

Investigating the trend of temporal and spatial changes of dusty days and determining the contribution of climatic elements on its spread in Iran

M. Khosroshahi^{1*}, Z.Sae edifar², K.H. Shahbazi³, S. Zandifar⁴, S. Lotfinasab⁴, A. Gohardoost², F. Dargahian⁴, M. Naimi⁴, T. Ensafimoghadam⁴, L. Kashi Zenoz², Z. Ebrahimi-Khusfi⁵ and M. Khodaghali⁶

1*- Corresponding author, Professor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

2- Researcher, Desert Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

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

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

5- Associate Professor, Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, Department of Ecological Engineering, University of Jiroft, Jiroft, Iran.

6- Professor, Rangeland Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

Received: 10/16/2023

Accepted: 02/04/2024

Abstract

Background and objectives

Wind erosion and dust phenomenon are considered as one of the important processes of land degradation and a serious challenge in Iran. This phenomenon occurs due to the interaction between weather and terrestrial processes. The purpose of this research is to investigate and analyze the trend of temporal and spatial changes in the number of dusty days in Iran and to investigate the role of climate in its spread.

Methodology

In this research, after receiving hourly and daily statistics of dust events (through 148 synoptic and climatology stations) and parameters of precipitation, evaporation, temperature as key climatic elements (from 171 stations) in 22 provinces located in arid and semi-arid regions of Iran, The spread of dust was investigated and the correlation between climate and dust was determined. After calculating the number of dust days in Iran, the information was called in the GIS environment and a map of the spatial changes of the parameter of the number of dust days in the three decades of 1987-1996, 1997-2006, 2007-2016 was prepared. In the following, the spatial analysis of this parameter and its expansion over three decades were investigated. Next, the climate parameter that had the highest correlation with the number of dusty days was selected and after preparing a map of its spatial changes in the GIS software environment, the spatial compatibility of the desired parameter with the expansion of the number of dusty days was investigated. In the next step, after performing the homogeneity test on the dust occurrences, the partial square regression model was used to determine the contribution of the three mentioned climatic elements as independent variables and the number of dust days as a dependent variable.

Results

The results showed that the number of dusty days and the area of its occurrence have increased in Iran, so that in the last decade under study (2007-2016) compared to the previous two decades, the dustiest event occurred in Iran. This increase has been more intense especially in the western and southwestern regions of the country, which were also affected by extra-local dust events. These dust events have spread to the central regions of the country with greater frequency. The homogeneity test in many provinces showed a common change point (year 2007-2008) in the number of dusty days, which could be related to the beginning of severe droughts and climate changes from this year in Iran. The study of climatic parameters (temperature, precipitation and evaporation) on changes in the number of dust days in Iran showed that during recent years, temperature had the highest significant correlation level (0.58) with the occurrence of dust. The temperature gradient map in the last decade (2007-2016) compared to the previous decade (1997-2006) also showed the increasing trend of temperature, especially in the western and southwestern regions as well as the southeastern regions of Iran. Modeling the effect of climatic parameters of temperature, precipitation and evaporation on the parameter of the number of dusty days showed that the contribution of the studied climatic parameters to the occurrence of dusty days is about 33% and other effects can be related to things such as human factors or soil characteristics, type of vegetation, solar radiation, etc.

Conclusion

In general, the results of examining the trend of changes in the number of dust days and climatic indicators for nearly 3 decades indicate a significant increase in the number of dust days in most parts of Iran and the conditions for this increase have been provided and if the trend of changing these indicators in the coming years is according to the current trend, the risk of environmental problems in the country can be expected to increase.

Keywords: Dust, climatic parameters, temperature gradient, partial least squares regression.

بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی روزهای گردوغباری و تعیین سهم عناصر اقلیمی بر گسترش آن در اقلیم‌های نیمه‌خشک تا فراخشک ایران

محمد خسروشاهی^{۱*}، زهرا سعیدی‌فر^۲، خسرو شهبازی^۳، سمیرا زندی‌فر^۴، سکینه لطفی‌نسب^۴، آزاده گوهردوست^۲، فاطمه درگاهیان^۴، مریم نعیمی^۴، طاهره انصافی‌مقدم^۴، لیلا کاشی‌زنوزی^۲، زهره ابراهیمی خوسفی^۵ و مرتضی خداقلی^۶

*۱- نویسنده مسئول، استاد، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران،

پست الکترونیک: khosro@rifr-ac.ir

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

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

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

۵- دانشیار، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

۶- استاد، بخش تحقیقات مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۴

چکیده

سابقه و هدف

مطالعات و تحقیقات نشان می‌دهد که طی دهه‌های اخیر پدیده گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی باعث افزایش دما و کاهش بارندگی و خشک‌سالی‌های مکرر شده است. خشک‌سالی، گسترش بیابان‌زایی و تغییر در پوشش گیاهی زمین که ارمغان پدیده تغییرات محیطی و اقلیمی طی دهه‌های اخیر است، مهم‌ترین عامل طبیعی بروز و تشدید پدیده گردوغبار و حرکت ماسه‌های روان در نقاط مختلف کشور هستند. فرسایش بادی و پدیده گردوغبار به‌عنوان یکی از فرایندهای مهم تخریب سرزمین و چالشی جدی در ایران به‌شمار می‌رود. این پدیده بر اثر تعامل بین فرایندهای آب‌وهوایی و زمینی اتفاق می‌افتد. هدف تحقیق بررسی و تحلیل روند تغییرات زمانی و مکانی تعداد روزهای گردوغبار در کشور و بررسی نقش اقلیم در گسترش آن است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور انجام این تحقیق، پس از دریافت آمار ساعتی و روزانه گردوغبار (از طریق ۱۴۸ ایستگاه سینوپتیک و کلیماتولوژی) و پارامترهای بارش، تبخیر و دما به‌عنوان عناصر کلیدی اقلیمی (از ۱۷۱ ایستگاه) در ۲۲ استان واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور، اقدام به بررسی نحوه گسترش وقایع گردوغباری و تعیین روابط همبستگی اقلیم و گردوغبار شد. پس از محاسبه تعداد روز گردوغبار در کشور اطلاعات در محیط GIS فراخوانی شد و نقشه تغییرات فضایی پارامتر تعداد روز گردوغبار در سه دهه ۱۹۹۶-۱۹۸۷، ۲۰۰۶-۱۹۹۷ و ۲۰۱۶-۲۰۰۷ تهیه گردید و در ادامه اقدام به تحلیل فضایی این پارامتر و نحوه گسترش آن در طول سه دهه مورد بررسی شد. در ادامه پارامتر اقلیمی که بیشترین همبستگی را با تعداد روز گردوغبار داشت انتخاب و پس از تهیه نقشه تغییرات مکانی آن در محیط نرم‌افزار GIS، اقدام به بررسی تطابق مکانی پارامتر مذکور با نحوه گسترش تعداد روزهای گردوغبار گردید. در گام بعد، پس از انجام آزمون همگنی بر روی رخدادهای گردوغبار، به‌منظور تعیین میزان سهم سه عنصر اقلیمی مذکور به‌عنوان متغیرهای مستقل و تعداد روز گردوغبار به‌عنوان متغیر وابسته، از مدل رگرسیون مربعات جزئی استفاده شد.

نتایج

نتایج نشان داد که تعداد روزهای گردوغبار و دامنه وقوع آن در کشور افزایش یافته است، به طوری که در دهه اخیر مورد مطالعه (۲۰۰۷-۲۰۱۶) نسبت به دو دهه ماقبل بیشترین رخدادهای گردوغباری در کشور رخ داده است. این افزایش به ویژه در نواحی غرب و جنوب غرب کشور که متأثر از وقایع گردوغبار فرامحلی نیز بودند از شدت بیشتری برخوردار بوده است، این وقایع گردوغبار با فراوانی بیشتری به نواحی مرکزی کشور نیز گسترش پیدا کرده است. آزمون همگنی نیز در بسیاری از استان‌ها یک نقطه جهش مشترک (سال ۲۰۰۷-۲۰۰۸) در تعداد گردوغبار را نشان داد که می‌تواند مربوط به شروع خشکسالی‌های شدید و تغییرات اقلیمی محسوس از این سال در سطح کشور باشد. بررسی عناصر اقلیمی مورد مطالعه (دما، بارش و تبخیر) بر تغییرات تعداد روزهای گردوغبار در کشور نشان داد که طی سال‌های اخیر دما بیشترین سطح همبستگی معنی‌داری را (۵۸٪) با وقوع گردوغبار داشته است. نقشه گرادیان دما در دهه اخیر (۲۰۰۷-۲۰۱۶) نسبت به دهه ماقبل آن (۱۹۹۷-۲۰۰۶) نیز نشان‌دهنده سیر صعودی دما به ویژه در نوار غرب و جنوب غرب و نواحی جنوب شرقی کشور است. مدل‌سازی اثر عناصر اقلیمی دما، بارش و تبخیر بر پارامتر تعداد روز گردوغبار نشان داد که سهم عناصر اقلیمی مورد مطالعه بر رخدادهای گردوغباری حدود ۳۳ درصد است و بقیه اثرها می‌تواند به عوامل دیگری از جمله عوامل انسانی و یا خصوصیات خاک، نوع پوشش گیاهی، تابش خورشیدی و امثال آن مربوط باشد.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج بررسی روند تغییرات روز گردوغباری و شاخص‌های اقلیمی نشان‌دهنده افزایش چشمگیر تعداد روزهای گردوغبار در غالب نقاط کشور و مساعد شدن شرایط برای این افزایش بوده است. شناسایی مناطق و دلایل روند افزایشی طوفان‌های گردوغباری، به‌عنوان نواحی در معرض گسترش بیابان‌زایی، می‌تواند در جهت برنامه‌ریزی و تصمیمات مدیریتی برای کنترل این پدیده مؤثر واقع شود. یقیناً در صورت ادامه روند کنونی و عدم انجام اقدامات جدی و عملی برای کاهش و کنترل گردوغبار، این وضعیت می‌تواند منجر به تشدید اثرها و آسیب‌های زیست‌محیطی و اجتماعی-اقتصادی نامطلوب بشود.

واژه‌های کلیدی: گردوغبار، پارامترهای اقلیمی، گرادیان دما، رگرسیون حداقل مربعات جزئی.

