

پایش طوفان گردوغبار در نیمه غربی ایران مطالعه موردی: طوفان گردوغبار ۱۶ تا ۱۹ ژوئن ۲۰۱۵

دکتر زهرا حجازی زاده، استاد اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران.

میثم طولابی نژاد، دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران!

زهرا زارعی چقابلیکی، دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه لرستان.
بهزاد امرایی، گروه زیست شناسی دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۷/۰۴ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۲/۲۲

چکیده

این تحقیق باهدف شناسایی کانون و عوامل همدید موج طوفان گردوغبار ۱۶ تا ۱۹ ژوئن ۲۰۱۵ در غرب ایران انجام گرفت. جهت بررسی شرایط همدیدی علل وقوع این پدیده، از مجموعه داده‌های پیش‌بینی میان‌مدت جوی مرکز اروپائی (ECMWF) با قدرت تفکیک ۰/۱۲۵ درجه قوسی شامل، ارتفاع ژئوپتانسیل، امگا، فشار تراز دریا، مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهار، رطوبت و بیژه، رطوبت خاک تا عمق ۱۰ سانتی‌متری و عمق اپتیکی گردوغبار استفاده گردید. جهت مسیریابی منشأ ذرات گردوغبار مدل حداقل پارامترهای هواشناسی (Hysplit) مورد استفاده قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که ناپایداری‌های ایجاد شده توسط کم‌فشارهای حرارتی سطح زمین و تحرکات پرفشار عربستان، همراه با استقرار یک بریده کم‌فشار در سطوح میانی جو در شرق خزر در رخداد این مخاطره مؤثر بوده است. بررسی نقشه‌های ردیابی حاصل از Hysplit نشان می‌دهد که دو مسیر کلی برای انتقال گردوغبار به منطقه مورد مطالعه قابل تشخیص است. ۱- مسیر شمال غربی - جنوب شرقی در ارتفاع ۱۵۰۰ متری: که با عبور از روی هسته‌های گردوغبار شکل گرفته در غرب عراق و شرق سوریه عمل انتقال به نیمه غربی ایران را انجام می‌دهند؛ بطوریکه این جریانات توانسته‌اند گردوغبار را تا جنوب غرب ایران نیز انتقال دهند. ۲- مسیر غربی - شرقی در ارتفاع ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متری: منبع ذرات این مسیر داخل کشور (اطراف هورالعظیم) است که منشأ اصلی گردوغبار روزهای ۱۸ و ۱۹ ژوئن در لرستان بوده است. با توجه به اینکه رطوبت خاک بیابان‌های عراق و سوریه تا عمق ۱۰ سانتی‌متری کم‌تر از ۱۵ درصد بوده است، با عبور جریانات از روی این مناطق، ذرات ریز خاک به راحتی توسط سامانه‌های همدید به سمت غرب ایران منتقل شده است.

واژگان کلیدی: گردوغبار، سامانه همدید، مدل Hysplit، عمق اپتیکی، ایران.

مقدمه

گردوغبار یکی از پدیده‌های متداول و در ردیف بزرگ‌ترین مشکلات جوی محیطی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که این امر هر ساله آثار مخربی برای ساکنان این مناطق دارد و خسارت‌های زیادی را به بخش‌های مختلف وارد می‌کند. در سال‌های اخیر آلودگی ناشی از ذرات گردوغبار به یکی از معضلات زیست‌محیطی به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه تبدیل شده است (علی‌آبادی، ۱۳۹۴: ۳). این پدیده عمدتاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک در نتیجه سرعت زیاد باد و تلاطم آن بر روی سطح خاک بدون پوشش و مستعد فرسایش به وجود می‌آید (Miller et al, 2008: 113) که اغلب باعث کاهش میدان دید به کمتر از یک کیلومتر شده و در شدیدترین حالت غلظت ذرات معلق می‌تواند حتی به بیش از ۶۰۰۰ میلی‌گرم در هر مترمکعب هوا برسد (Song et al, 2007: 112). طوفان‌های گردوغبار از پدیده‌های مخرب اقلیمی بر روی نقشه‌های سینوپتیکی بوده که متأثر از عناصر اقلیمی فشار، ابرناکی، بارندگی، رطوبت نسبی، باد، دما و تبخیر است (لشکری و کیخسروی، ۱۳۸۷: ۱۹) که همه‌ساله خسارات جبران‌ناپذیری به سلامتی انسان، مزارع، تأسیسات عمرانی و صنعتی، خطوط مواصلاتی و مراکز جمعیتی وارد می‌کند؛ اما در صورت شناخت منشأ، سازوکار تکوین، نحوه گسترش و ارتباط آن با الگوهای گردشی اتمسفری، می‌توان تا حدودی از آسیب‌های آن کاست و یا با آن مقابله نمود (Shao & Dong, 2006: 2). همچنین گردوغبار در میزان تابش خورشیدی و زمین تاب، جذب و پخش تابش در جو، تأثیر داشته بدین ترتیب نوع و توزیع این ذرات در گرمایش و سرمایش جو دارای نقشی اساسی است (Maghrabi & Alharbi, 2008: 2166). این عوامل ضرورت مطالعه طوفان‌های گردوغبار این مناطق را بیش‌ازپیش ایجاب کرده و اهمیت آن‌ها را در مجامع علمی دوچندان نموده است (خوشحال دستجردی و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۵).

طوفان‌های گردوخاک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اشکال آلودگی جوی از زوایای مختلف مورد توجه محققین خارجی و داخلی قرار گرفته است و مطالعات متعددی در این زمینه انجام شده است. (Natsagdorg et al, 2002)، ویژگی‌های سینوپتیکی حاکم بر تشکیل طوفان‌ها گردوغبار شمال شرق آسیا را مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج نشان داد که یک طوفان گردوغبار در این منطقه همیشه با یک سیستم کم‌فشار یا چرخند همراه است که میزان گردوغبار در قطاع گرم سیکلون به حداکثر خود می‌رسد. (Barkan et al, 2005)، در بررسی چگونگی انتقال گردوغبار به ایتالیا و مرکز اروپا استقرار پرفشار جنب‌حاره‌ای روی جنوب شرق مدیترانه و کم‌فشار ناشی از تراف ایسلند در غرب آفریقا را به‌منزله عامل اصلی گردوغبار و انتقال آن به ایتالیا و مرکز اروپا معرفی می‌کنند. (Draxler, 2006)، با استفاده از مدل HYSPLIT انتقال و پخش آلودگی را در واشنگتن بررسی کرد. نتایج تحقیقات (Perez et al, 2006)، نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن فاز تولید گردوغبار می‌توان پیش‌بینی‌های آب و هوایی را در یک مدل منطقه‌ای بهبود بخشید. (Hamish & Andrew, 2008)، مسیرهای حمل گردوغبار از دریاچه ایر استرالیا را بررسی کردند و بیان کردند که گردوغبار این دریاچه تحت تأثیر جریان‌های جوی طی زمان کوتاه قادر است هزاران کیلومتر از قاره استرالیا را تحت تأثیر قرار دهد. (Ginoux et al, 2010)، برای بررسی گردوغبار در شمال نیجریه و جنوب چاد، از الگوریتم اسپکترورادایومتر ۵ (دیپ بلو ۶) بهره گرفتند نتایج مطالعات آنان نشان داد که اگرچه گردوغبارهای ناشی از فعالیت‌های انسانی با عمق نوری کمتری مشاهده می‌شوند، ولی در مجموع منطقه بزرگ‌تری را تحت تأثیر قرار می‌دهند. (Wang et al, 2011)، طوفان‌های شن و گردوغبار سال ۲۰۰۸ را بررسی و چهار منطقه آفریقای شمالی، خاورمیانه، مغولستان و شمال غرب چین را با فراوانی بالای رخداد گردوغبار بیان کردند. (Bian et al, 2011)، یک مورد طوفان گردوغبار شدید در چین را با استفاده از مدل عددی

Dust_WRF مورد بررسی قرار دادند، از مقایسه تصاویر سنجده مودیس با خروجی‌های این مدل روشن شد که سهم عمده تولید غبار در چین ناشی از بادهای شدید سطحی در بیابان گبی هست. (Vishkaee et al, 2011)، به بررسی توزیع عمودی انتشار گردوغبار و منابع آن در تابستان ۲۰۰۷ بر رو شمال غرب ایران با استفاده از مدل HYSPLIT نشان دادند که منبع گردوغبار ایران در ۳-۵ ماه اوت از سوریه -عراق و منطقه قم دریاچه نمک در نزدیکی دشت کویر هست. (Gao et al, 2011)، با روش‌های مختلفی از آماری، همدید و ماهواره‌ای به مطالعه تغییرات فصلی، منشأ و مسیریابی پدیده گردوغبار در شرق آسیا پرداختند. (Yerramilli et al, 2012)، به بررسی آلودگی در خلیج می‌سی‌سی‌پی با استفاده از مدل‌های WRF و HYSPLIT پرداختند. در مطالعه دیگر (Hsu et al, 2013) ، به بررسی قابلیت‌های الگوریتم دیپ-بلو برای شناسایی پدیده گردوغبار پرداختند. آن‌ها بعد از بررسی فراوان در مناطق صحرا در شمال آفریقا و مناطق نیمه‌خشک خاورمیانه و آفریقا دریافتند که این الگوریتم انعطاف‌پذیری بالایی دارد و انتخاب عمق نوری مناسب می‌تواند برای آشکارسازی پدیده گردوغبار در مناطق خشک و نیمه‌خشک مناسب تلقی گردد. (Waldhauserova et al, 2016)، با استفاده از شبیه‌سازی عددی به بررسی مقدار گردوغبار طی دو طوفان در جنوب غربی ایسلند که مقدار طوفان اول حاوی ۱۸۰۰۰۰ و طوفان دوم حاوی ۲۸۰۰۰۰ تن ذرات گردوغبار بودند پرداخته و دریافتند که مقدار گرد و غبار آتشفشانی در ایسلند یک نسبت بالاتری نسبت به ذرات زیرمیکرون است و طوفان در مناطق نسبتاً پرجمعیت ایسلند رخ داده است.

