

شبیه‌سازی خط سیر چند نمونه از طوفان‌های گرد و غبار شدید استان کرمانشاه

از دیدگاه همدید و مدل HYSPLIT

قاسم کیخسروی*

استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

محبوبه حاصلی

کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۵/۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۹/۲۶

چکیده

فراوانی و شدت طوفان‌های گرد و غبار در سال‌های اخیر افزایش یافته و پیامدهای مختلف اقتصادی و اکولوژیکی را باعث شده است. این پژوهش به منظور تحلیل همدیدی و شناسایی منابع گرد و غبار استان کرمانشاه با استفاده از مدل HYSPLIT و سیستم‌های گردشی جو در سطوح مختلف انجام گرفت. بررسی آماری سال‌های (۲۰۱۵-۲۰۰۷) نشان داد، از دو نمونه مطالعاتی، یکی از فراگیرترین پدیده گرد و غبار در ماه ژولای سال ۲۰۰۹ رخ داده که حدود سه روز (۲۰۰۹/۷/۳ تا ۲۰۰۹/۷/۵) دید افقی را در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه به کمتر از ۵۰۰ متر کاهش داده است. به منظور رسیدن به هدف ذکر شده ابتدا با استفاده از داده‌های جوی سطح بالا شامل ارتفاع ژئو پتانسیل ترازهای ۱۰۰۰، ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال، باد مداری و نصف‌النهاری نقشه‌های گردشی جو با ترسیم در محیط GRADS، مورد بررسی قرار گرفت، و همچنین برای تعیین مسیر حرکت ذرات غباری در ۴۸ ساعت قبل از وقوع پدیده گرد و غبار، مدل‌سازی با روش ردیابی پس‌گرد و جلو‌گرد در سه سطح ارتفاعی ۱۰۰۰، ۵۰۰ و ۱۵۰۰ متر اجرا شد. با بررسی الگوهای جوی طی روزهای طوفان می‌توان نتیجه گرفت که عامل اصلی ناپایداری‌های جوی منجر به طوفان گرد و غبار در لایه زیرین وردسپهر و در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال شکل گرفته است. بنابراین در لایه پایین وردسپهر وجود یک مرکز کم ارتفاع بر روی شمال عربستان و ادامه آن با مرکز کم ارتفاع پاکستان و گسترش غرب سوی زبانه این کم ارتفاع سبب ایجاد شیو ارتفاعی و شیو فشاری شدید بر روی منطقه شده و بر شدت جریان‌های سطح زمین افزوده است. همچنین مطالعه مسیرهای انتقال ذرات از خروجی مدل نشان داد که به‌طور کلی کانون‌های گرد و غبار در طی روزهای وقوع طوفان شامل مناطق: ۱- شمال، شمال شرق و جنوب شرقی عراق؛ ۲- شمال عربستان؛ ۳- شمال شرق و مرکز سوریه؛ ۴- نواحی جنوبی ترکیه؛ ۵- نواحی مرکزی و جنوب غربی ایران می‌باشد. همچنین ره‌گیری جریان باد با روش جلوگرد نشان داد که بسته‌های هوا و توده‌های گرد و غبار همراه آن‌ها، عمدتاً پس از گذر از استان‌های همدان، مرکزی، قم، تهران به نواحی شمالی سمنان و خراسان خواهند رسید.

واژگان کلیدی: کرمانشاه، گرد و غبار، شرایط همدیدی، منشأ یابی، مدل HYSPLIT.

مقدمه

طوفان شن یا گرد و غبار پدیده‌ای هواشناسی است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک رایج است، این پدیده زمانی ایجاد می‌شود که شدت باد عبوری از آن مناطق از مقدار آستانه بگذرد، در نتیجه در این مناطق شن و غبار قابل جابجایی از سطح خشک زمین کنده می‌شود. در مناطق بیابانی طوفان‌های شن و غبار عمدتاً یا توسط جریان‌های باد وابسته به طوفان‌های تندری و یا توسط گرادیان‌های شدید فشاری که سبب افزایش سرعت باد بر روی محدوده وسیعی می‌شوند، به وجود می‌آیند. شرایط خشکی سطح زمین، وزش باد و شرایط سینوپتیکی در ظهور و ایجاد طوفان‌های گرد و غبار سهم دارند.

بزرگ‌ترین منابع تولید غبار در کره زمین در نیمکره شمالی قرار دارند. این مراکز همچون کمربندی از غبار، از سواحل شمال آفریقا آغاز شده و ضمن عبور از خاورمیانه، آسیای مرکزی و جنوبی به چین می‌رسند. می‌توان گفت که خارج محدوده به‌سختی می‌توان محلی را یافت که منشأ مهمی در تولید غبار در جهان باشد. مراکز تولید غبار معمولاً مناطق خشکی هستند که دارای بارش سالیانه کمتر از ۲۰۰-۲۵۰ میلی‌متر بوده و به لحاظ توپوگرافی در منطقه‌ای پست واقع می‌باشند. بیشتر مناطق پست در گذشته به‌طور متناوب به زیرآب رفته‌اند و هم‌اکنون پس از گذشت زمان و رسوب‌گذاری‌های متناوب تبدیل به مناطق آبرفتی عمیقی شده‌اند (پراسپرو^۱ و همکاران، ۲۰۰۲: ۴۰). از دیدگاه بهداشت عمومی ذرات معلق از آلاینده‌های اصلی هوا می‌باشند. سازمان جهانی بهداشت برآورد نموده است که سالیانه ۵۰۰۰۰۰ نفر بر اثر مواجهه با ذرات معلق هوا موجود در هوای آزاد دچار مرگ زودرس می‌شوند. خاک سطحی منابع گرد و غبار غنی از محتوی شنی (بالاتر از ۵۰ درصد) و محتوی رس پایین (کمتر از ۵ درصد) است. گرد و غبار منجر به تغییرات اقلیم در مقیاس جهانی و محلی و همچنین تغییر در چرخه بیولوژیکی - زمین‌شناسی و شیمیایی و محیط‌زیست انسان می‌گردد (ندافی، ۱۳۸۸). در زمانی که پدیده گرد و غبار در منبع ایجاد می‌شود، ۳۰ درصد در نزدیکی منبع رسوب و ۲۰ درصد دوباره در مقیاس محلی منتشر می‌شود و بیش از نیمی از آن به فواصل دور تا ۶۵۰۰ کیلومتر منتقل می‌شود. سالانه بین ۵-۵/۵ میلیارد تن ذرات که در اندازه قابل انتقال از طریق هوا هستند توسط طوفان‌های گرد و غبار به نقاط دیگر جهان منتقل می‌شوند (ندافی، ۱۳۸۸). مدل HYSPLIT در حقیقت مدلی دوگانه برای محاسبات حرکت گرد و غبار، پراکندگی و شبیه‌سازی ته‌نشینی آن با استفاده از رویکردهای PUFF و ذرات است. در مدل PUFF، وزش‌ها تا رسیدن به محدوده شبکه هواشناسی (هم در جهت افقی و هم در جهت عمودی) ادامه می‌یابد و سپس به چندین وزش جدید که هرکدام از آن‌ها توده‌ای از آلودگی و گرد و غبار را با خود حمل می‌کنند. در مدل ذره‌ای تعداد مشخص از ذرات در دامنه این مدل با سرعت متوسط باد پراکنده می‌شوند. پیش‌فرض این مدل نیز یک فضای سه‌بعدی (افقی و عمودی) است. از ویژگی‌های این مدل می‌توان قابلیت شبیه‌سازی خط سیر یک‌یک چندگانه (فضا یا زمان)، قابلیت تعریف شبکه‌بندی جدید و یا تعریف موقعیت شروع جدید، قابلیت محاسبه حالات پیش رو و عقب‌گرد، مدل‌سازی پراکندگی وزش به‌صورت

^۱- Prospero et al.

سه بعدی، انتشار به صورت لحظه‌ای یا پیوسته، شبکه‌بندی غلظت‌های ثابت و متغیر، دارا بودن حالت رسوب مرطوب و خشک و دارا بودن الگوریتم انتشار گرد و غبار یکپارچه را نام برد (کیخسروی و میرزائی، ۱۳۹۵:۱۴۶). بررسی و تحلیل طوفان‌ها و ردیابی منابع گرد و غبار با استفاده از روش‌های متفاوتی انجام شده است. خاموشی و همکاران در سال ۲۰۱۶ طوفان‌های گرد و غبار را طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۹ در قسمت‌های جنوبی و مرکزی ایران با مدل HYSPLIT و شاخص NDDI مورد بررسی قرار دادند. یکی از شدیدترین طوفان‌ها در سال ۲۰۰۸ در روز ۱۰ خرداد اتفاق افتاده است. نتایج ردیابی با مدل HYSPLIT و شاخص NDDI، نشان‌دهنده آن است که توده‌های هوا از قسمت‌های غربی عراق و شرق سوریه با بادهای شمال غربی به منطقه حمل می‌شود (خاموشی و همکاران، ۲۰۱۶: ۱۶۱۶-۱۶۰۳). شریفی و همکاران در سال ۲۰۱۴ در شبیه‌سازی طوفان‌های گرد و غبار ۲۰۱۰ ماه‌های اردیبهشت و خرداد در روزهای ۱۷ اردیبهشت و ۷ خرداد با استفاده از مدل HYSPLIT به این نتیجه رسیدند که طوفان‌های گرد و غبار روزهای یادشده از صحرای غربی سوریه منشأ گرفته و به ترتیب در روزهای ۱۸ اردیبهشت و ۷ خرداد به اهواز می‌رسند. میانگین غلظت ذرات PM10 در این تاریخ به ترتیب ۶۲۵ و ۴۹۴ میکروگرم در مترمکعب در ایستگاه اهواز رسیده است (شریفی و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۲-۹). زراسوندی^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۱ منشأ طوفان‌های گرد و غبار در نواحی غربی کشور عمدتاً از خارج کشور (زراسوندی و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۵۱-۱۳۸) و در سال ۲۰۱۳ رشکی^۲ و همکاران منشأ طوفان‌های گرد و غبار شرقی کشور عمدتاً منابع داخلی معرفی کردند (رشکی و همکاران: ۲۳۶-۲۲۷). هامیش و آندریو^۳ در سال ۲۰۰۸ مسیرهای حمل گرد و غبار از دریاچه ایر استرالیا را با استفاده از مدل HYSPLIT بررسی و بیان کردند که گرد و غبار این دریاچه تحت تأثیر جریان‌های جوی طی زمان کوتاه قادر است هزاران کیلومتر از قاره استرالیا را تحت تأثیر قرار دهد (هامیش و آندریو، ۲۰۰۸: ۶۹۲۵-۶۹۱۵). وانگ و همکاران^۴ در سال ۲۰۱۱ با استفاده از مدل HYSPLIT طوفان‌های شن و گرد و غبار سال ۲۰۰۸ را بررسی و چهار منطقه افریقای شمالی، خاورمیانه، مغولستان و شمال غرب چین را با فراوانی بالای رخدادهای گرد و غبار بیان کردند (وانگ و همکاران، ۲۰۱۱). بارکان و همکاران^۵ (۲۰۰۵)، در بررسی چگونگی انتقال گرد و غبار صحرا 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 وقوع گرد و غبار و انتقال آن به ایتالیا و مرکز اروپا معرفی می‌کنند (به ارکان و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۴-۱). تاکمی و سینو^۶ (۲۰۰۵)، به بررسی طوفان‌های گرد و غبار و مسیرهای سیکلونی بر روی مناطق خشک در شرق آسیا در فصل بهار پرداختند. برای انجام این پژوهش از روش‌های آماری، همدیدی و ماهواره‌ای استفاده کردند. در این پژوهش مشخص شد که بادهای قوی در بیابان گبی و مناطق شمال شرق چین باعث وقوع گرد و غبار می‌شوند که فعالیت جلو جبهه و فعالیت هوای سرد قابل توجه است (تاکمی و سینو، ۲۰۰۵: ۱۸-۱۱). هارا و همکاران

1- Zarasvandi et al.

2- Rashki et al.

3- Hamish, Andrew.

4- Wang et al.

5- Barkan et al.

6- Takemi, Seino.

(۲۰۰۶)، تغییرات طولانی‌مدت گردوغبارهای آسیا و ارتباط آن را با فاکتورهای اقلیمی طی دوره ۱۹۷۲-۲۰۰۴ مطالعه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که روند روزهای گردوغباری در نواحی گبی بین ۱۹۹۷-۱۹۸۰ روند کاهشی داشته و برای سال‌های اخیر ۲۰۰۲-۲۰۰۰ روند افزایشی داشته که در ژاپن بیش‌تر آشکار است. در این پژوهش کاهش روزهای گردوغباری گبی را در ارتباط با کاهش بادهای قوی در این منطقه دانستند (هارا و همکاران، ۲۰۰۶: ۶۷۴-۶۷۳). نهستگری و همکاران^۲ (۲۰۰۳)، با بررسی و تحلیل طوفان‌های گرد و غبار ۱۹۳۷ تا ۱۹۹۷ مغولستان به این نتیجه رسیدند که ۶۱ درصد طوفان‌ها، در فصل بهار رخ می‌دهد و در زمان وقوع این طوفان‌ها، میزان رطوبت نسبی به ۲۰ تا ۴۰ درصد کاهش می‌یابد (نهستگری و همکاران، ۲۰۰۳: ۱۴۱۱-۱۴۰۱).

