Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

Detection and simulation of Kermanshah dust storm using HYSPLIT and WRF-chem models

Tooba Alizadeh [1] | Majid Rezaei Banafsheh [2]✉ | Hashem Rostamzadeh [3]
Gholamreza Goodarzi[4] | Hedar Maleki[5] | Hamzeh Alizadeh[6]

1. PhD student in Meteorology, Department of Meteorology, School of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. **E-mail: alizadehtoba@yahoo.com**
2. Corresponding author, Professor of Meteorology, Department of Meteorology, School of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. ✉ **E-mail: mrbanafsheh@yahoo.com**
3. Assistant Professor of Meteorology, Department of Meteorology, School of Planning and Environmental Sciences,University of Tabriz, Tabriz, Iran. **E-mail: hrostamzadeh@gmail.com**
4. Assistant Professor , Air Pollution and Respiratory Diseases Research Center, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran. **E-mail: rgoodarzy@gmail.com**
5. Environmental Engineering, School of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. **E-mail: heydarmaleki@gmail.com**
6. Master student of Meteorology, Faculty of Geography, Kharazmi University, Tehran, Iran. **E-mail: Hamzeh.alizadeh72@gmail.com**

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received
2020/07/10
Received in revised
2020/11/10
Accepted
2020/11/30
Published
2020/12/04
Published online
2023/10/01

Keywords:
Dust, Synoptic system, HYSPLIT model, WRF-chem, Kermanshah City.

ABSTRACT

The aim of this study is to identify the epicenter and co-occurrence factors of the dust storm wave from 1 to 3 November 2017 in Kermanshah. To investigate the synoptic conditions causing this phenomenon, data from the European Central Center Mid-term Weather Forecast (ECMWF) data set with a resolution of 0.125 degrees of arc, including geopotential height, omega, sea level pressure, orbital and meridional components, and humidity, were used. The Varangian method of the HYSPLIT model was used to determine the source of dust particles. In this study, the dust storm WRF-chem was simulated using a paired numerical weather forecasting model. Finally, the scope of the dust storm was determined through the processing of MODIS satellite images. Examination of HYSPLIT tracking maps shows that two general paths for dust transfer to the area can be identified: 1) the northwest-southeast route, which passes through dust cores formed in the deserts of Iraq and Syria, transporting dust to the western half of Iran; 2) the southwest to west of Iran and Kermanshah, which is the main source of dust on November 2 and 3. The source of the particles is Kuwait, northern Saudi Arabia, and part of Iraq. The spatial distribution of the dust, interpreted by the MODIS sensor images, is consistent with the spatial distribution of the dust concentration simulated by the WRF-chem model.

Cite this article: Alizadeh, Tooba., Rezaei Banafsheh, Majid., Rostamzadeh, Hashem., Goodarzi, Gholamreza., Maleki, Heidar & Alizadeh, Hamzeh. (2024). Detection and simulation of Kermanshah dust storm using HYSPLIT and WRF-chem models. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 74 (24), 134-153. DOI: http//doi.org/10.61186/jgs.24.74.8

© The Author(s). Publisher: Kharazmi University.
DOI: http//doi.org/10.61186/jgs.24.74.8

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.202.5]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.8]

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

Extended Abstract

Introduction

Dust storms typically occur in temperate, tropical, and subtropical dry and semi-arid regions with an annual rainfall of 200 to 300 millimeters. In this regard, dust-laden air masses are the main distributors in the formation of air masses worldwide and are a factor affecting the degree of horizontal visibility. Dust storms, as one of the most important forms of air pollution, have been the focus of attention for foreign and domestic researchers from various perspectives, and numerous studies have been conducted in this field. The Middle East is one of the largest sources of dust emissions in the world. The location of Iran in the warm and dry region of the globe and its proximity to the subtropical deserts of Iraq, Syria, and Saudi Arabia leads to the constant risk of dust storms in the western half of Iran.

Methods and Material

To identify areas prone to dust storms and their movement paths, which play a key role in zoning areas with low visibility, satellite image data is used during the occurrence of this phenomenon. However, one of the most widely used models for studying and determining the main sources, emission, and transfer of dust is the HYSPLIT model. This model is used by the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). This model is a coupled system designed to calculate and simulate the emission, movement, and deposition of atmospheric aerosols, especially dust particles. The WRF model (weather research and forecasting) is a model for numerical weather prediction and atmospheric simulation that is designed for research and operational applications. The development and expansion of this model has become a collaborative effort to create a mesoscale forecasting model and also to create a data assimilation system to improve the understanding and forecasting of weather conditions and to accelerate research progress. The WRF-VAR data assimilation system can take into account various observational data in the pursuit of optimal initial conditions, while WRF-CHEM enables air chemistry modeling (related to physical meteorology and pollution). The scope of application of this model is very wide and covers a range of several meters to thousands of kilometers. To explain the causes of the occurrence and track the source of the dust storm wave in the city of Kermanshah, the three-day period from October 10 to 12, 2017 (November 1 to 3, 2017) was studied. In this study, particles at three levels of 200, 1000, and 1500 meters above ground level were tracked within the time interval of 6 to 48 hours before the occurrence of dust. FNL data was used to run the model. Using the above data and drawing maps of synoptic systems and wind patterns using the GRADS software, the wind patterns and synoptic systems effective in transporting dust to the west of the country were redefined. The maximum PM10 concentration on the day of the dust storm was identified as the main dust peak.

Results and Discussion

Based on the results of the analysis of synoptic maps, the main factor in the formation of the dust storm wave during the period from November 1 to 3, 2017 in the city of Kermanshah was, in addition to the instability caused by the surface thermal lows, the movements of the Saudi high that caused convergence of currents to the west. The establishment of a low-

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.202.5]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.8]

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

pressure cut in the middle levels of the atmosphere is clearly evident in this event, so that despite the instability in the middle level of the atmosphere, the lack of sufficient moisture in the systems transferred to the west of the country, the passage of currents from the deserts of Iraq and Syria, the lack of sufficient moisture both on the surface and in the depth of the soil in the country and in neighboring countries has led to the formation of a dust source and its transfer to the study area. The examination of the particle path shows that these particles were first transferred to higher levels by the low-pressure systems stationed in the region. The soil moisture map also indicates a severe lack of moisture up to a depth of 10 centimeters of soil, which, simultaneously with the passage of unstable systems and western currents over the areas, the particles under the soil can easily be separated from the ground and transferred to the study area. In this study, it was clearly shown that the use of the WRF-chem model is a suitable technique for simulating dust storms and, in terms of scale and temporal changes, provides a logical estimate of dust in the study area. By simulating dust storms caused by western winds using the WRF-chem model, it showed that the main source of dust is located in the areas located in the western and central deserts of Iraq, Syria, Kuwait, and northern Saudi Arabia. By using the output of the WRF-chem model and MODIS satellite images, it is possible to predict dust storms and the path of particle movement, and timely warnings and alerts can be given about taking the necessary decisions to reduce the damage of this phenomenon. This study provides valuable insights into the causes and mechanisms of dust storms in the western half of Iran. The results of this study suggest that a combination of factors, including synoptic systems, wind patterns, and land-use practices, contribute to the formation of dust storms in this region. The use of models such as WRF-chem can be used to improve our understanding of dust storms and to develop more effective strategies for mitigating their impacts.

Conclusion

In this study, in addition to the aforementioned cases, the role of the deserts of Saudi Arabia and Kuwait in the emission of dust to the study areas is also significant. Although these issues have been proven many times in various studies, such a situation requires efforts to solve this problem at a transregional level, not just at the level of Iran. The vastness of the region's vast deserts, the growing desertification, the ongoing droughts, and the role of human factors in mismanagement have turned dust events in the west and southwest of Iran into an uncontrollable environmental crisis.

Keywords: Dust, Synoptic system, HYSPLIT model, WRF-chem, Kermanshah City.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.202.5]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.8]

نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی
شاپا چاپی: ۷۷۳۶-۲۲۲۸ شاپا الکترونیکی: ۵۱۳۸-۲۵۸۸
https://jgs.khu.ac.ir/

ردیابی و شبیه‌سازی توفان گردوغبار شهر کرمانشاه با استفاده از مدل‌های HYSPLIT و WRF-chem

طوبی علیزاده[۱]، مجید رضایی بنفشه[۲]✉، هاشم رستم زاده[۳]، غلامرضا گودرزی[۴]، حیدر ملکی[۵]، حمزه علیزاده[۶]

۱. دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی، گروه آب‌وهواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم طبیعی ، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: alizadehtoba@yahoo.com

۲. نویسنده مسئول، استاد آب‌وهواشناسی، گروه آب‌وهواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: mrbanafsheh@yahoo.com

۳. استادیار آب‌وهواشناسی، گروه آب‌وهواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: hrostamzadeh@gmail.com

۴. دانشیار مهندسی بهداشت و محیط، مرکز تحقیقات آلودگی هوا و بیماری‌های تنفسی، گروه مهندسی بهداشت و محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: rgoodarzy@gmail.com

۵. کارشناس‌ارشد مهندسی محیط، دانشکده علوم آب مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: heydarmaleki@gmail.com

۶. دانشجوی کارشناسی‌ارشد آب‌وهواشناسی، گروه آب‌وهواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: Hamzeh.alizadeh72@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۰۴/۲۰
تاریخ بازنگری:
۱۳۹۹/۰۸/۲۰
تاریخ پذیرش:
۱۳۹۹/۰۹/۱۰
تاریخ انتشار:
۱۳۹۹/۰۹/۱۴
تاریخ انتشار آنلاین:
۱۴۰۲/۸/۰۱
کلیدواژه‌ها:
گردوغبار،
سامانه همدید،
مدل HYSPLIT،
مدل WRF-chem،
کرمانشاه.

چکیده

این تحقیق با هدف شناسایی کانون و عوامل همدید موج توفان گردوغبار ۱ تا ۳ نوامبر ۲۰۱۷ در شهر کرمانشاه انجام گرفت. جهت بررسی شرایط همدیدی علل وقوع این پدیده، از مجموعه داده‌های پیش‌بینی میان‌مدت جوی مرکز اروپایی (ESMWF) با قدرت تفکیک ۰/۱۲۵ درجه قوسی شامل، ارتفاع ژئوپتانسیل، امگا، فشار تراز دریا، مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری، رطوبت ویژه ، رطوبت خاک تا عمق ۱۰ سانتی‌متری و عمق اُپتیکی گردوغبار استفاده گردید. جهت مسیریابی منشأ ذرات گردوغبار از روش لاگرانژی مدل HYSPLIT مورداستفاده شد. همچنین با استفاده از مدل جفت شده پیش‌بینی عددی وضع هوا WRF-chem توفان گردوغبار شبیه‌سازی شد؛ و در نهایت از طریق پردازش تصاویر ماهواره‌ای MODIS قلمرو گسترش آن مشخص شد. بررسی نقشه‌های ردیابی HYSPLIT نشان می‌دهد که دو مسیر کلی برای انتقال گردوغبار به منطقه قابل‌تشخیص است: ۱- مسیر شمال غرب- جنوب شرقی که با عبور از روی هسته‌های گردوغبار شکل‌گرفته در بیابان‌های عراق و سوریه عمل انتقال گردوغبار به نیمه غربی ایران را انجام می‌دهد. ۲- مسیر جنوب غرب به غرب ایران و شهر کرمانشاه که سرچشمه اصلی گردوغبار در روز ۲ و ۳ نوامبر بوده و منبع ذرات کویت، شمال عربستان و بخشی از عراق می‌باشد. توزیع مکانی گردوغبار تفسیر شده توسط تصاویر سنجنده MODIS با توزیع مکانی غلظت گردوغبار شبیه‌سازی‌شده توسط مدل WRF-chem انطباق دارد.

