

بررسی تشکیل و انتشار طوفان‌های گرد و خاک ورودی به غرب و جنوب غرب ایران با استفاده از مدل پخش لاگرانژی ذرات HYSPLIT

امیر ریوندی^{۱*}، مجید میررکنی^۲، امیر محمدیها^۳

۱- کارشناس ارشد هواشناسی، گروه فیزیک، دانشگاه یزد

۲- استادیار گروه فیزیک، دانشگاه یزد

۳- دانشجوی دکتری هواشناسی، گروه فیزیک، دانشگاه هرمزگان

تاریخ پذیرش: ۹۲/۶/۳۰

تاریخ وصول: ۸۹/۱۱/۱۰

چکیده

امروزه معضل افزایش فرسایش بادی و طوفان‌های گردو خاک بعثت تغییرات اقلیمی و خشکسالی‌های متوالی به بحرانی منطقه‌ای جهانی تبدیل شده است. برای منشأیابی، پیش‌بینی شدت و گستردگی و سرعت انتقال این طوفان‌ها از روش‌های مختلفی همچون مدل‌های عددی، تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل‌های همدیدی استفاده می‌شود. در این مطالعه با بررسی و تحلیل نقشه‌های فشاری سطوح مختلف جوی، به اثر پارامترهای دما، فشار و سرعت باد در سطوح مختلف جو مؤثر بر انتشار طوفان‌های گردو خاک پرداخته شده است. در این مطالعه در مرحله اول به بررسی عوامل همدیدی مؤثر بر رخداد طوفان‌های گردوغباری ورودی از غرب و جنوب غرب به ایران پرداخته شده، در مرحله دوم برای مشخص کردن منشأ شکل‌گیری این طوفان‌ها از مدل پخش لاگرانژی HYSPLIT با استفاده از روش ردیابی پس‌رواستفاده شد. برای تایید خروجی این مدل عددی، از بررسی همدیدی استفاده گردید. خروجی‌های مدل نشان می‌دهد که به طور کلی منابع اصلی غبار برای طوفان‌های گردوغباری جنوب غرب ایران محدوده‌ای در حد فاصل مرکز تا شمال عراق، شرق سوریه تا شمال عربستان می‌باشد. برای مطالعه، یک دوره آماری ۵ ساله از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۹ و ۱۰ موج گردوغباری مهم در این دوره انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفت. در این مطالعه برای ترسیم نقشه‌های همدیدی از داده‌های باز تحلیل NCEP/NCAR با دقت فضایی $2/5 \times 2/5$ درجه در راستاهای طول و عرض جغرافیایی استفاده شد. بنابر اهمیت موج فراگیر و گسترده گردوغباری روزهای سیزدهم تا شانزدهم تیر ماه ۱۳۸۸، الگوهای همدید و مکانیسم تشکیل، انتقال و انتشار گردوغبار در آن به تفصیل مطالعه شد در تمام موارد، استقرار یک سامانه کم فشار بر منطقه خاورمیانه و تقویت شرایط ناپایداری در سطح بیابان‌ها و همچنین تاثیر هماهنگ یک موج کم فشار دینامیکی بر فراز جو منطقه، زمینه مناسب را برای انتقال ریزگردها به جو منطقه فراهم می‌آورد. در انتها نتایج با تصاویر ماهواره METEOSAT8 موجود در مرکز باروری ابرهای یزد مقایسه گردید که همخوانی بسیار زیادی مشاهده گردید.

واژگان کلیدی: تغییرات اقلیمی، فرسایش بادی، مدل پخش لاگرانژی، HYSPLIT، NCEP/NCAR

مقدمه

بیش از نیمی از مساحت کشور ما را مناطق بیابانی یا نیمه بیابانی تشکیل می‌دهند از این میان یک پنجم از مساحت کشور نیز در شمار بیابان‌های واقعی جهان قرار دارد. بیابان واقعی در تعریف اقلیمی یعنی جایی که زادآوری زیستی آن در حداقل ممکن است. مهم‌ترین پدیده‌هایی که در مناطق بیابانی می‌تواند سبب ایجاد مشکلات بسیاری برای مناطق مجاور گردد پدیده فرسایش بادی و طوفان‌های گردوخاک است که با شروع از مناطق بیابانی و گسترش آنها به مناطق مجاور سبب مشکلات زیادی برای سلامت، راه و ترابری، فعالیت‌های اقتصادی و ... می‌گردد. هر فرایند فرسایش خاک اعم از فرسایش آبی و بادی، شامل سه مرحله جدا شدن ذرات خاک از بستر، انتقال و رسوب است. در پدیده فرسایش بادی، ذرات تشکیل دهنده خاک پس از جدا شدن از بستر خود بسته به قطر آنها، عموماً به سه شکل جابجا می‌شوند: حرکت خزشی که بزرگ‌ترین ذرات تشکیل دهنده خاک از جمله شن‌های درشت و ریگ‌ها را شامل می‌شود، حرکت جهشی که عموماً مختص جابجایی دانه‌های ماسه است. دامنه این جابجایی در بادهای معمولی چندان گسترده نیست و ارتفاع برخاستن ماسه‌ها هم محدود است و اغلب در بادهای معمولی از چند متر تجاوز نمی‌کند. این ذرات عموماً در برخورد با موانعی یا کاسته شدن از شدت و سرعت باد، رسوب می‌کنند و تل ماسه‌ها یا تپه‌های ماسه‌ای منفرد یا بهم پیوسته‌ای را تشکیل می‌دهند. در کشور ما عموماً این عوارض به نام تپه‌های شنی یا ریگ روان نام گذاری شده است. نوع سوم، جابجایی ذرات خاک به صورت تعلیقی است. در این نوع حرکت، ذرات بسیار ریز خاک پس از برخاستن از زمین به سبب سبکی فوق العاده و سطح ویژه زیاد، به صورت معلق مدت‌ها در هوا باقی می‌مانند. و در صورت وجود جریانات مساعد جوی، گاهی صدها یا هزاران کیلومتر مسافت را طی می‌کنند و تا ارتفاعی بیش از چند هزار متر از سطح زمین گسترش می‌یابند و در مسیر خود می‌توانند دشت‌ها و کوهستان‌ها حتی دریاها را در نوردند و از کشوری به کشور دیگر و حتی از قاره‌ای به قاره‌ای دیگر منتقل شوند. فرسایش بادی مشکل جدی در بسیاری از نقاط جهان بویژه در مناطق

خشک و نیمه خشک است. زمین‌های مستعد برای فرسایش بادی در شمال افریقا، خاورمیانه، بخش‌هایی از جنوب، مرکز و شرق آسیا دشت سیبری و... پراکنده‌اند (مروتی، ۱۳۸۰). بر طبق تحقیقات اسکویرس (Squires, 2002) فرسایش بادی سالانه، حداقل ۱۶۱ میلیون تن خاک را در کانادا جابه جا می‌کند که ارزش آن ۲۴۹ میلیون دلار می‌باشد. اثر فیزیکی خالصی که گردوخاک می‌تواند در جو داشته باشد کاهش دمای محلی جو می‌باشد (Werner, 2004). جکسون (Jackson, 1913) از اولین پژوهشگرانی است که درباره اثرات طوفان‌های گردوخاک بر جو، مطالعاتی انجام داده است. او تغییرات الکتروسیسته جو را در زمان رویداد طوفان گردوخاک بررسی کرد. مطالعات عمیق‌تر و سیستماتیک بر روی پدیده گردوخاک، در اواخر دهه ۱۹۳۰ و در دهه ۱۹۶۰ شروع شد. مطالعات اورلوسکی (Orlovsky, 2004) در ترکمنستان، توزیعی فضایی زمانی از طوفان‌های گردوخاک را به وسیله یافته‌های ۴۲ ایستگاه هواشناسی در دوره ۱۹۳۶-۱۹۶۰ ثبت کرد. چن وینن (Chen, 1996) پژوهشی در فلات شمال چین انجام داد و بیان کرد که با افزایش رطوبت خاک، میزان فرسایش بادی کاهش می‌یابد. وی هنگ (Weihong, 2001) علل وقوع طوفان‌های گردوخاک را مطالعه و اثر آن را بر آب و هوای کشور چین بررسی کردند و دریافتند که گرمایش زمین در پهنه کشور مغولستان و سرمایه‌های زمین در شمال کشور چین، عامل موثر در ایجاد گردوخاک در بخش‌های شمالی این کشور است. مطالعه طوفان‌های گردوغبار کشور مغولستان نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی وقوع این طوفان‌ها در غرب مغولستان قرار دارد که تحت تاثیر بیابان گبی و دریاچه‌های بزرگ غرب مغولستان می‌باشد. بیشترین نوع طوفان‌ها در بهار رخ می‌دهد که هوا و خاک خشک هستند. (Natsagdorj et al, 2002) در مطالعه دیگری که در باره طوفان‌های گردوغباری این کشور انجام گرفته است نشان داده شده است که علت تشکیل این طوفان سیکلونی است که در شمال چین فعالیت داشته و اختلاف شیب فشاری بین شمال چین و بیابان‌های گبی و ماسه زارهای جنوب و غرب مغولستان بوده است (Liu et al, 2004). چون (Chun, 2001) در بررسی مشخصه‌های حمل و نقل گردوخاک آسیایی در کره به این

۱۳۸۵، خسروی ۱۳۸۷، لشکری و کیخسروی ۱۳۸۷، بر روی منشأ تشکیل و الگوها و مدل های همدیدی طوفان های گرد و غبار مطالعاتی انجام دادند. رشنو (۱۳۸۸)، پدیده گرد و غبار را در استان خوزستان به لحاظ آماری و با استفاده از سنجش از دور بررسی و تحلیل کرد. وی عوامل ایجاد گرد و غبار در منطقه را به دو دسته عوامل انسانی و طبیعی تقسیم بندی می کند. خشکسالی های اخیر را یکی از مهم ترین دلایل طبیعی و جنگ تحمیلی، کشاورزی، سد سازی، جنگ آب و سیاست انتقال آب از مناطق پر آب به مناطق کم آب را از دلایل انسانی مؤثر در پدیده گرد و غبار ذکر می کند. طهماسبی بیرگانی و همکاران (۱۳۸۸) چگونگی طوفان های گرد و غبار و فرسایش بادی در استان خوزستان را بررسی کردند و راهکارهای مقابله با آن را ارائه دادند و اصلی ترین علت وقوع گرد و غبار را در نواحی جنوب غربی کشور، جریان های مربوط به وقوع طوفان در کشور عربستان و همچنین عراق می دانند و فرسایش بادی را که در اراضی کشور صورت می گیرد به عنوان عامل داخلی مؤثر در وقوع گرد و غبارها می دانند.

