دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال شانزدهم، شماره‌ی ۵۵
پاییز ۱۳۹۵، صفحات ۲۹۱-۲۷۳

مهری اکبری[۱]
ملودی فرحبخشی[۲]

تحلیل سینوپتیک و شبیه‌سازی مسیر حرکت توفان‌های شدید گردوغبار (مطالعه موردی: جنوب‌غرب ایران)

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۰٤/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٤/۰۷/۰۱

چکیده

توفان‌های گردوغبار به‌ویژه در دهه‌ی اخیر به یکی از چالش‌های مهم زیست‌محیطی به‌ویژه در منطقه‌ی خاورمیانه شده است. شناسایی الگوهای گردشی که منجر به صعود و انتشار ذرات گردوخاک می‌شوند، روند تعداد روزهای غبارآلود و شبیه‌سازی مسیر حرکت توفان‌ها، به‌ویژه در نیمه‌ی غربی کشور می‌تواند به آگاهی دقیق‌تر و البته پیشگیری موثرتر منجر شود. در این مطالعه، به‌منظور بررسی شرایط سینوپتیکی مؤثر بر رخداد توفان‌های گردوغبار در جنوب‌غرب ایران، به بررسی ۵۰۰ روز دارای پدیده‌ی گردوغبار با منشأ فرامرزی (کد ۰٦) که مقدار دید افقی را به کم‌تر از ۱ کیلومتر کاهش داده بود و با استفاده از اطلاعات ایستگاه‌های سینوپتیک اهواز، خرم‌آباد، ایلام و کرمانشاه در یک دوره‌ی آماری سیزده ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۲) پرداخته شده است.

برای تحلیل آماری پدیده‌ی مذکور، در گام نخست، با بررسی دید افقی در چهار ایستگاه منتخب در سه‌طبقه‌ی کوچک‌تر مساوی ۲ کیلومتر، ۲-٤ کیلومتر و بیش‌تر از ٤ کیلومتر و ترسیم توزیع‌های فراوانی اندازه دید افقی‌های کم‌تر مساوی ۱ کیلومتر با استفاده از نرم‌افزار SMADA، روزهای دارای کمینه‌ی دید افقی که دو ویژگی شدت و

۱- استادیار گروه آب و هواشناسی- دانشگاه خوارزمی. E-mail: MehryAkbary@khu.ac.ir
۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد آب و هواشناسی- دانشگاه خوارزمی.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

فراگیر بودن را به‌صورت توامان داشتند، انتخاب شدند. پس از دریافت داده‌های دوباره پردازش شده و با استفاده از نرم‌افزار گردس نقشه‌های سطوح ژئوپتانسیلی، باد و فرارفت تاوایی تهیه و از نظر شرایط سینوپتیکی تحلیل شد. در ادامه، برای شناسایی منشأ تولید گردوغبار و شبیه‌سازی مسیر حرکت این ذرات از روش پسگرد رویکرد لاگرانژی مدل هایسپلیت استفاده شد و به‌منظور ارائه ملموس‌تر، مسیرهای افقی شبیه‌سازی شده بر روی گوگل ارث فراخوانی شدند.

بررسی سینوپتیکی توفان‌های گردوغبار مورد مطالعه نشان داد استقرار سلول‌های کم‌فشار در مرکز کشور، موجب هم‌گرایی و مکش هوا در سطح زمین شده و تاوایی منفی در جنوب عراق و تاوایی مثبت نسبتاً قوی در نواحی داخلی ایران سبب تقویت حرکات سیکلونی و وزش باد شدید با جهت غربی در نواحی جنوب‌غربی ایران شده که این امر موجب انتقال گردوخاک از روی بیابان‌های خشک مناطق مجاور به کشور شده است. بر اساس خروجی مدل هایسپلیت، برای سه توفان شدید گردوغبار مورد مطالعه، منشأهای تولید گردوغبار ورودی به منطقه، شامل مناطق خشک جنوب ترکیه، بیابان‌های عراق و سوریه است که اغلب با جهات غربی و شمال‌غربی و با ارتفاع بالاتر از ۱۵۰۰ متر وارد منطقه شده‌اند.

کلید واژه‌ها: توفان گردوغبار، شبیه‌سازی، سینوپتیک، جنوب‌غرب ایران.

مقدمه

پدیده‌های گردوخاک در ردیف بزرگ‌ترین مشکلات جدی زیست‌محیطی در نواحی مشخصی از جهان هستند. این در حالی است که بیش‌ترین گردوغبار موجود در جو با منشأ ذرات ریزدانه اتفاق می‌افتد و ذرات ریزدانه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان فراوانی بالاتری دارند (آریموتو[3]، ۲۰۰۱: ٤٠). در کل، دامنه‌ی اثرهای سوء گردوخاک بسیار فراوان است و از جمله بر کیفیت هوا (چان و همکاران[4]، ۲۰۰۵: ۳۳۰)، سلامتی انسان (منگ و ژنگ[5]، ۲۰۰٦: ۲۷۷)، سیستم‌های اقلیمی (آریموتو، ۲۰۰۱: ۳۰) تأثیر می‌گذارد. علاوه بر این، مطالعات نشان می‌دهند که توفان‌های گردوخاک ودرپی آن، انتقال و معلق ماندن ذرات گردوخاک در جو باعث به وجود آمدن تغییرات محیطی در مقیاس جهانی شده و اثرهای مستقیم و غیرمستقیمی بر محیط‌زیست و جمعیت انسانی بر جای می‌گذارند (پارک[6] و

3- Arimoto
4- Chan
5- Meng & Zheng
6- Park

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

همکاران، ۲۰۰۵: ۲۵۹۳). از این‌رو و به سبب افزایش وقوع این پدیده در دهه‌های اخیر مطالعات متنوعی درباره‌ی آن صورت گرفته است. از اولین مطالعاتی که در آسیا و به‌خصوص، در خاورمیانه درباره‌ی پدیده‌ی گردوخاک انجام‌شده می‌توان به تحقیقات ویکرسون[۷] (۱۹۹۱) درباره‌ی توفان‌های گردوخاکی در عراق اشاره کرد. او توفان‌های رخ داده در این کشور را تحت تأثیر سه تیپ اصلی شامل تیپ جبهه‌ای، هم‌رفتی و تیپ باد شمال تقسیم بندی کرد و در هر دو دوره‌ی سرد و گرم سال، وزش باد شمال را مؤثرترین نیرو در وقوع توفان‌های با مقیاس منطقه‌ای معرفی کرد. از سویی با گسترش تحقیقات در زمینه‌ی چگونگی شکل‌گیری توفان‌های گردوخاک، مطالعات فراوانی نیز در زمینه‌ی چشمه‌ها و منابع تولید گردوخاک در سطح جهان صورت گرفت. انگلستدلر[۸] (۲۰۰۱) درباره‌ی پهنه‌بندی مکانی و فراوانی وقوع گردوخاک‌های جهان نقش بستر خشک دریاچه‌ها و صحرای بزرگ افریقا را به منزله‌ی تولیدکنندگان اصلی گردوخاک معرفی کرد و بر این نظر است صحرای شمال افریقا بیش از هر بیابان دیگری در دنیا گردوخاک تولید می‌کند. بارنوم[۹] و همکارانش (۲۰۰۳) نیز توفان‌های گردوخاکی خاورمیانه و به‌خصوص، گردوخاک‌های عراق و غرب خلیج‌فارس را مطالعه و اثرهای آن‌ها را بر عملیات نظامی و پدافند غیرعامل بررسی کردند. این گروه تحقیقاتی دلایل وقوع این گردوخاک‌ها را سیستم‌های همدیدی سطوح بالا و سطح زمین دانستند و تشریح کردند که عامل رخداد قسمت اعظم توفان‌های گردوخاک عراق بادهای شمال تابستانی است. در تحقیقی دیگر سینفیلد[۱۰] (۲۰۰٤) توفان‌های شن و غبار آسیایی را، به‌عنوان معضل بسیار مهم زیست‌محیطی و یکی از خطرهای طبیعی در مغولستان و شمال چین، مطالعه کرد و نشان داد که توفان‌های خاک آسیایی می‌تواند از اقیانوس آرام عبور کرده و به غرب آمریکا نیز برسند. در پژوهشی دیگر، وانگ[۱۱] (۲۰۰۵) روابط بین شکل‌گیری توفان‌های گردوخاک و تحول سینوپتکی آن‌ها در شمال‌شرق آسیا را مطالعه کرد و نتیجه گرفت که توفان‌های گردوخاک زمانی گسترش می‌یابند که سیستمی اتمسفری به سمت ناحیه‌ای خشک و بیابانی حرکت کند. همچنین، در قسمت نزولی و فرارفت سرد سیکلون، میزان گردوغبار کم‌تر و در قسمت صعودی و فرارفت گرم سیکلون به دلیل صعود هوا شدت گردوخاک بالاتر است. گودی[۱۲] (۲۰۰٦) در ارائه‌ی تصویری جهانی از مناطق دارای توفان‌های گردوخاکی، عامل اصلی ایجاد توفان‌های گردوخاک تابستانی خاورمیانه را ناشی از وجود مرکز کم‌فشاری در جنوب ایران و یک مرکز پرفشار در نواحی شمالی شبه جزیره‌ی عربستان می‌دانند که سبب ایجاد بادهای شدید و مداوم موسوم به باد شمال

