

Statistical and Synoptic Analysis of Dust Storms in South Khorasan Province in the period (2000-2014)

Tayebeh Shojaee

PhD Student of Agricultural Climatology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

Mohammad Baaghideh

Assistant Professor, Department of Climatology and Geomorphology, School of Geography and Environmental Science, University of Hakim Sabzevari, Sabzevar, Iran
mbaaghideh2005@yahoo.com

Gholamabbas Fallah

Assistant Professor, Department of Climatology and Geomorphology, School of Geography and Environmental Science, University of Hakim Sabzevari, Sabzevar, Iran

Abstract

Dust storms are one of the most dangerous natural disasters that have a climatic origin. In this research, a survey of dust storms in southern Khorasan province during the statistical period (2000-2014) showed that most of the storms have occurred in the spring and the smallest storms have fallen in the fall. The March possesses the highest number of hurricanes and December had the lowest number. Storms also occurred more during the day and at 12 GMT, during the hours after the heating of the day. The dust rose of each station was also individually drawn in sixteen directions to the top of the floor, indicating that the wind direction is in most of the dust storms in the north-south, which corresponds to the direction of the heterogeneities of the province. In order to analyze the synoptic storm on April 17, 2004; the most severe storms in the province were taken from atmospheric weather maps at sea level and standard levels of 850, 700 and 500 hPa. The results showed that the studied area was in the front of the landing, the instability and tendency to climb the front of the landing due to its high divergence was high. The deposition of low-pressure cells in the center of the country has caused the convergence and suction of air on the ground, which has led to the transfer of dust from dry desert areas adjacent to the province.

Key words: Synoptic Analysis, Storm, Dust, Dust Rose.

بررسی آماری و سینوپتیکی توفان‌های گردوغبار استان خراسان جنوبی در بازه زمانی (۲۰۱۴-۲۰۰۰)

طیبه شجاعی، دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی کشاورزی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
محمد باعقیده*، دکتری اقلیم‌شناسی، استادیار گروه ژئومورفولوژی و اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
غلامعباس فلاح قاهری، دکتری اقلیم‌شناسی، استادیار گروه ژئومورفولوژی و اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

* نویسنده مسئول: mbaaghdeh2005@yahoo.com

وصول: ۱۳۹۴/۰۱/۲۴ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۰۴

صص: ۷۰-۵۷

چکیده

توفان‌های گردوغباری یکی از مخاطره‌آمیزترین بلایای طبیعی است که منشأ اقلیمی داشته است. در این پژوهش، بررسی آماری توفان‌های گردوغباری استان خراسان جنوبی در دوره آماری (۲۰۱۴-۲۰۰۰) نشان داد بهار بیشترین و پاییز کمترین توفان‌ها، ماه مارس بیشترین و ماه دسامبر کمترین تعداد توفان‌ها را دارا بوده است؛ همچنین توفان‌ها بیشتر در روز و در ساعت ۱۲ گرینویچ، ساعاتی پس از گرمایش روزانه رخ داده است. گل‌غبار هر ایستگاه نیز به صورت جداگانه در ۱۶ جهت و ۶ طبقه سرعت ترسیم شد که این امر نشان می‌دهد جهت باد در بیشتر توفان‌های گردوغباری در جهت شمال‌جنوب است و با جهت ناهمواری‌های استان مطابقت دارد. در ادامه به منظور تحلیل هم‌دید توفان روز ۱۷ آوریل ۲۰۰۴ که شدیدترین توفان استان رخ داده است، از آمار نقشه‌های جوئی در تراز سطح دریا و سطوح استاندارد ۷۰۰، ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال استفاده شد. نتایج نشان داد منطقه بررسی شده در قسمت جلوی فرود گرفته و ناپایداری و تمایل به صعود هوای قسمت جلوی فرود به دلیل واگرایی بالایی آن زیاد بوده است؛ همچنین استقرار سلول‌های کم‌فشار در مرکز کشور موجب هم‌گرایی و مکش هوا در سطح زمین شده که این امر گردوغبار را از بیابان‌های خشک مناطق مجاور به استان انتقال داده است.

واژه‌های کلیدی: تحلیل سینوپتیک، توفان، گردوغبار، گل‌غبار.

