

بررسی و تحلیل هم‌دید شدیدترین توفان‌های سیاه و گرد و غباری در فصول مختلف استان یزد

کمال امیدوار: استاد اقلیم‌شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران *

وصول: ۱۳۹۱/۴/۲۰ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۱/۲۱، صص ۹۹-۱۱۸

چکیده

یکی از مخاطرات طبیعی که امروز موجب سلب آسایش مردم به ویژه در نواحی خشک و بیابانی جهان و ایران می‌شود، توفان‌های گرد و غباری است. در این پژوهش با استفاده از داده‌های سمت و سرعت باد، دید افقی، فشار، دما، رطوبت، ابر و پدیده گرد و غبار ایستگاه‌های هم‌دید منطقه، نقشه‌های هم‌دید سطح زمین، ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال، امگا، بردار باد، رودباد، وزش رطوبتی و چرخندگی و داده‌های جو بالای ایستگاه یزد، توفان‌های سیاه و گرد و غباری سطوح پایین جو استان در ۱۷ دوره انتخابی نمونه در طول سالهای ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۹ بررسی شده است. با توجه به این که این توفان‌ها در سه فصل رخ می‌دهند آنها را به سه فصل سال تقسیم و شدیدترین آن‌ها از نظر کاهش دید افقی، تندی باد و فراگیر بودن در سطح استان تحلیل شده است. نقشه‌های مورد نیاز از دو روز قبل از شروع گرد و غبار تا روز اوج آن از پایگاه داده‌های NCEP/NCAR اخذ گردید و در نرم افزار GrADS ترسیم شد. نتایج تحقیق سه نوع توفان گرد و غبار و بادهای شدید در فصول پاییز، زمستان و بهار را نشان می‌دهد. نوع اول توفان پاییزی (توفان ۲ اکتبر ۱۹۹۷) وجود گرادیان فشار بین جنوب و نواحی مرکزی ایران و وجود ناوه ای با دامنه ای عمیق در ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال در غرب ایران و استان یزد است که این ناوه نتوانسته از نظر دما و رطوبت به خوبی تغذیه شود. نوع دوم توفان زمستانی (توفان ۲۲ فوریه ۲۰۰۹) در اثر وجود مرکز کم فشار سطح زمین بر روی استان یزد و همراهی آن با ناوه‌های عمیق سطوح بالایی و همچنین گذر جبهه سرد از استان و برخورد توده هوای سرد پشت جبهه با توده هوای گرم حاکم بر منطقه است. نوع سوم توفان بهاری (توفان ۲۹ مه ۲۰۰۳) استقرار سلول کم فشار در سطح زمین، کج شدگی محور ناوه سطوح فوقانی جو در غرب ایران و حرکت سریع آن و ارسال امواج کوتاه بر روی ایران مرکزی و استان یزد به همراه عبور جبهه سرد ضعیف و خشک از شمال غرب سبب ایجاد جریان‌های شدید بالا رو، ناپایداری زیاد هوا و توفان سیاه و گرد و غبار بسیار شدید در استان یزد شده و دید افقی را به صفر رسانده است. بیشتر این توفان‌ها در ساعت‌های بعد از ظهر و در ماه مه رخ داده و بادهای شدید آن عمدتاً از غرب تا شمال غرب می‌وزند.

واژه‌های کلیدی: گرد و غبار، توفان، نقشه هم‌دید، ناوه، استان یزد.

مقدمه

در این مناطق به دلیل کمبود رطوبت و پوشش گیاهی، چسبندگی ذرات خاک به یکدیگر کاهش یافته و بادهای نسبتاً قوی می‌تواند ذرات با قطر کمتر از ۰/۱

در مناطق خشک و بیابانی، شرایط برای شکل‌گیری توفان‌های گرد و غبار بسیار مناسب است.

جو وزیده شوند، اما سرچشمه‌های اصلی گرد و غبار مشتق شده از کانی‌های خاک در مناطق بیابانی واقع شده است. توفان‌های گرد و غبار به وسیله تخلیه مواد از سطوح بیابانی و سپس به جاگذاری آنها در جای دیگر به شکل گیری پدیده‌های متنوع ژئومورفولوژیکی کمک کند (گودی و میدلتون، ۲۰۰۶، ترجمه یاراحمدی، ۱۳۹۰: ۱۸ و ۲۲).

توفان‌های گرد و غبار در نقاط مختلف جهان به اسامی گوناگونی خوانده می‌شود، مثلاً در شمال غربی هندوستان به آن آندهای^۶، در آفریقا و کشورهای عربی هابوب^۷ و در برخی مناطق دیگر به آن فانتوم^۸ به معنای شیطان گفته می‌شود (شیگونگ^۹، ۲۰۰۰: ۳۰). بر اساس توافق سازمان هواشناسی جهانی، هرگاه در ایستگاهی سرعت باد از ۱۵ متر بر ثانیه تجاوز کند و دید افقی به علت گرد و غبار به کمتر از ۱۰۰۰ متر برسد توفان گرد و غبار گزارش می‌شود. در کشورهای چین و هندوستان، به عنوان دو کشور پیشرو در مطالعه توفان‌های گرد و غبار و شن، تعریف‌ها و تقسیم‌بندی‌های متفاوتی برای این توفان‌ها ارائه شده است که به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود. در چین، زمانی که ذرات ماسه و گرد و غبار در یک مکان به هوا بلند شود و دید افقی را به کمتر از یک کیلومتر کاهش دهد، پدیده توفان گرد و غبار و یا توفان ماسه گزارش می‌شود (لیو، ۲۰۰۷: ۲۴۳). در سال ۱۹۷۹ اداره هواشناسی مرکزی چین و همچنین میدلتون (۱۹۹۷) چهار طبقه مختلف برای توفان‌های گرد و

میلیمتر را به صورت معلق در هوا درآورده و توفان گرد و غبار ایجاد نمایند. گودی و میدلتون^۱ (۲۰۰۶) در زمینه تاثیر گردوغبار بر سلامتی انسان چنین نتیجه گرفتند که برخی وضعیت‌های بهداشتی را می‌توان در تاثیر گردو غبار بیابان ردیابی نمود که بر سلامت انسان موثر است. استنشاق مستقیم ذرات ریز می‌تواند باعث و یا تشدید کننده بیماری‌های مختلف به ویژه تنگی نفس باشد. گاهی اوقات این توفان‌ها فراتر از مرز قاره‌ها پیش می‌روند. به عنوان نمونه، انتقال گسترده ذرات گرد و غبار از آسیا به جو اقیانوس آرام شمالی و قاره آمریکای شمالی کاملاً اثبات شده است (لیو^۲، ۲۰۰۷: ۲۴۴). توفان‌های گرد و غبار اثرات مستقیمی بر آلودگی هوا، اختلال در سامانه‌های حمل و نقل، شیوع بیماری‌های تنفسی و مشکلات بینایی و عفونی، آلودگی آب‌های سطحی، فضاها شهری، ساختمان‌ها (جانسون^۳، ۱۳۷۶: ۱۵۴) و به طور کلی آلودگی محیط زیست دارند. به عنوان مثال در جزایر کارائیب، تپه‌های مرجانی به آلودگی دچار شدند که توسط ذرات گرد و غبار صحرا به آب دریا وارد شده بود (بالداسانو^۴، ۲۰۰۷: ۱). به نظر برخی دانشمندان، رسوبات گرد و غبار می‌تواند بر چرخه بیوژئوشیمیایی اقیانوس‌ها و اکوسیستم‌های زمینی تاثیرگذار باشد. همچنین تحقیقات دیگری نشان داده است که پدیده گرد و غبار را می‌توان به عنوان یکی از عوامل مهم تغییر اقلیم مطرح کرد (کیانگ^۵، ۲۰۰۷: ۸۲). رسوب‌های خشک بی حفاظ در هر محیطی می‌توانند به داخل

6 - Andhi
7 - Habob
8 - Phantom
9- Shigong

1-Goudie &Midelton
2 - Liu
3 - Jonson
4 - Baldasano
5 - Qiang

غبار معرفی نمودند که در جدول ۱ آمده است (وانگ و همکاران، ۲۰۰۳: ۵۵۹).

جدول ۱، طبقه بندی توفان‌های گرد و غبار (اداره

هواشناسی مرکزی چین، ۱۹۷۹)

نام علمی پدیده	نام فارسی	دید افقی (متر)
Dust Haze	غبار	کمتر از ۱۰۰۰۰
Blowing Dust	گرد و غبار	۱۰۰۰-۱۰۰۰۰
Dust Storm	توفان گرد و غبار	۵۰۰-۱۰۰۰
Dust Devil	گردباد	کمتر از ۵۰۰

توفان‌های گرد و غبار از ابعاد مختلف توسط محققان مورد بررسی قرار گرفته است. جکسون^۱ (۱۹۱۳) از اولین محققانی است که مطالعاتی درباره اثرات توفان‌های گرد و غبار بر جو انجام داده است. او تغییرات الکتریسیته جو را طی رویداد توفان گرد و غبار بررسی نمود. مطالعات عمیق تر و منظم بر روی توفان‌های گرد و غبار در اواخر دهه ۱۹۳۰ و در دهه ۱۹۶۰ شروع شد. رومانوف^۲ (۱۹۶۱) رژیم‌های گرد و غبار در آسیای مرکزی و قزاقستان جنوبی را بر پایه مشاهدات دوره‌ای ۵ ساله (۱۹۵۵-۱۹۵۱) مطالعه نمود، او نشان داد که بیشتر توفان‌ها در دو فصل بهار و تابستان ایجاد می‌شوند (اورلوسکی^۳، ۲۰۰۴: ۸۴). هامش^۴ و همکاران (۲۰۰۱) با مطالعه گرد و غبارهای تروپوسفری استرالیا به این نتیجه رسیدند که گرد و غبارهای این کشور همراه با فرودهای سطح بالا و جبهه‌های سرد سیکلون‌های زمینی است. گودی و میدلتون^۵ (۲۰۰۱) در زمینه توفان‌های شمال آفریقا و اثرات آن، پژوهش‌هایی انجام دادند و تعیین نمودند که