کوتیل^۳ (۲۰۰۳)، منابع اصلی و ویژگی‌های زمانی-مکانی طوفان‌های گرد و غبار خاورمیانه را مورد مطالعه قرار داد. وی با تحلیل خوشه‌ای، داده‌های گرد و غبار چهار ناحیه اصلی دارای بیشترین فراوانی طوفان‌ها را مشخص نمود (کوتیل، ۲۰۰۳: ۴۲۵-۴۱۹). وای هانگ و شاونشی^۴ (۲۰۰۱)، از جمله کسانی هستند که علل وقوع طوفان‌های گرد و غبار و اثرات آن‌ها را بر آب‌وهوای چین مطالعه کردند. آن‌ها گرمایش زمین در پهنه کشور مغولستان و سرمایش زمین در شمال کشور چین را در ایجاد گردوغبارهای شمال این کشور بخصوص حوضه تاریم مؤثر می‌دانند (وای هانگ و شاونشی، ۲۰۰۱: ۱۲۱۶-۱۲۲۸). فرج زاده و همکاران (۱۳۹۰)، با بررسی توزیع زمانی و مکانی طوفان‌ها و بادهای شدید در ایران نشان دادند که در اغلب ایستگاه‌ها بین میانگین سرعت باد و فراوانی وقوع طوفان‌ها رابطه معناداری وجود ندارد، به این صورت که ایستگاهی که فراوانی بالایی را از نظر وقوع طوفان‌ها دارند لزوماً میانگین سرعت بالایی ندارند (فرج زاده و همکاران، ۱۳۹۰: ۳۲-۲۲). انگستادلر^۵ در سال ۲۰۰۱ در ارتباط با فراوانی وقوع طوفان‌های گرد و غبار در جهان بر نقش بستر دریایچه‌ها و صحرای بزرگ آفریقا به‌عنوان تولید کنندگان اصلی گرد و غبار تأکید می‌کند و صحرای شمال آفریقا را بیش از هر بیابان دیگری در وقوع طوفان‌های گردوغباری در دنیا مؤثر می‌داند (انگستادلر، ۲۰۰۱: ۲۶). وانگ در سال ۲۰۰۵ ویژگی‌های سینوپتیک حاکم بر تشکیل طوفان‌های گردوغبار شمال شرق آسیا را مورد مطالعه قرار داده است. نتایج وی نشان داد که یک طوفان گرد و غبار در این منطقه همیشه با یک سیستم کم‌فشار یا چرخند همراه است که میزان گرد و غبار در قطاع گرم سیکلون به حداکثر خود می‌رسد (وانگ، ۲۰۰۵). محمدی و همکاران (۱۳۹۴) در ردیابی منابع گرد و غبار در سطوح مختلف جو تهران با استفاده از مدل HYSPLIT به این نتیجه رسیدند که منابع اصلی غبار بر روی تهران در عرض‌های ۲۵ تا ۳۷ درجه شمالی، محدوده‌ای در حد فاصل عراق، عربستان و سوریه می‌باشد. بررسی ارتفاعی ذرات انتشار یافته نشان می‌دهد ذرات گرد و غبار در لایه بالایی به سمت ایران جریان پیدا کرده و در سطوح پائین تری به تهران رسیده است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۴: ۵۴-۳۹).

1- Hara et al.

2- Natsagdorj et al.

3- Kutiel.

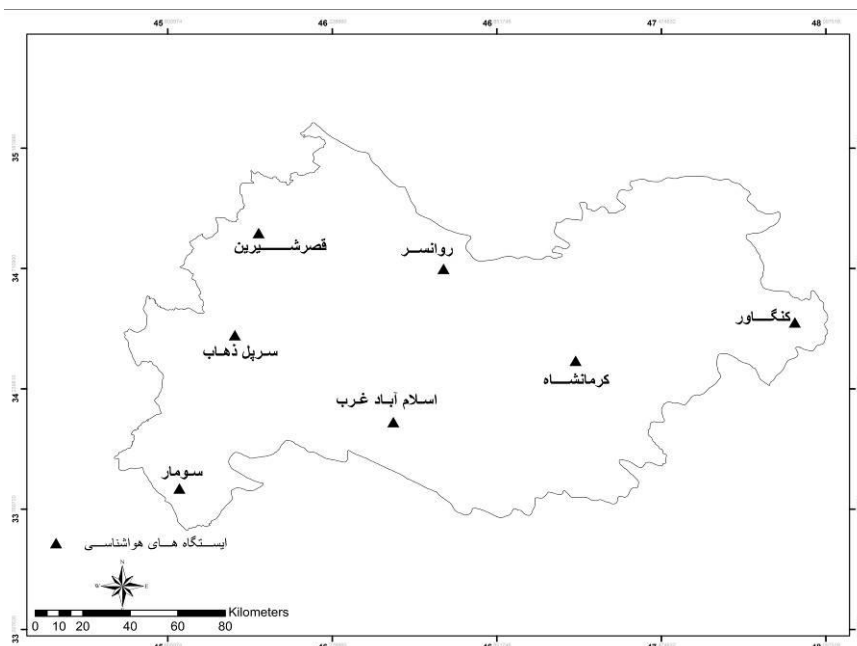
4- Weighing, Shaoyinshi.

5- Engelstadler.

ملکوتی و همکاران (۱۳۹۲)، در مطالعه و شناسایی چشمه طوفان گرد و غبار در منطقه خاورمیانه با استفاده از مدل HYSPLIT به این نتیجه رسیدند که اغلب مسیرهای به دست آمده، از مناطق شمالی و مرکزی عراق و سوریه گذشته و منشأ طوفان گرد و غبار ذکر شده مناطق کویری و خشک شمال-مرکز عراق و سوریه است (ملکوتی و همکاران، ۱۳۹۲: ۸۰-۶۹). لشکری و کیخسروی در سال ۱۳۸۷ در تحلیل سنوپتیکی طوفان گرد و غبار استان خراسان رضوی به این نتیجه رسیدند که شیو فشار و گرمایی بالا، سبب وزش بادهای شدیدی به خصوص در نیمه جنوبی استان خراسان رضوی شده است (لشکری و کیخسروی، ۱۳۸۷: ۲۳-۱۷). ذوالفقاری و عابد زاده (۱۳۸۴)، وقوع طوفان در منطقه جنوب غرب ایران را قرار گرفتن این منطقه در مسیر جریان های جوی می داند که گرد و غبار را از کشور عراق و مناطق خشک این کشور به منطقه غرب ایران انتقال^۱ می دهد (ذوالفقاری و عابد زاده، ۱۳۸۴: ۱۸۷-۱۷۳). امیدوار (۱۳۸۵)، با تحلیل سینوپتیکی طوفان های ماسه دشت یزد- اردکان به این نتیجه رسید، کم فشارهای دینامیکی همراه با جبهه سرد، جریان های قائمی به صورت ناپایداری شدید جوی ایجاد شده که این منجر به طوفان های شدید ماسه در منطقه شده است (امیدوار، ۱۳۸۵: ۵۸-۴۳). در این پژوهش که باهدف بررسی جامع ویژگی های شدیدترین موارد وقوع طوفان های گرد و غبار طی سال های اخیر در ایستگاه های همدیدی استان کرمانشاه انجام گرفته است، سعی بر آن است شرایط اقلیمی و سیستم های جوی منجر به پدیده گرد و غبار بررسی و در نهایت منشأ طوفان های گرد و غبار با استفاده از مدل رهگیری جریان باد به روش عقب و جلو گردد، پایش شود.

- روش پژوهش

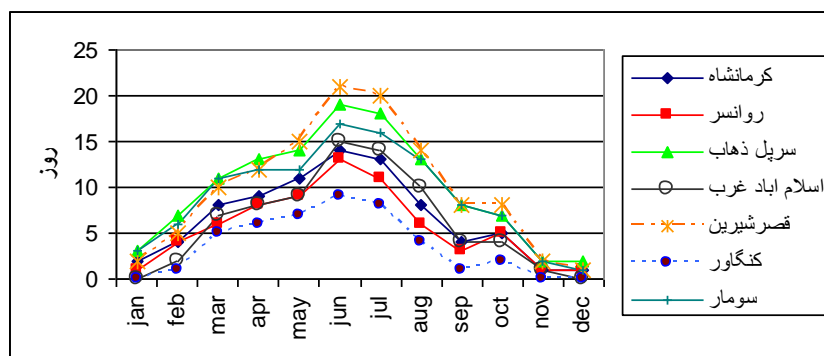
جهت انجام مطالعه، ابتدا ۷ ایستگاه سینوپتیک به گونه ای انتخاب شدند که گستره استان را پوشش داده و تعداد روزهای همراه با گرد و غبار طی دوره (۱۳۹۴-۱۳۸۶) استخراج گردید (شکل ۱). داده های مورد استفاده در این قسمت بر اساس گزارش های وضعیت هوای حاضر در سایت (www.irimo.ir)، را که به طور ساعتی گزارش می کنند استفاده شد. در مرحله بعد برای مطالعه همدیدی و تعیین منابع و مسیر گرد و غبار، چند نمونه از طوفان های گرد و غبار که بیشترین وسعت سطح استان را در بر گرفته بود با استفاده از مدل HYSPLIT، در ۴۸ ساعت آینده و گذشته با روش های خط سیر جلوگرد و عقب گرد باد، رهگیری بسته های هوا در سطح ارتفاعی ۱۰۰۰، ۵۰۰ و ۱۵۰۰ متر، انجام گرفت.



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های منتخب استان کرمانشاه

بحث و نتایج

در بررسی فراوانی وقوع طوفان‌های گرد و غبار در ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره آماری (۹۴-۱۳۸۶) استان کرمانشاه، ایستگاه قصر شیرین و سرپل ذهاب با ارتفاع ۳۳۳ و ۵۴۵ متر از سطح دریا، با ۱۱۸ و ۱۱۷ روز گرد و غبار، بیشترین روزهای گرد و غبار و ایستگاه کنگاور و روانسر با بالاترین ارتفاع به ترتیب با ۱۴۶۸ و ۱۳۷۹/۷ متر، کمترین روزهای گردوغباری را به ترتیب با ۴۳ و ۶۸ روز، دارا می‌باشند. بررسی این دوره آماری نشان می‌دهد که ماه‌های خرداد و تیر، بیشترین فراوانی وقوع و ماه‌های آذر، آبان و دی، کمترین فراوانی وقوع را در تمامی ایستگاه‌ها نشان می‌دهد. نتایج توزیع فصلی گرد و غبار بیانگر آن است که تقریباً در تمامی ایستگاه‌ها، کمترین میزان گرد و غبار مربوط به فصل‌های پاییز و زمستان به ترتیب با فراوانی وقوع ۸/۷۴ و ۱۵/۲۶ درصد و بیشترین میزان وقوع پدیده گرد و غبار در فصل بهار و تابستان به ترتیب با امکان وقوع ۴۳/۰۸ و ۳۲/۹۱ درصد است (شکل ۲).



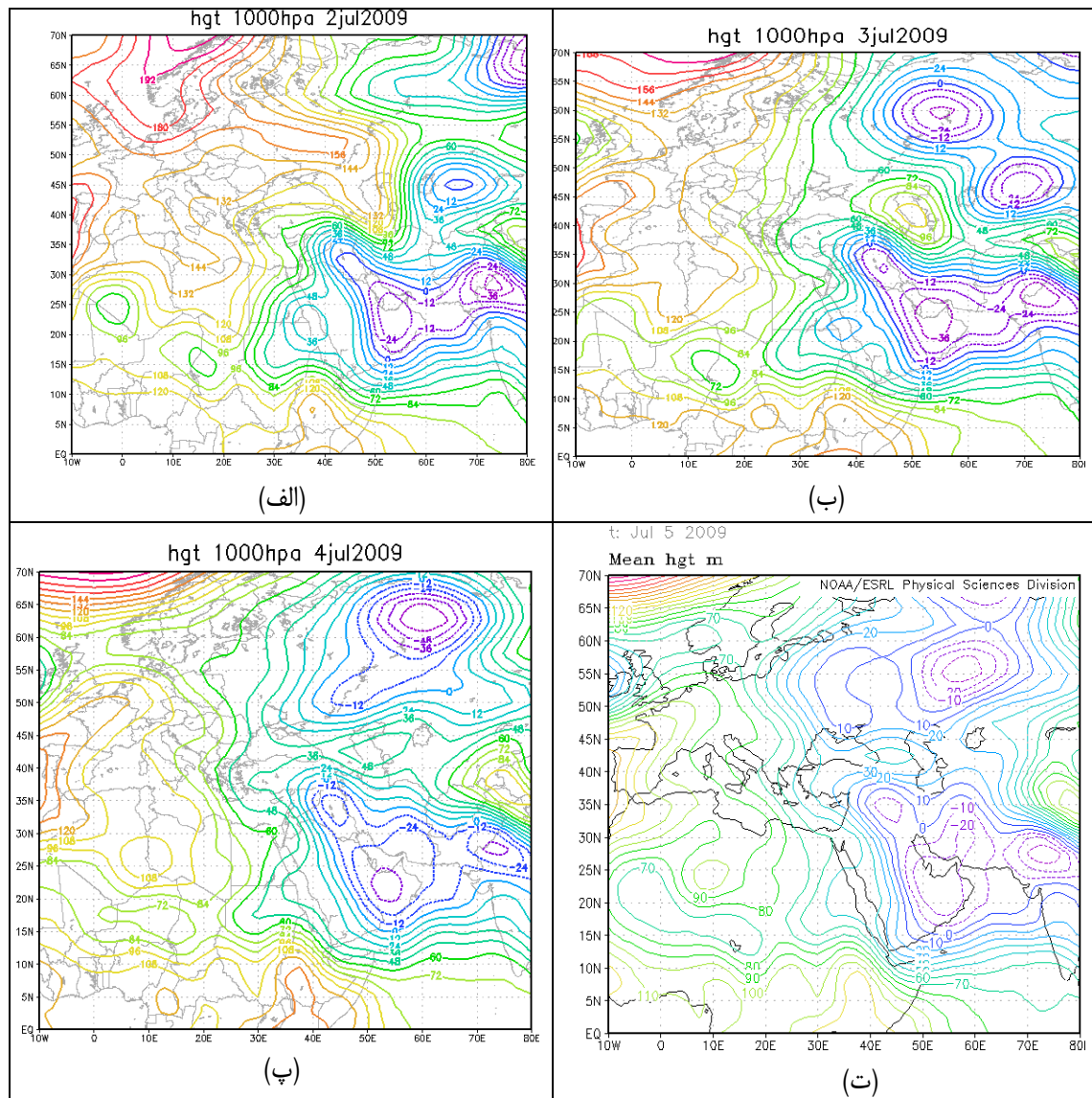
شکل ۲: متوسط تعداد روزهای وقوع طوفان‌های گرد و غبار در استان کرمانشاه (۹۴-۱۳۶۴)

