



University of
Sistan and Baluchestan



Association of Geography
and Planning
of Border Areas of Iran

Identification of Dust Centers in Birjand City

Mohammad Cheki Forak¹, Reza Dostan^{2✉}, Masoud Minaei³

1. MSc in Urban Hydrology and Meteorology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
E-mail: ---
2. Assistant Professor of Climatology, Department of Geography, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
✉E-mail: doostan@um.ac.ir
3. Associate Professor of Remote Sensing and Geographic Information System, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
E-mail: m.minaei@um.ac.ir

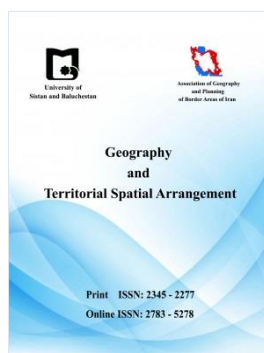


How to Cite: Cheki Forak, M; Dostan, R & Minaei, M. (2023). Identification of Dust Centers in Birjand City. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 13 (46), 61-66.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22111/GAIJ.2023.42530.3034>

Article type:
Research Article

Received:
29/06/2022
Received in revised form:
02/10/2022
Accepted:
02/01/2023
Publisher online:
11/03/2023



ABSTRACT

Climatic phenomena in different regions of the world are different in relation to the geographical characteristics of each region. Dust is one of the dominant atmospheric phenomena in desert and semi-desert regions of the world. This phenomenon is related to air pollution in most parts of Iran with dry climate, including Birjand in eastern Iran. The origin and direction of dust in this area are varied in the year, and knowing them helps urban risk management, forecasting and desertification. In this study, Landsat satellite images were used to determine the origin of dust in the period of 1955-2017. The dust day was defined based on the classification of Shao and Dong with code 06 and 07 with horizontal visibility of less than 10 km, and revealed with BTD and TDI index. To determine dust atmospheric patterns, grid data from NOAA was used, and dust trajectories were carried out with the HYSPLIT model. The results showed that the most dust days in 1963 and 2008 (45 years), with 148 and 128 days, respectively, which mainly occur in the warm season and July. The 120-day winds of Sistan in the east of Iran plays a major role in transporting dust particles and air pollution in Birjand from the east and northeast from the deserts of Central Asia, Turkmenistan, Afghanistan, Khorasan Razavi plains and interior plains. But in the cold period of the year, Siberian cold masses from the east, cold fronts (migrating anticyclone), occluded fronts and low pressures from the northwest, west and southwest by passing through the central plains of Iran and sometimes the deserts of Syria and Iraq causes dust in the upper levels of the atmosphere. In all these centers, the occurrence of particles and pollution of cities prevails during periods of drought.

Keywords:

Dust, Birjand, Modis Sensor, Remote Sensing, HYSPLIT Model.



© the Author(s).

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

Extended Abstract

Introduction

Atmospheric hazards related to the latitude of the regions, altitude above sea level, and distance from seas and deserts are different. The main hazards related to humidity and heat, dry air and temperature fluctuations, temperature drop and freezing are in tropical, subtropical and extra tropical zones respectively. But within 25 to 40 geographical degrees, the boundary between the subtropical and temperate zone, which are known as climatic transition zones (warm to cold climate). Inherently, the atmospheric anomaly is the most. Iran in this climatic zone with the low and high altitudes of the Iranian Plateau (the Mountains of Zagros and Elburz and the lowlands areas of Kavir Desert and Lut Desert) doubles the atmospheric hazards. As out of 41 recorded natural hazards, 31 examples occur in Iran, including frost, heat and cold waves, flood, drought, dust and so on. Dust is a climatic phenomenon on a global, regional and local scale, which causes air pollution in cities and damage to human health. Mainly, deserts, areas with a lack of vegetation, dry wetlands and dry lakes with fine-grained deposits of sand and clay are the origin and source of dust production. including the deserts of Iraq, Syria and Arabia in the Middle East (Givvehchi et al., 2013), Khuzestan (Dargahian et al., 2016), Karaj (Bagherabadi et al., 1400: 143), Bushehr (Mahmoudi Kandar and Atai, 2015) and local sources of the Hamoun lake is in Zabul (Rahadari et al., 2017) and Urmia Lake is in Tabriz (Dargahi et al., 2015: 55). These resources can be identified with climatic data and Modis satellite images (Kim, 2008 :). The horizontal and vertical air currents associated with the Eastern Mediterranean trough pattern of Syria and western Iraq (Khorshid Dost et al., 2018: 57), move dust particles far away from the source (Hamidi, 2012). Considering the harmful effects of dust on health and the ecosystem, knowing the origin of dust is essential for risk management. The aim of this research is to identify dust centers by processing Modis satellite imagery in combination with collocation methods and tracking dust using HYSPLIT model during the year.

Study Area

The city of Birjand is located in the center of Birjand Plain, that surrounded by mountains ranges, with a geographical location of 32°53'N and 59°13'E. It is surrounded from the north by Shukr Ab Mountain, from the east by Moemen Abad Mountain, from the south by Baghran mountain range, and from the west by the desert plain. This city is located at an altitude of 1491 meters in Foothill of Baghran Mountains. The city of Birjand has a cold and dry climate with an average rainfall of 170 mm and an average annual temperature of 16 degrees Celsius with successive dry and wet periods (Bani Waheb and Alijani, 2014: 33).

Material and Methods

To determine the dusty days, the daily data of horizontal visibility (VV), wind speed (FF), wind direction (DD) and atmospheric phenomenon code (WW) in a period of 63 years (1955 to 2017) from the Iran Meteorological Organization (IRIMO.IR) was used. The temporal distribution of dust in each specific code and the frequency of repeating the code of dust occurrence (repeatability and probability of occurrence), code 06 and 07, were studied. A dusty day was defined as a day when the minimum horizontal visibility is less than 10 km based on the classification of Shayo and Dong (2006) and recorded in two daily sampling sessions. By comparing the dusty days of Birjand synoptic station and air pollution data with air quality index (AQI) of more than 150, 21 days of severe dusty days were selected. In order to reveal the phenomenon of dust, the Modis satellite images of the Terra and Aqua satellites with a resolution of 1 km from the National Aeronautics and Space Administration website of the United States (USGS¹) were used. Geometrical, radiometric and atmospheric corrections of the images were carried out with the brightness temperature difference (BTD) and thermal infrared dust (TDI) index. The dust days were divided into two groups and origin and how the dust phenomenon enters the sky in Birjand city were analyzed in both groups. Atmospheric patterns of dust were used with daily data of zonal (U) and meridional (V) wind components at 850 HP level from the American Center for Environmental Prediction and Atmospheric Research (NCEP/NCAR) with a resolution of 2.5 degrees (Kalnay et al, 1996). Determining the origin and direction of dust movement from HYSPLIT models with a time step of 6 hours and altitude levels of 50, 500 and 1000 meters were used (Draxler & Hess, 1998, Draxler et al, 2009).

¹. <https://earthexplorer.usgs.gov>

Result and Discussion

The dust phenomenon in Birjand from 1955 to 2017 has an increasing and decreasing fluctuation. The highest occurrence frequency with 147, 128, 114 and 104 days occurred in 1963, 2008, 1971 and 1962 respectively. Spring with 607 days and summer with 548 days have the most and autumn with 98 days have the least occurrences. July has the most dust with 303 days and March and June are next with 216 and 214 days, respectively. Also, the month of November with 25 days, is the least event and the cleanest month in Birjand. Therefore, the dust phenomenon is less in winter and autumn than in summer and spring. Most of the dust is in the warm half of the year, and the role of local and regional factors, sunlight and dryness of the environment is important in the occurrence of this phenomenon.

Atmospheric patterns of dust: The atmospheric pattern of dust is the establishment of a strong cyclone from the Caucasus, the Caspian Sea to Turkmenistan and a strong thermal cyclone from Pakistan to the southeast of Iran and the Oman Sea in warm period. The arrangement of pressure centers has caused the formation of the 120-day currents of Sistan in eastern Iran, which have different speeds due to the influence of the high and low altitudes of eastern Iran. Mainly, speed of the currents in the low-lying areas and by approaching the low pressure of Pakistan intensifies and turns into a sandstorm. The 120-day wind of Sistan in the warm period from late spring (June) to early autumn (October), with the movement of the winds in the form of low level jet, brings dust. The dust track is from the desert of Turkmenistan, the western plain of Afghanistan and Khorasan, which causes the movement of dust from dry plains with poor vegetation. The internal centers of dust in this pattern are the plains of Shahrekht, Dagh Ptergan, Esfadan, Gazik, Darmian, Tabas Mesina, Sedeh, Birjand, Dasht Khaf and Dasht Zozan, and the external centers are the Herat plain of Afghanistan. In cold period, the atmospheric pattern in the cold period is the establishment of two circulation centers in Europe and Central Asia in Middle latitudes and circulation centers in the subtropical region in Egypt, Arabian Peninsula and the Oman Sea. Iran is located in the boundary between these two large-scale atmospheric systems. Therefore, the strong air flow from west to east mainly brings humidity and precipitation in the east, but sometimes due to the lack of moisture in the air masses, dust particles are transferred from the deserts of Syria, northern Arabia, Iraq, and the interior plains of Iran, including the plains of Khuzestan, Tabas, Beshravieh, Se Ghale, and Chahak Mousavieh. Dusts from these centers reach the region with cold air currents caused by migratory anticyclones, weak cyclones and low pressures. Another pattern in winter, the high-pressure Siberian current from Central Asia causes instability and movement of soil particles at the beginning of autumn from the warm deserts. So in general, the outside centers of dust in the warm period are the deserts of Central Asia (Turkmenistan, North and South-West Afghanistan), Herat Plains of Afghanistan (Gochink Plain, Baran Abad, Gazan, Asiyab Abad, South East, North West and West Herat and the Eastern River basin), But in the cold period are the deserts of Syria, Arabia, Iraq. But the inner centers in the warm period are the deserts of Razavi Khorasan (Dasht Sarkhas, Dashte Taibad, Namakzar Khaf, Dashte Zozan), and the central deserts of Iran (Dasht Lut and Kavir) in the cold period. The local centers of dust are Shahrekht, Degh Patergan, Qain, Darmian, Gazik, Esfadan, and Sarbisheh plains in the warm season, and the Ferdous, Sarayan, Beshroieh, Dihuk, Se Qale and Khosuf plains in the cold season.

Conclusion

Dust is the main characteristic of arid and semi-arid climates in the subtropical regions of the world including Iran. Eastern Iran is one of the dry regions with the highest dust phenomenon. Most of the dust in Birjand is related to the role of local and regional factors. Atmospheric systems and sources of dust are different in cold and warm periods, as mainly the 120-day winds of Sistan from mid-spring to late September transport dust from the deserts of Central Asia, Turkmenistan, Afghanistan, Khorasan-Razavi plains and local plains. The Siberian cold front from the deserts of Central Asia, Afghanistan and eastern Iran, especially in late summer and early autumn, causes dust. Also, large-scale atmospheric systems, westerly winds, cyclones, anticyclones and thermal low pressures are the most important factors of atmospheric instability in the cold period in Iran. Sometimes these atmospheric patterns by passing through plains of Iraq, Syria, Saudi Arabia, Khuzestan plains, and central desert, dust reaches to Birjand city. Also, the local factors, lack of vegetation, land dryness, heights and the low and high lands of eastern Iran are effective in intensifying the regional winds of 120 days and local winds in the warm period. As these currents pass through the heights and enter to low areas, becomes to the bottom jet with strong winds and cause dust storms in the low plains of Torbet Jam, Khaf, Gonabad, Birjand, Nahbandan and Sistan. Wind flow in dry areas with poor vegetation cover in South Khorasan, Western plains of Afghanistan and dry plains (Ptergan) is associated with the movement of dust. Dust occurs to passing fronts of cold through warm and dry lands in the cold period. As, only the cold front or the cyclones subside and cold air reaches to the region. Sometimes these atmospheric currents bring with dust in the upper atmosphere, in the

dry plains of Iraq, Syria, or in the interior plains of Lut desert and the Se Qala desert. Climate change, decrease of precipitation, increase of temperature, makes more climatic anomalies in Iran, including dust storms in similar climates of eastern Iran occur with local or non-local origin. Adaptation and management plan based on climatic anomalies and local knowledge to reduce dust and risk management is necessary.

Key words: Dust, Atmospheric Pattern, HYSPLIT Model, Remote Sensing, Birjand.

References (Persian)

Ahmadi, Z., Doostan, R., & Mofidi, A. (2015). Synoptic analysis of dust from the warm half of the year in southern khorasan province. *Journal of physical geography*, 8(29), 41-61.

https://jopg.larestan.iau.ir/article_521375_00a94523dee0264b209b5367a15da0d3.pdf

Azizi, G.H., Miri, M., & Nabavi, S.O. (2012). Tracing the phenomenon of dust in the western half of Iran, *Journal of arid regions geographic studies*, 2 (7), 63-81.