مقدمه

توفان، آشفته‌گی‌های جوئی مانند تندرهای، توفان‌های حاره‌ای، انواع سیکلون‌ها و توفان‌های مشابه و باد است؛ پدیده‌ای که بر هوای سطح زمین اثر می‌گذارد و بارش و باد را ایجاد می‌کند (محمدی، ۱۳۷۹: ۷۶). از دیدگاه هواشناسی سینوپتیکی توفان یک پدیدهٔ مخربِ منحصر به فرد روی نقشه‌های سینوپتیکی بوده است که ترکیبی از پدیده‌های فشار، ابر، بارندگی، باد و غیره را در بر می‌گیرد (حسینی، ۱۳۷۹: ۲۰؛ علیجانی، ۱۳۸۵: ۲۳۲؛ قایمی، ۱۳۷۱). گردوغبار به شرایط تغییر اقلیم کمک می‌کند و یکی از بلاهای مهم طبیعی به شمار می‌رود (محمدی، ۱۳۷۹: ۷۲؛ لشگری و کیخسروی، ۱۳۸۷: ۱۷؛ کاویانی و علیجانی، ۱۳۸۵: ۱۴۳؛ رسولی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۵). قدمت مطالعهٔ توفان‌های گردوغباری تا بدان‌جا می‌رسد که در روم باستان این پدیده را به اولیوس یا خدای بادهای نسبت می‌دادند. در دهه‌های اخیر نیز توفان‌های گردوغباری همواره یک پدیدهٔ اقلیمی و مخاطرهٔ محیطی به شمار می‌رفته و از دیدگاه‌های متفاوت درخور توجه پژوهشگران علوم مختلف قرار گرفته است (نتساگور و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۴۰۲). در بررسی توفان گردوغباری که در ناحیهٔ بیابانی چین تشکیل شده بود و به کوشش (ایواساکا و همکاران، ۱۹۸۳: ۱۸۹) انجام شد، با اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای توانستند ساختار فضایی توفان را مشخص کنند. در چین نوسانات توفان‌های گردوغباری را کنترل کردند و به این نتیجه رسیدند که توفان‌های گردوغباری با فرکانس بالا با بارش‌های کمتر و هوای گرم و خشک همراه است و فعالیت این توفان‌ها در بخش شرقی چین بیشتر در فصل بهار رخ می‌دهد؛ همچنین در بررسی سینوپتیکی توفان‌های گردوغبار ماه‌های آوریل و می ۲۰۰۳ در یزد که با کوشش (امیدوار، ۱۳۸۵: ۴۴) انجام گرفت، مشخص شد علت اصلی توفان و بادهای شدید روز ۲۹ می ۲۰۰۳ شب ناپایداری محلی درون سیستم کم‌فشار و ایجاد ابرهای کومه‌ای بوده است؛ همچنین (مفیدی و جعفری، ۱۳۹۰: ۱۸) با بهره‌گیری از داده‌های شبکه‌بندی‌شدهٔ NCEP/NCAR و شاخص آبروسل سنجندهٔ TOMS ویژگی‌های دینامیکی و همدیدی هریک از توفان‌های گردوغباری تابستانه در جنوب غرب ایران را بررسی کردند. نتایج نشان داد که پرفشار عربستان و زبانهٔ کم‌فشار زاگرس بیش از هر مؤلفهٔ گردشی دیگری در شکل‌گیری توفان‌های مقیاس منطقه‌ای در منطقهٔ خلیج فارس و جنوب غرب ایران نقش دارند (شمسی‌پور و صفرراد، ۱۳۹۱: ۱۱۲). با تحلیل ماهواره‌های همدیدی توفان گردوغبار تیرماه ۱۳۸۸ به این نتیجه رسیدند که مکان‌گزینی محور ناوه و منطقهٔ واگرایی بالایی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و شکل‌گیری سلول کم‌فشار حرارتی در سطح زمین نقش اصلی را در شکل‌گیری و هدایت گردوغبار به سمت ایران دارند. شبیه‌سازی عددی توفان ماسه و گردوغبار شدید ایران با استفاده از مدل RWF-CHEM به کوشش (کارگر و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۶) نشان داد منطقهٔ سیستان، به‌ویژه بستر خشک تالاب هامون واقع در شرق ایران، چشمهٔ اصلی توفان ماسه و ریزگرد بوده است (علی‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۴: ۲). در ارزیابی و پایش توفان گردوغبار با استفاده از روش‌های سنجش از دور به این نتیجه رسیدند در زمان وقوع توفان گردوغبار مؤلفهٔ مقیاس منطقه‌ای گردش جو در ترازهای زیرین نقش اصلی را در وقوع توفان‌های گردوغباری جنوب غرب ایران بر عهده دارد. بررسی توفان‌های گردوغبار در سرزمین سرد ایسلند را (داگسون - والدوسروا و همکاران، ۲۰۱۵: ۶۹) انجام

¹ Natsagdorj et al

² Iwasaka et al

³ Dogsson Waldhauserova et al

داد که مشخص کرد رسوب گردوغبار در برف، یخچال‌ها و یخ‌های دریایی موجب تشدید گرما، خشکی و گرم‌تر شدن قطب شمال می‌شود. در این راستا تحلیل سینوپتیک و شبیه‌سازی مسیر حرکت توفان‌های شدید گردوغبار در غرب ایران با تلاش (اکبری و فرحبخشی، ۱۳۹۵: ۲۹۱) نشان داد تاوایی منفی در جنوب عراق و تاوایی مثبت نسبتاً قوی در نواحی داخلی ایران سبب تقویت حرکات سیکلونی و وزش باد شدید با جهت غربی در نواحی جنوب غربی ایران شده که این امر گردوخاک را از بیابان‌های خشک مناطق مجاور به کشور انتقال داده است. مطالعات نشان می‌دهد چاله‌های مرکزی ایران و نواحی اطراف آن بیشترین روزهای گردوغباری را دارند (علیجانی، ۱۳۷۶: ۹۶). استان خراسان جنوبی با حدود ۴ درجه گستره عرض جغرافیایی در شرق ایران قرار دارد. از جمله عوامل مؤثر در اقلیم استان خراسان جنوبی عبارت‌اند از: دوربودن این استان از پهنه‌های آبی؛ حصارهای کوهستانی؛ وزش بادهای محلی و منطقه‌ای و تأثیرپذیری آن از دشت بزرگ لوت (عباس‌نیا، ۱۳۸۸: ۲۶). در این پژوهش سعی بر آن است ضمن بررسی آماری توفان‌های گردوغباری استان خراسان جنوبی که یکی از عوامل کنترل‌کننده اقلیم آن است، وضعیت پهنه‌های مختلف استان از نظر فاکتورهای مختلف، مانند سرعت، وزش باد و شدت‌های مختلف توفان‌های گردوغباری، شناسایی و گل‌غبار هر ایستگاه ترسیم شود و در ادامه تحلیل هم‌دید شدیدترین توفان گردوغبار استان صورت پذیرد.



شکل ۱- نقشه پراکنش ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان جنوبی

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی توفان گردوغباری استان خراسان جنوبی داده‌های مربوط به متغیرهای اقلیمی برای دوره ۱۵ ساله (۲۰۱۴-۲۰۰۰) از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. این داده‌ها براساس کدهای هوای حاضر (۷-۸-۹-۳۰-۳۱-۳۲) ۳۳-۳۴-۳۵ و سپس روزهای وقوع توفان گردوغبار استخراج شد. برای هر ۶ ایستگاه سینوپتیک (شکل ۱) جدولی فراهم شد که در آن تاریخ وقوع توفان‌های گردوغبار به‌صورت ساعتی همراه با سرعت و جهت باد در لحظه وقوع توفان مشخص شد؛ سپس استخراج تعداد توفان‌های اتفاق افتاده به‌صورت ماهانه و سالانه صورت گرفت و با توجه به معیارهای مدنظر، تعداد توفان‌های اتفاق افتاده در هر ایستگاه سینوپتیک مشخص شد؛ پس از آن در محیط نرم‌افزاری GIS^۱ تهیه تیم نقطه‌ای ایستگاه‌ها در سامانه تصویر UTM^۲ با استفاده از روش درون‌یابی IDW^۳ انجام گرفت و نقشه‌های میانگین فراوانی وقوع توفان و سرعت باد و نمودار توزیع سالانه، ماهانه، روزانه و ساعتی توفان‌های گردوغبار نیز ترسیم شد. برای ترسیم