7- Wilkerson
8- Engelstaedter
9- Barnum
10- Seinfeld
11- Wang
12- Goudie

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

بر روی این مناطق می‌شود. کیاس و مروا[13] نیز (۲۰۱۳) در پژوهشی که بر روی عراق کردند، به نتیجه‌ی مشابهی دست یافتند. از سوی دیگر، مغربی[14] و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی توفان گردوخاک در خاورمیانه با استفاده از پارامترهای هواشناسی و ماهواره‌ای به این نتیجه رسیدند که فشار هوا و رطوبت نسبی در روز وقوع گردوخاک از روز قبل از آن افزایش و میزان دید و دما کاهش می‌یابد و البته تبیین چگونگی رخداد توفان گردوخاک بدون توجه به الگوهای گردشی جو ناممکن به‌نظر می‌رسد. وانگ و همکاران در سال ۲۰۱۲ نیز با استفاده از مدل هایسپلیت به بررسی توفان‌های گردوخاک رخ داده در سال ۲۰۰۸ چین پرداخت‌اند و مناطق آفریقای شمالی، خاورمیانه، مغولستان و شمال‌غرب چین را مناطق با فراوانی بالای رخداد گردوخاک مشخص کردند.

در ایران نیز، کشوری که در کمربند گردوغبار جهان قرار دارد و همه ساله از این مخاطره‌ی فزاینده متأثر می‌شود، تحقیقات متعددی درباره‌ی این پدیده صورت گرفته است. از جمله پژوهش‌های صورت گرفته در سطح ملی می‌توان به علیجانی (۱۳۷٦: ۹۷) اشاره کرد که ضمن بررسی علل گردوخاک‌ها در ایران، نقشه‌ی پهنه‌بندی مکانی و زمانی وقوع این پدیده را تهیه کرد. بر اساس مطالعات او چاله‌های مرکزی ایران بیش‌ترین فراوانی وقوع گردوخاک را داشته است. امیدوار (۱۳۸۵) نیز در مطالعه‌ی خود درباره‌ی توفان‌های ماسه‌ای در دشت یزد اردکان با بررسی پارامترهای گردوخاک، مربوط به استان سیستان و بلوچستان، به این نتیجه می‌رسد که کم‌فشارهای دینامیک، که با جبهه سرد همراه هستند، عامل اصلی ایجاد گردوغبار در این منطقه است و فرارفت هوای سرد بر روی منطقه با گرادیان شدید دما و فشار در سطح زمین همراه است و در نتیجه، جریانات قائم هوا ناپایداری لازم را برای پیدایش توفان‌های گردوغباری درپی دارد. کاویانی (۱۳۸٦: ۱۳۷) نیز علت اصلی تشکیل گردوخاک را در بیابان‌ها ناشی از ناپایداری هوا دانسته و معتقد است که جو بالای سطح بیابان‌ها از نظر هم‌رفتی بسیار ناپایدار است و شرایط تکوین پدیده‌های ناپایدار میکروکلیماتولوژیک را، همچون پیچانه‌های کوچک گردوخاکی، دارند. لشکری و کیخسروی (۱۳۸۷) در پژوهش خود توفان‌های گردوخاک در استان خراسان رضوی را به‌صورت آماری-سینوپتیکی مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند که اغلب توفان‌ها به دلیل ناپایداری‌های ترمودینامیکی در نیم‌روز تکوین و گسترش می‌یابند. در همین زمینه، عطایی و احمدی (۱۳۸۹) علت وقوع توفان‌های گردوخاکی در استان خوزستان را در دوره سرد سال ناشی از استقرار مرکز کم‌ارتفاع بر روی اروپا و دریای مدیترانه می‌دانند و به دلیل نفوذ امواج غربی به عرض‌های پایین‌تر و استقرار ناوه‌های امواج غربی بر روی مناطر خشک خاورمیانه، دو منطقه‌ی غرب بغداد و هورالعظیم تبدیل به کانون‌های اصلی گردوخاک در جنوب‌غرب ایران می‌شوند. در مطالعات اخیر، نتایج پژوهش

13- Kais & Morwa
14- Maghrabi

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

مفیدی و جعفری (۱۳۹۰)، نشان داد که در کل منابع اصلی غبار برای توفان‌های گردوغباری جنوب‌غرب ایران محدوده‌ای در حدفاصل مرکز تا شمال عراق، شرق سوریه تا شمال عربستان است و در سه الگوی سینوپتیکی اصلی که منشأ گردوغبار معرفی کرده‌اند، یعنی زوجی تابستانه، زوجی انتقالی و ناوه‌ی موج غربی، سهم پرفشار عربستان در کنترل ذرات ورودی به جنوب‌غرب ایران از سهم این مرکز پرفشار در الگوی زوجی تابستانه بیش‌تر است. سجادی و کوشکی (۱۳۹۰) در پژوهش خود درباره‌ی مناطق متأثر از گردوخاک در ایران بر این نظرند که کشور ایران به دلیل هم‌جواری با بخش وسیعی از پهنه‌های بیابانی، تحت تأثیرات نامطلوب این پدیده قرار می‌گیرد، از جمله مهم‌ترین نواحی که تحت تأثیر این پدیده قرار گرفته، شهرهای جنوبی و غربی ایران است. ظریفی و حبیبیان نیز (۱۳۹۰) کانون‌های تولیدکننده و تأثیرگذار بر توفان‌هایی که بر مناطق جنوبی و جنوب‌غربی ایران رخ می‌دهند مناطق واقع در بین‌النهرین عراق، سوریه، عربستان سعودی، اردن، کویت و قسمتی از ایران و جنوب ترکیه معرفی کردند. عزیزی و همکاران (۱۳۹۱) به ردیابی پدیده‌ی گردوغبار در نیمه‌ی غربی ایران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل هایسپلیت پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که تغییر در مسیر جریان‌های رسیده به منطقه سبب تغییر در مسیر انتقال گردوغبار به مناطق گوناگون نیمه‌ی غربی ایران می‌شود و سرانجام، با تضعیف جریان‌ها و قطع مسیر تغذیه گردوغبار ورودی به ایران سبب از بین رفتن این پدیده می‌گردد. فرح‌بخشی و همکاران (۱۳۹٤) نیز به مطالعه‌ی همدیدی توفان گردوغبار مرداد ۱۳۹۲ پرداختند. بر اساس نتایج کار آن‌ها، توفان مذکور در بیابان‌های غرب عراق و شرق سوریه شکل گرفته و سوار بر ناوه غربی در سطوح ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال به کشور نفوذ کرده است. همچنین مقایسه مسیر حرکت این توفان از تصاویر ماهواره‌ای و مدل هایسپلیت، دقت بالا و کارایی مدل در پیش‌بینی توفان‌های گردوغبار را تایید می‌نماید؛ بنابراین با توجه به افزایش معنادار فراوانی و شدت رخداد گردوغبار در دهه‌ی گذشته در خاورمیانه و البته در ایران، به نظر می‌رسد بازنگری در روش مطالعه‌ی صرفا همدید این مخاطره‌ی محیطی و البته تقویت روش‌های پیش‌یابی و شبیه‌سازی مسیر حرکت آن، به‌منظور کاهش خسارات آتی و امکان ارائه‌ی راهکارهای دقیق‌تر پیشگیرانه، ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، منطقه‌ی مورد مطالعه، بخشی از غرب و جنوب‌غربی ایران شامل استان‌های خوزستان، ایلام، لرستان و کرمانشاه است (شکل ۱). به‌منظور بررسی توفان‌های گردوغبار در این منطقه و در دوره‌ی آماری منتخب (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲) از روش‌های ترکیبی آماری، سینوپتیک و شبیه‌سازی بهره گرفته شده و رخداد توفان گردوغبار به‌طور موردی در چهار ایستگاه سینوپتیک اهواز، ایلام، کرمانشاه و خرم‌آباد مورد پردازش قرار گرفته است. پس از استخراج تعداد

