

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره یازده، بهمن ماه ۹۸

تحلیل آماری و اقلیمی طوفان‌های گردوغبار در ایران

پریسا فتاحی مسرور^۱

مریم رضازاده^{۲*}

rezazadeh@hormozgan.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۶/۵/۱۸

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۱۶

چکیده

زمینه و هدف: با توجه به افزایش این پدیده در سال‌های اخیر، پژوهش حاضر به تحلیل آماری و اقلیمی طوفان‌های گردوغبار در ایران در سال ۲۰۱۵ پرداخته است.

روش بررسی: در این تحقیق از آمارساعتی کدهای هواشناسی استفاده شده است. برای رسم گلباد از نرم افزار WRPLOT VIEW استفاده شده است. به منظور تحلیل سینوپتیکی طوفان مزبور، اطلاعات داده‌های جو میانه و بالا از قبیل داده‌های فشار تراز دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال، از پایگاه داده‌ی NCEP/NCAR دریافت و الگوهای گردشی آن به دست آمده است. جهت مشخص نمودن مسیر طوفان‌های گردوغبار از مدل رهگیری بسته‌های هوا HYSPLIT استفاده شده است.

یافته‌ها: زابل دارای بیشترین رخداد گردوغبار در سال ۲۰۱۵ بوده است. بیشترین سرعت باد و شدیدترین کاهش دید در ایستگاه زابل در ۶ جولای ۲۰۱۵ مشاهده شده است. توده‌های گردوغباری در اراک و فسا از غرب و شمال غرب عراق و در زابل از افغانستان وارد ایران شده است. نتایج پایگاه گردش جو میانه و تراز دریا در ۲۱ جولای ۲۰۱۵ که شدیدترین کاهش دید در فسا روی داده، بیانگر حضور یک کم-ارتفاع بر روی روسیه و یک پرفشار روی شمال دریای سیاه است. یک سامانه کم‌فشار نیز روی پاکستان مشاهده شده است که زبانه‌های آن تا مناطق شرقی و جنوبی ایران کشیده شده است.

بحث و نتیجه گیری: پدیده غباروزه در زابل می‌تواند دارای چشمه غبار محلی باشد. همچنین بیشترین رویداد تعلیق در شهرهای فسا و اراک با سرعت‌های کم‌تر باد همراه است. بادهای شمال شرقی در دوره سرد سال می‌تواند به سبب بادهای ۱۲۰ روزه سیستان باشد که تاثیر آن در شهر زابل بیشتر خواهد بود. در روزی که بیشترین کاهش دید مشاهده می‌شود اکثر مناطق کشور تحت‌تأثیر زبانه‌های مرکز پرفشار واقع روی غرب عراق، که در حرکت شرق‌سوی خود به مرکز ایران رسیده است قرار گرفته‌اند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل آماری و اقلیمی، طوفان گردوغبار، ردیابی، رهگیری جریان باد.

۱- کارشناس ارشد، گروه علوم غیرزیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

۲- استادیار، گروه علوم غیرزیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران* (مسئول مکاتبات).

Statistical and Climate Analysis of Dust Storms in Iran

Parisa Fatahi Masroui¹

Maryam Rezazadeh*

rezazadeh@hormozgan.ac.ir

Admission Date: August 9, 2017

Date Received: January 5, 2017

Abstract

Background and Objective: Due to the increase of this phenomenon, current study focuses on the climate and statistical analysis of dust storms in Iran during 2015.

Method: Hourly data of meteorological code are used in this study. The software WRPLOT VIEW was utilized to plot wind rose. For Synoptic analysis of the storm, data information of middle and upper atmospheres including sea-level pressure data and geopotential height of 500hP surface was received from NCEP/NCAR database, and their circulation patterns were obtained. In order to determine the trajectories of dust storms, the air parcel tracking model HYSPLIT was applied.

Findings: The maximum dust events were occurred in Zabol during 2015. Highest wind speed and severest loss of vision were observed at Zabol station on 6 July. The masses of dust were entered to Arak and Fasa from the west and northwest of Iraq and to Zabol from Afghanistan. Records of sea-level and middle-atmosphere circulation database on 21 July 2015, that showed the severest loss of vision in Fasa, revealed the presence of a low-height system over Russia and a high pressure system over the north black sea. A low pressure system was observed over Pakistan which its tabs were extended to the east and south regions of Iran.

Discussion and Conclusion: Blowing dust in Zabol can have a local dust source. The greatest dust in suspension events in Arak & Fasa with lower wind speed along. Northeasterly winds can cause of Sistan 120-day wind during the cold time of year that its impact will be greater in Zabol. On the day that severest loss of vision observed, most part of the country affected by tabs of high pressure located on the west in Iraq, that have been reached to the center of Iran with its easterly side.

Keywords: Statistical and climate analysis; dust storms; track; intercept the wind.

1- M.Sc, Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, Faculty of Marine Sciences and Technology, Hormozgan University, Bandar Abbas, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, Faculty of Marine Science and Technology, Hormozgan University, Bandar Abbas, Iran *(Corresponding Authours).

مقدمه

ذرات معلق گردوغبار عمدتاً از مناطق خشک و نیمه‌خشک که بارش سالانه در آن‌ها بسیار کم است و مقدار بسیار زیادی از رسوبات آبرفتی در طول دوره‌های زمانی طولانی انباشته شده است به جو وارد می‌شوند. کاهش میزان رطوبت و افزایش دما باعث افزایش تبخیر و تعرق و ایجاد خشکی، کاهش پوشش گیاهی و کاهش چسبندگی ذرات خاک می‌شود. در نتیجه خاک در اثر وزش بادهای شدید به حرکت درآمده و همراه با آن جابجا می‌شود. در حقیقت می‌توان بیابان‌ها و دریاچه‌های خشک شده را که به علت تغییرات اقلیمی به بیابان‌های کوچک تبدیل شده‌اند از مراکز تولید گردوغبار دانست. ذرات معلق گردوغبار مشمول انتقال وسیعی در یک مقیاس بین قاره‌ای هستند، از جمله توده گردوغبار شمال آفریقا روی اقیانوس اطلس، توده گردوغبار تابستانی از شبه‌جزیره عربستان روی دریای عرب و اقیانوس هند و توده گردوغبار بهاری از شرق آسیا بر روی اقیانوس آرام. منطقه خاورمیانه، به دلیل بیابان‌های وسیع، پس از صحرای آفریقا فعال‌ترین منطقه پدیده‌های غبار است (۱). کشور ایران نیز به دلیل قرارگیری در محل فرونشینی پرفشار دینامیکی جنب حاره در طول دوره گرم سال نزول مداوم هوا را در ترازهای میانی و فوقانی وردسپهر تجربه می‌کند. گسترش عمودی پرفشار جنب‌حاره همراه با تداوم دراز مدت آن بر روی ایران ضمن پایدار نمودن جو، شکل‌گیری توده هوای گرم‌وخشک را بر روی این سرزمین فلاتی در پی دارد. وجود این شرایط به‌طور محسوس بر میزان تبخیر و تعرق، پراکندگی زمانی و مکانی بارش و سایر متغیرهای جوی اثر گذاشته و به تبع آن سبب خشکی در کشور می‌شود. تضاد حرارتی شدید و شیب فشاری که به‌واسطه تفاوت در میزان انرژی دریافتی در سطح حاصل می‌گردد در ترازهای زیرین وردسپهر جریانات مداوم و بادهای شدیدی را در طول دوره گرم سال موجب می‌گردد. ساختار گردشی فوق در ترکیب با ویژگی‌های پوشش سطحی و آبرفت‌های ریزدانه 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 ساخته‌است.

