

مطالعه گردوغبارهای شدید اصفهان طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۰۰

عباس رنجبر سعادت‌آبادی*^۱، مهسا اخلاقی^۲

۱ دانشیار، دکتری هواشناسی، گروه شیمی جو و آلودگی هوا، پژوهشکده هواشناسی، ایران

۲ کارشناس ارشد هواشناسی، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۱۹؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۰۷/۰۹)

چکیده

بخش وسیعی از غرب آسیا به سبب شرایط جوی و اقلیمی، در گسترده‌ترین بیابان‌های جهان واقع شده که پتانسیل تولید گردوغبار را دارند. طی سال‌های اخیر بسامد، شدت رخداد و گستردگی این پدیده در بیشتر استان‌ها از جمله اصفهان افزایش یافته و با توجه به جمعیت و منابع در معرض خطر، آسیب‌پذیری ناشی از رخداد این پدیده نیز به شدت افزایش یافته است. در این مطالعه شرایط هواشناختی شدیدترین و طولانی‌ترین رخدادها در فصول مختلف، برای شناسایی الگوهای جوی و چشمه‌های تولید گردوغبار احتمالی بررسی شد. برای این منظور روزهای بسیار ناسالم طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۰۰ با استفاده از داده‌های شاخص کیفیت هوا و داده‌های دیده‌بانی ایستگاه‌های هواشناسی مشخص و سپس شرایط هواشناختی و سامانه‌های جوی مؤثر بر تولید گردوغبار از دو روز قبل از رخداد، بررسی شد. در نهایت با روش خط سیر پس‌رو و استفاده از برون‌داد مدل منطقه‌ای پیش‌بینی گردوغبار، محل تقریبی کانون‌های گردوغبار در فصول مختلف تعیین شد. نتایج نشان داد که بیشینه شدت و بسامد رخداد ماهانه و سالانه این پدیده در اصفهان به ترتیب مربوط به ماه جولای و سال ۲۰۰۹ بوده است. استقرار پشته ارتفاعی بر روی منطقه و سامانه کم‌فشار دینامیکی در روی کانون‌های گردوغبار از ویژگی‌های برجسته الگوهای جوی مؤثر در تولید گردوغبار در همه فصول است. بسته به فعالیت این الگوها، کانون‌های مؤثر شامل شمال آفریقا، شمال عربستان، کویت، اردن، سوریه و عراق می‌باشند که در فصل گرم نواحی شمالی عراق و شرقی سوریه مهم‌ترین این کانون‌ها هستند.

کلیدواژه‌ها: الگوهای جوی، کانون‌های گردوغبار، کیفیت هوا، اصفهان

سرآغاز

گردوغبار موجود در جو از جنبه‌های مختلف مانند تاثیر روی بودجه تابشی (Myhre & Stordal, 2001)، اثرات فتوشیمیایی (Lohmann, Bian & Zender, 2003)، هستی‌های میعان (Sherwood, 2002) در سیستم اقلیمی زمین نقش دارند. اصلی‌ترین عوامل ایجاد این پدیده، وزش بادهای به نسبت شدید بر روی بیابان‌های دارای شرایط مساعد برای ایجاد گردوخاک است. این عوامل به همراه حرکات صعودی، انتقال قائم ذرات گردوخاک معلق به ترازهای بالاتر جو را فراهم می‌کند. ذرات معلق برحسب اندازه قطر آن‌ها در لایه‌های به ترتیب از پایین به بالا قرار گرفته و سپس با جریان‌های هوا در آن ترازها به حرکت درآمده و مناطق وسیعی را پوشش می‌دهد. در واقع ذرات درشت در انتقال توسط باد غلت خورده در حالی که ذرات ریزتر با حرکت نوسانی باد از سطح زمین کنده شده و در هوا به حرکت در می‌آیند و ذرات بسیار ریز می‌توانند به صورت معلق تا مسافت‌های طولانی منتقل شوند. بنابراین، سامانه‌های جوی و واداشت‌های بزرگ در فرآیند ایجاد، انتشار و نهشت گردوغبار نقش اصلی دارند. با توجه به اهمیت موضوع مطالعه‌های بسیاری در این زمینه انجام شده که در زیر به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. (Tchepel et al., 2013) انتقال برد بلند ذرات معلق گردوغبارهای شدید پرتغال را بر اساس خروجی‌های مدل دریم و اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای بررسی کردند و نتیجه گرفتند که کانون‌های این گردوغبارها در شمال آفریقا بوده و نتایج مدل با داده‌های اندازه‌گیری شده همخوانی بسیار خوبی دارد. (Ranjbar Sataabadi & Azizi, 2013) نشان دادند که رهیافت استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و روش مسیریابی ذرات، می‌تواند برای پیش‌بینی مسیر ذرات گردوغبار و شناسایی چشمه‌های گردوغبار به کار رود. (Ashrafi et al., 2014) نیز با استفاده از مدل Hysplit^(۱) به بررسی توفان‌های گردوغبار ورودی از غرب کشور پرداخته و به این نتیجه رسیدند که نتایج مدل Hysplit بسیار شبیه به نتایج به دست آمده از بررسی تصاویر ماهواره است. (Ghader et al., 2013) با استفاده از ترکیب مدل‌های WRF^(۲) و Hysplit به شبیه‌سازی انتشار آلاینده‌های خروجی از نیروگاه بوشهر پرداخته و با مقایسه خروجی مدل‌ها با آزمایش‌های میدانی به این نتیجه رسیدند که سامانه به کار رفته به خوبی از عهده شبیه‌سازی نحوه

انتقال و پخش آلاینده‌ها بر می‌آید.

(Ranjbar Saadatabadi & Noori, 2016) بررسی ارتباط عوامل کنترلی بزرگ مقیاس جوی با رخداد گردوغبار در نیمه غربی کشور را مطالعه کرده و نتیجه گرفتند که تقویت کم‌فشار گرمایی در فلات مرکزی ایران و عراق، گرادیان شدید پربندی ترازهای پایین جو در نواحی شمالی ایران و عراق و شرق سوریه، تقویت و گسترش نصف‌النهاری پر ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از نواحی مرکزی مدیترانه به روی اروپا، استقرار ناوه پربندی در شرق مدیترانه، کاهش قابل ملاحظه بارش فصل زمستان و کاهش غیرعادی شاخص نوسان اطلس شمالی (که منجر به انتقال مسیر حرکت توفان‌ها به نواحی جنوبی اروپا و شمال آفریقا می‌شود)، از مهمترین عوامل تشدید و توسعه این پدیده در نواحی غربی کشور می‌باشند. (Ranjbar Sataabadi et al., 2012) بر اساس طبقه‌بندی شاخص AQI^(۳)، میانگین الگوهای جوی برای هر طبقه را برای تهران محاسبه کرده و نشان دادند، در حالتی که سامانه پرفشار در جنوب البرز و سامانه کم‌فشار در شمال البرز قرار گیرد شرایط رخداد آلودگی‌های حاد در تهران فراهم می‌شود. (Marka et al., 2007) نشان دادند که افزایش غلظت آلاینده‌های هوا در جنوب مجارستان، هم در تابستان و هم در زمستان در شرایط استقرار سامانه واچرخندی و پر ارتفاع سطوح میانی جو رخ می‌دهد و کاهش آلاینده‌ها نه فقط هنگام استقرار چرخندهای دینامیکی، بلکه به هنگام استقرار پر ارتفاع هم می‌تواند روی دهد. (McGregor & Bamzeli, 1995) ارتباط سامانه‌های هم‌دیدگی مختلف با آلودگی هوای Birmingham را مطالعه کرده و نتیجه گرفتند در حالت بیشترین غلظت آلاینده‌ها، واچرخند بر روی منطقه مستقر می‌شود. (Draxler et al., 2001) در تحقیقی با عنوان برآورد غلظت PM10 هوا در عراق، کویت و عربستان نشان دادند که نتایج مدل در پیش‌بینی تعداد رویدادهای گردوخاک بر روی کویت از صحت بالایی برخوردار است. (Orlovsky & Durduev, 2005) با مطالعه توفان‌های گردوغبار در ترکمنستان نتیجه گرفتند که رخداد این توفان‌ها در فصل بهار به بیشینه می‌رسد و منطقه اصلی این توفان‌ها صحرای گاراقوم است. (Youngsin & Lim, 2004) بر روی پدیده گردوغبار و غبار مه آسیایی در سئول کره جنوبی نشان داد که اکثر گردوغبار آسیایی در فصل بهار و ماه آوریل رخ می‌دهند و در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۲ پدیده از شدت بیشتری برخوردار