استناد: علیزاده، طوبی؛ رضایی بنفشه، مجید؛ ملکی، حیدر؛ حمزه، علیزاده؛ رستم زاده، هاشم؛ و گودرزی، غلامرضا (۱۴۰۳). ردیابی و شبیه‌سازی توفان گردوغبار شهر کرمانشاه با استفاده از مدل‌های HYSPLIT و WRF-chem. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی* ، ۷۴ (۲۴)، ۱۵۳-۱۳۴. http//doi.org/10.61186/jgs.24.74.8

ناشر: دانشگاه خوارزمی تهران.

© نویسندگان.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.202.5]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.8]

مقدمه

توفان‌های گردوغبار معمولاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک عرض‌های معتدله، حاره‌ای و جنب‌حاره‌ای که بارش سالانه ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر دارند رخ می‌دهد (ایندویتو،۶۳:۲۰۱۲)[1]. در این رابطه، هواویزهای گردوغباری خاک، توزیع‌کننده اصلی در تشکیل هواویزهای جوی جهان بوده و عاملی مؤثر در میزان دید افقی است (جیاوی، ۲۰۱۱: ۳۹۵۵)[2]. رخداد یک گردوغبار در منطقه زایش آن، زمانی آغاز می‌شود که سرعت باد سطحی از یک حد بحرانی تجاوز کند که در اثر آن، ذرات برخاسته از سطح زمین می‌توانند در مقیاس محلی تا جهانی انتقال یابند (هان: ۲۰۰۴ و گانگ: ۲۰۰۳)[3]، برخلاف فرسایش باد که در مقیاس محلی عمل می‌کند توفان گردوخاک قابلیت انتقال در سطح یک قاره و حتی فراتر از آن را دارد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک که ذرات ریز و آزاد پوشش سطحی را تشکیل می‌دهند و دوره‌های خشک در اثر خشک‌سالی مداوم حاکم است فرسایش بادی سبب افزایش توفان‌های گردوغبار می‌شود (ایندیتو، ۲۰۱۲: ۶۳). توفان‌های گردوغبار از پدیده‌های مخرب اقلیمی بر روی نقشه‌های سینوپتیکی بوده که متأثر از عناصر اقلیمی فشار، ابرناکی، بارندگی، رطوبت نسبی، باد، دما و تبخیر است (لشکری و کیخسروی، ۱۳۸۷: ۱۹)؛ که همه‌ساله خسارات جبران‌ناپذیری به سلامتی انسان، مزارع، تأسیسات عمران و صنعتی، خطوط مواصلاتی و مراکز جمعیتی وارد می‌کند؛ اما در صورت شناخت منشأ، سازوکار تکوین، نحوه گسترش و ارتباط آن با الگوهای گردش اتمسفری، می‌توان تا حدودی از آسیب‌های آن کاست و یا با آن مقابله نمود (شائو و دانگ، ۲۰۰۶: ۲)[4].

توفان‌های گردوغبار به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اشکال آلودگی جوی از زوایای مختلف موردتوجه محققین خارجی و داخلی قرارگرفته و مطالعات متعددی در این زمینه انجام‌شده است. (دراکسلر، ۲۰۰۱)[5] ، در تحقیقی برای برآورد غلظت PM_{10} هوا از توفان‌های گردوغبار در عراق، عربستان و کویت با استفاده از مدل عددی HYSPLIT دریافتند که نتایج مدل در پیش‌بینی مسیرها و تعداد رویدادهای گردوغبار برای کویت از صحت بالایی برخوردار است هرچند نتایج حاصل از مدل در مناطق ساحلی با نتایج حاصل از دیده‌بانی مطابقت ندارد و برآورد مدل بیشتر بوده است که علت آن را نسیم دریا و درون آمیختگی حاصل از آن و شبکه‌بندی بزرگ‌مقیاس مورداستفاده در مدل تشخیص داده‌اند. در مطالعه دیگر (هسو، ۲۰۱۳)[6] ، به بررسی قابلیت‌های الگوریتم دیپ-بلو[7] برای شناسایی پدیده گردوغبار پرداختند. آن‌ها بعد از بررسی زیادی در مناطق صحرا در شمال آفریقا و مناطق نیمه‌خشک خاورمیانه و آفریقا دریافتند که این الگوریتم انعطاف‌پذیری بالایی دارد و انتخاب عمق نوری مناسب می‌تواند برای آشکارسازی پدیده گردوغبار در مناطق خشک و نیمه‌خشک کاربرد بهتری داشته باشد.(والدهوسروا، ۲۰۱۶)[8] ، با استفاده از شبیه‌سازی عددی به بررسی مقدار گردوغبار طی دو توفان در جنوب غربی ایسلند که هرکدام حاوی ۱۸۰۰۰۰ تن و ۲۸۰۰۰۰ تن ذرات گرد غبار بودند، پرداخته و دریافتند که مقدار گردوغبار آتش‌فشانی در ایسلند بیشتر از ذرات زیر میکرون است و توفان مناطق نسبتاً پرجمعیت ایسلند رخ داده است. (گودرزی، ۲۰۱۸)، به مطالعه و بررسی تشکیل و انتشار توفان گردوغبار با استفاده از نرم‌افزار HYSPLIT و تصاویر ماهواره‌ای مودیس در تاریخ ۷-۸ ژانویه ۲۰۱۳ در شهر اهواز پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که جریانات (باد شمال) با جهت شمال غرب- غرب و جنوب غرب باعث انتقال حجم انبوهی گردوغبار از بیابان‌های کویت، عراق، سوریه و عربستان به سمت جنوب غرب ایران و شهر اهواز شده است که غلظت PM_{10} به بیشترین میزان غلظت در ماه ژانویه رسیده است. (رضایی بنفشه و همکاران ،۱۳۹۱) میزان گردوغبار استان کردستان را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برآورد کرده‌اند. نتایج نشان داده است که میزان گردوغبار متوسط به‌طورکلی روندی کاهشی و گردوغبار ضعیف و شدید روند افزایشی داشته‌اند به‌طوری‌که میزان گردوغبار شدید بیشترین روند افزایشی را به خود اختصاص داده است. (جهانبخش و همکاران،۱۳۹۳) با شناسایی و آشکارسازی توفان فراگیر یکم ژوئیه ۲۰۰۸ ایران

1- Indoitu
2- Jiawei
3- Han& Gong
4- Shao & Dong
5- Draxeler
6- Hsu
7-Deep Blue aerosol retrieval algorithm
8- Waldhauserova

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.202.5]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.8]

را با استفاده از سنجنده مودیس مطالعه کردند. در این مطالعه از شاخص‌های بصری ترکیب رنگی کاذب و شاخص‌های کمی NDDI، BTD، BTDI، LRDI استفاده‌شده است. نتایج نشان داد شاخص رقومی LRDI و همچنین شاخص بصری ترکیب رنگی کاذب از قدرت تفکیک بصری بهتری برخوردار می‌باشند. در این مطالعه مشخص گردید توفان‌های گردوغبار ایران منشأ خارجی داشته و منابع عمده آن صحاری سوریه، عربستان، شمال افریقا و بسترهای دریاچه‌ای عراق معرفی‌شده‌اند. (نیکفال،۱۳۹۳) با استفاده از مدل WRF-chem به برآورد غلظت ذرات PM_{10} در منطقه ایران پرداخته است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی ذرات PM_{10}، منطقه بین‌النهرین در نزدیکی جنوب غرب ایران را به‌عنوان چشمه اصلی نمایش می‌دهد. (محمدی و همکاران ،۱۳۹۴)، به ردیابی منابع گردوغبار در سطوح مختلف جو تهران با استفاده از مدل HYSPLIT پرداختند نتایج کار آن‌ها نشان داد که یکی از سیستم‌های فشار مؤثر در وقوع گردوغبار و تعیین مسیر آن‌ها پرفشار مستقر بر روی عربستان است که در تمام روزها غبار موردمطالعه این سامانه حرکت و جابه‌جایی اندکی داشته و تقریباً به‌صورت یک سیستم دائمی در منطقه بوده است. سیستم فشار مؤثر دیگر در وقوع گردوغبار فصل بهار، کم‌فشار مستقر در شمال ایران است. (طولابی نژاد و همکاران ،۱۳۹۷)، به مطالعه تشکیل و منشأ توفان گردوغبار در منطقه جنوب غرب ایران با استفاده از مدل HYSPLIT پرداختند که نتایج نشان داد هسته‌های گردوغبار در محدوده‌های غرب عراق، شرق سوریه و عربستان در ژوئن ۲۰۱۵ تعیین کردند. (رضایی بنفشه و همکاران ،۱۳۹۸) به بررسی منشأ گردوغبار فراگیر وارده به قسمت‌های شرق، جنوب شرق، جنوب، جنوب غرب و مرکز کشور و ردیابی مسیر حرکت آن در اردیبهشت ۹۷ پرداختند. برای تعیین مناطق منشأ گردوغبار، مدل HYSPLIT به روش پسگرد، طی ۲۴ ساعت قبل از وقوع برای روز موردنظر اجرا و نتایج نشان داده است که نواحی منشأ گردوغبار روی منطقه موردمطالعه، در روز موردنظر شبه‌جزیره عربستان می‌باشد. همچنین نمودار روزانه روند تغییرات AOD نشان داد که بیشترین شدت پدیده گردوغبار در یک هفته در منطقه موردمطالعه روز ۲۲ و کمترین آن روز ۲۷ اردیبهشت‌ماه می‌باشد. همچنین بررسی نقشه‌های فشار سطح دریا و سرعت باد مداری ۱۰ متری، پدیده گردوغبار شناسایی شد که توسط عمق نوری سنجنده مودیس مدل HYSPLIT را تأکید قرار گرفت.

منطقه خاورمیانه به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین چشمه‌های انتشار گردوغبار در جهان است (تاناکا و چیبا، ۲۰۰۶:۹۲)[9]. با توجه به اینکه کشور ما نیز در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان (در حدود ۹۱ درصد از مساحت کشور) واقع شده است، اثرات گردوغبار می‌تواند خسارت فاجعه‌بار زیست‌محیطی فراوانی به بار آورد، بنابراین مطالعه عوامل به وجود آورنده این پدیده و شناسایی کانون‌های آن ضروری به نظر می‌رسد. پژوهش‌های صورت گرفته عمدتاً از یک نوع داده استفاده نموده‌اند ولی در کار حاضر از داده‌های جو بالا و میانی و داده‌های ماهواره‌ای شامل رطوبت خاک و عمق اپتیکی گردوغبار استفاده‌شده و همچنین از مدل ردیابی منبع گردوغبار برای شناسایی مناطق مستعد انتشار ذرات غباری استفاده‌شده است.