– تحلیل سینوپتیکی طوفان گرد و غبار ۳ تا ۵ ژوئیه ۲۰۰۹

شکل ۳- الف، شرایط سینوپتیکی حاکم در تراز دریا در ۲۴ ساعت قبل از شروع طوفان در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد. با توجه به شباهت الگوی حاکم در ترازهای دریا و ۱۰۰۰ و ۹۲۵ (لایه زیرین وردسپهر) تراز میانی این سه تراز یعنی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال جهت تحلیل انتخاب شده است. در ۲۴ ساعت قبل از شروع طوفان دو مرکز کم ارتفاع بسته، یکی بر روی شمال شرق پاکستان و مرکز دوم در شرق ریاض تشکیل شده است. زبانه‌های این دو مرکز کم ارتفاع به حالت U شکل تمام محدوده پاکستان، نوار جنوبی ایران، تمام عرض دریای عمان و عرب و شبه‌جزیره عربستان را و در ادامه به صورت یک‌زبانه با راستای جنوب شرقی-شمال غربی نوار غربی ایران و عراق را در بر گرفته است. به این ترتیب کشور ایران تا ساحل شرقی مدیترانه تحت تأثیر یک مرکز کم ارتفاع گسترده و قوی قرار دارد. در مرکز عربستان تراز ارتفاعی به کمتر از ۳- ژئو پتانسیل متر می‌رسد و منحنی ارتفاعی عبوری از روی منطقه هم‌ارتفاع صفر ژئو پتانسیل متری باشد. نفوذ این زبانه کم ارتفاع بر روی عراق و غرب ایران جوی ناپایدار را در لایه زیرین وردسپهر حاکم نموده است. شیو ارتفاعی و به تبع شیو فشاری در نوار غربی ایران و مرکز عراق بسیار بالا بوده و بیانگر شدت ناپایداری‌ها در این مناطق است.

شکل ۳ ب، شرایط حاکم را در روز اول طوفان در تراز ۱۰۰۰ نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که الگوی جوی حاکم همان الگوی کلی حاکم در روز قبل می‌باشد. ولی همان‌طور که دیده می‌شود این کم ارتفاع هم در مرکز عربستان و هم بر روی غرب ایران به شدت تقویت شده است. به طوری که در مرکز عربستان این سلول تا ۱۰ ژئو پتانسیل متر و بر روی غرب ایران ۲۰ ژئو پتانسیل متر تقویت شده است. علاوه بر آن در غرب ایران به صورت یک مرکز ارتفاع بریده ظاهر شده است. شیو ارتفاعی همچنان تشدید شده و بیانگر افزایش سرعت باد بر روی عراق و غرب ایران می‌باشد.

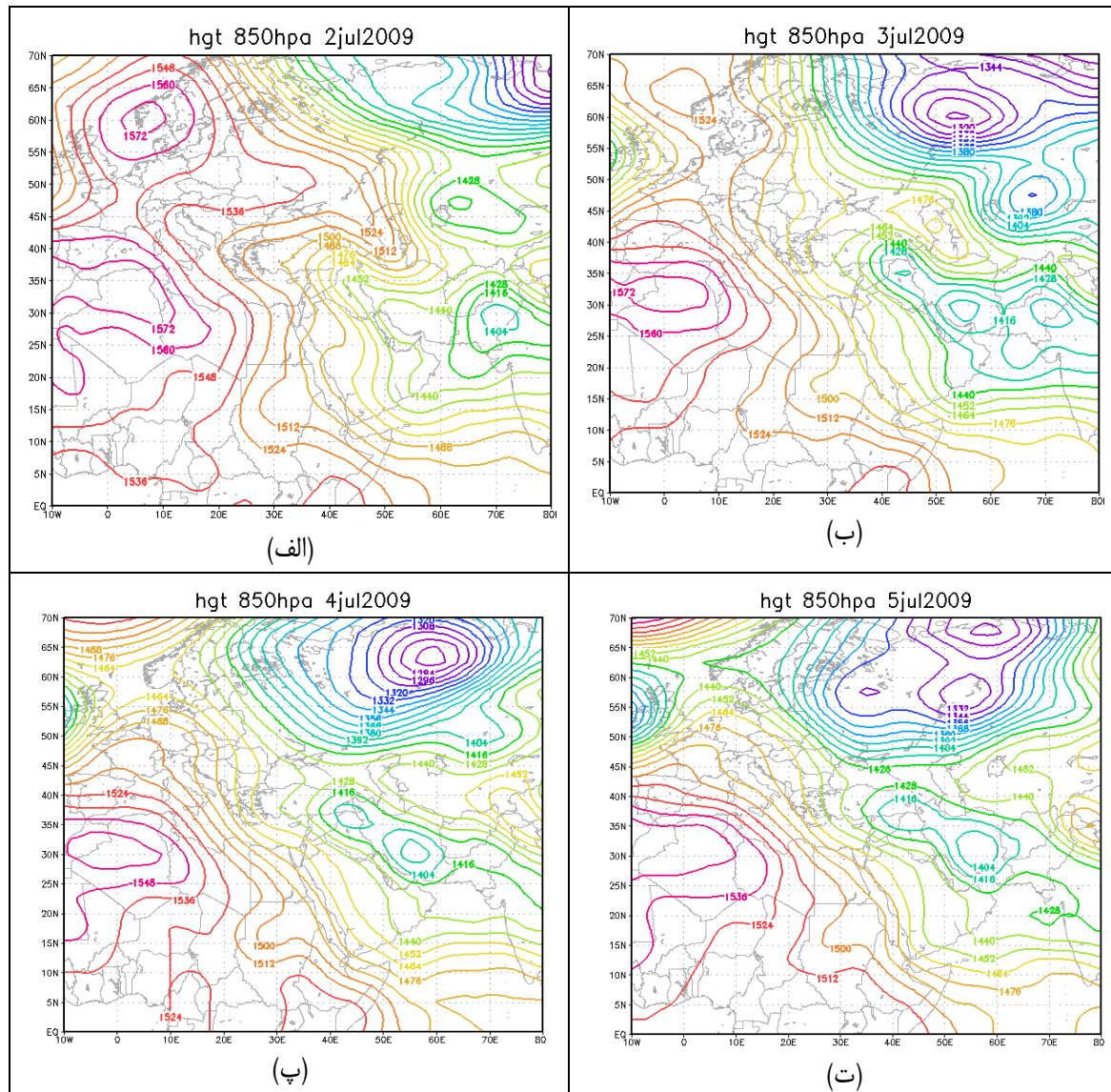
شکل ۳ پ، شرایط سینوپتیکی تراز ۱۰۰۰ را در روز ۴ ژوئیه ۲۰۰۹ (روز دوم طوفان) نشان می‌دهد. الگوی کلی حاکم همچنان همان الگوی روزهای قبل است و همچنان پربند ۲۰- ژئو پتانسیل متر از روی منطقه مطالعاتی عبور می‌کند. در این روز شیو ارتفاعی بر روی عراق قوی‌تر از شیو ارتفاعی روی ایران است و نشان‌دهنده شدت باد بر روی عراق می‌باشد.



شکل ۳: وضعیت روزانه ارتفاع ژئو پتانسیل تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، روزهای ۲ تا ۵ ژوئای ۲۰۰۹

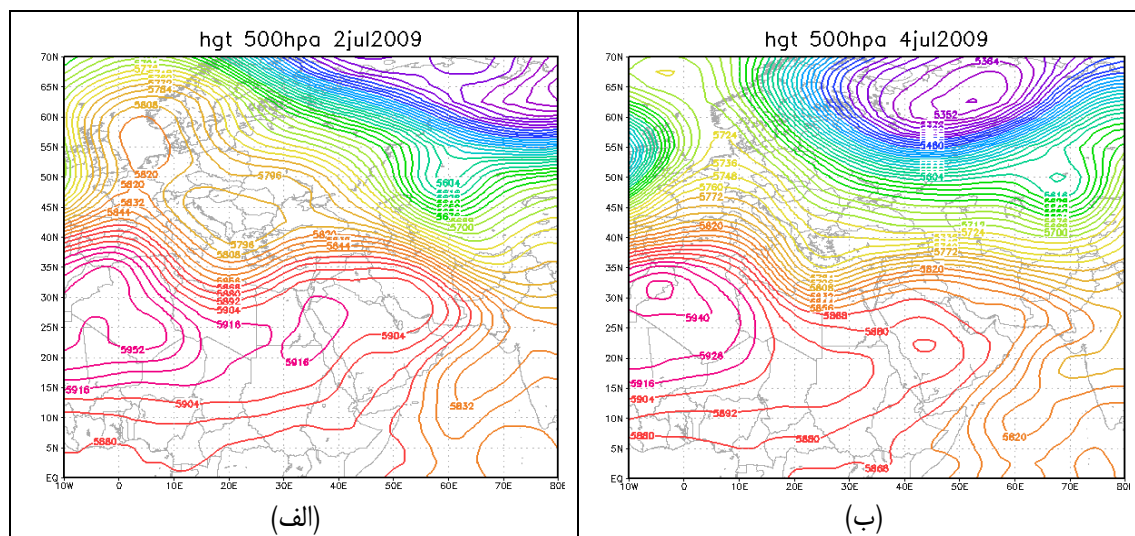
شکل ۴ شرایط سینوپتیکی حاکم در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال را نشان می‌دهد. این تراز حد بالایی لایه مرزی و مرز انتقال از اثرات محیطی به اثرات جوی میانی است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در ۲۴ ساعت قبل از وقوع طوفان با وجود این که الگوی کلی حاکم شبیه ترازهای زیرین جو می‌باشد، ولی سلول کم ارتفاع عربستان در این تراز نادیده شده و به صورت یک‌زبانه در امتداد کم ارتفاع پاکستان قرار دارد. در این تراز مرکز کم ارتفاع قوی با پربند ۱۴۰۰ ژئو پتانسیل متر بر روی شمال شرق پاکستان بر روی صحرای تار بسته شده است. زبانه غربی این کم ارتفاع بخش جنوبی ایران را در برگرفته است و در ادامه با راستای جنوب شرقی - شمال غربی تا ساحل شرقی مدیترانه و جنوب دریای سیاه امتداد یافته است. در این تراز نیز همچنان شیو ارتفاعی بر روی عراق شدید است. بیانگر وقوع جریان‌های ناپایدار بر روی عراق و غرب ایران تا تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال می‌باشد.

در روز ۳ ژوئیه ۲۰۰۹ (شکل ۲ ب) شرایط حاکم در روز اول طوفان گرد و غبار را در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد. در این روز مرکز کم ارتفاع در غرب ایران و بر روی شمال عراق به شدت تقویت شده است. به طوری که سلولی با پربند ۴۲۰ ژئو پتانسیل متر بر روی شمال عراق و سلول دوم با پربند ۱۴۰۰ ژئو پتانسیل متر بر روی استان فارس بسته شده است. به این ترتیب مرکز کم ارتفاع به شدت تقویت شده و در نتیجه بر شدت ناپایداری‌ها در این تراز افزوده شده است. در روز دوم و سوم طوفان (۴ و ۲۰۰۹/۷/۵) نیز همان الگوی روز قبل حاکم است و همچنان سلول کم ارتفاع با همان شدت روز قبل بر روی غرب ایران بر شدت ناپایداری‌ها افزوده است. فرارفت سرد عرض‌های شمالی در شرق مدیترانه و فرارفت گرم به وسیله زبانه کم ارتفاع روز جنوب ایران، گرادیان حرارتی را بر روی غرب ایران و عراق به شدت افزایش داده است و بر شدت جریان هوا افزوده است (شکل ۴ پ، ۴ ت).



