مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هشتم، شماره نوزدهم، بهار ۱۳۹۸
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۵/۱۱
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۲/۱۹
صفحات: ۱۷۴ - ۱۵۱

تأثیر ارتفاع لایه‌مرزی در توفان‌های گردوغبار جنوب غرب ایران (مطالعه موردی ۲۱ تا ۲۴ فوریه ۲۰۱۶)

محمود احمدی[۱*]، عباسعلی داداشی رودباری[۲]، مهناز جعفری[۳]

چکیده

کشور ایران خشک و کم آب است، حاکمیت این شرایط و موقعیت قرارگیری آن در کمربند ریزگرد جهانی شرایط بسیار نامطلوبی به ارمغان آورده است. ریزگردها طی سال‌های اخیر با شدت و فراونی بیشتری به وقوع پیوسته‌اند و عمده مناطق ایران را تحت تاثیر قرار داده‌اند لذا به لحاظ مسائل زیست محیطی مطالعه و مدیریت کاهش آثار آن در اولویت می‌باشد. هدف از این پژوهش، ارزیابی نقش لایه‌مرزی در انتقال، شرایط به وجود آورنده و تشدیدکننده آشفتگی گردوغبار به جنوب غرب کشور است. ابتدا روزهای توأم با گردوغبار استخراج و یک دوره که این پدیده به شکل فراگیر و با شدت زیاد در منطقه موردمطالعه به وقوع پیوسته (۲۱ تا ۲۴ فوریه ۲۰۱۶) برای پایش گزینش شد. سپس داده‌های ارتفاع لایه‌مرزی (BLH) مبتنی بر برونداد پایگاه ECMWF، پارامتری‌های هواسپهر از پایگاه NCEP/NCAR و عمق نوری ذرات (AOD) از سنجنده MODIS استخراج گردید. علاوه بر این به‌منظور ارزیابی شرایط به وجود آورنده و تشدیدکننده آشفتگی مقدار عددی ریچاردسون برای دو ایستگاه رادیوگمانه اهواز و آبادان محاسبه شد. نتایج نشان داد، لایه‌مرزی هواسپهر در ایجاد تلاطم و انتقال گردوغبار به کشور نقش مهم و غیرقابل‌انکاری را دارا می‌باشد بطوریکه در هر ۴ روز مورد مطالعه همبستگی بین ارتفاع لایه‌مرزی و عمق نوری ذرات بیشتر از ۰/۷۰ بوده است. شرایط هواسپهری ناپایدار همچون قرارگیری ناوه‌ای بسیار عمیق، چرخند قوی همراه با تاوایی مثبت قابل‌توجه در محور ناوه، به همراه امگای منفی که گویای صعود، ناپایداری هوا و به تبع آن ایجاد شرایطی ناآرام و متلاطم در منطقه را فراهم نموده شرایط بسیار مساعد و تقویت برداشت گردوغبار را به وجود آورده است. مقدار عددی ریچاردسون طی روزهای منتخب معرف پیشی گرفتن نیروی مکانیکی تولیدکننده گردابه از نیروی بازدارنده حرارتی بوده که در نتیجه آن جریان ناپایدار و آشفته‌تر شده و فرآیند اختلاط راحت‌تر و سریع‌تر صورت گرفته است.

واژگان کلیدی: ارتفاع لایه‌مرزی (BLH)، عمق نوری ذرات (AOD)، مقدار عددی ریچاردسون، جنوب غرب ایران.

[۱]- دانشیار آب و هواشناسی، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، تهران (نویسنده مسئول) ma_ahmadi@sbu.ac.ir
[۲]- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی شهری، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، تهران dadashiabbasali@gmail.com
[۳]- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی همدید، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، تهران m.jafari1987@gmail.com

مقدمه

ذرات معلق موجود در هواسپهر جزء مهمی از سامانه آب و هوایی به شمار می‌روند و به‌طور پیوسته در هواسپهر در حال جابجایی می‌باشند ولی همین ذرات معلق که حیات را رقم می‌زدند (تشکیل هسته‌های تراکمی و ایجاد بارش) امروزه به دشمن شماره یک حیات تبدیل‌شده‌اند و مقابله با آن به یک ضرورت تبدیل‌شده است. مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌عنوان نمایندگان بزرگ‌ترین منابع اولیه گردوغبار در جهان هستند (پورسپرو و همکاران[۱]، ۲۰۰۲). برآوردها حاکی از آن است که بیش از ۵۰ درصد از ذرات موجود در هواسپهر از مناطق مذکور نشأت می‌گیرند (زندر و همکاران[۲]، ۲۰۰۴). این ذرات می‌توانند اثرات مستقیم و غیرمستقیم همچون میزان تابش دریافتی محل (ژائو و همکاران[۳]، ۲۰۱۱)، ویژگی‌های ابرها (ساتیچ و مورتی[۴]، ۲۰۰۵) و همچنین اثرات نیمه مستقیمی بر پویایی سامانه‌های هواسپهری برجای گذارند (فورستر و همکاران[۵]، ۲۰۰۷).

ایران به دلیل استقرار در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان و هم‌جواری با بیابان‌های وسیع کشورهای همسایه، همواره از سامانه‌های گردوغبار منطقه‌ای و فرا منطقه‌ای متأثر می‌گردد. گرچه بروز این پدیده در مناطق جنوب، جنوب غرب و غرب کشور تازگی نداشته، اما در شرایط فعلی، دامنه فعالیت گسترده‌تری یافته و بیش از ۲۰ استان کشور ازجمله تهران را با مساحت بیش از یک‌میلیون کیلومترمربع متأثر می‌نماید (جعفری و جعفری، ۱۳۹۴). بر این اساس مطالعه مستمر این پدیده و آشکارسازی ابعاد پنهان آن می‌تواند منجر به ارائه راهکارهای کارساز برای مقابله با آن منتهی شود.

لایه آمیخته، بخشی از لایه‌مرزی هواسپهر است که آلاینده‌های هواسپهری به شکل یکنواختی در آن پخش می‌شوند. برآورد عمق این لایه یکی از مهم‌ترین ورودی‌های مدل‌های پخش آلودگی هوا است که بر اساس آن محدوده قائم آمیختگی آلودگی‌ها مشخص می‌شود. ازاین‌رو مطالعه دگرگونی روزانه لایه آمیخته هواسپهری شهری و عوامل مؤثر بر آن، ازنظر توزیع و پخش آلاینده‌ها، به‌خصوص وضعیت آلودگی هوا حائز اهمیت است (احمدی گیوی و همکاران، ۱۳۸۸). لایه‌مرزی هواسپهر (ABL[۶]) بخش پایینی هواسپهر است که در تعامل مستمر با سطح زمین به دلیل وجود اصطکاک و گرمایش یا سرمایش است. لایه‌مرزی هواسپهر به‌طورکلی آشفته و دارای یک چرخه روزانه از دما، باد و فراسنج‌های به‌طور خاص مرتبط بر روی زمین و یخ است. آشفتگی در لایه‌مرزی هواسپهر سه‌بعدی و بی‌نظم با پیمانه‌های زمانی معمولاً بین کسری از ثانیه و یک ساعت است. بر روی زمین دارای یک دگرگونی روزانه قوی است، در حالی بر روی دریا عمق آن معمولاً چند صد متر و در پیمانه زمانی در یک روز ثابت است (بلجارس و همکاران[۷]، ۲۰۱۱). جریان‌های آشفته در هواسپهر در انتقال اندازه حرکت، گرما و ماده کارساز است. لایه‌مرزی و تلاطم آن نیز

1- Prospero and et al.
2- Zender and et al
3- Zhao and et al.
4- Satheesh and Moorthy
5- Forster and et al.
6- Atmospheric Boundary Layer (ABL)
7- Beljaars et al.

برای حرکت و انتقال حرارت محسوس و نهان بین سطح و هواسپهر مهم است. این به‌طور مستقیم از چرخه روزانه فراسنج‌های نزدیک به سطح تأثیر می‌پذیرد و نیز به‌شدت در طول عمر سامانه‌های با پیمانه همدیدی تأثیر می‌گذارد (هالتسلیج و همکاران[1]، ۲۰۱۳).

همان‌طور که گفته شد بخش عمده‌ای از لایه‌مرزی هواسپهر روز هنگام را لایه آمیخته تشکیل می‌دهد که آلودگی هوا در آن اغلب به‌طور یکنواخت پخش‌شده است. یکی از عوامل تعیین‌کننده آلودگی هوا در شهرها، شرایط حاکم بر لایه‌مرزی هواسپهر شهری است. گاهی این شرایط چنان مساعد است که آلودگی هوا می‌تواند به‌گونه‌ای خطرناک بالا رود و تهدیدی جدی برای موجودات زنده باشد (بیدختی و بنی‌هاشم، ۱۳۷۶). اغتشاش در همه‌جا در لایه‌مرزی وجود دارد و مسئول مؤثر در پراکنش آلاینده‌هایی است که همراه زندگی مدرن می‌باشد. ارتباط تلاطمی بین سطح و هوا بسیار سریع است. درواقع، یک تعریف از لایه‌مرزی این است که بخشی پایین‌تر تروپوسفر است که اثرات سطح زیرین را در زمان حدود ۳۰ دقیقه یا کمتر احساس می‌کند (استال[2]، ۲۰۱۲).

لایه‌مرزی هواسپهری شامل آئروسل و بخارآب فراوان در هواسپهر و درنتیجه دارای نفوذ زیادی در شارهای تابشی است؛ بنابراین، مطالعات حساسیت آب و هوایی نیاز به در نظر گرفتن دقیق نقش لایه‌مرزی هواسپهری است. رفتار دینامیکی لایه‌مرزی هواسپهر، اثر مستقیمی بر عمق آن دارد و تحت شرایط آشفتگی دگرگونی قابل‌توجهی برای نفوذ گردوغبار در مقیاس بزرگ ایجاد می‌کند (استفان و همکاران[3]، ۲۰۱۱). درجه حرارت پتانسیل تقریباً از سطح زمین تا ۱۰۰۰ متر یکنواخت است و آئروسل (گردوغبار) غلظت بیشتری دارد، از ارتفاع ۱۰۰۰ متری به بالا با افزایش تدریجی درجه حرارت پتانسیل با ارتفاع، از غلظت گردوغبار کاسته شده و روند یکنواختی به خود می‌گیرد، این نشان می‌دهد که درجه یکنواختی در سراسر لایه‌مرزی همرفتی (CBL[4]) و بالاتر متفاوت است، بنابراین واقعیت است که غلظت فراوان آلودگی ناشی از منابع زمین، به‌طور کارا در سراسر لایه همرفتی محدودشده است (گریت[5]، ۱۹۹۴). آگاهی از ساختار تلاطم تحت شرایط هواسپهری پایدار از اهمیت زیادی، به‌ویژه برای برنامه‌های کاربردی در آلودگی هوا برخوردار است. زمینه‌های دیگری که تا حد زیادی تحت تاثیر لایه‌مرزی هواسپهر (پایدار) هستند می‌توان به روش اتلاف شار برای محاسبات گرما، حرکت و مدل‌سازی عددی لایه‌مرزی با مدل‌های بزرگ مقیاس و یا مدل‌های شبیه‌سازی بزرگ-ادی (پالئو و همکاران[6]، ۲۰۰۱) اشاره کرد.

مطالعات بسیاری به نقش لایه مرزی و آلودگی پرداخته‌اند؛ در یک مرکز تحقیقات علمی در منطقه بخارست به ارائه اطلاعات در مورد تکامل ارتفاع لایه‌مرزی هواسپهر، در رابطه بانفوذ گردوغبار صحرا بر روی رومانی و ایجاد شرایط آب و هوایی پرداخته‌شد. نتایج حاصل از این کار نشان داد عمق لایه مخلوط ۱۵۰۰ متر است. در شب، ارتفاع ABL با توجه به کاهش شارهای انرژی و پایداری جو حدود ۵۰۰ متر بود. همچنین تصاویر LIDAR (سیگنال RCS) و

1- Holtslag et al.
2- Stull
3- Stefan et al.
4- Convective Boundary layer (CBL)
5- Garratt
6- Pahlow et al.