قبل تا بعد از رخداد این پدیده مطالعه شد. برای این منظور با توجه به نتایج تحلیل آماری روزهایی که دید افقی به زیر ۱۰۰۰ متر رسیده و شاخص کیفیت هوا در مرحله بسیار ناسالم قرار گرفته، نقشه‌های فشار سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ میلی مطالعه شد سپس به کمک مدل Hysplit از روش مسیریابی پس‌رو^(۴) مسیر ذرات ورودی برای روزهای آلوده، محل تقریبی کانون‌های تولید گردوغبار بر اساس استقرار سامانه‌های جوی، شناسایی شد. مدل Hysplit یکی از مدل‌های پخش و انتقال آلاینده‌های جوی است که فراوان‌ترین مورد استفاده را در تحقیق‌های بزرگ مقیاس دارد. این مدل توسط لابراتوار منابع هوایی^(۵) سازمان ملی جوی و اقیانوسی^(۶) توسعه یافت. این مدل برای پشتیبانی از دامنه وسیعی از شبیه‌سازی‌های مرتبط با انتقال‌های برد بلند، پراکنش و نهشت ذرات معلق طراحی شده است. در ادامه با به‌کارگیری مدل منطقه‌ای پیش‌بینی گردوغبار موسوم به DREM^(۷) طی هر ۶ ساعت برای مدت سه روز در واقع روز رخداد حادثه و همین‌طور تا دو روز قبل از رخداد حادثه و مدل هایسپلیت که برای ۱۲۰ ساعت به روش خط سیر پس‌رو اجرا شده است در نهایت با استفاده از نتایج از برون‌داد مدل‌ها و تحلیل سینوپتیکی تلاش می‌شود تا چشمه‌ها و منابع موثر در تولید گردوغبار استان اصفهان به‌صورت احتمالی شناسایی شوند. لازم به ذکر است به‌طور کلی بیشتر مدل‌هایی که پدیده گردوغبار را پیش‌بینی می‌کنند، به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول مدل‌هایی که انتقال گردوغبار در جو را با استفاده از محاسبه‌های مسیر حرکت ذرات انجام می‌دهند (مانند هایسپلیت). این مدل‌ها تنها مسیر انتقال گردوغبار را ارائه می‌دهند. دسته دیگر، مدل‌های انتقال اولبری هستند که می‌توانند تصویری حقیقی‌تر از توزیع زمانی و مکانی غلظت گردوغبار موجود در جو ارائه دهند که مدل دریم یکی از این گونه مدل‌ها است و بر اساس معادله پیوستگی جرم که یک معادله دیفرانسیلی غیرخطی جزئی است برای پیش‌بینی غلظت ذرات معلق و مطالعه چرخه ذرات معلق در جو بکار می‌رود. دو مرکز برای این منظور در جهان هست که از مدل دریم برای پیش‌بینی ذرات معلق استفاده می‌کنند یکی مرکز بارسلونا (برای گردوغبارهای شمال آفریقا بوده که بخشی از ایران را نیز پوشش می‌دهد) و دیگری مرکز چین (برای گردوغبار شرق آسیا بوده که ایران را نیز پوشش می‌دهد) است. در این مطالعه از برون‌داد هر دوی این مدل‌ها استفاده شده است.

بوده است. شبیه‌سازی‌های عددی و مطالعه میزان انتشار گردوغبار در جو نشان داد که مدل‌های عددی پخش و انتقال ذرات معلق ابزار مناسبی برای بررسی مسیر حرکت ذرات و برآورد میزان انتشار به شمار می‌روند (In & Park, 2003). Zhang et al., 2006) با استفاده از باند مادون قرمز تصاویر ماهواره‌ای مودیس چگونگی شناسایی توفان‌های گردوغبار را بررسی کرد. (Sun, et al., 2001) گزارش‌های همدیدی دوره ۴۰ ساله (۱۹۹۹-۱۹۶۰) را مطالعه کرده و نتیجه گرفتند که گبی مغولستان یکی از مهم‌ترین چشمه‌های تولید گردوغبار شرق آسیا است. مطالعه‌های مشابه دیگری از جمله (Zhou, 2001; Natsagdorj et al. Qian al. 2002; Chun et al. 2001; Nickovic et al. Kurosaki & Mikami, 2005; 2003; Shao & Dong, 2006; Shao & Wang, 2003; 2001; برای شرایط اقلیمی و تحلیل‌های همدیدی توفان‌های گردوغبار شرق آسیا انجام شده است. (Ginoux et al; 2001) چشمه‌های تولید گردوغبار و توزیع ذرات معلق را با استفاده از یک مدل بررسی کردند در این مقاله الگوهای جوی و کانون‌های تولید گردوغبار مؤثر بر رخداد آلودگی‌های شدید هوا در اصفهان طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۰۱ مطالعه می‌شود.

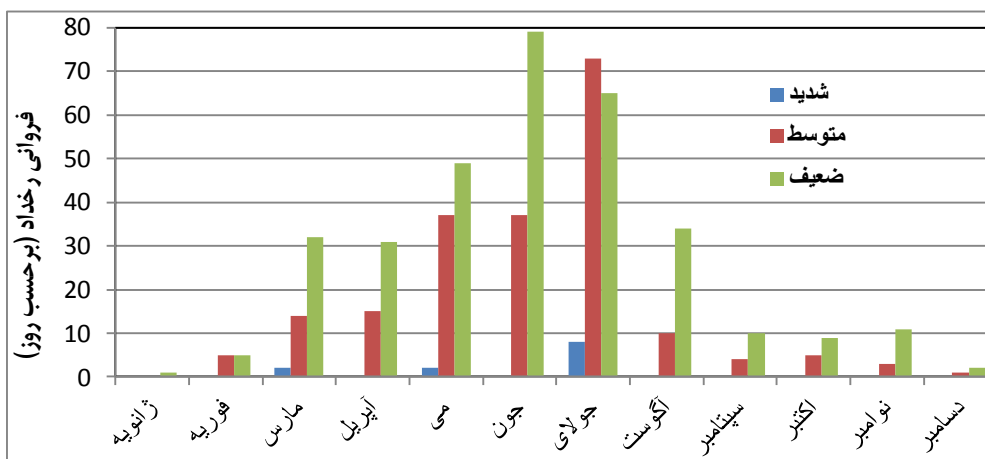
مواد و روش‌ها

استان اصفهان در مرکز ایران با مساحت ۱۰۷۰۴۴/۲۹۱ کیلومتر مربع بین عرض‌های ۳۰ درجه و ۴ دقیقه شمالی تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی و ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. در این مطالعه ابتدا تحلیل آماری به‌منظور یافتن فراوانی ماهانه و سالانه گردوغبار (کد ۰۶ گزارش‌های سینوپ) بر اساس گزارش‌ها سینوپ سه‌ساعته ایستگاه اصفهان انجام شد و روزهای گردوغبار با منشا خارجی (کد ۰۶) در بازه زمانی ۲۰۱۱-۲۰۰۰ که منجر به کاهش دید به زیر ۵۰۰۰ متر شده بود در سه گروه از هم تفکیک شدند، این تقسیم‌بندی می‌تواند به‌نوعی بیانگر رخداد پدیده گردوغبار با شدت‌های مختلف باشد. در این مطالعه منظور از گردوغبارهای شدید، روزهایی که پدیده منجر به کاهش دید به زیر ۱۰۰۰ متر رسیده، گردوغبارهای متوسط، روزهایی که دید بین ۱۰۰۰ و ۳۰۰۰ متر باشد و گردوغبارهای ضعیف، روزهایی که دید بین ۳۰۰۰ و ۵۰۰۰ متر است، هست. همچنین بر اساس شاخص کیفیت هوا روزهایی که شدت و مدت این پدیده زیاد بوده تعیین شد، در مرحله بعد، الگوهای جوی حاکم از دو روز

نتایج و یافته‌ها

گردوغبار ضعیف (دید بین ۳۰۰۰ و ۵۰۰۰ متر) رخ داده است. بیشترین فراوانی رخداد ماهانه گردوغبارهای شدید و متوسط در ماه جولای و گردوغبارهای ضعیف در ماه جون بوده است (شکل ۱).

از نتایج بررسی تقسیم‌بندی دید، مشاهده شد در اصفهان، طی این ۱۲ سال، ۱۲ روز گردوغبار شدید (دید، زیر ۱۰۰۰ متر)، ۲۰۴ روز گردوغبار متوسط (دید بین ۱۰۰۰ و ۳۰۰۰ متر) و ۳۲۸ روز



شکل (۱): توزیع فراوانی ماهانه برای گردوغبارهای با شدت‌های مختلف شدید ($\leq 1\text{ km}$ دید)، متوسط ($1\text{ km} < \text{دید} \leq 3\text{ km}$) و ضعیف ($3\text{ km} < \text{دید} \leq 5\text{ km}$) در دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۰۰

و فوریه اتفاق افتاده است (جدول ۱). بیشترین فراوانی رخداد سالانه به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۹ با حدود ۳۲ درصد، سال ۲۰۱۰ با ۲۲ درصد و سال ۲۰۱۱ با ۲۱ درصد بوده است، همین‌طور کمترین فراوانی رخداد به ترتیب مربوط به سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۶ است (جدول ۲). بنابراین، چنین استنباط می‌شود که در سال ۲۰۰۹ بسامد رخداد و شدت این پدیده در اصفهان افزایش فراوانی داشته که یکی از دلایل آن می‌تواند رخداد خشک‌سالی‌های شدید در طی این دوره باشد.

