

مطالعه‌ی الگوهای هواشناسی، شناسایی چشمه‌های تولید گردوغبار و مسیر حرکت ذرات

معلق برای طوفان جولای ۲۰۰۹

عباس رنجبر سعادت‌آبادی* - استادیار سازمان هواشناسی کشور، تهران
قاسم عزیزی - دانشیار دانشکده‌ی جغرافیا، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۰۲/۰۴ تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۰۷/۲۵

چکیده

در هفته‌ی اول جولای سال ۲۰۰۹، طوفان بسیار گسترده‌ای روی بخش‌هایی از کشورهای عراق و سوریه شکل گرفت که گردوخاک ناشی از آن، بخش گسترده‌ای از کشور، از جمله تهران را به شدت تحت تأثیر قرار داد. در این مطالعه بر اساس اطلاعات هواشناسی شامل نقشه‌های هواشناسی سطوح استاندارد ترازهای ۱۰۰۰، ۸۵۰، ۷۰۰، و ۵۰۰ هکتوپاسکالی، گزارش‌های همدیدی دیدبانی شده، تصاویر ماهواره‌ای ویژه‌ی گردوغبار و برخی از محصولات مدل‌های منطقه‌ای پیش‌بینی عددی وضع هوا، شرایط هواشناختی مؤثر در ایجاد طوفان‌های گردوخاک، منابع انتشار و مسیر حرکت ذرات معلق ناشی از طوفان هفته‌ی اول جولای ۲۰۰۹ بررسی شده است. نتایج حاصله نشان می‌دهند که چشمه‌های اصلی تولید گردوغبار در نواحی شرقی سوریه و شمال‌غربی عراق بوده که با حرکت طوفان به سمت شرق، غلظت ذرات معلق افزایش یافته و ایران را تحت تأثیر قرار داده است. الگوهای جوی مؤثر بر ایجاد طوفان و انتقال ذرات معلق روی کشور عبارتند از: گسترش زبانه‌ی سامانه‌ی کم‌فشار گرمایی از مرکز ایران تا شمال عراق و همچنین بخش‌هایی از جنوب ترکیه و توسعه‌ی سامانه‌ی پرفشار از روی دریای سیاه تا روی خزر، شمال‌غرب ایران و جنوب‌شرق ترکیه. این الگوی میدان فشار سطح زمین، باعث ایجاد شیو فشاری زیاد بین سامانه‌های کم‌فشار و پرفشار مذکور شده است و در نتیجه، سرعت باد در روی چشمه‌های تولید گردوخاک افزایش یافته و شرایط مناسبی برای تولید گردوخاک فراهم می‌شود. همراهی این شرایط با عبور امواج ناشی از ناوه‌ی مدیترانه در تراز میانی جو، افزون بر اینکه نقش مهمی در شکل‌گیری طوفان دارد، حرکات صعودی لازم برای بلندشدن ذرات معلق و همچنین انتقال این ذرات به نیمه‌ی غربی و بخش‌های مرکزی ایران را فراهم می‌کند.

کلیدواژه‌ها: طوفان گردوغبار، منشأ تولید، مسیر حرکت ذرات، ناوه‌ی مدیترانه، شیو فشاری.

مقدمه

هر ساله بخش‌های وسیعی از ایران، به‌ویژه مناطق غربی و جنوب‌غربی کشور، تحت تأثیر پدیده‌ی گردوخاک قرار می‌گیرند. وضعیت زمین از نظر نوع خاک، پوشش گیاهی، رطوبت خاک، تأثیر کوهستان و نیز منابع آب از دیدگاه مهار آب‌های سطحی و برداشت بی‌رویه از آن، ایجاد سدها و انحراف مسیر رودخانه، کم‌بارشی و خشکسالی و حتی جنگ‌های رخ داده در منطقه، از عوامل مستقیم مؤثر بر ایجاد پدیده‌ی گردوخاک است. از اصلی‌ترین عوامل ایجاد این پدیده، وزش بادهای به‌نسبت شدید روی بیابان‌های دارای شرایط مساعد برای ایجاد گردوخاک است. این عوامل به‌همراه حرکت صعودی هوای ناشی از سامانه‌های جوئی، انتقال قائم ذرات گردوخاک معلق به ترازهای بالاتر جو را فراهم می‌کند. ذرات معلق، برحسب اندازه‌ی قطر آنها در لایه‌ها، به‌ترتیب از پایین به بالا قرار گرفته و سپس با جریان‌های هوا در آن ترازها، به حرکت درآمده و مناطق وسیعی را تحت پوشش قرار می‌دهد. این ذرات همچنین برحسب اندازه و بزرگی، در فواصل مختلف از چشمه‌ی تولید ته‌نشین شده، به‌گونه‌ای که ذرات ریز به فواصل خیلی دور نیز می‌توانند منتقل شوند. انتقال این ذرات به فواصل دیگر، آثار بسیار مخربی در زمینه‌های مختلف، از جمله بهداشت و سلامت جامعه، حمل‌ونقل هوانوردی و جاده‌ای، کشاورزی (گاهی این آثار مثبت است) و دامداری، اثر متقابل بر پدیده‌های جوئی و اقلیم منطقه داشته و گاهی نیز سبب مهاجرت افراد، به‌ویژه متخصصان غیربومی می‌شود.

با توجه به اهمیت موضوع، پژوهش‌های زیادی در این رابطه انجام شده که به برخی از آنها در زیر اشاره شده است. گودی و میدلتون^۱ (۱۹۷:۱۹۹۲) پژوهش‌های گسترده‌ای را روی تغییرات دوره‌ای پدیده‌های گردوغبار در مقیاس جهانی با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی انجام دادند و نتیجه گرفتند، الگوی معینی برای تغییرات دوره‌ای پدیده‌ی گردوغبار وجود ندارد.

ژو^۲ و همکاران (۲۰۰۶:۱۹۴) بر اساس مطالعات آماری دریافتند که میانگین سالانه‌ی رخداد طوفان‌های گردوخاک در چین، طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۷ کاهش یافته و پس از آن تا سال ۲۰۰۰ روند افزایشی داشته است که می‌تواند بسامد خداد این طوفان‌ها با کم‌بارشی و دمای زیاد ارتباط مستقیمی داشته باشد.

ژانگ^۳ و همکاران (۲۰۰۶:۱۹۷) با استفاده از باند فرسرخ تصاویر ماهواره‌ای مودیس، چگونگی شناسایی طوفان‌های گردوخاک را بررسی کردند.

مطالعه‌ی یونگ‌سین و لیم^۴ (۲۰۰۴:۱۵۰) روی پدیده‌ی گردوغبار در سؤال نشان داد که اکثر پدیده‌های گردوغبار در فصل بهار و ماه آوریل رخ می‌دهند که در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۲ این پدیده از شدت بیشتری برخوردار بوده است. همچنین آنها دریافتند که وقتی یک شیو فشاری زیاد روی منطقه‌ی خشک بین چین و مغولستان ایجاد می‌شود، موجب بادهای شدید و پدیده‌ی گردوغبار به‌وجود می‌آید.

1. Goudie and Middleton

2. Xu

3. Zhang

4. Chun Youngsin and Lim

سان و همکاران^۱ (۲۰۰۱: ۱۰۳۳۱) گزارش‌های همدیدی دوره‌ی ۴۰ ساله (۱۹۹۹-۱۹۶۰) را مطالعه کرده و نتیجه گرفتند که گبی مغولستان، یکی از مهم‌ترین چشمه‌های تولید گردوخاک شرق آسیا است. مطالعات مشابه دیگری از جمله زوهیو^۲ (۲۰۰۱)، چان^۳ و همکاران (۲۰۰۱)، گیان^۴ و همکاران (۲۰۰۲)، ناتساگدورج^۵ و همکاران (۲۰۰۳)، کوروساکی و میکامی^۶ (۲۰۰۳)، نیکویک^۷ و همکاران (۲۰۰۱)، شاو و وانگ^۸ (۲۰۰۳) برای شرایط اقلیمی و تحلیل‌های همدیدی طوفان‌های گردوخاک شرق آسیا انجام شده است. گینوس و همکاران^۹ (۲۰۰۱: ۲۵۵) چشمه‌های تولید گردوغبار و توزیع ذرات معلق را با استفاده از یک مدل بررسی کردند. هدف از این مطالعه، تعیین مسیر حرکت ذرات معلق و شناسایی چشمه‌های تولید گردوخاک و همچنین شناسایی الگوهای جوئی مؤثر در ایجاد و انتقال گردوخاک به‌سوی ایران، برای طوفانی که در هفته‌ی اول جولای ۲۰۰۹ بیش از ۱۸ استان کشور تحت تأثیر پدیده‌ی گردوغبار شدید قرار داد، به‌گونه‌ای که در برخی از مناطق از جمله تهران، شدت و دوره‌ی استقرار آلاینده‌ی ذرات معلق بی‌سابقه بوده است و شاخص استاندارد آلودگی هوای تهران در روز پنجم جولای به ۴۶۰ رسید که بالاترین رکورد ثبت شده است.

مواد و روش‌ها

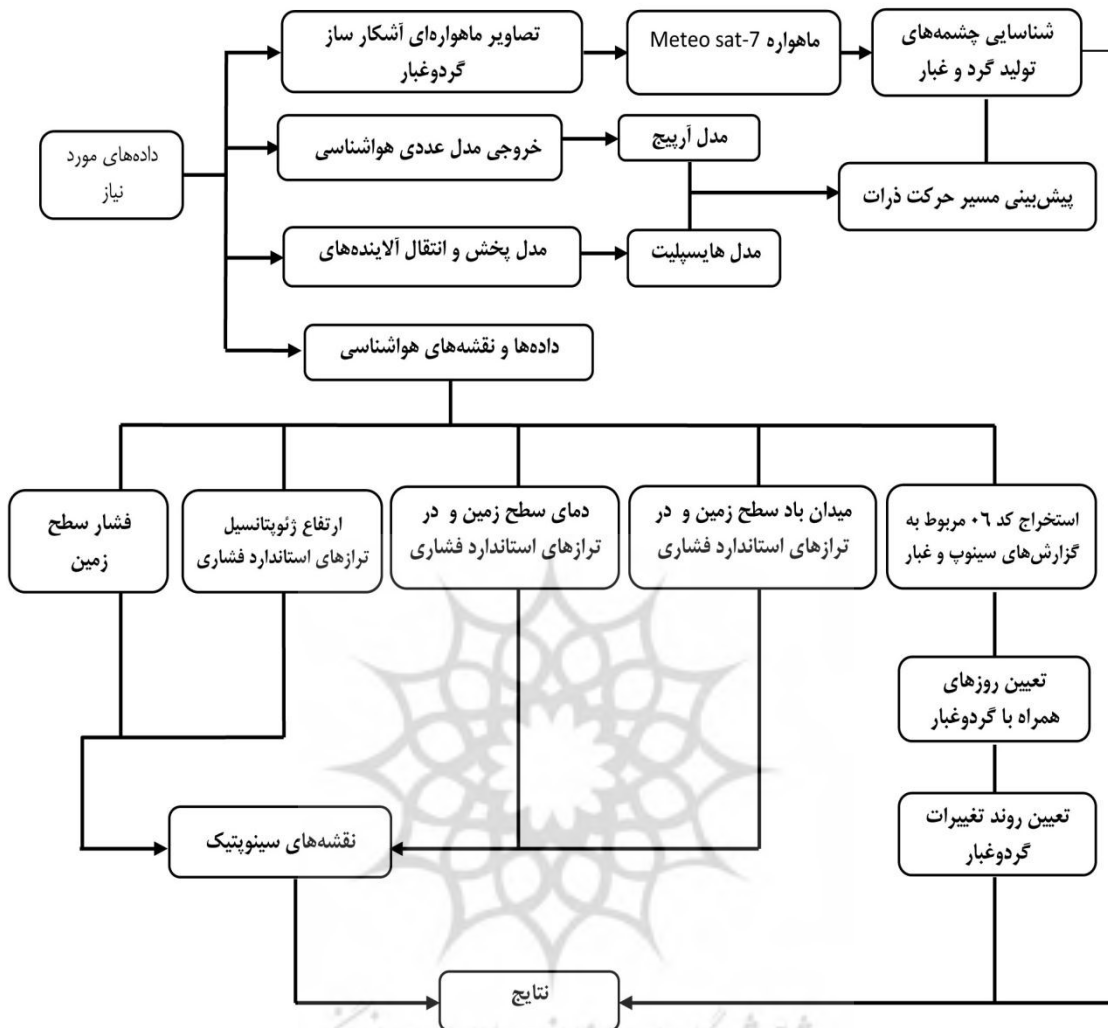
در مطالعه‌ی پیش رو تلاش شده است که الگوهای همدیدی مؤثر در ایجاد و تکامل طوفان گردوغبار (هفته‌ی اول جولای ۲۰۰۹) و مسیر حرکت ذرات گردوخاک در نواحی مختلف، به‌ویژه تهران، بررسی شود. برای این کار ابتدا با استفاده از داده‌های مربوط به کد ۰۶ (گردوخاک معلق در هوا و گسترده که به‌وسیله‌ی باد در ایستگاه یا نزدیکی ایستگاه بلند نشده است)^{۱۰} گزارش‌های سه ساعت به سه ساعت سینوپ (همدید) ایستگاه‌های هواشناسی استان کرمانشاه (به‌عنوان نمونه و ایستگاه‌های شاهد) از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۸ و تعداد روزهای همراه با گردوخاک استخراج شد. سپس برای روزهای مورد مطالعه، نقشه‌های هواشناسی واقعی سطوح استاندارد از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. این نقشه‌ها شامل نقشه‌ی سطح زمین است که روی آن کمیت‌های مختلف هواشناسی (مانند باد، دما، فشار، ابرناکی، نقطه شبنم و پدیده) پلات و خطوط هم‌فشار نیز به فاصله‌ی ۲/۵ میلی‌بار ترسیم شده و همچنین نقشه‌های تراز ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکالی است که روی آنها میدان باد پلات و خطوط هم‌ژئوپتانسیل و خطوط هم‌دما ترسیم شده است. علاوه بر نقشه‌های هواشناسی، تصاویر ماهواره‌ای آشکارساز گردوخاک و خروجی مدل‌های عددی هواشناسی و آلودگی هوا نیز