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

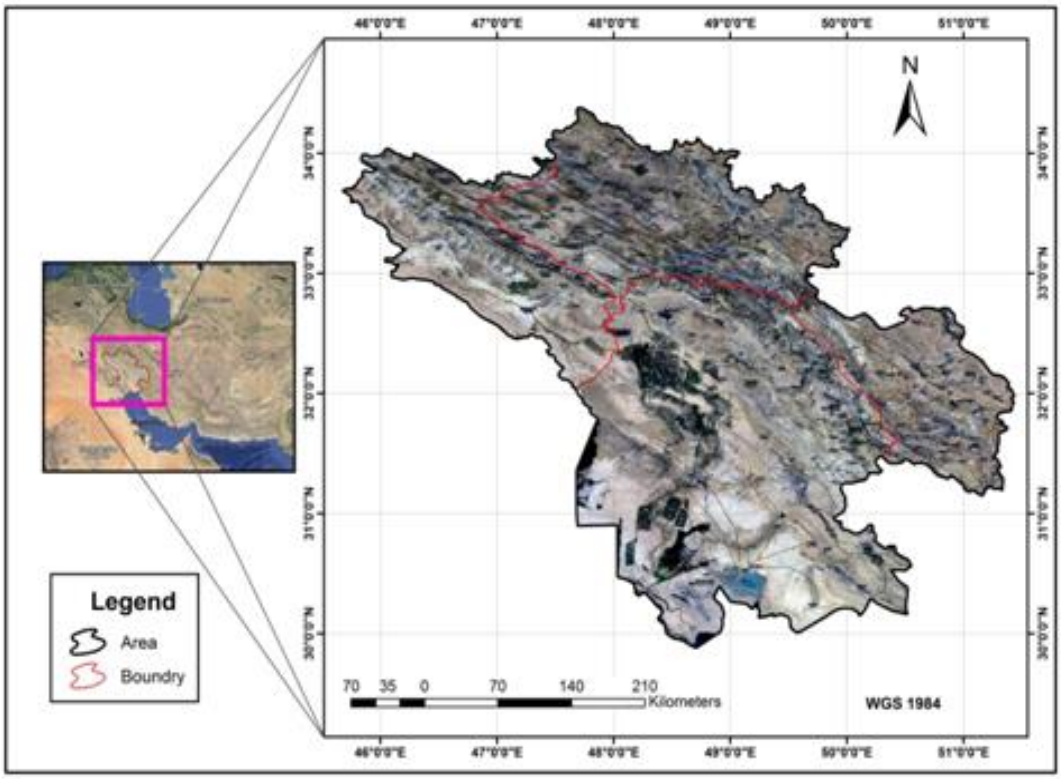
روزهای همراه با پدیده گردوغبار با منشا خارجی (کد ۰٦)، از اداره‌ی کل آمار، فناوری اطلاعات و اطلاع‌رسانی سازمان هواشناسی کشور برای نیمه‌ی اول سال (ماه‌های فروردین تا شهریور)، رخداد پدیده‌ی گردوغبار، بر اساس دید افقی و با فاصله‌ی زمانی سه ساعته و در سه گروه کوچک‌تر مساوی ۲ کیلومتر، ۲ تا ٤ کیلومتر و بیش از ٤ کیلومتر مورد بررسی و آزمون روند قرار گرفت.

از آنجا که بر اساس تعریف سازمان هواشناسی جهانی، توفان شدید گردوغبار به شرایط کاهش دید افقی کم‌تر از یک کیلومتر اطلاق می‌گردد؛ لذا در گام بعدی، با استفاده از آنالیزهای توزیع فراوانی با استفاده از نرم‌افزار SMADA، رخدادهای فرین پدیده‌ی گردوغبار در منطقه استخراج و نهایتاً به‌منظور بررسی فراگیر بودن پدیده‌ی گردوغبار در منطقه، برای مواردی که دید افقی به ۵۰۰ متر و کم‌تر رسیده بود و همزمان در هر چهار ایستگاه منتخب، پدیده‌ی گردوغبار (کد ۰٦) ثبت شده بود، استخراج شدند و بر این اساس، سه مورد توفان شدید و فراگیر انتخاب و مورد بررسی‌های تفصیلی قرار گرفتند. مورد اول، توفان شدید گردوغبار ٤ تا ۷ جولای ۲۰۰۹ است که منجر به کاهش دید افقی تا ۳۰۰ متری و افزایش ۲۱ برابری غلظت حد مجاز ذرات گردوغبار، منجر به بستری‌شدن ده‌ها نفر در بیمارستان‌ها به دلیل مشکلات تنفسی و قلبی شده و همچنین، این پدیده موجب لغو پروازهای منطقه مورد مطالعه، آسیب شدید به جنگل‌های بلوط، نابودی پوشش گیاهی و خشکی شدید در منطقه شده است. موارد دوم و سوم، نیز که در رده‌ی شدیدترین توفان‌های گردوغبار رخ داده در کشور قرار دارند، به‌ترتیب در ١٦ تا ١٩ ماه آوریل ۲۰۰۸ و ۱۵ تا ۱۹ مارس ۲۰۱۲ رخ داده‌اند. در ادامه، برای شناسایی چشمه‌های تولید گردوغبار و شبیه‌سازی مسیر حرکت این ذرات از رویکرد لاگرانژی مدل هایسپلیت[15] استفاده شد. مدل هایسپلیت که از مدل‌های شبیه‌ساز پخش و انتقال آلاینده‌های جوی است، بیش‌ترین کاربرد را در پژوهش‌های بزرگ مقیاس دارد و آن را لابراتوار هوایی[16] سازمان ملی جوی و اقیانوس[17] طراحی و توسعه داده است. برای شبیه‌سازی مسیر حرکت ذرات دو روش پس‌گرد و پیش یابی وجود دارد که در این پژوهش به منظور نیل به یکی از اهداف پژوهش-که شناسایی منشأهای تولیدکننده گردوغبار و تعیین مسیر جابجایی ذرات است-از روش پس‌گرد برای ایستگاه‌های اهواز، کرمانشاه، خرم‌آباد و ایلام از ۷۲ و ۹٦ ساعت قبل استفاده شد و برای تمامی توفان‌ها، ذرات در سه ارتفاع ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متری از سطح زمین در حد فاصل زمانی ۱۲ ساعت ردیابی شدند. مدل امکان نمایش مسیر ردیابی شده ذرات را بر روی تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث، در دو نمای افقی (بخش بالا در هر شکل) و قائم (بخش پایین در هر شکل) را نیز فراهم

15- HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model)
16- ARL
17- NOAA

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

می‌نماید. همچنین لازم به ذکر است که در نقشه‌های حاصل از مدل هر نقطه بر روی مسیرهای ختم شده به ایستگاه‌ها (که با نماد ستاره مشخص شده) نشان‌دهنده آغاز بازه زمانی ۱۲ ساعت و نقطه بعد نشانه خاتمه آن است.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در جنوب‌غرب کشور

سرانجام، پس از اخذ داده‌های مورد نیاز با رزولوشن ۲/۵×۲/۵ درجه از مرکز ملی پیش‌بینی محیطی آمریکا[18]، نقشه‌های سینوپتیکی مربوط به فشار سطوح ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال، نقشه‌های تاوایی و سرعت و جهت باد با استفاده از برنامه‌نویسی در نرم‌افزار گردس[19] ترسیم و سپس تحلیل شد.

یافته‌ها و بحث

تحلیل آماری پدیده گردوخاک در منطقه‌ی مطالعه

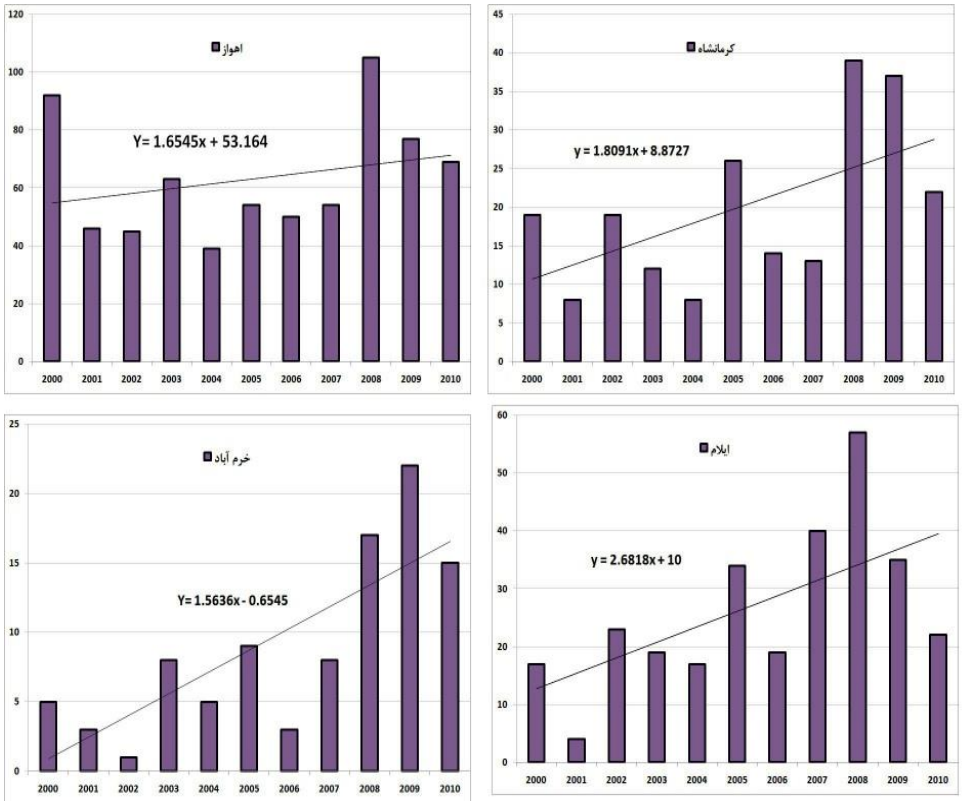
نتایج حاصل از بررسی‌های آماری فراوانی تعداد روزهای گردوغبار، حاکی از روند افزایشی این پدیده در هر چهار ایستگاه اهواز، ایلام، کرمانشاه و خرم‌آباد، طی مدت ۱۱ سال از ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ میلادی است که می‌تواند متاثر از

18- NCEP
19- GrADs

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

افزایش تدریجی خشکی منطقه ناشی از جنگ‌های اخیر کشورهای همسایه غربی (عراق و سوریه) باشد که در ادامه، منجر به تشدید فرسایش خاک و نهایتاً، افزایش رفت‌وروب بادی در سطح بیابان‌های این منطقه شده است.