پروفیل آن را می‌توان برای برآورد عمق لایه مخلوط، تحول زمانی آن و نفوذ گردوغبار توسط فرا رفت توده‌هوا استفاده نمود (استفان و همکاران، ۲۰۱۱). هوانگ و بوزید[1] (۲۰۱۳) به دنبال درک کمی و کیفی چگونگی ثبات حمل‌ونقل در طبقه لایه‌مرزی پایدار هواسپهر، بر اساس مجموعه‌ای از شبیه‌سازی‌های بزرگ-ادی، به این نتیجه رسیدند که حالت شبه تعادل، افزایش ثبات، درنتیجه شیب عمودی قوی‌تر از میانگین درجه حرارت، کاهش جت سطح پایین، کاهش در جابجایی گشتاور عمودی، افزایش شار شناوری عمودی و یک لایه‌مرزی کم‌عمق را به دنبال دارد. در پژوهشی ارتفاع لایه‌مرزی بر روی دوحه قطر با استفاده از لیدار اندازه‌گیری شد و نتایج رابطه معکوس و کیفی بین ارتفاع لایه بالایی ذرات معلق در هوا و ارزش تابش عادی مستقیم (DNI) را نشان داد (بچور و استادیلو[2]، ۲۰۱۴). در پژوهشی دیگر ریمی و همکاران[3] (۲۰۱۵) با استفاده از اندازه‌گیری‌های لیدار (LIDAR) بازخوردهای مختلف بین تأثیر تابشی گردوغبار بر طیف موج‌کوتاه و موج‌بلند و فرآیندهای هواشناسی لایه‌مرزی هواسپهر را باهدف ارزیابی تأثیر کارایی مستقیم آئروسل در پارامترهای هواشناسی و پیش‌بینی در طول طوفان گردوغبار در صحرای بزرگ آفریقا و حوضه مدیترانه شرقی را مورد ارزیابی قراردادند. نتایج نشان داد که در موج‌کوتاه، کاهش دمای حداکثر هواسپهر پایین را افزایش داد که به‌نوبه خود کاهش سرعت باد و تولید گردوغبار از طریق فرآیندهای جهش را به ارمغان آورد.

در ایران مطالعات زیادی گردوغبارها را مورد مطالعه قرار دادند با این حال مطالعات معدودی باهدف شناسایی ساختار و ابعاد پدیده گردوغبار ایران با کاربست نقش لایه‌مرزی صورت گرفته است.

بیدختی و بنی‌هاشم (۱۳۷۶) به مطالعه شیوه رشد لایه آمیخته شهری که نقش مؤثری در غلظت آلودگی هوا دارد پرداخته و مدلی تلاطمی به همراه یک مدل انتگرالی برای پیش‌بینی آلودگی هوا در محیط‌های شهری برای آن ارائه نمودند، نتایج نشان داد که توپوگرافی اطراف شهر در پایداری‌های نسبتاً شدید در شهرهایی مانند تهران می‌تواند حرکت هوای لایه‌مرزی را محدود سازد و موجب افزایش بیش‌ازحد آلودگی هوا شود. رئیس پور (۱۳۹۳) در ارزیابی آب و هواشناسی همدید و ماهواره‌ایی توفان‌های گرد و غباری غرب و جنوب غرب ایران به این نتیجه رسید که ۵ الگو نقش مهمی در گرد و غبارهای غرب و جنوب غرب ایران دارد که الگوی گردشی کم فشار خلیج فارس و الگوی گردشی فرود دریای سرخ به ترتیب بیشینه و کمینه فروانی الگوهای گرد و غباری را به خود اختصاص داده‌اند.

عبدی ویشکایی و همکاران (۲۰۱۱) فرآیندهای دینامیکی منجر به انتشار گردوغبار بر روی ایران و کشورهای اطراف، در تابستان و همچنین پس‌ازآن جابجایی گردوغبار به سمت شمال غربی ایران را مبتنی بر روش‌های سنجش‌ازدور همراه با مدل‌سازی زمینی و هوابرد مورد ارزیابی قراردادند. بر این اساس مشخص شد که در طول گردوغبار ۳ تا ۵ اوت ۲۰۰۷ انتشار آلاینده‌ها در سوریه و عراق در پاسخ به باد شمالی قوی رخ‌داده است. گردوغبار برداشته‌شده در سراسر عمق لایه‌مرزی هواسپهر عمیق قبل از اینکه به سمت شرق و کوه‌های زاگرس برسد مخلوط شده است. براتی و همکاران (۱۳۹۶) در تحلیل روابط توفان‌های غباری جنوب ایران با کم‌فشار سِند دریافتند که «غرب سو شدن

1- Huang and Bou-Zeid
2- Bachour and Astudillo
3- Rémy et al.

جریان‌های هوا در ترازهای پایین و میانی جو در جنوب ایران» و «کاهش نم نسبی هوا بویژه در لایه پایین» و «عمیق‌تر و متمرکز شدن کانونهای کم‌فشار سند»، سه فراسنجی هستند که پایش همزمان آنها، می‌تواند به هشدار گردوغبار در استان‌های جنوبی ایران قابلیت اعتماد بالاتری ببخشد. احمدی و داداشی رودباری (۲۰۱۷) در مطالعه رویداد گردوغباری ۸ فوریه ۲۰۱۵ در جنوب غرب ایران با استفاده از مدل‌های منطقه‌ای NAAPS، DREAM 8b و NMMB/BSC و مدل دینامیکی HYSPLIT دریافتند که این رویداد ناشی از رودباد جبهه قطبی (PFJ) بوده است که از عربستان و عراق به سمت ایران منتقل شده است همچنین آنان دریافتند که درست بعد از شیوع اولین گرد و غبار، گرد و غبارهای موجود در جو در ارتفاعی زیر ستون ۱/۵ کیلومتری باقی می‌ماند که بخوبی نقش لایه مرزی جوی(ABL) را در انتقال و کنترل گرد و غبار در منطقه را تایید می‌نماید.

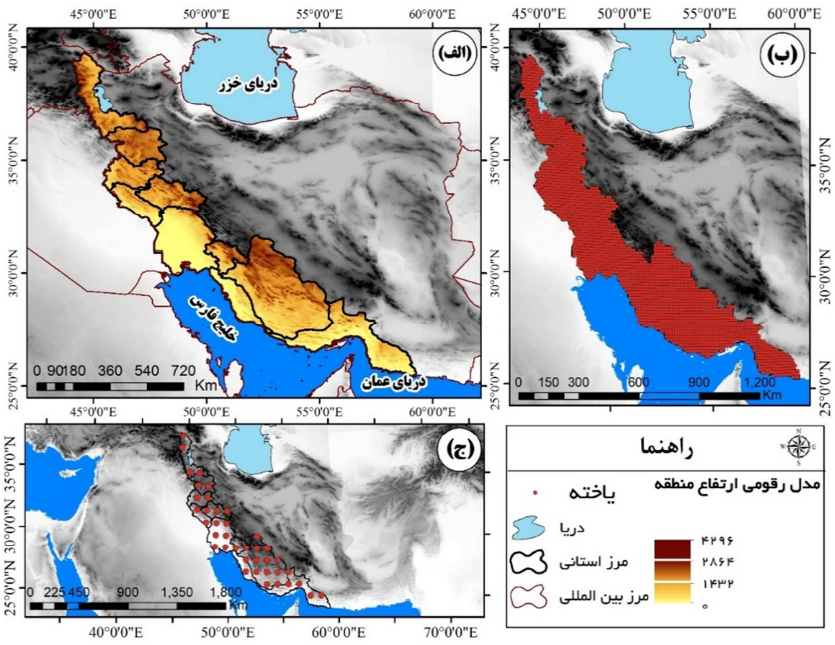
جمع‌بندی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد تاکنون به رقم توانایی مدل‌ها و پایگاه‌های باز واکاوی شده، از این قابلیت‌ها در ارزیابی توفان‌های گرد غباری ایران استفاده نشده و یا اینکه کمتر مورد توجه قرار گرفته است. لذا این پژوهش باهدف ارزیابی نقش لایه‌مرزی در انتقال، شرایط به وجود آورده و تشدیدکننده آشفتگی گردوغبار به جنوب غرب ایران توجه دارد.

داده‌ها و روش‌ها

برای این پژوهش مراحل ذیل دنبال گردید:

الف)- انتخاب منطقه و جمع‌آوری داده

منطقه مورد مطالعه در پژوهش پیش رو جنوب غرب ایران با تأکید بر استان خوزستان است؛ اما به جهت ارزیابی بهتر کل استان‌های نوار غربی تا جنوب ایران جدا شد تا لایه‌مرزی آن روز بهتر به تصویر کشیده شود (شکل ۱- الف). پس از بررسی‌های اولیه تعداد بیش از ۲۰۰ مورد رویداد همراه با گردوغبار در جنوب غرب ایران طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ میلادی که دوام بیش از ۳ روز داشته‌اند و بخش اعظم ایستگاه‌ها را در درگیر کرده‌اند جدا شده و از میان آن‌ها یک نمونه به جهت واکاوی همدیدی برای ارزیابی کارایی لایه‌مرزی در رخداد این پدیده انتخاب و نقشه‌های آن در ترازهای زیرین هواسپهر مورد پایش قرار گرفت. نمونه منتخب مربوط به تاریخ ۲۱ تا ۲۴ فوریه ۲۰۱۶ میلادی (۲ تا ۵ اسفند ۱۳۹۴ هجری خورشیدی) می‌باشد که جنوب غرب ایران با پدیده گردوغبار بسیار شدید همراه بوده است. رخداد مذکور ادارات و مدارس و فعالیت های انسانی را در شهرهای اهواز، آبادان، خرمشهر، ماهشهر، شادگان، بستان، هویزه، امیدیه، رامشیر، سوسنگرد، هندیجان، شوش، کارون، باوی و حمیدیه تعطیل کرد. شایان‌ذکر است بر اساس گزارش‌های سازمان محیط‌زیست برای این دو ایستگاه در روز شروع رویداد (۲۱ فوریه) میزان آلودگی در اهواز به ۹ هزار و ۹۷۷ میکروگرم بر مترمکعب (۶۶ برابر حد مجاز) و در آبادان به ۱۰ هزار میکروگرم بر مترمکعب و یک روز پس از شروع توفان (۲۲ فوریه) میزان آلودگی در اهواز به ۱ هزار و ۲۴۵ میکروگرم بر مترمکعب (هشت برابر حد مجاز) رسید.



شکل۱: منطقه موردمطالعه؛ الف) استان‌های موردمطالعه به همراه مدل رقومی ارتفاعی منطقه با تفکیک مکانی ۳۰ متر؛ ب) یاخته‌های جداشده برای منطقه موردمطالعه از پایگاه ECMWF- ERA-Interim با تفکیک مکانی ۰/۱۲۵×۰/۱۲۵ درجه قوسی؛ ج) یاخته‌های جداشده برای منطقه موردمطالعه برای عمق نوری ذرات (AOD 550) سنجنده مودیس با تفکیک مکانی ۱×۱ درجه قوسی

ب) شرایط هواسپهری بزرگ مقیاس رویداد توفان گردوغباری مبتنی بر برونداد داده‌های مرکز ملی پیش‌بینی محیطی/ مرکز ملی پژوهش هواسپهر (NCEP/NCAR)[1]

برای مطالعهٔ شرایط هواسپهری لحظه وقوع توفان به بررسی پارامترهای مختلف هواشناسی از قبیل فشار سطح دریا، نقشه‌های سطوح فوقانی هواسپهر به‌ویژه ترازهای ۹۲۵ و ۸۵۰ ه.پ[2]؛ ارتفاع ژئوپتانسیل؛ مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد، تاوایی و امگا با استفاده از سامانه ارزیابی و نمایش شبکه GRADS به‌منظور واکاوی شرایط همدید استفاده‌شده است. داده‌های مذکور برای روز وقوع توفان با مشاهدات چهار بار در روز با دقت فضایی ۲/۵×۲/۵ درجه قوسی از مرکز پیش‌بینی‌های محیطی موسوم به NCEP از تارگاه مرکز ملّی اقیانوس و هواسپهر ایالات‌متحده آمریکا (NOAA) تهیه‌شده است.

ج) ارتفاع لایه‌مرزی (BLH) مبتنی بر برونداد پایگاه مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF-ERA-Interim)[3]

1- https://www.esrl.noaa.gov

[2]- هکتوپاسکال (ه.پ)

3- http://ecmwf.int/

مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی، مرکز بین‌المللی مستقلی بوده که با عضویت کشورهای مختلف در سطح جهانی شکل‌گرفته است. داده‌های باز واکاوی مرکز ECMWF نتیجه برهم‌کنش پیچیده‌ای میان داده‌های موجود و نتایج الگوهای هواسپهری بوده که به‌صورت داده‌های شبکه‌بندی عرضه‌شده است. جدیدترین محصول عرضه‌شده این پایگاه داده، نسخه ERA-Interim است. این نسخه ویرایشی بهبودیافته و ارتقای برخی ویژگی‌های نسخه ERA-40 همین سازمان است (دارند و زند کریمی، ۱۳۹۴). در این مطالعه ارتفاع لایه‌مرزی (BLH) این پایگاه برای ساعت ۱۲ UTC چهار روز منتخب (۲۱ تا ۲۴ فوریه ۲۰۱۶ میلادی) با تفکیک مکانی ۰/۱۲۵×۰/۱۲۵ درجه قوسی از پایگاه مرکز نامبرده بارگیری گردید. بعد از دریافت داده‌ها و رمزگشایی آن‌ها در محیط *Matlab* آرایه ایی به ابعاد ۲۶۲۸×۴ به‌دست‌آمده است. در این آرایه ۲۶۲۶۸ نماینده ۲۶۲۸ یاخته ۰/۱۲۵×۰/۱۲۵ درجه قوسی پایگاه ECMWF و ۴ نماینده روزها هستند (شکل ۱-ب). کنترل کیفی داده‌های باز واکاوی شده پایگاه ECMWF نسخه ERA-Interim توسط سیمونز و همکاران[1] (۲۰۱۰) انجام شده است. صحت داده‌های ارتفاع لایه مرزی پیش‌تر توسط وان انن و تکشاران[2] (۲۰۱۳) که این پارامتر در سطح جهانی را مورد مطالعه قرار دادند مورد تایید قرار گرفته است.