مقدمه

یکی از چالش‌های اساسی که در حال حاضر مناطق خشک و بیابانی با آن مواجه است، پدیده گردوغبار است. این پدیده اگرچه در مناطق بیابانی بروز و ظهور می‌یابد اما اثرهای آن سایر مناطق را نیز متأثر می‌کند. موقعیت ایران واقع در شرق بیابان‌های بزرگ مانند صحرای بزرگ آفریقا و در مقیاس منطقه‌ای بیابان‌های سوریه، اردن، عربستان و از همه مهمتر عراق موجب شده که با تشکیل میدان باد در آنها و با حرکت به سمت ایران موجب انتقال ذرات گردوغبار به مناطق جنوبی و جنوب غرب ایران و در پاره‌ای موارد مناطق مرکزی کشور بشود (Tayyi Semiroimi et al., 2013). درک روند تغییرات زمانی و مکانی این گونه رخدادهای و شناسایی عوامل مؤثر بر وقوع آنها از اهمیت زیادی برخوردار است. تغییر فعالیت زمانی و مکانی پدیده

گردوغبار به عوامل متعدد اقلیمی و زمینی وابسته است (Guan et al., 2017). طی دهه‌های اخیر پدیده گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی باعث افزایش دما و کاهش بارندگی و خشکسالی‌های مکرر شده است. رخداد خشکسالی‌ها منجر به کاهش پوشش گیاهی و افزایش گردوغبار شده است (Achakulwisut et al., 2018). خشکسالی، گسترش بیابان‌زایی و تغییر در پوشش گیاهی زمین که ارمغان پدیده تغییرات محیطی طی دهه‌های اخیر است مهمترین عامل طبیعی بروز و تشدید پدیده گردوغبار و حرکت ماسه‌های روان در نقاط مختلف کشور هستند. بنابراین ویژگی‌های اقلیمی و عناصر غالب آن در پراکندگی و شکل‌گیری پدیده‌های حیاتی نقش تعیین‌کننده‌ای ایفا می‌کنند (Mahdavi, 2002). هرچند نقش عوامل انسانی مانند مدیریت ناصحیح کاربری اراضی و

کشور، یعنی استان کرمانشاه به وجود آمده است. Helali و همکاران (۲۰۱۳) پراکنش تعداد روزهای همراه با گردوغبار در گستره ایران را براساس اطلاعات ۴۹ ایستگاه همدید در محیط GIS بررسی کردند؛ نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین تعداد روزهای گردوغبار در جنوب و شرق ایران در ایستگاه‌های زابل، دزفول و بوشهر به ترتیب با ۱۶۶، ۱۱۱ و ۱۰۸ روز از سال بوده است؛ در مقابل، کمترین روزهای گردوغبار در ایستگاه‌های رشت، بابلسر و انزلی مشاهده شده است. Khajeh و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی و تحلیل روند وقوع پدیده گردوغبار در محدوده شهرستان بندرعباس پرداختند، بررسی نمودارها به صورت موردی (جزئی) نشان داد که فراوانی وقوع گردوغبار در سال ۱۹۹۶ افزایش داشته و بعد از آن روند کاهشی شده است. این پدیده از سال ۲۰۰۰ به بعد دوباره روند افزایشی داشته است. نتایج همبستگی بین داده‌های سالانه بارش و فراوانی رخداد گردوغبار حکایت از وجود رابطه معکوس بین این دو پارامتر داشت. همچنین نتایج بررسی الگوهای وزش باد در منطقه نشان‌دهنده افزایش سرعت و فراوانی وزش باد در ماه‌های خشک سال، با جهت غالب شمالی بود. Mehrabi و همکاران (۲۰۱۵) نیز رابطه بین پارامترهای اقلیمی و وقوع گردوغبار را در استان خوزستان مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که تعداد روزهای طوفانی در ۵ سال اخیر منتهی به سال ۱۳۸۹ افزایش یافته و به ۳۶۶ روز رسیده است. Khusfi و همکاران (۲۰۲۰) به تحلیل تغییرات زمانی پدیده گردوغبار و بررسی میزان ارتباط آن با عناصر اقلیمی در شهرستان یزد پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که به ترتیب ۳۹، ۲۵، ۴۶ و ۳۱ درصد تغییرات شاخص توفان گردوغبار در فصل‌های زمستان، بهار، تابستان و پاییز به دلیل اثر متقابل پارامترهای اقلیمی بارندگی، دما، حداکثر سرعت وزش بادها، سرعت متوسط وزش بادها و رطوبت نسبی بوده است. Choubin و همکاران (۲۰۲۲) نوسان‌های سالانه تعداد روزهای همراه با گردوغبار را با استفاده از شاخص عمق نوری هواویز (AOD) و سنجنده MODIS در دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۹ بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد که سالهای ۱۳۸۲ و ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۱ اوج رخداد گردوغبار بوده است. بیشترین وقایع گردوغبار در فصل‌های تابستان و بهار

سدسازی‌های بی‌رویه و عدم رعایت حقایق تالاب‌ها در تشدید این معضل محیطی کمتر از عوامل طبیعی نبوده و بر شدت و روند آن افزوده است. مخاطرات محیطی از جمله ایجاد گردوغبار، پیشامدهای ناگهانی یا تدریجی با خواستگاه طبیعی یا انسانی به‌شمار می‌رود که در زمینه آن مطالعات گسترده‌ای در دنیا انجام شده است، از جمله Ansari Renani (۲۰۱۱) در تحقیقی روند وقوع پدیده گردوغبار را در غرب کشور با استفاده از روش‌های آماری ناپارامتری بررسی کرده است. در این تحقیق از ۱۶ ایستگاه سینوپتیک در غرب کشور با دوره آماری ۵۵ سال استفاده شد. براساس نتایج، غرب ایران از لحاظ تعداد روزهای همراه با گردوغبار منطقه همگنی نبوده و تعداد روزهای گردوغباری سالانه از شمال به سمت جنوب کشور ایران افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که همه ایستگاه‌های مورد مطالعه به جز خوی، دارای این روند هستند. Fazeli و Boochani (۲۰۱۱) نشان دادند که تعداد کانون‌های گردوغبار در دو دهه گذشته در کشورهای عراق، عربستان و سوریه تقریباً ۳/۵ برابر شده است، به تبع این شرایط در دوره ۱۳۵۲ روزه مورد بررسی در استان ایلام، مشخص شد که ایستگاه دهلران ۳۳۸ روز با این پدیده روبه‌رو بوده است و تقریباً هر سال تعداد و غلظت روزهای همراه با گردوغبار در همه ایستگاه‌های مورد بررسی نسبت به سال قبل بیشتر شده است. Khashkhash و Yarahmadi (۲۰۱۲) به پهنه‌بندی پدیده گردوغبار در نیمه غربی ایران در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۹ پرداختند، برای این کار آمار روزانه گردوغبار با کد (۰۶) و میزان دید افقی مربوط به آن در ۲۳ ایستگاه سینوپتیک غرب کشور به صورت روزانه، ماهانه و سالانه محاسبه شد. سپس نقشه آن برای کل دوره و سال ۲۰۰۹ در محیط نرم‌افزاری GIS ترسیم شد. نتایج به دست آمده پهنه‌بندی نشان داد که میزان گردوغبار ورودی در طول دوره دارای یک بیشینه در استان خوزستان می‌باشد و هرچه از جنوب به سمت شمال و از غرب به شرق در منطقه مورد مطالعه پیش می‌رویم از میزان گردوغبار کاسته می‌شود. همچنین تحلیل نقشه پهنه‌بندی سال ۲۰۰۹ نشان داد که الگوی فضایی گردوغبار در سال‌های آخر دوره مطالعاتی به‌ویژه سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ دچار تغییرات محسوسی شده و یک بیشینه گردوغباری دیگر نیز در غرب

غلظت جرم گردوغبار و داده‌های سرعت باد بررسی کردند. نتایج نشان داد که فراوانی هوای گردوغبار در حوضه تاریم در ۳۳ سال گذشته کاهش یافته است و تغییر فصلی قابل توجهی نیز داشته است، به طوری که در بهار و تابستان گردوغبار بیشتر و در پاییز و زمستان کمتر بوده است. با وجود خشکسالی سال‌های اخیر و حضور مداوم پدیده گردوغبار در کشور، تاکنون مطالعه جامع و گسترده‌ای بر روی خصوصیات این پدیده در مقیاس مکانی کشور ایران انجام نشده است و مطالعات انجام شده بیشتر به صورت ایستگاهی یا منطقه‌ای بوده است. همچنین بررسی مطالعات گذشته حکایت از تأثیر پارامترهای اقلیمی در تغییر میزان فعالیت رخدادهای گردوغبار مناطق اقلیمی مختلف دارد. از آنجایی که درک نحوه انتشار گردوغبار و عوامل تأثیرگذار بر آن به منظور پیش‌بینی وضعیت گردوغبار اتمسفری و اتخاذ تصمیمات مدیریتی اهمیت ویژه‌ای دارد، از این رو، این مقاله که حاصل بخشی از نتایج طرح ملی پایش عوامل اقلیمی مؤثر بر پدیده گردوغبار و ماسه‌های روان در ایران است با هدف بررسی توزیع مکانی و زمانی رخداد گردوغبار و مناطق مؤثر و تحت تأثیر و تعیین سهم عامل اقلیم بر این پدیده تدوین و ارائه شده است. نتایج این مطالعه می‌تواند در جهت برنامه‌ریزی و تصمیمات مدیریتی به منظور مهار و یا کاهش اثرهای این پدیده در کشور مؤثر واقع شود.

