

عوامل مؤثر بر رخداد طوفان ماسه و گردوغبار زابل با تأکید بر نقش کم‌فشار پاکستان

فاطمه درگاهیان^{۱*}، سکینه لطفی‌نسب اصل^۲ و سمانه رضوی‌زاده^۳

۱- نویسنده مسئول، استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
پست الکترونیک: fatemeh.dargahian@gmail.com

۲- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۲۶

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۴/۱۲

چکیده

با وجود وسعت زیاد مناطق تحت تأثیر بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، منطقه زابل با موقعیت خاص توپوگرافی دارای بیشترین و شدیدترین طوفان‌های گردوغبار در شرق کشور است. به‌منظور شناسایی و تحلیل الگوی گردوغبار منطقه زابل و وجه تمایز آن از سایر قسمت‌های تحت تأثیر بادهای معروف ۱۲۰ روزه سیستان، از پایگاه داده‌های محیطی، کدهای گردوغبار و از پایگاه داده‌های NCEP/NCAR با قدرت تفکیک مکانی $2/5 \times 2/5$ درجه طول و عرض جغرافیایی داده‌های فشار تراز دریا متناظر با روزهای گردوغبار در دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۱۶ استفاده شده است. با هدف استخراج الگوی‌های جوی مولد رخداد‌های گردوغبار بر روی داده‌های فشار تراز دریا اقدام به انجام تحلیل خوشه‌ای در محیط نرم‌افزار متلب شد. در نهایت ۴ الگو استخراج و برای هر الگو یک روز که بیشترین همبستگی را با سایر روزها داشت به‌عنوان روز نماینده آن الگو انتخاب شد. از میان ۴ الگو غالب‌ترین الگو با فراوان‌ترین رخداد انتخاب و رخداد ۱۳ تا ۱۶ جولای ۲۰۱۶ به‌عنوان روز نماینده این الگوی غالب مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور نقشه‌های سینوپتیک فشار و دمای سطح زمین، تاوایی و جریان جت در لایه زیرین جو، میدان باد و جهت جریان‌ها در سطح زمین و نیم‌رخ سینوپتیک ناپایداری هوا ترسیم گردید. نتایج نشان داد منطقه زابل به دلیل برخورداری از رسوبات ریزدانه رودخانه‌ای و تالابی و قرارگیری در حاشیه غربی کم‌فشاری که دارای ماهیت حرارتی است و تعامل این کم‌فشار با پرفشاری که با توجه به موقعیت مکانی آن گاهی پرفشار ترکمنستان، هندوکش، شمال‌شرق ایران و شمال دریای خزر نامیده می‌شود، با ایجاد شیب تغییرات فشاری زیاد، بیشترین قابلیت تولید ریزگرد را دارد؛ این کم‌فشار در لایه پایینی جو با مکش گردوغبار و حرکت پادساعتگرد با عبور از روی منابع ریزگرد در منطقه زابل، مانع نفوذ آن به عرض‌های پایین‌تر تحت تأثیر بادهای ۱۲۰ روزه سیستان و سبب انتقال بیشتر ذرات ماسه و گردوغبار به سمت افغانستان شده است. بنابراین با توجه به موقعیت زابل نسبت به این کم‌فشار که شدت آن در تیرماه به اوج می‌رسد و آن را نسبت به سایر مناطق تحت تأثیر بادهای ۱۲۰ روزه متمایز نموده، باید تمهیدات ویژه‌ای برای کاهش شدت گردوغبارها در نظر گرفت و در برنامه‌های مقابله با ریزگردها در اولویت قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: بادهای ۱۲۰ روزه، کم‌فشار پاکستان، ریزگردهای تالابی، طوفان ماسه و گردوغبار.

مقدمه

در اقلیم تابستانی منطقه تحت نفوذ خود از اهمیت بالایی برخوردار است (Khosravi et al., 2017; Whitney, 2006). این کم‌فشار یکی از مهمترین عوامل شکل دهنده

کم‌فشار پاکستان یکی از سامانه‌های مهم و تأثیرگذار در فصل گرم سال در جنوب آسیا است و به‌دلیل نقش آن

طوفان‌های گردوغبار در شرق کشور و از جمله منطقه زابل می‌باشد. سازوکار تشکیل و ساختار طوفان‌های گردوغباری در شرق کشور با طوفان‌های غرب و جنوب‌غرب کشور متفاوت می‌باشد. در غرب و جنوب‌غرب کشور الگوهای متفاوتی در سازوکار تشکیل طوفان‌های گردوغباری نقش دارند، سه الگوی زوجی، ناوه موج غربی و پرفشار به‌عنوان الگوهای اصلی سینوپتیکی رخدادهای طوفان گردوغبار شناسایی شده‌اند (Mofidi & Jafari, 2011). در شرق کشور بیشتر طوفان‌های گردوغبار در زمان وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان رخ می‌دهند؛ این بادهای با توجه به مقیاس همدیدی به علت شیب فشار بین دو مرکز پر فشار در شمال (شمال دریای خزر) و شمال‌شرق ایران و مرکز کم‌فشار معروف به کم‌فشار پاکستان بوجود می‌آیند (Saligheh, 2011; Alijani & Raeespoor, 2011). در سازوکار تشکیل طوفان‌های گردوغبار غرب کشور، نقش ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و همین امر سبب نفوذ آنها به لایه‌های بالایی جو می‌شود؛ اما طوفان‌های گردوغبار ناشی از وزش بادهای معروف به ۱۲۰ روزه سیستان از شرایط سطح زمین تأثیر می‌پذیرند، به‌طوری‌که شکل‌گیری طوفان‌های گردوغباری سیستان در گسترش قائم خود در زیر تراز ۹۰۰ هکتوپاسکال بوقوع می‌پیوندد (Mofidi et al., 2013). به‌طوری‌که حداکثر تمرکز گردوغبار مربوط به سطوح پائینی جو است (Khosravi, 2011).

در دهه اخیر وقوع خشکسالی‌های مکرر موجب کم شدن آب رودها و در نتیجه کم شدن آب تالاب‌ها و حتی خشک شدن برخی از آنها شده است. با توجه به افزایش تعداد و شدت خشکسالی‌ها، قابلیت وجود مواد ریزدانه برای رخداد طوفان‌های گردوغباری بیشتر و شدیدتر در آینده وجود دارد (Zareh Abyaneh et al., Saligheh, 2011). با وجود اینکه گسترش افقی بادهای ۱۲۰ روزه سیستان استان‌های خراسان جنوبی، رضوی، کرمان و سیستان را در برمی‌گیرد؛ اما منطقه زابل دارای بیشترین تعداد رخداد طوفان ماسه و گردوغبار می‌باشد

(Gandomkar, 2010). بررسی طوفان‌های گردوغبار بر حسب فراوانی زمانی و مکانی برای ۵۰ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک در سراسر کشور در طی دوره آماری ۲۰۰۶-۱۹۸۷ نشان داد که ایستگاه زابل با میانگین فراوانی ۱۸۳ روز بیشترین تعداد روزهای گردوغباری را دارد که بیشترین فراوانی آن در ماه جولای می‌باشد (Farajzadeh asl & Alizadeh, 2011). شناخت ماهیت، منشأ و اثر طوفان‌های گردوغباری در تعیین روش‌های کنترل آن نقش بسزایی دارد (Elanlu, 2012). از این رو علاوه بر شناسایی مقیاس همدیدی آنها از تصاویر ماهواره‌ای برای شناخت منابع و چشمه‌های گرد و خاک در منطقه استفاده شد. Groll و Aslanov (۲۰۱۳) و Zhu و همکاران (۲۰۱۴) از تصاویر ماهواره‌ای برای پایش پدیده گردوغبار استفاده کرده‌اند، علاوه بر این اخیراً مدل‌سازی پدیده گردوغبار از طریق شبیه‌سازی مدل‌های میان‌مقیاس منطقه‌ای مانند مدل دینامیکی میان‌مقیاس RegCM برای شناخت پدیده‌های اقلیمی و از جمله پدیده گردوغبار کاربرد فراوانی داشته است. Santese و همکاران (۲۰۱۰) و Agacayak و همکاران (۲۰۱۲) از این مدل میان‌مقیاس منطقه‌ای برای شناخت ماهیت و ساختار طوفان‌های گردوغبار استفاده کردند. کاربرد این مدل‌ها برای شناخت و ماهیت بادهای ۱۲۰ روزه به‌عنوان مولد طوفان‌های ماسه در منطقه زابل در کار Mofidi و همکاران (۲۰۱۳) و Hamidianpoor و همکاران (۲۰۱۶) مشاهده شده است. علاوه بر مدل‌های میان‌مقیاس منطقه‌ای برای شناخت پدیده گردوغبار از مدل‌های مقیاس متوسط مانند WRF (Weather Research and Forecasting) برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی گردوغبار استفاده شده است (Alizadeh & Choobari et al., 2015).

حوضه آبریز هامون هیرمند، بین کشور ایران و افغانستان مشترک است. منطقه زابل بخش انتهایی این حوضه و محل تجمع رسوبات ریزدانه رودخانه ای و تالابی است. منطقه مورد مطالعه در مسیر بادهای ۱۲۰ روزه سیستان واقع شده است، مدت زمان وزش این باد در

نسبت به سایر جاها از نظر شدت و تداوم وقوع طوفان ماسه و گردوغبار متمایز است، سئوالی است که در این مقاله به آن پرداخته شده است. در این مطالعه برای پاسخ به این سئوال در طول دوره آماری ۳۰ ساله الگوی سینوپتیکی و دینامیکی مولد طوفان‌های گردوغباری در منطقه استخراج و پس از شناسایی غالب‌ترین الگوی طوفان ۱۳ تا ۱۶ جولای ۲۰۱۶ به‌عنوان نماینده آن به دلیل اهمیت و خسارتهای ناشی از آن مورد واکاوی قرار گرفت. در این طوفان سرعت باد به ۹۴ کیلومتر بر ساعت و دید افقی به ۱۰۰ متر رسیده است، از این رو با توجه به تعریف جهانی طوفان گردوغبار (که سرعت باد به بیش از ۱۵ متر بر ثانیه یعنی ۵۴ کیلومتر بر ساعت و دید افقی کمتر از یک کیلومتر)، این طوفان یکی از شدیدترین طوفان‌های منطقه بوده که تقریباً ۴ روز طول کشیده، بنابراین از نظر شدت و تداوم یکی از مهمترین و خسارت‌بارترین طوفان‌های منطقه بوده است.

