

Original Research Article

Monitoring the changes in dust storms and their relationship with the North Atlantic Oscillation index (NAO) in selected stations in the west and southwest of Iran

Fatemeh Vatanparast Ghaleh Juq¹, Bromand Salahi^{2*}

¹ Ph.D. in Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

² Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.



10.22034/GRD.2024.21203.1608

Received:

February 1, 2024

Accepted:

April 30, 2024

Keywords:

AOD index, Dust Storm, HYSPLIT model, North Atlantic Oscillation (NAO), West and Southwest Iran

Abstract

In deserts and dry areas, sudden changes in temperature cause strong winds and as a result cause the phenomenon of dust. The purpose of this research is to investigate the relationship between the occurrence of dust storms and the North Atlantic Oscillation (NAO) index at selected stations in the west and southwest of Iran (Abadan, Bostan, Ilam, Dehloran, Kermanshah and Sarpol-E-Zahab). For this purpose, we used the codes of days with dust storms, horizontal visibility of less than 1 km, data related to index values (NAO) during the statistical period 1987-2022, and satellite data including dust optical depth index (AOD) obtained from the productions of the gauges of 2000-2017 MISR and 2002-2022 MODIS periods. The results of the correlation coefficients showed that there is a relatively strong inverse relationship between the NAO index in the negative phase and a weak direct relationship with dust in the positive phase, and between 51% and 70% of the dust occurrences were simultaneous with the positive phase. The graph of changes in the time series of the indices in the two negative and positive phases showed that the value of the AOD index increased from west to southwest, which is evident in the Abadan station. According to the index produced by the MISR sensor in the years 2011 and 2015 in the positive phase and in the year 2008 in the negative phase, the peak of dust storm activity in all stations and its lowest value are related to the Sarpol-E-Zahab and Kermanshah stations in the years 2002 and 2004, respectively. According to the Deep Blue index obtained from the MODIS sensor, the positive phase of 2022 and the negative phase of 2009 can be separated as the peak of dust storms. The results of the Wind rose and HYSPLIT models showed that the direction of dust storms entering Abadan, Bostan and Ilam stations was from the northwest and southwest and in Dehloran, Kermanshah, and Sarpol-E-Zahab from the west, and the storms with external origin in these stations were influenced more by the countries of Iraq, Syria and Saudi Arabia.

E-ISSN: 2588-7009 /© 2023. Published by Yazd University. This is an open access article under the CC BY 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



* **Corresponding Author:** Bromand Salahi

Address: Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil.

Email: salahi@uma.ac.ir

Extended Abstract

1. Introduction

Dust storms play a crucial role in the Earth's atmospheric cycle. In arid and semi-arid regions, the rapid change in air temperature causes the formation of pressure differences in different parts of the region and the creation of strong and permanent winds. Deserts and dry regions and strong winds are the two causes of the dust phenomenon. One of the most effective ways to identify dust source areas is by using remote sensing techniques. The AOD (Aerosol Optical Depth) index provides the possibility of temporal and spatial monitoring of dust over a wide area in terms of detection accuracy and temporal and spatial extent.

2. Research Methodology

In this research, we investigated the relationship between the North Atlantic Oscillation index (NAO) and the occurrence of dust storms from the data related to the horizontal visibility of less than 1000 m and the current weather code expressing the dust storm (codes 6 to 9 and 30 to 35). The synoptic station located in the west and southwest of Iran (Abadan, Bostan, Ilam, Dehloran, Kermanshah and Sarpol-E-Zahab) was used for some time (1987-2022) and the values related to the index (NAO) were also obtained from www.cdc.noaa.gov. To control the quality of the data, correlation coefficients were calculated along with the negative and positive phases of the North Atlantic oscillations and the frequency of dust storms. To check the temporal distribution of dust, satellite data of the AOD index produced by MODIS and MISR measurements obtained from Giovanni's website at <http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov> were used, and the graph of the index changes in time scale Annually, the North Atlantic Oscillation Index was examined in two positive and negative phases. Due to the high ratio of the number of days in the positive phase compared to the negative phase in the years when the positive phase prevailed, dust storm routing was conducted with the HYSPLIT model for 6 h and at three altitude levels of 200, 1000 and 1500 m from the ground for the period Statistics were made for 2011-2022 and wind direction was assessed using WRPLOT software.