به علت شرایط اقلیمی و تشدید پدیده خشکسالی در منطقه معضل طوفان های گرد و خاک به بحرانی منطقه ای و حتی فرا منطقه ای تبدیل شده است. اگر یک خشکسالی سبب خشکی خاک شود و پوشش گیاهی سطح که به طور طبیعی به جلوگیری از فرسایش زمین کمک می کرد، از دست برود، گرد و خاک می تواند تولید شده و با حرکت باد به درون جو نفوذ کند. کشور ایران به دلیل قرارگیری در محل فرونشینی پرفشار دینامیکی جنب حاره، در طول دوره گرم سال نزول مداوم هوا را در ترازهای میانی و فوقانی و ردسپهر تجربه می کند. گسترش عمودی پرفشار جنب حاره همراه با تداوم درازمدت آن بر روی ایران ضمن پایدار نمودن جو، شکل گیری توده هوای گرم و خشک را بر روی این سرزمین فلاتی در پی دارد. وجود این شرایط بطور محسوسی بر میزان تبخیر و تعرق، پراکندگی زمانی و مکانی بارش و سایر متغیرهای جوی اثر گذاشته و به تبع آن سبب خشکی در کشور می شود. تضاد حرارتی شدید و شیب فشاری که بواسطه تفاوت در میزان انرژی دریافتی در سطح حاصل می گردد در ترازهای زیرین و ردسپهر، جریانات

نتیجه رسیده است که بادهای سطحی قوی و ناپایداری کژفشاری در سطح ۱/۵ کیلومتری زمین و همچنین بادهای قوی سطح ۵۰۰ هکتوپاسکالی سبب انتقال گردو خاک آسیایی به شبه جزیره کره می گردد.

چانگ جین ما (Chang-Jin Ma, 2003) ذرات منفرد موجود در طوفان های گردو خاک آسیایی را در یک ایستگاه زمینی در ساحل غربی جزیره چیچوی کره بررسی کردند. وانگ (wang, 2006) گردو خاک را از نظر آماری و سینوپتیکی در آسیای شرقی بررسی کرده و دریافتند سیستم های سینوپتیکی که به سمت مناطق بیابانی شمال آسیا می وزند، اگر در سطح زمین بادهایی با سرعت بیشتر از ۶ متر بر ثانیه ایجاد کنند، طوفان های گردو خاک شدیدی را ایجاد می کنند. لیو و پارک (liu, 2007) گزارش های مربوط به طوفان های گردو خاک و ماسه را از ۳۵۵ ایستگاه هواشناسی چین در دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۰۰ جمع آوری کردند. از نتیجه مطالعات آنها یک رابطه لگاریتمی به صورت $\log_{10} N = a - bt$ ارائه شد که فراوانی وقوع طوفان های ماسه و گردو خاک نسبت به مدت استمرار آنها را بیان می کرد. در این رابطه N فراوانی رخداد طوفان با زمان استمرار معین زمان t استمرار طوفان است a ثابتی است که به شرایط مکان مورد نظر و b ثابتی است که به شرایط سطحی و آستانه سرعت باد بستگی دارد.

کارلسون و بنجامین (Carlson & Benjamin, 1980) محاسبه کردند که گردو خاک Saharan سبب کاهش دمای سطح و افزایش دمای اتمسفر و پایداری بیشتر قائم دما می شود. بربیسون و بایرس (Bryson & Baerreis, 1967) تحقیقی انجام دادند روی بیابان Thar در هند و پاکستان و نشان دادند که گردو خاک سبب افزایش سرعت کاهش دمای درو در اتمسفر میانی می شود. فنگین به بررسی رابطه بین تعداد روزهای گرد و غبار در بیابان تا کلامکان با پارامترهای اقلیمی مانند دما بارش و تعداد روزهای با سرعت باد بیشتر از ۵ متر بر ثانیه در ۱۱۲ ایستگاه هواشناسی در دوره زمانی ۲۰۰۵-۱۹۶۰ اقدام نمودند. نتایج نشان داد که پارامتر با تعداد روزهای با سرعت باد بیشتر از ۵ متر بر ثانیه بیشترین همبستگی را با تعداد روزهای همراه گرد و غبار دارد. علیجانی ۱۳۷۶، حسینی ۱۳۷۹، کاویانی ۱۳۸۰، امیدوار

مداوم و بادهای شدیدی را در طول دوره گرم سال موجب می‌گردد. ساختار گردشی فوق در ترکیب با ویژگی‌های پوشش سطحی و آبرفت‌های ریز دانه فراوانی که در داخل کشور و کشورهای همسایه وجود دارد، منطقه خاورمیانه و ایران را به یکی از مهمترین مناطق وقوع طوفان‌های گردوغباری در دنیا مبدل ساخته است. در مطالعه طوفان‌های گردوخاک یکی از مهم‌ترین فاکتورهای مورد بررسی، منشأ شکل‌گیری این پدیده می‌باشد. گردوخاک‌ها بیشتر در مناطقی که سطح آنها فاقد پوشش گیاهی می‌باشد و پوشش آنها شن و خاک رس و گل خشک شده می‌باشد تولید می‌شوند. منابع طبیعی گردوخاک دشت‌های سیلابی و حوضه‌های آبرفتی و پهنه‌های نمکی و بیابان‌ها و کنار بستر دریاچه‌ها هست. به طور کلی می‌توان طوفان‌های گرد و خاکی ایران را به دو دسته مختلف طوفان‌های با منشأ داخلی و طوفان‌های با منشأ خارجی تقسیم نمود. در این مطالعه به بررسی طوفان‌های با منشأ خارجی پرداخته می‌شود. کشور ایران به خاطر قرارگیری در منطقه خاورمیانه و کمربند بیابانی جهان و مجاورت با مهم‌ترین بیابان‌های منطقه از جمله صحرای عربستان در قسمت غرب و بیابان مارگو در پاکستان و بیابان ریگستان افغانستان در شرق همواره تحت نفوذ طوفان‌های گردوخاک محلی و همدیدی می‌باشد (ذوالفقاری و عابدزاده، ۱۳۸۴). شاید یکی از مهم‌ترین مشهورترین آنها وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان در شرق ایران باشد. در قسمت غربی ایران جریان‌هایی که بعلت وجود کم فشارهای حرارتی و دینامیکی از روی صحرای عربستان حرکت کرده و پس از عبور از بیابان‌های عراق و کویت وارد کشور می‌شوند سبب انتقال ذرات گردوغبار به مناطق غربی ایران می‌گردند. دو سیستم هوا در پیدایش طوفان‌های گردوخاک نقش موثر دارند یکی جت استریم جنب حاره که هوای فلات عربستان را به سمت بالا می‌کشد و دیگری جت استریم جبهه‌ی قطبی است که آن را به سمت پایین می‌کشد (Alghandi, 2001). دمای هوا در فصل بهار و تابستان بعلت بیابانی بودن نواحی عراق و عربستان و بخش‌هایی از سوریه و اردن به شدت افزایش می‌یابد لذا شرایط برای صعود هوا در سطح زمین فراهم می‌گردد در این شرایط مرکز کم ارتفاع یا ناوه نسبا عمیقی

روی منطقه شکل می‌گیرد و شرایط را برای انتقال ذرات گردوغبار از منابع تولید غبار فراهم می‌کند. بادهای سطوح پایین قدرت انتقال ذرات را تا مدت و مسافت زیادی ندارند بعلت اینکه عوارض طبیعی مانند سنگ‌ها و کوه‌ها مانع از تشدید و انتقال آن می‌گردند ولی بادهای سطوح بالا قادرند در صورتی که قطر ذرات گردوغبار کوچکتر از ۱۰۰ میکرون باشند به مدت چند روز یا هفته تا مسافت چندین کیلومتر ذرات را جابه جا نمایند. همزمان با رشد شدت ناوه، طوفان‌های گردوخاک در بعد ظهرها و اواخر صبح شدیدتر از اوایل صبح می‌باشند (Flyear, 1990). گادی و میدلتن (Goudie & Middleton, 2006) در ارائه یک تصویر جهانی از مناطق دارای طوفان‌های گردوغباری، وقوع طوفان‌های گردوغباری تابستانه در خاورمیانه را ناشی از استقرار یک مرکز کم فشار در جنوب ایران و یک مرکز پرفشار نیمه دائمی بر جانب شمالی شبه جزیره عربستان و در پی آن پیدایش یک باد شدید و مداوم موسوم به باد شمال بر روی منطقه دانسته‌اند در واقع گادی و میدلتن در تبیین الگوی گردشی حاکم بر وقوع طوفان‌های گردوغباری در منطقه خاورمیانه از نتایج پژوهش ممبری (Membery, 1983) در رابطه با باد شمال بهره جست‌ه‌اند. با این وجود برخی از پژوهش‌های اخیر الگوی گردشی یاد شده را به کل دیگری، الگوی اصلی وقوع طوفان‌ها ذکر نموده‌اند. بدین ترتیب که همراه شدن گسترش غرب سوی زبانه کم فشاری از جنوب آسیا با گسترش شرق سوی زبانه پرفشاری از مناطق بیابانی شمال آفریقا علت افزایش شیب فشار، پیدایش بادهای شمالی و طوفان‌های گرد و غباری در خاورمیانه دانسته شده است (Wilkerson, 1991; Bartlett, 2004; Crook, 2009). بارکان (Barkan, 2008) با بررسی الگوهای همدیدی سطح ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکالی برای دوره‌های پرگردوخاک و بدون گردوخاک در صحرای آفریقا، نشان داد که تفاوت معنی‌داری در متغیرهای جوی بین دو نوع از سال‌های فوق وجود دارد. در سال‌های پرگرد و خاک فصول پاییز، بهار و تابستان در اروپای غربی، آفریقای شمال‌غربی، یک جریان سیکلونی قوی باعث انتقال سرمای شدید و کاهش ارتفاع ژئوپتانسیلی در این منطقه می‌گردد ولی در شرق و مرکز صحرا و مرکز مدیترانه، جریانان