بررسی‌های پیرامون تحلیل مکانی این پدیده بیانگر آن است که مناطق عمده فعالیت طوفان‌های گردوغبار در بیابان‌های ماسه-ای و دیگر بیابان‌ها، که اکوسیستم آنها به‌وسیله انسان متأثر شده‌است، قرار گرفته‌است (۲). هوی کائو و همکاران (۲۰۱۵) به شناسایی مناطق منبع گردوغبار در غرب آسیا با استفاده از مجموعه داده‌های مختلف زیست‌محیطی پرداختند (۳). آن‌ها سه خوشه واقع در دشت دجله و فرات را به‌عنوان منابع شدید غبار مشخص کردند. خوشه دیگر نیز در دشت سیستان نیز به-عنوان یک منبع بالقوه مشخص شد.

رضازاده و همکاران (۲۰۱۳)، چشمه‌های اصلی گردوغبار در خاورمیانه را به‌وسیله آنالیز اطلاعات هواشناسی ثبت‌شده در ایستگاه‌های زمینی از ۲۰۰۳-۱۹۹۸ را ۴ منطقه سودان و قسمت‌هایی از عربستان سعودی و عراق، پاکستان، قسمت‌هایی از ایران و افغانستان معرفی کردند. همچنین به بررسی نوع پدیده گردوغبار با توجه به الگوی باد غالب در مناطق یاد شده پرداخته‌اند (۴).

وانگ و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از مدل HYSPLIT طوفان‌های شن گردوغبار سال ۲۰۰۸ را بررسی و چهار منطقه آفریقای شمالی، خاورمیانه، مغولستان و شمال غرب چین را با فراوانی بالای رخداد گردوغبار بیان کردند (۵).

مطالعات دیگری که در ارتباط با فراوانی روزهای گردوخاکی ایران انجام گرفته، نشان می‌دهد که چاله‌های مرکزی بیش‌ترین تعداد روزهای گردوخاکی را دارند، به‌طوری که در مناطق وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، فراوانی وقوع روزهای مذکور به بیش از ۱۵۰ روز در سال می‌رسد. در مناطق جنوب‌غربی و غرب کشور که در مجاورت بیابان‌های بزرگی هم‌چون عراق، عربستان، سوریه می‌باشند، میانگین روزهای گردوخاکی نیز قابل‌توجه است که فراوانی وقوع آن در تیر و خرداد بیش از ماه‌های دیگر

از پرفشار مذکور به منطقه، طوفان گردوغبار ایجاد می‌نماید (۷).

مواد و روش ها

منطقه‌ی مورد مطالعه در این پژوهش، ایستگاه‌های واقع در استان‌های فارس، مرکزی و سیستان و بلوچستان می‌باشند که مشخصات آن‌ها در جدول ۱ آمده است.

است (۶). نتیجه عموم این گزارش‌ها، بیان‌گر افزایش وقوع طوفان‌های گردوغبار ایران به‌ویژه در مناطق غرب کشور است. علیچانی و همکاران (۱۳۹۰) به واکاوی آماری و همدیدی طوفان‌های گرد و خاک در دشت سیستان پرداختند و نشان دادند که در دوره‌ی سرد سال، هنگامی که پرفشار سبیری با فشار مرکزی بیش از ۱۰۴۰ هکتوپاسکال بر روی دریای خزر مستقر می‌شود و منطقه‌ی سیستان به دلیل عدم حضور زبانه‌های پرفشار مذکور، از شرایط کم‌فشاری نسبت به پرفشار مذکور برخوردار می‌باشد و در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز مرکز واپرخندی بر روی دریای خزر بسته می‌شود ریزش هوای سرد

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Table 1. Geographical characteristics of the studied area

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	آب و هوا
زابل	۳۱	۶۱/۵	۴۸۹/۲	صحرائی گرم و خشک
فسا	۲۸/۵	۵۳/۵	۱۲۸۸	نیمه صحرائی گرم
اراک	۳۴	۴۹/۵	۱۷۰۸	نیمه صحرائی سرد

دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال، از پایگاه داده‌ی جهانی برای سال ۲۰۱۵ تهیه شد. داده‌های سینوپ، سه‌ساعته (02z,05z,..) است. سپس پدیده‌های گردوغبار براساس دیدافتی و با توجه به کدهای سینوپ گزارش‌های هواشناسی تقسیم‌بندی شدند. به این صورت که ابتدا مشخص شد در هر ایستگاه کاهش دید ثبت شده، ناشی از پدیده‌ی گردوغبار است یا ناشی از بارش یا مه یا عوامل دیگر. کدهای WW برای گزارش غباروزه عدد ۰۶، برای تعلق عدد ۰۷، برای طوفان غبار ۳۲، ۳۱، ۳۰ و ۰۹ و برای طوفان شدید غبار ۳۳ تا ۳۵ می‌باشند.

در این تحقیق ابتدا داده‌های مشاهداتی هواشناسی در سطح جهانی برای سال ۲۰۱۵ تهیه شد. داده‌های سینوپ، سه‌ساعته (02z,05z,..) است. سپس پدیده‌های گردوغبار براساس دیدافتی و با توجه به کدهای سینوپ گزارش‌های هواشناسی تقسیم‌بندی شدند. به این صورت که ابتدا مشخص شد در هر ایستگاه کاهش دید ثبت شده، ناشی از پدیده‌ی گردوغبار است یا ناشی از بارش یا مه یا عوامل دیگر. کدهای WW برای گزارش غباروزه عدد ۰۶، برای تعلق عدد ۰۷، برای طوفان غبار ۳۲، ۳۱، ۳۰ و ۰۹ و برای طوفان شدید غبار ۳۳ تا ۳۵ می‌باشند.

