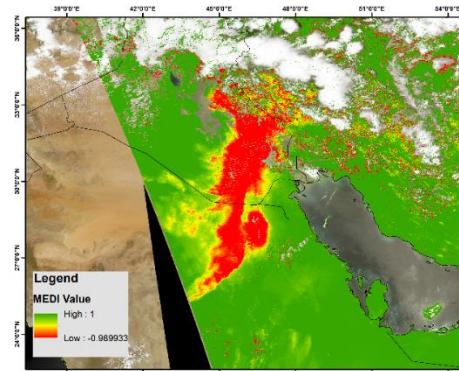
ب



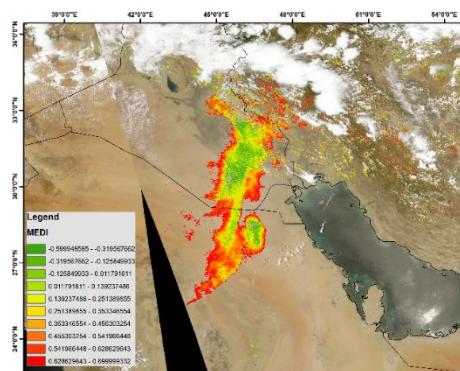
ج



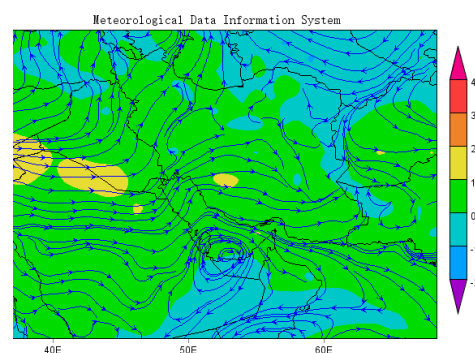
د



ه



و



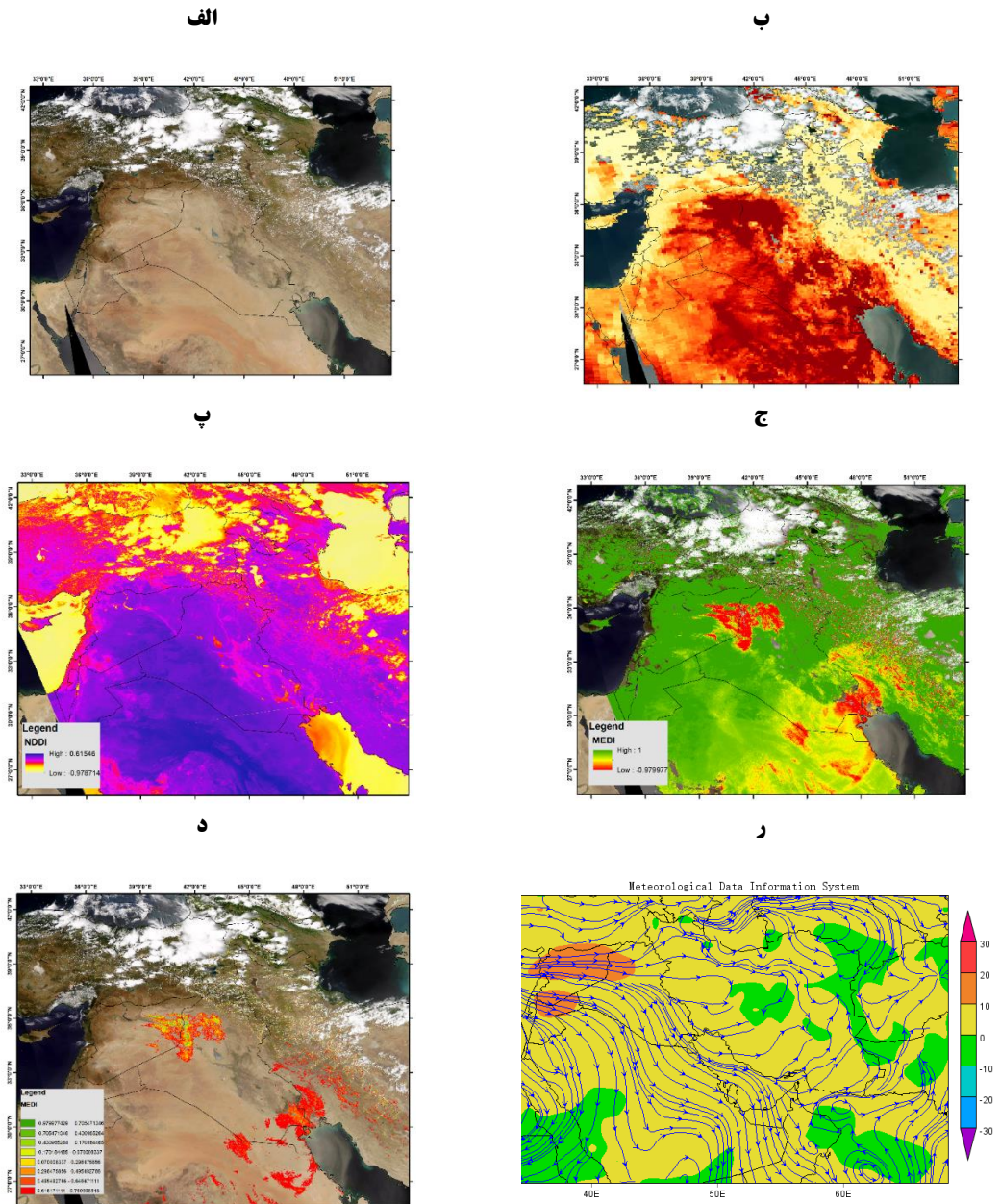
شکل (۴-۱۱) طوفان گرد و غباری ۱۳ مه ۲۰۱۳ (الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳)، (ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر (پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری

های اخیر است. منشا جنوب عراق در مرز کویت و عربستان صحرای زیبر نام دارد که در پی خشک

شدن پهنه‌های آبی حوضه دجله و فرات گسترش یافته است. همچنین، انتشار ذرات گرد و غبار از بیابان نفود در کشور عربستان بخش‌های شرقی این کشور و خلیج فارس را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

#### ۴-۲-۴. دوره ی طوفان های گرد و غباری ۱ تا ۴ ژوئن ۲۰۱۳

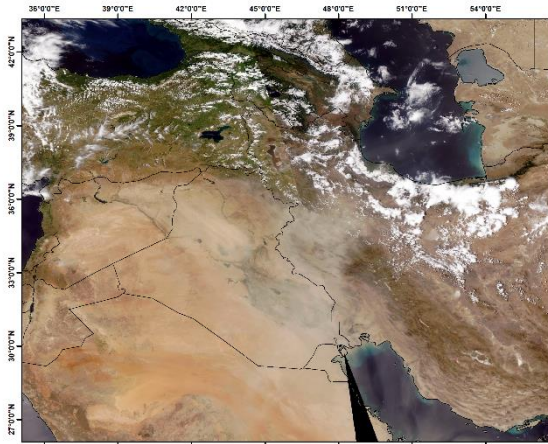
با توجه به شکل های ۴-۱۲ تا ۴-۱۵، طوفان‌های رخ داده در این بازه دارای منابع انتشار متفاوتی می‌باشند. در روز ۱ ژوئن، توده اصلی گرد و غبار از بیابان‌های مرکزی سوریه منتشر می‌شود. همچنین انتشار دو توده‌ی گرد و غبار دیگر در این روز مشاهده می‌شود. در جنوب شرقی عراق، ذرات گرد و غبار از نواحی خشک شده پهنه‌های آبی در عراق در نزدیکی مرز ایران و همچنین شمال غربی استان خوزستان برخاسته و استان خوزستان، شمال کویت و خلیج فارس را متاثر می‌کنند. همچنین انتشار ذرات گرد و غبار از بیابان زبیر در جنوب عراق و بیابان نفود در عربستان باعث تشکیل طوفان گرد و غبار نسبتاً پراکنده در شرق عربستان می‌شود. سه توده گرد و غبار فراگیر در روز ۲ ژوئن مشاهده می‌شود. توده‌ی اول از مناطق شرقی سوریه و شمال غرب عراق منتشر می‌شوند. این منشا به نوعی امتداد منشا مرکزی عراق به‌شمار می‌آید و در مرز عراق و سوریه حد فاصل استان نینوا در غرب عراق و شمال شرق شهرالرقه در شمال شرق سوریه قرار دارد. فعالیت‌های انسانی به‌ویژه کشاورزی بیش از حد، در به‌وجود آمدن این منشا نقش اصلی را ایفا کرده است. در این تاریخ توده گرد و غباری دیگری بر فراز مناطق غربی عراق تشکیل شده است و استان‌های غربی ایران (کرمانشاه، همدان و لرستان) را تحت تاثیر قرار می‌دهد. همچنین انتشار گرد و غبار از تالاب‌های خشک شده جنوب و مرکز عراق کیفیت هوای استان‌های خوزستان و ایلام و شمال کویت را به‌شدت کاهش می‌دهد. در روز ۳ ژوئن، انتشار دو توده گرد و غباری در منطقه خاورمیانه مشخص است. توده‌ی اول از بخش‌های جنوبی سوریه در مرز این کشور، اردن و عربستان منتشر می‌شود. این ناحیه بیابان سوریه نام دارد و ماسه بافت اصلی آن را تشکیل می‌دهد. توده‌ی دیگر که از شدت قابل توجهی برخوردار است از بیابان زبیر در مرز عراق و عربستان منتشر می‌شود و با توجه به الگوهای باد منطقه، مناطق وسیعی از شرق و مرکز عربستان را تحت تاثیر قرار می‌دهد.



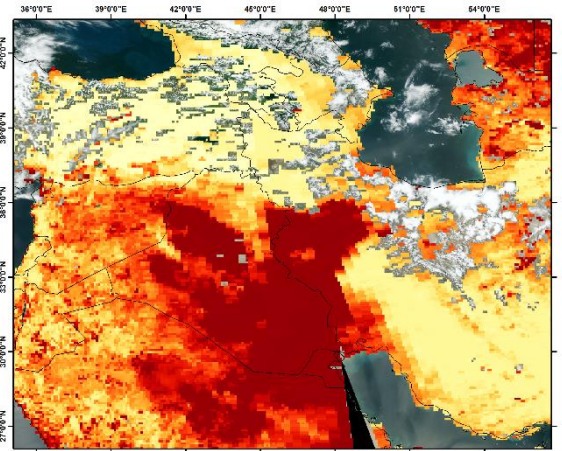
شکل (۱-۴) طوفان گرد و غباری ۱ ژوئن ۲۰۱۳ (الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳)، (ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر (پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری



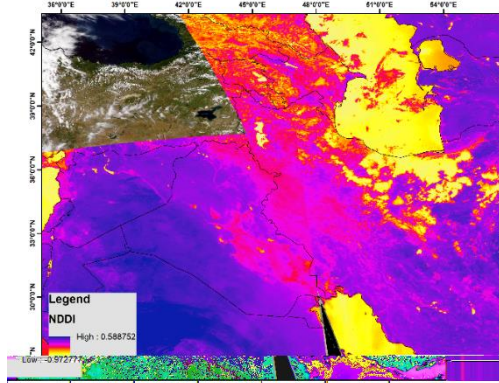
الف



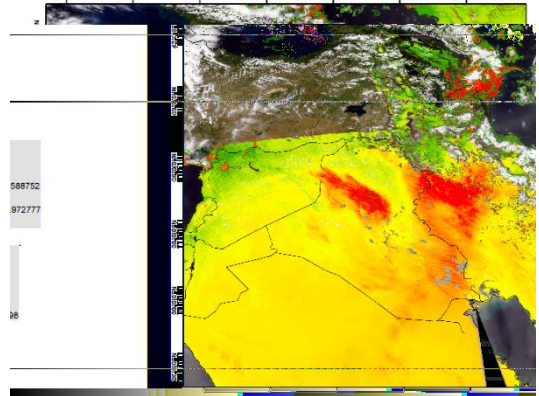
ب



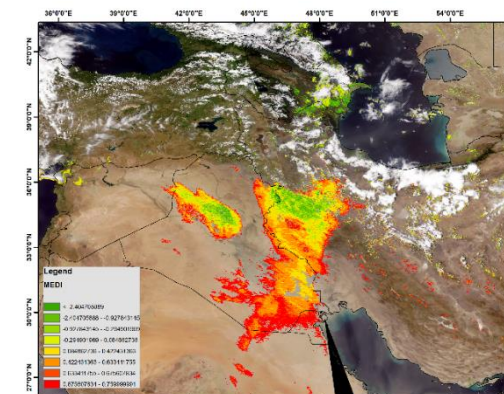
ج



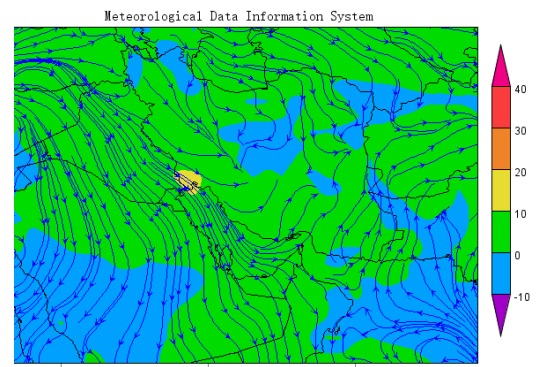
د



ه



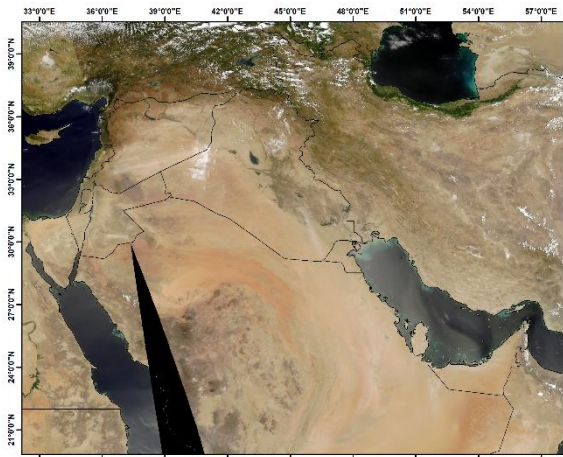
و



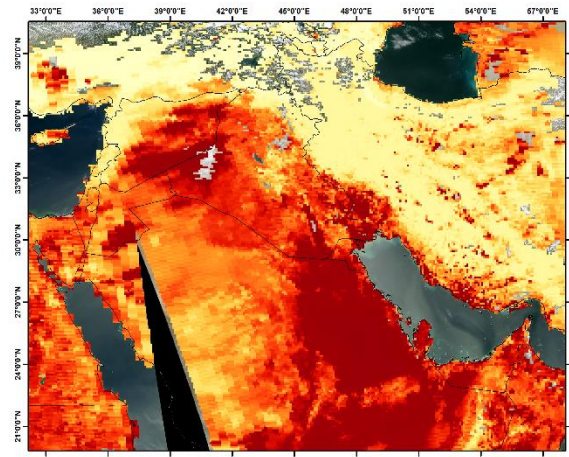
شکل (۴-۱۳) طوفان گردوغباری ۰۲ ژوئن ۲۰۱۳ (الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳)، (ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر (پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گردوغبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گردوغباری



