نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال پنجم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷.
صفحات ۱۹ - ۳۴

مدل‌سازی گردش منطقه‌ای جو در رخداد شدیدترین توفان ریزگرد بهاره غرب ایران

محمدقاسم ترکاشوند[1]، استادیار گروه جغرافیا (آب و هواشناسی)، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

دریافت مقاله : ۱۳۹۶/۰۶/۰۶ پذیرش نهایی:۱۳۹۷/۰۲/۱۰

چکیده

توفان گرد و غبار جزو آن دسته مخاطرات طبیعی است که بطورجدی شرایط جوی، اکوسیستم‌ها و سلامت انسان را تحت تأثیر خود قرار داده است. لذا بررسی چرخه‌های توفان‌های گرد و غبار و واکاوی شرایط هواشناسی (همدیدی و دینامیکی) و فرآیندهای آن می‌تواند منجر به‌پیش آگاهی و در فازهای بعدی کنترل این پدیده مخرب جوی منتهی گردد. به‌منظور دست‌یابی به هدف حاضر، توفان ریزگرد ۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۴ هجری خورشیدی به‌عنوان توفان شاخص بهاره غرب ایران انتخاب شد. جهت واکاوی ساختار توفان، یک مطالعه ترکیبی با بهره‌گیری از داده‌های رقومی باز تحلیل‌شده *NECP / NCAR* و خروجی مدل‌های منطقه‌ای و دینامیکی انجام شد. همچنین به‌منظور ساختار گردش منطقه‌ای جو در زمان رخداد توفان از داده‌های مؤلفه مداری و نصف‌النهاری باد، به همراه متغیرهای سمت و سرعت، فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، تاوایی نسبی و فرارفت عمودی هوا استفاده‌شده است. نتایج بیانگر آن بوده است که در روز وقوع توفان، شیب فشار در محدوده غرب ایران افزایش‌یافته و از سوی دیگر همزمانی تسلط تاوایی‌های مثبت و منفی در یک‌فاصله نزدیک و فعال شدن جت تراز زیرین جو باعث شکل‌گیری توفان‌های گردوغبار شده است. نتایج عمق نوری و غلظت گرد و غبار سطحی با مدل NAAPS نشان داده است که غلظت ذرات غبار بین ۶۴۰ تا ۱۲۶۰ میکروگرم بر مترمکعب در غرب کشور متغیر بوده است. خروجی دو مدل DREAM Bb و NMMB/BSC ضمن تأیید عمق نوری بالای ذرات نشان دادند که عوامل محلی و فاصله نزدیک تا مراکز چشمه غبار نقش بسزایی در رخداد پدیده حاضر برای غرب ایران دارند. شبیه سازی مسیر حرکت توفان نیز نشان از دو مسیر اصلی انتقال ذرات ریزگرد بهاره به غرب کشور؛ یعنی مسیر شمال غرب- جنوب شرق و مسیر غرب - شرق بوده است.

واژه های کلیدی: توفان گردوغبار بهاره، مدل‌سازی منطقه‌ای، مدل HYSPLIT، عمق نوری ذرات، غرب ایران

[1] - نویسنده مسئول: Email: gh.torkashvand@gmail.com

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.5.2.19]

مقدمه

پدیده گردوغبار یک رخداد طبیعی است که بطور گسترده در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، به‌ویژه در عرض‌های جنب استوایی رخ می‌دهد و در ردیف بزرگترین مشکلات زیست‌محیطی جهان بشمار می‌رود (Arimoto, 2001). انتشار این پدیده مخرب آب و هوایی بصورت پراکنده در جو زمین است که ازنظر اندازه، زمان و غلظت متفاوت است (Herman et al., 1997). ازآنجایی‌که این پدیده متأثر از شرایط خاص جوی است، اثرات آن ممکن است تا فاصله ۱۶ هزار کیلومتری از چشمه نیز تداوم داشته (Daremova, et al., 2005) و سبب بروز اثرات نابهنجار زیستی محیطی از یک‌سو و خسارات بی‌شماری درزمینه های کشاورزی، صنعت، حمل‌ونقل و سامانه‌های مخابراتی گردد (لشکری، ۱۳۸۷).

ذرات معلق در هوا در مقیاس جهانی نقش مهمی را در کیفیت هوا بازی می‌کنند. بعضی از این آلاینده ها خطر چندان موثری بر شرایط زیست و انسان ندارند اما بعضی از آنها بسیار خطرناکند(علیجانی، ۱۳۸۱:۲۲۰). برآوردها حاکی از انتقال سالیانه ۱ تا ۳ میلیارد تن از ذرات گرد و غبار به هوا سپهر است (IPCC, 2001; 2007). این ذرات معلق تا حد زیادی از بیابان‌ها و مناطق نیمه بیابانی (به‌عنوان‌مثال، صحرا در آفریقا و بیابان‌های مرکزی و غرب آسیا) سرچشمه می‌گیرند. منابع گردوغبار انسانی از زمان انقلاب صنعتی رو به افزایش بوده که عمدتاً به دلیل بیابان‌زایی و سایر دخالت‌های مستقیم و غیرمستقیم انسان بوده است (Zhang, et al., 2008). ریزگرد ها با وجود عمر جوی کوتاه خود (۱-۲ هفته)، بطور منظم طی مسافت‌های طولانی در مقیاس بین‌قاره‌ای جابجا می‌شوند (Chin, et al., 2007)؛ و گاهی اوقات یک مدار کامل در سراسر جهان را درمی‌نوردند (Uno, et al., 2009). از سوی دیگر چرخه حیات توفان‌های گردوغبار (انتشار، حمل‌ونقل و رسوب) با گردش جوی و دینامیکی آب‌وهوا مرتبط است (Pey et al., 2013؛ Salvador, et al., 2014). مطالعه پدیده گرد و غباری و سازوکار آن (نحوه تشکیل، شرایط معلق شدن، حمل و رسوب‌گذاری) ازجمله موضوعاتی است که از اهمیت شایان توجهی در پژوهش‌های مربوط به تغییرات زیست‌محیطی و آب و هوایی برخورداراست، چراکه گرد و غبار اثرات قابل‌توجهی را بر محیط‌زیست و ساکنان انسانی دارد (Ding, et al., 2002). با وجود اینکه بیشینه رخداد توفان‌های گرد و غباری توسط فرسایش مواد سطحی در مناطق خشک جهان تولید می‌شود، اما این مناطق بیابانی هستند که بعنوان سرچشمه اصلی گرد و غبار شناخته‌شده‌اند (Park, et al., 2005). همان‌طور که پیش‌تر بدان اذعان شده است خواستگاه اصلی ذرات ریزد گرد مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان می‌باشد که از فراوانی بالایی در آسیا برخوردار می‌باشند. از سایر اثرات سوء ریز گردها می‌توان به عفونت دستگاه تنفسی فوقانی، التهاب ریه، افزایش فشارخون و افزایش مراجعات منجر به بستری روزانه در طول ۳-۶ روز پس از وقوع رخداد توفان ریزگرد اشاره کرد (Lu, et al., 2004).

مطالعات قبلی که به‌اندازه گیری‌های زمینی، داده‌های ماهواره‌ای و ارزیابی مدل‌های منطقه‌ای و دینامیکی پرداخته‌اند و منجر به شناسایی منابع اصلی ذرات معلق در هوا و گرد و غبارهای معدنی و مسیرهای حمل‌ونقل آن شده است بسیار است که به چند مورداشاره می گردد. استفاده از فنّاوری لیدار (CALIOP[1])با روش متعامد قطبش برای منطقه شرق آسیا، پژوهشی است که توسط هوانگ و همکاران (Huang et al, 2008) انجام‌شده است. نامبردگان که وقایع گرد و غبار مکرر منطقه تاکلماکان[2] را مطالعه کرده‌اند نشان داده‌اند که منشأ رخداد شدیدترین توفان‌های ریزگرد در منطقه صحرای گبی می باشد. همچنین نتایج آنها نشان داد که ذرات معلق در هوا می‌توانند به ارتفاع ۹ کیلومتر رانده‌شده و

[1] Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization (CALIOP)
[2] Taklimakan

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/jsaeh.5.2.19]

توسط جت‌های غربی وردسپهر فوقانی تا شرق چین و در سراسر اقیانوس آرام برسند. تجزیه‌وتحلیل اولین سری کامل از مجموعه داده‌هایCALIOP توسط لیو و همکاران (Liu, et al, 2008) نشان داد که اوج بهاره فعالیت گرد و غبار در فلات تبت، با رسیدن به ارتفاع ۱۱-۱۲ کیلومتری و نفوذ ذرات معلق در هوا بر روی سیستم آب و هوایی و خواص ابرهای موجود در منطقه تأثیر بسزایی دارد. ارزیابی چشمه‌های غبار در صحرای آفریقا پژوهش دیگری است که توسط اسکپنسکی و همکاران (Schepanski, et al, 2012) انجام‌شده است. در این پژوهش که با استفاده از شاخص‌های AI و OMI انجام‌گردیده است، نگارندگان به این نتیجه رسیدند که توپوگرافی نقش قابل‌توجهی را در ایجاد و انتقال گردوغبار در منطقه بازی می‌کند. بر این اساس نامبردگان مناطق جنوبی ساحلی صحرای آفریقا را بعنوان منشأ اصلی توفان‌های ریزگرد معرفی کردند. کاستوکیوس و همکاران (Kaskaoutis, el al, 2016) بامطالعه منطقه‌ای نقش سامانه‌های هندوکش و دریای خزر به این نتیجه رسیدند که بخش اعظم ریز گردهای غرب آسیا ناشی از سازوکار حاضر هست.

از جمله مطالعات مرتبط با پدیده گردوغبار که توسط محققین کشورمان برای مناطق غرب، جنوب غرب و جنوب برای توفان‌های مختلف گردوغبار انجام‌شده است می‌توان به مطالعه عزیزی و همکاران (۱۳۹۱) اشاره کرد. در این مطالعه که به ردیابی پدیده گردوغبار در نیمه غربی ایران پرداخته‌شده است منطقه‌ای بین سوریه و عراق را بعنوان مسیر اصلی ورود گرد و غبار برای نیمه غربی ایران معرفی کرده است. در پژوهشی دیگر مفیدی و جعفری (۱۳۹۰) به بررسی نقش گردش منطقه‌ای جو بر روی خاورمیانه در وقوع توفان‌های گرد و غبار تابستانه در جنوب غرب ایران پرداختند. در این پژوهش با استفاده از بهره‌گیری از داده‌های شبکه‌بندی NCEP/NCAR و شاخص آئروسل TOMS ویژگی‌های دینامیکی و همدیدی هر یک از توفان‌های گرد و غباری از دو روز قبل از وقوع توفان تا زمان اوج در مقیاس ۶ ساعته موردبررسی قرار گرفت که نتایج بیانگر آن بود که پرفشار عربستان و زبانه کم‌فشار زاگرس بیش از هر مؤلفه‌ی گردشی دیگری در شکل‌گیری توفان‌های مقیاس منطقه‌ای در منطقه‌ی خلیج‌فارس و جنوب غرب ایران نقش دارند.

در جدیدترین پژوهشی که در خصوص ریزگردهای غرب و جنوب غرب ایران انجام‌شده است می‌توان به پژوهش علی‌آبادی و همکاران (۱۳۹۴) که به ارزیابی و پایش توفان گردوغبار با استفاده از روش‌های سنجش‌ازدور در غرب و جنوب غرب پرداختند اشاره کرد. در این پژوهش توفان‌های گرد و غباری با بهره‌گیری از مدل لاگرانژینی HYSPLIT، مدل DREAM 8b و مقادیر ضخامت نوری هواویز (AOT[1]) مدل‌سازی شدند. نتایج پژوهش آنان نشان داد که بطورکلی گرد و غبارها از دو مسیر به کشور منتقل می‌گردند. الف) از مناطق شمال غرب عراق و شرق سوریه؛ ب) از مرکز عراق. همچنین مشخص شد که ذرات گردوغبار در لایه‌ای کم‌عمق و در پایین‌ترین لایهٔ جوّ به منطقه منتقل می‌گردند.

توفان‌های ریزگرد بعنوان یک پدیده مخرب جوی اثرات نامطلوب زیست‌محیطی را برای غرب ایران بجای گذاشته و مشکلات بسیاری را برای ساکنان این ناحیه از ایران به وجود آورده است، بنابراین مطالعه این پدیده جهت دستیابی به یک رویکرد همه‌جانبه به‌منظور مقابله با آن ضروری است. لذا پژوهش حاضر باهدف شناخت شرایط لحظه‌ای جو، هدایت و منشأ توفان‌های ریزگرد با یک رویکرد مدل‌سازی همدیدی به رشته تحریر درآمده است.

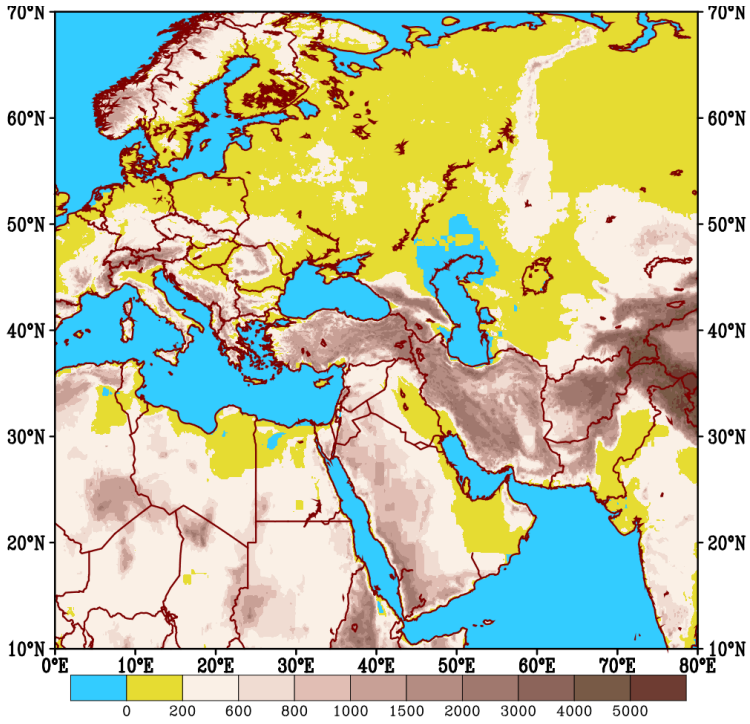
[1] Aerosol Optical Thickness

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.5.2.19]

داده ها و روش کار

در این پژوهش به‌منظور بررسی ساختار توفان‌های گرد و غبار جنوب غرب ایران توفان ۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۴ هجری خورشیدی انتخاب‌شده است. علت انتخاب روز حاضر به استناد گزارش‌های مرکز نظارت و پایش اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان ایلام، این روز آلوده‌ترین روز سال ۱۳۹۴ بوده است بطوریکه در شهرستان مرزی مهران میزان ثبت‌شده ذرات معلق در هوای این شهر ۱۲۰۰ میکروگرم بر مترمکعب بوده است. شکل (۱) محدوده موردمطالعه جهت ارزیابی و مدل‌سازی همدیدی توفان حاضر را نشان می‌دهد.



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

جهت واکاوی ساختار توفان منتخب، یک مطالعه ترکیبی با بهره‌گیری از داده‌های ایستگاهی، داده‌های باز تحلیل‌شده *NCEP / NCAR* و داده‌های خروجی دو گروه مدل به انجام رسید. گروه اول شامل سه مدل منطقه‌ای NAAPS، DREAM 8b و NMMB/BSC می‌باشد و مدل دینامیکی HYSPLIT با روش پسگرد (Backward) استفاده‌شده است. از داده‌های *NCEP / NCAR* جهت تحلیل مقیاس همدید توفان استفاده‌شده است. در ادامه به شرح جزئیات هر یک از مدل‌های منتخب پرداخته شده است.

سامانه پیش‌بینی و تحلیل آئروسل‌های نیروی دریایی[1] یک سامانه کاربردی برای پیش‌بینی گرد و غبار، سولفات و آئروسل‌های دود با استفاده از امکانات ماهواره ای مختلف است که توسط آزمایشگاه تحقیقات نیروی دریایی ایالات‌متحده آمریکا در مونتری کالیفرنیا (NRL[2]) تهیه و توسعه داده‌شده است (Witek et al., 2007). این مدل امکان بررسی دقیق و شبیه‌سازی حرکت گرد و غبار، جهت‌های اصلی باد، تغییرات لایه‌مرزی و عبور یک مسیر جبهه‌ای را می‌دهد (NRL,

[1] .The Navy Aerosol Analysis and Prediction System (NAAPS)
[2]. Naval Research Laboratory in Monterey

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/jsaeh.5.2.19]

2008). کاربست‌های نسخه فعلی مدل NAAPS شامل گاز SO_2، چهار آئروسل: گرد و غبارهای معدنی، نمک دریا، ذرات سولفات (SO_4) و دود است. در NAAPS هر یک از منابع انتشار بطور جداگانه برای هر یک از اجزاء سازنده آئروسل‌ها تعریف‌شده است؛ برای مناطق انتشار گردوغبار و مواد معدنی از پایگاه پوشش زمین سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) استفاده گردیده است. گرد و غبار در هر سطح و در هر زمان با حذف اثر اصطکاک با آستانه سرعت ۶۰ سانتی بر ثانیه و رطوبت سطحی کمتر از ۳۰ درصد، ضمن انتشار متناسب با سرعت باد به توان ۴ تعریف می‌گردد (Westphal et al., 1988).

برای ارزیابی غلظت مقادیر گرد و غبار از خروجی‌های مدل DREAM[1] 8b نیکویچ[2] و همکاران (۲۰۰۱) استفاده گردید. این‌یک مدل منطقه‌ای طراحی‌شده برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی چرخه جوّی هواویز گرد و غباری معدنی و همه فرایندهای اصلی چرخه گرد و غبار جوّی است و معادله غیرخطی دیفرانسیل جزئی اویلر را برای پیوستگی جرم گردوغبار حل می‌کند. در طول انتگرال‌گیری مدل، محاسبه شارهای وارد شده گرد و غبار از طریق نقاط مدل که همان مناطق خشک، نیمه‌خشک و بیابانی هستند صورت می‌گیرد. (علی‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۴). به‌منظور ارزیابی دقیق‌تر رسوبات گرد غبار از مدل چند مقیاسی غیر هیدرو استاتیکی NMMB/BSC که توسط مرکز بارسلونا در کاتالونیا اسپانیا توسعه داده‌شده است بهره برده شد (Algarni & Nutter, 2015).

برای تعیین منابع اصلی گرد و غبار برای توفان گردوغبار مورد مطالعه از مدل لاگرانژینی با امکان ردیابی پسگرد ذرات در ترازهای مختلف جوّ موسوم به HYSPLIT استفاده گردید (Draxler & Rolph, 2011). مدل HYSPLIT در حقیقت مدلی دوگانه[3] برای محاسبات حرکت گرد و غبار، پراکندگی و شبیه‌سازی ته‌نشینی آن با استفاده از رویکردهای پف و ذرات است (Draxler, et al., 2009). همچنین این مدل اطلاعات با ارزشی را در خصوص لایه‌مرزی جوی (ABL[4]) در اختیار پژوهشگر قرار می‌دهد (Rashki, et al., 2015).

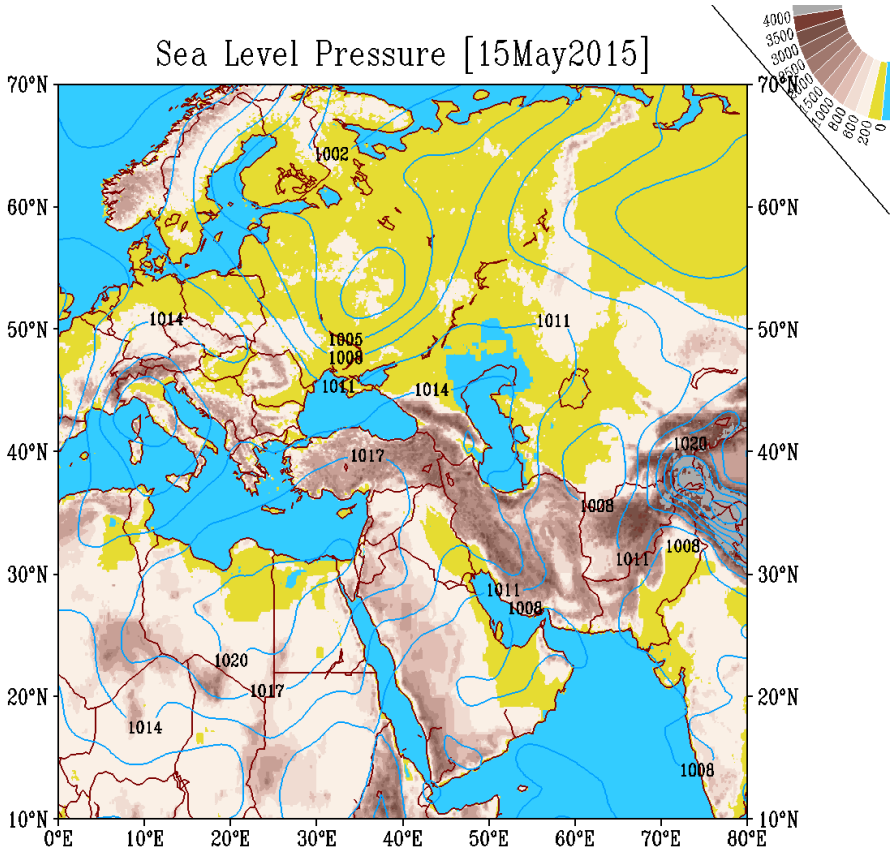
برای مسیریابی پسگرد، ذرات در ایستگاه مرزی مهران در زمان اوج توفان‌های گرد و غباری در نظر گرفته شد (ساعت ۱۲ گرینویچ). در این مطالعه ذرات در سطح ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ هکتوپا سکال در حدفا صل زمانی ۶ ساعته تا ۲۴ ساعت قبل ردیابی شدند. برای اجرای مدل از مجموع داده‌های FNL استفاده گردید. داده‌های پایگاه FNL (Final) داده‌های باز پردازش‌شده NCEP هستند که توسط آزمایشگاه هوا وابسته به NOAA ارائه‌شده است (Rolph, 2016). درنهایت به‌منظور مطالعهٔ شرایط اتمسفری لحظه وقوع توفان به بررسی پارامترهای مختلف هواشناسی از قبیل فشار سطح دریا، نقشه‌های سطوح فوقانی جوّ به‌ویژه تراز ۵۰۰ هکتوپا سکال، تراز نقشه سطح ۱۰۰۰ هکتوپا سکال، مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد، دمای سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال و تاوایی نسبی سطح ۵۰۰ هکتوپاکسال با استفاده از سیستم تحلیل و نمایش شبکه GRADS[5] برای تجزیه‌وتحلیل همدید استفاده شده است. داده‌های مذکور برای روز وقوع توفان با مشاهدات چهار بار در روز با دقت فضایی ۲/۵×۲/۵ درجه از مرکز پیش‌بینی‌های محیطی موسوم به NCEP از تارگاه مرکز ملّی اقیانوس و جوّ (NOAA) تهیه‌شده است. به‌منظور ارزیابی شرایط جوی و مدل‌سازی عددی توفان گرد و غبار مورد مطالعه، از نرم‌افزارهای HYSPLIT V4، MATLAB و GRADS استفاده‌شده است.

[1] .Dust Regional Atmospheric Model
[2] .Nickovic
[3] .Hybrid
[4] .Atmospheric Boundary Layer
[5] .Grid Analysis and Display System

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/jsaeh.5.2.19]

شرح و تفسیر نتایج

وضعیت متوسط فشار هوا در تراز دریا در زمان وقوع توفان گردوغبار با تفکیک افقی ۲/۵ ×۲/۵ درجه قوسی در شکل (۲) نشان داده‌شده است. بر این اساس شیب فشار در محدوده غرب ایران افزایش‌یافته و یک اختلاف فشار برجسته ۲۰ هکتوپاسکال بین شرق و غرب ایران مشاهده می‌شود. بر این اساس می‌توان به نقش بسیار مهم و تأثیرگذار عوامل محلی و پستی‌وبلندی‌ها در تشکیل مراکز متفاوت فشاری اذعان نمود. در بخش شرقی کشور، بسته شدن همفشار ۱۰۲۸ هکتوپاسکال بیانگر شکل‌گیری یک مرکز پرفشار بر روی این منطقه است. در مقابل، یک مرکز کم‌فشار با فشار مرکزی ۱۰۰۸ هکتوپاسکال در بخش شمالی دریای مدیترانه استقراریافته است. استقرار دو مرکز فشار یادشده و کشیدگی زبانه‌های آن روی ایران، همراه با اختلاف فشار زیاد بین آن‌ها و الگوی خاص خطوط هم‌فشار در مرزهای جنوب غرب ایران، همگی بر شکل‌گیری بادهای شدید و متعاقب آن توفان‌های گرد و غباری دلالت دارند.

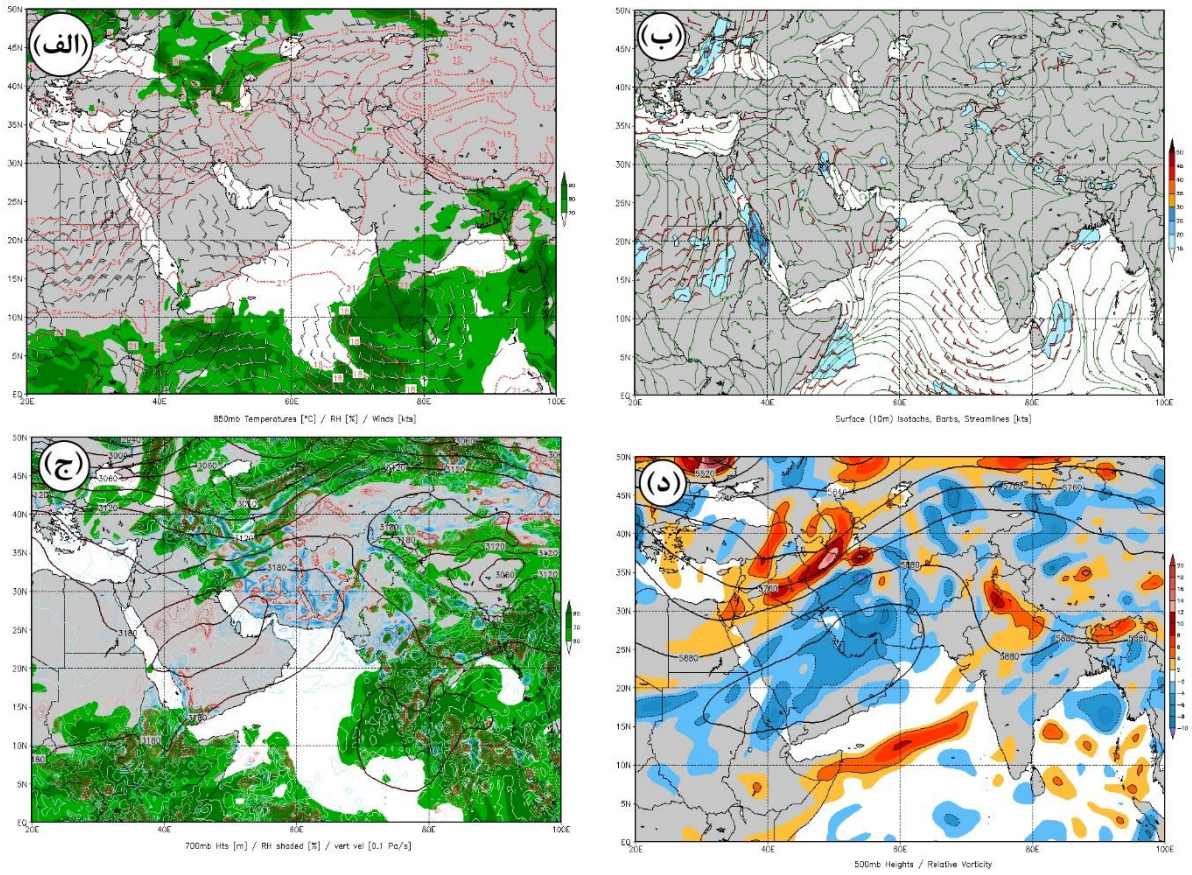


شکل ۲- وضعیت متوسط فشار سطح دریا در روز وقوع توفان (۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۴)

به جهت ارزیابی شرایط جوی روز وقوع توفان، دمای هوا، درصد رطوبت نسبی، سرعت باد، فرارفت عمودی و تاوایی نسبی سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در شکل ۳ نشان داده‌شده است. میانگین دمای هوا همان‌طور که در شکل (۳-ب) مشخص‌شده است طی روز وقوع توفان بسیار بالا بوده است. بطوری‌که حتی در این ماه از سال (اردیبهشت‌ماه) دمای سطح زمین در منطقه‌ای که گرد وغبارها ازآنجا نشأت‌گرفته‌اند به بالاتر از ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد نیز رسیده است. ارزیابی ترکیبی نقشه‌های شکل ۳ الگوی گردش جو را زمان وقوع توفان در منطقه غرب ایران نشان می دهد که حضور سامانه

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/jsaeh.5.2.19]

چرخند در غرب و سامانه واچرخندی در شرق و کشیدگی زبانه‌های آن به سمت غرب ایران باعث تنش قابل‌ملاحظه جریان هوا در منطقه غرب شده است. بیشینه باد در شکل ۵-ب مورد ارزیابی قرارگرفت که بر این اساس هسته بیشینه شدت باد در حوالی شمال غرب کشور عراق و شرق کشور سوریه بسته‌شده است. شکل ۵-ج فرارفت عمودی هوا همراه با رطوبت نسبی را نشان می‌دهد، که علت فرارفت بالا در بخش‌های غربی ایران را می‌توان با تغییر تراکم و وزن معینی از هوا با حرارت مرتبط دانست، بطوری‌که وقتی هوا حرارت دید، منبسط و درنتیجه از تراکم و فشردگی آن کاسته و وزن آن کاهش می‌یابد و به‌تبع آن حرکات چرخشی هوا در سطح زمین خیلی سریع و شدید خواهد بود که خود عاملی مهم در بروز پدیده ریز گرد در این روز خاص است. تحلیل میدان تاوایی در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در شکل ۳-د نشان داده‌شده است؛ بر این اساس تسلط جریانات هوا در غرب ایران و تا کشورهای عراق و سوریه مؤید شکل‌گیری تاوایی مثبت بوده است؛ این در حالی است که در بخش اعظم ایران مرکزی و جنوب غرب کشور شاهد شکل‌گیری تاوایی منفی هستیم که این همزمانی تسلط تاوایی‌های مثبت و منفی در یک‌فاصله نه‌چندان قابل‌توجه، شکل‌گیری جت تراز زیرین و وقوع توفان را در منطقه تبیین می‌کند، لذا با در نظر گرفتن بستر خشک کشورهای عراق، سوریه و غرب ایران با جریان یافتن هوا از غرب به شرق این جریانات باعث شکل‌گیری توفان‌های گردوغبار با منشأ مناطق نامبرده می‌باشد.

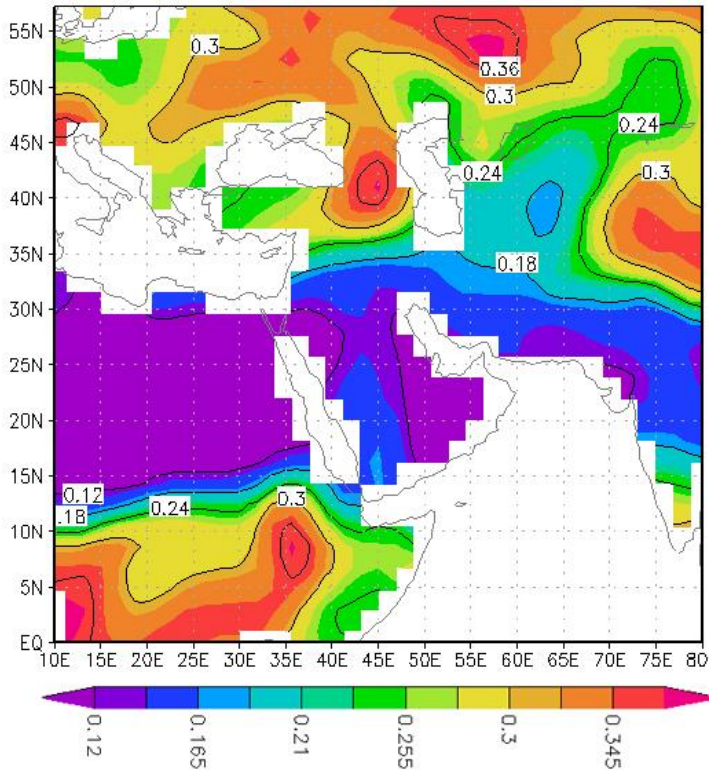


شکل ۳- (الف) دمای سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال، رطوبت نسبی (٪) و سرعت باد (کیلومتر بر ساعت)؛ (ب) خطوط جریان باد (۱۰ متری سطح زمین)؛ (ج) ارتفاع ژئوپتانسیل ۷۰۰، فرارفت عمودی و رطوبت نسبی (٪)؛ (د) تاوایی نسبی در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.5.2.19]

همزمان با بالا رفتن دمای سطح خاک می‌توان انتظار داشت که میزان رطوبت سطح خاک نیز کاهش یابد؛ شکل (۴) شار رطوبت سطحی خاک برای روز وقوع توفان را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل نشان داده‌شده است، میزان رطوبت سطح خاک در مناطقی که گرد و غبار ازآنجا ناشی می‌شود به مقدار قابل‌ملاحظه‌ای نسبت به سایر مناطق موجود در شکل کاهش‌یافته است.

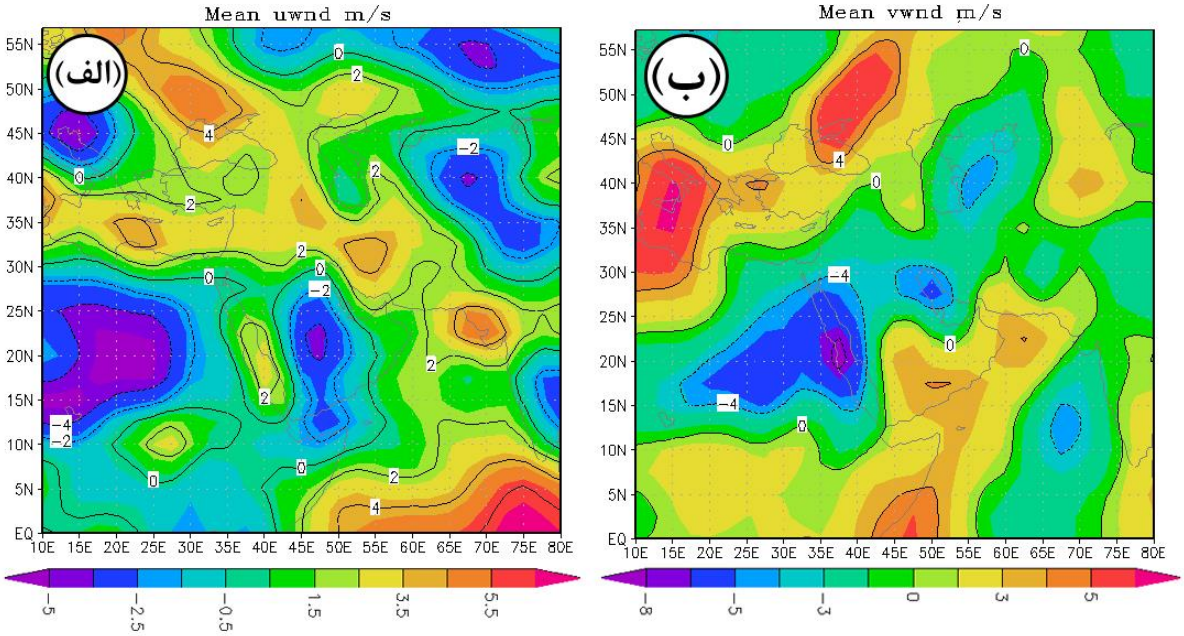


شکل ۴- میانگین دمای سطح زمین در روز وقوع توفان (۱۳۹۴/۰۲/۲۵)

همان‌طور که مورد بحث واقع‌شده است، مهمترین پارامتر مؤثر در وقوع توفان‌های گرد و غبار، باد است که در روز وقوع توفان گرد و غبار، مؤلفه مداری باد دارای جهت غربی (در صورت منفی بودن، جهت وزش باد شرقی است و در صورت مثبت بودن، جهت وزش باد غربی است) و سرعت آن در مرزهای غربی کشور بیش از ۵ متر بر ثانیه بوده است (شکل ۵-الف). مؤلفه نصف‌النهاری سرعت باد نیز در جهت شمالی (در صورت مثبت بودن مقادیر سرعت باد) و جنوبی (در صورت منفی بودن مقادیر سرعت باد) بر روی غرب ایران، جنوبی است لذا تأثیر الگوی حاضر بر غرب ایران در طی روز وقوع توفان گرد و غبار نقش بسزایی داشته است. (شکل ۵-ب).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.5.2.19]

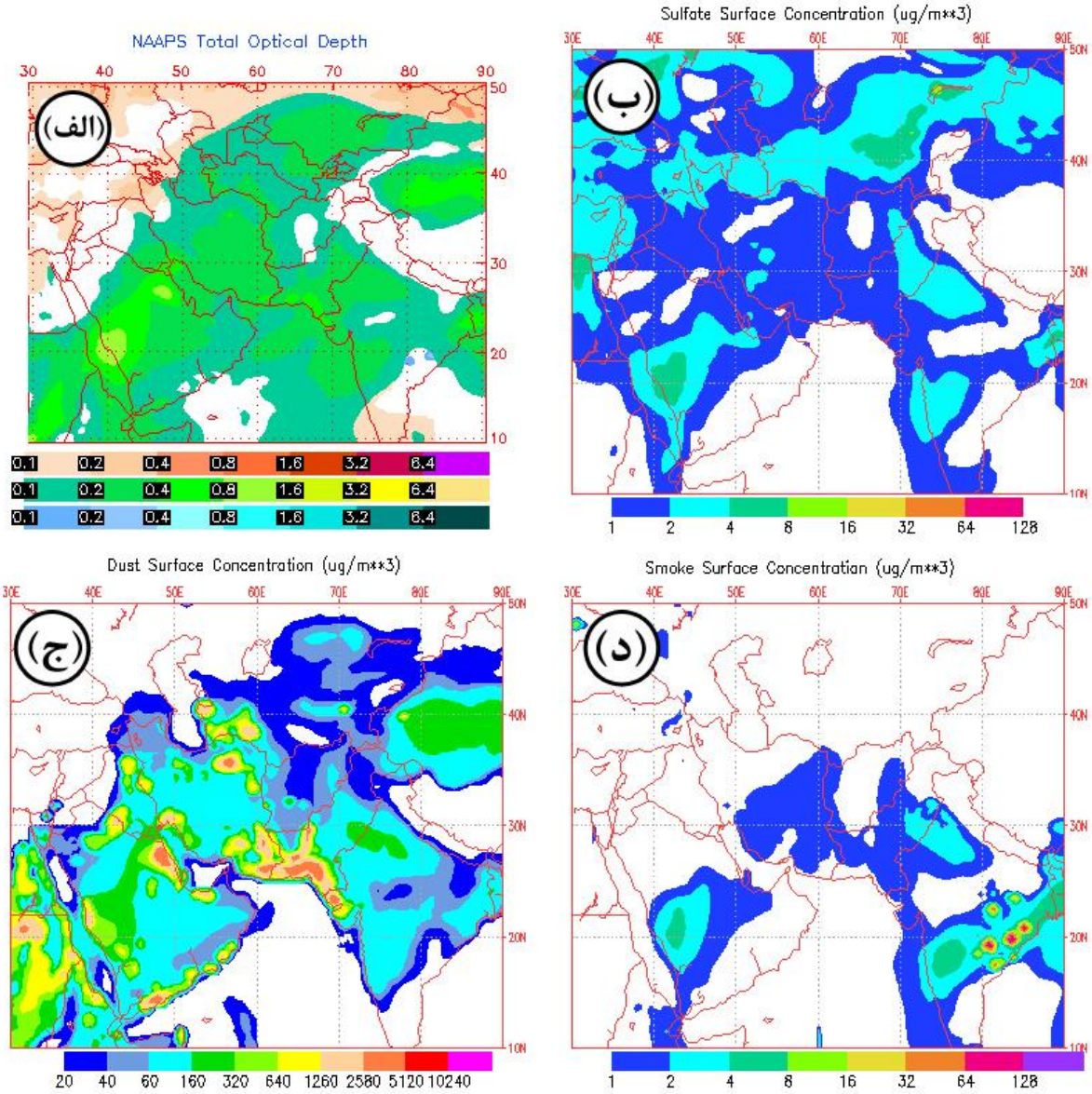


شکل ۵- الگوی آرایش مؤلفه مداری باد (الف) و مؤلفه نصف‌النهاری باد (ب) برای روز وقوع توفان

شاخص عمق نوری و غلظت گرد و غبار سطحی در مدل NAAPS شکل (۶) نشان می‌دهد که؛ در روز ۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۴ عمق نوری و غلظت گرد و غبار در منطقه غرب ایران بالاست، لذا با حرکت توده‌ی حامل گرد و غبار به سمت شرق، در روز مذکور عمق نوری ذرات در منطقه مورد مطالعه به‌شدت افزایش می‌یابد. در شکل ۶-الف مناطق نارنجی و قرمز: سولفات؛ سبز و زرد: گرد و غبار و مناطق آبی‌رنگ دود می‌باشد. مقادیر تراکم گرد و غبار به میکروگرم در مترمکعب برای روز وقوع توفان ارائه‌شده است. نتایج کاربست سولفات برای این روز (شکل ۶-ب) نشان داده است که در منطقه بین ۱ تا ۲ میکروگرم بر مترمکعب متغیر است، کاربست گرد و غبار در شکل (۶-ج) نشان می دهد که بر این اساس غلظت ذرات غبار بین ۶۴۰ تا ۱۲۶۰ میکروگرم بر مترمکعب برای غرب متغیر است. در پایان کاربست دود نیز در شکل (۶-د) ارائه‌شده است که نشان داده می دهد دودی در جو منطقه وجود نداشته است. مقدار بسیار بالای ذرات غبار در منطقه را می‌توان به نقش عوامل انسانی نسبت داد، چراکه دخالت انسان از قبیل از بین رفتن پوشش گیاهی، سدسازی را نمی‌توان نادیده گرفت و کانون‌های سرچشمهٔ گرد و غبار پژوهش حاضر نیز ناشی از دخالت انسان بوده است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.5.2.19]

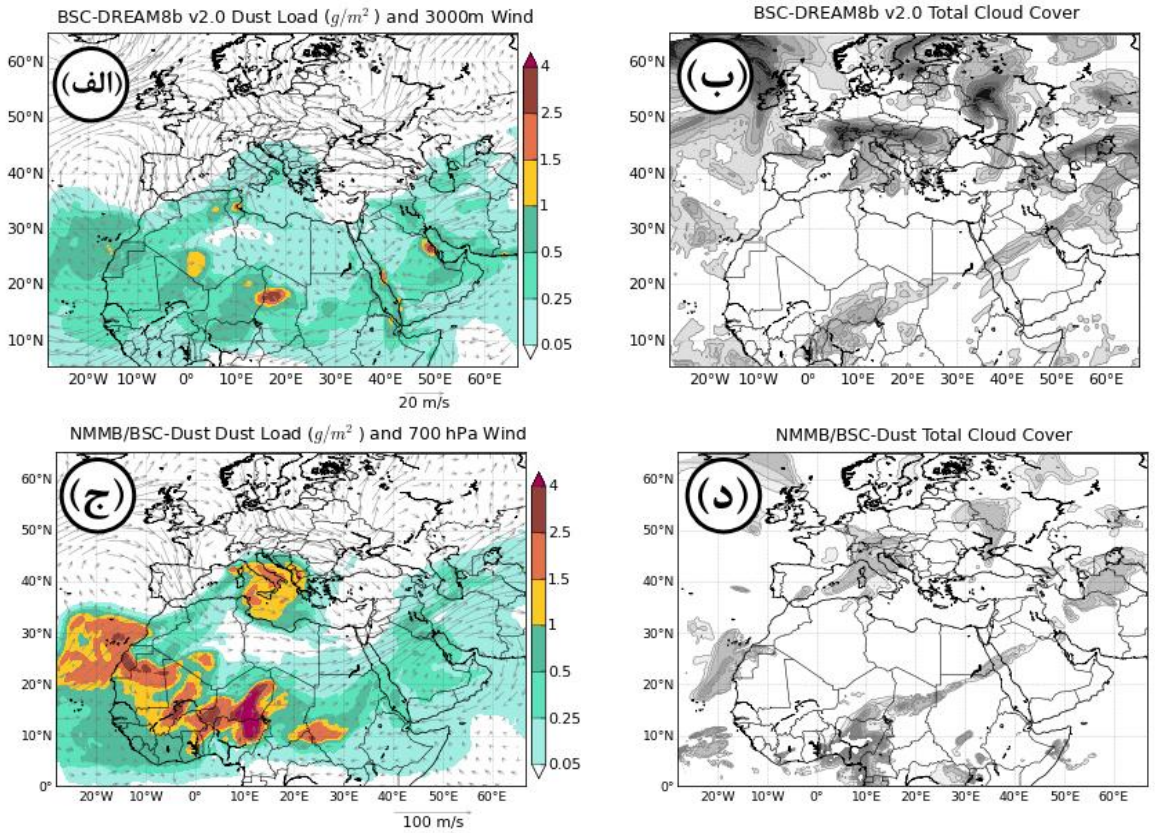


شکل ۶- نتایج مدل NAAPS برای عمق نوری کل (سولفات، گردوغبار و دود) (الف)؛ غلظت سولفات سطحی (ب)؛ غلظت سولفات سطحی (ج)؛ غلظت دود سطحی (د)

برر سی خروجی دو مدل DREAM Bb و NMMB/BSC (شکل شمارهٔ ۷) ن شان از افزایش مقادیر غلظت بر واحد سطح گرد و غبار در روز وقوع توفان بوده است. مدل DREAM Bb در شکل ۷- الف نشان داده‌شده است؛ که بر این اساس جریان باد در سطح ۳۰۰۰ متری زمین در مدل نشان از مقدار غبار ورودی به منطقه ۲ گرم بر مترمکعب بوده است. شکل ۸- ب کل پوشش ابری منطقه را توسط مدل DREAM Bb نشان می‌دهد که با توجه به فصل مورد مطالعه (بهار) امری کاملاً بدیهی ا ست. در گام بعدی از مدل چند مقیا سی غیر هیدرو ا ستاتیکی NMMB/BSC بهره برده شد. شکل ۸- ج همانند شکل ۸- الف مقدار غبار ورودی به منطقه را برح سب گرم بر مترمربع ن شان می‌دهد، با این تفاوت که ارتفاع قائم مدل افزایش‌یافته است (سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال برابر ۳۱۳۷ متری از سطح زمین). همان‌طور که پیداست از سطح تحت پوشش و غلظت ذرات در جنوب غرب و غرب ایران نیز کاسته شده است. بر اساس خروجی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/jsaeh.5.2.19]

دو مدل حاضر می‌توان در خصوص گرد غبارهای غرب ایران به این نتیجه رسید که نقش عوامل محلی و فاصله نزدیک تا مراکز چشمه غبار نقش بسزایی در رخداد پدیده حاضر برای غرب ایران دارند.

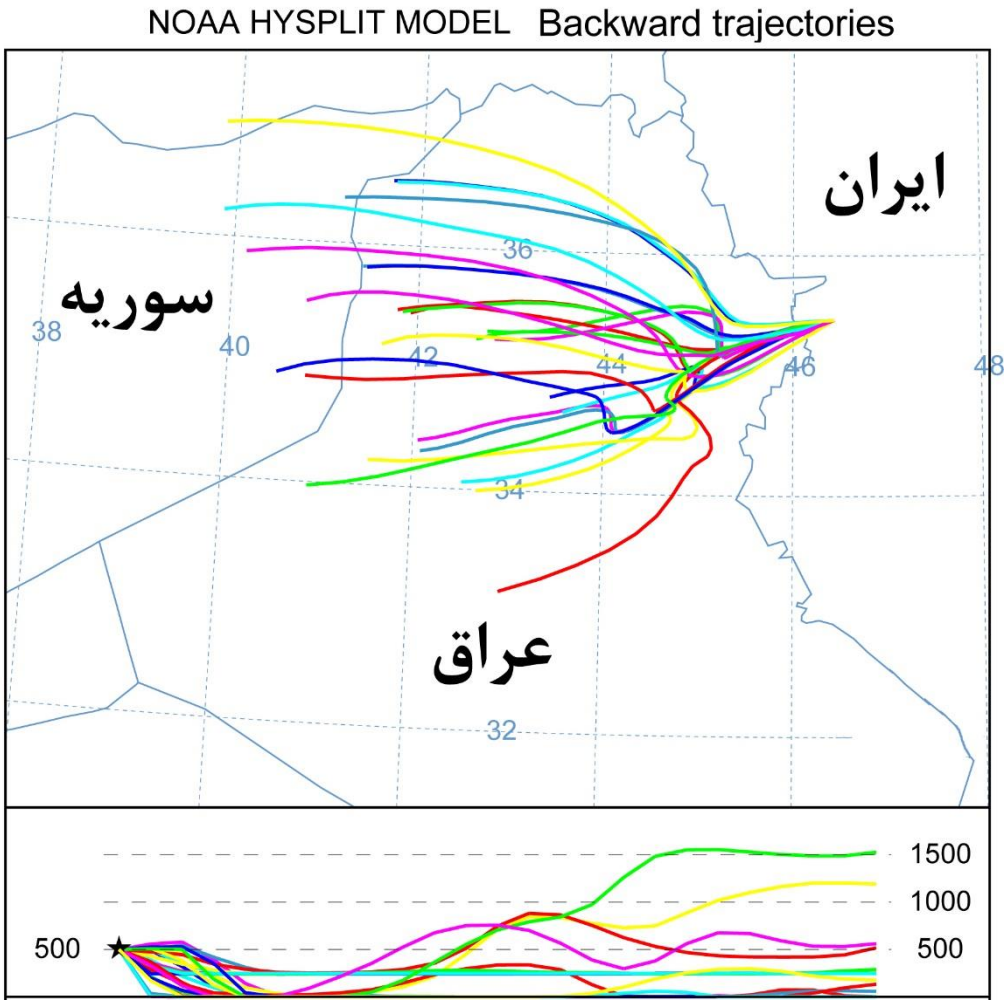


شکل ۷- خروجی مدل DREAM 8b برای روز وقوع توفان گردوغبار (الف و ب)، مدل چند مقیاسی غیر هیدرو استاتیکی NMMB/BSC (ج و د)

شبیه‌سازی مسیر حرکت غبار برای روز ۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۴ از مدل دینامیکی HYSPLIT با روش پسگرد (Backward) استفاده‌شده است (شکل ۸)؛ بطوریکه همزمان با آغاز گرد و غبار در منطقه‌ی مورد مطالعه مسیر باد با گام زمانی شش‌ساعته تا ۲۴ ساعت قبل از آن مورد بررسی قرارگرفته است. نتایج حاکی از آن است که دو مسیر، گرد و غبار را به غرب کشور منتقل می‌کنند، ۱) مسیر شمال غرب- جنوب شرق؛ ۲) مسیر غرب به شرق. کانون‌های اصلی مسیر شماره یک: شمال غرب عراق و شرق سوریه؛ و مسیر شماره دو: مرکز عراق می‌باشد که با نتایج علی‌آبادی و همکاران (۱۳۹۴: ۱۵) نیز همخوانی دارد. همچنین نتایج نشان داده است که فراوانی مسیر دوم برای این روز نسبت به مسیر اول بیشتر بوده است. ارتفاع نمایش داده‌شده در پایین نقشه ۸ ارتفاع مسیر طی شده از سطح زمین‌بر حسب متر است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.5.2.19]



شکل ۸- ردیابی پسگرد مسیرهای گردوغبار با گام زمانی ۶ ساعته تا ۲۴ ساعت قبل از ورود اولین گرد و غبار

نتیجه‌گیری

اثرات سوء توفان‌های گرد و غبار در سال‌های اخیر مشهودتر شده است، بطوری‌که یافته‌های بیشتری در مورد منشأ، مسیر و نحوه انتقال، پیامدهای زیست‌محیطی، اثرات مخرب بر روی سلامتی انسان و تعدد دفعات وقوع آن در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف به‌دست‌آمده است. مدل سازی الگوهای گرد شی انتقال‌دهنده‌ی گرد و غبار به غرب کشور به جهت مسیر ورود و عبور سامانه‌های جوی به داخل کشور از یک سو و همچنین نخستین منطقه‌ای است که اولین و بیشترین تأثیر را از این سامانه‌ها می‌پذیرد از اهمیت شایان توجهی برخوردار است. توفان‌های گرد و غبار با توجه به ماهیت بزرگ‌مقیاس خود به بررسی جامعی نیاز دارند که ضمن شناخت عوامل تأثیرگذار در افزایش این پدیده، مناطق مولد آن نیز باید شناخته شوند تا درنهایت به راهکارهای عملی برای کاهش آن منجر شود. به‌منظور واکاویی شرایط منجر به رخداد توفان‌های ریزگرد در غرب ایران توفان گرد غبار ۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۴ هجری خورشیدی که از یکی شدیدترین موارد گرد و غبارهای بهاره طی سال‌های اخیر در نوار غربی است گزینش شد تا ضمن ارزیابی همه‌جانبه رخداد حاضر بتوان الگوی جوی سازوکار حاضر را بازشناسی نموده و درنهایت به ردیابی بادهای حامل ذرات گرد و غبار منتهی شود. بررسی الگوهای جوی طی روز وقوع توفان (۱۳۹۴/۰۲/۲۵) نشان از افزایش شیب فشار در

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/jsaeh.5.2.19]

محدوده غرب ایران بوده است که نمایانگر شکل‌گیری بادهای شدید و متعاقب آن توفان‌های گرد و غباری در غرب ایران بوده است. فرارفت بالا در بخش غربی ایران با تغییر تراکم و وزن هوا با حرارت همراه بوده است که به‌موجب آن حرکات چرخشی هوا در سطح زمین خیلی سریع و شدید شده؛ از سوی دیگر همزمانی تسلط تاوایی‌های مثبت و منفی در یک‌فاصله نه‌چندان قابل‌توجه در شکل‌گیری جت تراز زیرین موجب پیدایش توفان ریزگرد در روز نامبرده شده است. شاخص عمق نوری و غلظت گرد و غبار سطحی در مدل NAAPS نشان داده است که غلظت ذرات غبار بین ۶۴۰ تا ۱۲۶۰ میکروگرم بر مترمکعب برای غرب کشور متغیر بوده است. همچنین مقدار سولفات در منطقه بین ۱ تا ۲ میکروگرم بر مترمکعب برآورد گردید. مقایسه خروجی مدل‌های DREAM Bb و NMMB/BSC نشان از افزایش مقادیر غلظت بر واحد سطح گرد و غبار در روز وقوع توفان بوده است. بر اساس خروجی دو مدل حاضر می‌توان در خصوص گرد و غبارهای غرب ایران به این نتیجه رسید که عوامل محلی و فاصله نزدیک تا مراکز چشمه غبار نقش بسزایی در رخداد پدیده حاضر برای غرب ایران دارند. شبیه‌سازی مسیر حرکت توفان گرد و غبار با مدل دینامیکی HYSPLIT و با روش پسگرد (Backward) دو مسیر، گرد و غبار را به غرب کشور نشان داده است؛ ۱) مسیر شمال غرب- جنوب شرق ؛ ۲) مسیر غرب به شرق. کانون‌های اصلی مسیر شماره یک: شمال غرب عراق و شرق سوریه و مسیر شماره دو: مرکز عراق بوده است. با توجه به غلظت بسیار بالای گرد و غبار در استان‌های غربی و به ویژه استان ایلام، همچنین اثرات مضر آن بر سلامت ساکنین این مناطق لزوم تحقیق بیشتر و پیگیری مسئولان در رفع این معضل زیست‌محیطی آشکارتر می‌گردد. لذا به‌منظور مدیریت و پایش این پدیده اقلیمی راهکارهایی ارائه می‌گردد:

- ظرفیت‌سازی و آموزش بهره‌برداران اراضی کشاورزی و منابع طبیعی؛
- اصلاح الگوی کشت و حفاظت پایدار منابع طبیعی؛
- ایجاد سامانه پایش و هشدار؛
- تقویت تشکل‌های جوامع محلی در امر حفاظت و احیا منابع طبیعی و ۵- توسعه پایدار منطقه‌ای برای سازگاری با مقابله اثرات مخرب تغییرات اقلیمی.

منابع

لشکری، حسن. ۱۳۸۷. تحلیل آماری سینوپتیکی توفان‌های گردوغبار استان خراسان رضوی در فاصله زمانی (۱۹۹۳-۲۰۰۵). *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، **۶۵**: ۱۷-۳۳

عزیزی، قاسم؛ مرتضی میری و سید امید نبوی. ۱۳۹۱. ردیابی پدیده گردوغبار در نیمه غربی ایران. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، **۷**: ۸۱-۶۳

علی‌آبادی، کاظم؛ محمدعلی اسدی زنگنه و عباسعلی داداشی رودباری. ۱۳۹۴. ارزیابی و پایش توفان گرد وغبار با استفاده از روش‌های سنجش‌ازدور (مطالعه موردی غرب و جنوب غرب ایران). *فصلنامه علمی پژوهشی امداد و نجات*، **۱**: ۱-۲۰

علیجانی، بهلول. ۱۳۸۱. *آب و هواشناسی سینوپتیک*، چاپ اول. انتشارات سمت، تهران.

مفیدی، عباس و سجاد جعفری. ۱۳۹۰. بررسی نقش گردش منطقه‌ای جو بر روی خاورمیانه در وقوع توفان‌های گردوغبار تابستانه در جنوب غرب ایران. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، **۵**: ۴۵-۱۷

Algarni, S. and D. Nutter. 2015. Influence of dust accumulation on building roof thermal performance and radiant heat gain in hot-dry climates. *Energy and Buildings*, **104**: 181-190.

Arimoto, R. 2001. Eolian dust and climate: relationships to sources, tropospheric chemistry, transport and deposition. *Earth-Science Reviews*, **54(1)**: 29-42.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.5.2.19]

Chin, M.; T. Diehl, P. Ginoux, and W. Malm. 2007. Intercontinental transport of pollution and dust aerosols: implications for regional air quality. *Atmospheric Chemistry and Physics*, **7(21)**: 5501-5517.

Darmenova, K.; I. N. Sokolik, and A. Darmenov. 2005. Characterization of East Asian dust outbreaks in the spring of 2001 using ground-based and satellite data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **110(D2)**.

Ding, Z. L.; V. Ranov, S. L. Yang, A. Finaev, J. M. Han, and G. A. Wang. 2002. The loess record in southern Tajikistan and correlation with Chinese loess. *Earth and Planetary Science Letters*, **200(3)**: 387-400.

Draxler, RR. and GD. Rolph. 2011. HYSPLIT (HYbrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory), *NOAA Air Resources Laboratory*, Silver Spring,MD.

Draxler, R.; B. Stunder, G. Rolph, A. Stein, and A. Taylor. 2009. Hybrid single-particle Lagrangian integrated trajectories 4 user's guide. *NOAA Tech*. Memo, ERL-ARL.

Herman, J. R.; P. K.Bhartia, O. Torres, C. Hsu, C. Seftor, and E. Celarier. 1997. Global distribution of UV-absorbing aerosols from Nimbus 7/TOMS data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **102(D14)**: 16911-16922.

Huang, J.; P. Minnis, B. Chen, Z. Huang, Z. Liu, Q. Zhao, and J. K. Ayers. 2008. Long-range transport and vertical structure of Asian dust from CALIPSO and surface measurements during PACDEX. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **113(D23)**.

IPCC, Houghton, J. T.; Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C. A. Johnson (eds). 2001. *IPCC. Climate Change 2001: the scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge and New York, 291–348.

IPCC, Solomon, S.; D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds). 2007. *IPCC. Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge and New York, 996.

Kaskaoutis, D. G.; E. E. Houssos, A. Rashki, P. Francois, M. Legrand, D. Goto, and T. Takemura. 2016. The Caspian Sea–Hindu Kush Index (CasHKI): A regulatory factor for dust activity over southwest Asia. *Global and Planetary Change*, **137**: 10-23.

Liu, Z.; D. Liu, J. Huang, M. Vaughan, I. Uno, N. Sugimoto, and D. Winker. 2008. Airborne dust distributions over the Tibetan Plateau and surrounding areas derived from the first year of CALIPSO lidar observations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, **8(16)**: 5045-5060.

Lu, H.; F. Zhang, X. Liu, and R. A. Duce. 2004. Periodicities of palaeoclimatic variations recorded by loess-paleosol sequences in China. *Quaternary Science Reviews*, **23(18)**: 1891-1900.

Nickovic, S.; G. Kallos, A. Papadopoulos, and O. Kakaliagou. 2001. A model for prediction of desert dust cycle in the atmosphere. *Journal of geophysical research: Atmospheres*, **106(D16)**: 18113-18129. DOI: 10.1029/2000JD900794

NRL. 2008. Navy Aerosol Analysis and Prediction System. Available in http://www.nrlmry.navy.mil/aerosol/Do cs/nrlmryonrprop.html.

Park, S. U.; L. S. Chang, and E. H. Lee, 2005. Direct radiative forcing due to aerosols in East Asia during a Hwangsa (Asian dust) event observed on 19–23 March 2002 in Korea. *Atmospheric Environment*, **39(14)**: 2593-2606.

Pey, J.; X. Querol, A. Alastuey, F. Forastiere, and M. Stafoggia. 2013. African dust outbreaks over the Mediterranean Basin during 2001–2011: PM 10 concentrations, phenomenology and trends, and its relation with synoptic and mesoscale meteorology. *Atmospheric Chemistry and Physics*, **13(3)**: 1395-1410.

Rashki, A.; D. G. Kaskaoutis, P. Francois, P. G. Kosmopoulos, and M. Legrand. 2015. Dust-storm dynamics over Sistan region, Iran: Seasonality, transport characteristics and affected areas. *Aeolian Research*, **16**: 35-48.

Rolph, G.D. 2016. Real-time Environmental Applications and Display sYstem (READY) Website (http://www.ready.noaa.gov). NOAA Air Resources Laboratory, College Park, MD.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.5.2.19]

Salvador, P.; S. Alonso-Pérez, J. Pey, B. Artíñano, J. J. de Bustos, A. Alastuey, and X. Querol. 2014. African dust outbreaks over the western Mediterranean Basin: 11-year characterization of atmospheric circulation patterns and dust source areas. *Atmospheric Chemistry and Physics*, **14(13)**: 6759-6775.

Schepanski, K.; I. Tegen, and A. Macke. 2012. Comparison of satellite based observations of Saharan dust source areas. *Remote Sensing of Environment*, **123**: 90-97.

Uno, I.; K. Eguchi, K. Yumimoto, T. Takemura, A. Shimizu, M. Uematsu, and N. Sugimoto. .2009. Asian dust transported one full circuit around the globe. *Nature Geoscience*, **2(8)**: 557-560.

Westphal, D. L.; O. B. Toon, and T. N. Carlson. 1988. A case study of mobilization and transport of Saharan dust. *Journal of the Atmospheric Sciences*, **45(15)**: 2145-2175.

Witek, M. L.; P. J. Flatau, P. K. Quinn, and D. L. Westphal. 2007. Global sea-salt modeling: Results and validation against multicampaign shipboard measurements. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012)*, **112(D8)**.

Zhang, X.; X. Wang, and P. Yan, 2008. Re-evaluating the impacts of human activity and environmental change on desertification in the Minqin Oasis, China. *Environmental Geology*, **55(4)**: 705-715.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.5.2.19]