بحث و نتایج

۱. تحلیل آماری پدیده‌های گردوغبار

بررسی کدهای هوای حاضر داده‌های هواشناسی جهانی در محدوده‌ی ایران در سال ۲۰۱۵ نشان داده است که بیش‌ترین فراوانی رخداد‌های گردوغبار در ایستگاه‌های زابل، فسا و اراک به‌وقوع پیوسته است. در این بررسی ایستگاه زابل با ۴۴۱ رخداد دارای بیش‌ترین تعداد پدیده گردوغبار بوده است (شکل ۱). در ایستگاه زابل، بیش‌ترین نوع پدیده گردوغبار، از نوع غباروزه و در ایستگاه‌های فسا و اراک بیش‌ترین نوع پدیده گردوغبار از نوع

با بررسی آمارهای موجود در ایستگاه‌های مورد مطالعه، شدیدترین و مداوم‌ترین طوفان‌های گردوغباری این ایستگاه‌ها در ایران مورد بررسی قرارگرفت و برای ایستگاه‌هایی که بیش‌ترین رخداد گردوغبار را داشت؛ داده‌های میدان دید، سرعت و جهت باد استخراج شد. برای رسم گلباد با استفاده از سرعت و جهت بادهای طوفان‌زا از نرم افزار WRPLOT VIEW استفاده شده‌است. به منظور تحلیل سینوپتیکی طوفان مزبور، اطلاعات داده‌های جو میانه و بالا از قبیل داده‌های فشار تراز

پدیده می‌تواند دارای چشمه غبار محلی باشد. پدیده تعلیق در ایستگاه‌های فسا و اراک بیان‌گر وجود ذرات معلق جو در ایستگاه و یا مجاور آن می‌باشد که با سرعت‌های کم باد نیز باعث بلندشدن ذرات خاک در این دو شهر شده است.

تعلیق بوده است (جدول ۲). فراوانی طوفان‌های غبار در سال ۲۰۱۵ بیان‌گر اهمیت این پدیده در کشور می‌باشد. بیش‌ترین تعدا غباروزه در ایستگاه زابل نشان می‌دهد که پدیده گردوغبار بدون نیاز به باد در این شهر ماندگاری زیادی داشته و این

جدول ۲- فراوانی انواع پدیده‌های گردوغبار در منطقه مورد مطالعه

Table 2. Frequency of dust phenomena in the studied area

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	فراوانی	تعلیق	غباروزه	توفان گردوغبار	توفان شدید گردوغبار
زابل	۳۱	۶۱/۵	۴۴۱	۷	۴۲۱	۵	۸
فسا	۲۸/۵	۵۳/۵	۴۱۲	۳۶۸	۴۴	۰	۰
اراک	۳۴	۴۹/۵	۳۷۳	۳۵۹	۱۴	۰	۰

ماهانه پدیده‌های گردوغبار حاکی از آن است که بیش‌ترین وقوع انواع پدیده‌ها در فصل گرم می‌باشد و عمده رویداد غبار از نوع غباروزه و تعلیق است که در سرعت‌های باد کم و در ایستگاه و یا مجاور آن قابل مشاهده است و دید افقی را بین ۱ تا ۱۰۰۰ کیلومتر گزارش می‌کند.

پس از بررسی فراوانی ماهانه مشخص شد که ایستگاه فسا با فراوانی ۱۵۷ وقایع گردوغبار در ماه آوریل، بیش‌ترین طوفان-های گردوغبار را در بین ماه‌ها در سال ۲۰۱۵ در ایران داشته-است. در شهر زابل ماه جولای و در شهر اراک ماه ژوئن دارای بیش‌ترین وقوع پدیده گردوغبار است (جدول ۳). نتایج بررسی

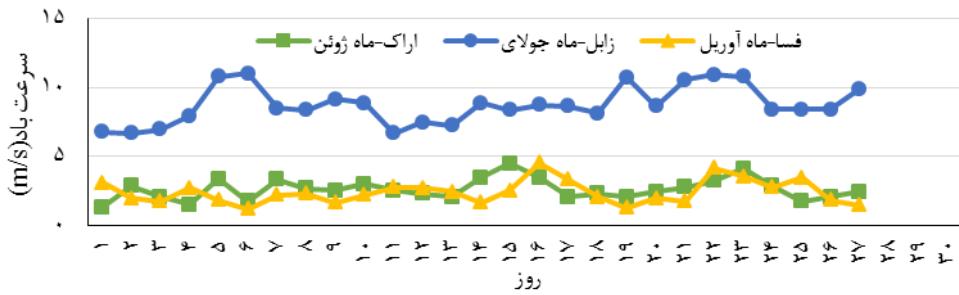
جدول ۳- فراوانی ماهانه انواع پدیده‌های گردوغبار در منطقه مورد مطالعه

Table 3. Monthly frequency of dust phenomena in the studied area

نام ایستگاه	ماه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	فراوانی	تعلیق	غباروزه	طوفان گردوغبار	طوفان شدید گردوغبار
فسا	۴	۲۸/۵	۵۳/۵	۱۵۷	۱۴۴	۱۳	۰	۰
زابل	۷	۳۱	۶۱/۵	۱۳۴	۰	۱۳۴	۰	۰
اراک	۶	۳۴	۴۹/۵	۱۰۱	۱۰۰	۱	۰	۰

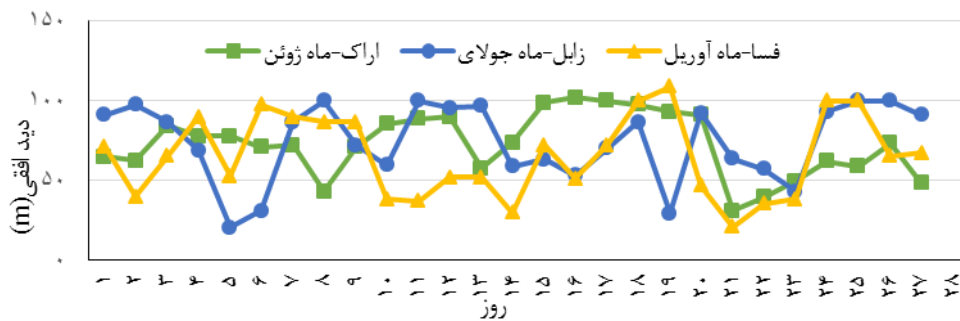
اراک روی می‌دهد با سرعت‌های کم‌تر باد همراه است. دامنه تغییرات میدان دید نیز در هر سه ایستگاه زابل، فسا و اراک دارای تغییرات زیادی است (شکل ۲). این نمودارها نشان می‌دهند که دید افقی بین ۱ تا ۱۰۰۰ با تعریف غباروزه و تعلیق سازگار است.