3. Results and discussion

The results of examining the relationship between the North Atlantic Oscillation and dust storms at selected stations showed that in all stations, between 51% and 70% of dust storms occurred in the positive phase. In general, it seems that the conditions for the occurrence of dust storms show more compliance with the positive phase. The number of correlation coefficients between the North Atlantic Oscillation index and the annual dust storms in the desired stations is inversely and significantly correlated with the NAO index in the negative phase, and it is insignificant and insignificant in the negative phase. The results of the study of the graphs of the changes in the AOD index produced by the MISR sensor at the same time as the positive phase in the stations of Ilam, Kermanshah, and Sarpol-E-Zahab show low amounts of aerosols and significant amounts in the three stations of Abadan, Bostan, and Dehloran. In the negative phase of the NAO index, changes in the amount of suspended particles in the atmosphere from years 2001 to 2006 and 2010 decreased at all stations. While it has increased in year 2008. Along with the predominance of the positive phase according to the AOD index obtained from the MODIS sensor, there has been an increasing trend in the annual average slope of the AOD index at all stations. Along with the dominance of the negative phase, AOD values showed that from 2002 to 2006, the average trend of the AOD index was decreasing, and from 2008 to 2016, the index value increased in all stations. The routing of dust particle transport during the positive phase of the North Atlantic Oscillation Index in the stations investigated with the HYSPLIT model shows the western and southwestern part of the region where dust enters these stations. In other words, the dust originated from eastern Syria, Iraq, and Saudi Arabia and entered Iran and reached these stations. The results of the annual Wind Rose show that in Abadan and Bostan stations, the most erosive winds were from the northwest direction, in Ilam from the southwest direction, and in the rest of the stations, they were from the west side.

4. Conclusion

The results of dust storm monitoring using satellite data showed that these techniques can play a major role in dust monitoring because of their wide coverage. The study of the results of the correlation coefficient between the positive phase of the North Atlantic Oscillation Index and the occurrence of dust storms indicates that there is a direct relationship between the occurrence of dust storms and the positive phase at the same time. In the negative phase, the opposite relationship is established. Analysis of annual average dust change graphs concerning the positive and negative phases of the North Atlantic Oscillation Index showed that the largest annual changes in the AOD index produced by MISR and MODIS sensors in the positive and negative phases are related to the Abadan, Bostan, and Ilam stations, respectively. Tracking the paths of dust entry has shown the entry of dust from neighboring western countries and western Chaharmahal and Bakhtiari to these areas.

مقاله پژوهشی

پایش تغییرات طوفان‌های گرد و غبار و ارتباط آن‌ها با شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) در ایستگاه‌های منتخب غرب و جنوب غرب ایران

فاطمه وطن پرست قلعه جوق^۱، برومند صلاحی^{۲*}

^۱ دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
^۲ استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

doi 10.22034/GRD.2024.21203.1608

چکیده

هدف این پژوهش بررسی ارتباط بین رخداد طوفان‌های گرد و غبار با شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) در ایستگاه‌های منتخب غرب و جنوب غرب ایران (آبادان، بستان، ایلام، دهلران، کرمانشاه و سرپل ذهاب) است. برای این منظور، از کدهای سینوپ روزهای توأم با طوفان گرد و غبار، دید افقی کمتر از ۱ کیلومتر، داده‌های مربوط به مقادیر شاخص (NAO) طی دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۲۲ و داده‌های ماهواره‌ای شامل شاخص عمق نوری هواویز (AOD) حاصل از تولیدات سنجنده‌های دوره‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۷ MISR و ۲۰۰۲-۲۰۲۲ MODIS استفاده شد. نتایج ضرایب همبستگی نشان داد که ارتباط نسبتاً قوی و معکوس بین شاخص NAO در فاز منفی و ارتباط مستقیم ضعیف در فاز مثبت با گرد و غبار وجود دارد و بین ۵۱ تا ۷۰ درصد رخدادهای گرد و غبار با فاز مثبت همزمان بوده است. نمودار تغییرات سری زمانی شاخص‌ها در دو فاز منفی و مثبت نشان داد از سمت غرب به سمت جنوب غرب مقدار شاخص AOD افزایش یافته که این افزایش در ایستگاه آبادان مشهود است. مطابق با شاخص حاصل از تولید سنجنده MISR سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۵ در فاز مثبت و سال ۲۰۰۸ در فاز منفی اوج فعالیت طوفان گرد و غبار در تمامی ایستگاه‌ها بوده و کمترین مقدار آن نیز مربوط به ایستگاه‌های سرپل ذهاب و کرمانشاه به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۴ است. مطابق با شاخص دیپ بلو حاصل از سنجنده MODIS در فاز مثبت سال ۲۰۲۲ و در فاز منفی سال ۲۰۰۹ را می‌توان به‌عنوان اوج طوفان‌های گرد و غبار تفکیک کرد.

