

تحلیلی بر رویدادهای گردوغبار با استفاده از پایش ماهواره‌ای و تحلیل همدیدی در جنوب غرب ایران

کوهزاد رئیس پور*: استادیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۳/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۱۳)

چکیده

کشور ایران در کمربند خشک و بیابانی جهان واقع شده است. حاکمیت این شرایط به تبعیت از موقعیت جغرافیایی آن، سازوکار لازم را برای وقوع رویدادهای گردوغباری در بسیاری از ایام سال فراهم کرده است. پدیده‌ی مذکور طی سال‌های اخیر با شدت و فراوانی وقوع، مناطق عمده‌ای از ایران (به خصوص بخش‌های غربی و جنوب غربی) را متأثر کرده که به لحاظ اقلیمی و زیست محیطی، مطالعه و مدیریت کاهش آثار آن در اولویت است. در این پژوهش نیز رویداد گردوغباری که در آبان ۱۳۹۶ اتفاق افتاد، با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر سنجش از دور چند زمانی Terra/MODIS، تحلیل‌های همدیدی مبتنی بر برونداد پایگاه ECMWF و پارامترهای هواشناسی از پایگاه NCEP/NCAR بررسی شد. بنابراین، بر حسب ویژگی‌های انعکاس و جذب رویداد غباری مذکور، محدوده‌ی غبار حاصله و شدت آن به گونه‌ی دقیق استخراج و درجه‌ی شدت آنها برآورد شد. سپس مسیر حرکت آن به وسیله‌ی داده‌های چند زمانی Terra/MODIS مشخص شد. نتایج حاصل از بررسی ماهواره‌ای، بیانگر توافق زیاد با پایش شرایط هواشناسی حاکم در زمان وقوع گردوغبار است. همچنین نتایج نشان داد که شرایط جوی حاکم بر لایه‌ی مرزی هواشناسی، در ایجاد تلاطم و انتقال گردوغبار از بیابان‌های شمال عربستان، شرق و جنوب سوریه، و غرب و جنوب عراق به جنوب غرب ایران نقش مهم و انکارناپذیری دارد؛ به گونه‌ای که در رویداد مورد مطالعه، شرایط هواشناسی ناپایدار همچون فرارگیری ناوهای بسیار عمیق، چرخند قوی همراه با تاوایی مثبت قابل توجه در محور ناوه و ناپایداری و صعود هوا، زمینه را برای ایجاد شرایطی ناآرام و متلاطم بر فراز نواحی بیابانی کشورهای عربی همجوار با غرب ایران، فراهم و شرایط بسیار مساعدی برای برداشت، حمل و انتقال آن به نواحی غرب و جنوب غرب ایران مهیا کرده است.

واژگان کلیدی: پایش ماهواره‌ای، تحلیل همدیدی، تصاویر MODIS، جنوب غرب ایران، گردوغبار.

۱- مقدمه

ذرات معلق موجود در اتمسفر، جزء مهمی از سیستم آب و هوایی به شمار می‌رود و به طور پیوسته در هواسپهر در حال جابجایی است (Arimoto, 2000). همین ذرات معلق که با تشکیل هسته‌های تراکمی و ایجاد بارش، حیات را رقم می‌زند، امروزه به یکی از مهم‌ترین معضلات زیست‌محیطی تبدیل شده و مقابله با آنها ضرورتی انکارناپذیر است. این پدیده‌ها شامل ذرات ریز خاک است و می‌تواند در مواقع خاص تا ارتفاعات چند کیلومتری بالای سطح زمین نیز پراکنده شود (Prospero et al, 2002). مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، خاستگاه بزرگ‌ترین منابع اولیه گردوغبار است (Dareмова et al, 2005). برآوردها نشان می‌دهد که بیش از ۵۰ درصد از ذرات موجود در جو، از مناطق مذکور نشأت می‌گیرد (Zender, et al, 2004). این ذرات می‌تواند بر میزان تابش دریافتی محل (Zhao, et al, 2011) و ویژگی‌های ابرها (Satheesh et al, 2005) اثرات مستقیم و نامستقیم داشته باشد، همچنین بر پویایی سامانه‌های هواسپهری نیز اثرات نیمه مستقیمی بر جای بگذارد (Forster et al, 2007).

خاورمیانه یکی از کانون‌های عمده گردوغبار در ماه‌های تابستان است و طوفان‌های گردوغبار در این منطقه، اغلب با بادهای شمالی و سیکلون‌ها همراه می‌شود (Goudie, 2009). بیشترین میزان فراوانی و طولانی‌ترین تداوم زمانی این طوفان‌ها، در مناطق سوریه و عراق مشاهده شده است (Trigo et al, 1999)؛ علاوه بر این بالاترین تراکم منابع گردوغبار در خاورمیانه، در نواحی شمال عراق بین رودخانه‌های دجله و فرات و در امتداد مرز سوریه و عراق مشاهده می‌شود (Goudie et al, 2006).

کشور ایران به خصوص جنوب غرب آن به دلیل استقرار در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان و همجواری با بیابان‌های وسیع کشورهای همسایه، همواره از سوی سامانه‌های گردوغبار منطقه‌ای و فرا منطقه‌ای متأثر می‌شود. گرچه بروز این پدیده در مناطق جنوب، جنوب غرب و غرب کشور تازگی ندارد، در شرایط فعلی، دامنه‌ی فعالیت گسترده‌تری یافته است و بیش از ۲۰ استان کشور از جمله تهران را با مساحت بیش از یک میلیون کیلومترمربع تحت تأثیر قرار می‌دهد (Raispour et al, 2016). بر این اساس، مطالعه‌ی مستمر این پدیده و آشکارسازی ابعاد آن می‌تواند به ارائه‌ی راهکارهایی کارساز برای مقابله با آن منتهی شود. اینک روش‌های اندازه‌گیری زمینی و تکنولوژی سنسجس از دور، دو روش عمده و مهم برای پایش طوفان‌های گردوغباری است (Draxler et al, 2001). هنگامی که این طوفان‌ها اتفاق می‌افتد، شرایط محیطی اغلب بسیار بد است. مکان‌های اندازه‌گیری طوفان‌های گردوغباری معمولاً پراکنده است. روش‌های اندازه‌گیری سنتی زمین مرجع از نظر فضایی و زمانی وضوح ناچیزی دارد؛ به همین دلیل نمی‌توان طوفان‌های گردوغباری را به خوبی پایش و پیش‌بینی کرد (Samadi et al, 2014).

به دلیل تغییرات سریع در ماهیت و مکان گسترش طوفان‌های گردوغبار، محدودیت‌هایی در بررسی و اندازه‌گیری‌های مربوط به آن وجود دارد. مدل‌های عددی هواشناسی نیز به تنهایی نمی‌تواند به ردیابی و آشکارسازی طوفان‌های گردوغبار بپردازد. امروزه تکنولوژی سنسجس از دور با فراهم آوردن تصاویر متعدد جهانی و منطقه‌ای با مقیاس‌های زمانی، مکانی و طیفی مختلف، ابزاری مناسب و مفید برای پایش، اندازه‌گیری و برداشت ویژگی‌های گردوغبار شناخته شده است (Grousset et al, 2005). همچنین سنسجس از دور می‌تواند محدوده و قلمرو طوفان‌های گردوغباری، درجات شدت و مسیر حرکت آنها را بررسی کند (Zhang et al, 2006).

برخی الگوهای هواشناسی مانند سامانه‌های جبهه‌ای و سامانه‌های همدید شناخته شده، انتشار گردوغبار را تشدید می‌کند (Trigo et al, 2002). در این زمینه برای تشخیص و پایش مسیر حرکت طوفان‌های گردوغبار، بر قابلیت رهگیری جریان باد با بررسی نقشه‌های همدیدی تأکید شده‌است (King et al, 1999). برای ردیابی این پدیده از شاخص‌ها و روش‌های متعددی استفاده می‌شود؛ نظیر اختلاف دمای روشنایی (Ackerman, 1997)، اندیس نرمال شده‌ی گرد و غبار (Qu et al, 2006)، شاخص پارامتر D (Li et al, 2006)، مدل محاسبه‌ی ضخامت نوری (Washigton et al, 2005)، تفسیر چشمی و پردازش‌های تصاویر. هر یک از این روش‌ها و شاخص‌ها نیز به داده‌های خاص خود نیازمند است.

بسیاری از محققان در چین و خارج از آن با استفاده از تکنولوژی سنجش از دور ماهواره‌ای، تجربه‌ها و آزمایش‌های زیادی برای بررسی گردوغبار انجام داده و شاخص شدت طوفان گردوغباری را به منظور مقایسه‌ی آنها ایجاد کرده‌اند (Luo, 2003). Guo و همکاران (2006) فرایندهای طوفانی گردوغبار قوی و شدید را که در سال ۲۰۰۳ در شمال غرب چین رخ داد، با داده‌های MODIS بررسی و کارایی برخی از این شاخص‌ها را در پایش گردوغبار تحسین کردند. همچنین Li و همکاران (2003)، نواحی طوفان گردوغبار را به وسیله‌ی ترکیب تصاویر Terra and Aqua در هنگام روز و شب استخراج کردند. Liu و همکاران (2006) نیز شاخص گردوغبار متفاوت هنجار شده (NDDI) را برای تشخیص ابر و گردوغبار پیشنهاد دادند. John و همکاران (2006) برای تولید پارامترهای مجزا در تشخیص ابرهای سیروس و گردوغبار، آزمون‌های ضریب انعکاس طول موج کوتاه را با تفاوت دمای درخشندگی طول موج بلند ترکیب کرده‌اند. Li و همکاران (2009) نیز برای تشخیص طوفان گردوغبار ۱۴ مارس ۲۰۰۹ در منطقه‌ی گانسو و نیمگن چین، از داده‌های مادیس و شاخص NDDI برای استخراج اطلاعات این پدیده از آنها و تفکیک ابر و سطح بیابان از گردوغبار استفاده کردند. آنها برای آشکارسازی طوفان گردوغبار، از روند افزایشی بازتاب از سطح گردوغبار در تصاویر مادیس دریافت شده در طول موج‌های ۰/۴ الی ۲/۱۴ میکرومتر استفاده کردند.