د) عمق نوری ذرات (AOD) با استفاده از خوارزمیک Deep Blue مودیس[3]

خوارزمیک دیپ بلو[4] یک روش پذیرفته‌شده برای شناسایی توده‌های گردوغبار در تصاویر ماهواره‌ای MODIS و SeaWIFS است (علی‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۴). روش مذکور برای شناسایی محدوده و ویژگی طوفان‌های گردوغبار اتفاق افتاده روی خشکی طراحی‌شده است و مبنای آن شناسایی اهداف تیره[5] می‌باشد (فرجزاده و کریمی، ۱۳۹۲). این روش نخستین بار توسط هسو و همکاران[6] (۲۰۰۴) توصیف شد و سپس بروز رسانی و توصیفات خوارزمیک نامبرده برای سنجنده مودیس توسط هسو و همکاران (۲۰۱۳) انجام‌شده است. در این پژوهش برای ارزیابی عمق نوری ذرات (AOD 550) روزهای درگیر از محصول MYD08_D3_6 حسگر مودیس آکوا[7] با تفکیک مکانی ۱×۱ درجه قوسی استفاده شد و پس از پردازش‌های مربوطه نقشه‌های عمق نوری ذرات ترسیم و نتایج حاصل از آن مورد ارزیابی قرارگرفته است (شکل ۱-ج).

ه) ارزیابی شرایط به وجود آورنده و تشدیدکننده آشفتگی در لایه‌مرزی هواسپهری با استفاده از روش عددی ریچاردسون[8]

یکی از عوامل مهم در انتقال گرد غبار عمق لایه اختلاط ذرات گردوغبار در هواسپهر می‌باشد. به بیانی روشن‌تر اختلاط گرد غبار با لایه‌های بالایی هواسپهر سبب انتقال آن به فواصل دورتر می‌شود. انتقال عمودی ذرات گردوغبار

1- Simmons et al.
2-Von Engeln &Teixeira
3- http://landsat.gsfc.nasa.gov/
4- Deep Blue
5- Dark targets
6- Hsu et al
7- MODIS-Aqua
8- Richardson Number

و اختلاط آن با لایه‌های مرزی هواسپهر به‌صورت کلی به‌وسیله دو پدیده پخش گردابه ایی[1] و همرفت خشک و تر[2] صورت می‌گیرد (حمیدی و کاویانپور، ۱۳۹۰)؛ زیرا شناسایی عوامل کارا در تولید و گسترش گردابه‌ها می‌تواند نشان دهنده عوامل کارساز در افزایش عمق اختلاط ذرات گردوغبار باشد؛ پرواضح است که هر چه عمق اختلاط بیشتر باشد درنتیجه انتقال طولانی‌تر خواهد بود. بر این اساس عدد ریچاردسون که معرف شرایط به وجود آورنده و تشدیدکننده آشفتگی می‌باشد مورد ارزیابی قرارگرفته است. عدد ریچاردسون نشان‌دهنده نیروی بازدارنده حرارتی به نیروی مکانیکی تولیدکننده گردابه به ازای یک انرژی جنبشی آشفتگی خاص است. بر این اساس هرگاه عدد ریچاردسون کوچک‌تر از ۱ باشد نیروی مکانیکی تولیدکننده گردابه بیشتر از نیروی بازدارنده حرارتی بوده که درنتیجه آن جریان ناپایدارتر و آشفته‌تر شده و فرآیند اختلاط راحت‌تر و سریع‌تر صورت می‌گیرد. در مقابل هر چه این عدد از ۱ بزرگ‌تر باشد نیروی بازدارنده حرارتی بیشتر از نیروی مکانیکی تولیدکننده گردابه بوده و جریان پایدار شده و فرایند اختلاط نیز بسیار ضعیف می‌گردد. عدد ریچاردسون با شتاب گرانش رابطه مستقیم و توان دوم اصطکاکی و همچنین دمای پتانسیل رابطه معکوس دارد (حمیدی، ۱۳۹۲). به‌منظور ارزیابی عددی ریچاردسون داده‌های ایستگاه جو بالا اهواز (40811 OIAW Ahwaz) و آبادان برای ساعات (۰۰ و ۱۲ UTC) از تارنمای دانشگاهWyoming[3] اخذ و سپس مقدار مربوطه محاسبه گردید.

و) پردازش‌های آماری

متداول‌ترین نمایه برای همبستگی استفاده از ضریب همبستگی پیرسون[4] است. این نمایه جهت و درجه همبستگی را نمایش می‌دهد. از این نمایه برای همبستگی ارتفاع لایه‌مرزی (BLH) با عمق نوری ذرات (AOD550) استفاده شده است. همچنین برخی از نمایه‌های متداول آماری در آب و هواشناسی همچون، کمینه، بیشینه، میانگین و انحراف از معیار نیز مورد ارزیابی گرفته‌اند.

ز)-ترسیم و تحلیل نقشه‌ها

پس از بدست آوردن اعداد محاسبه شده نقشه‌های مربوطه ترسیم و مورد تحلیل قرار گرفت.

یافته‌های تحقیق

همان‌طور که اشاره شد طی روزهای ۲۱ فوریه تا ۲۴ فوریه ۲۰۱۶ میلادی مصادف با ۲ اسفند تا ۵ اسفند ۱۳۹۴ هجری خورشیدی که رویداد گردوغبار فراگیری در منطقه جنوب غرب و برخی از مناطق غرب ایران حادث شد نخست اطلاعات آب و هوایی دو ایستگاه آبادان و اهواز مورد ارزیابی قرارگرفته است (جدول ۱) (به جهت حجم بالای ایستگاه‌ها تنها با اطلاعات این دو ایستگاه در گزارش نهایی پژوهش کفایت شد). بر اساس اطلاعات آب و هوایی دو

1- Turbulent Diffusion
2- Dry and Wet Convection
3- http://weather.uwyo.edu/
4- Pearson correlation

ایستگاه همدید اهواز و آبادان برای ساعت ۱۲UTC دما بین ۲۳ تا ۲۹ درجه سانتی‌گراد در نوسان بوده است. در روز شروع رویداد (۲۱ فوریه) جهت باد در ایستگاه اهواز جنوبی و سرعت آن ۸ متر بر ثانیه و همچنین دمای نقطه شبنم ۱ درجه سانتی‌گراد و فشار ایستگاه ۱۰۱۱/۶۰ ه.پ گزارش گردید که در این شرایط دید افقی به ۱۰۰۰ متر رسید در روز دوم رویداد دما همانند روز قبل ۲۷ درجه سانتی‌گراد بوده بااین‌حال دمای نقطه شبنم افزایش ۵ درجه سانتی گرادی و در مقابل سرعت باد کاهش ۲ متر بر ثانیه را نسبت به‌روز شروع رویداد داشته است و فشار کماکان ثابت بوده است و دید افقی افزایش ۲۰۰۰ متری داشته است. روز سوم (۲۳ فوریه) دمای هوا افزایش پیداکرده و به ۲۹ درجه سانتی‌گراد رسید و در مقابل فشار ایستگاه به کمترین مقدار خود در ایستگاه اهواز طی این ۴ روز رسید بطوریکه ایستگاه همدید اهواز عدد ۱۰۰۸/۶۰ ه.پ را گزارش کرده است؛ سرعت باد نسبت به‌روز قبل (۲۲ فوریه) افزایش ۱ متر بر ثانیه را داشته و به ۷ متر بر ثانیه با جهت جنوبی رسید و دید افقی به کمترین مقدار خود این چهار روز در ایستگاه همدید اهواز با ۸۰۰ متر رسید. در روز ۲۴ فوریه دید افقی به بیش از ۱۰۰۰۰ متر رسید. در ایستگاه آبادان نیز تنها ۲۲ فوریه دید افقی به ۴۰۰۰ متر رسید در این روز که جهت باد جنوب شرقی بوده سرعت آن به ۱۱ متر بر ثانیه رسید. در سایر روزها در این ایستگاه منتخب دید افقی به بیش از ۱۰۰۰۰ متر رسیده است. سایر پارامترهای موردبررسی در این دو ایستگاه در جدول (۱) آماده است.

جدول ۱: اطلاعات آب و هوایی دو ایستگاه همدید اهواز و آبادان برای ساعت ۱۲UTC

ایستگاه	روز	دما(C)	فشار(hpa)	نقطه شبنم (c)	سرعت باد(m/s)	جهت باد	دید افقی(متر)
اهواز	۲۱ فوریه ۲۰۱۶	۲۷	۱۰۱۱/۶۰	۱	۸	جنوبی	۱۰۰۰
	۲۲ فوریه ۲۰۱۶	۲۷	۱۰۱۱/۰۰	۶	۶	جنوب شرق	۳۰۰۰
	۲۳ فوریه ۲۰۱۶	۲۹	۱۰۰۸/۶۰	۴	۷	جنوبی	۸۰۰
	۲۴ فوریه ۲۰۱۶	۲۳	۱۰۱۴/۰۰	۸	۲	غربی	>۱۰۰۰۰
آبادان	۲۱ فوریه ۲۰۱۶	۲۵	۱۰۱۲/۸۰	۱۱	۵	جنوب شرق	>۱۰۰۰۰
	۲۲ فوریه ۲۰۱۶	۲۶	۱۰۱۱/۴۰	۴	۱۱	جنوب شرق	۴۰۰۰
	۲۳ فوریه ۲۰۱۶	۲۵	۱۰۱۰/۴۰	۱۱	۷	جنوبی	>۱۰۰۰۰
	۲۴ فوریه ۲۰۱۶	۲۵	۱۰۱۶/۰۰	۳	۵	شمال غربی	>۱۰۰۰۰

توزیع فضایی ارتفاع لایه‌مرزی و برخی از مشخصه‌های آماری آن برای روزهای وقوع رویداد در شکل (۲) و جدول (۲) بر اساس برونداد پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخه ERA-Interim با تفکیک مکانی ۰/۱۲۵×۰/۱۲۵ درجه قوسی برای ساعت ۱۲UTC ارائه گردید. همان‌طور که در جدول و شکل نیز به‌روشنی ارائه گردید بیشینه ارتفاع لایه‌مرزی با ۱۴۹۲/۱۷ متر در روز ۲۲ فوریه و کمینه ارتفاع لایه‌مرزی نیز در همین روز با ارتفاع ۱۵/۴۸ متر اتفاق افتاده است. میانگین ارتفاع لایه‌مرزی در این ۴ روز بین ۱۶۶ تا ۳۸۱ متر در نوسان بوده است بطوریکه درست در روز آغازین شروع گردوغبار میانگین ارتفاع لایه‌مرزی با ۱۶۶/۸۷ مقدار کمینه و در روز