گرد و غبار این توفان‌ها تا نواحی مرکزی اروپا و حتی انگلستان، گسترش یافته است. با مطالعه روابط بین شکل‌گیری توفان‌های گرد و غبار و تحول همدیدی آنها در شمال شرق آسیا ثابت شده است که یک توفان گرد و غبار زمانی توسعه می‌یابد که یک سامانه به سمت ناحیه بیابانی حرکت کند (وانگ، ۲۰۰۵: ۱۳). وانگ و فانگ^۶ (۲۰۰۶) انتشار و جابه‌جایی ذرات گرد و غبار را از نظر آماری و همدیدی در آسیای شرقی مطالعه نموده و دریافتند سامانه‌های همدیدی که به سمت مناطق بیابانی شمال آسیا می‌وزند، زمانی که در سطح زمین بادهایی با سرعت بیش از ۶ متر بر ثانیه ایجاد کنند، باعث گسترش توفان‌های گرد و غبار می‌شوند. بر اساس مشاهدات ماهواره ای سالانه حدود ۲۰ میلیون تن غبار از گودال بادبلی نقطه ای واقع در صحرای آفریقا به حوضه آمازون جا به جا شده و مواد معدنی مورد نیاز جنگل‌های آمازون را تامین می‌کند. (کورن^۷، ۲۰۰۶: ۱). یانگ و همکارانش (۲۰۰۸) در شمال شرقی آسیا فرایندهای جوی مربوط به رخداد بهاری توفان‌های گرد و غبار را بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۶ مورد بررسی قرار دادند. در بهار ۲۰۰۶ چرخه‌های غیر عادی از دریاچه بایکال تا شمال چین را در بر گرفت که همراه با بادهای قوی جنوبی بر روی شمال شرق آسیا بود. همچنین افزایشی غیرعادی ۴ تا ۱۰ هکتوپاسکال برای پرفشار سطح زمین در شبه جزیره تاملیل^۸ ثبت شد که این پرفشار قوی، منبعی از هوای سرد را برای عبور متوالی توده هوای سرد بر روی نواحی بیابانی در بهار ۲۰۰۶ به وجود آورد و در

¹ - Jackson

² - Romanov

³ - Orlovsky

⁴ - Hamish

⁵ - Goudi & Midelton

6 - Wang & Fang

7 - Koren

8 - Tamil

با عنوان تحلیل هم‌دیدگی سامانه‌های گرد و غبار در غرب ایران، شرایط پیدایش و منشأ سامانه‌های گرد و غبار غرب کشور را در بازه زمانی ۵ ساله از ۱۹۸۳ تا ۱۹۸۷ بررسی نمودند. در این تحقیق مشخص شد که پرفشار آזור همراه با سامانه‌های مهاجر بادهای غربی، مهم‌ترین عامل هم‌دیدگی تأثیرگذار بر سامانه گرد و غبار در غرب کشور است. براتی و همکاران (۱۳۸۸) در بررسی نقش سامانه‌های فشار بر رخداد توفان‌های غباری استان خوزستان به این نتیجه رسیدند که وقوع جریان‌های شمال غربی از شرق عراق و جریان‌های غربی از شمال عربستان باعث انتقال گرد و غبار به این استان می‌شود. مفیدی و جعفری (۱۳۹۰) در بررسی علت وقوع توفان‌های گرد و غبار تابستانه در جنوب غرب ایران به این نتیجه رسیدند که پرفشار عربستان و زبانه کم فشار زاگرس بیش از هر مولفه دیگری در شکل‌گیری توفان‌های مقیاس منطقه‌ای در خلیج فارس و جنوب غرب ایران نقش دارند. براتی و همکاران (۱۳۹۰) نقش هم‌گرایی سامانه‌های فشار رخداد توفان‌های غباری استان خوزستان را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که این توفان‌ها در دوره گرم سال (اردیبهشت تا مهر) رخ داده‌اند.

متوسط بارندگی سالانه استان یزد حدود ۱۴۵ میلیمتر (امیدوار، ۱۳۸۳: ۴۳) و در ایستگاه یزد حدود ۶۰ میلیمتر (اداره کل هواشناسی یزد، ۱۳۸۸) است. این استان به علت موقعیت جغرافیایی و اقلیمی آن که در منطقه خشک و بیابانی ایران مرکزی قرار دارد، همواره در معرض توفان‌های گرد و غبار و گاه سیاه قرار می‌گیرد و تقریباً هر ساله خسارت‌های زیادی از این جهت متحمل می‌شود. با ظهور توفان‌های شدید برخی مناطق استان تحت نفوذ ماسه‌های روان به علت به

نتیجه سبب شد تا بیشترین فراوانی فصلی وقوع توفان‌های گرد و غبار و ماسه طی ده سال اخیر در شمال شرقی آسیا ثبت شود. مینگ^۱ و همکاران (۲۰۰۷) به مطالعه گرد و غبار ماه‌های مارس تا آوریل ۲۰۰۳ در سطح کشور عراق و پیش‌بینی رخدادهای آینده آن پرداخته‌اند و استقرار جبهه سرد و الگوهای کم‌فشاری را نتیجه پایداری ۷۲ ساعته توفان گرد و غباری در این زمان و در این کشور دانسته‌اند.

در ایران مرجانی (۱۳۷۲)، نکونام (۱۳۸۷)، لشکری و کیخسروی (۱۳۸۷) و طاووسی و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از اطلاعات آماری ایستگاه‌های هواشناسی خراسان و با کمک نقشه‌های هم‌دیدگی، عوامل مؤثر بر وقوع توفان به ترتیب در استان خراسان، شهرستان سبزوار، خراسان رضوی و خوزستان را طبقه‌بندی و بررسی نمودند. در سال ۱۳۷۹ حسینی به بررسی تأثیر سامانه‌ها و جریان‌ات جوی در طی فصول مختلف سال بر روی ایران پرداخت. وی معتقد است که بادهای روی ایران در مقیاس هم‌دیدگی ناشی از کم‌فشارها، پرفشارها، ناوه‌ها و پشته‌ها است که در سطح وسیعی از منطقه جغرافیایی خارج از ایران و یا در داخل فلات ایران در فصول مختلف سال استقرار می‌یابند. امیدوار در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۹۰ به بررسی و تحلیل هم‌دیدگی توفان‌های ماسه در دشت یزد- اردکان و منطقه یزد پرداخت. ایشان با مشخص کردن فراوانی توفان‌های ماسه طی دوره آماری ۲۰۰۳-۱۹۸۹ و تهیه نقشه‌های هم‌دیدگی این توفان‌ها در زمان رویداد، به تحلیل و تفسیر آن‌ها و بیان عوامل مؤثر در ایجاد آن‌ها پرداخت. ذوالفقاری و عابدزاده (۱۳۸۴) در پژوهشی

سپس سمت و تندی بادهای شدید بیش از ۱۵ متر بر ثانیه در استان در طول دوره آماری مورد نظر جمع آوری و مشخص شدند. در ادامه داده‌های مربوط به دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر همراه با پدیده گرد و غبار، رطوبت، دما، ابر و فشار ایستگاه‌های همیدی بافق، رباط پشت بادام و طبس در دوره‌های انتخابی نمونه استخراج شدند. با توجه به این که این توفان‌ها در سه فصل پاییز، زمستان و بهار رخ می‌دهند، آنها را تحلیل و به سه نوع پاییزی، زمستانی و بهاری تقسیم شدند و برای هر فصل یک مورد از شدیدترین توفان از نظر کاهش دید افقی، تندی باد و فراگیر بودن در سطح استان انتخاب و تحلیل گردیدند. با توجه به این که برای برقرار کردن جریان باد و حرکت توده هوا به سمت منطقه مورد مطالعه می‌توان از نقشه‌های همیدی سطح زمین، ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال (سازمان هواشناسی جهانی، ۱۹۷۸: ۴۳)، امگا، بردار باد، رودباد، وزش رطوبتی و چرخندگی استفاده کرد، لذا جهت شناسایی موقعیت‌های وضع هوا و بررسی سامانه‌های همیدی، از نقشه‌های فوق از دو روز قبل از رخداد تا پایان توفان در هر دوره انتخابی استفاده شده است. نقشه‌های مورد استفاده از پایگاه داده‌های NCEP/NCAR تهیه و استخراج و سپس نقشه‌های مورد نیاز در نرم افزار GrADS ترسیم گردید. برای بررسی ناپایداریها و وضعیت توده‌های هوا و محاسبه شاخصهای ناپایداری از داده‌های جو بالای ایستگاه یزد در زمانهایی که داده‌های آن موجود بوده برای هر دوره انتخابی استخراج شده است (سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۸۸). سرانجام با تحلیل و تفسیر نقشه‌های همیدی و داده‌های مذکور به وضعیت‌های همیدی شدیدترین توفان‌های سیاه و

حرکت درآمدن ماسه، حالت مرگبار و خطرناکی به خود می‌گیرد (قبادیان، ۱۳۶۱: ۴۶) و شهرهای این نواحی را برای ساعتها در تاریکی فرو می‌برد و سبب راهبندان‌هایی هم می‌شود. انتقال ذرات به صورت معلق و رسوب ذرات محموله از جو، بارزترین ویژگی این توفان‌های گرد و خاک است (اختصاصی، ۱۳۷۶: ۲).