با توجه به فراوانی رخداد فصلی طی دوره آماری ۱۲ ساله برای دید زیر ۵۰۰۰ متر مشاهده شد که در فصل بهار حدود ۳۴ درصد، تابستان ۵۷ درصد، پاییز ۸ درصد و زمستان ۳ درصد است (جدول ۱). از نظر توزیع سالانه نیز بیشترین فراوانی رخداد گردوغبارهای شدید، متوسط و ضعیف مربوط به سال ۲۰۰۹ بوده است (جدول ۲). بیشترین فراوانی رخداد ماهانه برای دید کمتر از ۵۰۰۰ متر در طی دوره ۱۲ ساله به ترتیب در ماه جولای حدود ۲۷ درصد، در ماه جون ۲۲ درصد و سپس ماه می ۱۷ درصد بوده و کمترین فراوانی رخداد نیز به ترتیب در ماه‌های ژانویه، دسامبر

جدول (۱): فراوانی رخداد ماهانه (برحسب روز) در دوره ۲۰۱۱-۲۰۰۰ برای شدت‌های مختلف گردوغبار

ماه	دید (متر)	تعداد روزهای گردوغبار شدید ($\leq 1\text{ km}$ دید)	تعداد روزهای گردوغبار متوسط ($1\text{ km} < \text{دید} \leq 3\text{ km}$)	تعداد روزهای گردوغبار ضعیف ($3\text{ km} < \text{دید} \leq 5\text{ km}$)
ژانویه		۰	۰	۱
فوریه		۰	۵	۵
مارس		۲	۱۴	۳۲
آوریل		۰	۱۵	۳۱
می		۲	۳۷	۴۹
جون		۰	۳۷	۷۹
جولای		۸	۷۳	۶۵

ادامه جدول (۱): فراوانی رخداد ماهانه (برحسب روز) در دوره ۲۰۱۱-۲۰۰۰ برای شدت‌های مختلف گردوغبار

ماه	دید (متر)	تعداد روزهای گردوغبار شدید ($1 \text{ km} \leq \text{دید}$)	تعداد روزهای گردوغبار متوسط ($1 \text{ km} \leq \text{دید} < 3 \text{ km}$)	تعداد روزهای گردوغبار ضعیف ($3 \text{ km} < \text{دید} \leq 5 \text{ km}$)
اوت	۰	۰	۱۰	۳۴
سپتامبر	۰	۰	۴	۱۰
اکتبر	۰	۰	۵	۹
نوامبر	۰	۰	۳	۱۱
دسامبر	۰	۰	۱	۲
مجموع	۱۲	۲۰۴	۳۲۸	

جدول (۲): فراوانی رخداد سالانه (برحسب روز) در دوره ۲۰۱۱-۲۰۰۰ برای شدت‌های مختلف گردوغبار

سال	دید (متر)	تعداد روزهای گردوغبار شدید ($1 \text{ km} \leq \text{دید}$)	تعداد روزهای گردوغبار متوسط ($1 \text{ km} \leq \text{دید} < 3 \text{ km}$)	تعداد روزهای گردوغبار ضعیف ($3 \text{ km} < \text{دید} \leq 5 \text{ km}$)
۲۰۰۰	۰	۰	۰	۵
۲۰۰۱	۰	۰	۰	۷
۲۰۰۲	۰	۰	۲	۸
۲۰۰۳	۰	۰	۰	۵
۲۰۰۴	۰	۰	۴	۳
۲۰۰۵	۰	۰	۲	۵
۲۰۰۶	۰	۰	۰	۴
۲۰۰۷	۰	۰	۱	۱۱
۲۰۰۸	۲	۲	۳۵	۴۸
۲۰۰۹	۷	۷	۸۱	۸۵
۲۰۱۰	۳	۳	۳۹	۷۷
۲۰۱۱	۰	۰	۴۰	۷۰
مجموع	۱۲	۲۰۴	۳۲۸	

الگوهای جوی

شرایط جوی لازم و وجود مناطق مستعد (بیابان‌های بدون پوشش گیاهی با جنس خاک مناسب)، دو شرط اساسی برای رخداد گردوغبار است. با توجه به موقعیت جغرافیایی و اقلیم منطقه، مناطق مستعد در داخل و خارج کشور بسیار زیاد بوده اما این کانون‌ها فعال نمی‌شوند مگر این که شرایط جوی، مساعد باشد. بنابراین، شرایط جوی نقش اصلی در تولید، بسامد رخداد، شدت و ماندگاری گردوغبار در نقاط مختلف دارد بر این اساس با توجه به تغییرات شرایط جوی در طول سال و فصول مختلف، الگوهای جوی و کانون‌های موثر بر هر منطقه متفاوت است که در بخش عمده‌ای از مطالعه حاضر در این راستا است. در ابتدا لازم به ذکر است که با توجه به محدود بودن حجم مقاله آوردن

همه نقشه‌ها امکان‌پذیر نبوده و تعدادی از نقشه‌ها به صورت موردی (۲۷ نوامبر تا ۲ دسامبر ۲۰۱۰ و ۱۸ تا ۱۹ جون ۲۰۰۹) ارائه می‌شود. در جدول (۳) چند مورد از مقادیر شاخص کیفیت هوای اصفهان برای روزهای بسیار آلوده نشان داده شده است که در بعضی از روزها وضعیت به حالت بحران رسیده است. برای بررسی پدیده گردوغبار از دید بزرگ مقیاس، با توجه به شناخت الگوهای فشاری حاکم، بررسی نحوه تغییرات و مسیر حرکت الگوهای جوی موثر در ایجاد پدیده گردوغبار در اصفهان، گردوغبارهای شدید (حالت‌هایی که رخداد این پدیده منجر به کاهش دید تا کمتر از ۱۰۰۰ متر و یا شرایط بسیار ناسالم بر اساس شاخص AQI گزارش شده)، انتخاب و نقشه‌های فشار سطح زمین و ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال را مورد بررسی قرار

اساس برون‌داد مدل‌های Hysplit و Dream مطالعه شد که نتایج در ادامه آورده شده است.

گرفت تا ویژگی‌های الگوهای جوی منجر به شکل‌گیری پدیده گردوغبارهای شدید اصفهان مشخص شود. همچنین مسیر حرکت ذرات و مقادیر گردوغبار وارد شده به جو و نهشت بر

جدول شماره (۳): نمونه‌ای از مقادیر شاخص کیفیت هوا در روزهای بسیار شدید هوای اصفهان

دسامبر ۲۰۱۱				دسامبر ۲۰۱۰						نوامبر ۲۰۱۰				
روز	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۸	۹	۱۴	۱۵
AQI	۱۳۸	۱۴۸	۱۶۴	۲۴۰	۱۹۹	۲۰۷	۱۹۱	۱۷۴	۱۶۱	۱۵۶	۱۵۴	۱۴۰	۱۶۷	۲۳۳

کشورهای عراق، سوریه و ترکیه و همین‌طور دریای سرخ گسترده شده است. این شرایط در سطح زمین همراه شده با سامانه کم‌فشار بسیار گسترده بر روی اکثر نقاط اروپا، در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به‌طوری‌که گردان‌کنندگی بسیار شدیدی از نواحی مرکزی اروپا تا روی نواحی مدیترانه غربی نواحی شمال غربی آفریقا و همچنین روی ترکیه، دریای سیاه و شمال دریای خزر همراهی می‌شود.

در روز بعد (۲۹ نوامبر ۲۰۱۰) سامانه پرفشار همراه با پر ارتفاع از روی ترکیه تا روی نواحی مرکزی اروپا گسترده شده و دو سامانه کم‌فشار (یکی روی اروپای غربی و دیگری شمال غرب روسیه) را از هم جدا کرده است (شکل نشان داده نشده است). بر روی نواحی مرکزی و رشته‌کوه‌های البرز سامانه پرفشار و گردان‌کنندگی و کنتوری ضعیف و در نواحی جنوبی کشور و خلیج فارس کم‌فشار تا روی عراق دیده می‌شود که سامانه‌های پرفشار روی زاگرس و روی نواحی غربی عراق و شمالی عربستان را از هم جدا کرده است.

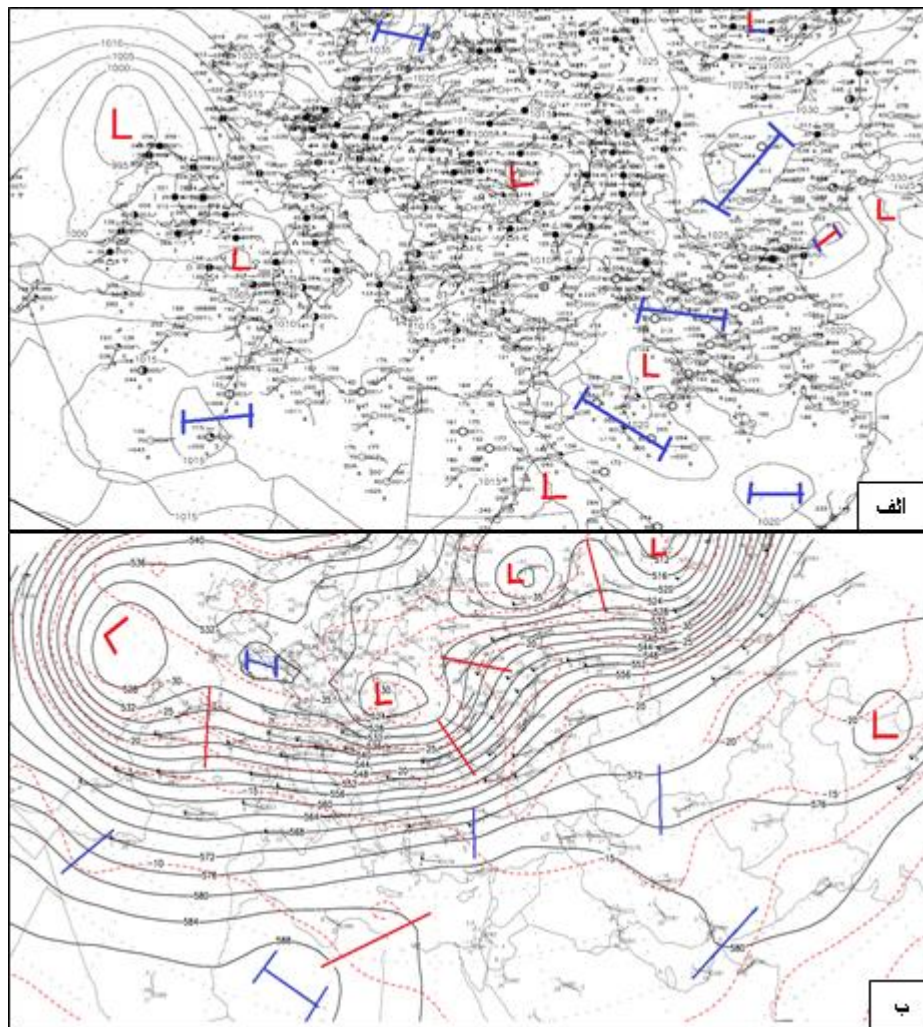
الگوی همدیدی حاکم برای روز ۳۰ نوامبر ۲۰۱۰ (شکل ۲) نشان می‌دهد که ناوه فشاری خلیج فارس که تا روی عراق امتداد یافته، بین دو سامانه پرفشار (یکی روی بخش‌های عمده ایران و دیگری روی عربستان) قرار گرفته است.