<http://journals.hsu.ac.ir/jarhs/article-1-220-fa.pdf>

Abedini, U.A., Yari matori, M., & Javanmard, S. (2015). Estimation of dust concentration using satellite images, First International Dust Conference, 2-4 March, chamran university of Ahvaz.

<https://civilica.com/doc/539664/>

Boroughani, M., Pourhashemi, S., Zarei, M., & Aliabadi, K. (2019). Spatial modeling of the sensitivity of dust centers to its emission in eastern Iran using BRT enhanced regression tree, *Journal of Arid Regions Geographics Studies*, 9(35), 14-28.

<http://journals.hsu.ac.ir/jarhs/article-1-1451-fa.pdf>

Bagherabadi, R., & Moeinodini, M. (2021). Directional origin of dust events in the city of Karaj. *Journal of climate research*, 12(47), 143-157.

http://clima.irimo.ir/article_142697_75e0e78a71f793b7ce0655a250183c5b.pdf

Banivaheb, A., & Alijani, B. (2005). Investigation of drought, wet year and prediction of climate changes in Birjand region. *Journal of Geographical research quarterly*, 37(52), 33-46.

https://jrg.ut.ac.ir/article_10032_44741ac3ef36c4a8fb2c459d1f5c3c6a.pdf

Donyaiei, A., & Pourkhabaz, A.R. (2017). Investigating the concentration of heavy metals Pb, Cu, Zn, and as in the sediments of Birjand city. 4th International Conference on Environmental Planning and Management, 23 May, Tehran University, Tehran.

<https://civilica.com/doc/589394/>

Dargahian, F., Lotfinasabasl, S., Khosroshahi, M., & Gohardoust, A. (2017). Determining the share of internal and external resources of dust in Khuzestan province. *Journal of Iran nature*, 2(5), 36-41.

https://irannature.areeo.ac.ir/article_113621_4eb41f9afc1c3fba40c34375cb909ef7.pdf

Dargahi, A., Dehghanzadeh, R., Fahiminia, V., Jabbari, Y., & Azizi, F. (2016). Studying air quality changes in Tabriz in terms of pm10 pollutant density using aqi index and its relation with drop of water level in uremia lack during 2008-2011. *Journal of environmental science and technology*, 18(2), 55-62.

https://jest.srbiau.ac.ir/article_9801_f72bad7f03179f7f9488be87920493b8.pdf

Ghafri, D., & Mostafazadeh, R. (2015). An investigation on sources consequence and solutions of dust storm phenomenon in Iran. *Journal of conservation and utilization of natural resources*, 4(2), 107-125.

https://ejang.gau.ac.ir/article_2799_2c9a11c0e584b22d7b9378e1964fbde9.pdf

Fallah zzoli, M., Vafaei nejad, A., Khairkhan zarkesh, M.M., & Ahmadi dehka, F.(2014). Synoptic monitoring and analysis of dust phenomenon using remote sensing and GIS, case study: dust, June 18, 2012. *Geographical Data (SEPEHR)*, 23(91), 69-80.

http://www.sepehr.org/article_12863_62b8d75208d7df444ac36a80f2978761.pdf

Hamidi, M. (2014). Dust transport modeling (case study of the western borders of the country), Doctoral thesis in civil-water engineering, Supervisor: Dr. Mohammad Reza Kavianpour, Faculty of Civil Engineering, Khwaja Nasiruddin Toosi University, Tehran.

Khorshid doost, A.M., Asadi, M., & Haji mohammadi, H. (2019). Reviews atmospheric mechanisms governing the occurrence of days with dust city of Tabriz and tracking using HYSPLIT model and MODIS Image. *Geographic space*, 19(65), 57-70.

<https://www.magiran.com/paper/1989493>

Mohamadi moradian, J., & Hosseinzadeh, S.R. (2016). The study of desert dust in Mashhad metropolis using satellite images and synoptic datasets (2009-2013). *Journal of geography and environmental hazards*, 4(14), 35-57.

https://geoeh.um.ac.ir/article_28596_32089d4b0328b11a251b444ff99358ff.pdf

Mohammadi, F., Kamali, S., & Eskandary, M. (2016). Tracing dust sources in different atmosphere levels of Tehran using hybrid single-particle lagrangian integrated trajectory (HYSPLIT) model. *Journal of geography and environmental hazards*, 4(۱۶), 39-54.

https://geoeh.um.ac.ir/article_29090_0a4e1deaa29670ed9d7a28d13dfddd5.pdf

Mahmoodi kondor, M., & Ataei, H. (2016). Investigating the origins and causes of dust in Bushehr city. The fourth international conference of new ideas in agriculture, environment and tourism, 20 December, Ardebil.

<https://civilica.com/doc/627391/>

Omidvar, K. (2014). *Natural hazards* (2nd Edition), Yazd University Press.

Pashaei, Z., & Mohammadi, G.H. (2015). Modeling of the dispersion paths of fine dust to the city of Shahretbariz, First International Congress of Earth, Space and Clean Energy, 5 November, Mohaghegh Ardabili University, Ardebil.

<https://civilica.com/doc/456435/>

Shafaat nazarloo, A., Rezaei, A., & Soltani, M. (2014). Investigating the origin of dust in the northwestern region of Iran using the spectral characteristics of the MODIS sensor (case study on April 13, 2011), Second International Conference on Environmental Risks, 29 October, Kharazmi University, Tehran.

<https://civilica.com/doc/307509/>

References (English)

Draxler R., & Hess, G.D. (1998). An overview of the HYSPLIT_4 modeling system for trajectories, dispersion and deposition. *Aust Meteorol Mag*, 47,295–308.

<https://www.arl.noaa.gov/documents/reports/MetMag.pdf>

Draxler, R., Stunder, B., Rolph, G., Stein, A., & Taylor, A. (2009). Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated. United States: NOAA. <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/31300>

Givehchi, R., Arhami, M., & Tajrishy, M. (2013). Contribution of the Middle Eastern dust source areas to PM10 levels in urban receptors: Case study of Tehran, Iran. *Atmospheric Environment*, 75, 287-295.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231013002938>

Kim, J. (2008). Transport routes and source regions of Asian dust observed in Korea during the past 40 years (1965-2004). *Atmospheric environment*, 42(19), 4778-4789.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231008000915>

Kalnay, E., et al. (1996). the NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77,437-471.

https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/77/3/1520-0477_1996_077_0437_tnyrp_2_0_co_2.xml?tab_body=pdf

Shao, Y., & Dong, C.H. (2006). A review on East Asian dust storm climate, modeling and monitoring. *Global and planetary change*, 52(1-4), 1-22.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921818106000324>

شناسایی کانون‌های گرد و غبار شهر بیرجند

محمد چکی فورک^۱، رضا دوستان^{۲*}، مسعود مینائی^۳

مقاله پژوهشی

جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای
 بهار ۱۴۰۲، سال ۱۳، شماره ۴۶
 تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۸
 تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۷/۱۰
 تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۲
 صفحات: ۸۴-۶۱



واژه‌های کلیدی:
 گرد و غبار، بیرجند، سنجد
 مودیس، سنجدساز دور، مدل
HYSPLIT

چکیده

پدیده‌های اقلیمی در مناطق مختلف جهان در ارتباط با ویژگی‌های جغرافیایی هر منطقه، متفاوت‌اند. یکی از پدیده‌های غالب جوّی در مناطق بیابانی و نیمه‌بیابانی جهان، گردوغبار است. این پدیده در بخش عمده‌ای از ایران با اقلیم خشک، از جمله بیرجند در شرق ایران، با آلودگی هوا مرتبط است. کانون‌ها و مسیرهای گرد و غبار این منطقه در طی سال متنوع‌اند و شناخت آن‌ها به مدیریت ریسک شهری، پیش‌بینی و بیابان‌زدایی کمک می‌کند. در این مطالعه برای تعیین منشأ گردوغبار از تصاویر ماهواره‌ی لندست در دوره ۱۹۵۵-۲۰۱۷ استفاده شد. روز گرد و غبار، براساس تقسیم‌بندی شایو و دونگ با کد ۰۶ و ۰۷ با دید افقی کمتر از ۱۰ کیلومتر، تعریف و با شاخص BTDI و TDI، آشکارسازی شد. برای تعیین الگوهای جوّی گردوغبار، از داده‌های شبکه‌ای NOAA و مسیرهای ورودی با مدل‌های اسپلیت به روش پسگرد، انجام شد. نتایج نشان داد، بیشترین روز گرد و غبار در سال‌های ۱۹۶۳ و ۲۰۰۸ (دوره بازگشت ۴۵ ساله)، به ترتیب با تعداد ۱۴۸ و ۱۲۸ روز، عمدتاً در دوره گرم و ماه جولای (تیر ماه) حادث می‌شوند. وزش باد ۱۲۰ روزه سیستم‌های شرق ایران، در انتقال ذرات گرد و غبار و آلودگی هوای بیرجند از سمت شرق و شمال شرق از بیابان‌های آسیای میانه، ترکمنستان، افغانستان، دشت‌های خراسان رضوی و دشت‌های داخلی، نقش عمده را دارد؛ اما در دوره سرد سال، توده‌های سرد سیبری از شرق، جبهه‌های سرد (آنتی‌سیکلون مهاجر)، سیکلون‌های میرا و کم‌فشارها از جهت شمال غرب، غرب و جنوب غرب با عبور از دشت‌های مرکزی ایران و بعضاً بیابان‌های سوریه و عراق در سطوح بالای جوّ، موجب گرد و غبار می‌شوند. در همه این کانون‌ها، وقوع ذرات معلق و آلودگی شهرها در دوره‌های خشک غالب است.

مقدمه

انسان از روزهای آغازین تاکنون با خطرات ناشی از عوامل طبیعی همراه است (شفاعت نظرلو و همکاران، ۱۳۹۲). مناطق مختلف جهان با توجه به عرض جغرافیایی، ارتفاع، دوری و نزدیکی به دریاها و کویرها، مخاطرات جوّی متفاوتی دارند. چنانکه در مناطق حاره‌ای، عمده مخاطرات مرتبط با رطوبت و گرما، در مناطق جنب حاره عمده مخاطرات مرتبط با خشکی هوا و نوسان دما، در مناطق برون حاره و قطبی عمده مخاطرات مرتبط با کاهش دما و یخبندان است. در این بین، در عرض‌های جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه، شمال جنب حاره و جنوب منطقه معتدل، که به عرض‌های انتقالی یا منطقه گذار اقلیمی (اقلیم گرم به سرد) معروفند؛ اقلیم‌های ناپایدار با بی‌هنجاری جوّی بیشتر است. موقعیت ایران در این منطقه اقلیمی، وجود ارتفاعات و پستی و بلندی‌های فلات ایران، بی‌هنجاری‌ها و تنوع پدیده‌های جوّی را دوچندان می‌کند. چنانکه مناطق مختلف ایران در طی سال با انواع مخاطرات جوّی، از جمله

۱- کارشناسی ارشد آب و هواشناسی شهری، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- استادیار اقلیم‌شناسی گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران (نویسنده مسئول)

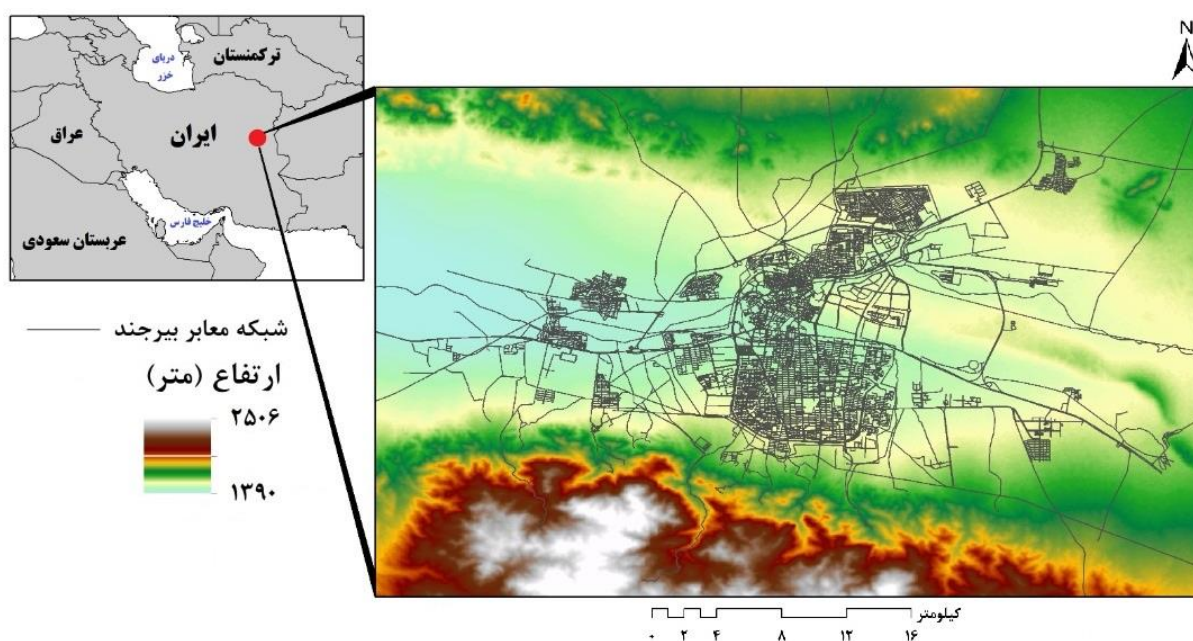
۳- دانشیار سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