^۱ Geographic Information System

^۲ Universal Transverse Mercator coordinate system

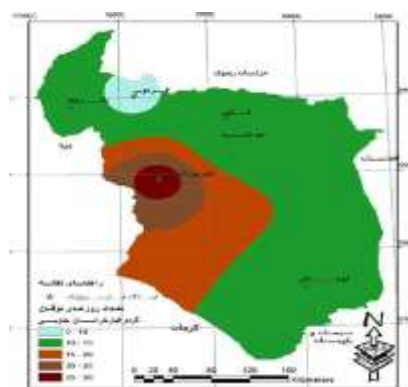
^۳ Inverse Distance Wighted

دیاگرام گل غبار از نرم افزار WRPLOT ver7 استفاده شده است. این نرم افزار برای انجام محاسبه های آماری باد و رسم گلباد طراحی شده است؛ اما انعطاف پذیری آن سبب می شود بتوان با استفاده از آن دیاگرام گل غبار را نیز رسم کرد (امیدوار و نکونام، ۱۳۹۰). دیاگرام گل غبار طبقه بندی و توزیع سمت و سرعت بادهای همراه با گردوخاک را در ایستگاه هواشناسی در دوره آماری مدنظر مشخص می کند. با استفاده از نرم افزار مذکور دیاگرام گل غبار سالانه هر ایستگاه به صورت جداگانه در ۱۶ جهت و ۶ طبقه سرعت ترسیم شد. روز ۱۷ آوریل ۲۰۰۴ نیز نمونه موردی توفان گردوغبار شدید بود. در این روز سرعت باد در ایستگاه بیرجند به ۹۷ نات (۴۹/۹ متر بر ثانیه) رسیده بود (هر نات برابر با ۵۱/۴۴۰۰۰ سانتی متر بر ثانیه است). در سایر ایستگاه ها نیز سرعت باد چشمگیر بود. برای ترسیم نقشه های توفان ابتدا داده های رقمی ژئوپتانسیل، امگا، بادمداری، نصف النهاری و دما در سطوح استاندارد ۵۰۰، ۷۰۰، ۸۵۰، ۹۲۵ و ۱۰۰۰ فشار سطح دریا از مرکز ملی جو و اقیانوس شناسی آمریکا اخذ شد و با استفاده از نرم افزار GRADS تهیه و تفسیر نقشه های ترکیبی صورت گرفت.

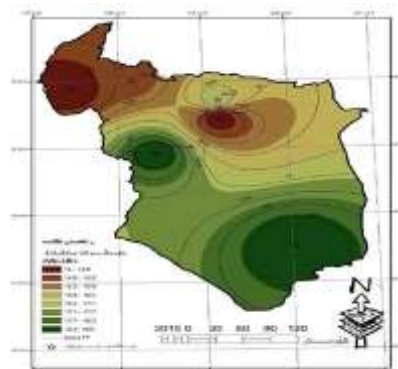
نتایج و بحث

الف- تحلیل آماری

با تهیه نقشه های میانگین فراوانی وقوع توفان و سرعت باد در طی دوره آماری (۲۰۱۴-۲۰۰۰) در شکل (۲) که متوسط سرعت باد در سطح منطقه را نشان می دهد، ایستگاه خور بیرجند بیشترین و ایستگاه بشرویه کمترین سرعت باد را داراست. در شکل (۳) نیز شاهدیم که ایستگاه خور بیرجند بیشترین توفان ها و ایستگاه فردوس کمترین توفان ها را دارد.



شکل ۳- متوسط تعداد توفان ها در سطح استان

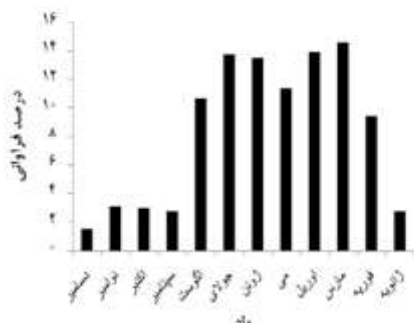


شکل ۲- متوسط سرعت باد در سطح استان

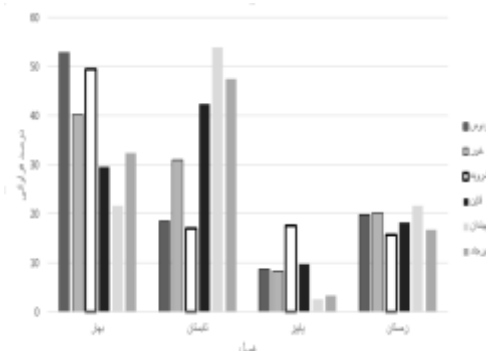
خراسان جنوبی در دوره آماری (۲۰۱۴-۲۰۰۰).

براساس شکل (۳) کمترین تعداد توفان های اتفاق افتاده بین ۵ تا ۱۰ روز در سال مربوط به ایستگاه فردوس است و بیشترین تعداد روزهای وقوع توفان گردوغبار بین ۲۵ تا ۳۰ روز در سال به ایستگاه خور بیرجند مربوط می شود. با بررسی دو نقشه تعداد روزهای غباری و سرعت باد در شکل (۲) و شکل (۳) درمی یابیم که باد در پیدایش غبار اهمیت زیادی دارد و ارتباط مستقیمی بین تعداد روزهای غباری با سرعت باد دیده می شود. بیشترین تعداد توفان های گردوغباری اتفاق افتاده در سطح استان در طول دوره آماری مدنظر در فصل بهار با ۳۷/۱۶ درصد و سپس تابستان با ۳۵/۵۹ درصد بوده است و پاییز با ۸/۰۱ درصد کمترین میزان توفان ها را به خود اختصاص داده است (شکل ۴). بررسی آهنگ زمانی تعداد

روزهای غباری نشان می‌دهد در ماه‌های گرم و کم‌بارش (بهار و تابستان) بر تعداد روزهای غباری افزوده می‌شود (براتی و همکاران، ۱۳۹۰).

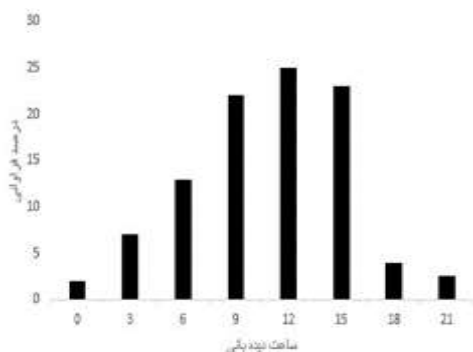


شکل ۵- درصد فراوانی ماهانه توفان‌های گردوغبار خراسان جنوبی (۲۰۱۴-۲۰۰۰)