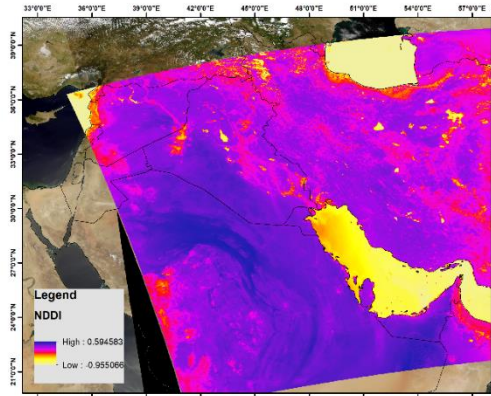
الف



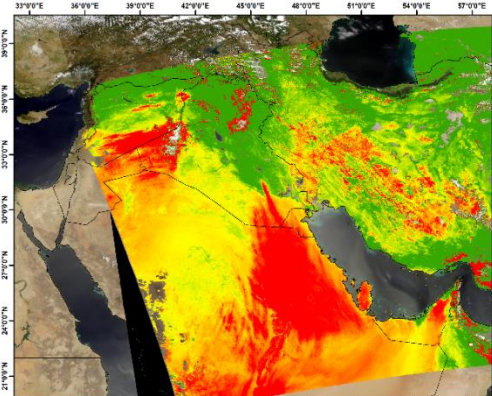
ب



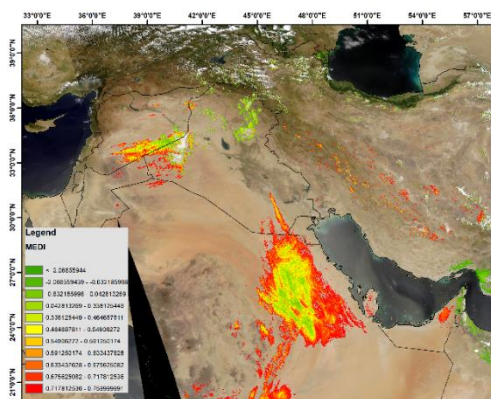
ج



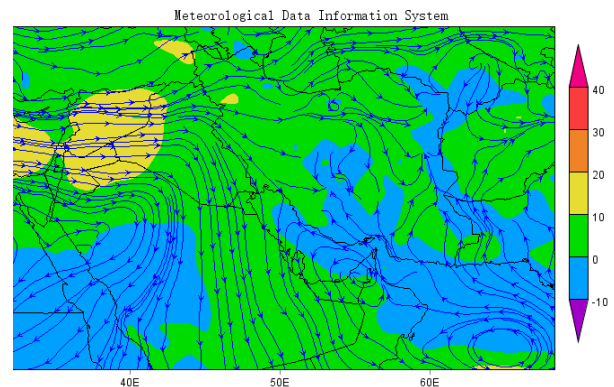
د



ه

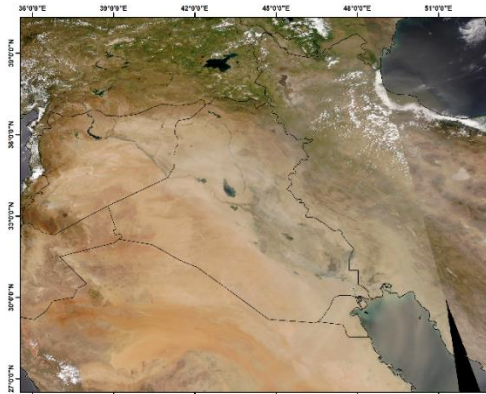


و

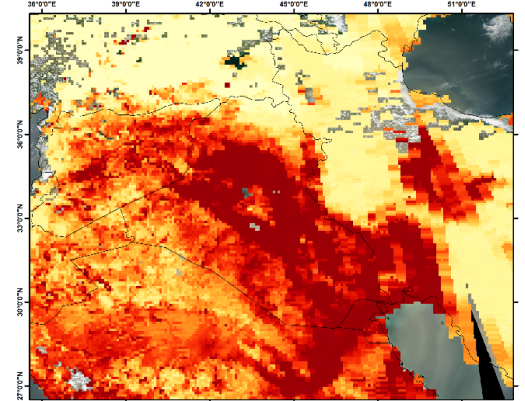


شکل (۴-۱۴) طوفان گردوغباری ۰۳ ژوئن ۲۰۱۳ (الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳)، (ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر (پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گردوغبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گردوغباری

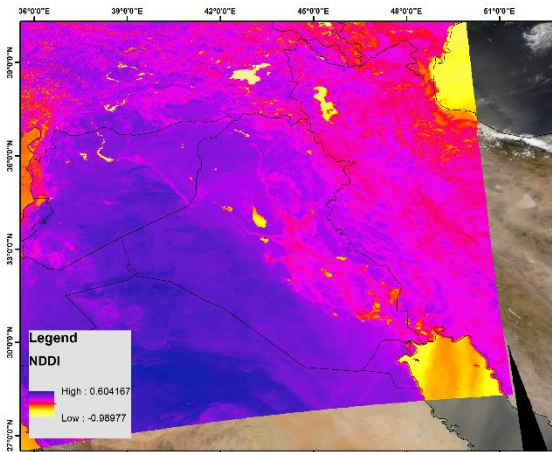
الف



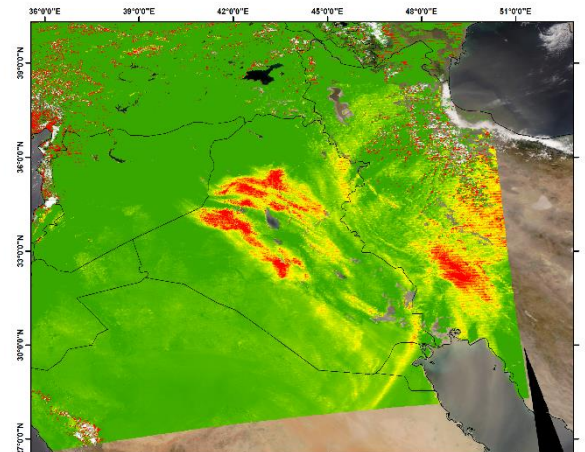
ب



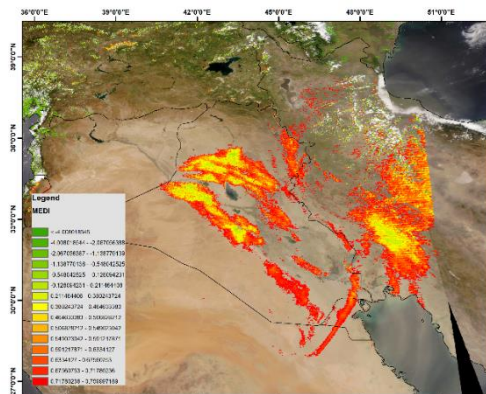
ج



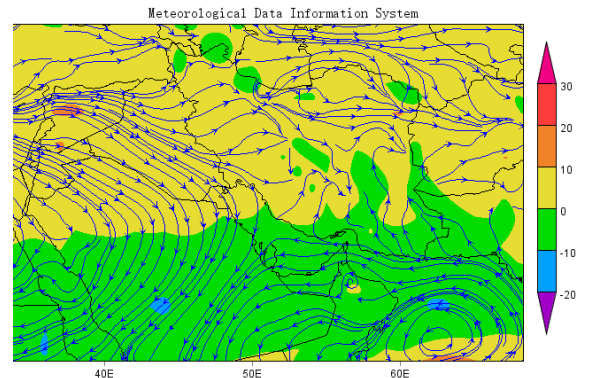
د



ه



و



شکل (۴-۱۵) طوفان گردوغباری ۰۴ ژوئن ۲۰۱۳ (الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندهی ۱، ۳ و ۴، ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گردوغبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گردوغباری

شکل ۴-۱۵ حاکی از مشارکت بسیاری از منابع تولید گرد و غبار عراق در طوفان‌های گرد و غباری در



روز ۴ ژوئن است. انتقال ذرات گرد و غبار از مناطق مرزی عراق و سوریه، مرکز عراق و تالاب هورالعظیم باعث ایجاد طوفان گرد و غباری در استان‌های خوزستان و ایلام، کویت و شمال شرقی عربستان می‌شود. بررسی الگوهای باد در سطح زمین و فشار ۱۰۰۰ هکتوپاسکال منطقه خاورمیانه در بازه ی ۱ تا ۴ ژوئن نشان می‌دهد حداکثر سرعت باد در تاریخ ۱ ژوئن و ۳ ژوئن در سوریه مشاهده شده است. سرعت بالا باعث جدا شدن ذرات غبار از زمین و انتشار طوفان‌های گرد و غباری شدید بر روی مناطق مرزی سوریه و عراق در این دو تاریخ شده است.

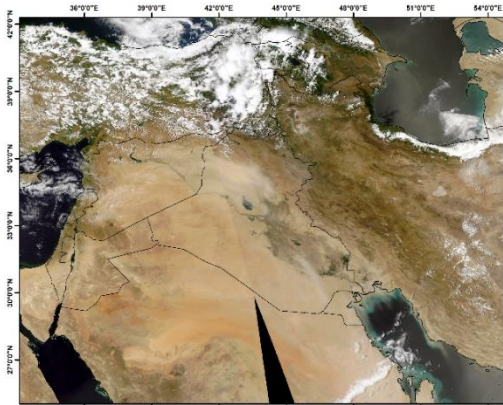
#### ۴-۲-۵. دوره ی طوفان گرد و غباری ۷ و ۸ ژوئن ۲۰۱۳

در روز هفتم ژوئن، توده‌ی گرد و غباری وسیعی بر روی کشور عراق مشاهده می‌شود. منشأ این طوفان نواحی شرقی سوریه و غرب عراق (صحرای الجزیره) را در بر می‌گیرد. مطابق شکل ۴-۱۶، حداکثر سرعت باد در منطقه در این روز در منبع انتشار طوفان گرد و غباری ثبت شده است. با توجه به جهت حرکت و سرعت باد، امکان انتقال ذرات گرد و غبار طی این طوفان به استان‌های ایلام و خوزستان و سپس خلیج فارس وجود دارد. همچنین توده‌ی گرد و غباری پراکنده‌ای نیز در سواحل شرق عربستان مشاهده می‌شود. در روز هشتم ژوئن، دو توده‌ی گرد و غبار گسترده در شرق و غرب منطقه مشاهده می‌شود. توده‌ی گرد و غباری که بر روی استان‌های غربی مشاهده می‌شود، ناشی از انتشار گرد و غبار در روز هفتم ژوئن است که همچنان در جو باقی مانده است. توده‌ی نسبتاً شدید دیگری بر فراز کشورهای سوریه، اردن و عربستان نیز دیده می‌شود که با توجه به جهت وزش باد، احتمالاً منشأ این توده، صحرای آفریقا است.

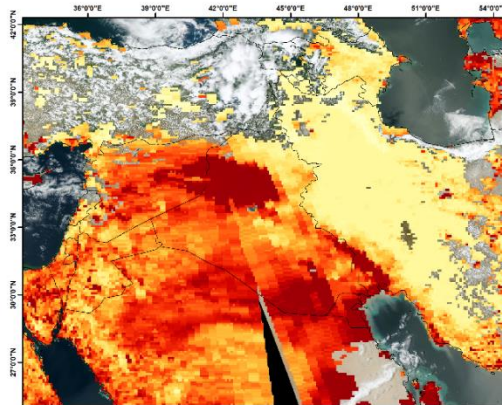
#### ۴-۲-۶. دوره ی طوفان گرد و غباری ۱۰ و ۱۱ ژوئن ۲۰۱۳

در روز ۱۱ ژوئن، یک توده گرد و غباری وسیع و سه توده پراکنده بر روی منطقه خاورمیانه مشاهده می‌شود. توده گرد و غباری وسیع از مناطق جنوب شرقی عراق منتشر می‌شود و منجر به کاهش کیفیت هوای استان‌های غربی ایران (آذربایجان غربی، کردستان، کرمانشاه، ایلام و خوزستان) می‌شود. انتشار ذرات گرد و غبار از منبع مرز عراق و سوریه، جنوب عراق و کویت باعث تشکیل سه طوفان گرد و غباری پراکنده در منطقه می‌شود. در روز ۱۱ ژوئن نیز همچنان توده گرد و غبار بر روی استان‌های غربی قرار دارد و کیفیت هوای شهرهای این منطقه را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

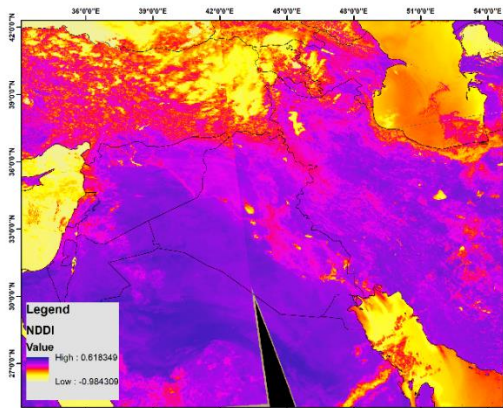
الف



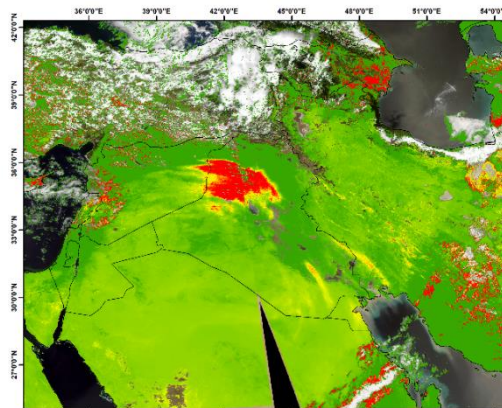
ب



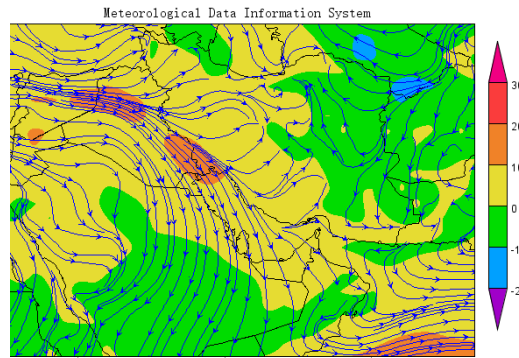
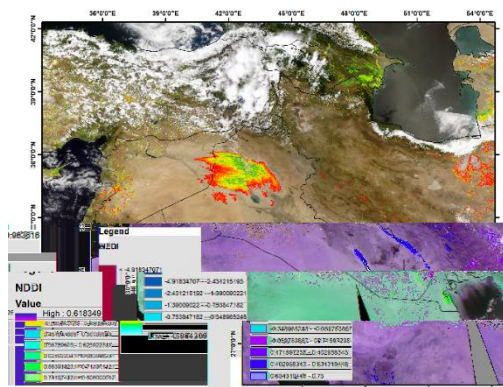
ج