1. Sun et al
2. Zhou
3. Chun et al
4. Qian
5. Natsagdorj
6. Kurosaki and Mikami
7. Nickovic
8. Shao & Wang
9. Ginoux et al
10. Suspended dust in the air

استفاده شده است. نقشه‌های هواشناسی سطح زمین و سطوح فوقانی جو، شامل ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکالی در فواصل زمانی ۱۲ ساعت (0000UTC و 1200UTC)، از روز دوم تا هفتم جولای ۲۰۰۹ بررسی شده است. تصاویر ماهواره‌ای، مربوط به سنجه‌ی آشکارساز گردوغبار ماهواره‌ی هواشناسی زمین‌آهنگ-۷^۲ است که روی استوا و طول جغرافیایی ۵۷ درجه شرقی قرار دارد. این تصاویر بر اساس داده‌های محدوده‌ی طول موج‌های مرئی (۰/۴۵ تا ۱ میکرومتر) حسگر MVIRI^۳ با تفکیک مکانی ۲/۵ کیلومتر به‌دست آمده است (لیو و لین، ۲۰۰۴)^۴. بنابراین تصاویر ماهواره‌ی آشکارساز گردوغبار برای شب موجود نبوده و در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ی روزانه (با گام زمانی ۳۰ دقیقه) برای شناسایی چشمه‌های تولید گردوخاک استفاده شده است. همچنین میدان باد ترازهای پایین جو (۸۵۰ هکتوپاسکالی) در بعضی از ساعات روی این تصاویر انداخته شده است. بر اساس تصاویر ماهواره در مناطقی که غلظت گردوخاک زیاد است، نقاطی انتخاب شده و مسیر حرکت ذرات از این نقاط بررسی شده است. برای بررسی مسیر حرکت ذرات گردوخاک از خروجی‌های مدل هواشناسی آرپیچ (به‌معنای مدلی برای تحقیقات در مقیاس‌های کوچک و بزرگ)^۵ و همچنین مدل آلودگی هوای هایسپلیت^۶ استفاده شده است. شایان ذکر است که مدل آرپیچ یکی از مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا است که توسط هواشناسی فرانسه توسعه داده شده و هم‌اکنون علاوه بر فرانسه، در بسیاری از کشورهای جهان از جمله هواشناسی ایران، به‌صورت عملیاتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. برون‌داد این مدل همه‌ی فراسنج‌ها و محصولات هواشناختی با گام زمانی سه ساعته برای سه روز آینده است. مدل هایسپلیت یکی از مدل‌های پخش و انتقال آلاینده‌های جوئی است که با همکاری سازمان ملّی اقیانوسی و جوئی آمریکا (NOAA^۷) و اداره هواشناسی استرالیا توسعه یافته است. این مدل میدان‌های باد افقی، دما و ارتفاع یا فشار ترازهای مختلف را از مدل‌های پیش‌بینی عددی هواشناسی (مدل آرپیچ) می‌گیرد و سپس مسیر حرکت ذرات معلق را شبیه‌سازی می‌کند. همچنین از تصاویر ماهواره‌ی آشکارساز گردوخاک (CCdust) و سمت و سرعت باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکالی - که از روز چهارشنبه اول جولای ۲۰۰۹ تا روز سه‌شنبه هفتم جولای ۲۰۰۹، برای شناسایی چشمه‌های گردوخاک و نشان دادن نحوه‌ی ایجاد، تکامل، گسترش و تضعیف طوفان بررسی شده‌اند - آورده شده است.

فشرده‌ای از روند روش‌شناسی این پژوهش در چارچوب نمودار در شکل شماره‌ی ۱ نشان داده شده است.

1. Universal Time Coordinate
2. Meteosat-7
3. Meteo- sat Visible and Infrared Imager
4. Liu and Lin
5. ARPEG(Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle)
6. HYSPLIT
7. National Oceanic and Atmospheric Administration



شکل ۱. روند نمای روش شناسی مطالعه

یافته‌های تحقیق

اگر به روزهای همراه با گردوخاک طی سال‌های اخیر در نواحی غربی کشور (برای نمونه جدول شماره ۱) توجه شود، روند افزایش آنها قابل توجه است. آمارهای هواشناسی مربوط به رخداد پدیده‌ی گردوخاک در بخش‌های مختلف کشور (به‌ویژه جنوب غرب و غرب)، در ماه‌های مختلف نشان می‌دهد که در ماه‌های تابستان (به‌ویژه تیرماه) بیشترین تعداد رخداد گردوغبار گزارش شده است (برای نمونه جدول شماره ۲). با توجه به اینکه چشمه‌های تولید گردوخاکی که اغلب، مناطق غرب و جنوب غرب و به‌تازگی مناطق گسترده‌تری از کشور (از جمله نواحی مرکز و تهران) را تحت تأثیر قرار می‌دهند، منشأ برون مرزی داشته و مسافت طولانی را می‌پیمایند، بنابراین بیشتر ذرات درشت‌تر طی پیمودن مسیر، نهشت کرده و ذرات ریز روی اغلب نواحی یاد شده می‌تواند غالب باشد. این ذرات با توجه به ماندگاری بیشتری که در هوا دارند، سبب آسیب‌های بهداشتی و زیست‌محیطی مخرب‌تری می‌شوند.

جدول ۱. مجموع تعداد روزهای همراه با گردوغبار در سال‌های مختلف

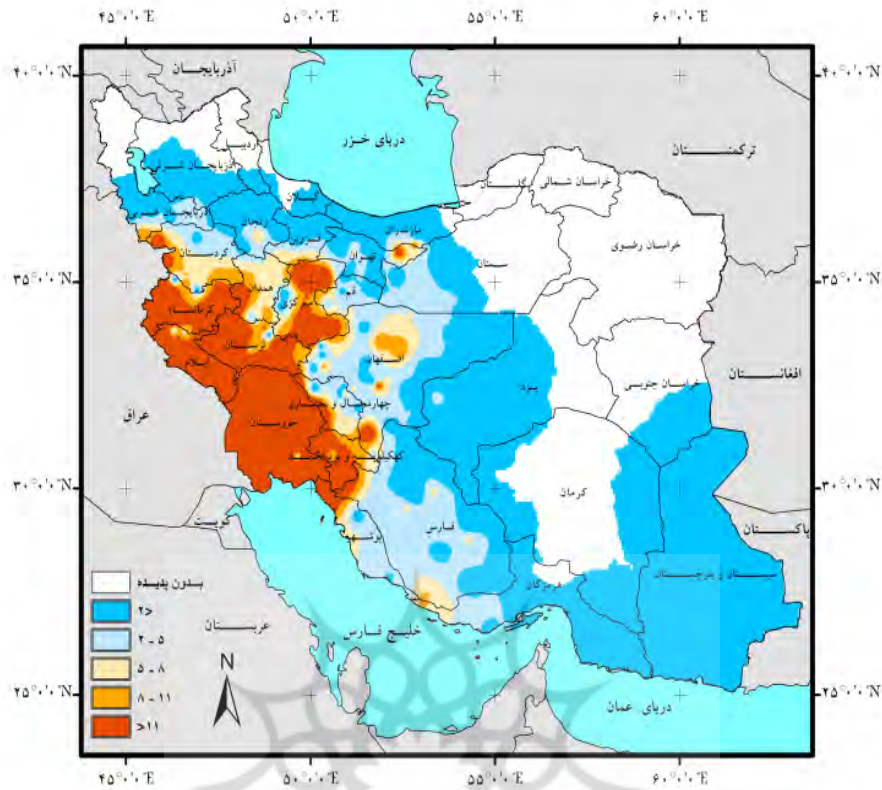
شهرستان	سال ۸۱	سال ۸۲	سال ۸۳	سال ۸۴	سال ۸۵	سال ۸۶	سال ۸۷	سال ۸۸
کرمانشاه	۲۵	۲۰	۲۰	۴۹	۴۰	۸۶	۱۰۲	۱۰۱
روانسر	۱۵	۲۲	۴۱	۵۷	۴۷	۸۱	۱۲۳	۹۸
سرپل ذهاب	۱۷	۴۵	۲۰	۷۷	۴۳	۱۰۰	۱۵۲	۱۴۳
اسلام آباد	۳۸	۵۴	۳۴	۵۳	۳۲	۴۱	۱۰۳	۸۴
کنگاور	۷۰	۹۸	۶۰	۸۶	۹۵	۱۴۵	۱۶۶	۱۷۹
قصر شیرین	۵۳	***	***	۳۶	۲۴	۳۰	۱۱۶	۱۲۴
سنقر کلیایی	۱۵	۲۷	۶	۱۰	۸	۵۵	۹۴	۷۲
گیلان غرب	***	۱۸	***	***	۱۷	۳۶	۸۳	۸۸

علامت * به معنی نبود داده است (اداره‌ی کل هواشناسی استان کرمانشاه)

جدول ۲. مجموع تعداد روزهای همراه با گردوغبار در ماه‌های مختلف سال ۱۳۸۸ (اداره‌ی کل هواشناسی استان کرمانشاه)