سامانه پر ارتفاع جنب حاره بر روی نیمه غربی و نواحی جنوبی دریای خزر گسترش یافته و ناوه‌های ضعیفی در نواحی شمال شرق و جنوب شرق کشور مستقر است (شکل ۲-ب). بنابراین، منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر سامانه پرفشار همراه با گردان‌کنندگی بسیار ضعیف فشاری و کنتوری است (شکل ۱-الف)؛ که این امر می‌تواند بیانگر پایداری هوا، به علت استقرار سامانه پرفشار و پی آمد آن حرکات نزولی و افزایش غلظت ذرات معلق بر روی منطقه مورد مطالعه باشد.

الگوهای فصل پاییز (برای نمونه: ۳۰ نوامبر ۲۰۱۰)

معمولاً در فصل پاییز به علت استقرار سامانه‌های پرفشار پتانسیل آلودگی هوا بالا می‌رود و در صورت فعالیت منابع آلاینده و تزریق آلاینده‌های زیاد به جو، کیفیت هوا در شرایط ناسالم و یا بسیار ناسالم قرار می‌گیرد در آذرماه ۱۳۸۹ اکثر شهرهای ایران به‌ویژه کلان‌شهرهایی مانند اصفهان، تهران، شیراز، تبریز، کرمان و مشهد با شدت‌های مختلف تحت تأثیر پدیده گردوغبار قرار گرفتند. به‌طوری‌که کیفیت هوای این کلان‌شهرها در اثر ذرات معلق بسیار ریز، برای چند روز در شرایط بسیار ناسالم و در روزهای ۳۰ نوامبر و ۲ دسامبر ۲۰۱۰ و ۱۵ دسامبر ۲۰۱۱ در وضعیت بحران قرار داشته است. تداوم این پدیده در آذرماه ۸۹ بی‌سابقه بوده به‌طوری‌که طی این ماه کیفیت هوای اصفهان فقط یک روز در وضعیت سالم قرار داشته و ۲۹ روز آن در وضعیت‌های ناسالم و هشدار قرار داشته است. شایان ذکر است که در این دوره علی‌رغم تعطیلی مدارس و اداره‌های دولتی در بعضی روزها شدت آلودگی تغییرات چندانی نداشته و همچنان در وضعیت ناسالم و بسیار ناسالم باقی‌مانده است که این امر می‌تواند بیانگر آن باشد که منابع تولید و منشا اصلی آلودگی، منابع آلاینده‌ها خارج از محیط‌های شهری بوده است.

نقشه‌های همدیدی این دوره بسیار آلوده نشان می‌دهد که در روز ۲۸ نوامبر ۲۰۱۰ (شکل نشان داده نشده) سامانه کم‌فشاری بر روی روسیه قرار گرفته و زبانه آن تا روی سواحل شمالی کشور گسترده شده و در جنوب البرز و نواحی غربی (رشته‌کوه زاگرس) سامانه پرفشار مستقر بوده که به نظر می‌رسد تداوم سامانه پرفشار سیبری است که از روی افغانستان تا نواحی مرکزی و روی زاگرس امتداد یافته است. همچنین سامانه پرفشاری بر روی دریای سیاه و نواحی غربی آن قرار گرفته است. زبانه کم‌فشار بر روی دریای عرب و خلیج فارس و همچنین

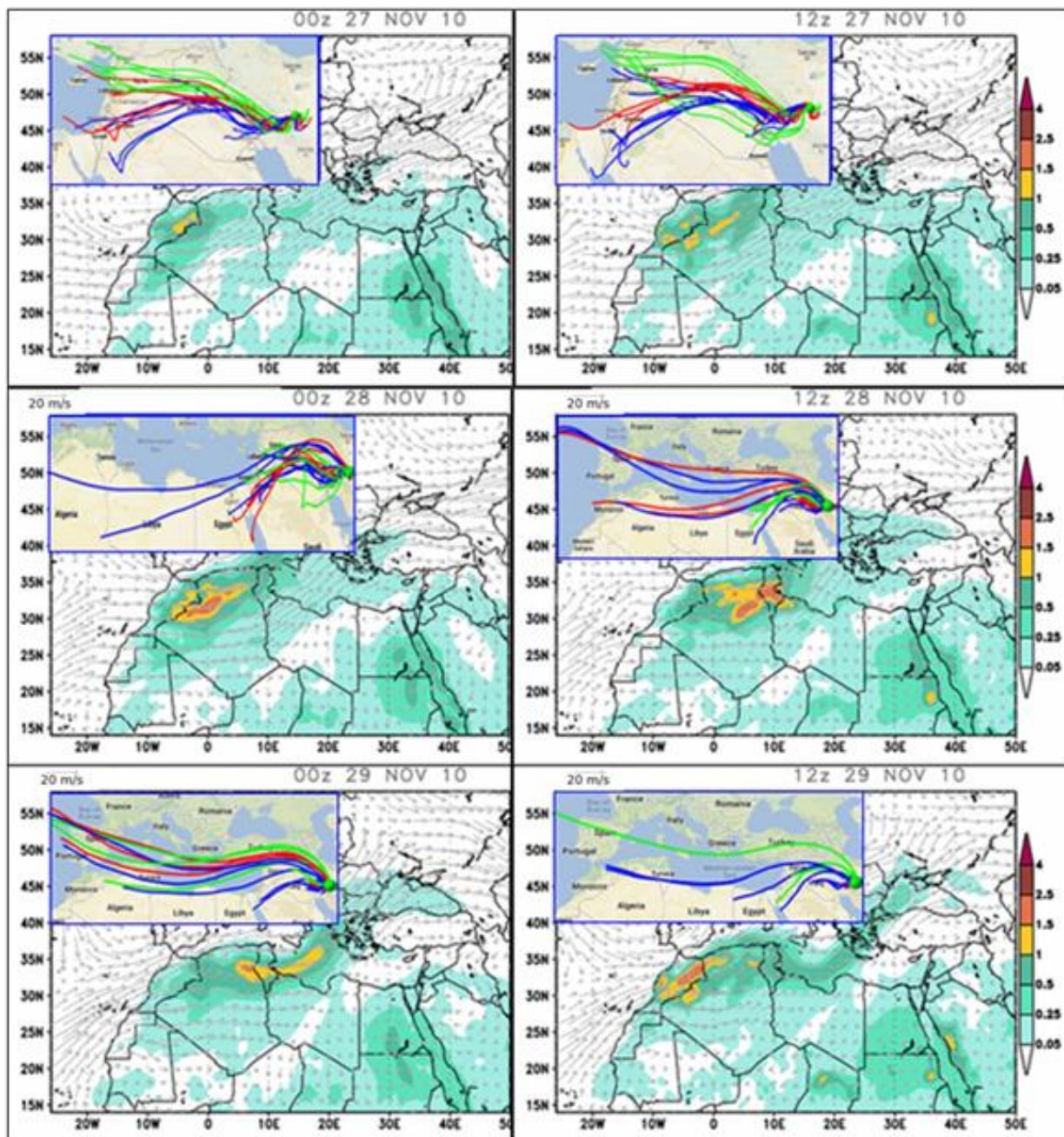


شکل (۲): میدان فشار سطح دریا (نقشه بالا) و در نقشه پایین، میدان ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ mb (برحسب ژئوپتانسیل دکامتر) و خطوط همدمای (برحسب درجه سلسیوس) در ساعت $0000 UTC^{(8)}$ روز ۲۸/۱۱/۲۰۱۰، فواصل خطوط هم فشار ۵ mb و فواصل خطوط هم ارتفاع ۴ ژئوپتانسیل دکامتر، حرف L معرف کم فشار یا کم ارتفاع و خطوط آبی محل ناوه ارتفاعی، حرف H معرف سامانه پرفشار یا پر ارتفاع و خطوط قرمز محل پشته ارتفاعی