مواد و روش‌ها

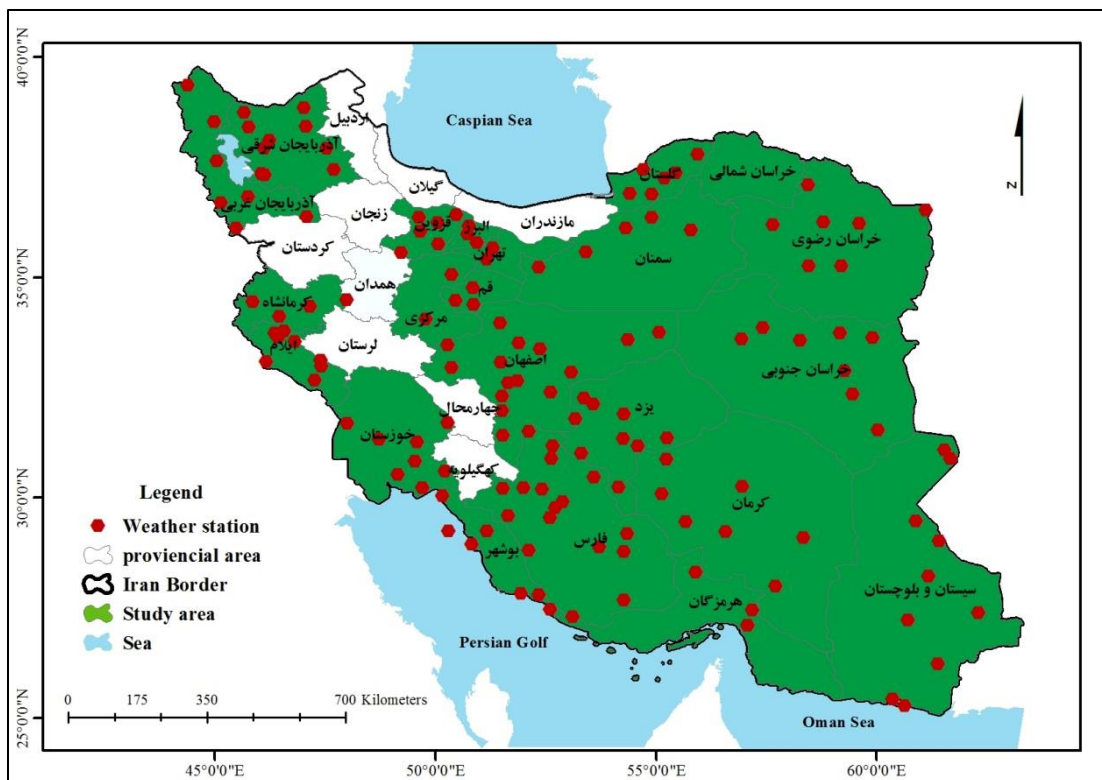
منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه این پژوهش کشور ایران است که دخالت عوامل متعدد جغرافیایی و قرارگیری در محل گذار توده‌های هوایی متعدد باعث تنوع اقلیمی در سرتاسر آن شده است. میانگین بارش ایران زمین ۲۵۶ میلی‌متر، با ضریب تغییرات مکانی ۷۹ درصد، شاهی آشکار از فقر و تنوع مکانی بارش دریافتی در این گستره است (۲۰۱۲ Halabian and Darand.). تفاوت‌های مکانی بارش در ایران، از یکسو به طبیعت رفتار مکانی بارش بازمی‌گردد که اساساً متغیری غیرقابل پیش‌بینی است و تغییرات مکانی شدیدی از خود نشان می‌دهد؛ از سوی دیگر، تنوع منشأ بارش در نقاط

بوقوع پیوسته و نوسانهای ماهانه گردوغبار نشانگر بیشینه گردوغبار از ماه اسفند تا مهر بوده است. تحلیل نوسانهای زمانی نشان داد که از نظر آماری هیچ روند معنی‌داری در مقدار AOD و فراوانی رخداد گردوغبار وجود ندارد. Motavallizadeh و Naeini و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از روش من-کندال روند تغییرات متغیرهای اقلیمی، گردوغبار و روند همبستگی بین آنها تعیین کردند. نتایج نشان داد که تغییرات ضریب همبستگی در طول دوره آماری دارای نوسان بوده و در برخی سالها این ضریب معنی‌دار و در برخی سالها معنی‌دار نیست و مقادیر آنها برای سرعت باد و دما در بسیاری از ایستگاه‌ها بین ۰/۶ تا ۰/۹ و برای بارندگی بین ۰/۲- تا ۰/۶- بوده است، این روند همبستگی در بسیاری از ایستگاه‌ها با روند تغییرات متغیرهای اقلیمی همسو است که بیانگر همراستایی تغییرات اقلیمی با نوسانهای گردوغبار در منطقه مرکزی ایران است. Song و همکاران (۲۰۱۵) پس از مطالعه تغییرات زمانی و مکانی گردوغبار، متوجه شدند که بیشترین رویدادها در بیابان تاکالامکان، بیابان بادینجان و بیابان اولانپوه اتفاق می‌افتد. در بررسی ارتباط بین شاخص عمق اپتیکی آئروسول‌ها (Aerosol Optical Depth) با پارامترهای اقلیمی در منطقه خاورمیانه، مشخص شد که افزایش دما و کاهش بارندگی از علل اصلی کاهش رویدادهای گردوغبار در خاورمیانه بوده است (Namdari et al., 2018). wang و همکاران (۲۰۲۱) به مطالعه سازوکار تولید و انتقال گردوغبار در شمال چین پرداختند. نتایج آنان نشان داد اثر دما بر تعداد طوفان گردوغبار بیچیده است، زیرا همبستگی‌های مثبت و منفی به‌طور همزمان وجود دارد. دما می‌تواند بر مواد منشأ (گردوغبار، شن و ماسه و غیره)، فعالیت سیکلون و وضعیت رشد پوشش گیاهی که بر تولید طوفان‌های گردوغبار مؤثرند تأثیرگذار باشد. دیگر نتایج این تحقیق نشان داد که بارش با تعداد طوفان گردوغبار همبستگی منفی دارد، اما این رابطه ضعیف است. پوشش گیاهی می‌تواند از محیط سطحی خاک محافظت کند و از ایجاد طوفان گردوغبار جلوگیری نماید، اما تحت تأثیر عامل تعیین‌کننده اولیه بارش قرار می‌گیرد. Yongchao Zhou و همکاران (۲۰۲۳) داده‌های گردوغبار را در ۴۴ ایستگاه هواشناسی در حوضه تاریم از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۱، همراه با عمق نوری آئروسول گردوغبار،

گردوغبار انجام شد (شکل ۱). استان‌های مورد مطالعه از لحاظ اقلیمی و براساس طبقه‌بندی اقلیمی سیلیانف به جز در نواحی کوچکی از شمال و شمال‌غرب کشور که جزء نواحی اقلیمی مرطوب به‌شمار می‌روند، شامل اقلیم‌های نیمه‌خشک تا فراهشک است.

مختلف ایران سبب شده است تا در هر منطقه مقدار ریزش‌های جوی و زمان بارش متفاوت باشد. این تحقیق در محدوده ۲۲ استان کشور که اقلیم‌های نیمه‌خشک تا فراهشک را دربرمی‌گیرند با مساحتی در حدود ۱۴۴۲۶۸۳ کیلومتر مربع و ۸۹ درصد مساحت کل کشور با دامنه متفاوت اقلیمی ولی بیشتر در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک و مستعد وقوع



شکل ۱- موقعیت استان‌ها و ایستگاه‌های مورد مطالعه

Figure 1- Provinces and weather stations examined in this research

داده‌های سه‌ساعته ثبت‌شده این رخدادها شامل کد (۳۳، ۳۲، ۳۱، ۳۰، ۲۹، ۲۸، ۲۷، ۲۶، ۲۵ و ۲۴) برای ۱۴۸ ایستگاه سینوپتیک و کلیماتولوژی منتخب در بازه زمانی ۲۰۱۷-۱۹۹۶ از سازمان هواشناسی کشور گرفته شد (جدول ۱، شکل ۱).

روش کار

تحلیل فضایی پدیده گردوغبار و تهیه نقشه تغییرات این پدیده، به شناسایی دقیق مناطق تحت تأثیر پدیده گردوغبار کمک قابل توجهی می‌کند. به‌منظور بررسی پدیده گردوغبار،

جدول ۱- کدهای مختلف هواشناسی برای بیان انواع پدیده گردوغبار

Table 1-Different meteorological codes to express types of dust phenomena

Weather code	scientific Name	Description
6	Suspended dust	گردوخاک معلق در هوا که در اثر طوفان شن و خاک نقاط خارج از ایستگاه به ایستگاه آمده است.
7	dust	گردوخاک یا شنی که به وسیله باد در ایستگاه و یا در نزدیکی آن در ساعت دیدبانی بلند شده است.
8	Tornado	گردبادهای تکامل یافته در خود ایستگاه یا اطراف آن
9	storm	طوفان گردوخاک در ساعت دیدبانی در اطراف ایستگاه
30	Mild dust and sand storm	طوفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن - طی ساعت گذشته از شدت طوفان کاسته شده است
31	Mild dust and sand storm	طوفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن - طی ساعت گذشته شدت طوفان تغییری نکرده است
32	Mild dust and sand storm	طوفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن - طی ساعت گذشته بر شدت طوفان افزوده شده است
33	Heavy dust and sand storm	طوفان شدید گردوخاک یا شن - طی ساعت گذشته از شدت طوفان کاسته شده است
34	Heavy dust and sand storm	طوفان شدید گردوخاک یا شن - طی ساعت گذشته شدت طوفان تغییری نکرده است
35	Heavy dust and sand storm	طوفان شدید گردوخاک یا شن - طی ساعت گذشته بر شدت طوفان افزوده شده است

آمارهای آنها با پدیده گردوغبار با روش آمارهای پیرسون بررسی شد. در ادامه پارامتری که بیشترین همبستگی را با تعداد روز گردوغبار داشت انتخاب و نقشه تغییرات مکانی آن در محیط نرم افزار GIS ترسیم شد. در نهایت در این بخش اقدام به بررسی تطابق مکانی اقلیم با نحوه گسترش تعداد روزهای گردوغبار گردید. به منظور بررسی همگنی و بررسی انحراف‌های احتمالی در مجموعه زمانی، سه آزمون همگنی Pettitt، SNHT و Buishand برای کلیه ایستگاه‌های مورد مطالعه در ۲۲ استان بررسی شد. برای انجام هر سه آزمون مذکور، از نرم افزار XLSTAT استفاده شد. بدین ترتیب در این آزمون دو فرض صفر و یک به منظور تعیین همگنی داده‌ها بررسی گردید. فرض صفر H_0 در صورت تأیید نشان می‌دهد داده‌ها همگن هستند و فرض یک H_1 در واقع همگنی داده‌ها را رد می‌کند. در صورتی که مقدار p-value بزرگ‌تر از سطح

اطلاعات گرفته شده از سازمان هواشناسی با روش‌های آمارهای تحلیلی بررسی شد و تعداد روزهای گردوغبار برای تمامی ایستگاه‌ها که دارای آمار مناسب بودند به صورت میانگین سالانه در محیط اکسل استخراج گردید. پس از محاسبه تعداد روز گردوغبار در کشور اطلاعات در محیط GIS فراخوانی شد و نقشه تغییرات فضایی پارامتر تعداد روز گردوغبار در سه دهه ۱۹۹۶-۱۹۸۷، ۲۰۰۶-۱۹۹۷ و ۲۰۰۷-۲۰۱۶ تهیه شد و در ادامه اقدام به تحلیل فضایی این پارامتر و نحوه گسترش آن در طول سه دهه مورد بررسی گردید. داده‌های سه پارامتر اقلیمی کلیدی تبخیر، دما و بارش نیز برای ۱۴۸ ایستگاه ذکر شده (شکل ۱) به منظور بررسی نقش اقلیم در تغییرات گردوغبار گرفته شد. پس از بازسازی و تکمیل خلأهای آمارهای داده‌های این ایستگاه‌ها، میانگین پارامتر ذکر شده برای تمامی ایستگاه‌ها به صورت همبستگی

رابطه ۲

آزمون نرمال استاندارد SNHT یکی از پرکاربردترین روش‌های آزمون همگنی در تحقیقات است. این روش می‌تواند زمان ایجاد ناپیوستگی و یا بروز ناهمگنی را در مجموعه داده‌ها یافته و گزارش کند و حساسیت بالایی در یافتن ناهمگنی‌های آغازین و انتهایی مجموعه زمانی داده‌ها دارد. فرض اولیه این آزمون، نرمال بودن توزیع آماری داده‌هاست. برای آزمون همگنی SNHT دو روش مطلق و نسبی قابل استفاده است. در روش آزمون نرمال استاندارد مطلق، این آزمون تنها در داخل خود مجموعه استفاده می‌شود اما در روش آزمون نرمال استاندارد نسبی داده‌های مجموعه با توجه به داده‌های مجموعه مجاور در نظر گرفته می‌شود. انتخاب مجموعه مجاور با توجه به بررسی‌های انجام شده، مناسب‌ترین مجموعه داده ایستگاهی در منطقه مورد نظر در نظر گرفته شد.