شهرستان	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	جمع
کرمانشاه	۱۰	۱۰	۱۸	۲۴	۱۸	۷	۴	۲	۱	۱	۰	۶	۱۰۱
روانسر	۷	۱۰	۱۵	۲۱	۱۶	۷	۶	۴	۱	۴	۲	۵	۹۸
سرپل	۱۴	۱۵	۲۱	۲۶	۲۳	۱۷	۷	۵	۲	۲	۳	۸	۱۴۳
اسلام آباد	۸	۸	۱۸	۲۴	۱۶	۵	۱	۰	۰	۰	۰	۴	۸۴
کنگاور	۱۶	۲۳	۱۹	۲۶	۲۴	۱۷	۸	۱۴	۱۲	۷	۸	۵	۱۷۹
قصر شیرین	۱۵	۱۴	۲۰	۲۶	۱۹	۱۴	۶	۴	۰	۰	۰	۶	۱۲۴
سنقر کلیایی	۸	۹	۱۳	۱۶	۱۱	۷	۴	۰	۰	۰	۰	۴	۷۲
گیلان غرب	۶	۱۰	۱۹	۲۳	۱۳	۷	۲	۲	۱	۰	۰	۵	۸۸

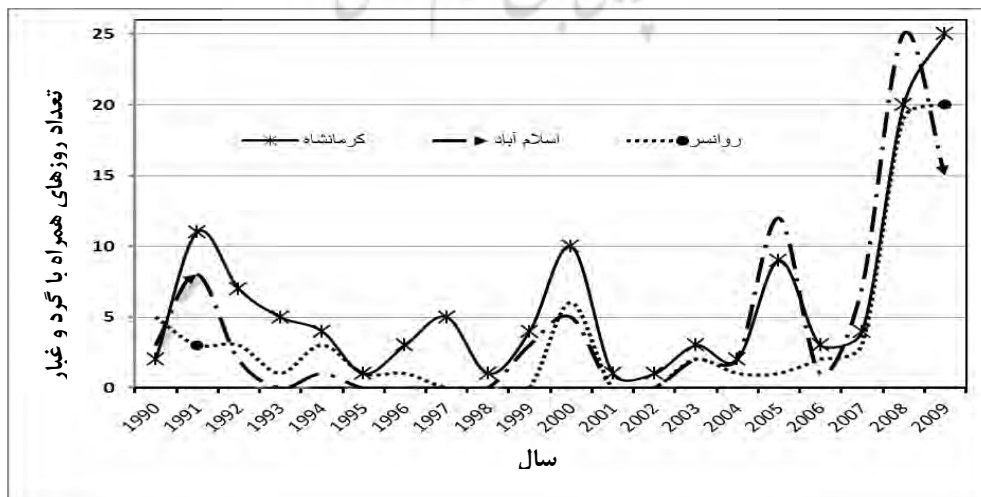
در تیرماه ۱۳۸۸ طوفان شدیدی در شرق مدیترانه و روی عراق رخ داد که بیش از ۱۸ استان کشور را تحت تأثیر پدیده‌ی گردوغبار شدید قرار داد (شکل شماره‌ی ۲). آمارهای موجود نشان می‌دهند که در برخی از این استان‌ها، از جمله تهران، شدت و دوره‌ی استقرار آلاینده‌ی ذرات معلق بی‌سابقه بوده است، به گونه‌ای که شاخص استاندارد آلودگی هوای تهران ناشی از ذرات معلق در روز ۱۴ تیر (پنجم جولای) به ۴۶۰ رسید، در حالی که بر اساس سابقه‌ی آماری موجود (از سال ۱۳۷۸ تا کنون) بیشترین مقدار ثبت شده در تهران، ۲۰۵ در روز ۲۹ مرداد ۱۳۷۸ (۲۰ آگوست ۱۹۹۹) بوده است.



شکل ۲. تعداد رخداد‌های شدید گردوغبار با گام زمانی سه ساعته در ماه جولای ۲۰۰۹

منبع: سازمان هواشناسی کشور

بررسی‌های اولیه از رخداد گردوغبار شدید (حالت‌هایی که دید افقی کمتر از ۲ کیلومتر) با منشأ خارج از ایستگاه (کد ۰۶ گزارش‌های سینوپ)، در ایستگاه‌های نمونه‌ی مورد مطالعه (ایستگاه‌های هواشناسی استان کرمانشاه) بیانگر افزایش چشمگیر بسامد روزهای همراه با گردو خاک شدید (شکل شماره‌ی ۳) در سال‌های اخیر است.



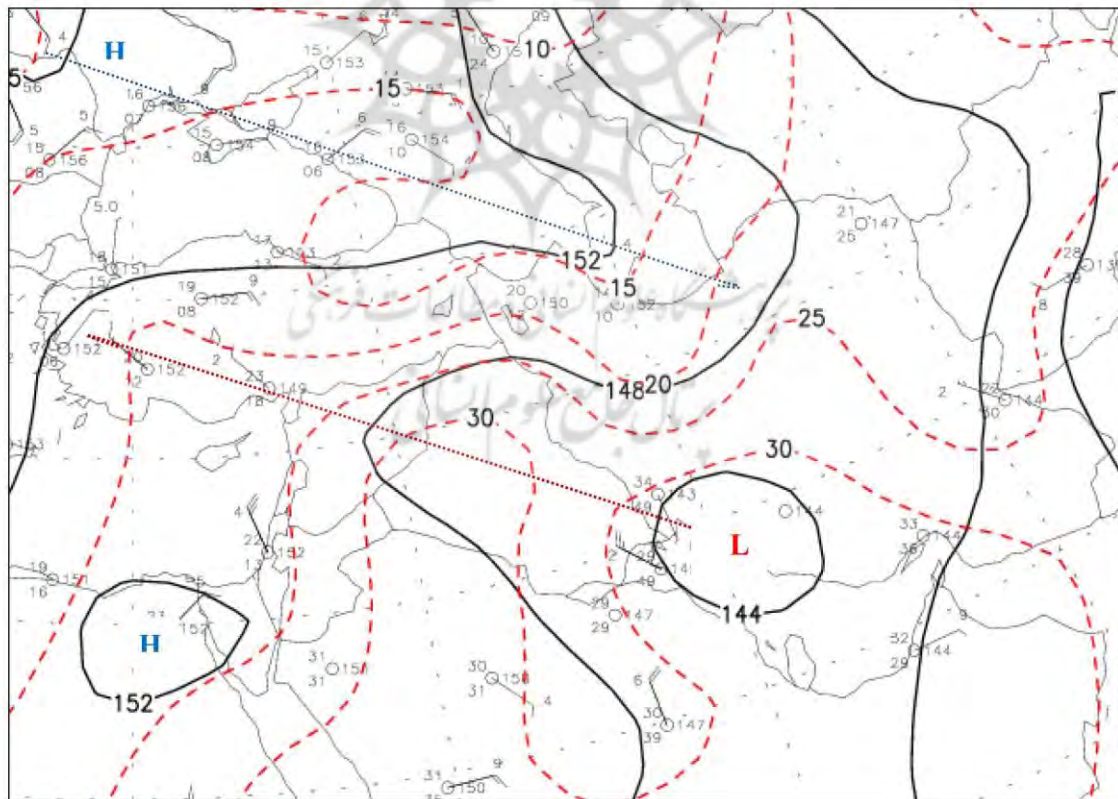
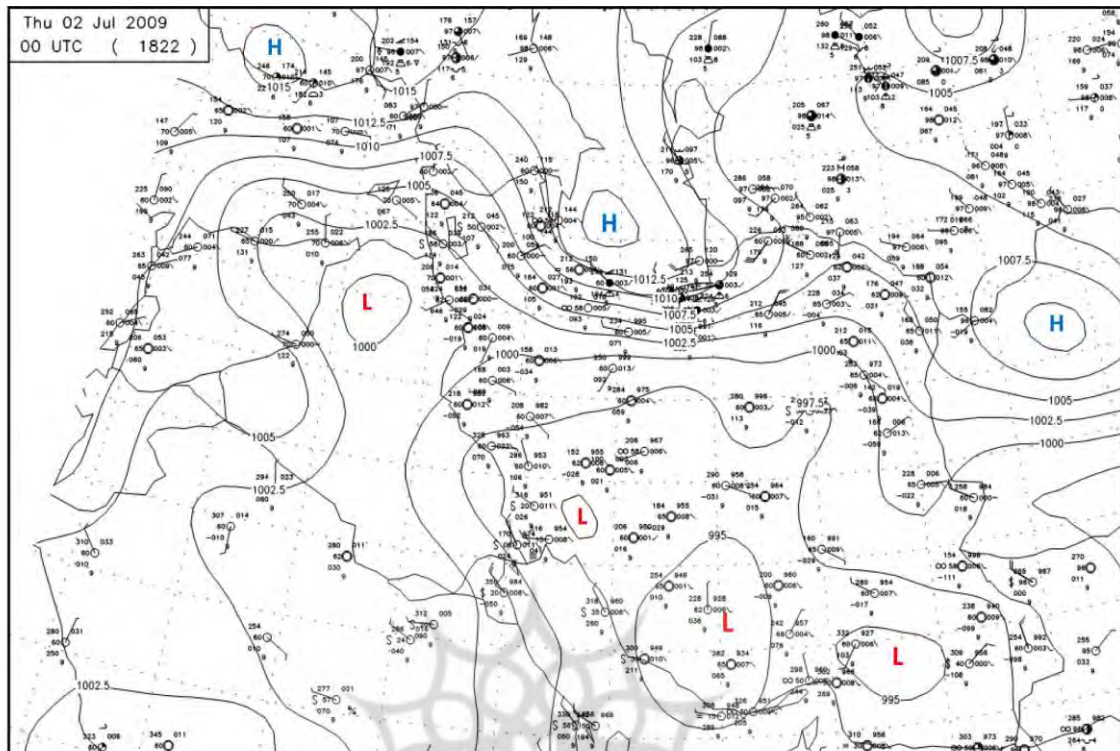
شکل ۳. تعداد روزهای همراه با گردوغبار شدید (دید کمتر از ۲ کیلومتر) بر اساس داده‌های اداره‌ی کل هواشناسی کرمانشاه

افزایش شدت و مدت گردوغبار، می‌تواند علاوه بر آثار ویرانگر آن در بخش‌های مختلف، تهدید جدیدی برای سلامت جمعیت تحت تأثیر این پدیده به‌شمار رود؛ بنابراین با توجه به اهمیت موضوع، پیش‌بینی مسیر حرکت ذرات گردوخاک و شناسایی چشمه‌های تولید آنها، می‌تواند نقش مهمی در اتخاذ راهکارهای لازم برای کنترل و کاهش رخداد این پدیده ایفا کند که در این مطالعه بررسی و روشی برای انجام آن ارائه می‌شود.