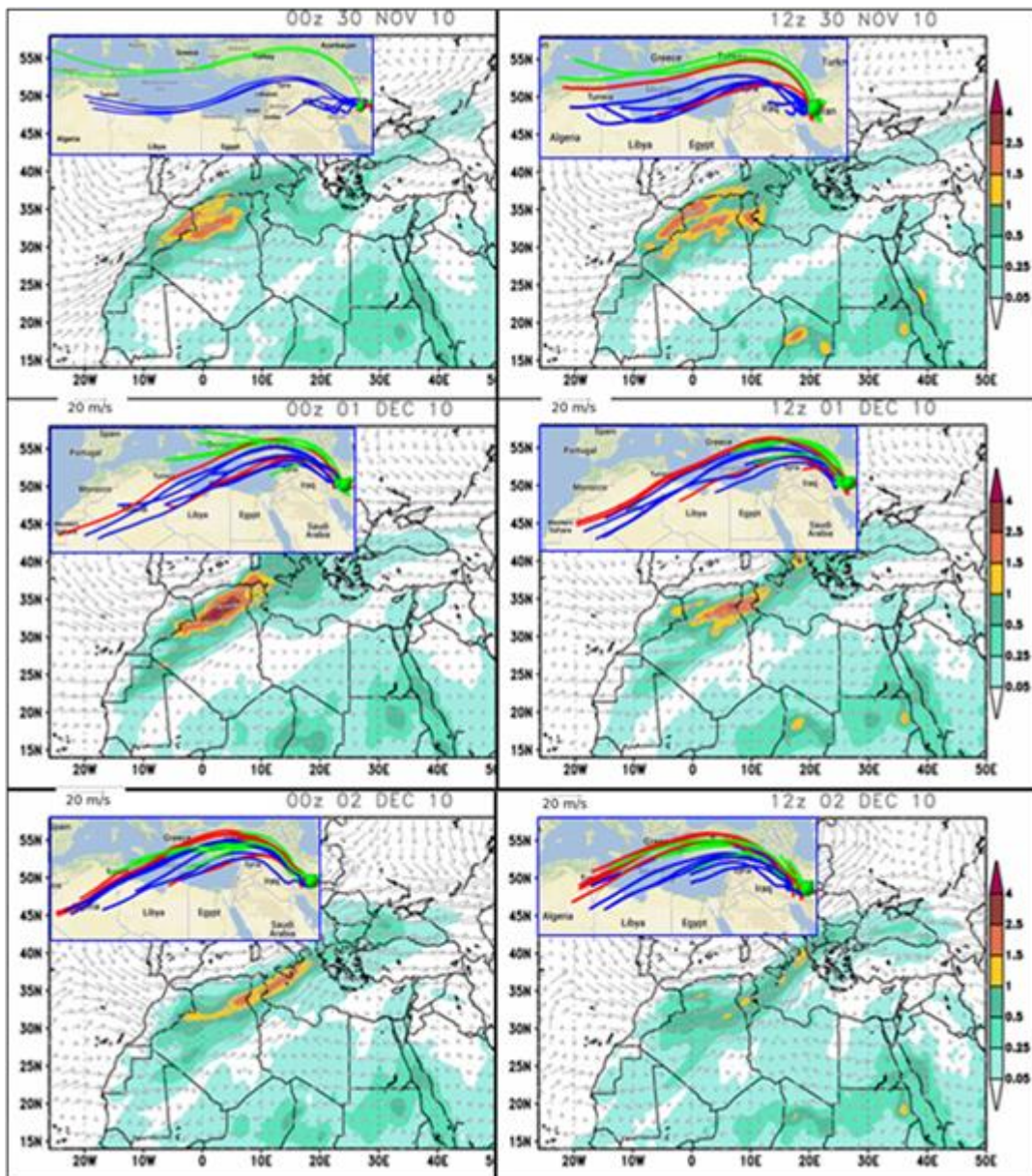
در شکل‌های (۳ و ۴) میزان گردوغبار وارده شده به جو همراه با باد تراز ۳۰۰۰ متری سطح زمین و در گوشه بالا، سمت چپ این شکل‌ها مسیر ذرات ورودی به اصفهان در پنج روز گذشته تا آن تاریخ نشان داده شده است. اگر این مسیر ذرات به‌عنوان پلوم گردوغبار ورودی به اصفهان فرض شود در پنج روز قبل از ۲۷ نوامبر ۲۰۱۰، اغلب ذرات معلق ورودی به اصفهان از روی کشورهای عراق، سوریه و اردن بوده که به‌تدریج با گذشت زمان در روزهای ۲۸ نوامبر تا دوم دسامبر ۲۰۱۰ مسیر ذرات معلق تا شمال آفریقا گسترش یافته (شکل‌های ۳ و ۴) و در روزهای اول

با توجه به نقشه ردیابی پس‌رو در پنج روز گذشته برای ساعت‌های ۰۰ و ۱۲ گرینویچ روزهای ۲۷ نوامبر تا دوم دسامبر ۲۰۱۰ مسیر ذرات گردوغبارهای ورودی به اصفهان در این دوره آلوده بررسی شد (شکل‌های ۳ و ۴). همچنین مقادیر ذرات گردوغبار وارده شده به جو در ساعت‌ها و روزهای مذکور (شکل‌های ۳ و ۴) نشان می‌دهد که این ذرات در نواحی وسیعی از شمال آفریقا تا روی عراق، اردن، نواحی شرقی سوریه و بخش‌هایی از عربستان و نواحی غرب و جنوب غرب ایران طی این دوره وجود داشته است.

و دوم دسامبر مسیر این ذرات از شمال آفریقا تا روی شرق سوریه، شمال عراق است.



شکل (۳): مقدار ذرات معلق وارد شده به جو (برحسب گرم بر مترمربع) و باد تراز ۳۰۰۰ متری سطح زمین و نقشه‌های گوشه سمت چپ بالا، مسیر ذرات معلق وارد شده به اصفهان طی ۵ روز گذشته تا آن ساعت را نشان می‌دهد.



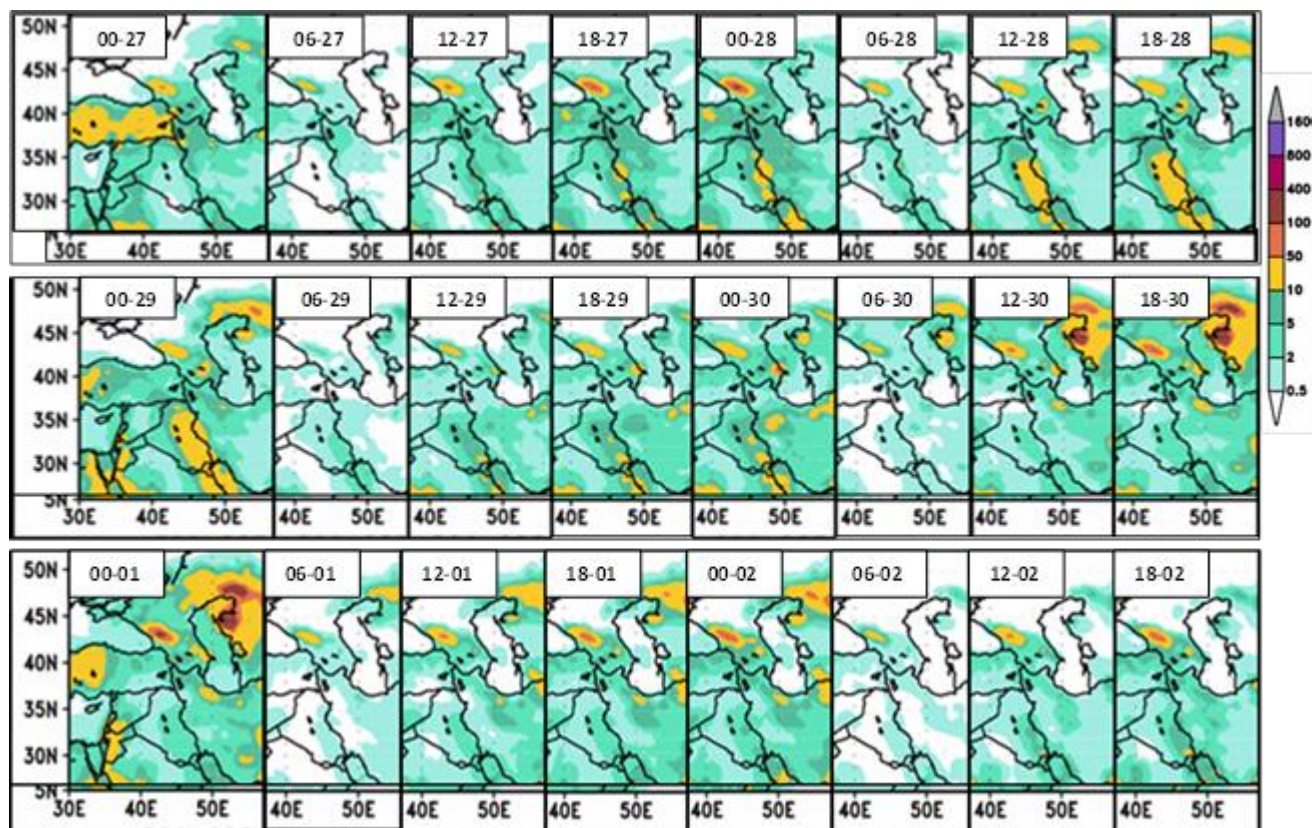
شکل (۴): مانند شکل ۳ اما برای روزهای ۳۰ نوامبر تا ۲ دسامبر ۲۰۱۰

سامانه پرفشار همراه با گرادیان فشاری و کنتوری ضعیف بر روی منطقه و کشورهای هم‌جوار از جمله عراق و سوریه احتمال فعال بودن چشمه‌های تولید گردوغبار در این مناطق ضعیف بوده و انتظار می‌رود که کانون‌های دیگری طی این دوره نقش اصلی را داشته باشند.