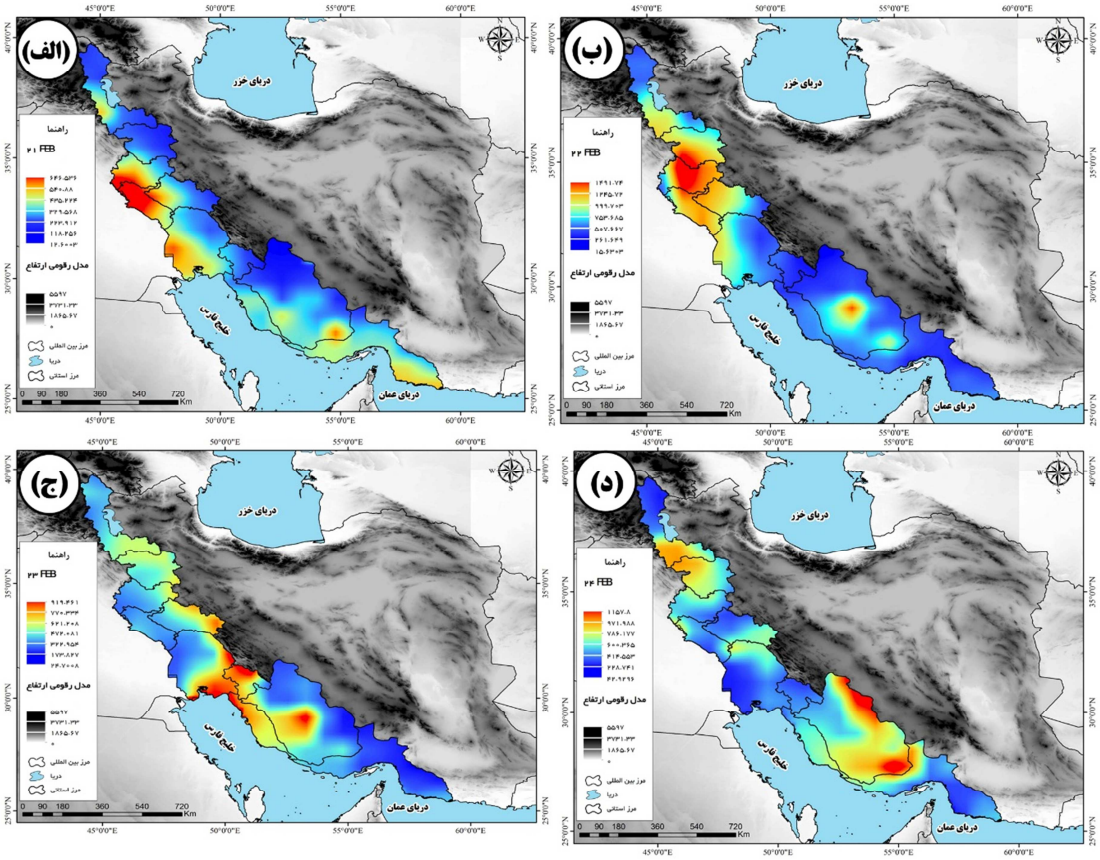
پایانی رویداد گردوغبار (۲۴ فوریه) این مقدار به ۳۸۱/۵۷ رسیده است. همچنین در روز ۲۲ فوریه ارتفاع لایه‌مرزی به بیشینه انحراف از معیار خود طی روزهای موردمطالعه رسیده است.

جدول ۲: ارتفاع لایه‌مرزی در روزهای مطالعاتی بر اساس برونداد پایگاه ECMWF نسخه ERA-Interim ساعت ۱۲UTC

ردیف	روز	کمینه (متر)	بیشینه (متر)	میانگین (متر)	انحراف از معیار
۱	۲۱ فوریه ۲۰۱۶	۱۲/۵۷	۶۴۸/۵۱	۱۶۶/۸۷	۱۱۸/۹۶
۲	۲۲ فوریه ۲۰۱۶	۱۵/۴۸	۱۴۹۲/۱۷	۳۷۱/۰۲	۳۰۶/۷۸
۳	۲۳ فوریه ۲۰۱۶	۲۱/۴۰	۹۴۷/۶۹	۲۹۶/۰۲	۱۸۵/۴۲
۴	۲۴ فوریه ۲۰۱۶	۴۰/۴۹	۱۱۹۱/۷۳	۳۸۱/۵۷	۲۲۲/۳۷

توزیع فضایی ارتفاع لایه‌مرزی برای چهار روز منتخب در شکل ۲ ارائه گردید. شکل ۲-الف ارتفاع لایه‌مرزی را برای ۲۱ فوریه نشان داده است در این روز با شروع رویداد گرد و غبار ارتفاع لایه‌مرزی در سه استان خوزستان، ایلام و کرمانشاه بین ۵۴۰ تا ۶۴۶ متر بیشینه منطقه موردمطالعه را به خود اختصاص داده‌اند کمینه ارتفاع لایه‌مرزی نیز در این روز با ۱۲ متر در بخش‌های شمالی استان فارس و مناطق غربی استان‌های کردستان و آذربایجان غربی بوده است. ۲۲ فوریه ارتفاع لایه‌مرزی رشد قابل‌توجهی را در مقدار بیشینه داشته است هرچند که در مقدار کمینه نیز شاهد افزایش حدود ۳ متری هستیم اما این مقدار برای بیشینه افزایش ۸۴۵/۲۱ متری داشته است. کانون آن نیز در استان کرمانشاه و بخش‌های جنوبی استان کردستان بوده است. بطوریکه تا منتهی‌الیه شمالی دریاچه ارومیه نیز ارتفاع لایه‌مرزی رشد قابل‌توجهی داشته است. در روز سوم وقوع رویداد گردوغبار نیز ارتفاع لایه‌مرزی در مقدار کمینه به رشد خود ادامه داده است بطوریکه در این روز (۲۳ فوریه) کمینه ارتفاع لایه‌مرزی در استان هرمزگان با ۲۴ متر قرارگرفته است. بیشینه ارتفاع لایه‌مرزی نیز با ۹۱۹ متر در بخش جنوب شرقی استان خوزستان، بخش مرکزی استان فارس و مناطق شمالی استان کهکیلویه و بویراحمد قرارگرفته است. در روز پایانی رویداد گردوغبار که تقریبا شرایط استان‌های خوزستان و ایلام نسبت به سه روز پیشین بهتر شده است ارتفاع لایه‌مرزی نیز کاهش قابل‌توجهی را داشته است بطوریکه ارتفاع لایه‌مرزی به کمتر از ۵۰ متر رسیده است و تنها مناطق شمالی استان خوزستان ارتفاع لایه‌مرزی به ۶۰۰ متر رسیده است. در این روز بیشینه ارتفاع لایه‌مرزی با ۱۱۵۷ متر در جنوب و شمال استان فارس واقع‌شده است و پس‌ازآن مناطق شمالی استان کردستان و مناطق جنوبی استان آذربایجان غربی قرارگرفته‌اند.

بیشینه ارتفاع لایه‌مرزی در روز دوم رویداد گردوغبار فراگیر منتخب (۲۲ فوریه) به ۱۴۹۲/۱۷ متر رسیده است پس‌ازآن ۲۴ فوریه ۱۱۹۱/۷۳ متر، ۲۳ فوریه با ۹۴۷/۶۹ متر و ۲۱ فوریه با ۶۴۸/۵۱ متر قرار دارند که ضخامت مناسبی را برای اختلاط ذرات گردوغبار منتشرشده در وردسپهر ایجاد می‌کنند. این عمق اختلاط ایجادشده بخصوص برای روز دوم رویداد می‌تواند زمینه انتقال طولانی مسافت گردوغبار را از فراز مناطق دارای ارتفاع بالای ۱۰۰۰ متر (بخصوص از روز دوم تا چهارم؛ روز اول شروع رویداد بوده است) فراهم آورد. با توجه به این سطح از ارتفاع لایه‌مرزی به وجود آماده در منطقه موردمطالعه می‌توان اذعان داشت اختلاط مناسبی بین ذرات گردوغبار و لایه وردسپهر به وجود آمده و ذرات منتشرشده از این منطقه قابلیت انتقال مسافت طولانی را از مناطق بیابانی مجاور ایران دارا باشند.



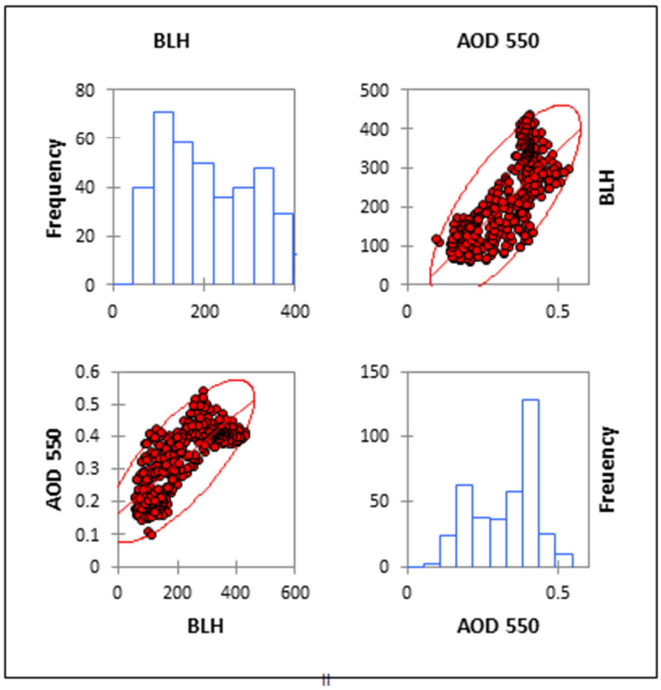
شکل ۲: توزیع فضایی ارتفاع لایه‌مرزی بر اساس برونداد پایگاه ECMWF نسخه ERA-Interim برای ساعت ۱۲UTC؛ الف) ۲۱ فوریه ۲۰۱۶ میلادی؛ ب) ۲۲ فوریه ۲۰۱۶ میلادی؛ ج) ۲۳ فوریه ۲۰۱۶ میلادی و د) ۲۴ فوریه ۲۰۱۶ میلادی

به‌منظور ارزیابی ارتباط بین ارتفاع لایه‌مرزی و گردوغبار ایجادشده؛ همبستگی عمق نوری ذرات (۵۵۰ نانومتر) برای چهار روز منتخب مبتنی بر خروجی سنجنده مودیس آکوا با ارتفاع لایه‌مرزی در سطح اطمینان ۵ درصد در جدول (۳) ارائه گردید. همان‌طور که از نتایج جدول برمی‌آید در هر چهار روزی که پدیده گردوغبار در منطقه به وقوع پیوسته است ارتفاع لایه‌مرزی با عمق نوری ذرات همبستگی مستقیم و مثبت داشته است. بیشینه همبستگی در ۲۲ فوریه با ۰/۷۶۵ اتفاق افتاده است که در این روز ارتفاع لایه‌مرزی نیز بیشینه بوده است. پس‌ازآن ۲۱ فوریه با ۰/۷۵۱، ۲۴ فوریه با ۰/۷۳۷ و ۲۳ فوریه با ۰/۷۱۲ قرارگرفته‌اند. لذا می‌توان نتیجه گرفت ارتباط مستقیم و معنی‌داری بین ارتفاع لایه‌مرزی با رویداد گردوغباری در غرب و جنوب غرب ایران وجود دارد.

جدول (۳) همبستگی عمق نوری ذرات (AOD550) با ارتفاع لایه‌مرزی (BLH) در روزهای وقوع گردوغبار ($P-Value<0.05$)

ردیف	روز	همبستگی	P-Value
۱	۲۱ فوریه ۲۰۱۶	۰/۷۵۱	< ۰/۰۰۰۱
۲	۲۲ فوریه ۲۰۱۶	۰/۷۶۵	< ۰/۰۰۰۱
۳	۲۳ فوریه ۲۰۱۶	۰/۷۱۲	< ۰/۰۰۰۱
۴	۲۴ فوریه ۲۰۱۶	۰/۷۳۷	< ۰/۰۰۰۱

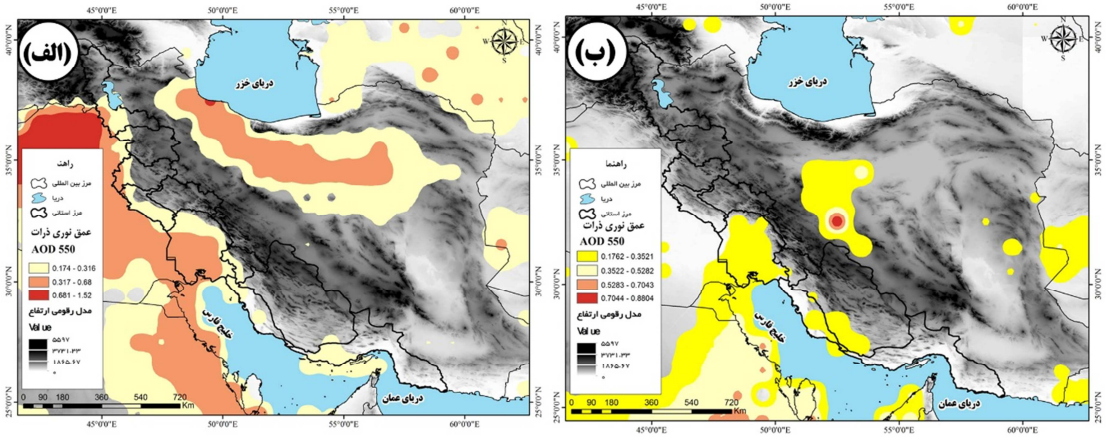
شکل ۳ پراکنش نگار ۲۱ فوریه (روز آغاز رویداد گردوغبار) را نشان می‌دهد این شکل نیز به‌خوبی ارتباط بین ارتفاع لایه‌مرزی و عمق نوری ذرات را نشان داده است. همچنین فراوانی طبقات ارتفاع لایه‌مرزی و عمق نوری ذرات برای این روز نیز در این نمودار ارائه‌شده است (به دلیل حجم بالای نمودارهای ترسیمی تنها نتایج نموداری روز نخست ارائه‌شده است).



