

تحلیل سینوپتیک الگوهای توفان‌های گرد و غبار بوشهر از ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ مطالعه موردی: روز ۵ اسفندماه ۱۳۸۸

منوچهر فرج‌زاده‌اصل*

دانشیار دانشگاه تربیت مدرس

سعید رجایی نجف آبادی

دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم شناسی دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۵/۰۴ پذیرش نهایی: ۱۳۹۱/۰۲/۳۰

چکیده

برای مطالعه گرد و غبار استان بوشهر تمام طوفان‌های گرد و غبار این شهر استخراج گردیده سپس الگو بندی شده و به صورت مورد مطالعاتی ۵ اسفند ۱۳۸۸ انتخاب شد، سپس با استفاده از روش‌های ترسیمی و محاسباتی نقشه‌های سرعت و جهت باد در سطح زمین تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، میزان رطوبت جو، در ترازهای مختلف، به ویژه در سطح زمین، فشار سطح زمین، ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۸۵۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال و سرعت صعود قائم توده هوا از سطح زمین تا ۵۰۰ هکتوپاسکال ترسیم گردید. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که در رخداد مذکور، وقوع بلوکینک و پیچانه در ترازهای ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال، ناپایداری و همرفت شدید در تمام سطوح جوی از ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال و تاوایی مثبت یا سیکلونی در ترازهای جوی ۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال می‌باشد. همچنین ایجاد یک سیستم واپرخند در شمال دریای خزر، مانع از حرکت این سیستم بلوکه شده به سمت شرق گردیده است. در سطح زمین نیز در سودان و جنوب عربستان همرفت شدید حرارتی حاکم می‌باشد که تحت تاثیر موج‌های بادهای دینامیکی شده و ایجاد گرد و غبار می‌کند.

واژگان کلیدی: سینوپتیک، توفان گرد و غبار، چرخند، واپرخند، کم‌فشار سودانی، بوشهر.

مقدمه

امروزه توفان‌های گرد و غبار از نظر اقلیم سلامت و تاثیر آن بر روی سلامتی انسان، پوشش گیاهی و غیره دارای اهمیت فراوان می‌باشد. بیشترین مطالعات صورت گرفته بر روی گرد و غبار در کشور چین می‌باشد زیرا غرب چین به همراه منطقه Sahara در شمال آفریقا، از مراکز عمده تولید گرد و غبار در دنیا می‌باشند و به همین جهت مورد مطالعه زیادی در این مناطق گردیده است (Goudie, 2009). وقوع گرد و غبار تنها محدود به زمان حال نمی‌باشد و شواهد اقلیمی نشان از رویداد این واقعه در زمان‌های گذشته نیز دارد. عده‌ای از دانشمندان چون Yang و همکاران (۲۰۰۷) فراوانی رویداد توفان گرد و غبار و رابطه آن را با تغییرات اقلیم در شمال چین در طی ۱۰۰۰ سال گذشته بررسی کرده‌اند. آن‌ها از پدیده‌های اقلیمی باقی مانده از زمان‌های گذشته، به مانند توده‌های یخچالی، حلقه‌های درختان و دیگر اسناد تاریخی، به

E-mail: farjazam@modares.ac.ir

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۱۲۳۳۱۲۴

عنوان ابزاری برای این مطالعه استفاده کرده‌اند. اما از جمله مطالعات در مقیاس زمانی کوتاه‌تر و دقیق‌تر در کشور چین می‌توان به مطالعات صورت گرفته در منطقه Mongolia اشاره کرد. در این مطالعه، توفان‌های گرد و غبار این منطقه با استفاده از داده‌های آماری ۴۷ ایستگاه در بین سال‌های ۱۹۳۷ تا ۱۹۹۹ مطالعه شده است. در این مطالعه با استخراج نقشه‌های مختلف گرد و غبار نشان دادند که روزهای گرد و غبار در کوهستان، کم‌ترین فراوانی و در مناطق بیابانی بیشترین فراوانی را دارند. ۶۰ درصد از این توفان‌ها در فصل بهار، زمانی که رطوبت بین ۲۰ تا ۴۰ درصد است روی می‌دهد همچنین نتایج مطالعه نشان می‌دهد که بیشتر گرد و غبارها در طی روز و با سرعت باد متوسط ۶ تا ۲۰ متر در ثانیه شکل گرفته است (Natsagdorj et al., 2003). مواردی چون منطقه خشک و بیابانی، پهنه‌ای پوشیده از ماسه، بیابان‌های نمکی و رسی، کم بودن پهنه‌های پوشیده از گیاهان و سرعت باد شرایط را برای ایجاد گرد و غبار مستعد می‌کند (Orlovsky et al., 2005). این فرآیند باعث افزایش ذرات گرد و غبار به ویژه ذرات کوچکتر از ۱۰ میکرون، (Alpert et al., 2004) ذراتی که بیشترین اثر را بر روی پوشش گیاهی و سلامتی انسان دارد، می‌شود. افزایش میزان این ذرات به سرعت اصطکاک بر روی یک سطح زبر و خشن نیز بستگی دارند (Draxler, 2001).

no leM و همکاران (۲۰۰۷) رویداد گرد و غبار را بر روی جزایر مدیترانه (aLu dopmā) مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها با بررسی روزهای غیر ابری همراه با گرد و غبار دریافتند که در فصل گرم بر روی منطقه شمال و شمال غرب آفریقا، به دلیل دریافت انرژی تابشی فراوان، همواره همرفت شدید در سطح زمین روی می‌دهد و در ترازهای بالای جوی، به دلیل عمیق شدن موج بادهای غربی در تمام ترازها، به ویژه در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال و قرار گیری آن بر روی شمال آفریقا، باعث تشدید و جابجایی این ناپایداری همراه با گرد و غبار به سمت جزایر مدیترانه می‌گردد (Kocak et al., 2007).

به دلیل تغییراتی که امروزه در اقلیم ایجاد شده است و شرایط خاص جغرافیایی ایران به لحاظ واقع شدن در منطقه خشک و نیمه خشک و همجواری آن با کشورهای بسیار خشک و بیابانی همچون عراق و عربستان می‌باشد، اهمیت این مطالعه را دو چندان می‌کند.

از مجموعه کارهایی که در ایران بر روی گرد و غبار صورت گرفته است، می‌توان به کار لشکری و کی خسروی (۱۳۸۶)، اشاره کرد که به تحلیل آماری سینوپتیکی توفان‌های گرد و غبار استان خراسان رضوی در بین سال‌های ۱۹۹۳-۲۰۰۵ پرداخته‌اند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان می‌دهد که از عمده سامانه‌های تاثیرگذار برای ایجاد گرد و غبار در استان خراسان رضوی می‌توان به مرکز کم‌فشار بر روی محدوده کشور افغانستان و جنوب خراسان و در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، مرکز چرخندی با ارتفاع ۱۴۴ ژئوپتانسیل دکامتر در محدوده شمال و شمال شرقی افغانستان که زبانه آن جنوب شرق خراسان را در بر می‌گیرد اشاره کرد. در مقابل بر روی دریای خزر و ترکمنستان مرکز واچرخندی واقع شده است که ارتفاع این واچرخند به ۱۴۸ ژئوپتانسیل دکامتر می‌رسد. به این ترتیب شیو فشار و گرمایی شدید ایجاد شده و موجب وزش بادهای شدید، به خصوص در نیمه جنوبی استان خراسان رضوی می‌گردد.