آزمون همگنی Buishand توسط (Buishand, 1982) ارائه شد و دارای فرض صفر همگنی مقادیر مختلف مجموعه داده‌ها و استقلال آنها از یکدیگر است. در مقابل، فرض یک این آزمون ناهمگنی و وجود ناپیوستگی و شکست در مقادیر مجموعه داده‌هاست. اگر مجموعه مشاهدات $i=1, 2, \dots, n$ y_i باشد، داریم:

$$S_0^* = 0$$

$$S_k^* = \sum_{i=1}^k (y_i - \bar{y}) \quad k = 1, 2, \dots, n-1$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

مربعات جزئی (PLS) Partial Least Squares Regression به منظور بررسی تأثیرات متغیرهای مستقل اقلیمی (دما، بارش و تبخیر) بر متغیر وابسته تعداد روزهای گردوغبار استفاده شد. این نوع رگرسیون ترکیب گسترده‌ای از خصوصیات تحلیل مؤلفه‌های اصلی و رگرسیون چندگانه را شامل می‌شود. در

معنی داری آلفا باشد فرض صفر تأیید می‌شود و داده‌ها همگن هستند. در صورت تأیید عدم همگنی در داده‌ها، زمان جهش و ایجاد انحراف در داده‌ها به عنوان مبنای تغییرات کلیدی در منطقه در نظر گرفته شد و تحلیل وضعیت گردوغبار براساس اطلاعات خروجی از این بخش انجام شد. آزمون Pettitt یک آزمون ناپارامتری بدون نیاز به فرض نرمال بودن مجموعه زمانی است. این آزمون دارای فرض صفر همگنی مجموعه زمانی در مقابل فرض ناپیوستگی در مقدار میانگین مجموعه زمانی و ناهمگنی آنهاست. این روش آزمون همگنی در یافتن ناهمگنی‌های نقاط میانی مجموعه زمانی توانایی بیشتری داشته و زمان بروز ناهمگنی را گزارش می‌کند و از مهمترین آزمون‌ها برای تشخیص یک تغییر ناگهانی در مجموعه‌های زمانی است. در این آزمون، ابتدا مقادیر مجموعه داده مورد نظر Y_i براساس مقدارشان مرتب می‌شوند و رتبه‌های I_i برای مقادیر متناظر با Y_i مشخص می‌شوند، سپس با استفاده از روابط زیر (روابط ۱ و ۲) مقدار آماره X_k محاسبه می‌شود و با مقادیر بحرانی ارائه شده توسط پتی مقایسه می‌شوند. در صورت عبور آماره از مقادیر بحرانی، زمان مربوط به داده بیشینه X_k برابر زمان بروز ناهمگنی خواهد بود.

رابطه ۱

$$X_y = 2 \sum_{i=1}^y r_i - y(n+1), \quad y = 1, 2, \dots, n$$

$$X_k = \max_{1 \leq y \leq n} |X_y|$$

رابطه ۳

رابطه ۴

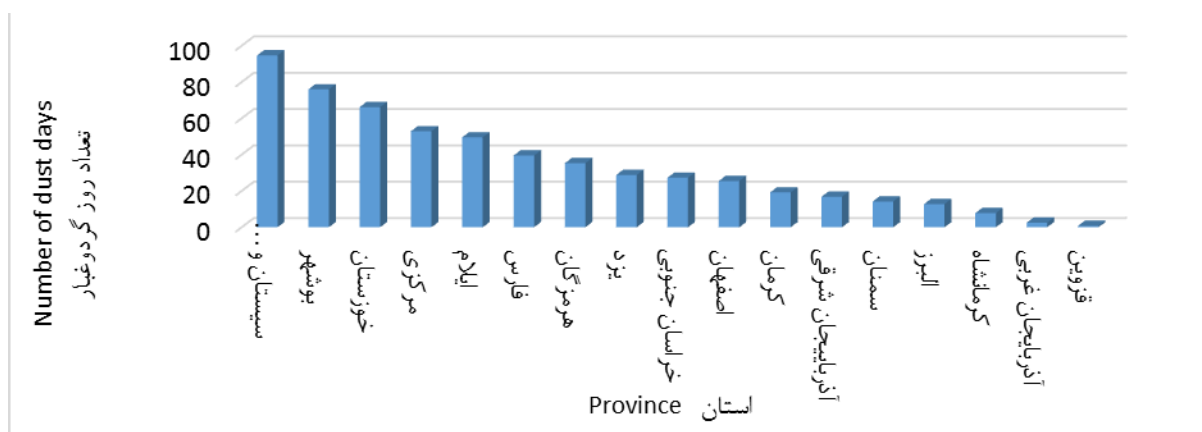
y_i مقدار داده i ام در مجموعه زمانی، \bar{y} مقدار میانگین مجموعه زمانی و n تعداد کل داده‌های مجموعه زمانی است. اگر داده‌های مجموعه زمانی همگن باشند S_k^* مقادیر نزدیک به صفر دارد. مقادیر بیشینه قدر مطلق S_k^* نشان‌دهنده بروز ناهمگنی در مجموعه زمانی است. مدل رگرسیون حداقل

در این بخش مطالعه به دلیل جلوگیری از حذف برخی ایستگاه‌های مطالعاتی در برآورد استانی میانگین تعداد روزهای گردوغباری به علت نقص آماری، از دوره ۱۵ ساله (۲۰۰۲-۲۰۱۶) برای مقایسه تعداد روزهای گردوغبار استفاده شد. بررسی ۱۵ ساله داده تعداد روزهای گردوغبار از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ براساس شکل ۲ نشان داد که طی دوره مذکور سه استان سیستان و بلوچستان، بوشهر و خوزستان به ترتیب با میانگین ۹۴، ۷۵ و ۶۶ روز در سال شاهد بیشترین تعداد روز گردوغبار در کشور بوده‌اند.

این مدل، در گام نخست ماتریس همبستگی بین تعداد روزهای گردوغبار و پارامترهای اقلیمی محاسبه می‌شود. این روش ضریب اثرگذاری پارامترهای اقلیمی ورودی به مدل در رابطه برازش داده شده برای برآورد تعداد روزهای گردوغبار را نشان می‌دهد. ضرایب تناسب در خروجی این مدل، به منظور بررسی بهینه بودن و کارایی مدل بکار گرفته شده در این مطالعه استفاده شد. در این بخش مطالعه ضریب اثرگذاری متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته و دامنه تغییرات حداکثر و حداقل این ضرایب در سطح ۹۵ درصد نشان داده خواهد شد.

نتایج

بررسی وضعیت روزهای گردوغباری در کشور



شکل ۲- متوسط تعداد روزهای گردوغبار ۱۵ ساله از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶

Figure 2- The average number of 15-year dust days from 2002 to 2016

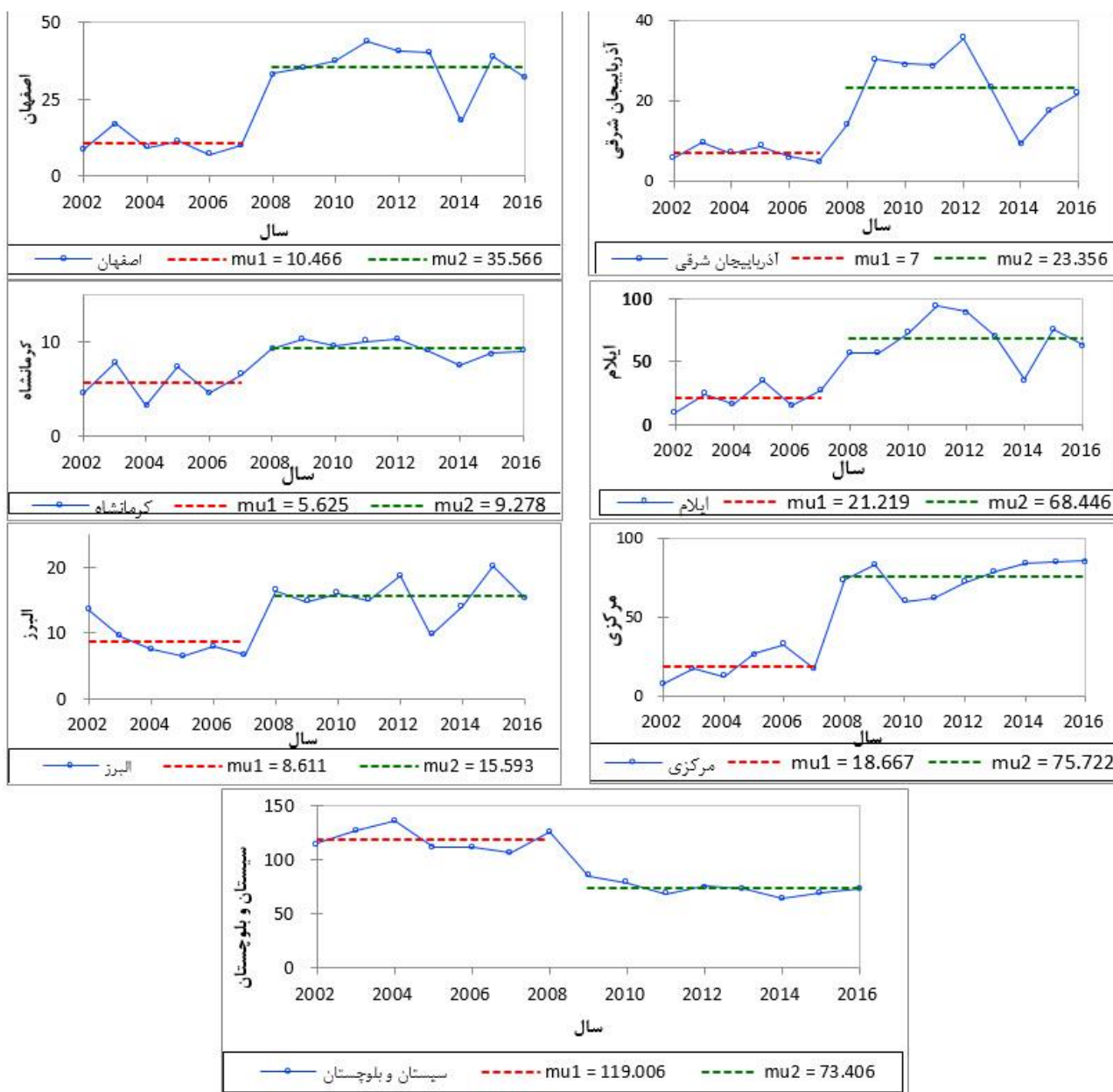
قابل تأمل، سال آغاز انحراف در تمامی این استان‌ها می‌باشد که بیشتر در بازه سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۰۸ رخ داده است (شکل ۳). بررسی‌های موردی به منظور شناخت دلایل این تحولات در استان‌های مختلف انجام شد.