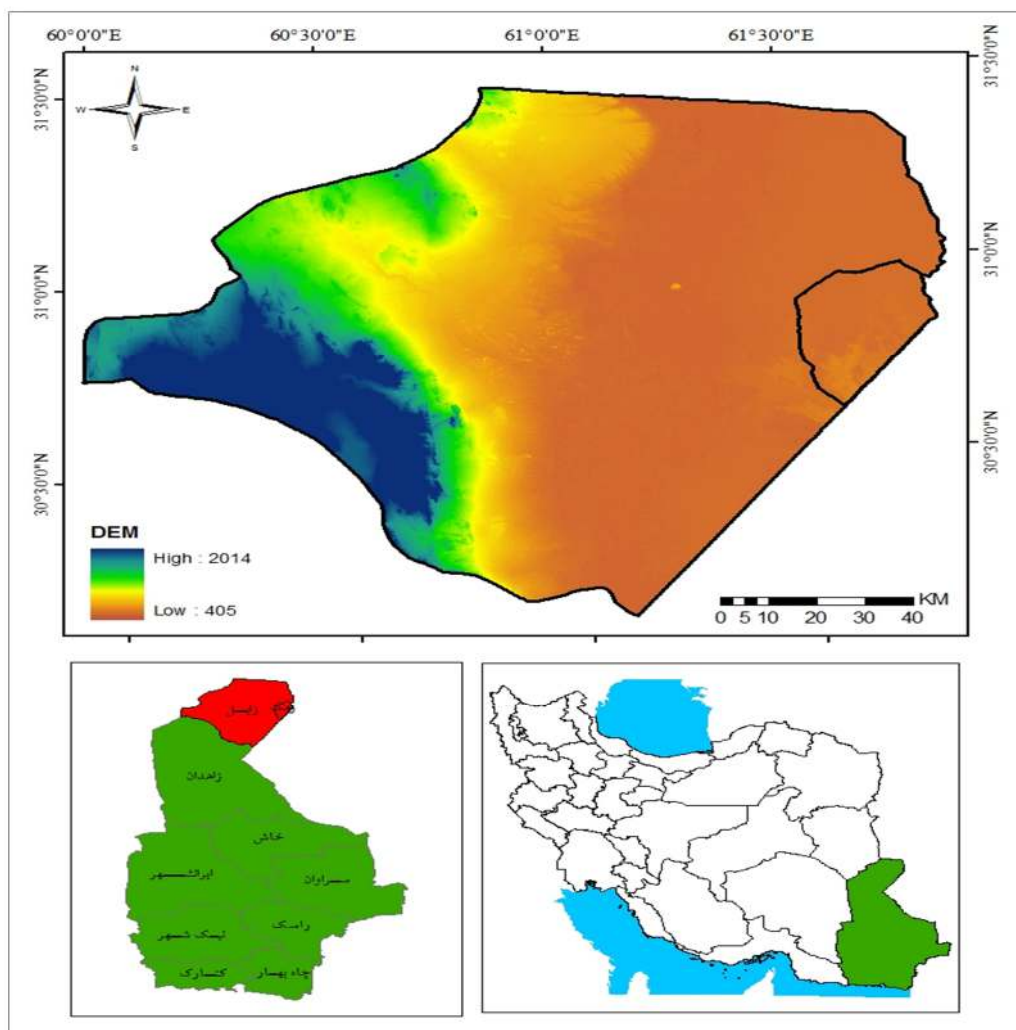
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال استان سیستان و بلوچستان در عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۶۱ درجه و ۲۹ دقیقه می‌باشد (شکل ۱). این منطقه قسمت انتهایی حوضه آبریز هامون هیرمند می‌باشد که بخشی از آن در افغانستان و بخش دیگر در ایران است. بنابراین محل خروجی آب‌های حوضه بوده و در آن تالاب‌های متعددی در ایران و افغانستان و در مرز مشترک بین آنها وجود دارد که در سال‌های خشک و کم آب محل تجمع ریزگردهای رودخانه‌ای و تالابی می‌باشد. در این منطقه خشک، بارش متوسط سالانه ۵۹ میلی‌متر و دمای متوسط سالانه ۲۲/۳ درجه سانتی‌گراد و ارتفاع متوسط از سطح دریا ۴۸۰ متر است (سایت هواشناسی استان سیستان و بلوچستان).

سال‌های مختلف متفاوت است، براساس مطالعه یک دوره آماری ۴۱ ساله (۲۰۱۲-۱۹۷۲) از داده‌های مربوط به وزش باد در ایستگاه زابل، متوسط طول دوره وزش این باد ۱۶۵ روز (Mofidi et al., 2013) و در یک دوره آماری (۱۳۸۸-۱۳۴۴) در منطقه زابل با استفاده از داده‌های ساعتی ۱۳۶ روز ذکر شده است (Masoodian, 2014). با توجه به گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی و در نتیجه افزایش فراوانی و شدت خشکسالی‌ها ممکن است در آینده بر شدت و طول مدت تداوم وزش آن افزوده شود. به طوری که با نزدیک شدن به فصل تابستان و گرم‌تر شدن هوای هسته مرکز کم‌فشار پاکستان دو هسته شده و به سمت عرض‌های بالاتر حرکت می‌کند که هسته سمت چپ آن بر روی مرز بین پاکستان، افغانستان و ایران قرار می‌گیرد. منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر نیمه غربی کم‌فشار قرار می‌گیرد، در این موقع از سال یعنی تیرماه کم‌فشار قوی شده و با توجه به سایر شرایط، منجر به افزایش طوفان‌های ماسه و گردوغبار در منطقه زابل می‌شود. در سال‌های آینده با توجه به مسئله گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی کم‌فشار مذکور، به علت ماهیت حرارتی بودنش قوی‌تر شده و بر تعداد طوفان‌های ماسه و گردوغبار افزوده می‌شود و منطقه زابل را به یکی از کانون‌های اصلی گردوغبار در شرق کشور و در منطقه خاورمیانه تبدیل خواهد کرد. از سویی وقوع خشکسالی و کم شدن منابع آب تالاب‌ها قابلیت ریزگردهای لازم را برای وقوع طوفان‌های شدیدتر ماسه و ماسه در آینده فراهم می‌کند. بنابراین منطقه زابل به دلیل داشتن شرایط متمایز نسبت به سایر مناطق تحت تأثیر بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، باید در برنامه‌های مقابله با گردوغبار در اولویت قرار گیرد.

وقوع منظم و فصلی بادهای معروف به ۱۲۰ روزه، منطقه سیستان را به‌عنوان منطقه اصلی وزش بادهای شدید همرا با طوفان‌های ماسه و گردوغبار در جنوب شرق کشور و در کل خاورمیانه تبدیل کرده است و مطالعات زیادی بر روی جنبه‌های آماری، همدیدی و ساختار دینامیکی این باد انجام شده است؛ اما چرا در منطقه وزش این باد منطقه زابل



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق

به منظور بررسی و تحلیل الگوی گردوغبار منطقه زابل از دو پایگاه داده‌ای استفاده شده است؛ داده‌های محیطی، در ابتدا کدهای گردوغبار (۰۷، ۰۶، ۰۸، ۰۹، ۳۰ تا ۳۵، ۹۸) از سازمان هواشناسی کشور برای دوره آماری ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۶ (دوره سی ساله) استخراج گردیده است. در این مقاله رخدادی به عنوان گردوغبار انتخاب شده است که حداقل دو روز تداوم داشته، میدان دید کمتر از ۱۰۰۰ متر و سرعت باد بیش از ۱۵ متر بر ثانیه باشد. در نهایت با اجرای این شرط ۴۳۸ روز به عنوان روزهای گردوغبار در محدوده مورد مطالعه انتخاب شده است.

داده‌های جوی: به منظور بررسی تحلیل الگوی جوی

گردوغبار، داده‌های فشار تراز دریا متناظر با روزهای گردوغبار از پایگاه داده‌ای NCEP/NCAR وابسته به سازمان ملی جو و اقیانوس‌شناسی ایالات متحده آمریکا استخراج شده است. قدرت تفکیک مکانی این داده‌ها $2/5 \times$ درجه جغرافیایی می‌باشد. داده‌های مذکور در تارنمای www.cdc.noaa.gov قابل دستیابی است. بعد از استخراج روزهای گردوغبار به منظور شناسایی الگوهای گردوغبار از تحلیل خوشه‌ای استفاده شد.

در گام بعدی با هدف انجام طبقه‌بندی بر روی داده‌های فشار تراز دریا و شناسایی روزهای نماینده اقدام به انجام

انجام می‌شود. برای اندازه‌گیری فاصله بین داده‌ها روش‌های مختلفی وجود دارد که یکی از پرکاربردترین این روش‌ها، روش فاصله اقلیدسی می‌باشد که صورت ریاضی آن بدین شکل می‌باشد (Asakereh, 2011).
رابطه ۱:

$$d_{jk} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - x_{ik})^2}$$

در این رابطه، X_{ij} امتیاز یا نمره فرد i ام است در دسته j ام، k تعداد کل دسته‌ها در هر مرحله و n_j تعداد افراد دسته i ام می‌باشد. در ادامه این بخش با انجام تحلیل خوشه‌ای بر روی داده‌ها توسط نرم‌افزار متلب، نمودار دارنمای (Dendrogram) آنها ترسیم شد و با مقایسه نقشه‌های گروه‌های مختلف و با استفاده از روش آزمون و خطا محل مناسب برای برش نمودار و انتخاب تعداد گروه‌های نهایی مشخص شد.

بعد از انجام طبقه‌بندی بر روی داده‌های فشار تراز دریا، محل مناسب برای برش و تعیین روزهای نماینده مشخص شد. بدین‌منظور با استفاده از اسکریپت‌نویسی در محیط متلب همبستگی بین نقشه‌های روزهای مختلف هر طبقه با ضریب ۰/۵ محاسبه شد. برای محاسبه همبستگی از روش لوند استفاده شده است که در آن از روش همبستگی گشتاوری پیرسون (r_{xy}) استفاده می‌شود و درجه همانندی هر زوج نقشه از رابطه زیر بدست می‌آید (Masoodian, 2011).

رابطه ۳:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}}$$

در این رابطه، X_i معرف متغیر مورد نظر در هریک از N نقطه نقشه اول است؛ y_i مقدار همان متغیر در همان نقطه بر روی نقشه دوم می‌باشد؛ x و y نیز عبارت‌اند از میانگین

تحلیل خوشه‌ای بر روی این داده‌ها شد. تحلیل خوشه‌ای روشی است که در آن متغیرها بر اساس ویژگی‌های مورد نظر ما در گروه‌های خاصی طبقه‌بندی می‌شوند. هدف از انجام تحلیل خوشه‌ای، پیدا کردن دسته‌های واقعی و کاهش حجم داده‌ها می‌باشد. به عبارت دیگر، هدف شناسایی تعداد کمتری از گروه‌هاست، به طوری که داده‌هایی که دارای شباهت بیشتری با یکدیگر هستند در یک گروه قرار گیرند، به نحوی که پراش درون‌گروهی کمینه و پراش بین‌گروهی بیشینه شود. در این روش گروه‌بندی داده‌ها بر اساس فاصله یا شباهت بین آنها در رابطه بالا d_{jk} بیانگر فاصله اقلیدسی، x_{ij} مقدار متغیر مورد نظر در نقطه اول و x_{ik} مقدار همان پارامتر در نقطه دوم می‌باشد که با بدست آمدن تفاضل آنها میزان فاصله دو نقطه مشخص و با محاسبه فاصله اقلیدسی برای تمام نقاط مورد نظر، ماتریس فاصله‌ها تشکیل می‌شود. بعد از بدست آمدن این ماتریس باید عملیات ادغام روی مقادیر آن انجام شود. در پژوهش‌های اقلیمی معمولاً از روش ادغام وارد (Ward) (کمینه واریانس) استفاده می‌شود. در این روش طی هر مرحله از تحلیل، کمبود اطلاعاتی را که بر اثر دسته‌بندی افراد در دسته‌ها به وجود می‌آید می‌توان توسط کل مجموع مربعات انحرافات هر نقطه از میانگین دسته‌ای که به آن تعلق دارد بدست آورد. بدین صورت که ابتدا هر فرد به عنوان عضو واحد یک دسته با مجموع مربعات خطای صفر در نظر گرفته می‌شود، سپس در هر دسته‌بندی مجموع مربعات خطا (ESS) یک جفت دسته یا گروه ممکن تعیین می‌شود و افرادی که در یک جفت از دسته‌ها دارای حداقل مجموع مربعات خطا هستند در یک دسته قرار می‌گیرند. با استفاده از روش وارد مقدار ESS از رابطه زیر بدست می‌آید (Farshadfar, 2010).