الگوهای فشاری، تصاویر ماهواره‌ای و مسیر حرکت ذرات معلّق

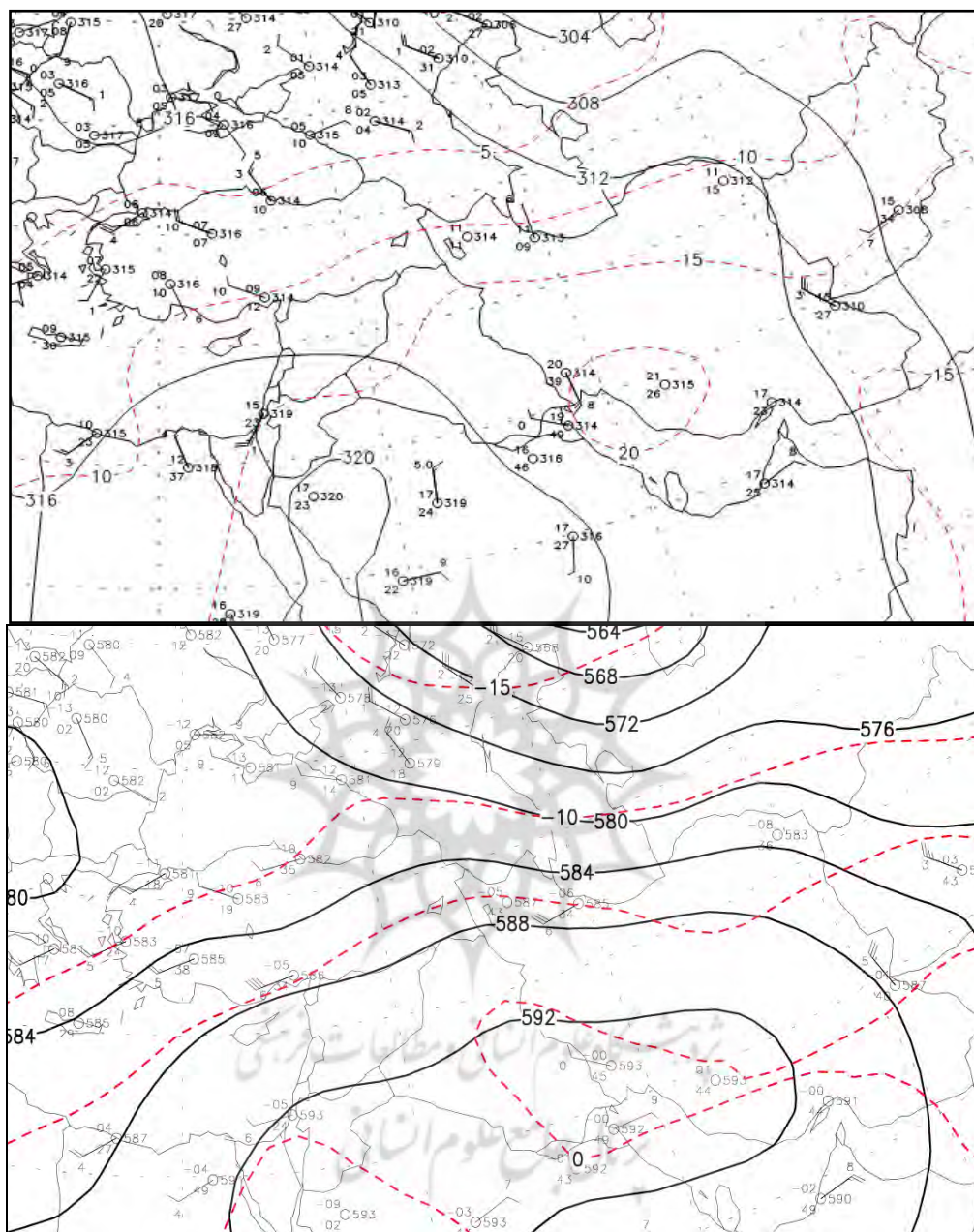
در نقشه‌ی سطح زمین روز دوم جولای، ساعت صفر استاندارد جهان (0000UTC)، کم‌فشار گرانی گسترده‌ای با سه مرکز بسته با خطّ هم‌فشار ۹۹۵ میلی‌بار، در نیمه‌ی جنوبی ایران دیده می‌شود (شکل شماره‌ی ۴). مرکز کم‌فشاری نیز در شمال عراق با مرکز ۱۰۰۰ میلی‌بار بسته شده که زبانه‌ی آن تا شرق سوریه و جنوب ترکیه کشیده شده است. در سرتاسر نوار غربی و جنوب‌غربی ایران، فشارها کاهش یافته که بیانگر تقویت کم‌فشار گرمایی در این مناطق است. در شمال این سامانه‌های کم‌فشار، سامانه‌های پرفشار روی دریای سیاه و دریای خزر دیده می‌شود. در نواحی بین این سامانه‌های پرفشار و کم‌فشار، شیو فشاری قابل ملاحظه‌ای ایجاد شده است (شکل شماره‌ی ۴). این شرایط می‌تواند زمینه را برای افزایش سرعت باد در سطح زمین به‌وجود آورد. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال این روز، مرکز کم‌ارتفاعی با پربند ۱۴۴ دکامتری، در شمال خلیج فارس به‌صورت سلول بسته دیده می‌شود (شکل شماره‌ی ۴). زبانه‌ی کم‌ارتفاع از روی شمال خلیج فارس و عراق تا غرب ترکیه کشیده شده و این زبانه‌ی کم‌ارتفاع در بین دو سامانه‌ی پُراتفعا (یکی در شمال دریای سرخ و دیگری زبانه‌ی پُراتفعا از سمت دریای سیاه روی دریای خزر و شمال شرق ایران) قرار گرفته است. نکته‌ی شایان اهمیت آنکه محور ناوه - که از شمال خلیج فارس تا شمال مدیترانه (نقطه چین قرمز) کشیده شده - با محور پشته - که از شمال دریای سیاه تا جنوب خزر (نقطه چین آبی) کشیده شده - کمابیش موازی است. زبانه‌ی هوای گرم با دمای ۳۰ درجه‌ی سلسیوس در شمال عراق است و نفوذ هوای خنک با دمای ۱۵ درجه به سمت شرق ترکیه، سبب ایجاد شیو دمایی در نواحی بین آنها شده است. در تراز ۷۰۰ میلی‌بار، پُراتفعا با پربند ۳۲۰ دکامتری، بخشی از غرب دریای سرخ و شمال غرب عربستان را دربر گرفته و زبانه‌ی پُراتفعا ۳۱۶ دکامتری تا مرکز عربستان و نوار غربی عراق و جنوب سوریه کشیده شده است. شیو پربندی ضعیفی در روی عراق، ترکیه و ایران مستقر است (شکل شماره‌ی ۵).

در نقشه‌ی ۵۰۰ هکتوپاسکالی، سامانه‌ی پُراتفعا جنب حازه‌ای بخش‌های مختلفی، از جمله غرب دریای سرخ، جنوب شرق مدیترانه، مرکز عراق، غرب و جنوب غرب ایران، کویت و بخش‌های مرکزی و غربی عربستان را دربر گرفته است (شکل شماره‌ی ۵). سامانه‌ی کم‌ارتفاعی در جنوب اروپا و مدیترانه‌ی مرکزی است. همچنین الگوی نقشه‌ی فروسرخ ضعیفی را نشان می‌دهد که از مرکز ترکیه به سمت شمال سوریه و غرب عراق کشیده شده است.



شکل ۴. نقشه‌ی بالا: میدان‌های فشار سطح دریا برحسب میلی‌بار و نقشه‌ی پایین: میدان‌های ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۸۵۰ میلی‌باری برحسب دکامتر و دما بر حسب درجه‌ی سلسیوس مربوط به ساعت ۰۰۰۰ UTC روز ۲۰۰۹/۷/۲

منبع: سازمان هواشناسی کشور



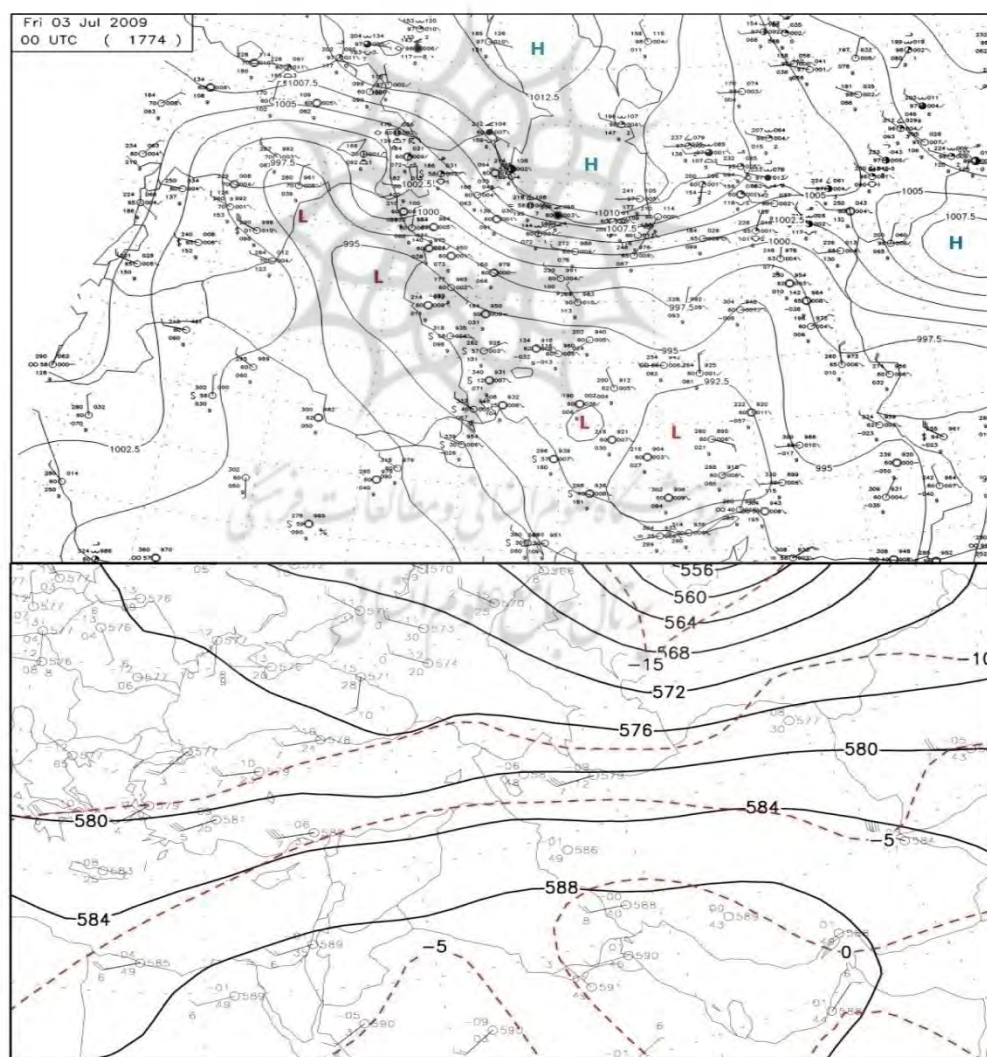
شکل ۵. میدان‌های ارتفاع ژئوپتانسیلی (بر حسب دکامتر) و دما (بر حسب درجه‌ی سلسیوس) تراز ۷۰۰ میلی‌باری (نقشه‌ی بالا) و تراز ۵۰۰ میلی‌باری (نقشه‌ی پایین) مربوط به ساعت 0000UTC روز ۲۰۰۹/۷/۲

منبع: سازمان هواشناسی کشور

در نقشه‌ی سطح زمین، ساعت 00UTC روز سوم جولای ۲۰۰۹ (شکل شماره‌ی ۶)، فشار در اکثر ایستگاه‌ها نسبت به روز گذشته در همین ساعت کاهش یافته، در نتیجه کم‌فشار نسبت به روز پیش تقویت شده، به‌گونه‌ای که مرکز کم‌فشار روی ایران از خط هم‌فشار ۹۹۵ میلی‌بار به ۹۹۲/۵ میلی‌بار و در شمال عراق از خط هم‌فشار ۱۰۰۰ میلی‌بار به ۹۹۵ میلی‌بار تبدیل شده است (شکل شماره‌ی ۶). مانند روز قبل در سرتاسر نوار شمالی ایران، شمال شرق عراق و روی ترکیه و سوریه، شیو فشاری زیادی وجود دارد که می‌تواند شرایط مناسبی برای وزش بادهای قوی در سطح زمین را