یخبندان، موج‌های گرما و سرما، سیل، خشکسالی، گرد و غبار و... همراه‌اند. گرد و غبار یک پدیدهٔ اقلیمی است که در مقیاس مختلف اعم از جهانی، منطقه‌ای و محلی اتفاق می‌افتد و موجب آلودگی هوای شهرها و آسیب به سلامت انسان می‌شود. جابه‌جایی گرد و خاک (ذرات خاک و شن) با کاهش شدید دید به‌وسیلهٔ باد، توفان گردوغبار نام دارد (امیدوار، ۱۳۹۲: ۱۵۶). براساس دستورالعمل سازمان جهانی هواشناسی (WMO)، اگر سرعت باد در ایستگاه بیشتر از ۱۵ متر بر ثانیه و کاهش دید افقی به کمتر از یک کیلومتر برسد، توفان گرد و غبار گزارش می‌شود (غفاری و مصطفی‌زاده، ۱۳۹۴: ۱۰۷). چنانکه بعضاً، جریانات افقی و عمودی هوا، ذرات گرد و غبار را تا مسافت‌ها دور از منبع، جابه‌جا می‌کنند (حمیدی، ۱۳۹۲). با توجه به اثرات مخرب گرد و غبار بر سلامت و اکوسیستم، شناخت منشأ گردوغبار ضروری است و برنامه‌ریزی در جهت کاهش این پدیده (جنگل‌کاری، مالچ‌پاشی) را ممکن می‌سازد. امروزه مطالعه و شناخت این پدیدهٔ جوئی برای محققان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های هواشناسی، آسان‌تر و دقیق‌تر است. چنانکه مسیرهای انتقال و منشأ گرد و غبار کرهٔ جنوبی با داده‌های اقلیمی و تصاویر ماهوارهٔ Modis، بررسی و نشان داد، ۸۷ درصد گردوغبار در فصل بهار با روند افزایشی بعد از ۱۹۸۰ بوده که در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۲ با تغییر الگوهای سطوح بالای جوئی، شدت بیشتری دارد (Kim, 2008: 4778). گیوه‌چی و همکاران (۲۰۱۳: ۲۸۵) منابع بالقوهٔ گردوغبار بیابانی خاورمیانه و سهم آن‌ها در میزان PM_{10} تهران را با روش تحلیل آماری و مدل های-اسپلیت از ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۰ مشخص کردند. چنانکه بیابان‌های عراق و سوریه منبع اصلی گردوغبار، به‌ترتیب بیش از ۴۴ و ۳۲ درصد از غلظت PM_{10} شهر تهران را موجب می‌شوند. همچنین منشأ و مسیر انتشار گردوغبارهای تبریز با مطالعهٔ ۳۰ توفان گردوغبار با مدل های-اسپلیت بررسی شد. منشأ توفان‌های شهر تبریز متفاوت بوده، اما مسیر کلی انتشار گردوغبارها، مشابه است (پاشائی و محمدی، ۱۳۹۴). عمده الگوهای جوئی منجر به گردوغبار در تبریز در غالب سه الگو، سردچال جنوب دریای سیاه و شرق مدیترانه، ناوهٔ عمیق شمالگان تا غرب خاورمیانه و موج کوتاه سوریه و غرب عراق است (خورشیددوست و همکاران، ۱۳۹۸: ۵۷). منشأ گردوغبار خوزستان در ۱۲ ایستگاه هواشناسی در دورهٔ ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ با کدهای ۰۶ و ۰۷ به‌ترتیب با منشأ داخلی و بیرونی بررسی شد. بیش از ۹۰ درصد گردوغبار از بیرون و ۸ درصد از منابع داخلی است (درگاهیان و همکاران، ۱۳۹۶: ۳۶). همچنین کانون‌های گردوغبار شرق ایران با شاخص محیطی و تصاویر سنجندهٔ مادیس در ۲۱ نمونه و شناسایی ۱۴۷ نقطهٔ حساس گردوغبار از ۲۰۰۴-۲۰۱۷ بررسی شد. پوشش گیاهی، ارتفاع و شیب نقاط مهم‌ترین عوامل در وقوع گردوغبار بود (بروغنی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۴). گردوغبار شهر کرج در بازهٔ ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ با بیشینهٔ وقوع در تابستان و ماه ژوئن از جهت شمال غرب غربی، شمال غرب و غرب با منشأ عراق، سوریه و عربستان است (باقرآبادی و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۴۳). محمودی کندر و عطایی (۱۳۹۵) منشأ و علل گردوغبار شهر بوشهر در ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ و افزایش در سال‌های اخیر را کانون‌های فرامحلی از تالاب‌های خشک عراق، بیابان‌های النفود و دهناء در شمال عربستان، صحرای بادیه الشام در سوریه و تالاب‌های هورالعظیم و هورالهویزهٔ ایران مشخص کردند. به‌طورکلی منشأ گردوغبارهای ایران در ارتباط با الگوهای جوئی در دورهٔ سرد و گرم از منابع داخلی و خارجی است. در شرق ایران نیز آلودگی هوا ناشی از توفان‌های گردوغبار یکی از مشکلات بهداشتی خراسان جنوبی است و شهر بیرجند به‌دلیل قرارگیری در مجاورت مناطق کویری (کویر مرکزی و کویر لوت) و کمبود پوشش گیاهی به‌دلیل خشکسالی متوالی، آلودگی هوای ناشی از ذرات، مشکلات زیادی ایجاد می‌کند. چنانکه طی سال‌های گذشته خسارات جبران‌ناپذیری را به زندگی و سلامت مردم شهر بیرجند وارد کرده و در تعداد زیادی از روزهای سال، شاخص کیفیت هوا در شرایط

ناسالم قرار دارد. از جمله تحقیقاتی در ارتباط با ذرات معلق و پدیده گردوغبار بیرجند برپایه تحلیل الگوهای جوئی و روش‌های آماری انجام شد (دنیایی و پورخباز، ۱۳۹۶؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۴: ۴۱). با توجه به پراکندگی یا فقدان ایستگاه‌های پایش و کنترل آلاینده هوا در سطح شهر بیرجند، منابع دیگر سنجش کیفیت هوا، از جمله داده سنجش‌ازدور و تصاویر ماهواره‌ای با پوشش فضایی کامل‌تر مفیدند (محمدی مرادیان و حسین‌زاده، ۱۳۹۴: ۳۵). هدف این تحقیق، شناسایی کانون‌ها، مسیرهای ورود و الگوهای جوئی گردوغبار در شهر بیرجند است.

داده و روش تحقیق

شهر بیرجند در مرکز دشت بیرجند، از اطراف توسط رشته‌کوه محصور است. بیرجند از شمال به کوه شکرآب و از شرق به کوه مؤمن‌آباد و از جنوب به رشته‌کوه باقران و از ناحیه غرب به ارتفاعات دشت کویر محدود می‌شود. این شهر با ارتفاع ۱۴۹۱ متر از سطح دریا (ایستگاه هواشناسی) در پایکوه باقران قرار دارد. بیرجند دارای اقلیمی سرد و خشک با متوسط بارش ۱۷۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۱۶ درجه سانتی‌گراد با دوره‌های خشک و مرطوب متوالی با بیشینه خشک است (بنی‌واهب و علیجانی، ۱۳۸۴: ۳۳).



شکل ۱. موقعیت طبیعی منطقه مورد مطالعه

در ابتدا برای تعیین روزهای گردوغبار، داده‌های ساعتی پارامترهای دید افقی (VV)، سرعت باد (ff)، جهت باد (dd) و کد هواشناسی پدیده جوئی (ww) (جدول ۱) در دوره ۶۳ ساله (۱۹۵۵ تا ۲۰۱۷) از سازمان هواشناسی دریافت شد. روز گردوغبار با استفاده از کد جوئی این پدیده (۰۶-۰۷-۰۸-۰۹-۳۰-۳۱-۳۲-۳۳-۳۴-۳۵)، تعیین شد (شکل ۲). به منظور توزیع زمانی گردوغبار، فراوانی سالانه، فصلی، ماهانه و ساعتی در هر کد مشخص شد و براساس فراوانی تکرار کد وقوع گردوغبار، کد ۰۶ و ۰۷، مبنای اقلیمی (تکرارپذیری و احتمال وقوع بیشتر) مطالعه این پدیده قرار گرفت؛ بنابراین روز گردوغبار، روزی تعریف شد که حداقل میزان دید افقی کمتر از ۱۰ کیلومتر

تقسیم‌بندی شائو و دانگ (۲۰۰۶: ۴۱) و حداقل در دو نوبت برداشت روزانه، در ایستگاه ثبت شده باشد (شکل ۳). با توجه به شرایط بالا، ۵۱ روز گردوغبار از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ برای دریافت تصاویر ماهواره‌ای مشخص شد. به‌منظور تعیین صحت و معنی‌داری روزهای بالا، با داده‌های پایش آلودگی هوا از سال ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ نیز مقایسه شد و مبنای تعیین روزها، انطباق داشتن با شرایط جوی سرعت و جهت باد است. بعد از مشخص شدن روزهای نمونه توسط داده‌های دیده‌بانی ایستگاه سینوپتیک شهر بیرجند و داده‌های آلودگی هوا با شاخص آلودگی ذرات معلق بیش از ۱۵۰، ۲۱ روز نمونه گردوغبار شدید انتخاب شد. در ادامه نقشه‌های همدیدی، تصاویر ماهواره مودیس و مسیریابی روز گردوغبار با مدل‌های اسپلیت انجام شد.

کد (WMO)	علامت	شرایط احراز
۰۶		گردوغبار فراگیر و گسترده معلق در هوا که به وسیله باد در ایستگاه یا نزدیکی آن بلند نشده باشد.
۰۷		گردوخاک یا شنی که در ساعت دیده‌بانی در اثر وزش باد در ایستگاه یا اطراف آن بلند شده باشد.
۰۸		گردباد تکامل یافته که طی ساعت دیده‌بانی در ایستگاه و اطراف آن مشاهده شده است.
۰۹		توفان گردوخاک یا شن که در ساعت دیده‌بانی در اطراف ایستگاه وجود دارد.
۳۰		توفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن که طی ساعات گذشته از شدت توفان کاسته شده است.
۳۱		توفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن که طی ساعات گذشته، شدت توفان تغییر نکرده است.
۳۲		توفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن که طی ساعات گذشته بر شدت توفان افزوده شده است.
۳۳		توفان شدید گردوخاک یا شن که طی ساعت گذشته از شدت توفان کاسته شده است.
۳۴		توفان شدید گردوخاک یا شن که طی ساعت گذشته، شدت توفان تغییر نکرده است.
۳۵		توفان شدید گردوخاک یا شن که طی ساعت گذشته بر شدت توفان افزوده شده است.
۹۸		رعدوبرق توأم با توفان گردوخاک یا شن

شکل ۲. کدهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک برای گزارش پدیده گردوغبار (منبع: سازمان هواشناسی جهانی^۱)

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

شکل ۳. طبقه‌بندی گردوغبار (منبع: اداره هواشناسی مرکزی چین، ۱۳۷۹)

به‌منظور آشکارسازی پدیده گردوغبار، از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس ماهواره ترا و آکوا با قدرت تفکیک یک کیلومتری از وبگاه سازمان ملی هوایی و فضانوردی آمریکا^۲ استفاده شد، تصاویر این سنجنده به‌دلیل در دسترس بودن، هزینه کم و تکرارپذیری برای آشکارسازی گردوغبار مناسب است (فلاح ززولی و همکاران، ۱۳۹۳: ۶۹). تصحیحات هندسی، رادیومتریکی و اتمسفری تصاویر با شاخص اختلاف دمایی روشنایی (BTD^۳) و شاخص

^۱- World Meteorological Organization(WMO)

^۲- <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search>

^۳- Brightness Temperature Difference

گردوغبار مادون قرمز حرارتی (TDI^۱) انجام شد. آشکارسازی پدیده گردوغبار در هر دو شاخص یکسان بوده و تنها تفاوت این دو شاخص نسبت به هم، در منفی و مثبت بودن پیکسل‌ها (DN) در آشکارسازی پدیده (دمای بیشتر پدیده گردوغبار در باند ۳۲ نسبت به باند ۳۱) مبنا است (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۴). با بررسی تصاویر روزهای گردوغبار و به شکل مشاهده علمی (روش دستی) الگوهای جوّی و مسیر ورود، روزهای گردوغبار در دو طبقه قرار گرفت. به منظور تحلیل دقیق تر و عدم تکرار، دو منشأ گردوغبار از ۲۱ گردوغبار انتخابی، مشخص شد؛ بنابراین در ادامه به منظور تحلیل و بررسی‌های بعدی، از هر کدام از منشأهای گردوغبار، یک روز به عنوان الگوی نمونه انتخاب و منشأ و مکان کانون‌های برداشت گردوغبار، مسیریابی و چگونگی جریان ورود پدیده گردوغبار به آسمان شهر بیرجند تحلیل شد.