تاریخ دریافت:

۱۲ بهمن ۱۴۰۲

تاریخ پذیرش:

۱۱ اردیبهشت ۱۴۰۳

کلیدواژه‌ها:

شاخص AOD،
غرب و جنوب غرب ایران،
گرد و غبار،
مدل HYSPLIT،
نوسان اطلس شمالی (NAO).

۱ مقدمه

مطابق با تعریف سازمان هواشناسی جهانی^۱ (WMO، ۲۰۱۱) طوفان‌های گرد و غبار در بیشتر موارد حاصل بادهای قوی و متلاطمی هستند که ذرات زیادی از گرد و غبار را از سطوح بیابانی بالابرده و با توسعه آن‌ها در نواحی وسیع، قدرت دید را به کمتر از ۱۰۰۰ متر کاهش می‌دهند. در واقع هر زمان در ایستگاهی سرعت باد از ۱۵ متر بر ثانیه فراتر رود و دید افقی به علت گرد و غبار به کمتر از یک کیلومتر برسد طوفان گرد و غبار گزارش می‌شود (جیاوئی^۲، ۲۰۱۱؛ امیدوار، ۱۳۹۶).

Email: salahi@uma.ac.ir

* نویسنده مسئول: برومند صلاحی

آدرس: دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی

¹ World Meteorological Organization² Jiawei

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تغییر سریع درجه حرارت هوا سبب تشکیل اختلاف فشار در قسمت‌های مختلف آن و ایجاد بادهای قوی و دائمی می‌شود که این مناطق بیابانی و خشک و وزش بادهای قوی دو عامل ایجاد پدیده گرد و غبار می‌باشند (مهرشامی و نیکنام، ۱۳۸۸). به‌تازگی جهان‌شمول شدن پدیده گرد و غبار در بخش گسترده‌ای از کشور، تشویش‌ها و بالأخص مشکلات و آثار زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی وسیعی را برای ساکنین استان‌های مرزی در پی داشته است. برای درک بهتر تأثیرات این ذرات لازم است که غلظت و توزیع اندازه ذرات آن‌ها به‌صورت بسامان در قاعده جهانی مورد نظارت قرار گیرد (برتینا و همکاران، ۱۳۹۳). یکی از روش‌های مؤثر در شناخت مناطق منشأ گرد و غبار، استفاده از تکنیک سنجش‌ازدور است (بادوک^۱ و همکاران، ۲۰۰۹).

شاخص AOD^۲ (شاخص عمق نوری آئروسول / گرد و غبار) یکی از شاخص‌های پرکاربرد برای پایش و تحلیل ذرات معلق موجود در اتمسفر است و به لحاظ دقت در تشخیص و گستره زمانی و مکانی، امکان پایش زمانی و مکانی گرد و غبار در پهنه وسیع را فراهم می‌کند (راماناتان و کروتزن^۳، ۲۰۰۳؛ ارجمند و همکاران، ۱۳۹۷). در سال‌های اخیر به سبب فراوانی رخداد طوفان‌های گرد و غبار و فراوانی خسارت‌های ناشی از آن، مطالعات گسترده‌ای در سطح جهان و ایران درباره آن صورت گرفته است:

ژینوکس^۴ و همکاران (۲۰۱۰) برای بررسی گرد و غبار شمال نیجریه و جنوب چاد از الگوریتم اسپکترو رادیومتر ۵ (دیپ بلو ۶) استفاده کردند و مناطق وسیع تحت تأثیر پدیده گرد و غبار را شناسایی کردند. آلام^۵ و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از سنجنده‌های TOMS^۶، MODIS^۷ و MISR^۸ تغییرات زمانی و مکانی گرد و غبار را در پاکستان بررسی کردند و دریافتند که بالاترین میانگین AOD متعلق به فصل تابستان است. راشکی^۹ و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای حاصل از سنجنده‌های TOMS، MODIS و MISR، تغییرات سطح آب دریاچه هامون را در ارتباط با افزایش گرد و غبار جنوب شرق ایران بررسی کردند و نشان دادند که حوضه هامون و غرب مرز افغانستان به‌عنوان یکی از مناطق منشأ در جنوب آسیا است.