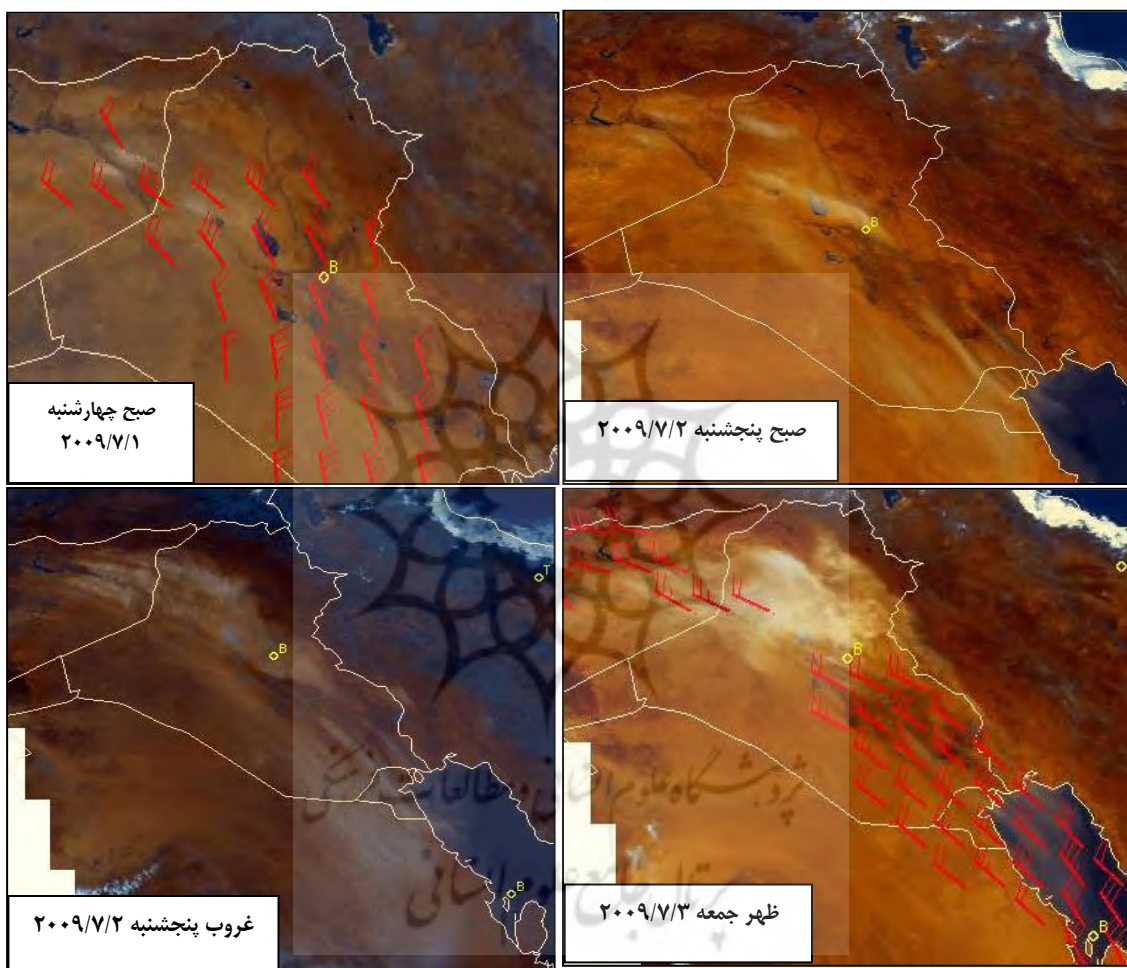
فراهم آورد. گردوخاک از غرب و جنوب غرب ایران، سواحل خلیج فارس، کویت و از مرکز و شرق سوریه و مرکز عربستان گزارش شده است (علامت S در نقشه‌ی سطح زمین شکل شماره‌ی ۶). درخوستان باد شمال غربی ۱۰ گره، کویت شمال غربی حدود ۱۰ گره، در مرکز سوریه باد شمال غربی ۱۰ گره؛ اما در شرق این کشور باد شمال غربی با سرعت ۲۸ گره گزارش شده است (نقشه‌ی سطح زمین شکل شماره‌ی ۶).

در نقشه‌ی ۵۰۰ هکتوپاسکال ساعت 00UTC روز سوم جولای ۲۰۰۹، محور پُرارتفاع جنب حاره‌ای از روی دریای سرخ به روی خلیج فارس کشیده شده و نسبت به روز قبل به عرض‌های جنوبی‌تر جابه‌جا شده است (شکل شماره‌ی ۶). فرو سرخ ضعیفی از شرق ترکیه به سمت جنوب سوریه و غرب عراق کشیده شده و همچنین فرو عمیق‌تر در روی مدیترانه دیده می‌شود. شیو پربندی نسبی زیادی در شمال سوریه و عراق و ایران و همچنین جنوب ترکیه دیده می‌شود. تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهند که در این روز، طوفان گسترده شده و گردوخاک زیادی در روی عراق و شرق سوریه شکل گرفته است.



شکل ۶. نقشه‌ی بالا: میدان‌های فشار سطح دریا بر حسب میلی‌بار و نقشه‌ی پایین: میدان‌های ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ میلی‌باری بر حسب دکامتر و دما بر حسب درجه سلسیوس مربوط به ساعت 0000UTC روز ۲۰۰۹/۷/۳
منبع: سازمان هواشناسی کشور

تصاویر ماهواره‌ای آشکارساز گردوخاک بیانگر تشکیل این پدیده در شرق سوریه و شمال عراق هستند (شکل شماره ۷). با استفاده از خروجی مدل‌های عددی پیش‌بینی وضع هوا، می‌توان مسیر حرکت این ذرات معلق را پیش‌بینی کرد. شایان ذکر است که در این حالت، به دلیل عدم بارندگی، مشکلات مربوط به همرفت که در بیشتر موارد سبب خطا در مدل‌های عددی می‌شود، وجود نداشته و پیش‌بینی‌های مدل از دقت بهتری برخوردار هستند.

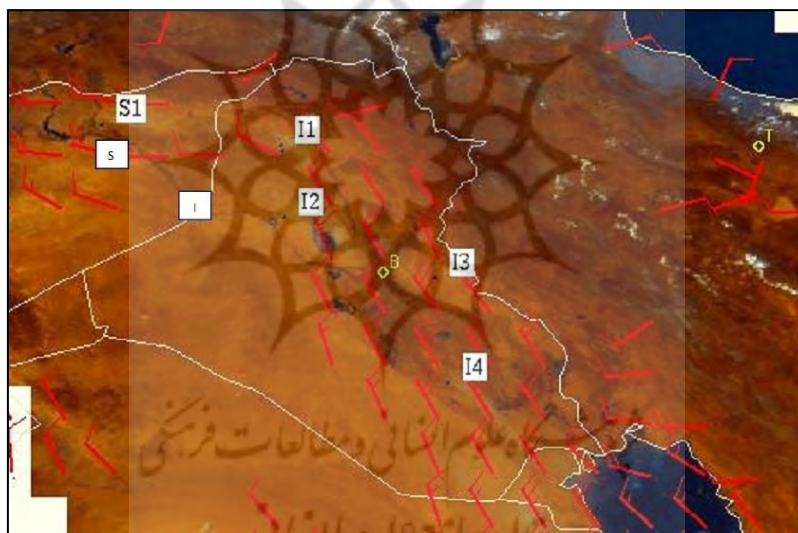


شکل ۷. تصاویر ماهواره‌ای آشکارساز گردوخاک از مرحله‌ی شروع تا روز سوم که طوفان گسترده شده و سمت و سرعت باد بیش از ۲۰ گره در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکالی در روی بعضی از تصاویر نشان داده شده است. حروف B و T نیز بیانگر موقعیت بغداد و تهران است.

در شکل‌های ۷ و ۸ در نقاط مختلفی از چشمه‌های تولید گردوخاک، مسیر پیش‌بینی شده‌ی حرکت ذرات برای روزهای آینده نشان داده شده است. برای بررسی مراحل مختلف ایجاد و توسعه‌ی طوفان‌های گردوخاک، می‌توان از تصاویر ماهواره‌ای استفاده کرد. برای نمونه در شکل شماره ۷، بعضی از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به طوفان گردوخاک مورد نظر برای نشان دادن مراحل مختلف دوره‌ی فعالیت آن، آورده شده است. این مراحل شامل زمان شکل‌گیری تا

رسیدن به طوفانی بسیار بزرگ در روی عراق و شرق سوریه و همچنین نفوذ به مرزهای غربی کشور می‌شود. بر اساس تحلیل‌های همدیدی بخش پیش که بیانگر وجود شرایط هواشناختی مناسب و استقرار شیوهای شدید فشاری در شرق سوریه و شمال غرب عراق است و سبب بادهای قوی سطح زمین در این نواحی می‌شود و همچنین تصاویر ماهواره‌ای نشان داده شده در شکل شماره‌ی ۷ برای روز چهارشنبه مورخ ۲۰۰۹/۷/۱، نخستین لکه‌های گردوخاک ایجاد شده را در مناطق مذکور نشان داده که با گذشت زمان گسترش یافته‌اند. بنابراین منشأ شکل‌گیری این طوفان را می‌توان در شرق سوریه و شمال غرب عراق در نظر گرفت (شکل شماره‌ی ۸) که در صورت مساعد بودن شرایط جوئی می‌تواند به‌طور گسترده توسعه یافته و بر اساس الگوهای جوئی، مناطقی از ایران را تحت تأثیر قرار دهد.

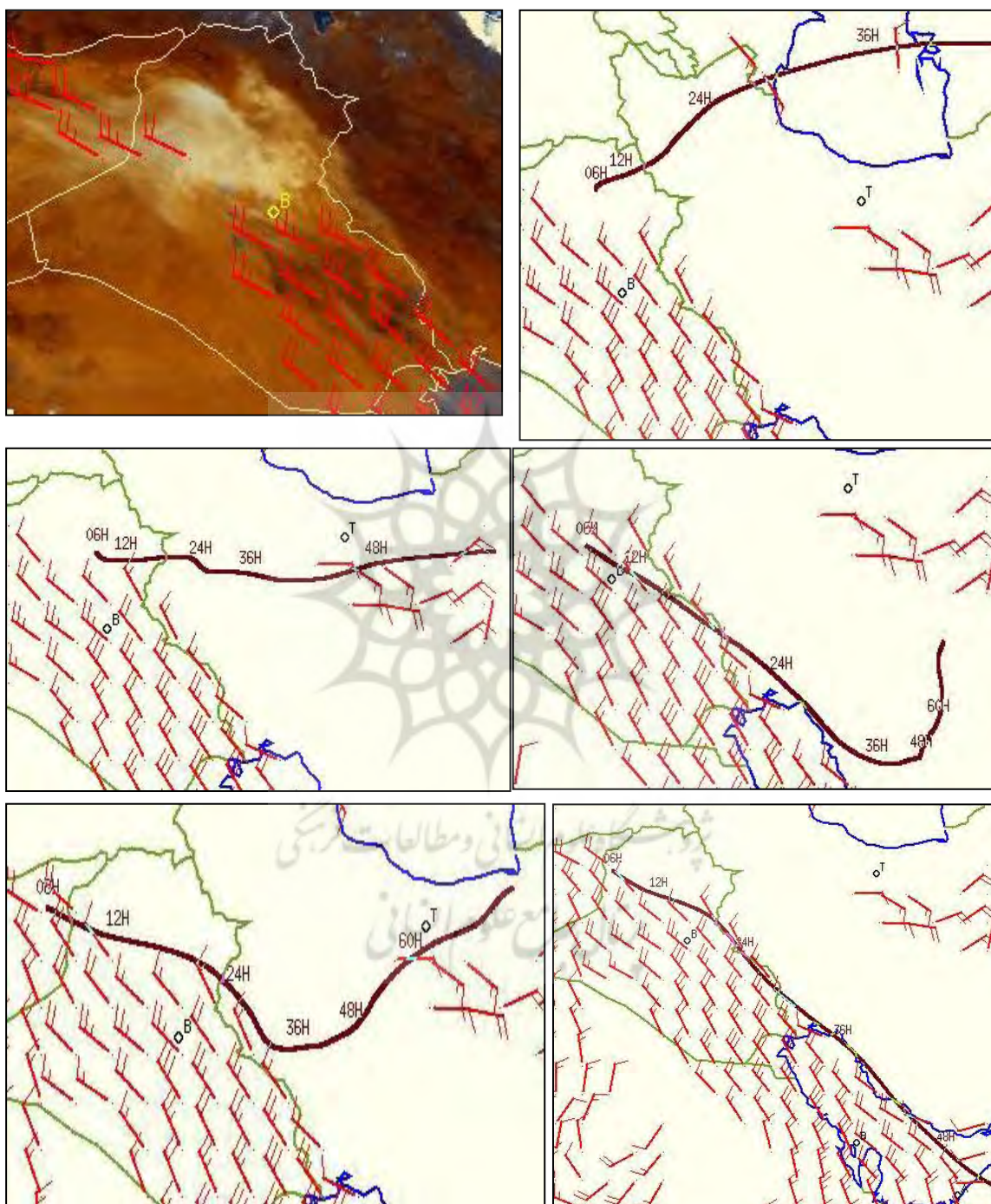
بر اساس بررسی‌های انجام شده، مهم‌ترین چشمه‌های تولید گردوخاک طوفان هفتگی اول جولای ۲۰۰۹ که شدت، وسعت و تأثیرگذاری قابل توجهی داشت و سبب بروز اختلال در حمل‌ونقل هوایی، تعطیلی مدارس، اداره‌های دولتی و ... در استان‌های درگیر شد، شناسایی و در شکل شماره‌ی ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸. شناسایی چشمه‌های تولید گردوخاک بر اساس تصاویر ماهواره‌ای آشکارساز گردوخاک و سمت و سرعت باد بیش از ۱۰ گره در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکالی. حروف B و T نیز بیانگر موقعیت بغداد و تهران است.