شکل ۴: وضعیت روزانه ارتفاع ژئو پتانسیل تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، روزهای ۲ تا ۵ ژوئیه ۲۰۰۹

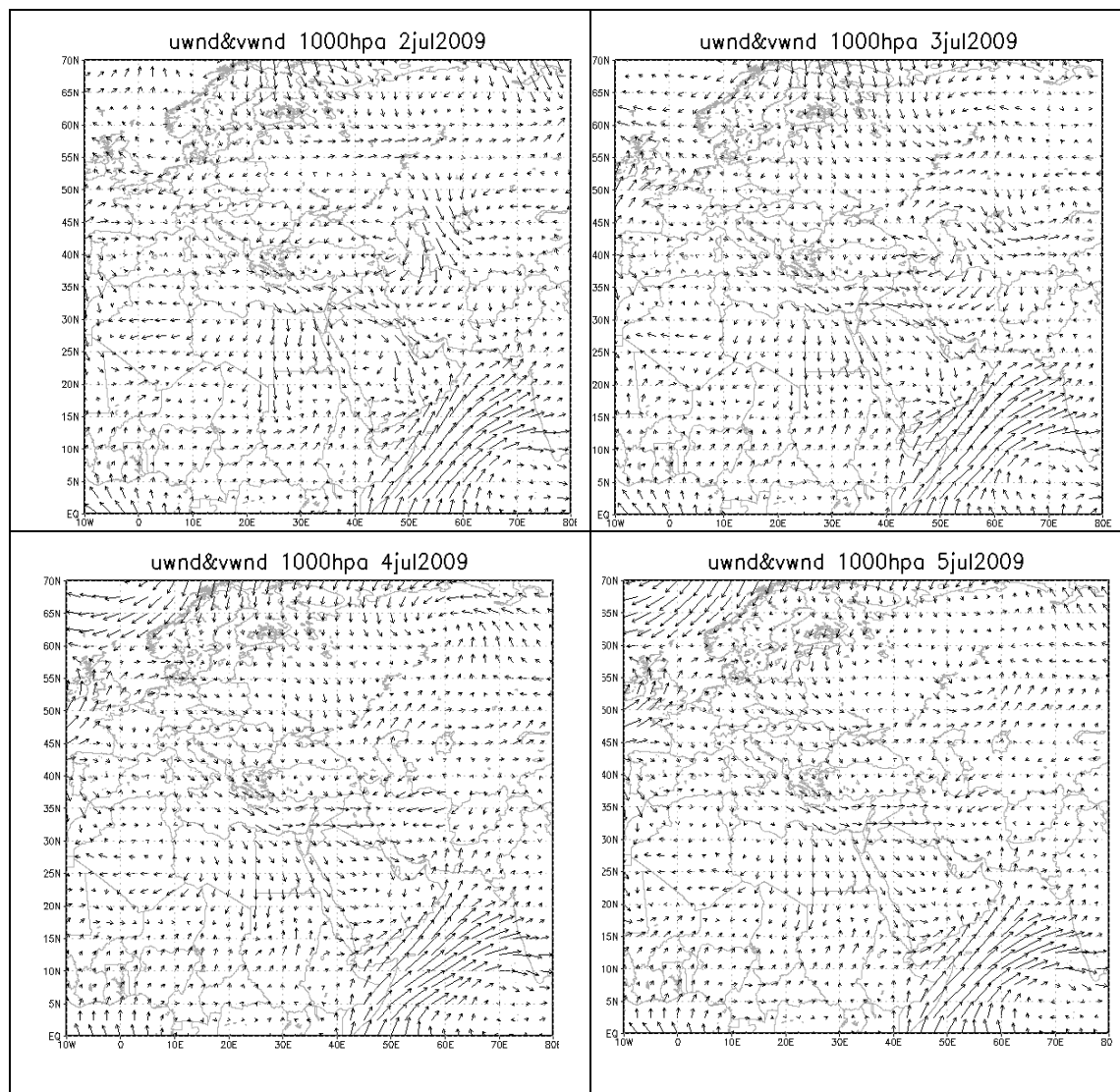
شکل ۵ نمونه‌ای از شرایط سینوپتیکی حاکم در تراز میانی وردسپهر را در قبل از شروع طوفان و روز اوج طوفان نشان می‌دهد. با توجه به شباهت کلی الگوی حاکم در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال فقط نقشه دو روز از تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای نمونه بررسی شده است. در ۲۴ ساعت قبل از شروع طوفان هسته و اچرخند قوی با پربند ۵۹۵۰ ژئو پتانسیل متر در غرب صحرای افریقا، شبه جزیره عربستان و تقریباً تمام ایران را در برگرفته است. در نتیجه در لایه میانی جو، جوی پایدار حاکمیت دارد.



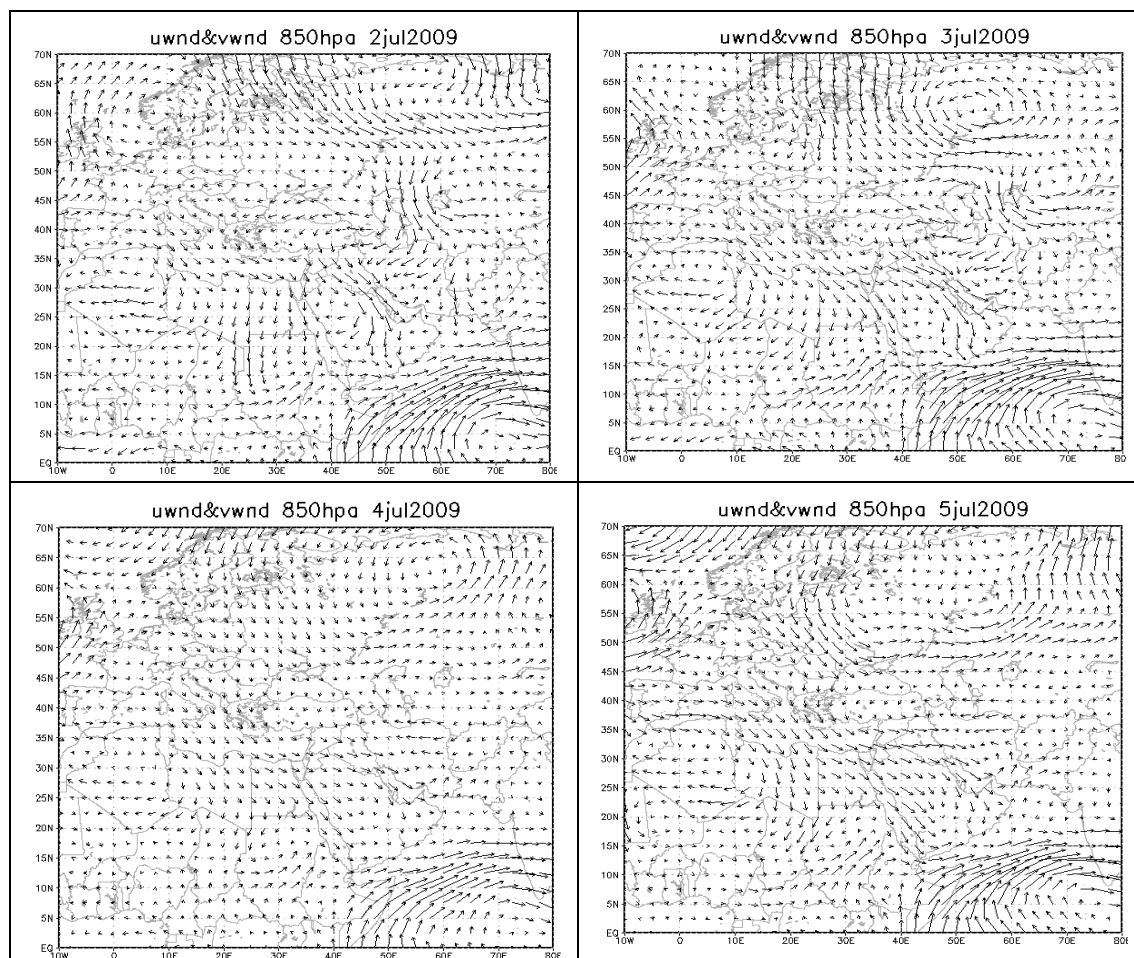
شکل ۵: وضعیت روزانه ارتفاع ژئو پتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، روزهای ۲ و ۴ ژوئای ۲۰۰۹

همان‌طور که شکل (ب) نشان می‌دهد در روز ۴ ژوئای نیز چنین الگویی حاکم است. نقشه‌های سایر روزهای طوفان نیز همین الگو را نشان می‌دهد. بنابراین عامل اصلی ناپایداری‌های جوی منجر به طوفان گرد و غبار در لایه زیرین وردسپهر و در زیر تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال شکل گرفته است و عامل اصلی این شرایط ناپایداری‌های حرارتی محلی است که در لایه زیرین شکل گرفته است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در لایه پایین وردسپهر وجود یک مرکز کم ارتفاع بر روی شمال عربستان و ادامه آن با مرکز کم ارتفاع پاکستان و گسترش غرب سوی زبانه این کم ارتفاع سبب ایجاد شیو ارتفاعی و شیو فشاری شدید بر روی منطقه شده و بر شدت جریان‌های سطح زمین افزوده است. با وجود این که در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال سلول حرارتی عربستان از بین رفته است ولی زبانه کم‌فشار سودانی همچنان جو را تا تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ناپایدار نگه می‌دارد. غلبه پایداری در لایه ۷۰۰ هکتوپاسکال سبب شده است ذرات گرد و غبار در زیر لایه ۸۵۰ هکتوپاسکال تجمع پیدا کرده و امکان صعود آن به لایه‌های بالا فراهم نشود در نتیجه عمده تراکم ذرات در ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متری زمین می‌باشد.

شکل‌های ۶ و ۷ میدان باد مداری و نصف‌النهاری را در روزهای قبل و روز اول تا سوم طوفان گرد و غبار نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در تمام ترازهای ۱۰۰۰ تا ۸۵۰ هکتوپاسکال باد غالب بر روی عراق و غرب ایران مثبت یا غربی است و شدت باد مداری در هر دو تراز ۱۰۰۰ به ۸۵۰ هکتوپاسکال نسبتاً قابل توجه بوده است. شدت باد مداری در ۲۴ ساعت قبل از شروع طوفان و روزهای اول، دوم و سوم طوفان بر روی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال بر روی عراق به ترتیب ۶، ۸، ۸، ۷ متر بر ثانیه و در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال به ترتیب ۸، ۱۰، ۹، ۸ متر بر ثانیه بوده است. ولی در طول ایام طوفان گرد و غبار مؤلفه نصف‌النهاری باد بر روی منطقه به شدت پایین بوده است به طوری که به ندرت به بیش از ۱ تا ۲ متر بر ثانیه رسیده و در عمده موارد باد نصف‌النهاری شمالی بوده است.



شکل ۶: میدان باد مداری و نصف‌النهاری تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال روزهای ۲ تا ۵/۷/۲۰۰۹

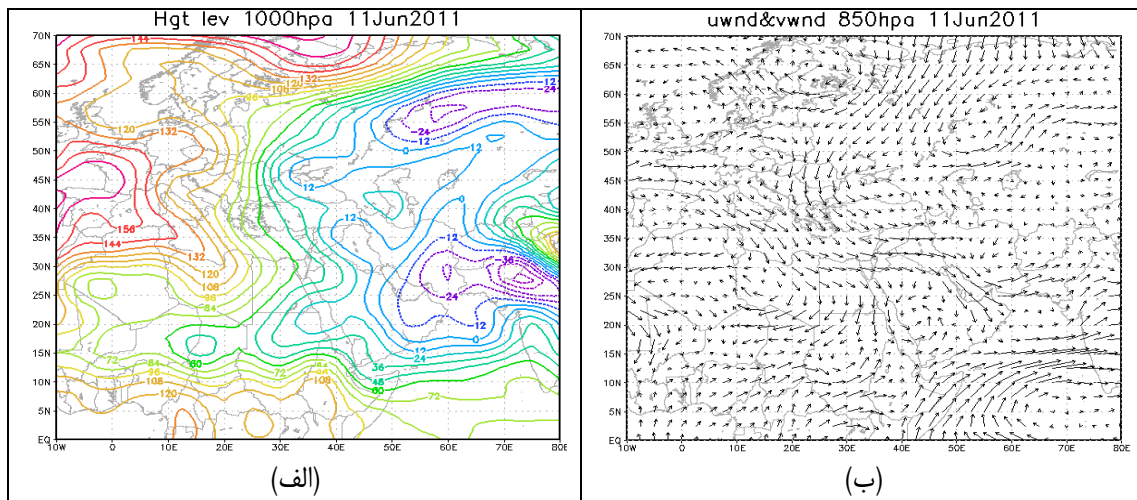


شکل ۷: میدان باد مداری و نصف‌النهاری تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال روزهای ۲ تا ۵/۷/۲۰۰۹