از این رو شناخت چگونگی پیدایش و وزش توفان‌های گرد و خاک و غباری و گاه سیاه می‌تواند در یافتن راهکارهایی جهت کاهش اثرات زیانبار این پدیده در استان یزد مؤثر واقع شود. بنابراین هدف این تحقیق بررسی و تحلیل همدید شدیدترین توفان‌های سیاه و گرد و غباری در فصول مختلف سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۹ به منظور کاهش اثرات مخرب آن مخصوصاً در امر تثبیت ماسه‌های روان در این استان است..

داده‌ها و روشها

به منظور بررسی و شناخت دقیق شرایط همیدی و دینامیک غالب در رخداد توفان‌های سیاه و گرد و غباری در استان یزد، پس از شناسایی موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، دوره‌های توفانی نمونه انتخاب شدند. در این تحقیق بادهای شدید بیش از ۱۵ متر بر ثانیه و دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر همراه با پدیده گرد و غبار، توفان گرد و غبار و دید افقی کمتر از ۵۰ متر توفان سیاه تعریف شده است. بدین جهت با توجه به آمار و اطلاعات مورد نیاز، ۱۷ دوره توفان فراگیر گرد و غبار در استان (جدول ۲) در طول سالهای ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۹ و شدیدترین آنها در فصول مختلف بررسی شده است. در این تحقیق توفان‌های گرد و غبار سطوح پایین جو استان مطالعه شده است.

گرد و غباری در فصول مختلف سال استان پی برده شد.

جدول ۲- دوره‌های انتخابی نمونه جهت بررسی

توفان‌های گرد و غبار و سیاه در استان یزد

سال	ماه	سال	ماه	سال	ماه
۱۹۸۹	مارس	۱۹۸۹	مه	۱۹۹۱	مه
۱۹۹۳	مه	۱۹۹۳	مه	۱۹۹۴	فوریه
۱۹۹۴	مه	۱۹۹۷	ژوئن	۱۹۹۷	اکتبر
۱۹۹۷	آوریل	۲۰۰۱	مه	۲۰۰۳	آوریل
۲۰۰۳	مه	۲۰۰۳	مه	۲۰۰۹	فوریه
۲۰۰۹	مارس	۲۰۰۹	آوریل		

بحث و نتایج

جهت بررسی آماری و شرایط همدیدی توفان‌های گرد و غبار و سیاه در استان یزد، از ۱۷ دوره انتخابی نمونه در سه فصل پاییز، زمستان و بهار در طول دوره آماری استفاده شده است (جدول ۲). با مشاهده این جدول مشخص می‌شود که بیشتر این توفان‌ها (۴۷ درصد) در منطقه در ماه مه (۸ مورد) ایجاد می‌شوند. با مطالعه رخداد این پدیده از دفترهای همدیدی اداره کل هواشناسی استان یزد (۱۳۸۸) مشاهده می‌شود که عمده این توفان‌ها طی روز و در ساعت‌های بعد از ظهر رخ داده و بادهای شدید آن به طور عمده از سمت غرب تا شمال غرب می‌وزند که این وضعیت دقیقاً با گلبادهای سطح زمین ایستگاههای منطقه به ویژه ایستگاه همدیدی یزد که ایستگاه شاخص استان مخصوصاً در دشت یزد- اردکان (مهمترین و پرجمعیت ترین منطقه استان یزد) می‌باشد، انطباق کامل دارد و سالهای ۱۹۹۷، ۲۰۰۳ و ۲۰۰۹ پر تعدادترین توفان در این منطقه در طول دوره آماری مورد نظر رخ داده است.

نظر به این که عمده توفان‌های گرد و غبار و سیاه استان در طول دوره آماری در فصل‌های پاییز، زمستان و بهار رخ می‌دهند (جدول ۲) این توفان‌ها به سه فصل پاییزی، زمستانی و بهاری تقسیم و تحلیل شدند. به منظور بررسی و تحلیل همدیدی در اینجا به جهت اختصار فقط یک نمونه از وقوع شدیدترین توفان‌های فراگیر استان که همراه با کاهش دید افقی و بیشترین سرعت باد بودند در هر یک از این سه فصل بررسی و تحلیل می‌شود. لازم به توضیح است که به علت کم شدن حجم مقاله برخی نقشه‌های همدیدی آورده شده است.

۱- نوع پاییزی وزش توفان گرد و غبار استان (۲ اکتبر ۱۹۹۷)

۱-۱- بررسی وضعیت عمومی توفان

اولین مورد از توفان‌های فراگیر در منطقه مربوط به ساعت ۱۴ به وقت گرینویچ روز ۲ اکتبر ۱۹۹۷ است. در این روز استان یزد به سبب عبور یک سامانه ناپایدار تحت تاثیر توفان گرد و غبار قرار گرفت و دید افقی به کمتر از ۸۰۰ متر رسید. در لحظه توفان در ایستگاه همدیدی یزد ۵/۸ آسمان از ابرهای پایین پوشیده شده بود که ۲/۸ آن از نوع ابرهای کومولونیمبوس بود. همچنین فشار هوا ۸۷۸/۴ هکتوپاسکال، دما ۳۱/۴ سلسیوس، رطوبت نسبی ۱۱ درصد، دمای نقطه شبنم ۲/۶- درجه سلسیوس و حداکثر سرعت باد از سمت ۲۷۰ درجه بیش از ۱۷ متر بر ثانیه گزارش شده است.

۱-۲- بررسی و تحلیل همدیدی توفان

در ساعت ۱۲ گرینویچ روز اول اکتبر در نقشه سطح زمین دو سلول کم فشار ۱۰۱۰ هکتوپاسکال

مدیترانه عمیق تر و به طرف شرق کشیده شده است. محور ناوه در غرب ایران مستقر گردیده و مرکز پر ارتفاع بسته ۵۹۲ ژئوپتانسیل دکامتر نیز به سمت شرق و کشور پاکستان کشیده شده است. این مرکز پر ارتفاع نمی تواند ناوه مستقر در شرق مدیترانه و غرب ایران را به خوبی تغذیه نماید (شکل ۴). نقشه‌های وزش رطوبتی و جهت وزش بادهای در این روز نیز به خوبی عدم تغذیه رطوبت از آبهای جنوب ایران را نشان می دهد (شکل‌های ۵ و ۶).

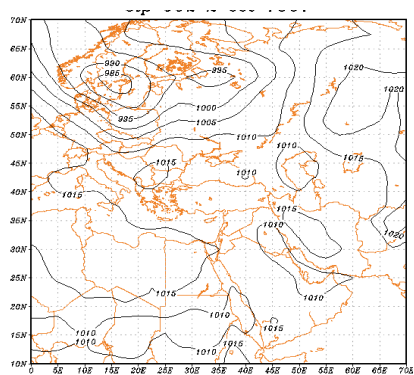
تغییرات ارتفاع و دمای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در روزهای ۱ و ۲ اکتبر در ایستگاه جو بالای یزد، ۶ درجه سلسیوس کاهش دما و بیش از ۳۰ متر کاهش ارتفاع را نشان می دهد. این کاهش ارتفاع و دما نشان از نزدیک شدن ناوه همراه با گرادیان شدید دما در منطقه است. نیمرخ قائم ناپایداری و نقشه‌های امگا (با شاخص‌های منفی) در روزهای اول و دوم اکتبر به خوبی انتقال ناپایداریهای شدید را که در روز اول اکتبر در غرب ایران (شکل ۷) و در روز دوم اکتبر در نواحی مرکزی و جنوبی ایران (شکل ۸) قرار دارد، نشان می دهد.

بنابراین با توجه به موضوعات مطرح شده در روز دوم اکتبر ۱۹۹۷ وجود گرادیان فشار بین نواحی مرکزی و جنوبی ایران و همچنین وجود ناوه ای با دامنه ای عمیق در ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال در غرب ایران و وجود ناپایداریهای شدید در منطقه و این که این ناوه نتوانسته از نظر رطوبت و دما به خوبی تغذیه شود، عبور این ناوه و آزاد شدن انرژی آن سبب ایجاد توفان گرد و غبار و بادهای شدیدی با تندی بیش از ۱۷ متر بر ثانیه در استان یزد شده است.

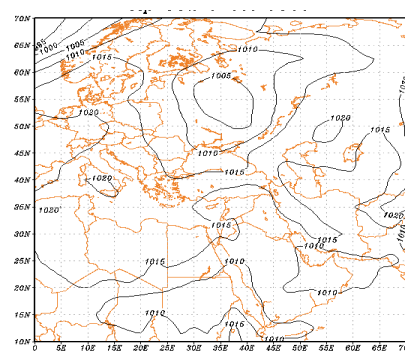
یکی در غرب شبه جزیره عربستان و دیگری بر روی خلیج فارس و جنوب شرق ایران بسته شده است و پر فشار ضعیف ۱۰۱۵ هکتوپاسکال در مناطق مرکزی و شمال ایران دیده می شود (شکل ۱). در ساعت صفر گرینویچ روز دوم اکتبر این سلولهای کم فشار با هم ترکیب شده و نواحی مرکزی و جنوبی ایران را تحت تاثیر خود قرار می دهند (شکل ۲). در این ساعت پر فشار ضعیف ۱۰۱۵ هکتوپاسکال بر روی مرکز و نواحی شمال ایران و کم فشاری نیز بر روی شمال تنگه هرمز دیده می شوند. گرادیان فشار در این الگوی توزیع فشار بین ایستگاههای یزد و بندر عباس حدود ۱۰ هکتوپاسکال نشان می دهد که در ۱۲ ساعت بعد تمام مناطق جنوبی و مرکزی ایران تحت تاثیر کم فشار ۱۰۱۰ هکتوپاسکال قرار می گیرد.