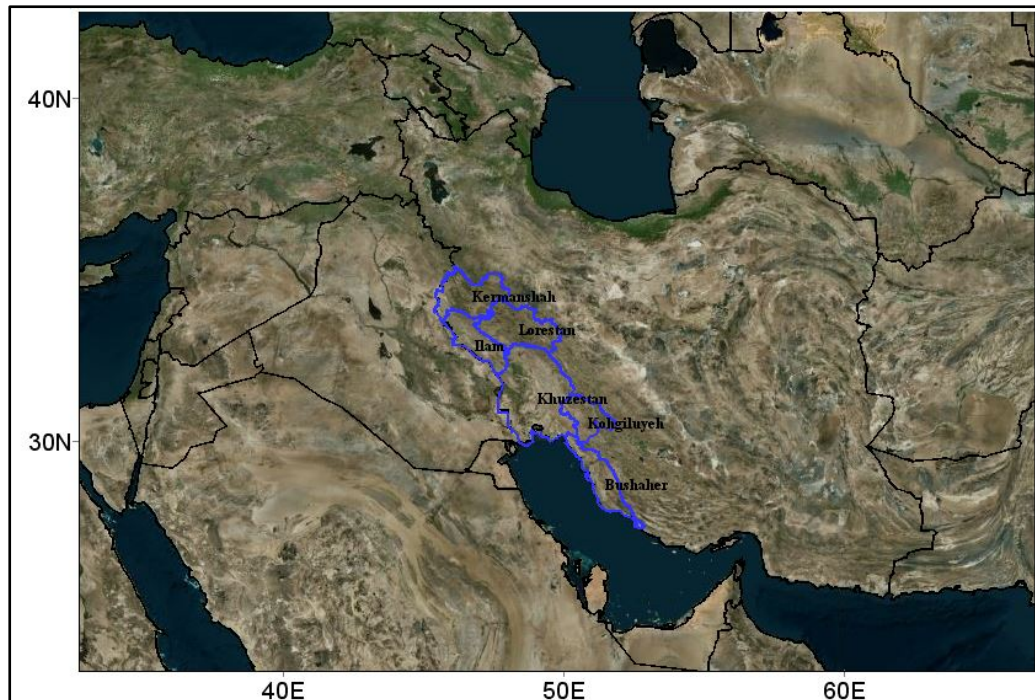
در داخل کشور نیز می‌توان به تحقیق ملکوتی و همکاران (۱۳۹۲)، اشاره کرد که به مطالعه همیددی و عددی نشر، انتقال و شناسایی چشمه یک طوفان گردوغبار سنگین در منطقه خاورمیانه پرداختند، نتایج نشان داد که عبور یک چرخند جبهه‌ای قوی از روی خاورمیانه باعث ایجاد یک برش باد سطحی قوی شده و گردوغبار را از روی دشت آبرفتی دجله و فرات بلند کرده و وارد جو کرده است. اغلب مسیرهای به‌دست‌آمده، از مناطق شمالی و مرکزی عراق و سوریه گذشته و منشأ طوفان گردوغبار ذکر شده، مناطق کویری و خشک شمال - مرکز عراق و سوریه می‌باشد. ریوندی و همکاران (۱۳۹۲)، به مطالعه بررسی تشکیل و انتشار طوفان‌های گردو خاک ورودی به غرب و جنوب غرب ایران با استفاده از مدل پخش لاگرانژی ذرات HYSPLIT پرداختند نتایج نشان داد که به‌طور کلی منابع اصلی غبار برای طوفان‌های گردوغباری جنوب غرب ایران محدودهای در حدفاصل مرکز تا شمال عراق، شرق سوریه تا شمال عربستان هست. ولی و همکاران (۱۳۹۳)، به مطالعه و بررسی تحلیل اقلیمی و ردیابی طوفان‌های گردوغبار فراگیر در جنوب و مرکز ایران پرداختند نتایج حاکی از این بود که توده گردوغباری از منطقه شمال غرب عراق و شرق سوریه سرچشمه گرفته و با جهت شمال غربی- جنوب شرقی وارد ایران شده است. نتایج پایگاه گردش جوی نشان داده حاکمیت مرکز کم‌فشار قوی در شرق ایران و پرفشار در شمال آفریقا، بادهای غربی ایجاد و سبب ورود گردوغبار حداکثری به منطقه شده‌اند. میری و همکاران (۱۳۹۳)، به شناسایی الگوهای گردش جوی تابستانه و زمستانه ورود گردوغبار به غرب ایران پرداختند نتایج تحقیق ایشان نشان داد که مسیرهای شمال غربی در دوره گرم و غربی و در مواردی جنوبی در دوره سرد، مهم‌ترین مسیرهای ورود پدیده گردوغبار به غرب ایران هستند. در دوره گرم سال ضمن پایین بودن رطوبت و خشکی منطقه با تقویت کم‌فشار حرارتی شکل‌گرفته بر روی عراق و ادغام آن با کم‌فشار انتقال‌یافته به جنوب و جنوب غرب ایران و در نهایت قرارگیری در برابر پرفشار شکل‌گرفته روی پهنه آبی مدیترانه سبب شیو شدید فشار و ایجاد بادهای پرسرعت بر روی عراق و سوریه می‌شود، هسته گردوغبار شکل می‌گیرد. در اواخر دوره سرد فرآیندهای دینامیکی عامل اصلی

شکل‌گیری و انتقال این پدیده محسوب می‌شوند. شکل‌گیری ناوه عمیقی در تراز میانی و پیرو آن ایجاد مرکز همگرایی سطحی و فعالیت بین دو مرکز واگرایی بالایی و همگرایی سطحی سبب ناپایداری شدید و صعود هوا روی عراق و عربستان می‌شود. نتیجه چنین سازوکاری ایجاد جریان‌های پرسرعت باد و در صورت ضعیف بودن رطوبت با توجه به ویژگی‌های این مناطق هسته گردوغبار شکل می‌گیرد. پورپنجاه و همکاران (۱۳۹۳)، به تحلیل طوفان‌های گردوغبار استان یزد بر مبنای مدل‌سازی‌های عددی پرداختند نتایج نشان داد که عبور سامانه‌های چرخندی از سطوح بالای جو و ریزش هوای سرد ناشی از آن‌ها همراه با گرمایش سطحی در سطح زمین، ناپایداری در منطقه را ایجاد کرده است. این شرایط همراه با وجود لایه آمیخته عمیق در مناطق مرکزی و خشک ایران در ساعت‌های قبل از شروع طوفان و همچنین منطقه بیشینه همگرایی باد و سرعت سطحی قوی در ساعت وقوع طوفان، این طوفان را به وجود آورده است چشمه احتمالی طوفان در مناطق خشک و نمک زار حاصل از خشک شدن باتلاق گاوخونی و کویرهای اطراف آن است. محمدی و همکاران (۱۳۹۴)، به ردیابی منابع گردوغبار در سطوح مختلف جو تهران با استفاده از مدل HYSPLIT پرداختند نتایج کار آن‌ها نشان داد که یکای از سیستم‌ها فشار مؤثر در وقوع گردوغبار و تعیین مسیر آن‌ها پرفشار مستقر بر رو عربستان است که در تمام‌روزها غبار مورد مطالعه این سامانه حرکت و جابه‌جایی اندکی داشته و تقریباً به صورت یک سیستم دائمی در منطقه بوده است. سیستم فشار مؤثر دیگر در وقوع گردوغبار فصل بهار، کم‌فشار مستقر در شمال ایران هست. علی‌آبادی و همکاران (۱۳۹۴)، به ارزیابی و پایش طوفان گردوغبار با استفاده از روش‌های سنجش‌ازدور پرداختند نتایج به دست آمده نشان داد که به‌طور کلی گردوغبارها از دو مسیر به کشور منتقل می‌گردند مسیر شمال غرب - جنوب شرق از مناطق شمال غرب عراق و شرق سوریه گردوغبارها را به منطقه منتقل می‌کند و مسیر غرب به شرق از مرکز عراق گردوغبارها را به جنوب غرب و غرب ایران منتقل می‌کند. محمدی مرادیان و همکاران (۱۳۹۴)، به مطالعه و پایش ماهواره‌ای و تحلیل همدید پدیده‌ی گردوغبار در کلان‌شهر مشهد پرداختند نتایج نشان داد که منشأ غبار روی شهر مشهد طی دوره‌ی گرم سال، در شرق و شمال شرق یعنی بیابان‌های ترکمنستان و همچنین اراضی تغییر یافته دشت‌های شمال شرق کشور قرار دارد. در دوره سرد سال نیز بیشتر نواحی شمال غربی شهر مشهد و از شرق دریای خزر با فراوانی کمتر توده گردوغبار به سمت شهر مشهد کشیده می‌شوند. نصیری و همکاران (۱۳۹۵)، بررسی تغییرات ارتفاع و ضخامت لایه‌مرزی در شرایط گردوغباری شهر اهواز پرداختند نتایج نشان داد که ارتباط مستقیم و معنی‌داری بین روزهای گردوغباری و ارتفاع و ضخامت لایه‌مرزی وجود دارد و گردوغبار اهواز در شرایطی ایجاد می‌شود که شرایط ناپایداری برقرار بوده و این شرایط سینوپتیکی ناپایدار موجب افزایش ارتفاع لایه‌مرزی شده که افزایش آلودگی را به دنبال داشته است.