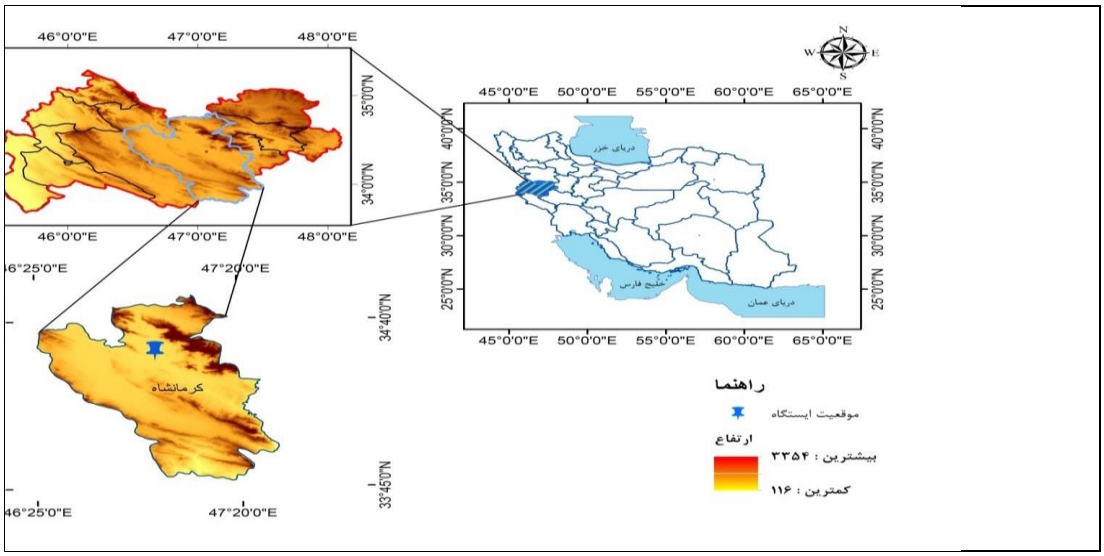
روش‌شناسی

موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه

محدوده موردمطالعه در این پژوهش شهرستان کرمانشاه از شمال با استان کردستان و شهرستان روانسر، از غرب با شهرستان دالاهو و اسلام‌آبادغرب از جنوب با استان ایلام از شرق با شهرستان صحنه و هرسین و از شمال شرق هم با سنقر و کلیایی هم‌جوار است. در قسمت مرکزی استان، کرمانشاه موقعیت ۴۷ درجه و ۴ دقیقه شرقی و ۱۹ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. ایستگاه سینوپتیک شهرستان کرمانشاه ۱۳۱۹ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. در شکل (۱) به موقعیت جغرافیایی شهرستان کرمانشاه در استان اشاره شده است.

[9]. Tanaka &Chiba

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.202.5]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.8]



شکل (۱). موقعیت جغرافیایی شهر کرمانشاه در استان

روش انجام پژوهش

برای شناسایی مناطق مستعد رخداد توفان‌های گردوغبار و مسیر حرکت آن‌ها که نقش بسیار کلیدی در پهنه‌بندی مناطق با دید کم دارد، از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای در زمان‌های رخداد این پدیده استفاده می‌گردد (بهیار، ۱۳۹۴:۱۰۶)؛ اما برای مطالعه و تعیین منابع اصلی و انتشار و انتقال گردوغبار یکی از مدل‌های پرکاربرد، مدل HYSPLIT[10] است. این مدل توسط مرکز تحقیقات جوی نوا (ARL[11]) به کار می‌رود. این مدل سامانه تلفیق یافته‌ای است که برای محاسبه و شبیه‌سازی انتشار، مسیر حرکت و ته‌نشینی آئروسل‌های جوی مخصوصاً ذرات گردوغبار طراحی‌شده است. دو دیدگاه اساسی بر این مدل حاکم است: رویکرد لاگرانژی؛ در این رویکرد قضیه از دید فردی که با بسته هوا در حرکت است، بررسی می‌شود. به‌این‌ترتیب مجموع غلظت ذرات در هر شبکه در طول مسیر حرکت تعیین می‌شود. رویکرد اویلری؛ در این حالت قضیه از دید فردی که در مکان ثابت ایستاده است، بررسی می‌شود. غلظت ذرات برای هر شبکه با استفاده از حرکات پخش و انتقال ذرات تعیین می‌گردد (دراکسلر و رولپه، ۲۰۰۳). ازآنجایی‌که در رهیافت لاگرانژی هر ذره در زمان‌های مختلف، موقعیت‌های متفاوتی دارد بنابراین رهیافت لاگرانژی این امکان را فراهم می‌آورد که مدل‌های پایه لاگرانژی پس از انتخاب ذره در موقعیت مکانی و زمانی خاص، حرکت آن را در گام‌های زمانی دلخواه به سمت زمان‌های آینده (پیش رو) و یا به سمت زمان‌های گذشته (پسگرد) ردیابی کنند (دراکسلر، ۲۰۱۲). مدل میان‌مقیاس جویWRF-chem: مدل (weather research and forecasting) WRF یک مدل برای پیش‌بینی عددی وضع هوا و شبیه‌سازی جو است که برای کاربردهای پژوهشی و عملیاتی طراحی‌شده است. توسعه و گسترش این مدل تبدیل به یک تلاش همگانی برای ایجاد یک مدل پیش‌بینی میان‌مقیاس و نیز ایجاد یک سامانه داده‌گواری شده است تا فهم و پیش‌بینی وضعیت جوی را گسترش دهد و نیز پیشرفت‌های تحقیقاتی را تسریع کند. سامانه داده‌گواری WRF-VAR می‌تواند از انواع داده‌های دیده‌بانی را در پی گیری شرایط اولیه بهینه لحاظ کند، درحالی‌که WRF-CHEM[12] قابلیت مدل‌سازی شیمی هوا (مربوط به هواشناسی فیزیکی و آلودگی) را ایجاد می‌کند و محدوده کاربرد این مدل بسیار وسیع است و گستره‌ای بین چندین متر تا هزاران کیلومتر را پوشش می‌دهد (انگلستدلتر، ۲۰۰۱)[13]. برای تبیین علل وقوع، مسیریابی چشمه موج توفان‌های گردوغبار شهر کرمانشاه، بازه زمانی سه‌روزه ۱۰ تا ۱۲ آبان ۱۳۹۷ (۱ تا ۳ نوامبر ۲۰۱۷) مطالعه گردید. در این مطالعه ذرات در سه سطح ۲۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متری

1- Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory
2- Air Resources Laboratory
1- WRF-chemical
2 - Engelstadler

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.202.5]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.8]

از سطح زمین در حدفاصل زمانی ۶ تا ۴۸ ساعت قبل از رخداد گردوغبار ردیابی شدند. برای اجرای مدل داده‌های FNL استفاده گردید. داده‌های FNL (final) در واقع داده‌های NCEP/NCAR هستند که توسط آزمایشگاه هوا وابسته به NOAA با قدرت ۱ در ۱ درجه برای ۲۶ تراز فشاری بین ۱۰۰۰ تا ۱۰۰ هکتوپاسکال و با گام زمانی ۶ ساعته باز پردازش شده‌اند. سپس جهت تحلیل سینوپتیک علل وقوع این توفان از مجموعه داده‌های پیش‌بینی میان‌مدت جوی مرکز اروپایی (ECMWF[14]) با قدرت تفکیک ۰/۱۲۵ درجه قوسی شامل، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰، امگای تراز ۷۰۰، فشار تراز دریا (SLP)، مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد در تراز ۲۵۰، رطوبت ویژه در تراز ۷۰۰ به دلیل قدرت تفکیک بالاتر و داده‌های ماهواره‌ای رطوبت خاک تا عمق ۱۰ سانتی‌متری در منطقه موردمطالعه استفاده گردید. با استفاده از داده‌های فوق و ترسیم نقشه‌های سامانه‌های سینوپتیک و الگوهای باد با به‌کارگیری نرم‌افزار GRADS؛ الگوهای بادی و سامانه‌های همدیدی مؤثر در حمل و انتقال ریزگردها به غرب کشور از نو تعریف شد. میزان حداکثر غلظت PM_{10} در روز توفان گردوغبار به‌عنوان پیک اصلی گردوغبار مشخص گردید. همچنین برای یافتن تعداد ساعات دوام گردوغبار در روزهای توفانی، با مشخص کردن غلظت‌های بیشتر از ۲۷۳ میکروگرم بر مترمکعب و تعیین ساعات این غلظت‌ها در روزهای مذکور تعداد ساعات دوام گردوغبار در منطقه موردمطالعه به دست آمد. تصاویر MODIS جهت نشان دادن وقوع یک رخداد مثل حرکت سیلاب، فوران آتش‌فشان، طوفان گردوغبار و غیره همواره استفاده گردیده‌اند. در این پژوهش، برای تحکیم هر چه بیشتر وقوع گردوغبار و همچنین درک بیشتری از ابعاد و ویژگی‌های این طوفان‌ها از تصاویر سنجنده MODIS استفاده‌شده است. لذا با وارد نمودن آدرس https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/ در جستجوگر گوگل به صفحه اصلی وب‌سایت تخصصی NASA دسترسی پیدا می‌شود در این مرحله با انتخاب نوع سنجنده (MODIS) و انجام دیگر تنظیمات موردنیاز از قبیل انتخاب مکان و زمان موردنظر تمام تصاویر موجود در دسترس قرار می‌گیرند.

در پایان جهت مشخص شدن وضعیت شفافیت جو از داده‌های ماهواره‌ای از سایت https://giovanni.gsfc.nass.gov/giovnni عمق اُپتیکی آئروسل (AOD[15]) استفاده گردید. عمق اُپتیکی بیانگر کمیت حذف یک شعاع نور توسط پخش و جذب در طی مسیر از طریق محیط است. حضور ذرات معلق در ستون جوی از هوا از انتقال یک مقدار مشخصی از نور بازتابی شده به سنسورهای ماهواره‌ای جلوگیری می‌کند. به‌طوری‌که بر اساس عمق اُپتیکی جو می‌توان میزان ذرات معلق در نزدیکی سطح را برآورد کرد. ارزش‌های AOD به‌صورت تقریبی می‌تواند نشان‌دهنده شرایط جوی زیر باشد:

جدول (۱). ارزش‌های AOD که نشان‌دهنده شرایط جوی است.