نقشه‌های میزان نهشت خشک و تر نشان می‌دهند که مقدار ذرات ته‌نشین شده بر روی ایران و کشورهای همسایه طی این دوره زیاد است. با توجه به استقرار سامانه پرفشار بر روی ایران و در نتیجه عدم بارش، نهشت تر بر روی کشور مشاهده نشد اما نقشه‌های مربوط به نهشت خشک ذرات معلق بر روی عراق،

وجود سرعت‌های اصطکاکی باد آستانه و بادهای قوی سطح زمین بر روی مناطق بیابانی مستعد برای تولید گردوغبار یکی از عوامل اصلی ایجاد این پدیده بوده که در صورت وجود حرکات صعودی لازم (وجود ناهای ارتفاعی) امکان صعود ذرات معلق به ترازهای فوقانی فراهم شده و در این صورت ذرات می‌توانند با جریان‌های ترازهای بالاتر، به نقاط دیگر منتقل شوند. شرایط ناسالم کیفیت هوای کلان‌شهرها از جمله اصفهان در این دوره آلوده، ناشی از ذرات معلق بسیار ریز ($PM_{2.5}$: ذرات معلق با قطر کمتر از $2/5$ میکرون) بوده و این ذرات بسیار ریز هستند که می‌توانند به فواصل بسیار دور منتقل شوند. از طرفی استقرار

شرق سوریه و بخش‌هایی از ایران، به فواصل زمانی ۶ ساعته از ساعت 00.00 روز ۲۷ نوامبر تا ساعت ۱۸.۰۰ UTC روز دوم دسامبر ۲۰۱۰ در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل (۵): نهشت خشک ذرات معلق (برحسب گرم بر مترمربع) از ساعت ۰۰ روز ۲۷ تا ۲ دسامبر ۲۰۱۰ با گام زمانی ۶ ساعته

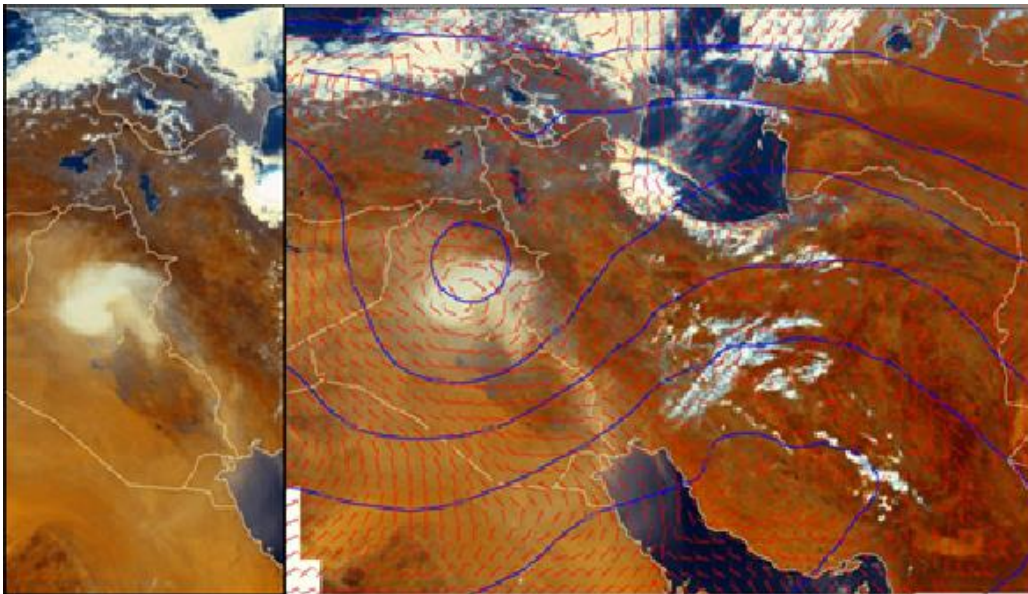
سوریه و حتی چشمه‌های داخلی طی این روزها فعالیت چندانی نداشته است بلکه ذرات معلق ته‌نشین شده از کانون‌های گردوغبار واقع در نقاط دوردست، به‌احتمال زیاد نواحی شمال آفریقا می‌باشند که سبب آلودگی‌های شدید طی این دوره شده است.

الگوهای فصل تابستانه (برای نمونه: نوزدهم ژوئن ۲۰۰۹)
بعد از خشکسالی شدید سال ۲۰۰۸ گردوغبارهای تابستانه در منطقه افزایش داده و در هفته اول جولای ۲۰۰۹ توفان گسترده‌ای بر روی عراق و نواحی شرقی سوریه رخ داد که گردوغبارهای شدید بیش از ۲۰ استان کشور را تحت تاثیر قرار داد (Ranjbarsataabadi & Azizi, 2013). از مهم‌ترین ویژگی الگوهای هواشناختی این توفان‌ها، گسترش و تقویت

مقدار نهشت بر روی منطقه بیشتر در ساعات ۰۶ روزهای مذکور نسبت به دیگر ساعت‌ها، کاهش نسبی نشان می‌دهد اما در همه روزها مقدار آن در بخش‌های مختلف زیاده بوده و این می‌تواند به‌عنوان دلیل اصلی کاهش نیافتن غلظت ذرات معلق با وجود تعطیلی‌های صورت گرفته (حذف منابع آلاینده داخلی) باشد. از طرفی مقایسه مقادیر ذرات معلق ورارد شده به جو در ساعت‌های ۰۰ و ۱۲ گرینویچ (شکل‌های ۳ و ۴) با میزان نهشت (شکل ۵) در همین ساعت‌ها نشان می‌دهد که مقادیر نهشت بر روی عراق و نواحی شرقی سوریه که به‌عنوان منابع اصلی کانون‌های تولید گردوغبارهای تابستانه ایران محسوب می‌شوند (Ranjbar & Sataabadi, 2013)، کمتر از میزان گردوغبار وارد شده به جو در این مناطق است. به‌عبارت دیگر شرایط جوی به‌گونه‌ای بوده است که چشمه‌های تولید گردوغبار روی عراق و

ناوه مدیترانه گردوغبار تشکیل شده به ترازهای بالاتر صعود کرده و به سمت شرق منتقل و با توجه به استقرار پر ارتفاع فصلی (پر ارتفاع جنب حاره) بر روی ایران ذرات معلق ته نشین شده و برای مدت زیادی در کشور ماندگار می‌شود. نمونه‌ای از الگوهای تابستانه همراه با تصویر ماهواره‌ای آشکارساز گردوغبار در شکل (۶) نشان داده شده است.

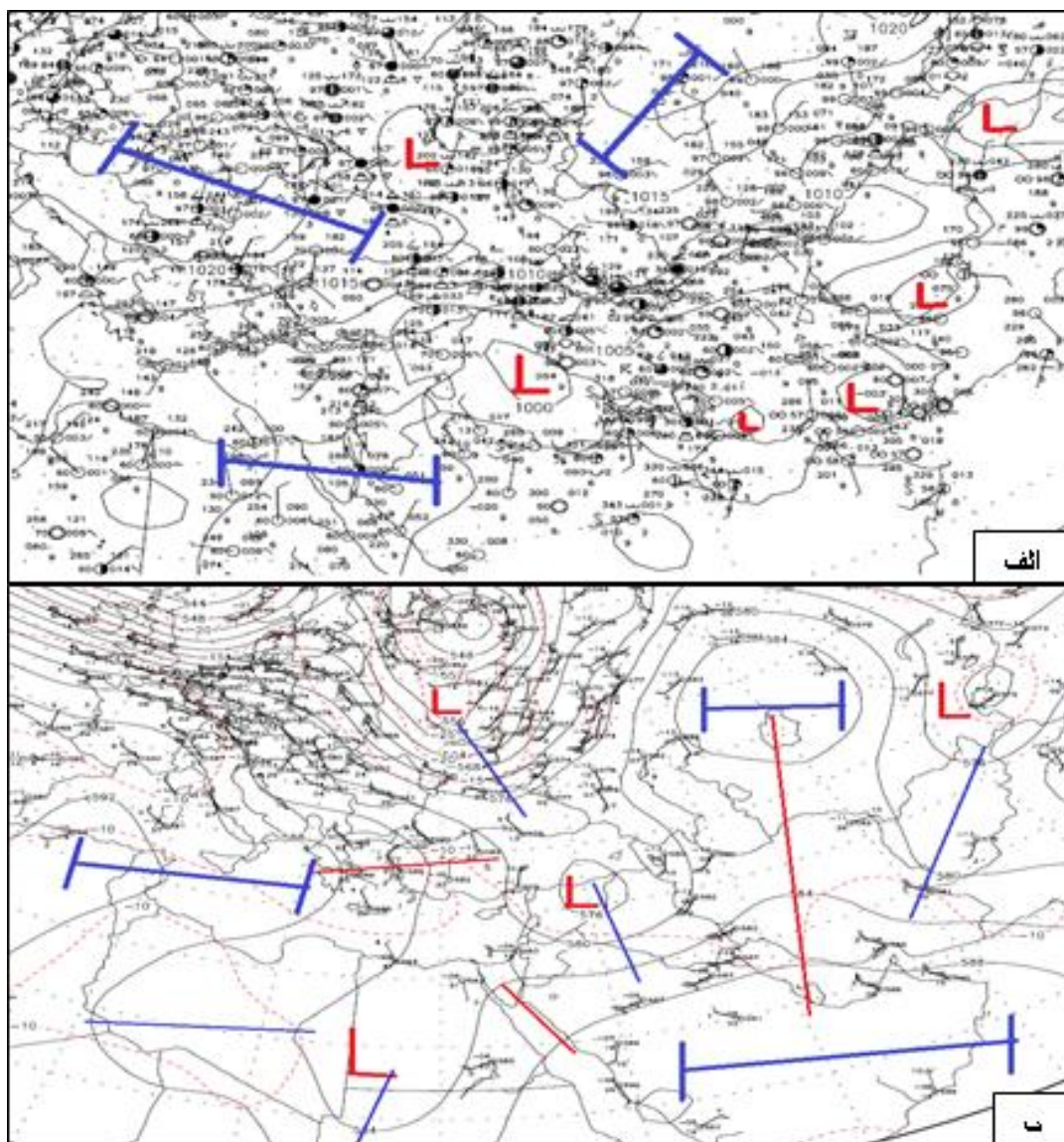
سامانه کم‌فشار گرمایی از روی ایران تا روی عراق و نواحی شرقی سوریه و پرفشار از روی دریای سیاه تا نواحی جنوبی ترکیه سبب ایجاد گرادیان فشاری شدید در نواحی شمال و شمال‌غربی عراق و نواحی شرقی سوریه می‌شود که با توجه به موقعیت جغرافیایی و زمین‌های پست بر روی عراق و نواحی بین‌النهرین بادهای قوی شمال‌غربی سطح زمین (موسوم به باد شمال) در این نواحی تشکیل شده که با عبور امواج ارسالی از