همچنین در همه‌ی طبقات دید افقی (کوچک‌تر مساوی ۲ کیلومتر، ۲-٤ کیلومتر و بیش از ٤ کیلومتر)، روند افزایشی معناداری مشاهده گردید. نکته‌ی قابل تامل آن است که تا سال ۲۰۰٤، تعداد توفان‌های گردوغباری که منجر به افت دید افقی به کم‌تر از ۲۰۰۰ متر شده‌اند، در ایستگاه‌های ایلام، کرمانشاه و خرم‌آباد بسیارکم (حداکثر ۱۰ روز در سال) بوده است. در حالی که فقط در سال ۲۰۰۸، تعداد روزهای با دید افقی کم‌تر از ۲۰۰۰ متر در ایستگاه کرمانشاه، به‌عنوان یک منطقه‌ی دارای اقلیم معتدل، به حدود ٤۰ روز در سال رسیده است. لذا این مساله می‌تواند موید تشدید توفان‌ها در سال‌های اخیر، کاهش محسوس دید افقی با شدت بیش‌تر و ضرورت مطالعات گسترده در زمینه‌ی توفان‌های گردوغبار باشد (نمودار ۲).



نمودار ۲- روند افزایشی فراوانی روزهای با دید افقی کم تر و مساوی ۲ کیلومتر در ایستگاه‌های منتخب

همچنین بررسی فراوانی پدیده‌ی گردوغبار در مقیاس فصلی و ماهانه نشان داد که بیش‌ترین فراوانی مربوط به فصل تابستان، به‌ویژه تیر ماه، بوده است. بررسی نقشه‌های سینوپتیکی این پژوهش که در ادامه آمده‌اند، نشان می‌دهند که

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

در این فصل رطوبت نسبی جو منطقه به حداقل ممکن و تبخیر به حداکثر خود رسیده است. خشکی مطلق هوا همراه با دمای زیاد و ایجاد کم‌فشارهای سطحی بر فراز بیابان‌های خشک عراق و سوریه موجب بلند شدن ذرات و حمل آن‌ها به مناطق دیگر می‌شود.

جدول ۲- متوسط فراوانی روزهای دارای گردوغبار طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ به تفکیک ماه‌های سال

ایستگاه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
اهواز	٤٦	٧١	١٣٦	٩٩	٧٢	٤٩
خرم‌آباد	٣	٥	١٦	١٠	١	٣
ایلام	٦	١١	٤٤	١٧	١٢	١١
کرمانشاه	٦	٨	٢١	١٧	٩	٨

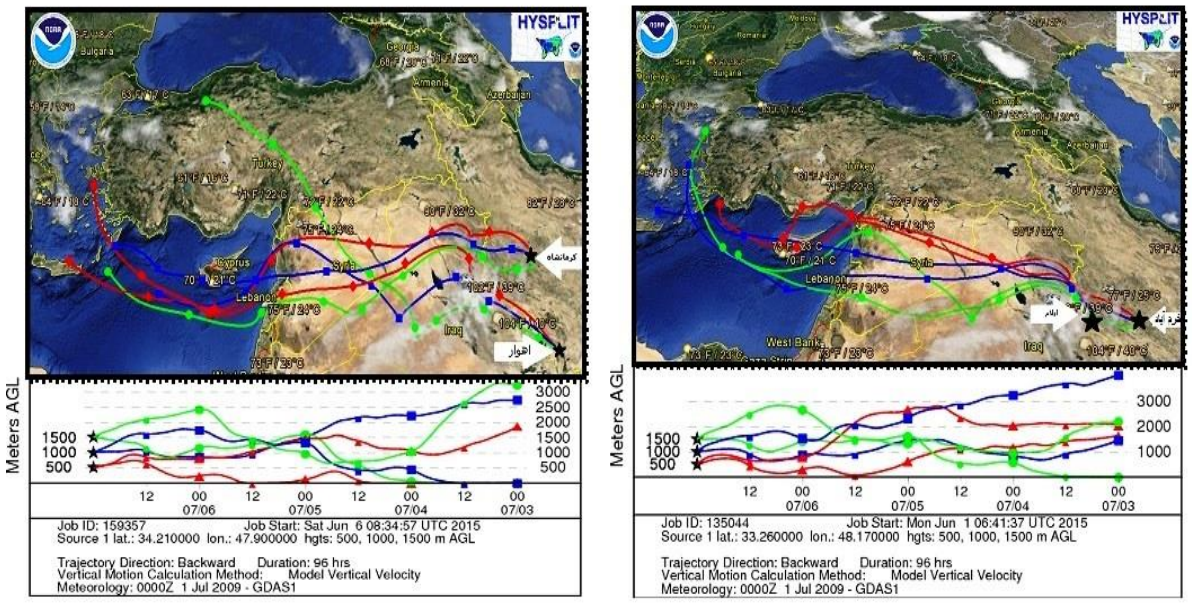
- تحلیل نقشه‌ها و ردیابی مسیر ذرات گردوخاک

توفان اول: روزهای چهارم تا هفتم جولای ۲۰۰۹

مدل هایسپلیت برای بررسی مسیر طی شده ذرات غبار توفان روزهای ٤ تا ٧ جولای ۲۰۰۹ نماینده‌ی یکی از شدیدترین توفان‌های گردوغباری که در کشور تاکنون رخ داده است، اجرا گردید. با توجه به خروجی مدل برای تاریخ ٧ جولای ۲۰۰۹ و ٩٦ ساعت قبل‌تر در ایستگاه‌های کرمانشاه و اهواز (شکل ٣)، ذرات غبار عموماً از غرب ترکیه و بیش‌تر بیابان‌های غربی و مرکزی سوریه و شمال عراق، بسته به موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها از سمت غرب و شمال‌غرب وارد مرزهای ایران شده است. با توجه به مسیر طی شده توسط ذرات در ارتفاع ٥٠٠ متر ایستگاه اهواز (مسیر قرمز رنگ) در ٩٦ ساعت قبل (روزهای ٣، ٤، ٥ و ٦ جولای) ارتفاع بالاتر از ١٠٠٠ متر قرار داشته که می‌تواند به سبب ارتفاع پایین این ایستگاه در مقایسه با بیابان‌های عراق و سوریه باشد؛ این در حالی است که ارتفاع ذرات وارد شده به ایستگاه کرمانشاه در ٩٦ ساعت قبل کم‌تر از ٥٠٠ متر بوده و همزمان با ورود ذرات به مرزهای ایران تحت تاثیر ارتفاع رشته‌کوه زاگرس قرار گرفته و به ارتفاع ٥٠٠ متری رسیده است و برعکس، مسیر ذرات در ارتفاع ١٠٠٠ (مسیر آبی رنگ) در ٩٦ ساعت قبل ذرات در ارتفاع بیش‌تر از ١٠٠٠ متری قرار داشته و با ورود به مرزهای ایران از ارتفاع آن کاسته شده است. این موضوع برای ذرات واقع در ارتفاع ١٥٠٠ متری (مسیر سبز رنگ) نیز صادق است با این تفاوت که در روز نخست توفان، ذرات گردوغبار در طیف گسترده‌ای از ارتفاع زیر ٥٠٠ متر تا ٣٠٠٠ متری ارتفاع داشته و در ساعات ٠٠ و ١٢ روز ٤ جولای افت ارتفاع شدیدی یافته و به حدود ١٠٠٠ متری رسیده‌اند که این وضع تا ساعت ٠٠ روز ٦ جولای ادامه داشته است. از سوی دیگر با توجه به نتایج خروجی مدل، سرعت انتقال ذرات غبار به تناسب ارتفاع بیش‌تر بوده و ذرات با سرعت بالاتری به ایستگاه‌های مذکور وارد شده‌اند