هسو^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند الگوریتم دیپ بلو در شناسایی پدیده گرد و غبار شمال آفریقا و مناطق نیمه‌خشک خاورمیانه از انعطاف‌پذیری بالایی در آشکارسازی پدیده گرد و غبار برخوردار است. دی^{۱۱} و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از داده ماهواره INSAT^{۱۲} و شاخص AOD به ردیابی گرد و غبار در سین کیانگ پرداختند. سریواستاوا و ساران^{۱۳} (۲۰۱۷) ارزیابی تغییرات زمانی شاخص AOD در هند با آزمون‌های همبستگی روند افزایشی نشان داد.

¹ Baddock

² Aerosol Optical Depth

³ Ramanathan and Crutzen,

⁴ Ginoux

⁵ Alam

⁶ Total Ozone Mapping Spectrometer

⁷ Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer

⁸ Multi-angle Imaging Spectroradiometer

⁹ Rashki

¹⁰ Hsu

¹¹ Di

¹² Indian National Satellite System

¹³ Srivastava and Saran

هالوس^۱ و همکاران (۲۰۱۷) بررسی تأثیر گرد و غبار بر خصوصیات نوری آئروسول در عراق با شاخص‌های AAOD^۲، AI^۳ و AOD^۴ نشان داد هر سه شاخص مذکور از یک الگو تبعیت می‌کند. فیلونچیک^۴ و همکاران (۲۰۱۸) بررسی تغییرپذیری زمانی و مکانی شاخص AOD طی دوره زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۰ در چین کاهش از شرق به غرب را نشان داد. گویس^۵ و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که در امارت متحده عربی جهت و سرعت باد در نفوذ گرد و غبار به منطقه مؤثر بوده است.

فونتوکیس^۶ و همکاران (۲۰۲۰) طوفان‌های گرد و غبار شدید در خاورمیانه و تأثیر آن بر خواص نوری گرد و غبار را با تصاویر ماهواره‌ای MODIS و مدل WRF^۷ ارزیابی کردند. وانگ^۸ و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که مقدار شاخص AOD متوسط سالانه در آسیای مرکزی طی بازه زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۸ بین ۰/۱۸۳ تا ۰/۲۳۲ متغیر است. ایرجی^۹ و همکاران (۲۰۲۱) طوفان گرد و غبار ۲۴ و ۲۵ می ۲۰۱۴ استان یزد را با استفاده از مدل HYSPLIT^{۱۰} و شاخص (AOD) داده‌های MODIS بررسی کردند و دریافتند که طوفان‌ها بیشتر در شمال شرق و جنوب یزد رخ داده‌اند.

یارمرادی و همکاران (۱۳۹۸) تعیین منابع گرد و غبار در شرق ایران با استفاده از شاخص AOD و مدل HYSPLIT نشان داد که ۹۰ درصد منابع اصلی گرد و غبار در شرق ایران از دشت سیستان و کشورهای افغانستان و ترکمنستان است. ولی‌زاده کامران و نامداری (۱۳۹۹) با استفاده از داده‌های AOD سنجنده MODIS، تغییرات زمانی و مکانی غلظت گرد و غبار در دریاچه ارومیه را طی دوره ۲۰۱۵-۲۰۰۰ بررسی کردند. نتایج نشان داد بیشترین تغییرات افزایشی غلظت گرد و غبار در اواخر تابستان و اوایل فصل سرد وجود دارد. بررسی روند فصلی شاخص هواویز AI در ایران از پژوهش‌های داداشی رودباری و همکاران (۱۳۹۹) است.

جعفری و علی‌دادی (۱۴۰۰) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS و شاخص‌های AOD و AI به پهنه‌بندی گرد و غبار در جنوب غربی ایران پرداختند. سلیمانی ساردو و همکاران (۱۴۰۰) بررسی روند الگوهای زمانی و مکانی گرد و غبار حوضه جازموریان طی دوره آماری ۲۰۲۰-۲۰۰۰ با استفاده از شاخص AOD سنجنده MODIS نشان داد که بیشترین روند افزایش گرد و غبار در ماه‌های آوریل تا ژوئیه دیده می‌شود. رضوی زاده و همکاران (۱۴۰۰) بررسی روند تغییرات گرد و غبار در استان گلستان با استفاده از سنجنده MODIS و گل‌غبارهای منطقه‌ای در بازه زمانی (۱۳۷۹-۱۳۹۶) جهت گرد و غبار را غالباً غربی و سال ۱۳۸۸ را با بالاترین مقدار AOD نشان داد.