در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲ گرینویچ روز اول اکتبر ناوه ای عمیق در شرق مدیترانه دیده می شود که مرکز آن ۱۳۲ ژئوپتانسیل دکامتر در شمال دریای سیاه و شرق اروپا بسته شده است. در روز ۲ اکتبر این ناوه کاملاً به طرف ایران کشیده شده و از دامنه عمیقی نیز برخوردار گردیده است. این ناوه با مرکز کم فشار سطح زمین بر روی خلیج فارس همراهی می کند (شکل ۳).

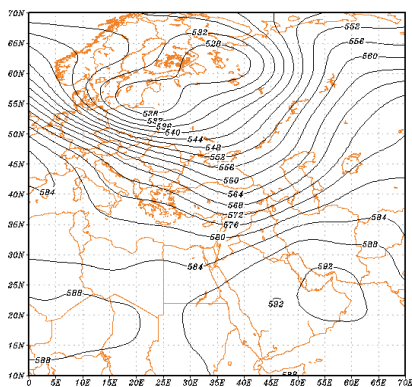
در روز اول اکتبر ساعت ۱۲ گرینویچ در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز ناوه ای عمیق در شرق مدیترانه دیده می شود که محور ناوه درست در شرق دریای مدیترانه تا شمال غرب دریای سرخ امتداد دارد و مرکز پر ارتفاع ۵۹۲ ژئوپتانسیل دکامتر در شرق شبه جزیره عربستان و دریای عمان مستقر است. در روز دوم اکتبر در این ساعت این ناوه مستقر در شرق



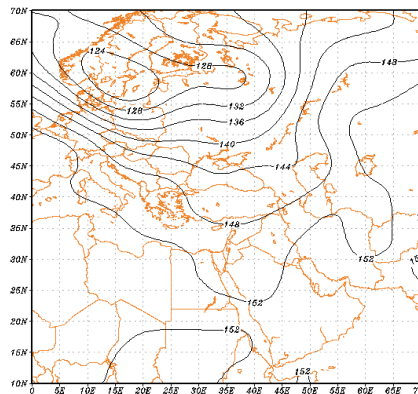
شکل ۲- نقشه سطح زمین در ساعت صفر گرینویچ
روز دوم اکتبر ۱۹۹۷



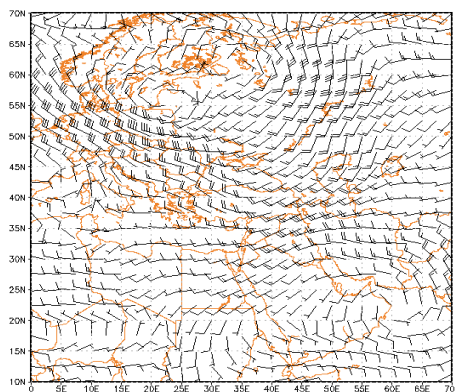
شکل ۱- نقشه سطح زمین در ساعت صفر گرینویچ
روز اول اکتبر ۱۹۹۷



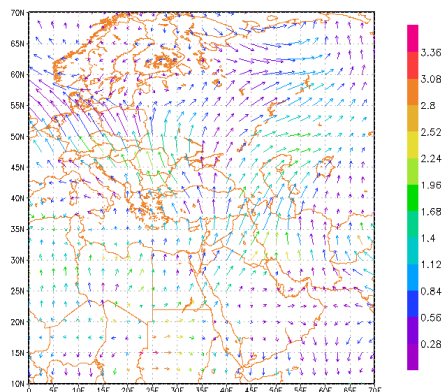
شکل ۴- نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۱۲
روز دوم اکتبر ۱۹۹۷



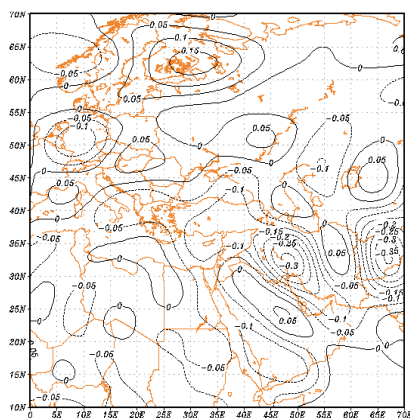
شکل ۳- نقشه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در ساعت
صفر گرینویچ روز دوم اکتبر ۱۹۹۷



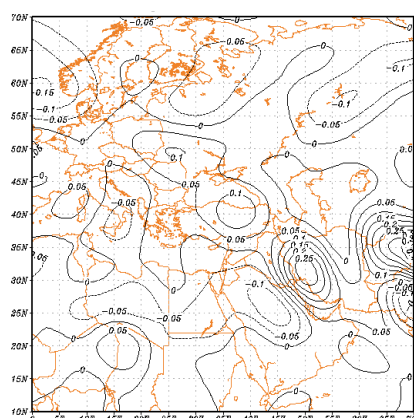
شکل ۶- نقشه جهت وزش بادهای در تراز ۵۰۰
هکتوپاسکال در ساعت ۱۲ گرینویچ روز ۲ اکتبر
۱۹۹۷



شکل ۵- نقشه وزش رطوبتی تراز ۵۰۰
هکتوپاسکال ساعت ۱۲ گرینویچ روز دوم اکتبر
۱۹۹۷ (gr/kg)



شکل ۸- نقشه امگای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۱۲ گرینویچ روز دوم اکتبر ۱۹۹۷ (pascal/s)



شکل ۷- نقشه امگای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ساعت صفر گرینویچ روز اول اکتبر ۱۹۹۷ (pascal/s)

سمت جنوب غرب تا دریای سرخ و از سمت شمال غرب تا شرق دریای سیاه گسترده شده است. در درون این زبانه کم فشار، سلول کم فشار ۱۰۰۵ هکتو پاسکال را بر روی عربستان، غرب، شمال غرب ایران و شرق ترکیه قرار دارد. بر روی شمال دریای خزر و روسیه پر فشار نیمه دائمی سیبری (۱۰۴۵ هکتو پاسکال) دیده می شود (شکل ۹).

در سطح ۸۵۰ هکتو پاسکال بر روی شرق مدیترانه و ترکیه مرکز کم ارتفاع ۱۳۶ ژئو پتانسیل دکا متر قرار دارد و فرارفت هوای گرم بر روی مرکز ایران دیده می شود. بر روی شرق عربستان پر ارتفاع ۱۵۲ ژئو پتانسیل دکا متر قرار دارد (شکل ۱۰).

با توجه به اطلاعات دیده بانی سطح زمین ایستگاه همدید یزد (جدول ۳) در ساعت ۱۲ روز ۲۱ فوریه، به دنبال عبور جبهه گرم و ورود توده هوای گرم به منطقه، دمای هوا نسبت به ۳ ساعت قبل افزایش یافته است. فشار هوای این ایستگاه کاهش می یابد. سرعت باد به طور ناگهانی افزایش یافته و به ۷ متر بر ثانیه می

۲- نوع زمستانی وزش توفان سیاه و گرد و غباری استان (۲۲ فوریه ۲۰۰۹)

۲-۱- بررسی وضعیت عمومی توفان در ساعت ۹ به وقت گرینویچ روز ۲۲ فوریه ۲۰۰۹، استان یزد تحت تاثیر یک سامانه کم فشار همراه با ناوه ای عمیق و عبور جبهه سرد قرار گرفت که منجر به ایجاد توفان گرد و غبار شد. این توفان از ساعت ۳ تا ۱۲ به وقت گرینویچ ادامه داشت. تندی باد در مراحل اولیه توفان در ایستگاه یزد ۱۲ متر بر ثانیه بود که در لحظه توفان به ۱۷ متر بر ثانیه رسید. سمت باد در لحظه توفان ۲۶۰ درجه، دمای هوا ۲۰/۶ درجه سلسیوس، فشار هوا ۱۰۰۰/۸ هکتو پاسکال و دید افقی به کمتر از ۴۰۰ متر رسید.

۲-۲- بررسی و تحلیل همدید توفان در نقشه سطح زمین در ساعت ۱۲ گرینویچ روز ۲۱ فوریه زبانه کم فشار گسترده ای (۱۰۱۰ هکتو پاسکال) مناطق وسیعی از خاور میانه، ترکیه و ایران را در بر گرفته که از سمت غرب تا دریای مدیترانه، از

وکاهش دید افقی شده است. آسمان ایستگاه یزد کاملاً ابری استراکومولوس است.

رسد و سمت آن جنوب غربی است. با توجه به فراهم بودن منبع گرد و غبار در منطقه، افزایش ناگهانی سرعت باد، سبب بالاروی ذرات گرد و غبار رهوا

جدول ۳- داده‌های هوا شناسی ایستگاه همدیدی یزد در روز ۲۱ فوریه ۲۰۰۹

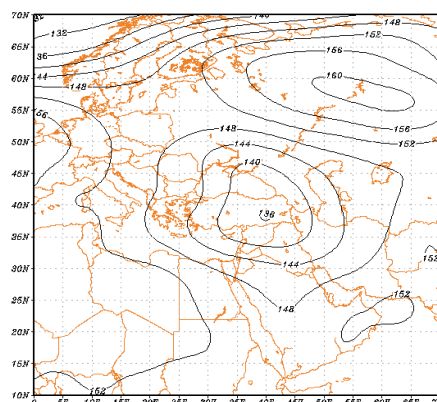
زمان	صفر	۳	۶	۹	۱۲	۱۵	۱۸	۲۱
کمیت								
سرعت باد متربر ثانیه	۲	۰۰	۳	۴	۷	۱۲	۸	۵
سمت باد به درجه	۱۳۰	۰۰	۱۱۰	۱۳۰	۲۴۰	۲۳۰	۲۱۰	۲۱۰
دما به درجه سلسیوس	۷/۴	۶/۴	۱۲/۸	۱۹/۶	۲۱	۱۷	۱۹	۱۷/۲
فشار سطح دریا به هکتو پاسکال	۱۰۵	۱۰۱۶	۱۰۱۵/۲	۱۰۱۱/۲	۱۰۰۷/۸	۱۰۰۹/۵	۱۰۰۶/۱	۱۰۰۳/۹
دید به متر	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	۸۰۰۰	۸۰۰۰	۷۰۰۰	۵۰۰۰	۴۰۰۰	۶۰۰۰

۱۰۰۵ هکتو پاسکال بر روی منطقه یزد مستقر شده است. ورود یک جبهه سرد به استان یزد و هجوم توده هوای سرد آن به زیر هوای گرم حاکم بر منطقه سبب افزایش سرعت وزش باد و رسیدن آن به ۱۷ متر بر ثانیه و تغییر جهت آن از جنوب غربی به غربی و ایجاد توفان گرد و غبار در یزد می شود که دید افقی را تا ۴۰۰ متر کاهش می دهد. دما در این ساعت ۲۰/۶ درجه سلسیوس است (جدول ۴).