جدول ۲- آزمون همگنی پارامتر تعداد روز گردوغبار

Table 2- Homogeneity test of the parameter of the number of dust days

بررسی همگنی داده‌ها
آزمون همگنی داده‌ها در استان‌های با آمار مناسب در سطح کشور انجام شد (جدول ۲). از میان تمام ایستگاه‌های مورد بررسی در ۸ استان فرض صفر (همگنی داده‌ها) رد شد و انحراف و ناهمگنی در مجموعه زمانی مشخص گردید. نکته

hypothesis H0	alpha	p-value (Two-tailed)	t	K	استان
Accept	0.05	0.702	2013	27	آذربایجان غربی
Reject	0.05	0.003	2007	52	آذربایجان شرقی
Reject	0.05	0	2007	54	اصفهان
Reject	0.05	0.004	2007	52	البرز
Reject	0.05	0	2007	54	ایلام
Accept	0.05	0.884	2010	22	بوشهر
Accept	0.05	0.173	2007	37	خراسان جنوبی
Accept	0.05	0.418	2007	31	خوزستان
Accept	0.05	0.076	2007	41	سمنان
Reject	0.05	< 0.0001	2008	56	سیستان و بلوچستان
Accept	0.05	0.246	2006	34	فارس
Accept	0.05	0.763	2011	26	قزوین
Accept	0.05	0.319	2008	33	کرمان
Reject	0.05	0.004	2007	52	کرمانشاه
Reject	0.05	0.001	2007	54	مرکزی
Accept	0.05	0.349	2012	32	هرمزگان
Reject	0.05	0.131	2007	38	یزد

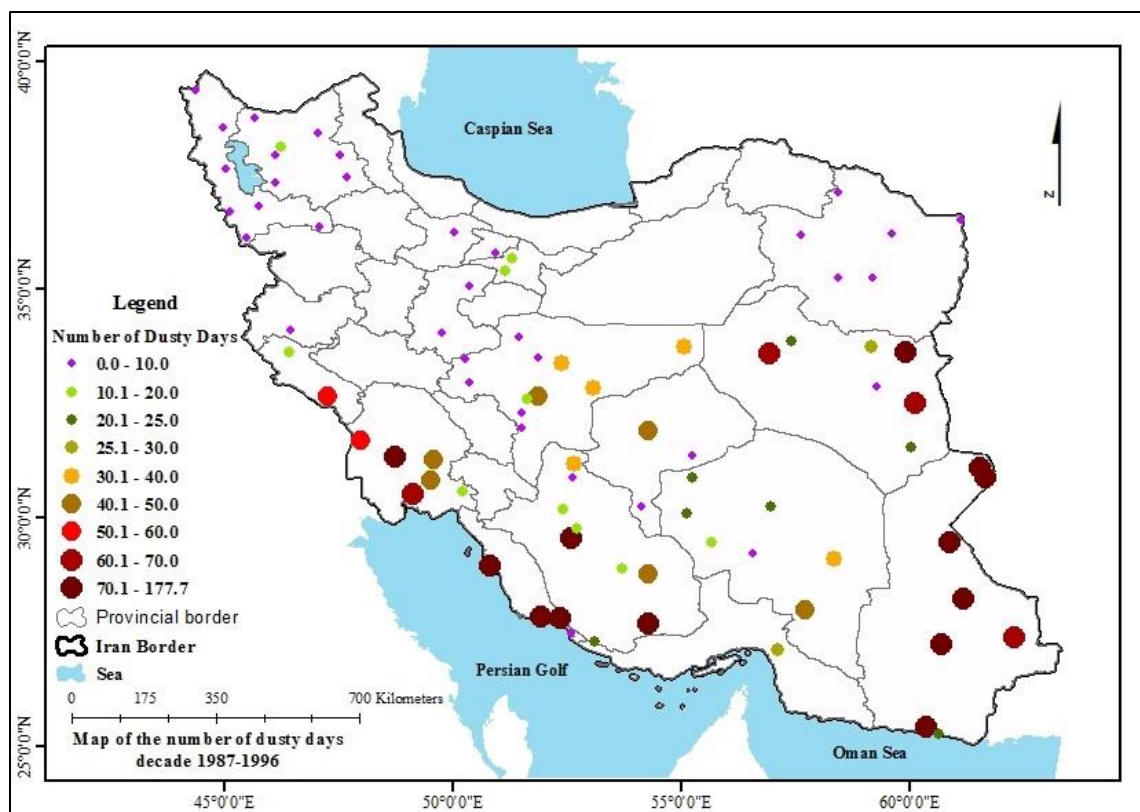


شکل ۳- نمودار آزمون همگنی پتیت در استان‌های با رد فرض صفر

Figure 3- Chart of Petit's homogeneity test in provinces with rejection of the null hypothesis

تغییرات دهه‌ای تعداد روزهای گردوغبار
بررسی وضعیت تعداد روزهای گردوغباری کشور
به صورت دهه‌ای (از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۶) در سه دهه
مطالعاتی ۱۹۸۷-۱۹۹۶، ۱۹۹۷-۲۰۰۶ و ۲۰۰۷-۲۰۱۶
انجام شد و در نهایت نقشه‌های نحوه توزیع مکانی تعداد
روزهای گردوغبار مربوط به صورت دهه‌ای در سطح کشور
تهیه گردید. تحلیل مکانی تعداد روزهای گردوغبار طی دهه
۱۹۸۷-۱۹۹۶ نشان داد که در این دهه نواحی جنوب غرب و
جنوب شرق کشور بیشترین تعداد روزهای گردوغباری را
داشته‌اند و استان‌های مرکزی کشور مانند اصفهان، یزد و

کرمان در رتبه بعدی قرار داشتند (شکل ۴). از لحاظ وسعت
و گسترش مکانی مناطق بحرانی با تعداد روزهای بالای
گردوغبار، استان‌های بوشهر و سیستان و بلوچستان بیشترین
گستره با تعداد روز گردوغباری بالا را به خود اختصاص
دادند. در این استان‌ها اغلب تعداد گردوغبار رخ داده در
محدوده ۷۰ تا ۱۷۷ واقعه در سال ثبت شده است. در این
دوره ایستگاه‌های زابل و زهک در استان سیستان و بلوچستان
به ترتیب با میانگین تعداد روز گردوغباری ۱۷۷ و ۱۴۴ روز
و ایستگاه‌های بوشهر و جم در استان بوشهر با میانگین
روز شاهد بیشترین تعداد گردوغبار بوده‌اند.



شکل ۴- نقشه توزیع فضایی تعداد روزهای گردوغبار طی دهه ۱۹۸۷-۱۹۹۶

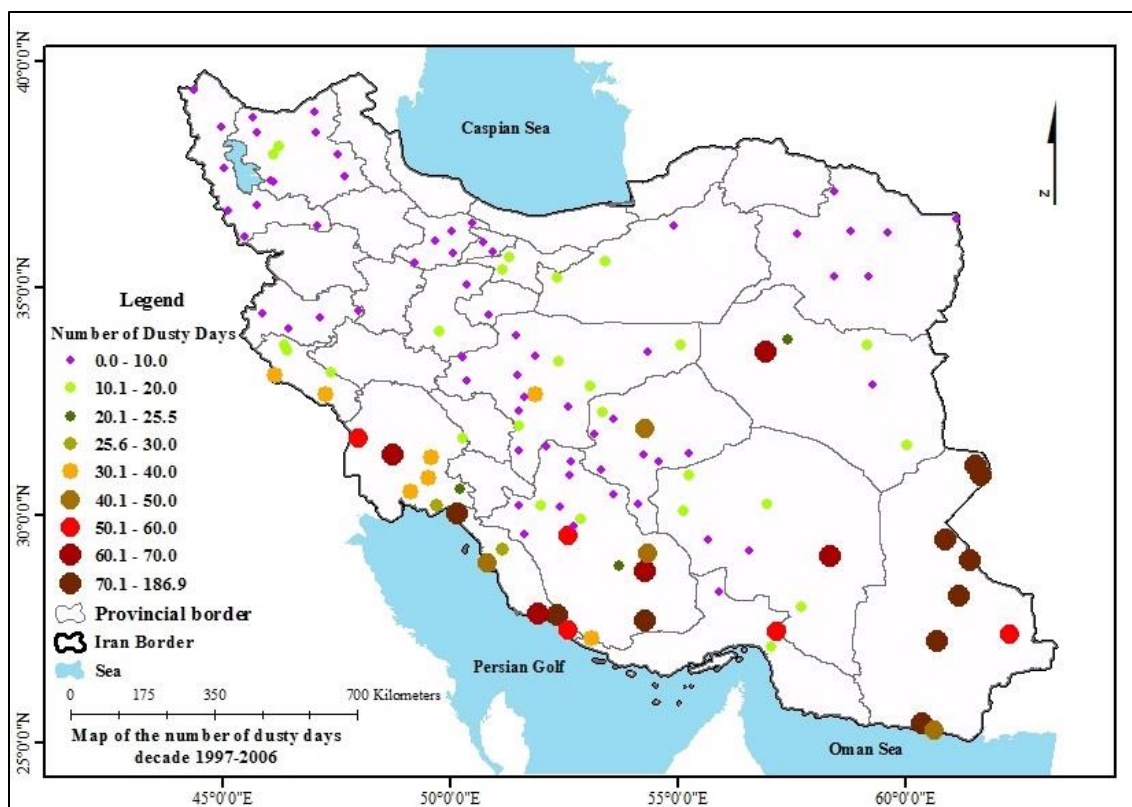
Figure 4-Spatial distribution map of the number of dust days during the decade of 1987-1996

در دهه دوم مورد بررسی (۱۹۹۷-۲۰۰۶) در قطاع
جنوبی کشور (نواحی جنوب شرقی، جنوب غربی و جنوب)
بیشترین تعداد روز گردوغبار در کشور رخ داده است. در این
دهه شاهد افزایش تعداد روزهای گردوغبار در نواحی

جنوب شرقی کشور (استان‌های سیستان و بلوچستان و کرمان)
تا ۱۸۶ روز بوده‌ایم؛ اما در نواحی جنوب و جنوب غرب
کشور از تعداد روزهای گردوغباری کاسته شده است (شکل
۵). بیشترین آمار تعداد روز گردوغبار ثبت شده در این دهه،

کاهش چشمگیر وقایع گردوغباری روپرو بوده‌ایم، به طوری که بیشترین تعداد روز گردوغباری ثبت شده در این استان مربوط به ایستگاه جم با ۸۱ روز بوده است.