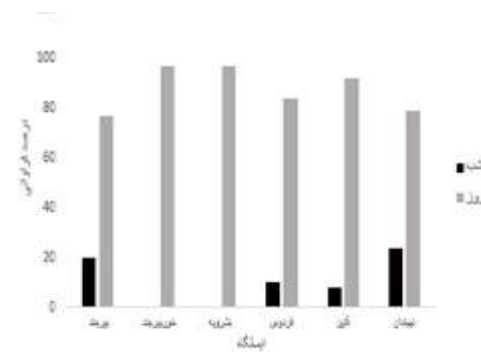


شکل ۴- توزیع فصلی توفان‌های گردوغبار خراسان جنوبی (۲۰۱۴-۲۰۰۰)

شکل (۵) نشان می‌دهد بیشترین توفان‌ها در ماه مارس با ۱۴/۵۵ درصد اتفاق افتاده و کمترین توفان‌ها در ماه دسامبر با ۱/۵۳ درصد رخ داده است. از کل توفان‌های گردوغباری اتفاق افتاده در سطح استان خراسان جنوبی (شکل ۶)، ۹۰/۵۸ درصد توفان‌ها در روز و ۹/۴۲ درصد در شب اتفاق افتاده است. در شکل (۷) ملاحظه می‌شود اوج فراوانی وقوع توفان گردوغبار در ساعت ۱۲ گرینویچ (۳/۳۰ بعد از ظهر) بوده است. زمانی که زمین به مقدار زیادی از نور خورشید بهره برده است، سطح آن بالاترین دمای روز را داراست و بیشترین تبخیر در طی روز در سطح زمین رخ داده است، خشک زمین شرایط لازم را برای وقوع توفان گردوغباری پیدا می‌کند.



شکل ۷- درصد فراوانی وقوع توفان‌های گردوغبار در ساعات مختلف دیدهبانی استان خراسان جنوبی (۲۰۱۴-۲۰۰۰)

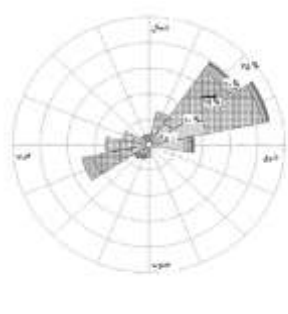


شکل ۶- نمودار درصد فراوانی وقوع توفان‌های گردوغبار در شب و روز استان خراسان جنوبی (۲۰۱۴-۲۰۰۰)

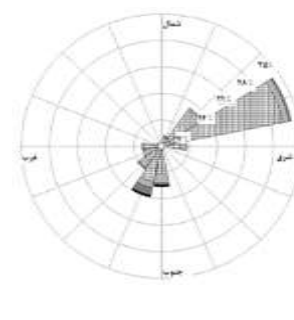
بررسی گل غبارها

جهت باد غالب در ایستگاه نهبندان شمال بوده است. بیشترین فراوانی طبقه سرعت بادهای همراه با گردوغبار در طول همین دوره به طبقه ۷ تا ۱۰ متر بر ثانیه با ۴۴/۷ درصد اختصاص دارد و کمترین فراوانی به طبقه سرعت ۱ تا ۴ متر بر ثانیه تعلق دارد که ۲/۷ درصد است. در ایستگاه خور بیرجند بادهای در جهات گوناگون می‌وزند؛ اما باد غالب آن در جهت شمال، شمال شرقی است. بیشترین فراوانی طبقه سرعت بادهای همراه با گردوغبار به طبقه ۷ تا ۱۰ متر بر ثانیه با

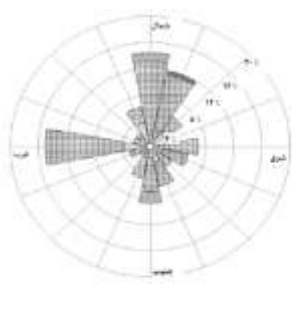
۷۳/۳ درصد مربوط می‌شود و کمترین فراوانی به طبقه سرعت ۱ تا ۴ متر بر ثانیه تعلق دارد که ۰/۱ درصد است. با بررسی دیاگرام‌های گل غبار هر ۶ ایستگاه سینوپتیک استان خراسان جنوبی (اشکال ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳) مشخص می‌شود جهت باد در اکثر توفان‌های گردوغبار در جهت شمال جنوب و شمال غرب، جنوب شرق است. با بررسی نقشه ناهمواری‌های استان مشخص می‌شود این ناهمواری‌ها بیشتر در جهت شمال غرب و جنوب شرق گسترده شده‌اند؛ لذا جهت باد غالب که با دیاگرام‌های گل غبار امکان مشاهده آن وجود دارد، با جهت ناهمواری‌های استان مطابق است و موجب کانالیزه شدن باد در مسیر شمال و جنوب می‌شود. بیشترین بادهای گردوغباری منطقه به گروه سرعت ۷ تا ۱۰ متر متعلق است و شدیدترین بادهای در ایستگاه خور بیرجند با سرعت ۹۷ نات (۵۰ متر بر ثانیه) وزیده است.



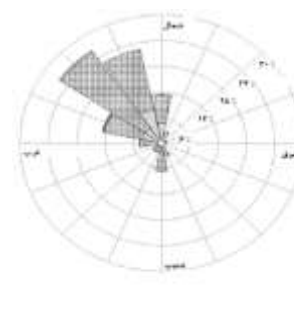
شکل ۹- گل غبار سالانه ایستگاه سینوپتیک بیرجند (۲۰۰۰-۲۰۱۴)



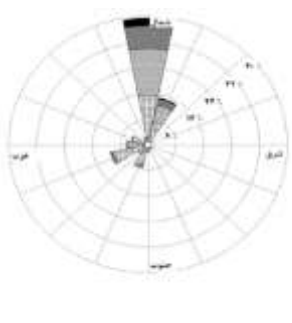
شکل ۸- گل غبار سالانه ایستگاه سینوپتیک قاین (۲۰۰۰-۲۰۱۴)



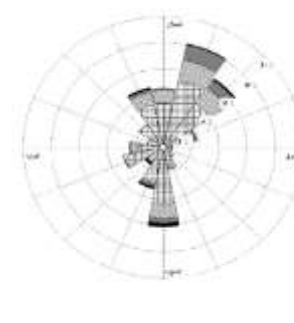
شکل ۱۱- گل غبار سالانه ایستگاه سینوپتیک فردوس (۲۰۰۰-۲۰۱۴)



شکل ۱۰- گل غبار سالانه ایستگاه سینوپتیک بشرویه (۲۰۰۰-۲۰۱۴)



شکل ۱۳- گل غبار سالانه ایستگاه سینوپتیک نهبندان (۲۰۰۰-۲۰۱۴)