رابطه ۲:

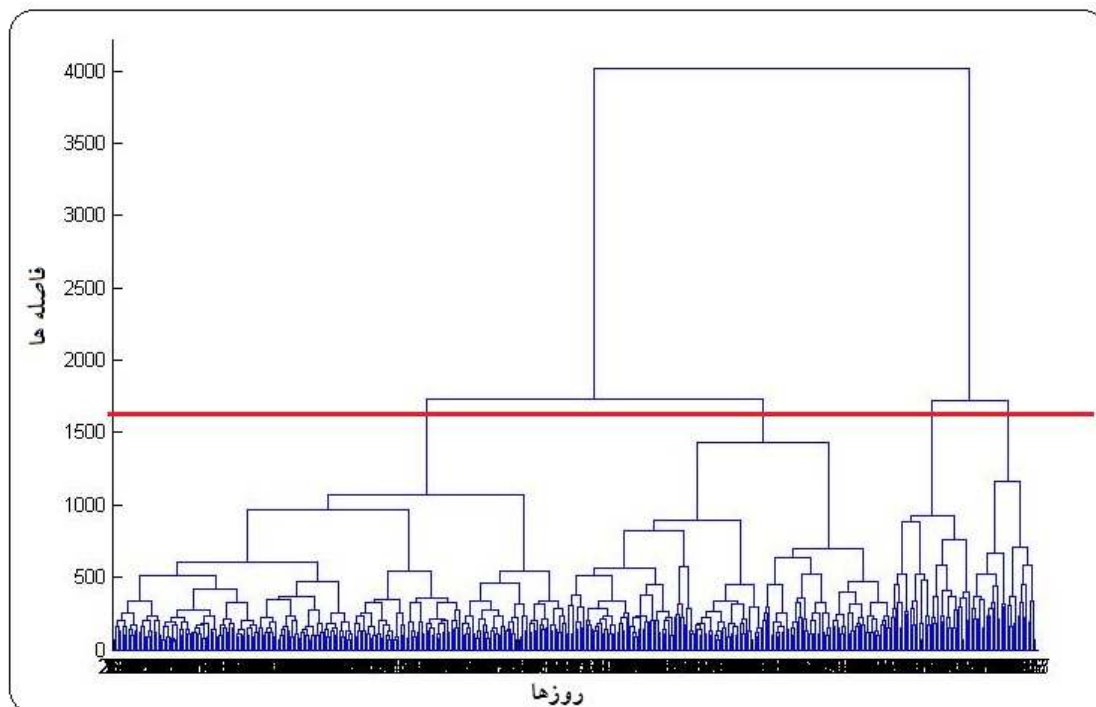
$$E.S.S = \sum_{i=1}^k \left[\sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \frac{1}{n_j} \left[\sum_{i=1}^{n_j} X_{ij} \right]^2 \right]$$

حداکثر شدت وزش باد و مسیر عبور جریان تجزیه و تحلیل گردید.

نتایج

با هدف شناسایی سامانه‌های جوی توأم با گردوغبار، تحلیل خوشه‌ای بر روی داده‌های فشار تراز دریا در ۴۳۸ روز همراه با گردوغبار فراگیر انجام شد. نتایج نشان داد دارنمای حاصل از این فرایند در شکل ۲ ارائه و ۴ الگوی رخداد گردوغبار استخراج شد. با توجه به بررسی‌های انجام شده، تقسیم‌بندی چهار گروهی برای ادامه مراحل پژوهش مناسب تشخیص داده شد و روزهای نماینده هر گروه نیز تعیین شد که تاریخ و مشخصات این روزها در جدول ۱ درج شده است. براساس جدول یک بیشترین فراوانی رخداد گردوغبارها با ۲۱۶ روز مربوط به الگوی سوم می‌باشد. این در حالی است که کمترین فراوانی الگو مربوط به الگوی دوم می‌باشد.

همه مقادیر روی نقشه‌های اول و دوم. با توجه به توضیحات بالا در نهایت روزی که با سایر روزهای هر طبقه در سطح همبستگی ۰/۵ بالاترین همبستگی را نشان می‌داد به عنوان روز نماینده انتخاب شد. در این مطالعه به منظور جلوگیری از حجم زیاد کار فراگیرترین و غالب‌ترین الگو مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت، به این ترتیب تحلیل الگوهای مؤثر بر رخداد طوفان ماسه و گردوغبار ۱۳ تا ۱۶ جولای ۲۰۱۶ مربوط به فشار و دمای سطح زمین، تاوایی و جریان جت در لایه زیرین جو، میدان باد و جهت جریان‌ها در سطح زمین و همچنین نیمرخ سینوپتیک ناپایداری هوا با استفاده از داده‌های امگام از سطح زمین تا لایه‌های بالایی جو در نرم‌افزار Grads ترسیم و تهیه گردید. نقشه‌های تاوایی و جت استریم سطح زمین به منظور شناسایی مناطق دارای حداقل و حداکثر تاوایی و حداکثر سرعت جت جو زیرین و نقش آنها در رخداد طوفان بررسی شد. همچنین نقشه‌های مربوط به مسیر جریان برای شناسایی میدان باد و مناطق



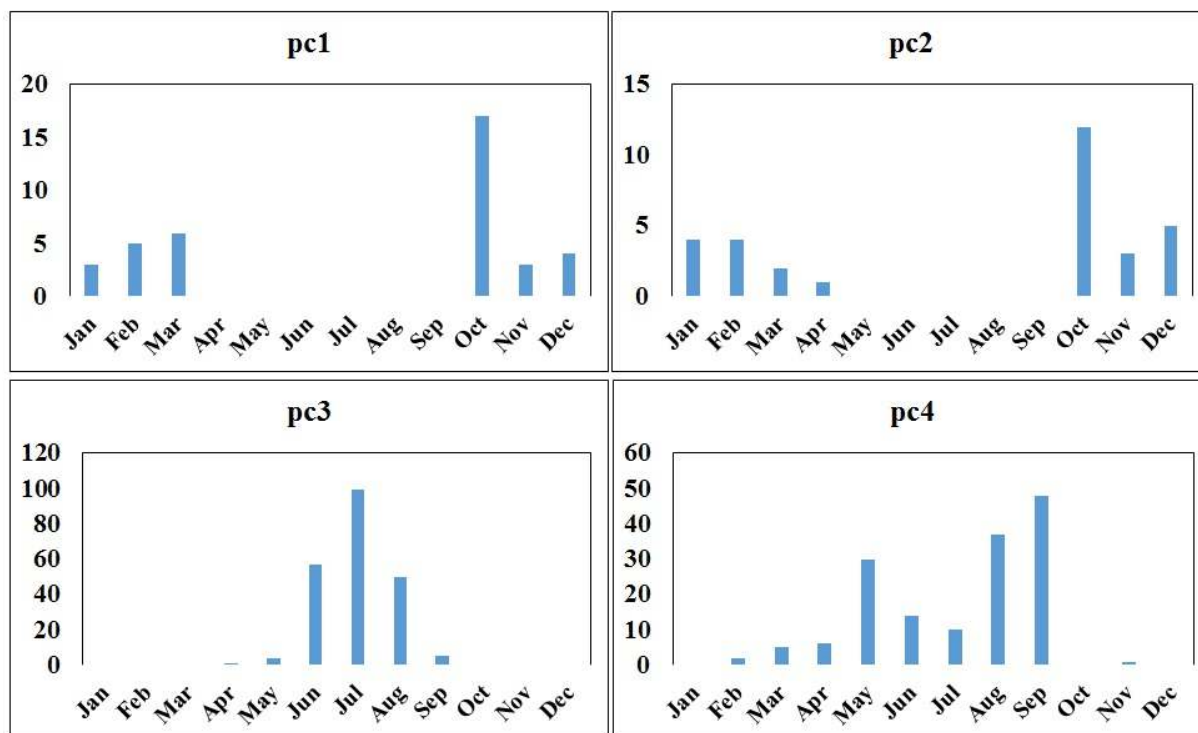
شکل ۲- دندروگرام حاصل تحلیل خوشه‌ای بر روی روزهای گردوغبار

جدول ۱- مشخصات الگوی بدست آمده گردوغبار

تاریخ	فراوانی	میانگین سرعت باد (m/s)	الگوی
۲۰۰۷/۱۰/۴	۳۸	۱۵,۴	الگوی اول
۲۰۰۸/۱۰/۲۰	۳۱	۱۵,۲	الگوی دوم
۲۰۱۶/۷/۱۴	۲۱۶	۱۶,۱	الگوی سوم
۲۰۰۹/۶/۲۹	۱۵۳	۱۵,۵	الگوی چهارم

الگو بیشترین رخداد گردوغبارها در ماه‌های گرم سال به‌ویژه تابستان و اواخر بهار رخ داده است، این در حالی است که در الگوی چهارم توزیع رخداد الگوهای گردوغبار از ماه فوریه تا سپتامبر پخش شده است. از این رو می‌توان گفت در الگوی سوم و چهارم بر خلاف الگوی اول و دوم توزیع فراوانی رخداد گردوغبارها در فصل گرم رخ داده است که الگوی سوم بیشترین فراوانی را دارد.

در شکل ۳ توزیع فراوانی ماهانه هر چهار الگو آورده شده است. براساس جدول ۱ در الگوی اول فراوانی الگو بیشتر در ماه‌های سرد سال پخش شده است. توزیع فراوانی ماهانه الگوی دوم تقریباً وضعیتی مشابه با الگوی اول دارد، به‌طوری‌که همانند الگوی اول بیشینه رخداد ماهانه الگوی دوم در ماه اکتبر قرار دارد. توزیع فراوانی الگوی سوم وضعیتی متفات با دو الگوی قبلی دارد، به‌طوری‌که در این



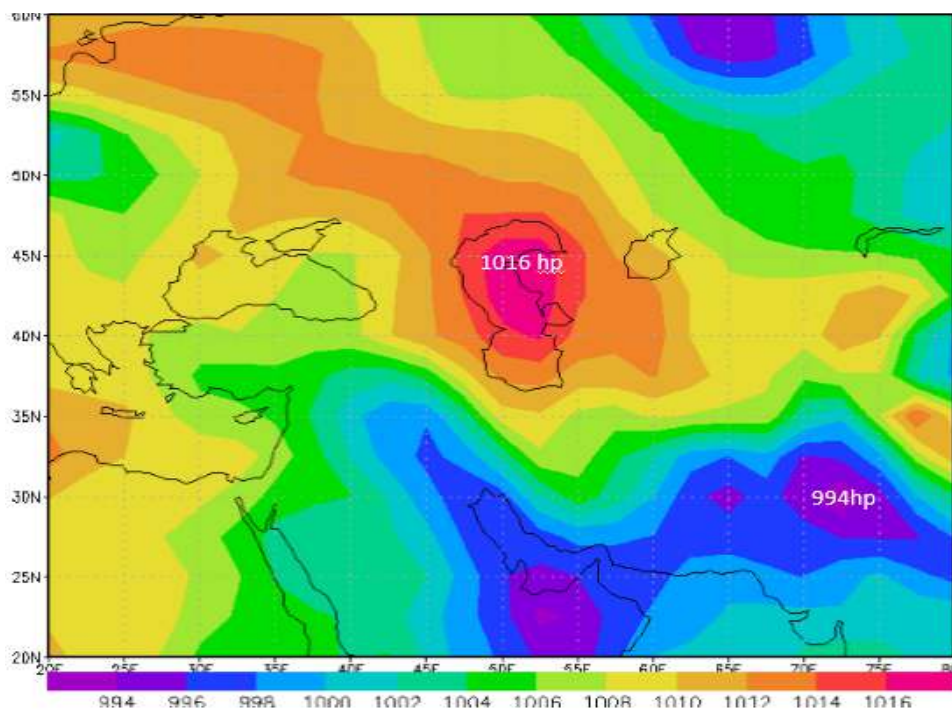
شکل ۳- توزیع فراوانی ماهانه الگوهای گردوغبار

طوفان تضعیف شده است (شکل ۷).