تقویت سیستم های بادی سطح بالا گردیده و باعث انتقال و انتشار مقادیر انبوهی از ریزگردها در بخش های وسیعی از جنوب غرب، غرب و شمال غرب ایران می شود (ذوالفقاری، ۱۳۹۰). هامیش (Hamish, 2008) مسیرهای حمل گرد و غبار از دریاچه ایر استرالیا را با استفاده از مدل HYSPLIT بررسی نمودند و بیان کردند که گردوغبار این دریاچه تحت تاثیر جریانات جوی در طی یک مدت زمان کوتاه قادر است هزاران کیلومتر از قاره استرالیا را تحت تاثیر قرار دهد. وانگ (Wang, 2011) با استفاده از مدل HYSPLIT طوفان های شن و گرد و غبار سال ۲۰۰۸ را بررسی کردند و چهار منطقه آفریقای شمالی، خاورمیانه، مغولستان و شمال غرب چین را با فراوانی بالای رخداد گرد و غبار بیان کردند.

مفیدی و جعفری به بررسی نقش گردش منطقه ای جو بر روی خاورمیانه در وقوع طوفان های گردوغباری تابستانه در جنوب غرب ایران پرداخته اند. آنها در این تحقیق به منظور تبیین علل وقوع طوفان های گردوغباری تابستانه در جنوب غرب ایران و منابع اصلی گردوغبار آنها، ساختار گردش منطقه ای جو را مورد بررسی قرار دادند، آنها ابتدا با توجه به داده های ساعتی میدان دید در ۸ ایستگاه واقع در استان خوزستان ۳۰ طوفان فراگیر را در یک دوره زمانی شش ساله استخراج کردند. آنها برای تعیین منابع اصلی گردوغبار برای هریک از طوفان های گردوغباری از مدل لاگرانژی HYSPLIT و با استفاده از روش ردیابی پسگرد استفاده کردند. نتایج تحقیق بیانگر آنست که پرفشار عربستان و زبانه کم فشار زاگرس بیش از هر مؤلفه گردشی دیگری در شکل گیری طوفان های مقیاس منطقه ای در منطقه خلیج فارس و جنوب غرب ایران نقش دارند. خروجی های مدل HYSPLIT نشان می دهد که به طور کلی منابع اصلی غبار برای طوفان های گردوغباری جنوب غرب ایران محدوده ای در حد فاصل مرکز تا شمال عراق، شرق سوریه تا شمال عربستان می باشد. بررسی مسیرهای انتقال ذرات در طوفان های گرد و غباری از وجود یک جت تراز زیرین خبر می دهد که موجب انتقال افقی ذرات گرد و غبار در یک لایه یک عمق گردیده و از پخش عمودی آن در لایه های بالاتر جو جلوگیری می کند (مفیدی، ۱۳۹۰).

آنتی سیکلونی غلبه داشته و گرمای نسبتا بالا همراه با افزایش ارتفاع ژئوپتانسیلی مشهود است.

ویکتوریا و همکاران وقوع طوفان های گردوخاک در غرب و مرکز ایران را در زمستان ۱۳۸۶ و بهار ۱۳۸۷ با استفاده از تصاویر ماهواره ای و نقشه های همدیدی بررسی کرده اند. نتایج اکثر این پژوهش ها نشان داده است، گرد و خاک موجود در هوای کشور به خصوص در غرب و جنوب غربی و شمال غرب یا از صحرای شمال و شمال شرق آفریقا و یا از کشورهای عربستان و عراق و سوریه توسط جریانات جوی منتقل شده و پایداری وضعیت جوی و افت سرعت باد در مرکز و غرب کشور عامل ثابت ماندن آن ها به مدت چند روز در مجاورت سطح زمین و ایجاد وضعیت بحرانی آلودگی هوا است. کویتیل و فورمن (Kuteil & Furman, 2003) منشأ و خصوصیت های زمانی طوفان های گرد و غبار در خاورمیانه را برای یک دوره آماری ۲۱ ساله از سال های ۱۹۷۳-۱۹۴۳ به صورت میانگین متوسط برای هر ماه مورد مطالعه قرار دادند. ابتدا چهار منطقه اصلی تعیین و سپس نقشه گرد و غبار مربوط به آنها تهیه گردید. این پژوهشگران وقوع طوفان های گرد و غبار در ایران، شمال شرقی عراق و سوریه، خلیج فارس و جنوب عربستان، یمن و عمان را بیشتر به فصل تابستان نسبت دادند. از جمله مقالات مشابه با این تحقیق می توان به مقالات زیر اشاره کرد:

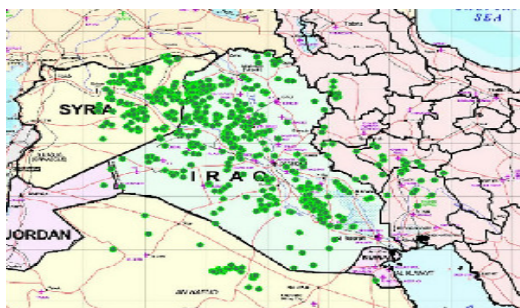
ذوالفقاری و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی همدیدی طوفان های گردوغبار در مناطق غربی ایران طی سال های ۱۳۸۴-۱۳۸۸ پرداختند در این مطالعه آنها با هدف بررسی عوامل همدید موثر بر رخداد گردوغبار در بخش های غربی ایران، ۱۰ موج گردوغباری مهم طی یک دوره آماری ۵ ساله از سال ۱۳۸۴ تا سال ۱۳۸۸ را انتخاب و مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها حاکی از این است که در تمام موارد، استقرار یک سامانه کم فشار بر منطقه خاورمیانه و تقویت شرایط ناپایداری در سطح بیابان ها و همچنین تاثیر هماهنگ یک موج کم فشار دینامیک بر فراز جو منطقه، زمینه مناسب را برای انتقال ریزگردها به جو منطقه فراهم می آورد. همگرایی سامانه های پرفشار آזור، کم فشار حرارتی و افزایش شیب فشاری در روزهای اوج فعالیت پدیده، باعث

گردید از سال ۸۱ با ۱۰ نوبت وقوع رخداد طوفان گرد و خاک به ۵۵ نوبت در سال ۸۷ افزایش یافته است که حداکثر وقوع این پدیده در خوزستان ۸۴ ساعت و حداقل آن ۳۶ ساعت بوده است.

جدول ۱- آمار وقوع طوفان گردوخاک در استان خوزستان

سال	نوبت رخداد طوفان گردوخاک
۱۳۸۱	۱۰
۱۳۸۲	۱۱
۱۳۸۳	۹
۱۳۸۴	۱۲
۱۳۸۵	۱۹
۱۳۸۶	۳۱
۱۳۸۷	۵۵

کانون‌های گرد و غبار در منطقه خاورمیانه در دو دهه اخیر تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی افزایش یافته است، به طوری که در اوایل قرن بیستم طبق تحقیقات و بررسی‌های انجام گرفته توسط محققانی به نام ویلی کرسون بر روی آخرین منشأ طوفان‌های مناطق جنوب غربی ایران و کشورهای سوریه و عراق در بین سال‌های ۶۳ تا ۶۷ پراکنش مکانی، و منشأهای گرد و غبار (شکل‌های ۱ تا ۳) همان طور که در شکل ۱ دیده می‌شود، در سال ۱۳۶۸ حدود ۱۴ کانون منفرد تعیین شده است. در حالی که تعداد این مکان‌ها در سال ۱۳۸۷ به بیش از ۵۰ منشأ افزایش یافته است و پیش بینی می‌شود در آینده افزایش یابد (درویش، ۱۳۸۸). که دلایل آن به کاهش نزولات جوی، کاهش رطوبت، افزایش دما و همچنین گسترش بیابان‌ها برمی‌گردد.