ذوالفقاری و عابدزاده (۱۳۸۴) سیستم‌های سینوپتیک ایجاد کننده گرد و غبار در غرب کشور را در یک بازه زمانی پنج ساله از ۱۹۸۳ تا ۱۹۸۷ مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه از داده‌های ساعتی گرد و غبار، دید افقی، رطوبت نسبی، باد و دیگر عوامل سینوپتیکی از سطح زمین تا تراز ۵۰۰ استفاده شد. نتایج کار گویای این موضوع بود که پرفشار آזור همراه با سیستم‌های مهاجر بادهای غربی، مهمترین عوامل سینوپتیک تاثیرگذار بر سیستم‌های گرد و غبار منطقه به شمار می‌روند.

در ایران مرکزی، توفان گرد و غبار بیشتر تحت تاثیر خشکی زیاد محیط و وجود کویر و ماسه‌زارهای زیاد در این مناطق، به صورت محلی و متداول روی می‌دهد. امیدوار (۱۳۸۵) با استفاده از نقشه‌های سطح زمین تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال داده‌های سمت و سرعت باد، دید افقی، رطوبت، دما، ابر، فشار، و پدیده‌های گرد و غبار ایستگاه یزد -

اردکان و ایستگاه‌های اطراف، توفان‌های ماسه را در دشت یزد - اردکان مورد مطالعه قرار داده و به این نتیجه رسیده است که کم فشار دینامیکی که با جبهه سرد همراه می‌باشند، به همراه جریان شدید قائم هوا، ناپایداری شدید، همچنین عبور ناوهای در غرب منطقه و گرادیان فشار در این منطقه و اطراف، از عمده عوامل ایجاد این پدیده در دشت یزد - اردکان می‌باشد. از دیگر مطالعات می‌توان به کار فیاض (۱۳۸۴) اشاره کرد که با استفاده از داده‌های سنجش از دور بر اساس تفاوت‌های ناشی از بازتاب طیفی پدیده‌های زمینی بر روی تصاویر، همچنین کنترل زمینی، دامنه اثر فرسایش بادی و جریان‌های جوی موثر بر آن توفان‌های ماسه‌ای دشت سیستان را منشایابی کرده و درمی‌یابد که منشأ این توفان‌ها در سه منطقه پایین دست هامون، لبه غربی هامون هیرمند در ابتدای محل هامون سابوری به هیرمند و در منتهی‌الیه و لبه غربی هامون هیرمند می‌باشد که مطالعه ایرانمنش و همکاران (۱۳۸۴) که به وسیله عکس‌های ماهواره‌ای مطالعه‌ای مشابهی را انجام داده‌اند نیز این موضوع را تصدیق می‌کند.

مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که وجود باد با سرعت بیش از ۶ متر بر ثانیه، منطقه بیابانی با رسوبات ریز، رطوبت بین ۲۰ تا ۴۰ درصد در جو و نبود و یا کمبود پوشش گیاهی شرایط را برای ایجاد توفان گرد و غبار مستعد می‌کند. این شرایط بیشتر در مناطق خشک و بیابانی روی می‌دهد.

اهمیت مطالعه حاضر از این نظر است که بوشهر به عنوان یکی از شهرهای جنوب غرب کشور بر سر مسیر ورود گرد و غبارهای مهاجر که از کشورهای خشک همسایه از جمله کویت، عربستان و حتی شمال آفریقا به سمت ایران جریان دارند، قرار گرفته است و مطالعه شرایط وقوع گردو غبار در آن می‌تواند به عنوان پیشقراول ورود گرد و غبار به کشور تلقی شود. هدف از این مطالعه منشایابی طوفان‌های گرد و غبار بوشهر و دلایل سینوپتیک ایجاد کننده این رویداد می‌باشد که به عنوان مطالعه موردی بر روی روز ۵ اسفند ماه ۱۳۸۸ متمرکز شده است.

داده‌ها و روش‌ها

بوشهر در جنوب غرب ایران و هم مرز با استان‌های خوزستان در شمال غرب، فارس شمال و شمال شرق، هرمزگان در جنوب شرق و خلیج فارس در جنوب می‌باشد. مساحت استان بوشهر حدود ۲۷۰۶۵۳ کیلومتر مربع بوده و در ۲۷ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۶ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی نسبت به نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است.

در این مطالعه، داده‌های آماری هواشناسی ایستگاه فرودگاه بوشهر در میان سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ مورد مطالعه قرار گرفته و سپس تمام کدهای ۶، ۷، ۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴ و ۳۵ که مربوط به روزهای گرد و غبار و دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر می‌باشد (جدول ۱)، استخراج گردید، که بالغ بر ۷۵ مورد رویداد گرد و غبار گزارش شده بود. سپس با استفاده از داده‌های NCEP^۱ ماهواره هواشناسی NOVA^۲ و با ترسیم نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل، فشار سطح زمین و دمایی، الگوهای غالب شکل‌گیری گرد غبار در جنوب غرب استخراج و روز ۵ اسفند ماه ۱۳۸۸، را که در سال‌های اخیر با شدت بسیار بوشهر را تحت تاثیر خود قرار داده بود به عنوان مورد مطالعاتی انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت.

در مطالعه حاضر برای روز ۵ اسفند ماه ۱۳۸۸، نقشه‌های فشار سطح زمین، ارتفاع ژئوپتانسیل، جهت و سرعت باد، رطوبت جو و سرعت قائم حرکت هوا در بین ترازهای سطح زمین تا ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال از ۴۸ ساعت قبل از شکل‌گیری توفان گرد و غبار، ترسیم و تجزیه و تحلیل شد.

برای محاسبه انرژی پتانسیل جو در ترازهای مختلف از معادله زیر استفاده گردیده است (قائمی، ۱۳۸۶):

$$\phi = \frac{GMZ}{(R+Z)R} - \omega^2 \cos^2 \theta \left(R + \frac{Z}{2} \right) Z$$

^۱. National Centers for Environmental Prediction

^۲. NCEP/NCAR Reanalysis Project

برای محاسبه شیو فشار و رودباد از معادله زیر استفاده شده و نقشه‌های آن ترسیم شده است (قائمی، ۱۳۸۶):

$$\frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{g}{fT} \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)_p$$

$$\frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{g}{fT} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_p$$