شکل ۳: پراکنش نگار ارتفاع لایه‌مرزی (BLH) با عمق نوری ذرات (AOD550) در روز ۲۱ فوریه؛ از بالا سمت چپ به راست؛ فراوانی ارتفاع لایه‌مرزی، پراکنش نگار ارتفاع لایه‌مرزی با عمق نوری ذرات، پراکنش نگار عمق نوری ذرات با ارتفاع لایه‌مرزی و فراوانی نگار عمق نوری ذرات

شکل (۴) عمق نوری ذرات را برای روز آغازین رویداد گردوغبار (۲۱ فوریه) و پایانی رویداد گردوغبار (۲۴ فوریه) نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است در روز آغازین رویداد عمق نوری ذرات در خوزستان و بخش کوچکی از غرب استان کرمانشاه بین ۰/۳۱۷ تا ۰/۶۸ بوده است همچنین منطقه نواری شکلی از استان آذربایجان

غربی تا استان بوشهر در راستای شمال غرب به جنوب شرق کشیده شده شاخص عمق نوری ذرات مقداری بین ۰/۱۷۴ تا ۰/۳۱۶ را نشان داده است در روز پایانی مقدار شاخص برای استان خوزستان کاهش داشته به ۰/۱۷۶۲ تا ۰/۳۵۲۱ رسیده است.



شکل ۴: توزیع فضایی عمق نوری ذرات (AOD550)؛ الف) ۲۱ فوریه ۲۰۱۶ میلادی و ب) ۲۴ فوریه ۲۰۱۶ میلادی

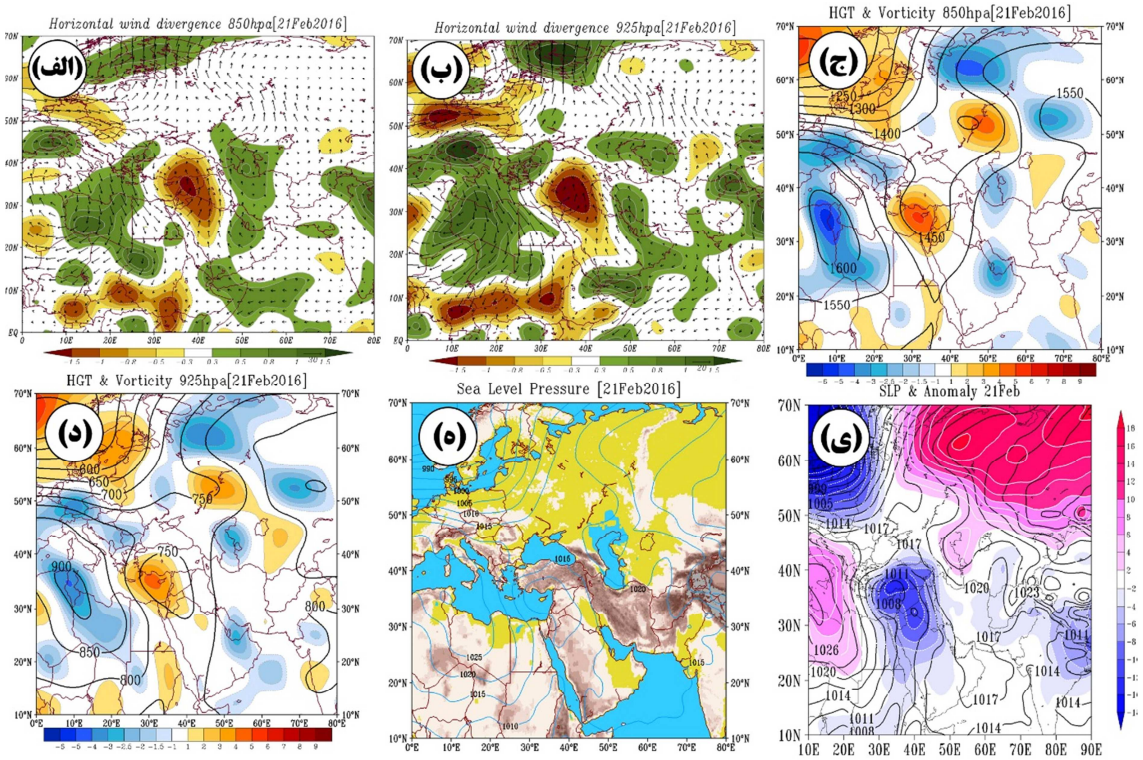
نتایج ارزیابی عدد ریچاردسون برای این چهار روز نشان داده است که در تمامی روزها و ساعات مورد مطالعه (۰۰ و ۱۲ UTC) به‌غیر از ساعت 00Z روز ۲۴ فوریه که شاخص عدد ۰/۰۶ را نشان داده است شاخص عدد صفر را نشان داده است درنتیجه نیروی مکانیکی تولیدکننده گردابه بیشتر از نیروی بازدارنده حرارتی بوده که درنتیجه آن جریان ناپایدارتر و آشفته‌تر شده و فرآیند اختلاط راحت‌تر و سریع‌تر صورت گرفته است. در روز پایانی مقدار شاخص به‌آرامی افزایش را نشان داده است که با فروکش کردن توفان گردوغبار در این روز همخوانی کامل دارد.

ارزیابی همدید الگوهای موجد توفان‌های گرد غباری رخ‌داده در منطقه موردمطالعه

روز آغازین توفان: ۲۱ فوریه ۲۰۱۶ میلادی

با توجه به نقشه‌های هواسپهری در روز ۲۱ فوریه ۲۰۱۶ تمامی شرایط برای ایجاد ناپایداری و وقوع توفان گردوغبار در بخش اعظم نوار غربی ایران به‌ویژه در جنوب غرب آن مهیا می‌باشد. همان‌گونه که مشخص است در هر دو تراز موردبررسی (۸۵۰ ه.پ و ۹۲۵ ه.پ) در سرزمین‌های خشک و کویری عراق، سوریه، شرق ترکیه و شمال شبه‌جزیره عربستان که در منابع متعدد بارها و به‌صورت مکرر به‌عنوان سرچشمه‌های غباری ایران معرفی‌شده‌اند، واگرایی افقی باد و صعود و ناپایداری هوا مشاهده می‌شود، این شرایط در تراز ۹۲۵ ه.پ (شکل ۵-ب) که نزدیک‌تر به سطح زمین است شدیدتر است، اما در نیمه غربی و جنوب غربی ایران همگرایی باد افقی به همراه جهت جنوبی و جنوب غربی جریان‌ها دیده می‌شود (شکل ۵-الف). 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 (۵-ج تراز ۸۵۰ ه.پ و ۵-د تراز ۹۲۵ ه.پ) در محدوده کشورهای یادشده قرار گیرد و منجر به ایجاد ناپایداری و خزش و برداشت گردوغبار از این مناطق شود و با توجه به اینکه امتداد بخش جلوی ناوه به نیمه غربی ایران نیز کشیده شده، گردوغبار برداشته‌شده همراه الگوی جریان به این بخش از ایران واردشده است در سطح زمین کاهش فشار در محدوده میان ۲۵ تا ۵۰ درجه شرقی به‌وضوح نمایان است که بیشینه آن منطبق بر کشورهای همسایه‌ی غربی است که گویای ناپایداری هوا در این مناطق می‌باشد (۵-ه). ناهنجاری و آنومالی کاهشی فشار (۵-ی) در این مناطق بسیار زیاد است که مؤید این مطلب است که در این روز و در مقایسه با گذشته کاهش فشار بسیار زیاد و در مواردی غیرطبیعی می‌باشد.

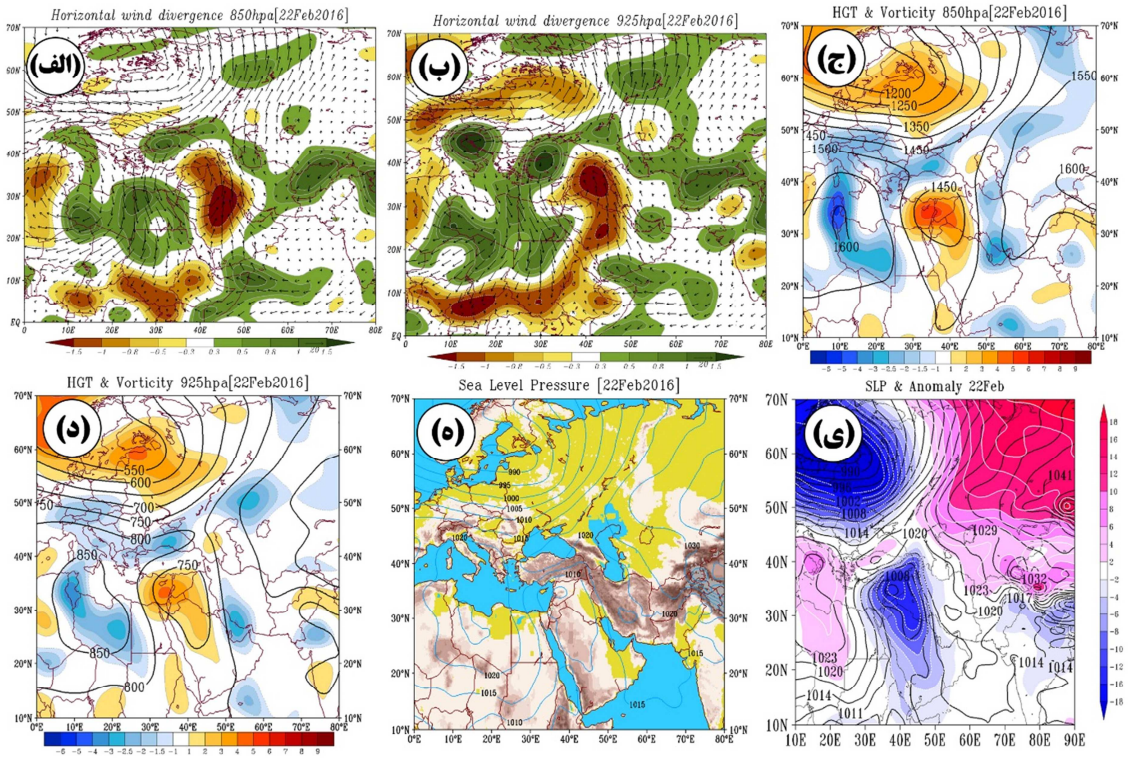


شکل ۵: نقشه‌های ترکیبی روز ۲۱ فوریه ۲۰۱۶؛ الف) واگرایی افقی باد تراز ۸۵۰ ه.پ؛ ب) واگرایی افقی باد تراز ۹۲۵ ه.پ؛ ج) نقشه ترکیبی ژئوپتانسیل و تاوایی تراز ۸۵۰ ه.پ؛ د) نقشه ترکیبی ژئوپتانسیل و تاوایی تراز ۹۲۵ ه.پ؛ ه) نقشه فشار تراز دریا؛ ی) نقشه ترکیبی فشار تراز دریا و آنومالی آن.