شکل ۲- پراکنش مکانی چشمه‌های طوفان‌های

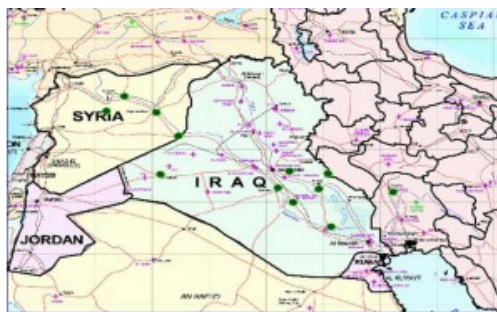
گردوخاک تا سال ۱۳۸۷

اقلیم شناسان به طور کلی، جابجایی پرفشارهای جنب حاره‌ای به سوی مناطق بیابانی و سمت و سوی بادهای سطوح مختلف جوی را عامل اصلی در انتقال گرد و غبار بیابان‌های همسایه به ایران می‌دانند. آنها معتقد هستند که یک جریان فراباری قوی، حجم زیادی از ریزگردها را از بیابان‌های وسیع غرب و جنوب غرب آسیا رویداده و به لایه بالایی تروپوسفر منتقل می‌نماید و سپس یک جریان قوی دیگر انبوهی از ریزگردها را به عرض‌های بالاتر منتقل می‌سازد. موقعی که انرژی جریان افقی در ارتفاع بالایی تروپوسفر کاهش می‌یابد این ریزگردها بر سر مناطق دور و نزدیک فرو می‌ریزد (کرمی، ۱۳۸۸).

دهقانپور (۱۳۸۴) نیز پیدایش طوفان‌های گردوغباری غرب ایران را با حاکمیت یک رودباد جنب حاره‌ای قوی که در دوره گرم سال در این منطقه حاکمیت داشته و می‌تواند باعث انتقال هوای شبه جزیره عربستان به سمت پایین گرد همراه می‌داند.

همتی (۱۳۷۴) نیز وقوع طوفان‌های گردوغباری جنوب غرب ایران به ویژه جلگه خوزستان را با حضور سیستم‌های سیکلونی که از نواحی شمال عراق و بخش‌های مرکزی شبه جزیره عربستان می‌گذرند مرتبط می‌داند.

در سال‌های اخیر با تشدید خشکسالی در ایران و کشورهای همسایه به خصوص عراق و سوریه کانون‌های جدید فرسایش بادی و طوفان‌های گردوخاک در منطقه ایجاد شده و سبب وقوع طوفان‌های شدیدی در چند سال اخیر در منطقه گردیده است. شدت و گستردگی این پدیده با روندی افزایشی موجب بروز مشکلات زیادی برای استان‌های غربی و جنوبی ایران گردیده است. برای مثال با استفاده از اطلاعات سازمان هواشناسی برای استان خوزستان مشاهده



شکل ۱- پراکنش مکانی چشمه‌های طوفان‌های

گردوخاک قبل از سال ۱۳۶۸



شکل ۳- منطقه مورد مطالعه که شامل جنوب عراق و ایران می باشد

فشار شدید سطح زمین راهی استان های غربی و جنوب غرب چون خوزستان می شود بطور کلی برای ایجاد طوفان گردوخاک وجود یک کم فشار در بیابان های عراق و سوریه لازم است ولی کافی نیست مثلاً کم فشار تابستانه فقط می تواند تا ارتفاع حداکثر ۸۵۰ و در نهایت تا ۷۰۰ میلی باری هوا را صعود دهد و ایجاد ناپایداری کند. اما زمانی که با ناوهای در سطوح میانی جو هماهنگ و ارتباط ترمودینامیکی پیدا کند مناسب ترین شرایط برای تشکیل طوفان گرد و خاک گسترده بر روی بیابان های یاد شده مهیا می شود. کم فشار تابستانه ممکن هست بدلیل گرمایش بیابان های نام برده به آن مناطق گسترش یابد ولی ناوه سطوح بالای جو موجود نباشد و بدلیل پایداری جو بالا و وجود پراارتفاع جنب حاره ای شرایط برای صعود عمیق و تشکیل طوفان گردو غبار مهیا نمی شود و بیشتر اثرات این کم فشار ایجاد ناپایداری و صعود کم عمق تا ارتفاعات پایین جو و غالباً باعث گردوغبار محلی می باشد.

طوفان های با منشأ جنوب بغداد و حوضه

دجله و فرات

در حوضه دجله و فرات طوفان های غبار و گرد و خاک از ماه می (۱۱ اردیبهشت تا ۱۰ خرداد) شروع و در ماه ژولای (۱۰ تیر تا ۱۰ مرداد) به حداکثر خود می رسد. فعالیت این پدیده ابتدا از جنوب عراق شروع و سپس به شمال منطقه گسترش می یابد البته با توجه به مشاهدات

چگونگی تولید و انتقال و انتشار طوفان گرد

و خاک در فصل گرم سال

در فصول گرم سال زبانه پر ارتفاع جنب حاره ای تقریباً با نوسانات اندکی بر فراز خاورمیانه و ایران حاکم است که در ترازهای ۵۰۰ و ۷۰۰ میلی باری جو به خوبی مشخص است و از ورود بادهای غربی به منطقه جلوگیری می کند. اما در بعضی مواقع تحت عوامل سیاره ای با اندکی عقب نشینی و پسروی شرایط را برای ایجاد موج کوتاه و نفوذ بادهای غربی به منطقه مورد نظر مهیا می کند و با ایجاد این موج کوتاه شرایط برای صعود هوا و ناپایداری جوی در ناحیه کانون های گرد و خاک بیابان های غرب عراق و شرق سوریه فراهم می گردد و از طرفی کم فشار تابستانه مستقر بر روی جنوب شرق و جنوب غرب و غرب ایران که در اثر گرما و حرارت زیاد به طرف بیابان های غرب عراق و شرق سوریه نفوذ کرده با موج کوتاه بادهای غربی تشکیل شده هماهنگی ترمودینامیکی برقرار می کند که این ارتباط ترمودینامیکی منجر به ناپایداری و مکش و صعود هوا و ایجاد طوفان گردوخاک در بیابان های غرب عراق و شرق سوریه می شود و ذرات گردوخاک تولید شده بوسیله حرکات چرخندی و چرخشی کم فشار سطح زمین به قسمت های بالای جو منتقل و به وسیله جریانات افقی سطوح میانی جو به طرف غرب و شمال غرب و جنوب غرب ایران منتشر می شوند. البته توده هوای خاکی که به سمت جنوب غرب و غرب حرکت می کند مربوط به سطوح پایین جو می باشد که بدلیل تغییر

گردید. برای بررسی طوفان‌های گردوغباری ورودی به جنوب غرب ایران، ۱۰ مورد از مهم‌ترین گردوغبارهایی که در طول دوره مورد مطالعه منطقه ایران را تحت تأثیر قرار داده‌اند انتخاب گردید که لیست آن در جدول ۲ آورده شده است. مدل HYSPLIT برای تمام موارد انتخاب شده اجرا گردید و خروجی مدل با نقشه‌های همدیدی تهیه شده و تصاویر ماهواره‌ای مقایسه گردید که در تمام موارد خروجی مدل با دقت بسیار زیادی توانست منشا شکل‌گیری و نحوه انتشار طوفان‌ها را پیش‌بینی نماید. بعلاوه اهمیت و فراگیری طوفان تیر ۱۳۸۸ این طوفان به طور کامل مورد بررسی همدیدی قرار گرفت و خروجی مدل با نقشه‌های تهیه شده مورد تحلیل قرار گرفت. ایستگاه هواشناسی آبادان به عنوان ایستگاه شاخص در جنوب غرب کشور برای بررسی انتخاب گردید.

جدول ۲- ده مورد از پدیده‌های گردوغبار انتخاب شده

برای مطالعه

ردیف	روز اوج پدیده	ماه	سال
۱	۱۶	تیر	۱۳۸۶
۲	۱۵	شهریور	۱۳۸۷
۳	۱۳	تیر	۱۳۸۷
۴	۹	اردیبهشت	۱۳۸۵
۵	۱۰	شهریور	۱۳۸۵
۶	۱۴	تیر	۱۳۸۸
۷	۹	خرداد	۱۳۸۵
۸	۱۲	تیر	۱۳۸۷
۹	۱۹	مرداد	۱۳۸۵
۱۰	۲۸	اردیبهشت	۱۳۸۶

ماهواره‌ای بیشترین فراوانی غبار و طوفان گرد و خاک در حوالی ۲۰۰ کیلومتری جنوب بغداد می‌باشد. در منطقه‌ای که وسعت آن به بیش از ۱۳۰۰۰۰ کیلومتر مربع می‌رسد ارتفاع این منطقه کمتر از ۱۰۰ متر از سطح دریا بوده و زهکشی طبیعی منطقه بسیار ضعیف می‌باشد. تابستان در این ناحیه داغ و خشک است و میزان بارندگی سالانه کمتر از ۱۸۰- ۱۰۰ میلی‌متر بوده و فصل باران منحصر به زمستان است و باعث بوجود آمدن باتلاق‌های متعددی در منطقه می‌شود و در تابستان با خشک شدن سریع به نمک زارهای گسترده‌ای تبدیل می‌گردند که منابع مناسبی برای ایجاد گرد و خاک و غبار سبک می‌باشند در واقع بیشترین غبار نیز از جنوب این منطقه گزارش می‌شود. در صورتیکه جهت باد از شمال به جنوب باشد این غبار به شمال کویت و عربستان سعودی، خلیج فارس و جنوب غرب ایران یعنی استان‌های خوزستان و بوشهر منتقل می‌شود.