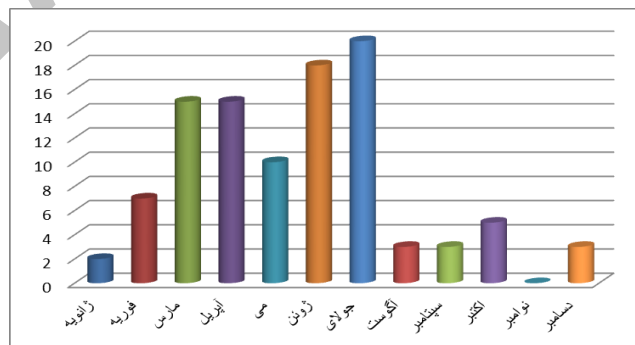
جدول ۱: کدهای دیده‌بانی سینوپتیک و وضعیت هوا در منطقه

کد	شرح
۶	هوا دارای گرد و غبار است ولی باد وجود ندارد
۷	باد ماسه و گرد و خاک را به هوا بلند کرده است
۹	طی یک ساعت گذشته توفان ماسه یا گرد و خاک اتفاق افتاده است
۳۰	توفان ماسه یا گرد و خاک سبک تا متوسط که در ساعات گذشته تضعیف شده است
۳۱	توفان ماسه یا گرد و خاک سبک تا متوسط که در ساعات گذشته تغییری نکرده است
۳۲	توفان ماسه یا گرد و خاک که طی ساعات گذشته شدیدتر شده است
۳۳	توفان ماسه یا گرد و خاک شدید که طی ساعات گذشته تضعیف شده است
۳۴	توفان ماسه یا گرد و خاک شدید که طی ساعات گذشته تغییری نکرده است
۳۵	توفان ماسه یا گرد و خاک شدید که طی ساعات گذشته شدیدتر شده است

نتایج و بحث

موقعیت خاص بوشهر به دلیل قرار گرفتن بر سر مسیر ورود کم‌فشار سودانی، بادهای غربی و تاثیرپذیری از پرفشار جنب حاره‌ای عربستان و همچنین همجواری با مناطق خشک داخلی و خارجی از جمله جنوب فارس و خوزستان در داخل کشور و کشورهای خشک حاشیه خلیج فارس، عربستان، عراق و حتی شمال آفریقا باعث شده است که یکی از شهرهایی مستعد برای رویداد گرد و غبار در جنوب کشور باشد. به طوری که طبق آمار سازمان هواشناسی در بین سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ بیش از ۱۰۰ مورد توفان گرد و غبار روی داده است، که در ۷۵ مورد از آن‌ها شرایط به مرز هشدار رسیده و در برخی از موارد، دید افقی به کمتر از ۱۰۰ متر کاهش یافته است.

بیشترین گرد و غبار در این ۷۵ مورد با شدت زیاد در فصل بهار و تابستان روی داده، و وقوع آن در فصل زمستان و اسفند ماه یک پدیده جوی تقریباً نادر می‌باشد، به شکلی که در ۴۵ سال مورد مطالعه، تنها در ۷ روز گرد و غبار سنگین با دید کمتر از ۱۰۰۰ متر ثبت گردیده (شکل ۱)، که مورد مطالعه در این پژوهش با دوام چند روزه خود یکی از شدیدترین گرد و غبارهای ثبت شده در ماه فوریه می‌باشد. شکل ۱ نشان دهنده توزیع زمانی تعداد روزهای همراه با گرد و غبار شدید در بوشهر می‌باشد.



شکل ۱: نمودار تعداد روزهای همراه با گرد و غبار در دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۰۵

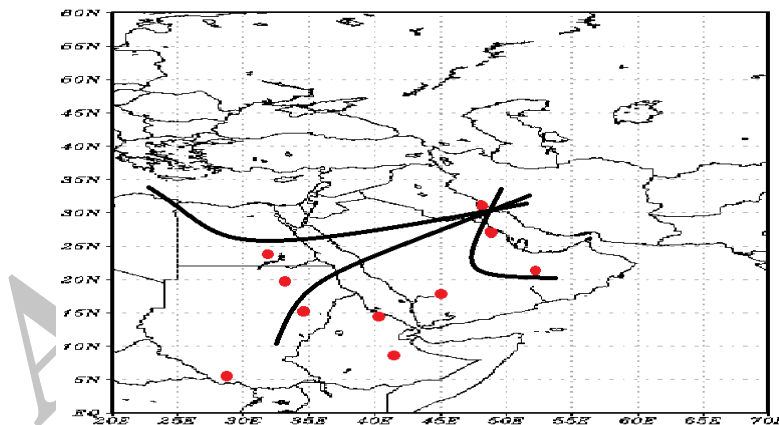
مطالعات صورت گرفته بر روی نقشه‌های سینوپتیک فشار و حرارتی سطح زمین و ارتفاع ژئوپتانسیل در ترازهای ۸۵۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال، حاکی از فعالیت چهار الگوی ایجاد گرد و غبار به شرح زیر می‌باشد که حالت کلی حرکت آن‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است:

الگوی نوع اول در فصل زمستان و پاییز در بوشهر و جنوب غرب کشور تحت تاثیر سامانه‌های بادهای غربی ایجاد می‌شود. در این فصول با حرکت کم فشار سودانی به سمت شمال، رفته رفته تحت تاثیر موج‌های بادهای غربی قرار گرفته، دینامیکی شده و ایجاد گردوغبار می‌کند. در فرایند دینامیکی شدن کم‌فشار سودان به دلیل عدم دسترسی به رطوبت و منشا گرفتن از بیابان‌های خشک آفریقا و سودان، ایجاد گرد و غبار کرده، سپس بر روی ناحیه شمالی عربستان و عراق تشدید شده، و از سمت بوشهر و خوزستان وارد ایران می‌شود.

الگوی نوع دوم اواخر بهار و اوایل تابستان تحت تاثیر پرفشار عربستان روی می‌دهد. در این زمان پرفشار عربستان بر روی مرکز عربستان واقع شده و غرب این پرفشار ناحیه مرکزی سودان و جنوب مصر را تحت تاثیر خود قرار داده است. از سوی دیگر در سطح زمین مراکز حرارتی بر روی جنوب مصر، سودان و جنوب غرب عربستان واقع شده که موجب همرفت خشک و ناپایداری در سطح زمین تا ترازهای میانی جو می‌گردد. این همرفت خشک در ترازهای فوقانی، تحت تاثیر پرفشار عربستان از جنوب و جنوب غرب کشور به داخل کشور وارد می‌شود.

در الگوی نوع سوم نیز که تحت تاثیر پرفشار عربستان روی می‌دهد، مرکز پرفشار عربستان بر روی شرق عربستان و دریای عدن واقع گردیده و حاشیه غربی این پرفشار در جنوب خلیج فارس و مرکز عربستان قرار دارد. در سطح زمین نیز با توجه به حرارت بالای سطح زمین در جنوب شرق و شرق عربستان همرفت خشک و ناپایداری تا ترازهای میانی جو روی داده، و با توجه جهت حرکت در پرفشار عربستان از جنوب و جنوب غرب خلیج فارس، از سمت هرمزگان و بوشهر وارد کشور می‌گردد.

الگوی نوع چهارم تحت تاثیر همرفت‌های محلی ایجاد می‌شود. در این الگو جنوب و جنوب غرب کشور، به همراه قسمت شمالی عربستان و مرکزی عراق با دریافت انرژی تابشی فراوان همرفت صورت گرفته و تحت تاثیر اختلاف فشارهای محلی و وزش باد، این هوای صعود کرده همراه با گرد و غبار به اطراف هدایت می‌کند.