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

که می‌توانسته به دلیل حذف عامل اصطکاک و وجود جت بادهای سطح بالا بوده باشد. وضعیت هوا در روز ٦ و ٧ جولای برای مرزهای جنوب‌غربی ایران آسمان ابری بوده که معمولاً در زمان ایجاد توفان گردوغبار گزارش می‌شود. خروجی مدل برای ایستگاه‌های خرم‌آباد و ایلام نیز حاکی از ورود سامانه‌های گردوغباری از سمت غرب به ایستگاه‌های مذکور بوده به این صورت که ذرات در ارتفاع ۵۰۰ متری (مسیر قرمز رنگ) در زمان تشکیل توفان در روز ۳ جولای تا ساعت ۰۰ روز ٦ جولای در ارتفاع ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ متری از سطح زمین قرار داشته‌اند و در روز ٦ جولای و همزمان با ورود به مرزهای کشور از ارتفاع آن کاسته شده است. این حالت برای ذرات گردوغبار در ارتفاع ۱۰۰۰ متری (مسیر آبی رنگ) هم رخ داده یعنی این ذرات نیز به‌طور متوسط در زمان تشکیل تا ارتفاع ۲۰۰۰ و بالاتر از ۳۰۰۰ گسترش یافته‌اند و در نیمروز ۵ جولای تقریبا ارتفاع ثابتی یافته است. ذرات ارتفاع ۱۵۰۰ متری (مسیر سبز رنگ) بر خلاف موارد پیشین در زمان تشکیل توفان تا روز ٦ جولای ارتفاع پایین‌تری داشته و در روز ٦ جولای بر ارتفاع و سرعت آن افزوده شده است.

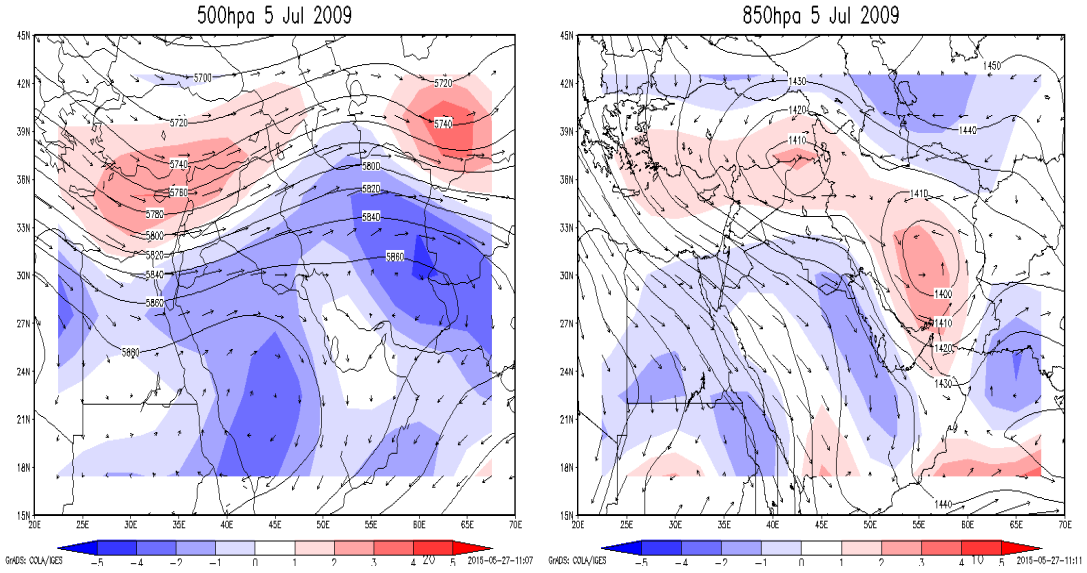


شکل ۳: خروجی مدل HYSPLIT در Google Earth و ردیابی پسگرد توفان گردوغبار توفان اول

در نقشه‌ی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال روز پنجم جولای ۲۰۰۹ (شکل ٤، سمت چپ) به‌عنوان یکی از شدیدترین توفان‌های گردوغباری که در کشور رخ داده و غبار آن حتی به شهر تهران نیز سرایت نموده، خطوط هم‌فشار از وجود سیستم گسترده‌ی کم‌فشاری در نیمه‌ی غربی ایران، شمال عراق و جنوب ترکیه حکایت می‌کنند و مرکز قوی این سیستم کم‌فشار بر روی نواحی مرکزی ایران قرار گرفته است. وجود این کم‌فشار به همراه تاوایی مثبت شمال عراق سبب صعود هوا و تأثیر بر جهت بادها شده است، به‌طوری که مسیر اصلی حرکت بادها بر روی منطقه‌ی

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

مطالعه غربی بوده و موجب انتقال ذرات گردوخاک به نواحی شمال‌غرب و غرب ایران شده است. در نقشه‌ی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۵، سمت راست) مشاهده می‌شود که بر روی دریای مدیترانه و غرب عراق، ناوه نسبتاً عمیقی قرار گرفته که با تاوایی مثبت شدید در شمال مدیترانه، عراق و ایران سبب ایجاد حرکت شرق سوی بادها به‌صورت موازی با خطوط هم ارتفاع شده است. سرعت بالای بادها در این تراز و جهت حرکت‌شان بر تشدید انتقال سامانه‌های گردوخاکی به سمت ایران کاملاً مؤثر بوده است.



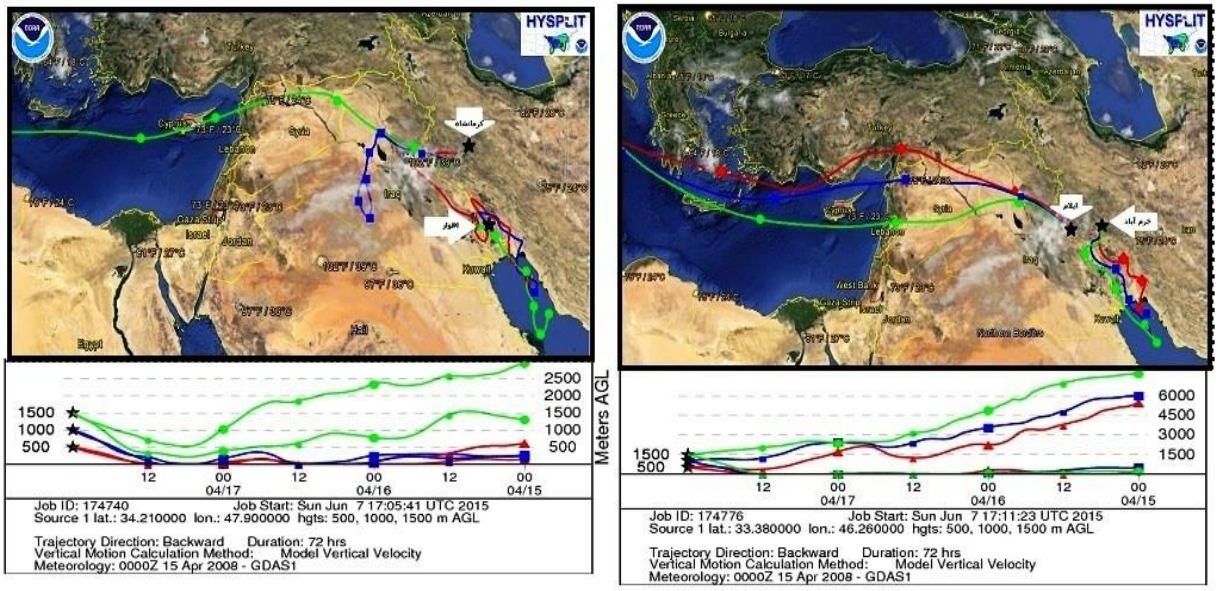
شکل ٤: نقشه‌های ژئوپتانسیلی، تاوایی و باد برداری سطوح ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال توفان ٤-۷ جولای ۲۰۰۹ (توفان اول)

توفان دوم: روزهای ۱۵ تا ۱۸ آوریل ۲۰۰۸

خروجی مدل برای توفان ۱۸ آوریل ۲۰۰۸ ایستگاه‌های کرمانشاه و اهواز روند پیچیده‌ای را نشان می‌دهد. با توجه شکل ۵، منشا توفان برای ایستگاه اهواز داخلی بوده و یا احتمالاً مربوط به بیابان‌های شمالی امارات و یا شمال‌شرق عربستان بوده است در ضمن ذراتی که در ارتفاعات ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ متری وارد ایستگاه اهواز شده‌اند در ساعات اولیه تشکیل با توجه به موقعیت جغرافیایی مناطق شمالی خلیج‌فارس، ارتفاعی به نسبت پایین و زیر ۵۰۰ متر داشته‌اند که با نزدیک شدن به دامنه‌های جنوب‌غربی زاگرس در ساعات پایانی روز ۱۸ آوریل افزایش ارتفاع داشته‌اند. نتایج خروجی مدل، برای ایستگاه کرمانشاه اما روندی دیگر را به نمایش گذاشته است؛ با توجه به شکل منشا توفان ۱۸ آوریل ایستگاه کرمانشاه به سه دسته تقسیم شده است. بیابان‌های کشور سوریه و تا حدودی بیابان‌های شمال‌شرقی مصر، بیابان‌های داخلی کشور عراق و بیابان‌های شمال‌شرقی کشور عربستان مشابه آنچه برای ایستگاه اهواز ذکر شد. به این ترتیب که ذرات واقع در ارتفاع ۵۰۰ متری (مسیر قرمز رنگ) که از سمت جنوب‌غربی و از روی خلیج‌فارس