Zozuli Faleh و همکاران (2014)، از باندهای مرئی و حرارتی سنجنده‌ی مادیس و با به کارگیری شاخص اکرم و تحلیل سینوپتیکی استفاده کردند. این امر با هدف شناسایی چگونگی حرکت گردوغبار از منشأ به داخل ایران صورت گرفت. نتایج این بررسی و تفسیر چشمی تصاویر بارز شده نشان داد که منشأ پدیده‌های گردوغبار ورودی به غرب و جنوب غرب کشور، از سوریه و عراق به خصوص مناطق مرزی این دو کشور و بخشی از عربستان سعودی است. Shamshiri و همکاران (2014) به منظور بررسی وضعیت گردوغبار در استان کرمانشاه، از داده‌های سنجش از دور روزهای گردوغبار استفاده کردند. نامبرده بر اساس شاخص‌های گردوغبار آکرم، میلر و TDI، به بازسازی و پهنه‌بندی دو رویداد مهم گردوغباری در کرمانشاه پرداخت. نتایج نشان داد که کارایی دو شاخص‌های گردوغبار بر پایه‌ی MODIS، از رویدادی به رویداد دیگر متفاوت بود و به ترتیب، شاخص آکرم سپس شاخص‌های TDI و میلر بهترین کارایی را در آشکارسازی این پدیده برعهده داشت.

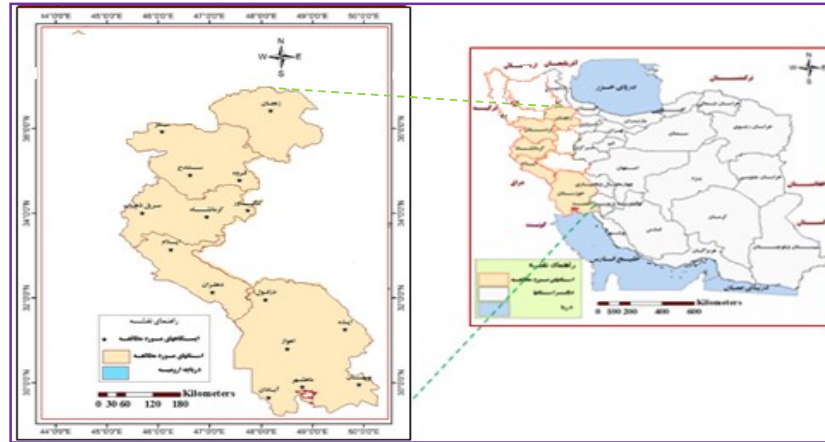
Karimi و همکاران (2012) چهار روش معروف به الگوریتم تشخیص گردوغبار، شاخص نرمال شده‌ی تفاضل گردوغبار، الگوریتم آبی عمیق و اختلاف دمای درخشایی را با استفاده از تصاویر مادیس به کار بردند. این امر به منظور آشکارسازی سه واقعه‌ی طوفان گردوغبار در خاورمیانه صورت گرفت. سپس نتایج به دست آمده با نتیجه‌ی مدل

اتمسفری (HYSPLIT) مقایسه شد که نتیجه‌ی آن، توصیه‌ی مدل اختلاف دمای درخشایی بود. بنابراین، بسیاری از محققان به شناسایی دقیق و صحیح طوفان‌های گردوغباری پرداختند و تحقیقات آنها به نواحی توزیع این طوفان‌ها محدود شد (Fan, 2002).

در این سال‌ها، ماهواره‌های بیشتر و بیشتری به فضا پرتاب شده‌است. تشخیص مسیر حرکت طوفان‌های گردوغباری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه - که از سنجنده‌های ماهواره‌های متفاوت به دست می‌آید - ممکن شده‌است. در این پژوهش نیز با توجه به نوع تصاویر در دسترس و پدیده‌ی مورد بررسی، از روش‌های اعمال الگوریتم گردوغبار، تفسیر چشمی و پردازش رقومی تصاویر ماهواره‌ای، برای دستیابی به اهداف تحقیق استفاده شد. محدوده و قلمرو طوفان گردوغباری به دست آمد، سپس مسیر حرکت و درجات شدت آنها به وسیله‌ی داده‌های چند زمانی مشخص شد. بنابراین، نتایج این تحقیق می‌تواند به درک و فهم درستی از نواحی منشأ و مسیر حرکت طوفان‌های گردوغبار در دید جامع منجر شود و مبنایی برای تصمیم‌گیری و ارائه‌ی راهکارهای علمی تر باشد.

۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

جنوب غرب ایران به لحاظ توپوگرافی، از دشت‌ها و جلگه‌های پست بسیار کم‌ارتفاع نسبت به سطح دریا در نواحی جنوبی (دشت‌های خوزستان و ایلام) تا رشته‌کوه‌های پیاپی زاگرس با ارتفاع نزدیک به ۴۰۰۰ متر از سطح دریا در نواحی مرکزی و شمالی تشکیل شده‌است. نواحی کوهستانی این منطقه از اقلیمی معتدل و نیمه‌خشک تشکیل می‌شود، ولی بخش جنوبی آن اقلیمی گرم و خشک دارد. این منطقه در غرب با کشور عراق و در ناحیه‌ی جنوبی به دریای خلیج فارس محدود شده‌است. در این تحقیق نیز محدوده‌ی جغرافیایی جنوب غرب ایران شامل گستره‌ای است که از جنوب به شمال، پنج استان کشور (استان‌های خوزستان، ایلام، کرمانشاه، کردستان، زنجان) را در برمی‌گیرد (شکل ۱). این منطقه به علت مجاورت با بیابان‌های گسترده در کشورهای عربی همجوار، در سال‌های اخیر به شدت و به طور مکرر در معرض طوفان‌های گردوغبار با منشأ خارجی قرار گرفته‌است و بیشترین خسارات را از آن متحمل می‌شود. وضعیت زمین از نظر نوع خاک، پوشش گیاهی، رطوبت خاک و وضعیت منابع آب از دیدگاه مهار آب‌های سطحی و برداشت بی‌رویه از آن، ایجاد سدها و انحراف مسیر رودخانه‌ها، خشکسالی و جنگ‌های رخ داده در این منطقه، از عوامل مستقیم مؤثر بر ایجاد این پدیده است. این منطقه بین عرض‌های ۲۹° ۵۸' تا ۳۷° ۰۲' شمالی و طول جغرافیایی ۴۲° ۴۵' تا ۵۰° ۴۷' شرقی واقع شده‌است. محدوده و موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه، در شکل ۱ نشان داده شده‌است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

۳- مواد و روش

به دلیل تغییرات سریع در ماهیت و مکان گسترش طوفان‌های گردوغبار، محدودیت‌هایی در پایش و اندازه‌گیری‌های مربوط به آن وجود دارد. مدل‌های عددی هواشناسی نیز به تنهایی نمی‌تواند به ردیابی و آشکارسازی طوفان‌های گردوغبار بپردازد. امروزه تکنولوژی سنجش از دور با فراهم کردن تصاویر متعدد جهانی و منطقه‌ای با مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف، ابزاری مناسب برای پایش، اندازه‌گیری و برداشت ویژگی‌های گردوغبار به شمار می‌رود. در این مقاله برای بررسی طوفان گردوغباری، از داده‌های MODIS استفاده شد. در سنجنده‌های MODIS، ماهواره‌های Aqua – Terra ۳۶ کانال قرار گرفته‌است. دامنه‌ی طیفی آنها از $0.4\mu\text{m} \sim 14.385\mu\text{m}$ مرئی تا مادون قرمز را پوشش می‌دهد و در هر روز، حداقل ۴ تصویر MODIS از هر منطقه حاصل می‌شود. قدرت تفکیک بالای زمانی داده‌ها سبب می‌شود که طوفان‌های این پدیده به طور مداوم بررسی شود.

در این مقاله برای دستیابی به پوششی کامل و جامع از مناطق خاستگاه گردوغبار و امکان پایش مداوم، تصاویر موردنیاز سنجنده‌ی MODIS ماهواره‌ی Terra انتخاب و پس از موزائیک آنها، عملیات پیش‌پردازش و پردازش موردنیاز با استفاده از نرم‌افزار ENVI اعمال شد. سپس به بررسی یکی از مهم‌ترین فرایندهای گردوغبار با دوره‌ی تداوم شش روزه - که در تاریخ ۱۲-۷ آبان ۱۳۹۶ معادل با ۲۹ اکتبر تا ۳ نوامبر ۲۰۱۷، در جنوب غرب ایران رخ داد - پرداخته شد (جدول ۱). هنگامی که طوفان گردوغبار رخ می‌دهد، مقدار زیادی از ذرات آن با یکدیگر جمع می‌شود و به شکل لایه‌ای در می‌آید. این لایه‌ی گردوغباری ضخیم می‌تواند تابش سطحی و خورشیدی را جذب کند و انعکاس دهد. در اندازه‌گیری انعکاس پدیده‌ها در طول ۳۶ کانال MODIS، از کانال‌های مادون قرمز نزدیک و مرئی استفاده شده‌است. استفاده از کانال‌های مادون قرمز حرارتی در اندازه‌گیری دمای درخشندگی پدیده‌ها نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. مقایسه‌ی ویژگی‌های طیفی برخی از پدیده‌ها از قبیل ابر و زمین در طول گردوغبار، در شناسایی و تمرکز این پدیده بسیار حائز اهمیت است. ابرها انعکاس بالایی دارد، اما دمای درخشندگی آن پایین است؛ حال آنکه زمین انعکاس پایینی دارد، اما دمای درخشندگی آن بالاست. انعکاس و دمای درخشندگی طوفان گردوغبار نیز بین این

دو است. در این مقاله، دمای درخشندگی و انعکاس طوفان گردوغبار - که با توابع متمایز ایجاد شده‌اند - در استخراج محدوده‌ی طوفان گردوغباری و برآورد درجات شدت آن اساس قرار گرفته‌است.