ارزش AOD	شرایط جوی
۰/۰۲	مناطق بسیار پاک
۰/۰۸	مناطق پاک
۰/۲	مناطق نسبتاً
۰/۶	مناطق آلوده
۱/۵	پدیده‌های گردوغباری سنگین
۳<	شرایطی که موقعیت خورشید مشخص نیست

منبع: (نامداری، ۱۳۹۵)

[3]- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
[1]- Aerosol Optical Depth

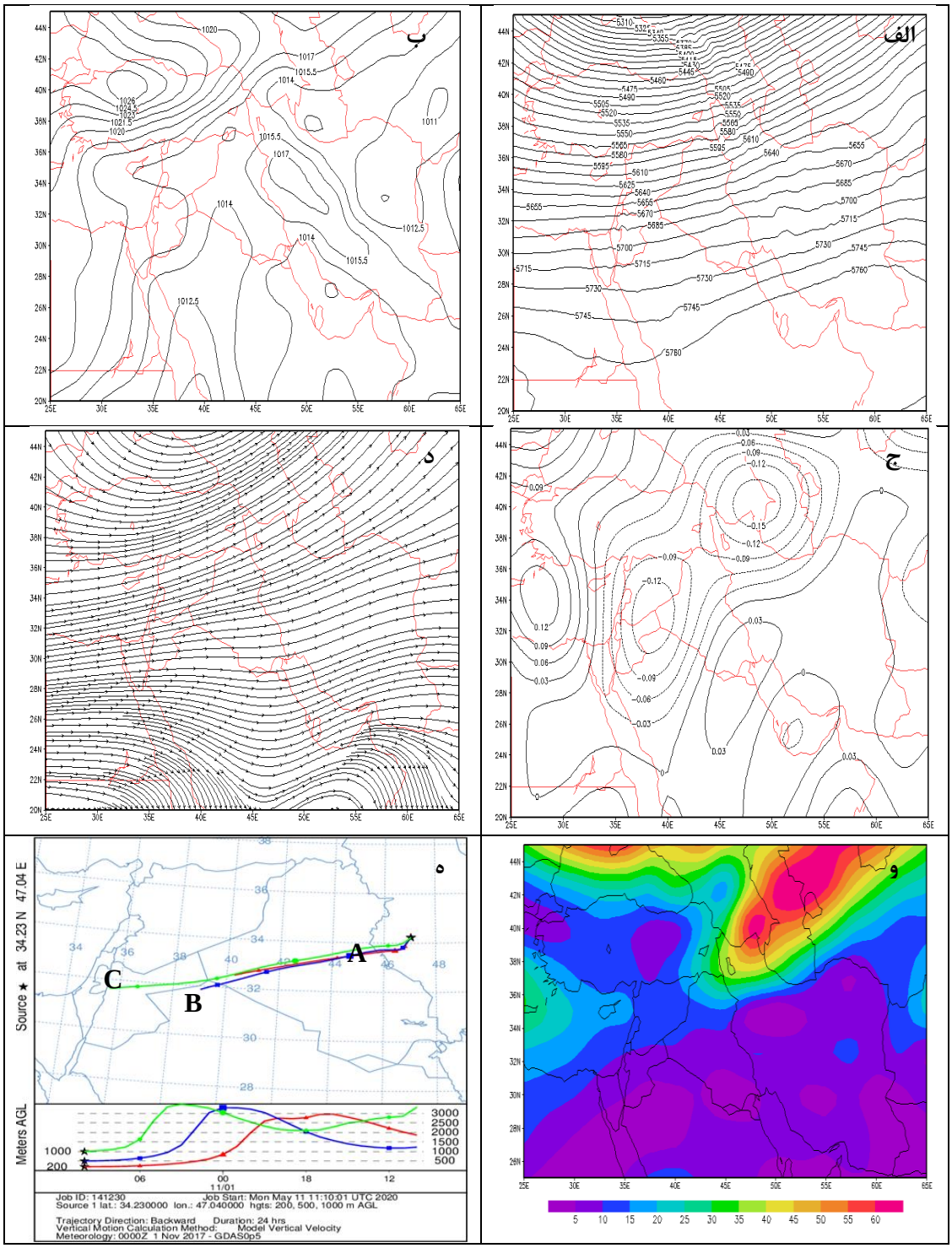
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.202.5]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.8]

مطالعه همدیدی، تعیین منابع و مسیر گردوغبار با مدل HYSPLIT

با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، روزهای ۱ تا ۳ نوامبر ۲۰۱۷ به علت تداوم وجود گردوغبار و غلظت بالای آن در غرب کشور، برای بررسی همدید و تعیین کانون این گردوغبار بر مبنای الگوریتم مدل HYSPLIT و عمق اُپتیکی ذرات گردوغبار انتخاب شدند. شکل۲(الف) پدیده غالب روز ۱ نوامبر۲۰۱۷ برای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را به تصویر کشیده است. در این روز شیب فشار قابل‌ملاحظه‌ای در روی شمال ایران وجود داشته و همچنین، سلول کم‌فشار حرارتی با تراز ۱۰۱۴ هکتوپاسکالی تا شمال غرب عراق گسترده و در این روز با تقویت شیب شمالی فشار و همچنین تقویت کم‌فشار حرارتی چرخند فعالی در روی عراق تشکیل گردیده و گسترش یافته است شکل ۲(ب). فعالیت این چرخند به‌صورت وزش باد و ناپایداری هوا شرایط مناسب برای صعود هوا که حجم عظیمی از گردوغبار را در شمال غرب و جنوب غرب عراق ایجاد می‌نماید. با دقت در شکل ۲(ج) نقشه امگا و مقادیر آن و همچنین شکل ۲(د) جهت پیکان‌ها (سمت و سرعت باد) نشان‌دهنده وجود جریان صعودی عمیق و قوی در محدوده باد شدید می‌باشد. در فصل گرم سال به دلیل افزایش شار تابشی خورشید و افزایش دمای سطح زمین لایه هوای نزدیک به سطح زمین گرم شده و صعود می‌نماید و تشکیل کم‌فشارهای حرارتی را می‌دهد. به علت اینکه این کم‌فشارها دینامیکی نمی‌باشند و هر چه از منبع انرژی خود دور می‌شود تضعیف می‌گردند این کم‌فشارها در سطوح پایین جو باقی می‌ماند و چون در مناطق بیابانی که مهم‌ترین مناطق تشکیل این کم‌فشارها می‌باشند نمی‌توانند سبب بارندگی شوند و اثر خود را به‌صورت وزش باد و گردوغبار نشان می‌دهند بایرس[۱۶] (۱۹۷۴). برای مشخص شدن این کم‌فشارها نقشه ژئوپتانسیل شکل ۲(الف) و نقشه تراز دریا شکل۲(ب) در روزهای موردنظر ترسیم گردید که تأییدکننده مطالب فوق می‌باشد؛ اما در سطوح فوقانی جو پرفشار جنب‌حاره‌ای از روز موردنظر شروع به تضعیف نموده و بنابراین در سطوح فوقانی جو بادهای غربی و شمال غرب شکل ۲(د) تقویت‌شده و گردوغبار برخاسته شده به‌وسیله چرخند سطح زمین ابتدا به سمت جنوب و سپس به سمت استان کرمانشاه حرکت کرده است.. با در نظر گرفتن بررسی‌های انجام‌شده و خروجی مدل HYSPLIT شکل ۲(ه) سازوکار اصلی انتقال ذرات غبار در محدوده‌ای در حدفاصل شرق سوریه و عراق به منطقه موردمطالعه بوده است. در الگوی فشاری مستقر بر روی منطقه در زمان وقوع گردوغبار، مسیرهای انتقال ذرات در سه سطح ۱۰۰۰، ۲۰۰، ۱۵۰۰ متری تابعی از مسیر و جهت حرکت باد غربی می‌باشد. در مسیرA ارتفاع ۲۰۰ متری نزدیک‌ترین ارتفاع به زمین است لذا تأثیر بیشتری بر شهر کرمانشاه خواهد داشت و همچنین این ارتفاع به‌عنوان شاخص اصلی جهت تشخیص منشأ گردوغبارهای شدید موردبررسی قرارگرفته است به‌طوری‌که از زمان شروع روند عقب‌گرد به ساعات ماقبل در ارتفاع ۲۰۰ متری در هر زمانی که مسیرA با توجه به پروفیل عمودی خروجی از مدل HYSPLIT، از ارتفاع ۱۰۰۰ متری عبور کرد آخرین نقطه منشأ توفان گردوغبار در نظر گرفته می‌شود. با توجه به شکل ۲(ه) منشأ گردوغبار در مسیرهای A ، B و C ارتفاع‌های ۱۰۰۰، ۲۰۰ و ۱۵۰۰ متری منطبق بر جریانات بادغربی می‌باشد که از بیابان‌های سوریه و اردن آغاز و سپس با عبور از بیابان‌های مرکزی و غربی عراق و با انتشار عمودی ناچیزی به سمت شرق ادامه داده‌اند. همچنین بررسی نقشه رطوبت شکل ۲(و) روز ۱ نوامبر۲۰۱۷ نشان می‌دهد که میزان رطوبت موجود در سطح زمین، در منطقه موردمطالعه بسیار کم و زیر ۱۰ درصد می‌باشد که باعث خشک شدن خاک‌های سطحی شده که با وجود کم‌فشارهای حرارتی سطح زمین و ناپایداری ایجاد شده، شرایط تشکیل گردوغبار را به دنبال داشته است.

1- Byers

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.202.5]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.8]

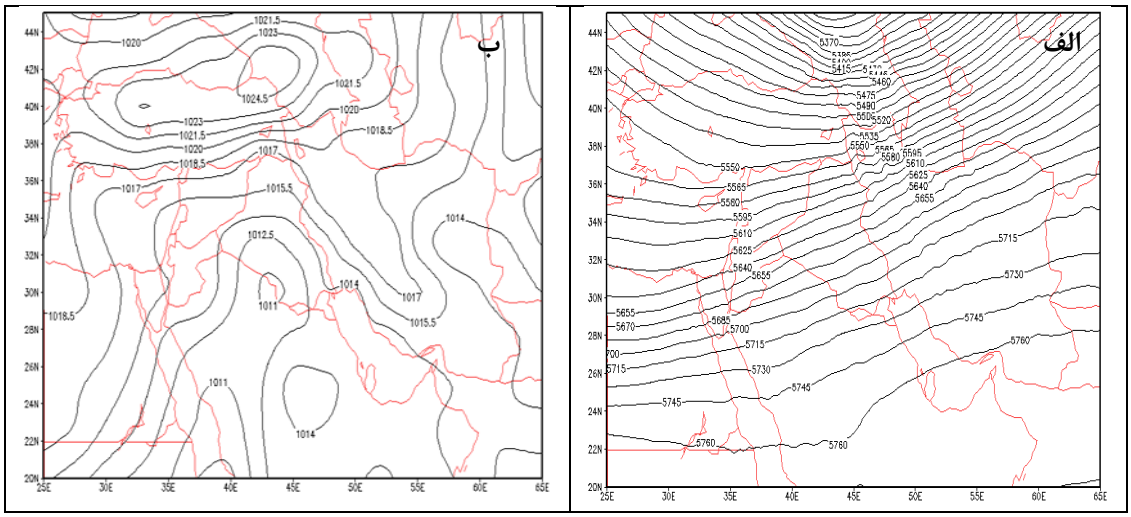


شکل (۲). الف) ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰؛ ب) فشار سطح دریا؛ ج) امگای تراز ۷۰۰؛ د) جریان باد در تراز ۳۰۰؛ و) رطوبت ویژه ۷۰۰؛ ه) نقشه ردیابی ذرات گردوغبار HYSPLIT روز ۱ نوامبر ۲۰۱۷