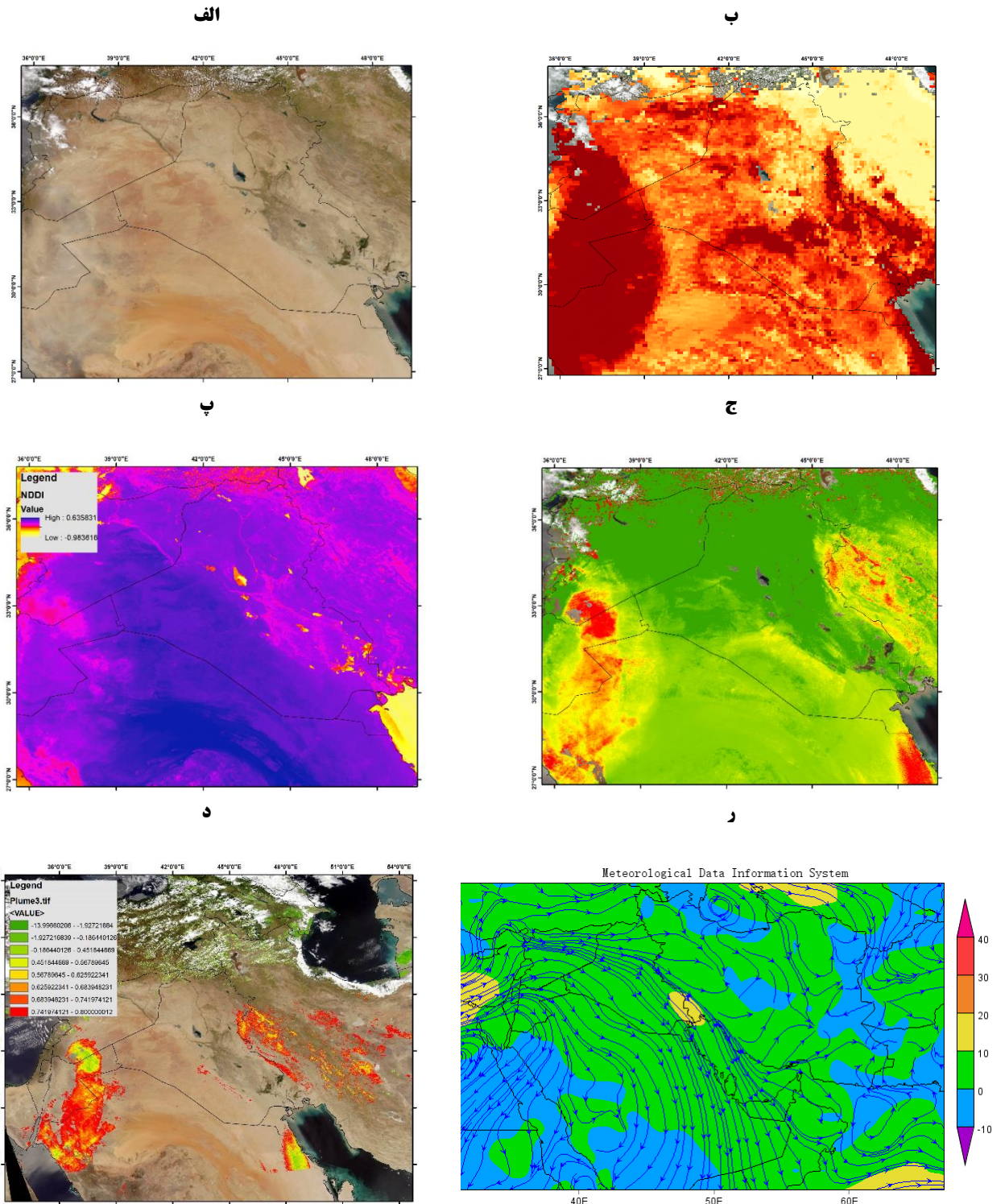
د



هـ



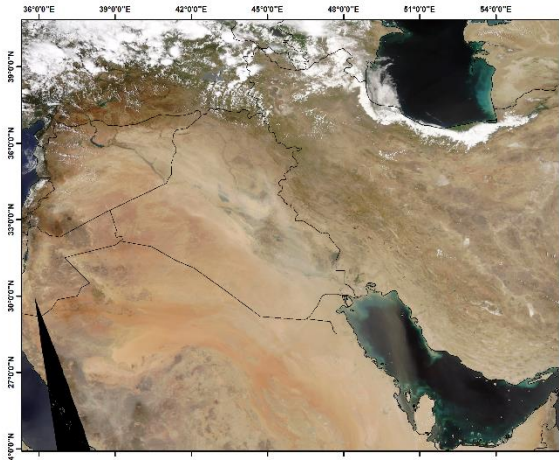
شکل (۴-۱۶) طوفان گرد و غباری ۷ ژوئن ۲۰۱۳ (الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳)، (ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر (پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (هـ) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری



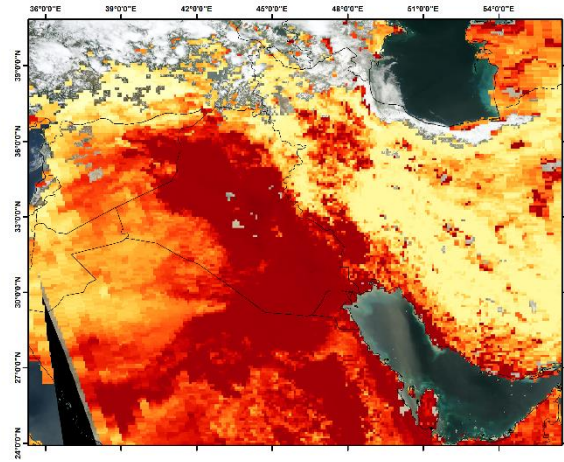
شکل (۴-۱۷) طوفان گرد و غباری ۸ ژوئن ۲۰۱۳ (الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندهای ۱، ۴ و ۳)، (ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر (پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری



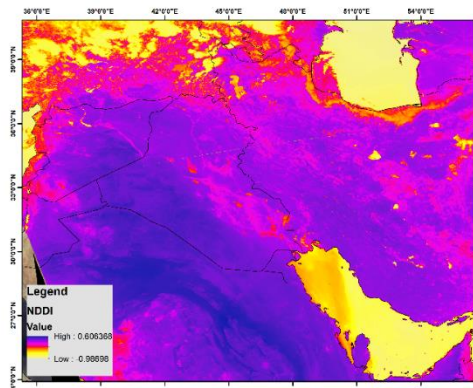
الف



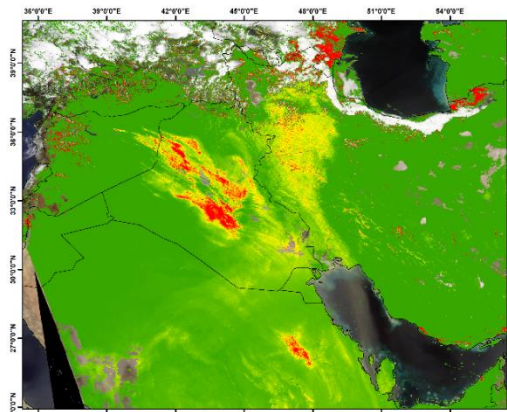
ب



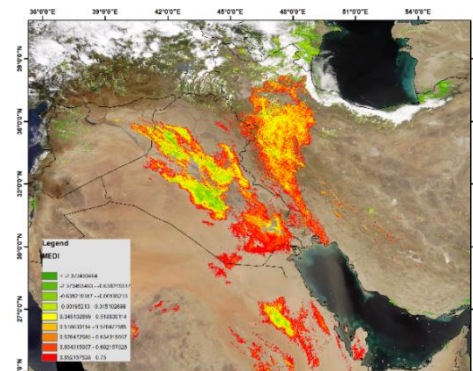
ج



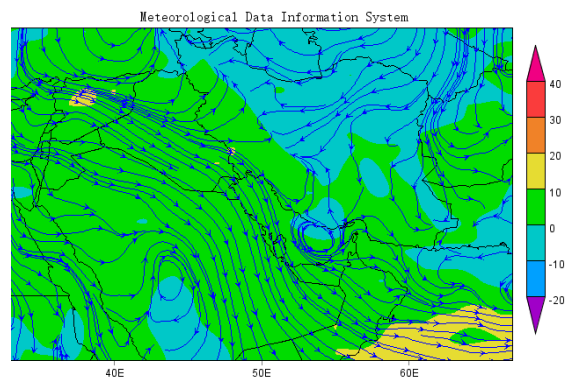
د



ه



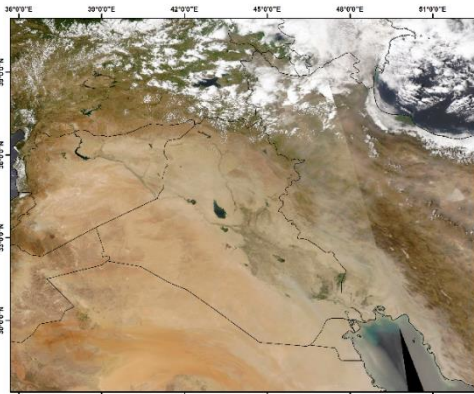
و



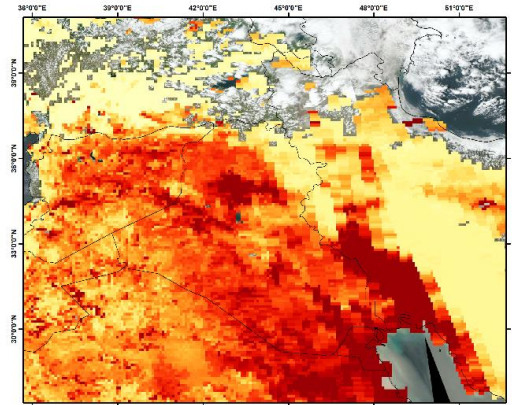
شکل (۴-۱۸) طوفان گرد و غباری ۱۰ ژوئن ۲۰۱۳ (الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندهای ۱، ۳ و ۴) (ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر (پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری



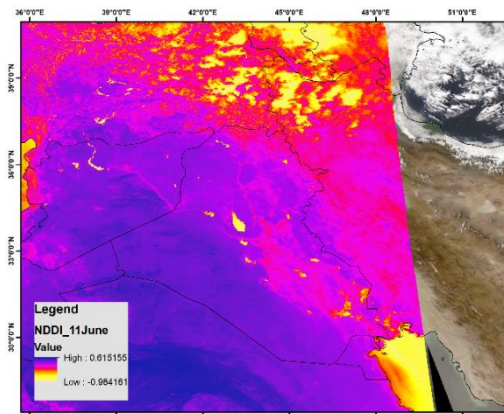
الف



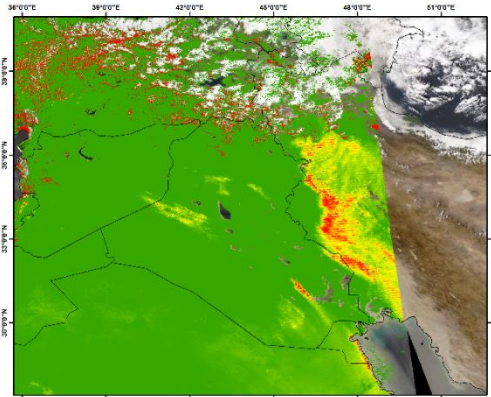
ب



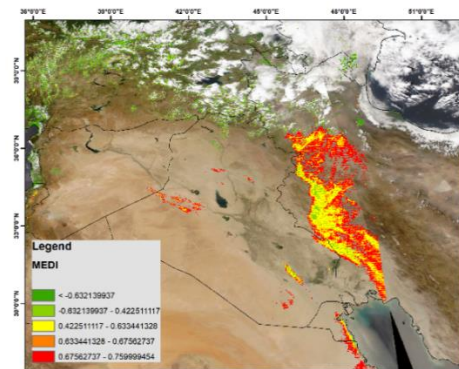
ج



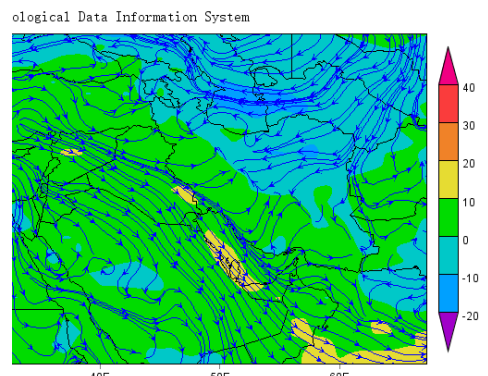
د



ه



و



شکل (۴-۱۹) طوفان گرد و غباری ۱۱ ژوئن ۲۰۱۳ (الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندهای ۱، ۴ و ۳، ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری

#### ۲-۷. دوره ی طوفان‌های گرد و غباری ۱۴ تا ۱۶ ژوئن ۲۰۱۳

مطابق شکل‌های ۲۰-۴ تا ۲۲-۴ در هر سه روز، توده‌های گرد و غباری از دو منشا شمال غربی و جنوب عراق منتشر می‌شود. براساس نتایج الگوریتم MEDI، طوفان گرد و غباری روز ۱۴ ژوئن دارای شدت نسبی است. انتشار گرد و غبار از این دو منبع در روز ۱۵ ژوئن به حداکثر مقدار خود در این بازه می‌رسد و در نهایت در روز ۱۶ ژوئن از شدت این توده به مقدار قابل توجهی کاسته می‌شود. با بررسی الگوهای باد، گرد و غبار منتشر شده از منبع شمال غربی عراق (صحرای الجزیره) در هر سه روز متوالی می‌تواند شهرهای استان خوزستان را تحت تاثیر قرار دهند. همچنین انتشار گرد و غبار از منبع جنوب عراق، امکان ایجاد طوفان گرد و غبار بر روی کویت و شمال عربستان را فراهم می‌کند.

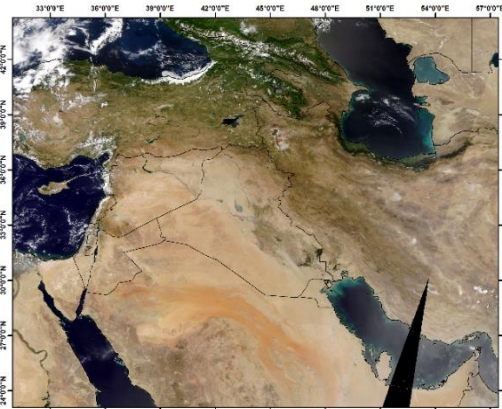
#### ۲-۸. طوفان گرد و غباری ۲۷ ژوئیه ۲۰۱۳

با توجه به شکل ۲۳-۴، در این تاریخ دو توده‌ی گرد و غباری در خاورمیانه مشاهده می‌شود. گرد و غبار منتشر شده از مناطق مرکزی سوریه، در مسیر وزش بادهای شمال غرب به جنوب شرق قرار دارد و کیفیت هوای استان خوزستان را به شدت کاهش می‌دهد. بررسی سرعت باد در این تاریخ نشان می‌دهد حداکثر سرعت باد نیز در منشا این توده رخ داده است. توده‌ی گرد و غباری دیگری نیز در این تاریخ از بخش‌های جنوبی و مرکزی عراق منتشر می‌شود که هوای کویت، شمال شرقی عربستان و خلیج فارس را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

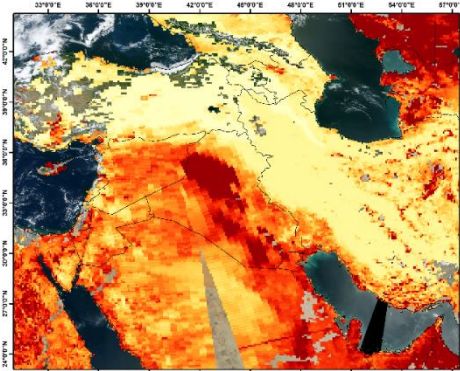
#### ۲-۹. دوره ی طوفان‌های گرد و غباری ۴ و ۵ آگوست ۲۰۱۳

در تاریخ ۴ آگوست، افزایش سرعت بادهای سطحی، باعث برخاستن توده‌ی گرد و غباری از مناطق مرزی عراق و سوریه (صحرای الجزیره) و تشکیل طوفان گرد و غباری بر فراز عراق، کویت، استان‌های خوزستان، ایلام، لرستان و خلیج فارس می‌شود.