جدول ۱: تعداد و زمان تصاویر مورد استفاده در رویداد گرد و غبار (آبان ۱۳۹۶)

| تصویر | تاریخ | زمان محلی | ماهواره | عرض ج (شمالی) | طول ج (شرقی) |
|-------|-----------|-----------|---------|---------------|--------------|
| ۱ | ۱۳۹۶/۸/۷ | ۱۳:۵۰ | Terra | ۲۰ - ۴۰ | ۳۵ - ۶۵ |
| ۲ | ۱۳۹۶/۸/۸ | ۱۰:۴۳ | Terra | ۲۰ - ۴۰ | ۳۵ - ۶۵ |
| ۳ | ۱۳۹۶/۸/۹ | ۱۱:۲۶ | Terra | ۲۰ - ۴۰ | ۳۵ - ۶۵ |
| ۴ | ۱۳۹۶/۸/۱۰ | ۱۰:۳۱ | Terra | ۲۰ - ۴۰ | ۳۵ - ۶۵ |
| ۵ | ۱۳۹۶/۸/۱۱ | ۱۱:۱۴ | Terra | ۲۰ - ۴۰ | ۳۵ - ۶۵ |
| ۶ | ۱۳۹۶/۸/۱۲ | ۱۰:۱۹ | Terra | ۲۰ - ۴۰ | ۳۵ - ۶۵ |

۳-۱- برآورد محدوده‌ی پراکنش رویدادهای گرد و غبار

محدوده‌ای که طوفان گردوغباری را از ابر، برف، سطح زمین و غیره جدا می‌سازد، مرز این طوفان را نمایش می‌دهد. در باندهای ۳۱ و ۳۲ MODIS در پنجره‌ی مادون قرمز حرارتی، جذب به وسیله‌ی دیگر گازهای جوی به طور ناچیزی کوچک و کم اهمیت است. گردوغبار در باند ۳۲ و ۳۱، تابندگی بسیار بالایی دارد. برای تشخیص این طوفان می‌توان از BTDR بین باند ۳۱ و ۳۲ استفاده کرد. چهار ناحیه‌ی به دست آمده‌ی ماسه‌ای، ماسه‌ای و ابری، ابری و سطح زمین انتخاب شد (شکل ۱). در شکل ۲ آستانه 1K-، می‌توان از BTDR در شناسایی ماسه از دیگر پدیده‌ها استفاده کرد. اما اگر آستانه از 1K- استفاده شود برخی نواحی طوفان گردوغباری مشخص نمی‌شود؛ به عبارتی، اگر آستانه از 0K استفاده شده باشد، استخراج محدوده‌ی طوفان گردوغباری به دقت صورت می‌گیرد. در این روش، ابر و سطح زمین باید پیش‌تر تفکیک شده باشد؛ بنابراین، پرتو مادون قرمز اصولاً در لایه‌ی ابری فوقانی سیروس حساس شده‌است به ویژه هنگامی که این ابرها ضخیم باشد، در این صورت BTDR نمی‌تواند گردوغبار را از ابرهای سیروس شناسایی کند. بنابراین، باندهای دیگر نیز می‌بایست مقایسه شود و انعکاس از پدیده‌های متفاوت، زمین و ابر - که می‌تواند مجزا شده باشد - در هنگام روز نیز پایه قرار گیرد. انعکاس از طوفان گردوغبار با افزایش طول موج، مشابه زمین است. بر طبق ویژگی‌های طیفی، انعکاس از ابر و برف در باند سوم از MODIS به ماکزیمم می‌رسد ($0.459\mu\text{m} \sim 0.479\mu\text{m}$)، اما در باند هفتم ($2.105\mu\text{m} \sim 2.155\mu\text{m}$) کمینه است. این تفاوت انعکاس طوفان گردوغبار از ابر و برف، مبنای شاخص NDDI قرار گرفته‌است و می‌تواند در از بین بردن تأثیر ابر و برف مؤثر باشد.

شاخص NDDI به صورت زیر نوشته می‌شود:

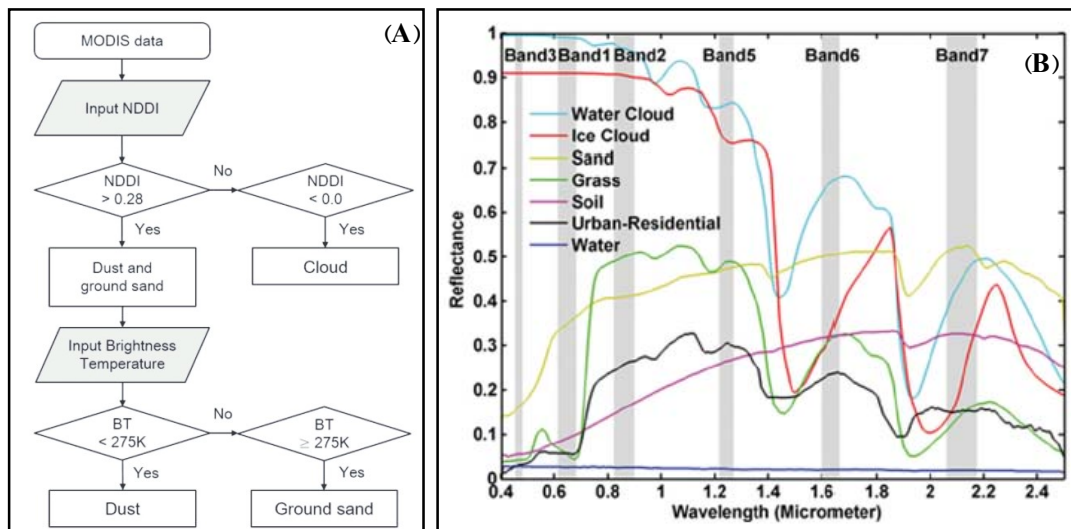
$$\text{NDDI: Normalize Difference Dust Index} \quad (1)$$

$$\text{NDDI} = \frac{(b7 - b3)}{(b7 + b3)}$$

در اینجا b3 و b7، بازتاب باند سه و باند هفت از باندهای مودیس است.

$$NDDI = \frac{(2.13\mu\text{m} - 0.4\mu\text{m})}{(2.13\mu\text{m} + 0.4\mu\text{m})}$$

از $NDDI > 0$ می‌توان در برطرف‌سازی تأثیر ابر استفاده کرد. هر چند بازتاب آب در باند ۷ نیز نزدیک به صفر است. اگر آنها آب باشند، $NDDI > 0$ نمی‌تواند نتیجه‌ی مفیدی داشته باشد. تأثیر آب می‌بایست ابتدا حذف شده باشد. باند ۷ می‌تواند در حذف تأثیر آب و باند ۲۶ در تشخیص ابر استفاده شود. در هنگام شب، اطلاعات بازتاب وجود ندارد؛ بنابراین دما از $11\mu\text{m}$ استفاده شده است. فرایندهای مرتبط نیز در شکل ۲ نشان داده شده است. همچنین برای مطالعه‌ی شرایط هواسپهری لحظه‌ی وقوع طوفان، به بررسی پارامترهای مختلف هواشناسی از قبیل فشار سطح دریا، نقشه‌های سطوح فوقانی هواسپهر به ویژه ترازهای ۹۲۵ و ۸۵۰ هکتوپاسکال ارتفاع ژئوپتانسیل، مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد، تاوایی، امگا و خطوط جریان با استفاده از سامانه‌ی ارزیابی و نمایش شبکه‌ی GRADS به‌منظور واکاوی شرایط همید استفاده شد. داده‌های مذکور برای روز وقوع طوفان، با مشاهدات چهار بار در روز با دقت فضایی $2/5 \times 2/5$ درجه-ی قوسی از مرکز پیش‌بینی‌های محیطی موسوم به NCEP، از تارگانه مرکز ملی اقیانوس و هواسپهر ایالات متحده آمریکا (NOAA) تهیه شد.



شکل ۲: الگوریتم استخراج گردوغبار با استفاده از شاخص NDDI (A) و نمودار بازتابش عوارض مختلف در باندهای ۳ تا ۷ سنجنده‌ی مودیس (B).

۴- نتایج

۴-۱- مطالعه‌ی موردی (رویداد گردوغبار آبان ۱۳۹۶)

اعمال شاخص‌های سنجنش از دور مبتنی بر بازتاب طیفی، می‌تواند رویدادهای گردوغباری را با آستانه‌های شدت قوی، متوسط و ضعیف برآورد سازد. با در اختیار داشتن بازتابش طیفی شن، گیاه، خاک، آب و ... می‌توان تشخیص داد که بازتابش شن و خاک، با افزایش طول موج در باندهای ۳ تا ۷ سنجنده‌ی مادیس (بین $0/4$ تا $2/5$ میکرومتر) افزایش می‌یابد. با بهره‌گیری از این خصوصیات طیفی، می‌توان ابرها و آب را - که بازتابش بالایی در باند ۳ دارند - از طوفان شن و گردوغبار جدا کرد. بر همین اساس، شاخص نرمال شده‌ی اختلاف گردوغبار (NDDI) که در این روش از