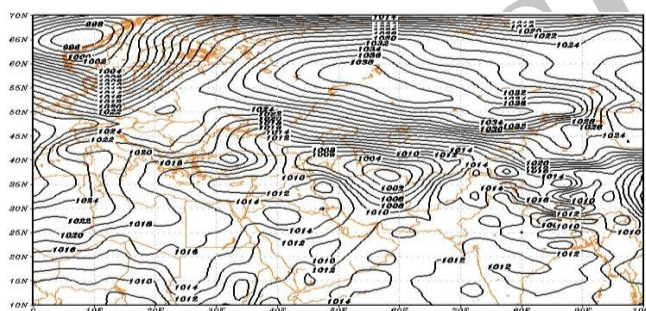


شکل ۲: الگوهای ورود گرد و غبار به کشور که با خطوط تیره مشخص شده است و نقاط قرمز رنگ نیز مراکز حرارتی سالیانه را نمایش می‌دهد

در رویداد گرد و غبار روز ۵ اسفند ماه ۱۳۸۸ با توجه به زمان آن که در فصل سرد سال می‌باشد، تحت تاثیر الگوی نوع اول یعنی کم فشار سودانی و موج‌های بادهای غربی ایجاد شده است. برای شکل‌گیری گرد و غباری با این شدت، نیاز به ناپایداری و صعود قائم شدید و همچنین هوای خشک از سطح تا ترازهای بالای جو می‌باشد، که در قسمت شرقی موج‌های غربی، جایی که تاوایی مثبت بوده، شرایط مناسبی برای این ناپایداری می‌باشد، به ویژه اگر هسته‌ای از هوای سرد بلوکه شده به همراه داشته باشد، این ناپایداری را تشدید می‌کند. از سوی دیگر حرکت کم‌فشار سودانی به سمت شمال و همرفت شدیدی حرارتی هوای خشک بر روی سودان و جنوب مصر باعث به حرکت در آمدن ذرات گرد و غبار و

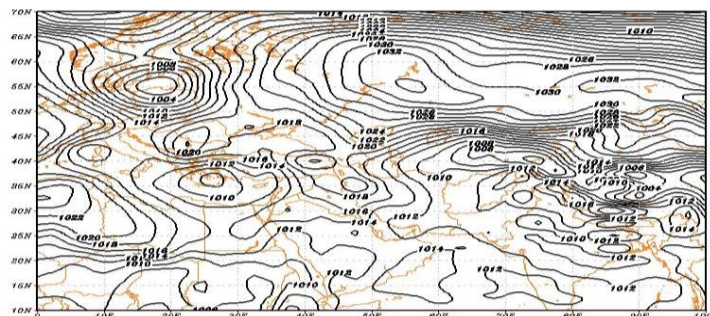
در پی آن، ایجاد گردوغبار می‌شود. بعضی از ذرات که اندازه آن‌ها کمتر از ۱۰ میکرون می‌باشد، تا مدت‌ها در جو معلق مانده و هم جهت با جریان وزشی هوا به اطراف منتقل می‌شود.

شکل ۳ نقشه‌های توزیع فشار را در ۴۸ ساعت قبل از گرد و غبار در منطقه نمایش می‌دهد. در این روز مرکز کم‌فشاری با فشار مرکزی ۱۰۰۸ هکتوپاسکال بر روی سودان واقع شده، که زبان‌های آن تا عربستان کشیده شده است. ناحیه مرکزی، شرق و شمال شرق ایران نیز، تحت تاثیر کم‌فشار واقع بر روی خراسان شمالی می‌باشد، که فشار مرکز آن تا ۱۰۰۰ هکتوپاسکال کاهش یافته است. از سوی دیگر بر روی سیبری پرفشاری واقع گردیده است، که فشار مرکزی آن به ۱۰۴۰ هکتوپاسکال می‌رسد و در امتداد آن پرفشاری دیگر، با فشار مرکزی ۱۰۳۸ هکتوپاسکال بر روی شمال روسیه بسته شده و منطقه وسیعی از شمال شرق اروپا تا شرق روسیه و نواحی شمالی کشور را تحت تاثیر خود قرار داده است. مراکز فشاری دیگری که این ناحیه را در سطح زمین تحت تاثیر خود قرار داده، پرفشار آزر می‌باشد، که فشار آن به ۱۰۲۸ هکتوپاسکال می‌رسد و زبان‌های بریده‌ای از آن، به سمت شرق حرکت کرده و بر روی شمال عربستان و عراق واقع شده، که با فشار مرکزی ۱۰۱۶ هکتوپاسکال بسته شده است و حاشیه آن جنوب غرب ایران یعنی خوزستان و بوشهر را در بر می‌گیرد.



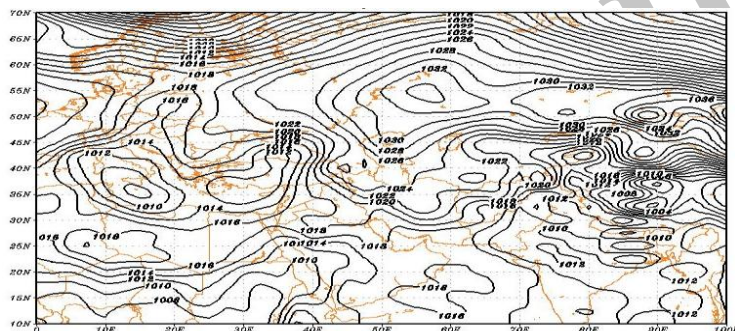
شکل ۳: نقشه فشار سطح زمین در ۴۸ ساعت قبل از گرد و غبار

در روز ۴ اسفند ماه ۱۳۸۸ (شکل ۴)، زبان‌های از پرفشار واقع در شمال کشور، یعنی پرفشار سیبری که منطقه وسیعی را تحت تاثیر خود قرار داده است، به سمت ایران حرکت کرده و بر روی شمال غرب و غرب کشور به صورت منحنی بسته با فشار مرکزی ۱۰۱۸ هکتوپاسکال بسته شده، و با پرفشاری که به صورت سلول بسته‌ای از پرفشار آزر جدا شده و بر روی شمال عربستان و عراق قرار گرفته است، ادغام گردیده و منطقه وسیعی را که حاشیه آن تا مصر ادامه می‌یابد را تحت تاثیر خود قرار داده است. بر روی شمال و شمال شرق آفریقا، زبان‌های از پرفشار آزر، با فشار مرکزی ۱۰۲۶ هکتوپاسکال، در حال پیش‌روی به سوی غرب، و ادغام شدن با پرفشار واقع بر روی عربستان و عراق می‌باشد. بر روی دریای مدیترانه نیز، کم‌فشار با فشار مرکزی ۱۰۰۸ هکتوپاسکال تشکیل و موجب جریان‌های منطقه‌ای هوا و ناپایداری شده است.