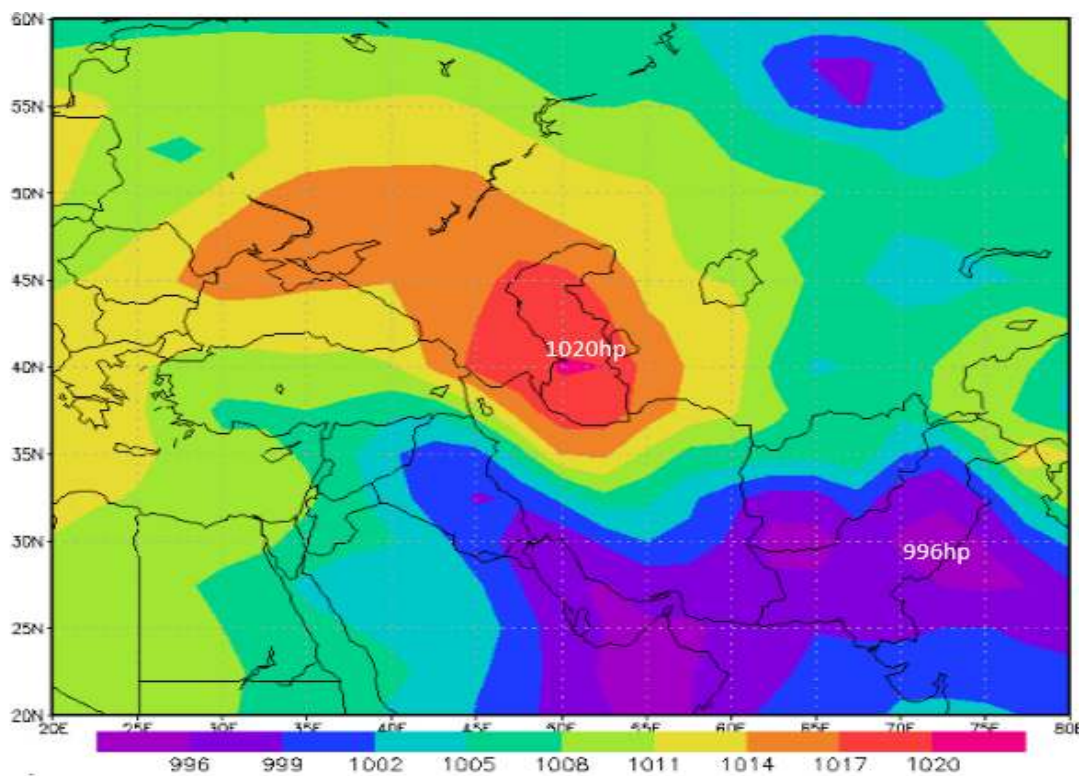
شرایط دمای سطح زمین

در تابستان نیمکره شمالی کم فشارهای حرارتی بر اثر گرم شدن زیاد خشکی‌ها تشکیل می‌شوند و به علت ماهیت حرارتی باگرم‌تر شدن هوا به سمت عرض‌های جغرافیایی بالاتر حرکت می‌کنند. در تیر و مرداد این کم فشارها به اوج قدرت خود می‌رسند که در صورت فراهم بودن سایر شرایط مانند وجود ریزگردها در مسیر چرخش‌شان می‌توانند منجر به رخداد طوفان‌های گردوغبار با دوام چند روزه شوند. بادهای ۱۲۰ روزه سیستان به علت اختلاف دما و در نتیجه فشار بین دو مرکز کم فشار و پرفشار بوجود می‌آیند. در طوفان گردوغبار ۱۳ تا ۱۶ جولای ۲۰۱۶ گرادیان دما بین دو مرکز کم فشار و پرفشار به ۲۰ درجه سانتی‌گراد رسیده است (شکل ۸-۱۱). در روز آخر طوفان گرادیان کمتر و به ۱۰ درجه سانتی‌گراد رسید.

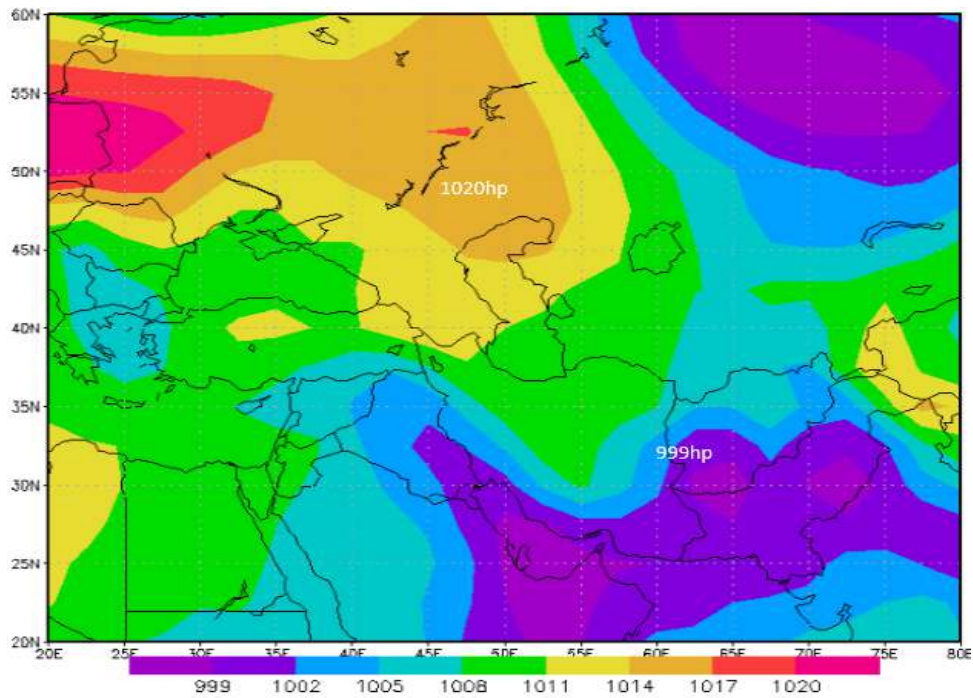
شرایط فشار سطح زمین برای الگوی سوم (غالب‌ترین الگو) شکل ۴ تا ۷ موقعیت مراکز فشار سطح زمین و گرادیان فشار افزایش سرعت وزش باد را نشان می‌دهد. این گرادیان فشار بین مرکز پرفشار که در این موقع از سال بر روی شمال دریای خزر واقع شده است و هسته کم فشار موسوم به کم فشار پاکستان که در این موقع از سال به بالاترین موقعیت عرض جغرافیایی و شدیدترین قدرت خود رسیده است، بوجود می‌آید و منجر به فراوان‌ترین و شدیدترین طوفان‌ها در این منطقه در ماه جولای می‌شود. در سطح زمین علاوه بر کم فشار پاکستان دو هسته کم فشار دیگر بر روی عربستان و فلات تبت تشکیل شده است. کم فشاری که منطقه مورد مطالعه ما را تحت تأثیر قرار داده هسته کم فشار فوق‌العاده قوی است که در این موقع از سال به کمترین فشار ممکن یعنی ۹۹۳ هکتوپاسکال رسیده است و با چرخش پادساعتگرد خود سبب انتقال ریزگردها در طول مسیر و تشدید آن در خود منطقه شده است. این کم فشار حرارتی در روز دوم رخداد طوفان (شکل ۵) به اوج شدت خود رسیده و در روز آخر



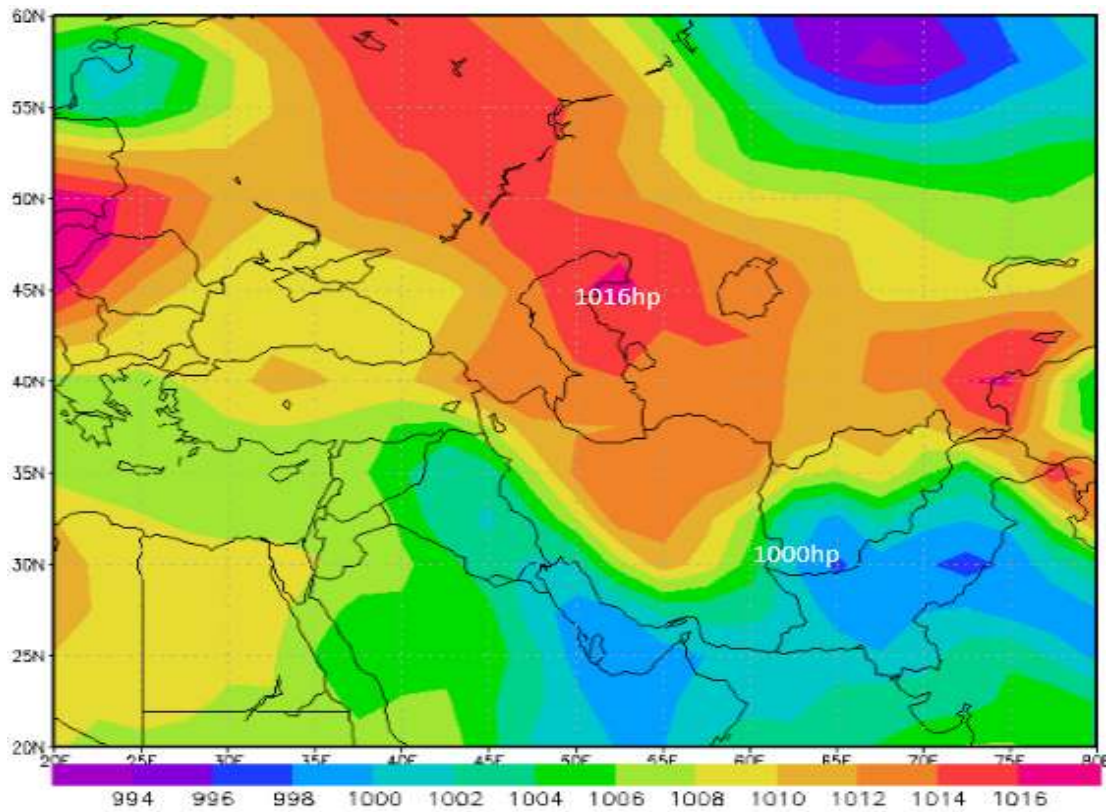
شکل ۴- نقشه هم فشار سطح زمین (۲۰۱۶/۰۷/۱۳)