MOD021KM.A2013011.0725.061.2017294204116.hdf	ت۱	۷:۲۵	۲۰۱۳/۱/۱۱	۱
MYD021KM.A2016195.0955.061.2018060041337.hdf	ت۲	۹:۵۵	۲۰۱۶/۷/۱۳	۲

شکل ۴- نمونه مشخصات تصاویر سنجنده مودیس دو گردوغبار (منبع: سازمان زمین شناسی آمریکا)

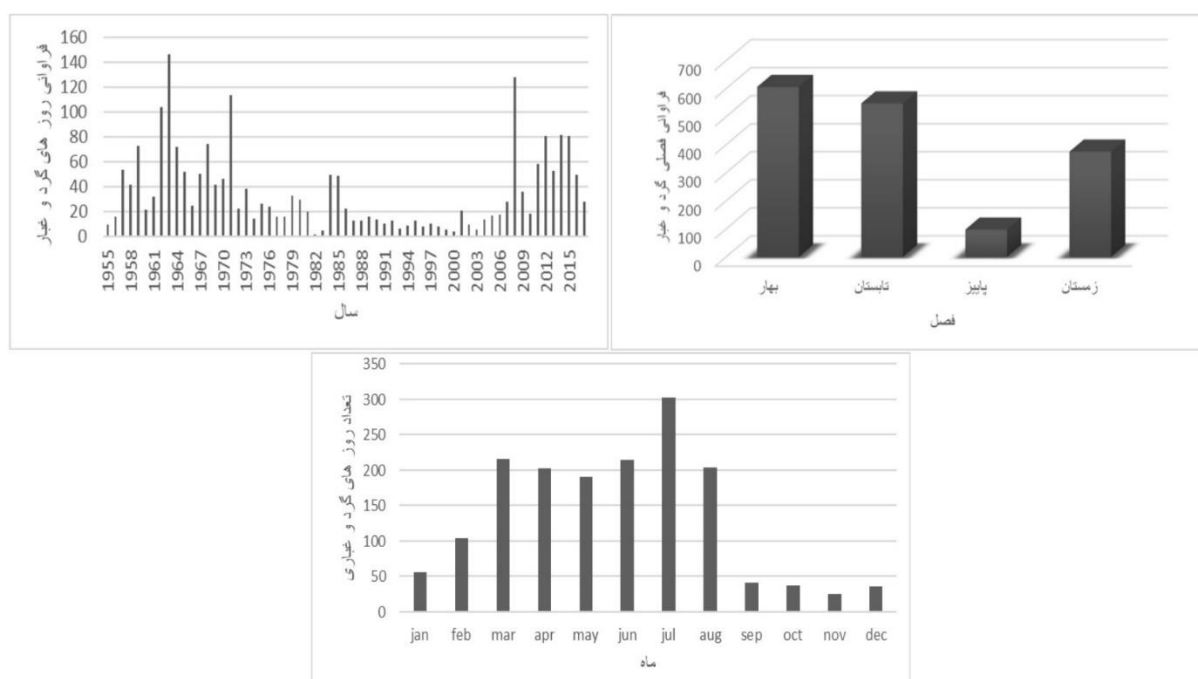
به منظور تحلیل الگوهای سینوپتیکی جوّی موثر بر وقوع پدیده گردوغبار از داده‌های دوباره تحلیل شده، شامل داده‌های روزانه مؤلفه بادمداری (U) و نصف‌النهاری (V) سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال، مرکز پیش‌بینی محیطی و پژوهش‌های جوّی آمریکا (NCEP/NCAR) با قدرت تفکیک ۲/۵ درجه استفاده شد (Kalnay, et al, 1996). همچنین در جهت تعیین منشأ، مسیر و مناطق تحت تأثیر گردوغبار، نقشه‌های ترکیبی چرخندگی (Vorticity) و خطوط جریان باد برای روزهای قبل گردوغبار، گردوغبار، اوج و روز خروج گردوغبار از بیرجند، تهیه و تحلیل شد. در این تحقیق، مدل‌های اسپلیت (Draxler, et al, 1998, 2009) با هدف تعیین منشأ و مسیر حرکت استفاده شد (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۱: ۶۳). روش محاسبه جریان در این مدل به صورت خطوط هم‌فشار، گام زمانی ۶ ساعته و تراز ارتفاعی ۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر و ردیابی مسیر ذرات برای نمونه‌های انتخابی انجام شد. با بررسی خروجی حاصل از مدل، مسیر کلی انتقال تعیین شد. همچنین برای مطالعه جهت کلی جریانات جوّی شکل‌دهنده یا منتقل‌کننده گردوغبار به بیرجند، گلباد روزانه تهیه شد. به منظور اعتبارسنجی و معنی‌داری کانون‌های شناسایی گردوغبار در این مطالعه، مقایسه با محدوده‌های شناسایی شده گردوغبار منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان جنوبی (شکل ۱۲) انجام شد.

نتایج و بحث

توزیع زمانی گردوغبار در بیرجند نشان داد (شکل ۵)، وقوع پدیده گردوغبار دارای نوسانات افزایشی و کاهشی در دوره ۱۹۵۵ تا ۲۰۱۷ است. چنانکه تغییرات زمانی از سال ۱۹۵۵ تا ۱۹۷۳، نوسان زیاد، از سال ۱۹۷۳ تا ۲۰۰۶ دارای نوسان یکنواخت و از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۷، نوسان زیاد است. بیشترین فراوانی وقوع با ۱۴۷، ۱۲۸، ۱۱۴ و ۱۰۴ روز گردوغبار، به ترتیب در سال‌های ۱۹۶۳، ۲۰۰۸، ۱۹۷۱ و ۱۹۶۲ حادث شد. توزیع فصلی رخداد گردوغبار نشان داد، فصل بهار و پاییز، به ترتیب بیشترین و کمترین وقوع گردوغبار را دارند. چنانکه فصل بهار با ۶۰۷ روز و

4- Thermal-infrared dust index

تابستان با ۵۴۸ روز، بیشترین تعداد گردوغبار و پاییز با فراوانی ۹۸ روز، کمترین تعداد گردوغبار را دارد. در مقیاس ماهانه، بیشترین رویداد گردوغبار در ماه جولای (تیر) با ۳۰۳ روز، ماه مارس (اسفند) و ژوئن (خرداد) به ترتیب با ۲۱۶ و ۲۱۴ روز گردوغباری، در رتبه بعدی قرار دارند. همچنین ماه نوامبر (آبان) با ۲۵ روز گردوغباری در طی دوره مطالعه، کمترین رخداد گردوغبار را دارد و پاک ترین ماه به لحاظ گردوغبارها در بیرجند است. در کل رخداد گردوغبار ماهیانه نشان داد، ماه های زمستان و پاییز نسبت به ماه های فصل تابستان و بهار، رخداد پدیده گردوغبار کمتر است؛ بنابراین توزیع زمانی، عمده گردوغبارها در نیمه گرم سال حادث شده و نقش عوامل محلی، منطقه ای، تابش خورشید و خشکی محیط در وقوع این پدیده، در منطقه بیرجند نسبت به نقش عوامل بیرونی مهم تر است.



شکل ۵. تغییرات سالانه، ماهانه و فصلی گردوغبار طی دوره آماری (۱۹۵۵-۲۰۱۷)

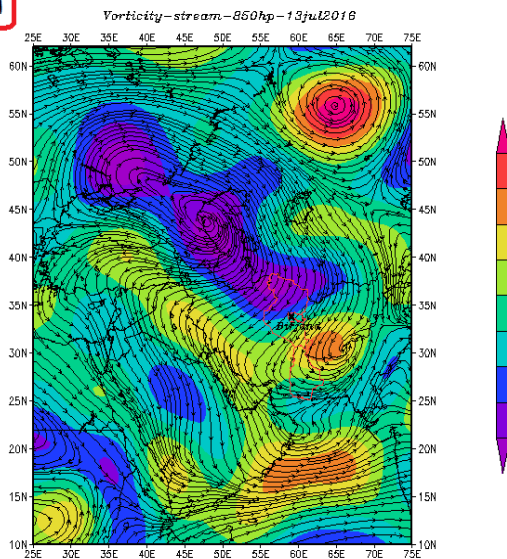
(منبع: نگارنده، ۱۳۹۷)

الگوهای جوّی گردوغبار

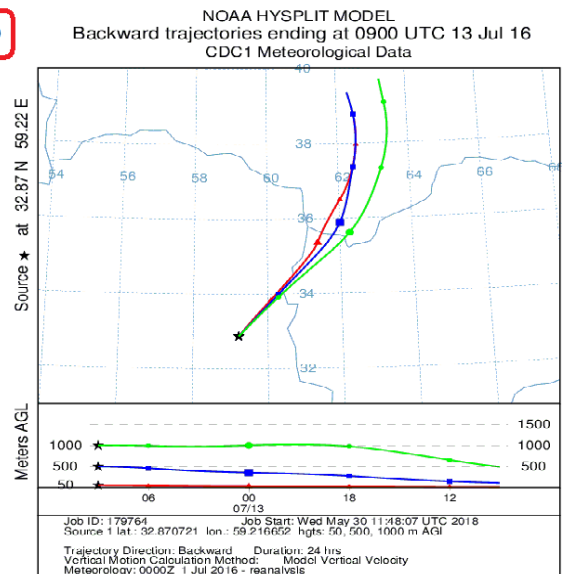
دوره گرم: الگوی جوّی منجر به وقوع پدیده گردوغبار در دوره گرم، نشان می دهد (شکل ۶، الف)، مرکز و اچرخند قوی در شرق اروپا تا غرب دریای خزر استقرار دارد که بخش هایی از شمال ایران، منطقه قفقاز، دریای خزر و ترکمنستان را پوشش می دهد. چرخندگی منفی آن، نشان دهنده نزول و پایداری هوا در این منطقه است که با پرفشار در سطح زمین همراه است. همزمان مرکز چرخندی روی سیبری غرب با چرخندگی منفی و ناپایداری هوا وجود دارد که ویژگی کم فشارهای مهاجر (سیکلون ها) در عرض های میانی را داراست؛ اما چرخند مهم تری در جنوب شرق ایران، پاکستان و دریای عمان مستقر است. این کم فشار (پاکستان) با کم فشار ایران در فصل تابستان ادغام شده و بخش های عمده ای از ایران و خاورمیانه را پوشش می دهد. این شرایط سینوپتیکی (شیب فشار) موجب حرکت هوا از عرض های بالا به جنوب ایران و عمدتاً شرق ایران می شود. این جریانات به بادهای ۱۲۰ روزه سیستان

معروفند که با عبور از مرزهای شرقی ایران و با تأثیرپذیری از ارتفاعات و پستی و بلندی‌ها، از شدت‌های مختلفی برخوردارند. عمدتاً سرعت جریان‌ها در مناطق پست و با نزدیک شدن به کم فشار پاکستان تشدید شده و تبدیل به توفان‌های شن و ماسه می‌شوند؛ بنابراین جریان بادی که از روی بیابان‌های ترکمنستان و افغانستان و خراسان رضوی عبور می‌کند، از جهت شمال شرقی و شرقی وارد شهر بیرجند شده و گردوغبار را به همراه دارد. مسیر گردوغبار نشان می‌دهد (شکل ۶، ب)، با حرکت بسته هوا در طی ۲۴ ساعت در سه ارتفاع ۵۰، ۵۰۰، و ۱۰۰۰ متر بالاتر از سطح شهر بیرجند با گام زمانی ۶ ساعته از فراز بیابان‌های جنوب شرقی ترکمنستان، دشت‌های شمال غربی افغانستان، دشت‌های جنوب شرقی خراسان رضوی و دشت‌های شمال شرقی خراسان جنوبی عبور کرده و همراه با گردوغبار است. بسته‌های ۵۰ متر و ۵۰۰ متر از آغاز حرکت از نزدیکی سطح زمین عبور کرده و ۱۸ ساعت قبل از رسیدن به آسمان شهر بیرجند، بسته‌های ۵۰۰ متر از سطح زمین ارتفاع دارد؛ بنابراین منشأ گردوغبار از بیابان‌های جنوب شرقی ترکمنستان، دشت‌های شمال غربی افغانستان، دشت‌های جنوب شرقی خراسان رضوی و دشت‌های شمال شرقی خراسان جنوبی است. همچنین گلباد شهر بیرجند در این روز نشان می‌دهد (شکل ۶، پ)، گردوغبار ورودی به شهر، از طرف شمال شرق، شرق و جنوب شرق با بادهای با سرعت ۵ متر بر ثانیه می‌وزند. این جهات ورودی گردوغبار با آشکارسازی پدیده گردوغبار (شکل ۶، ت) در ساعت ۹:۵۵ عصر توسط سنجنده اکوا، همخوانی دارد. چنانکه توده گردوغباری با منشأ بیابان‌های آسیای میانه، بیابان‌ها و دشت‌های غرب افغانستان، دشت‌های جنوب شرقی خراسان رضوی، دشت‌های شمال شرقی و شرق خراسان جنوبی جابه‌جا شده و روی تصویر در مرزهای شرقی ایران مشهود بوده و موقعیت بیرجند در شمال چرخند است.