بنابراین تصاویر ماهواره‌ای آشکارساز گردوخاک، می‌توانند ابزار مناسبی برای شناسایی چشمه‌های تولید پدیده‌ی گردوغبار به‌شمار روند که نقش مهمی در بررسی و کنترل این پدیده خواهند داشت. همچنین با استفاده از مدل‌های عددی پیش‌بینی وضع هوا و مدل‌های پخش آلودگی هوا، می‌توان مسیر حرکت ذرات را پیش‌بینی کرده و با صدور پیش‌آگاهی‌های به‌هنگام، شدت خسارات را کاهش داد. اکنون به کمک مدل‌های عددی پیش‌بینی وضع هوا، می‌توان مسیر حرکت ذرات گردوخاک تولید شده روی مناطق شمال عراق و شرق سوریه را پیش‌بینی کرد. پیش‌بینی‌های مسیر حرکت

ذرات که بر اساس روش مسیر یابی پیشرو^۱ انجام می‌شود، نشان می‌دهد که در روزهای آینده بخش عمده‌ای از کشور تحت تأثیر این ذرات قرار می‌گیرند (شکل شماره‌ی ۹).

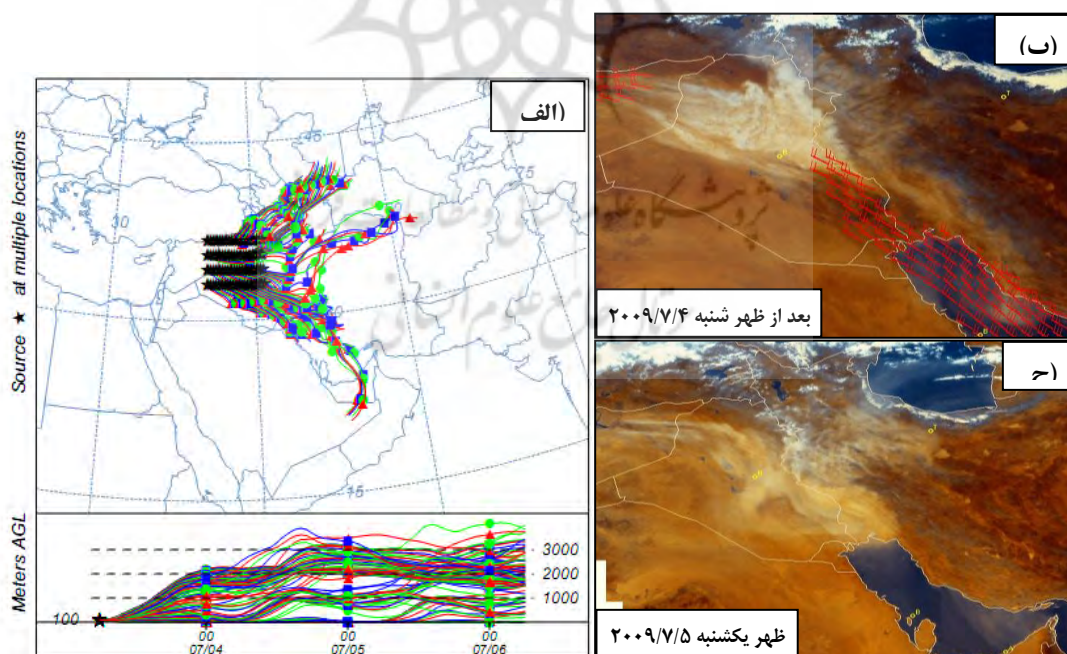


شکل ۹. پیش‌بینی مسیر ذرات آشکار شده در تصویر ماهواره‌ای روز جمعه ۲۰۰۹/۷/۳ و میدان باد با سرعت بیش از ۱۰ گره در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، حروف B و T بیانگر موقعیت بغداد و تهران است و اعداد روی خط، بیانگر زمان‌هایی است که ذرات پس از طی آن به نقطه‌ی مورد نظر می‌رسند.

در گوشه‌ی بالا سمت چپ شکل (۹)، تصویر ماهواره‌ای مربوط به روز جمعه ۲۰۰۹/۷/۳ نشان داده شده است که با استفاده از آن، می‌توان نقاطی را انتخاب کرد و مسیر حرکت ذرات را در زمان‌های آینده پیش‌بینی کرد. همچنین میدان باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال که سرعت آنها بیش از ۱۰ گره است، روی شکل‌ها نشان داده شده است.

بنابراین روی شکل‌ها جاهایی که سرعت باد کم بوده، بردارهای باد رسم نشده است. کاهش سرعت باد نسبت به فاصله، می‌تواند بیانگر رخداد همگرایی در منطقه باشد. همچنین وجود بادهای شرقی در سمت راست بعضی از شکل‌ها، حاکی از همگرایی جریان‌ها در نواحی غربی ایران است. این همگرایی، انتقال ذرات به شرق را مشکل ساخته و در صورت نبود سرعت‌های قائم بالارو، این ذرات در ترازهای پایین جو ماندگار خواهند بود.

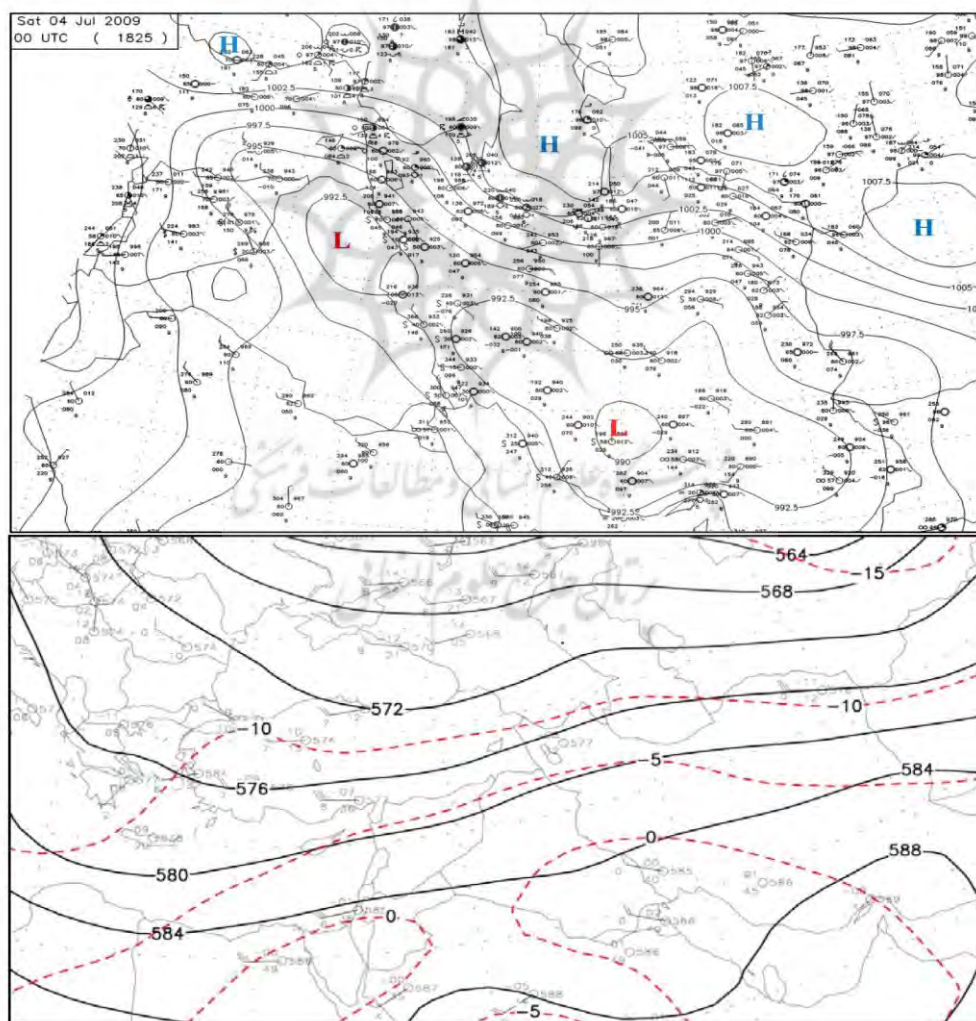
حال با توجه به تصاویر ماهواره‌ای روز جمعه، سوم جولای ۲۰۰۹ که نشان‌دهنده‌ی گردوخاک در سطح وسیعی از نیمه‌ی شمالی عراق و بخش‌های شرقی سوریه است، می‌توان این مناطق را به‌صورت مساحتی در نظر گرفت که در آن چشمه‌های تولید گردوخاک وجود دارد. سپس مسیر حرکت گردوخاک تولید شده در این نواحی را در روزهای آینده پیش‌بینی کرد (شکل شماره‌ی ۱۰). مسیر حرکت ذرات در این شکل بیانگر آن است که در روزهای آینده، نیمه‌ی غربی کشور، همراه با دامنه‌های البرز، تحت تأثیر پدیده‌ی گردوغبار قرار می‌گیرند. تصاویر ماهواره‌ای در شکل شماره‌ی ۱۰ نشان می‌دهند که گردوغبار گسترده‌ای در روزهای شنبه و یکشنبه نیمه‌ی غربی کشور را فرا گرفته است. در این شکل علاوه بر مسیر حرکت ذرات، ارتفاع ذرات زمان‌های مختلف نیز نشان داده شده است.



شکل ۱۰. شکل سمت چپ (الف) پیش‌بینی مسیر ذرات آشکار شده در تصویر ماهواره‌ای روز جمعه ۲۰۰۹/۷/۳ که ارتفاع و مسیر حرکت ذرات گردوخاک تولید شده در روی یک سطح فرضی، روی عراق و شرق سوریه تا روز ششم جولای ۲۰۰۹، شکل‌های سمت راست (شکل‌های ب و ج) تصاویر ماهواره‌ای وضعیت گردوخاک و بخش‌هایی از نیمه‌ی غربی ایران در بعدازظهر شنبه و در روز یکشنبه. این شکل نشان می‌دهد علاوه بر نیمه‌ی غربی کشور، تهران نیز تحت تأثیر گردوغبار قرار گرفته است.