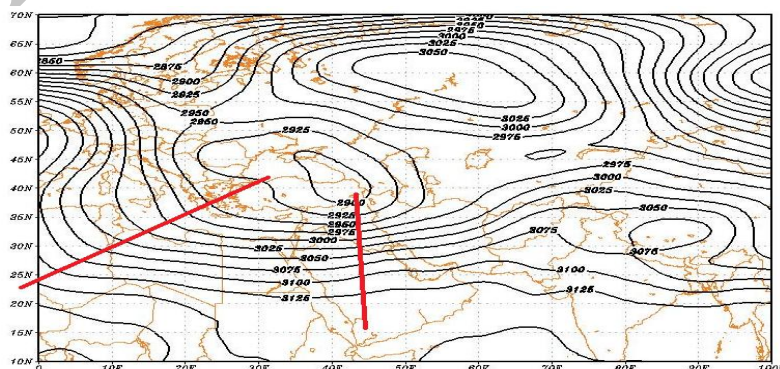
شکل ۴: نقشه فشار سطح زمین در ۲۴ ساعت قبل از گرد و غبار

شکل ۵، شرایط روز گرد و غبار را نشان می‌دهد. در این روز مرکز پرفشار سیبری کاملاً فعال‌تر شده و زبانه آن در غرب کشور، تا عرض جنوبی کشیده شده، و در آن‌جا با پرفشار آזור بر روی کشور مصر برخورد کرده، ادغام شده، و منطقه پرفشاری از سیبری، شمال روسیه و شمال شرق اروپا، شمال دریای خزر، شمال غرب تا جنوب غرب ایران، ترکیه، سوریه، عراق، شمال عربستان و کل شمال تا شمال شرق آفریقا را ایجاد کرده است. از سوی دیگر زبان‌های از فشار کم از سمت سودان و منتهی‌الیه جنوبی مصر به سوی مرکز و شرق عربستان و از آن‌جا به سمت جنوب خلیج فارس حرکت کرده و در این منطقه با پرفشاری که از سمت شمال آمده برخورد می‌کند، در تراز بالا نیز با عمیق شدن ناوه بادهای غربی، این کم‌فشار دینامیکی شده، و ایجاد ناپایداری می‌کند، ولی به دلیل این که ناپایداری درست در قلب خشکی‌های عربستان و تحت تاثیر کم‌فشار سودانی ایجاد شده است، تنها هوای خشک همراه با گرد و غبار به همراه داشته، و پرفشار سیبری و آזור با قرار گرفتن بر روی دریای مدیترانه و خلیج فارس مانع از تزریق رطوبت به این توده هوای ناپایدار شده همراه با گرد و غبار، می‌شوند، و تنها موجب شکل‌گیری گرد و غبار در بوشهر و مناطق اطراف شده است.



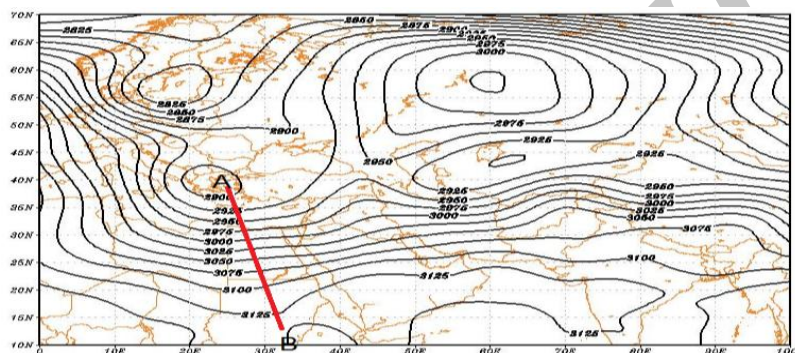
شکل ۵: نقشه گرد و غبار سطح زمین در روز گرد و غبار

نقشه‌های ارتفاعی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال تهیه شده برای ۴۸ ساعت قبل از شکل‌گیری گرد و غبار (شکل ۶) نشان می‌دهد که موج‌های بادهای غربی در این روز بر روی اروپا عمیق شده، دریای مدیترانه و شرق ایتالیا را تحت تاثیر قرار داده است. هسته هوای سردی در قسمت مرکزی ناوه، با منحنی ارتفاعی ۳۹۰۰ ژئوپتانسیل بسته شده است. این موج در دو محور عمیق شده است، یکی از محورهای آن شمال آفریقا و منطقه صحرا را تحت تاثیر قرار داده و محور دیگر بر روی شمال شرق عربستان، عراق، جنوب غرب و غرب کشور عمیق شده و این نواحی را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد. اما ناپایداری‌ها بر روی خشکی قرار گرفته و در سطح زمین جو پایداری حاکم است، بنابراین این رطوبتی برای بارش جذب نکرده و بارشی نیز ایجاد نمی‌کند. از دیگر پدیده‌های قابل ذکر در این روز واچرخند دینامیکی است که روی شمال روسیه واقع شده و با منحنی ۳۰۵۰ ژئوپتانسیل بسته شده است.



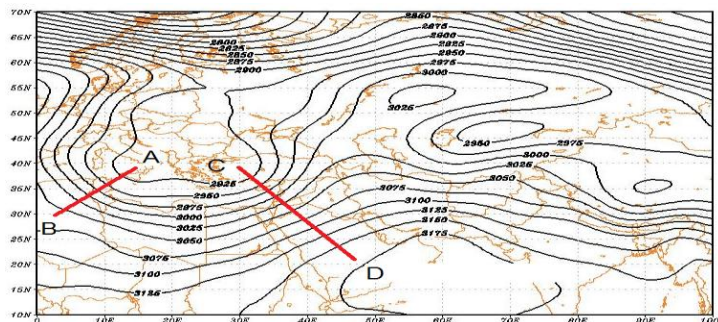
شکل ۶: نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل ۷۰۰ هکتوپاسکالی در ۴۸ ساعت قبل از رویداد گرد و غبار

در ۲۴ ساعت قبل از گرد و غبار، موج عمیق‌تر شده و هسته هوای سرد درست بر روی یونان بسته شده است (شکل ۷)، ناوه نسبت به روز قبل عمیق‌تر شده و قسمت شمال‌غربی آفریقا را کاملاً تحت تاثیر خود قرار داده است. این موج با هسته هوای سرد به ارتفاع ۲۹۰۰ ژئوپتانسیل که نسبت به روز قبل تغییری نداشته است، غرب و جنوب‌غرب کشور را بیشتر تحت تاثیر خود قرار داده، و محور آن، در حاشیه جنوبی ناوه با ارتفاع ۳۱۲۵ ژئوپتانسیل، تا قسمت‌های مرکزی سودان، امتداد یافته است. از دیگر سو، بر اساس نقشه‌های دمای سطح زمین (در این مقاله آورده نشده و تنها به صورت نقاط قرمز رنگی بر روی نقشه‌های وزش باد آورده شده است)، بر روی جنوب مصر، مرکز سودان و جنوب‌غرب عربستان همرفت حرارتی حاکم است. این همرفت تا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال ادامه پیدا کرده و از این منطقه به بعد تحت تاثیر جریان بادهای غربی به سمت شمال‌شرق هدایت می‌شوند. از سوی دیگر در شمال دریای خزر یک سامانه واچرخند مشاهده می‌گردد که ارتفاع مرکزی آن به ۳۰۲۵ ژئوپتانسیل می‌رسد. وجود این واچرخند مانع از حرکت رو به شرق مرکز چرخند مدیترانه می‌گردد که این موضوع باعث دوام بیشتر این ناپایداری‌ها بر روی شمال آفریقا شده است.