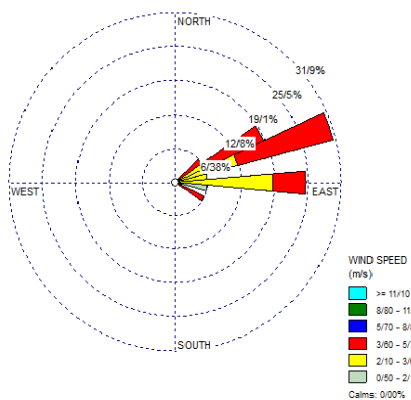
الف



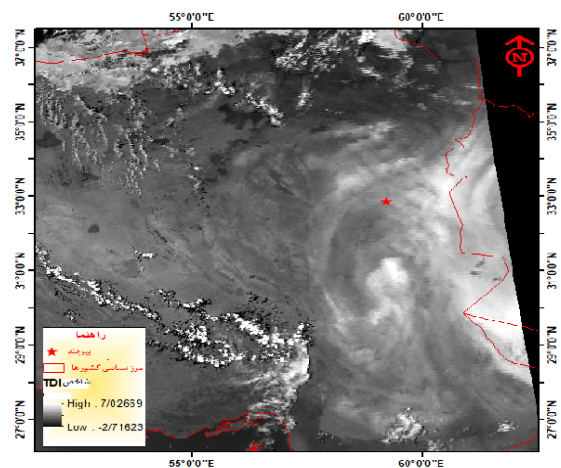
ب



ج

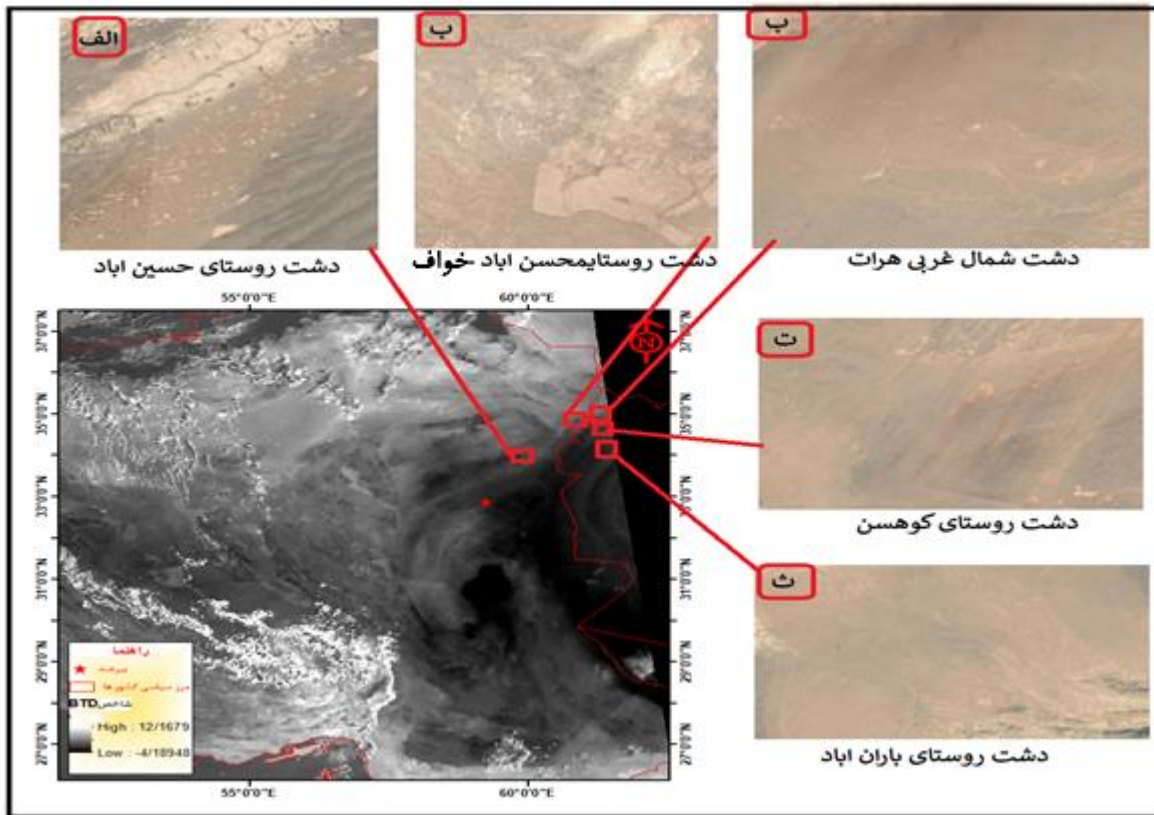


د



شکل ۶. الگوی سینوپتیکی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (الف)، مسیر یابی گردوغبار (ب)، گلباد (پ)، تصویر ماهواره مودیس (ت) در روز ۲۳ تیر ۱۳۹۵ (منبع: نگارنده، ۱۳۹۷)

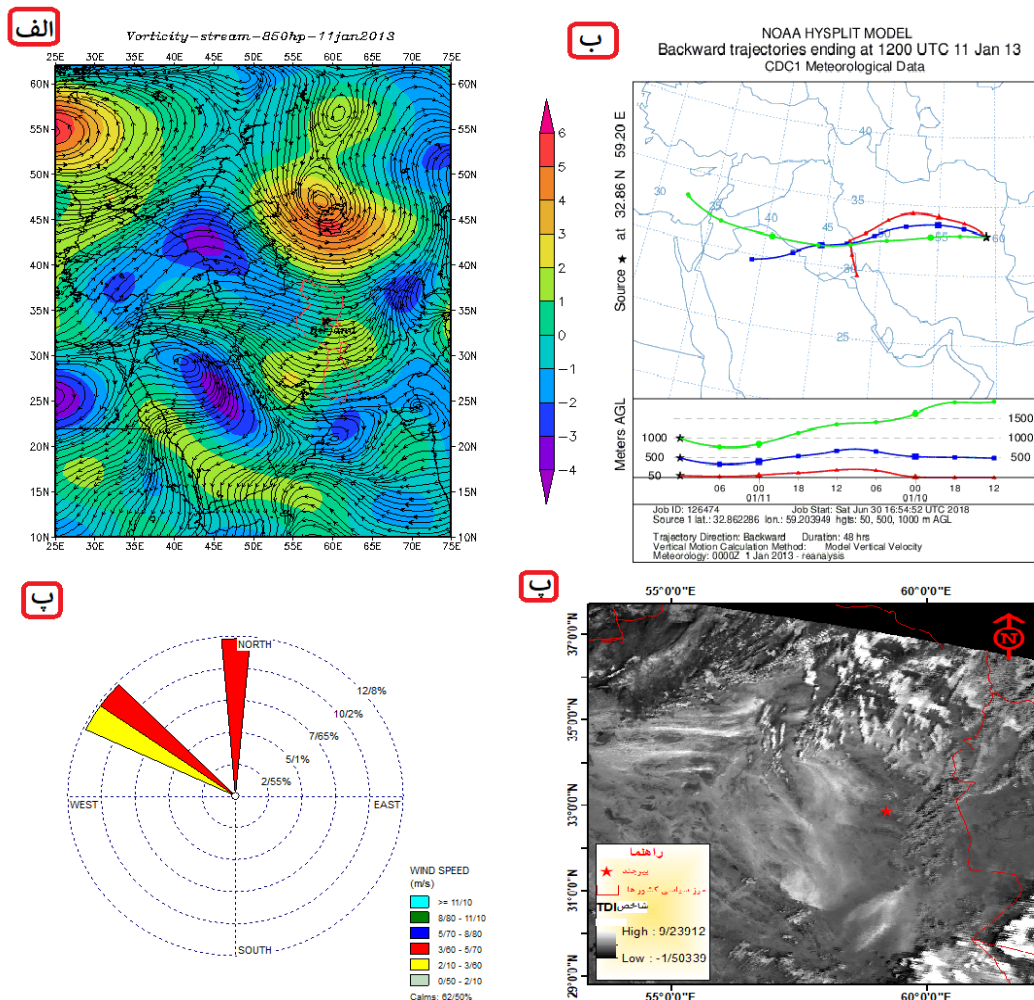
کانون‌های تأثیرگذار بر افزایش ذرات گردوغبار و آلودگی هوای شهر بیرجند نشان داد (شکل ۷)، گردوغبارها از دشت‌های جنوب شرقی ترکمنستان، کشور افغانستان، شهرستان هرات و دشت‌های خراسان رضوی، عمدتاً خشک با فقر پوشش گیاهی، جابه‌جا شده‌اند. این توده‌ها با توجه به موقعیت چرخند، در مسیر حرکت خود از روی دشت‌های خراسان رضوی و دشت‌های شمال شرق و شرق خراسان جنوبی نیز عبور کرده‌اند. به‌طور کلی کانون‌های تأثیرگذار در سه گروه قرار دارند، کانون‌های داخلی استان شامل دشت‌های شاهرخت و دق پترگان، اسفدان، گزیک، درمیان، طبس مسینا، سده و بیرجند، کانون‌های خارج از استان شامل دشت خواف (دشت روستای محسن‌آباد) و دشت زوزن (دشت روستای حسین‌آباد) و کانون‌های خارج از ایران شامل هرات افغانستان (دشت روستای باران‌آباد، دشت روستای کوهسن و دشت شمال غربی هرات) هستند.



شکل ۷- کانون‌های اصلی گردوغبار در روز ۲۳ تیر ۱۳۹۵
(منبع: نگارنده، ۱۳۹۷)