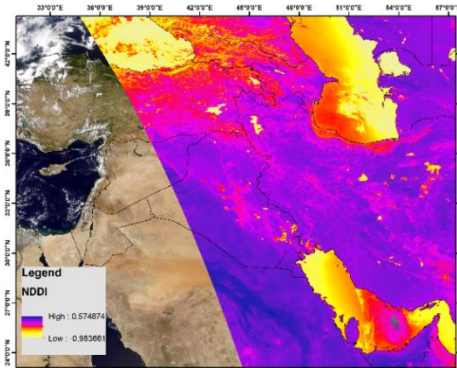
الف



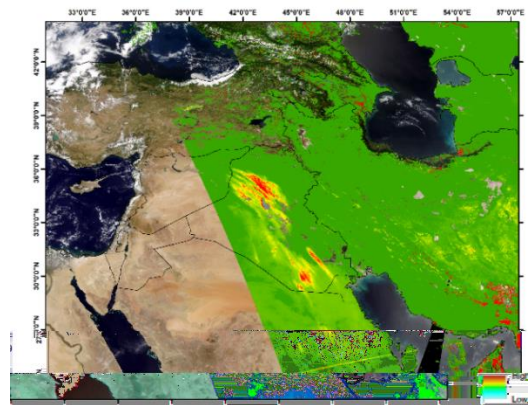
ب



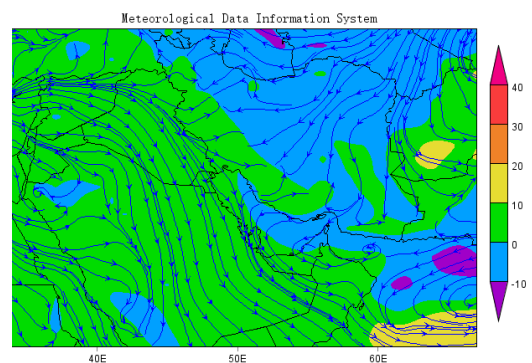
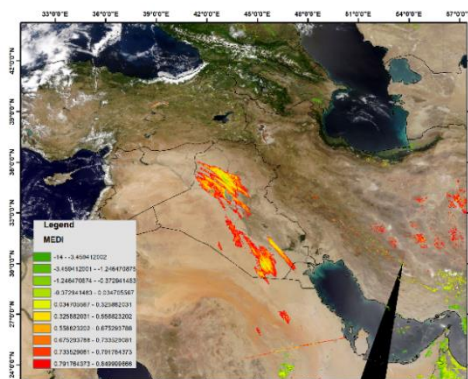
ج



د



هـ

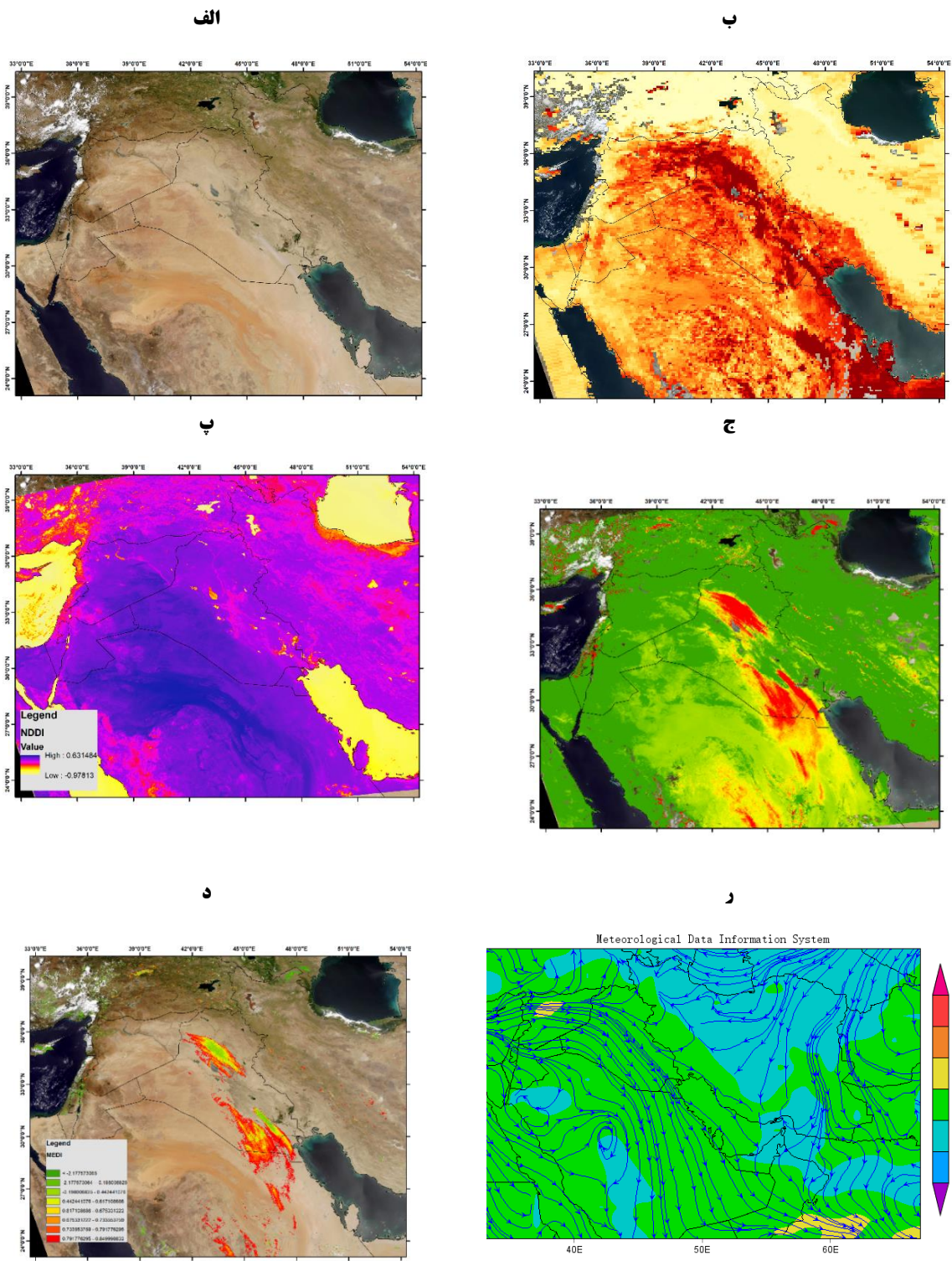


شکل (۲۰-۴) طوفان گرد و غباری ۱۴ ژوئن ۲۰۱۳ (الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳)،

(ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر (پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د)

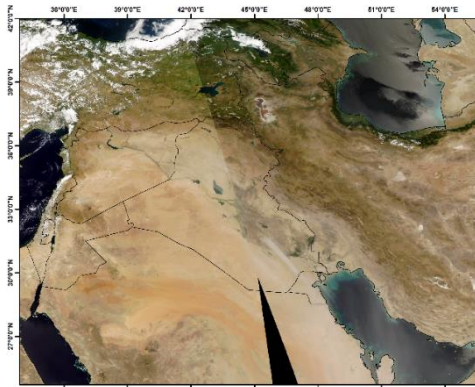
جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (هـ) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری



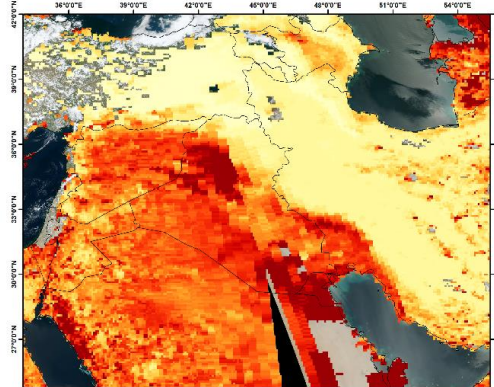


شکل (۴-۲۱) طوفان گرد و غباری ۱۵ ژوئن ۲۰۱۳ (الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳، ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر (پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (ز) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری

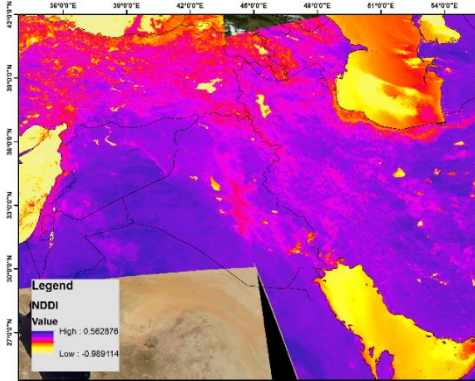
الف



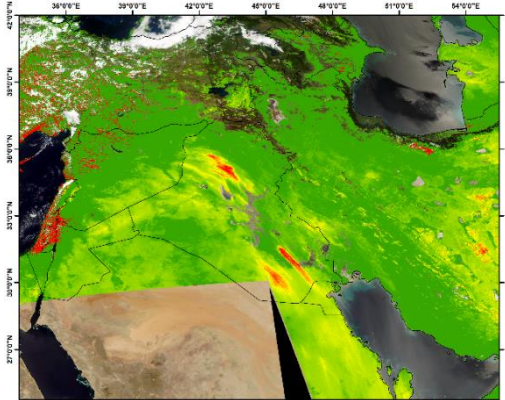
ب



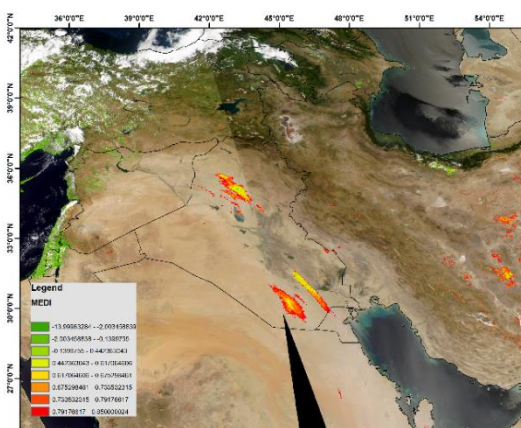
ج



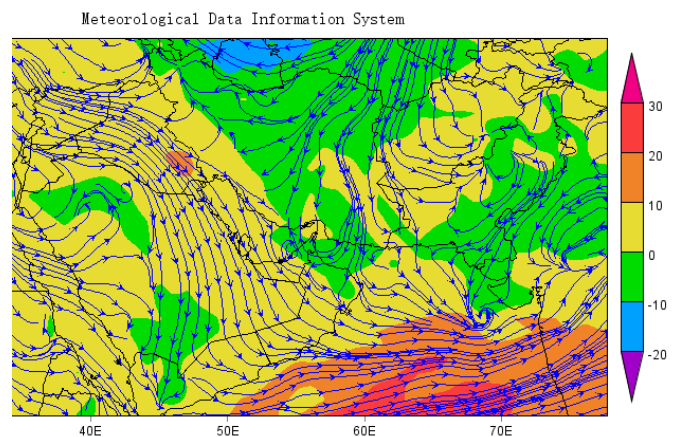
د



ه



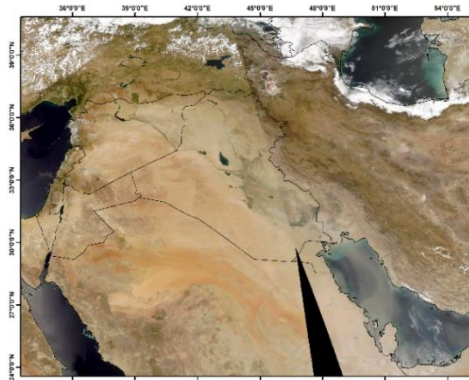
و



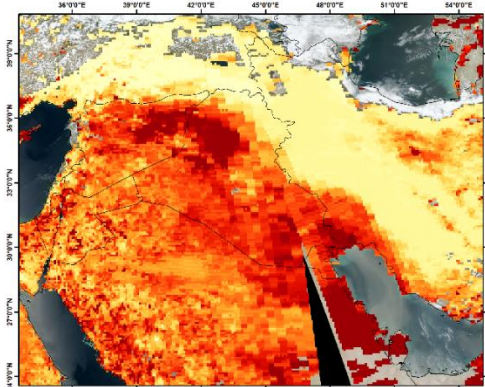
شکل (۴-۲۲) طوفان گرد و غباری ۱۶ ژوئن ۲۰۱۳ (الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳)، (ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر (پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری



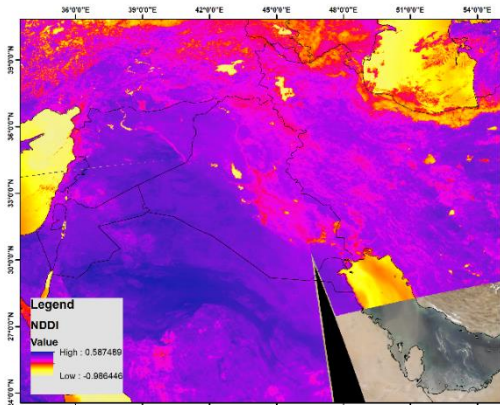
الف



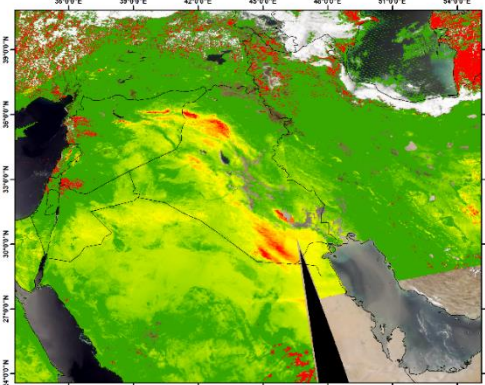
ب



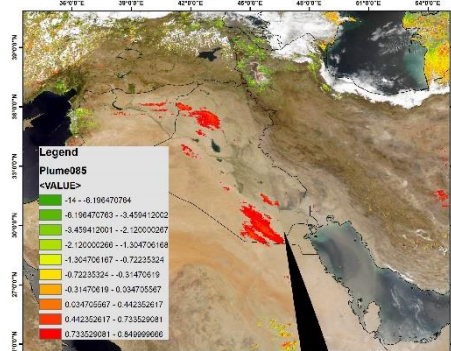
ج



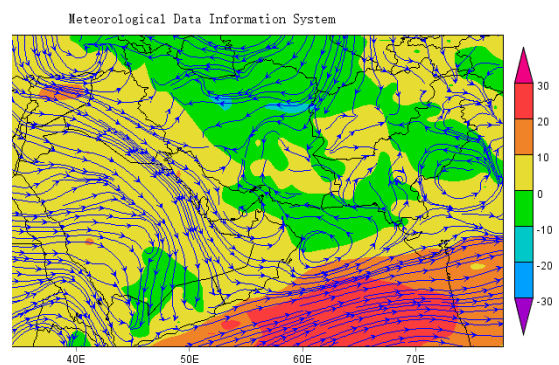
د



ه

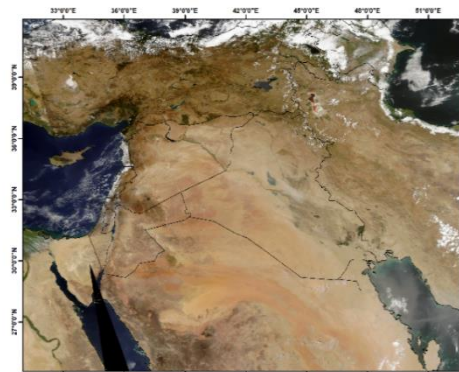


و

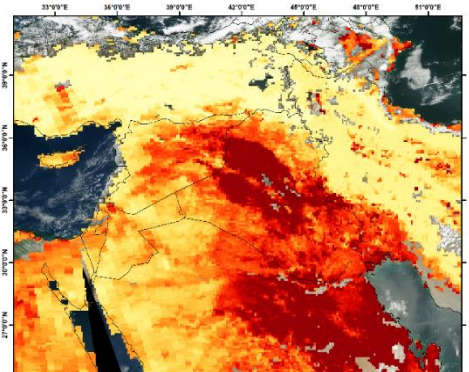


شکل (۴-۲۳) طوفان گرد و غباری ۲۷ ژوئیه ۲۰۱۳ (الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳، ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر (پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری

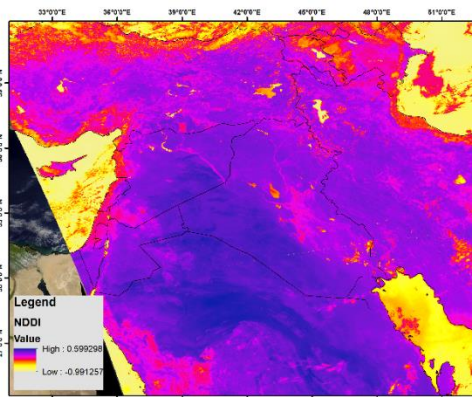
الف



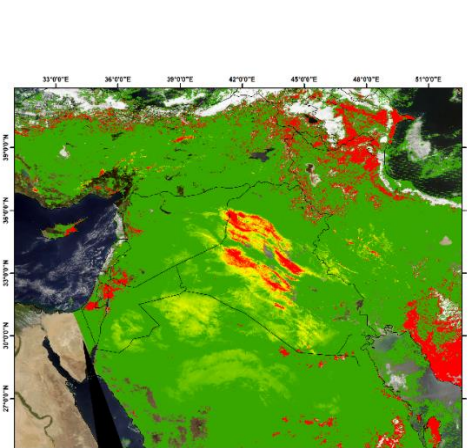
ب



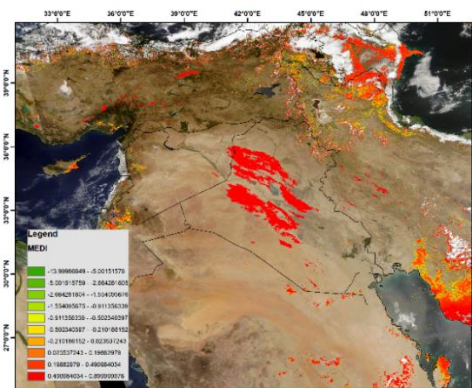
ج



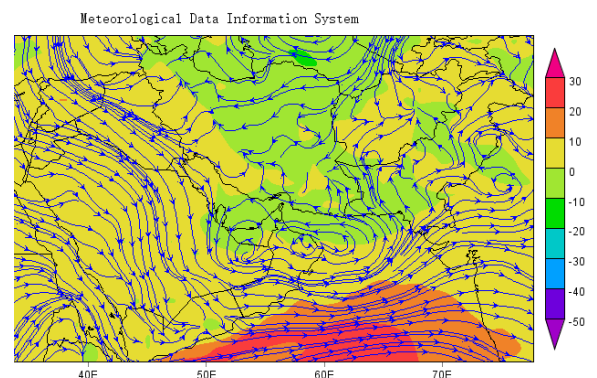
د



ه



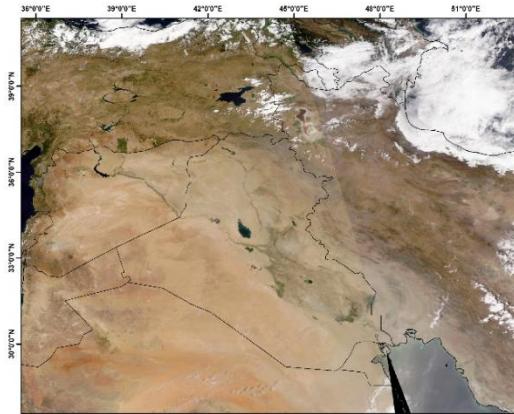
و



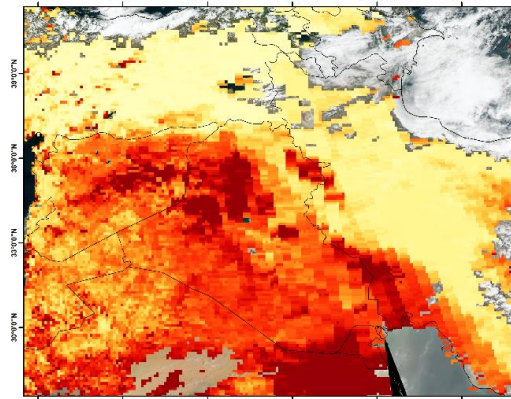
شکل (۴-۲۴) طوفان گرد و غباری ۰۴ آگوست ۲۰۱۳ (الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندهی ۱، ۴ و ۳)، (ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری



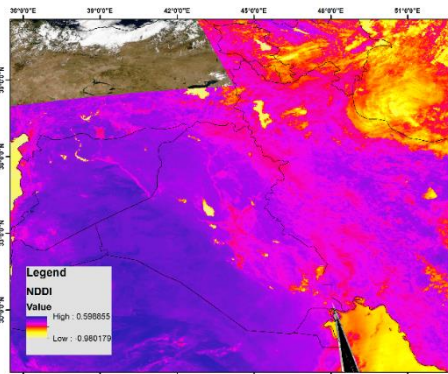
الف



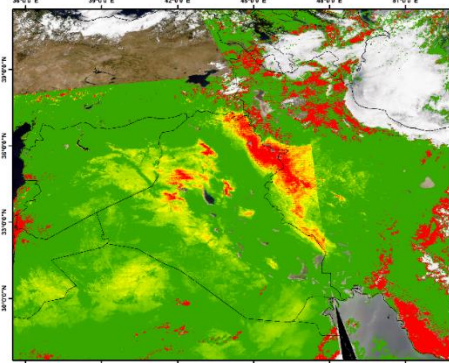
ب



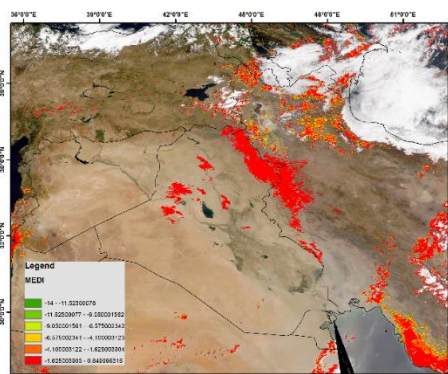
ج



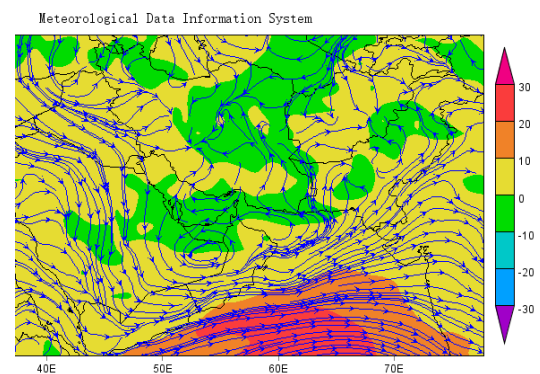
د



ه



و



شکل (۴-۲۵) طوفان گرد و غباری ۰۵ آگوست ۲۰۱۳ (الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندهی ۱، ۴ و ۳)، (ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر (پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری

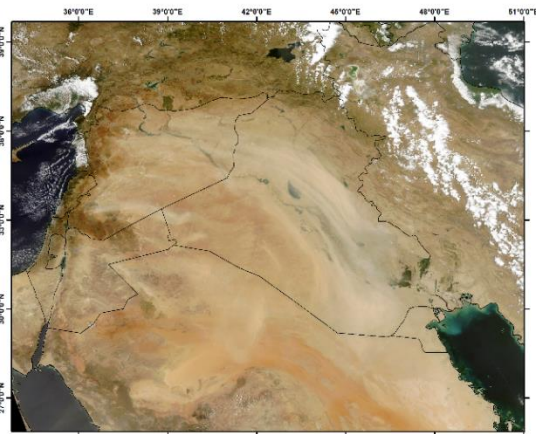


در شکل ۴-۲۵ توده‌ی گسترده‌ی گرد و غباری بر روی آسمان استان‌های غربی ایران مشاهده می‌شود. این توده ناشی از گرد و غبار منتشر شده در روز ۴ آگوست است که در جو باقی مانده و وزش باد منجر به انتقال این توده به جو این استان‌ها شده است. نقشه‌ی الگوی باد نیز تغییر جهت باد از شمال غرب به جنوب شرقی را به غرب به شرق را در تاریخ ۵ آگوست تایید می‌کند.

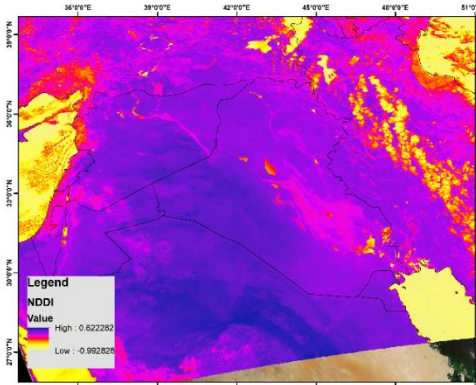
#### ۴-۲-۱۰. دوره‌ی طوفان‌های گرد و غباری ۱۳ و ۱۴ ژوئیه ۲۰۱۴

طوفان گرد و غباری ۱۳ و ۱۴ ژوئیه از جمله طوفان‌های شدید منطقه خاورمیانه در بازه‌ی مطالعاتی به‌شمار می‌آید. مطابق تصاویر ماهواره‌ای (شکل ۴-۲۵ و ۴-۲۶) بسیاری از کشورهای حوزه بین‌النهرین و شبه جزیره عرب درگیر این طوفان گرد و غباری بوده‌اند. در شکل ۴-۲۵، انتشار گرد و غبار از سه منبع شمال و مرکز سوریه، مرکز عراق، و جنوب سوریه و اردن مشاهده می‌شود. حداکثر سرعت باد در منطقه خاورمیانه نیز در این سه ناحیه رخ داده است (شکل ۴-۲۵ ر). با توجه به قرار گرفتن غبارات منتشر شده از نواحی شمالی و مرکزی سوریه و مرکز عراق در مسیر وزش باد مشابه، توده‌ی گرد و غباری وسیعی در جهت شمال غربی به جنوب شرقی ایجاد می‌شود و هوای بخش قابل توجهی از عراق، کویت و استان‌های کردستان، کرمانشاه، ایلام و خوزستان تحت تاثیر قرار می‌گیرد. همچنین توده‌ی گرد و غباری منتشر شده از جنوب سوریه و اردن عمدتاً نواحی شرقی اردن، غرب عراق و شمال عربستان را تحت تاثیر قرار می‌دهد. با توجه به شدت بالای این توده‌ها، ذرات گرد و غبار منتشر شده در روز ۱۴ ژوئیه نیز در جو باقی مانده است و جنوب عراق، کویت، جنوب غرب ایران و بخش قابل توجهی از شبه جزیره عرب (عربستان، قطر و امارات) را تحت تاثیر قرار می‌دهند.

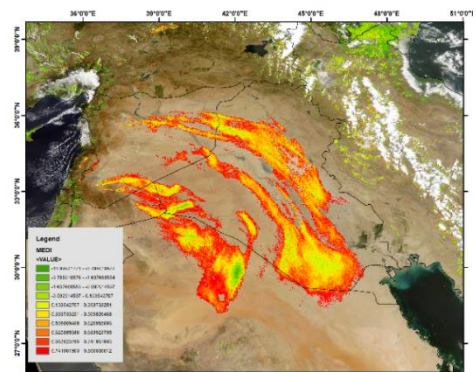
الف



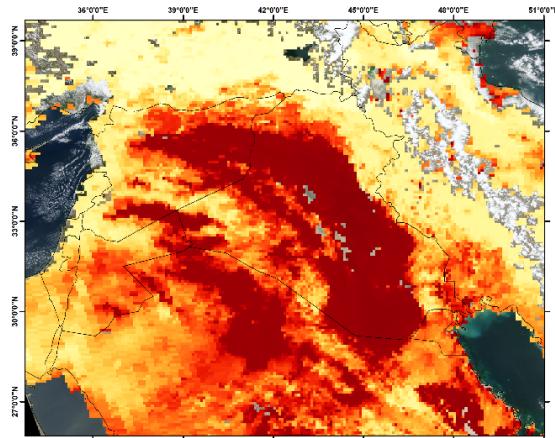
ب



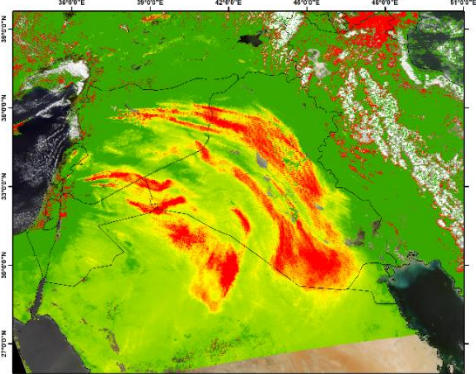
ج



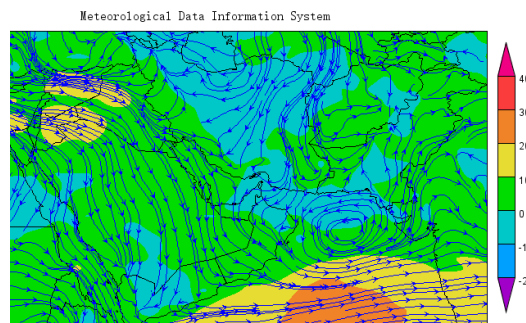
ب



ج

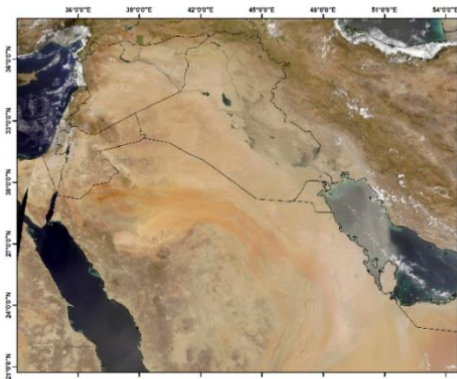


د

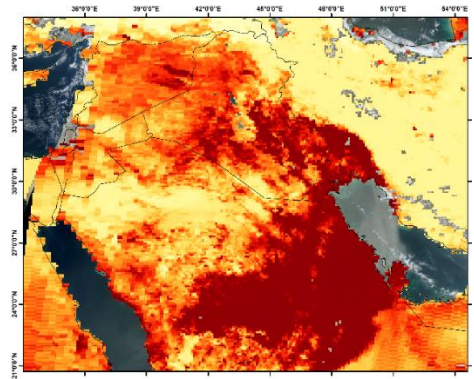


شکل (۴-۲۶) طوفان گرد و غباری ۱۳ ژوئیه ۲۰۱۴ (الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳)، (ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر (پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری

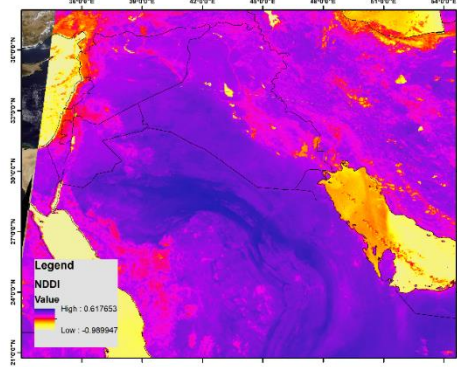
الف



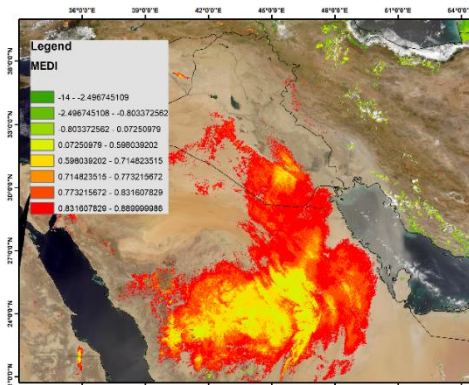
ب



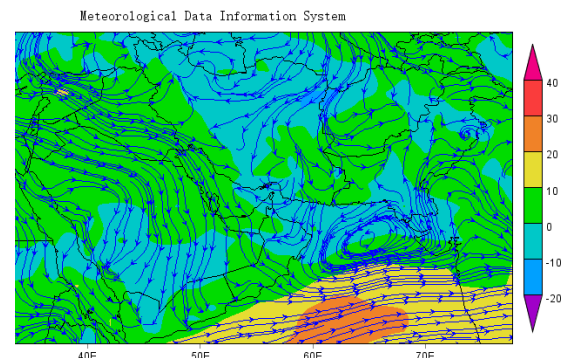
ج



د



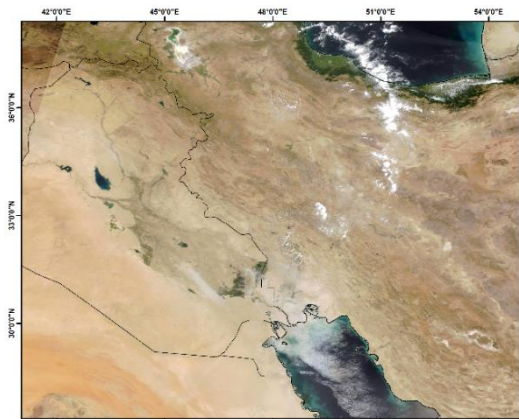
ر



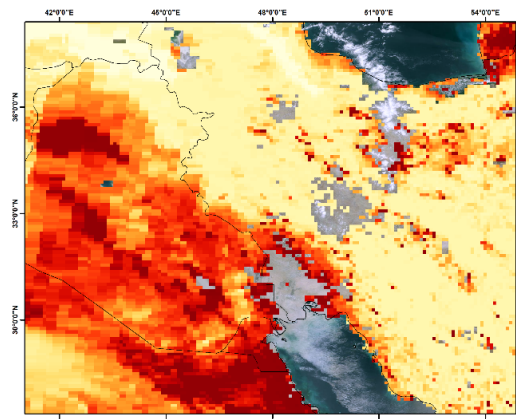
شکل (۴-۲۷) طوفان گرد و غباری ۱۴ ژوئیه ۲۰۱۴ (الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳)، (ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری



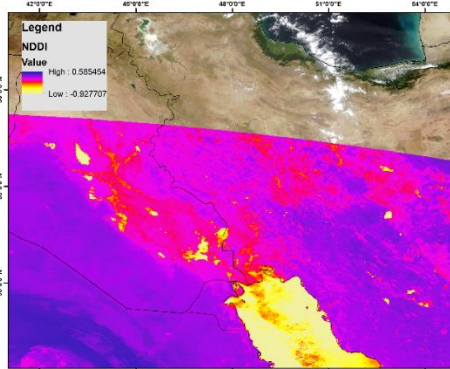
الف



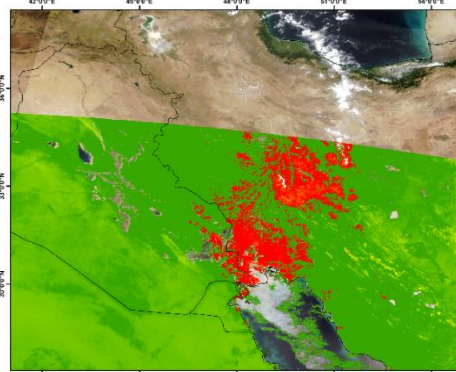
ب



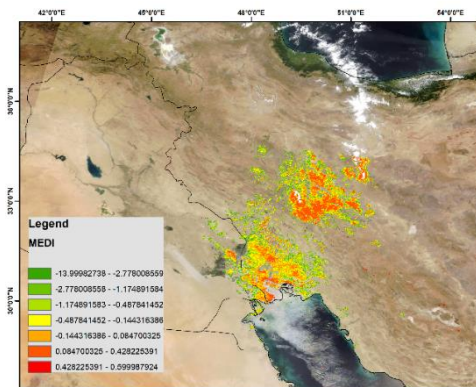
ج



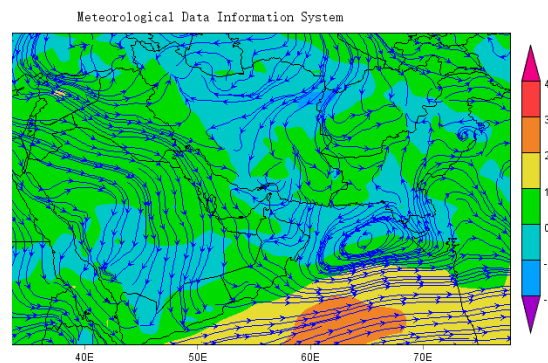
د



ه



و



شکل (۴-۲۸) طوفان گرد و غباری ۱۸ ژوئیه ۲۰۱۴ (الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳، ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر (پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د) جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری

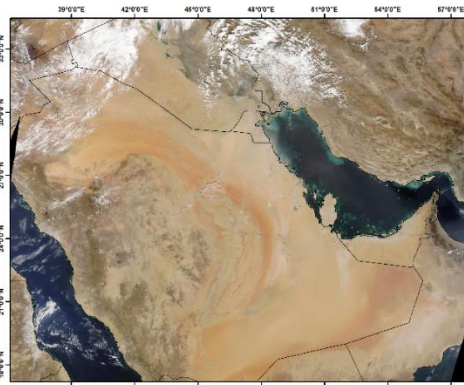
#### ۴-۲-۱۱. طوفان گرد و غباری ۱۸ ژوئیه ۲۰۱۴

در این روز، توده ی گرد و غبار وسیعی جو شهرهای استان خوزستان را در بر می گیرد. منشا این طوفان تالاب خشک شده ی هورالعظیم در غرب استان خوزستان و جنوب شرقی عراق است. همچنین توده ی گرد و غباری دیگری بر روی بخش های مرکزی ایران مشاهده می شود. با توجه به الگوی باد، احتمالاً منشا این طوفان بخش های مرکزی عراق بوده است و با وزش باد ذرات گرد و غبار به این ناحیه منتقل شده اند.

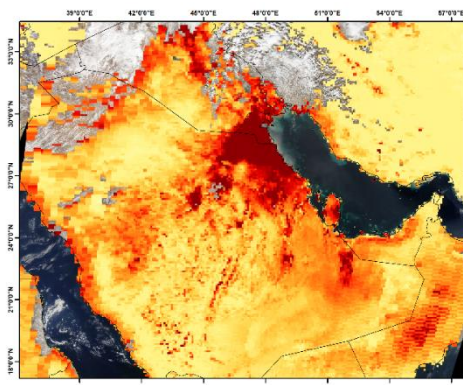
#### ۴-۲-۱۲. طوفان گرد و غباری ۲۰ اکتبر ۲۰۱۴

مطابق شکل ۴-۲۹، دو توده ی گرد و غبار نسبتاً وسیع بر روی عربستان مشاهده می شود. جهت باد در این طوفان از جنوب غرب به شمال شرق است. منشا این دو توده بیابان ربع الخالی در جنوب عربستان و بیابان نفود در شرق این کشور است. غبارات منتشر شده طی این طوفان کویت، جنوب شرقی عراق و استان خوزستان را تحت تاثیر قرار می دهد. برخلاف طوفان های دیگر در این مطالعه که وزش باد شمال غربی به جنوب شرقی شمال عامل اصلی تشکیل طوفان های گرد و غباری بود، این طوفان از نوع جبهه ی هوایی post-frontal است که اکثراً در ماه های سرد باعث ایجاد طوفان گرد و غباری می شود.

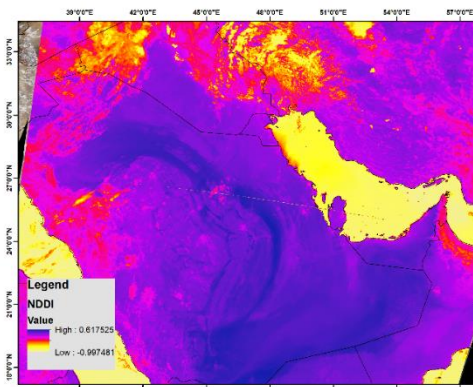
الف



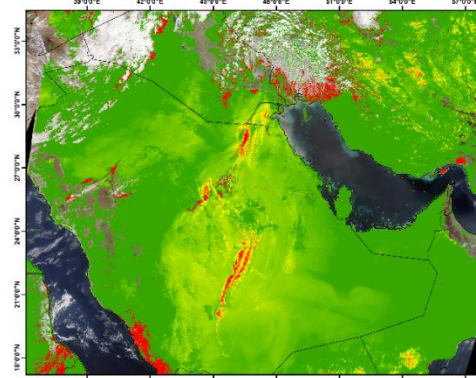
ب



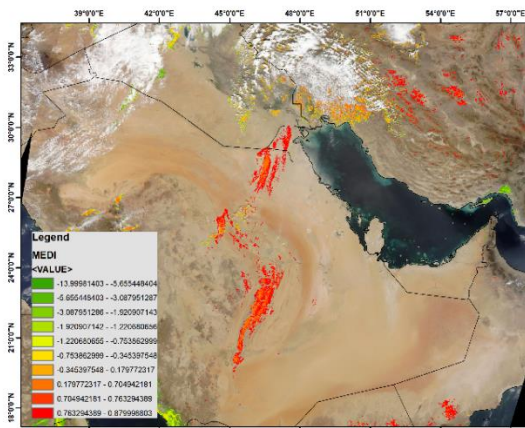
پ



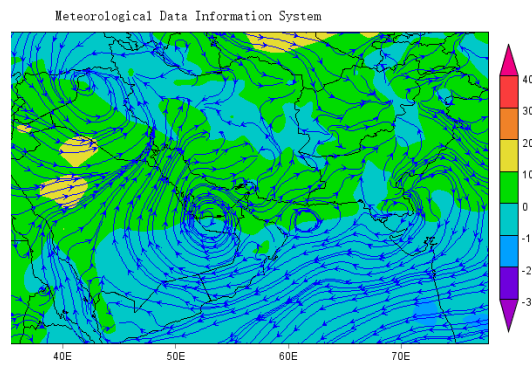
ج



د

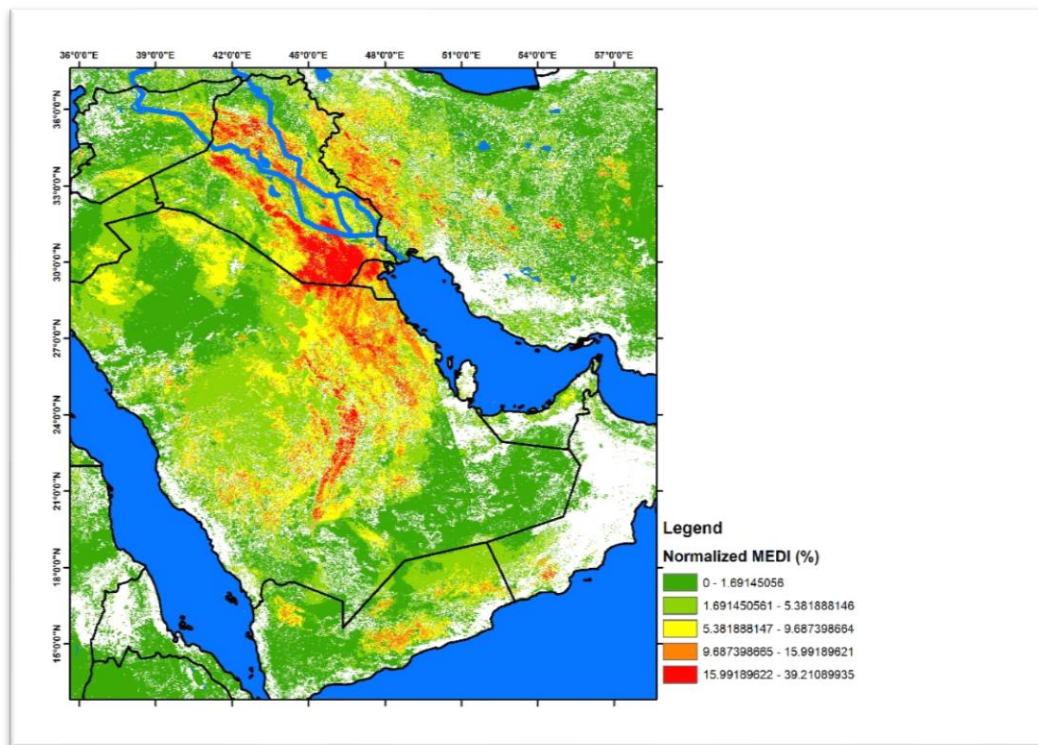


ر



شکل (۴-۲۹) طوفان گرد و غباری ۲۰ اکتبر ۲۰۱۴ (الف) تصویر رنگ واقعی سنجنده مادیس (ترکیب باندی ۱، ۴ و ۳)،  
 (ب) شاخص Deep Blue AOD با رزولوشن ۱۰ در ۱۰ کیلومتر پ) نتیجه شاخص NDDI (ج) نتیجه شاخص MEDI (د)  
 جداسازی توده گرد و غبار از روی شاخص MEDI (ر) نقشه سرعت و جهت باد منطقه در روز گرد و غباری





شکل (۴-۳۰) مقادیر متوسط الگوریتم MED I برای طوفان‌های گرد و غبار مورد بررسی در منطقه خاورمیانه و جنوب غربی ایران

با توجه به این تصویر، می‌توان نتیجه گرفت مناطقی که دارای مقادیر متوسط بیشتری از الگوریتم MED I می‌باشند، با احتمال بیشتری منبع ایجاد گرد و غبار هستند.