– تحلیل سینوپتیکی طوفان گرد و غبار ۱۱ ژوئن ۲۰۱۱

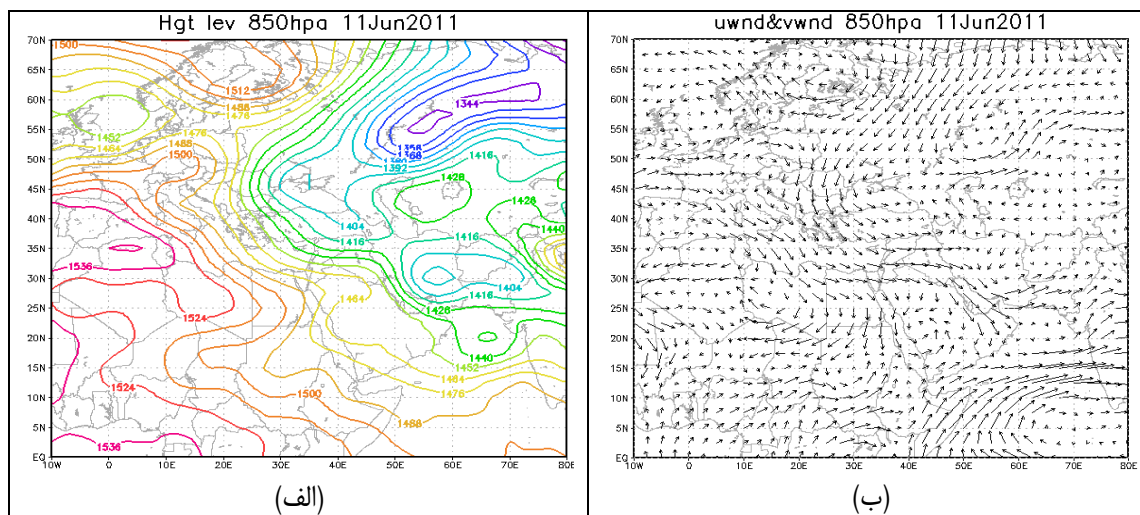
در این الگو پدیده غالب در تراز زیرین جو حاکمیت یک کم‌فشار حرارتی گسترده را در سراسر ایران نشان می‌دهد. شکل (۸ الف) الگوی حاکم را در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود بر روی صحرای تار در شمال شرق هند و غرب پاکستان کم‌فشار عمیقی استقرار دارد. این کم‌ارتفاع عمیق در مرکز خود با ارتفاع ژئو پتانسیلی ۶۰- ژئو پتانسیل متر بسته‌شده است. در همین تراز مرکز کم‌ارتفاع دیگر با پربند ۳۶- ژئو پتانسیل بسته‌شده است. هر دو مرکز کم‌ارتفاع راستای غربی- شرقی دارند. این دو سامانه کم‌ارتفاع بر روی شمال شرق ایران با یکدیگر ادغام شده و به‌صورت یک سامانه کم‌ارتفاع بسیار گسترده تمام عرض‌های ۱۰ تا ۶۰ درجه شمالی و نصف‌النهار ۳۰ درجه شرقی تا غرب نصف‌النهار ۷۰ درجه شرقی را دربر گرفته است. با گسترش غرب سوی زبانه کم‌ارتفاع تمام ایران تحت تسلط این زبانه کم‌ارتفاع و ناپایدار حرارتی قرار گرفته است. در نقطه مقابل مرکز کم‌ارتفاع زیادی با پربند ۱۸۰ ژئو پتانسیل متر بسته‌شده است. زبانه شرقی این واچرخند قوی تا ساحل شرقی دریای مدیترانه گسترش پیدا کرده است. هم‌جواری دو زبانه چرخندی و واچرخندی سبب ایجاد یک شیو ارتفاعی شدید بر روی عراق و سوریه شده است.

شکل (۸ ب) نقشه جریان را در همین تراز نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود بر روی عراق، سوریه جریان‌های در این تراز که نزدیک‌ترین تراز به سطح زمین است غربی می‌باشد. درعین‌حال از تندی زیادی برخوردار است به طوری که بر روی سوریه، غرب عراق سرعت تندباد به بیش از ۳۰ متر بر ثانیه می‌رسد. این جریان تندباد سبب شده است ذرات ریز گرد به راحتی از روی چشمه‌های ریز گردی این مناطق بلند شده و با همین جهت غربی به سمت غرب ایران منتقل شوند.



شکل ۸: وضعیت روزانه ارتفاع ژئو پتانسیل و میدان باد مداری و نصف‌النهاری تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال

شکل (۹ الف) الگوی حاکم در همین روز را در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مرز بالایی لایه مرزی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در این تراز نیز الگوی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال حاکمیت دارد. با این تفاوت که هسته مرکزی کم ارتفاع روی کویر مرکزی ایران منتقل شده است. این کم‌فشار حرارتی بر روی لوت استقرار دارد. با جابجایی غرب سوی این مرکز چرخندی حرارتی سبب شده است شیو ارتفاعی و به طبع شیو فشاری بر روی غرب ایران، عراق و ساحل شرقی مدیترانه تشدید شود. حاکمیت این الگو نشان می‌دهد که در لایه زیرین و ردسپهر، مرکز چرخندی حرارتی قوی حاکم شده و در تقابل با مرکز واچرخندی دینامیک حاکم بر روی غرب مدیترانه گرادیان ارتفاعی و فشاری شدیدی را بر روی عراق و سوریه حاکم شده است. شکل (۹ ب) الگوی جریان حاکم در همین تراز را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود به تبعیت از الگوی فشاری حاکم و در مرز دو زبانه چرخندی حرارتی پاکستان و ایران و زبانه واچرخندی مدیترانه شرقی جریان‌های غربی شدیدی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال حاکم شود. در این تراز نیز تندی باد از شرق مدیترانه تا غرب ایران بسیار شدید بوده و در یک لایه بیش از ۱۵۰۰ متری ریز گردها از طریق جریان‌های غربی بر روی منطقه مطالعاتی منتقل می‌شوند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود این جریان‌های در شرق ارتفاعات زاگرس بشدت کم‌سرعت شده و از تندی باد کاسته می‌شود. که بیانگر انباشتگی ریز گردها در دامنه شرقی زاگرس و تشدید آلودگی در این استان‌ها گردیده است.



شکل ۹: وضعیت روزانه ارتفاع ژئو پتانسیل و میدان باد مداری و نصف‌النهاری تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال

– ردیابی خط سیر جریان باد حامل ذرات گرد و غبار

الف) طوفان گرد و غبار ۳ تا ۵ ژوئیه ۲۰۰۹

برای ردیابی جریان باد در روزهای طوفان گرد و غبار با استفاده از مدل رهگیری جریان باد (HYSPILT) و روش‌های خط سیر عقب‌گرد و جلو‌گرد، رهگیری بسته‌های باد در روزهای وقوع گردوخاک در ایستگاه‌های مورد مطالعه انجام گردید. در نقشه‌های حاصل از این مدل هر نقطه روی مسیرهای ختم شده به ایستگاه که ممکن است بر اساس خروجی و انتخاب نوع مدل، مربع، مثلث یا دایره باشد، نشان‌دهنده آغاز بازه زمانی ۶ ساعت و نقطه بعدی نشان‌دهنده خاتمه آن است. علامت ستاره روی خروجی‌های مدل نشان‌دهنده ایستگاه‌های گرد و غبار است که طول و عرض آن‌ها به مدل داده شده است. همچنین مسیر باد رسیده به ایستگاه‌ها با رنگ‌های سبز، آبی و قرمز نشان داده شده است. ارتفاع نمایش داده شده در پایین هر نقشه که مسیرهای باد رسیده به ایستگاه‌ها از آن منشأ می‌گیرند، نشان‌دهنده ارتفاع مسیر طی شده از سطح زمین است. اگر بسته‌های هوای رسیده به منطقه از مناطق مولد توده‌های گرد و غبار عبور کرده باشند، می‌توان آن را به منزله محل عبور توده‌های گرد و غبار شناسایی کرد.

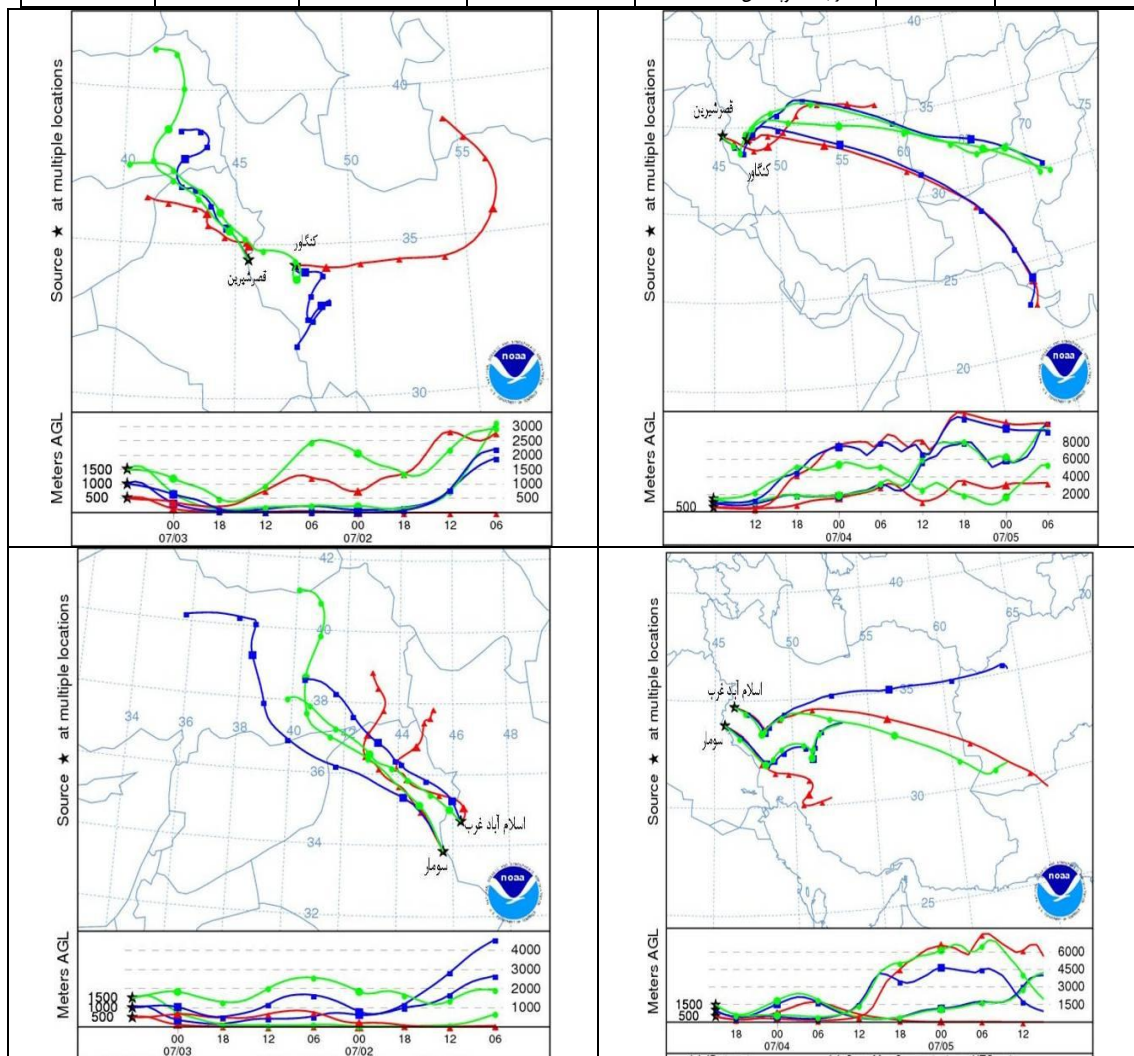
در روز ۲۰۰۹/۷/۳ در ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس جدول شماره (۱) کمترین مقدار دید افقی در ایستگاه سو مار بادید افقی ۱۰۰ و ۵۰۰ متر در ساعت‌های ۱۲ و ۱۵، در ایستگاه سرپل ذهاب، ۱۰۰ و ۲۰۰ متر در ساعت‌های ۱۵ و ۱۸ و در ایستگاه قصر شیرین بادید افقی ۲۰۰ و ۵۰۰ متر، مشاهده می‌شود. به‌طور کلی در این روز ایستگاه‌های شرق استان کرمانشاه از قبیل ایستگاه کنگاور، روانسر و کرمانشاه در بیشتر ساعات، دارای دید افقی بیش از ۱۰ کیلومتر می‌باشند، و فقط در ساعات پایانی روز جریان گرد و غبار به این ایستگاه‌ها نیز کشیده شده است. در این روز رهگیری جریان باد با روش عقب‌گرد از ۴۸ ساعت قبل در ایستگاه‌های سرپل ذهاب، سو مار، اسلام‌آباد غرب و قصر شیرین در سه ارتفاع ۱۰۰۰، ۵۰۰ و ۱۵۰۰ متری، از سرزمین‌های شمال عراق و شمال شرقی سوریه نشأت می‌گیرد. در ایستگاه روانسر در ارتفاع ۱۵۰۰ متری از سرزمین‌های جنوب سوریه و مرکز عراق و در ارتفاع ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری از جنوب ترکیه و شمال و

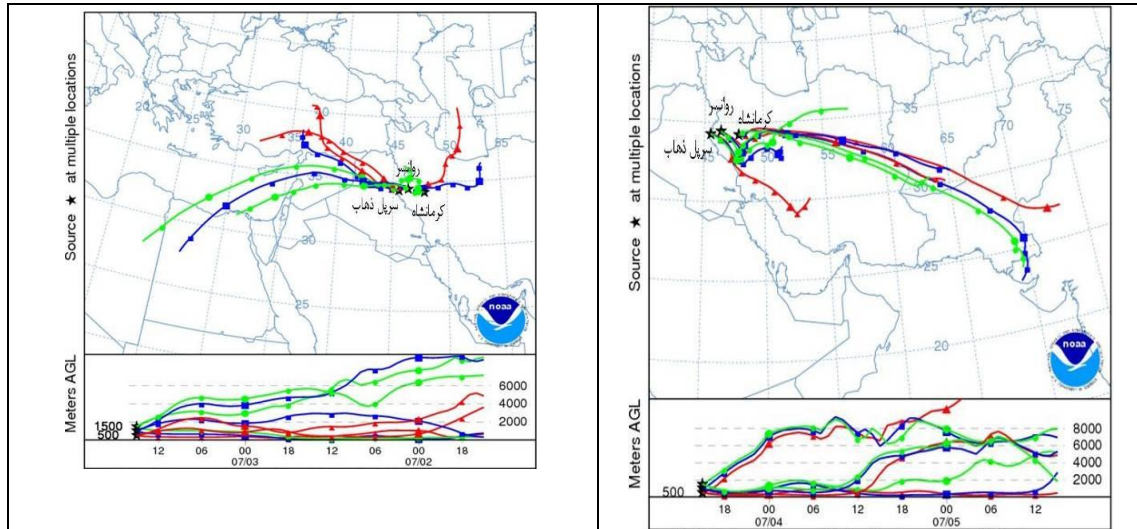
شمال شرقی عراق سرچشمه می‌گیرد. در ایستگاه کنگاور در ارتفاع ۱۵۰۰ متری از نواحی شمال شرقی عراق و در ارتفاع ۱۰۰۰ متری از جنوب غربی کشور از منطقه خوزستان و در ارتفاع ۵۰۰ متری از نواحی خشک مرکزی ایران سرچشمه می‌گیرد. و در نهایت در ایستگاه کرمانشاه رهگیری جریان عقب‌گرد باد در سه ارتفاع ذکر شده از سرزمین‌های شمال عربستان و نواحی جنوب شرقی عراق نشأت گرفته است. بنابراین در این روز استان کرمانشاه تحت تأثیر بسته‌های هوایی قرار گرفتند که از شمال، شمال شرق و جنوب شرقی عراق، شمال عربستان و شمال شرقی سوریه و در ایستگاه‌های غرب استان در برخی از سطوح ارتفاعی از نواحی مرکزی و جنوب غرب ایران سرچشمه گرفتند. در رهگیری جلوگرد باد در این روز غیر از ایستگاه سو مار که در بعضی از ترازها به سمت نواحی جنوب غربی کشور از قبیل استان‌های لرستان و خوزستان پیشروی می‌کند در باقی ایستگاه‌ها روند پیشروی ذرات گرد و غبار به سمت نواحی شرقی، مرکزی و نواحی جنوبی رشته‌کوه‌های البرز است (شکل ۱۰).