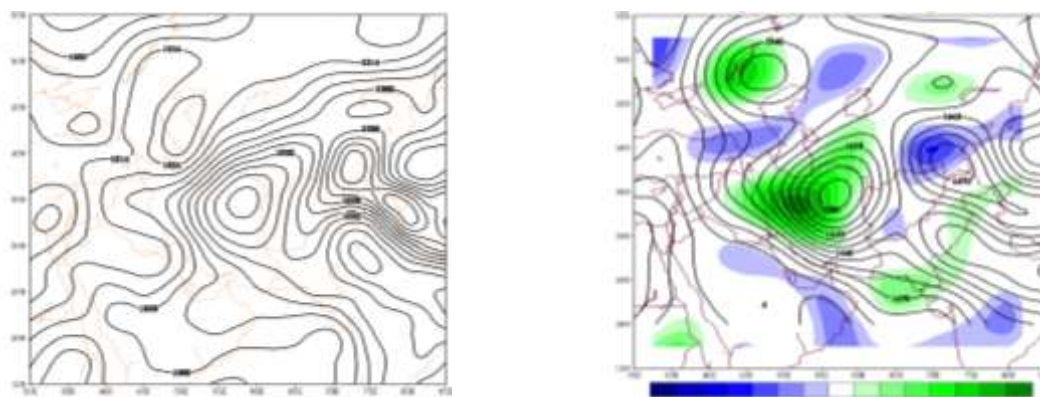


شکل ۱۲- گل غبار سالانه ایستگاه سینوپتیک خور بیرجند (۲۰۰۰-۲۰۱۴)

ب- تحلیل همدیدی

در طول دوره آماری از بین دوازده نمونه توفان گردوغباری فراگیر، شدیدترین آنها انتخاب شد تا ارتباط آن با الگوهای همدید بررسی شود. این توفان فراگیر و شدید در تاریخ ۱۷ آوریل ۲۰۰۴ به وقوع پیوسته و در اکثر ایستگاه‌های استان با سرعت‌های بالا به ثبت رسیده است؛ به گونه‌ای که بیشترین سرعت وزش آن در ایستگاه خور بیرجند ۹۷ نات بوده است. جهت تحلیل همدیدی این توفان گردوغباری شدید، داده‌های رقومی مربوط به متغیرهای ارتفاع ژئوپتانسیل، خطوط جریان، بردار باد، تاوایی، دما، امگا و فشار سطح دریا از پایگاه NCEP/NCAR اخذ و با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار GRADS^۱ نقشه‌های مربوط ترسیم شد. در ایستگاه خور بیرجند سرعت باد ۹۷ نات به ثبت رسیده است که موجب ایجاد توفان گردوغباری شدیدی در استان شد؛ لذا بررسی سینوپتیکی این توفان صورت گرفت و نقشه‌های فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، چرخندگی (تاوایی)، امگا و سرعت باد برای ساعات ۶، ۱۲ و ۱۸ گرینویچ ترسیم، بررسی و سپس تفسیر شد.

در شکل (۱۵) کم‌فشار ۹۹۶ هکتوپاسکال روی خراسان رضوی و شمال خراسان جنوبی و پرفشار ۱۰۱۴ هکتوپاسکال در شمال شرق افغانستان و پاکستان قرار گرفته است. پرفشار ۱۰۱۶ هکتوپاسکال روی دریای خزر واقع شده است.



شکل ۱۴- ارتفاع ژئوپتانسیل (متر)، چرخندگی (بر ثانیه) سطح شکل ۱۵- فشار سطح دریا (برحسب هکتوپاسکال) ساعت ۱۲ روز ۱۷ آوریل ۲۰۰۴

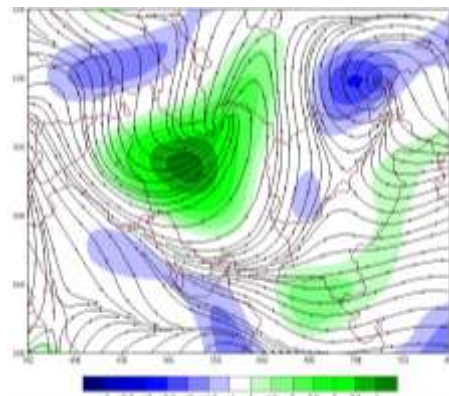
منطقه بررسی شده بین منحنی‌های ۹۹۶ هکتوپاسکال در شمال استان و ۹۹۸ هکتوپاسکال در جنوب استان قرار گرفته است. این امر نشانه تسلط کم‌فشار سطحی روی منطقه است. شرایط سیستم‌های فشاری برای جو ناپایدار منطقه مساعد شده است. در نیمه شمالی کشور کم‌ارتفاع ۱۳۸۰ متری دیده می‌شود. (شکل ۱۴). این کاهش ارتفاع، کم‌فشار سطحی را تأیید می‌کند. منطقه بررسی شده بین منحنی‌های ارتفاعی ۱۳۸۰ متر در شمال استان و ۱۴۰۰ متر در جنوب استان واقع شده است. نزدیک شدن خطوط هم‌ارتفاع به یکدیگر بیانگر افزایش شیب تغییرات فشار است. این افزایش شیب به دلیل مجاورت سیستم کم‌فشار مستقر در مرکز کشور و سیستم پرفشار مستقر بر دریای خزر است که همگی نشان از افزایش سرعت باد دارد. در شکل (۱۴) پرفشار ۱۴۷۰ متری در شمال افغانستان قرار گرفته است. کم‌ارتفاع

^۱ Grid Analysis and Display System

۱۴۵۰ متری واقع در مرز هند و پاکستان به ۱۴۲۰ متر کاهش یافته است. کاهش ارتفاع سیستم‌های ارتفاعی منطقه دلیلی بر کاهش فشاری سیستم‌های فشاری سطح پایین است (میهن پرست و همکاران، ۱۳۸۸؛ همتی، ۱۳۷۴). با بررسی نقشه‌ها در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال، فرود ۵۵۰۰ متری ۱۰ متر کاهش ارتفاع داشته و در غرب نیمه شمالی کشور واقع شده است.