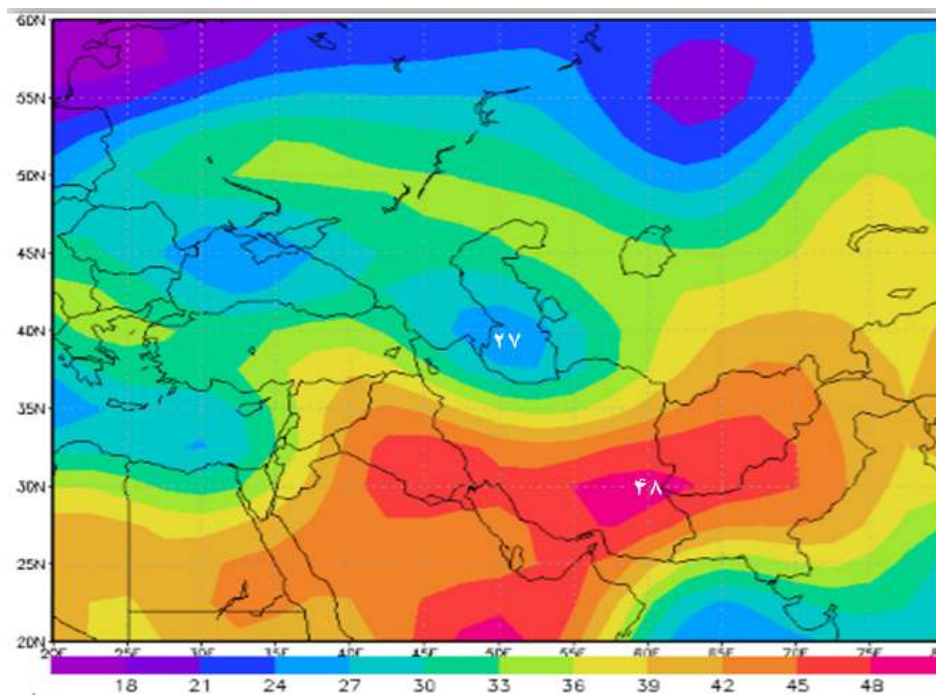
شکل ۵- نقشه هم فشار سطح زمین (۲۰۱۶/۰۷/۱۴)



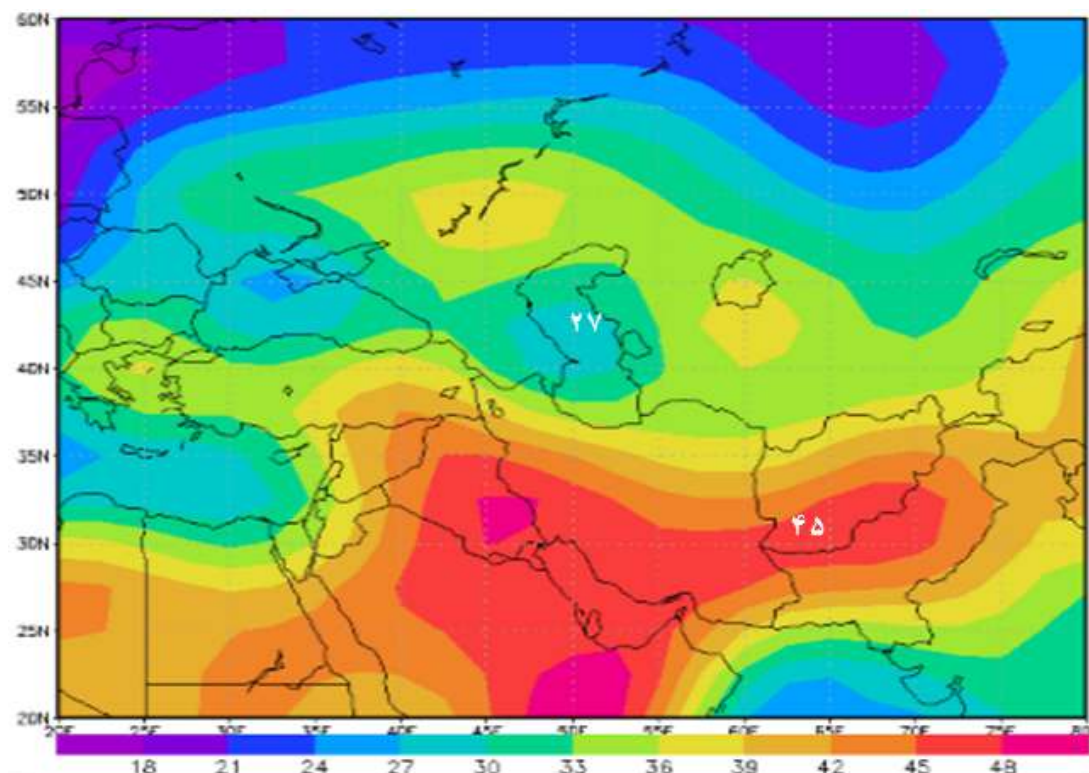
شکل ۶- نقشه هم فشار سطح زمین (۲۰۱۶/۰۷/۱۵)



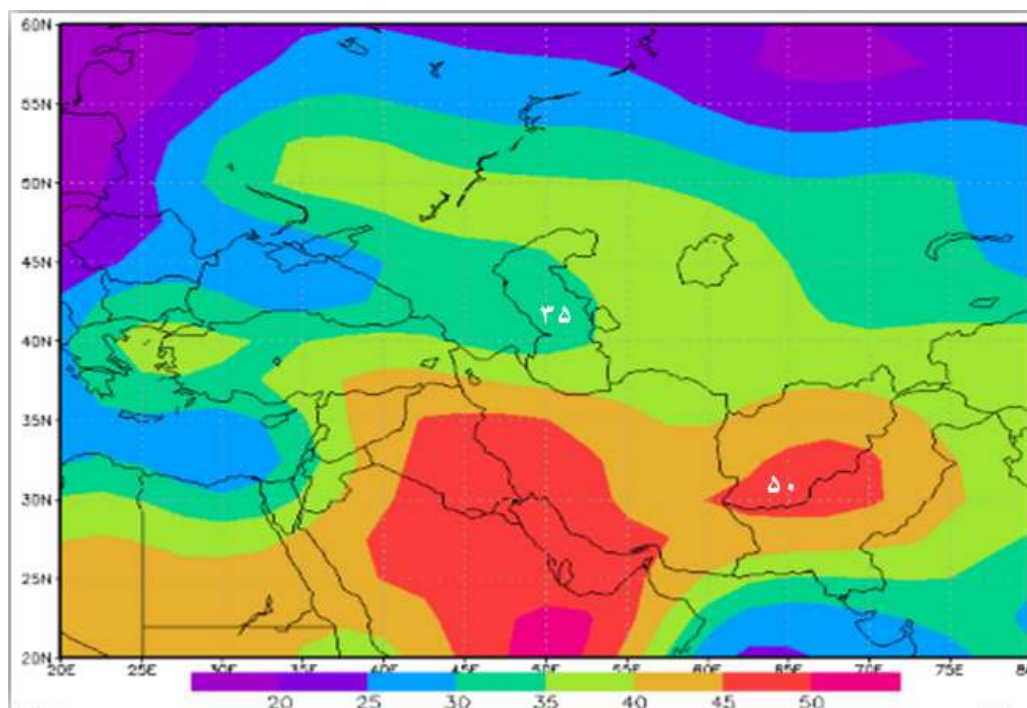
شکل ۷- نقشه هم فشار سطح زمین (۲۰۱۶/۰۷/۱۶)



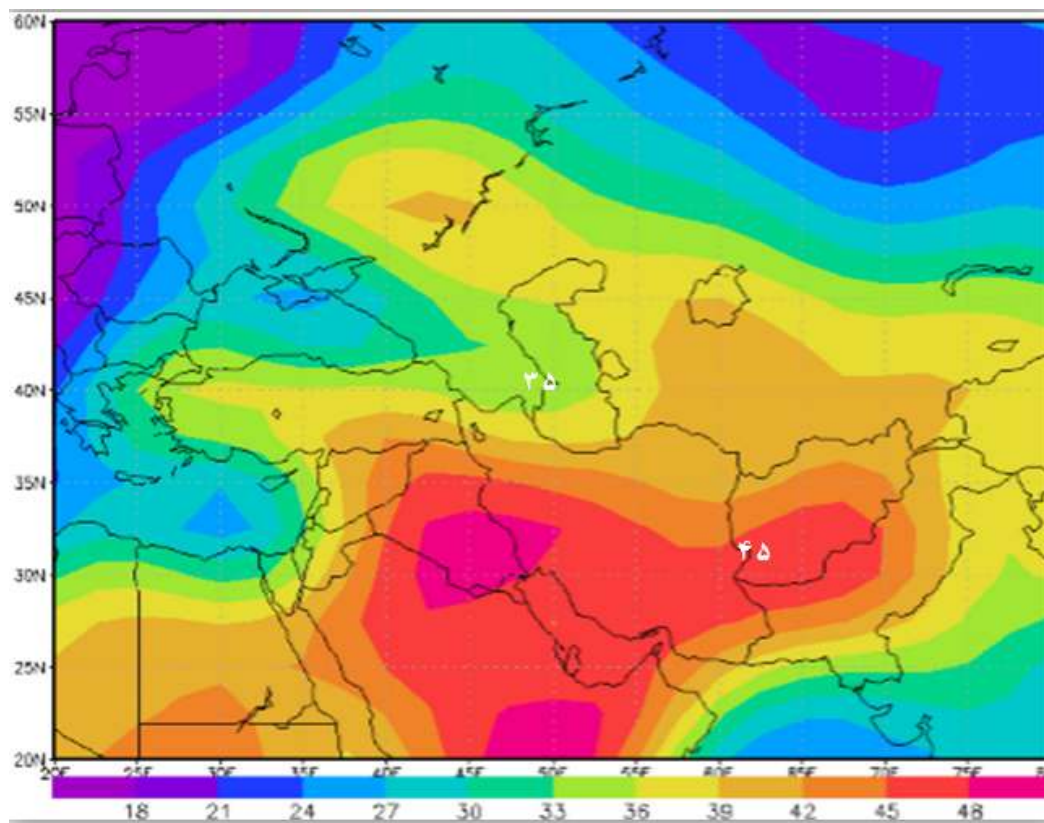
شکل ۸- نقشه هم دمای سطح زمین (۲۰۱۶/۰۷/۱۳)



شکل ۹- نقشه هم دمای سطح زمین (۲۰۱۶/۰۷/۱۴)



شکل ۱۰- نقشه هم دمای سطح زمین (۲۰۱۶/۰۷/۱۵)



شکل ۱۱- نقشه هم دمای سطح زمین (۲۰۱۶/۰۷/۱۶)

بنابراین طوفان تنها در لایه پایینی جو رخ می‌دهد.