شکل (۶) تصویر ماهواره‌ای آشکارساز گردوغبار همراه با میدان باد و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز 500 hPa ساعت $09:00\text{ UTC}$ روز ۱۵ جون ۲۰۰۸ که ابر غباری تشکیل شده روی عراق و نفوذ ذرات به نواحی غربی و جنوب غربی ایران را نشان می‌دهد.

رشته‌کوه البرز سبب جدایی دو سامانه (پر فشار در شمال و کم‌فشار در جنوب) شده که این امر سبب شده تا در نوار شمالی کشور گریان فشاری ایجاد شود. در شکل (۷) میدان‌های ارتفاع، دما و باد تراز 500 hPa نشان داده شده است. گسترش پر ارتفاع جنب حاره در نواحی جنوبی خلیج فارس و امتداد پشته آن تا نواحی مرکزی ایران و ترکیب آن با سامانه پرفشار روی دریاچه آرال که در این تراز مرکز پر ارتفاع آن با پربند 584 دکامتری به‌صورت بسته در آمده است، ترکیب و گسترش این پشته‌های ارتفاعی مانع از عبور امواج از روی ایران و منطقه مورد مطالعه شده و شرایط مساعدی برای فرونشینی و نهشت ذرات گردوغباری که در اثر فعالیت سامانه کم‌فشار دینامیکی بر روی عراق و سوریه به هوا بلند شده است می‌شود.

نمونه دیگری از الگوهای هواشناختی تابستانه که منجر به رخداد آلودگی شدید در برخی استان‌ها از جمله اصفهان شده در شکل (۷) نشان داده شده است. در نقشه سطح زمین این شکل (مربوط به روز قبل از رخداد پدیده)، سامانه کم‌فشاری با پربند بسته 1000 mb روی عراق تشکیل شده است که امتداد زبان‌های حاصل از آن تا روی شرق سوریه و بخش‌های جنوبی ترکیه کشیده شده است؛ و مراکز کم‌فشار بسته‌ای در نواحی جنوبی ایران دیده می‌شود و بر روی نواحی مرکزی کشور و منطقه مورد مطالعه گرادیان فشاری ضعیفی مشاهده می‌شود. سامانه کم‌فشاری که در نواحی غربی و شمال‌غربی دریای خزر واقع شده دو سامانه پر فشار روی اروپا و پر فشار سیبری را از هم جدا نموده است و نوار شمالی کشور تحت تاثیر زبانه پر فشار بوده که



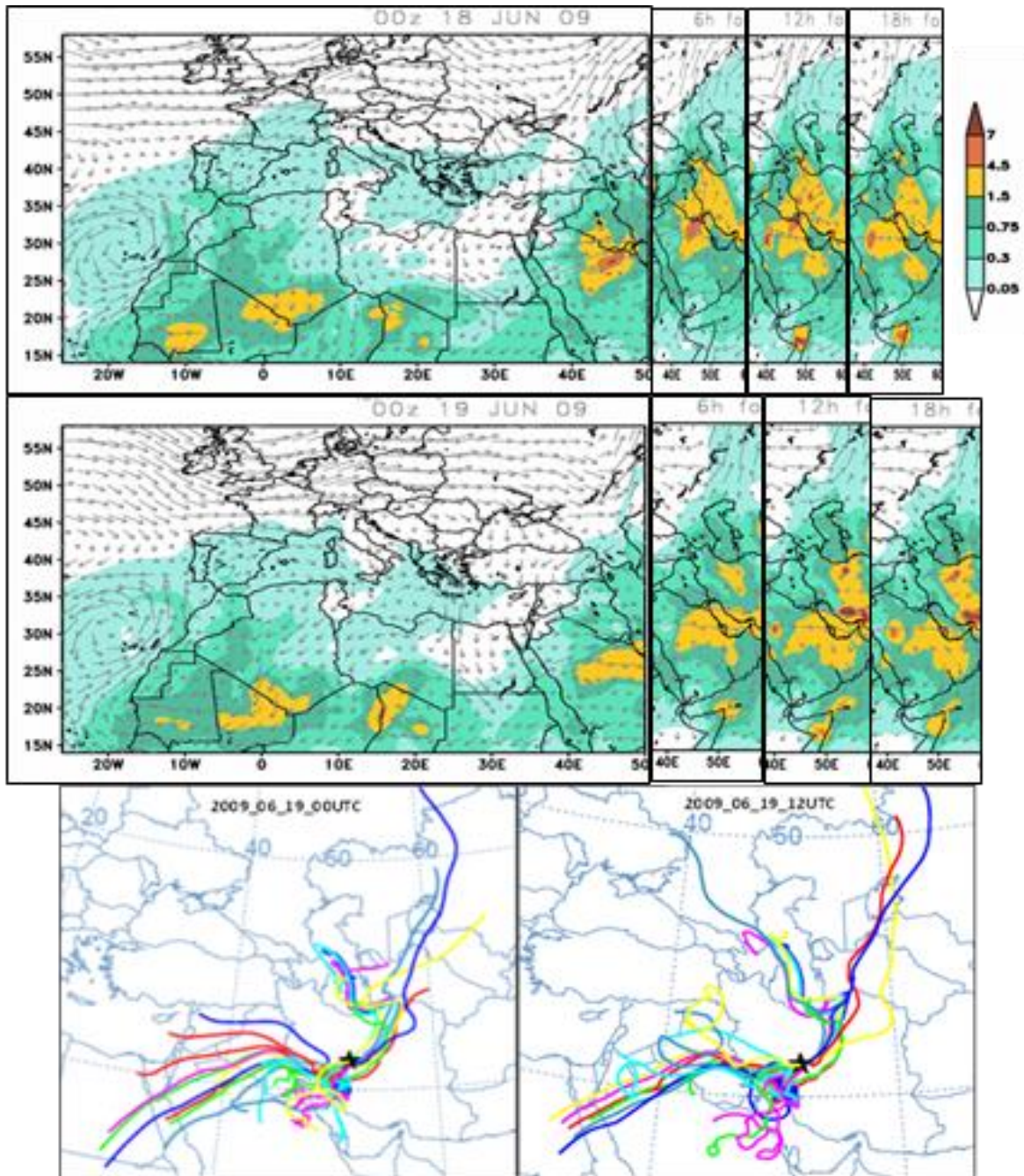
شکل (۷): مانند شکل ۲ اما برای روز ۱۸ ژوئن ۲۰۰۹

ارتفاعی روی ایران نسبت به روز قبل جابه جایی چندانی نداشته است شرایط برای تداوم فرونشینی ذرات در منطقه مورد مطالعه ادامه داشت به طوری که در این روز کیفیت هوای اصفهان در شرایط بسیار ناسالم قرار گرفته است. بر اساس الگوهای هواشناسی بحث شده در بالا و نقشه ردیابی در پنج روز گذشته روزهای ۱۸ و ۱۹ جون ۲۰۰۹ و نقشه‌های مربوط به ذرات موجود در جو (شکل ۸) مشاهده می‌شود که ابتدا به علت وجود جریانات جنوبی و جنوب‌غربی شدید، منشا تولید ذرات گردوغبار ورودی به اصفهان نواحی جنوبی عراق و مناطق کویری در کویت و همچنین بیابان‌های واقع در خوزستان می‌تواند باشد و

در نقشه‌های روز ۱۹ جون ۲۰۰۹ (شکل نشان داده نشده است) سامانه کم‌فشار دینامیکی قدری به سمت شرق حرکت کرده به طوری که مرکز کم ارتفاع تراز میانی به صورت بسته بر روی دریاچه ارومیه قرار گرفته است و در سطح زمین استقرار زبانه کم‌فشار بر روی عراق تا بخش‌های شرقی سوریه همراه با گرادبان‌های فشاری قوی در نوار جنوبی ترکیه و نوار شمالی عراق و نواحی شمال شرقی سوریه همچنان ادامه دارد. با توجه به توپوگرافی منطقه شرایط برای رخداد بادهای شمال‌غربی و غربی شدید در روی عراق و نواحی شرق سوریه (به‌ویژه منطقه بین‌النهرین) همچنان فراهم بوده و با توجه به این که پشته

همچنین نقشه‌های ردیابی پس‌رو (شکل ۸) نشان می‌دهند که منطقه اصفهان محل همگرایی جریان‌های شمال‌شرقی و جریان‌های جنوب‌غربی بوده که این شرایط پتانسیل انباشت ذرات معلق در این منطقه را می‌تواند افزایش دهد.