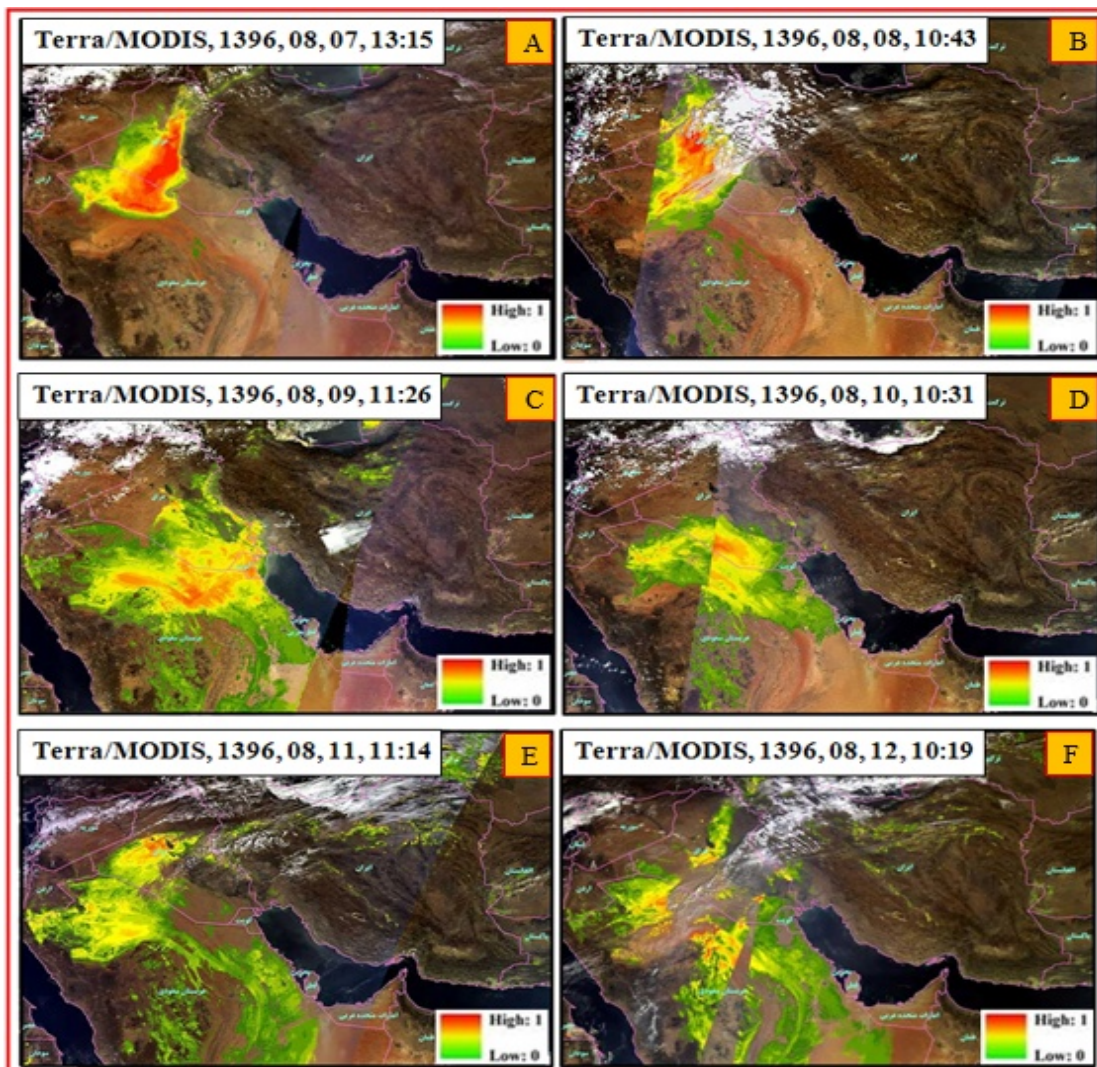
نسبت دو باند ۳ و ۷ در سنجنده‌ی مادیس استفاده می‌شود، برای بررسی گردوغبار در منطقه‌ی مورد مطالعه به کار گرفته شد.

نمونه‌ی منتخب، مربوط به تاریخ ۷ تا ۱۲ آبان ۱۳۹۶ شمسی (معادل با ۲۹ اکتبر تا ۳ نوامبر ۲۰۱۷ میلادی) است که جنوب غرب ایران با پدیده‌ی گردوغبار بسیار شدید همراه بوده‌است. رخداد مذکور، اداره‌ها، مدارس و فعالیت‌های انسانی را در شهرهای اهواز، آبادان، خرمشهر، ماهشهر، شادگان، بستان، هویزه، امیدیه، رامشیر، سوسنگرد، هندیجان، شوش، کارون، باوی، حمیدیه و برخی از شهرهای مربوط به استان‌های ایلام، کرمانشاه، کردستان و زنجان تعطیل کرد. ذکر این امر لازم است که بر اساس گزارش‌های سازمان محیط‌زیست، در روز اوج رویداد (۹ آبان)، میزان آلودگی هوا در اهواز به ۹ هزار و ۹۷۷ میکروگرم بر مترمکعب (۶۶ برابر حد مجاز) و در آبادان به ۱۰ هزار میکروگرم بر مترمکعب رسید و یک روز پس از شروع رویداد (۱۰ آبان)، میزان این آلودگی در اهواز به ۱ هزار و ۲۴۵ میکروگرم بر مترمکعب (هشت برابر حد مجاز) رسید. همچنین، رویداد مذکور میزان آلودگی هوا را در برخی از نواحی استان‌های ایلام، کرمانشاه و کردستان به شدت افزایش و دید افقی را بسیار کاهش داد (جدول ۲). بر طبق فرایندهای بررسی رویداد مذکور با استفاده از تصاویر سنجنده‌ی مودیس، شدت و مسیر حرکت این رویداد مشخص شد. نتایج نشان داد که این طوفان در روز شروع گردوغبار (۷ آبان ماه ۱۳۹۶)، ابتدا از بیابان‌های واقع در شمال شرق عربستان (نواحی بیابانی واقع در مرز عربستان و اردن) آغاز شد و پس از گسترش بر بیابان‌های وسیع نواحی جنوب سوریه، شمال عربستان و غرب عراق، با حرکتی شرق‌سوی به سمت جنوب غرب ایران حرکت کرد (شکل ۳- A). این رویداد در روز ۸ آبان به سرعت گسترش یافت و ضمن تحت‌تأثیر قرار دادن بخش‌های وسیعی از کشور سوریه، عراق و شمال عربستان، تا مرز غربی ایران نیز کشیده شد (شکل ۳- B). رویداد مورد مطالعه در روز سوم نیز ضمن گسترش به سمت نواحی جنوبی، به سمت غرب ایران پیشروی کرد و استان‌های واقع در این منطقه از قبیل استان‌های خوزستان، ایلام، کرمانشاه، کردستان و زنجان را به شدت تحت‌تأثیر خود قرار داد (شکل ۳- C). براساس گزارش‌های دریافتی از ایستگاه‌های سینوپتیک و سنجش آلودگی هوا، در روز ۹ آبان شرایط بسیار نامطلوبی از لحاظ کیفیت هوا و شدت گردوغبار در استان‌های واقع در منطقه‌ی مورد مطالعه وجود داشت.

توده‌ی گردوغبار مذکور در روزهای ۱۰ تا ۱۲ آبان ۱۳۹۶ همچنان با شدت و ضعف بر روی کشورهای عراق، عربستان و سوریه حاکم بود و علاوه بر این مناطق، بخش‌هایی از نواحی غربی کشور ایران را نیز درگیر کرد (شکل ۳- D-E-F). گردوغبار ایجاد شده بر روی کشورهای عراق و عربستان، بعد از گذشت ۳ روز همچنان به فعالیت خود ادامه داد و در روز چهارشنبه ۱۰ آبان ۱۳۹۶، همچنان بر کشور ایران تأثیرگذار بود. در پی حرکت شرق‌سوی پدیده‌ی گرد و خاک که بر روی نواحی بیابانی کشورهای عربی همجوار شکل گرفت، نوار جنوب غربی کشور (استان‌های خوزستان، ایلام، کرمانشاه و کردستان) به شدت از این پدیده متأثر شد. گردوغبار علاوه بر نواحی غربی، به تدریج به سایر استان‌های هم مرز این استان‌ها (استان زنجان و ...) نیز وارد شد.

جدول ۲: دید افقی در هنگام رویداد گرد و غبار (آبان ۱۳۹۶)

| استان | شهرستان | دید افقی (m) | استان | شهرستان | دید افقی (m) |
|---------|---------|--------------|----------|-----------|--------------|
| | آبادان | ۱۰۰ | | کرمانشاه | ۱۴۰۰ |
| | خرمشهر | ۲۰۰ | کرمانشاه | جوانرود | ۴۰۰ |
| | اهواز | ۴۰۰ | | سرارود | ۱۰۰۰ |
| خوزستان | هویره | ۳۰۰ | | سرپل ذهاب | ۳۰۰ |
| | بستان | ۴۰۰ | | سنندج | ۱۲۰۰ |
| | شادگان | ۵۰۰ | کردستان | سقز | ۱۸۰۰ |
| | شوش | ۸۰۰ | | بیجار | ۵۰۰۰ |
| | ایلام | ۱۸۰۰ | | پانه | ۲۲۰۰ |
| | سرابله | ۴۰۰۰ | | مریوان | ۳۰۰۰ |
| ایلام | مهران | ۲۰۰ | | زنجان | ۱۲۰۰ |
| | دهلران | ۱۶۰۰ | زنجان | خیرآباد | ۳۰۰۰ |
| | ایوان | ۲۴۰۰ | | خرمدره | ۳۸۰۰ |