صحت کاشانی و همکاران (۱۴۰۱) در بررسی چشمه‌های گرد و غبار ایلام طی دوره (۱۳۸۱-۱۳۹۶) مرکز شهر دهلران و مهران به‌عنوان منشأ زیاد گرد و غبار شناسایی شدند. چکی فورک و همکاران (۱۴۰۲) در شهر بیرجند کانون‌های گرد و غبار را با تصاویر ماهواره لندست در سال‌های ۲۰۰۸ - ۱۹۶۳ شناسایی کردند و مشخص شد وقوع ذرات در دوره خشک پدیده غالب است. پژوهش‌های دیگری توسط علی‌پور و همکاران (۱۴۰۱)، پوردهقان

¹ Halos

² Aerosol Absorption Optical Depth

³ Aerosol Index

⁴ Filonchyk

⁵ Ghouse

⁶ Fountoukis

⁷ Weather research and forecasting chemistr

⁸ Wang

⁹ Iraj

¹⁰ Hybrid Single Particle Lagrangian integrated Trajectory Model

اردکانی (۱۴۰۱)، پوراحمد و همکاران (۱۴۰۲) و چکی فورک و همکاران (۱۴۰۲) در مناطق مختلف ایران در رابطه با پایش گرد و غبار صورت گرفته است.

نوسان اطلس شمالی NAO^۱ یکی از مهم‌ترین و مؤثرترین شاخص پیوند از دور نیمکره شمالی به شمار می‌رود و درواقع یک پدیده اقلیمی است که از تغییر فشار سطح دریا بین پرفشار آזור و کم‌فشار ایسلند در اقیانوس اطلس شمالی نتیجه می‌شود (هورل^۲، ۱۹۹۵؛ ذوالفقاری، ۱۳۹۳). با توجه به کارایی مطالعات پیوند از دور در شناخت و پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی، مطالعات زیادی به‌منظور یافتن رابطه الگوهای پیوند از دور با این متغیرها صورت گرفته است. باغبان (۱۳۹۹) نتایج تحلیل توزیع طوفان‌های گرد و غبار و ارتباط آن با الگوهای پیوند از دور ۴۴ ایستگاه همدیدی ایران طی دوره آماری ۲۰۱۷-۱۹۶۸ نشان داد که الگوهای PDO^۳، AO^۴ دارای تأثیر مستقیم و غیرمستقیم به‌صورت هم‌زمان در بروز طوفان‌های گرد و غبار هستند.

جاویدنیا (۱۳۹۹) ارزیابی رابطه طوفان‌های گرد و غبار با شاخص‌های پیوند از دور AMO^۵، AO و NAO طی دوره آماری ۲۰۱۷-۱۹۸۸ در استان کرمان نشان‌دهنده بیشترین تأثیر الگوهای AO و AMO بر گرد و غبار استان کرمان بوده است. مسلم هست که عوامل متعددی بر وقوع طوفان‌های گرد غبار حاکم هستند که بدون آگاهی از این عوامل، بررسی و تجزیه و تحلیل شرایط رخداد آن‌ها ممکن نیست. شاخص‌های پیوند از دور نیز از جمله این عوامل تأثیرگذار می‌باشند که پایه در چرخش عمومی جو دارند، درواقع شاخص‌های پیوند از دور با اثر گذاشتن بر شکل‌گیری باد و چرخش آن در ایران شرایطی را پدید می‌آورند که بر رخداد طوفان‌های گرد و غباری تأثیر گذاشته و منجر می‌شوند ذرات گرد و غبار از سطح زمین به هوا برخاسته و طوفان‌های گرد و غباری ایجاد کنند. غرب و جنوب غرب ایران نیز همواره در معرض طوفان‌های گرد و غبار بوده و مشکلات زیست‌محیطی فراوانی بر این منطقه وارد کرده است. ارزیابی طوفان‌های گرد و غبار در ایستگاه‌های منتخب غرب و جنوب غرب ایران با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای (AOD) و شناسایی روابط حاکم بین تغییرات آن با شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) هدف این پژوهش است تا مشخص شود این شاخص در افزایش یا کاهش وقوع طوفان‌های گرد و غباری چه تأثیری داشته‌اند.

۲ روش تحقیق

۲٫۱ منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش، ایستگاه‌های همدید واقع در غرب و جنوب غرب ایران که شامل ۶ ایستگاه آبادان، ایلام، بستان، دهلران، کرمانشاه و سرپل ذهاب است مورد بررسی قرار گرفته است. چرا که در سال‌های اخیر، این ایستگاه‌ها به‌ویژه ایستگاه‌های جنوبی، بیشتر با پدیده گرد و غبار درگیر بوده‌اند (علی‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۴؛ احمدی و داداشی رودباری، ۱۳۹۸؛ قادری و عزیزی، ۱۳۹۹). نام، موقعیت و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۱ آورده شده است.