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

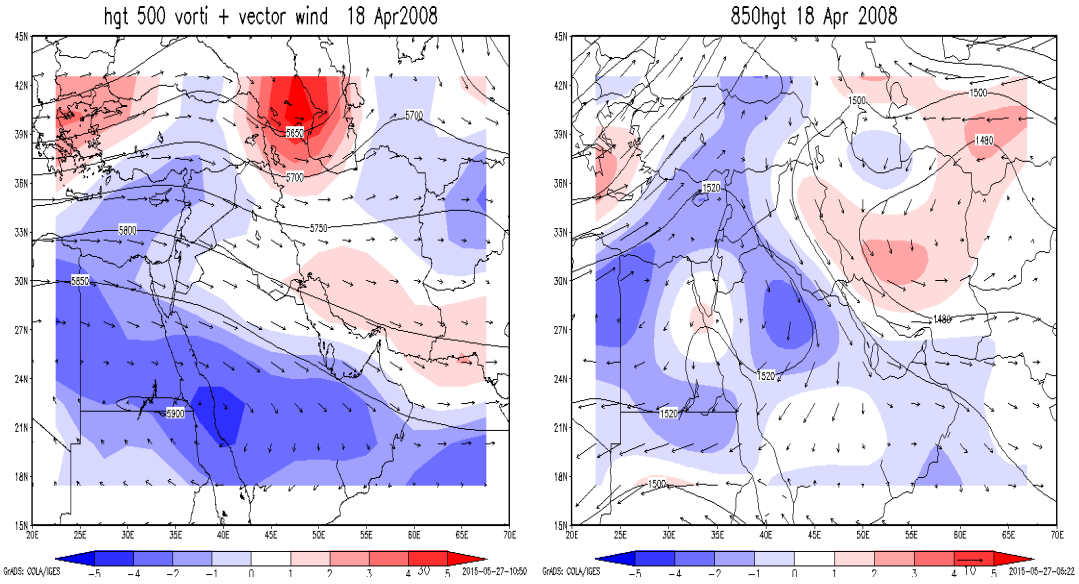
و شمال‌شرق عربستان وارد ایستگاه کرمانشاه شده‌اند؛ در زمان تشکیل در ارتفاع کم‌تر از ۵۰۰ متر و نزدیک سطح زمین بوده و با نزدیکی به رشته‌کوه‌های زاگرس تحت تاثیر شیب دامنه، ارتفاع یافته است. ذرات مسیر آبی رنگ که با ارتفاع ۱۰۰۰ متر از بیابان‌های داخلی عراق وارد ایستگاه مذکور شده در زمان تشکیل همچون ذرات غبار مسیر قرمز رنگ، ارتفاع بسیار اندکی داشته به نحوی که در ساعات پایانی روز ۱۸ آوریل به زحمت در ارتفاع ۱۰۰۰ متری وارد ایستگاه شده است؛ اما ذرات واقع در ارتفاع ۱۵۰۰ متری (مسیر سبز رنگ) که از بیابان‌های سوریه و تا حدودی کشور مصر منشا یافته در زمان تشکیل، ارتفاع بالاتر از ۱۵۰۰ متری داشته اما با سرعت پایین‌تری (به سبب بعد مسافت) وارد ایستگاه‌ها شده است. مسیر طی شده توسط ذرات گردوغبار برای ایستگاه‌های ایلام و خرم‌آباد تفاوت چندانی با ایستگاه‌های اهواز و کرمانشاه نداشته است. منشا ذرات غبار ایستگاه خرم‌آباد همانند اهواز نواحی شمال شرقی عربستان و امارات برآورد می‌شود که از سمت جنوب وارد ایستگاه شده است و ذرات دارای ارتفاع ۵۰۰ متری نسبت به دو ارتفاع ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متر سرعت بیش‌تری داشته و زودتر به ایستگاه خرم‌آباد رسیده است. خروجی مدل برای ایستگاه ایلام نیز نشان می‌دهد که منشا ذرات ورودی به این ایستگاه بیابان‌های کشورهای مصر، سوریه و عراق بوده که در زمان تشکیل تا ساعات پایانی روز ۱۶ آوریل میانگین ارتفاعی بالای ۳۰۰۰ متر داشته که در روز بعد (۱۷ آوریل) به‌طور متناوب از ارتفاع ان کاسته شده و در نهایت در ارتفاعات ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ متری از سمت غرب وارد ایستگاه ایلام شده و دید افقی را به‌شدت کاهش داده است. در ضمن باید اشاره نمود که ذرات گردوغبار با ورودشان به ایستگاه ایلام نقش هستک تراکم را بازی کرده و آسمانی ابری را برای استان ایلام فراهم آورده است.



شکل ۵: خروجی مدل HYSPLIT در Google Earth و ردیابی پسگرد توفان گردوغبار توفان دوم

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

بر اساس نقشه، تراز ۸۵۰، روز ۱۸ آوریل ۲۰۰۸ (شکل ٦، سمت چپ) روی دریای مدیترانه و مرکز ایران، سلول کم فشار قوی قرار دارد. در ضمن، در این تراز بیشینه‌ی تاوایی مثبت در مرکز ایران مشاهده می‌شود و جهت بادها نیز مؤید گردش سیکلونی هستند. مجموع این شرایط سبب صعود هوا شده که با عنایت به فصل مورد مطالعه و به علت کمبود رطوبت، ناپایداری ایجاد شده منجر به برخاستن و پراکندگی ذرات گردوغبار در جو شده است. جهت بادها در این تراز بر روی منطقه‌ی مطالعه (از سمت عراق) است. در نقشه‌ی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، دو مرکز کم ارتفاع (ناوه) یکی روی دریای مدیترانه و دیگری روی دریای خزر مشاهده می‌شود که امتداد آن تا از شمال تا جنوب ایران کشیده شده است. وجود کم‌فشار در سطح زمین و ناوه در تراز فوقانی موجب ایجاد کم‌فشار حرارتی بسیار ناپایدار در بخش‌های زیادی از کشور شده است. اصولاً حرکت این کم‌فشارهای حرارتی در سطح زمین بسیار سریع بوده و گاه موجب ایجاد جت بادهای سطحی نیز می‌شوند.



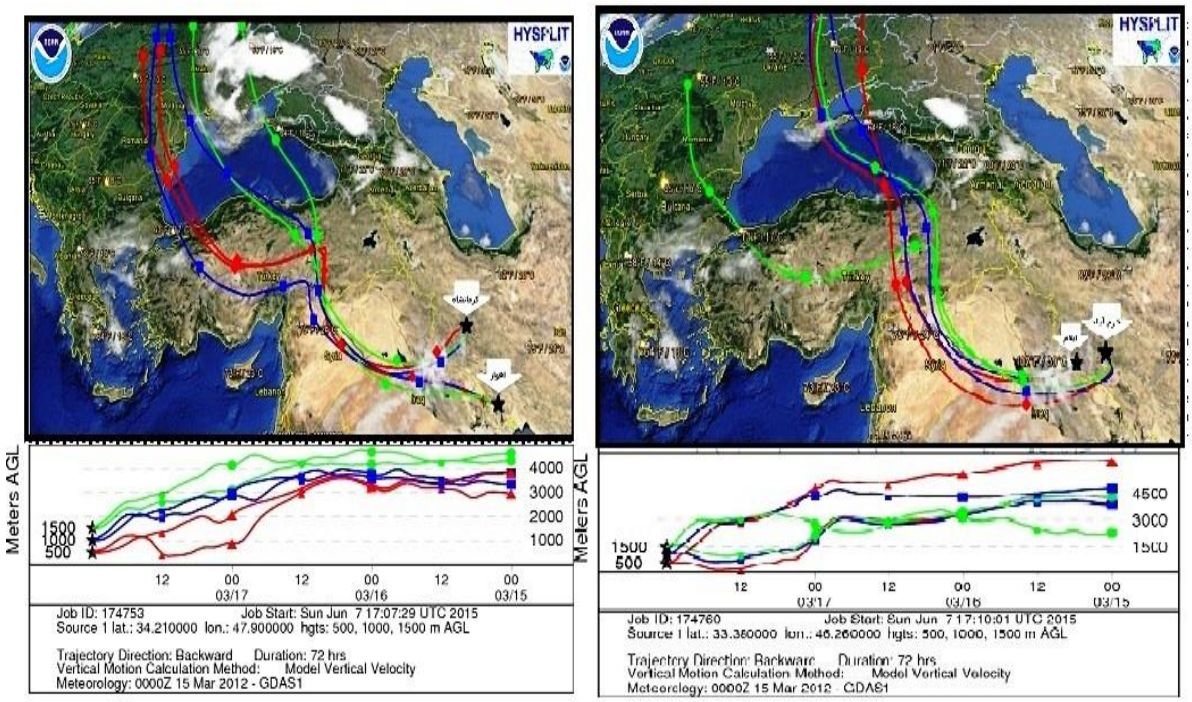
شکل ٦: نقشه‌های ژئوپتانسیلی، تاوایی و بادبرداری سطوح ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال روز ۱۸ آوریل ۲۰۰۸ (توفان دوم)