طوفان‌های با منشأ شمال غرب عراق و شرق سوریه

این کانون جدید تشکیل طوفان که در سال‌های اخیر سبب بوجود آمدن طوفان‌های با دید افقی کمتر از ۵۰۰ متر در استان‌های غربی ایران شده است بدلیل خشکسالی‌های اخیر که در منطقه ایجاد شده است بوجود آمده و سبب کاهش دبی رودخانه‌ها در منطقه بین‌النهرین شده است.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه نقشه‌های هواشناسی مورد نیاز برای ایران از سازمان هواشناسی کشور دریافت گردید و برای داده‌های هواشناسی منطقه از داده‌های باز تحلیل دیده‌بانی شده کل زمین از مراکز ملی پیش‌بینی محیطی/ مرکز ملی پژوهش جوی NCEP/NCAR دریافت شده و نقشه‌های همدیدی مورد نیاز برای منطقه خاورمیانه رسم گردید. برای بدست آوردن مسیر حرکت ذرات با استفاده از مدل‌های عددی، از مدل پخش لاگرانژی ذرات HYSPLIT برای بدست آوردن منشأ طوفان و مسیر حرکت آن استفاده شد. برای بررسی صحت اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای موجود در مرکز باروری ابرها در یزد و ماهواره METEOSAT8 استفاده

مدل مورد استفاده

HYSPLIT استفاده شد (Draxler, 2011). برای مسیریابی پسگرد، ذرات در ایستگاه آبادان در زمان اوج وقوع هر یک از طوفان‌های گردوغباری در نظر گرفته شد. در این مطالعه نسخه ۴٫۹ مدل HYSPLIT مورد استفاده قرار گرفت و ذرات در سه سطح ۵۰۰ و ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متری از سطح زمین و در حد فاصل زمانی ۲۴ ساعت قبل ردیابی شدند. برای اجرای مدل از مجموع داده‌های FNL استفاده شد. داده‌های FNL (Final) در واقع داده‌های NCEP هستند که توسط لابراتوار منابع هوا وابسته به NOAA مورد پردازش مجدد قرار گرفته است. این داده‌ها با قدرت تفکیک افقی ۱×۱ درجه، برای ۲۶ تراز فشاری ۱۰۰۰-۱۰۰ هکتوپاسکال و با گام زمانی ۶ ساعته از جولای ۱۹۹۹ در دسترس می‌باشند. داده‌های تحلیل شده عملیاتی مقیاس جهانی نهایی انبساط یا به طور مختصر FNL (Final) از سامانه یکپارچه سازی داده‌های جهانی (GDAS^۵) برای تهیه داده‌های اولیه ورودی به سیستم استفاده می‌نماید. سامانه GDAS نیز وظیفه جمع آوری داده‌های مشاهداتی از سراسر جهان را با استفاده از سامانه ارتباطات از راه دور (GTS) و سایر منابع به صورت بی وقفه و پیوسته برعهده دارد. در نهایت داده‌های FNL با مدلی مشابه مدلی که مرکز ملی پیش بینی محیطی برای تولید داده‌های سامانه پیش بینی جهانی (Global Forecast System) استفاده می‌کند تولید می‌گردد (Stunder, 1997).

بررسی همدیدی طوفان تیر ۱۳۸۸

برای بررسی موردی طوفان ۱۱ تیر سال ۱۳۸۸ انتخاب گردید. علت انتخاب این طوفان گستردگی و تاثیر گذاری زیاد آن در سراسر ایران بود. در پنجشنبه ۱۱ تیر، شیب فشار قابل ملاحظه‌ای در روی شمال ایران وجود داشته و همچنین سلول کم فشار حرارتی با همفشار ۱۰۰۰ هکتوپاسکالی تا شمال غرب عراق گسترده و در روز جمعه با تقویت شیب شمالی فشار و همچنین تقویت کم فشار حرارتی چرخند

مدل مسیریابی لاگرانژی تک ذره‌ای هیبریدی^۱ (HYSPLIT) برای اولین بار توسط آزمایشگاه منابع هوای NOAA (ARL) در سال ۱۹۸۲ با کمک اداره هواشناسی استرالیا توسعه یافته که کاربردهای آن شامل ردیابی و پیش بینی مسیر مواد آلوده کننده آزاد، مسیریابی ذرات هوا، خاکسترهای آتشفشانی و دودهای ناشی از آتش سوزهای جنگل‌ها می‌باشد. مدل HYSPLIT یک سیستم کاملی برای محاسبه مسیرهای ساده ذرات هوا و پراکنندگی‌های پیچیده و شبیه سازی آنها می‌باشد. روش محاسبات مدل یک روش مختلط^۲ بین روش لاگرانژی (که یک چارچوب متحرک برای حرکات ذرات را مورد استفاده قرار می‌دهد) و روش اویلری (که یک چارچوب ثابت سه بعدی را برای حرکت‌های ذرات مورد استفاده قرار می‌دهد) می‌باشد. در مدل فرارفت^۳ و پخش ذرات محاسبات آنها در یک چارچوب لاگرانژی ساخته می‌شوند و در ادامه برای محاسبه انتقال ذرات هوا و غلظت مواد آلاینده از یک چارچوب اویلری استفاده می‌شود (Draxler, 2007). در سطح جهان مطالعات گوناگونی با استفاده از این مدل انجام گرفته است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. سکودرو (Escudero, 2006) به بررسی طوفان‌های ورودی به اسپانیا با منشأ صحرای آفریقا با استفاده از مدل HYSPLIT پرداختند. دراکسلر (Draxler, 2001) به مسیریابی طوفان‌های گرد و خاکی عراق و کویت با استفاده از مدل HYSPLIT پرداختند. استوندر (Stunder, 2007) به پیش بینی مسیر پخش ذرات آتشفشانی با استفاده از مدل پخش هیبریدی پرداخت.

تنظیمات مدل

جهت تعیین منابع اصلی گردوغبار برای هر یک از طوفان‌های گردوغباری نیز از یک مدل لاگرانژی با امکان ردیابی پسگرد ذرات در ترازهای مختلف جو موسوم به

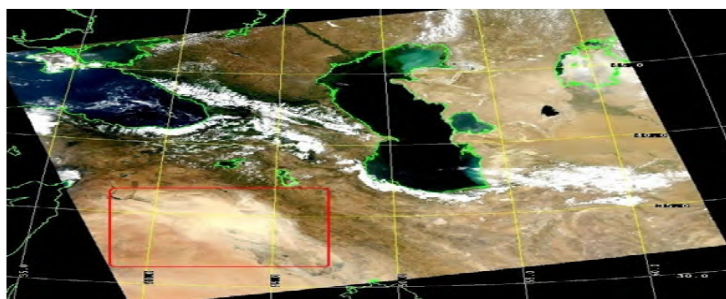
1. Hybrid Single-Particle Lagrangian integrated Trajectory
3. Hybrid
5. Global Data Assimilation System

2. Air Resources Laboratory
4. Advection
6. Global Telecommunications System

اثر این کم فشارها در سطوح پایین جو باقی می‌ماند و چون در مناطق بیابانی که مهمترین مناطق تشکیل این کم فشارها می‌باشد رطوبت بسیار کم می‌باشد و ثانیاً این کم فشارها دارای اثر دینامیکی نمی‌باشند نمی‌توانند سبب بارندگی شوند و اثر خود را به صورت وزش باد و گردوخاک نشان می‌دهند (Byers, 1974 و تریپله، ۱۳۸۰) برای مشخص شدن بهتر این کم فشارها نقشه دمای سطح زمین برای روزهای ۱۱ و ۱۲ تیر ترسیم گردید که تایید کننده مطالب بالا می‌باشد (شکل ۴ تا ۶).

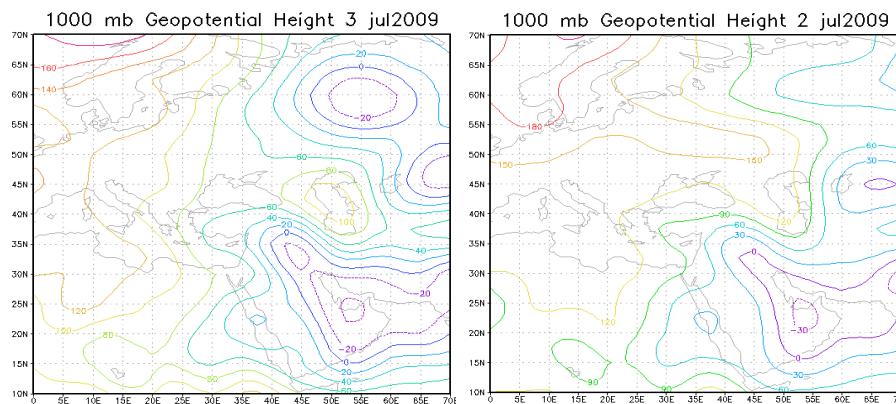
فعالی در روی عراق شکل می‌گیرد که تا لایه‌های ۷۵۰-۸۰۰ هکتوپاسکالی گسترش می‌یابد. فعالیت این چرخند بصورت وزش باد و ناپایداری هوا شرایط مناسب برای صعود هوا ستون‌های عظیمی از گردوخاک را در شمال غرب تا جنوب غرب عراق ایجاد می‌نماید.