به ترتیب در ایستگاه‌های کنارک و زابل با ۱۸۶ و ۱۸۴ روز در استان سیستان و بلوچستان می‌باشد که نشان‌دهنده وضعیت بحرانی این استان در این دهه می‌باشد. در استان بوشهر نیز با

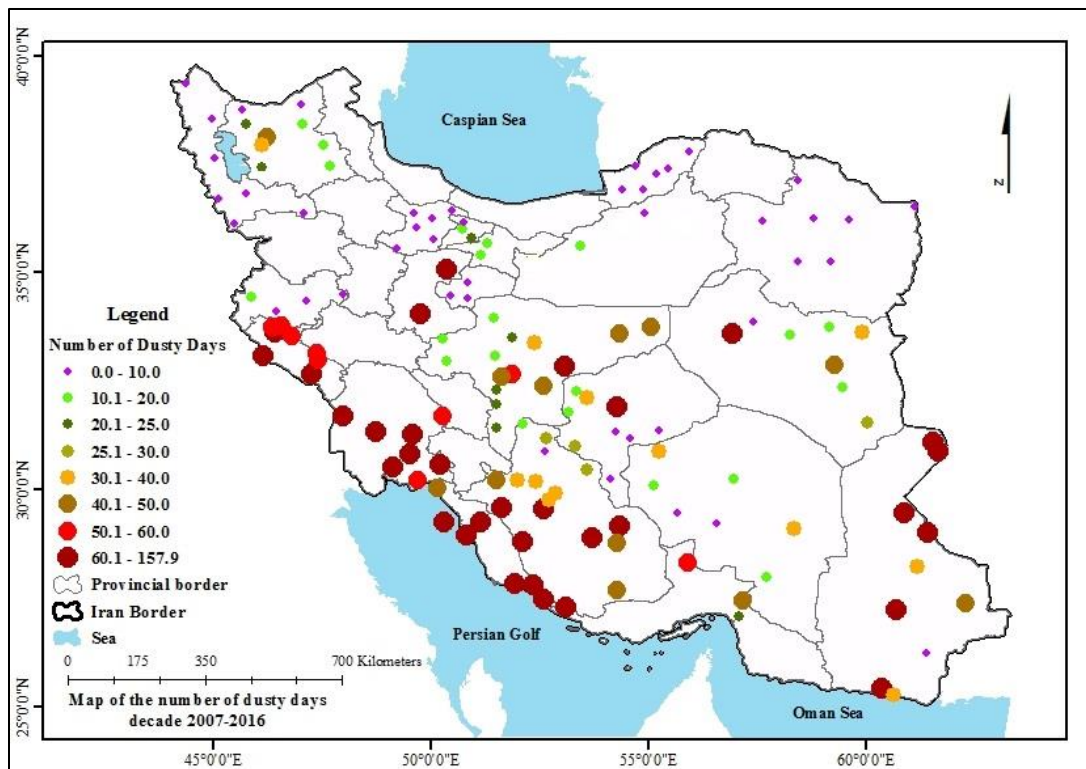


شکل ۵- نقشه توزیع فضایی تعداد روزهای گردوغبار طی دهه ۱۹۹۷-۲۰۰۶

Figure 5 - Spatial distribution map of the number of dust days during the decade of 1997-2006

۱۵۱ روز گردوغبار) پیشتاز بوده است. همچنین در این دهه شاهد گسترش شدید تعداد رخداد گردوغبار تقریباً در تمام سطح سه استان ایلام، خوزستان و بوشهر بوده‌ایم. در میان سه استان ذکرشده، در ایستگاه بستان با ۱۱۴ واقعه گردوغباری در استان خوزستان بیشترین تعداد روز گردوغباری رخ داده است. در این دهه در استان‌های مرکزی کشور مانند اصفهان (ایستگاه نائین با ۸۵ روز گردوغباری)، استان فارس (ایستگاه فسا با ۸۹ روز گردوغباری) و مرکزی (ایستگاه اراک با ۷۰ روز گردوغباری) شاهد گسترش چشمگیر تعداد روزهای گردوغباری در کشور بوده‌ایم.

بررسی‌ها در دهه اخیر (۲۰۰۷-۲۰۱۶) نشانگر افزایش تعداد و گسترش فضایی ایستگاه‌های با تعداد روز گردوغبار بالا را دارد. این افزایش به‌ویژه در مناطق غربی کشور مانند استان ایلام و استان‌هایی مانند مرکزی، اصفهان، یزد، فارس و خراسان جنوبی مشهود و کم‌سابقه بوده است. بیشترین تعداد روزهای گردوغبار در این دهه در مناطق غرب، جنوب‌غربی و جنوب‌شرقی کشور مشاهده شده است (شکل ۶). در این دهه با وجود کاهش تعداد روزهای گردوغبار در استان سیستان و بلوچستان نسبت به دهه قبل از آن، باز هم این استان در تعداد روزهای رخداد گردوغبار در کشور (ایستگاه زابل با ۱۵۷ روز گردوغبار و زهک با

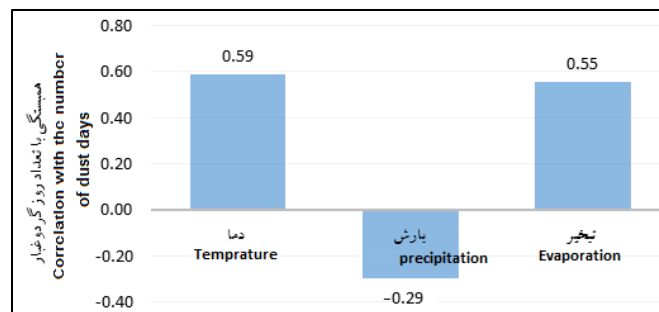


شکل ۶- نقشه توزیع فضایی تعداد روزهای گردوغبار طی دهه ۲۰۰۷-۲۰۱۶

Figure 6 - Spatial distribution map of the number of dusty days during the decade of 2007-2016

میان متغیرهای اقلیمی مورد بررسی، میانگین دما با روزهای همراه با گردوغبار در کشور بیشترین همبستگی معنی داری را در سطح اطمینان ۹۹٪ دارد و پس از آن تبخیر قرار دارد. بارش با همبستگی معنی داری منفی در رتبه بعدی قرار دارد. در ادامه به تبیین وضعیت دما در کشور و نحوه تغییرات آن به عنوان عامل کلیدی تأثیرگذار بر گردوغبار پرداخته شده است.

رابطه اقلیم و گردوغبار روابط همبستگی موجود بین متغیر وابسته گردوغبار با متغیرهای مستقل اقلیمی دما، بارش و تبخیر، با استفاده از روش همبستگی پیرسون بررسی شد و نتایج در شکل ۷ ارائه شده است. بررسی ها نشان دهنده همبستگی معنی دار مثبت و منفی برای هر سه پارامتر اقلیمی با تعداد روزهای گردوغبار است. از

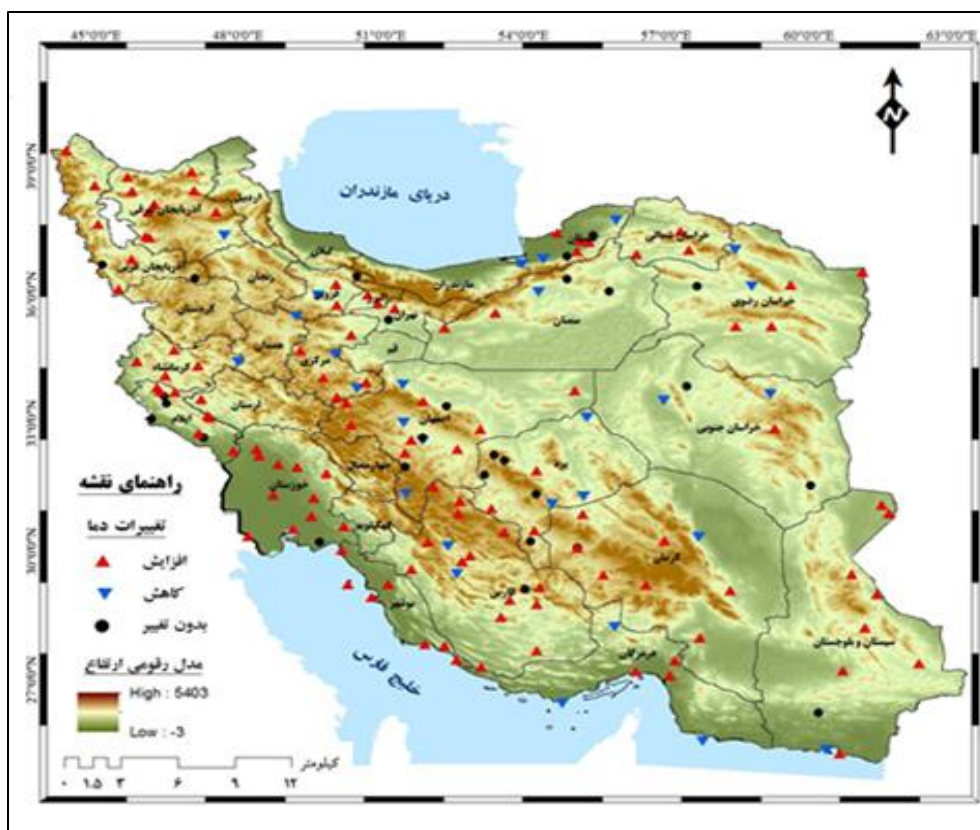


شکل ۷- رابطه همبستگی متغیر وابسته گردوغبار با متغیرهای اقلیمی دما، بارش و تبخیر، با استفاده از روش همبستگی پیرسون

Figure 7- Correlation between dust variable and climatic variables of temperature, precipitation and evaporation, using Pearson's correlation method.

تغییرات دما به جز در معدودی از ایستگاه‌ها در تمام نقاط کشور دارای شیب افزایشی و مثبت بوده است. از میان ۱۷۱ ایستگاه سنجش دما ۱۱۲ ایستگاه دارای شیب افزایشی، ۲۹ ایستگاه کاهش و ۳۰ ایستگاه بدون تغییر بوده است.