توفان سوم: روزهای ۱۵ تا ۱۹ مارس ۲۰۱۲

نتایج حاصل از خروجی مدل برای توفان گردوغبار ۱۸ مارس ۲۰۱۲ برای ایستگاه‌های کرمانشاه و اهواز نشان می‌دهد که جریانات جوی از روی کشورهای ترکیه، سوریه و عراق گذشته و به احتمال زیاد با ورود سامانه به داخل مرزهای سوریه و عراق و گذر از روی بیابان‌هایی با رطوبت سطحی اندک، ذرات گردوغبار را حمل کرده و با ورود خود از سمت جنوب‌غرب (ایستگاه کرمانشاه) و شمال‌غرب (ایستگاه اهواز) سبب کاهش شدید میزان دید افقی در این ایستگاه‌ها شده است. با توجه به نمای قائم مدل می‌توان دریافت که ارتفاع ذرات گردوغبار در ابتدای تشکیل

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

توفان در ساعت ۰۰ روز ۱۶ مارس تا ساعت ۱۲ روز هفدهم، درست زمانی که ذرات بر روی کشورهای ترکیه و سوریه قرار داشتند به‌طور متوسط بالای ۳۰۰۰ متر قرار داشته است و با قرارگیری روی بیابان‌های کشور (روز ۱۷ مارس) ارتفاع با روندی نزولی تا داخل مرزهای ایران کاهش یافته است. برداشت دیگری که می‌توان از خروجی مدل داشت، آن است که ذرات واقع در ارتفاعات ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متری (هر سه مسیر قرمز، آبی و سبز رنگ) تقریباً با سرعت یکسانی وارد ایستگاه‌های مورد بررسی شده و در زمان ورود به مرزهای ایران سبب ایجاد آسمان ابری شده است. نتایج مدل برای ایستگاه‌های خرم‌آباد و ایلام نیز الگوی مشابهی را به نمایش گذاشته است اما با این تفاوت که گستره ارتفاعی ذرات غبار در ساعت ۰۰ روز ۱۷ مارس محدودتر شده که این امر حاکی از تراکم بالای ذرات غبار در آسمان استان‌های مذکور بوده و دید افقی را به‌شدت محدود نموده است. سرعت انتقال ذرات در مسیرهای مختلف در ارتفاعات مختلف، باز هم مشابه بوده و ذرات از سمت جنوب‌غرب و غرب وارد ایستگاه‌ها شده‌اند.

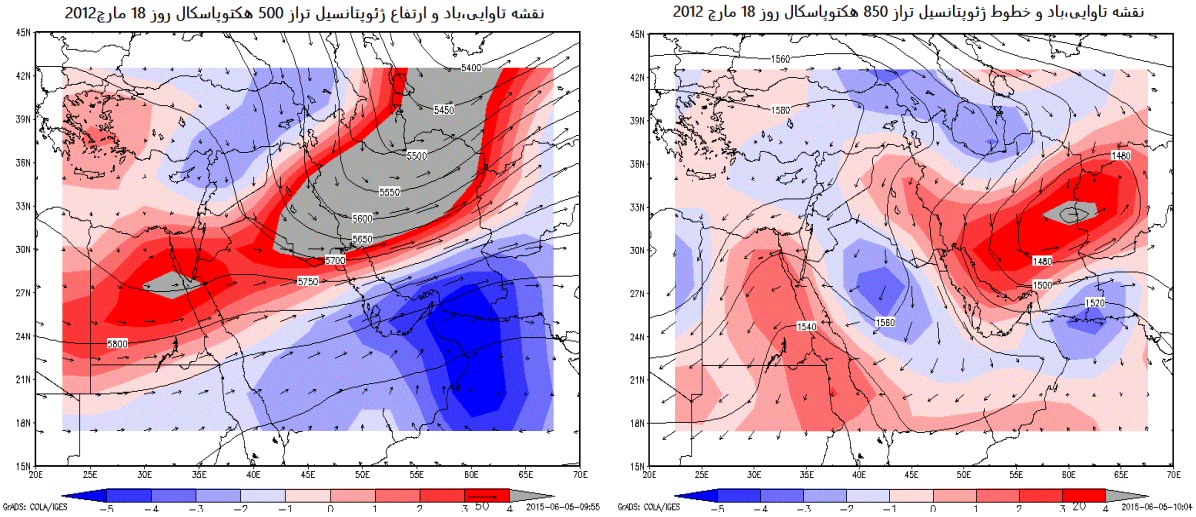


شکل ۷: خروجی مدل HYSPLIT در Google Earth و ردیابی پسگرد توفان گردوغبار توفان سوم

در بررسی ارتباط بین مؤلفه‌های گردشی با توفان گردوغبار روز ۱۸ مارس ۲۰۱۲ و با توجه به نقشه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مشاهده می‌شود که بر روی نواحی شرقی ایران مرکز تاوایی مثبت قدرت‌مندی درست در محل هسته کم‌فشار قرار گرفته که سبب تقویت حرکت سیکلونی در جریانات جوی این تراز شده و جهت عمومی بادها را در

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

نواحی شرقی و جنوبی ایران تحت تاثیر خود قرار داده است. با توجه به مسیر طی شده توسط توفان در خروجی مدل هایسپلیت و مقایسه آن با جهت حرکت جریانات جوی در نقشه (شکل ۸، الف) می‌توان دریافت که سیستم‌های جوی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال تاثیر چندانی بر روند حرکتی و گسترش توفان گردوغبار نداشته است.



شکل ۸: نقشه‌های ژئوپتانسیلی، تاوایی و بادبرداری سطوح ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال روز ۱۸ مارس ۲۰۱۲ (توفان سوم)

نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۸، ب) حاکی از قرارگیری محور ناوه با جهت جنوب‌شرقی بر روی ایران است که سبب تقویت تاوایی مثبت و حرکت سیکلونی بسیار قدرتمند بر روی کشورهای ایران، عراق و سوریه و شمال عربستان شده و جهت و سرعت جریانات جوی در این تراز را تحت تاثیر خود قرار داده است به نحوی که عمده جریانات جوی از بیابان‌های کشورهای سوریه، عراق و تا حدودی شمال عربستان به سمت نواحی جنوب‌غربی ایران به‌خصوص ایستگاه‌های منتخب (کرمانشاه، ایلام، خرم‌آباد و اهواز) بوده که با نتایج خروجی مدل هایسپلیت انطباق دارد. از سوی دیگر وجود مرکز تاوایی منفی و حرکات آنتی سیکلونی بر روی دریای عمان، جریانات غرب سو در نواحی جنوب و جنوب‌غربی ایران را تقویت کرده که همین امر می‌توانسته در هدایت هرچه بیش‌تر ذرات گردوغبار به مرزهای داخلی ایران دخیل باشد.

نتیجه‌گیری

بررسی الگوهای فشار در زمان رخداد سه توفان شدید گردوغبار نشان داد که به‌طور کلی استقرار سلول‌های کم‌فشار بر نواحی مرکزی کشور موجب هم‌گرایی و مکش هوا در سطح زمین و واگرایی هوا در سطوح بالاتر شده است.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