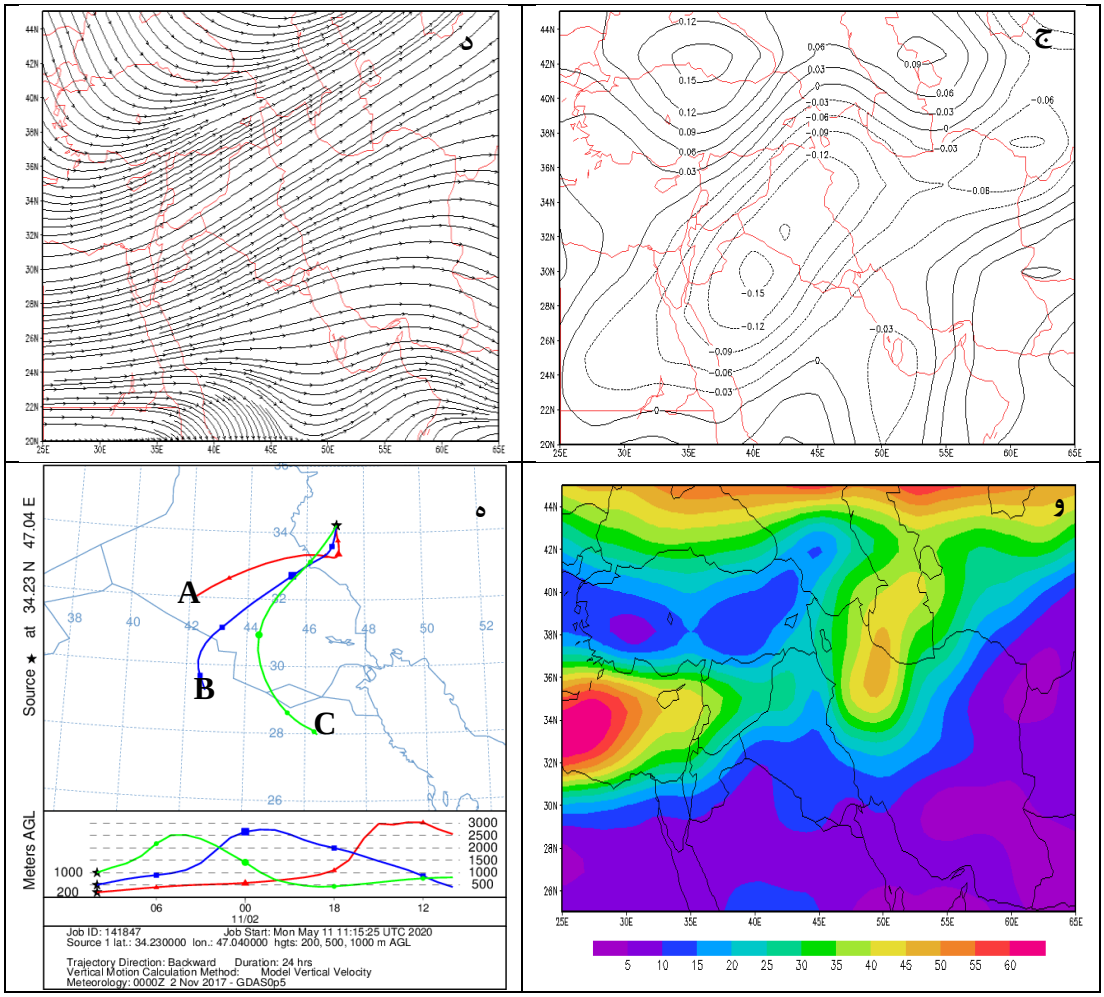
در روز ۲ نوامبر امتداد جریانات گردوغبار بر روی منطقه به سبب کم‌فشار بریده‌ای در عرض‌های بین (۳۰ تا ۴۰ درجه شمالی) می‌باشد. شکل (۳ الف) حرکات شرق سوی این بریده کم‌فشار بر روی عراق و سوریه سبب انتقال گردوغبار به غرب کشور شده است. در ۲ نوامبر روز گردوغبار از شبه‌جزیره عربستان به جنوب غرب و غرب کشور واردشده است. لذا در این مورد گردوغبارها از چشمه‌های متفاوت و به‌طور هم‌زمان و از طریق دو سامانه جوی به غرب ایران و کرمانشاه منتقل شده‌اند.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.202.5]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.8]

شکل (۳ ب) نقشه فشار تراز دریا را در روز توفان گردوغبار نشان می‌دهد. همان‌طور که در این نقشه پیداست، در این روز سیستم کم‌فشار حرارتی با فشار ۱۰۱۱ هکتوپاسکال همچنان در سطح منطقه فعال می‌باشد؛ اما در شمال غرب این کم‌فشار، پرفشاری با ۱۰۲۴/۵ هکتوپاسکال بر روی ترکیه مستقر است، کنش و واکنش این سامانه منجر به ایجاد شیب فشاری متأثر از جریانات پرفشاری عرض‌های بالاتر شده است این اختلاف فشار باعث افزایش سرعت باد و شکل‌دهی جریاناتی از شمال غرب به سمت جنوب شرق ایران شده است. با توجه به نقشه جریانات تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال می‌توان مشاهده کرد که وجود پرفشار عربستان در جنوب غرب و یک کم‌فشارحرارتی در شمال غرب منطقه موردمطالعه با حرکات خود باعث همگرایی جریانات و افزایش سرعت باد شده‌اند شکل(۳ د). نقشه امگا در تراز ۷۰۰ نیز نشان از ناپایداری‌های شدیدی بر روی منطقه موردمطالعه دارد که در شکل‌گیری پدیده گردوغباری مؤثر بوده است شکل(۳ ج). مشاهده نقشه‌های ردیابی نشان می‌دهد که طی این روز (۲ نوامبر) مبدأ ذرات غباری در مسیرA و در ارتفاع ۲۰۰ متری از لحاظ ارتفاعی به نسبت روزهای دیگر در سطوح پایین‌تری (کمتر از ۵۰۰ متر) حرکت خود را از چشمه گردوغبار به سمت منطقه موردمطالعه آغاز نموده است. در مسیر A مبدأ ذرات بیابان‌های مرکزی و غرب عراق بوده است؛ و مبدأ ذرات مسیرهای B و C شمال عربستان و جنوب عراق بوده است که در ارتفاع ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متر به غرب ایران رسیده است. منشأ هر سه سطح ارتفاعی گردوغبار شهر کرمانشاه، کشورهای همسایه بوده‌اند که حاکی از آشفتگی جریان هوا را در منطقه دارد. به همین دلیل است که پیک اصلی یا بیشترین غلظت PM_{10}، ۱۰۳۳/۷ میکروگرم بر مترمکعب در این توفان به ثبت رسیده است و تعداد ساعات دوام این توفان به ۴۱ ساعت در این روز رسیده است. عامل اصلی نزول ذرات بر روی ایران کمتر شدن اثر جریانات سیکلونی و حاکمیت پرفشار بوده است شکل (۳ ه). همچنین بررسی نقشه رطوبت روز ۲ نوامبر نشان می‌دهد که میزان رطوبت موجود در سطح زمین همچنان اندک و زیر ۱۵ درصد می‌باشد که باعث خشک شدن خاک‌های سطحی و ایجاد شرایط گردوغبار گردیده است شکل (۳ و).



[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.202.5]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.8]

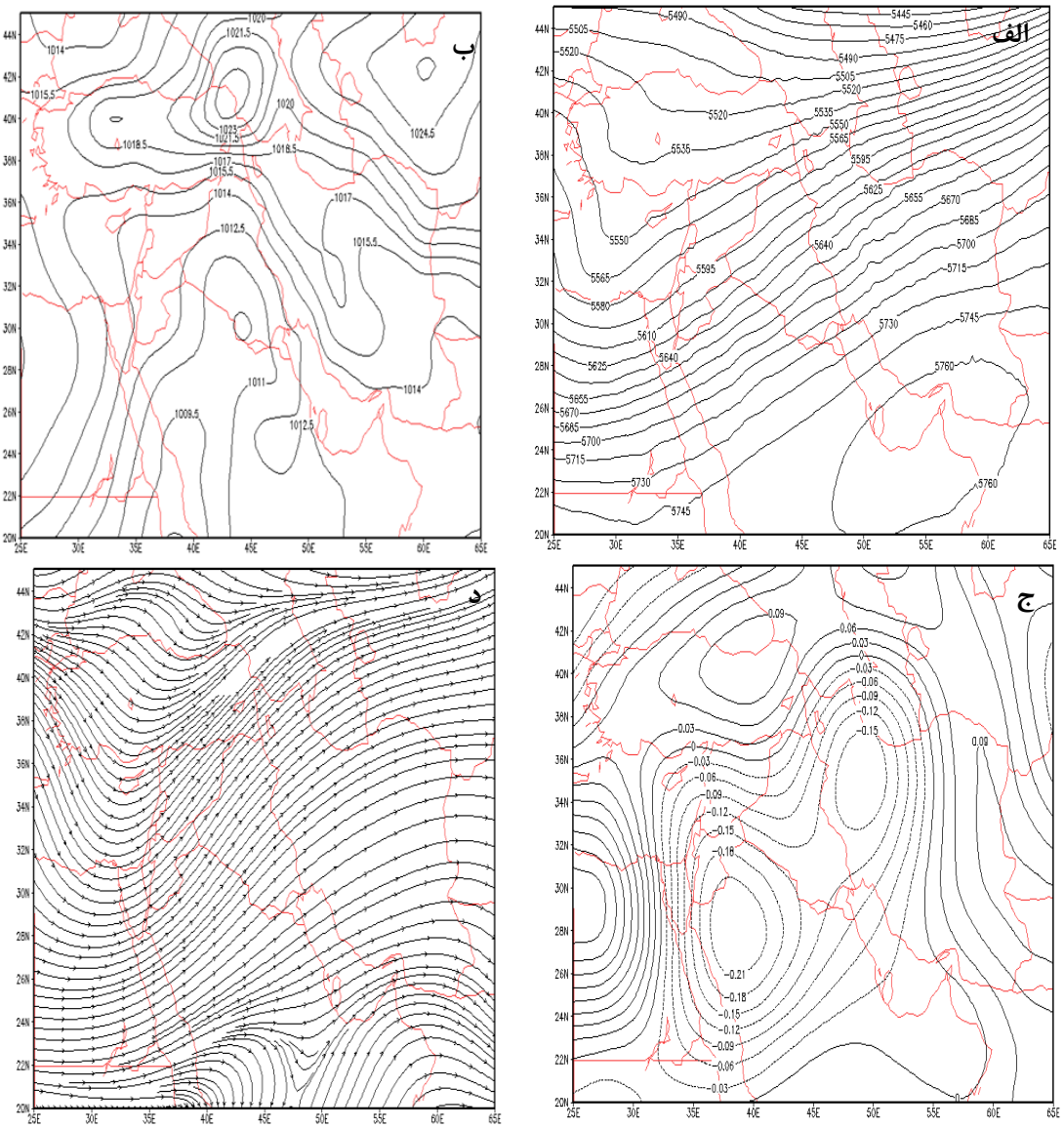


شکل (۳). الف) ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰؛ ب) فشار سطح دریا؛ ج) امگای تراز ۷۰۰؛ د) جریان باد تراز۳۰۰؛ و) رطوبت ویژه تراز ۷۰۰؛ ه) نقشه ردیابی ذرات گردوغبار HYSPLIT روز ۲ نوامبر ۲۰۱۷