بررسی میدان باد

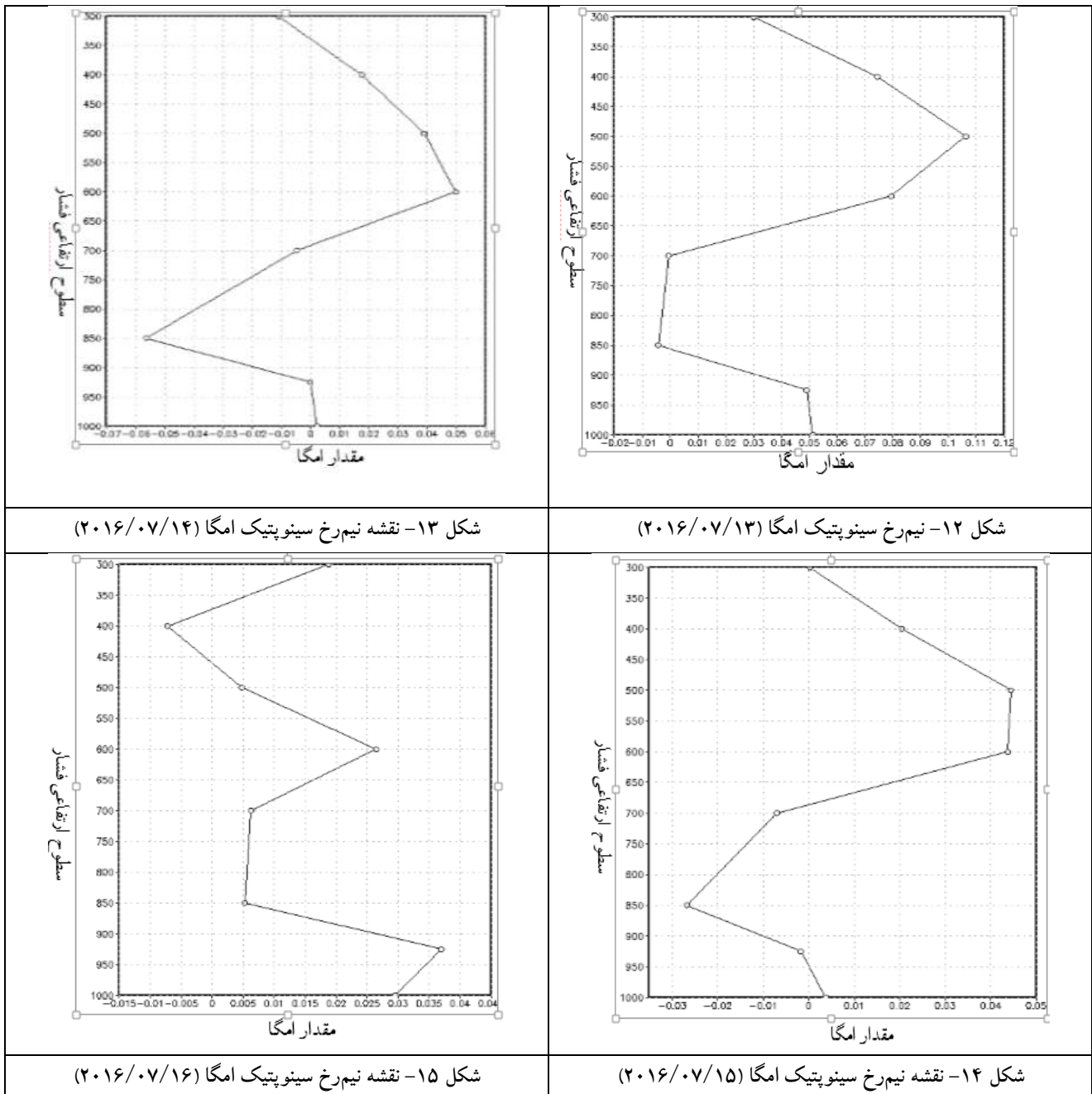
در فصل گرم سال به علت عمود بودن زاویه خورشید در نیمکره شمالی عرض‌های جغرافیایی به شدت گرم شده و در سطح زمین کم‌فشار حرارتی بر روی خشکی‌ها تشکیل می‌شود، این کم‌فشار گسترده که از شرق آسیا تا غرب آفریقا امتداد دارد، دارای سه هسته اصلی و قوی می‌باشد؛ از نظر مکانی یکی در فلات تبت و یکی هم کم‌فشاری در مرز افغانستان پاکستان و ایران تشکیل می‌شود و دیگری بر روی شبه‌جزیره عربستان. با توجه به موقعیت پرفشار در شمال دریای خزر در شکل ۱۶ میدان باد و جهت جریان‌ها با فلش نشان داده شده است. جهت جریان باد از پرفشار به سمت کم‌فشار می‌باشد که با توجه به موقعیت کم‌فشار جریان‌ها بر

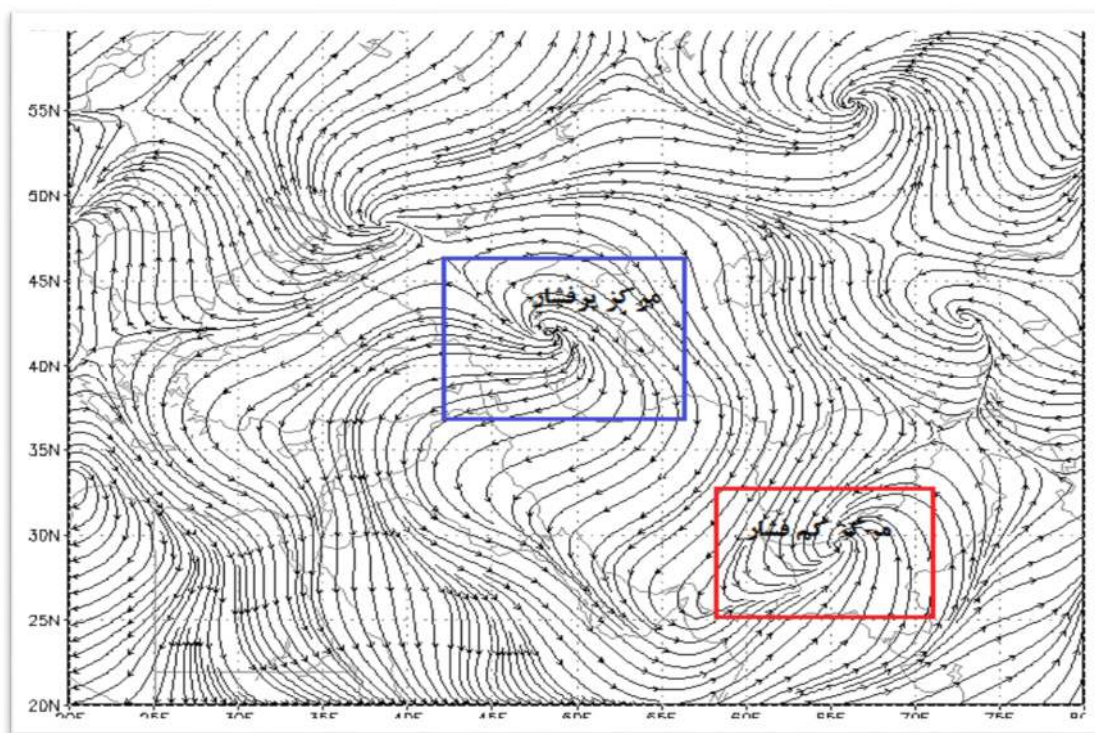
نیم‌رخ سینوپتیک ناپایداری جو

بر خلاف رخدادهای گردوغبار در غرب کشور که ناپایداری در ترازهای میانی جو به ویژه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال نقش اساسی را بر عهده دارد، در رخدادهای طوفان شدید گردوغبار در منطقه زابل که بر اثر اختلاف فشار بین مراکز فشارحرارتی بوجود می‌آید، ناپایداری در سطوح میانی جو نقشی نداشته و دامنه ناپایداری جو از سطح زمین تا ۹۰۰ و در نهایت ۸۵۰ هکتوپاسکال ادامه دارد؛ بنابراین ناپایداری در سطوح پایینی جو رخ می‌دهد که در شکل ۱۸ در نقشه سرعت جت استریم زیرین لایه پایینی جو نیز نشان داده شده است. در شکل ۱۲ تا ۱۵ نیم‌رخ سینوپتیکی امگا یا سرعت قائم هوا در جو برای رخدادهای طوفان زابل نشان می‌دهد که صعود هوا در لایه پایینی جو و تا سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال ادامه دارد،

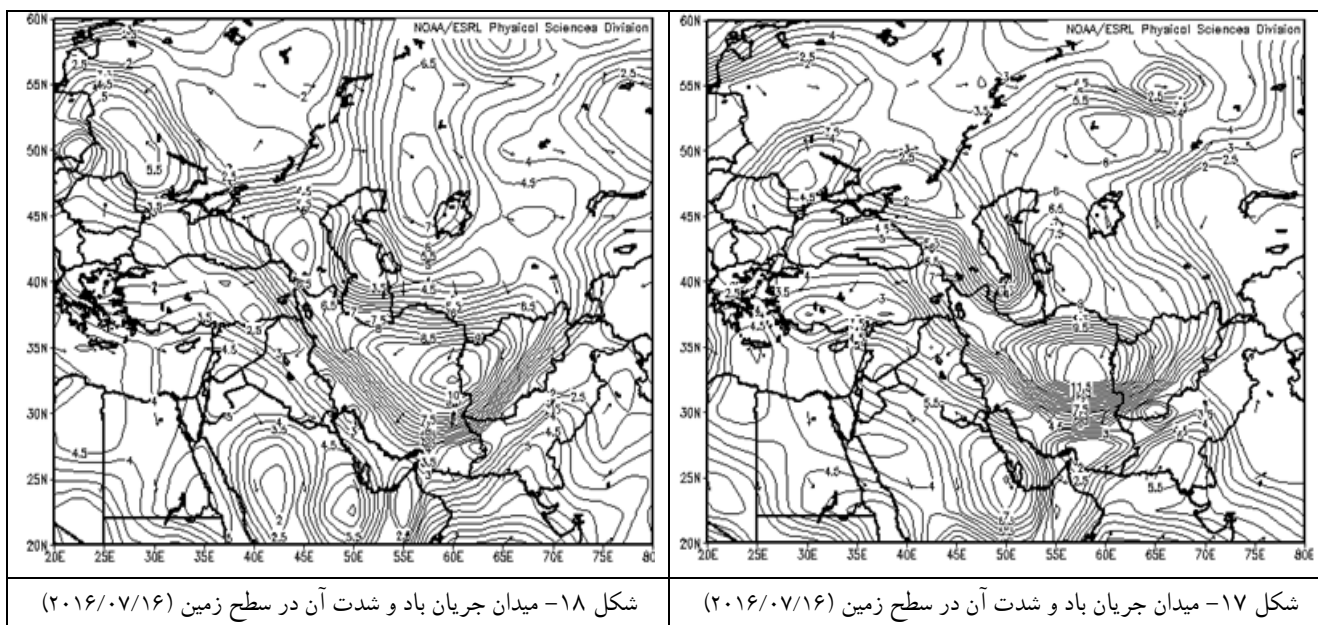
سال می‌شود. در شکل ۱۶-۲۰ پهنه‌بندی شدت باد، ترکیب مؤلفه نصف‌النهاری و مداری باد بیشترین هسته سرعت باد در منطقه زابل و اطراف آن را به‌ویژه در روز اوج طوفان یعنی ۲۰۱۶/۷/۱۴ نشان می‌دهد.