منطقه‌ی خاورمیانه به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین چشمه‌های انتشار گردوغبار در جهان است (Tanaka & Chiba, 2007: 92). با توجه به اینکه کشور ما نیز در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان (در حدود ۹۱ درصد از مساحت کشور) واقع شده است، اثرات گردوغبار می‌تواند خسارت فاجعه‌بار زیست‌محیطی فراوانی به بار آورد، بنابراین مطالعه عوامل به وجود آورنده این پدیده و شناسایی کانون‌های آن ضروری به نظر می‌رسد. پژوهش‌های صورت گرفته عمدتاً از یک نوع داده استفاده نموده اند ولی در کار حاضر همزمان از داده‌های جو بالا و داده‌های ماهواره ای شامل رطوبت خاک و عمق اپتیکی گردوغبار استفاده گردید.

داده ها و روش کار الف: قلمرو جغرافیایی

منطقه مورد مطالعه در نیمه غربی ایران شامل استان های، لرستان، ایلام، کهگیلویه و بویر احمد، کرمانشاه، خوزستان و بوشهر با مساحتی بیش از ۱۷۵۲۸۰ کیلومتر مربع می باشد که در معرض اکثر گردوغبار ورودی به کشور هستند. این منطقه بین ۴۴ درجه و ۰۴ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی از نصفالنهار گرینویچ و ۲۷ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۶ دقیقه عرض شمالی از خط استوا قرار گرفته است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

ب: روش کار

برای شناسایی مناطق مستعد رخداد طوفان های گردوغبار و مسیر حرکت آن ها که نقش بسیار کلیدی در پهنه بندی مناطق با دید کم دارد، از داده های تصاویر ماهواره ای در زمان های رخداد این پدیده استفاده می گردد (بهیار، ۱۳۹۴: ۱۰۶)؛ اما برای تعیین منابع اصلی گردوغبار برای طوفان گردوغبار از مدل ترکیبی یکپارچه لاگرانژی یا امکان ردیابی پسگرد ذرات در ترازهای مختلف جو موسوم به HYSPLIT^۲ استفاده می شود. این مدل، مدلی دوگانه برای محاسبات خط سیر حرکت گردوغبار، پراکندگی و شبیه سازی ته نشینی آن با استفاده از رویکردهای PUFF و ذرات است که در آن محاسبه مسیر و غلظت آلاینده با استفاده از حداقل پارامترهای هواشناسی انجام می گیرد. روش محاسبه ی مدل، ترکیبی میان دیدگاه های اوپلری و لاگرانژی است و به همین دلیل HYSPLIT را مدلی دوگانه می نامند (Draxler & Rolph, 2003).

دو دیدگاه اساسی بر این مدل حاکم است:

۱: رویکرد لاگرانژی: در این رویکرد قضیه از دید فردی که با بسته هوا در حرکت است، بررسی می شود. به این ترتیب مجموع غلظت ذرات در هر شبکه در طول مسیر حرکت تعیین می شود.

2. Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory

۲: رویکرد اوپلری: در این حالت قضیه از دید فردی که در مکان ثابت ایستاده است، بررسی می‌شود. غلظت ذرات برای هر شبکه با استفاده از حرکات پخش و انتقال ذرات تعیین می‌گردد. از آنجایی رهیافت لاگرانژی هر ذره در زمان‌های مختلف موقعیت‌های متفاوتی خواهد داشت، بنابراین این امکان را فراهم می‌شود که مدل‌های پایه لاگرانژی پس از انتخاب ذره در موقعیت مکانی و زمانی خاص، حرکت آن را در گام‌های زمانی دلخواه به سمت آینده (forward) یا به سمت زمان‌های گذشته یا پسگرد (backward) ردیابی کنند.

برای تبیین علل وقوع، مسیریابی چشمه موج طوفان‌های گردوغبار نیمه غربی ایران، بازه زمانی چهار روزه ۲۶ تا ۲۹ خرداد ۱۳۹۵ (۱۶ تا ۱۹ ژوئن ۲۰۱۵) مطالعه گردید. در این مطالعه ذرات در سه سطح ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متری از سطح زمین در حفاصل زمانی ۶ تا ۴۸ ساعت قبل از رخداد گردوخاک ردیابی شدند. برای اجرای مدل از داده‌های FNL استفاده گردید. داده‌های FNL (Final) در واقع داده‌های NCEP هستند که توسط آزمایشگاه هوا وابسته به NOAA با قدرت ۱ درجه برای ۲۶ تراز فشاری بین ۱۰۰۰ تا ۱۰۰ هکتوپاسکال و با گام زمانی ۶ ساعته باز پردازش شده‌اند. سپس جهت تحلیل سینوپتیک علل وقوع این طوفان از مجموعه داده‌های پیش‌بینی میان‌مدت جوی مرکز اروپائی (ECMWF^۳) با قدرت تفکیک ۰/۱۲۵ درجه قوسی شامل، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰، امگای تراز ۵۰۰ و ۱۰۰۰، فشار تراز دریا (slp)، مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد، رطوبت ویژه تراز ۷۰۰ بدلیل قدرت تفکیک بالاتر و داده‌های ماهواره ای رطوبت خاک تا عمق ۱۰ سانتی‌متری در منطقه مورد مطالعه استفاده گردید.

در پایان جهت مشخص شدن وضعیت شفافیت جو از داده‌های ماهواره ای عمق اپتیکی آئروسول (AOD^۴) استفاده گردید. داده‌های AOD بر اساس نسبت رادیانی که در طول مسیر جذب یا تفرق پیدا نکرده است به مقدار رادیانس ابتدای مسیر تعریف می‌شود (بهرام‌وش و محمد زاده، ۱۳۹۲: ۵۵). بحث عمق اپتیکی بر اساس رادیانس تفرق و جذب نیافته ای که فاصله عمود سطح زمین تا فضای خارج جو پیموده است بیان می‌شود. بدیت ترتیب برای محاسبه عمق اپتیکی همواره باید فاصله عمودی در نظر گرفته شده و جهت محاسبه این پارامتر از قانون Beer-Lambert-Bouguer استفاده شود (Holben et al, 1998). با توجه به رابطه (۱) می‌توان عمق اپتیکی ذرات گردوغبار را تعیین کرد:

$$I/I_0 = e^{-\tau} \quad \text{رابطه (۱)}$$

I: رادیانس عبوری که تفرق و جذب پیدا نکرده
 I_0 : رادیانس اولیه
 τ : عمق اپتیکی

شرح و تفسیر نتایج

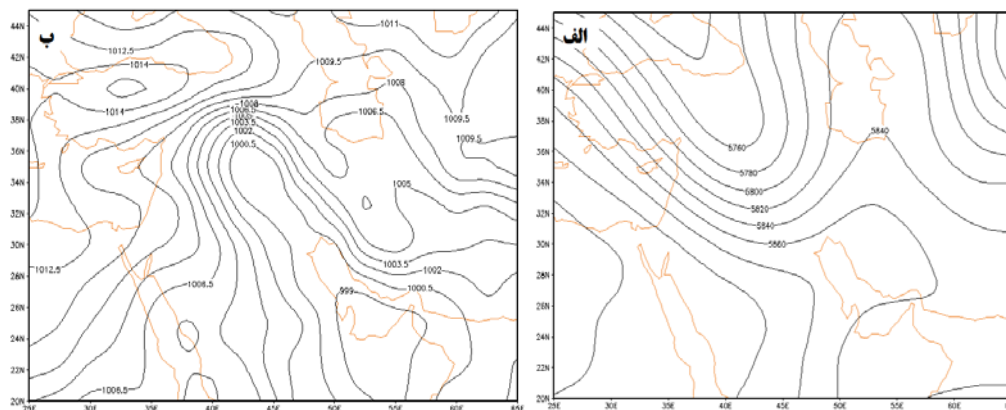
با توجه به بررسی‌های آماری انجام‌شده، روزهای ۱۶ تا ۱۹ ژوئن ۲۰۱۵ به علت تداوم وجود گردوغبار و غلظت بالای آن در نیمه غربی کشور، برای بررسی همدید و تعیین کانون این گردوغبار بر مبنای الگوریتم مدل HYSPLIT و عمق اپتیکی ذرات گردوغبار انتخاب شدند.

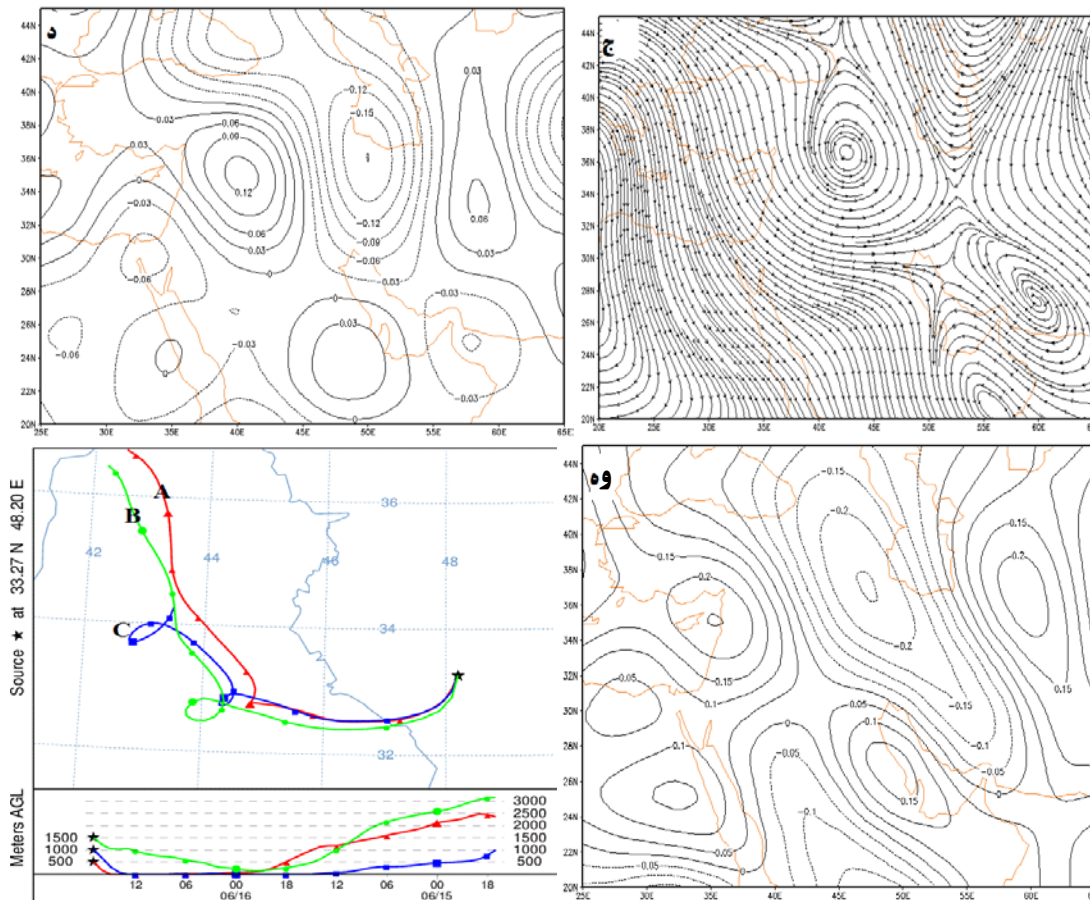
شکل (۲ الف) پدیده‌ی غالب روز ۱۶ جولای ۲۰۱۵ برای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را به تصویر کشیده است. در این روز حاکمیت سیستم پرفشار آזור در بالای منطقه مورد مطالعه مستولی شده است، به طوری که جو بالا در این روز پایدار است

3. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

4. Aerosol Optical Depth

و شرایط صعود و ناپایداری و جود ندارد. حاکمیت پرفشار آزر در این بازه‌ی زمانی، از ایجاد شرایط برای شکل‌گیری پدیده‌ی گردوغباری توسط سیستم‌های سطوح میانی جلوگیری می‌نماید. شکل (۲ ب) نقشه فشار تراز دریا را در روز مذکور نشان می‌دهد. همان‌طوری که در این نقشه پیداست، سامانه کم‌فشار ترمیک وسیعی با فشار مرکزی ۹۹۹ هکتوپاسکال بر روی خلیج فارس دیده می‌شود که خطوط هم‌فشار آن به‌صورت زبانه‌ای به منطقه مطالعاتی کشیده شده است. گردش چرخندی هوا درون این سامانه باعث مکش هوای بیابان‌های عراق و شمال عربستان به سمت خلیج فارس و غرب ایران گردیده و شرایط را برای ایجاد پدیده‌ی گردوغبار در منطقه‌ی مورد مطالعه را فراهم کرده است. با توجه به نقشه جهت باد تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۳ ج)، به علت وجود پرفشار عربستان و کم‌فشار موجود شمال در منطقه مورد مطالعه، جریانات باد با جهات شمال غربی - جنوب شرقی باعث هدایت گردوغبار به منطقه مورد مطالعه شده است. شکل ۲ د نقشه امگای تراز دریا روز ۱۶ ژوئن را نشان می‌دهد. همان‌طوری که از شکل پیداست، ناپایداری‌های نسبتاً شدیدی بر روی منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود که می‌تواند در شکل‌گیری پدیده‌ی گردوغباری منطقه‌ی مورد مطالعه مؤثر باشد. همچنین با توجه به نقشه‌ی امگای تراز ۷۰۰ (شکل ۲ ه)، منطقه مورد مطالعه همچنان تحت تأثیر ناپایداری شدید قرار دارد که این شرایط باعث دوام گردوغبار در منطقه گردیده است. با در نظر گرفتن بررسی‌های همدیدی انجام‌شده و خروجی مدل HySplit سازوکار اصلی انتقال ذرات غبار در محدوده‌ای در حدفاصل شرق سوریه و عراق به منطقه مورد مطالعه بوده است. در الگوی فشاری مستقر بر روی منطقه در زمان وقوع گردوغبار، مسیرهای انتقال ذرات در سه سطح ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متری تابعی از مسیر و جهت حرکت باد غربی می‌باشد (شکل ۲ و). نکته مهم دیگری که از بررسی خروجی‌های مدل HySplit در ۴۸ ساعت قبل تا ۱۶ ژوئن به دست آمد، این است که تا ۱۶ ساعت قبل از روز مورد نظر، انتقال ذرات در دو مسیر (A و B) در ارتفاعات بالاتر از ۱۵۰۰ متر رخ داده است اما در ۱۲ ساعت قبل از رخداد گردوغبار در روز مورد نظر به ارتفاع کمتر از ۵۰۰ متر رسیده‌اند و سپس در ارتفاع ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متری به منطقه مورد مطالعه وارد شده است. در مسیر دیگر (C) زیر ۱۰۰۰ متر منتقل شده است. این در حالی است که امتداد جریانات تا پایان روز، روند یکنواختی نداشته و در ساعات میانی و پایانی روز حرکت ذرات غباری به سمت لایه‌های پائینی تا حدود ۵۰۰ متر نیز کشیده شده است (شکل ۲ و). همچنین بررسی نقشه رطوبت روز ۱۶ ژوئن ۲۰۱۵ نشان داد که میزان رطوبت موجود در سطح زمین، در منطقه مورد مطالعه بسیار کم و زیر ۲۵ درصد می‌باشد که باعث خشک شدن خاک‌های سطحی شده که با وجود کم‌فشارهای حرارتی سطح زمین شده و ناپایداری‌های ایجادشده، شرایط تشکیل گردوغبار را به دنبال داشته است.

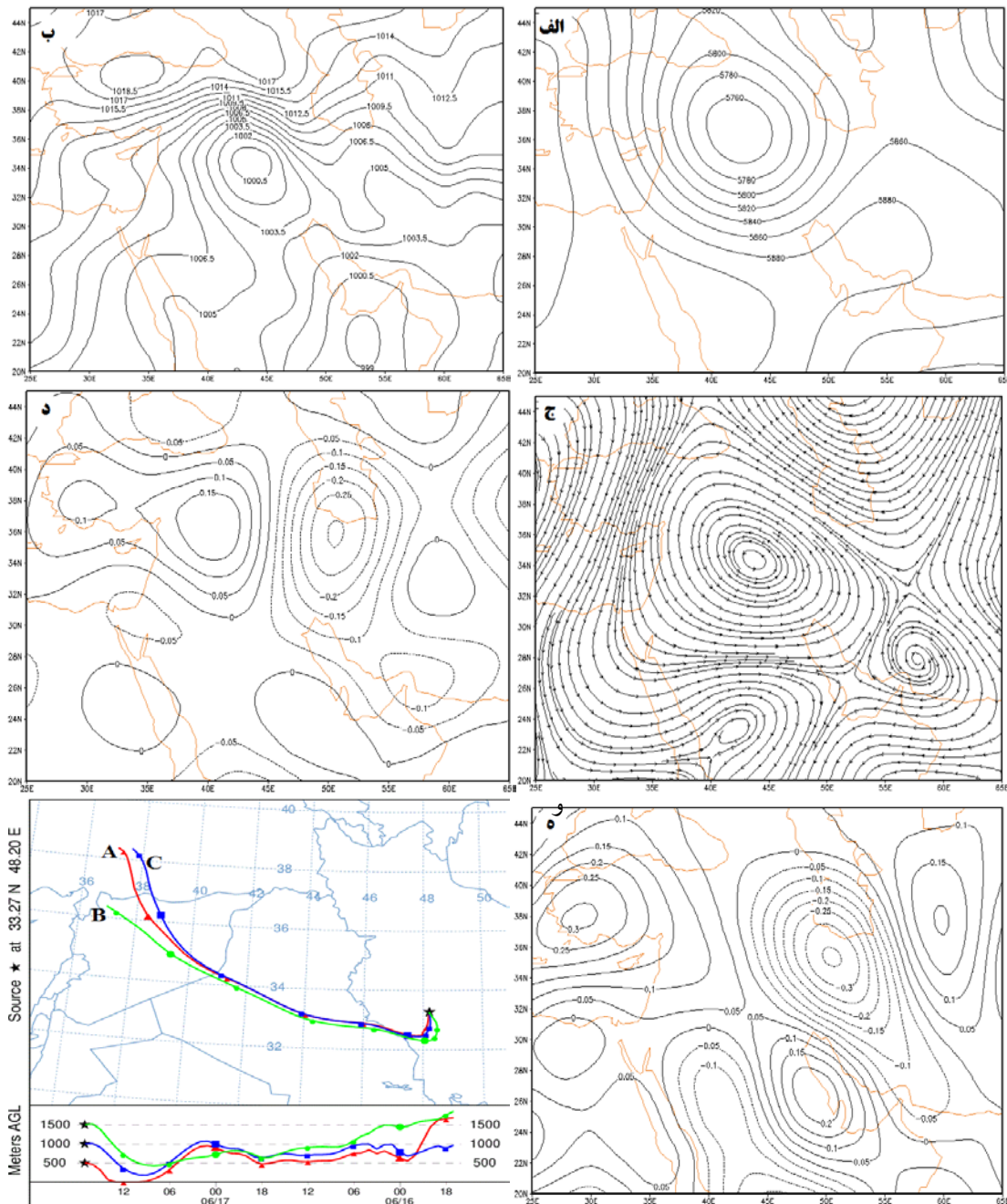




شکل (۲): (الف) ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰؛ (ب) فشار سطح دریا (ج) جریان باد در ۷۰۰؛ (د) امگای تراز ۱۰۰۰؛ (ه) امگای تراز ۷۰۰؛ (و) نقشه ردیابی ذرات گردوغبار Hysplit روز ۱۶ ژوئن ۲۰۱۵