جدول (۱): ویژگی‌های عناصر هواشناسی در زمان وقوع طوفان‌های گرد و غبار در ایستگاه‌های استان

ایستگاه	تاریخ	پارامتر	ساعت ۹	ساعت ۱۲	ساعت ۱۵	ساعت ۱۸
سرپل ذهاب	۲۰۰۹/۷/۳	دید افقی به متر	۳۰۰۰	۴۰۰	۲۰۰	۱۰۰
		جهت و سرعت باد (متر بر ثانیه)	SW-6m/s	W-6m/s	W-4m/s	صفر
		فشار به هکتوپاسکال	۹۳۹/۲۰۰	۹۳۸/۵۰۰	۹۳۷/۹۰۰	۹۳۸/۹۰۰
سو مار	۲۰۰۹/۷/۳	دید افقی به متر	۱۰۰۰	۵۰۰	۱۰۰	-
		جهت و سرعت باد (متر بر ثانیه)	W-7m/s	W-9m/s	NW-7m/s	-
		فشار به هکتوپاسکال	۹۶۵	۹۶۴	۸۰۰/۹۶۳	-
قصر شیرین	۲۰۰۹/۷/۳	دید افقی به متر	۵۰۰	۲۰۰	۲۰۰	-
		جهت و سرعت باد (متر بر ثانیه)	W-4m/s	W-6m/s	W-6m/s	-
		فشار به هکتوپاسکال	955	۹۵۴/۱۰۰	۹۵۴/۱۰۰	-
اسلام‌آباد غرب	۲۰۰۹/۷/۳	دید افقی به متر	بیش از 10km	بیش از 10km	۲۰۰۰	۲۰۰۰
		جهت و سرعت باد (متر بر ثانیه)	صفر	W-7m/s	W-6m/s	صفر
		فشار به هکتوپاسکال	۸۵۶/۶۰۰	۸۵۵/۹۰۰	۸۵۵/۹۰۰	۸۵۶/۲۰۰
کرمانشاه	۲۰۰۹/۷/۳	دید افقی به متر	بیش از ۱۰ کیلومتر	بیش از ۱۰ کیلومتر	۳۰۰۰	۱۵۰۰
		جهت و سرعت باد (متر بر ثانیه)	W-3m/s	NW-2m/s	W-9m/s	W-8m/s
		فشار به هکتوپاسکال	۸۶۰/۱۰۰	۸۵۸/۲۰۰	۸۵۸/۴۰۰	۸۵۸/۹۰۰
کنگاور	۲۰۰۹/۷/۳	دید افقی به متر	بیش از 10km	بیش از 10km	بیش از 10km	بیش از 10km
		جهت و سرعت باد (متر بر ثانیه)	صفر	W-5m/s	W-6m/s	SW-5m/s
		فشار به هکتوپاسکال	۸۴۴/۳۰۰	۸۴۲/۶۰۰	۸۴۲	۸۴۲
سرپل ذهاب	۲۰۰۹/۷/۴	دید افقی به متر	۲۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
		جهت و سرعت باد	SW-5m/s	SW-5m/s	SW-3m/s	-
		فشار به هکتوپاسکال	۹۳۸/۴۰۰	۹۳۸	۹۳۸/۲۰۰	۹۳۹/۴۰۰
سو مار	۲۰۰۹/۷/۴	دید افقی به متر	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	-
		جهت و سرعت باد	W-5m/s	W-6m/s	W-3m/s	-
		فشار به هکتوپاسکال	۹۶۴/۸۰۰	۹۶۴	۹۶۴	-
قصر شیرین	۲۰۰۹/۷/۴	دید افقی به متر	۲۰۰	۱۰۰	۱۰۰	-
		جهت و سرعت باد	SW-5m/s	W-6m/s	W-6m/s	-
		فشار به هکتوپاسکال	۹۵۴/۶۰۰	۹۵۴	۹۵۴/۲۰۰	-
اسلام‌آباد غرب	۲۰۰۹/۷/۴	دید افقی به متر	۹۰۰	۱۰۰۰	۶۰۰	۶۰۰
		جهت و سرعت باد	SW-3m/s	W-9m/s	NW-7m/s	صفر
		فشار به هکتوپاسکال	۸۵۶	۸۵۵/۷۰۰	۸۵۵/۷۰۰	۸۵۷
کرمانشاه	۲۰۰۹/۷/۴	دید افقی به متر	۴۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۴۰۰
		جهت و سرعت باد	W-2m/s	SW-3m/s	W-6m/s	W-7m/s
		فشار به هکتوپاسکال	۸۵۸/۵۰۰	۸۵۷/۹۰۰	۸۵۷/۹۰۰	۸۵۹/۳۰۰
کنگاور	۲۰۰۹/۷/۴	دید افقی به متر	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۱۰۰۰

W-5m/s	W-6m/s	W-10m/s	SW-5m/s	جهت و سرعت باد		
۸۴۲/۹۰۰	۸۴۱/۶۰۰	۸۴۲	۸۴۲/۱۰۰	فشار به هکتوپاسکال		
۵۰۰	۵۰۰	۴۰۰	۲۰۰	دید افقی به متر		
صفر	W-6m/s	W-4m/s	W-4m/s	جهت و سرعت باد	۲۰۰۹/۷/۵	سرپل ذهاب
۹۴۱/۳۰۰	۹۳۹/۷۰۰	۹۳۹/۸۰۰	۹۴۰/۴۰۰	فشار به هکتوپاسکال		
-	۱۰۰۰	۵۰۰	۵۰۰	دید افقی به متر		
-	W-9m/s	NW-8m/s	NW-7m/s	جهت و سرعت باد	۲۰۰۹/۷/۵	سو مار
-	۹۶۵/۲۰۰	۹۶۵/۸۰۰	۹۶۶/۲۰۰	فشار به هکتوپاسکال		
-	۱۰۰۰	۵۰۰	۳۰۰	دید افقی به متر		
-	NW-8m/s	SW-4m/s	W-4m/s	جهت و سرعت باد	۲۰۰۹/۷/۵	قصر شیرین
-	۹۵۵/۸۰۰	۹۵۵/۸۰۰	۹۵۶/۸۰۰	فشار به هکتوپاسکال		
۸۰۰	۹۰۰	۶۰۰	۸۰۰	دید افقی به متر		
NW-5m/s	W-5m/s	NW-9m/s	SW-4m/s	جهت و سرعت باد	۲۰۰۹/۷/۵	اسلام‌آباد غرب
۸۵۸/۱۰۰	۸۵۷/۳۰۰	۸۵۷	۸۵۷/۳۰۰	فشار به هکتوپاسکال		
۳۰۰	۶۰۰	۳۰۰	۲۰۰	دید افقی به متر		
NW-5m/s	W-8m/s	NW-5m/s	صفر	جهت و سرعت باد	۲۰۰۹/۷/۵	کرمانشاه
۸۶۰/۴۰۰	۸۵۹/۴۰۰	۸۵۹/۷۰۰	۸۶۰/۸۰۰	فشار به هکتوپاسکال		
۸۰۰	۷۰۰	۴۰۰	۳۰۰	دید افقی به متر		
W-3m/s	W-4m/s	W-8m/s	S-3m/s	جهت و سرعت باد	۲۰۰۹/۷/۵	کنگاور
۸۴۴/۱۰۰	۸۴۲/۸۰۰	۸۴۳/۱۰۰	۸۴۴/۴۰۰	فشار به هکتوپاسکال		



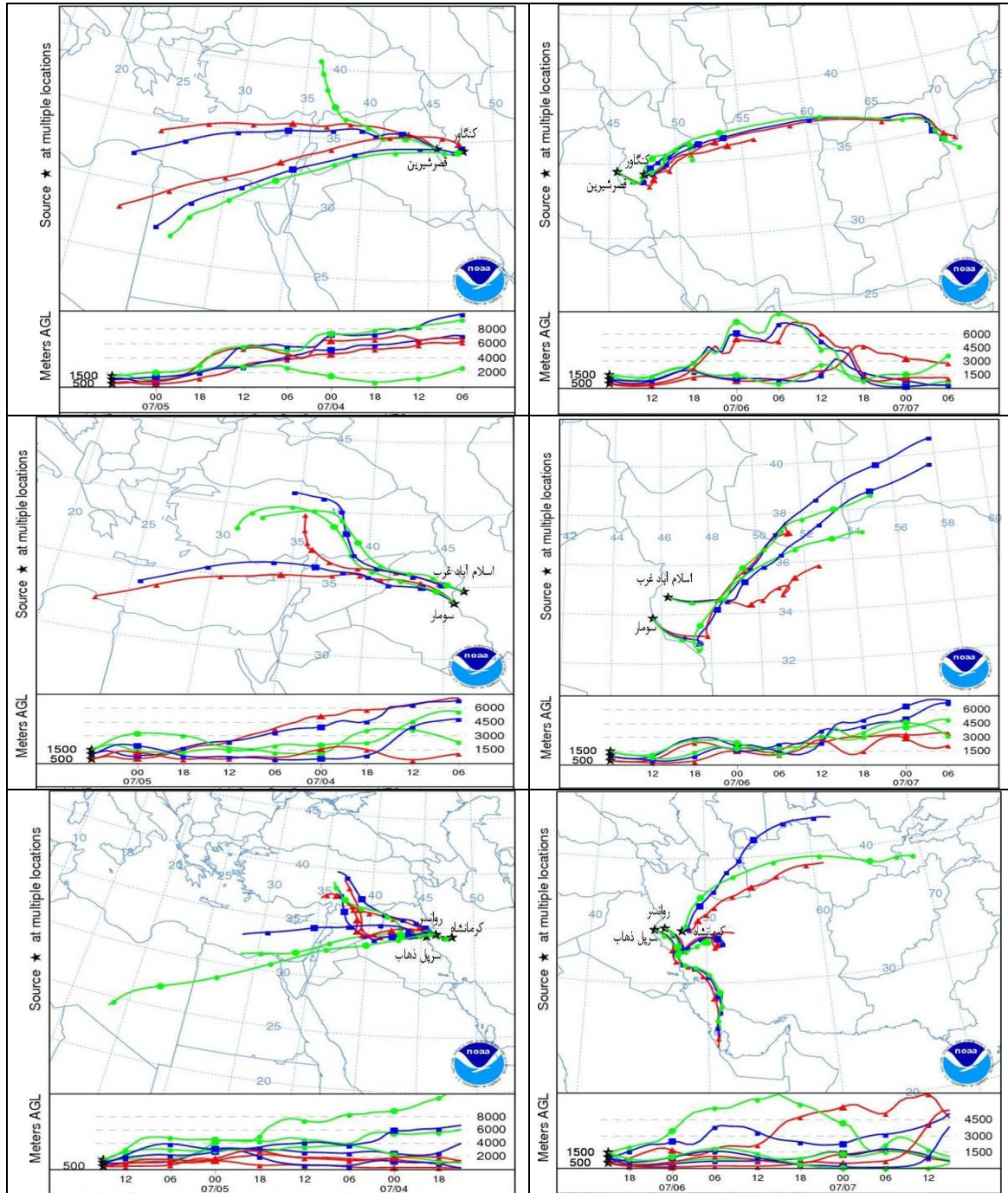


شکل ۱۰: رهگیری جریان باد رو به عقب (سمت چپ) و رو به جلو (سمت راست) در روز ۲۰۰۹/۷/۳