روی منطقه زابل و اطراف آن با گردش پادساعتگرد (جهت خلاف عقربه‌های ساعت) سبب تداوم و تشدید گردوغبار در زابل و اطراف آن (زهک، نیمروز و هیرمند) می‌شود و مانع از گسترش شدت آن به عرض‌های پایین‌تر در این موقع از



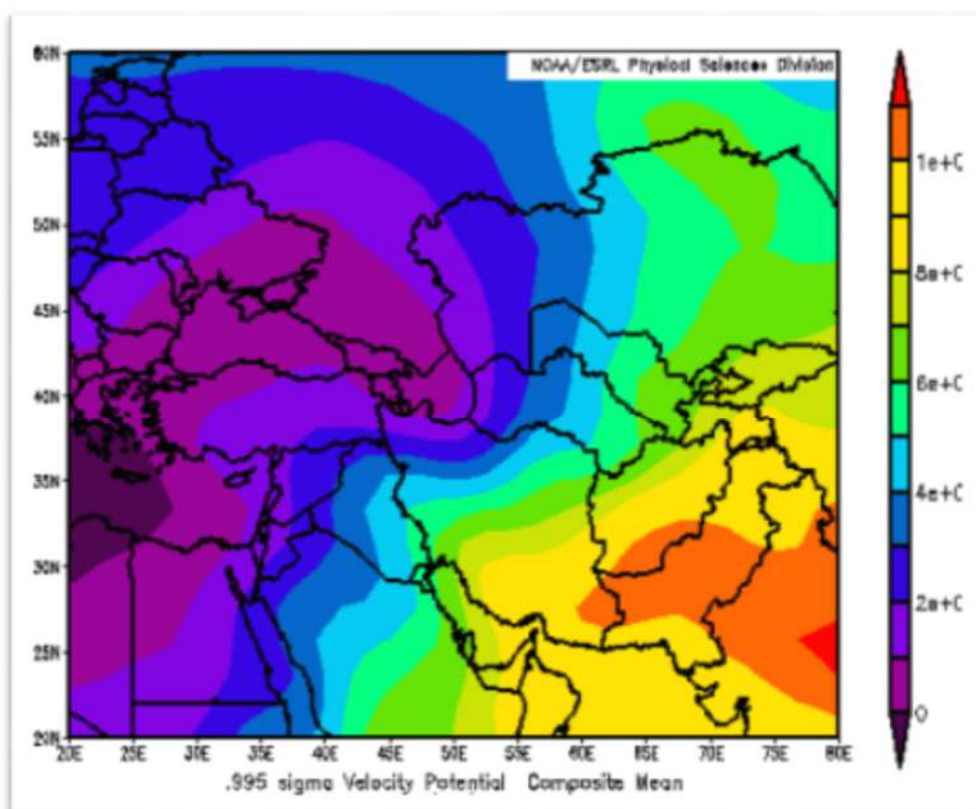
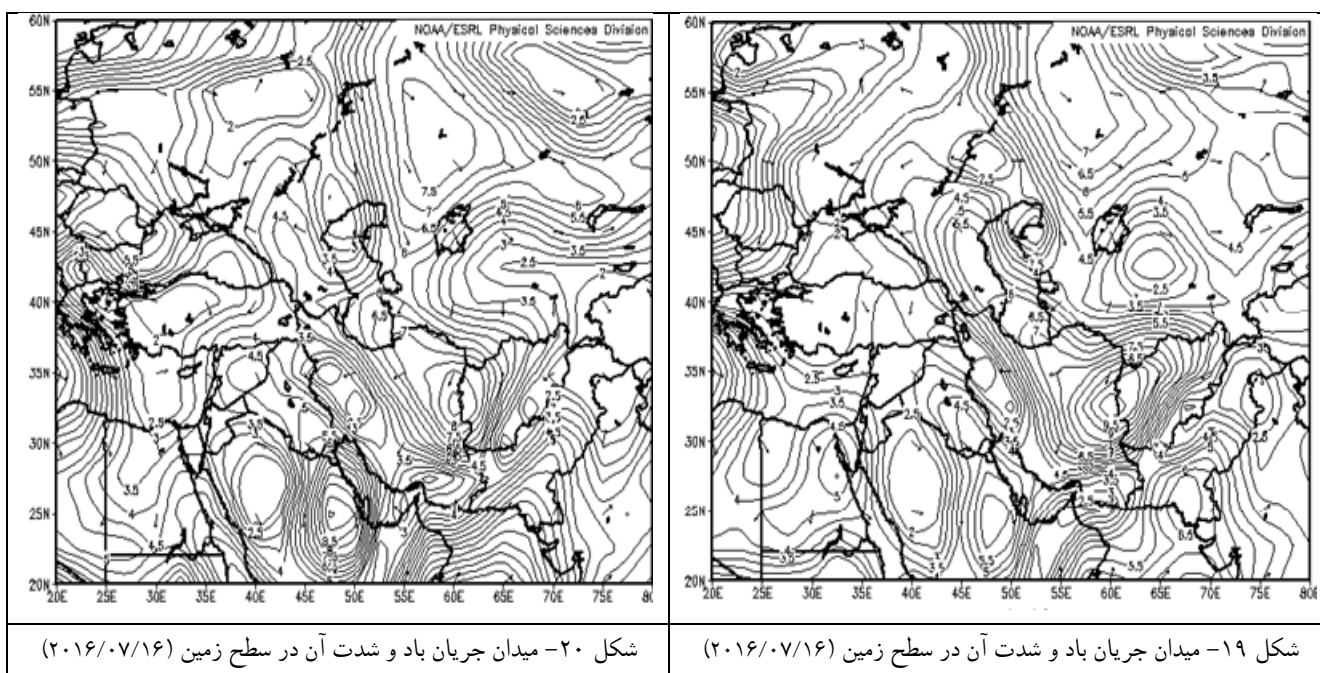


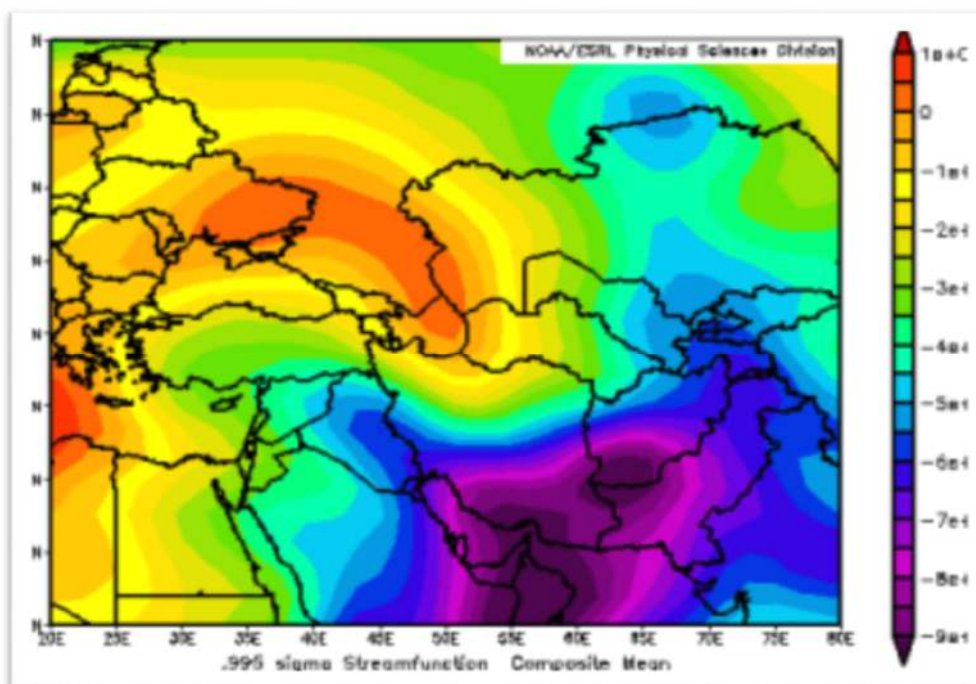
شکل ۱۶- میانگین فشار و جهت جریان‌های باد در سطح زمین (۱۳ تا ۱۶ جولای ۲۰۱۶)



شکل ۱۸- میدان جریان باد و شدت آن در سطح زمین (۲۰۱۶/۰۷/۱۶)

شکل ۱۷- میدان جریان باد و شدت آن در سطح زمین (۲۰۱۶/۰۷/۱۶)





شکل ۲۲- نقشه میانگین جت استریم (۱۳ تا ۱۶/۰۷/۲۰۱۶)

نشان می‌دهد. دو هسته اصلی جت زیرین که یکی بر روی شرق عربستان و جنوب ایران قرار دارد و هسته دیگر که با موقعیت کم‌فشار پاکستان مطابقت دارد و نشان‌دهنده حداکثر سرعت باد در منطقه استقرار کم‌فشار و تأثیرپذیری منطقه زابل در حاشیه غربی آن می‌باشد.

بحث

در این مطالعه به منظور شناسایی علت متمایز بودن موقعیت زابل نسبت به سایر مناطق تحت تأثیر بادهای ۱۲۰ روزه سیستان در هنگام وقوع طوفان‌های گردوغبار، الگوهای غالب آب و هوایی رخداد طوفان‌ها در یک دوره آماری ۳۰ ساله با میدان دید کمتر از ۱۰۰۰ متر و سرعت باد بیش از ۱۵ متر بر ثانیه و تداوم بیش از دو روز استخراج شد. نتایج نشان داد که رخداد گردوغبار در منطقه زابل از ۴ الگوی کلی تبعیت می‌کند، غالب‌ترین الگو با بیشترین فراوانی مربوط به الگوی ۳ بود که بیشترین رخدادها را هم

تاوایی و جت تراز زیرین جو

چرخندگی یا تاوایی نسبی اندازه چرخش سیال به دور محوری عمود بر سطح زمین است در عرض‌های میانه، در مقیاس همدید، ویژگی‌های دینامیک مهم آن‌هایی هستند که مربوط به چرخش ذرات هوا می‌باشند. این چرخش هم به چرخش زمین و هم به مؤلفه حرکت باد مربوط می‌شود. تشدید فرارفت تاوایی نسبی مثبت همراه با چینش قائم باد ناشی از تغییرات رودباد شرایط مناسب را برای افزایش حرکات قائم و بالاسو و ایجاد کم‌فشار سطحی فراهم می‌نماید. شکل ۲۱ بیشترین مقدار تاوایی منفی ناشی از استقرار زبانه پرفشار بر روی شمال ایران و تاوایی مثبت ناشی از استقرار کم‌فشار پاکستان را بر روی مرز بین ایران افغانستان و پاکستان نشان می‌دهد. این شرایط گرادیان شدیدی را برای وزش باد شدید و بلند کردن ذرات ماسه و خاک فراهم کرده است. شکل ۲۲ هسته جت استریم تراز زیرین جو بر روی منطقه مورد مطالعه و سرعت زیاد باد را

سطح ۹۰۰ و حداکثر ۸۵۰ هکتوپاسکال به حرکت در آورده است. در این موقع از سال تالابها خشکیده و آب بستر آنها به حداقل ممکن رسیده و کم فشار پاکستان قوی شده و کمترین فشار سطح زمین را در منطقه جنوب و جنوبغرب آسیا دارد و با حرکت پادساعتگرد خود باعث شدت و تداوم طوفان در منطقه زابل و اطراف آن (زهک، نیمروز و هیرمند) شده و مانع از ورود طوفان به عرضهای پایین تر ایران شده و ذرات گردوغبار را بیشتر به سمت افغانستان هدایت می کند. با توجه به خروجی های مدل منطقه ای، RegCM بیشینه شدت باد در مرز ایران و افغانستان در حداقل دشت آتی شان و زابل و زهک به وقوع می پیوندد (Hamidianpoor, 2016) و خوشبختانه به ندرت به سمت عرضهای پایین تر مانند زاهدان و سایر شهرهای سیستان می رود. بنابراین به علت موقعیت و قدرت کم فشار نسبت به منطقه زابل، آن را نسبت به سایر قسمت های تحت تأثیر بادهای ۱۲۰ روزه متمایز کرده و به همین دلیل رخداد طوفان ماسه و گردوغبار از نظر شدت، مدت و فراوانی در زابل همانطور که قبلاً مطالعه شده (Farajzadeh asl & Alizadeh, 2011) بیشتر از سایر جاهای سیستان و بلوچستان است. این طوفانها با افزایش غلظت گردوغبار منجر به کاهش دید شده و مشکلات مالی و خسارت های زیادی را به زندگی و سلامت مردم وارد می کند. شکل پیکره بندی منطقه و بادهای ۱۲۰ روزه سیستان از قبل وجود داشته اند اما در دهه های اخیر گرمایش جهانی و پدیده تغییر اقلیم منجر به تقویت کم فشار حرارتی از جمله کم فشار پاکستان شده و از سویی ویژگی های ریزگردهای تالابی که با سرعت های پایین تر باد هم منجر به تشدید و تداوم طوفان می شوند، بر تعداد روزها و تعداد رخداد طوفان های آن افزوده است. مسئله اصلی دیگر وجود و افزایش منابع گردوغبار به علت افزایش تعداد و شدت خشکسالی ها و عدم رعایت نکردن حقایق تالابها از سوی کشور همسایه می باشد (Hanasz, 2012) که پیشنهاد می شود با توجه به اهمیت موقعیت زابل و سایر شرایط آن در برنامه های مقابله با طوفان های گردوغبار در اولویت قرار گیرد.