نمودار تغییرات سرعت باد در ماه‌هایی که بیش‌ترین وقوع گردوغبار را دارند، نشان می‌دهد که سرعت باد در ایستگاه زابل دارای دامنه‌ی تغییرات زیادی است (شکل ۱). بررسی سرعت باد وقوع پدیده غباروزه در زابل را تایید می‌کند زیرا این نوع پدیده غبار نیاز به سرعت باد بیش‌تری نسبت به پدیده تعلیق دارد. همچنین بیش‌ترین رویداد تعلیق که در شهرهای فسا و



شکل ۱- نمودار تغییرات سرعت باد در منطقه مورد مطالعه

Figure 1. The plot of wind speed in the studied area

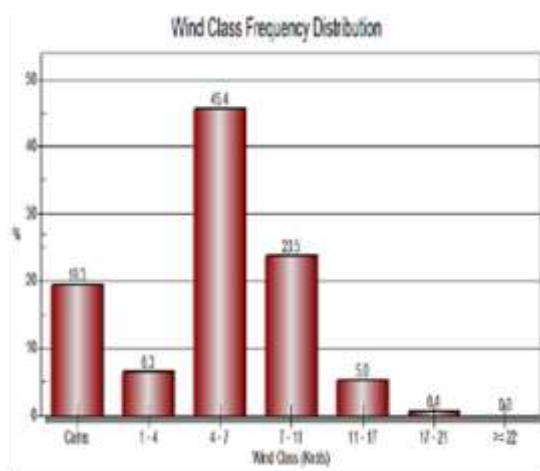


شکل ۲- نمودار تغییرات میدان دید در منطقه مورد مطالعه

Figure 2. The plot of the change of visibility in the study area

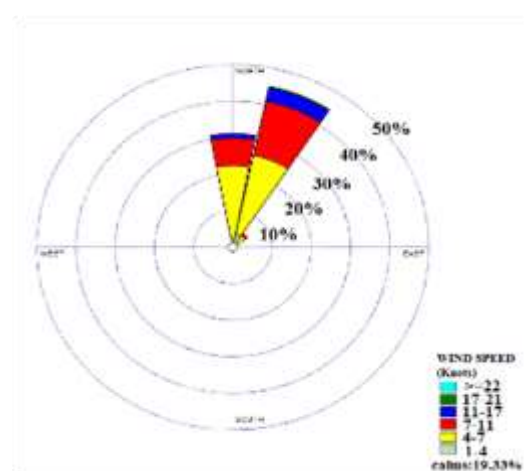
شمال شرقی وزیده‌اند و سرعت $۳۵/۸$ ٪ آن‌ها بین ۴ تا ۷ نات بوده است (شکل‌های ۳ تا ۸). بررسی سرعت‌های باد نشان می‌دهد که عمده بادهایی که موجب وقوع پدیده‌های غبار در کشور شده است شمال شرقی می‌باشد. این باد در دوره سرد سال می‌تواند به سبب بادهای ۱۲۰ روزه سیستان باشد که البته تاثیر آن در شهر زابل بیش‌تر خواهد بود.

بررسی سرعت و جهت باد در طوفان‌های مورد بررسی در هر ماه در شهر مورد نظر نشان می‌دهد که در شهر اراک حدود ۴۵ ٪ بادهای جهت شمال شرقی وزیده‌اند و سرعت $۴۵/۴$ ٪ بادهای بین ۴ تا ۷ نات بوده‌است. در ایستگاه زابل حدود ۸۸ ٪ بادهای جهت شمال شرق وزیده‌اند و سرعت $۵۳/۲$ ٪ بادهای بین ۱۱ تا ۱۷ نات بوده‌است. در ایستگاه فسا حدود ۵۰ ٪ بادهای جهت



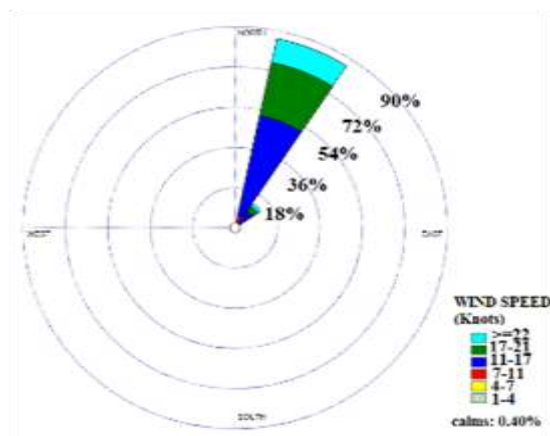
شکل ۴- طبقه بندی سرعت باد در ماه ژوئن در ایستگاه اراک

Figure 4. Classification of wind speed in June at Arak station



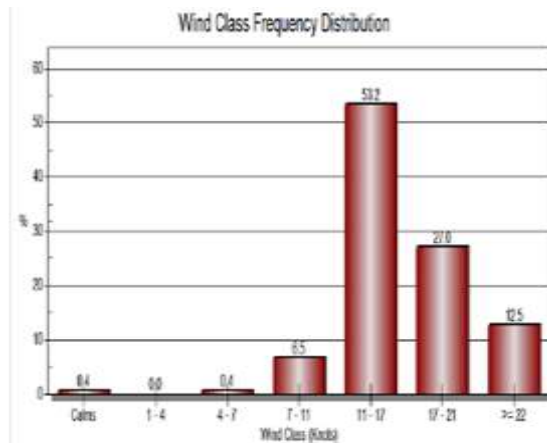
شکل ۳- گلباد مربوط به ماه ژوئن در ایستگاه اراک

Figure 3. Windrose in June at Arak station

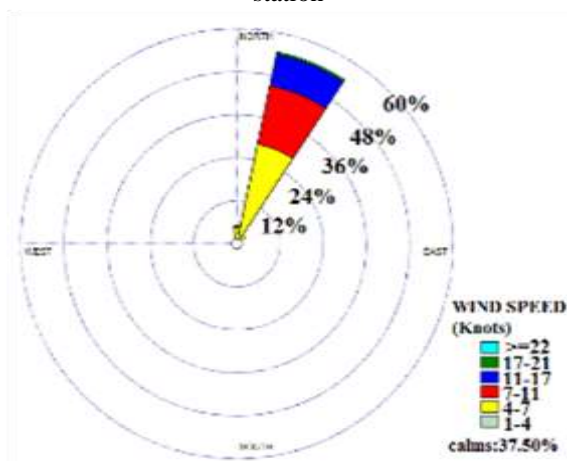


شکل ۶- طبقه بندی سرعت باد در ماه جولای در ایستگاه زابل

Figure 6. Classification of wind speed in July at Zabol station

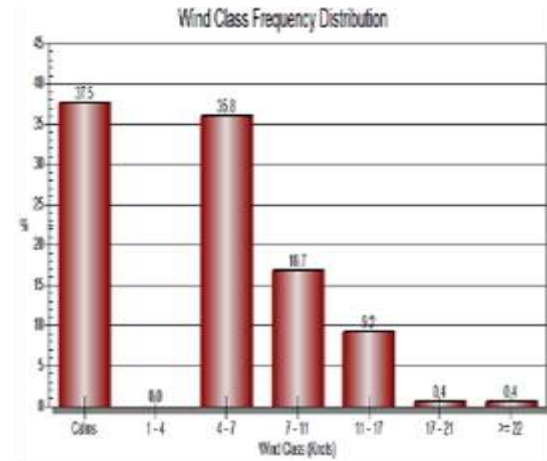


شکل ۵- گلباد مربوط به ماه جولای در ایستگاه زابل
Figure 5. Windrose in July at Zabol station