نکته‌ی شایان اهمیت، حرکت ذرات در ارتفاع پایین طی این سه روز است، به گونه‌ای که تعداد مسیرهای حرکت ذرات گردو خاک با ارتفاع بیش از ۳ کیلومتر، نسبت به مسیرهایی با ارتفاع پایین‌تر از ۳ کیلومتر، کم است. هر چند که آنها از روی رشته‌کوهی (زاگرس) عبور می‌کنند که دارای ارتفاع بلندی است. تصاویر ماهواره‌ای و گزارش‌های دیدبانی شده در ایستگاه‌های هواشناسی، نشان می‌دهند که مسیر پیش‌بینی شده توسط مدل (شکل‌های ۹ و ۱۰) از دقت مناسبی برخوردار است.

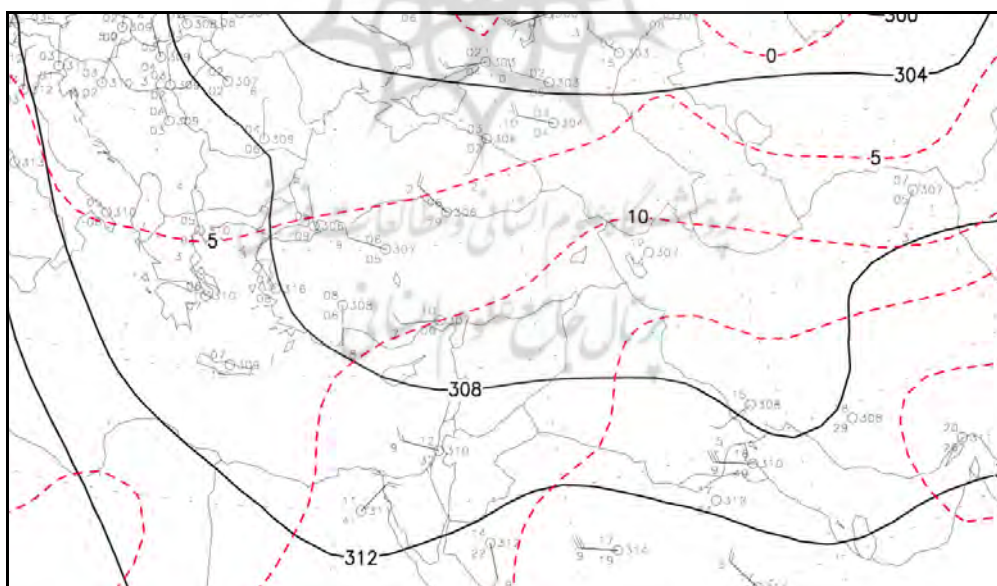
بررسی الگوی میدان فشار برای طوفان شدید گردوغبار (هفته‌ی اول جولای ۲۰۰۹)، نشان می‌دهد که سامانه‌ی کم‌فشار واقع در شمال عراق، هم‌زمان با تشکیل و توسعه‌ی طوفان از روز دوم جولای تا روز چهارم جولای ۲۰۱۰ تقویت شده، به طوری که از روز دوم به سوم، سامانه‌ی کم‌فشار به اندازه‌ی ۵ میلی بار (شکل‌های ۴ و ۶) و از روز سوم به چهارم به اندازه‌ی ۲/۵ میلی بار تقویت شده است (شکل‌های ۶ و ۱۱)، اما از روز چهارم به بعد، سامانه‌ی کم‌فشار همراه با شیو فشار، تضعیف شده که بیانگر کاهش شدت طوفان است.



شکل ۱۱. نقشه‌ی بالا: میدان‌های فشار سطح دریا برحسب میلی‌بار و نقشه‌ی پایین: میدان‌های ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ میلی‌باری برحسب دکامتر و دما بر حسب درجه‌ی سلسیوس مربوط به ساعت 0000UTC روز ۲۰۰۹/۷/۴ (منبع سازمان هواشناسی کشور).

در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکالی در روز دوم، شیو پربندی و دمایی در شمال غرب ایران و جنوب شرقی ترکیه وجود دارد. پشته سامانه‌ی پراتفاهی که از شمال به سمت جنوب خزر امتداد یافته، به ترتیب از روز دوم به سوم و از روز سوم به چهارم مقداری ضعیف شده، اما در روزهای دوم و سوم شیو پربندی و به ویژه، شیو دمایی در نواحی شمال غرب ایران، جنوب شرق ترکیه و شرق سوریه دیده می‌شود و تضعیف پُراتفاح روی دریای سیاه با تقویت کم‌ارتفاع روی ایران همراه شده است. طی روزهای دوم تا چهارم، محور فروسرخ با محور پشته کمابیش موازی بوده است. به گفته‌ی دیگر، هوای سرد در شمال و هوای گرم در جنوب، می‌تواند سبب ایجاد شیو قابل توجه پربندی در بین آنها شود (مانند شکل شماره‌ی ۴) و در نتیجه رخداد بادهای قوی در منطقه را در پی داشته باشد.

در روز دوم جولای ۲۰۰۹ در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکالی، فروسرخ‌ی در شرق دریای خزر و پشته‌ای از روی دریای سرخ تا شرق مدیترانه و جنوب سوریه امتداد یافته و در منطقه‌ی بین آنها شیو پربندی، بسیار ناچیز است (شکل شماره‌ی ۵). الگوهای میدان‌های ژئوپتانسیل و دمای تراز ۷۰۰ هکتوپاسکالی در روز چهارم جولای ۲۰۰۹، فرو سخی با طول موج بسیار بلند روی نقشه دیده می‌شود که به دو بخش تقسیم شده، موجی که از شمال دریای سیاه و خزر عبور می‌کند و موج دیگری که از روی مدیترانه می‌گذرد و موج‌هایی با طول موج کوتاه، روی هریک از این موج‌های بلند در حال حرکت هستند. در منطقه بین این موج‌ها که منطقه‌ی مورد مطالعه نیز می‌تواند نامیده شود، شیو پربندی بسیار ضعیف بوده و فروسرخ مشخصی دیده نمی‌شود (شکل شماره‌ی ۱۲).



شکل ۱۲. میدان‌های ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۷۰۰ میلی‌باری بر حسب دکامتر و دما بر حسب درجه‌ی سلسیوس مربوط به ساعت ۰۰۰۰ UTC روز ۲۰۰۹/۷/۴ (منبع سازمان هواشناسی کشور).

در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی در روز دوم، شیو پربندی در نوار شمالی ایران و نیمه‌ی جنوبی ترکیه مشاهده می‌شود و اگر جابه‌جایی پربند ۵۸۴ دکامتری را به عنوان معیاری برای تقویت یا تضعیف فروسرخ و پشته در روزهای بعد در نظر بگیریم، در این روز، این پربند کمابیش از وسط ترکیه و شمال غرب ایران عبور کرده است. در روز سوم شیو پربندی در

نیمه‌ی شمالی کشور، جنوب ترکیه، شمال عراق و سوریه زیاد بوده، پربند ۵۸۴ دکامتری نسبت به روز قبل به عرض‌های جنوبی‌تر جابه‌جا شده است، به‌طوری که از شمال سوریه و عراق و کم‌وبیش از روی کردستان و جنوب تهران گذشته، بنابراین فروسرخ‌ی از روی منطقه عبور کرده است. در روز چهارم، استقرار فروسرخ از شرق دریای سیاه و فروسرخ دیگری از روی ترکیه به سمت مدیترانه، همراه با شیو پربندی مناسب دیده می‌شوند. پربند ۵۸۴ دکامتری از جنوب دریای مدیترانه و از روی اردن و مرکز عراق و ایران عبور می‌کند.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصله نشان می‌دهند که طی سال‌های اخیر، بسامد رخداد، شدت و وسعت منطقه، تحت تأثیر پدیده‌ی گردوغبار روند افزایشی چشمگیری داشته است که پیامد آن، علاوه بر زیان‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی با توجه به جمعیتی که تحت تأثیر این پدیده قرار می‌گیرند، تهدید جدی در سلامت جامعه شمرده خواهد شد و عواقب جبران‌ناپذیری را در پی خواهد داشت. مصرف بی‌رویه و مهار آبه‌ها، به‌ویژه سدسازی‌های گسترده در جنوب ترکیه و شمال سوریه و عراق، سبب ایجاد و گسترش چشمه‌های تولید گردوغبار در نواحی شرق سوریه و شمالی عراق، به‌ویژه منطقه‌ی بین‌النهرین شده که شرایط مناسبی برای تشکیل گردوغبار در این نواحی و انتقال آن به بخش‌های وسیعی از ایران را فراهم کرده است. به‌گفته‌ی دیگر، در گذشته چشمه‌های تولید گردوغبار، بیشتر در نواحی جنوب عراق، بخش‌هایی از اردن، کویت و شمال عربستان بوده که اغلب با بادهای جنوب‌غربی یا شمال‌غربی، بخش‌هایی از جنوب‌غرب کشور را تحت تأثیر گردوغبار قرار می‌داده است؛ اما اکنون با گسترش و ایجاد چشمه‌ها در شمال عراق و شرق سوریه، نیمه‌ی غربی کشور با شدت، بسامد و ماندگاری بیشتر، تحت تأثیر این پدیده قرار می‌گیرند که دو عامل زیر می‌تواند مهم‌ترین دلیل آن باشد.

۱- وجود خاک‌های نرم و رسی در منطقه‌ی فوق؛

۲- شرایط هواشناختی.

با توجه به اینکه این مناطق در عرض‌های شمالی‌تر نسبت به مناطق قبلی قرار گرفته‌اند، برای تولید گردوخاک مساعدتر است؛ زیرا در تابستان (زمان رخداد بیشترین تعداد روزهای همراه با گردوغبار) با تقویت پُراارتفاع جنب حاره‌ای، امواج ناشی از فروسرخ مدیترانه که ضمن تضعیف، به عرض‌های شمالی‌تر منتقل شده‌اند، اغلب از بخش‌های شمالی مدیترانه عبور کرده و امکان تغذیه‌ی رطوبتی و در نتیجه بارش، فراهم نمی‌شود. بنابراین استقرار آن روی مناطق خشک، شرایط مساعدی برای صعود هوا و ذرات گردوخاک را به‌وجود می‌آورد. از سوی دیگر با توجه به اینکه در این فصل، پُراارتفاع جنب حاره‌ای روی ایران حاکم می‌شود، ضمن اینکه مانع از انتقال سریع ذرات معلق می‌شود، به فرونشینی آنها نیز کمک می‌کند. همچنین در تابستان با تقویت و گسترش کم‌فشار گرمایی روی ایران و بخش‌هایی از عراق و گاهی (حالت مورد مطالعه) بخش‌هایی از سوریه و ترکیه نیز، تحت تأثیر آن قرار می‌گیرند که با نزدیک شدن کم‌فشار دینامیکی روی مدیترانه به نواحی شرقی مدیترانه، کم‌فشار گرمایی فصلی با کم‌فشار دینامیکی ادغام شده و شرایط مساعدی برای صعود بیشتر ذرات معلق فراهم می‌آورد. از سوی دیگر با حرکت شرق سوی این کم‌فشار، شرایط برای استقرار سامانه‌ی

پُرفشار واقع در شرق ناوه که همگرایی جریان‌های تراز میانی و سطوح فوقانی، سبب ایجاد و تقویت آن نیز می‌شود، فراهم شده و هنگامی که روی دریای مدیترانه و سیاه قرار می‌گیرد، می‌تواند با توجه به فصل تقویت شود و در نتیجه، شیو فشاری شدید بین سامانه‌های کم‌فشار و پُرفشار ایجاد شود که این شرایط سبب ایجاد بادهای شدید در سطح زمین و پیامد آن، تولید طوفان گردوخاک می‌شود. البته شرایط جغرافیایی (مانند همگرا شدن) نیز در ایجاد بادهای شدید می‌تواند نقش مؤثری داشته باشد.