تاوایی منفی در جنوب عراق و تاوایی مثبت نسبتاً قوی در نواحی داخلی ایران سبب تشکیل حرکات سیکلونی و وزش باد با جهت غربی در منطقه‌ی مورد مطالعه شده و این امر موجب انتقال گردوغبار از روی بیابان‌های خشک کشورهای مجاور به جنوب‌غرب ایران شده است. سرعت زیاد باد در ترازهای پایینی انتقال سریع‌تر ذرات گردوخاک به منطقه را تسهیل کرده است. در کل، می‌توان علت رخداد هر سه توفان شدید گردوغبار در منطقه را تضعیف پرفشارهای دینامیکی حاکم بر منطقه در فصل گرم و استقرار کم‌فشارهای حرارتی در مجاورت سطح زمین، به‌ویژه در مرکز ایران و استقرار سیستم‌های کم ارتفاع در تراز میانی اتمسفر دانست. بر اساس خروجی‌های مدل هایسپلیت، منشأهای تولید گردوغبار وروردی به منطقه‌ی مطالعه شامل مناطق خشک جنوب ترکیه، بیابان‌های عراق و سوریه است و مسیرهای شناسایی شده برای ورود گردوغبار بر اساس نتایج سه توفان شدید مورد مطالعه در این پژوهش مسیر غربی، شمال و جنوب‌غربی و از روی بیابان‌های سوریه و شمال عراق و مسیر شمال‌غربی ناشی از بیابان‌های سوریه و عراق است. گفتنی است که در مسیر شمال‌غربی (توفان اول در این پژوهش) دید افقی کاهش محسوس‌تری داشته است. در مقایسه با نتایج پژوهش رنجبرسعادت آبادی و عزیزی (۱۳۹۱) می‌توان تایید نمود که بیابان‌های کشور عراق، سهم قابل ملاحظه‌ای در تامین منابع گردوغبار توفان‌های شدید گردوغبار در کشور را به خود اختصاص می‌دهند. همچنین در مقایسه با پژوهشی از اکبری و فرح‌بخشی (۲۰۱۵)، به‌نظر می‌رسد صرف‌نظر از تشابه الگوهای سینوپتیک غبارآور، می‌توان تایید نمود که با استقرار کم‌فشارهای حرارتی در نواحی مرکزی کشور، خاصیت مکندگی و هم‌گرایی جریان‌های سیکلونی به‌ویژه از سوی بیابان‌های کشور عراق، منجر به توفان‌های شدید و فراگیر می‌شود. همچنین، بر اساس خروجی‌های مدل هایسپلیت می‌توان نتیجه گرفت که تقریباً در تمام توفان‌های شدید، ارتفاع ورود ذرات گردوغبار، بالاتر از ۱۶۰۰ متری بوده و از این‌رو، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی و طرح های زیست‌محیطی، برای ایجاد دیوار سبز در غرب ایران، به این نکته نیز توجه شود زیرا حرکت ذرات غبار در ارتفاعات را نمی‌توان تنها با دیوارهای سبز مرزی کنترل نمود و با توجه به روند صعودی فراوانی رخداد پدیده‌ی گردوغبار در دهه‌ی اخیر و همخوانی آن با پدیده‌ی گرمایش جهانی، پیشنهاد می‌شود برای حل این معضل، نگاه فراملی و بین‌المللی داشت.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

منابع

- امیدوار، کمال (۱۳۸۵)، «بررسی و تحلیل سینوپتیکی توفان‌های ماسه در دشت یزد اردکان»، ***فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی***، شماره ٤٣، صص ۸۱-۵۸.

- ذوالفقاری، حسن؛ معصوم پورسماکوش، جعفر؛ شایگان‌مهر، شاپور؛ احمدی، محمد (۱۳۹۰)، «بررسی همدید توفان‌های گردوغبار در مناطق غربی ایران طی سال‌های ۱۳٤۸ تا ۱۳۸۸ (مطالعه موردی: موج فراگیر تیر ماه ۱۳۸۸)»، ***نشریه‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی***، شماره ۳، صص ۳٤-۱۷.

- رنجبرسعادت‌آبادی، عباس؛ عزیزی، قاسم (۱۳۹۱)، «مطالعه‌ی الگوهای هواشناسی، شناسایی چشمه‌های تولید گردوغبار و مسیر حرکت ذرات معلّق برای طوفان جولای ۲۰۰۹»، ***پژوهش‌های جغرافیای طبیعی***، شماره ٤٤، صص ۹۲-۷۳.

- سجادی، ژیلا؛ کوشکی، فردین (۱۳۹۰)، «تحلیل پدیده‌ی گردوغبار در ایران از منظر علم جغرافیا»، اولین کنگره بین‌المللی پدیده گردوغبار و مقابله با آثار زیان‌بار آن، ۲۸-۲٦ بهمن ماه، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان.

- ظریفی، کوکب؛ حبیبیان، بهار (۱۳۹۰)، «بررسی تاثیر پدیده‌ی گردوغبار بر بهداشت و انسان»، اولین کنگره بین‌المللی پدیده گردوغبار و مقابله با آثار زیان‌بار آن، ۲۸-۲٦ بهمن ماه، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان.

- عزیزی، قاسم؛ میری، مرتضی؛ نبوی، امید (۱۳۹۱)، «ردیابی پدیده‌ی گردوغبار در نیمه‌ی غربی ایران»، ***مطالعات جغرافیایی مناطق خشک***، شماره ۷، صص ۸۱-٦۳.

- عطایی‌هوشمند؛ احمدی، فریبرز (۱۳۸۹)، «گردوغبار به‌عنوان یکی از معضلات زیست‌محیطی جهان اسلام مطالعه موردی: استان خوزستان»، مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، ۲۵-۲۷ فروردین ۱۳۸۹، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان، صص ۱۹-۱.

- علیجانی، بهلول (۱۳۷٦)، «***آب‌وهوای ایران***»، تهران، انتشارات دانشگاه پیام نور.

- فرح‌بخشی، ملودی؛ علیجانی، بهلول؛ فتاحی، ابراهیم (۱۳۹٤)، «تحلیل سینوپتیکی مخاطره گردوغبار (۱۰ تا ۱۲ مرداد ۱۳۹۲) ایران»، ***دانش مخاطرات***، شماره ۱، صص ۲۰-۵.

- کاویانی، محمدرضا (۱۳۸٦)، «***میکروکلیماتولوژی***»، تهران، انتشارات سمت.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- لشکری، حسن؛ کیخسروی، قاسم (۱۳۸۷)، «تحلیل آماری سینوپتیکی توفان‌های گردوغبار استان خراسان رضوی در فاصله‌ی زمانی ۱۹۹۳-۲۰۰۵»، ***پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی***، شماره ٦٥، صص ۳۳-۱۷.

- مفیدی، عباس؛ جعفری، سجاد، (۱۳۹۰)، «بررسی نقش گردش منطقه‌ای جو بر روی خاورمیانه در وقوع توفان‌های گردوغباری تابستانه در جنوب غرب ایران»، ***مطالعات جغرافیایی مناطق خشک***، شماره ۵، صص ٤٠-۱۹.

- Akbary, M., Farahbakhshi, M., (2015), "Analyzing and tracing of dust hazard in recent years in kermanshah province", ***International Journal of Environmental Research***, 9 (2): 673-682.

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

- Barnum, B. H., Winstead, N. S., Wese. J., Hakola, A., (2003), "Forecasting Dust Storm using COAMPS-Dust model and MM5 weather data on Iraq", ***Environmental Modelling & Softwar***, 19: 129-140.

- Chan, Y. C., McTainsh, G., Leys, J., McGowan, H., Tews, K., (2005), "Influence of the 23 October 2002 dust storm on the air quality of four Australian cities", ***Water Air and soil pollution***", 164: 329-348.

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

- Gillette, D. A., Hanson, K. J., (1989), "Spatial and temporal variability of dust production caused by wind erosion in the united states", ***Journal of Geophysical Research***, 94: 2197-2206.

- Goudie, A. S., (2006), "Dust storms: recent developments", ***Journal of Environmental Management***, 90: 89-94.

- Kais, J., Al-Jumaily., Morwa K. Ibrahim, (2013), "Analysis of synoptic situation for dust storms in Iraq", ***Journal of Energy and Environment***, 4 (5): 851-858.

- Kim, J., (2008), "Transport routes and source regions of Asian dust observed in Korea during the past 40 years (1965–2004)", ***Atmospheric Environment***, 42: 4778–4789.

- Maghrabi, A., Alharbi, B., Tapper, N., (2011), "Impact of the March 2009 dust event in Saudi Arabia on aerosol optical properties, meteorological parameters, sky temperature and emissivity", ***Atmospheric Environment***, 45: 2164-2173.

- Meng, Z. Q., Zhang, Q.X., (2006), "Oxidative damage of dust storm fine particles instillation on lungs, hearts and livers of rats", ***Environmental Toxicology and Pharmacology***, 22: 277-282

- Park, S. U., Change, L. S., Lee, E. H., (2005), "Direct radioactive forcing due to aerosols in East Asia during a Wangsa (Asian Dust) event observed on 19-23 March 2002 in Korea", ***Atmos Environ***, 39: 2593-2606

- Seinfeld, M., Dominici, F., Currieo, F. C., Coursac, I., Zeger, S. L., (2004), "Fine particulate air pollution and mortality in 20 US cities, 1987-1994", ***The New England Journal of Medicine***, 343: 1742-1749

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- Wang, X., Zhou, Z., Dong, Z., (2006), "Control of dust emissions by geomorphic conditions, wind environments and land use in northern china: an examination based on dust storm frequency from 1960 to 2003", ***Geomorphology***, 81: 292-308.
- Wang, Y., Stein, A., Draxler, R., Rosa, D., Zhang, X., (2012), "Global sand and dust storms in 2008, Observation and HYSPLIT model verification", ***Atmospheric Environment***, 45: 6368-6381.
- Wilkerson, W. D., (1991), "Dust and sand forecasting in iraq and adjoining countries, AWS/TN-- 91/001", ***Air Weather Service***, Scott Air Force Base, IL, PP 72-83.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]