در روز ۲۰۰۹/۷/۴ تمامی ایستگاه‌ها دارای دید کمتر از ۱۰۰۰ متر می‌باشند. غبار آلودترین ایستگاه‌ها متعلق به ایستگاه‌های سو مار، قصر شیرین، سرپل ذهاب و کرمانشاه می‌باشند، که در بیشتر ساعات مقدار دید افقی کمتر از ۱۰۰ متر است. جهت باد نیز به تبعیت از مناطق ورود گرد و غبار در تمامی ایستگاه‌ها دارای جهت جنوب غربی و غربی می‌باشد. بین مقدار دید افقی و فشار ایستگاه‌ها رابطه مستقیم و معکوسی وجود دارد، به طوری که ساعت‌های که دید افقی کم می‌شود، فشار ایستگاه‌ها افزایش می‌یابد و برعکس با کاهش فشار ایستگاه‌ها بر مقدار دید افقی افزوده می‌شود (جدول شماره ۱). رهگیری جریان باد با روش عقب‌گرد در این روز در ایستگاه‌های روانسر، قصر شیرین، سرپل ذهاب، سو مار و اسلام‌آباد غرب از نواحی مرکزی سوریه (دیرالزور، حمص، الرقه)، و شمال و شمال شرقی عراق (کرکوک، السلیمانیه، صلاح‌الدین) و نواحی جنوبی ترکیه سرچشمه می‌گیرد. در ایستگاه‌های کنگاور و کرمانشاه در شرق و مرکز استان، رهگیری بسته‌های هوا به مناطق شمالی (اربیل، نینوی) و مرکزی (بغداد، الانبار، دیالی)، کشور عراق محدود می‌شود، بطوریکه از سطوح ارتفاعی ۱۵۰۰ تا ۴۵۰۰ متری سرچشمه گرفته و در سطوح ارتفاعی ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ متری به ایستگاه‌های منطقه می‌رسند. رهگیری جریان باد با روش جلوگرد نیز در این روز در ایستگاه‌های کرمانشاه، قصر شیرین، کنگاور، سرپل ذهاب و روانسر در ساعت ۹ صبح ۴ ژوئن ۲۰۰۹ شروع شده و با جلو رفتن در زمان به مدت ۴۸ ساعت ادامه یافت. این جریان‌ها نشان می‌دهد که بسته‌های هوا و توده‌های گرد و غبار همراه آن‌ها پس از گذر از استان‌های همدان، مرکزی، قم، تهران به نواحی خراسان جنوبی خواهند رسید. در ایستگاه‌های سو مار و اسلام‌آباد غرب رهگیری جریان جلوگرد باد شامل استان‌های همدان، قزوین، البرز، تهران و نواحی شمالی سمنان و خراسان می‌شود. تفاوت این روز با روز قبل در رهگیری جریان روبه‌جلو در این است که هیچ‌کدام از ایستگاه‌ها به سمت نواحی جنوب غربی کشور رهگیری جریان باد را نداشتند. در روز ۲۰۰۹/۷/۵ در کل سطح استان گردو خاک مشاهده می‌شود. در این روز سرعت باد در اکثر ایستگاه‌ها قابل‌ملاحظه بوده و دید افقی نیز در بیشتر ساعات بین ۲۰۰ تا ۸۰۰ متر گزارش شده است. جهت باد نیز به

تبعیت از منطقه ورود گرد و غبار در ایستگاه‌ها، غربی و شمال غربی است. ایستگاه‌های غرب استان از متوسط فشار بیشتری نسبت به ایستگاه‌های شرق استان برخوردار می‌باشد (جدول شماره ۱). در این روز رهگیری جریان عقب‌گرد باد در ایستگاه‌های روانسر، اسلام‌آباد غرب و کنگاور نشان می‌دهد که بسته‌های هوا در ۲۴ ساعته گذشته اول از جنوب ترکیه و شمال شرق و شرق سوریه سرچشمه گرفته و در ۲۴ ساعت بعد با ورود به کشور عراق در جهت شمال غربی- جنوب شرقی (استان‌های نینوا، کرکوک، دیالی، جنوب سلیمانیه)، به ایستگاه‌های ذکر شده رسیدند. در ایستگاه‌های سرپل ذهاب، سو مار، قصر شیرین و کرمانشاه تقریباً هر سه بسته‌ها در سطوح ارتفاعی ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متری از مرکز کشور سوریه در جهت غرب به شرق وارد کشور عراق و در نهایت به ایستگاه‌ها منطقه می‌رسند. بنابراین در این روز، مناطق سرچشمه طوفان‌های گردوخاک، نواحی شمال شرقی و شرق کشورهای سوریه و عراق می‌باشند (شکل ۱۰). در این روز نیز رهگیری جریان جلوگرد هسته باد از ایستگاه‌های منطقه به سه شاخه تقسیم می‌شود:

- ۱- در ایستگاه‌های کرمانشاه، قصر شیرین و کنگاور، رهگیری جریان جلوگرد باد به سمت شمال شرقی کشور شامل استان‌های همدان، قزوین، البرز، تهران، سمنان و خراسان شمالی است؛
- ۲- در ایستگاه‌های سو مار و سرپل ذهاب، بسته‌های هوا ابتدا وارد استان‌های ایلام و لرستان شده و بعد از آن با جهت‌گیری شمالی وارد استان‌های همدان و قزوین می‌شوند؛
- ۳- در ایستگاه‌های اسلام‌آباد و روانسر تقریباً همین وضع وجود دارد، با این تفاوت که ابتدا وارد استان لرستان شده و بعد از آن با جهت‌گیری شمالی وارد استان‌های همدان و قزوین می‌شوند (شکل ۱۱).



شکل ۱۱: رهگیری جریان باد رو به عقب (سمت چپ)، رو به جلو (سمت راست)، روز ۲۰۰۹/۷/۵

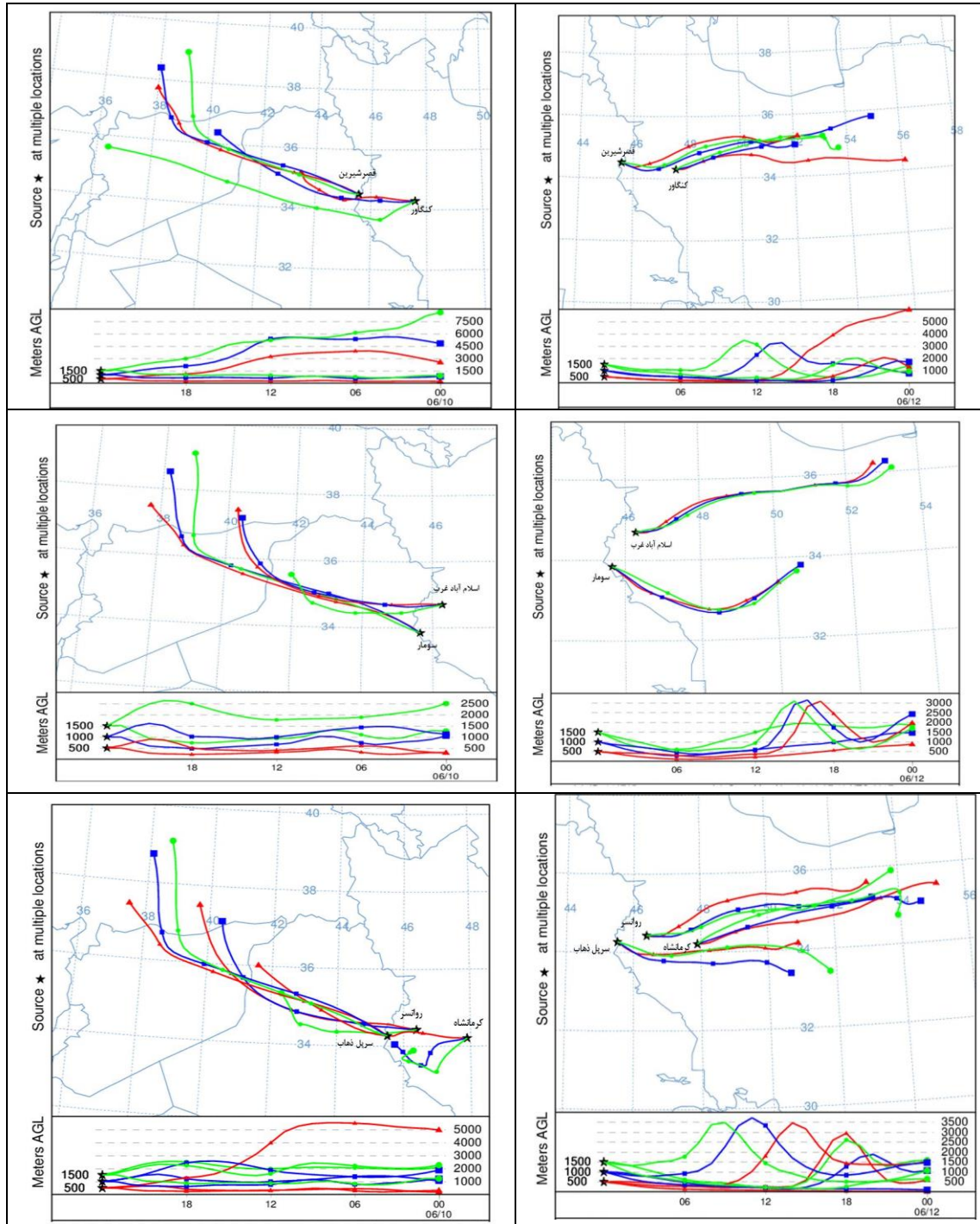
الف) طوفان گرد و غبار ۱۱ ژوئن ۲۰۱۱

در این روز با توجه به شرایط اقلیمی تمامی ایستگاه‌ها، جهت باد غربی است که این امر نشان‌دهنده خارجی بودن منشأ طوفان است. کمترین دید افقی از ساعت ۱۵ تا ۱۸ به ترتیب در ایستگاه‌های قصر شیرین با ۳۰۰ متر، سرپل ذهاب و سو مار ۵۰۰ متر و اسلام‌آباد غرب و کرمانشاه ۱۵۰۰ متر مشاهده می‌شود. تنها ایستگاه کنگاور در شرق استان از شرایط دید مناسبی برخوردار است و در ساعات پایانی روز به بیش از ۱۰ کیلومتر می‌رسد (جدول شماره ۲). ردیابی جریان باد با روش

عقب‌گرد در تمامی سطوح ارتفاعی (۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ متر) از ۴۸ ساعت قبل وقوع طوفان نشان‌دهنده آن است که در ایستگاه‌های قصر شیرین، کنگاور، منشأ طوفان از استان‌های نینوا و کرکوک در کشور عراق و در ایستگاه‌های اسلام‌آباد غرب، سو مار، کرمانشاه، روانسر و سرپل ذهاب، منشأ طوفان در کشور عراق قدری نسبت به استان‌های نینوا و کرکوک پایین آمده و تقریباً از مرکز عراق و از استان‌های صلاح‌الدین و دیالی سرچشمه گرفته و به استان کرمانشاه رسیدند. در رهگیری جریان جلوگرد باد در این روز ایستگاه‌های قصر شیرین، کنگاور، اسلام‌آباد غرب، روانسر و کرمانشاه تقریباً در یک‌جهت، جریان باد با جهت غربی- شرقی در سه سطوح ارتفاعی وارد استان‌های همدان، قزوین، البرز و تهران می‌شود. جهت بسته‌های هوا در ایستگاه سو مار روند جنوبی‌تری را طی کرده و در تمامی سطوح ارتفاعی وارد استان‌های جنوب غربی کشور می‌شود (شکل ۱۲).

جدول ۲: ویژگی‌های عناصر هواشناسی زمان وقوع طوفان‌های گرد و غبار (۲۰۱۱/۶/۱۱) در ایستگاه‌های استان

ایستگاه	تاریخ	پارامتر	ساعت ۹	ساعت ۱۲	ساعت ۱۵	ساعت ۱۸
سرپل ذهاب	۲۰۱۱/۶/۱۱	دید افقی به متر	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰
		جهت و سرعت باد (متر بر ثانیه)	SW-7m/s	W-6m/s	W-4m/s	-
		فشار به هکتوپاسکال	۹۴۲/۲۰۰	۹۴۲	۹۴۱/۸۰۰	۹۴۲/۲۰۰
سو مار	۲۰۱۱/۶/۱۱	دید افقی به متر	۶۰۰	۳۰۰	۵۰۰	-
		جهت و سرعت باد (متر بر ثانیه)	W-5m/s	W-7m/s	W-8m/s	-
		فشار به هکتوپاسکال	۹۷۱/۷۰۰	۹۷۱	۹۷۰/۶۰۰	-
قصر شیرین	۲۰۱۱/۶/۱۱	دید افقی به متر	۵۰۰	۴۰۰	۳۰۰	-
		جهت و سرعت باد (متر بر ثانیه)	W-7m/s	W-5m/s	W-6m/s	-
		فشار به هکتوپاسکال	۸۵۸/۶۰۰	۸۵۸/۱۰۰	۹۵۸/۱۰۰	-
اسلام‌آباد غرب	۲۰۱۱/۶/۱۱	دید افقی به متر	۶۰۰	۷۰۰	۳۰۰	۱۵۰۰
		جهت و سرعت باد (متر بر ثانیه)	w-9m/s	W-7m/s	W-7m/s	-
		فشار به هکتوپاسکال	۸۵۸/۵۰۰	۸۵۸/۲۰۰	۸۵۷/۹۰۰	۸۵۹
کرمانشاه	۲۰۱۱/۶/۱۱	دید افقی به متر	۶۰۰	۸۰۰	۵۰۰	۱۵۰۰
		جهت و سرعت باد (متر بر ثانیه)	W-6m/s	w-7m/s	W-6m/s	W-4m/s
		فشار به هکتوپاسکال	۸۶۱/۴۰۰	۸۶۰/۹۰۰	۸۶۱/۱۰۰	۸۶۲/۱۰۰
کنگاور	۲۰۱۱/۶/۱۱	دید افقی به متر	۳۰۰	۵۰۰	بیش از ۱۰km	بیش از ۱۰km
		جهت و سرعت باد (متر بر ثانیه)	W-6m/s	sw-10m/s	W-7m/s	-
		فشار به هکتوپاسکال	۸۴۵/۸۰۰	۸۴۴/۵۰۰	۸۴۴/۸۰۰	۸۴۴/۳۰۰