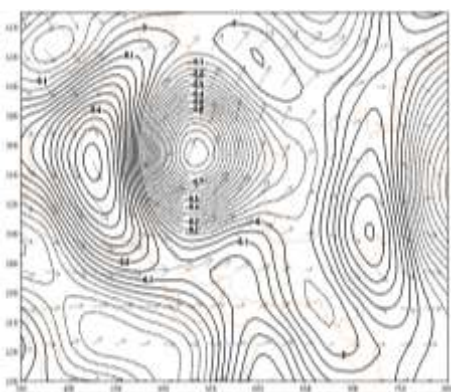


شکل ۱۷- امگا (پاسکال در ثانیه)، بردار باد (متر در ثانیه) سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲ روز ۱۷ آوریل ۲۰۰۴

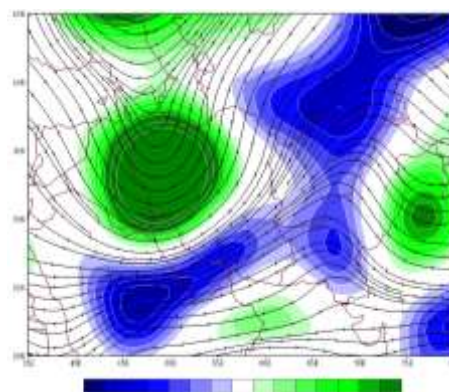


شکل ۱۶- خطوط جریان، چرخندگی (بر ثانیه) سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲ روز ۱۷ آوریل ۲۰۰۴

در این زمان باتوجه به شکل (۱۶) وجود مرکز چرخندی در شمال غرب کشور که در ساعت ۱۲ در مرکز ایران قرار گرفته است، موجب برقراری جریان هوا از سمت واچرخند مستقر بر شمال دریای خزر و شمال غرب ترکیه به سوی چرخند مذکور می‌شود؛ در نتیجه جریان هوا پس از عبور از مناطق خشک و کویری مرکز کشور و مسلح شدن به گردوغبار به دلیل خشکی این مناطق با سرعت زیاد وارد منطقه بررسی شده می‌گردد (مسعودیان، ۱۳۸۲: ۱۷۷؛ مهدوی، ۱۳۸۹: ۳۲)؛ به طوری که سرعت باد در ایستگاه خور بیرجند در ساعت ۱۲ به ۵۸ نات (۳۰ متر بر ثانیه) و در ساعت ۱۵ به ۹۷ نات (۵۰ متر بر ثانیه) می‌رسد. در این زمان سرعت باد در بشرویه ۲۹ نات (۱۵ متر بر ثانیه)، قاین ۲۳ نات (۱۲ متر بر ثانیه)، فردوس ۱۴ نات (۷ متر بر ثانیه)، بیرجند ۱۶ نات (۸ متر بر ثانیه) و نهبندان ۱۰ نات (۵ متر بر ثانیه) رسیده است. باتوجه به شکل (۱۷) موقعیت تاوایی مثبت مرکز ایران که قسمت شرقی آن روی منطقه بررسی شده قرار گرفته است و چرخش خلاف عقربه‌های ساعت هوا (پاد ساعت گرد) است و باد در منطقه بررسی شده جهت جنوبی دارد.

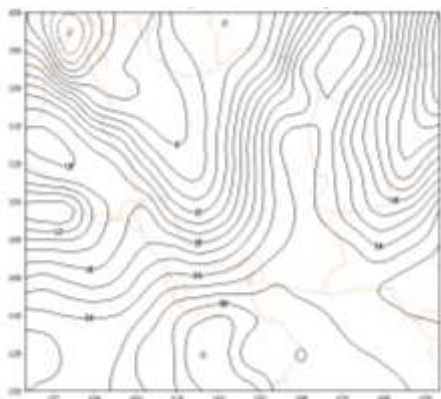


شکل ۱۹- امگا (پاسکال در ثانیه)، بردار باد (متر در ثانیه)، سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲ روز ۱۷ آوریل ۲۰۰۴

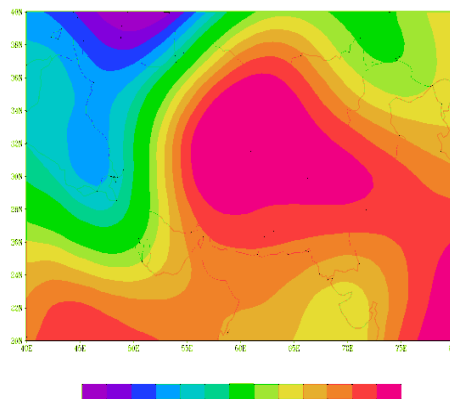


شکل ۱۸- خطوط جریان، چرخندگی (بر ثانیه)، سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲ روز ۱۷ آوریل ۲۰۰۴

باتوجه به شکل (۱۸) در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ایستگاه‌های مذکور در بین ۲ تاوایی مثبت و منفی واقع شده‌اند که این امر موجب افزایش شیو عمودی و افقی باد می‌شود و چون ایستگاه خور در محدوده‌ای قرار گرفته است که ۲ تاوایی منفی و مثبت خیلی به هم نزدیک‌اند، سرعت باد در این ایستگاه بسیار زیاد است (۵۰ متر بر ثانیه). این باد شدید با عبور از مناطق خشک دشت‌های اطراف موجبات بروز توفان گردوغبار بسیار شدیدی را فراهم کرده است؛ به طوری که دید افقی در این ایستگاه به کمتر از ۱۰۰ متر کاهش یافته است. براساس شکل (۱۸-۱۹) منطقه بررسی شده در قسمت جلوی فرود قرار گرفته است و منحنی‌های فرود سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال به‌غیراز هسته فرود، فشرده و به هم نزدیک‌اند. این مسئله نشان‌دهنده ناپایداری و سرعت زیاد باد است. ناپایداری و تمایل به صعود هوای قسمت جلوی فرود به دلیل واگرایی بالایی آن زیاد است و هوای خشکی که فاقد رطوبت بوده و روی بیابان لوت و دشت‌های مرکزی مستقر است، زیر منطقه وزش تاوایی مثبت این فرود صعود می‌کند و در این مناطق و منطقه بررسی شده گردو خاک شدید به وجود می‌آورد.



شکل ۲۱- دما (سانتی گراد) سطح زمین ساعت ۱۲ روز ۱۷ آوریل ۲۰۰۴



شکل ۲۰- دما (سانتی گراد) سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲ روز ۱۷ آوریل ۲۰۰۴

براساس اشکال (۲۰) و (۲۱) در ساعت ۱۲ در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال و سطح زمین یک هسته پُردما شکل گرفته که به سمت شرق و غرب گسترده شده و پاکستان و افغانستان را نیز در بر گرفته است. منشأ این توده هوای نفوذی هند و پاکستان و همچنین عربستان بوده است. در هر دو نقشه اشتراک دمایی به چشم می‌خورد؛ دمایی که به بیش از ۲۸ درجه سانتی‌گراد می‌رسد؛ اما نکته مهم و درخور توجه در این زمان وجود مرکز کم‌دما در شمال روی دریای خزر و شمال غرب کشور است که میزان دما در آن در ساعت ۱۲ به ۲ درجه سانتی‌گراد در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال و ۶ درجه سانتی‌گراد در سطح زمین رسیده است. این تقابل حرارتی موجود بین دو منطقه به اختلاف فشار منجر می‌شود. برقراری این شرایط به افزایش سرعت باد در منطقه و وقوع توفان گردوغبار می‌انجامد.