## فصل پنجم:

### جمع بندی و پیشنهادها

## ۵-۱- نتیجه گیری

تشدید پدیده گرد و غبار از جمله مشکلاتی است که کشورهای منطقه خاورمیانه در سال‌های اخیر با آن مواجه هستند. بررسی منشا و گستره ی این طوفان‌ها یکی از چالش‌های اصلی سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران برای حل این بحران است. یکی از ابزارهای مورد استفاده محققین برای تحلیل طوفان‌های گرد و غباری استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و دانش سنجش از راه دور است. در این مطالعه ابتدا آمار روزهای گرد و غباری شهر اهواز (به‌عنوان یکی از شهرهای اصلی تحت تاثیر طوفان‌های گرد و غباردرخاورمیانه) در بازه‌ی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۶ مورد بررسی قرار گرفت. سپس، به‌منظور بررسی منشا و گستره‌ی برخی از طوفان‌های گرد و غباری رخ داده در خاورمیانه در بازه‌ی یاد شده، بارزسازی طوفان گرد و غبار با استفاده از تصاویر سنجنده ی MODIS و الگوریتم بارزسازی MEDI صورت گرفت. از نقشه‌های باد سطح زمین، تصاویر با ترکیب رنگ واقعی و محصول AOD برای تحلیل بهتر طوفان‌ها استفاده شد.

تحلیل روزهای گرد و غباری ثبت شده در ایستگاه هواشناسی شهر اهواز نشان داد که میانگین تعداد روزهای گرد و غباری در بازه‌ی یاد شده ۵۷٫۵ روز در سال است. به‌دلیل کاهش بارش و رطوبت خاک، بخش قابل توجهی از طوفان‌های گرد و غباری در فصل‌های گرم سال (تابستان و بهار) در نواحی بیابانی خاورمیانه به وقوع می‌پیوندند.

بارزسازی توده‌های ناشی از طوفان‌های گرد و غباری برای ۱۲ دوره ی گرد و غباری (۲۰ روز) رخ داده در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ انجام شد. نتایج حاکی از تاثیرگذاری بسیاری از منابع تولید گرد و غبار بر روی شهرهای غربی ایران به‌ویژه استان‌های خوزستان و ایلام بود. قرار گرفتن در مسیر وزش باد شمال تابستانی، دلیل اصلی بالابودن طوفان‌های گرد و غباری در این دو استان است. انتقال ذرات گرد و غبار از سه منبع صحرای الجزیره (شرق سوریه و شمال غرب عراق)، بیابان‌های ناحیه دجله و فرات (مرکز عراق)، و تالاب‌های خشک شده هورالعظیم (جنوب شرق عراق و غرب خوزستان) تحت وزش

باد شمال رخ می‌دهد. طوفان‌های ناشی از این باد علاوه بر جنوب غرب ایران، کویت و غرب خلیج فارس را تحت تاثیر قرار می‌دهند. در برخی طوفان‌ها تغییر جهت وزش باد به غرب به شرق منجر به انتشار ذرات گرد و غبار از بیابان سوریه (در مرز عراق، سوریه و اردن)، بیابان زبیر (جنوب عراق) و تشکیل طوفان گرد و غباری بر روی استان خوزستان می‌شود. همچنین وزش باد شمال باعث انتشار گرد و غبار از بیابان زبیر و بیابان‌های نفود و دهننا در عربستان و تشکیل طوفان گرد و غباری بر روی عربستان می‌شود. از میان ۲۰ روز طوفان گرد و غباری بررسی شده، ۱۹ روز تحت وزش باد شمال تابستانی تشکیل شده‌اند. در طوفان گرد و غباری ۲۰ اکتبر ۲۰۱۴ وزش بادهای جنوبی تحت جبهه‌ی هوایی post-frontal، منجر به انتشار گرد و غبار از بیابان‌های عربستان و کاهش کیفیت هوا در شهرهای استان خوزستان، کشور کویت و خلیج فارس می‌شود. این نوع از طوفان‌ها عمدتاً در فصل‌های سرد سال و از ماه‌های اکتبر تا مارس رخ می‌دهند و منجر به فعال شدن کانون‌های گرد و غباری عربستان و کویت می‌شوند.

## ۵-۲- محدودیت‌ها و پیشنهادات

یکی از محدودیت‌های مطالعه حاضر در رابطه با تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. لحظه‌ای بودن ثبت تصاویر یکی از مشکلات جدی برای مطالعه پدیده گرد و غبار می‌باشد. طوفان‌های رخ داده بعد از ثبت تصاویر توسط سنجنده قابل بررسی نیستند. ابرناکی به‌خصوص فصول بهار و زمستان نیز محدودیت‌های جدی‌ای برای مطالعه گرد و غبار در این فصول ایجاد می‌کند. زمانبر بودن فرایند تبدیل فایل‌های خام ماهواره‌ای و حجم بالای آنها نیز از دیگر موارد محدود کننده در مطالعه حاضر بود. با این وجود، در این مطالعه تمامی طوفان‌های گرد و غباری رخ داده در منطقه جنوب غرب ایران (در صورت عدم وجود ابر در تصاویر) طی سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ مورد مطالعه قرار گرفت.

پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده طوفان‌های سال‌های اخیر نیز با این روش بررسی شده و با نتایج مطالعات قبلی مقایسه گردد و تغییرات احتمالی در مورد منشا طوفان‌ها (ایجاد منشا جدید یا حذف

آنها) مشخص شود.

اگرچه در الگوریتم MEDI پیکسل های دارای مقادیر کمتر از ۰,۶ و بزرگتر از ۰ عموماً نمایانگر گرد و غبار می باشند، اما بر اساس آنچه که توسعه دهندگان این الگوریتم پیشنهاد داده اند، در مطالعات آینده می توان برای هر واقعه ی گرد و غباری به طور جداگانه این حد آستانه را بر اساس هیستوگرام تصویر بررسی و محاسبه کرد.

همچنین استفاده از مدل های عددی مانند HYSPLIT می تواند برای غلبه بر برخی از محدودیت های بیان شده مورد استفاده قرار گیرد. به عنوان مثال با استفاده از این مدل ها می توان تمامی طوفان های گرد و غباری را مدلسازی کرد و عواملی همچون ابرناکی و یا رخ دادن طوفان در ساعاتی که تصویر برداری صورت نمی گیرد، ایجاد ممانعت نمی کند. اگرچه دقت این مدل ها به شدت به داده های هواشناسی ورودی وابسته است و این موضوع می تواند نتایج کار را متاثر سازد. همچنین استفاده از متدولوژی های جدید مانند SARA<sup>۱</sup> که برای محاسبه AOD با رزولوشن های بالا توسعه یافته است می تواند کارآمد باشد. همچنین مقایسه نتایج مطالعه حاضر با نتایج حاصل از الگوریتم SARA می تواند دید مناسبی از عملکرد این مدل به محققان بدهد.

---

<sup>۱</sup> Simplified Aerosol Retrieval Algorithm

# مراجع

- [1] Ackerman SA (1989) Using the radiative temperature difference at 3.7 and 11  $\mu\text{m}$  to tract dust outbreaks *Remote Sensing of Environment* 27:129-133
- [2] Ackerman SA (1997) Remote sensing aerosols using satellite infrared observations *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 102:17069-17079
- [3] Alizadeh-Choobari O, Ghafarian P, Owlad E (2016) Temporal variations in the frequency and concentration of dust events over Iran based on surface observations *International Journal of Climatology* 36:2050-2062
- [4] Amraoui M, DaCamara C, Pereira J (2010) Detection and monitoring of African vegetation fires using MSG-SEVIRI imagery *Remote sensing of Environment* 114:1038-1052
- [5] A. Chen, B. Howl, and A.Sidel during their summer 2015 internship with the Deep Blue group at NASA GSFC.
- [6] Behrooz RD, Esmaili-Sari A, Bahramifar N, Kaskaoutis D (2017) Analysis of the TSP, PM10 concentrations and water-soluble ionic species in airborne samples over Sistan, Iran during the summer dusty period *Atmospheric Pollution Research* 8:403-417
- [7] Bullard JE, Harrison SP, Baddock MC, Drake N, Gill TE, McTainsh G, Sun Y (2011) Preferential dust sources: A geomorphological classification designed for use in global dust-cycle models *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* 116
- [8] Cao H, Amiraslani F, Liu J, Zhou N (2015a) Identification of dust storm source areas in West Asia using multiple environmental datasets *Science of the Total Environment* 502:224-235
- [9] Cao H, Liu J, Wang G, Yang G, Luo L (2015b) Identification of sand and dust storm source areas in Iran *Journal of Arid Land* 7:567-578
- [10] Choobari OA, Zawar-Reza P, Sturman A (2014) The global distribution of mineral dust and its impacts on the climate system: A review *Atmospheric Research* 138:152-165
- [11] Draxler RR, Ginoux P, Stein AF (2010) An empirically derived emission algorithm for wind-blown dust *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 115
- [12] Escudero M, Stein A, Draxler R, Querol X, Alastuey A, Castillo S, Avila A (2006) Determination of the contribution of northern Africa dust source areas to PM10 concentrations over the central Iberian Peninsula using the Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory model (HYSPPLIT) model *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 111
- [13] Esmaili O, Tajrishy M, Arasteh PD Results of the 50 year ground-based measurements in comparison with satellite remote sensing of two prominent dust emission sources located in Iran. In: *Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere XI*, 2006. International Society for Optics and Photonics, p 636209
- [14] Francis DBK, Flamant C, Chaboureau J-P, Banks J, Cuesta J, Brindley H, Oolman L (2017) Dust emission and transport over Iraq associated with the summer Shamal winds *Aeolian Research* 24:15-31

- [15] Gerivani H, Lashkaripour GR, Ghafoori M, Jalali N (2011) The source of dust storm in Iran: a case study based on geological information and rainfall data *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 6
- [16] Ghadiri H Restoration of Mesopotamian Marshlands. In: 2nd International Conference on Environmental Science and Technology (ICEST 2006). American Science Press, 2006.
- [17] Ginoux P, Prospero JM, Gill TE, Hsu NC, Zhao M (2012) Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS Deep Blue aerosol products *Reviews of Geophysics* 50
- [18] Givehchi R, Arhami M, Tajrishy M (2013) Contribution of the Middle Eastern dust source areas to PM10 levels in urban receptors: Case study of Tehran, Iran *Atmospheric environment* 75:287-295
- [19] Goudie A, Middleton N (2001) Saharan dust storms: nature and consequences *Earth-Science Reviews* 56:179-204
- [20] Goudie AS (2014) Desert dust and human health disorders *Environment international* 63:101-113
- [21] Goudie AS, Middleton NJ (2006) Desert dust in the global system. Springer Science & Business Media, Gebreyesus, Michael Gidey (2009). Validation of RS Approaches to Model Surface Characteristics in Hydrology: A Case Study in Guareña Aquifer, Salamanca, Spain Validation of RS Approaches to Model Surface Characteristics in Hydrology: A Case Study in Guareña Aquifer, Salamanca, Spain. *Geo-Information Science and earth observation*. ITC, Netherland.
- [22] Hamidi M, Kavianpour MR, Shao Y (2013) Synoptic analysis of dust storms in the Middle East *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* 49:279-286
- [23] Hao X, Qu JJ (2007) Saharan dust storm detection using moderate resolution imaging spectroradiometer thermal infrared bands *Journal of Applied Remote Sensing* 1:013510
- [24] Hoffmann C, Funk R, Wieland R, Li Y, Sommer M (2008) Effects of grazing and topography on dust flux and deposition in the Xilingele grassland, Inner Mongolia *Journal of arid environments* 72:792-807
- [25] Huang M, Wang W, Chan CY, Cheung KC, Man YB, Wang X, Wong MH (2014) Contamination and risk assessment (based on bioaccessibility via ingestion and inhalation) of metal (loid) s in outdoor and indoor particles from urban centers of Guangzhou, China *Science of the Total Environment* 479:117-124
- [26] Karimi N, Moridnejad A, Golian S, Vali Samani JM, Karimi D, Javadi S (2012) Comparison of dust source identification techniques over land in the Middle East region using MODIS data *Canadian Journal of Remote Sensing* 38:586-599
- [27] KARIMIAN B, LANDI A, HOJATI S, AHADIAN J (2016) PHYSICO-CHEMICAL AND MINERALOGICAL CHARACTERISTICS OF DUST PARTICLES CARRIED THROUGH DUST STORMS IN AHVAZ CITY
- [28] Kaskaoutis D et al. (2015) Meteorological aspects associated with dust storms in the Sistan region, southeastern Iran *Climate Dynamics* 45:407-424

- [29] Magee JW, Miller GH, Spooner NA, Questiaux D (2004) Continuous 150 ky monsoon record from Lake Eyre, Australia: insolation-forcing implications and unexpected Holocene failure *Geology* 32:885-888
- [30] Maleki H, Sorooshian A, Goudarzi G, Nikfal A, Baneshi MM (2016) Temporal profile of PM10 and associated health effects in one of the most polluted cities of the world (Ahvaz, Iran) between 2009 and 2014 *Aeolian research* 22:135-140
- [31] McGowan H, Clark A (2008) Identification of dust transport pathways from Lake Eyre, Australia using Hysplit *Atmospheric Environment* 42:6915-6925
- [32] McTainsh G, Lynch A, Tews E (1998) Climatic controls upon dust storm occurrence in eastern Australia *Journal of Arid Environments* 39:457-466
- [33] Middleton N (1986) A geography of dust storms in South-west Asia *Journal of Climatology* 6:183-196
- [34] Middleton N (2017) Desert dust hazards: A global review *Aeolian Research* 24:53-63
- [35] Middleton N, Goudie A (2001) Saharan dust: sources and trajectories *Transactions of the Institute of British Geographers* 26:165-181
- [36] Miller S (2003) A consolidated technique for enhancing desert dust storms with MODIS *Geophysical Research Letters* 30
- [37] Moridnejad A, Karimi N, Ariya PA (2015a) A new inventory for middle east dust source points *Environmental monitoring and assessment* 187:582
- [38] Moridnejad A, Karimi N, Ariya PA (2015b) Newly desertified regions in Iraq and its surrounding areas: Significant novel sources of global dust particles *Journal of Arid Environments* 116:1-10
- [39] Najafi MS, Khoshakhllagh F, Zamanzadeh SM, Shirazi MH, Samadi M, Hajikhani S (2014) Characteristics of TSP loads during the Middle East springtime dust storm (MESDS) in Western Iran *Arabian Journal of Geosciences* 7:5367-5381
- [40] Najafi MS, Sarraf B, Zarrin A, Rasouli A (2017) Climatology of atmospheric circulation patterns of Arabian dust in western Iran *Environmental monitoring and assessment* 189:473
- [41] Namdari S, Karimi N, Sorooshian A, Mohammadi G, Sehatkashani S (2018) Impacts of climate and synoptic fluctuations on dust storm activity over the Middle East *Atmospheric Environment* 173:265-276
- [42] Norton CC, Mosher FR, Hinton B, Martin DW, Santek D, Kuhlow W (1980) A model for calculating desert aerosol turbidity over the oceans from geostationary satellite data *Journal of Applied Meteorology* 19:633-644
- [43] Notaro M, Alkolibi F, Fadda E, Bakhrjy F (2013) Trajectory analysis of Saudi Arabian dust storms *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 118:6028-6043
- [44] Partow H (2001) The Mesopotamian marshlands: demise of an ecosystem.
- [45] Prospero JM, Ginoux P, Torres O, Nicholson SE, Gill TE (2002) Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product *Reviews of geophysics* 40