در فصول گرم سال بدلیل افزایش شار تابشی خورشید و افزایش دمای سطح زمین لایه هوای نزدیک به سطح نیز گرم شده و صعود می‌نماید و تشکیل کم فشارهای حرارتی را می‌دهد. بعلت اینکه این کم فشارها دینامیکی نمی‌باشند و هر چه از منبع انرژی خود دور می‌شوند تضعیف می‌گردند



شکل ۴- تشکیل و گسترش طوفان گرد و خاک تیر ماه ۱۳۸۸ از روی عراق و حرکت آن به سمت مناطق غربی ایران با استفاده از

تصاویر سنجنده MODIS

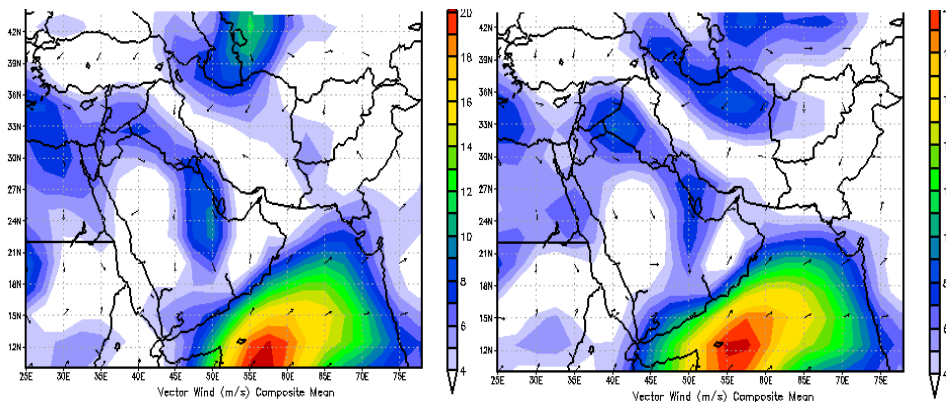


شکل ۵- نقشه ارتفاع سطح ژئوپتانسیلی ۱۰۰۰ mb در دو روز متوالی ۱۱ و ۱۲ تیر ۱۳۸۸ که در آن روند

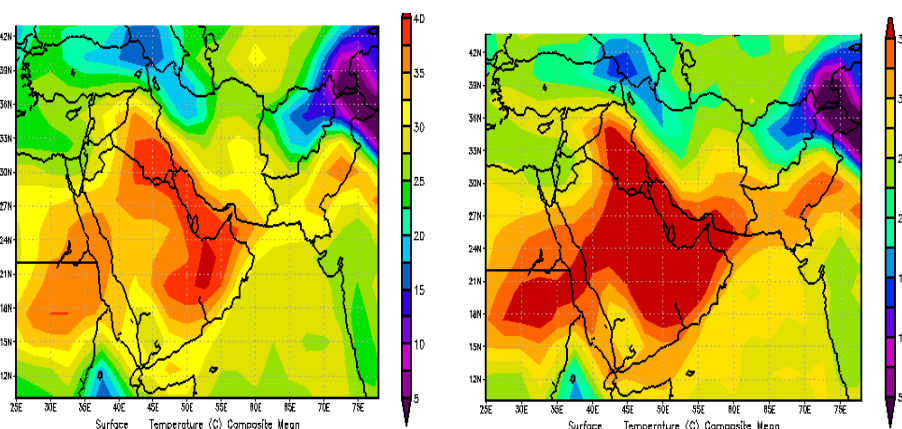
تقویت کم فشار سطحی مشخص است

برخاسته شده به وسیله چرخند سطح زمین ابتدا به سمت جنوب و سپس به سمت استان‌های کردستان و کرمانشاه سوق داده شد (شکل ۷ تا ۹).

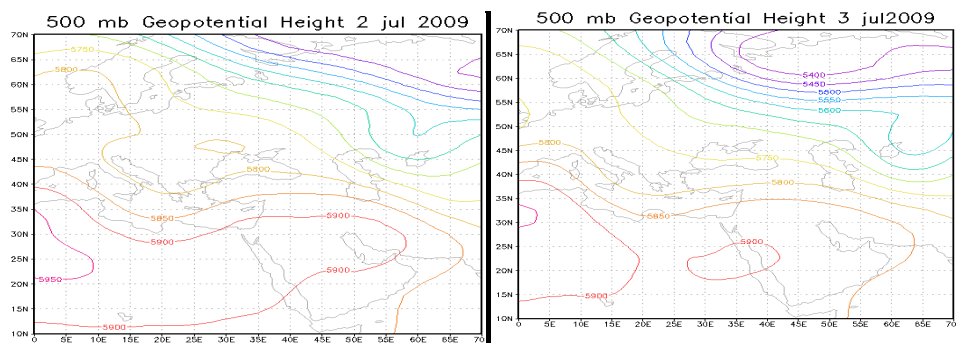
اما در سطوح فوقانی جو پرفشار جنب حاره‌ای از روز جمعه شروع به تضعیف نمود و بنابراین در سطوح فوقانی جو بادهای غربی و شمال غربی تقویت شده و گرد و خاک



شکل ۶- نقشه باد سطح زمین در دو روز متوالی ۱۱ و ۱۲ تیر ۱۳۸۸ که در روند افزایشی آن مشخص می‌باشد.



شکل ۷- نقشه دمای سطح زمین در دو روز متوالی ۱۱ و ۱۲ تیر ۱۳۸۸ که روند افزایشی را نشان می‌دهد



شکل ۸- نقشه ارتفاع سطح ژئوپتانسیلی ۵۰۰ mb در دو روز متوالی ۱۱ و ۱۲ تیر ۱۳۸۸ که در آن روند تضعیف

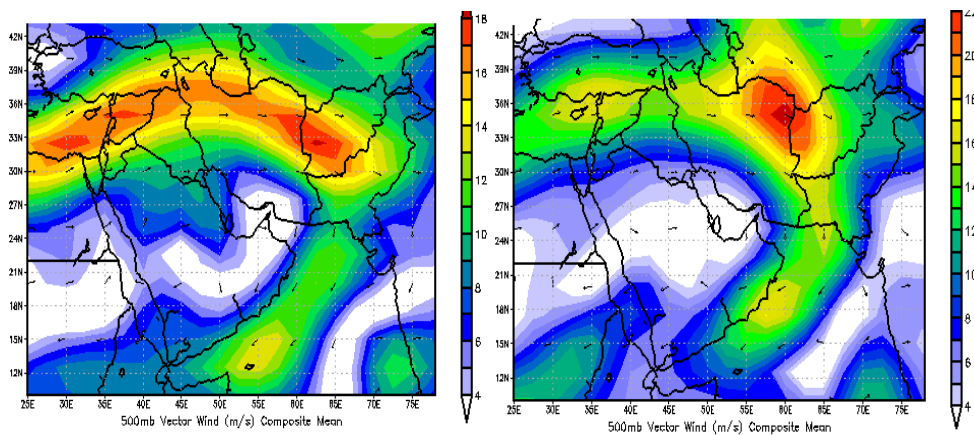
پرفشار جنب حاره‌ای مشخص است

در لایه‌های نزدیک سطح زمین هم کم فشار حرارتی و هم گرادیان فشار شمال ایران تضعیف شده بنابراین حالت سکون در عمق پایین جو منطقه ایجاد شد که شرایط مناسب برای حرکت تدریجی توده طوفانی گردو خاک را فراهم آورد که در حرکت بسیار کند و تدریجی به داخل کشور

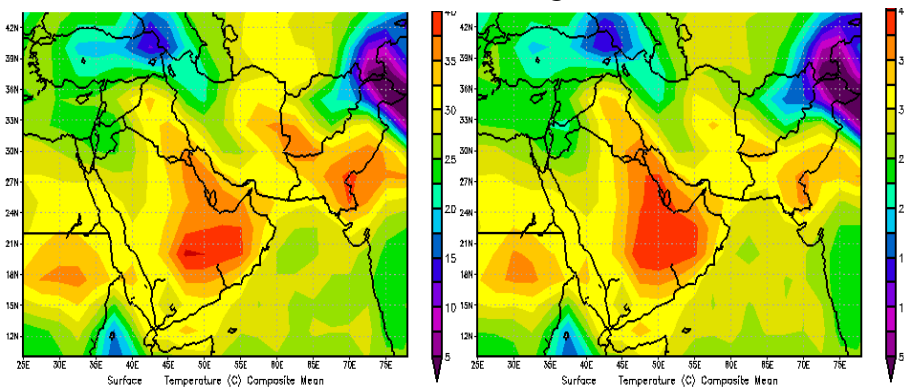
در روند بعدی حرکت ناوه سطوح فوقانی سمت باده‌ها را به جنوب غربی و غربی تغییر داده و کم و بیش با حرکت چرخند سطح زمین هماهنگ شده بنابراین کل توده طوفان گردو خاک روی کشور عراق بتدریج بر روی ایران منتقل شد، اما در روزهای شنبه و یکشنبه اتفاقی که افتاد آن بود که

سیال بوده و بسیار دیر در معرض واگرایی و پخش شدگی قرار گرفتند (شکل ۱۰ و ۱۱).