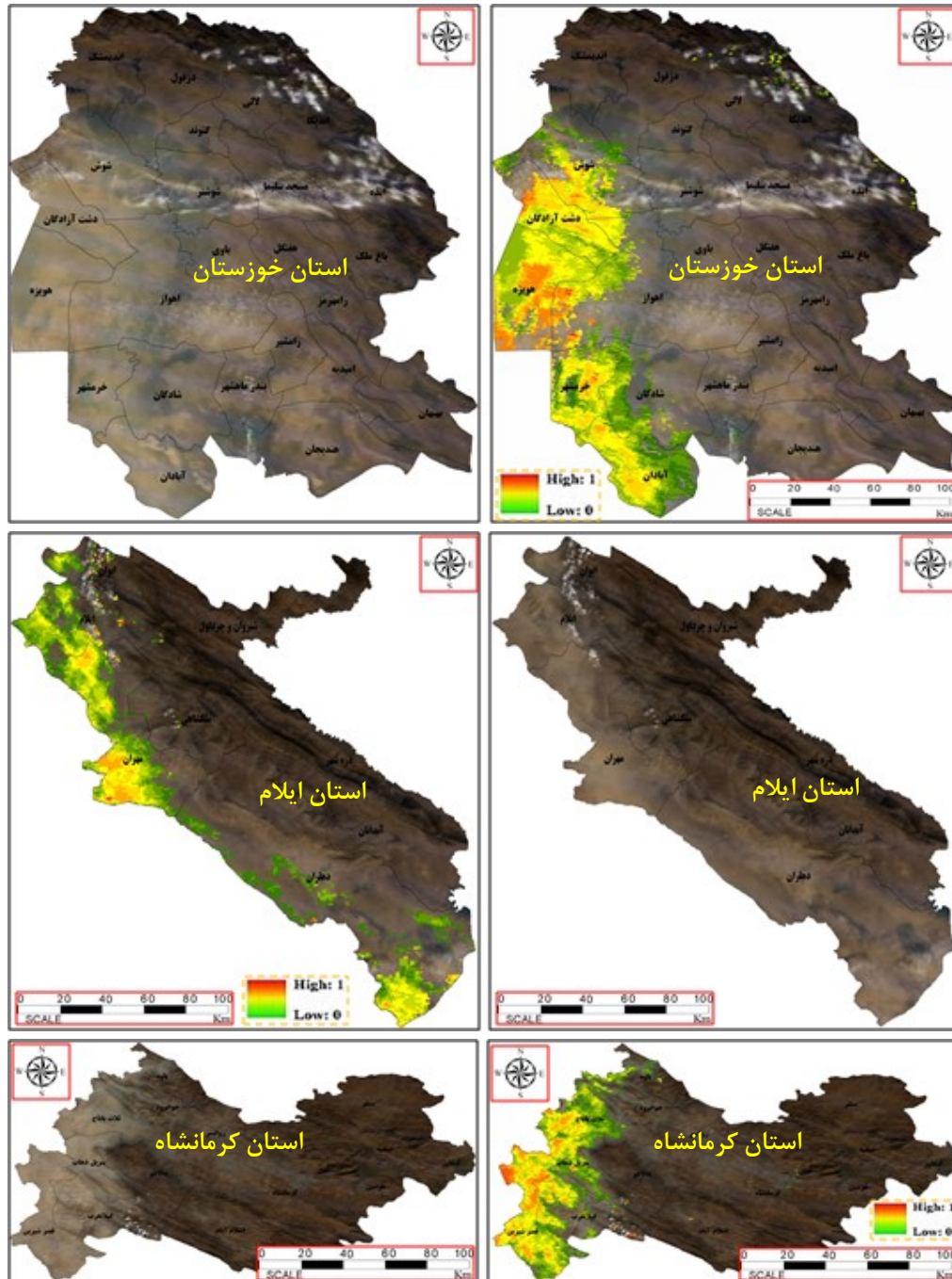
شکل ۳: پایش شدت نسبی گرد و غبار با اعمال الگوریتم NDDI بر روی تصاویر TERRA/MODIS - از رنگ سبز (شدت کم) تا

رنگ قرمز (شدت زیاد) - رویداد آبان ۱۳۹۶

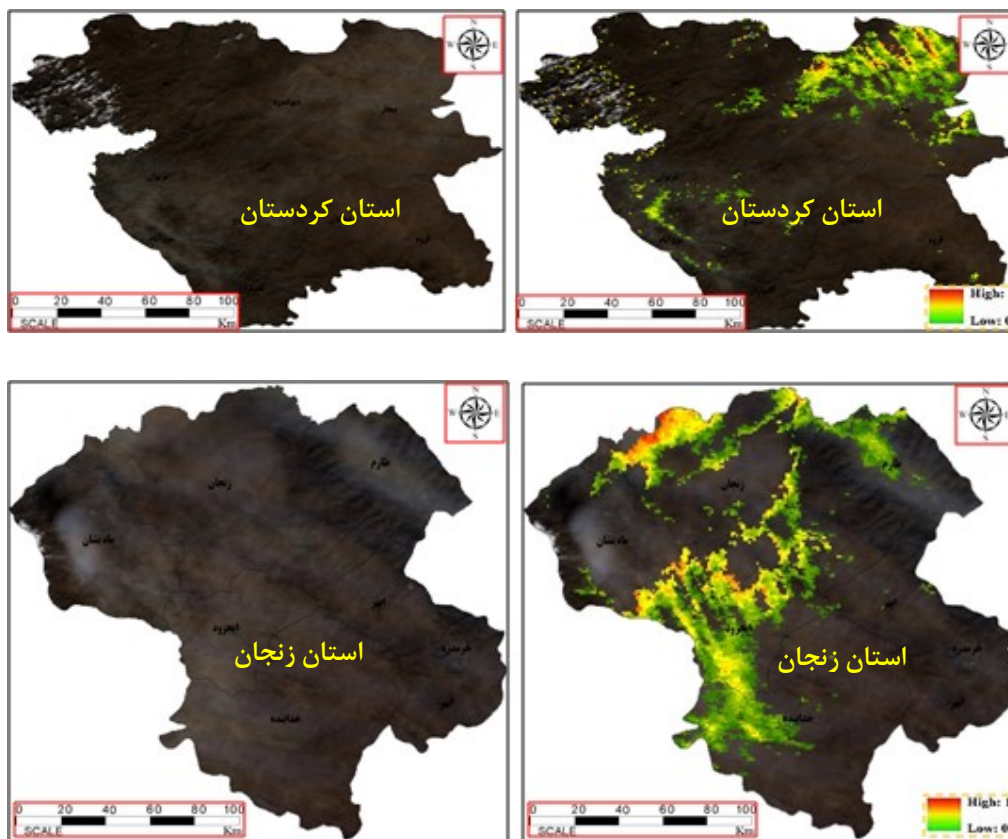
۲-۴- توزیع فضایی شدت گردوغبار به تفکیک استانی در جنوب غرب ایران

شکل شماره ۴، پایش شدت نسبی گردوغبار (رویداد گردوغبار ۹ آبان ۱۳۹۶) قبل و بعد از اعمال الگوریتم NDDI را به تفکیک محدوده‌ی استانی در استان‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. تصاویر سمت چپ، تصاویر خام را قبل از اعمال شاخص NDDI و تصاویر سمت راست، استخراج رویداد گردوغبار را با اعمال شاخص NDDI در استان‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. در این شکل، تراکم گرد و غبار موجود در جو از رنگ سبز (شدت کم) تا رنگ قرمز (شدت زیاد) مشخص شده‌است.

براساس این شکل، بیشینه‌ی توزیع فضایی گردوغبار در جنوب منطقه‌ی مورد مطالعه به خصوص در استان خوزستان است؛ به گونه‌ای که در میان تمامی ایستگاه‌ها، ایستگاه‌های آبادان، خرمشهر، هویزه، شوش و دشت آزادگان نسبت به سایر ایستگاه‌ها، حداکثر شدت گردوغبار را دارد. بعد از استان خوزستان، به ترتیب بخش‌های غربی استان‌های ایلام، کرمانشاه، کردستان و زنجان در ردیف‌های بعدی قرار می‌گیرند؛ به عبارتی دیگر، ایستگاه‌های واقع در غرب منطقه‌ی مورد مطالعه نسبت به ایستگاه‌های شرقی، توزیع فضایی گردوغبار بیشتری دارد. این وضعیت نشان می‌دهد که غرب منطقه‌ی مورد مطالعه به دلیل همجواری و فاصله‌ی کمتر نسبت به بیابان‌های عربی همجوار، به میزان بیشتری تحت تأثیر رویدادهای گردوغباری قرار می‌گیرد و همین وضعیت سبب شده تا فراوانی روزهای گردوغباری در استان خوزستان، حداکثر میزان ممکن را داشته باشد. از سوی دیگر، هر چه از سمت جنوب به شمال پیش می‌رویم از فراوانی و شدت گردوغبار در منطقه‌ی مورد مطالعه کاسته می‌شود؛ به گونه‌ای که در شمال منطقه‌ی مورد مطالعه (استان زنجان) به حداقل میزان ممکن می‌رسد.



شکل ۴: پایش شدت نسبی گردوغبار با اعمال الگوریتم NDDI به تفکیک محدوده‌ی استانی استان‌های مورد مطالعه (رویداد آبان ۱۳۹۶) - رنگ سبز (شدت کم) تا رنگ قرمز (شدت زیاد)

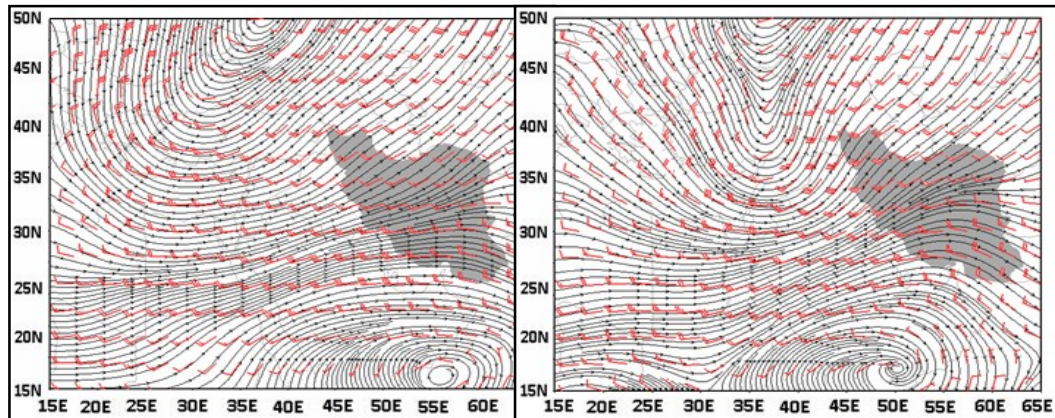


ادامه‌ی شکل ۴: پایش شدت نسبی گردوغبار با اعمال الگوریتم NDDI به تفکیک محدوده‌ی استانی استان‌های مورد مطالعه (رویداد آبان ۱۳۹۶) - رنگ سبز (شدت کم) تا رنگ قرمز (شدت زیاد)