شکل ۸- طبقه بندی سرعت باد در ماه آوریل در ایستگاه فسا

Figure 8. Classification of wind speed in April at Fasa station



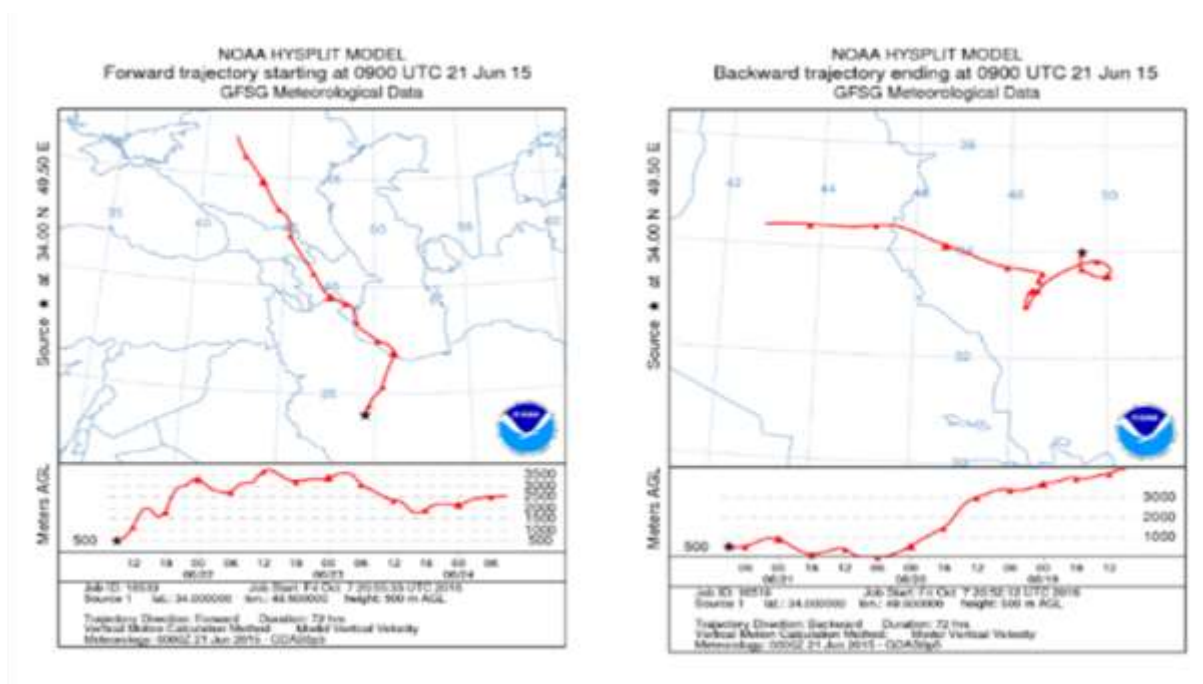
شکل ۷- گلباد مربوط به ماه آوریل در ایستگاه فسا
Figure 7. Windrose in April at Fasa station

عقبگرد نشان داده است که بخش غربی ایران تحت تاثیر بسته‌های هوایی که از مرکز و شرق عراق سرچشمه گرفته بودند، قرار گرفتند. بنابراین توده‌های گردوغبار در اراک از مرکز و شرق عراق سرچشمه گرفته و با جهت غربی-شرقی در منطقه حرکت نموده‌اند. رهگیری جریان باد به روش جلوگرد نیز در شهر اراک نشان داد که توده‌های گردوغبار به مناطق شمالی ایران خواهند رسید (شکل ۹).

۲. ردیابی جریان باد حامل ذرات گردوغبار

فاکتور میدان دید نشان‌دهنده‌ی کاهش میدان دید در تاریخ مشخصی برای هرکدام از شهرهای مورد بررسی می‌باشد. با استفاده از مدل رهگیری جریان باد و روش‌های خط سیر عقب-گرد (جلوگرد)، رهگیری بسته‌های باد از ساعت ۹ صبح به وقت جهانی شروع و با عقب رفتن (جلورفتن) در زمان به مدت ۷۲ ساعت ادامه یافت که نتایج آن به صورت زیر می‌باشد:

در شهر اراک در تاریخ ۲۱ ژوئن ۲۰۱۵ شدیدترین کاهش دید افقی مشاهده شده است. رهگیری جریان باد در این روز با روش

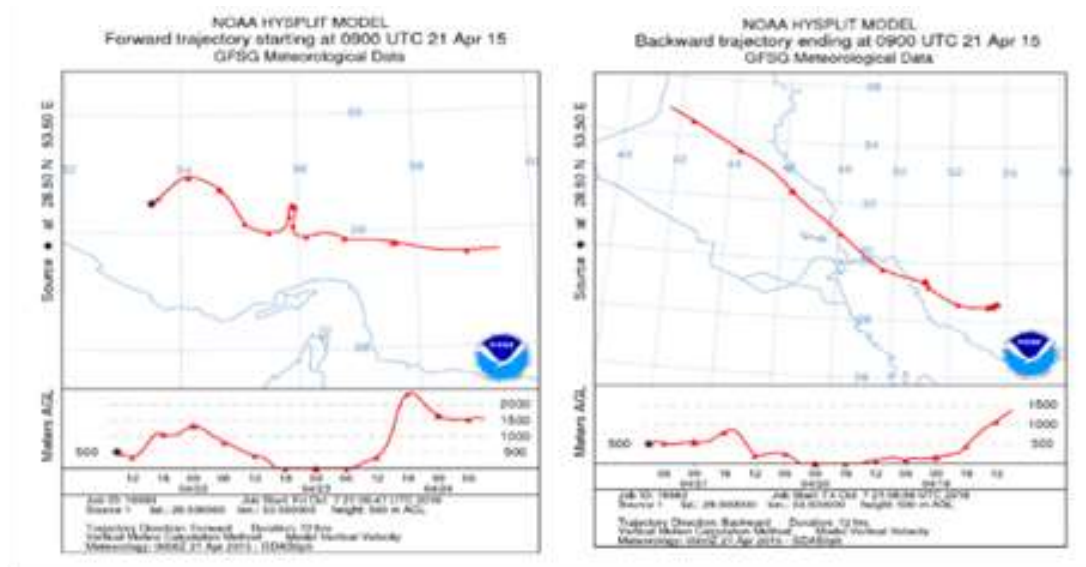


(ب)