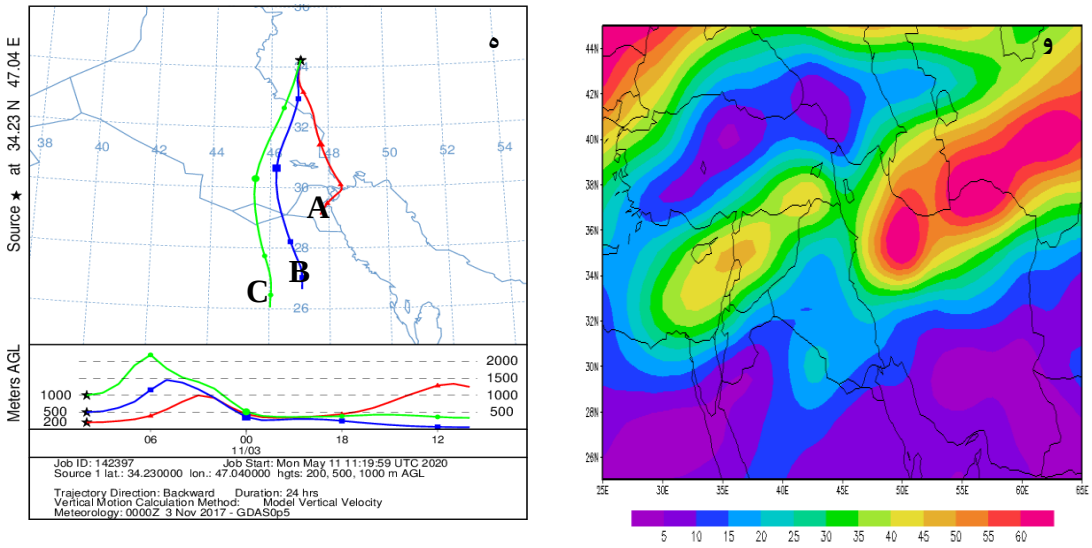
در روز ۳ نوامبر ۲۰۱۷ کم‌فشارهای بسته بروی عراق و کویت و شمال عربستان شکل (۴ الف) سبب ایجاد شرایط مناسب برای صعود حجم عظیمی از گردوغبار به هوا می‌گردد. در این روز سیستم کم‌فشار حرارتی با فشار ۱۰۱۱ هکتوپاسکال همچنان در سطح منطقه فعال می‌باشد که زبانه‌های آن به غرب کشور نفوذ کرده است؛ اما دو سامانه پرفشار در شمال و شمال غرب این کم‌فشار ، با ۱۰۲۰ و ۱۰۲۳ هکتوپاسکال در شمال ترکیه و شرق دریای سیاه مستقرند که منجر به شیب فشار به سمت غرب ایران شده است. همچنین کم‌فشار ترمیک وسیعی با فشار مرکزی ۱۰۱۲/۵ هکتوپاسکال بر روی خلیج‌فارس دیده می‌شود، گردش چرخندی هوا درون این سامانه باعث کشیده شدن هوای بیابان‌های عراق، کویت و شمال عربستان به سمت خلیج‌فارس و غرب ایران گردیده و شرایط را برای ایجاد پدیده گردوغبار در منطقه موردمطالعه فراهم کرده است شکل (۴ ب). به علت وجود پرفشار عربستان و کم‌فشار موجود در شمال منطقه موردمطالعه، جریانات باد با جهات شمال غربی-جنوب شرقی باعث هدایت گردوغبار به منطقه موردمطالعه شده است شکل (۴ د). نقشه امگا همانند روز قبل در تراز ۷۰۰ شکل (۴ ج) نیز از ناپایداری بر روی منطقه موردمطالعه حکایت دارد که در شکل‌گیری پدیده گردوغباری مؤثر بوده است. مشاهده نقشه‌های ردیابی نشان می‌دهد که طی این روز ۳ نوامبر مبدأ ذرات غباری در سه مسیر A و B و C در ارتفاع‌های ۲۰۰ متری و ۱۰۰۰ متری و ۱۵۰۰ متری از لحاظ ارتفاعی به نسبت روزهای دیگر در سطوح پایین‌تری (کمتر از ۵۰۰ متر) حرکت خود را از چشمه گردوغبار به سمت منطقه موردمطالعه آغاز نموده‌اند. با این تفاوت که در مسیر A مبدأ ذرات کویت بوده است و مبدأ ذرات مسیر B و C داخل خاک عربستان و در بیابان‌های شرق و مرکزی عراق قرار دارد؛ که

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.202.5]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.8]

در ۶ ساعت قبل از روز موردنظر به ارتفاع کمتر از ۱۰۰۰ متر به مرزهای غربی کشور نفوذ کرده و به منطقه منتقل شده‌اند شکل (۴ ه). در این روز میزان رطوبت موجود در سطح زمین همچنان زیر ۳۰ درصد است که خشک شدن خاک‌های سطحی و ایجاد شرایط گردوغبار را در پی داشته است شکل (۴ و).



[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.202.5]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.8]



شکل (۴). الف) ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰؛ ب) فشار سطح دریا؛ ج) امگای تراز ۷۰۰؛ د) جریان باد تراز ۳۰۰؛ و) رطوبت ویژه تراز ۷۰۰؛ ه) نقشه ردیابی ذرات گردوغبار HYSPLIT روز ۳ نوامبر ۲۰۱۷

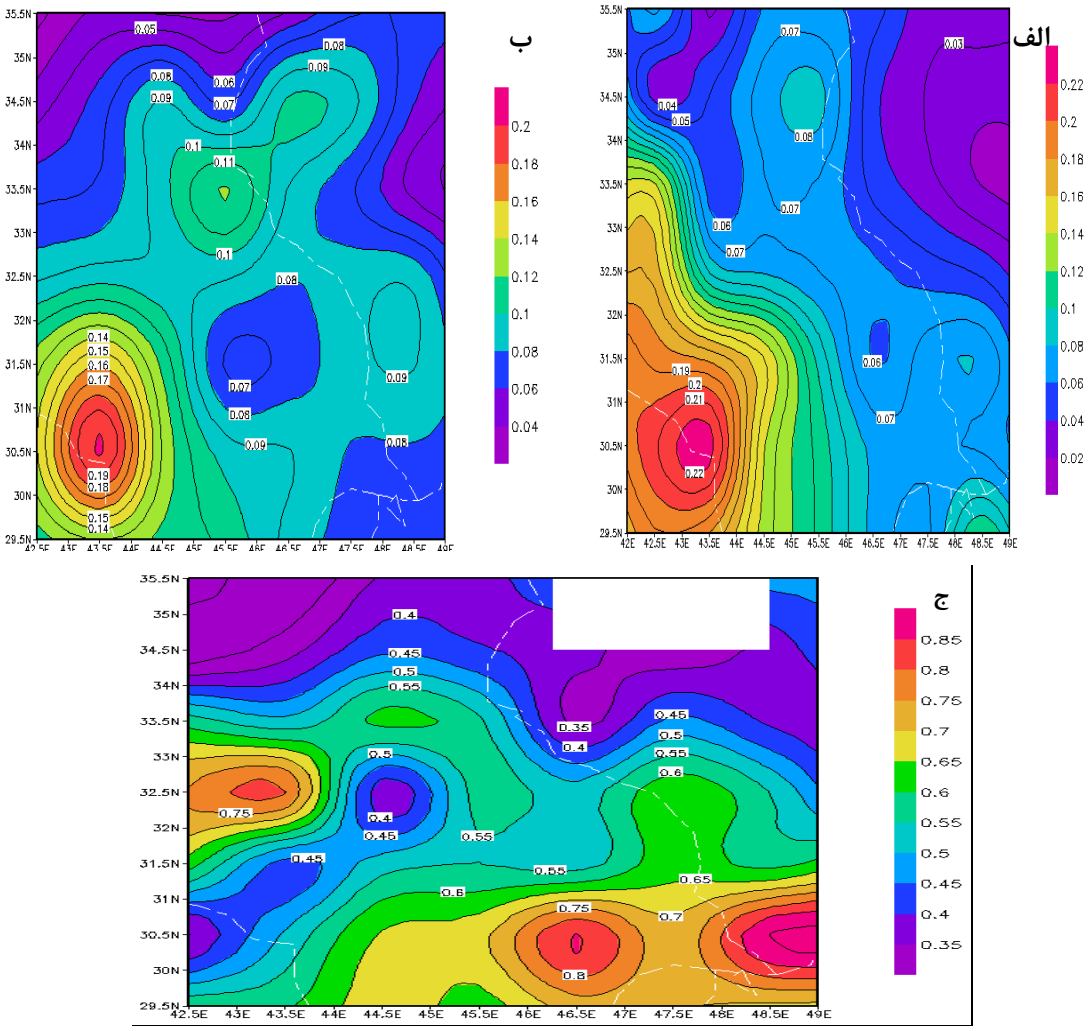
عمق اُپتیکی آئروسل (AOD) یکی از پارامترهای مهم در مطالعه گردوغبارها می‌باشد. عمق اُپتیکی در واقع به توزیع آئروسل‌های گردوغبار موجود در جو اشاره دارد. این کمیت وابسته به طول‌موج، به‌صورت کاهش نور در واحد طول بر روی مسیر مشخص تعریف می‌شود که کمیتی بی‌بعد است (وانگ و ساندر، ۲۰۰۳)[۱۷].

مسیر اُپتیکی عمودی، فاصله عمودی از سطح زمین در قسمت فوقانی جو می‌باشد. مقدار عمق اُپتیکی می‌تواند با تراکم تعداد هوایزها (آئروسل‌ها) و ویژگی‌های آن ذرات متفاوت باشد. همچنین AOD کمیتی بی‌بعد بوده و عبارت‌اند از میزان جلوگیری از گذر پرتو نور در جو به خاطر جذب و پراکنش ناشی از وجود هواویزها در مسیر عبور نور. همچنین AOD به‌عنوان ضریب خاموشی کاهش تشعشع بر روی یک ستون قائم در واحد طول تعریف می‌شود. بالا بودن مقادیر AOD از این مقدار نشان‌دهنده بیشتر بودن هواویزها در امتداد ستون عمودی هوا بوده و به عبارتی دید در امتداد ستون کم می‌باشد.

یافته‌ها نشان داد که در روز ۱ نوامبر ۲۰۱۷ شکل (۵ الف) میزان عمق اُپتیکی بالاتر از ۰/۰۶ قرارگرفته است که گسترش گردوغبار تا سطوح بالاتر از ۱۰۰۰ هکتوپاسکال از علل آن می‌باشد؛ اما در روز ۲ نوامبر شکل (۵ ب) با شکل‌گیری جریان گردوغباری شدید در این روز به دلیل گسترش گردوغبار به سطح ۲۰۰ متری جو عمق اُپتیکی به حدود ۰/۱ رسیده است و تراکم به حد بالایی می‌رسد. همچنین در روز ۳ نوامبر شکل (۵ ج) با غلبه بادهای غربی و شمال غربی، میزان عمق اُپتیکی کاهش‌یافته و در حد ۰/۴ مشاهده می‌گردد؛ که غلبه کامل جریانات شمال غربی در سطوح جوی مشهود است و قابلیت دید را کاهش داده است.