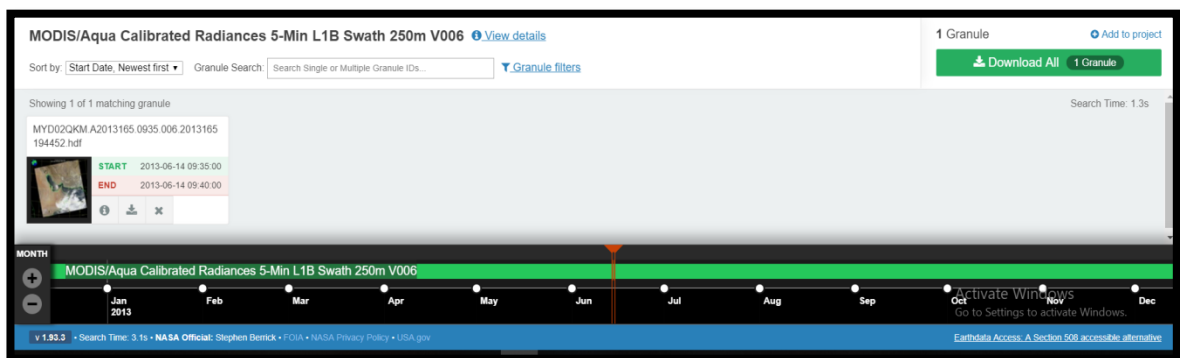
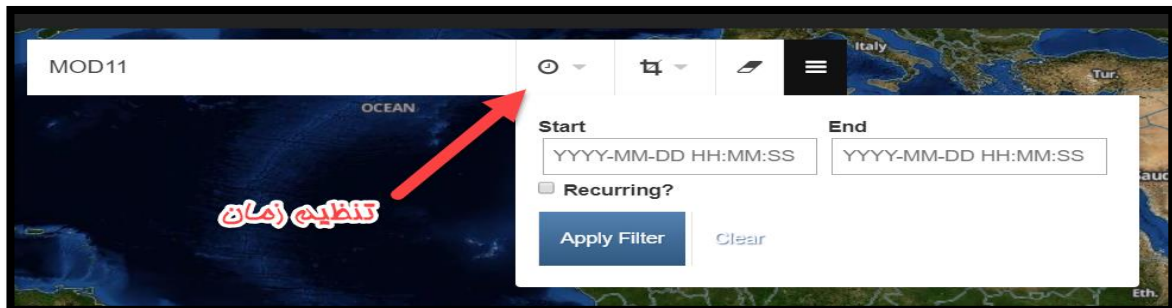


- [46] Rashki A, Kaskaoutis D, Goudie A, Kahn R (2013) Dryness of ephemeral lakes and consequences for dust activity: the case of the Hamoun drainage basin, southeastern Iran *Science of the Total Environment* 463:552-564
- [47] Rashki A, Arjmand M, Kaskaoutis D (2017) Assessment of dust activity and dust-plume pathways over Jazmurian Basin, southeast Iran *Aeolian Research* 24:145-160
- [48] Rezazadeh M, Irannejad P, Shao Y (2013) Climatology of the Middle East dust events *Aeolian Research* 10:103-109
- [49] Shahsavani A et al. (2012) Characterization of ionic composition of TSP and PM 10 during the Middle Eastern Dust (MED) storms in Ahvaz, Iran *Environmental monitoring and assessment* 184:6683-6692
- [50] Shepherd G et al. (2016) Global assessment of sand and dust storms
- [51] Song Z (2004) A numerical simulation of dust storms in China *Environmental Modelling & Software* 19:141-151
- [52] Tao H, Yaohui L, Hui H, Yongzhong Z, Yujie W Automatic detection of dust storm in the northwest of China using decision tree classifier based on MODIS visible bands data. In: *Proceedings. 2005 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2005. IGARSS'05., 2005. IEEE*, pp 3603-3606
- [53] Varga G, Kovács J, Újvári G (2013) Analysis of Saharan dust intrusions into the Carpathian Basin (Central Europe) over the period of 1979–2011 *Global and planetary change* 100:333-342
- [54] Viana M, Kuhlbusch TAJ, Querol X, “ et al”, Source apportionment of particulate matter in Europe: A review of methods and results, *Aerosol Science* 2008; 39: 827–849.
- [55] Wang W, Huang M-j, Kang Y, Wang H-s, Leung AO, Cheung KC, Wong MH (2011) Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in urban surface dust of Guangzhou, China: status, sources and human health risk assessment *Science of the Total Environment* 409:4519-4527
- [56] Washington R, Todd M, Middleton NJ, Goudie AS (2003) Dust-storm source areas determined by the total ozone monitoring spectrometer and surface observations *Annals of the Association of American Geographers* 93:297-313
- [57] Yu Y, Notaro M, Kalashnikova OV, Garay MJ (2016) Climatology of summer Shamal wind in the Middle East *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 121:289-305
- [58] Ye B, Ji X, Yang H, “ et al”, Concentration and chemical composition of PM<sub>2.5</sub> in Shanghai for a 1-year period, *Atmospheric Environment* 2003; 37(4): 449-510.
- [59] Zarasvandi A, Moore F, Nazarpour A (2011) Mineralogy and morphology of dust storms particles in Khuzestan Province: XRD and SEM analysis concerning Iranian *Journal of Crystallography and Mineralogy* 19:511-518
- [60] Zoljoodi M, Didevarasl A, Saadatabadi AR (2013) Dust events in the western parts of Iran and the relationship with drought expansion over the dust-source areas in Iraq and Syria *Atmospheric and Climate Sciences* 3:321

# پیوست‌ها

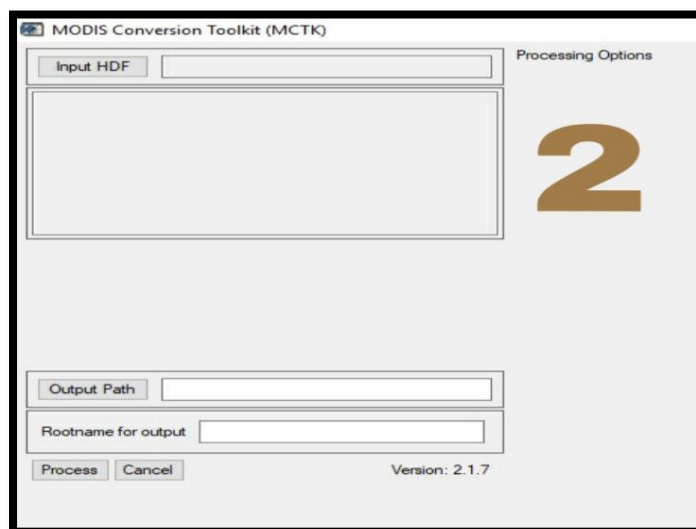
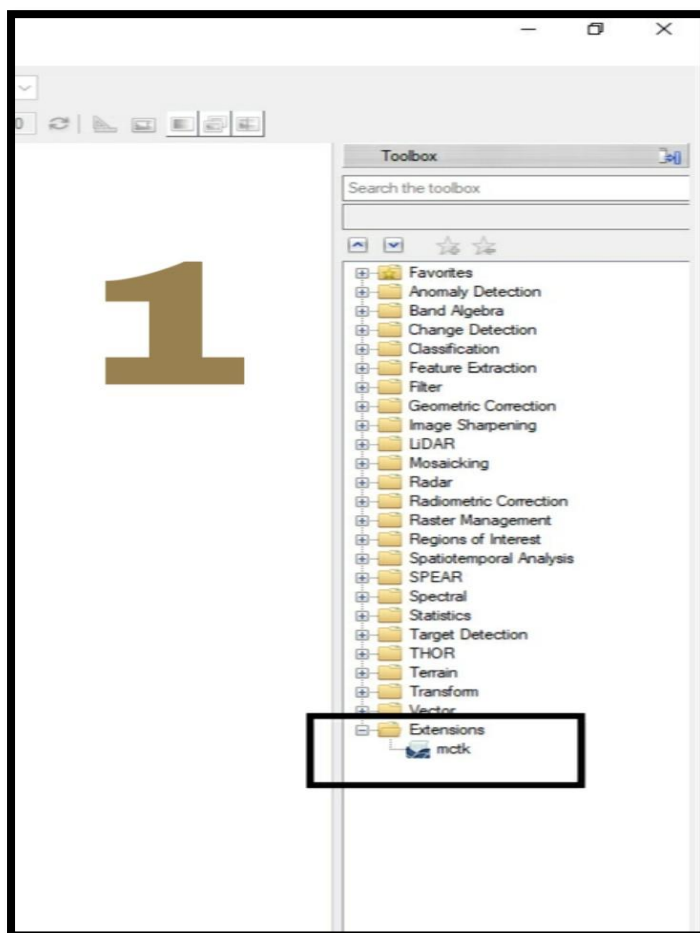
# پیوست ۱

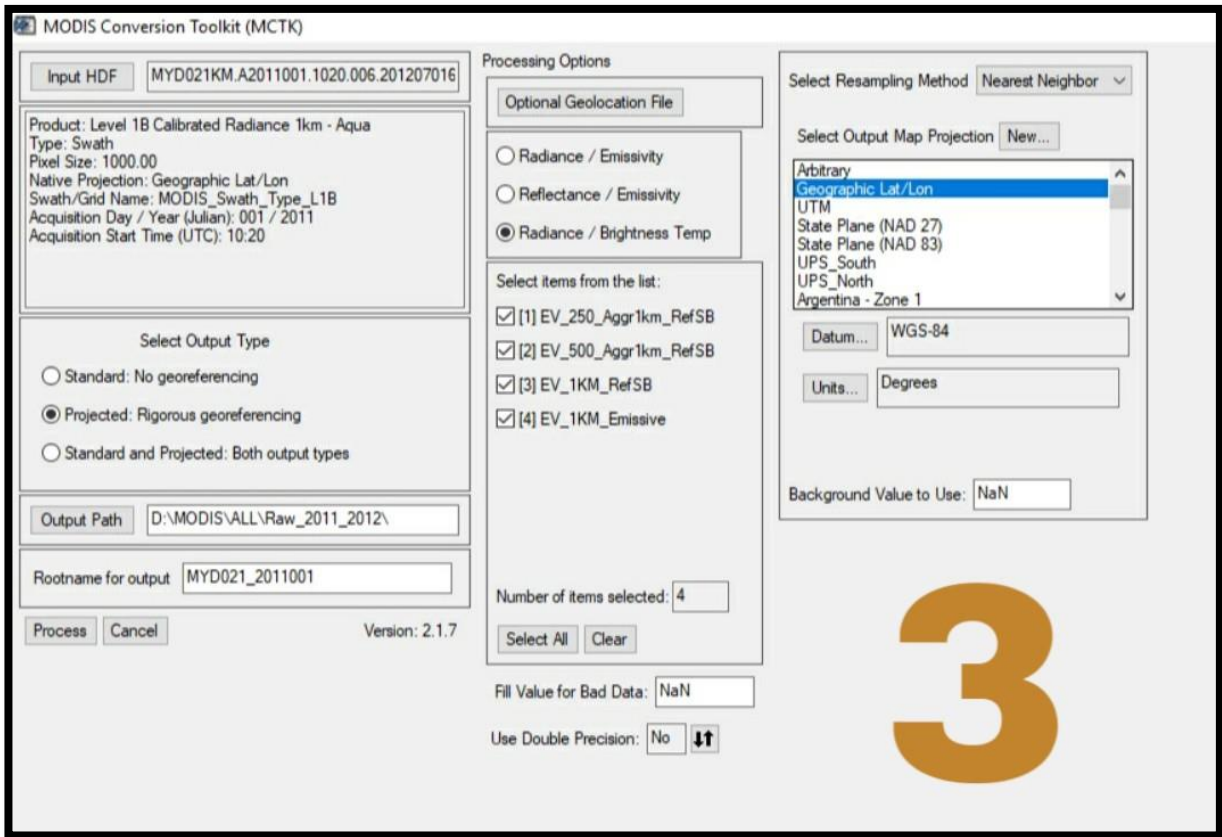
مراحل دانلود تصاویر سنجنده MODIS از سایت <https://search.earthdata.nasa.gov/search>



## پیوست ۲

### مراحل وارد کردن داده‌های ماهواره ای در نرم افزار ENVI 5.3





### پیوست ۳

نمونه‌ای از تاریخ‌های اخذ شده طوفان‌های گرد و غبار از ایستگاه هواشناسی اهواز

1	stationid	datetime	wv	ww
4	40811	1/1/2011 12:00	2000	
5	40811	1/15/2011 21:00	1500	6
6	40811	2/12/2011 9:00	1400	6
7	40811	2/12/2011 21:00	2000	6
8	40811	2/13/2011 0:00	1500	6
9	40811	2/13/2011 3:00	1800	6
10	40811	2/13/2011 6:00	1200	6
11	40811	2/13/2011 9:00	2000	6
12	40811	2/13/2011 12:00	2000	6
13	40811	2/13/2011 15:00	1500	6
14	40811	2/13/2011 18:00	1500	6
31	40811	2/27/2011 6:00	1500	6
40	40811	3/4/2011 0:00	800	6
41	40811	3/4/2011 3:00	400	6
42	40811	3/4/2011 6:00	400	6
43	40811	3/4/2011 9:00	400	6
44	40811	3/4/2011 12:00	400	6
45	40811	3/4/2011 15:00	700	6
46	40811	3/4/2011 18:00	1000	6
47	40811	3/4/2011 21:00	1000	6
48	40811	3/5/2011 0:00	1000	6
49	40811	3/5/2011 3:00	1200	6
50	40811	3/5/2011 6:00	800	6
51	40811	3/5/2011 9:00	800	6
53	40811	3/11/2011 3:00	1400	6
54	40811	3/11/2011 6:00	1200	6

**Abstract:**

Dust phenomenon is one of the most important environmental problems in different parts of the world, especially in arid and semi-arid regions. Dusting phenomena, in addition to the sharp decline in air quality, degradation of vegetation and soil, resulting in increased desertification and drought. The intensification of this phenomenon in recent years is one of the problems that the Middle East countries are facing. Due to fusion with desert areas of neighboring countries such as Iraq, Saudi Arabia and Syria in the western province of Iran, including Khuzestan and Ilam, in the past few years, they have been exposed to extreme dust storms. In this study, using the Middle East Dust Index (MEDI) algorithm, some of the dust storms affecting southwest of Iran have been identified. For this purpose, MODIS images were first taken on dusty days and the necessary modeling and calculations were carried out in ENVI software environment. The results of this study showed that many of the storms formed in southwestern Iran are caused by winds of the north wind. Dust centers of eastern Syria, northwest, center and south of Iraq and west of Khuzestan province are affected by wind blowing, which leads to lower air quality in western provinces of Iran, especially Khuzestan and Ilam.

**Keywords:** Dust storm, Remote sensing, Dusting, Dusting





**Shahrood University of  
Technology**

**Faculty of Civil Engineering**

**Master's Degree in Engineering and Water Resources Management**

## **Thesis Title**

***Investigation of time and location of dust events in  
southwestern Iran using satellite remote sensing data***

**By:**

**Roozbeh Ahmadi**

**Supervisor:**

**Dr. Saeed Golian**

**June 2019**