(الف)

شکل ۹- (الف) رهگیری جریان باد رو به عقب در تاریخ ۲۱/۰۶/۲۰۱۵ در اراک. (ب) رهگیری جریان باد رو به جلو در تاریخ ۲۱/۰۶/۲۰۱۵ در اراک

Figure 9. (A)Track wind flow backward in Arak at 2015/06/21. (B) Track wind flow forward in Arak at 2015/06/21



(ب)

(الف)

شکل ۱۰- (الف) رهگیری جریان باد رو به عقب در تاریخ ۲۱/۰۴/۲۰۱۵ در فسا. (ب) رهگیری جریان باد رو به جلو در تاریخ ۲۱/۰۴/۲۰۱۵ در فسا

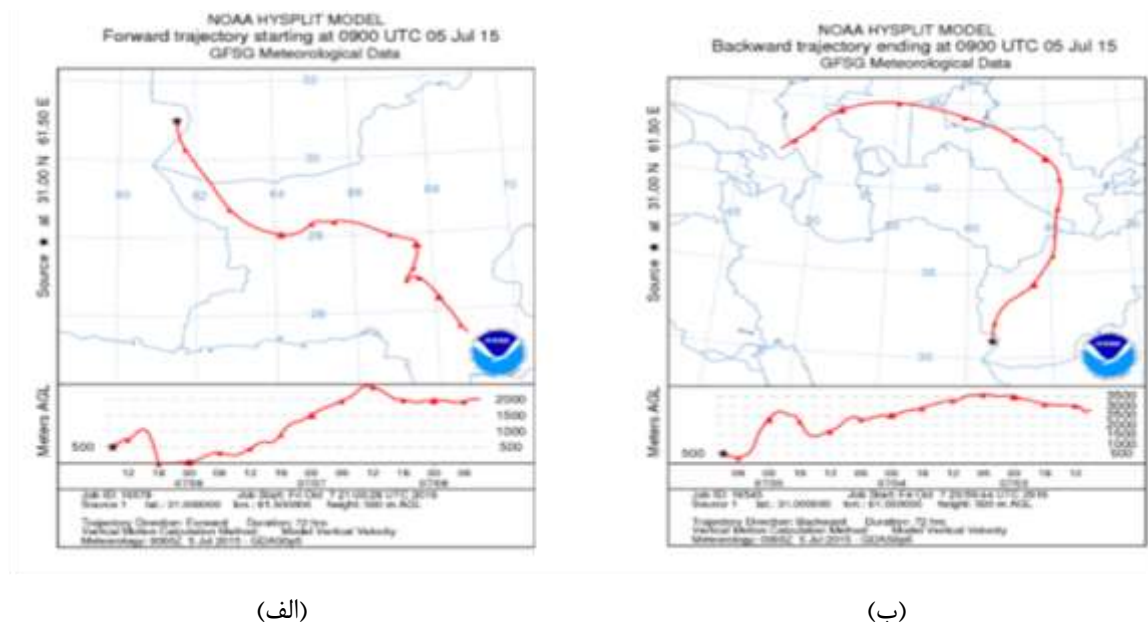
Figure 10. (A)Track wind flow backward in Fasa at 2015/04/21. (B) Track wind flow forward in Fasa at 2015/04/21

به صورت عقب‌گرد مشخص شده است که بسته‌های هوا و توده‌های گردوغبار از شمال آذربایجان سرچشمه گرفته و پس از طی مسیر از کشورهای ازبکستان و افغانستان به زابل رسیده‌اند. رهگیری جریان باد به روش جلوگرد نشان دهنده‌ی حرکت در جهت شمال غربی-جنوب شرقی و نفوذ توده‌های گردوغبار به شمال غرب تا جنوب شرق پاکستان است (شکل ۱۱).

بررسی‌های ردیابی پدیده‌های غبار تاییدی بر مناطق چشمه غبار در خاورمیانه است که در پژوهش‌هایی از جمله رضازاده و همکاران (۲۰۱۳)، وانگ و همکاران (۲۰۱۱) و اختصاصی و همکاران (۱۳۸۵) نیز به آن اشاره شده است.

در شهر فسا در تاریخ ۲۱ آوریل ۲۰۱۵ شدیدترین کاهش دید افقی مشاهده شده است. رهگیری جریان باد در این روز به روش عقب‌گرد نشان داده است که شهرهای واقع در جنوب غربی ایران تحت تاثیر توده‌های گردوغباری که از شمال غرب عراق سرچشمه گرفته‌بود، قرار گرفتند. بنابراین توده‌های گردوغبار از شمال غرب عراق سرچشمه گرفته و در جهت شمال غربی-جنوب شرقی حرکت کرده و به فسا رسیده‌اند. رهگیری جریان باد به روش جلوگرد نشان دهنده‌ی حرکت توده‌های گردوغبار به جنوب شرق ایران است (شکل ۱۰).

در شهر زابل نیز در تاریخ ۵ جولای ۲۰۱۵ شدیدترین کاهش دید افقی مشاهده شده است. در این روز با رهگیری بسته‌ای باد



شکل ۱۱- (الف) رهگیری جریان باد روبه‌عقب در تاریخ ۵ /۰۷/۲۰۱۵ در زابل. (ب) رهگیری جریان باد روبه‌جلو در تاریخ ۵ /۰۷/۲۰۱۵ در زابل

Figure 11. (A)Track wind flow backward in Zabol at 2015/07/05. (B) Track wind flow forward in Zabol at 2015/07/05.

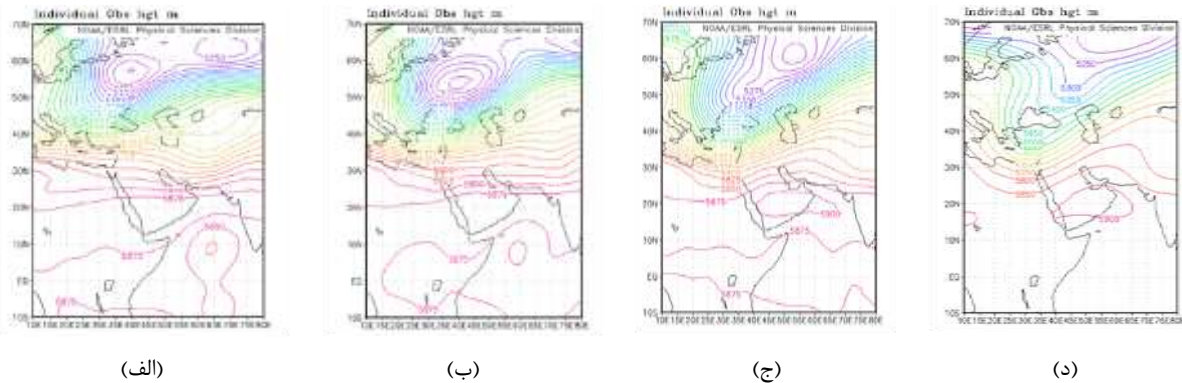
مناطق مرکزی دریای سرخ عبور می‌کرد. هم‌چنین مرکز پراتفاهی با هسته مرکزی ۵۸۲۵ ژئوپتانسیل‌متر روی مناطق مرکزی دریای عربی قرار گرفته‌است. خط پشته این سامانه نیز از روی دریای عمان عبور می‌کند (شکل ۱۲-الف). در روز ۲۰ آوریل سامانه کم‌ارتفاع با مرکزیت ۵۲۷۵ ژئوپتانسیل‌متر که بر روی مناطق غربی روسیه قرار داشت اندکی به سمت شرق