نتیجه‌گیری

توفان گردوغبار در استان خراسان جنوبی پدیده‌ای متداول بوده و هر ساله تعداد زیادی از روزها با این پدیده همراه است (لشکری و کیخسروی، ۱۳۸۷). فراوانی وقوع توفان در بهار به علت وجود یک دوره انتقالی سرد است که طی آن

هنوز زبانه و اچرخند سیبری از شمال خراسان و ترکمنستان و خزر عقب نشینی نکرده است. در صورتی که در استان دما در حال افزایش است. وقوع توفان در تابستان نیز به دلیل لخت بودن زمین، خشکی هوا و دشت های وسیع است که با افزایش شدید دما ناپایداری محلی شکل می گیرد (داگسون - والدوسروا و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۱۷؛ چن و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۱۸ و چن و همکاران،^۱ ۲۰۰۳: ۱۵۱). در این حالت اگر روی دریای خزر و صحرای ترکمنستان نیز مرکز و اچرخند یا زبانه آن موجود باشد، توفان گردوغبار رخ خواهد داد. بیشترین توفان ها در ماه مارس رخ می دهد؛ زیرا هنوز زبانه پرفشار سیبری عقب نشینی نکرده است؛ در حالی که سطح زمین با تابش خورشید به شدت گرم می شود. در نتیجه اختلاف فشار و افزایش سرعت باد و همچنین بیابانی بودن منطقه، گردوغبار لازم برای بروز توفان فراهم می شود و توفان گردوغبار به وقوع می پیوندد (تام و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۴۳؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۵: ۵۰۹ و وانگ،^۲ ۲۰۰۵: ۸۹). این در حالی است که با کاهش دما و افزایش بارش ها کمترین توفان ها در ماه دسامبر رخ می دهد. در ساعت ۱۲ گرینویچ به علت افزایش ارتفاع خورشید و جذب بیشتر انرژی تابشی، دمای هوا بیشتر می شود و به دلیل کمبود پوشش گیاهی در منطقه و بیابانی بودن آن ناپایداری های محلی شکل می گیرد (هنگ و همکاران، ۲۰۱۰: ۸۵۴). در طول روز که زمین به مقدار زیادی نور خورشید را جذب می کند، با تبخیر رطوبت و خشک شدن سطح زمین، شرایط لازم برای وقوع توفان گردوغباری فراهم می شود (هانگ و همکاران، ۲۰۱۳: ۳۳۸ و کومار و همکاران،^۴ ۲۰۱۴: ۲۴۳۲). در بررسی گل غبارها نیز ملاحظه شد جهت باد در اکثر توفان های گردوغباری در جهت شمال جنوب است که با جهت ناهمورای های استان مطابقت دارد و موجب کانالیزه شدن باد در مسیر شمال و جنوب می شود. در بررسی موردی شدیدترین توفان گردوغباری استان که در روز ۱۷ آوریل ۲۰۰۴ به وقوع پیوسته بود، با توجه به نقشه های ترکیبی، مشخص شد منطقه بررسی شده در قسمت جلوی فرود قرار گرفته است. ناپایداری و تمایل به صعود هوای قسمت جلوی فرود به دلیل واگرایی بالایی آن زیاد است؛ در نتیجه هوای خشکی که فاقد رطوبت است، به زیر منطقه وزش تاوایی مثبت این فرود صعود می کند. به طور کلی استقرار سلول های کم فشار در مرکز کشور، موجب هم گرایی و مکش هوا در سطح زمین می شود. تاوایی منفی در جنوب و تاوایی مثبت نسبتاً قوی در نواحی بیابانی وزش باد شدید را تقویت می کند و این امر به انتقال گردوخاک از روی بیابان های خشک مناطق مجاور به استان می انجامد.

منابع

- ۱- علیجانی، بهلول، (۱۳۷۶)، **آب و هوای ایران**، انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ اول، تهران، جلد ۱: ۲۸-۹۶.
- ۲- علیجانی، بهلول، (۱۳۸۵)، **اقلیم شناسی سینوپتیک**، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، تهران، جلد ۲: ۲۳۲.
- ۳- کاویانی، محمدرضا و علیجانی، بهلول، (۱۳۸۵)، **مبانی آب و هواشناسی**، انتشارات سمت، چاپ اول، تهران، جلد ۲: ۱۴۳-۱۴۷.