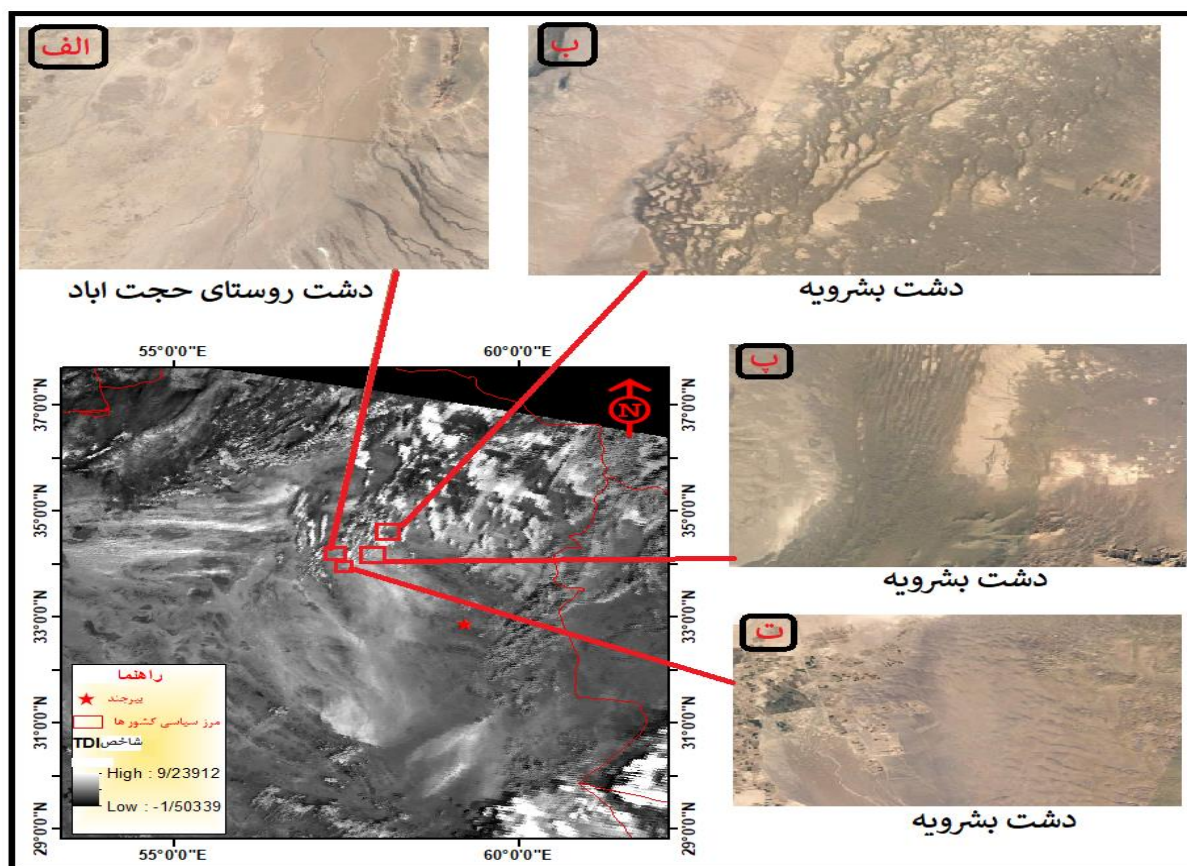
دوره سرد: الگوی جوّی پدیده گردوغبار دوره سرد، نشان داد (شکل ۸، الف)، دو مرکز چرخند روی اروپا و آسیای مرکزی قرار دارد که با چرخندگی منفی و ناپایداری هوا همراه است و نشان‌دهنده سیکلون‌های دینامیک در عرض‌های میانی و عبور آن‌ها از غرب به شرق است. همزمان مراکز پرفشار با حرکت و اچرخندی در عرض‌های جنب حاره روی مصر، عربستان و دریای عمان با چرخندگی مثبت و پایداری و نزول هوا وجود دارند. ایران در حد فاصل این دو سیستم قرار دارد؛ چنانکه بخش‌هایی از شمال ایران با چرخندگی منفی که کانون آن روی قفقاز قرار دارد و همان آنتی‌سیکلون‌های مهاجر و مرتبط با بادهای غربی در این دوره از سال هستند. همزمان هسته مرکزی با چرخندگی مثبت از عراق و غرب ایران تا جنوب و شرق ایران با ناپایداری هوا وجود دارد؛ بنابراین جریان شدید هوا از غرب به شرق و از منطقه مورد مطالعه می‌گذرد. این جریان شدید، ذرات گردوغبار را از بیابان‌های عراق و ایران به همراه دارند؛ بنابراین گردوغبار در منطقه مطالعه از جهت شمال غربی و غربی در این الگو وارد می‌شود، عمدتاً این الگوی جوّی توفان‌ها در فصل زمستان، منطبق بر مسیر حرکت جبهه‌های هوا، در جلو و عقب سیستم جوّی در منطقه گذر تغییر شرایط جوّی (جبهه)، حادث می‌شوند (شکل ۸، ب). بسته‌های هوا در طی ۴۸ ساعت در سه ارتفاع ۵۰، ۵۰۰، و ۱۰۰۰ متر بالاتر از سطح زمین با گام زمانی ۶ ساعته نشان می‌دهد، گردوغبارها از فراز بیابان‌های سوریه، شمال عربستان، عراق و دشت‌های داخلی ایران شامل دشت خوزستان، دشت نمدان، کویر ابرقو، دشت طبس، دشت بشرویه، دشت سه‌قلعه، دیهوک و دشت بیرجند به بیرجند می‌رسند. گلباد روز ۲۲ دی ۱۳۹۱ نشان می‌دهد (شکل ۸، پ)، گردوغبار با بادهای غربی و شمالی با سرعت بیش از ۵ متر بر ثانیه می‌وزند. این جهات ورود

گردوغبار با تصویر آشکارسازی پدیده گردوغبار (شکل ۸، ت) در ساعت ۷:۲۵ همخوانی دارد، به طوری که توده گردوغباری با منشأ عراق، دشت کویر، کویر نمک بجزستان، دشت شرویه، دشت فردوس و دشت سه قلعه است.



شکل ۸- الگوی سینوپتیکی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (الف)، مسیریابی گردوغبار (ب)، گلباد (پ)، تصویر ماهواره مودیس (ت) در روز ۲۲ دی ۱۳۹۱ (منبع: نگارنده، ۱۳۹۷)

کانون‌های تأثیرگذار بر آلودگی هوای شهر بیرجند در روزهای مشابه این نمونه (شکل ۹)، عمدتاً دشت‌های شهرستان طبس و بشرویه و دشت‌های شمال غرب و غرب شهر بیرجند است. عمدتاً کانون‌های تأثیرگذار در داخل استان، دشت‌های دشت بشرویه (دشت روستای حجت‌آباد)، دشت فردوس، دشت سرایان، دشت سه‌قلعه، دشت چاهک موسویه و دشت بیرجند هستند.

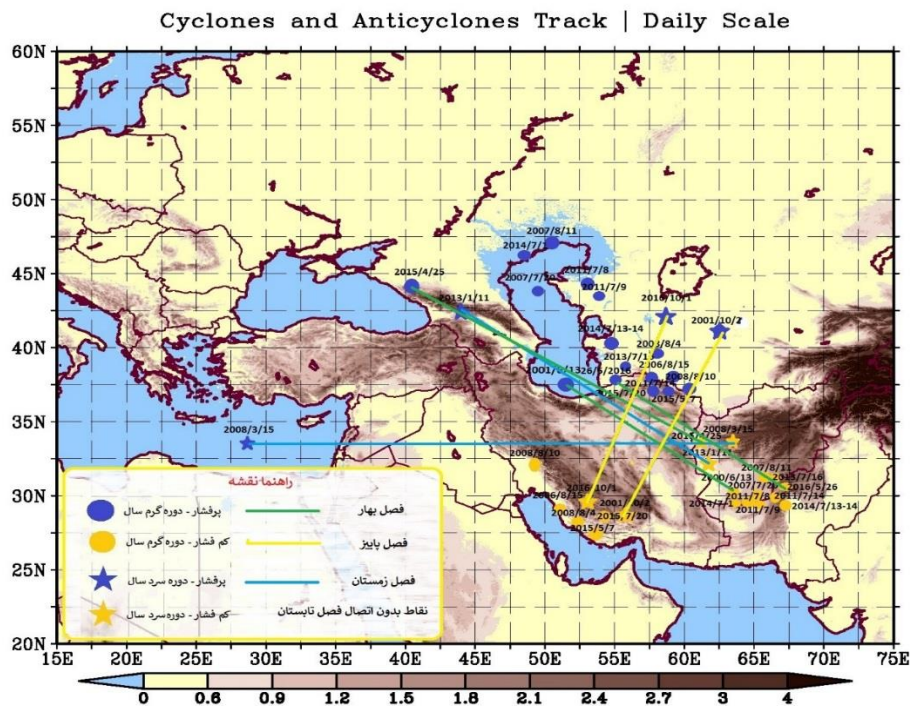


شکل ۹- کانون‌های اصلی گردوغبار در روز ۲۲ دی ۱۳۹۱
(منبع: نگارنده، ۱۳۹۷)

توده‌های هوای مؤثر بر جریان گردوغبار

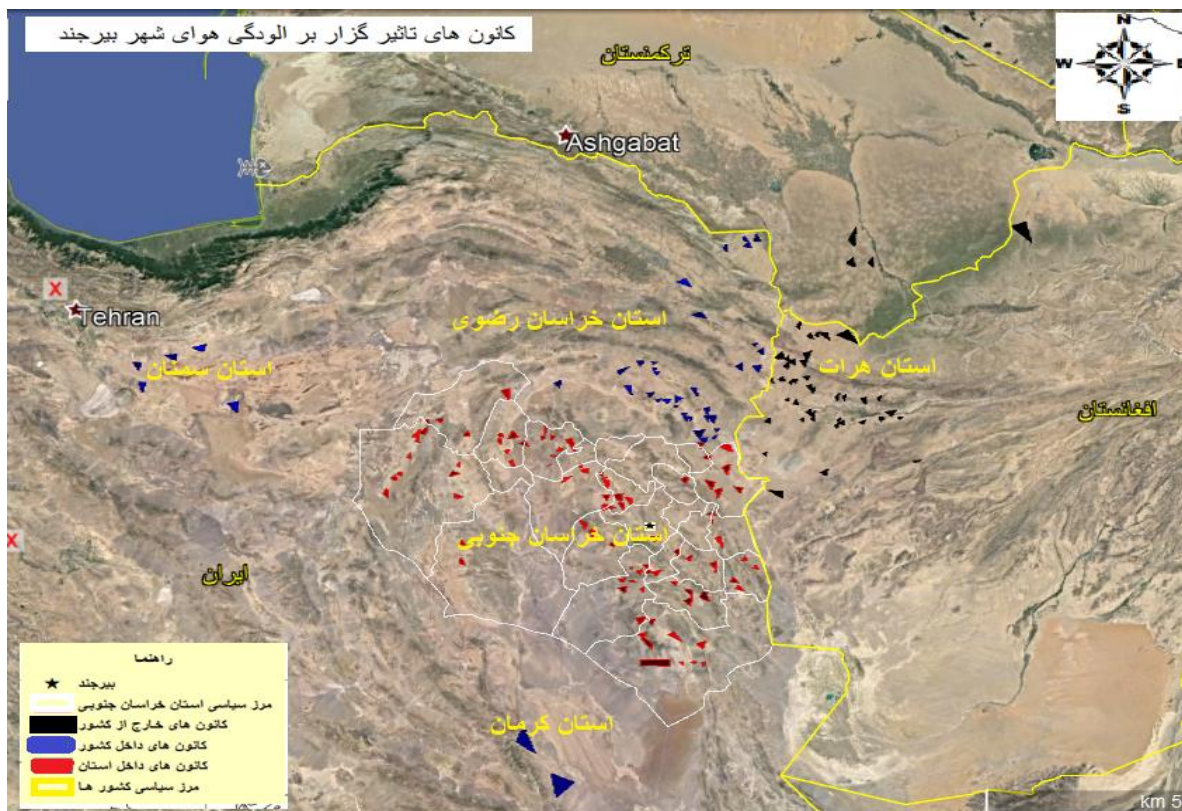
موقعیت جغرافیایی کم‌فشارها و پرفشارها در ۲۱ روز نمونه گردوغبار نشان می‌دهد (شکل ۱۰). شیب فشار مرتبط با موقعیت استقرار این سیستم‌های جوئی، مسیر ورود توده‌های گردوخاک را تعیین می‌کند. گردوغبارها با عبور بادهای شدید در منطقه شیب سرعت در مرز دو سیستم جوئی (چرخند و واچرخند)، از بیابان، دشت، کویر، باتلاق، بستر رودخانه‌های خشک و زمین‌های کشاورزی بایر و بدون پوشش گیاهی شکل می‌گیرد؛ بنابراین موقعیت کم‌فشار در نزدیک منطقه یا عبور جبهه سرد سیکلون یا آنتی سیکلون مهاجر از غرب ایران با عبور از بیابان‌های گرم و بدون پوشش گیاهی، موجب ناپایداری جوئی و انتقال ذرات گردوغبار می‌شوند. در زمان وزش باد ۱۲۰ روزه سیستم در دوره گرم سال (اختلاف فشار پرفشار ترکمنستان و کم‌فشار پاکستان)، از اواخر بهار (خرداد) تا اوایل یا اواسط پاییز (مهر)، این شرایط تشدید می‌شود. با حرکت بادهای مرز شرقی ایران و عبور از پستی و بلندی‌ها، عمدتاً در مناطق پست و کم‌ارتفاع بر سرعت باد افزوده شده و اصطلاحاً تبدیل به جت سطحی شده و گردوغبار را به همراه دارد. شهر بیرجند در مسیر عبور این جریانات قرار دارد. با شروع دوره سرد سال، آرایش سیستم‌های جوئی تغییر دارد و سیستم غالب جوئی در منطقه، پرفشار سبیری در آسیای مرکزی است که عمدتاً از شرق و شمال شرقی به ایران وارد می‌شود. این سیستم جوئی در اواخر تابستان و شروع فصل پاییز با عبور از زمین گرم بیابان‌ها، موجب ناپایداری و حرکت ذرات خاک می‌شود. علاوه بر این، سیکلون‌های مدیترانه‌ای، آنتی سیکلون مهاجر از منطقه قفقاز و دریای

خزر به ایران می‌رسند. مسیر غالب این سیستم‌های جوئی، از غرب، شمال غربی و جنوب غربی است که اغلب از بیابان‌های سوریه، عربستان، عراق و دشت‌ها و بیابان‌های مرکزی ایران و خراسان جنوبی عبور، از شرق ایران می‌گذرند. این جریانات نیز در دوره سرد سال، گاهاً با گردوغبار، اما بخش عمده این جریانات، رطوبت را به شرق منتقل می‌کنند.