[17] - wang&sundar

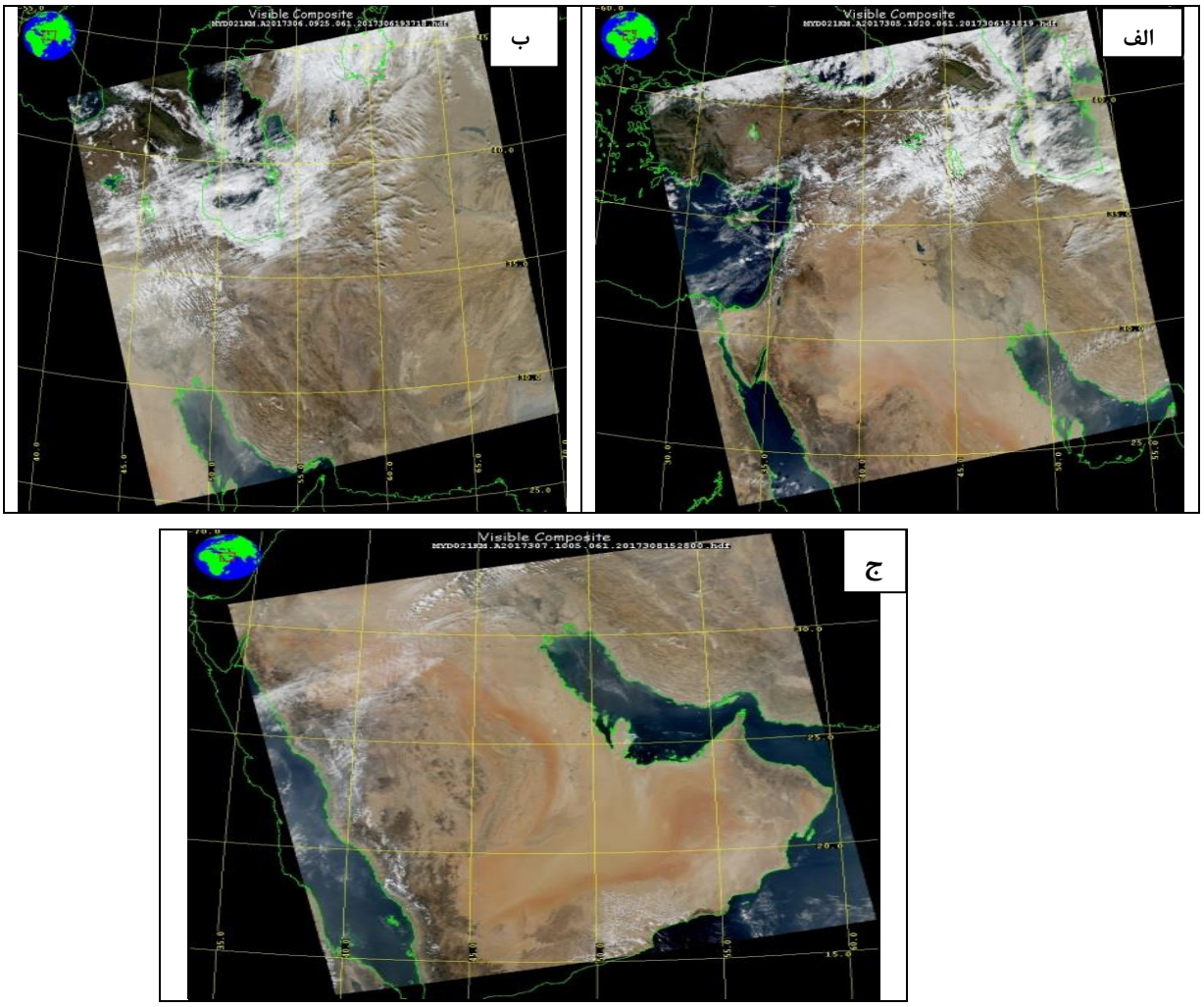
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.202.5]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.8]



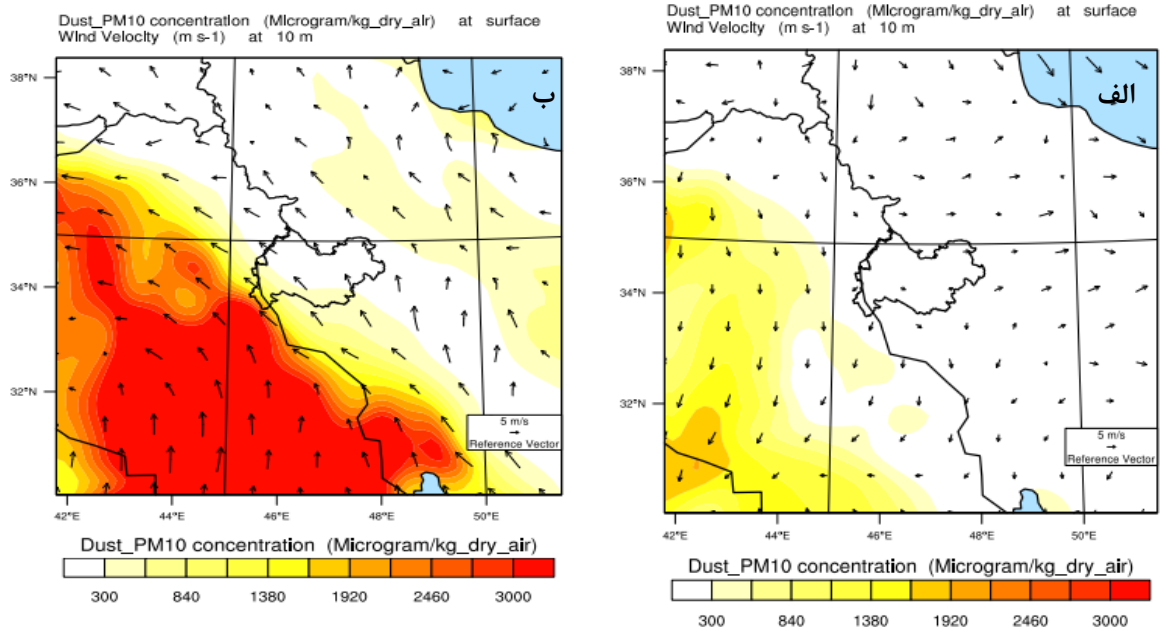
شکل (۵). عمق اُپتیکی آئروسل (AOD) طی روزهای (الف) ۱ نوامبر (ب) ۲ نوامبر (ج) ۳ نوامبر

در تصاویر رنگی MODIS مربوط به روزهای گردوغباری مشاهده می‌شود که در روز ۱ نوامبر ۲۰۱۷ شکل (۶ الف) توده گردوغباری در سوریه، عراق و عربستان شکل‌گرفته و به طرف غرب ایران در جریان است؛ اما در روز ۲ نوامبر شکل (۶ ب) و نوامبر۳ شکل (۶ ج) گردوغبار به‌طور کامل وارد ایران شده است، توده گردوغباری که در جنوب و مرکز عراق، کویت و شمال عربستان شکل‌گرفته است؛ همان‌گونه که در تصاویر مشاهده می‌گردد، در حال وارد شدن به خلیج‌فارس می‌باشد. شکل (۷) پیش‌بینی توزیع غلظت گردوغبار توسط مدل WRF-chem را نمایش می‌دهد. در این شکل این نکته قابل‌تشخیص است که در شکل (۷ ب) ۲ نوامبر ۲۰۱۷ غلظت بالایی از گردوغبار وجود دارد که می‌تواند به دلیل جریان بادهای غربی باشد. توزیع مکانی گردوغبار تفسیر شده توسط تصاویر سنجنده MODIS با توزیع مکانی غلظت گردوغبار شبیه‌سازی شده توسط مدل WRF-chem انطباق دارد (تفسیر چشمی).

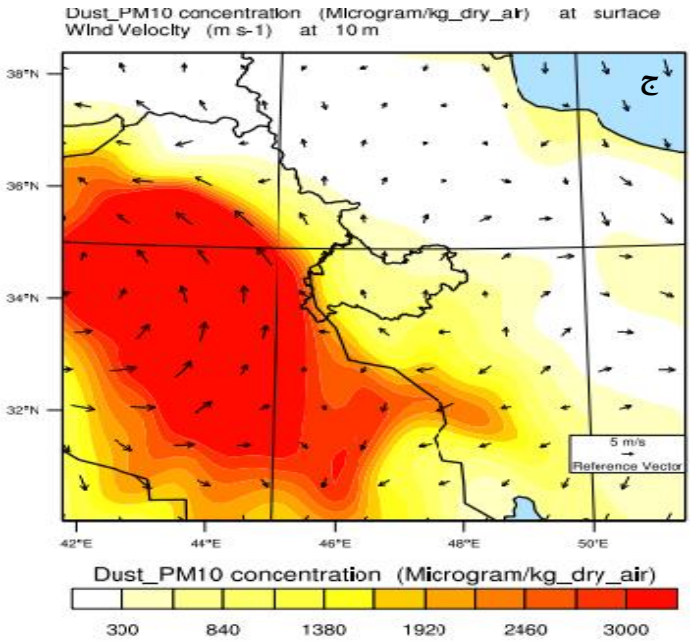
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.202.5]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.8]



شکل (۶). (الف) تصویر ماهواره‌ای MODIS ۲۰۱۷/۱۱/۱ (ب) تصویر مودیس ۲۰۱۷/۱۱/۲ (ج) تصویر مودیس ۲۰۱۷/۱۱/۳

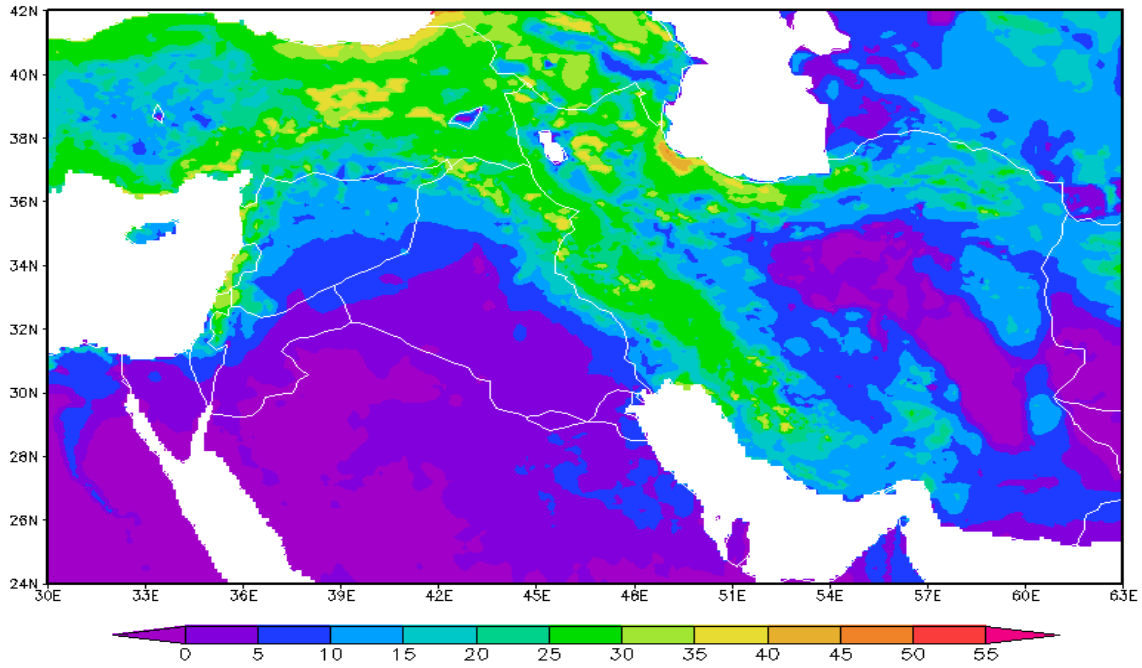


[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.202.5]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.8]



شکل (۷). پیش‌بینی توزیع غلظت گردوغبار توسط مدل WRF- chem (الف) نقشه ۱ /۱۱/۲۰۱۷ (ب) نقشه ۲/۱۱/ ۲۱۰۷ (ج) نقشه ۳ /۱۱/۲۰۱۷

با توجه به نقشه میانگین رطوبت خاک شکل (۸) از سطح زمین تا عمق ۱۰ سانتی‌متری می‌توان گفت در روزهای همراه با گردوغبار، رطوبت موجود در خاک کانون ذرات غبار کم‌تر از ۵ درصد بوده است. به همین دلیل با عبور جریانات از روی این میادین فاقد رطوبت کافی ذرات زیرخاک به‌راحتی از سطح زمین جدا شده و به سمت منطقه موردمطالعه حمل شده‌اند.