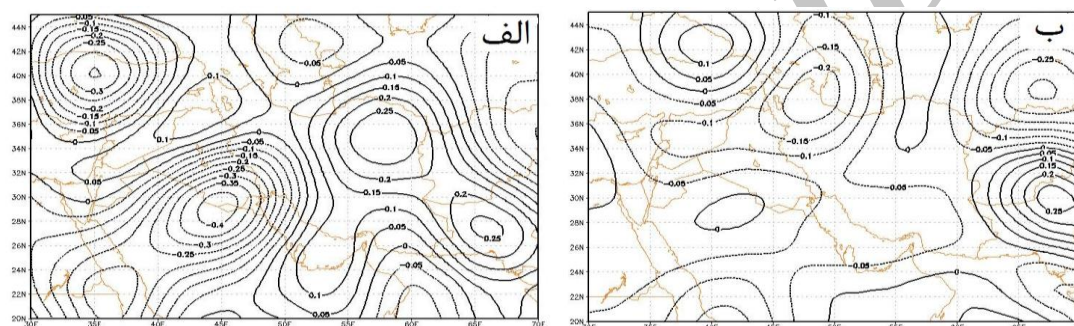
شکل ۷: نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل ۷۰۰ هکتوپاسکالی در ۲۴ ساعت قبل از رویداد گرد و غبار

شکل ۸، نقشه ارتفاعی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در روز گرد غبار را نمایش می‌دهد. در این روز هسته هوای سرد مرکز ناوه از بین رفته و تبدیل به یک ناوه عمیق از شمال غرب اروپا تا مرکز سودان شده است، و غرب و شمال‌غرب ایران را در بر می‌گیرد. ارتفاع مرکزی آن به ۲۹۲۵ ژئوپتانسیل می‌رسد و با دو محور متمایز قابل تشخیص می‌باشد، که غرب و جنوب‌غرب ایران درست در سمت شرق راستای محور C₃D که امتداد آن شمال‌غرب به جنوب‌شرق می‌باشد، قرار دارد. در این روز واچرخند شمال دریای خزر رفته رفته در حال از بین رفتن است و موج‌های بادهای غربی در حال ادامه حرکت به شرق می‌باشند و ایران را تحت تاثیر خود قرار داده‌اند. این ناوه کاملاً بر روی خشکی‌های شمال و شرق آفریقا، عربستان، عراق و غرب ایران عمیق شده و با توجه به حرکت سیکلونی درون موج، هوای خشکی را که بر روی سودان و مرکز عربستان؛ در اثر همرفت و ناپایداری هوای خشک، دینامیکی شده، و گرد و غبار صعود کرده همراه با این ناپایداری را به سمت ایران هدایت می‌کند. از دیگر سوی مرکز واچرخند دینامیکی دیگری درست بر روی جنوب‌شرق عربستان، یمن و خلیج عدن واقع شده، که با توجه به جریان هوای واچرخندی درون آن، هوای همراه با گرد و غبار صعود کرده، بر اثر همرفت خشک بر روی عربستان را همسو با موج‌های بادهای غربی، را به سوی جنوب و جنوب‌غرب کشور هدایت کرده و ایستگاه مورد مطالعه را تحت تاثیر آلودگی خود قرار می‌دهد.



شکل ۸: نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل در روز رویداد گرد و غبار

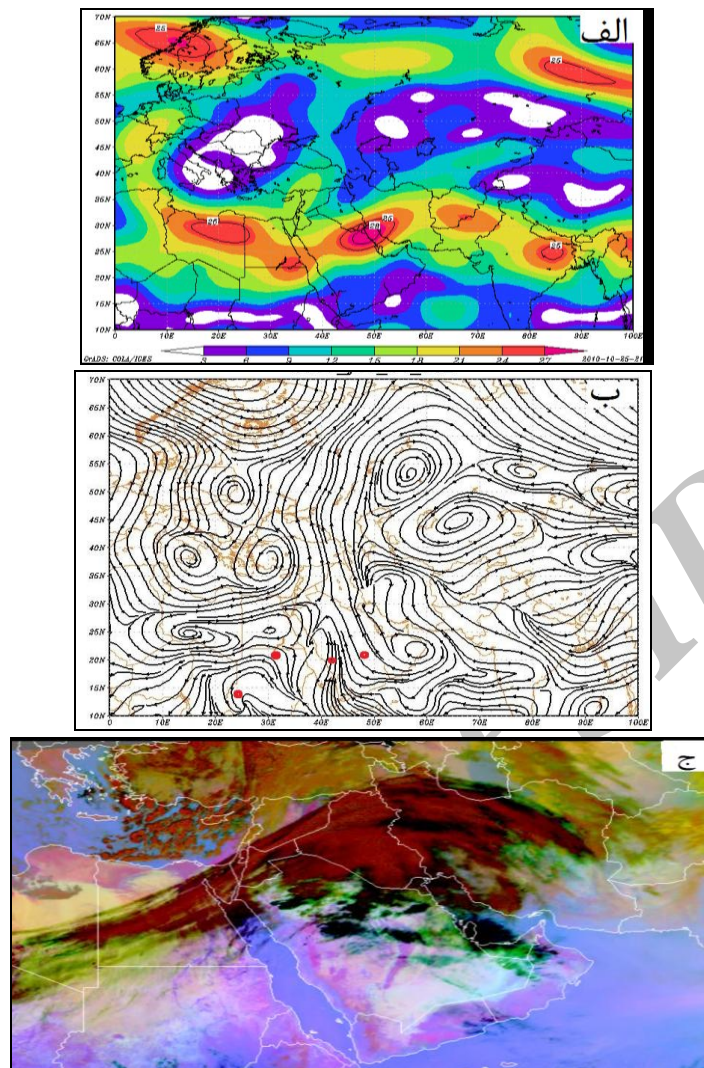
بر اساس نقشه‌های صعود قائم جو (امگا) ناپایداری‌ها از سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ادامه پیدا کرده و قسمتی از آن جنوب غرب ایران را در بر می‌گیرد (شکل ۹) این ناپایداری‌ها باعث صعود قائم شدید در منطقه گردیده؛ ولی صعود کاملاً در منطقه خشک و بیابانی می‌باشد که موجب صعود هوای همراه با گرد و غبار شده است.