روز دوم توفان: ۲۲ فوریه ۲۰۱۶ میلادی

شکل ۶ نشان‌دهنده‌ی نقشه‌های هواسپهری در روز ۲۲ فوریه است. این روز مصادف با دومین روز توفان گردوغبار در جنوب غرب ایران می‌باشد. در این روز در مقایسه با روز قبل همان‌گونه که در نقشه‌ها مشاهده می‌شود در ترازهای زیرین (لایه‌مرزی هواسپهر) شرایط مناسب‌تری به لحاظ ایجاد توفان گردوغبار در جنوب غربی ایران مهیا است. محدوده واگرایی باد افقی نسبت به‌روز قبل در بخش‌های شرقی‌تر قرارگرفته و سرزمین‌های خشک غربی را کاملاً تحت پوشش قرار داده و حتی بخش‌هایی از مناطق غربی و جنوب غربی ایران را در برگرفته است. بیشینه واگرایی باد

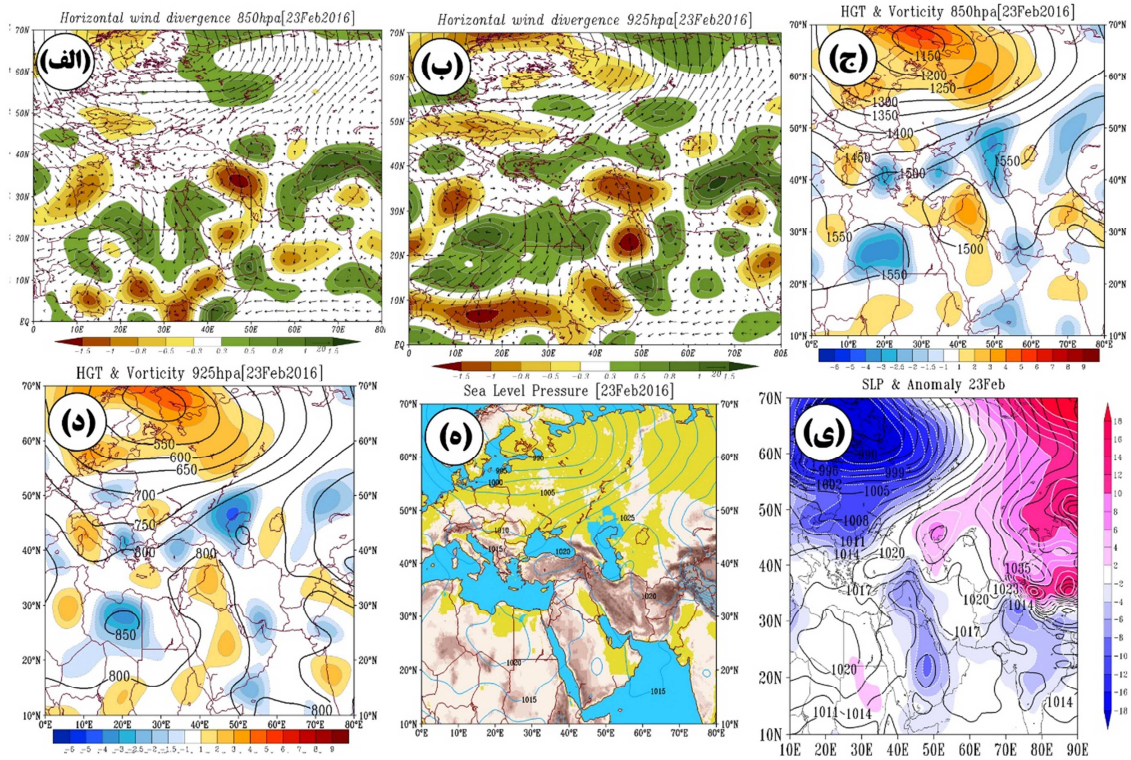
در تراز ۹۲۵ ه.پ (۶-الف) بر روی کشور عراق و جنوب شرق ترکیه است و در تراز ۸۵۰ ه. (شکل ۶-ب) در شمال شبه‌جزیره عربستان و جنوب عراق قرار دارد. در تراز ۹۲۵ ه.پ کمربندی از واگرایی باد به‌صورت پیوسته از شمال آفریقا تا غرب و جنوب غرب ایران گسترده شده است که این مناطق دربرگیرنده تمامی چشمه‌های غباری ایران می‌باشد. از سویی دیگر الگوی جریان حاکم در این بخش به‌ویژه سرعت بیشتر جریان‌ها در تراز ۸۵۰ ه.پ گویای انتقال گردوغبار از مرزهای جنوب غربی به ایران است (شکل ۶-الف). جابجایی شرق سوی چرخند نسبت به‌روز قبل، همین‌طور افزایش قابل‌توجه عمق ناوه (۱۰ درجه) و پوشش کامل نیمه غربی ایران توسط بخش جلوی آن در تراز ۸۵۰ ه.پ (شکل ۶-ج) و همچنین افزایش تاوایی این روز به همراه شرایط فوق‌الذکر باعث ایجاد مجموعه شرایط مساعدی برای ایجاد و شدت توفان آماده نماید (شکل ۶-ج و ۶-د). نقشه فشار (شکل ۶-ه) همانند روز قبل نشان‌دهنده کاهش فشار منطبق بر محل قرارگیری چرخند بوده که در این روز سطح گسترده‌تری را پوشش داده است، آنومالی (شکل ۶-ی) آن نیز گویای کاهش بسیار زیاد فشار در مقایسه با گذشته است که این حالت ناپایداری بسیار زیاد هوا در مناطق و سرزمین‌های خشک منطبق بر آن را ایجاد نموده و سبب خزش گردوغبار از آن‌ها شده است که می‌تواند توجیه‌کننده رخداد توفان شدید برای چندین روز متوالی در جنوب غرب ایران باشد.



شکل۶: نقشه‌های ترکیبی روز ۲۲ فوریه ۲۰۱۶؛ الف) واگرایی افقی باد تراز ۸۵۰ ه.پ؛ ب) واگرایی افقی باد تراز ۹۲۵ ه.پ؛ ج) نقشه ترکیبی ژئوپتانسیل و تاوایی تراز ۸۵۰ ه.پ؛ د) نقشه ترکیبی ژئوپتانسیل و تاوایی تراز ۹۲۵ ه.پ؛ ه) نقشه فشار تراز دریا؛ ی) نقشه ترکیبی فشار تراز دریا و آنومالی آن.

روز سوم توفان: ۲۳ فوریه ۲۰۱۶ میلادی

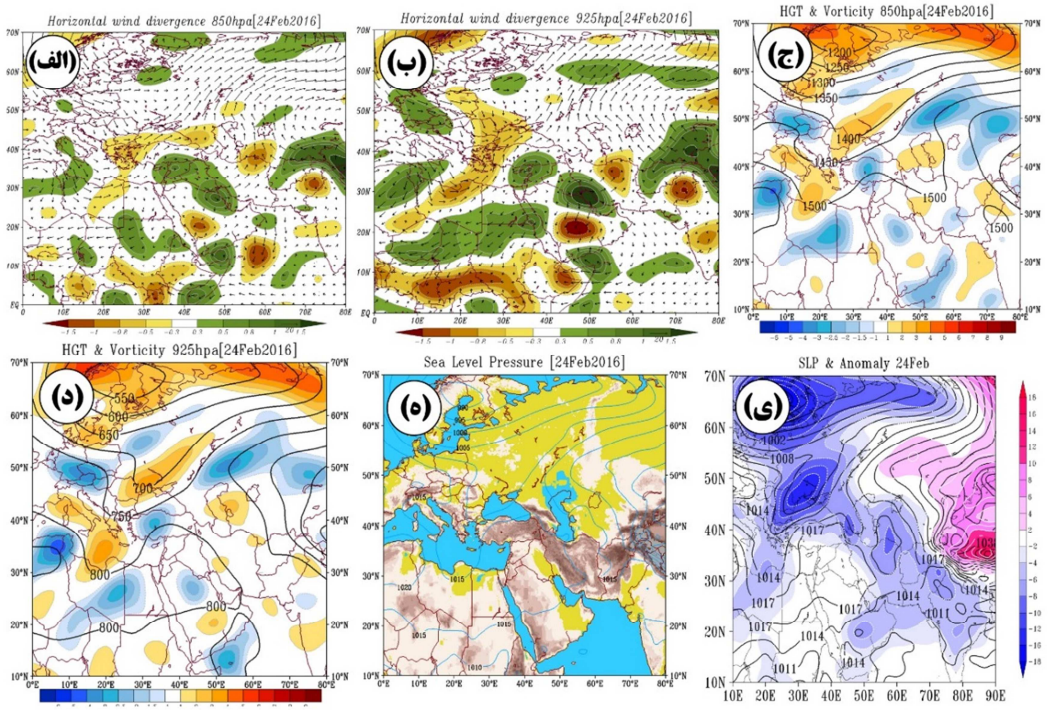
در این روز شدت توفان گردوغباری در جنوب غرب ایران نسبتاً کاهش‌یافته است و در مقایسه با روزهای قبل شرایط مناسب‌تری به لحاظ کیفیت هوا در این بخش وجود دارد. همان‌طور که در (شکل ۷-الف) دیده می‌شود پیوستگی محدوده واگرایی باد در این روز گسسته شده و به هسته‌های مجزا تبدیل و با حرکت به سمت شرق نیمی از پهنه آن نیمه غربی تا جنوب غربی ایران را پوشانده است. هسته دیگری در مرکز شبه‌جزیره عربستان واقع‌شده که شدت آن در تراز ۹۲۵ ه.پ (شکل ۷-الف) بیشینه است. الگوی جریان جنوبی با سرعت تقریباً قابل‌توجه در منطقه حاکم است که کاهش نقش همسایگان غربی در انتقال رطوبت به ایران در این روز را نمایان می‌سازد (شکل ۷-ب). ارتفاع ژئوپتانسیل در هر دو تراز ۹۲۵ ه.پ (شکل ۷-ج) و ۸۵۰ ه.پ (شکل ۷-د) نسبت به‌روزهای قبل افزایش‌یافته است، به‌ویژه که در تراز ۹۲۵ ه.پ چرخند موجودیت خود را ازدست‌داده و در تراز بالاتر علیرغم موجود بودن با توجه به کاهش شدید تاوایی آن، به‌شدت تضعیف‌شده است. در این روز ناوه عمیق موجود در روزهای پیشین نیز مشاهده نمی‌شود که با توجه به این شرایط از مقدار حرکات صعودی هوا کاسته و ناپایداری تضعیف و در پی آن برداشت گردوغبار از مناطق مستعد آن، کاسته شده است. فشار هوا (شکل ۷-ه) در سطح زمین نسبت به‌روزهای پیشین افزایش و آنومالی آن کاهش‌یافته است (شکل ۷-ی)، بدین معنا که فشار هوا در حال انطباق با شرایط معمول است.



شکل۷: نقشه‌های ترکیبی روز ۲۳ فوریه ۲۰۱۶؛ الف) واگرایی افقی باد تراز ۸۵۰ ه.پ؛ ب) واگرایی افقی باد تراز ۹۲۵ ه.پ؛ ج) نقشه ترکیبی ژئوپتانسیل و تاوایی تراز ۸۵۰ ه.پ؛ د) نقشه ترکیبی ژئوپتانسیل و تاوایی تراز ۹۲۵ ه.پ؛ ه) نقشه فشار تراز دریا؛ ی) نقشه ترکیبی فشار تراز دریا و آنومالی آن.

روز چهارم توفان: ۲۴ فوریه ۲۰۱۶ میلادی

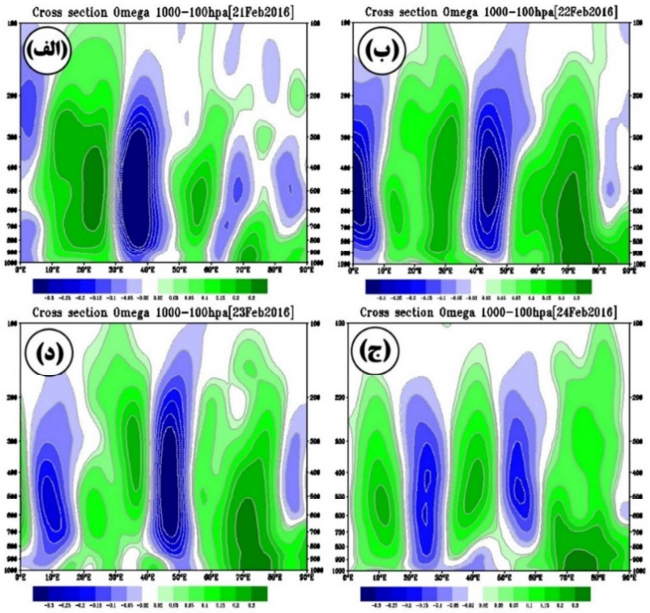
روز ۲۴ فوریه همراه با خروج توفان گردوغباری و حاکمیت هوای مطلوب، بدون آلودگی غبار و باکیفیت مناسب در غرب و جنوب غرب ایران است. نقشه‌های هواسپهری نیز گویای همین مطلب است و بررسی آن‌ها نشان‌دهنده پایداری هوا در سطح ایران و سرزمین‌های خشک غربی فرستنده گردوغبار در سطح فرا منطقه‌ای است، به‌طوری‌که برخلاف روزهای گذشته که نیمه‌غربی و جنوب‌غربی ایران با پدیده گردوغبار مواجه و در سطح سرزمین‌های مذکور بیشینه واگرایی باد حاکم بود، در این روز، همگرایی باد و نزول هوا وجود داشته و شرایط برای ناپایداری و برداشت گردوغبار مشاهده نمی‌شود. همچنین در این مناطق الگوی غالب جریان شمال غربی است (شکل ۸-الف و شکل ۸-ب). چرخند و ناوه موجود در روزهای قبل به‌طور کامل ازمیان‌رفته و جای آن را پشته‌ای نه‌چندان قوی در برگرفته است که امتداد بخش جلوی این پشته بر روی بخش غربی ایران قرار دارد که در تراز ۹۲۵ ه.پ (شکل ۸-ج) دارای نمود بیشتری است، این شرایط به همراه کاهش شدید تاوایی گویای نزول، پایداری هوا و به‌تبع آن ایجاد شرایطی آرام و بدون تلاطم در تمامی سطح منطقه می‌باشد (شکل ۸-د). همان‌طور که مشخص است فشار هوا (شکل ۸-ی) در این روز نیز روند افزایشی داشته و از دگرگونی آن در مقایسه با آنومالی فشار کاسته شده است (شکل ۸-ی).