بررسی داده‌های دما به صورت تغییرات میانگین دما در دهه اخیر مورد بررسی (۲۰۰۷-۲۰۱۶) نسبت به دهه ماقبل آن (۱۹۹۷-۲۰۰۶) انجام گردید و بعد روند گرادیان کاهشی و افزایشی در تمام ایستگاه‌های مورد بررسی در سطح کشور، در قالب نقشه نمایش داده شد (شکل ۸). نتایج نشان داد که



شکل ۸- تغییرات گرادیان دما دهه اخیر مورد بررسی (۲۰۰۷-۲۰۱۶) نسبت به دهه ماقبل آن (۱۹۹۷-۲۰۰۶)

Figure 8- Changes in the temperature gradient of the last decade (2007-2016) compared to the previous decade (1997-2006)

وابسته را با متغیرهای مستقل توضیح می‌دهد. R^2 تنظیم شده تصحیح R^2 است که سهم تعداد متغیرهای استفاده شده در مدل را تعدیل می‌کند. نتایج نشان داد که ۳۳ درصد از تغییرات روزهای گردوغبار تحت تأثیر پارامترهای اقلیمی ورودی به مدل می‌باشد. سایر تغییرات به دلیل برخی از تأثیرات (سایر متغیرهای مستقل) است که در این تجزیه و تحلیل گنجانده نشده است. سایر پارامترهای ذکر شده در جدول نیز نشان‌دهنده بهینه بودن و کارایی مدل استفاده شده در این

نقش ارتباط متغیرهای اقلیمی با تعداد روزهای گردوغبار در این بخش از مطالعه تأثیر متغیرهای مستقل اقلیمی (دما، بارش و تبخیر) بر متغیر وابسته تعداد روزهای گردوغبار از طریق مدل رگرسیون حداقل مربعات جزئی pls ارزیابی شد. براساس ماتریس همبستگی محاسبه شده در گام نخست این مطالعه، تعداد روزهای گردوغبار بیشترین همبستگی را ابتدا با دما و بعد تبخیر و در نهایت دارای رابطه معکوس با بارش بود. جدول ۳ R^2 (ضریب تعیین) درصد تغییر متغیر

بررسی می‌باشد. به عنوان مثال، عدد بدست آمده برای شاخص دوربین واتسون (DW) در جدول برای مدل حاصل ۲/۰۷ می‌باشد که کارایی مدل را نشان می‌دهد.

جدول ۳- ضرایب تناسب مدل رگرسیون حداقل مربعات جزئی برای تعداد روزهای گردوغبار

Table 3- The fit coefficients of the partial least squares regression model for the number of dusty days

Observations	1006.00
Sum of weights	1006.00
DF	999.00
R ²	0.33
Adjusted R ²	0.33
MSE	1068.93
RMSE	32.69
MAPE	236.87
DW	2.07
Cp	7.00
AIC	7023.24
SBC	7057.64
PC	0.68

یا رد فرضیه صفر که دلالت بر وجود ارتباط بین متغیر مستقل و وابسته بوده است، آماره t به دست آمده با t جدول ۵-۲۳-۹ که با درجه آزادی N-K در سطح اطمینان ۹۵٪ محاسبه شده مقایسه می‌شود، چنانچه قدرمطلق t محاسبه شده از t جدول بزرگتر باشد فرض صفر رد می‌شود. در این حالت با ضریب اطمینان ۹۵٪ ضریب مورد نظر معنی‌دار خواهد بود. این معنی‌داری تنها در مورد شاخص‌های دما، تبخیر و بارش و تبخیر و بارش به طور توأم صدق می‌کند.

جدول ۴ و شکل ۹ ضرایب رگرسیون استاندارد شده مدل را (که بعضاً ضرایب بتا نامیده می‌شود) نشان می‌دهد. این ضرایب به طور مستقیم می‌توانند تأثیر نسبی متغیرهای مستقل را بر روی متغیر وابسته و اهمیت آنها مقایسه کنند و سهم نسبی هر متغیر را در پیش‌بینی متغیر وابسته بیان می‌کنند. به عبارتی در جدول نشان داده شده است که کدام متغیرها بیشترین تأثیر را بر متغیر وابسته دارند. همان‌طور که در جدول نشان داده شده است پارامتر دما بیشترین رابطه مستقیم را با تعداد روزهای گردوغبار داشت. برای تصمیم‌گیری در مورد پذیرش

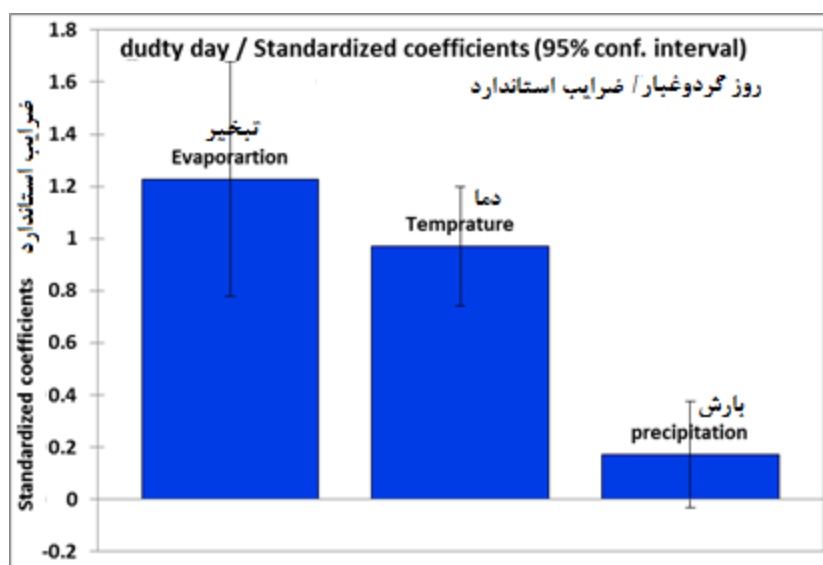
جدول ۴- زیر ضرایب رگرسیون استاندارد شده مدل

Table 4 - Standardized regression coefficients of the model

Source	Value	Standard error	t	Pr > t	Lower bound (95%)	Upper bound (95%)
Evaporartion	1.228	0.229	5.355	< 0.0001	0.778	1.677
Temprature	0.970	0.116	8.342	< 0.0001	0.742	1.198
precipitation	0.172	0.104	1.655	0.098	-0.032	0.375
Evaporartion*Temprature	-1.485	0.244	-6.092	< 0.0001	-1.964	-1.007
Evaporartion*precipitation	-0.095	0.113	-0.844	0.399	-0.317	0.126
Temprature*precipitation	-0.158	0.153	-1.035	0.301	-0.457	0.141

نشان داده شده است. بیشترین دامنه اثرگذاری مربوط به پارامتر تبخیر و دمای میانگین و پس از آن بارش بوده است.

در شکل ۹ ضریب اثرگذاری متغیرهای مستقل و دامنه تغییرات حداکثر و حداقل این ضرایب در سطح ۹۵ درصد



شکل ۹- نمودار عوامل اقلیمی تأثیرگذار بر تعداد روزهای گردوغبار و دامنه تأثیر این عوامل

Figure 9- Diagram of climatic factors affecting the number of dusty days and the range of influence of these factors

همکاران، ۲۰۱۴؛ Ghavidel Rahimi و همکاران، ۲۰۱۸ مطابق داشت. آزمون همگنی داده‌های روزهای گردوغباری نشان داد که اغلب در بازه سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۰۸ در سطح کشور در تعداد روزهای گردوغبار یک جهش چشمگیر رخ داده است. بررسی‌های موردی به منظور شناخت دلایل این تحولات در استان‌های مختلف انجام شد. به عنوان مثال، نتایج این بخش پژوهش در استان ایلام نشان می‌دهد در ایستگاه‌های با آمار مطلوب همانند ایلام و دهلران افزایش در تعداد روزهای گردوغبار از سال ۲۰۰۷ اتفاق افتاده که

بحث

در این مطالعه نحوه گسترش مکانی و روند تغییرات روزهای همراه با گردوغبار در طول دوره‌های مطالعاتی بررسی و مقایسه شد. نتایج این بخش از مطالعه نشان داد که تعداد روزهای همراه با گردوغبار در ایستگاه‌های همدید در دوره ۳۰ ساله مورد بررسی (۱۹۸۷-۲۰۱۶) روندی افزایشی داشته است و در دهه آخر در تمام مناطق از میانگین بیشتر بوده است. نتایج این بخش تحقیق با مطالعات Shamsavani و همکاران، ۲۰۱۲؛ Tavusi و همکاران، ۲۰۱۲؛ Zalghi و

دست کم گرفت. واضح است که درجه حرارت یک نوع عنصر آب‌وهوایی غالب است و عناصر دیگر اکوسیستم می‌تواند با تغییرات آن تحت تأثیر قرار گیرد. به‌عنوان مثال، پوشش‌های گیاهی و ترکیب و توزیع آنها ممکن است تغییرات جدیدی باشد که می‌تواند در مقیاس‌های مختلف مکانی مانند ملی، منطقه‌ای یا محلی شناسایی شود. بررسی روند تغییرات تبخیر و تعرق سالانه در طول دوره مورد بررسی مانند دمای سالانه تغییرات محسوس افزایشی داشته است، البته با شیب کمتری نسبت به روند افزایش دما بوده است. به‌طور کلی نتایج بررسی روند تغییرات نزدیک به ۳ دهه شاخص‌های اقلیمی نشان‌دهنده مساعد شدن شرایط برای افزایش گردوغبار می‌باشد، در صورتی که روند حرکت این شاخص‌ها در سال‌های آینده نیز طبق روند کنونی باشد، در سال‌های آینده افزایش خطر مشکلات زیست‌محیطی در کشور قابل انتظار است. مدل‌سازی اثرهای گردوغبار بر وضعیت تعداد روزهای گردوغبار نشان داد که وقوع ریزگرد، تنها به عوامل اقلیمی وابسته نیست و پارامترهای اقلیمی مورد بررسی تنها ۳۳ درصد از تغییرات متغیر وابسته تعداد روزهای گردوغبار را دربرمی‌گیرد. بنابراین عوامل انسانی نیز باید در نظر گرفته شود. علاوه بر این، فاکتورهای دیگری از قبیل خصوصیات خاک، نوع پوشش گیاهی، تابش خورشیدی و... می‌تواند بر ارتباط متقابل میان وقوع ریزگرد و پارامترهای اقلیمی تأثیرگذار باشد. وابستگی درصد بالایی از جمعیت کشور به لحاظ معیشت به فعالیت‌های بخش کشاورزی و عرصه‌های طبیعی و با توجه به نوع بهره‌برداری منابع پایه (اراضی دیم، چرای بی‌رویه مراتع و کاهش منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و وجود اراضی رهاشده در حاشیه مناطق نیمه‌بیابانی در اثر خشک‌سالی)، این‌ها خود به‌عنوان منابع تولید گردوغبار محلی و منطقه‌ای هستند. در راستای ارائه راهکارهای مدیریت و کاهش شدت گردوغبار با عنایت به عوامل ایجاد آن، پیشنهاد می‌گردد که در مرحله اول با استفاده از راهکارهای مدیریتی و اجرایی، ضمن حذف و کنترل عوامل مؤثر بر تولید گردوغبار بر کنترل فیزیکی مناطق تولید گردوغبار با استفاده از روش‌های تجربی و موفق در کشور