شکل ۹: الف) صعود قائم توده هوا در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ب) صعود قائم توده هوا در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال

شکل ۱۰ جهت باد را در روز گرد و غبار نشان می‌دهد. مرکز واچرخند واقع بر روی عربستان با توجه به حرکت خود مسیری طولانی را بر روی خشکی و مناطق بیابانی از جنوب عربستان به سمت شمال طی می‌کند. از سوی دیگر مرکز چرخندی واقع بر روی دریای مدیترانه که تحت تاثیر هوای خشک واقع بر روی سودان و جنوب مصر قرار دارد با واچرخند واقع بر روی عربستان هم مسیر شده و گرد و غبار حاصل همرفت و صعود قائم توده هوا در زیر موج بادهای غربی را که تماماً در منطقه بیابانی شکل گرفته‌اند را به سوی منطقه وسیعی شامل؛ شمال عربستان، جنوب و غرب ایران، عراق، سوریه و ترکیه منتقل کرده و تا شمال کشور ادامه می‌یابد، اما از سوریه و ترکیه با مرطوب تر شدن جو، از غلظت گرد و غبار کاسته می‌شود. (شکل ۱۰-ج) در شکل ۱۰ نقاط قرمز رنگ مناطقی را نمایش می‌دهد که با جذب حرارت فراوان همرفت حرارتی هوای خشک همراه با گرد و غبار صورت گرفته است.

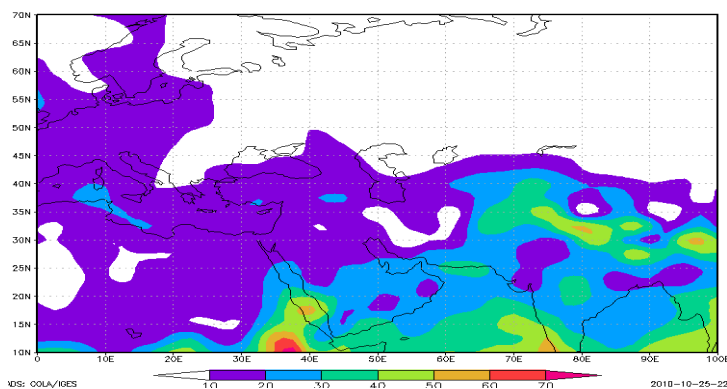
هسته کم‌ارتفاعی که بر روی شرق دریای مدیترانه و شمال آفریقا ایجاد شده با توجه به ماهیت آن با هسته هوای سرد همراه است و پربند واقع در پشت ناوه، مستقیماً هوای سرد شمال اروپا را به مرکز ناوه تزریق می‌کند و بر شدت ناپایداری آن می‌افزاید. در دیگر سو، پرفشار جنب حاره‌ای که بر روی عربستان واقع شده است و با توجه به ماهیت شکل‌گیری دارای هوای گرم می‌باشد، و این امر باعث ایجاد شیو فشار و رودباد در میان این دو مرکز فشار گردیده است.



شکل ۱۰: الف) نقشه رودباد تراز ۶۰۰ هکتوپاسکال ب) جهت باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در روز گرد و غبار و نقاط قرمز رنگ نمایش دهنده نقاط همرفت هوای خشک و همراه با گرد و غبار می‌باشد ج) عکس ماهواره‌ای روز گرد و غبار

با توجه به شکل ۱۰ قسمت الف که نقشه رودباد را در تراز ۶۰۰ هکتوپاسکال نمایش می‌دهد، گفته‌های فوق را تصدیق می‌کند. در بین مرکز کم‌ارتفاع واقع بر روی دریای مدیترانه و پرفشاری که مرکز آن بر روی جنوب عربستان واقع شده، گرادیان شدید حرارتی در تمام ترازهای جوی ایجاد شده است. مرکز چرخندی واقع بر روی دریای مدیترانه در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال با ارتفاع مرکزی ۲۹۲۵ ژئوپتانسیل و در مقابل مرکز فشار واقع بر روی قسمت جنوبی عربستان با ارتفاع مرکزی ۳۱۷۵ ژئوپتانسیل باعث ایجاد شیو فشاری حدود ۳۰۰ ژئوپتانسیل و ایجاد باد شدید گردیده، به شکلی که در تراز ۶۰۰ هکتوپاسکال به سرعت رود باد تبدیل شده است.

شکل ۱۱، رطوبت جو را از سطح زمین تا ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال نمایش می‌دهد. برای ایجاد گرد و غبار معمولاً کمتر از ۴۰ درصد نیاز می‌باشد. بر اساس این شکل، در روز گرد و غبار، میزان رطوبت بر روی ایران، جنوب و غرب کشور کمتر از ۲۰ درصد می‌باشد. در نتیجه، شرایط ناپایداری کاملاً با هوای خشک همراه شده و گردوغبار در غرب و جنوب غرب کشور و کشورهای مجاور از جمله عربستان، عراق و قسمتی از سوریه شکل گرفته است.



شکل ۱۱: میانگین رطوبت جو از سطح زمین تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

نتیجه گیری

بر اساس یافته‌های تحقیق، شهر بوشهر تحت تاثیر چهار الگوی گرد و غباری می‌باشد که شامل بادهای غربی، پرفشار عربستان که از سودان منشأ گرفته و از غرب و جنوب غرب وارد ایران می‌شود، پرفشار عربستان که از سمت مرکز و جنوب شرق عربستان منشأ گرفته و از جنوب و جنوب غرب به سمت ایران می‌آید و در نهایت الگوهای محلی می‌باشد. در روز ۵ اسفندماه ۱۳۸۸ زبانه پرفشار واقع بر روی سیبری فعال تر گردیده، و فشار مرکزی آن ۱۰۳۴ هکتوپاسکال افزایش یافته است، و زبان‌های از آن با فشار ۱۰۱۸ هکتوپاسکال تا شمال شرق مصر در ساعتی قبل از ایجاد گرد و غبار، نزول یافته است. پرفشار آزور نیز در همین زمان فعال تر شده و فشار مرکزی آن ۱۰۲۶ هکتوپاسکال شده است؛ گسترش افقی آن باعث ادغام شدن آن با زبانه پایین آمده سیبری بر روی کشور مصر گردیده است. از سوی دیگر بر روی دریای مدیترانه موج بادهای غربی عمیق تر شده و یک ناوه عمیق را ایجاد کرده؛ که تا شمال منطقه صحرا را تحت تاثیر خود قرار داده و ایجاد ناپایداری از سطح ۸۵۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال کرده است. وجود یک سیستم واپرخند که از سطح ۸۵۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی شمال دریاچه خزر دیده می‌شود مانع از حرکت رو به شرق چرخند واقع بر روی دریای مدیترانه شده و باعث شده تا ۴۸ ساعت قبل از وقوع گرد و غبار در روز ۵ اسفند ماه ۱۳۸۸ سیستم بلوکه شده بر روی دریای مدیترانه مشاهده گردد که با مرکز ارتفاعی ۲۹۲۵ ژئوپتانسیل بسته شده، و باعث ناپایداری شدیدی در این منطقه شده است، اما وجود پرفشار جنب قطبی و ادغام شدن آن با پرفشار آزور بر روی کشور مصر مانع تزریق رطوبت به همرفت‌های حرارتی سطح زمین، که ایجاد ناپایداری تا طبقات بالایی جو کرده، شده است و تنها حاصل سیستم حرارتی سودان و دینامیکی شده آن، سپس حرکت به سمت جنوب و جنوب غرب کشور؛ همرفت شدید حرارتی و ایجاد گرد و غبار بوده است.