برای طوفان مورد مطالعه در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکالی، علاوه بر عدم وجود فرو سرخ عمیق و قابل ملاحظه، شیو پربندی نیز بسیار ضعیف بوده که ممکن است، شرایط مناسبی برای ماندگاری و انباشت ذرات گردوخاک در این تراز یا ترازهای مجاور آن فراهم آورد و سپس با توجه به ارتفاع زاگرس (به‌طور متوسط حدود ۳ کیلومتر از سطح دریا) از روی این رشته‌کوه عبور کرده و مناطق وسیعی در شرق زاگرس، از جمله تهران را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

همچنین اگر به بادهای در نقشه‌های سطح زمین دقت شود، ضمن همگرایی ناشی از کاهش سرعت باد از روی عراق تا روی ایران، همگرایی نیز در اثر بادهای غربی (روی عراق و غرب زاگرس) و شرقی (شرق زاگرس) به‌وجود می‌آید که نقش مهمی در انباشت ذرات در مناطق همگرایی دارد. برای مشخص کردن همگرایی ناشی از بادهای با جهت مخالف، می‌توان خطی فرضی که از مرکز کم‌فشار واقع در مرکز ایران (شکل شماره‌ی ۱۱) تا جنوب شرقی ترکیه امتداد می‌یابد، را در نظر گرفت.

با توجه به شکل شماره‌ی ۳، در سال‌هایی که مقدار بارش کاهش می‌یابد، رخداد این پدیده افزایش داشته، بنابراین می‌تواند ارتباط معناداری بین رخداد خشکسالی و افزایش بسامد رخداد و شدت گردوغبار وجود داشته باشد. همچنین نتایج نشان داد که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای آشکارساز گردوغبار و روش ردیابی مسیر ذرات در کنار هم، امکان پیش‌بینی مسیر حرکت ذرات را فراهم کرده و در نتیجه می‌توان هشدار و پیش‌گامی‌های به‌هنگام و قابل اعتمادی را در مورد اتخاذ تصمیم‌های لازم برای کاهش خسارت‌های احتمالی ناشی از این پدیده اندیشه کرد.

سپاسگزاری

از سازمان هواشناسی کشور و به‌ویژه کارشناسان محترم اداره‌ی کل پیش‌بینی، برای در اختیار گذاشتن نقشه‌ها و تصاویر ماهواره‌ای و از اداره‌ی کل هواشناسی استان کرمانشاه، برای تهیه و در اختیار گذاشتن تعداد روزهای همراه با گردوغبار، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- Chun, Y.S., Boo, K.O., Kim, J., Park, S., Lee, M., 2001, **Synopsis, Transport and Physical Characteristics of Asian Dust in Korea**, Journal of Geophysical Research, Vol. 106, PP.18461-18469.
- Draxler, R.R., Gillete, D.A., Kirkpatrick, J. S., Heller, J., 2001, **Estimating PM10 Air Concentration from Dust Storms in Iraq, Kuwait and Saudi Arabia**, Atmospheric Environment, Vol. 35, PP. 4315-4330.

- Ginoux, P., Chin, M., Tegen, I., Prospero, J., Holben, B., Dubovik, O., Lin, S.J., 2001, **Sources and Distribution of Dust Aerosols Simulated with the GOCART Model**, Journal of Geophysical Research, Vol. 106, PP. 255-273.
- Goudie, A.S., Middleton, N.J., 1992, **The Changing Frequency of Dust Storm Through Time**, Journal of Climate Change, Vol. 20, PP.197-225.
- In, H.J., Park, S.U., 2003, **Estimation of Dust Emission Amount for a Dust Storm Event Occurred in April 1998 in China**, Journal of Water Air and Soil Pollution, Vol. 148, PP.201-221.
- Kellogg, Ch. A., Shinn, E.A., 2001, **Dust in the Wind: Long Rang Transport of Dust in the Atmosphere and its Implication for Global Public and Ecosystem Health**, Journal of Global Change and Human Health, Vol. 1 2, PP. 20 -33.
- Kurosaki, Y., Mikami, M., 2005, **Regional Difference in the Characteristics of Dust Event in East Asia: Relationship among Dust Outbreak, Surface Wind, and Land Surface Condition**, Journal of the Meteorological Society of Japan, Ser. II, 83A., PP.1-18.
- Littmann, T., 1991, **Dust Storm Frequency in Asia: Climatic Control and Variability**, International Journal of Climatology, Vol. 11, PP. 393-412.
- Liu, G-R., and T-H. Lin, 2004, **Application of Geostationary Satellite Observations for Monitoring Dust Storms of Asia**, Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences, Vol.15, PP. 825-837.
- Natsagdorj, L., Jugder, D., Chung, Y.S., 2003, **Analysis of Dust Storms Observed in Mongolia during 1937-1999**, Atmos. Environ, Vol. 37, PP. 1401-1411.
- Nickovic, S., Wilson, W.E., Sassen, K., Sugimoto, N., Malm, W.C., 2001, **Asian Dust Events of April 1998**, Journal of Geophysical Research, Vol. 106, PP. 18317-18330.
- Qian, W., Quan, L., Shi, S., 2002, **Variations of the Dust Storm in China and its Climatic Control**, Journal of Climate, Vol. 15, PP. 1216-1229.
- Shao, Y., Wang, J.J., 2003, **A Climatology of Northeast Asian Dust Events**, Meteorologische Zeitschrift, Vol. 12, PP. 175-183.
- Sun, J., Zhang, M., Liu, T., 2001, **Spatial and Temporal Characteristics of Dust Storms in China and Its Surrounding Regions, 1901-1999: Relations to Source Area and Climate**, Journal of Geophysical Research, Vol. 106, No. 10, PP. 325-10,333.
- XU, X., Levy, J., Zhaohui, L. and Chen, H., 2006, **An Investigation of Sand-dust Storm Events and Land Surface Characteristics in China Using NOAA NDVI Data**, Global and Planetary Chang, Vol.52, PP.182-196.
- Youngsin, Ch., and Lim, J.Y., 2004, **The Recent Characteristics of Asian Dust and Haze Events in Seoul, Korea**, Meteorology and Atmospheric Physics, Vol. 87, PP. 143-152.
- Zhang, P., Lu, N.M., Hu, X.Q., Dong, C.H., 2006, **Identification and Physical Retrieval of Dust Storm Using Three MODIS Thermal IR Channels**, Global and Planetary Change Vol. 52, PP. 197-206.
- Zhou, Z.J., 2001, **Blowing Sand and Sand Storm in China in Recent 45 Years**, Quaternary Sciences, Vo. 21, PP. 9-17.

Studying of Meteorological Patterns, Identifying of Dust Sources and Motion Track of Particles for Dust Storm, July 2009

Ranjbar Saadatabadi A.*

Assistant Prof. of Meteorological Organization, Tehran

Azizi GH.

Associate Prof. Dep. of Physical Geography, University of Tehran

Received: 24/04/2011

Accepted: 16/10/2012

Extended Abstract

Introduction

In arid and semi-arid areas, dust storms occur frequently. When surface winds are strong, large amounts of sand and dust can be lifted from bare, dry soils into the atmosphere and transported downwind affecting regions hundreds to thousands of kilometers away. Dust storms are most commonly caused by strong pressure gradients which cause an increase in wind velocity over a wide area. For countries in and downwind of arid regions, airborne sand and dust presents serious risks to the environment, property and human health. In recent years, systematic research on dust storms has been carried out. Dust storm in the east of Asia, is quite well documented through the analyses of synoptic records over the past 50 years (Sun et al., 2001; Zhou, 2001; Chun et al., 2001; Qian et al., 2002; Natsagdorj et al., 2003; Kurosaki and Mikami, 2003; Shao and Wang, 2003). Sun et al. (2001, 10331) analyzed the synoptic reports over the 40-years period between 1960 and 1999 and found that Gobi in Mongolia and north of China are major dust sources. In this paper, we identify the main sources of dust production, test forward trajectory technique and investigate characteristics of pressure patterns of dust events in July 2009 in Western Iran.

Methodology

Throughout this study, it is attempted to determine characteristics of effective pressure patterns and main dust emission's sources and forward trajectory based on meteorological information including: meteorological maps at the standard levels (1000mb, 850mb, 700mb and 500mb), satellite images and some products of the numerical weather prediction models. Meteorological maps data analyzed at 00UTC and satellite images (interval time is 30min.) of dust events from 2th to 7th of July, 2009. Satellite images were used to compare the spatial pattern of a large scale dust event with the pattern predicted by the model.

*E-mail: aranjbar@gmail.com

Results and Discussion

Surveys show that in recent years the event frequency, intensity and the extent of the region affected by sand and dust have been increasing. Water irregular consumption and inhibition, particularly widespread constructing dams in the south of Turkey and the North of Syria and Iraq, cause the creation or development and spread of producing sources of dust in the eastern north of Syria and the north of Iraq especially Mesopotamia that provide suitable conditions for dust formation in these areas and delivering it to vast areas of Iran. On the other hand, it can be claimed that in past, the sources of dust were mostly in the south of Iraq, some parts of Jordan, Kuwait, and the north of Saudi Arabia. These sources has influenced already on the south west of Iran through the south westerly or the north westerly winds, now by spreading and creating sources in the north of Iraq and eastern north of Syria, the west of Iran is affected with more intensity, frequency and permanency by this event. The two following reasons are of most importance to produce dust storm:

- 1- There are soft soil particles and clay in the Region,
- 2- As these Regions are located nearer to the north comparing to the previous mentioned areas, meteorological condition is suitable for dust formation.

Maximum number of dusty days and severe dust events usually occur in summer. Because of strengthening the subtropical high pressure, the waves of Mediterranean have been delivered to northern latitudes, and there will be no possibility of moisture feeding and no precipitation. Thus, its deployment on dry areas provides suitable conditions for ascending air and dust particles. While low pressure system moves to the east, the conditions for high pressure system's deployment located in the west of upper trough, by convergence of upper flows, leads to its creation and strengthen of high pressure. So, intensive pressure gradient is created between low and high pressure systems which leads to creation of strong winds and causes dust storm. However, geographic condition might have an effective role in creating strong winds.

In this case study at 700hPa level, in addition to the lack of deep and noticeable trough, contour gradient is low and probably provides suitable situation for the persistency and accumulation of dust particles in this level and near levels. Then, regarding Zagros' height (in average 3 km above sea surface), the particles pass above the mountain and impacts expand areas of the east of Zagros such as Tehran.

Due to decreasing the wind speeds (on surface and low level troposphere) from Iraq to Iran and also confluence of west and east winds the convergence zones have been created over the west of Iran. This Convergence of winds has an important role in accumulation and suspended of particles over the region. For determining the convergence due to the winds with opposite

directions, an imaginary line can be considered which continues from Iran's low pressure center to eastern south of Turkey.

Conclusion

Output results indicate that the sources of dust production were in the East of Syria and the

North West of Iraq that through storm movement to the east, the density of suspended particles were increased and had impacts on western of Iran. The main meteorological factors in creating storms and delivering the suspended dust particles over the western of Iran are as following order:

Extending of thermal low pressure system from the center of Iran to the north of Iraq and south of Turkey, spreading of high pressure system from the Black sea to Caspian sea, the north band of Iran and the south east of Turkey, the strong pressure gradient created between the two pressure systems and passing waves out of Mediterranean in the mid troposphere level have an essential role in creating storm and carrying the suspended particles.

During the years that precipitation decreases, the occurrence of the event increases; thus, there is a meaningful relation between drought and the increasing of the frequency and intensity of sand and dust.

Keywords: *Dust Storm, Dust Sources, Particle Path, Mediterranean Trough, Pressure Gradient.*