در روز ۱۷ ژوئن امتداد جریانات گردوغبار بر روی منطقه به سبب کم فشار بریده‌ای در عرض‌های پائین تر (۳۴ تا ۳۸ درجه شمالی) می‌باشد (شکل ۳ الف) حرکات شرق سوی این بریده کم فشار، با ارتفاع ۵۷۶۰ ژئوپتانسیل متر بر روی منطقه غرب عراق سبب انتقال گردوغبار به غرب کشور شده است. در این روز سیستم کم فشاری با فشار مرکزی ۱۰۰۰ هکتوپاسکال نیز در سطح زمین شکل گرفته است که زبان‌های آن به سمت مشرق و روی منطقه مورد مطالعه کشیده شده است؛ اما در شمال غرب این کم فشار، پرفشاری با ۱۰۱۸ هکتوپاسکال بر روی ترکیه مستقر است. کنش و واکنش این دو سامانه منجر به ایجاد شیب فشاری متأثر از جریانات پرفشار عرض‌های بالاتر شده است. این اختلاف فشار باعث افزایش سرعت‌های باد و شکل‌دهی جریاناتی از شمال غرب به سمت جنوب شرق شده که این جریانات بر روی ایران جهتی کاملاً شرق سو داشته‌اند (شکل ۳ ب). نقشه امگا در دو تراز ۱۰۰۰ و ۷۰۰ نیز نشان از ناپایداری‌های شدیدی بر روی منطقه مورد مطالعه دارد که در شکل‌گیری پدیده‌ی گردوغباری منطقه‌ی مورد مطالعه مؤثر بوده است (شکل ۳ د و ه). بررسی مدل نشان می‌دهد که در این روز ذرات غباری در ارتفاعات زیر ۱۵۰۰ متری مسیر افقی را ابتدا از سوریه طی کرده و سپس با عبور از بیابان‌های مرکزی و غربی عراق و با انتشار عمودی ناچیزی به سمت شرق ادامه داده‌اند. با یک جهش عمودی در ساعات پایانی در ارتفاعات بالاتر از ۵۰۰ متری به مرزهای غربی کشور نفوذ کرده و به منطقه منتقل شده‌اند (شکل ۳ و). عامل اصلی نزول ذرات بر روی ایران کمتر شدن اثر جریانات سیکلونی و حاکمیت بیشتر پرفشار بوده

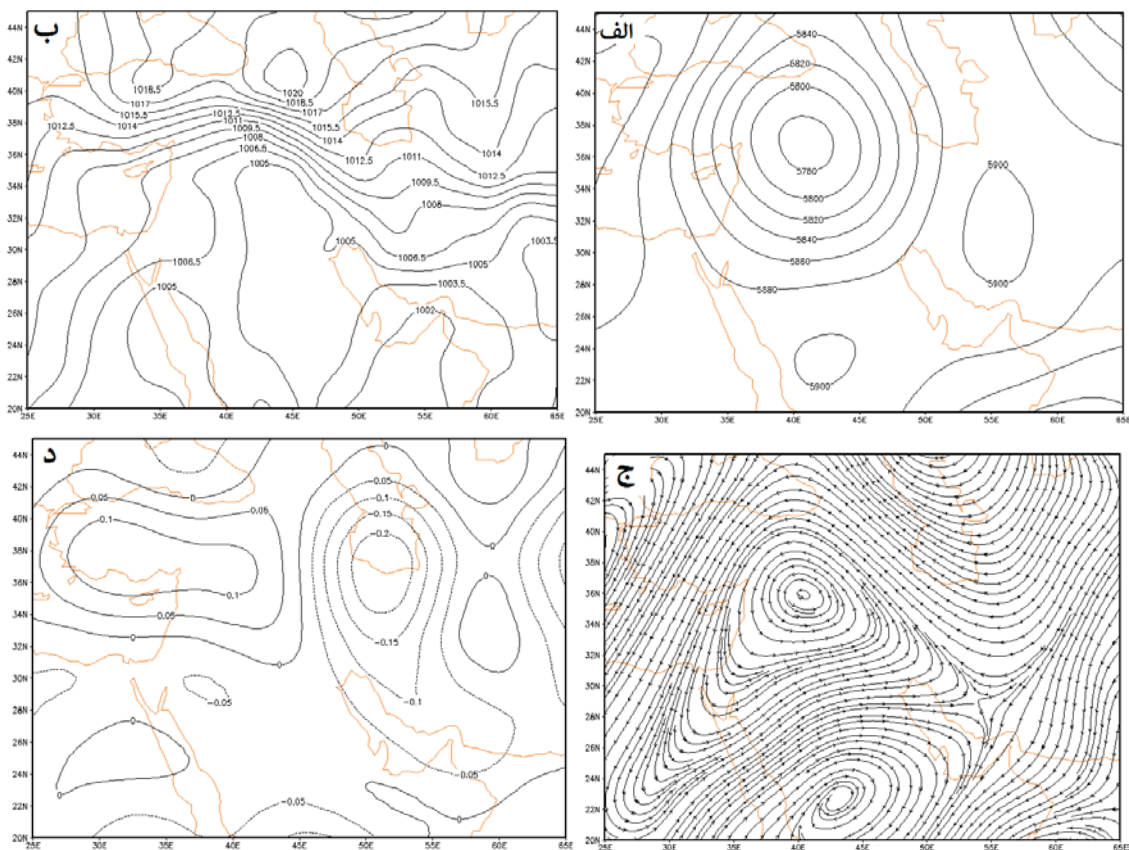
است. همچنین بررسی نقشه رطوبت روز ۱۷ ژوئن نشان داد که میزان رطوبت موجود در سطح زمین همچنان اندک و زیر ۲۰ درصد می باشد که باعث خشک شدن خاک های سطحی و ایجاد شرایط گردوغبار گردیده است.

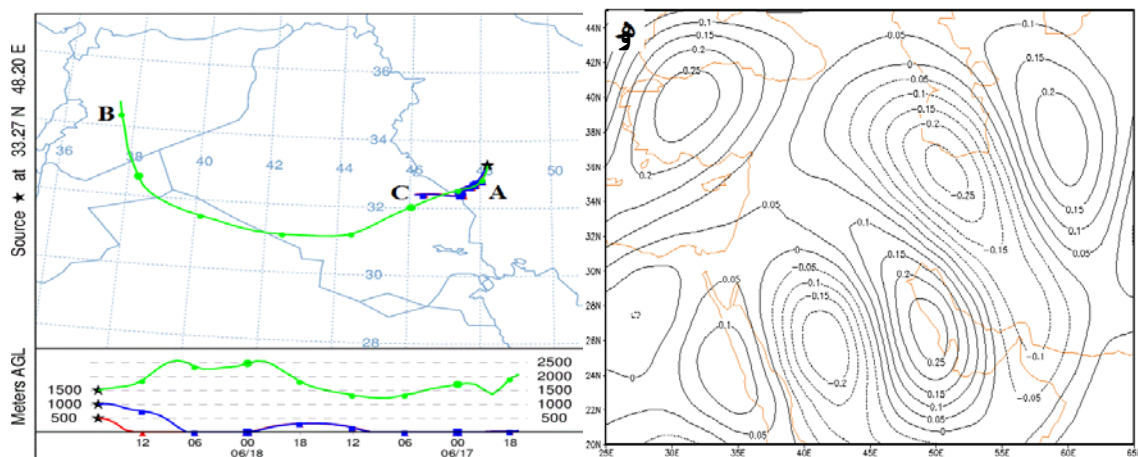


شکل (۳): (الف) ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰؛ (ب) فشار سطح دریا (ج) جریان باد در ۷۰۰؛ (د) امگای تراز ۱۰۰۰؛ (ه) امگای تراز ۷۰۰؛ (و) نقشه ردیابی ذرات گردوغبار Hysplit روز ۱۷ ژوئن ۲۰۱۵

در روز ۱۸ ژوئن همچنان بریده کم فشار بر روی عراق و ترکیه در حالت سکون می باشد (شکل ۴ الف). حرکات شرق سوی این بریده کم فشار که دارای ۵۷۸۰ متر ارتفاع است، سبب ناپایداری در تراز میانی جو شده است. در این روز سیستم کم فشار حرارتی با فشار ۱۰۰۶ هکتوپاسکال همچنان در سطح منطقه فعال می باشد که زبانه های آن به غرب کشور نفوذ کرده است؛ اما دو سامانه پرفشار در شمال و شمال غرب این کم فشار، با ۱۰۲۰ و ۱۰۱۹ هکتوپاسکال در شرق دریای