در ساعت ۱۲ گرینویچ (شکل ۱۳) در نقشه سطح زمین سلول کم فشار ۱۰۰۰ هکتو پاسکال در مرکز کشور از منطقه یزد خارج شده است.

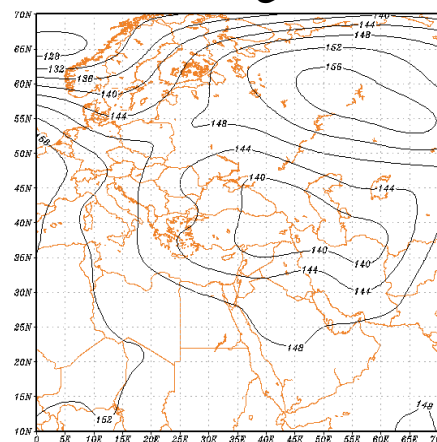
در روز ۲۲ فوریه ۲۰۰۹ در نقشه سطح زمین ساعت صفر گرینویچ سلول کم فشار ۱۰۰۵ هکتو پاسکال، مناطق وسیع تری از ایران را تحت تاثیر خود قرار داده است (شکل ۱۱) در تراز ۸۵۰ هکتو پاسکال، مرکز بسته کم ارتفاع ۱۳۶ ژئو پتانسیل دکامتری که به ۱۴۰ ژئو پتانسیل دکامتر تغییر کرده در غرب سلول کم فشار سطح زمین واقع بر ایران قرار دارد همین وضعیت باعث تقویت سلول کم فشار سطح زمین منطقه می شود. در تراز ۸۵۰ هکتو پاسکال، با توجه به پارامترهای سرعت باد، گرادیان دما و زاویه بین پربندها و منحنی‌های هم دما، فرا رفت هوای سرد در غرب و شمال غرب کشور دیده می شود. غلبه توده هوای گرم بر منطقه یزد سبب افزایش دما در مقایسه با روز قبل شده است (شکل ۱۲).

در ساعت ۹ به وقت گرینویچ مطابق با داده‌های ایستگاه همدیدی سطح زمین یزد، سلول کم فشار



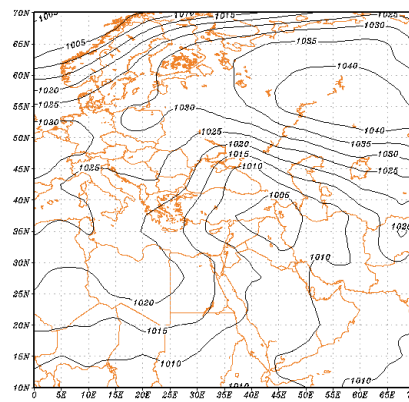
شکل ۱۰- نقشه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در ساعت

۱۲ گرینویچ روز ۲۱ فوریه ۲۰۰۹



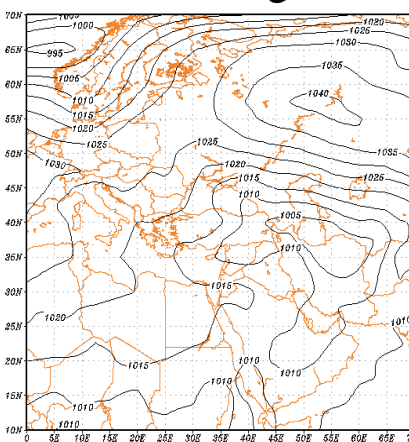
شکل ۱۲- نقشه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ساعت

صفر گرینویچ روز ۲۲ فوریه ۲۰۰۹



شکل ۹- نقشه سطح زمین در ساعت

۱۲ گرینویچ روز ۲۲ فوریه ۲۰۰۹



شکل ۱۱- نقشه سطح زمین ساعت صفر

۱۲ گرینویچ روز ۲۲ فوریه ۲۰۰۹

کم ارتفاع ۱۳۶ ژئوپتانسیل دکامتر به سمت شرق جا به جا شده و در شرق دریای خزر مستقر شده است (شکل ۱۴). همین شرایط در نقشه های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز دیده می شود (شکل ۱۵).

با توجه به گرادیان دمایی و سرعت باد و منحنی‌های هم ارتفاع در نقشه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۴) فرار رفت شدید هوای سرد در شمال غرب، غرب و مرکز کشور دیده می شود. مرکز بسته

جدول ۴- داده‌های هواشناسی ایستگاه همدیدی یزد در روز ۲۲ فوریه ۲۰۰۹

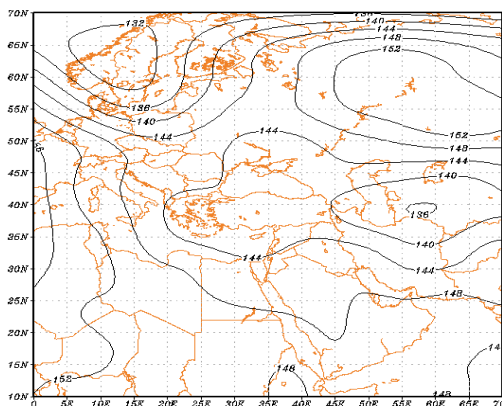
۵	۳	۶	۱۰	۱۷	۱۴	۱۲	۰۰	سرعت باد به متر بر ثانیه
۳۶۰	۲۶۰	۲۸۰	۲۷۰	۲۶۰	۲۴۰	۲۳۰	۰۰	سمت باد به درجه
۹/۲	۱۳/۸	۱۷	۲۱	۲۰/۶	۱۸	۱۶/۴	۱۴	دما به درجه سلسیوس
۱۰۰۷/۲	۱۰۰۶	۱۰۰۳/۵	۱۰۰۱/۳	۱۰۰۰/۸	۱۰۰۳	۱۰۰۳/۱	۱۰۰۳/۱	فشار سطح دریا به هکتوپاسکال
۸۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	۳۰۰۰	۴۰۰	۱۶۰۰	۱۸۰۰	۵۰۰۰	دید به متر

نشان می‌دهد که از شرایط لازم برای ایجاد توفان گرد و غبار در منطقه است.

نقشه‌های امگا به خوبی نیمرخ شدید ناپایداری را بر روی ایران و منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد (شکل ۱۶) و وجود بادهای شدید در ترازهای فوقانی جو نیز دلیلی بر وجود ناپایداری‌های شدید در منطقه است (شکل ۱۷).

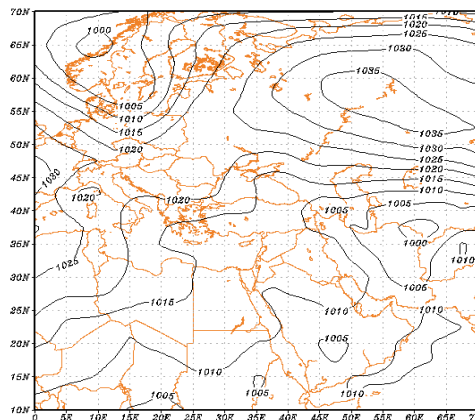
بنابراین علت رخداد توفان گرد و غبار و باد شدید ۲۲ فوریه ۲۰۰۹ در اثر استقرار مرکز کم فشار سطح زمین بر روی منطقه یزد و همراهی آن با ناوهای عمیق ترازهای فوقانی و نیز عبور جبهه سرد از استان و برخورد توده هوای سرد پشت جبهه با توده هوای گرم حاکم بر منطقه است. ریزش ناگهانی هوای سرد پس از عبور جبهه سرد سبب افزایش ناگهانی سرعت باد در جو خشک منطقه، کاهش دید افقی و رخداد توفان گرد و غبار در منطقه می‌شود.