شکل ۱۰. نقشه مکان‌گزینی سیکلون‌ها و آنتی‌سیکلون‌های تأثیرگذار در ۲۱ روز گردوغبار (منبع: نگارنده، ۱۳۹۷)

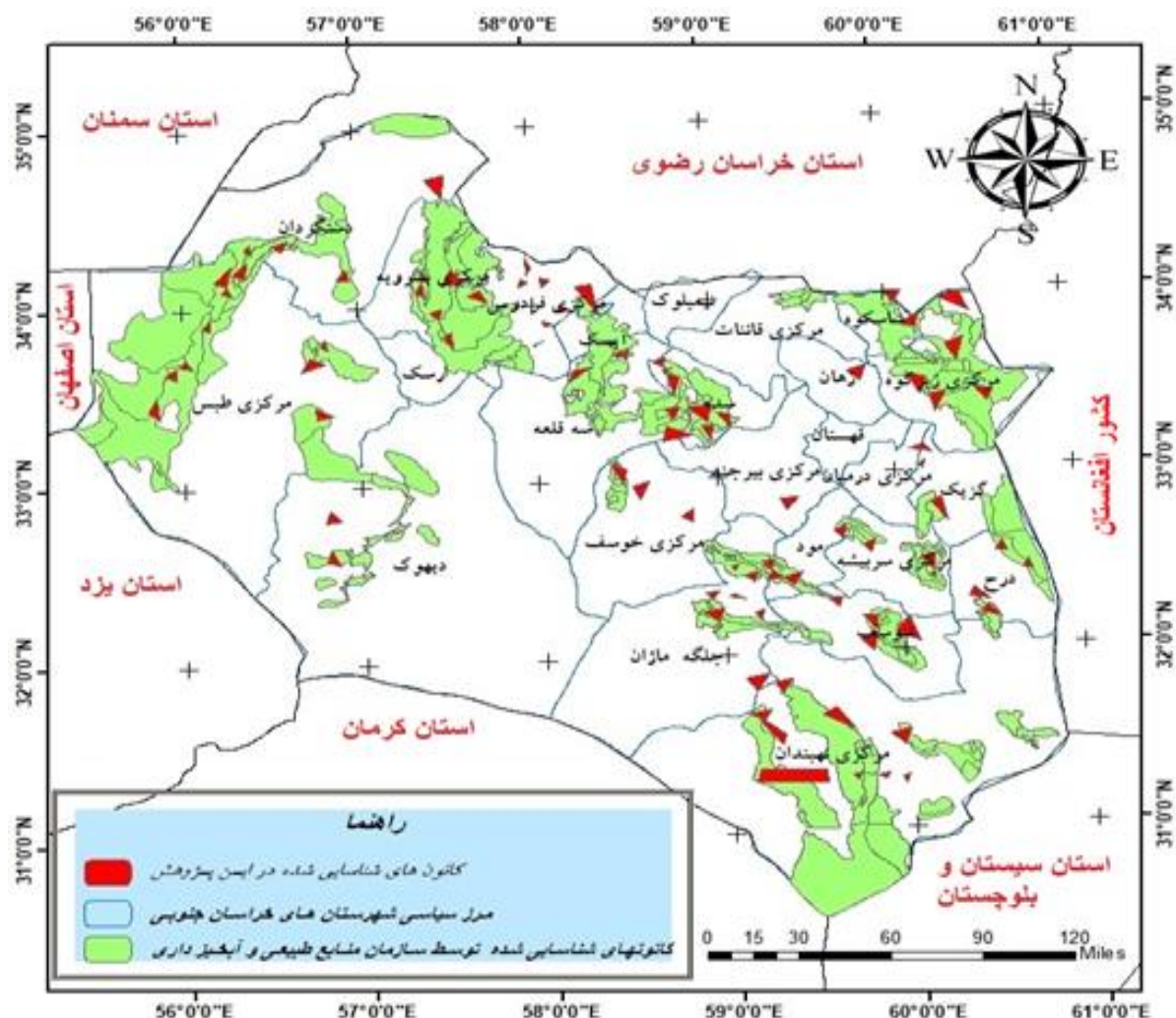
کانون‌های گردوغبار: به‌طور کلی کانون‌های تأثیرگذار (شکل ۱۱) بر آلودگی هوای شهر بیرجند در سه محدوده شامل: کانون‌های بیرونی در دوره گرم سال، بیابان‌های آسیای میانه (ترکمنستان، شمال و جنوب غربی افغانستان)، دشت‌های هرات افغانستان (دشت گوچینک، باران‌آباد، گزان، آسیاب‌آباد، جنوب شرقی، شمال غربی و غرب هرات و حوضه رودخانه شرقی)، اما در دوره سرد سال، بیابان‌های سوریه، عربستان، عراق و سوریه هستند. کانون‌های داخلی در دوره گرم سال، بیابان‌های خراسان رضوی (دشت سرخس، دشت تایباد، نمکزار خواف، دشت زوزن)، و بیابان‌های مرکزی (بیابان گرمسار و کویر سمنان) در دوره سرد سال هستند. کانون‌های محلی و نزدیک در دوره سرد، دشت شاهرخت، دق پترگان، دشت‌های قاین، درمیان، گزیک، اسفدان، سریشه و در دوره سرد سال، دشت فردوس، سرايان، بشرویه، دیهوک، سه‌قلعه و خوسف هستند. گردوغبارها از این مراکز عمدتاً در دوره سرد سال با جریانات هوای سرد ناشی از آنتی‌سیکلون‌های مهاجر، سیکلون‌های میرا و کم‌فشارها به منطقه می‌رسند و در دوره گرم سال عمدتاً با جریان بادهای ۱۲۰ روزه سیستم‌ها از شرق ایران از منطقه می‌گذرند و هوای شهر بیرجند را آلوده می‌کنند.



شکل ۱۱. کانون های گردوغبار در ۲۱ روز نمونه گردوغبار

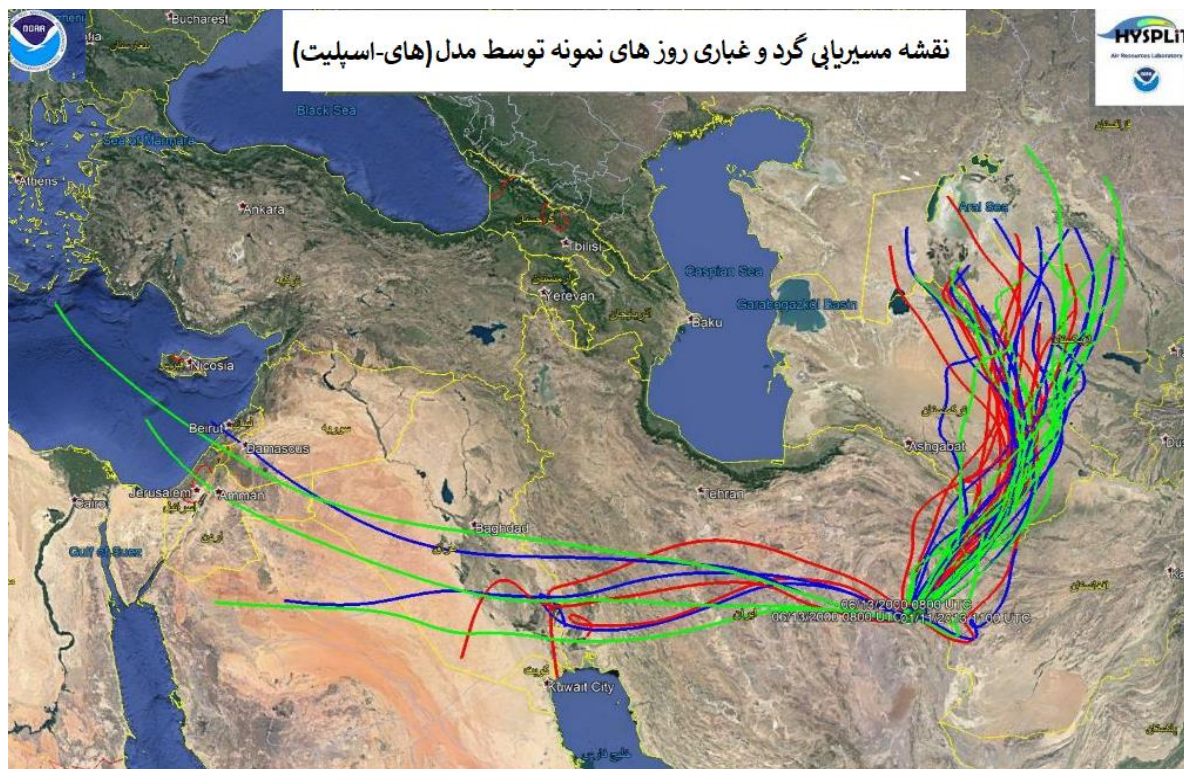
(منبع: نگارنده، ۱۳۹۷)

مقایسه کانون های شناسایی شده با کانون های منابع طبیعی و آبخیزداری (شکل ۱۲)، نشان داد که ۷۲ کانون شناسایی شده در این پژوهش، معنی دار بوده و با کانون های سازمان منابع طبیعی سال ۱۳۸۹ همخوانی دارد و کانون های جدید شناسایی شده نیز صحت مکانی دارد. با توجه به خشکسالی های اخیر، تغییرات اقلیمی و تغییر کاربری اراضی بر خشکی مناطق شرق و محدوده بیابانی افزوده شده و منابع جدید گردوغبار ایجاد شد. چنانکه منابع جدید در نزدیکی بیرجند شامل دشت های بیرجند، زهان، درح، خوسف و دیهوک، منابع تولید گردوغبار جدید هستند. از طرفی دیگر در مرزهای بیرون، سیاست های آبی، کشاورزی و... در ایران و کشورهای همسایه (ترکیه، افغانستان و عراق) به دلیل افزایش جمعیت و پیامدهای تغییر اقلیم، این مهم را دوچندان می کند.



شکل ۱۲. مقایسه کانون‌های گردوغبار، با کانون‌های شناسایی‌شده منابع طبیعی و آبخیزداری (منبع: نگارنده، ۱۳۹۷)

مسیرهای گردوغبار در ۲۱ روز گردوغبار با شرایط همدیدی و تصاویر ماهواره‌ای در نمونه روزهای وقوع پدیده گردوغبار همخوانی دارد (شکل ۱۳). چنانکه مسیر گردوغبار ورودی به شهر بیرجند در بازه زمانی اواخر بهار (خرداد) تا اوایل پاییز (مهر) منطبق بر بادهای ۱۲۰ روزه سیستان از شمال شرقی و شرق است. این جریانات عمدتاً از بیابان‌های آسیای میانه، ترکمنستان و بیابان‌های هرات افغانستان، دشت‌های خراسان رضوی و دشت‌های شمال شرق و شرق داخل استان است. همچنین در دوره سرد سال، از اواسط فصل پاییز تا اوایل فصل بهار، مسیر گردوغبار ورودی به شهر بیرجند از سمت شمال غرب، غرب و از بیابان‌های شمال سوریه، شمال عربستان، عراق، خوزستان و بیابان‌های مرکزی ایران و بیابان‌های داخلی در غرب استان است؛ اما به‌طور کلی، عمده گردوغبارهای ورودی به شهر در دوره گرم سال و از بیابان‌های آسیای مرکزی و شرق ایران و از غرب ایران و در دوره سرد این پدیده کمتر است.