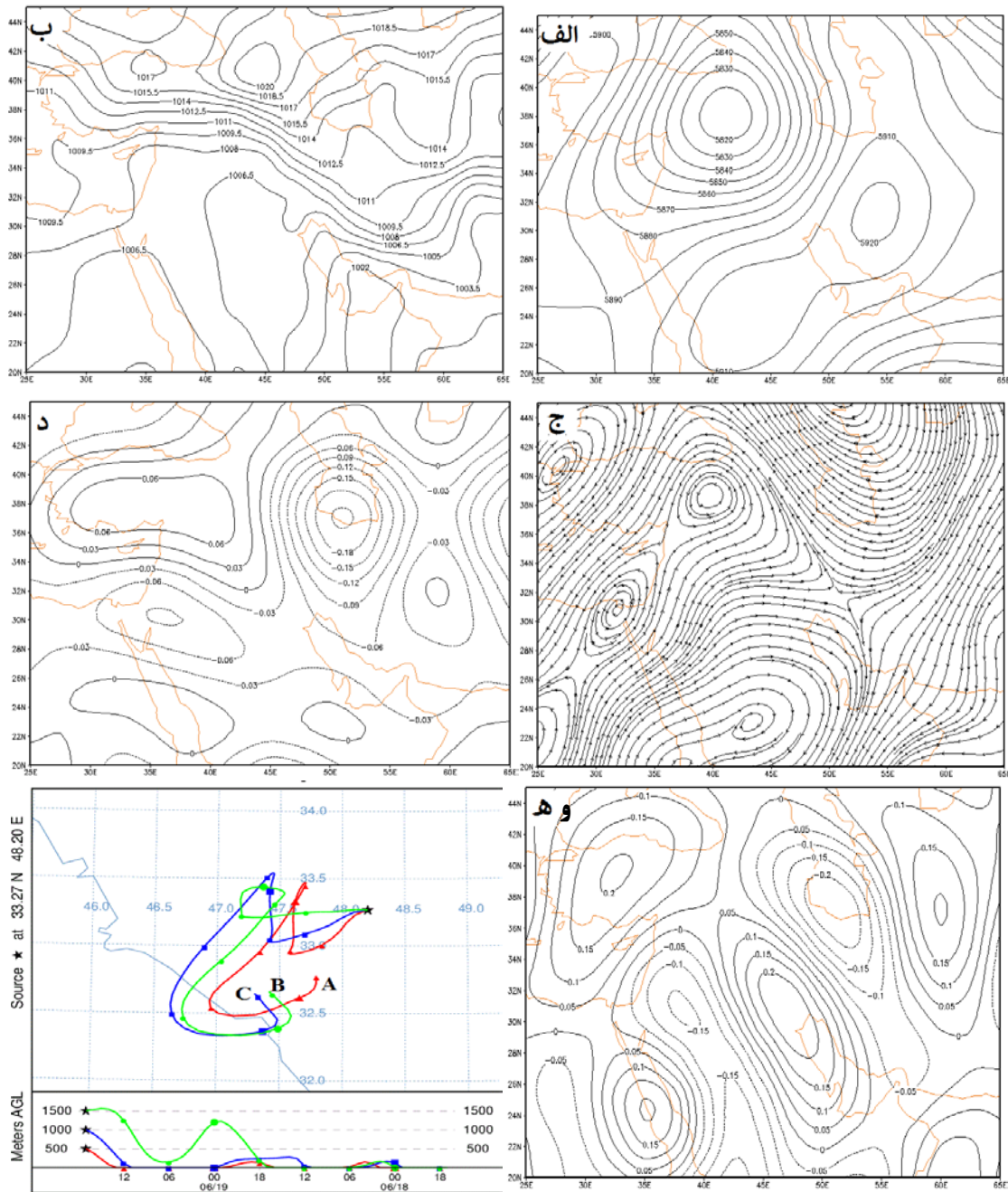
سیاه و شمال ترکیه مستقر است که به ایجاد شیب فشاری به سمت منطقه گردیده است (شکل ۴ ب). این اختلاف فشار در سطح زمین همراه با وجود پرفشار عربستان در عرض ۲۲ درجه و یک کم‌فشار حرارتی در عرض ۳۶ درجه در تراز ۷۰۰ با حرکات خود باعث همگرایی جریانات به سمت منطقه مورد مطالعه شده‌اند. این حرکات باعث افزایش سرعت‌های باد و شکل‌دهی جریاناتی با جهات شمالی- جنوبی و شمال غربی - جنوب شرقی شده که در نهایت گردوغبار را با جهت جنوب غربی وارد منطقه کرده است (شکل ۴ ج). نقشه امگا همانند روز ۱۷ ژوئن در دو تراز ۱۰۰۰ و ۷۰۰ نیز نشان از ناپایداری‌های شدیدی بر روی منطقه مورد مطالعه دارد که در شکل‌گیری پدیده‌ی گردوغباری منطقه‌ی مورد مطالعه مؤثر واقع شده است (شکل ۴ د و ه). مشاهده نقشه‌های ردیابی نشان می‌دهد که طی این روز (۱۸ ژوئن) مبدأ ذرات غباری دو مسیر A و C از لحاظ ارتفاعی به نسبت روزهای دیگر در سطوح پائین‌تری (کمتر از ۵۰۰ متر) حرکت خود را از چشمه گردوغبار به سمت شرق آغاز نموده‌اند. با این تفاوت که در مسیر A مبدأ ذرات داخلی و اطراف هورالعظیم بوده و مبدأ ذرات مسیر C داخل خاک عراق و در بیابان‌های غرب عراق قرار دارد؛ اما مبدأ گردوغبار مسیر B منطبق بر جریانات باد می‌باشد که از بیابان‌های سوریه آغاز و با عبور از بیابان‌های غربی عراق، در ارتفاع بیش از ۱۰۰ متر به منطقه مورد مطالعه رسیده است (شکل ۴ و). در این روز میزان رطوبت موجود در سطح زمین همچنان زیر ۳۰ درصد است که خشک شدن خاک‌های سطحی و ایجاد شرایط گردوغبار را در پی داشته است.





شکل (۴): (الف) ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰؛ (ب) فشار سطح دریا (ج) جریان باد در ۷۰۰؛ (د) امگای تراز ۱۰۰۰؛ (ه) امگای تراز ۷۰۰؛ (و) نقشه ردیابی ذرات گردوغبار **Hysplit** روز ۱۸ ژوئن ۲۰۱۵

در روز ۱۹ ژوئن همچنان بریده کم‌فشار بر روی ترکیه در حالت سکون می‌باشد با این تفاوت که سامانه تضعیف‌شده و ارتفاع مرکز آن افزایش داشته و به ۵۸۲۰ متر رسیده ولی همچنان باعث ناپایداری در تراز میانی جو و سطوح زیرین خود شده است (شکل ۵ الف). در این روز سیستم کم‌فشار حرارتی با فشار مرکزی ۱۰۰۶ هکتوپاسکال همچنان در سطح منطقه فعال می‌باشد که زبانه‌های آن با ۱۰۰۸ هکتوپاسکال به منطقه مورد مطالعه نفوذ کرده است. در همین روز دو سامانه پرفشار در شرق دریای سیاه و شمال ترکیه با ۱۰۲۰ و ۱۰۱۷ هکتوپاسکال مستقرند که به منجر به شیب فشاری به سمت غرب ایران شده است (شکل ۵ ب). با توجه به نقشه جریان‌ات تراز ۷۰۰ می‌توان مشاهده کرد که وجود پرفشار عربستان در جنوب غرب و یک کم‌فشار حرارتی در شمال غرب منطقه مورد مطالعه با حرکات خود باعث همگرایی جریان‌ات و افزایش سرعت باد شده‌اند؛ در نتیجه این فعل‌وانفعالات گردوغبار با جهت جنوب غربی به سمت منطقه مورد مطالعه منتقل شده است (شکل ۵ ج). نقشه امگا همانند سه روز قبل در دو تراز ۱۰۰۰ (شکل ۵ د) و ۷۰۰ (شکل ۵ ه) نیز از ناپایداری بر روی منطقه مورد مطالعه حکایت دارد که در شکل‌گیری پدیده‌ی گردوغباری منطقه‌ی مورد مطالعه مؤثر بوده است. با بررسی نقشه‌های ردیابی می‌توان دریافت که کانون اصلی گردوغبار روز ۱۹ ژوئن در غرب کشور در هر سه مسیر، داخل کشور در خوزستان (اطراف هورالعظیم) بوده است. منشأ غبار این روز مبدأ ذرات غباری سه مسیر از لحاظ ارتفاعی به نسبت روزهای دیگر در ارتفاع کمتر از ۵۰۰ متر حرکت خود را از چشمه به سمت منطقه مورد مطالعه آغاز نموده و وارد منطقه شده‌اند (شکل ۵ و). در این روز میزان رطوبت موجود در سطح زمین همچنان زیر ۳۰ درصد است که خشک شدن خاک‌های سطحی و ایجاد شرایط گردوغبار را در پی داشته است.

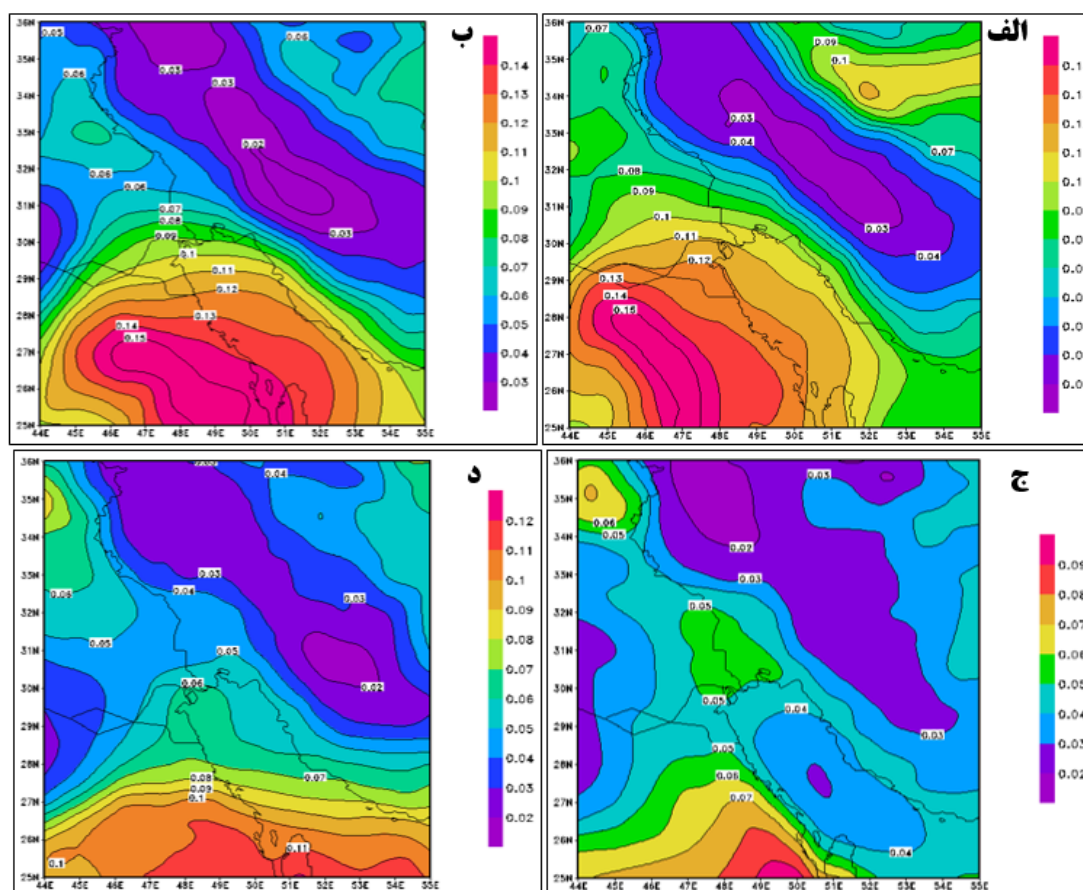


شکل (۵): (الف) ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰؛ (ب) فشار سطح دریا (ج) جریان باد در ۷۰۰؛ (د) امگای تراز ۱۰۰۰؛ (ه) امگای تراز ۷۰۰؛ (و) نقشه ردیابی ذرات گردوغبار Hysplit روز ۱۹ ژوئن ۲۰۱۵