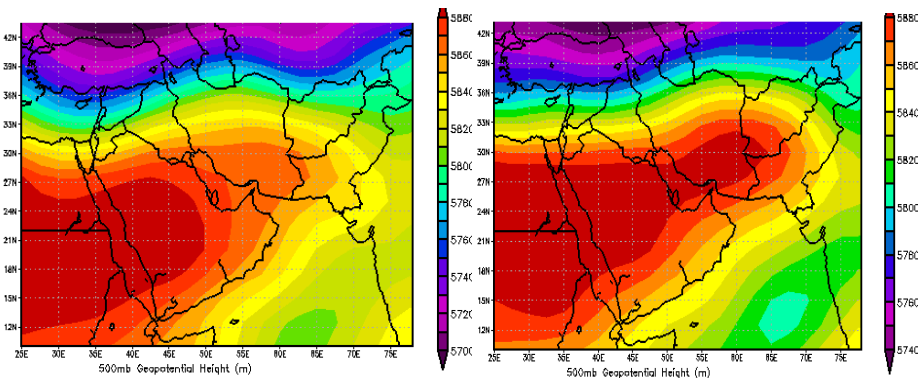
به دلیل عدم وزش باد در منطقه ستون‌های غبار، کم و بیش پیوستگی مادی خود را حفظ و الگوی انتشار آن غلتکی و



شکل ۹- تقویت جریان‌ات غربی و جنوب غربی سطح ۵۰۰mb در روز ۱۱ و ۱۲ تیر ۱۳۸۸ که باعث انتقال طوفان از عراق به ایران



شکل ۱۰- نقشه روند کاهش دمای سطحی برای ۱۴ و ۱۵ تیر ۱۳۸۸



شکل ۱۱- نقشه کاهش گرادیان فشار در شمال ایران برای ۱۴ و ۱۵ تیر ۱۳۸۸

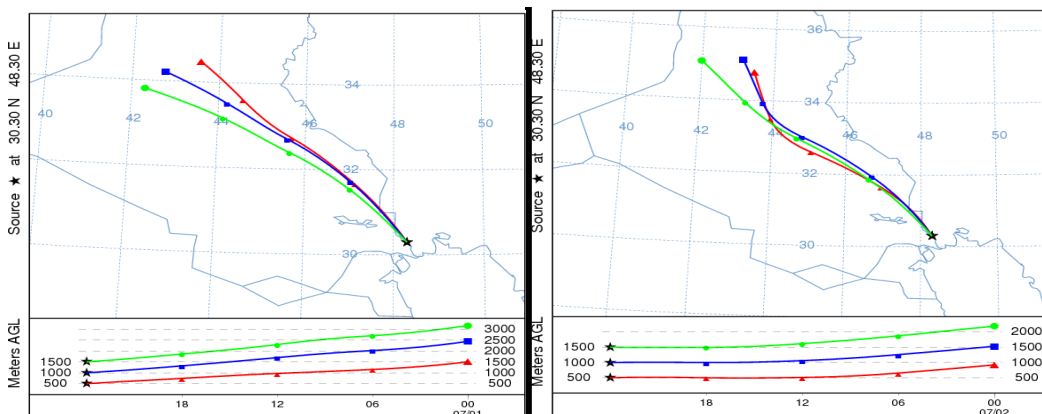
از این مدل بررسی دقت این مدل برای مسیریابی و منشأیابی طوفان‌های گردوخاک برای منطقه خاورمیانه می‌باشد. برای سنجش دقت مسیریابی حرکت ذرات که

خروجی مدل HYSPLIT

در شکل ۱۲ خروجی مدل بصورت نقشه برای روزهای ذکر شده ارائه گردیده است. هدف از استفاده

آبادان گردوغبار شکل گرفته با توجه به جریانات سطوح بالایی جو به سمت خوزستان و غرب کشور حرکت کرده است.

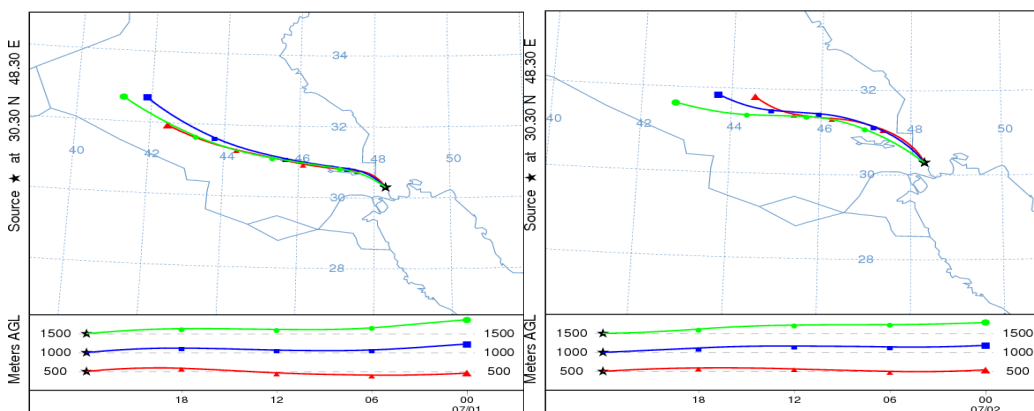
توسط مدل پیش‌بینی شده است هم از تصاویر ماهواره‌ای و هم از نقشه‌های همدیدی و اطلاعات ایستگاه‌های زمینی استفاده گردید که این مدل با دقت زیادی مسیر حرکت را پیش‌بینی کرده است. برای شهر



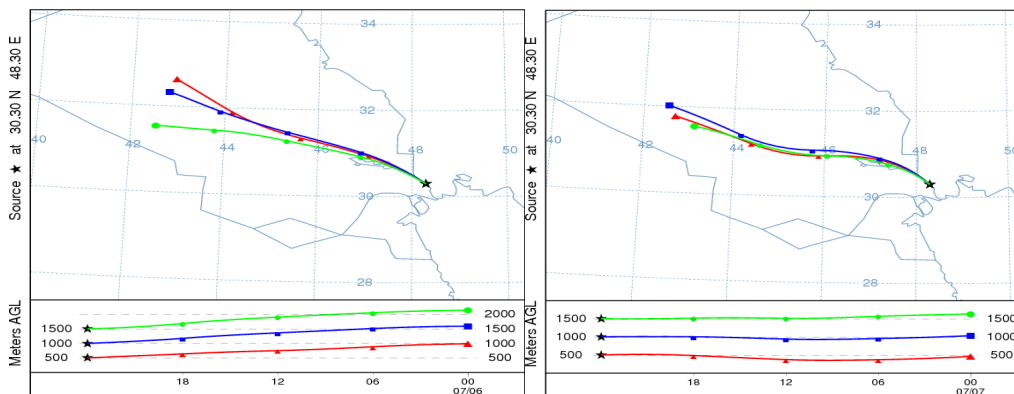
شکل ۱۲- خروجی مدل HYSPLIT برای شهر آبادان در تاریخ ۱۱ و ۱۲ تیر ۱۳۸۸

امکان نمایش مسیر ردیابی شده را در دو نمای افقی (بخش بالا در شکل ۱۲) و قائم (بخش پایین همین شکل) فراهم می‌نماید. بررسی مسیرهای انتقال ذرات در طوفان‌های گزارش شده، ذرات غبار مسیر مشابهی را از شمال غرب به جنوب شرق تا ایستگاه آبادان پیموده‌اند (شکل ۱۳ و ۱۴).

مدل لاگرانژیی یادشده امکان ردیابی پسگرد ذرات گردوغبار در ایستگاه آبادان را تا ۲۴ ساعت قبل از زمان وقوع هر یک از طوفان‌ها فراهم نمود. برای تمامی طوفان‌ها، ذرات در سه ارتفاع ۵۰۰ و ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متری از سطح زمین در حدها فصل زمانی ۲۴ ساعت ردیابی شدند. مدل



شکل ۱۳- خروجی مدل برای طوفان ۱۱ و ۱۲ تیر ۱۳۸۷ در ایستگاه آبادان



شکل ۱۴- خروجی مدل برای طوفان ۱۶ تیر ۱۳۸۶

نتیجه گیری

و خاک به هوا می‌گردد که در صورت خشک بودن منطقه و جنوب غربی و غربی بودن جریان‌ات سطوح فوقانی این غبار و گردوخاک بوسیله باد به سطوح میانی جو نواحی جنوب غربی و غربی ایران منتقل می‌شود.

۳- در برخی شرایط وضعیت ناپایدار ایجاد شده در جلگه عراق به فلات ایران منتقل نمی‌شود و اگر بر روی غرب فلات ایران شرایط نسبتاً پایدار باشد در این شرایط غبار ایجاد شده بدلیل سکون و پایداری هوا در روی منطقه از نظر زمانی دوام بیشتری داشته و روند نشست آنها به سطح زمین و تهویه هوا از غبار بین ۳ تا ۵ روز و گاهی بیشتر دوام خواهد داشت.

۴- الگوی آشکار شده در سطح زمین در تاریخ ۱۲ تیر خبر از شکل گیری یک کم فشار نسبی بر روی عراق و سوریه دارد و در سطوح فوقانی یک تراف نسبتاً عمیق در منطقه خاورمیانه وجود دارد.

۵- خروجی های مدل HYSPLIT نشان داد که بطور کلی منابع اصلی غبار برای طوفان های گردوغباری جنوب غرب ایران محدوده ای در حدفاصل مرکز تا شمال عراق، شرق سوریه تا شمال عربستان می باشد.

اگرچه گردوغبار در ایران به ویژه در بخش‌های مرکزی و غربی پدیده ناشناخته‌ای نیست ولی فراوانی وقوع و غلظت آن که طی سال‌های اخیر گاهی باعث افت دید به زیر ۵۰ متر رسیده است پدیده‌ای جدید و نوظهور است. آیا سامانه‌های جوی به وجود آورنده غبارها جدیدند یا عامل نوظهوری در منطقه باعث این امر می‌شود؟ آنچه مسلم است سامانه‌های جوی تغییر معناداری ندارند چه خود این سامانه‌ها دارای یک دامنه نوسان قابل ملاحظه‌اند که همواره این رفتار را داشته‌اند. سطوح فوقانی فلات ایران در تابستان تحت سیطره پرفشار جنب حاره‌ای است و در سطح زمین هم کم فشار حرارتی گسترش می‌یابد. کم فشارهای بسته به محل تشکیل، روی عراق و سوریه و شمال شبه جزیره عربستان سبب ایجاد شرایط مناسب برای صعود حجم عظیمی از گردوخاک به هوا می‌شود که در صورت خشک بودن منطقه و جنوب غربی و غربی بودن جریان‌ات سطوح فوقانی این غبار و گردوخاک به وسیله باد به سطوح میانی جو نواحی جنوب غربی و غربی ایران منتقل می‌شود. بررسی ها نشان داد:

- ۱- منطقه بحرانی جدیدی در شمالغرب عراق بعنوان کانون جدید ایجاد طوفان گرد و خاک شکل گرفته است که قبلاً دارای این رفتار نبوده است و استان‌های غربی و حتی مرکزی کشور را به دایره غبارهای غلیظ کشانده است.
- ۲- کم فشارهای بسته روی عراق و شمال عربستان سبب ایجاد شرایط مناسب برای صعود حجم عظیمی از گرد

منابع

1. Alghandi A., 2000, on sand storms and energy recovely from sand stored, Energy conversation and management, NO. 420, PP. 1142- 1156
2. Alijani, b., 1385, Iran's climate, the publisher, 96
3. Barkan, J., 2008, synopsis patterns associated with dusty and non-dusty seasons in the Sahara. *Theor. Appl. climatolo.* Vol: 10pp: 354-364
4. Bartlett, S., 2004, Dust Storm Forecasting for Al Udeid Ab, Qatar: An Empirical Analysis, M.S. Thesis, Dept. of Meteorology, Air Force Institute of Technology, 103 pp.
5. Bryson, R. A., and D. A. Baerreis, 1967, Possibilities of major climatic modification and their implications: Northwest India, case studies. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* NO. 48, PP. 136-42.
6. Byers, H. R1974, General meteorology, MC. Graw, Hill Inc.
7. Carlson, T. N., and S. G. Benjamin, 1980, radioactive heating rates for Saharan dust. *J. Atmos. Sci.* NO. 37, PP. 193-213.
8. Chen, W., 1996, Wind Tunnel Test of the Influence of Moisture on the Erdibility of Loessial Sandy Loam Soils by Wind, *Journal of Arid Environments*, 34, pp. 391-402.
9. Chun, Y. 2001, synopsis, transport and physical characteristics of Asian dust in Korea. *Journal of geophysical research.* Vol: 106. pp: 18461-18469
10. Crook, J., 2009, Climate Analysis and Long Range Forecasting of Dust Storms In Iraq, M.S. Thesis, Dept. of Meteorology, Naval Postgraduate School, 85 pp.
11. Draxler RR., and Rolph, GD., 2011, HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory), Model access via NOAA ARL READY Website (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.
12. Draxler, R., D. A. Gillette, J. S. Kirkpatrick, and J. Heller, 2001, Estimating PM10 air concentrations from dust storms in Iraq, Kuwait, and Saudi Arabia, *Atm. Environ.* NO. 35, PP, 4315-4330.
13. Draxler, R. R., P. Ginoux, and A. F. Stein, 2010, an empirically derived emission algorithm for wind-blown dust, *J. Geophys. Res.*, 115, D16212, doi: 10. 1029/ 2009 JD 013167.
14. Dehghanpur Frashah, AS., 1384 and synoptic analysis of dust storms on the plateau central thesis-Iran between 1990 to 2000, Tarbiat Moallem University of Tehran
15. Darvish, M., 1388, and the occurrence of dust storms originating in southern Iran, websites, personal Tehran.
16. Escudero, M., A. Stein, R. R. Draxler, X. Querol, A. Alastuey, S. Castillo, and A. Avila, 2006, Determination of the contribution of northern Africa dust source areas to PM10 concentrations over the central Iberian Peninsula using the Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory model (HYSPLIT) model, *J. Geophys. Res.*, 111, D06210, doi: 10.1029/2005JD006395.
17. Ezzati, and, B., A., 1388, Analysis of dust storms using satellite images, Proceedings of National conference on climate mitigation and climate disasters, Ardabil.
18. Flyear.D. 1990, wind erosion: mechanics, prediction and control, *Advanceinsoll science*, NO. 130, 187-199, PP.
19. Goudic A., 2001, Saharan dust storms nature and consequences, *Earth_science Revlews*, NO. 56, 179-204, PP.
20. Goudie, A. and Middleton, NJ. 2006, *Desert Dust in the Global System*, Springer, Heidelberg. 1-90.
21. Goudie A. and Middleton NJ. 2000, Dust storms in South West Asia. *Acta Univ Car.*, XXXV: 73-83.
22. Generosity, no., 1380, to study the relationship between surface soil erosion by wind is the physical and chemical properties in the area of plain, M.Sc. Thesis, Isfahan University of Technology
23. Hamish, M., Andrew, C, 2008. Identification of dust transport pathways from Lake Eyre, Australia using Hysplit, *Atmospheric Environment* 42, 6915- 6925.
24. Hosseini, b., 1379, Synoptic study of severe storms in Tehran, MSc thesis weather. University
25. Jackson, V.H., 1913, Atmospheric Electrification during Dust Storm, *Journal of the Franklin Institute*, Vol. 176, Issue 1, pp. 145.
26. Helpful, AS., S., Jafari, 1390, investigating the role of regional atmospheric circulation over the Middle East in summer dust storms in the South West of Iran, *Journal of Geographical Studies of Arid Zones*, second year, first issue, Spring 1391.
27. Khosravi, M., 1387, Effects of climate change is increasing the intensity of local dust pollution in Zahedan, the Eleventh

- National Conference on Environmental Health, 159
28. Kuteil, H., H., Furman, 2003, Dust storms in middle East soureesog origin and Their temporal Characteristic, In door and Built Environment 12:419-426.
 29. Kaviani, M., 1380, Mykrvklymatvlvzhy, the publisher
 30. Karami, F., 1388, Convergence of pressure systems and dust storms in Khuzestan, MA thesis, Department of Geography, University of Razi.
 31. Liu, G., Park, S. U., 2007, The Logarithm-Linear Relationship of the Occurrence Frequency to the Duration of Sand-dust Storms: Evidencee from Observational Data in China, Journal of Arid Environments, Vol. 71, pp. 243-249.
 32. Liu J. J, Jiang X. G, Zheng X. J, Kang L, and Qi F. Y. 2004, An Intensive Mongolian Cyclone
 33. Lashkari, H and Keykhosravi, GH. (2008), Statistical analysis of dusts in Razavi Khorasan province from 1993 to 2005, physical geography researches No.65 pp: 17-33
 34. Membery D. A., 1983, Low level wind profiles during the Gulf Shamal, Weather, 38, 18-24.
 35. Natsagdorj L., Jugder D and Chung Y. S. 2002, Analysis of dust storms observed in Mongolia during 1937-1999. Atmospheric Environment 37:1401-1411
 36. Rshnv, AS., 1388. Dust phenomenon Gbhardr Khuzestan province, quarterly rainfall, Ahvaz, Khuzestan province meteorological STATION.
 37. Omidvar, K. (2006), Review and analysis of sand storms in Yazd-Ardakan basin. Geographical researches quarterly.No.81 pp: 43-58
 38. Orlovsky, L., Orlovsky, N., Durdyev, A., 2004, Dust Storms in Turkmenistan, Journal of Arid Environments, Vol. 60, pp. 83-97.
 39. Stunder, B., L. Heffter, R. Draxler, 2007, Airborne Volcanic Ash Forecast Area Reliability, Weather and Forecasting, NO. 22, PP. 1132-1139, DOI: 10.1175/WAF1042.1
 40. Stunder B. J. B., 1997, NCEP Model Output-FNL ARCHIVE DATA, TD-6141, Prepared for National Climatic Data Center (NCDC). This document and archive grid domain maps are also available at <http://www.arl.noaa.gov/ss/transport/archives.html>.
 41. Squires, V. R., 2002, Dust and storm: An early warning of impending disaster.
 42. TAHMASBI Byrgany, AS. , Abdinejad, Gh., Nooshafarin, b. 1388, to study wind erosion and dust storms in Khuzestan and strategies to deal with it, grassland and forest Quarterly, No. 81, pp. 21 and 25
 43. The Journal of Earth Sciences and Mining, Second Year, No. 12, April 1386, pp. 10
 44. Wang, w., 2005, Asynoptic model on EST Asian dust emission and transport, Atmospheric science and air qulity conference, Bejin, China.
 45. Wang, W., Fang, Z.Y., 2006, Numerical Simulation and Synoptic Analysis of Dust, Emission and Transport in East Asia, Global and planetary change, Vol. 52, pp. 57-70.
 46. Wang, Y., Stein, A., Draxler, R., Rosa, D., and Zhang, X., 2011. Global sand and dust storms in 2008: Observation and HYSPLIT model verification, Atmospheric Environment 45, 6368-6381.
 47. Weihong, Q., Shaoyinshi, 2001, Variations of The Dust Storm in China and Its Climatic Ontrol, Journal of climate, Vol. 15, pp. 357-368.
 48. Wilkerson W.D., 1991, Dust and Sand Forecasting In Iraq and Adjoining Countries, AWS/TN--91/001, Air Weather Service, Scott Air Force Base, IL, 72 pp. [Available from USAF Environmental Technical Application Center, Scott Air Force Base, IL 62225-5008.].
 49. Werner M, Tegen I, Harrison SP, Kohfeld KE, Prentice IC. 2002, Seasonal and interannual variability of the mineral dust cycle under present and glacial climate conditions, J. Geophys. Res. 107:D24, doi: 10.1029/2002JD002365
 50. Zarrin A., Ghaemi H., Azadi M., Mofidi A., and Mirzaei E., 2011, The effect of Zagros Mountains on the formation and maintenance of Iran anticyclone using RegCM4, Meteorology and Atmospheric Physics, 112(3-4): 91-100, DOI: 10.1007/s00703-011-0134.
 51. Zolfaghari, c., C., ABEDZADEH., 1384, synoptic analysis of dust systems in West Iran, Journal of Geography and Development, No. 6, pp. 33-17.
 52. Zolfaghari, c., C, Immaculate pour, no., Shayegan October, 1390, Synoptic study of dust storms in western Iran during 1384 to 1388 (inclusive of wave A Case Study July 1388), Journal of Geography and Environmental Planning, year 22, No. 43, pp. 17-34.