¹ Dogsson Waldhauserova and chen et al

² Tam et al, Wang et al and Wang

³ Hong et al

⁴ Huang et al and Kumar et al

- ۴- محمدی، حسین، (۱۳۷۹)، **مفاهیم و اصطلاحات آب‌وهواشناسی**، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، تهران: ۲۱۹-۷۲.
- ۵- اکبری، مه‌ری و فرحبخشی، ملودی، (۱۳۹۵)، **تحلیل سینوپتیک و شبیه‌سازی مسیر حرکت توفان‌های شدید گرد و غبار (مطالعه موردی: جنوب غرب ایران)**، فضای جغرافیایی، اهر، ۱۶ (۵۵)، صص ۲۷۳-۲۹۱.
- ۶- امیدوار، کمال، (۱۳۸۵)، **بررسی و تحلیل سینوپتیکی توفان‌های ماسه در دشت یزد - اردکان**، تحقیقات جغرافیایی، مشهد، ۴۵، صص ۲-۴۳.
- ۷- امیدوار، کمال و نکونام، زری، (۱۳۹۰)، **کاربرد گلباد و گل غبار در تحلیل پدیده گردوخاک و تعیین رژیم فصلی بادهای همراه با این پدیده (مطالعه موردی: شهر سبزوار)**، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، تهران، ۷۶، صص ۸۵-۱۰۴.
- ۸- براتی، غلامرضا؛ لشگری، حسن و کرمی، فریبا، (۱۳۹۰)، **نقش همگرایی سامانه‌های فشار بر رخداد سامانه‌های غباری استان خوزستان**، جغرافیا و توسعه، ۲۲: صص ۵۶-۳۹.
- ۹- رسولی، علی‌اکبر؛ ساری صراف، بهروز و محمدی، غلامحسن، (۱۳۸۹)، **تحلیل روند وقوع پدیده اقلیمی گردوغبار در غرب کشور در ۵۵ سال اخیر با استفاده از روش‌های آماری ناپارامتری**، جغرافیای طبیعی، ۹: صص ۱۵-۲۷.
- ۱۰- شمسی‌پور، علی‌اکبر و صفرزاد، طاهر، (۱۳۹۱)، **تحلیل ماهواره ای - همدیدی پدیده گردوغبار (گردوغبار تیرماه ۸۸)**، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۷۹: صص ۱۱۱-۱۲۶.
- ۱۱- علی‌آبادی، کاظم؛ اسدی زنگنه، محمدعلی و داداشی رودباری، عباسعلی، (۱۳۹۴)، **ارزیابی و پایش توفان گرد و غبار با استفاده از روش‌های سنجش از دور (مطالعه موردی: غرب و جنوب غرب ایران)**، امداد و نجات، ۷(۱): صص ۲۰-۱.
- ۱۲- کارگر، الهام؛ براق جمالی، جواد؛ سعادت‌آبادی، عباس؛ معین‌الدینی، مظاهر و گشتاسب، حمید، (۱۳۹۱)، **شبیه‌سازی عددی توفان ماسه و گرد و غبار شدید شرق ایران با استفاده از مدل WRF_Chem (مطالعه موردی: ۱۴ و ۱۵ خرداد ۱۳۹۱)**، علوم و مهندسی محیط زیست، ۴ (۷): صص ۴۴-۳۵.
- ۱۳- لشگری، حسن و کیخسروی، قاسم، (۱۳۸۷)، **تحلیل آماری سینوپتیکی توفان‌های گرد و غبار استان خراسان رضوی در فاصله زمانی (۲۰۰۵-۱۹۹۳)**، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۶۵: صص ۱۷-۳۳.
- ۱۴- مسعودیان، ابوالفضل، (۱۳۸۲)، **نواحی اقلیمی ایران**، مجله جغرافیا و توسعه، ۵: ۱۷۶-۱۷۷.
- ۱۵- مفیدی، عباس؛ جعفری، سجاد، (۱۳۹۰)، **بررسی نقش گردش منطقه‌ای جو بر روی خاورمیانه در وقوع توفان‌های گردوغباری تابستانه در جنوب غرب ایران**، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۵: صص ۴۵-۱۷.

- ۱۶- مهدوی، محمد، (۱۳۸۹)، **بررسی توفان‌ها در استان خراسان**، امداد و نجات، ۴: صص ۳۸-۳۲.
- ۱۷- میهن‌پرست، مجتبی؛ مشکوتی، امیرحسین و رنجبر سعادت‌آبادی، عباس، (۱۳۸۸)، **مطالعه نقش گرادیان فشاری و ناوه ۸۵۰ هکتوپاسکالی در ایجاد و انتقال پدیده گرد و غبار تابستانی نیمه غربی کشور**، دوازدهمین کنفرانس دینامیک شاره‌ها، دانشگاه صنعتی نوشیروانی.
- ۱۸- حسینی، سیدباقر، (۱۳۷۹)، **مطالعه سینوپتیکی توفان‌های شدید در تهران**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: محمد خیراندیش، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی.
- ۱۹- عباس‌نیا، محسن، (۱۳۸۸)، **پهنه‌بندی اقلیمی استان خراسان جنوبی**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: محمد باعقیده، دانشگاه تربیت معلم سبزوار، گروه ژئومورفولوژی و اقلیم‌شناسی.
- ۲۰- همتی، نصرالله، (۱۳۷۴)، **گرایش سینوپتیک بررسی فراوانی توفان‌های خاک در نواحی مرکزی و جنوب غربی کشور**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: محمدحسین اردکانی، دانشگاه تهران، دانشکده ژئوفیزیک.
- 21- Chen, Yong-shig; sheen, P; chen, E; liu, Y; wu,T & yang, C, (2003), **Effect of asian dust storm events on daily mortality in taipei,Taiwan**, journal environmental research, 95:151-155.
- 22- Chen, Pei-shih; Tsai, FT; Lin, CK; Yang, CY, & Chan, CC, (2010), **Ambient influenza and avian influenza virus during dust storm days and background days**, Environmental health perspectives, 118:1211.
- 23- Dagsson -Waldhauserova, Pavla; Arnalds, O & Olafsson, H, (2013), **Long-term frequency and characteristics of dust storm events in Northeast Iceland (1949–2011)**, Atmospheric environment, 77: 117-127.
- 24- Dagsson-Waldhauserova, Pavla; Arnalds, O; Olafsson, H; Hladid, j; Skala, R; Navratil, T;...Meinander, O,(2015), **Snow-dust storm :unique case study from Iceland**, Aeolian Reserch, 16: 69-74.
- 25- Hong,Yun-Chul; Pan, XC; Kim, SY; Park, K; Park, EJ & Jin, X, (2010), **Asian dust storm and pulmonary function of school children in Seoul**, Science of the Total Environment, 408: 754-759.
- 26- Huang, Qunying; Yang, C; Benedict, K; Chen, S; Rezgui, A & Xie, J, (2013), **Utilize cloud computing to support dust storm forecasting**, International Journal of Digital Earth, 6: 338-355.
- 27- Iwasaka, Yasunobu; Minoura, H & Nagaya, k, (1983), **The transport and spacial scale of Asian dust-storm clouds: a case study of the dust-storm event of April 1979**. Tellus, 358: 189-196.
- 28- Qian, Weihong; quan, l & shi, s, (2001), **Variations of the Dust Storm in China and its Climatic Control**, Journal of climate, 15:1216-1228.
- 29- Kumar, Rajesh; Barth, MC; Pfister, GG; Naja, M & Brasseur, GP, (2014), **WRF-Chem simulations of a typical pre-monsoon dust storm in northern India: influences on aerosol optical properties and radiation budget**, Atmospheric Chemistry and Physics, 14: 2431-2446.
- 30- Natsagdorj, Lusi; jugder, Y & chung, D, (2002), **Analysis of dust storms observed. Mongolia during 1937-1999**, journal atmospheric environment, 37:1401-1411.

- 31- Tam, Wilson WS; Wong, TW; Wong, AHS & Hui, DSC, (2012), **Effect of dust storm events on daily emergency admissions for respiratory diseases**, *Respirology*, 17: 143-148.
- 32- Wang, Shigong; wang, J; zhou, c & shang, K, (2005), **Regional characteristics of three kinds of dust storm events in china**, *journal atmospheric environment*, 3: 509-520.
- 33- Wang, Wonga, (2005), **A synoptic model on East Asian dust emission and transport**, *Atmospheric science and air pulity conferences*, Beijingchina.