عمق اپتیکی آئروسول (AOD^{500}) یکی از پارامترهای مهم در مطالعه ی گرد و غبارها می باشد. عمق اپتیکی در واقع به توزیع آئروسول های گرد و غبار موجود در جو اشاره دارد. این کمیت وابسته به طول موج، به صورت کاهش نور در واحد طول بر روی یک مسیر مشخص تعریف می شود که کمیتی بی بعد است (Wang & Sundar, 2003). مسیر اپتیکی عمودی، فاصله عمودی از سطح زمین در قسمت فوقانی جو می باشد. مقدار عمق اپتیکی می تواند با تراکم تعداد هواویزه ها (آئروسول ها) و ویژگیهای آن ذرات متفاوت باشد. همچنین AOD کمیتی بی بعد بوده و عبارتست از میزان جلوگیری از

گذر پرتو نور در جو به خاطر جذب و پراکنش ناشی از وجود هواویزها در مسیر عبور نور. همچنین AOD به عنوان ضریب خاموشی کاهش تشعشع بر روی یک ستون قائم در واحد طول تعریف می شود. بالا بودن مقادیر AOD از این مقدار نشان دهنده بیشتر بودن هواویزه ها در امتداد ستون عمودی هوا بوده و به عبارتی دید در امتداد ستون کم می باشد.

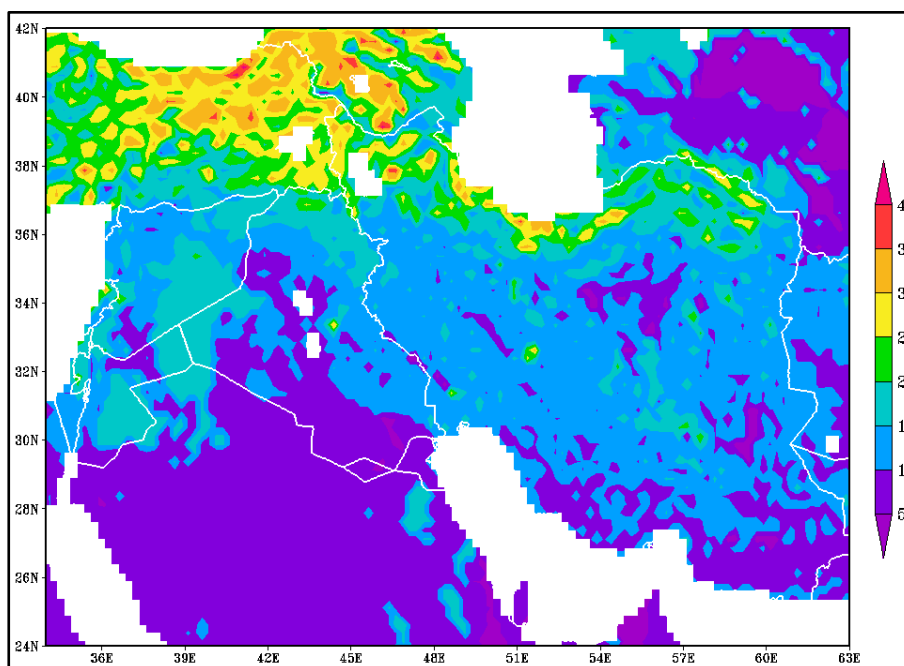
یافته ها نشان داد که در روز ۱۶ ژوئن ۲۰۱۵ (شکل ۶ الف) شکل گیری جریان گردوغباری تاریخ مذکور و اغتشاشات ناشی از آن در سطوح میانی و پایینی جو با تغییر جهت متفاوت بادها همراه بوده که عمق اپتیکی به حدود ۰/۴ رسیده است و تراکم غبار به حد نسبتاً بالایی می رسد. اما در روز ۱۷ ژوئن (شکل ۶ ب) میزان عمق اپتیکی بالاتر از ۰/۵ قرار گرفته است که گسترش گردو غبار را تا سطوح بالاتر از ۵۰۰ هکتوپاسکال از علل آن می باشد. همچنین در دو روز ۱۸ و ۱۹ ژوئن ۲۰۱۵ (شکل ۶ ج و د) با غلبه باهای نسبتاً شدید غربی و شمالغربی، متوسط عمق اپتیکی کاهش یافته و در حد ۰/۳ مشاهده می گردد که غلبه کامل جریانات شمال غربی در سطوح مختلف جوی مشهود است و قابلیت دید را کاهش داده است.



شکل ۶: عمق اپتیکی ائروسول (AOD) طی روزهای (الف) ۱۶ ژوئن (ب) ۱۷ ژوئن (ج) ۱۸ ژوئن (د) ۱۹ ژوئن

با توجه به نقشه میانگین رطوبت خاک (شکل ۷) از سطح زمین تا عمق ۱۰ سانتی متری می توان گفت که در روزهای همراه با مخاطره گردوغبار، رطوبت موجود در خاک کانون ذرات غبار کم تر از ۱۵ درصد بوده است. به همین دلیل با عبور

جریانات از روی این میداین فاقد رطوبت کافی، ذرات ریز خاک به راحتی از سطح زمین جدا شده و به سمت منطقه مورد مطالعه حمل شده‌اند.



شکل (۷): میانگین رطوبت خاک تا عمق ۱۰ سانتی‌متری (۱۶ تا ۱۹ ژوئن ۲۰۱۵)

نتیجه‌گیری

قرارگیری ایران در منطقه گرم و خشک کره زمین و مجاورت با بیابان‌های جنب حاره مانند عراق، سوریه و عربستان باعث بوجود آمدن مداوم مخاطره گردوغبار به ایران علی‌الخصوص نیمه غربی ایران در نیمه گرم سال می‌شود. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل نقشه‌های سینوپتیک در واقع عامل اصلی ایجادکننده پدیده‌ی موج گردوغبار طی روزهای ۱۶ تا ۱۹ ژوئن ۲۰۱۵ در غرب کشور، علاوه بر ناپایداری‌های ایجادشده توسط کم‌فشارهای حرارتی سطح زمین و تحرکات پرفشار عربستان که باعث همگرایی و مکیده شدن جریانات به سمت غرب کشور شده‌اند، استقرار یک بریده کم‌فشار در سطوح میانی جو در شرق خزر نیز در رخداد این مخاطره تأثیر بسزایی داشته است. به طوری که باوجود ناپایداری در تراز میانی جو، عدم وجود رطوبت کافی در سامانه‌های منتقل شده به غرب کشور، عبور جریانات از بیابان‌های عراق و سوریه و عدم وجود رطوبت کافی چه در سطح و چه در عمق خاک در داخل کشور و در کشورهای همسایه موجب شکل‌گیری چشمه گردوغبار و انتقال آن به منطقه مورد مطالعه گردیده است. همچنین بررسی نقشه‌های ردیابی حاصل از Hysplit نشان می‌دهد که دو مسیر کلی برای انتقال گردوغبار به منطقه مورد مطالعه قابل تشخیص است. ۱- مسیر شمال غرب- جنوب شرقی که بیشتر رخدادهای گردوغبار از این مسیر بوده است با عبور از روی هسته‌های گردوغبار شکل گرفته در شمال غرب عراق و شرق سوریه عمل انتقال گردوغبار به نیمه غربی ایران را انجام می‌دهند. بطوریکه این جریانات توانسته‌اند گردوغبار را تا جنوب غرب ایران نیز انتقال دهند؛ این مسیر را می‌توان مسیر اصلی ورود گردوغبار به منطقه در ارتفاع ۱۵۰۰ متری دانست. ۲- مسیر غربی - شرقی در ارتفاع ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متری که سرچشمه اصلی گردوغبار روز ۱۸ و ۱۹ ژوئن می‌باشد. منبع ذرات این مسیر در داخل کشور (اطراف هورالعظیم) می‌باشد که با عبور از کوه‌های زاگرس وارد منطقه غرب کشور شده‌اند و دید افقی را طور چشمگیری کاهش داده‌اند. بررسی مسیر ذرات گردوغبار نشان می‌دهد

که این ذرات ابتدا توسط سامانه‌های کم‌فشار مستقر در منطقه به سطوح بالاتر منتقل شده و سپس در سه مسیر به سمت زمین کشیده شده‌اند. نقشه رطوبت خاک نیز حاکی از کمبود شدید رطوبت تا عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک دارد که همزمان با عبور سامانه‌های ناپایدار و جریانات غربی از روی این مناطق، ذرات ریز خاک به راحتی از زمین جدا شده و به منطقه مورد مطالعه منتقل گردد.