شکل۸: نقشه‌های ترکیبی روز ۲۴ فوریه ۲۰۱۶؛ الف) واگرایی افقی باد تراز ۸۵۰ ه.پ؛ ب) واگرایی افقی باد تراز ۹۲۵ ه.پ؛ ج) نقشه ترکیبی ژئوپتانسیل و تاوایی تراز ۸۵۰ ه.پ؛ د) نقشه ترکیبی ژئوپتانسیل و تاوایی تراز ۹۲۵ ه.پ؛ ه) نقشه فشار تراز دریا؛ ی) نقشه ترکیبی فشار تراز دریا و آنومالی آن.

شکل ۹ نیمرخ قائم هواسپهر مربوط به دگرگونی فراسنج امگا را از ۰ تا ۹۰ درجه شرقی در چهار روز مورد بررسی که جنوب غربی ایران تحت شرایط غباری بوده است را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است کشور ایران در محدوده میان ۴۴ تا ۶۴ درجه شرقی قرار دارد، ازاین‌رو به‌منظور بررسی صعود هوا به‌طور تقریبی محدوده ۴۴ تا ۵۴ درجه به‌عنوان بخش غربی و جنوب غربی ایران در نظر گرفته شد. در روز ۲۱ فوریه (شکل ۹-الف) و همزمان با شروع توفان گردوغبار در منطقه، در محدوده ۳۰ تا ۴۵ درجه شرقی که منطبق بر سرزمین‌های غبار خیز و سرچشمه‌های غبار فرا منطقه‌ای ایران می‌باشد، تقریباً در تمامی ضخامت هواسپهر، مقادیر امگای منفی بسیار شدید که بیشینه آن بیش از ۰/۳- است مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده صعود و ناپایداری بسیار شدید هوا که همراه با برداشت گردوغبار از این مناطق است. در غرب ایران شرایط آرامی و بدون تلاطم وجود دارد. در روز ۲۲ فوریه (شکل ۹-ب) بیشینه صعود قائم هوا همزمان با حرکت و جابجایی چرخند فوق‌الذکر، به مناطق شرقی‌تر انتقال‌یافته و بخشی از غرب ایران را نیز در برگرفته است. در روز ۲۳ فوریه (شکل ۹-ج) و روز سوم وقوع توفان، باز هم دگرگونی مکان در محل بیشینه امگای منفی وجود داشته و نیمه جنوب غربی ایران را کاملاً در تمامی ضخامت هواسپهر را تحت پوشش قرار داده است. در روز چهارم و همزمان با خروج توفان گردوغبار از غرب ایران (شکل ۹-د)، در محدوده ۳۰ تا ۵۰ درجه شرقی امگای مثبت مشاهده می‌شود که گویای نزول و پایداری هوا در این مناطق است. با نگاهی به نقشه‌های سرعت صعود هوا در چهار روز، سرچشمه و مسیر حرکت گردوغبار به ایران به‌آسانی قابل‌ردیابی است.

در روز آغازین توفان، سرعت باد در لایه‌مرزی (پایین‌تر از ۸۵۰ ه.پ) بیشتر از روزهای واپسین است، سرعت باد در این روز در تراز ۱۰۰۰ ه.پ ۱۰ متر بر ثانیه می‌باشد و با افزایش ارتفاع سرعت افزایش می‌یابد، به ترتیب در روزهای بعد از مقدار آن کاسته شده و در روز پایانی به حدود ۳ متر بر ثانیه رسیده است. صعود قائم هوا نیز در روزهای نخستین توفان غباری، نشان‌دهنده صعود هوا و ناپایداری است ولیکن در روز پایانی در تمام ضخامت هواسپهر و تا ۳۰۰ ه.پ مقادیر امگای مثبت و نزول هوا در منطقه حاکم است که این شرایط در لایه‌مرزی هواسپهر نمود بیشتری دارد.



شکل۹: نقشه‌های نیمرخ قائم هواسپهر مربوط به فراسنج امگا؛ الف) ۲۱ فوریه؛ ب) ۲۲ فوریه؛ ج) ۲۳ فوریه؛ د) ۲۴ فوریه

نتیجه‌گیری

لایه‌مرزی هواسپهر با توجه به اینکه پایین‌ترین بخش از هواسپهر می‌باشد کارسازترین بخش هواسپهر در زندگی انسان‌ها بوده و دارای اهمیتی حیاتی است. هدف از این پژوهش بررسی نقش لایه‌مرزی هواسپهر در انتقال، شرایط به وجود آورده و تشدیدکننده آشفتگی گردوغبار به مناطق جنوب غربی کشور است. به‌منظور دستیابی به هدف مطروحه توفان گردوغباری ۲۱ تا ۲۴ فوریه ۲۰۱۶ پایش گردید. داده‌ها و روش‌های مورداستفاده این پژوهش عبارت‌اند از: ۱- داده‌های مرکز ملی پیش‌بینی محیطی/ مرکز ملی پژوهش هواسپهر (NCEP/NCAR)؛ ۲- ارتفاع لایه‌مرزی (BLH) مبتنی بر برونداد پایگاه مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF- ERA-Interim)؛ ۳- عمق نوری ذرات (AOD) با استفاده از خوارزمیک Deep Blue مودیس و ۴- ارزیابی شرایط به وجود آورنده و تشدیدکننده آشفتگی در لایه‌مرزی هواسپهری با استفاده از روش عددی ریچاردسون.

نتایج حاصل از این مطالعه با توجه به واکاوی نقشه‌های ترازهای زیرین هواسپهر (۹۲۵ و ۸۵۰ ه.پ) نشان داد که لایه‌مرزی هواسپهر در ایجاد تلاطم و انتقال گردوغبار به ایران نقش مهم و غیرقابل‌انکاری را دارا می‌باشد. در تمامی روزهای موردمطالعه رابطه ارتفاع مرزی هواسپهری (BLH) و عمق نوری ذرات (AOD) بالا بوده بطوریکه رابطه همبستگی این دو پارامتر را می‌توان به این شکل $r_{BLH\ AOD} > 70$ نوشت. مقدار عددی ریچاردسون برای ساعات ۰۰ و ۱۲ UTC دو ایستگاه اهواز و آبادان طی چهار روز موردمطالعه نشان داده است که نیروی مکانیکی تولیدکننده گردابه بیشتر از نیروی بازدارنده حرارتی بوده که به‌تبع آن جریان ناپایدارتر و آشفته‌تر شده و فرآیند اختلاط راحتر و

سریع‌تر صورت گرفته و لذا می‌توان اذعان داشت لایه‌مرزی نقش بسیار کارسازی در فرآیندهای گردوغباری جنوب غرب ایران دارد.

پایش شرایط همدید روزهای منتخب نشان داده است قرارگیری ناوه بسیار عمیق، چرخند قوی همراه با تاوایی مثبت قابل‌توجه در محور ناوه، به همراه امگای منفی که گویای صعود، ناپایداری هوا و به‌تبع آن ایجاد شرایطی ناآرام و متلاطم، واگرایی افقی باد، کاهش بسیار زیاد فشار در سطح زمین، الگوی جریان غربی و جنوب غربی و سرعت قابل‌توجه باد، در سرزمین‌های خشک همسایه منجر به ایجاد شرایط بسیار مساعد و تقویت برداشت گردوغبار از این مناطق نموده است. هنگامی‌که در این مناطق شرایط هواسپهری ناپایدار بوده و برداشت گردوغبار در حال شکل‌گیری است در سطح ایران شرایط آرامی وجود داشته و باگذشت زمان و در روزهای آتی با حرکت شرق سوی، جریان‌های هواسپهری حاوی گردوغبار به ایران انتقال می‌یابد. تداوم روزهای غباری رابطه معکوس با سرعت حرکت شرق سوی جریان‌ها دارد، به‌طوری‌که سرعت کمتر جریان‌ها و استقرار بیشتر در این مناطق با افزایش تعداد روزهای متوالی غباری در ایران همراه است و به‌تبع افزایش سرعت آن‌ها کاهش روزهای غباری را به دنبال دارد.

از نتایج دیگر این مطالعه که می‌توان به آن اشاره نمود این است که عامل اصلی پدیده توفان گردوغبار فراگیر به‌ویژه در جنوب غربی ایران، سرزمین‌های خشک و بیابانی واقع در میان دریای مدیترانه و ایران که شامل همسایگان غربی ازجمله کشورهای عراق، سوریه، شرق ترکیه، شمال عربستان و ... که دارای شرایط مساعدی همچون خاک فرسوده، لخت و عاری از پوشش گیاهی، هوای خشک و ... می‌باشد که به هنگام شرایط نامساعد هواسپهری و ایجاد ناپایداری و تلاطم در هوای این مناطق برداشت گردوغبار از آن‌ها تقویت‌شده و در راستای حرکت شرق سوی جریان‌ها به ایران منتقل می‌شود. هرچند که این مطلب بارها توسط محققین مختلف بیان‌شده (عزیزی و همکاران ۱۳۹۲؛ طائمی سمیرمی و همکاران ۱۳۹۲؛ فلاح رزولی و همکاران ۱۳۹۳؛ صحت کاشانی و همکاران ۱۳۹۳؛ علی‌آبادی و همکاران ۱۳۹۴؛ حسین حمزه و همکاران، ۱۳۹۵) و با نتایج آن‌ها منطبق است ولیکن تکرار آن گویای اثبات آن است و به تلاش در زمینه حل این مشکل به‌صورت فرا منطقه‌ای و نه لزوماً تنها در سطح ایران، تأکید می‌نماید.

نتایج سایر پژوهش که به نقش لایه‌مرزی در رویدادهای گردوغباری پرداختند نیز نشان از کارایی بالای آن در هدایت، چرخه، عمر و مسافت ذرات موجود در هواسپهر بوده‌اند بطوریکه نقش ارتفاع جرم هوا در چرخه حیات گردوغبار به‌ویژه در تعامل با لایه‌مرزی هواسپهری (ABL) توسط پژوهش بسیاری همچون ملونی و همکاران (۲۰۰۸) و کاوازوس گورا و تد (۲۰۱۲) تأییدشده است. همچنین راشکی و همکاران (۲۰۱۳) در تأیید نقش ارتفاع لایه‌مرزی هواسپهری به این نتیجه رسیدند که بعد از شیوع اولین گردوغبار، گردوغبارهای موجود در هواسپهر در ارتفاعی زیرستون ۱/۵ کیلومتری باقی می‌ماند. همچنین حمیدی و کاویانپور (۱۳۹۰) در مرزهای غربی کشور ثابت کرده است با افزایش ارتفاع لایه‌مرزی ضخامت مناسب برای اختلاط ذرات گردوغبار منتشرشده در وردسپهر ایجاد می‌کند و زمینه انتقال طولانی‌مدت ذرات را فراهم می‌کند. در جدیدترین مطالعه نیز احمدی و داداشی رودباری (۲۰۱۷) نقش لایه مرزی را انتقال گرد و غبار در جنوب غرب ایران مورد تایید قرار دادند.

وجود هواویزها در هواسپهر به ویژه لایه مرزی باعث تیرگی هواسپهر و دنبال آن افزایش عمق نوری هواویزها در لایه مرزی می‌شود (خوش سیما و همکاران، ۱۳۹۴). از آنجاییکه ارتفاع لایه مرزی با زمان در نوسان است ارزیابی توامان عمق نوری هواویزها، میزان غلظت ذرات معلق و مطالعه ارتفاع لایه مرزی نقش کارایی در شناسایی این پدیده نابهنجار آب و هوایی خواهد داشت. از آنجاییکه عمق نوری هواویزها ناشی از ضریب خاموشی هر لایه است لذا کمیتی بسیار تغییر پذیر است و با ارتفاع تغییر می‌کند. همانطور که مشاهده شد افزایش دما در روزهای مورد مطالعه تلاطم ناشی از گرمای خورشید باعث همگنی بیشتر ذرات در لایه مرزی شده است.

مزیت این پژوهش نسبت به سایر تحقیقات انجام شده با کاربست لایه مرزی که گرد و غبار را مورد مطالعه قرار داده اند نشان داد، مطالعه توام شرایط به وجود آورنده، انتقال و تشدیدکننده آشفتگی گردوغبار با استفاده مدل ریچاردسون، داده های بازواکاوی شده ECMWF- ERA-Interim و عمق نوری ذرات (AOD) با استفاده از خوارزمیک Deep Blue سنجنده MODIS از دقت بالایی برخوردار است. مطالعه لایه مرزی می‌تواند ضمن انتشار و انتقال آلاینده‌های جوی به پیش‌بینی کیفیت هوا در مقیاس محلی و منطقه ایی منجر شود همچنین اطلاع دقیق از ارتفاع لایه مرزی و فرایند های انتقال تلاطمی م تواند به انتخاب مکان‌های مناسب برای پایش آلودگی هوای شهری و منطقه‌ایی منجر شود. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های بعدی با استفاده از مدل‌های عددی هواشناسی رایج با نتایج این پژوهش مورد مقایسه قرار گیرد.