۳-۴- تحلیل همدیدی

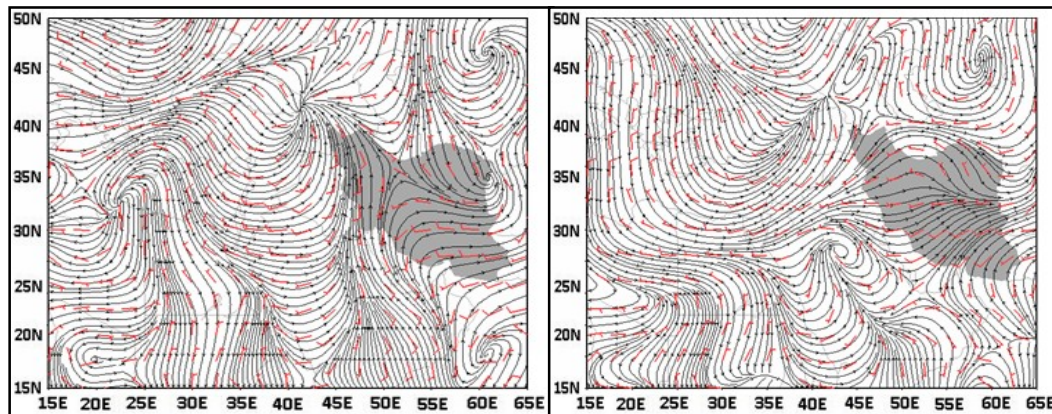
نقشه‌های سرعت باد و جریان هوا، نمای کاملی را از خطوط جریان هوا و جهت و سرعت باد در منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد (اشکال شماره‌ی ۵ تا ۸). هماهنگی کامل خطوط جریان هوا با منحنی‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز میانی جو، کاملاً مشهود است. در نقشه‌ی خطوط جریان هوای تراز میانی جو مربوط به روز ۷ آبان ۱۳۹۶، در ابتدا جریان هوا با امتدادی شمال غربی - جنوب شرقی به سوی عرض‌های جغرافیایی پایین حرکت می‌کند و پس از رسیدن به مدار ۲۵ درجه با تمایل به سمت غرب و در راستای جنوب غربی - شمال شرقی، منطقه‌ی مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این نقشه فشردگی خطوط جریان به خصوص در نیمه‌ی جنوبی غبار وارده به جو، افزوده شده و حاکمیت رویداد گردوغباری آوریل ۹ آبان ۱۳۹۶ را در منطقه‌ی مورد مطالعه در پی داشته‌است (اشکال ۵ تا ۸). با توجه به نقشه‌های همدیدی در روز ۷ و ۹ آبان ۱۳۹۶ - که روز شروع گردوغبار در بیابان‌های عربی و اوج گردوغبار در جنوب غرب ایران است - تمامی شرایط لازم برای ایجاد ناپایداری و وقوع رویداد گردوغبار در بیابان‌های عربی همجوار و انتقال آن به بخش اعظم نوار غربی ایران به‌ویژه در جنوب غرب آن مهیا است. همان‌گونه که مشخص است در ترازهای ۸۵۰ و ۹۲۵ هکتوپاسکال واقع بر سرزمین‌های خشک و بیابانی عراق، سوریه و شمال شبه‌جزیره‌ی عربستان - که در منابع متعدد بارها و به‌صورت مکرر به‌عنوان سرچشمه‌های غباری ایران معرفی شده‌اند - شرایط برای ناپایداری

و صعود هوا فراهم است (اشکال ۹ و ۱۰). این شرایط در تراز ۹۰۰ هکتوپاسکال که نزدیک‌تر به سطح زمین است، شدیدتر است؛ اما در نیمه‌ی غربی و جنوب غربی ایران، همگرایی باد افقی به همراه جهت جنوبی و جنوب غربی جریان‌ها دیده می‌شود. این شرایط همراه با شکل‌گیری چرخند قوی با تاوایی مثبت در شرق دریای مدیترانه و ایجاد ناوهای عمیق در اطراف آن، سبب شده که بخش جلویی این چرخند که با واگرایی در سطوح زیرین همراه است، در محدوده‌ی کشورهای یادشده قرار گیرد و به ایجاد ناپایداری و خیزش و برداشت گردوغبار از این مناطق منجر شود. با توجه به اینکه امتداد بخش جلوی ناوه به نیمه‌ی غربی ایران نیز کشیده شده، گردوغبار برداشته‌شده همراه الگوی جریان به این بخش از ایران وارد شده است (اشکال ۱۱ و ۱۲).



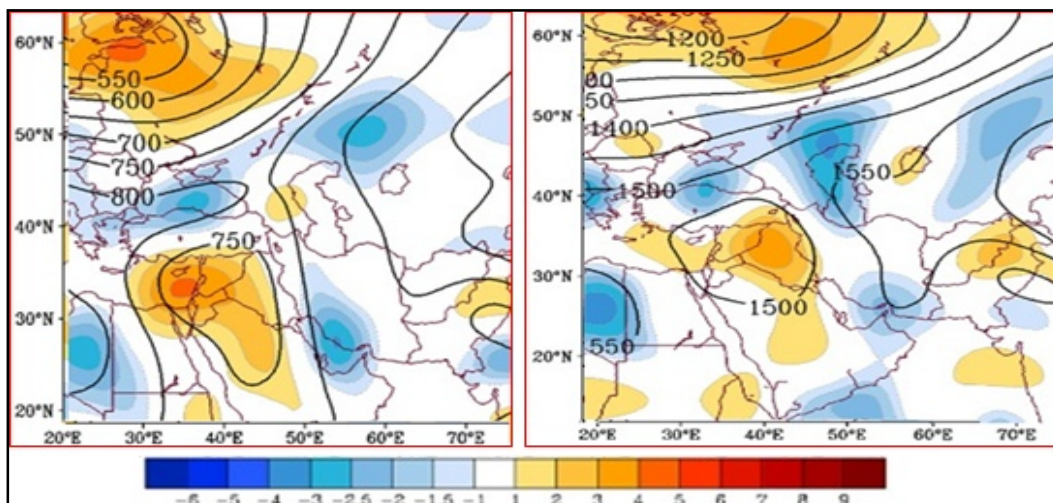
شکل ۵: الگوی خطوط جریان تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال -
۱۳۹۶/۸/۷

شکل ۶: الگوی خطوط جریان تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال -
۱۳۹۶/۸/۹