مقایسه این مطالعه با موارد مشابه چون کار ذوالفقاری و عابدزاده (۱۳۸۴) بیانگر این موضوع است که شرایط سینوپتیکی ایجاد گرد و غبار شامل پرفشار آزور همراه با سیستم‌های مهاجر بادهای غربی می‌باشند و مهمترین منبع گرد و غبارهای وارد شده به غرب ایران، صحرای سوریه، صحرای نفوذ در شمال شبه جزیره عربستان و شمال صحرای کبیر آفریقا می‌باشد. بیشترین تاثیر کم فشارهای حرارتی شبه جزیره عربستان در گرد و غبار منطقه‌ای مورد مطالعه هم مربوط به زمانی است که آن‌ها به ایران نزدیکتر بوده و همچنین توسط یک فرود مناسب در سطح بالا حمایت می‌شود به عبارت دیگر زمانی این اتفاق می‌افتد که این سیستم‌ها ویژگی حرارتی-دینامیکی پیدا می‌کنند. اما تفاوتی که این مطالعه با مطالعات قبل نشان می‌دهد، الگو بندی شرایط سینوپتیکی ایجاد کننده گرد و غبار و همچنین نزول پرفشار سیبری تا شمال شرق مصر و ادغام شدن آن با پرفشار آزور می‌باشد که مانع رسیدن رطوبت، و تشدید شدن این مخاطره طبیعی شده است.

منابع

- ۱- امیدوار کمال؛ ۱۳۸۵؛ بررسی و تحلیل سینوپتیکی طوفان‌های ماسه در دشت یزد-اردکان؛ فصل‌نامه‌ی تحقیقات جغرافیایی شماره تابستان؛ ۲۱، ۲، پیاپی ۸۱: صص ۴۳-۵۸.
- ۲- ذوالفقاری حسن، عابدزاده حیدر؛ ۱۳۸۴؛ تحلیل سینوپتیک سیستم‌های گرد و غبار در غرب ایران؛ فصل‌نامه‌ی جغرافیا و توسعه شماره پاییز و زمستان؛ ۳، پیاپی ۶: صص ۱۷۳-۱۸۸.
- ۳- عرب‌خدری محمود، ایران منش فاضل؛ ۱۳۸۴؛ بررسی امکان تعیین جهت بادهای فرساینده با استفاده از ردیابی طوفان‌ها در تصاویر ماهواره‌ای؛ فصل‌نامه‌ی تحقیقات مرتع و بیابان ایران؛ ۱۲، پیاپی ۱۸: صص ۲۱-۳۹.
- ۴- علیجانی، بهلول. (۱۳۸۵): اقلیم‌شناسی سینوپتیک؛ انتشارات سمت.
- ۵- فیاض محمد؛ ۱۳۸۴؛ بررسی منشا طوفان‌های ماسه‌ای دشت سیستان با استفاده از اطلاعات دورسنجی؛ فصل‌نامه‌ی تحقیقات مرتع و بیابان ایران؛ ۱۲، ۱، پیاپی ۱۸: صص ۴۱-۶۲.
- ۶- قائمی هوشنگ؛ (۱۳۸۶): آب و هواشناسی عمومی، سمت، چاپ چهارم، صص ۹-۱۰، صص ۴۴۱-۴۵۰.
- ۷- کاویانی محمد رضا، علیجانی بهلول؛ (۱۳۸۰): مبانی آب و هواشناسی، انتشارات سمت، چاپ هشت، ص ۲۳۹.
- ۸- لشکری حسن، کیخسرو قاسم؛ (۱۳۸۷): تحلیل آماری توفان‌های گرد و غبار استان خراسان رضوی در فاصله زمانی (۲۰۰۵-۱۹۹۳)؛ فصل‌نامه‌ی پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۵؛ صص ۳۳-۱۷.
- ۹- لشکری حسن؛ (۱۳۸۱): مسیریابی سامانه‌های سودانی ورودی به ایران؛ فصل‌نامه‌ی مدرس؛ بهار ۱۳۸۱؛ شماره ۲ (پیاپی ۲۵)؛ صص ۱۳۳-۱۵۰.
- ۱۰- لشکری حسن؛ (۱۳۸۲): مکانیسم تکوین، تقویت و توسعه مرکز کم فشار سودان و نقش آن بر روی بارش‌های جنوب و جنوب‌غرب ایران، فصل‌نامه‌ی پژوهش‌های جغرافیایی، زمستان ۱۳۸۲، شماره ۴۶؛ صص ۱-۱۸.
- ۱۱- مفیدی عباس، زرین آذر؛ (۱۳۸۴): بررسی سینوپتیکی تاثیر سامانه‌های کم‌فشار سودانی در وقوع بارش‌های سیل‌زا در ایران، فصل‌نامه‌ی تحقیقات جغرافیایی شماره تابستان؛ ۲۰، ۲، پیاپی ۷۵: صص ۱۱۳-۱۳۶.
- 12- Alpert P, Kishcha P, Shtivelman A, Krichak S.O, Joseph J.H; (2004): Vertical Distribution of Saharan Dust Based on 2.5-Year Model Predictions; Atmospheric Research 70. Pp. 109-130.
- 13- Kocak Mustafa, Mihalopoulos Nikos, Kubilay Nilgun; (2007): Contributions of Natural Sources to High PM10 and PM2.5 Events in The Eastern Mediterranean; Atmospheric Environment 41 Pp. 3806-3818.
- 14- L. Orlovsky, N. Orlovsky, A. Durdyev, (2005): Dust storms in Turkmenistan; Journal of Arid Environments 60 Pp. 83-97.
- 15- Meloni. D, Di Sarra. A, Monteleone. F, Pace. G, Piacentino. S, Sferlazzo. D. M, (2008): Seasonal Transport Patterns of Intense Saharan Dust Events at The Mediterranean Island of Lampe Dusa; Atmospheric Research 88 Pp. 134-148.
- 16- R. Draxler Roland, A. Gillette Dale, S. Kirkpatrick Jeffrey, Heller Jack, (2001): Estimating PM10 Air Concentrations From Dust Storms in Iraq, Kuwait and Saudi Arabia; Atmospheric Environment 35 Pp. 4315-4330.
- 17- R. Draxler Roland, A. Gillette Dale, S. Kirkpatrick Jeffrey, Heller Jack; S. Goudie Andrew, 2009; Dust Storms: Recent Developments; Journal of Environmental Management 90 Pp. 89-94.
- 18- Yang Bao, Bra` Uning Achim, Zhang Ziyin, Dong Zhibao, Esper Jan, (2007): Dust Storm Frequency and Its Relation to Climate Changes in Dust Storm as Inferred From a Series of Observations in The Northern China During The Past 1000 Years; Atmospheric Environment 41 Pp. 9288-9299.