منابع

- بهرام وش، شیماء؛ محمد زاده، علی. (۱۳۹۲)، بررسی ویژه گی‌های اپتیکی و اندازه گردوغبار و وابستگی آن‌ها به کمک داده‌های AERONET. *مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته*، ۱۰: ۵۴-۶۳.
- بهیار، محمدباقر. (۱۳۹۴)، پهنه‌بندی درجه خطرپذیری رخدادهای اقلیمی مه و طوفان‌های گردوغبار در شبکه جاده‌ای کشور با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، ۳۰(۲): ۱۰۵-۱۲۵.
- خوشحال دستجردی، جواد؛ موسوی، سیدحجت و عبدالرضا کاشکی. (۱۳۹۱)، تحلیل هم‌دید طوفان‌های گردوغبار ایلام (۱۹۸۷-۲۰۰۵). *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۴۶(۲): ۳۴-۴۷.
- ریوندی، امیر؛ میر رکنی، مجید و امیر محمدی‌ها. (۱۳۹۲)، بررسی تشکیل و انتشار طوفان‌های گردوغبار ورودی به غرب و جنوب غرب ایران با استفاده از مدل پخش لاگرانژی ذرات HYSPLIT. *نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۴(۱۳)-۲۸: ۱۵-۲۸.
- عباسعلی ولی؛ خاموشی سجاده؛ سید حجت موسوی، فاطمه پناهی و احسان تمسکی. (۱۳۹۳)، تحلیل اقلیمی و ردیابی طوفان‌های گردوغبار فراگیر در جنوب و مرکز ایران. *محیط‌شناسی*، ۴: ۹۶۱-۹۷۲.
- علی‌آبادی، کاظم؛ اسدی زنگنه، محمدعلی و عباسعلی داداشی رودباری. (۱۳۹۴)، ارزیابی و پایش طوفان گردوغبار با استفاده از روش‌های سنجش‌ازدور (مطالعه موردی: غرب و جنوب غرب ایران). *فصلنامه امداد و نجات*، ۷(۱): ۱-۲۰.
- لشکری، حسن و قاسم کیخسروی. (۱۳۸۷)، تحلیل آماری سینوپتیکی طوفان‌های گردوغبار استان خراسان رضوی در فاصله زمانی ۲۰۰۵-۱۹۹۳. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۶۵: ۳۳-۱۷.
- محمد پور پنجاه، محمدرضا؛ محمدحسین معماریان و سیدمجید میررکنی. (۱۳۹۳)، تحلیل طوفان‌های گردوغبار استان یزد بر مبنای مدل‌سازی‌های عددی. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۲: ۶۷-۸۳.
- محمدی مرادبان؛ جمیله و سید رضا حسین زاده. (۱۳۹۴)، پایش ماهواره‌ای و تحلیل هم‌دید پدیده‌ی گردوغبار در کلان‌شهر مشهد طی دوره آماری ۲۰۰۹-۲۰۱۳. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۴: ۳۵-۵۷.
- محمدی، فهیمه؛ کمالی، سمیه و مریم اسکندری. (۱۳۹۴)، ردیابی منابع گردوغبار در سطوح مختلف جو تهران با استفاده از مدل HYSPLIT. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۶: ۳۹-۵۴.
- ملکوتی، حسین، بابا حسینی، سمیرا، نوحه‌گر، احمد، آزادی، مجید، محمد پور، محمدرضا. (۱۳۹۲)، مطالعه هم‌دید و عددی نشر، انتقال و شناسایی چشمه یک طوفان گردوغبار سنگین در منطقه خاورمیانه. *پژوهش‌های فرسایش محیطی*، ۳(۱۲): ۶۹-۸۰.
- میری، مرتضی؛ عزیزی، قاسم، علی‌اکبر شمسی‌پور. (۱۳۹۳)، شناسایی الگوهای گردش جوی تابستانه و زمستانه ورود گردوغبار به غرب ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۵(۴): ۲۰۳-۲۲۵.
- نصیری، بهروز؛ زارعی چقابلیکی، زهرا؛ حلیمی، منصور و رستمی فتح‌آبادی، محمد. (۱۳۹۵)، بررسی تغییرات ارتفاع و ضخامت لایه‌مرزی در شرایط گردوغباری شهر اهواز. *مجله تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۲: ۵۱-۶۴.

Barkan, J.; P. Alpert, H. Kutiel, and P. Kishcha. 2005. Synoptic of dust transportation days from Africa toward Italy and central Europe. *Journal of Geophysical Research*, 110(7): 1-14. DOI: 10.1029/2004JD005222.

- Bian, H.; X. Tie, J. Cao, Z. Ying, S. Han, and Y. Xue. 2011. Analysis of a severe Dust Storm Event over china: Application of the WRF_Dust. *Aerosol Air Quality Research*, **11**: 419–428. DOI:10.4209/aaqr.2011.04.0053.
- Draxler, R. R. 2006. The use of global and mesoscale meteorological model data to predict the transport and dispersion of tracer plumes over Washington, D.C. *Weather Forecast*, **21(3)**: 383–394.
- Draxler, R.R. and G.D. Rolph. 2003. HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory). Model access via NOAA ARL READY, Website <http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1>.
- Gao, T.; J. Hna, Y. Wang, H. Pei, and S. Lu. 2011. Impacts of climate abnormality on remarkable dust storm increase of the Hunshdak Sandy Lands in northern China during 2001–2008, meteorological applications meteorol.
- Ginoux, P.; D. Garbuzov and N. Hsu. 2010. Identification of anthropogenic and natural dust sources using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Deep Blue level 2 data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012)*. **115(5)**:1-10, DOI: 10.1029/2009JD012398, 2010.
- Hamish, M.; and C. Andrew. 2008. Identification of dust transport pathways from Lake Eyre, Australia using Hysplit. *Atmospheric Environment*, **42(29)**: 6915-6925. DOI: org/10.1016/j.atmosenv.2008.05.053.
- Holben, B.; T. F. Eck, I. Slutsker, D. Tanre, J. P. Buis, A. Setzer, E. Vermote, J. A. Reagan, Y. J. Kaufman, T. Nakajima, F. Lavenu, I. Jankowiak, and A. Smirnov. 1998. AERONET—A Federated Instrument Network and Data Archive for Aerosol Characterization. *Remote Sens. Environ*, **66**: 1–16. DOI.org/10.1016/S0034-4257(98)00031-5.
- Hsu, N.; M.J. Jeong, C. Bettenhausen, A. Sayer, R. Hansell, and C. Seftor. 2013 Enhanced Deep Blue aerosol retrieval algorithm: The second generation. *Journal of Geophysical Research. Atmosphere*, **118(16)**: 9296- 9315. DOI: 10.1002/jgrd.50712.
- Maghrabi, A.; B. Alharbi, and N. Tapper. 2009. Impact of the March 2009 Dust Event in Saudi Arabia on Aerosol Optical Properties, Meteorological Parameters, Sky Temperature and Emissivity. *Atmospheric Environment*, **45(13)**: 2164-2173. DOI.org/10.1016/j.atmosenv.2011.01.071.
- Miller, S.D.; A.P. Kuciauskas, M. Liu, Q. Ji, J.S. Reid, D.W. Breed, A.L. Walker, and A. Al Mandoos .2008. Haboob dust storms of the southern Arabian Peninsula. *J. Geophys. Res.* **113**, D01202, DOI: 10.1029/2007 JD008550.
- Natsagdorj, L.; D. Jugder, and Y.S. Chung. 2003. Analysis of dust storms observed in Mongolia during 1937-1999. *Atmospheric Environment*, **37(9-10)**:1401-1411. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)01023-3](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(02)01023-3).
- Pérez, C.; S. Nickovic, J. Baldasano, M. Sicard, F. Rocadenbosch, and V. Cachorro .2006. A long Saharan dust event over the western Mediterranean: Lidar, Sun photometer observations, and regional dust modeling. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012)*. **111(D15)**. DOI: 10.1029/2005JD006579, 2006.
- Shao, Y. and C.H. Dong. 2006. A review on East Asian dust storm climate, modelling and monitoring. *Global and Planetary Change*, **52(1-4)**: 1–22. DOI.org/10.1016/j.gloplacha.2006.02.011.
- Song, Z.; J. Wang, and S. Wang. 2007. Quantitative classification of northeast Asian dust events. *J. Geophys. Res.* **112**, D04211, DOI: 10.1029/2006JD007048.
- Tanaka, T.Y. and M. A. Chiba. 2006. a Numerical Study of the Contribution of Dust Source Regions to the Global Dust Budget. *Glob Planetary Change*, **52(1-4)**: 88-104. doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.02.002.
- Vishkaee A.; F. Flamant, J. Cuesta, P. Flamant, and H.R. Khalesifard. 2011. Multiplatform servations of dust vertical distribution during transport over northwest Iran in the summertime. *Journal of Geophysical Research*, **116(5)**:1-13. DOI: 10.1029/2010JD014573.

- Waldhauserova, P. D.; O. M. Agnes, H. Olafsson, and O. Arnalds .2016. The Spatial Variation of Dust Particulate Matter Concentrations during Two Icelandic Dust Storms in 2015. *Atmosphere*, **7(6)**: 77, DOI:10.3390/atmos7060077.
- Wang, J. and C.A Sundar.2003. Intercomparison between satellite-derived aerosol optical thickness and PM_{2.5} mass : Implications for air quality studies . *Geophysical Research Letters*, **30 (21)**: 1 – 4. DOI:10.1029/2003GL018174, 2003.
- Wang, Y.; A. Stein, R. Draxler, D. Rosa, and X. Zhang. 2011. Global sand and dust storms in: Observation and HYSPLIT model verification. *Atmospheric Environment*, **45(35)**: 6368-6381. DOI.org/10.1016/j.atmosenv.2011.08.035.
- Yerramilli, A.; V. B. Rao Dodla, V. S. Challa, L. Myles, W. R. Pendergrass, C. A. Vogel, H. P. Dasari, F. Tuluri, J. M. Baham, R. L. Hughes, C. Patrick, J. H. Young, S. J. Swanier, and M. G. Hardy.2012. An integrated WRF/HYSPLIT modeling approach for the assessment of PM_{2.5} source regions over the Mississippi Gulf Coast region. *Air Quality, Atmosphere, and Health*,**5(4)**: 401-412. DOI: 10.1007/s11869-010-0132-1.