در ماه های گرم سال به ویژه جولای نشان می دهد. به منظور جلوگیری از ازدیاد مطالب یک رخداد از الگوی سوم برای بررسی و تجزیه و تحلیل انتخاب شد. در طوفان ۱۳ تا ۱۶ جولای ۲۰۱۶ سرعت باد به ۹۴ کیلومتر بر ساعت، دید افقی ۱۰۰ متر و تراکم ذرات به ۱۶۵۶۶ میکروگرم بر متر یعنی ۶۰ برابر حد مجاز و ۲۲ برابر حد بحران رسید. بر خلاف سازوکار تشکیل گردوغبار در غرب کشور، مهمترین عامل سینوپتیکی مؤثر بر تشکیل طوفان های ماسه و گردوغبار در شرق کشور و از جمله منطقه زابل تغییرات زمانی و مکانی کم فشار معروف به کم فشار پاکستان یا کم فشار گنگ است. این کم فشار با پرفشار شمال دریای خزر گرادیان فشاری زیادی داشته و منجر به وزش باد با سرعت زیاد می شود. با شروع دوره گرم سال کم فشار حرارتی مذکور در عرض های جغرافیایی پایین تر تشکیل می شود و با افزایش روند گرما به علت گرم شدن بیشتر و شدیدتر خشکی ها، هسته اصلی آن در عرض های بالاتر شکل می شود، به طوری که در تیرماه این کم فشار حرارتی به حداکثر شدت و قدرت خود رسیده و کمترین فشار منطقه، یعنی ۹۹۳ هکتوپاسکال را دارد. به طوری که بررسی آمار بلندمدت توزیع ماهانه فشار سطح دریا کمترین میزان فشار را در تیرماه نشان می دهد. به علت قدرت و شدت عملکرد این کم فشار بیشترین طوفان های گردوغبار با سرعت بیش از ۱۵ کیلومتر بر ساعت و با میدان دید یک کیلومتر و کمتر در ایستگاه زابل در تیرماه رخ داده است. به نحوی که بیشترین تاوایی مثبت در منطقه استقرار کم فشار و بیشترین تاوایی منفی در شمال شرق کشور منجر به شدت گرادیان فشاری بین دو مرکز فشار شده، در نتیجه گرادیان فشار و دما نیز زیاد شده و سرعت باد به حداکثر شدت خود رسیده است. بررسی نقشه جت استریم مربوط به لایه زیرین جو نیز حداکثر سرعت جریان باد را برای منطقه زابل و اطراف آن نشان داده که در طول مسیر با توجه به توپوگرافی سطح زمین کانالیزه شده و از روی منابع ریزگرد بیابانی مانند بیابان دشت مرگ افغانستان ذرات ماسه و گردوغبار را با خود در لایه سطحی زمین با توجه به نیمرخ سینوپتیکی صعود جریان هوا در

2017. Investigation of temporal and spatial variations of low pressure in Pakistan. *Journal of Climatology research*, 7 (28):25-42.
- Masoodian, A., 2014. Sad and bist-day wind of Sistan, *Iranian Journal of Applied Climatology*, 1 (1): 37-46.
- Masoodian, A., 2011. *Climatology and its application in environmental studies*, Second Edition, Isfahan University, Isfahan, Yerna.
- Mofidi, A., Hamidianpoor, M., Salighe, M. and Alijani, B., 2013. Determine the start, end and duration of Sistan with Bhrgyry wind of change point estimation methods. *Journal of Geography and environmental hazards*, 2(8): 78-112.
- Mofidi, A., Kamali, S., Zarrin, A., 2013. Capability assessment model schemas linked RegCM4 dust detection Dust storm structure summer in Sistan plain. *Journal of Geography*, 3(3): 51-69.
- Mofidi, A. and Jafari, S., 2011. Examines the role of regional atmospheric circulation on the Middle East in the summer dust storms in the South West of Iran. *Journal of Geographical Studies of Arid Zones*, 2(5): 17-45.
- Saligheh, M., Kosravi, M. and Smaeel, p., 2011. The effect of changes in the local climate Sistan plain lake. *Fourth International Congress on Islamic World Geographers, Zahedan, Sistan and Baluchestan University*. 14-17 April 2011.
- Santese, M., Perrone, M. R., Zakey, A.S., De Tomasi, F. and Giorgi, F., 2010. Modeling of Saharan dust Outbreaks over the Mediterranean by RegCM3: *Journal of Atmospheric Chemistry and Physics*, 10(3):133-156.
- Whitney, J. W., 2006. *Geology, water, and wind in the lower Helmand Basin, southern Afghanistan*: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report, 2006-5182.
- Zhu, W., Shaofeng J. and Aifeng, L. V., 2014. Monitoring the fluctuation of Lake Qinghai using multi-source remote sensing data. *Journal of Remote Sensing*, 6: 10457-10482.
- Zareh Abyaneh, H., Sabziparvar, A., Maroofi, S., Ghyami, F., 2013. Analysis and monitoring of meteorological drought in Sistan and Baluchestan region. *Journal of Environmental Science and Technology*, 15 (3):50-61.

منابع مورد استفاده

- Alijani, B. and Raeespoor, K., 2011. Statistical analysis, synoptic dust storms in South East Iran: A case study of Sistan. *Journal of Geographical Studies of Arid Zones*, 2(5):107-129.
- Agacayak, T., Kindap, T., Unal, A., Mallet, M., Pozzoli, L., Karaca, M. and Solmon, F., 2012. Impact of dust on air quality and radiative forcing: an episodic study for the megacity Istanbul using RegCM4.1. *Journal of EGU General Assembly*, (EGU2012-4479): 14.
- Alizadeh-Choobari, O., Sturman, A. and Zavar-Reza, P., 2015. Global distribution of mineral dust and its impact on radiative fluxes as simulated by WRF-Chem. *Journal of Meteorology and Atmospheric Physics*, 127, (6); 256-271.
- Asakereh, H., 2011. *Basics of Statistical Climatology*, First Edition, Zanjan University, Zanjan.
- Elanlu, M., 2012. The role and effects of dust in the arid and semi-arid environment. *Environmental Planning and Management Conference*, Tehran, Tehran University, 15-16 May 2012.
- Farajzadeh asl, M. and Alizadeh, K. H., 2011. Temporal and spatial analysis of dust storms in Iran, *Spatial Planning magazine*, 15(1): 65-84.
- Farshadfar, E., 2010. *Multivariate Statistical Principles and Methods*, Third Edition, Razi University, Kermanshah.
- Gandomkar, A., 2010. Determine Sistan wind horizontal range using cluster analysis. *Journal of Physical Geography*, 3(10):67-76.
- Groll, M. and Aslanov, Opp., 2013. Spatial and temporal distribution of the dust deposition in Central Asia-results from a long term monitoring program. *Journal of Aeolian Research*, 9(2): 49-62.
- Hanasz, Paula., 2012, the Politics of Water Security between Afghanistan and Iran, *Future Directions International Pty Ltd.*, PP. 6.
- Hamidianpoor, M., Mofidi, A. and Salighe, M., 2016. Analyze the nature and structure of Sistan wind. *Journal of Geophysical Iran*, 10(2):83-109.
- Khosravi, M., 2011. Vertical distribution of dust storms in the Middle East by using NAAPS. *Fourth International Congress on Islamic World Geographers, Zahedan, University*, 14-17 April 2011.
- Khosravi, M., Hamidianpour, M. and Kordi Temin, S.,

Factors affecting on the event of sandstorms and dust in Zabul with emphasis on the role of low pressure of Pakistan, Case Study July 2016

F. Dargahian^{1*}, S. Lotfinasabasl² and S. Razavizadeh³

1*- Corresponding author, Assistant Professor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, E-mail: Fatemeh.dargahian@gmail.com

2- Assistant Professor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

3- Assistant Professor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received:07/03/2018

Accepted:02/15/2019

Abstract

Despite the large extent of the areas affected by 120-day Sistan winds, Zabul region with specific topographic location has the highest and the most severe storms in the east of the country. In order to identify and analyze the dust pattern of the Zabul region and to distinguish it from other parts which are affected by the famous 120-day winds of Sistan, environmental databases; dust codes, and NCEP / NCAR database with a spatial resolution of 2.5×2.5 degree and latitude longitude of sea level pressure data corresponding to the peak days of dust during the period from 1987-2016 were used. In order to extract atmospheric patterns of dust events on sea level pressure data, cluster analysis was performed in MATLAB software. Finally, four patterns were extracted and for each pattern one day which has the most correlated with other days was selected as the representative day of that pattern. Out of four patterns the dominant pattern with the most frequent occurrence was selected, and July 13-16, 2016 was considered as the representative day for this dominant pattern. For this purpose, the synoptic maps of ground pressure, temperature, equatorial and jet flow in the lower layer of the atmosphere, wind field, and direction of the flow at ground level and the synoptic half instability of the air were plotted. Results indicated that the Zabul area has the greatest potential for the production of dust due to the gradient of high pressure changes and also the presence of small-grained sediments of the rivers as well as wetlands and the locating in western margin of the low-pressure zone which has the thermal nature and the interaction of the low pressure with the high pressure which is called Turkmenistan high-pressure, Hindu Kush, northeast of Iran and north of Caspian sea. This low pressure in the lower layer of the atmosphere through the dust suction and counter-clockwise movement by passing on the sources of dust in the Zabul area prevented from the penetration to lower latitudes by the impact of the 120-day winds of Sistan and caused to further transportation of sand and dust particles to Afghanistan. Therefore, in regard to situation of Zabul in ratio to this low pressure, which is peaked in July, and distinguishes it from other areas affected by 120-day winds, special arrangements should be taken into account to reduce the intensity of dust storms.

Keywords: 120-day winds, Pakistan low pressure, dust wetland, sand and dust storm.