۳. تحلیل سینوپتیکی (طوفان گردوغباری آوریل ۲۰۱۵ در فسا)

۱.۳ بررسی ارتفاع ژئوپتانسیل

در روز ۱۹ آوریل ۲۰۱۵، ناوه عمیقی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با هسته مرکزی ۵۲۷۵ ژئوپتانسیل‌متر روی مناطق غربی روسیه و شمال دریای سیاه قرار داشت که خط ناوه آن از روی

عربستان شکل گرفته است که زبانه ۵۸۵۰ ژئوپتانسیل متری آن نواحی جنوبی ایران را تحت تأثیر قرار می دهد (شکل ۱۲-ج). در روز ۲۲ آوریل سامانه کم ارتفاع با حرکت شرق سوی خود از کشور خارج شده است. در این روز سامانه پرفشار تقویت شده به طوری که زبانه ۵۸۵۰ ژئوپتانسیل متری آن جنوب کشور را تحت تأثیر قرار داده است (شکل ۱۲-د).



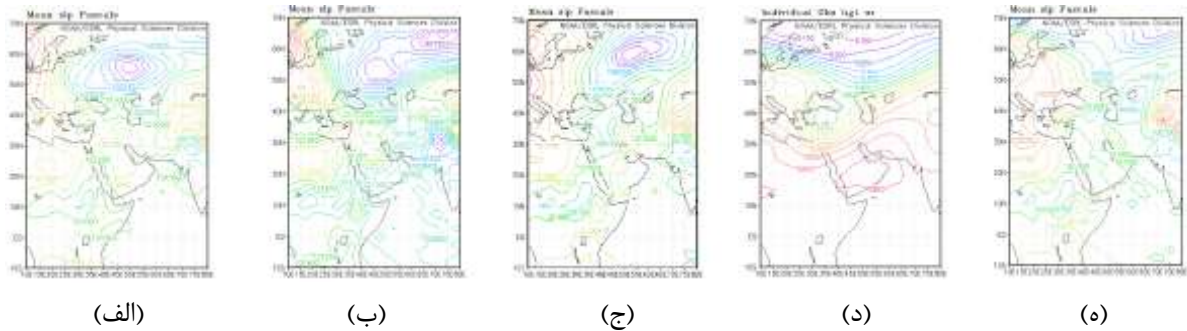
شکل ۱۲- نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل در تاریخ (الف) ۲۰۱۵/۰۴/۱۹، (ب) ۲۰۱۵/۰۴/۲۰، (ج) ۲۰۱۵/۰۴/۲۱، (د) ۲۰۱۵/۰۴/۲۲.

Figure 12. Geopotential height map at (A) 2015/04/19. (B) 2015/04/20. (C) 2015/04/21. (D) 2015/04/22.

ترکیه منتقل شد. با حرکت شرق سوی این سامانه مناطق غربی کشور تحت تأثیر زبانه های آن قرار گرفته اند (شکل ۱۳-ب). در روز ۲۱ آوریل مرکز پرفشاری که در جنوب ترکیه قرار داشت به سمت شرق حرکت می کند و بر روی مناطق شمال غربی ترکیه دیده شده است. همچنین مرکز پرفشاری که در روی غرب عراق قرار گرفته بود به سمت شرق حرکت کرده و در مرکز ایران مستقر می شود. در این روز اکثر مناطق کشور تحت تأثیر زبانه های این مرکز پرفشار قرار می گیرند، به طوری که زبانه ۱۰۱۲ هکتوپاسکالی آن جنوب کشور را تحت تأثیر قرار می دهد (شکل ۱۳-ج). در روز ۲۲ آوریل زبانه های مرکز پرفشار تضعیف می شوند و در نهایت در روز ۲۳ آوریل گرادیان فشار در کشور کاهش می یابد، که باعث ایجاد شرایط پایدار در منطقه می شود (شکل ۱۳-د و ۱۳-ه).

۲.۳. بررسی فشار سطح دریا

در روز ۱۹ آوریل ۲۰۱۵، مرکز کم فشار با فشار مرکزی ۱۰۰۰/۵ هکتوپاسکال بر روی مناطق غربی قزاقستان قرار داشته است. مرکز پرفشاری با فشار مرکزی ۱۰۱۶ هکتوپاسکال در غرب عراق دیده شد که زبانه ۱۰۱۲/۵ هکتوپاسکالی آن از غرب ایران عبور کرده است. مرکز پرفشار دیگری نیز روی دریای مدیترانه با فشار مرکزی ۱۰۱۲/۵ هکتوپاسکال مشاهده شده است. همچنین کم فشاری با فشار مرکزی ۹۷۰ هکتوپاسکال در شمال پاکستان دیده شده است که زبانه ۱۰۰۶ و ۱۰۱۱ هکتوپاسکالی آن جنوب و جنوب شرقی ایران را تحت تأثیر قرار می دهد (شکل ۱۳-الف). در روز ۲۰ آوریل مرکز کم فشاری که در روز ۱۹ آوریل روی مناطق غربی قزاقستان قرار داشت به عرض های بالاتر می رود. همچنین مرکز پرفشاری که در روی دریای مدیترانه قرار داشت با تقویت فشار مرکزی خود همراه بوده و در مناطق جنوبی



شکل ۱۳- (الف) نقشه فشار تراز دریا در تاریخ ۲۰۱۵/۰۴/۱۹. (ب) نقشه فشار تراز دریا در تاریخ ۲۰۱۵/۰۴/۲۰. (ج) نقشه فشار تراز دریا در تاریخ ۲۰۱۵/۰۴/۲۱. (د) نقشه فشار تراز دریا در تاریخ ۲۰۱۵/۰۴/۲۲. (ه) نقشه فشار تراز دریا در تاریخ ۲۰۱۵/۰۴/۲۳.