شکل ۱۳. نقشه مسیریابی پدیده گردوغبار در ۲۱ روز نمونه گردوغبار (منبع: نگارنده، ۱۳۹۷)

نتیجه‌گیری

گردوغبار ویژگی عمده اقلیم‌های خشک و نیمه خشک جهان در عرض‌های جنب حاره و از جمله ایران است. این پدیده در بیرجند با اقلیم سرد و خشک یکی از رخداد‌های جوی است، چنانکه بیشینه آن در سال ۱۹۶۳ با ۱۴۸ و کمترین در پاییز حادث می‌شود. در مقیاس ماهانه، جولای (تیر) با ۳۰۳ روز و نوامبر (آبان) با ۲۵ روز، به ترتیب بیشترین و کمترین گردوغبار را دارند. عمده گردوغبار بیرجند در دوره گرم سال و مرتبط با نقش عوامل محلی و منطقه‌ای است. منابع گردوغبار در دو دوره سرد و گرم، مرتبط با سیستم‌های جوی متفاوتند، چنانکه در دوره گرم سال، عمدتاً با وزش باد ۱۲۰ روزه سیستان از اواخر بهار، کانون گردوغبار در شمال تا شرق منطقه مطالعه، بیابان‌های آسیای میانه، ترکمنستان، افغانستان، دشت‌های خراسان رضوی و دشت‌های داخلی استان هستند؛ اما در دوره سرد سال با شروع پاییز، سیستم‌های بزرگ مقیاس جوی (بادهای غربی)، جبهه‌های سیکلون‌ها، آنتی‌سیکلون‌ها و کم‌فشارهای حرارتی مهم‌ترین عامل ناپایداری جوی‌اند. بعضاً این الگوهای جوی با عبور از دشت‌های عراق، سوریه، عربستان، خوزستان، دشت‌های داخلی، کویر مرکزی، دشت و غرب استان از سمت شمال غرب، غرب و جنوب غرب به بیرجند می‌رسند. همچنین در شروع دوره سرد سال (پاییز)، عبور جبهه هوای سرد سیری از بیابان‌های آسیای مرکزی، افغانستان و شرق ایران، خصوصاً در اواخر تابستان و اوایل پاییز، موجب گردوغبار می‌شود؛ بنابراین الگوی جریان جوی گردوغبار بیرجند، جریانات شمالی، شمال شرقی و شرقی از ترکمنستان و شمال شرق ایران و غرب افغانستان (بادهای ۱۲۰ روزه سیستان)، است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۴: ۴۱). این جریانات در سطوح پایین جو

تحت تأثیر ارتفاع و پستی بلندی شرق ایران قرار دارند، چنانکه با عبور از ارتفاعات و ورود به مناطق گود و پست تبدیل به جت سطح پایین شده و با شدت وزش، توفان‌های گردوغبار را در دشت‌های پست، از جمله تربت جام، خواف، گناباد، نهبندان و سیستان موجب می‌شوند. جریان باد در مناطق خشک با پوشش گیاهی فقیر در جنوب خراسان، دشت غربی افغانستان و دق‌های خشک (پترگان)، با حرکت گردوغبارها و انتقال آن به شهرها همراه است (بروغنی و همکاران، ۱۳۹۸). در دوره سرد سال با عبور جبهه‌های سرد از زمین‌های گرم و خشک، این پدیده حادث شده، چنانکه در برخی از سیکلون‌ها فقط جبهه سرد و یا سیکلون‌های میرا شده به منطقه می‌رسند. این جریانات جوئی با خود ذرات معلق و گردوغبار را در جو بالا، بعضاً از دشت‌های خشک غرب ایران، عراق، سوریه یا در داخل از کویر لوت و کویر سه‌قلعه در منطقه به همراه دارند. غالباً با شکل‌گیری همدیدی گردوغبارها در مقیاس بزرگ، بیشتر شهرهای خراسان جنوبی و سیستان و بلوچستان به‌خصوص شهر نهبندان و زابل نیز دچار آلودگی شدید هوای ناشی از ذرات معلق می‌شوند. در راستای تغییر اقلیم، کاهش نزولات جوئی، افزایش دما در ایران و تشدید ناهنجاری‌های اقلیمی و از جمله توفان‌های گردوغبار در اقلیم‌های مشابه شرق ایران، وقوع گردوغبار با منشأ محلی یا غیر محلی از مناطق دور، محتمل است. در راستای کاهش خسارت این پدیده، مدیریت کانون‌های گردوغبار نزدیک به منطقه از جمله هرات افغانستان، خراسان جنوبی، خراسان رضوی در مرتبه اول و در مرتبه بعدی کانون‌های دورتر ضرورت دارد. همزمان برنامه‌سازی و مدیریت گردوغبار براساس دانش بومی اهمیت دارد. در ادامه این تحقیق، مطالعه و شناخت الگوی آینده این پدیده جوئی در ایران بر مبنای سناریوهای مختلف تغییر اقلیم، برای برنامه‌ریزان محیطی مفید است.

منابع

احمدی، زهره؛ دوستان، رضا؛ مفیدی، عباس. (۱۳۹۴). تحلیل همدیدی گردوغبار نیمه گرم سال در استان خراسان جنوبی، مجله جغرافیای طبیعی، دوره هشتم، شماره ۲۹، صص ۴۱-۶۱.

https://jopg.larestan.iau.ir/article_521375_00a94523dee0264b209b5367a15da0d3.pdf

امیدوار، کمال. (۱۳۹۲). مخاطرات طبیعی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه یزد.

بروغنی، مهدی؛ سیما پوره‌اشمی؛ زارعی، مهدی؛ علی‌آبادی، کاظم. (۱۳۹۸). مدل‌سازی مکانی حساسیت کانون‌های گردوغبار و انتشار آن در شرق ایران با استفاده از درخت رگرسیون تقویت شده BRT، مجله مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره نهم، شماره ۳۵، صص ۱۴-۲۸.

<http://journals.hsu.ac.ir/jarhs/article-1-1451-fa.pdf>

باقرآبادی، رسول؛ معین‌الدینی، مظاهر. (۱۴۰۰). منشاء یابی جهتی طوفان‌های گردوغبار شهر کرج، مجله پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، دوره دوازدهم، شماره ۴۷، صص ۱۴۳-۱۵۷.

http://clima.irimo.ir/article_142697_75e0e78a71f793b7ce0655a250183c5b.pdf

بنی‌واهب، علیرضا؛ علیجانی، بهلول. (۱۳۸۴). بررسی خشکسالی، ترسالی و پیش‌بینی تغییرات اقلیم منطقه بیرجند با استفاده از مدل‌های آماری، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، دوره سی و هفتم، شماره ۵۲، صص ۳۳-۴۶.

https://jrg.ut.ac.ir/article_10032_44741ac3ef36c4a8fb2c459d1f5c3c6a.pdf

پاشائی، زهرا؛ محمدی، غلام‌حسن. (۱۳۹۴). مدل‌سازی مسیرهای انتشار ریزگردها به کلان‌شهر تبریز، اولین کنگره بین‌المللی زمین، فضا و انرژی پاک، ۱۳ آبان ماه، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.

<https://civilica.com/doc/456435/>

حمیدی، مهدی. (۱۳۹۲). مدل سازی انتقال گرد و غبار (مطالعه موردی مرزهای غرب کشور). رساله دکتری مهندسی عمران-آب. راهنما دکتر محمدرضا کاویانپور، دانشکده عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران.

خورشید دوست، محمد؛ اسدی، مهدی؛ حاجی محمدی، حسن. (۱۳۹۸). بررسی سازوکار جوی حاکم بر رخداد روزهای توأم با گرد و غبار شهر تبریز و ردیابی آن با استفاده از مدل HYSPLIT و تصویر سنجنده مودیس، مجله فضای جغرافیایی، دوره نوزدهم، شماره ۶۵، صص ۵۷-۷۰.

<https://www.magiran.com/paper/1989493>

درگاهیان، فاطمه؛ لطفی نسب اصل، سکینه؛ خسروشاهی، محمد؛ گوهر دوست، آزاده. (۱۳۹۶). تعیین سهم منابع داخلی و خارجی گرد و غبار در خوزستان، مجله طبیعت ایران، دوره دوم، شماره ۵، صص ۳۶-۴۱.

https://irannature.areeo.ac.ir/article_113621_4eb41f9afc1c3fba40c34375cb909ef7.pdf

دنیایی، امین؛ پور خباز، علیرضا. (۱۳۹۶). بررسی غلظت فلزات سنگین Zn، Cu، Pb و As در گردوغبارهای شهر بیرجند، چهارمین کنفرانس بین المللی برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست، ۲ خرداد، دانشگاه تهران، تهران.

<https://civilica.com/doc/589394/>

درگاهی، عبدالله؛ دهقان زاده، رضا؛ فهیمی نیا، وحیده؛ جباری، یحیی؛ عزیزی، فرناز. (۱۳۹۵). بررسی تغییرات کیفیت هوای تبریز از نظر غلظت آلاینده PM10 با تاکید بر شاخص AQI و ارتباط آن با روند کاهش سطح آب دریاچه ارومیه در سال های ۱۳۸۷-۱۳۹۰. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره هجده، شماره ۲، صص ۵۵-۶۲.

https://jest.srbiau.ac.ir/article_9801_f72bad7f03179f7f9488be87920493b8.pdf

شفاعت نظر لو، عظیمه؛ رضایی، علی؛ سلطانی، مجید. (۱۳۹۲). بررسی منشأ گرد و غبار منطقه شمال غرب ایران با استفاده از ویژگی طیفی سنجنده MODIS (مطالعه موردی روز ۱۳ آوریل ۲۰۱۱)، دومین کنفرانس بین المللی مخاطرات محیطی، ۷ آبان، دانشگاه خوارزمی، تهران.

<https://civilica.com/doc/307509/>

عابدینی، یوسفعلی؛ یاری مطوری، مهدی؛ جوانمرد، سهیلا. (۱۳۹۴). تخمین غلظت گرد و غبار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، اولین کنفرانس بین المللی گرد و غبار، ۱۲-۱۴ اسفند، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز.

<https://civilica.com/doc/539664/>

عزیزی، قاسم؛ میری، مرتضی؛ نبوی، سیدامید. (۱۳۹۱). ردیابی پدیده گرد و غبار در نیمه غربی ایران. مجله مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره دوم، شماره ۷، صص ۶۳-۸۱.

<http://journals.hsu.ac.ir/jarhs/article-1-220-fa.pdf>

غفاری، دیمین؛ مصطفی زاده، رئوف. (۱۳۹۴). بررسی منشاء اثرات و راهکار های پدیده گر و غبار در ایران، مجله حفاظت و بهره برداری از منابع طبیعی، دوره چهارم، شماره ۲، صص ۱۰۷-۱۲۵.

https://ejang.gau.ac.ir/article_2799_2c9a11c0e584b22d7b9378e1964fbde9.pdf

فلاح ززولی، محمد؛ وفایی نژاد، علیرضا؛ خیرخواه زرکش، میرمسعود؛ احمدی دهکاء، فریبرز. (۱۳۹۳). پایش و تحلیل سینوپتیکی پدیده گرد و غبار با استفاده از سنجش از دور و GIS (مطالعه موردی: گرد و غبار ۱۸ ژوئن ۲۰۱۲)، مجله اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۲۳، شماره ۹۱، صص ۶۹-۸۰.

http://www.sepehr.org/article_12863_62b8d75208d7df444ac36a80f2978761.pdf

محمدی مرادیان، جمیله؛ حسین زاده، سید رضا (۱۳۹۴). پایش ماهواره ای و تحلیل همدید پدیده ی گرد و غبار در کلان شهر مشهد طی دوره اماری ۲۰۰۹-۲۰۱۳، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره چهارم، شماره ۱۴، صص ۳۵-۵۷.

https://geoeh.um.ac.ir/article_28596_32089d4b0328b11a251b444ff99358ff.pdf

محمدی، فهیمه؛ کمالی، سمیه؛ اسکندری، مریم (۱۳۹۴). ردیابی منابع گرد و غبار در سطوح مختلف جو تهران با استفاده از مدل های-اسپلیت، مجله جغرافیا و مخاطرات طبیعی، دوره چهارم، شماره ۱۶، صص ۳۹-۵۴.

https://geoeh.um.ac.ir/article_29090_0a4e1deaa29670ed9d7a28d13dfddd5.pdf

محمودی کندر، موسی؛ عطایی، هوشمند (۱۳۹۵). بررسی منشأ و علل گردوغبار شهر بوشهر، چهارمین کنفرانس بین المللی ایده های نوین در کشاورزی، محیط زیست و گردشگری، ۲۹ آذر، اردبیل.

<https://civilica.com/doc/627391/>

Reference

Draxler R., & Hess, G.D. (1998). An overview of the HYSPLIT_4 modeling system for trajectories, dispersion and deposition. *Aust Meteorol Mag*, 47,295-308.

<https://www.arl.noaa.gov/documents/reports/MetMag.pdf>

Draxler, R., Stunder, B., Rolph, G., Stein, A., & Taylor, A. (2009). Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated. United States: NOAA. <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/31300>

Givehchi, R., Arhami, M., & Tajrishy, M. (2013). Contribution of the Middle Eastern dust source areas to PM10 levels in urban receptors: Case study of Tehran, Iran. *Atmospheric Environment*, 75, 287-295.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231013002938>

Kim, J. (2008). Transport routes and source regions of Asian dust observed in Korea during the past 40 years (1965-2004). *Atmospheric environment*, 42(19), 4778-4789.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231008000915>

Kalnay, E., et al. (1996). the NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77,437-471.

https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/77/3/1520-0477_1996_077_0437_tnyrp_2_0_co_2.xml?tab_body=pdf

Shao, Y., & Dong, C.H. (2006). A review on East Asian dust storm climate, modeling and monitoring. *Global and planetary change*, 52(1-4), 1-22.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921818106000324>