سپس جریان‌های غربی تا شمال‌غربی ایجاد شده در نواحی شمال‌شرقی سوریه، شمال‌غربی و نواحی مرکزی عراق، سبب شده تا این نواحی، کانون‌های گردوغبار موثر در رخداد این آلودگی شدید باشد.



شکل (۸): مقدار ذرات معلق وارد شده به جو (برحسب گرم بر مترمربع) و باد تراز ۳۰۰۰ متری سطح زمین با گام زمانی ۶ ساعته برای روزهای ۱۸ و ۱۹ جون ۲۰۰۹ و مسیر ذرات ورودی به اصفهان در پنج روز گذشته برای ساعت ۰۰۰۰ و ۱۲۰۰ روز نوزدهم جون ۲۰۰۹

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که بسامد رخداد، شدت و مدت آلودگی‌های هوای اصفهان در اثر ذرات معلق با منشا خارجی، از سال ۲۰۰۸ به بعد افزایش قابل‌توجهی داشته و در سال ۲۰۰۹ بیشینه مقدار را طی دهه اخیر داشته است. بیشینه رخدادها به ترتیب در ماه‌های جولای، جون، می و کمینه رخدادها، در ماه‌های ژانویه و دسامبر بوده است. در پاییز ۲۰۱۰ طولانی‌ترین دوره‌ای که شاخص کیفیت هوا در شرایط ناسالم و بسیار ناسالم قرار داشته رخ داده است.

از دلایل اصلی آن، می‌توان به استقرار الگوهای جوی و رخداد خشکسالی‌های شدید سال ۲۰۰۸ و پاییز ۲۰۱۰ اشاره کرد. مهم‌ترین ویژگی الگوهای جوی موثر در ایجاد این پدیده، استقرار سامانه پرفشار در فصل سرد و سامانه پر ارتفاع جنب‌حاره‌ای در فصل گرم بر روی منطقه، همراه با عبور سامانه‌های کم‌فشار دینامیکی از روی کانون‌های تولید گردوغبار است. به‌طوری‌که در ماه‌های مارس تا جون حرکت شرق سوی ناوه‌ها از شمال‌شرق آفریقا و در ماه‌های جون تا اوت عبور ناوه مدیترانه از بخش‌های شرقی دریا به‌ویژه در روی عراق و شرق سوریه سبب می‌شود تا کم‌فشار گرمایی مستقر در این نواحی ماهیت دینامیکی-حرارتی پیدا کرده و با نفوذ سامانه پرفشار روی دریا سیاه و مدیترانه گرادیان فشاری قوی در بین آن‌ها ایجاد شود که با توجه به توپوگرافی منطقه بادهای غربی و شمال‌غربی در شرق سوریه و شمال عراق ایجاد شود که نقش اصلی در تولید و انتقال گردوغبار در منطقه دارد. به نظر می‌رسد در ماه‌های جون تا اوت

نقش سامانه‌های حرارتی در ایجاد گرادیان‌های زیاد بارز باشد اما ناوه مدیترانه، نقش اصلی برای آغازگری تولید و انتقال گردوغبار را دارد. در ماه‌های نوامبر و دسامبر سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ که آلودگی‌های شدید، طولانی‌مدت و گسترده در اصفهان و اکثر شهرهای ایران رخ داد استقرار سامانه پرفشار بر روی ایران و عبور ناوه‌های کوتاه از نوار شمالی آفریقا نقش اصلی را داشته و به نظر می‌رسد انتقال برد بلند ذرات معلق از شمال آفریقا تا روی منطقه ادامه داشته است.

بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که محدوده کانون‌های گردوغبار موثر از شمال آفریقا تا روی عربستان، اردن، سوریه و عراق گسترده بوده که در آلودگی‌های پاییزه شمال آفریقا، در اواخر زمستان و فصل بهار، اردن، شمال عربستان، جنوب عراق، کویت و دشت خوزستان و در فصل تابستان شرق سوریه و عراق (به‌ویژه نواحی شمالی و مرکزی آن) مهم‌ترین منابع تولید گردوغبارهای رخ داده در اصفهان باشند.

یادداشت‌ها

1. Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory
2. Weather Research and Forecasting model
3. Air Quality Index
4. Backward trajectory technique
5. Air Resources Laboratory
6. National Oceanic and Atmospheric Administration
7. Dust Regional Model
8. Universal Time Coordinate

فهرست منابع

- Ashrafi, K. Shafiepour-Motlagh, M. Aslemand, A. & Ghader, S. 2014. Dust storm simulation over Iran using HYSPLIT, Journal of Environmental Health, Science and Engineering. 12 (9): doi: 10.1186/2052-336X-12-9, 2014. (In Persian)
- Bian, H. & Zender, C. S. 2003. Mineral dust and global tropospheric chemistry, Relative roles of photolysis and heterogeneous uptake. Journal of Geophys. Res. 108 (21): 4672, doi: 10.1029/2002JD003143
- Chun, Y. S. Boo, K. O. Kim, J. Park, S. & Lee, M. 2001. Synopsis, transport and physical characteristics of Asian dust in Korea. J. Geophys. Res. 106: 18461-18469.
- Draxler, R. R. Gillet, D. A. Kirkpatrick, J. S. & Heller, J. 2001. Estimating Air Concentration from Dust storms in Iraq, Kuwait and Saudi Arabia. Atmos. Environ. 35: 4315-4330.
- Ghader, S. Sedighzadeh, A. Usefi, H. & Sabri, R. 2012. Simulation of emission of pollutants from the chimney of Bushehr Power Plant. 15th Geophysic Conference of Iran. 29-32. (In Persian)

- 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. *J. of Geophys. Res.* 106: 255-273.
- 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. *J. Meteorol. Soc. Jpn.* 83A, 1-8.
- Lohmann, U. 2002. Possible aerosol effects on ice clouds via contact nucleation. *J. Atmos. Sci.* 59: 647-656.
- Makra, L. Mika, J. Bartzokas, A. & Sumeghy, Z. 2007. Relationship between the Pecely's large-scale weather types and air pollution levels in Szeged southern Hungary. *Fresenius Environmental Bulletin.* 16 (6): 660-673.
- McGregor, G. R. & Bamzeli, D. 1995. Synoptic typing and its application to the investigation of weather-air pollution relationships, Birmingham, United Kingdom. *Theo. and Appl. Climatology.* 51: 223-236.
- Myhre, G. & Stordal, F. 2001. Global sensitivity experiments of the radiative forcing due to mineral aerosols. *J. Geophys. Res.* 106: 18193-18204.
- Natsagdorj, L. Jugder, D. & Chung, Y.S. 2003. Analysis of dust storms observed in Mongolia during 1937-1999. *Atmos. Environ.* 37: 1401-1411.
- Nickovic, S. Wilson, W. E. Sassen, K. Sugimoto, N. & Malm, W. C. 2001. Asian dust events of April 1998. *J. Geophys. Res.* 106: 18317-18330.
- Orlovsky, L. N. & Durdyev, A. 2005. Dust Storm in Turkmenistan. *J. of Arid Environment.* 60 (1): 83-97.
- Qian, W. Quan, L. & Shi, S. 2002. Variations of the dust storm in China and its climatic control, *J. Climatol.* 15: 1216-1229.
- Ranjbar Saadatabadi, A. & Azizi Gh. 2012. Studying of meteorological patterns, identifying of dust sources and motion track of particles for dust storm, July 2009. *Journal of Geographical Research*, 81: 73-92. (In Persian)
- Ranjbar Saadatabadi, A. Mohammadian L. & Vazifeh A. 2012. Controls on air pollution over a semi-enclosed basin, Tehran: A synoptic climatological approach, *Iranian Journal of Science & Technology (IJST) A4*: 501-510. (In Persian)
- Ranjbar Saadatabadi, A. & Noori F. 2016. Investigation of relationship between Effective large scale controlling factors and dust occurrence over west of Iran (Case Study: July 2004 and 2009). *J. of Climate Research.* 27: 99-114. (In Persian)
- Shao, Y. & Dong, C. H. 2006. A review on East Asian dust storm climate, modeling and monitoring, *Glob. and planet change.* 52: 1-22
- Shao, Y. & Wang, J.J. 2003. A climatology of northeast Asian dust events, *Meteorol. Z.* 12, 175-183.
- Sherwood, S. 2002. A microphysical connection among biomass burning, cumulus clouds and stratospheric moisture, *Science.* 295: 1272-1275.
- Sun, J. Zhang, M. & Liu, T. 2001. Spatial & temporal characteristics of dust storms in China and its surrounding regions, 1901-1999: relations to source area and climate, *J. Geophys. Res.* 106: 325-333.
- Tchepel, O. Ferreira, J. Fernandes A. P. Basart S. Baldasano J.M. & Borrego C. 2013. Analysis of long-range transport of aerosols for Portugal using 3D chemical transport model and satellite measurements, *Atmos. Environ.* 64: 229-241

Young sin, Ch. & Lim, J.Y. 2004. The recent characteristics of Asian Dust and Haze events in Seoul, Korea, Meteorol. Atmos. Phys. 87: 143-152. Austria.

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, Glob. Planet. Change. 52: 197-206.

Zhou, Z.J. 2001. Blowing sand and sand storm in China in recent 45 years, Quat. Sci. 21: 9-17.