با توجه به پارامترهای دیده بانی ایستگاه یزد در ساعت ۱۲ (جدول ۴) فشار هوا با اندکی افزایش نسبت به ساعت رخداد توفان به ۱۰۰۳/۱ هکتوپاسکال می‌رسد. دمای هوا با ۰/۴ درجه سلسیوس افزایش به ۲۱ درجه سلسیوس رسیده است. باقیمانده تاثیرات عبور جبهه گرم بر دمای منطقه، کاهش دمای ناشی از عبور جبهه سرد را اندکی تعدیل می‌کند. سرعت باد ۱۰ متر بر ثانیه و جهت آن غربی است. پدیده حاکم بر جو ایستگاه یزد غبار مه گزارش شده که دید افقی را ۳۰۰۰ متر نگه می‌دارد. در ساعت ۱۸ گرینویچ کم فشار مستقر بر روی ایران تضعیف شده و به سمت شرق حرکت می‌کند و به دنبال آن پر فشار نیمه دائمی سیبری زبانه‌های خود را گسترش داده و تا غرب دریای سیاه امتداد می‌یابد. شاخص‌های ناپایداری در ساعت صفر گرینویچ روز ۲۲ فوریه در ایستگاه یزد ناپایداری شدیدی ($Ki=25$ و $Si=1$) را



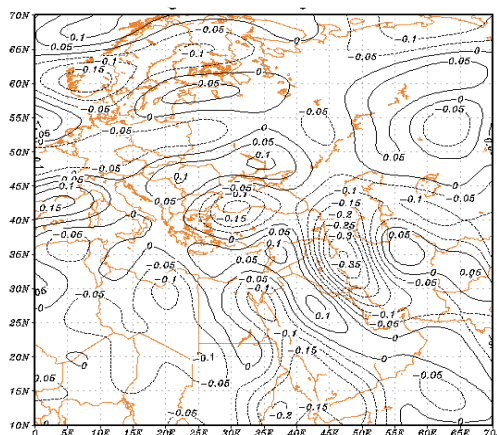
شکل ۱۴- نقشه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در ساعت ۱۲

گرینویچ روز ۲۲ فوریه ۲۰۰۹



شکل ۱۳- نقشه سطح زمین در ساعت ۱۲ گرینویچ

روز ۲۲ فوریه ۲۰۰۹

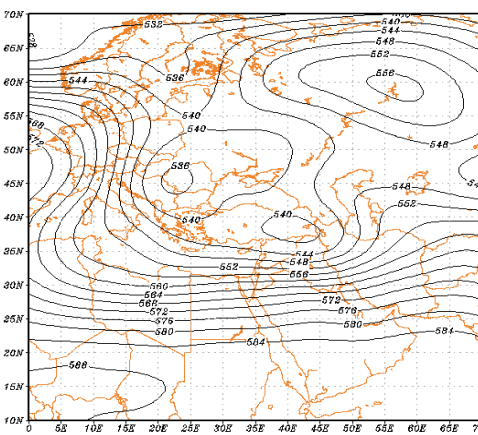


شکل ۱۶- نقشه امگای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۱۲ روز ۲۱ فوریه ۲۰۰۹ (pascal/s)

۱۹ به وقت گرینویچ ادامه داشت. از ساعت ۴ تا یک ساعت قبل از توفان به وقت گرینویچ، سمت باد بین ۱۲۰ تا ۳۳۰ درجه و تندی آن بین ۳ تا ۸ متر بر ثانیه در نوسان بود که همراه با پدیده گرد و خاک می‌شد. در لحظه توفان در ایستگاه یزد فشار هوا ۸۶۷/۲ هکتوپاسکال، دما ۳۱ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۱۶ درصد، دمای نقطه شبنم ۲ درجه سلسیوس، ۳/۸ آسمان پوشیده از ابرهای cb و دید افقی حتی به صفر نیز رسید. در ساعت بعد از توفان حدود ۱۶ درجه سلسیوس از دمای هوای منطقه کاسته و سرعت باد در جهت شمال غربی به طور ناگهانی افزایش پیدا کرده است (جدول ۵).

جدول ۵- داده‌های هواشناسی ایستگاه همدیدی یزد در روز ۲۹ مه ۲۰۰۳

زمان / کمیت	صفر	۳	۶	۹	۱۲	۱۵	۱۸	۲۱
سرعت باد به نات	۶	۴	۱۶	۱۲	۶	۳۹	۲۱	۴
جهت باد به درجه	۱۱۰	۱۴۰	۱۲۰	۳۳۰	۳۲۰	۳۳۰	۳۳۰	۱۳۰
دما به درجه سلسیوس	۱۹/۸	۲۰/۶	۲۸	۳۱/۴	۳۱/۴	۳۱	۱۷/۸	۱۶
رطوبت نسبی به درصد	۴۶	۴۵	۲۰	۱۶	۱۴	۱۶	۶۵	۷۵
دید افقی به متر	۱۰۰۰	۶۰۰	۸۰۰	۵۰۰	۳۰۰	۰	۸۰	۱۰۰۰



شکل ۱۵- نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ساعت صفر گرینویچ روز ۲۲ فوریه ۲۰۰۹

۳- نوع بهاری وزش توفان گرد و غبار و سیاه استان (۲۹ مه ۲۰۰۳)

۳-۱- بررسی وضعیت عمومی توفان

در ساعت ۱۵ به وقت گرینویچ ۲۹ مه سال ۲۰۰۳، استان یزد به سبب تحت تأثیر قرار گرفتن یک سامانه ناپایدار مورد تهاجم توفان سیاه و گرد و غباری فراگیر قرار گرفت. این توفان مناطق گسترده‌ای را با سرعتی بیش از ۲۵ متر بر ثانیه و جهت غالب شمال غربی (۳۳۰ درجه) در محدوده زمانی ۱۴ و ۴۶ دقیقه تا ۱۵ و ۵۱ دقیقه به وقت گرینویچ در ایستگاه همدیدی و جو بالای یزد در نوردید. سرعت این توفان در مناطق میبد ۱۴۰، یزد ۹۵، عقدا ۹۰ و ابرکوه به بیش از ۱۱۰ کیلومتر در ساعت رسید و با سرعت کمتری تا ساعت

در ستون هوا در این روز می باشد که با شرایط لازم برای ایجاد توفان شدید گردو خاک همخوانی دارد.

وجود دمای نقطه شبنم ۲ الی ۳ درجه سلسیوس در ساعتی قبل از رخداد توفان، ویژگی یک توده هوای بسیار خشک در منطقه است. ولی پس از ریزش هوای سرد از ابرهای کومه‌ای و نیز فرارفت هوای سرد در این ایستگاه (یزد)، دمای نقطه شبنم به ۹/۴ درجه سلسیوس رسیده که نشان می‌دهد هوای نسبتاً سرد و مرطوبی از ابرهای کومه‌ای خارج شده و استان را تحت تأثیر خود قرار داده است.

۳-۲- بررسی همدیدی توفان

با توجه به نقشه همدیدی سطح زمین ساعت صفر گرینویچ در روز ۲۸ مه چنین استنباط می‌شود که چند سامانه کم‌فشار ۱۰۰۰ و ۱۰۰۵ هکتوپاسکال به تدریج از جنوب غرب و غرب به سوی مرکز ایران انتقال می‌یابند (شکل ۱۹) و اختلاف فشار هوا بین مرکز و نواحی غربی ایران حدود ۵ هکتوپاسکال است.

در ساعت صفر گرینویچ روز ۲۹ مه در این ساعت پس از نزدیک شدن موج مشاهده شده، این سلولهای کم‌فشار دارای خطوط هم‌فشار ۱۰۰۵ و ۱۰۱۰ هکتوپاسکال بوده و فشار مرکزی آنها حتی به کمتر از ۱۰۰۰ هکتوپاسکال هم می‌رسد (شکل ۲۰). در ۱۲ ساعت بعد این سلولهای بسته کم‌فشار یکپارچه شده و سراسر مرکز و جنوب ایران را فرا گرفته است. به تدریج اختلاف فشار بین یزد و اطراف آن افزایش می‌یابد.

در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در ساعت ۱۲ گرینویچ روز ۲۹ مه، مرکز کم ارتفاع ۱۴۰ ژئوپتانسیل دکامتر بر روی غرب و جنوب ایران مشاهده می‌شود

اختلاف دما و دمای نقطه شبنم در لایه‌های زیرین و میانی جو، عدم وجود رطوبت کافی در جو منطقه را نشان می‌دهد. بنابراین ابرهای کومه‌ای که با رشد زیاد در منطقه ایجاد شده بود بارشی را ایجاد نکرده ولی انرژی آزاد شده از این ناپایداری، بادهای بسیار شدیدی را در استان یزد ایجاد کرده است. این موضوع، عبور یک جبهه سرد و خشک با ریزش هوای سرد از ابرهای کومه‌ای را ثابت می‌کند. گرادیان حرارتی سبب ایجاد یک همگرایی و جریانهای صعودی و بالاروی شدید هوا و در نتیجه صعود گرد و غبار به سطوح فوقانی جو منطقه شده است. در ایستگاه جو بالای یزد در ساعت ۱۲ به وقت گرینویچ، افت دما بین ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال به بیش از ۱۰ درجه سلسیوس در هر کیلومتر بوده که این نشان می‌دهد در ارتفاع ۷۰۰ هکتوپاسکال هوای سردی وجود دارد. وجود هوای گرم در سطح زمین (۳۲ درجه سلسیوس) و هوای سرد در لایه‌های میانی (دمای هوا در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال به ترتیب ۱۲/۷ و ۱۱/۴- درجه سلسیوس است) سبب ناپایداری شدید جو استان و رشد زیاد ابرهای کومه‌ای شده است. نبود منبع رطوبتی و ریزش هوای سرد از درون ابرهای مذکور با رشد زیاد سبب ایجاد توفان گرد و غبار در منطقه شده است. این توفان در بین مردم یزد به نام توفان سیاه معروف شد. دمای پتانسیل تر (در ترازهای ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال به ترتیب ۲۰، ۱۹ و ۱۶/۵ درجه سلسیوس است) و شاخصهای ناپایداری $K_i = 30$ و $S_i = -1/4$ هر دو ناپایداری شدیدی را در استان نشان می‌دهند (شکل ۱۸) و مقدار بالای شاخص K_i و کوچک بودن مقدار S_i نشان دهنده شرایط مساعد برای رخداد ناپایداری

جو بالای یزد ۶۰ متر کاهش ارتفاع و بیش از ۳ درجه سلسیوس کاهش دما و در نتیجه نزدیک شدن ناوه به منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. به سبب خشک بودن هوا در سطح زمین تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ابرهای کومه‌ای با رشد زیاد که تشکیل شده توانسته بارش را در استان ایجاد کند و انرژی آزاد شده از این ناپایداری باد بسیار شدیدی را ایجاد کرده است. در ضمن خشک بودن زمین و نبود بارش از قبل، سبب ایجاد توفان گرد و غبار و سیاه در مناطق مختلف استان یزد شده است.