شکل ۱۲: رهگیری جریان باد رو به عقب (سمت چپ) و رو به جلو (سمت راست) در روز ۲۰۱۱/۶/۱۱

نتیجه گیری

گرد و غبار منجر به تغییرات اقلیم در مقیاس جهانی و محلی و همچنین تغییر در چرخه بیولوژیکی- زمین شناسی و شیمیایی و محیط زیست انسان می شود. در بررسی فراوانی وقوع طوفان های گرد و غبار در ایستگاه های مورد مطالعه در دوره آماری (۹۴-۱۳۸۶) استان کرمانشاه، ایستگاه قصر شیرین و سرپل ذهاب، با متوسط ۱۱۸ و ۱۱۷ روز گرد و غبار،

بیشترین روزهای گرد و غبار و ایستگاه کنگاور و روانسر، کمترین روزهای گردوغباری را به ترتیب با ۴۳ و ۶۸ روز، دارا می‌باشند. نتایج توزیع فصلی گرد و غبار نشان‌دهنده آن است که تقریباً در تمامی ایستگاه‌ها، کمترین میزان گرد و غبار مربوط به فصل‌های پاییز و زمستان به ترتیب با فراوانی وقوع ۸/۷۴ و ۱۵/۲۶ درصد و بیشترین میزان وقوع پدیده گرد و غبار در فصل بهار و تابستان به ترتیب با امکان وقوع ۴۳/۰۸ و ۳۲/۹۱ درصد می‌باشد. طوفان گرد و غبار ۳ تا ۵ ژوئای ۲۰۰۹ که از شدیدترین موارد گرد و غبار طی سال‌های اخیر بوده است، می‌تواند موجب شناخت مناسبی از الگوهای جوی منجر به این پدیده شود و ردیابی بادهای حامل ذرات گرد و غبار را فراهم کند. با بررسی الگوهای جوی طی روزهای این طوفان می‌توان نتیجه گرفت که عامل اصلی ناپایداری‌های جوی منجر به طوفان گرد و غبار در لایه زیرین وردسپهر و در زیر تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال شکل‌گرفته و عامل اصلی این شرایط، ناپایداری‌های حرارتی محلی است که در لایه زیرین مشاهده می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در لایه پایین وردسپهر وجود یک مرکز کم ارتفاع بر روی شمال عربستان و ادامه آن با مرکز کم ارتفاع پاکستان و گسترش غرب سوی زبانه این کم ارتفاع سبب ایجاد شیو ارتفاعی و شیو فشاری شدید بر روی منطقه شده و بر شدت جریان‌های سطح زمین افزوده است. با وجود این که در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال سلول حرارتی عربستان از بین رفته است ولی زبانه کم‌فشار سودانی همچنان جو را تا تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ناپایدار نگه می‌دارد. غلبه پایداری در لایه ۷۰۰ هکتوپاسکال سبب شده است ذرات گرد و غبار در زیر لایه ۸۵۰ هکتوپاسکال تجمع پیدا کرده و امکان صعود آن به لایه‌های بالا فراهم نشود در نتیجه عمده تراکم ذرات در ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متری زمین است. در روز ۲۰۰۹/۷/۳، ایستگاه‌های غرب استان دارای دید افقی بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ متر و ایستگاه‌های شرق استان کرمانشاه از قبیل ایستگاه کنگاور، روانسر و کرمانشاه در بیشتر ساعات، دارای دید افقی بیش از ۱۰ کیلومتر می‌باشند، و فقط در ساعات پایانی روز جریان گرد و غبار به این ایستگاه‌ها نیز کشیده شده است. نتایج حاصل از مدل HYSPLIT نشان‌دهنده آن است که در این روز استان کرمانشاه تحت تأثیر بسته‌های هوایی قرار گرفتند که از شمال، شمال شرق و جنوب شرقی عراق، شمال عربستان و شمال شرقی سوریه و در ایستگاه‌های غرب استان در برخی از سطوح ارتفاعی از نواحی مرکزی و جنوب غرب ایران سرچشمه گرفتند. در رهگیری جلوگرد باد در این روز غیر از ایستگاه سومار که در بعضی از ترازها به سمت نواحی جنوب غربی کشور از قبیل استان‌های لرستان و خوزستان پیشروی می‌کند در باقی ایستگاه‌ها روند پیشروی ذرات گرد و غبار به سمت نواحی شرقی، مرکزی و نواحی جنوبی رشته‌کوه‌های البرز است. در روز ۲۰۰۹/۷/۴ تمامی ایستگاه‌ها دارای دید کمتر از ۱۰۰۰ متر می‌باشند. غبارآلودترین ایستگاه‌ها متعلق به ایستگاه‌های سومار، قصر شیرین، سرپل ذهاب و کرمانشاه می‌باشند، که در بیشتر ساعات مقدار دید افقی کمتر از ۱۰۰ متر می‌باشد. رهگیری جریان باد با روش عقب گرد در این روز در ایستگاه‌های روانسر، قصر شیرین، سرپل ذهاب، سومار و اسلام‌آباد غرب از نواحی مرکزی سوریه (دیرالزور، حمص، الرقه)، و شمال و شمال شرقی عراق (کرکوک، السلیمانیه، صلاح‌الدین) و نواحی جنوبی ترکیه سرچشمه می‌گیرد. در ایستگاه‌های کنگاور و کرمانشاه در شرق و مرکز استان، رهگیری بسته‌های هوا به مناطق شمالی (ارییل، نینوی) و مرکزی (بغداد، الانبار، دیالی)، کشور عراق محدود می‌شود. رهگیری جریان باد با

روش جلو گرد نشان می‌دهد که بسته‌های هوا و توده‌های گرد و غبار همراه آن‌ها پس از گذر از استان‌های همدان، مرکزی، قم، تهران به نواحی شمالی سمنان و خراسان خواهند رسید. تفاوت این روز با روز قبل در رهگیری جریان رو به جلو در این است که هیچ‌کدام از ایستگاه‌ها به سمت نواحی جنوب غربی کشور رهگیری جریان باد را نداشتند. در روز ۲۰۰۹/۷/۵ در کل سطح استان گردوخاک مشاهده می‌شود. در این روز سرعت باد در اکثر ایستگاه‌ها قابل ملاحظه بوده و دید افقی نیز در بیشتر ساعات بین ۲۰۰ تا ۸۰۰ متر گزارش شده است. جهت باد نیز به تبعیت از منطقه ورود گرد و غبار در ایستگاه‌ها، غربی و شمال غربی است. ایستگاه‌های غرب استان از متوسط فشار بیشتری نسبت به ایستگاه‌های شرق استان برخوردار می‌باشد. در این روز رهگیری جریان عقب گرد باد، مناطق سرچشمه طوفان‌های گردوخاک را نواحی شمال شرقی و شرق کشورهای سوریه و عراق را نشان می‌دهد. نتایج این پژوهش با نتایجی که محمدی و همکاران (۱۳۹۱: ۵۴-۳۹)، عزیزی و همکاران (۱۳۹۱: ۸۱-۶۳) برای ردیابی منابع گرد و غبار در ایران انجام دادن منطبق بر هم می‌باشد به‌طورکلی نتایج نشان‌دهنده آن است که منابع اصلی گرد و غبار در غرب ایران، منطقه مرزی بین سوریه و عراق، غرب، جنوب غرب عراق، شرق و شمال شرق عربستان است. بنابراین با توجه به نتایج همدیدی شرایط ایجاد طوفان‌های گرد و غبار و کارآمدی آنالیز مسیر عقب گرد و جلو گرد بسته هوا توسط مدل HYSPLIT، با بررسی موارد بیشتری از طوفان‌های گرد و غبار با چنین مقیاسی می‌توان با قطعیت بیشتری نسبت به منشأ یابی آن در نواحی مختلف اقدام کرد.

منابع

- ۱- امیدوار، کمال، (۱۳۸۵): بررسی سینوپتیکی طوفان‌های ماسه در دشت یزد- اردکان، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، دوره ۲۱، شماره ۲، صص ۴۳-۵۸.
- ۲- عزیزی، قاسم، میری، مرتضی، نبوی، امید، (۱۳۹۱): ردیابی پدیده گرد و غبار در نیمه غربی ایران، مجله مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال دوم، شماره هفتم، صص ۶۳-۸۱.
- ۳- ذوالفقاری، حسن. عابد زاده، حیدر، (۱۳۸۴): تحلیل سینوپتیک سیستم‌های گرد و غبار در غرب ایران، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۲، صص ۱۸۷-۱۷۳.
- ۴- فرج زاده، منوچهر. رازی. م، (۱۳۹۰): بررسی توزیع زمانی و مکانی طوفان‌ها و بادهای شدید در ایران، پژوهش‌های آب‌خیزداری، ۹۱، صص ۲۲-۳۲.
- ۵- کیخسروی، قاسم. میرزائی، سهام، (۱۳۹۵): کاربرد سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیائی در مطالعات هوا و اقلیم‌شناسی، انتشارات پیام مؤلف، صص ۱۴۷-۱۴۶.
- ۶- لشکری، حسن. کیخسروی، قاسم، (۱۳۸۶): تحلیل آماری سینوپتیکی طوفان‌های گرد و غبار استان خراسان رضوی در فاصله زمانی ۲۰۰۵-۱۹۹۳، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۵، صص ۲۳-۱۷.

- ۷- ملکوتی، حسین، حسینی، سمیرا. نوحه‌گر، احمد. آزادی، مجید. محمد پور، محمدرضا، (۱۳۹۲): مطالعه هم‌دیدگی و عددی نشر، انتقال و شناسایی چشمه یک طوفان گرد و غبار سنگین در منطقه خاورمیانه، فصل‌نامه پژوهش‌های فرسایش محیطی، سال سوم، شماره ۱۲، صص ۸۰-۶۹.
- ۸- محمدی، فهیمه. کمالی، سمیه. اسکندری، مریم، (۱۳۹۴): ردیابی منابع گرد و غبار در سطوح مختلف جو تهران با استفاده از مدل HYSPLIT، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱۶، صص ۵۴-۳۹.
- ۹- ندافی، کاظم، (۱۳۸۸): آلودگی هوا با تأکید بر ریزگردها و اثرات بهداشتی و زیست‌محیطی آن، دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط، تهران، دانشگاه شهید بهشتی علوم پزشکی.

- 10- Ashrafi, K. Shafiepour-Motlagh, M. Aslemand, A. Ghader, S, (2014): Dust Storm Simulation Over Iran Using HYSPLIT, J Ournal of Environmental Health Science and Engineering. 12: 9.
- 11- Engelstadler, S. (2001): Dust Storm Frequencies and Their Relationships to Land Surface conditions. Freidrich-Schiller University Press, Jena. Germany. 26.
- 12- Barkan, J., Alpert, P., Kutiel, H., Kishcha, P. (2005): Synoptic of Dust Transportation Days From Africa toward Italy and central Europe, Journal of Geophysical Research, Vol. 110, Pp. 1-14.
- 13- Takemi, T., Seino, N., (2005): Dust Storms and Cyclone Tracks Over The Arid Regions in East Asia in Spring. Journal of Geophysical Research 110, D 11-18.
- 14- Hara, Y., Uno, I., Wang, Z., (2006): Long-Term Variation of Asian Dust and Related Climate factors, Atmospheric Environment 40, 6730-6740.
- 15- Hamish, M., Andrew, C. (2008): Identification of Dust Transport Pathways From Lake Eyre, Australia Using Hysplit, Atmospheric Environment, Vol. 42, Issue 29, Pp. 6915-6925.
- 16- Rashki, A., Eriksson, P. G., Rautenbach, C. J. d. W., Kaskaoutis, D. G., Grote, W., Dykstra, J., (2013): Assessment of Chemical and Mineralogical Characteristics of Airborne Dust in The Sistan region, Iran: Chemosphere, Vol. 90, no. 2, p. 227-236.
- 17- Weihong, Q., & Shaoyinshi, (2001): Variations of The Dust Storm in China and Its Climatic Control. Journal of Climate. Vol. 15.Pp. 1216-1228.
- 18- Wang, W. (2005): A Synoptic Model on East Asian Dust Emission and Transport. Atmospheric Science and Air Quality Conference, Beijing. China
- 19- Wang, Y., Stein, A., Draxler, R., Rosa, D., and Zhang, X. (2011): Global Sand and Dust Storms in: Observation and HYSPLIT Model Verification, Atmospheric Environment: 45, Pp. 6368-6381.
- 20- Zarasvandi, A., Carranza, E. J. M., Moore, F., Rastmanesh, F., (2011): Spatio-Temporal Occurrences and Mineralogical-Geochemical Characteristics of Airborne Dusts in Khuzestan Province (Southwestern Iran): Journal of Geochemical Exploration, V. 111, p. 138-151.
- 21- Khamooshi, A. Panahi, F. Vali, A. Hojjat Mousavi, S. (2016): Dust Storm Monitoring Using HYSPLIT Model and NDDI (Case Study: Southern Cities of Shiraz, Bushehr and Fasa, Iran), Ecopersia.4.4.1603.
- 22- Kutiel, H., Furman, H. (2003): Dust Storm in Middle East, Sources of Origin and Their Temporal Characteristic, University of Hifa, 419-425.
- 23- 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.
- 24- Prospero, J. M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S. E., Gill, T. E., (2002): Envirmental Characterization Of Global Sourses Of Atmospheric Soil Dust Identified With The NIMBUS7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) Absorbing Aerosol Product: Geophysics, Vol. 40.