شکل (۸). میانگین رطوبت خاک تا عمق ۱۰ سانتی‌متری (۱ تا ۳ نوامبر ۲۰۱۷)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.202.5]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.8]

نتیجه‌گیری

قرارگیری ایران در منطقه گرم و خشک کره زمین و مجاورت با بیابان‌های جنب حاره مانند عراق، سوریه و عربستان باعث به وجود آمدن مداوم مخاطره گردوغبار در نیمه غربی ایران می‌شود. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل نقشه‌های سینوپتیک در واقع عامل اصلی ایجادکننده پدیده موج گردوغبار طی روزهای ۱ تا ۳ نوامبر ۲۰۱۷ در شهر کرمانشاه، علاوه بر ناپایداری ایجاد شده توسط کم‌فشارهای حرارتی سطح زمین، تحرکات پرفشار عربستان که باعث همگرایی جریانات به سمت غرب شده‌اند. استقرار یک بریده کم‌فشار در سطوح میانی جو در این رخداد به‌خوبی نمایان است به‌طوری‌که با وجود ناپایداری در تراز میانی جو، عدم وجود رطوبت کافی در سامانه‌های منتقل‌شده به غرب کشور، عبور جریانات از بیابان‌های عراق و سوریه عدم رطوبت کافی چه در سطح و چه در عمق خاک در داخل کشور و در کشورهای همسایه موجب شکل‌گیری چشمه گردوغبار و انتقال آن به منطقه موردمطالعه گردیده است. همچنین بررسی نقشه‌های ردیابی حاصل از HYSPLIT نشان می‌دهد که دو مسیر کلی برای انتقال گردوغبار به منطقه موردمطالعه قابل‌تشخیص است.

۱- مسیر شمال غرب- جنوب شرقی که با عبور از روی هسته‌های گردوغبار شکل‌گرفته در بیابان‌های عراق و سوریه عمل انتقال گردوغبار به نیمه غربی ایران را انجام می‌دهد؛ این مسیر را می‌توان ورود گردوغبار به منطقه در ۳ ارتفاع ۲۰۰، ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متری دانست.

۲- مسیر جنوب غرب به غرب ایران و شهر کرمانشاه که در هر سه ارتفاع ۲۰۰،۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متری که سرچشمه اصلی گردوغبار در روز ۲ و ۳ نوامبر می‌باشد، منبع ذرات این مسیر کویت، شمال عربستان و بخشی از عراق می‌باشد. بررسی مسیر ذرات نشان می‌دهد که این ذرات ابتدا توسط سامانه‌های کم‌فشار مستقر در منطقه به سطوح بالاتر منتقل‌شده است. نقشه رطوبت خاک نیز حاکی از کمبود شدید رطوبت تا عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک دارد که هم‌زمان با عبور سامانه‌های ناپایدار و جریانات غربی از روی مناطق، ذرات زیر خاک به‌راحتی از زمین جدا شده و به منطقه موردمطالعه منتقل گردد. در این تحقیق به‌روشنی مشخص شد که استفاده از مدل WRF-chem فن مناسبی برای شبیه‌سازی توفان گردوغبار بوده و از نظر مقیاس و تغییرات زمانی، برآوردی منطقی از گردوغبار در محدوده مطالعاتی به دست می‌دهد. با شبیه‌سازی توفان‌های گردوغبار حاصل از بادهای غربی توسط مدل WRF-chem نشان داد که منبع اصلی گردوغبار نواحی واقع در بیابان‌های غربی و مرکزی عراق، سوریه، کویت و شمال عربستان قرار دارد. با استفاده از خروجی مدل WRF-chem و تصاویر ماهواره‌ای MODIS امکان پیش‌بینی توفان گردوغبار و مسیر حرکت ذرات فراهم شده و می‌توان هشدار و پیش‌آگاهی‌های به‌موقع در مورد اتخاذ تصمیم‌های لازم برای کاهش خسارت‌های این پدیده اندیشه کرد.

نتایج حاصل از پژوهش حاضر با نتایج پژوهش‌های انجام‌شده توسط محمدی و همکاران (۱۳۹۴)، طولابی نژاد و همکاران (۱۳۹۷) و رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹۸) که به پایش گردوغبار در نواحی غرب و جنوب غرب ایران پرداخته‌اند، همخوانی بسیار خوبی دارد. آن‌ها مناطق بیابانی سوریه و عراق را مهم‌ترین کانون‌های انتشار گردوغبار به مناطق موردمطالعه می‌دانند. در این تحقیق علاوه بر موارد یاد شده، نقش بیابان‌های عربستان و کویت در انتشار گردوغبار به مناطق موردمطالعه نیز چشمگیر است. هرچند این مطالب بارها در پژوهش‌های گوناگونی به اثبات رسیده است، چنین وضعیتی نیازمند تلاش برای حل این مشکل به‌صورت فرامنطقه‌ای است نه این‌که تنها در سطح ایران بر آن تأکید شود. گستردگی بیابان‌های وسیع در سطح منطقه، بیابان‌زایی رو به رشد، خشک‌سالی‌های مداوم و نقش عوامل انسانی در مدیریت نادرست، رویدادهای گردوغباری در غرب و جنوب غرب ایران را به بحران زیست‌محیطی کنترل ناپذیر تبدیل کرده است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.202.5]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.8]

منابع

بهیار، محمدباقر. (۱۳۹۴)، پهنه‌بندی درجه خطرپذیری رخداد پدیده‌های اقلیمی مه و طوفان‌های گردوغبار در شبکه جاده‌ای کشور با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، ۳۰(۲): ۱۰۵-۱۲۵.

جهانبخش ، سعید، خلیل ولی زاده، کامران، محمود خسروی، بتول زینالی، صیاد اصغری (۱۳۹۳): شناسایی و آشکارسازی توفان فراگیر ۱ ژوئیه ۲۰۰۸ ایران با استفاده از سنجنده مودیس ، فصلنامه‌ی علمی – پژوهشی فضای جغرافیایی، سال چهاردهم، شماره‌ی ۶۴، صص ۳۱-۵۰.

رضایی بنفشه، مجید. شریفی، لیلا. پیرخضرانیان، سیدغلام.(۱۳۹۱) برآورد میزان گردوغبار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: استان کردستان)، *جغرافیای طبیعی*، ۵(۱۸): ۲۲-۱۳.

رضایی بنفشه، مجید، رستم‌زاده، هاشم، کامل حسنی، میرحسین، (۱۳۹۸)، " واکاوی و ردیابی توفان گردوغبار فراگیر اردیبهشت ۹۷ در نیمه جنوبی ایران"، *کنفرانس بین‌المللی گردوغبار در جنوب‌غرب آسیا*، اردیبهشت ۹۸.

طولابی نژاد، میثم، حجازی زاده، زهرا، زارعی چقابلکی، زهرا و بهزاد امرایی (۱۳۹۷)،"پایش طوفان گردوغبار در نیمه غربی ایران: مطالعه موردی طوفان گردوغبار ۱۶ تا ۱۹ ژوئن ۲۰۱۵. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، سال پنجم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷، صفحات ۱۰۷ تا ۱۲۴.

لشکری، حسن؛ کیخسروی، قاسم. (۱۳۸۷)، تحلیل آماری سینوپتیکی توفان‌های گردوغبار استان خراسان رضوی در فاصله زمانی ۱۹۹۳-۲۰۰۵. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۶۵: ۳۳-۱۷.

محمدی، غلام حسن. (۱۳۹۴) تحلیل سازگارهای جوی انتقال ریزگردها به غرب کشور، رساله دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه تبریز، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی.

نامداری، سودابه. (۱۳۹۵) تحلیل روند زمانی و مکانی توفان‌های گردوغبار در غرب و جنوب غرب ایران با پردازش تصاویر ماهواره‌ای، رساله دکتری اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز.

نیکفال، امیرحسین. ۱۳۹۳،" شبیه‌سازی غلظت ذرات PM_{10} توسط مدل جفت شده WRF-chem در منطقه ایران"، *مجموعه مقالات شانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران*، صفحات ۷۱-۷۷.

Barkan, J.; P.Alpert, H. Kutiel, and P.Kishcha. 2005. **Synoptic of dust transportation days from Africa toward Italy and central Europe**. Journal of Geophysical Research,110(7): 1-14. DOI: 10.1029/2004JD005222.

Byers, H. R1974, General meteorology, MC Graw, Hill Inc. Draxler, R., Gillette, A., Kirkpatrick, S., Heller, J., 2001., "**Estimating PM10 air concentration from dust storm in Iraq, Kuwait and Saudi Arabia**", Journal of Atmospheric Environment, Vol. 35, pp. 4315-4330. Draxler, R, R., Rolph, G, D., 2012, **HYSPLIT (Hybrid Single – Particle Lagrangian Integrated Trajectory), Model access via NOAA ARL, NOAA AIR Resources Laboratory, Silver Springer, MD.**

Draxler, R.R. and G.D. Rolph. 2003. **HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory.** Model access via NOAA ARL READY, Website http://www.arl.noaa.gov/ready/ hysplit4.html. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1.

Engelstadler, S. (2001). **Dust storm frequencies and their relationships to land surface conditions.** Freidrich-Schiller university press, jena. Germany. 26.

Han, Z., Ueda, H., Matsuda, K., Zhang, R., Arao, K., Kanai, Y., Hasome, H., (2004), "**Model study on particle size segregation and deposition during Asian dust events in March 2002**", Journal of Geophysical Research VOL.109, PP 1-22;

Hsu, N.; M.J. Jeong, C. Bettenhausen, A. Sayer, R. Hansell, and C. Seftor. **2013 Enhanced Deep Blue aerosol retrieval algorithm: The second generation**. Journal of Geophysical Research. Atmosphere, 118(16): 9296- 9315. DOI:10.1002/jgrd.50712.

Heidari, M., Shirmardi, M., Alavi, N., Malehi, H., Sorooshian, A., Babaei, A., Asgharnia,H., Marzouni, M., Goudarzi, Gh., (2018), "**Evaluation of the relationship between pm10 concentrations and heavy metals during normal and dusty days in Ahvaz**", journal homepage: Aeolin Research 33(2018)12-22.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.202.5]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.8]

Indoitu, R., L. Orlovsky, N. Orlovsky, (2012), "Dust storms in Central Asia: Spatial and temporal variations", Journal of Arid Environments, VOL.85, PP 62-70;

Li, Jiawei, Zhiwei Han, Renjian Zhang, (2011), "**Model study of atmospheric particulates during dust storm period in March 2010 over East Asia**", Atmospheric Environment, VOL.45, PP 3954 -3964;

Gao, T.; J. Hna, Y. Wang, H. Pei, and S. Lu. 2011. **Impacts of climate abnormality on remarkabledust storm increase of the Hunshdak Sandy Lands in northern China during 2001–2008, meteorological applications meteorol.**

Gong, S.L., Zhang, X.Y., Zhao, T.L., McKendry, I.G., Jaffe, D.A., Lu, N.M., (2003).
"Characterization.

Shao, Y. and C.H. Dong. 2006. **A review on East Asian dust storm climate, modelling and monitoring**. Global and Planetary Change, 52(1-4): 1–22.

Tanaka, T.Y. and M. A. Chiba.2006. **a Numerical Study of the Contribution of Dust Source Regions to the Global Dust Budget. Glob Planetary Change**, 52(1-4): 88-104. doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.02.002.

Waldhauserova, P. D.; O. M. Agnes, H. Olafsson, and O. Arnalds.2016. **The Spatial Variation of Dust Particulate Matter Concentrations during Two Icelandic Dust Storms in 2015**. Atmosphere, 7(6): 77, DOI:10.3390/atmos7060077.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.202.5]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.8]