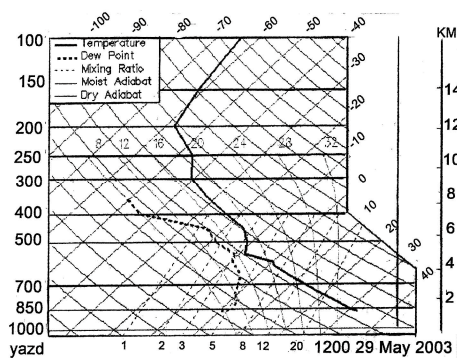
بنابراین علت توفان سیاه و گرد و خاکی که بین ساعت ۱۴ و ۱۵ دقیقه تا ۱۵ و ۵۱ دقیقه به وقت گرینویچ روز ۲۹ مه در استان یزد رخ داده است و دید افقی را به صفر و سرعت باد را به بیش از ۲۵ متر بر ثانیه رسانده است، به سبب ناپایداری ترمودینامیکی درون یک سامانه کم فشار، کج شدگی محور ناوه سطوح فوقانی جو در غرب ایران و ارسال امواج کوتاه بر روی ایران مرکزی و استان یزد، عبور یک جبهه سرد ضعیف و خشک از شمال غرب، ریزش هوای سرد از ابرهای کومه ای (cb) و فرارفت هوای سرد همراه با ناوه کم عمقی با حرکت سریع در استان بوده است. وجود هوای بسیار سرد در تراز میانی جو و هوای نسبتاً گرم در سطح زمین، سبب ایجاد جریانهای شدید بالارو و ناپایداری زیاد هوای استان یزد شده است.

که این مرکز کم ارتفاع با کم فشارهای سطح زمین در ایران هماهنگی دارد و گرادیان شدید دمایی و فرارفت شدید هوای گرم در نیمه جنوبی کشور دیده می‌شود. محور اصلی ناوه کج شده در شرق مدیترانه مشاهده می‌شود ولی یک محور فرعی دیگر در نواحی مرکزی ایران دیده می‌شود، بنابراین در این تراز نیز ریزش هوای سرد مشاهده می‌گردد. فرارفت هوای سرد از نواحی شمالی و هوای گرم از نواحی جنوبی ایران از پشت و جلوی ناوه، سبب افزایش گرادیان دما و نزدیک شدن ناوه به استان یزد است (شکل ۲۱).

در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۱۲ گرینویچ روز ۲۸ مه، ناوه‌ای در شرق مدیترانه با ۵۶۸ ژئوپتانسیل دکامتر بسته شده است. خط ناوه در شرق دریای مدیترانه قرار دارد که در روز بعد خط ناوه در غرب ایران مشاهده می‌شود که نشان از ارسال امواج با طول موج کوتاه از ناوه کج شده غرب ایران دارد. در ۱۲ ساعت دیگر فرارفت هوای سردی را در نواحی غربی ایران در لایه‌های میانی جو استان نشان می‌دهد (شکل ۲۲).

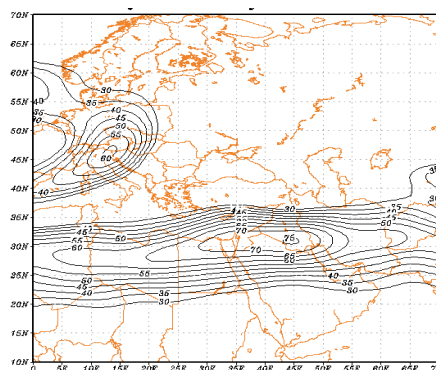
نقشه‌های امگا (شکل ۲۳) و چرخندگی (شکل ۲۴) به خوبی نیمرخ شدید ناپایداری و فرارفت تاوایی مثبت را در نواحی مرکزی در منطقه مورد مطالعه در روز ۲۹ مه نشان می‌دهند.

تغییرات دما و ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۱۲ گرینویچ روزهای ۲۷ تا ۲۹ مه در ایستگاه



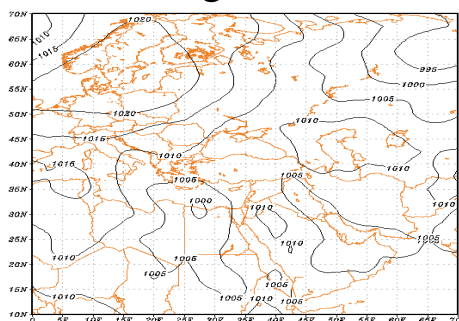
شکل ۱۸- نمودار اسکیتوی ایستگاه یزد در

ساعت ۱۲ به وقت گرینویچ در روز ۲۹ مه ۲۰۰۳



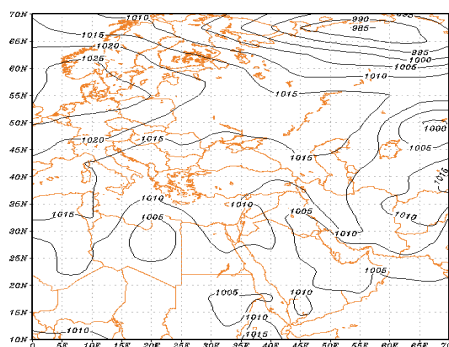
شکل ۱۷- نقشه رودباد تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال

در ساعت صفر روز ۲۲ فوریه ۲۰۰۹ (m/s)



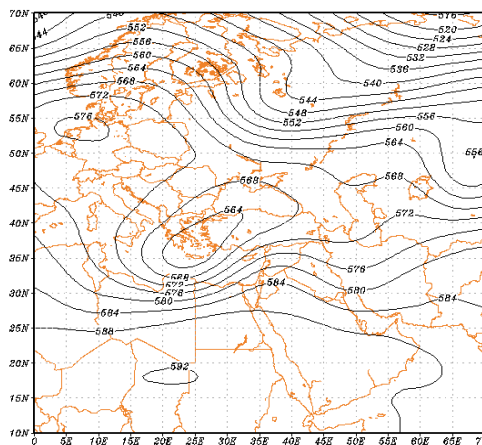
شکل ۲۰- نقشه سطح زمین در ساعت صفر

گرینویچ در روز ۲۹ مه ۲۰۰۳



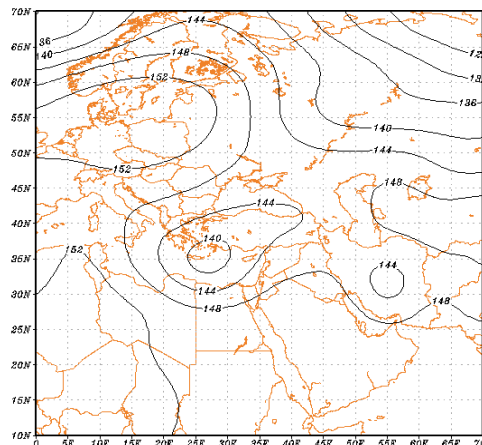
شکل ۱۹- نقشه سطح زمین در ساعت صفر

گرینویچ در روز ۲۸ مه ۲۰۰۳



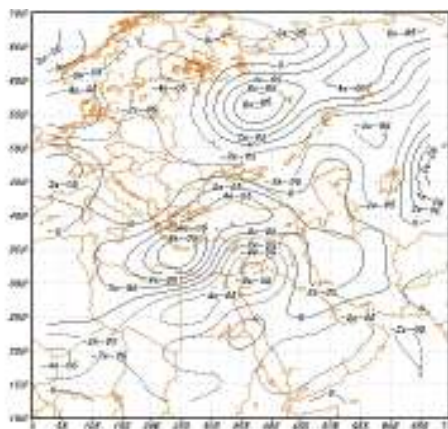
شکل ۲۲- نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ساعت

۱۲ گرینویچ روز ۲۹ مه ۲۰۰۳

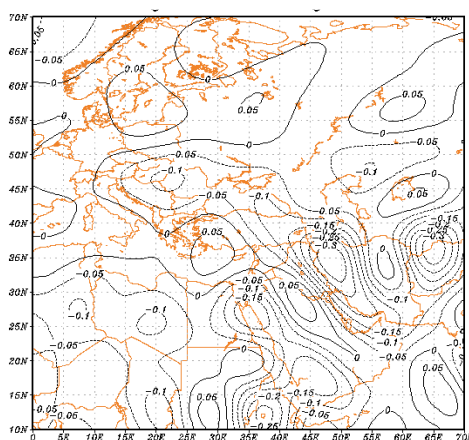


شکل ۲۱- نقشه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در

ساعت ۱۲ گرینویچ روز ۲۹ مه ۲۰۰۳



شکل ۲۴- نقشه چرخندگی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۱۲ گرینویچ روز ۲۹ مه ۲۰۰۳



شکل ۲۳- نقشه امگای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۱۲ گرینویچ روز ۲۹ مه ۲۰۰۳ (pascal/s)

اکثر این توفان‌ها در استان در ساعت‌های بعد از ظهر و بیشتر در ماه مه رخ داده و بادهای شدید آن عمدتاً از سمت غرب تا شمال غرب می‌وزند.