Figure 13. (A) The map of sea level pressure at 2015/04/19. (B) The map of sea level pressure at 2015/04/20. (C) The map of sea level pressure at 2015/04/21. (D) The map of sea level pressure at 2015/04/22. (H) The map of sea level pressure at 2015/04/23.

فسا با فراوانی ۱۵۷ وقایع گردوغبار در ماه آوریل، بیشترین طوفان های گردوغبار را در بین ماهها در کشور داشته است. بررسی فراوانی ماهانه نیز نشان می دهد که ایستگاه های اراک، فسا و زابل در ماه های ژوئن، آوریل و جولای بیشترین تعداد رخداد های گردوغباری را داشته اند.

نتایج حاصل از بررسی نمودار تغییرات سرعت باد نشان می دهد که روزهای با بیشترین سرعت باد توأم با شدیدترین کاهش دید افقی در ایستگاه های مورد مطالعه می باشد. نتایج ردیابی مسیر بادهای حامل ذرات گردوغبار که با استفاده از مدل HYSPLIT انجام شده است، منشأ اصلی گردوغبار در ایران را در مناطق غرب و شمال غرب عراق نشان می دهد. نتایج تحلیل هم دیدی برای نمونه طوفان غبار ۲۱ آوریل ۲۰۱۵ در ایستگاه فسا نشان می دهد با به کار گرفتن نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بیان گر کاهش دید افقی شدید در روز ۲۱ آوریل ۲۰۱۵ که در این ایستگاه می باشد. همچنین نقشه ها حضور یک کم ارتفاع را در شمال دریای خزر و ۲ مرکز پراتفعا را روی دریای عربی و جنوب عربستان تایید می کنند. بررسی نقشه های فشار تراز دریا نمایان گر حضور مرکز کم فشار بر روی مناطق غربی قزاقستان و مرکز پرفشاری در غرب عراق است که زبانه ۱۰۱۲/۵ هکتوپاسکالی آن غرب ایران را تحت تأثیر قرارداده است. همچنین کم فشاری در شمال پاکستان مشاهده شده است

بررسی الگوهای سینوپتیکی در روزهایی که بیشترین کاهش دید افقی به دلیل پدیده غبار در شهرهای مورد مطالعه روی می دهد بیان گر این است که در فصل گرم سال دلیل عمده وقوع پدیده غبار حضور یک مرکز کم فشار در قزاقستان و مرکز پرفشاری روی مدیترانه سبب ایجاد همگرایی در مناطق غربی ایران شده و احتمال جابجایی ذرات غبار را در این مناطق به وجود می آورد. همچنین روی سطوح بالا حضور زبانه پراتفعا روی دریای عربی و هسته کم ارتفاعی روی دریای سیاه شرایط سطح زمین را برای ایجاد ناپایداری فراهم می کند.

نتیجه گیری

در سال های اخیر بروز پدیده گردوغبار در کشور مشکلات فراوانی را برای ساکنان مناطق غربی و جنوبی کشور به وجود آورده است. به همین دلیل در این پژوهش به بررسی انواع پدیده های گردوغبار بر طبق طبقه بندی WMO با دید آماری و اقلیمی در سال ۲۰۱۵ پرداخته شده است. نتایج این طبقه بندی که با استفاده از داده های مشاهداتی دید افقی و هوای حاضر انجام شده است نشان می دهد که سه ایستگاه دارای بیشترین رخداد های طوفان گردوغبار بوده اند که شامل ایستگاه های اراک، فسا و زابل می باشد. ایستگاه زابل با ۴۴۱ رخداد دارای بیشترین تعداد پدیده گردوغبار در سال بوده است. همچنین ایستگاه

- variations, Journal of Arid Environments, Vol. 85, pp.62-70.
3. Cao, H., Amiraslani, F., Liu, J., Zhou, N. 2015. Identification of dust storm source areas in West Asia using multiple environmental datasets, Science of the Total Environment, Vol. 502, pp.224-235.
 4. Rezazadeh, M., Irannejad, P., Shao, Y. 2013. Climatology of the Middle East dust events, Aeolian Research, Vol. 10, pp.103-109.
 5. Wang, Y., Stein, A.F., Draxler, R.R., Jesús, D., Zhang, X., 2011. Global sand and dust storms in 2008: observation and HYSPLIT model verification, Atmospheric Environment, Vol. 45(35), pp.6368-6381.
 6. Raeispour, K., Statistical and Synoptic Analysis of Dust Phenomenon in Khuzestan Province, MSc thesis, University of Sistan and Baluchestan, 2008, Persian.
 7. Alijane, B., Raeispour, K., 2011. Statistical, Synoptical Analysis of Sand Storms in SE IRAN. (Study Case: Region of SISTAN), Journal of Arid Regions Geographic Studies, Vol. 2(5), pp. 107-132.(In Persian)

که زبانه‌های آن مناطق جنوب و جنوب‌شرقی ایران را دربرگرفته‌است. نتایج بررسی نشان‌داده است که در روزی که بیش‌ترین کاهش دید مشاهده می‌شود مرکز پرفشاری که در جنوب ترکیه قرار داشته به سمت شرق حرکت کرده و روی مناطق شمال‌غربی ترکیه قرار گرفته‌است. همچنین مرکز پرفشاری که روی غرب عراق قرار گرفته‌بود در حرکت شرق-سوی خود به مرکز ایران رسیده‌است. در این روز اکثر مناطق کشور تحت‌تأثیر زبانه‌های این مرکز پرفشار قرار گرفته‌اند. در حال حاضر طوفان‌های گردوغبار شدیدی بیش‌تر مناطق ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این طوفان‌های گردوغبار تهدیدی جدی برای مختل کردن بخش‌های بسیار مهم و حیاتی زندگی عمومی مردم، اقتصاد، تحصیل و آموزش، بازرگانی، سلامت و بهداشت عمومی، کشاورزی، تجارت و حمل و نقل به شمار می‌روند. بنابراین با توجه به اهمیت طوفان‌های گردوغبار در کشور و با تحلیل هم‌زمان آماری، سینوپتیکی می‌توان به تجزیه و تحلیل و شناخت مناطق منشأ طوفان‌ها و همچنین مسیرهای ورود گردوغبار پرداخته شود تا با پیش‌بینی زمان وقوع و شناسایی این پدیده بتوان در کاهش هزینه‌ها و ایجاد آمادگی روانی و فیزیکی در مقابله با اثرات آن اقدام کرد.

Reference

1. Furman, H.K.H., 2003. Dust storms in the Middle East: sources of origin and their temporal characteristics, Indoor and Built Environment. Vol. 12(6), pp.419-426.
2. Indoitu, R., Orlovsky, L., Orlovsky, N., 2012. Dust storms in Central Asia: spatial and temporal