متناسب با شروع دوره خشکسالی در سطح استان، کشورهای منطقه عراق و ... بوده است. از میان تمام استان‌های مورد بررسی تنها در استان سیستان و بلوچستان از سال ۲۰۰۷ شاهد کاهش در تعداد روز گردوغبار بوده‌ایم. کاهش تعداد روز گردوغبار در سیستان در این بازه ممکن است به دلیل تأثیر اقدامات مقطعی در زمینه کنترل گردوغبار و مبارزه با فرسایش بادی اعم از توسعه طرح‌های جنگل‌کاری، مدیریت چرا، قرق مراتع و احداث هلالی‌های آبگیر باشد. این کاهش در این مقطع با نتایج Asghari Podesh و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد. در استان اصفهان براساس جمع‌بندی مطالعات موجود و تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع‌آوری شده، به خوبی قابل استنتاج است که عامل اصلی تشدید پدیده گردوغبار، خشکسالی‌های مستمر در استان و عدم بازنگری در مدیریت منابع آب متناسب با کمبودها بوده است. در غالب این استان‌ها نباید نقش گردوغبار فرامحلی و خارجی در تشدید پارامتر تعداد روزهای گردوغبار نادیده گرفته شود. در این مطالعه از مجموع پارامترهای هوا و اقلیم بارندگی، دما و تبخیر به‌عنوان سه عامل مهم و تأثیرگذار بر وضعیت گردوغبار هر منطقه بررسی گردید. با توجه به بالاترین سطح همبستگی معنی‌دار بین دما و گردوغبار، بررسی متوسط‌های بلندمدت سالانه دما و گرادیان تغییرات آن طی دو دهه نشانگر افزایش محسوس دما در کشور می‌باشد. بررسی مطالعات گذشته نیز حکایت از غالب بودن روند افزایشی دما در ایران و سایر مناطق جهان دارد که نتایج تحقیقات این پژوهشگران مؤید نتایج این تحقیق است، از جمله آنها می‌توان به Abtahi و همکاران، ۲۰۱۴؛ Yarahmadi، ۲۰۲۲؛ Gocic و Trajkovic، ۲۰۱۳؛ Wang و همکاران، ۲۰۰۷؛ Zhao و همکاران، ۲۰۱۷ اشاره کرد. براساس تحقیقات بسیاری که در سراسر جهان انجام شده، از جمله مجموع گزارش‌های IPC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (۲۰۰۱ و ۲۰۰۷)، این روند افزایش معنی‌دار دما، اثر انتشار گسترده گازهای گلخانه‌ای جهانی است. روند افزایشی تشخیص داده شده در فصول گرم و تطابقشان با فصل رشد در بیشتر نقاط ایران یک واقعیت است که نمی‌توان به راحتی

همت گماشت.

سیاسگزاری

این مقاله از طرح ملی پایش عوامل اقلیمی مؤثر بر گردوغبار و ماسه‌های روان (فرسایش بادی) در ایران با کد تحقیقاتی شماره 0-09-09-127-961047 استخراج شده است. بدین‌وسیله نویسندگان تشکر و قدردانی خود را از دست‌اندرکاران طرح و مدیریت مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور اعلام می‌نمایند.

منابع مورد استفاده

- of Climate Factors affecting it in Arid Regions Based on the Ridge Regression Analysis (A Case Study: Yazd City). *Jwss*, 24 (1) :145-158. <https://doi.org/10.47176/jwss.24.1.41171>
- Choubin, B., Sajedi Hosseini, F., Rahmati, O., Mehdizadeh Youshanloei, M., Jalali, M., 2022. Temporal and Spatial Variations of Dust Days in Western Azarbaijan Province, Determination of The Influencing Factors and Source of Events. *Journal of Desert Management*, Vol. 10, No. 2, Summer, 2022, pp 71-86. <https://doi.org/10.22034/JDMAL.2022.550729.1378>
- Ghavidel Rahimi, Y., Farajzadeh, M. and Lashani Zand, E., 2018. The temporal analysis of dust storms in Khoramabad synoptic station. *Applied researches in Geographical Sciences*, 18(51), 87-102. <https://doi.org/10.29252/jgs.18.51.87>
- Gocic, M. and Trajkovic, S., 2013. Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. *Global and planetary Change*, 100, 172-182. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.10.014>
- Guan, Q., Sun, X., Yang, J., Pan, B., Zhao S. and Wang, L., 2017. Dust storms in northern China: long-term spatiotemporal characteristics and climate controls. *Journal of Climate* 30(17): 6683-6700. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0795.1>
- Halabian, A.H., Darand., 2012. Precipitation prediction in Isfahan using networks artificial neural network, *Applied Research Journal of Geographical Sciences*, 12(۶):47-63. (In Persian).
- Helali, J., Asadi Eskoui, A. and Bazarafshan, c., 2012. Zoning of the number of days associated with dust phenomenon in the area of Iran using geographic information system technique, 3rd national conference on wind erosion and dust storms, Yazd University, Yazd, Iran. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.355469.669454>
- Khajeh, M., Kheyrandish, H. and Pishdad, H., 2015. Review the phenomenon of dust and study of effective winds on it (Case Study: Bandar Abbas •Hormozgan province). *Quarterly Journal of Environmental Erosion Research*, 4 (4) ,37-48. 20.1001.1.22517812.1393.4.4.2.7
- Mahdavi, M., 2002. *Applied Hydrology*. Tehran University Publications, first volume, 342 pages.
- Mehrabi, S., Soltani, S., Jafari, R., 2015. Analyzing the Relationship Between Dust Storm Occurrence and Climatic Parameters. *Jwss*, 19 (71) :69-81. URL: <http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-2998-fa.html>.
- Motavallizadeh Naeni, M. and R. Modarres., 2022. Dust Storm Frequency in Connection with Climatic Change in the Arid Region of Iran. *Journal of Water*
- Abtahi, M., Seif, A. and Khosroshahi, M., 2014. Assessment of temperature and precipitation trends in Kashan Namak Lake basin during the last half-century. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 21(1), 1-12. <https://doi.org/10.22092/ijdr.2014.8066>
- Achakulwisut, L., Mickley, J. and Annenberg, S.C., 2018. Droughtsensitivity of fine dust in the US Southwest: Implications for air quality and public health under future climate change. *Environmental Research Letters*, 13: 1-12. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabf20>
- Asghari Podeh, Z., Shafiizadeh, M., Fakharian, S. and Gilani, A., 2014. Evaluation and zoning of spatial changes of dust storms using DSI index in Khuzestan province. The second national conference on climate change and sustainable development engineering of agriculture and natural resources, Tehran. (In Persian).
- Ansari Renani, M., 2011. Statistical-climatic analysis of dust in Zahedan province during the period (1986-2005). the first international congress on the phenomenon of dust and dealing with its harmful effects, 26-28 February 2011. Ramin Khuzestan University of Agriculture and Natural Resources, p. 3. (In Persian).
- Boochani, M.H., Fazeli, D., 2011. *Environment Challenges and its Consequences Case Study: Dust and its Impact in the West of Iran*. 2(3), 125. magiran.com/p1080323.
- Buishand, T. A., 1982. Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *Journal of Hydrology* 58 (1):11-27. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(82\)90066-X](https://doi.org/10.1016/0022-1694(82)90066-X).
- Ebrahimikhusfi, Z., 2020. Analysis of Temporal Changes of Dust Events and Determination of the Contribution

- desertification in China. *Catena*, 200. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105160>.
- Wang, Y., Jiang, T., Bothe, O. and Fraedrich, K., 2007. Changes of pan evaporation and reference evapotranspiration in the Yangtze River basin. *Theoretical and Applied Climatology*, 90(1-2), 13-23.
- Yarahmadi, D., Nasiri, B., Khoshkish, A. and Nikbakht, H., 2022. Climate change and dusty days in the west and southwest of Iran. *Desert Ecosystem Engineering*, 3(5), 19-28. https://deej.kashanu.ac.ir/article_112520.html.
- Zalghi, E., Guderzi, G.h., Noorzadeh Haddad, M., Gravandi, S., 2013. Investigation of cardiovascular and respiratory deaths attributed to Ahvaz city air pollution during the years 2010 to 2013. 6th National Conference on Air and Noise Pollution Management, Tehran, Scientific Association Clean air https://www.civilica.com/Paper-CANPM/CANPM06_106.html.
- Zhao, H., Gao, G., An, W., Zou, X., Li, H. and Hou, M., 2017. Timescale differences between SC-PDSI and SPEI for drought monitoring in China. *Journal of Physics and Chemistry of the Earth*, 102: 48-58. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.10.022>.
- Zhou, Yongchao., Xin, G. and Jiaqiang, Lei., 2023. Characteristics of Dust Weather in the Tarim Basin from 1989 to 2021 and Its Impact on the Atmospheric Environment. *Remote Sens*, 2023, 15(7), 1804; <https://doi.org/10.3390/rs15071804>
- and Soil Science, Vol. 25, No. 4, Winter 2022, pp,239-258. <https://doi.org/10.47176/jwss.25.4.43231>
- Namdari, S., Karimi, N., Sorooshian, A., Mohammadi, G. and Sehatkashani, S., 2018. Impacts of climate and synoptic fluctuations on dust storm activity over the Middle East. *Atmospheric Environment*, 173: 265-276. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.11.016>
- Shahsavani, A., Yarahmadi, M., Mesdaghinia, A., Younesian, M., JaafarzadehHaghighifard, N., Naimabadi, A., Salesi, M. and Naddafi, K., 2012. Analysis of Dust Storms Entering Iran with Emphasis on Khuzestan Province. *Hakim Research*, 15(3): 192-202. <http://hakim.tums.ac.ir/article-1-1040-en.html>.
- Song, H., Zhang, K., Piao, S.h, Wan, S.h., 2016. Spatial and temporal variations of spring dust emissions in northern China over the last 30 years. *Atmospheric Environment*, 126 : 117 -127 . <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.11.052>
- Tayyi Semirami, S., Moradi, H.R., Khodaghali, M. and Ahmadi Akhormah, M., 2013. Identifying and Investigating Factors Affecting Dust Dismantling in West of Iran. *Human and Environment Quarterly*, 27: 1-10. (In Persian).
- Tavusi, T., Khosravi, M., Raispour, K., 2009. Collaborative analysis of dusting systems in Khuzestan province. *Journal of Geography and Development*, 8(20):118-97. (In Persian).
- Wang, X., Cai, D., Chen, S., Lou, J., Liu, F., Jiao, L., Cheng, H., Zhang, C., Hua, T. and Che, H., 2021. Spatio-temporal trends of dust emissions triggered by