با توجه به این‌که بیشتر توفان‌های گرد و غبار و سیاه در ماه مه رخ می‌دهند و در این ماه بیشتر مناطق استان به علت پشت سر گذاردن بارشهای زمستانی و اوایل بهار کاملاً خشک و از پوشش گیاهی بسیار فقیر و از شرایط فرسایش بادی شدیدی برخوردار است. عبور این توفان‌ها از روی این زمینها به شکل حادثتری در می‌آید و گاهی به شکل توفان‌های سیاه (۲۹ مه ۲۰۰۳) در منطقه رخ می‌دهد به طوری که دید افقی را حتی به صفر رسانده، موجب تصادفات بسیار شدید و خسارات زیادی به ویژه در جاده سراسری اردکان- یزد می‌شود.

بررسی و مطالعات انجام شده در ۱۷ دوره انتخابی توفان و بادهای شدید سه نوع پاییزی، زمستانی و بهاری را نشان می‌دهد. نوع اول توفان پاییزی دوم

در ماه مه استان یزد دوره مرطوب و سرد سال را پشت سر گذارده و سطح زمین آن خشک و از پوشش گیاهی بسیار فقیر و شرایط بیابانی برخوردار است. از طرفی بخش‌هایی از استان به ویژه دشت یزد- اردکان از اطراف به وسیله ارتفاعات محدود می‌شود. کانالیزه شدن و گذر این بادهای شدید و توفان‌های گرد و غبار از روی این زمینهای خشک به شکل توفان سیاه درآمده و سبب بسته شدن جاده سراسری اردکان- یزد به مدت ۴ ساعت و ایجاد تصادفات و خسارات زیادی در این منطقه شده است.

نتیجه گیری

با توجه به بررسی و تحلیل آماری و تفسیر نقشه‌های هم‌دید و بررسی داده‌های جو بالای منطقه در دوره‌های انتخابی نمونه توفان‌های گرد و غبار و سیاه در استان یزد، نتایج زیر حاصل می‌شود.

منابع

- اکتبر ۱۹۹۷ است که به علت وجود گرادیان فشار بین جنوب و مناطق مرکزی ایران و وجود ناوه ای با دامنه عمیق در سطوح ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتو پاسکال در غرب ایران و استان یزد است. با توجه به این که ناوه مزبور از نظر دمایی و رطوبتی نتوانسته به خوبی تغذیه شود، عبور ناوه و آزاد شدن انرژی آن و خشکی طولانی تابستان منطقه موجب وزش بادهای شدید و توفان گرد و غبار در استان به ویژه در منطقه دشت یزد- اردکان شده است. نوع دوم توفان زمستانی ۲۲ فوریه ۲۰۰۹ در اثر وجود مرکز کم فشار سطح زمین بر روی استان یزد و همراهی آن با ناوه‌های عمیق سطوح بالایی و نیز عبور جبهه سرد از استان و برخورد توده هوای سرد پشت جبهه با توده هوای گرم حاکم بر منطقه است. پس از گذر جبهه سرد، ریزش ناگهانی هوای سرد سبب افزایش سریع سرعت باد در جو خشک استان، کاهش دید افقی به میزان ۴۰۰ متر و رخداد توفان گرد غبار در منطقه شده است. نوع سوم توفان بهاری ۲۹ مه ۲۰۰۳ است. استقرار سلول کم فشار در سطح زمین استان، کج شدگی محور ناوه سطوح بالایی جو در غرب ایران و حرکت تند آن و ارسال امواج کوتاه بر روی ایران مرکزی و استان یزد به همراه گذر جبهه سرد ضعیف و خشک از شمال غرب سبب ایجاد جریان‌های شدید بالارو، ناپایداری شدید هوای استان و توفان سیاه و گرد و غبار در منطقه شده و دید افقی را حتی به صفر رسانده است.
- اختصاصی، محمدرضا و حسن احمدی، (۱۳۷۶)، بررسی کمی و کیفی فرسایش بادی و برآورد میزان رسوب در دشت یزد- اردکان، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۵۰ ص ۲.
- اداره کل هواشناسی استان یزد (۱۳۸۸)، دفترهای همدیدی و جوّ بالا و گلبادهای ایستگاه یزد.
- امیدوار، کمال، (۱۳۹۰)، بررسی و تحلیل همدیدی گردو غبار اسفند ۱۳۸۷ در منطقه یزد، اولین کنگره بین المللی پدیده گرد و غبار و مقابله با آثار زیان بار آن، دانشگاه رامین اهواز، ص ۳۶۳.
- امیدوار، کمال، (۱۳۸۴)، بررسی و تحلیل همدیدی توفان‌های ماسه در دشت یزد- اردکان، طرح پژوهشی دانشگاه یزد، ص ۱.
- امیدوار، کمال، (۱۳۸۳)، طرح پژوهشی مطالعه و ارزیابی رژیم بارش در استان یزد، دانشگاه یزد، ص ۴۳.
- براتی، غلامرضا، حسن لشکری و فریبا کرمی، (۱۳۹۰)، نقش همگرایی سامانه‌های فشار بر رخداد توفان‌های غباری استان خوزستان، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۲۲، ص ۳۹.
- جانسون، وارن، (۱۳۷۶)، اقلیم و معماری با تأکید بر معماری خاورمیانه، مجید حبیبی نوخندان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۴۶، صص ۱۵۹-۱۵۴.
- حسینی، سیدباقر، (۱۳۷۲)، مطالعه همدیدی توفان‌های شدید در تهران، پایان نامه کارشناسی

- ارشد، رشته هواشناسی دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی، ص ۱.
- ذوالفقاری، حسن و حیدر عابدزاده، (۱۳۸۴)، تحلیل همیدیدی سامانه‌های گرد و غبار در غرب ایران، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۶، صص ۱۸۸-۱۷۳.
- سازمان هواشناسی کشور (۱۳۸۸)، اداره کل خدمات ماشینی و کاربرد کامپیوتر، داده‌های جو بالای ایستگاههای یزد و شیراز در دوره‌های انتخابی نمونه.
- طاووسی، تقی، محمود خسروی و کوهزاده رئیس پور، (۱۳۸۹)، تحلیل همیدیدی سامانه‌های گرد و غباری در استان خوزستان، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۰، ص ۹۷.
- قبادیان، عطاءالله، (۱۳۶۱)، سیمای طبیعی استان یزد در ارتباط با مسائل کویری، دانشگاه جندی شاپور، ص ۴۶.
- گودی، ای، اس و میدلتون، ان، جی (۲۰۰۶)، گرد و غبار بیابان در سامانه جهانی، ترجمه داریوش یاراحمدی، انتشارات دانشگاه لرستان، صص ۱۸ و ۲۲.
- لشکری، حسن و قاسم کیخسروی، (۱۳۸۷)، تحلیل آماری سینوپتیکی توفان‌های گرد و غبار استان خراسان رضوی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۵، ص ۷.
- مفیدی، عباس و سجاد جعفری، (۱۳۹۰)، بررسی نقش گردش منطقه ای بر روی خاور میانه در وقوع توفان‌های گرد و غباری تابستان در جنوب غرب ایران، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، شماره ۵، ص ۱۷.
- نکونام، زری، (۱۳۸۷). بررسی و تحلیل توفان‌های گرد و غبار در شهرستان سبزوار، پایان نامه کارشناسی ارشد، جغرافیای طبیعی، دانشگاه یزد، ص ۱.
- مرجانی، سیدصدرالدین، (۱۳۷۲)، بررسی همیدیدی بادهای شدید بیش از ۱۵ متر بر ثانیه (توفان) در خراسان، پایان نامه کارشناسی ارشد گرایش همیدیدی، دانشگاه تهران، مؤسسه ژئوفیزیک، ص ۱.
- Baldasano, J.M. (2007). WMO sand and dust storm warning system for Europ, Africa and Middle East: A GEO-oriented system. 7th EMS Annual Meeting Vol 4.
- Goudie, A. S. Midelton, N. J. (2001). Saharan dust storm: Nature and consequences. Earth-Science Reviewsm, 56. 179-204.
- Hamish , A, Grantm, Tanish A, Stumanp and Zavtarp (2000). Inter- regional transport of Astralia duststorm. Soil Erosion Research forth 21th century proceeding of int. Symp. Honolu. Hi. USA.
- Jackson, V. H. (1913). Atmospheric electrification during dust storm. Journal of the Ranklin Institute, vol 176, Issue 1, 145.
- Koren,I.(2006).A single spot in the Sahara that provides most of the mineral dust to the Amazon forest.
- Liu. G. Park, S. U (2007). The logarithm-linear relationship of the occurrence frequency to the duration of sand- dust storm: Evidence from observational data in China. Journal of Arid Environments, Vol.71. 243-249.
- Ming L, Douglas L. and Steven D.M (2007). Coamps real-time duststorm forecasting during operation Iraq freedom. Weather and Forecasting. Vol 22.

- 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, 57-70.
- Wang, X. etal (2003). Modern dust storms in Chain: An overview. *Journal of Arid Environments*, Vol 58, 559-574.
- Yang, Y. Q. etal (2008). Sand/ dust storm processes in Northeast Asia and associated large- scale circulations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, Vol 8, 25-33.
- W.M.O(1978).Survey of the climatology and synoptic ,PEP,No 10,p 43.
- www.weather.ir
- www.cdc.noaa.gov
- www.Upper Air Sounding
- Orlovsky, L. etal (2004). Dust storms in turkmenistan. *Journal of Arid Environments*, Vol 60, 83-97.
- Qiang. M. etal (2007). Impacts of wind velocity on sand and dust, deposition during dust storm as inferred from a series of observations in the northeastern qinghai-Tibetan Plateau, China. *Power Technology* Vol 175, Issue2, 82-89.
- Shigong, W. etal, (2000). Progress of research on understanding sand and dust storms in the world. *Physics, Mechanics and processes of dust and sand storms*. 30-31.
- Wang,W.(2005).A synoptic model on east Asian dust emission and transport,Atmospheric science and air quality conferences China.