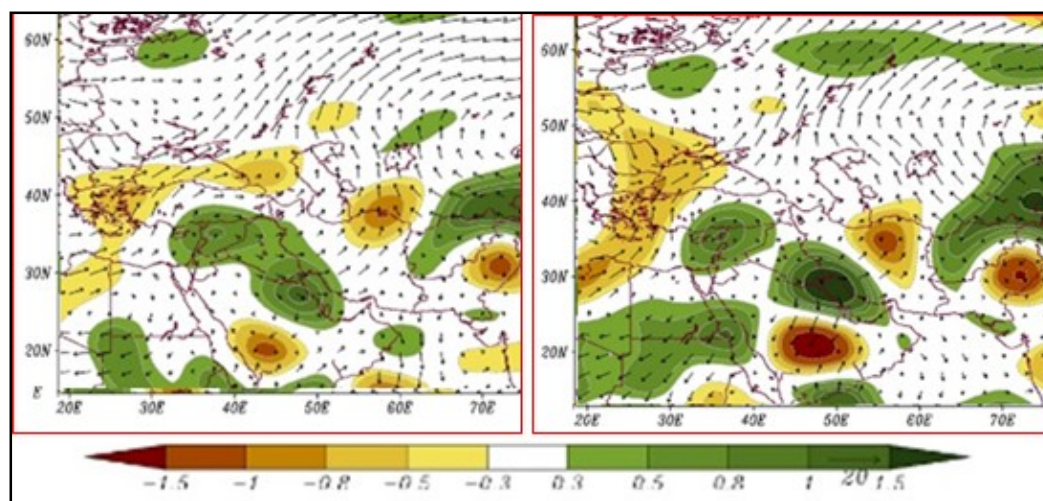


شکل ۷: الگوی خطوط جریان تراز سطح دریا -
۱۳۹۶/۸/۷

شکل ۸: الگوی خطوط جریان تراز سطح دریا -
۱۳۹۶/۸/۹



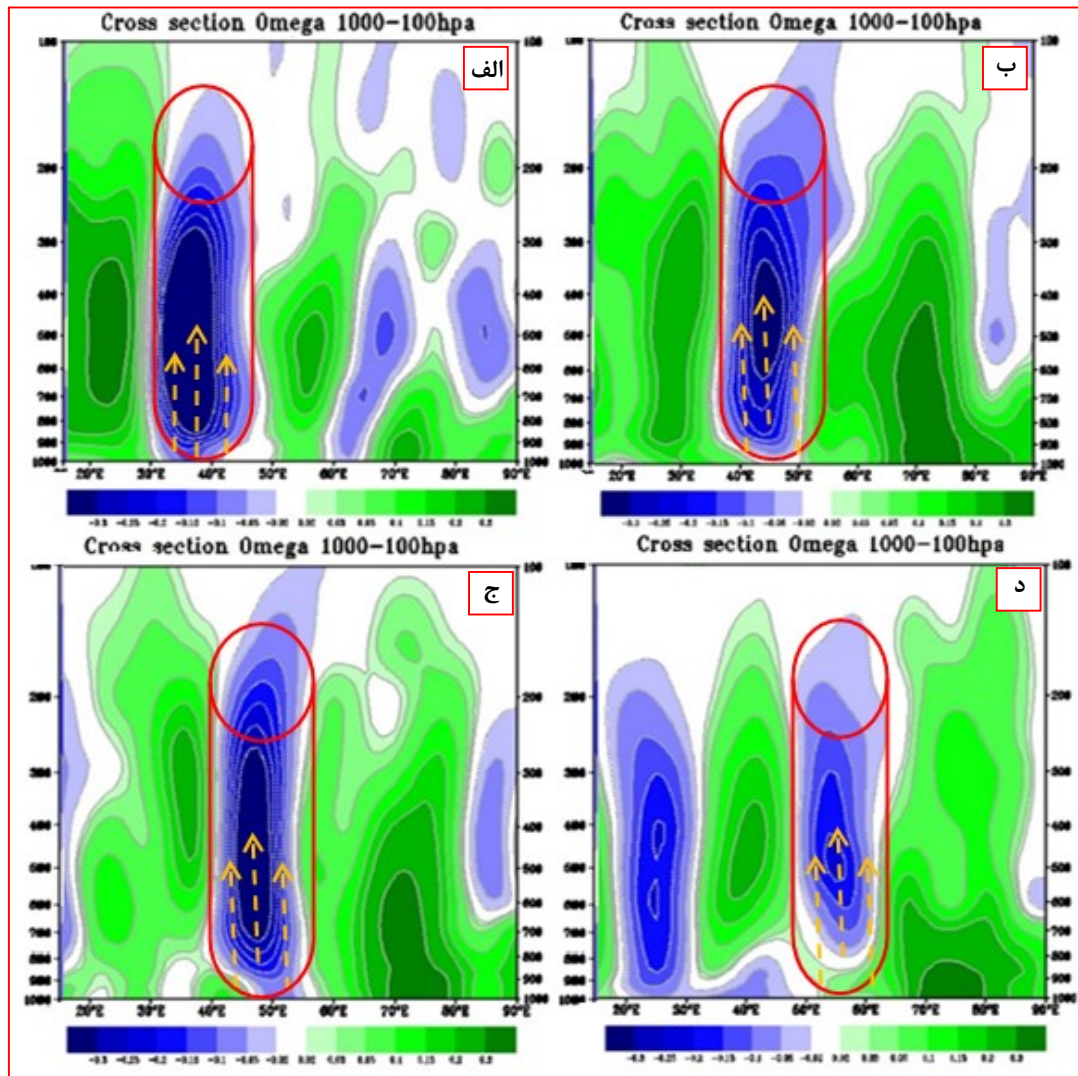
شکل ۹: نقشه‌ی ژنوتانسیل و تاوایی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال - شکل ۱۰: نقشه‌ی ژنوتانسیل و تاوایی تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال -
۱۳۹۶/۸/۹ ۱۳۹۶/۸/۹



شکل ۱۱: نقشه‌ی واگرایی افقی باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال - شکل ۱۲: نقشه‌ی واگرایی افقی باد تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال -
۱۳۹۶/۸/۹ ۱۳۹۶/۸/۹

شکل ۱۳، نیمرخ قائم هواسپهر مربوط به تغییرات فراسنج اُمگا (نیمرخ قائم هوا) از ۱۵ تا ۹۰ درجه‌ی شرقی را در رویداد گردوغباری مورد مطالعه - که جنوب غرب ایران تحت شرایط نامطلوب گردو غبار بوده است - نشان می‌دهد. از آنجایی که کشور ایران در محدوده‌ی میان ۴۴ تا ۶۴ درجه‌ی شرقی قرار دارد؛ از این رو به منظور بررسی صعود هوا، به طور تقریبی محدوده‌ی ۴۴ تا ۵۴ درجه به عنوان بخش جنوب غربی ایران در نظر گرفته شد. همان گونه که (شکل ۱۳- الف) نشان می‌دهد، همزمان با شروع طوفان گردوغبار در منطقه (۷ آبان ۱۳۹۶) در محدوده‌ی ۳۰ تا ۴۵ درجه‌ی شرقی که منطبق بر سرزمین‌های غبارخیز و سرچشمه‌های غبار فرامنطقه‌ای ایران است، تقریباً در تمامی ضخامت هواسپهر، مقادیر اُمگای منفی بسیار شدید (نواحی آبی رنگ) مشاهده می‌شود که بیشینه‌ی آن بیش از ۰/۳- است. این شرایط، صعود و ناپایداری بسیار شدید هوای توأم با برداشت گردوغبار را از این مناطق نشان می‌دهد. در همین زمان در

جنوب‌غرب ایران، شرایط آرام و بدون تلاطم بود. در ۹ آبان (شکل ۱۳-ب) همزمان با حرکت و جابجایی چرخند فوق‌الذکر، بیشینه‌ی صعود قائم هوا به مناطق شرقی‌تر انتقال یافت و بخشی از غرب ایران را نیز در بر گرفت. در ۱۰ آبان (شکل ۱۳-ج) و روز چهارم وقوع طوفان در محل بیشینه‌ی عمگای منفی، تداوم ناپایداری و صعود هوا وجود داشت و جنوب‌غرب ایران را به طور کامل در تمام ضخامت هواسپهر تحت تأثیر قرار داد. در روز ششم و همزمان با خروج این پدیده از منطقه‌ی مورد مطالعه (شکل ۱۳-د) در محدوده‌ی ۳۰ تا ۵۰ درجه‌ی شرقی، عمگای مثبت مشاهده شد که بیانگر نزول دینامیک و پایداری هوا در این مناطق است؛ بنابراین، با نگاهی به نقشه‌های عمگا و سرعت صعود هوا در روزهای مورد مطالعه، سرچشمه و مسیر حرکت گردوغبار وارده به جنوب‌غرب ایران به طور آشکاری قابل مشاهده و ردیابی است.



شکل ۱۳: نقشه‌های نیمرخ قائم هواسپهر مربوط به فراسنج عمگا: الف) ۷ آبان، ب) ۹ آبان، ج) ۱۰ آبان و د) ۱۲ آبان ۱۳۹۶

۵- بحث و نتیجه گیری

در این مقاله از داده‌های ماهواره‌ی Terra/MODIS در بررسی توده‌ی گردوغبار و توصیف مسیر حرکت رویداد مذکور استفاده شده‌است. بر طبق فرایندهای پایش، اعمال شاخص NDDI در استخراج محدوده‌ی طوفان گردوغبار، شدت و پایش مسیر حرکت آن، نتایج خوبی ارائه کرده‌است. نتایج به دست آمده با بررسی بخش هواشناسی تطابق زیادی دارد. باید گفت داده‌های چند زمانی با تداوم زیاد می‌تواند در بررسی مسیر حرکت طوفان‌های گردوغباری مؤثر واقع شود. نتایج حاصل از پایش ماهواره‌ای این پدیده به همراه شرایط همدید رویداد منتخب، بیانگر قرارگیری تراف بسیار عمیق، حرکت پادساعتگرد هوا به همراه تاوایی مثبت قابل توجه در محور تراف است که شرایط لازم و کافی را برای صعود، ناپایداری هوا و به تبع آن، شرایطی ناآرام و متلاطم برای خیزش گردوغبار از خاستگاه بیابانی در سرزمین‌های خشک فراهم کرده‌است. هنگامی که در این مناطق شرایط جوی ناپایدار بوده و برداشت گردوغبار در حال شکل‌گیری است، گرچه در جنوب غرب ایران شرایط جوی آرامی حاکم بود، باگذشت زمان و در روزهای (ساعت-های) آتی با حرکت شرق سوی، جریان‌های جوی حاوی ریزگردهای غربی به جنوب غرب ایران انتقال یافت. بنابراین، مهم‌ترین عامل اصلی پدیده‌ی گردوغبار فراگیر به‌ویژه در جنوب غربی ایران، سرزمین‌های خشک و بیابانی واقع در میان دریای مدیترانه و ایران شامل همسایگان غربی از جمله کشورهای عراق، سوریه، شرق ترکیه، شمال عربستان و ... است. این مناطق شرایط مساعدی همچون خاک‌های ریزدانه‌ی فرسوده و منسجم نشده (رسی، سیلتی، لومی رسی و لومی ماسه‌ای)، لخت و عاری از پوشش گیاهی، هوای خشک و ... دارد که در هنگام شرایط نامساعد هوا سپهری و ایجاد ناپایداری و تلاطم در هوای این مناطق، برداشت گردوغبار از آنها تقویت و در راستای حرکت شرق سوی، جریان‌ها به ایران (غرب و جنوب غرب ایران) منتقل می‌شود.

نتایج حاصل از پژوهش حاضر با نتایج پژوهش‌های انجام شده توسط عزیززی و همکاران (۱۳۹۰) و اشرفی و همکاران (۲۰۱۴) که به پایش ماهواره‌ای گردوغبار در نواحی غرب و جنوب غرب ایران پرداخته‌اند، همخوانی بسیار خوبی دارد. آنها مناطق مرزی بین سوریه و عراق، جنوب غرب عراق و منطقه‌ی بین‌النهرین را مهم‌ترین کانون‌های انتشار گردوغبار به مناطق مورد مطالعه می‌دانند. در این تحقیق علاوه بر موارد یاد شده، نقش بیابان‌های آفریقا و عربستان در انتشار گردوغبار به نواحی مورد مطالعه نیز چشمگیر است. هر چند این مطلب بارها در تحقیقات گوناگونی به اثبات رسیده، چنین وضعیتی نیازمند تلاش برای حل این مشکل به صورت فرامنطقه‌ای است، نه اینکه لزوماً تنها در سطح ایران بر آن تأکید شود. گستردگی بیابان‌های وسیع خاستگاه گردوغبار، بیابانزایی رو به رشد، خشکسالی‌های مداوم و نقش عوامل انسانی در مدیریت نابخردانه سرزمین، رویدادهای گردوغباری در جنوب غرب ایران را به چالش زیست محیطی کنترل‌ناپذیر تبدیل کرده‌است.

منابع

1. Ackerman, S. A., 1997. Remote sensing aerosols using satellite infrared observations. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 102, 17069–17079.
2. Ashrafi, K.; Shafiepour-Motlagh, M.; Aslemand, A.; & G. Sarmad, 2014. Dust storm simulation over Iran using HYSPLIT, *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, doi.org/10.1186/2052-336X-12-9.