منابع

احمدی گیوی، فرهنگ؛ ثابت مقدم، سمانه؛ علی‌اکبری بیدختی، عباسعلی (۱۳۸۸). بررسی نوین عمق لایه آمیخته جو شهر تهران با استفاده از مدل MM5 و عوامل مؤثر در آن، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۵، شماره۲، صص ۱۰۵-۱۱۷.

براتی، غلامرضا؛ مرادی، محمد؛ شامخی؛ عایشه؛ داداشی رودباری، عباسعلی (۱۳۹۶). تحلیل روابط توفان‌های غباری جنوب ایران با کم‌فشار سِند، مخاطرات محیط طبیعی، دوره۶، شماره ۱۳،صص ۹۱-۱۰۸.

بیدختی، علی اکبر، بنی هاشم، تاج‌الدین (۱۳۷۶). لایه آمیخته شهری و آلودگی هوا، مجله محیط شناسی، دوره ۲۰، شماره ۲۰، صص ۶۰-۵۱.

جعفری، غلامحسن؛ جعفری، مهناز (۱۳۹۴). بررسی تأثیر عوامل انسانی بر روی تشدید پدیده گردوغبار، کنفرانس بین‌المللی علوم، مهندسی و فناوری‌های محیط‌زیست (CESET 2015)، ۱۵ و ۱۶ اردیبهشت، دانشگاه تهران.

حسین حمزه، نسیم؛ فتاحی، ابراهیم؛ ذوالجودی، مجتبی؛ غفاریان، پروین؛ رنجبر، عباس (۱۳۹۵). تحلیل همدیدی و دینامیکی پدیده گردوغبار و شبیه‌سازی آن در جنوب غرب ایران در تابستان ۱۳۸۴، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، جلد ۳، شماره ۱، صص ۹۱-۱۰۲.

حمیدی، مهدی؛ کاویانپور، محمدرضا (۱۳۹۰). بررسی شرایط جوی تشدیدکننده طوفان‌های گردوغبار ورودی از مرزهای غربی کشور، پنجمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست، انجمن مهندسی محیط‌زیست، تهران.

حمیدی، مهدی (۱۳۹۲). مدلسازی انتقال گرد و غبار (مطالعه موردی مرزهای غربی کشور)، رساله دکتری رشته مهندسی عمران-آب، به راهنمایی دکتر محمدرضا کاویانپور، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران.

خوش سیما، مسعود؛ ثابت قدم، سمانه؛ احمدی گیوی، فرهنگ؛ علی اکبری بیدختی، عباسعلی (۱۳۹۴). بررسی ارتفاع لایه مرزی بر نمایه های سنجش از دور جو: ارتباط میزان غلظت ذرات معلق و عمق نوری هواویزها، نشریه پژوهش های اقلیم شناسی، سال ششم، شماره ۲۱، صص ۱-۸.

دارند، محمد؛ زند کریمی، سوما (۱۳۹۴). واکاوی سنجش دقت زمانی- مکانی بارش پایگاه داده مرکز پیش بینی میان مدت جوی اروپای (ECMWF) بر روی ایران زمین، پژوهش های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۷، شماره ۴، صص ۶۵۱-۶۷۵.

رئیس پور، کوهزاد (۱۳۹۳). اقلیم شناسی سینوپتیکی، ماهواره ایی گرد و غبارهای غرب و جنوب غرب ایران، رساله دکتری رشته جغرافیا طبیعی گرایش اقلیم شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، به راهنمایی دکتر محمود خسروی و تقی طاوسی.

صحت کاشانی، ساویز؛ کمالی، غلامعلی؛ وظیفه دوست، مجید؛ علی‌اکبری بیدختی، عباسعلی (۱۳۹۳). مسیریابی رخداد گردوغبار در نواحی غرب و جنوب غرب ایران (سپتامبر ۲۰۰۸)، فصلنامه علوم محیطی، دوره ۱۲، شماره ۱، صص ۹۵-۱۰۷.

طائی سمیرمی، سیاوش؛ مرادی، حمیدرضا؛ خداقلی، مرتضی؛ احمدی آخورمه، مریم. (۱۳۹۲). شناخت و بررسی عوامل مؤثر بر پدیده گردوغبار در غرب ایران، فصلنامه انسان و محیط‌زیست، شماره ۲۷، صفحات ۱۰-۱.

عزیزی، قاسم؛ شمسی‌پور، علی اکبر؛ میری، مرتضی؛ صفر راد، طاهر؛ (۱۳۹۱). تحلیل آماری-همدیدی پدیده گردوغبار در نیمه غربی ایران، مجله محیط‌شناسی، سال ۳۸، شماره ۳، صفحات ۱۳۴-۱۲۳.

علی‌آبادی، کاظم؛ اسدی زنگنه، محمد علی؛ داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۳۹۴). ارزیابی و پایش توفان گردوغبار با استفاده از روش‌های سنجش‌ازدور (مطالعه موردی: غرب و جنوب غرب ایران)، فصلنامه علمی-پژوهشی امداد و نجات، سال ۷، شماره ۱، صص ۲۱-۱.

فرج زاده، منوچهر؛ کریمی؛ نعمت الله. (۱۳۹۲). مبانی هواشناسی ماهواره ایی، انتشارات سمت، تهران، ۲۳۶ص.

فلاح رزولی، محمد؛ وفایی نژاد، علیرضا، خیرخواه زرکش، میرمسعود؛ احمدی دهکا، فریبرز (۱۳۹۳). منشاء یابی گردوغبار غرب و جنوب غرب ایران و تحلیل سینوپتیکی آن با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش‌ازدور و GISدر علوم منابع طبیعی)، دوره ۵، شماره۴، صص۶۱ -۷۷.

Abdi Vishkaee, F., Flamant, C., Cuesta, J., Flamant, P., & Khalesifard, H. R. (2011). Multiplatform observations of dust vertical distribution during transport over northwest Iran in the summertime. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 116(52), 1-13.

Ahmadi, M., & DadashiRoudbari, A. (2017). Regional modeling of dust storm of February 8, 2015, in the southwest of Iran. Arabian Journal of Geosciences, 10(21), 459.

Bachour, D., & Perez-Astudillo, D. (2014). Boundary layer height measurements over Doha using Lidar. Energy Procedia, 57, 1086-1091.

Beljaars, A., Balsamo, G., Betts, A., Dutra, E., Ghelli, A., & Köhler, M. (2011). The stable boundary layer in the ECMWF model. In ECMWF GABLES Workshop on Diurnal Cycles and the Stable Boundary Layer, 1(1), 1-10.

Cavazos-Guerra, C., & Todd, M. C. (2012). Model simulations of complex dust emissions over the Sahara during the West African monsoon onset. Advances in Meteorology, 2, 1-17.

Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Berntsen, T., Betts, R., Fahey, D. W., Nganga, J. (2007). Changes in atmospheric constituents and irradiative forcing. Chapter 2. In Climate Change 2007. The Physical Science Basis.

Garratt, J. R. (1994). The atmospheric boundary layer. Earth-Science Reviews, 37(1-2), 89-134.

Holtslag, A. A. M., Svensson, G., Baas, P., Basu, S., Beare, B., Beljaars, A. C. M., ... & Tjernström, M. (2013). Stable atmospheric boundary layers and diurnal cycles: challenges for weather and climate models. Bulletin of the American Meteorological Society, 94(11), 1691-1706.

Hsu, N. C., Jeong, M. J., Bettenhausen, C., Sayer, A. M., Hansell, R., Seftor, C. S., ... & Tsay, S. C. (2013). Enhanced Deep Blue aerosol retrieval algorithm: The second generation. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 118(16), 9296-9315.

Hsu, N. C., Tsay, S. C., King, M. D., & Herman, J. R. (2004). Aerosol properties over bright-reflecting source regions. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 42(3), 557-569.

Huang, J., & Bou-Zeid, E. (2013). Turbulence and vertical fluxes in the stable atmospheric boundary layer. Part I: a large-eddy simulation study. Journal of the Atmospheric Sciences, 70(6), 1513-1527.

Meloni, D., Di Sarra, A., Monteleone, F., Pace, G., Piacentino, S., & Sferlazzo, D. M. (2008). Seasonal transport patterns of intense Saharan dust events at the Mediterranean island of Lampedusa. Atmospheric Research, 88(2), 134-148.

Pahlow, M., Parlange, M. B., & Porté-Agel, F. (2001). On Monin–Obukhov similarity in the stable atmospheric boundary layer. Boundary-Layer Meteorology, 99(2), 225-248.

Prospero, J. M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S. E., & Gill, T. E. (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), 2-31.
Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Eriksson, P. G., Qiang, M., & Gupta, P. (2012). Dust storms and their horizontal dust loading in the Sistan region, Iran. Aeolian Research, 5, 51-62.
Rémy, S., Benedetti, A., Bozzo, A., Haiden, T., Jones, L., Razinger, M., ... & Thepaut, J. N. (2015). Feedbacks of dust and boundary layer meteorology during a dust storm in the eastern Mediterranean. Atmospheric Chemistry and Physics, 15(22), 12909-12933.
Satheesh, S. K., & Moorthy, K. K. (2005). Radiative effects of natural aerosols: A review. Atmospheric Environment, 39(11), 2089-2110.
Simmons, A. J., Willett, K. M., Jones, P. D., Thorne, P. W., & Dee, D. P. (2010). Low-frequency variations in surface atmospheric humidity, temperature, and precipitation: Inferences from reanalyses and monthly gridded observational data sets. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 115(11), 1-21.
Stefan, S., Talianu, C., Nicolae, D., Nemuc, A., & Filip, L. (2011). Detection of atmospheric boundary layer height from lidar measurements. Optoelectronics and Advanced Materials-Rapid Communications, 5, 809-813.
Stull, R. B. (2012). An introduction to boundary layer meteorology (Vol. 13). Springer Science & Business Media.
Von Engeln, A., & Teixeira, J. (2013). A planetary boundary layer height climatology derived from ECMWF reanalysis data. Journal of Climate, 26(17), 6575-6590.
Zender, C. S., Miller, R. L. R. L., & Tegen, I. (2004). Quantifying mineral dust mass budgets: Terminology, constraints, and current estimates. Eos, Transactions American Geophysical Union, 85(48), 1-2.
Zhao, C., Liu, X., Ruby Leung, L., & Hagos, S. (2011). Radiative impact of mineral dust on monsoon precipitation variability over West Africa. Atmospheric Chemistry and Physics, 11(5), 1879-1893.

The Effect of Boundary Layer Height Height on Dust Storm in Southwest of Iran (Case Study: February 21-24, 2016)

Mahmoud Ahmadi*[1], AbbasAli Dadashi Roudbari[2], Mahnaz Jafari[3]

Received: 02-08-2017 Accepted: 09-05-2018

Abstract

The country is dry and low in the water, 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. The purpose of this research is to evaluate the role of the transverse boundary layer in the transition, the conditions creating and exacerbating the disturbance of dust to the southwest of the country. The research methodology first extracted days with dust and a period in which this phenomenon was enormously and intensely studied in the studied area (February 21-24, 2016) for monitoring. The data boundary layer height (BLH) based on the outputs of base ECMWF, Paramtryhay Hvasphr base NCEP / NCAR and Aerosol Optical Depth (AOD) was extracted from MODIS. In addition, in order to evaluate the conditions that create and exacerbate disturbances, the numerical value of Richardson Number was calculated for two radio stations in Ahwaz and Abadan. The results showed that the boundary layer of the atmosphere in creating turbulence and transfer of dust to the country has a significant and non-interlocking role so that in every 4 days the study between the height of the borderline and the optical depth of the particles was greater than 0.70. Unstable airborne conditions such as very deep creeping, strong rotation with a significant positive tau in the axis of the woods, along with negative omega that suggests climb, air instability, and consequently creating uneasy and turbulent conditions in the region, are very favorable and Has strengthened dust removal. The Richardson numerical value in the selected days represents the overrun of the mechanical force of the vortex generator from the thermal deterioration force, which resulted in an uneven and turbulent flow, and the mixing process was performed more easily and quickly.

Keywords: Boundary Layer Height (BLH), Aerosol Optical Depth (AOD), Richardson Number, Southwest of Iran.

[1]*- Associate Professor of Climatology at Shahid Beheshti University, Tehran, Iran Email: ma_ahmadi@sbu.ac.ir
[2]- PhD student in Urban Climatology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
[3]- PhD student in Synoptic Climatology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran