دانش مخاطرات/ دورهٔ ۲، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۴/ ص ۵-۲۰

تحلیل سینوپتیکی مخاطرهٔ گردوغبار (۱۰ تا ۱۲ مرداد ۱۳۹۲) ایران

ملودی فرح‌بخشی*
کارشناس ارشد آب‌وهواشناسی سینوپتیک – گروه آب‌وهواشناسی، دانشگاه خوارزمی، ایران

بهلول علیجانی (bralijani@gmail.com)
عضو هیأت علمی و مدیر قطب علمی تحلیل فضایی مخاطرات محیطی دانشگاه خوارزمی، ایران

ابراهیم فتاحی (ebfat2002@yahoo.com)
عضو هیأت علمی پژوهشکدهٔ هواشناسی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۳/۱۱/۴ - تاریخ پذیرش ۱۳۹۳/۱۱/۲۹)

چکیده

توفان گردوغبار ۱۰ تا ۱۲ مرداد ۱۳۹۲ به‌سبب حرکت نامعمول خود عملیات پیش‌بینی را با مشکل مواجه کرد و در پاره‌ای از مناطق سبب لغو پروازها شد؛ ازاین‌رو در این پژوهش برای شناسایی ایستگاه‌های تحت تأثیر توفان از داده‌های سینوپتیکی مربوط به کد پدیدهٔ مورد نظر (۰۶) و دید افقی استفاده شد و برای تعیین و ترسیم نقشه‌های سینوپتیکی در نرم‌افزار GrADS از داده‌های میانگین روزانهٔ فشار، باد مداری و نصف‌النهاری، امگا، داده‌های مربوط به رطوبت سطحی خاک تا عمق ۱۰ سانتی‌متری و متوسط بارش جوی مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیط‌زیستی بهره برده شد. در نهایت به‌منظور بازسازی مسیر طی‌شده توسط توفان با هدف پیش‌بینی و هشدار به‌موقع این مخاطره از رویکرد لاگرانژی مدل HYSPLIT و روش پسگرد ذرات و تصاویر غیرواقعی ماهوارهٔ METEOSAT-9 استفاده شد. بررسی‌های سینوپتیکی نشان داد که حاکمیت شرایط کم‌فشار و پرفشار دینامیکی و حرکات عمودی هوا از دلایل اصلی ایجاد هستهٔ اولیهٔ توفان گردوخاک در ایران به‌شمار می‌روند. در زمان ایجاد توفان، گسترش سلول کم‌فشار در نیمهٔ جنوبی ایران، بیابان‌های عربستان و کشورهای عراق و سوریه به‌همراه قرارگیری محور کم‌ارتفاع تراز ۵۰۰ در شرق دریای مدیترانه، سبب ایجاد سیکلون‌های جوّی در نواحی شرقی سوریه و عراق شد که به تقویت حرکت صعودی در جو کمک کرد و عامل اصلی ایجاد هستهٔ اولیه توفان بود. افزایش سرعت بادها به‌سبب وجود شیب تغییرات فشار به‌همراه وجود خاک خشک، شرایط را برای حمل ذرات خاک فراهم آورد و همزمان با جابه‌جایی شرق سوی محور ناوه (تراف)، از پایداری جو کاسته و هستهٔ اولیهٔ توفان در روز سی‌ویکم جولای تشکیل شد. از طرفی موقعیت پشتهٔ (ریج) حاکم بر ایران به‌سبب تقویت حرکت آنتی‌سیکلونی سبب تغییر مسیر ذرات خاک شد، به‌طوری که نیمهٔ شمالی ایران را دور زد و از سمت شمال شرق وارد مرزهای کشور شد.

واژه‌های کلیدی: الگوهای گردش جوی، خاورمیانه، گردوخاک، HYSPLIT، METEOSAT-9.

* نویسندهٔ مسئول
Email: melody.farahbakhsh@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

توفان‌های گردوغبار به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اشکال آلودگی جوی و یکی از مخاطرات جوی تشدیدشده در نواحی نیمه‌خشک و خشک کرهٔ زمین از زوایای مختلف توجه محققان را به خود جلب کرده و تحقیقات متعددی در این زمینه انجام گرفته است. از اولین تحقیقات در زمینهٔ این مخاطرهٔ رو به رشد، بررسی توفان‌های غبار در آسیای مرکزی و قزاقستان است. نتایج تحقیقات نشان داد که بیشتر توفان‌ها در این منطقه در فصل‌های بهار و تابستان روی می‌دهند [۱۱]. با گسترش تحقیقات در زمینهٔ چگونگی شکل‌گیری توفان‌های گردوغبار، مطالعات زیادی هم در زمینهٔ چشمه‌ها و منابع تولید گردوغبار در سطح جهان انجام گرفت. مطالعات انگلستادلر در زمینهٔ پهنه‌بندی مکانی و فراوانی وقوع این توفان‌ها نشان داد که بستر خشک دریاچه‌ها و به‌خصوص صحرای بزرگ شمال آفریقا اصلی‌ترین تأثیر را به‌عنوان چشمهٔ اصلی تولید گردوغبار دارد [۹] وای‌هانگ و شااونشی علل وقوع توفان‌های گردوغبار و تأثیر آنها بر آب‌وهوای کشور چین را مطالعه کردند. آنها گرمایش زمین در پهنهٔ کشور مغولستان و سرمایش زمین در شمال چین را در ایجاد گردوغبار در بخش‌های شمال این کشور به‌ویژه حوضهٔ تاریم مؤثر می‌دانند [۱۳]. در مطالعات دیگری وانگ و همکاران انتشار و انتقال گردوغبارها در شرق آسیا را به‌لحاظ همدیدی تجزیه‌وتحلیل و شبیه‌سازی عددی کردند. نتیجهٔ مطالعات آنها نشان داد که توفان‌های گردوغبار ممکن است همزمان با فعالیت سامانه‌های همدیدی نواحی بیابانی شمال شرقی آسیا همراه با بادی با سرعت ۶ متر در ثانیه توسعه یابند. همزمان با پیشرفت فناوری و ورود هرچه بیشتر و گسترده‌تر تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌های پیش‌بینی عددی، روند مطالعات در زمینهٔ توفان‌های گردوخاک شکلی تازه به خود گرفت [۱۲]. در همین زمینه هامیش و آندرو با بررسی مسیرهای حمل گردوغبار از دریاچهٔ ایر استرالیا با استفاده از مدل HYSPLIT بیان داشتند که گردوغبار این دریاچه تحت تأثیر جریان‌های جوی در طی مدت کوتاهی قادر است هزاران کیلومتر از قارهٔ استرالیا را تحت تأثیر قرار دهد [۱۰] .

در ایران نیز اکنون مطالعات متعددی در زمینهٔ فراوانی وقوع و کشف علل سینوپتیکی پدیدهٔ گردوخاک صورت گرفته است که یکی از اولین و مهم‌ترین آنها تحقیقات علیجانی است که در آن مهم‌ترین شرایط ایجاد گردوخاک در کنار هوای ناپایدار، وجود یا نبود رطوبت دانسته شده است؛ به‌طوری که اگر هوای ناپایدار رطوبت داشته باشد، بارش و توفان رعدوبرق؛ و اگر فاقد رطوبت باشد، توفان گردوغبار ایجاد می‌کند [۵]. در مطالعه‌ای دیگر، طاووسی و همکاران در تحلیل سینوپتیکی سامانه‌های گردوغباری استان خوزستان در فاصلهٔ زمانی ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵

Archive of SID

www.SID.ir

دریافتند که اگر فرودی به‌نسبت عمیق در تراز میانی جو بر روی یکی از مناطق بیابانی همجوار استان خوزستان مستقر شود و در سطح زمین هم، مرکز کم‌فشاری با فشار مرکزی کمتر از ۱۰۰۴ هکتوپاسکال در منطقهٔ مذکور هماهنگ شده و همراه با محور فرود در تراز میانی واقع شود، پدیدهٔ گردوغبار در این استان به‌وجود می‌آید [۳]. چیتی نیز در مطالعهٔ خود تحت عنوان «بررسی و تعیین الگوهای آب‌وهوایی حاکم بر توفان‌های گردوغبار در یزد»، به مطالعهٔ این توفان‌ها در دورهٔ آماری ۱۹۸۰تا ۲۰۰۸ پرداخت و نتیجه گرفت که بیشترین فراوانی توفان‌های گردوغبار مربوط به فصل‌های بهار و زمستان است و همچنین دریافت که بیشترین ساعات وقوع این توفان‌ها، حوالی ظهر و بعدازظهر بوده است. یافتهٔ دیگر او این بود که اکثر توفان‌های بررسی‌شدهٔ وی بر اثر استقرار مرکز کم‌فشار سطح زمین و همراهی آن با ناوه‌های عمیق سطوح فوقانی جو ایجاد شده و گذر جبههٔ سرد از منطقهٔ یزد و برخورد تودهٔ هوای سرد پشت جبهه با هوای گرم منطقه، سبب تقویت این توفان‌ها شده است [۱]. همزمان با پیشرفت علم اقلیم‌شناسی در جهان، در ایران نیز موج جدیدتری از تحقیقات در زمینهٔ مخاطرهٔ توفان گردوغبار ایجاد شد؛ از جمله مطالعهٔ رشنو که پدیدهٔ گردوغبار را در استان خوزستان به‌لحاظ آماری و با استفاده از روش سنجش از دور بررسی و تحلیل کرد. وی عوامل ایجاد گردوغبار در منطقه را به دو دستهٔ عوامل انسانی و طبیعی تقسیم می‌کند. از نظر وی خشکسالی‌های اخیر در منطقه، از مهم‌ترین دلایل طبیعی؛ و جنگ تحمیلی، کشاورزی، سدسازی، جنگ آب و سیاست انتقال آب از مناطق پرآب به مناطق کم‌آب از دلایل انسانی مؤثر در تشدید این پدیده‌اند [۲]. نورمفیدی و همکاران به بررسی تأثیر گردش منطقه‌ای جو بر روی خاورمیانه در وقوع توفان‌های گردوغبار تابستانه در جنوب غرب ایران پرداختند. آنان برای تبیین علل وقوع توفان‌های تابستانه در این ناحیه و تشخیص چشمه‌های اصلی تولید گردوغبار، ساختار گردش منطقه‌ای جو را در یک دورهٔ زمانی شش‌ساله (۲۰۰۳-۱۹۹۸) بررسی کردند. آنان با بهره‌گیری از داده‌های شبکه‌بندی‌شدهٔ NCEP/NCAR و شاخص آئروسل سنجندهٔ TOMS ویژگی‌های دینامیکی و سینوپتیکی هریک از توفان‌های گردوغباری را بررسی کردند و در نهایت از مدل HYSPLIT برای ردیابی مسیر توفان‌ها بهره گرفتند. نتایج تحقیق بیانگر آن است که پرفشار عربستان و زبانهٔ کم‌فشار زاگرس بیش از هر مؤلفهٔ گردشی دیگری در شکل‌گیری توفان‌ها در مقیاس منطقه‌ای و به‌خصوص منطقهٔ خلیج فارس و جنوب غرب ایران تأثیر دارند [۷]. قاسم عزیزی و همکاران نیز ترکیبی از بررسی‌های مدلی و سنجش از دوری را اعمال کرده و از تصاویر ماهواره‌ای مودیس و داده‌هایGDAS برای یکپارچه‌سازی داده‌ها استفاده کرده‌اند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که ایستگاه‌های دزفول و بوشهر، دو مرکز بحرانی گردوغباردر نیمهٔ غربی

Archive of SID

www.SID.ir

ایران هستند و بیشینهٔ فراوانی زمانی رخداد این پدیده نیز مربوط به فصل بهار بوده است. بنـابر آنچه گفته شد لزوم تحقیق در زمینهٔ پدیدهٔ گردوغبار و ریزگرد بیش از پیش آشـکار مـی‌شـود. هدف اصلی این تحقیق شناسایی چشمه‌های اصـلی تولیـد توفـان گردوغبـار ۱۰ تـا ۱۲ مـرداد ۱۳۹۲ و همچنین بررسی عوامل مؤثر در ایجاد و حرکت غیرمعمول این توفان بوده است [۴].

شکل ۱. تصویر ماهواره‌ای محدودهٔ مطالعاتی (۲۸/۵۹ درجه تا ۳۳/۳۸ درجهٔ شمالی و ۴۵/۲۵ تا ۵۱/۳۶ درجهٔ شرقی)

منطقهٔ تحقیق طبق ناحیه‌بندی علیجانی دربرگیرندهٔ ناحیهٔ کوهپایه‌ای بیرونی و ناحیهٔ جنـوب است [۶] که از عرض جغرافیایی ۲۸/۵۹ درجه تا ۳۳/۳۸ درجهٔ شمالی و طول جغرافیـایی ۴۵/۲۵ تا ۵۱/۳۶ درجهٔ شرقی امتداد دارد و براساس طبقه‌بنـدی کـوپن دارای آب‌وهـوای نیمـه‌خشـک و اقلیم گرم و خشک است به‌علت وسعت منطقهٔ تحقیق در عرض جغرافیـایی (۲۹ تـا ۳۴ درجـه) و نیز تنوع ناهمواری‌ها، دما و توزیع بارندگی، منطقه از تغییرات مکانی زیـادی برخـوردار اسـت و در نتیجه از اقلیم متفاوتی پیروی می‌کند. این منطقه که در ناحیهٔ انتقالی مسیر اصلی بادهای غربی و موقعیت اصلی پرفشار جنب حاره‌ای قرار دارد، تحت تأثیر اغتشاشات جوی و سیکلون‌های حاصـل از آن به‌طور متفاوت در دو فصل زمستان و تابستان است. قرارگیری کشور در یکی از کمربنـدهای خشک جهان و همجواری آن با بیابان‌های بزرگ عراق، سوریه، عربستان و آفریقا سبب شده کـه از آثار منفی این بیابان‌ها در امان نباشد.

Archive of SID

www.SID.ir

روش تحقیق و داده‌ها

به‌منظور بررسی الگوهای همدیدی مؤثر در ایجاد و تکامل توفان گردوغبار ۱۰ تا ۱۲ مرداد ۱۳۹۲ از داده‌های دوباره‌تحلیل‌شدهٔNCEP/NCAR ، با تفکیک مکانی ۲/۵×۲/۵ درجه استفاده شده است. داده‌ها به‌صورت میانگین روزانه تجزیه‌وتحلیل شده‌اند که شامل ارتفاع ژئوپتانسیل، نم نسبی، دما، مؤلفه‌های مداری (u) و نصف‌النهاری (v) باد برای ترازهای سطح دریا و ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ هکتوپاسکال است. با بهره‌گیری از داده‌های یادشده، نقشه‌های الگوی فشار تراز سطحی و ارتفاع تراز بالا، نقشه‌های باد برداری، تاوایی نسبی، نقشه‌های دمای سطح زمین، میانگین بارش در دورهٔ مورد مطالعه و میانگین رطوبت سطحی خاک تا عمق ۱۰ سانتی‌متری و نمودار نیمرخ قائم جو برای تمام روزهای توفانی توسط اسکریپت‌نویسی در محیط نرم‌افزار GrADS تولید شده‌اند؛ سپس تمامی نقشه‌ها به‌روش دستی (چشمی) تجزیه‌وتحلیل و مقایسه شدند و در نهایت الگوهای سینوپتیکی اصلی تعیین شد. در ادامه برای ردیابی مسیر حرکت تولید گردوغبار این ذرات از مدل HYSPLIT استفاده شد. این مدل از جمله مدل‌های پخش و انتقال آلاینده‌های جوی است که بیشترین کاربرد را در پژوهش‌های بزرگ‌مقیاس دارد و توسط لابراتوار هوایی سازمان ملی جوی و اقیانوس ایالات متحدهٔ آمریکا طراحی شده و توسعه یافته است؛ این مدل دو رویکرد لاگرانژی و اویلری را دنبال می‌کند که بنا بر ضرورت تحقیق در این پژوهش از رویکرد لاگرانژی بهره گرفته شد که با استفاده از آن نه‌تنها می‌توان منشأ اصلی ایجاد توفان گردوغبار را دانست، بلکه می‌توان مسیر طی‌شده توسط توفان، ارتفاع ذرات معلق و ساعت ورود سامانهٔ گردوخاکی را به مرزهای ایران و ایستگاه‌های شاهد مورد بررسی دقیق قرار داد. برای شناسایی چشمه‌های تولید گردوغبار نیز از آرشیو تصاویر ماهواره‌ای METEOSAT-9 دومین نسل ماهواره‌های EUMETSAT استفاده می‌شود که پیش از این با نام MSG18-2 شناخته می‌شد. این ماهواره در سال ۲۰۰۵ عملیاتی شد و تا سال ۲۰۱۴ قابلیت تصویربرداری از سطح زمین را داشت. این ماهواره در ۳۵۸۰۰ کیلومتری بالای مدار استوا و در صفر درجهٔ طول جغرافیایی شرقی (نصف‌النهار گرینویچ) درست در غرب آفریقا قرار گرفته است. این ماهواره قابلیت ارسال و دریافت داده‌ها با فاصلهٔ زمانی ۱۵ دقیقه را دارد. برای آشکارسازی پدیدهٔ گردوخاک بر روی ایران، عراق و عربستان به‌کمک این ماهواره کافی است تصاویر دیسک صفر ماهوارهٔ مورد بحث آورده شود؛ در قسمت ترکیب باندها، الگوریتم R-G-B که نشان‌دهندهٔ Red-Green-Blue است در بررسی هرچه دقیق‌تر پدیدهٔ مورد مطالعه بسیار مفید است.

Archive of SID

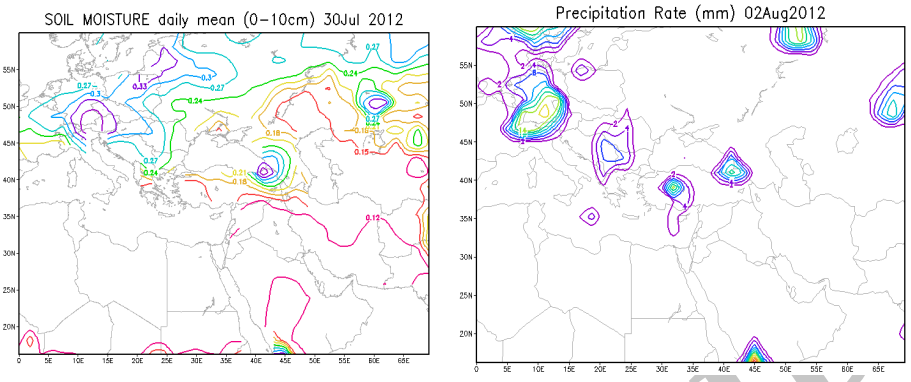
www.SID.ir

بحث

در این پژوهش به بررسی نقش شرایط سینوپتیکی در ایجاد و نحوهٔ انتقال و حرکت توفان گردوخاک ۱۰ تا ۱۲ مرداد ۱۳۹۱ پرداخته شده است. این توفان برخلاف سایر توفان‌های بررسی‌شده در ایران روند حرکتی خاصی را در پیش گرفت، به‌طوری که سازمان هواشناسی موفق به پیش‌بینی مسیر حرکت دقیق این توفان نشد. هستهٔ اولیهٔ این توفان (همان‌طور که در بخش‌های بعدی بررسی خواهد شد) در سی‌ویکم جولای ۲۰۱۲ از روی بیابان‌های خشک نواحی غربی عراق و شرق سوریه تشکیل شد و در ساعات اولیهٔ روز بعد (اول آگوست) با گذر از استان‌های شمال غربی کشور، به کاهش دید افقی و لغو پروازها به‌خصوص در استان‌های شمال غربی منجر شد و با تغییر جهت مجدد از نزدیکی مرزهای ایران به‌سمت نواحی شمالی و دریای خزر حرکت کرد و همزمان با عبور از روی دریا سبب ریزش‌های جوی پراکنده در سواحل جنوبی خزر شد. در نهایت در ساعات اولیهٔ دوم آگوست این سامانه با پشت سر گذاشتن دریا از سمت شمال شرق وارد مرزهای ایران شد و تا نواحی مرکزی ایران پیشروی کرد. در این پژوهش تلاش شده عوامل اصلی مؤثر در ایجاد و حرکت غیرمعمول این سامانه کشف و تحلیل و بررسی شود. به‌طور کلی در کنار شرایط ناپایداری جوی، نبود رطوبت از عوامل اصلی و اولیهٔ ایجاد توفان گردوخاک است، به‌طوری که اگر هوای ناپایدار رطوبت داشته باشد، بارش و توفان رعدوبرق، و اگر فاقد رطوبت باشد توفان گردوغبار ایجاد می‌کند [۶]. بنابراین مقدار بارش در مناطق دارای خاک منفصل و ریزدانه به‌طور مستقیم بر رطوبت سطحی خاک و شدت توفان‌های گردوخاک اثر می‌گذارد. ازاین‌رو برای بررسی شرایط محیط سطحی قبل از وقوع و هنگام وقوع توفان نقشه‌های میانگین بارش بر حسب میلی‌متر و رطوبت سطحی خاک تا عمق ۱۰ سانتی‌متری برحسب درصد برای روزهای مورد مطالعه (از سی جولای تا سوم آگوست) ترسیم شد. با توجه به نقشهٔ میانگین بارش (شکل ۲-الف)، مقدار بارندگی برای قسمت بزرگی از خاورمیانه به‌خصوص عراق و ایران صفر بوده است. همین عامل سبب کاهش شدید رطوبت خاک شده است؛ به‌طوری که مقدار رطوبت خاک برای بخش‌های زیادی از خاورمیانه در این دوره کمتر از ۱۲ درصد بوده که دال بر وجود خاک‌هایی خشک با ذرات منفصل و فاقد چسبندگی لازم است که شرایط را برای فرسایش بادی مهیا می‌سازد (شکل ۲-ب).

Archive of SID

www.SID.ir



الف ب

شکل ۲. الف) نقشهٔ متوسط مقدار بارندگی بر حسب میلی‌متر؛ ب) نقشه‌های مربوط به رطوبت سطح تا عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک. برای روزهای مورد مطالعه (سی‌ام جولای تا دوم آگوست ۲۰۱۲)

تراز سطح ۱۰۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال

بررسی الگوهای پراکندگی فشار سطح زمین و الگوی ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای روز سی‌ام جولای ۲۰۱۲ (شکل ۳. الف) حاکی از گسترش سیستم کم‌فشار وسیعی در محدودهٔ کشورهای هندوستان، پاکستان، جنوب ایران، شمال عربستان و کشورهای عراق و سوریه و وجود سیستم پرفشار بر روی خشکی‌های عظیم روسیه و دریای خزر در تراز سطح زمین است. ارتفاع سطح ۵۰۰ نیز بیانگر قرارگیری محور یک ناوه با ارتفاع کمتر از ۵۸۵ ژئوپتانسیل دکامتر روی دریای سیاه، نیمهٔ شرقی دریای مدیترانه، و قسمت شمالی دریای سرخ بود و شرایط کم‌فشار دینامیکی را برای این نواحی ایجاد کرد. سیستم کم‌فشار دینامیکی دارای هستهٔ سرد، منجر به تقویت حرکت سیکلونی و همگرایی سطحی در جریان‌های جوی شد که این حالت، افزایش قدرت مکش تودهٔ هوا و ناپایداری جوی را در پی داشت. استقرار این سیستم طی روزهای بعد بر روی کشور عراق به تولید توفان گردوخاک منجر شد. در این روز ایران تحت تأثیر کم‌فشار حرارتی قرار داشت؛ این کم‌فشار که بر اثر گرمایش سطح زمین در فصل تابستان ایجاد شد، دارای هسته‌ای گرم بود و به ایجاد جوی باروتروپیک همراه با آسمانی صاف و بدون بارندگی برای نواحی تحت سلطهٔ خویش منجر شد. الگوی فشار سطح زمین در سی‌ویکم جولای (روز تشکیل توفان گردوخاک از روی بیابان‌های عراق) مشابه روز قبل بود و تغییر چندانی نیافت؛ تنها زبانه‌های پرفشار شمالی دریای خزر به عرض‌های پایین‌تر کشیده شد و استان‌های شمالی کشور را تحت تأثیر قرار داد. ارتفاع تراز ۵۰۰ نیز حاکی از افزایش ارتفاع پشتهٔ واقع بر روی ایران و انحراف جزئی

Archive of SID

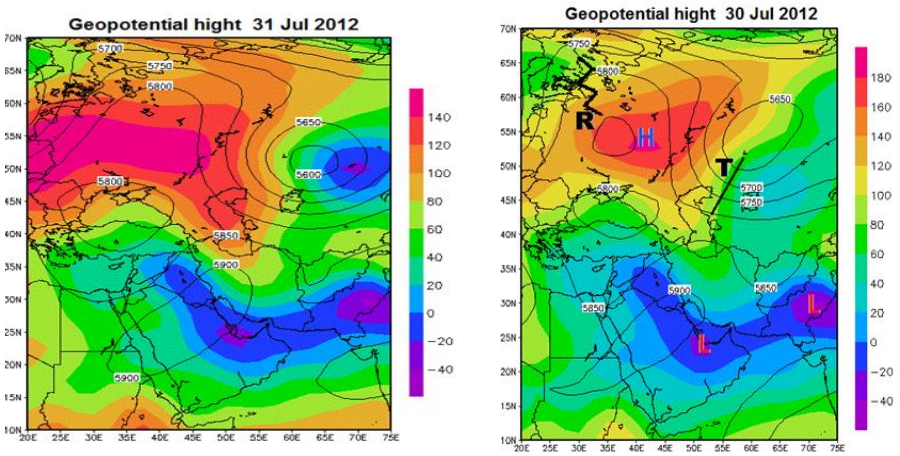
www.SID.ir

آن به‌سمت شرق (مرزهای ایران) بود. همزمان با جابه‌جایی محور پشته، ناوه واقع بـر روی دریـای مدیترانه نیز به‌سمت شرق حرکت کرد و همین امر سبب تقویت شـرایط ناپایـداری بـرای منـاطق شمال غربی ایران شد (شکل۳. الف). بررسی نقشه‌های تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسـکال نشـان داد (شکل ۳. ب) که در سی‌ام جولای در مناطق شمال شرقی شبه‌جزیرهٔ عربستان در محل قرارگیـری محور پشته، مرکز بیشینهٔ تاوایی منفی وجود داشت که ایران و عراق را هم تحت تأثیر قرار داد. در نقشهٔ روز بعد یعنی سی‌ویکم جولای، مرکز بیشینهٔ تاوایی منفی روز قبـل بـه‌شـدت تقویـت شـد. به‌طور کلی مراکز بیشینهٔ تاوایی منفی بر محور پشـتهٔ تـراز ۵۰۰ منطبـق‌انـد و بـا ایجـاد حرکـت آنتی‌سیکلونی در هوا سبب فرونشینی و سوبسیدانس هوا مـی‌شـوند. از طرفـی قرارگیـری قسـمت شرقی محور ناوه بر روی کشور عراق و شمال غرب ایران سبب تقویت حرکت واگرایی بـالایی شـد که با ایجاد حرکت سیکلونی سبب انتقال ذرات گردوخاک به ترازهای بالایی جو شد و هستهٔ اولیـهٔ توفان را شکل داد. از سویی نیز وجود تاوایی منفی سبب تقویت جریان‌های جوی جنوب غربی بـر روی کشور عراق شد که در هدایت مسیر ذرات به‌سمت مرزهای شمال غربی ایران مؤثر بود.

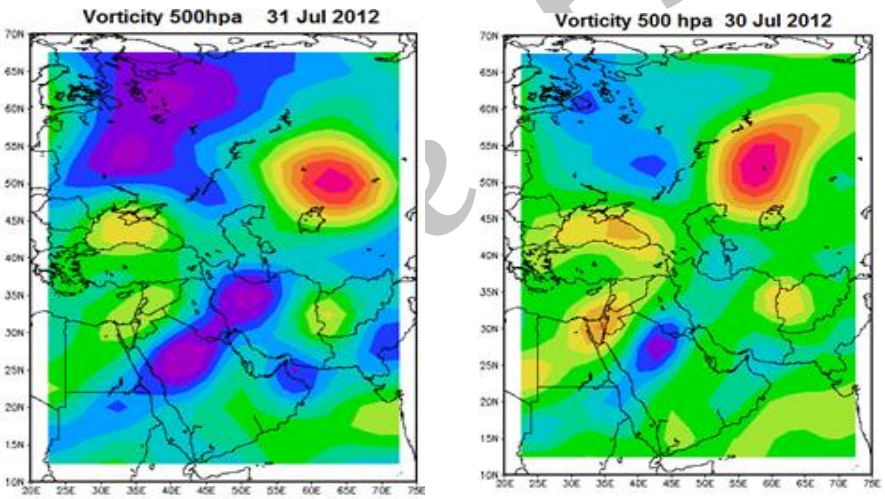
الگوی فشار سطح زمین برای اول آگوست، شکل (۴. الف) زمانی که توفان بـه نـواحی شـمال غربی ایران رسیده، نشان‌دهندهٔ تقویت سیستم کم‌فشار سطح زمین و عقب‌نشینی مجـدد پرفشـار روسیه به‌سمت عرض‌های شمالی‌تر است. قرارگیری دو مرکز با فشـارهای متفـاوت سـبب تقویـت شیب تغییرات فشار و ایجاد خط جبهه در مرزهای غربی ایران شد. تقویت ایـن شـرایط بـه‌همـراه جابه‌جایی اندک محور ناوه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بـه‌سـمت نـواحی شـرقی، سـبب وزش بادهـای شمال شرقی از روی کشور عراق به‌سمت نواحی شمال غربی ایران شـد کـه عامـل اصـلی هـدایت ذرات گردوخاک به این نواحی محسوب می‌شود. از سویی با ایجاد سیسـتم کـم‌فشـار دینـامیکی و تشدید ناپایداری‌های جوی بر روی نواحی شمال غربی ایران جبهه‌زایـی تقویـت شـد. بیشـتر ایـن جبهه‌ها در پیشانی حامل هوای گرم‌اند و در عقب هوای سرد را به همراه دارند و اغلب سبب ایجاد هوایی ابری برای نواحی واقع در زیـر قسـمت پیشـانی جبهـه مـی‌شـوند. در دوم آگوسـت الگـوی کم‌فشار تراز سطح زمین به‌طور چشمگیری محدود شده و اختلاف فشار آن تا حد زیـادی تعـدیل شد؛ اما توپوگرافی تراز ۵۰۰ جابه‌جایی شرق سوی محور ناوه را نشان می‌دهد، به‌نحوی که قسمت شرقی محور ناوه، این بار علاوه‌بر شمال غرب، قسمت‌هایی از دریای خزر را هم در بر گرفـت و اثـر ناپایداری جوی آن نیمهٔ شمالی کشور را تحت تأثیر قرار داد. در این روز توفان گردوخاک با گذر از روی دریای خزر و جنوب کشور ترکمنستان تحت تأثیر مرکز تاوایی منفی واقع در محـور پشـته و حرکات آنتی‌سیکلونی در جریان‌های جوی از سمت خراسان شمالی وارد ایران شد (شکل ۴. الف). میزان تاوایی در روزهای اول و دوم آگوست مشابه بود و تغییر چندانی نداشت.

Archive of SID

www.SID.ir



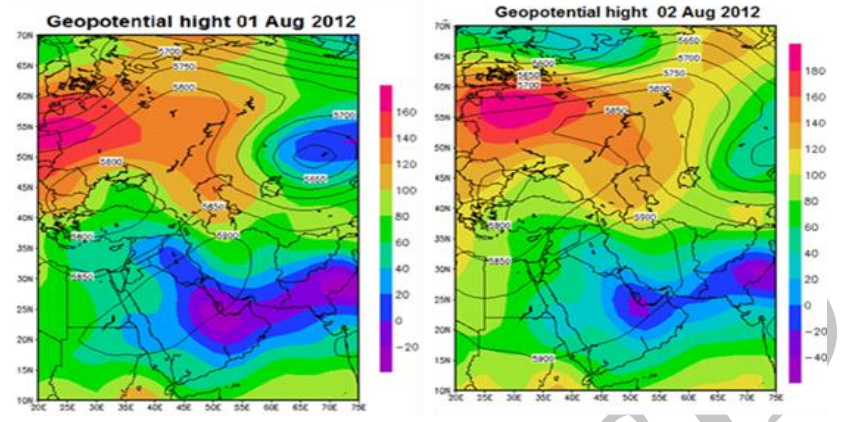
الف



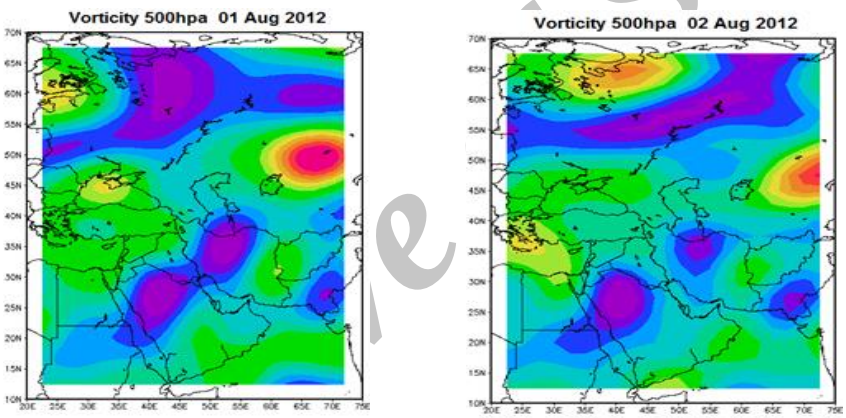
ب

شکل ۳.الف) نقشه‌های الگوی فشار تراز سطح زمین (قسمت‌های رنگی) و توپوگرافی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (خطوط کانتور)؛ ب) نقشه‌های تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روزهای سی‌ام و سی‌ویکم جولای ۲۰۱۲

www.SID.ir



الف



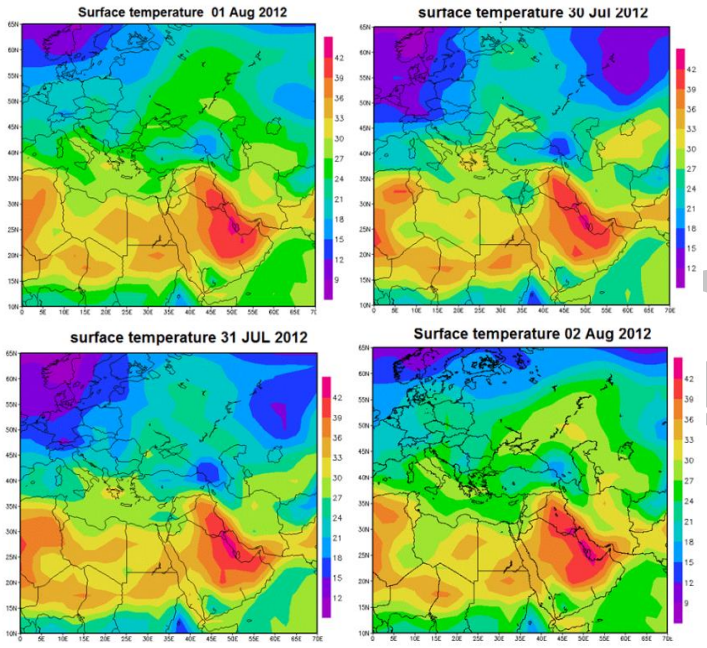
ب

شکل ۴. الف) نقشه‌های الگوی فشار تراز سطح زمین (قسمت‌های رنگی) و توپوگرافی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (خطوط کانتور)؛ ب) نقشه‌های تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روزهای اول و دوم آگوست ۲۰۱۲.

میانگین دمای سطحی بر حسب درجهٔ سانتی‌گراد در روزهای تحقیق حاکی از دماهای سطحی زیاد برای قسمت‌های بزرگی از خاورمیانه بوده است که به افزایش تبخیر و تعرق سطحی منجر شد و در خشک نگه داشتن خاک‌های سطحی تأثیر داشت. همان‌طور که در نقشه می‌بینیم در تمامی روزهای تحقیق، دما بر روی کشور عراق به‌عنوان منشأ ایجاد گردوخاک و در درجهٔ دوم در ایران بسیار زیاد و در حدود ۳۹ تا ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد بود (شکل ۵).

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۵. نقشه‌های میانگین روزانهٔ دمای سطحی برای روزهای تحقیق (سی‌ام جولای تا ۲ آگوست ۲۰۱۲)

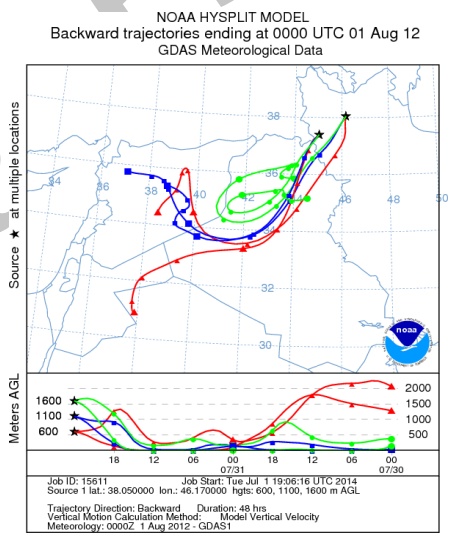
شناسایی منشأ و بررسی روند حرکتی توفان گردوغبار

در این پژوهش به‌منظور شناسایی چشمه‌های تولید توفان گردوغبار و ردیابی مسیر حرکت این ذرات از خروجی مدل HYSPLIT4.1 و برای بررسی حد دقت و صحت‌سنجی نتایج حاصل از این مدل از تصاویر آشکارساز گردوخاک ماهواره‌ای METEOSAT.9 (در این تصاویر رنگ سرخابی که از تلفیق دو رنگ آبی و سرخ ایجاد شده نمایانگر ذرات گردوغبار است) استفاده شده است. نتایج حاصل از خروجی مدل برای ایستگاه‌های سینوپتیکی ارومیه و تبریز در تاریخ‌های سی‌ویک جولای و اول آگوست (شکل ۷) نشان داد که ذرات غبار اغلب توسط بادهای جنوب غربی و از روی کشورهای عراق و سوریه وارد ایستگاه‌های منتخب شد. با توجه به نمای قائم نقشهٔ حاصل از خروجی مدل (قسمت پایین شکل۷) توفان گردوغبار مورد بحث در نیمروز سی‌ویکم جولای نسبت به روزهای بعد، همزمان با قرارگیری در کشور عراق از طریق بیابان‌های خشک این کشور تغذیه شد و ضخامت بیشتری یافت؛ به‌نحوی که ذرات واقع در ارتفاع ۶۰۰ متری از سطح زمین (خطوط قرمز) توانستند تا ارتفاع حدود ۱۵۰۰ تا ۲۲۰۰ متری گسترش یابند. سرعت زیاد جریان‌های جوی (به‌سبب حذف عامل اصطکاک) در این تراز سبب افزایش قدرت بادها در حمل

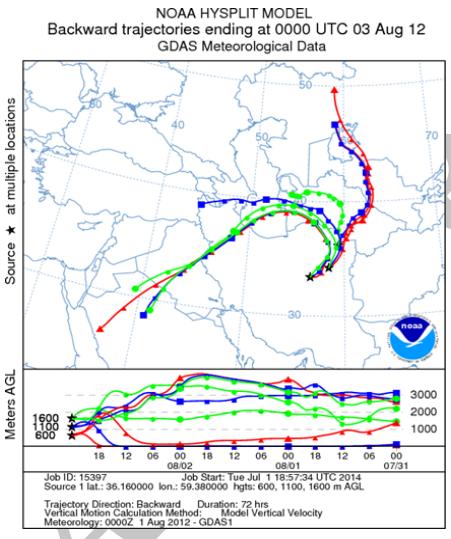
Archive of SID

www.SID.ir

حجم بیشتری از ذرات غبار با سرعت زیاد شد که همین حالت می‌توانست سبب ورود سریع‌تر ذرات با ارتفاع کم به داخل مرزهای شمال غرب ایران و ایستگاه‌های ارومیه و تبریز شده باشد. با توجه به خروجی مدل، منشأ اصلی ذرات ارتفاع ۶۰۰ متری در زمان تشکیل بیابان‌های شرقی سوریه و قسمت‌هایی از عربستان و اردن است. از سویی ذرات دارای ارتفاع ۱۱۰۰ متری (خطوط آبی) و ۱۶۰۰ متری (خطوط سبز) بر خلاف مورد پیشین در ساعات اولیه جولای در ارتفاع کمتر از ۵۰۰ متری قرار داشتند که با گذر از کشور عراق و نزدیک شدن به مرزهای شمال غربی ایران به موازات برخورد با رشته‌کوه‌های مرتفع زاگرس به ارتفاع بالاتر از ۱۰۰۰ متر رسیدند. باید اشاره شود که ذرات گردوغبار تشکیل‌دهندهٔ این توفان با توجه به نتایج حاصل از خروجی مدل تقریباً از سه ناحیهٔ مختلف اما مجاور یکدیگر (بیابان‌های عراق-سوریه و تا حدودی اردن) منشأ یافت؛ از این رو وجود سه منبع تغذیهٔ عظیم و به‌شدت مستعد توفان به‌همراه سرعت زیاد باد در آن روزها می‌توانست در افزایش قدرت و وسعت تأثیرگذاری آن مؤثر باشد.



شکل ۷. نقشهٔ حاصل از خروجی مدل HYSPLITبا روش پسگرد و با گام زمانی شش‌ساعته، در روزهای ۳۱ جولای و اول آگوست ۲۰۱۲ برای ایستگاه‌های ارومیه و تبریز (علامت ستاره نماد ایستگاه‌های است)



شکل ۸. نقشهٔ HYSPLIT در روزهای ۳۱ جولای تا ۲ آگوست (طی ۷۲ ساعت) با روش پسگرد، برای ایستگاه‌های مشهد، طبس و بیرجند در سه سطح ۶۰۰،۱۱۰۰ و ۱۶۰۰ متری از سطح زمین

www.SID.ir

از طرفی بررسی نتایج خروجی مدل برای روز سوم آگوست و ۴۸ ساعت قبل از آن (روزهای اول و دوم آگوست در ایستگاه‌های مشهد، طبس و بیرجند (شکل۸) نشان داد که سیستم گردوغباری مورد مطالعه بین ساعات ۱۸ اول آگوست و ۰۰ دوم آگوست، با گذشتن از فراز دریای خزر از سمت شمال شرق کشور وارد خاک ایران شد و تا نواحی داخلی ایران نیز پیشروی داشت. در روز اول آگوست سیستم گردوخاک توانست با تغییر مسیر خود پس از عبور از شمال غرب کشور وارد کشورهای ارمنستان و آذربایجان شود و به‌سمت دریای خزر پیش برود. این توفان به‌سبب عمق زیاد (از ارتفاع حدود ۳۰۰ تا ۳۱۰۰ متری) به کاهش شدید دید افقی در مناطق تحت سلطهٔ خویش منجر شد.

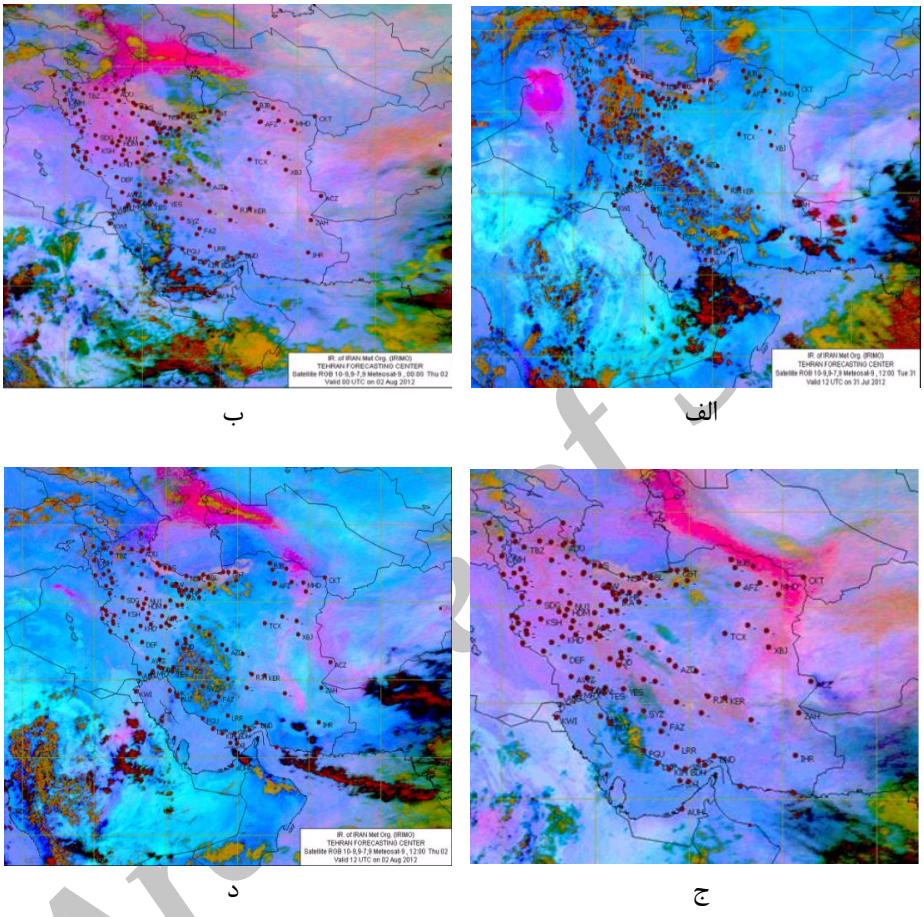
همان‌طور که گفته شد گسترش ذرات گردوخاک در ارتفاعات بالای جو سبب شد تا این ذرات تحت تأثیر جت بادهای تراز بالا قرار گیرند و بدون فرونشست تا نواحی بسیار دورتر از منشأ تشکیلشان حمل شوند. این ذرات در روز دوم آگوست ارتفاع بیشتری نسبت به‌روز قبل خود یافت و در ساعات اولیهٔ روز بر فراز دریای خزر قرار گرفتند. قرارگیری سیستم گردوخاک بر فراز دریا به‌همراه رطوبت کافی در جو سبب شد این ذرات به‌صورت آئروسل عمل کنند و سبب درج گزارش آسمان ابری و در برخی نقاط بارندگی بر روی نقشه‌های زمان واقعی در سواحل جنوبی خزر شوند. از سویی به‌سبب کاهش عامل اصطکاک در پهنه‌های آبی و افزایش سرعت بادها در این نواحی، توفان گردوخاک توانست با سرعت بیشتری از روی دریا عبور کند و در ساعات پایانی روز از طریق مرزهای شمال شرقی وارد ایران شود که نتایج بررسی تصاویر ماهواره این روند حرکتی را تأیید می‌کنند.

با توجه به نتایج بررسی تصاویر ماهواره‌ای، کانون اولیهٔ شکل‌گیری توفان در ساعت۰۰ سی‌ویکم جولای در بیابان‌های غربی کشور عراق و شرق سوریه بوده است (شکل ۹ . الف). این توفان در ساعات پایانی سی‌ویکم جولای تحت تأثیر تندبادهای تراز بالا با گذر از شمال غرب کشور سبب کاهش شدید دید افقی و لغو پروازها در استان‌های این منطقه شد. در ساعات اولیهٔ اول آگوست توفان به‌سمت کشورهای همسایه‌های شمالی ایران (آذربایجان و ارمنستان) رفت و تحت تأثیر محور پرارتفاع واقع در ترازهای فوقانی جو به‌سمت شرق تغییر مسیر داد و بر روی دریای خزر قرار گرفت (شکل ۹. ب). در اواسط روز دوم آگوست ذرات غبار با پشت سر گذاشتن دریا، در ساعات پایانی روز از طریق مرزهای شمال شرق وارد ایران شد (شکل ۹. ج). تصاویر ماهواره‌ای روز سوم آگوست حاکی از ورود کامل توفان گردوغبار به مرزهای داخلی و شرقی کشور است، به‌طوری که برای برخی از استان‌های مرکزی ایران نظیر فارس و یزد کاهش

Archive of SID

www.SID.ir

دید افقی و پدیدهٔ گردوغبار فرامنطقه‌ای گزارش شد که نتایج بررسی‌های سینوپتیکی و خروجی مدل HYSPLIT را تأیید می‌کند (شکل ۹. د).



الف ب ج د

شکل ۹. تصاویر ماهواره‌ای METEOSAT 9 برای روزهای ۱۳ جولای تا ۳ آگوست ۲۰۱۲ در گام‌های زمانی دوازده‌ساعته (ساعات ۰۰ و ۱۲)

نتیجه‌گیری

بررسی الگوی ارتفاع ترازهای بالایی و فشار سطح زمین در زمان تشکیل این توفان الگوی ارتفاع تراز بالا حاکی از وجود یک ناوهٔ به‌نسبت عمیق در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در محدودهٔ طول جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجهٔ شرقی یعنی بر روی ترکیه و عراق و شرق دریای مدیترانه است که

Archive of SID

www.SID.ir

تا مدار ۳۰ درجهٔ شمالی کشیده شد؛ در ضمن در سطح زمین گسترش مرکز کم‌فشار وسیع با مرکزیت کشور پاکستان (کم‌فشار پاکستان) بر روی نیمهٔ جنوبی ایران و کشورهای عراق و سوریه سبب ایجاد کم‌فشار دینامیکی برای نواحی عظیمی از بیابان‌های غربی عراق شد. این کم‌فشار دینامیکی با ایجاد حرکت سیکلونی و مکنده در جو، به انتقال ذرات گردوغبار از روی بیابان‌ها با رطوبت سطحی پایین به ترازهای فوقانی جو (تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی) منجر شد و هستهٔ اولیهٔ توفان راپدید آورد. این در حالی است که در طی دورهٔ مورد مطالعه، ایران به‌سبب گرمایش سطحی شدید بر روی بیابان‌های شرقی و مرکزی تحت سلطهٔ کم‌فشار از نوع حرارتی بوده است. در ضمن قرارگیری مرکز کم‌فشار گسترده در نیمهٔ جنوبی ایران و کشور عراق همزمان با استقرار مرکز پرفشار بر روی شمال دریای خزر و روسیه، سبب افزایش شیب تغییرات فشار در منطقه شد و این حالت به تشکیل خط جبهه در مرزهای شمال غربی ایران انجامید. به‌طور کلی، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از مقایسهٔ خروجی مدل HYSPLIT با نقشه‌های سینوپتیکی این نتایج حاصل آمد: ۱. منبع اصلی توفان گردوغبار مورد بررسی بیابان‌های غربی کشور عراق و شرق سوریه بود؛ ۲. جریان‌های جوی موجود در تراز ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال عامل اصلی انتقال و هدایت ذرات گردوغبار بودند. همچنین مقایسهٔ مسیر ردیابی‌شدهٔ توفان مدل با تصاویر ماهواره‌ای آشکارساز پدیدهٔ گردوخاک METEOSAT.9 دقت این مدل را در پیش‌بینی و بازسازی مسیر حرکت توفان تأیید می‌کند و نشان می‌دهد که اجرای این مدل تا ۷۲ ساعت قبل از وقوع توفان گردوخاک می‌تواند دید خوبی را از مسیر حرکت توفان مورد مطالعه ارائه دهد و در پایش و هشدار به‌موقع آن به‌منظور کاهش خسارات و آثار سوء مفید واقع شود.

منابع

[۱]. چیتی، مرتضی (۱۳۸۸). بررسی و تعیین الگوهای آب و هوایی و جوی حاکم بر توفان‌های گرد و خاک در منطقهٔ یزد. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد هواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات.

[۲]. ذوالفقاری، حسن ؛ عابدزاده، حیدر (۱۳۸۴). تحلیل سینوپتیکی سیستم‌های گردو غبار در غرب ایران. مجلهٔ جغرافیا و توسعه، پاییز و زمستان.

[۳]. رشنو، علیرضا (۱۳۸۸). پدیدهٔ گردوغبار در استان خوزستان، فصلنامهٔ بارش، اهواز، ادارهٔ کل هواشناسی استان خوزستان.

Archive of SID

www.SID.ir

[۴]. طاووسی، تقی؛ خسروی، محمود؛ رئیس‌پور، کوهزاد (۱۳۸۷). تحلیل سینوپتیکی پدیدهٔ گردوغبار در استان خوزستان، مجموعه مقالات سومین کنفرانس ملی مقابله با سوانح طبیعی، دانشکدهٔ فنی دانشگاه تهران: ۹.

[۵]. عزیزی، قاسم؛ مرتضی، میری؛ نبوی، امید (۱۳۹۱). ردیابی پدیدهٔ گردوغبار در نیمهٔ غربی ایران، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. شمارهٔ ۷: ۸۱-۶۳.

[۶]. علیجانی، بهلول (۱۳۷۶). آب‌وهوای ایران، انتشارات پیام نور، تهران: ۹۵.

[۷]. علیجانی، بهلول(۱۳۸۱). شناسایی تیپ‌های هوایی باران‌آور تهران براساس محاسبات تاوایی. فصلنامهٔ تحقیقات جغرافیایی. شماره‌های ۶۳ و ۶۴:۱۳۲- ۱۱۴.

[۸]. مفیدی،عباس؛ جعفری، سجاد(۱۳۹۰).بررسی نقش گردش منطقه‌ای جو بر روی خاورمیانه در وقوع توفان‌های گردوغباری تابستانه در جنوب‌غرب ایران. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. شمارهٔ ۵: ۴۰-۱۹.

[9].Engelstaedter S., (2001), Dust storm frequencies and their relationships to land surface conditions. Diploma thesis, Institute of Geoscience, Friedrich , Schiller , University, Jena, Germany.

[10]. Hamish, M., Andrew, C,2008 ,Identification of dust transport pathways from Lake Australia using Hysplit, Atmospheric Environment Eyre, 42 ,6915-6925.

[11]. Romanof B , (1961) Dust storms in Gobian Zone of Mongolia , The First PRC – Mongolia Workshope on climate change in arid and semi– arid Region over the Central Asia , pp : 21.

[12]. Wang,W., Z.,Fang. 2006. Numerical simulation and synoptic analysis of dust emission and transport in East Asia, Global and Planetary Change, Vol.52, pp 57–70.

[13]. Weihong Q and Shaoyinshi(2001)Variations of the dust storm in China and its climatic control.Journal of climate.vol 15.

[14]. Yarnal, B, 1993, Synoptic Climatology in Environmental Analysis, Belhaven Press, Londo

Archive of SID

www.SID.ir