3. Azizi, G.; Miri, M.; & S. O. Nabavi, 2011. Dust phenomenon detection in the west of Iran, *Quarterly of Dry Areas Geographical Studies*, 7, 103-118. (in Persian).
4. Daremova, K., & I. N. Sokolik., (2005). Characteristics of East Asian Dust Outbreaks in the spring. *J Geophys Res*. 110, D02204, Doi: 10.1029.
5. Draxler, R. R.; Gillette, J.; Kirkpatrick, S.; & J. Heller, 2001. Estimating PM10 air concentrations from dust storms in Iraq, Kuwait, and Saudi Arabia, *Atmospheric Environment*, 35.
6. Faleh zozuli, M.; Vafaeinejad, M.; & F. Ahmadi dehka, 2014. Monitoring and synoptic analysis of dust storm by means of remote sensing and GIS, *Journal of Remote Sensing in Natural Resources*, 5 (4), 61-77. (in Persian).
7. Fan Yida, S. P., & X. Wang., (2002). The analysis of typical dust storm in northern china by remote sensing. *Advance in Earth Sciences*.17(2), 289-294.
8. Forster, P.; Ramaswamy, V.; Artaxo, P.; Berntsen, T.; Betts, R.; Fahey, D. W.; & j. Nganga, 2007. Changes in atmospheric constituents and irradiative forcing. Chapter 2, In *Climate Change 2007, The Physical Science Basis*.
9. Goudei, A. S., & N. J. Middleton., (2006). Desert Dust in the Global System, Springer, pp: 1-287.
10. Goudie, A. S., 2009. Dust storms: Recent developments, *Journal of Environmental Management*, 90, 89-94.
11. Grousset, F. E., & P. E. Biscaye., (2005). Tracing dust sources and transport patterns using Sr, Nd and Pb isotopes. *Chem Geol*. 222, 149-167.
12. Guo, N., & Y. Liang., (2006). A Study on Quantitative Identification of Sand and Dust Storm Using MODIS Data. *Arid Meteorology*. 24(1), 1-6.
13. John, J., & Qu, M., Kafatos., (2006) .Asian dust storm monitoring combining Terra and Aqua MODIS SRB measurements. *Geosciences and Remote Sensing letters*. 3(4), 484- 486.
14. Karimi, N.; Moridnejad, A.; Golian, S.; Samani, M.V.; Karimi Danesh, J.; & S. Javadi, 2012. Comparison of dust source identification techniques over land in the Middle East region using MODIS data, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 38(5), 58-65.
15. King, M. D.; Kaufman, Y. J.; Tanre, D.; & T. Nakajima, 1999. Remote sensing of atmospheric aerosols from space: past, present and future, *Bull Am Meteorol Soc*, 80, 2229-2259.
16. Li, H.; Xiong, L.; & D. Zhuang, 2003. Research Progress and Future Development of Remote Sensing Monitoring on Sand-dust Disaster in China, *Progress In Geography*, 22(1), 45-52.
17. Li, Q.; Wang, Q.; & W. Wang, 2006. The Application of the Operational Storm Monitoring Based on erra/MODIS, *Remote Sensing for Land & Resources*,1, 43-45.
18. Li, X., & S. Weidong., (2009). Dust storm detection based on MODIS data. Liaoning Technology University, No. 47, Zhonghua Road, Fuxin, Liaoning.,-172.17.
19. Liu, S.; Liu, Q.; & M. Gao, 2006. On Asian Dust Storm in China by Combining Daytime and Nighttime Terra and Aqua MODIS Data, *IEEE Geomatic and Information Science of Wunan University*, 31(20), 1051-1054.
20. Luo, J.; Fan, Yida.; & P. Shi, 2003. Information- comparable method of monitoring the intensity f dust storm by multi-source data of remote sensing, *Journal of Natural Disasters*, 12(2), 28-34.
21. Prospero, J. M.; Ginoux, P.; Torres, O.; Nicholson, S. E.; & T. E. Gill, 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(1).
22. Qu, J., & K. Menas., (2006). Asian dust storm monitoring combining Terra and Aqua MODIS SRB measurements. *Geosciences and Remote Sensing Letters*. 3(4), 486. 18.
23. Raispour, K.; Khosravi, M.; Tavousi, T.; & M. Sharifi kia, 2016. The Influence Of The Polar Front Jet Stream On The Formation Dust Events In The Southeast Of Iran, *Air Quality Atmosphere And Health*. February 2016, Volume 9, Issue 1, 15–23.
24. Roskovensky, J.K., Liou, K.N. 2005. Differentiating airborne dust from cirrus clouds using MODIS data, *Geophys. Geophysical Research Letters*, 32: 23. 19.
25. Samadi, M.; Darvishi Boloorani, A.; Alavipannah, S. K.; Mohamadi, H.; & M. S. Najafi, 2014. Global dust Detection Index (GDDI); a new remotely sensed methodology for dust storms detection, *Journal of Environmental Health Science & Engineering*.
26. Satheesh, S. K., & K. K. Moorthy., (2005). Radiative effects of natural aerosols: A review. *Atmospheric Environment*. 39(11), 2089-2110.
27. Shamshiri, S.; Jafari, R.; Soltani, S.; & N. Ramazani, 2014. Identification and zonation of dust storms in Kermanshah Province by using MODIS images, *Applied Ecology*, 3: 8. (In Persian).
28. Trigo, I. F.; Bigg, G. R.; & T. D. Davies, 2002. Climatology of cyclogenesis mechanisms in the Mediterranean, *Mon, Weather Rev*, 130, 549–569.
29. Trigo, I. F.; Davies, T. D.; & G. R. Bigg, 1999. Objective climatology of cyclones in the Mediterranean region, *J. Clim*, 12, 1685–1696.
30. Washington, R.; Todd, M.; Middleton, N.; & A. S. Goudie, 2005. global dust storm source areas determined by the Total Ozone Monitoring Spectrometer and ground observations, *Ann. Assoc. Am. Geogr*, 93, 297–313.
31. Zender, C. S.; Miller, R. L.; & I. Tegen, 2004. Quantifying mineral dust mass budgets: Terminology, constraints, and current estimates, *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 85(48).
32. Zhang, P.; Lu, N. M.; Hu, X. Q.; & C. H. Dong, 2006. Identification and physical retrieval of dust storm using three MODIS thermal IR channels, *Global and Planetary*.
33. Zhao, C.; Liu, X.; Ruby Leung, L.; & S. Hagos, 2011. Radiative impact of mineral dust on monsoon precipitation variability over West Africa, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(5), 1879-1893.

Analysis of events of dust using satellite monitoring and synoptic analysis in southwest Iran

Koohzad Raispour¹: *Assistant professor, Department of geography, Faculty of Humanity Science, University of Zanjan, Zanjan*

Article History (Received: 2018/6/19

Accepted: 2018/11/4)

Extended abstract

1- Introduction

Dust storms are a kind of severe natural disaster in dust source regions, which have a negative impact on human health, industrial products and activities. Iran is a dry and low water country, the coincidence of this situation and its position in the global rebound belt has brought about very bad conditions. Repeaters in recent years have been affected by the severity and frequency of major events in Iran and, in terms of environmental issues, studying and managing the reduction of its effects is a priority.

In recent years, these events have been the main hazards in areas of South-west Iran. Several complex dust storms have recently occurred in the southwestern part of Iran. Detecting the spatial distribution of dust storms in the deposition regions is an essential step for managing this natural and human-induced crisis. Land measurement and remote sensing techniques are currently two of the most important methods for monitoring dust storms. Traditional reference land measurement methods have little spatial and temporal resolutions, so they can not properly monitor and anticipate dust storms. Due to rapid changes in the nature and location of dust storms, there are limitations in monitoring and relating measurements. Meteorological numerical models can not detect dust storms alone. Today, remote sensing technology is known for providing multiple global and regional images with time, spatial and spectral scales as a useful tool for monitoring, measuring and harvesting dust properties. Also, remote sensing can monitor the range and scope of dust storms, their degree of intensity and their route of movement. In this research, by using MODIS images and applying methods of applying the dust algorithm, dust was monitored. This study aimed to investigate the performance of the Normalized Differences Dust Index (NDDI) applied to MODIS data (01/11/2017) for detection of dust storms in the Southwest of Iran.

2- Methodology

Monitoring disasters properly is a necessary requirement. In this study, the dust event that took place in November 2017, based on Terra / MODIS remote-sensing indices, has been monitored by ECMWF database and synoptic analyzes from the NCEP / NCAR database. Therefore, according to the characteristics of reflection and absorption of the aforementioned dust event, the resulting dust range and its intensity are extracted accurately using the NDDI index and their degree of intensity is estimated. The NDDI equation is as follows:

¹ Corresponding Author: raispour@znu.ac.ir

$$NDDI = \frac{(b7-b3)}{(b7+b3)}$$

Here b3 and b7 reflect the band of three and the band of seven of the MODIS bands.

3- Results

Based on the results, the dust pollution eventually increased the air pollution in some areas of Khuzestan, Ilam, Kermanshah and Kurdistan provinces, and greatly reduced the horizontal visibility. The results also showed that the dust storm began from the day in which it started from deserts in the northeast of Saudi Arabia, and after spreading to the vast deserts of southern Syria, northern Arabia and west of Iraq, moving eastward to southwest Iran has moved. The maximum spatial distribution of dust is in Khuzestan province. After the Khuzestan province, western parts of Ilam, Kermanshah, Kurdistan and Zanzan provinces are located in the next rows.

4- Discussion & Conclusions

The results of the satellite monitoring show a great deal of agreement with monitoring the meteorological conditions at the time of the occurrence of dust. The results also showed that the atmospheric conditions affecting the Atmosphere borderland in creating turbulence and transferring dust from deserts in northern Arabia, east and south of Syria, west and south of Iraq to southwest Iran have an important and undeniable nature. So, in the dusty event studied, unstable airborne conditions, such as the presence of very deep vortices, a strong wheel with a significant positive vorticity in the wake axis, along with instability and climbing the air, made the region an unrestrained and turbulent situation over adjacent Arabian desert areas. Provided with the West of Iran and provided very favorable conditions for harvesting, transportation and transportation to the western and southeastern parts of Iran.

Key Words: Dust Event, MODIS Image, Satellite monitoring, Southwest Iran, Synoptic Analysis.