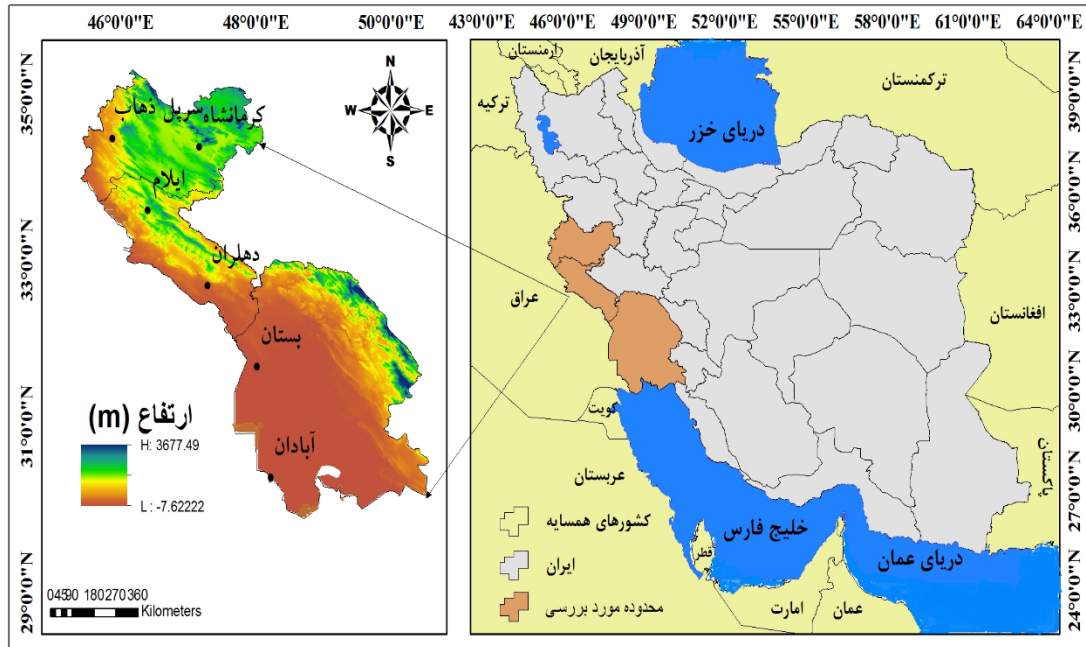
¹ North Atlantic Oscillation

² Hurrell

³ Pacific Decadal Oscillation

⁴ Artic Oscillation

⁵ Atlantic Multidecadal Oscillation



شکل ۱. جایگاه جغرافیایی و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه

۲،۲ روش

در پژوهش پیش رو برای بررسی ارتباط بین شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) با رخداد طوفان‌های گرد و غبار، از چند مجموعه داده استفاده شد. مجموعه اول، داده‌های روزانه مربوط به دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر و کدهای پدیده وضع هوا (ww) بیان‌کننده طوفان گرد و غبار (کدهای ۶ تا ۹ و ۳۰ تا ۳۵) شش ایستگاه همدید منتخب واقع در غرب و جنوب غرب ایران است که برای یک دوره زمانی ۳۵ ساله (۲۰۲۲-۱۹۸۷) از آن استفاده شد. داده‌های کدهای پدیده وضع هوا مذکور، در طول روز با ۸ بار دیده‌بانی در سازمان هواشناسی به فاصله هر سه ساعت جمع‌آوری می‌شوند. هر روز که در آن یکی از کدهای گرد و غباری اتفاق بیافتد آن روز به‌عنوان روز همراه با طوفان گرد و غباری شناخته می‌شود. در پژوهش حاضر نیز از داده‌های فراوانی وقوع تعداد روزهای همراه با طوفان‌های گرد و غباری استفاده شده است. مجموعه دوم داده‌ها نیز مقادیر مربوط به شاخص NAO است که برای همان بازه زمانی از پایگاه تشخیص اقلیمی سازمان ملی آب‌وهوا در ناسا به آدرس www.cdc.noaa.gov.htm دریافت شد.

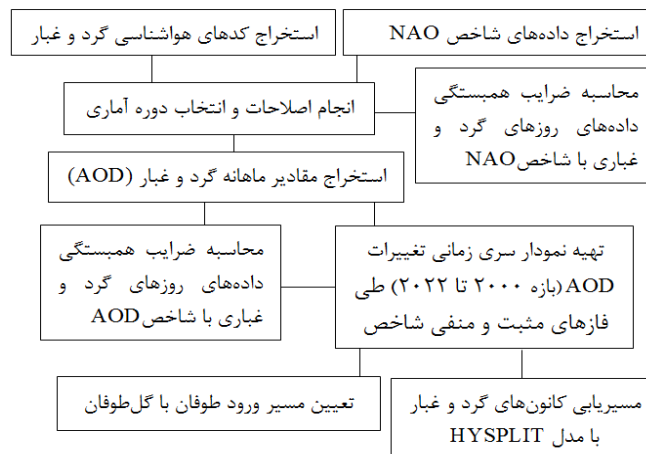
بعد از دریافت داده‌های موردنیاز، به‌منظور کنترل کیفی داده‌ها، ضرایب همبستگی پیرسون در ارتباط با فاز منفی و مثبت نوسانات اطلس شمالی و فراوانی طوفان گرد و غبار محاسبه شد. پدیده گرد و غبار به علت آن‌که مسافت طولانی را از منشأ تولید خود طی می‌کند دارای محدودیت‌های زمانی و مکانی برای اندازه‌گیری میدانی هستند. به همین جهت، تنها از طریق مشاهدات ماهواره‌ای امکان پایش دقیق گرد و غبار فراهم است (کاستوری و یاسو، ۲۰۱۰). به همین منظور در ادامه کار جهت پایش ریزگردهای معلق در هوا و بررسی و آشکارسازی توزیع زمانی گرد و غبار، داده‌های AOD حاصل از سنجنده MISR (MIL3MAEV4) با قدرت تفکیک مکانی ۵/۰ درجه و طول‌موج ۵۵۵ نانومتر با فرمت ASCII در مقیاس ماهانه در طول دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ برای ایستگاه‌های مورد بررسی از وبسایت Giovanni به آدرس <http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov>، اخذ گردید و از اطلاعات Deep Blue

¹ Kasturi and Yaso

AOD تولیدات سنجنده MODIS نصب شده روی ماهواره Aqua (MYD08-M3 v6) با قدرت تفکیک مکانی ۱ درجه و طول موج نزدیک به طیف آبی (۵۵۰ نانومتر) به صورت ماهانه برای دوره زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۲ استفاده شد. این الگوریتم برای محاسبه مقادیر AOD (شاخص عمق نوری گرد و غبار) بر روی سطوح روشن به ویژه مناطق بیابانی به کار می‌رود (ارجمند و همکاران، ۱۳۹۷). جهت بررسی روند تغییرات افزایشی و یا کاهش‌ی شاخص در این ایستگاه‌ها، نمودار تغییرات زمانی میانگین ارزش پیکسل‌های شاخص AOD در مقیاس سالانه در دو فاز مثبت و منفی شاخص نوسان اطلس شمالی ترسیم و بررسی شد (برتینا و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین رابطه بین تعداد روزهای توأم با گرد و غبار و شاخص AOD نیز مورد ارزیابی قرار گرفت.

به منظور تحلیل وضعیت گل طوفان^۱، به منزله یکی از عوامل مهم در ایجاد طوفان‌های گرد و غبار از کمترین حد سرعت آستانه فرسایش بادی (۷/۵ متر بر ثانیه) به عنوان سرعت پایه آستانه فرسایش بادی استفاده شد. در واقع گل طوفان، نوعی گلاباد است که در آن بادهای آرام و بادهای با سرعت کمتر از سرعت آستانه از داده‌های باد ایستگاه‌های مورد مطالعه حذف شده است (ایازی و همکاران، ۱۳۹۴؛ مرادی و رضازاده، ۱۳۹۹).

برای درک این که آیا مناطق اطراف محدوده مورد بررسی در ایجاد و یا تشدید پدیده گرد و غبار اثرگذارند یا نه، باید مهم‌ترین کانون‌های گرد و غباری اطراف محدوده مورد بررسی را در اختیار داشته باشیم، بنابراین به بررسی فراوانی عبور مسیرهای ردیابی شده توسط مدل HYSPLIT در سه سطح ارتفاعی ۲۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متری در حداقل زمانی ۶ ساعت قبل از ورود گرد و غبار از نوع ردیابی Back Ward در طول دوره حاکمیت فاز مثبت به علت اثرگذاری بیشتر آن بر فراوانی وقوع طوفان‌های گرد و غبار پرداخته شد تا بتوان دریافت کدام کانون‌ها طی فاز مثبت شاخص نوسان اطلس شمالی نسبت به کانون‌های دیگر می‌تواند تأثیر بیشتری بر هوای ایستگاه‌های مورد بررسی داشته باشد. روش انجام پژوهش نیز در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. روند نمای انجام پژوهش

۳ یافته‌ها و بحث

در این بخش با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون در بازه زمانی سالانه، ارتباط شاخص NAO با طوفان‌های گرد و غباری محاسبه شد و هر فازی که در آن شاخص بیشترین همبستگی را با گرد و غبار در ایستگاه‌ها داشت به عنوان فاز مؤثر شناسایی شدند همسو با پژوهش (باغبان، ۱۳۹۹). طبق نتایج تحلیل ضرایب همبستگی همچنان

¹ Wind rose

که در جدول ۱ ملاحظه می‌شود، اثر شاخص نوسان اطلس شمالی بر فراوانی روزهای توأم با گرد و غبار سالانه در طول فاز منفی برای همه ایستگاه‌ها با ضرایب همبستگی معکوس همراه است که در ایستگاه‌های بستان و سرپل ذهاب در سطح اطمینان ۹۵ درصد و در ایستگاه آبادان در سطح ۹۹ معنادار می‌باشد. هم‌زمان با فاز مثبت در همه ایستگاه‌ها همبستگی مستقیم بین شاخص با فراوانی گرد و غبار برقرار است که در هیچ‌یک از این ایستگاه‌ها همبستگی معنادار نیست. ایستگاه‌های آبادان و بستان به ترتیب با مقدار ۰/۵۹ و ۰/۴۷ بالاترین ضریب همبستگی معکوس در فاز منفی و ایستگاه ایلام با ۰/۰۸ کمترین ضریب همبستگی مستقیم را در فاز مثبت نشان می‌دهند.

یافته‌های جدول ۲ نشان می‌دهد بین شاخص AOD استخراج‌شده از سنجنده‌های MODIS، MISR و اطلاعات تاریخی ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه مشتمل بر تعداد روزهای توأم با گرد و غبار، فراوانی رخداد‌های گرد و غبار روزانه و حداقل میدان دید افقی همبستگی قابل قبولی وجود دارد. از این رو AOD می‌تواند معیار روشنی برای بررسی و تحلیل وقایع روزانه گرد و غبار محسوب شود.

جدول ۱. ضرایب همبستگی گرد و غبار سالانه ایستگاه‌ها با شاخص NAO

ایستگاه	فاز مثبت NAO	فاز منفی NAO
آبادان	۰/۱۰۸	-۰/۵۹۹**
بستان	۰/۲۹۴	-۰/۴۷۶*
ایلام	۰/۰۸	-۰/۴۱۹
دهلران	۰/۱۲۸	-۰/۳۹۶
کرمانشاه	۰/۱۲۶	-۰/۴۸۸
سرپل ذهاب	۰/۱۰۳	-۰/۴۶۹*

** همبستگی در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار است

* همبستگی در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است

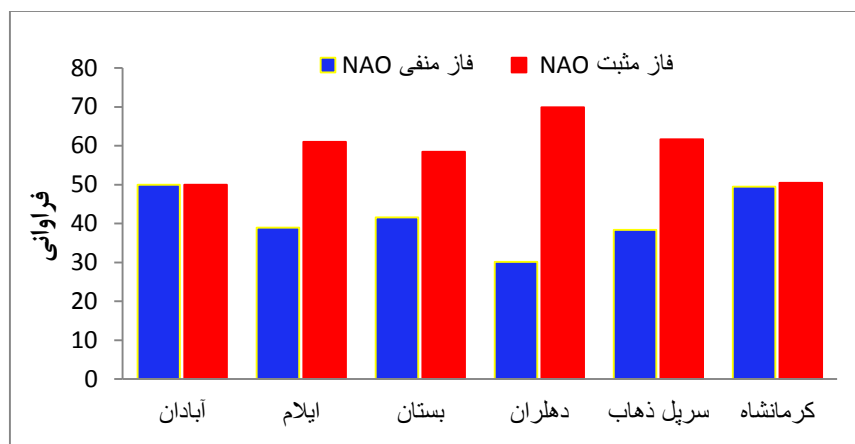
جدول ۲. ضرایب همبستگی گرد و غبار سالانه ایستگاه‌ها با شاخص AOD

ایستگاه	سنجنده MODIS	سنجنده MISR
آبادان	۰/۲۹۸	۰/۵۴۴*
بستان	۰/۵۲۳*	۰/۲۹۳
ایلام	۰/۶۳۴**	۰/۲۶۴
دهلران	۰/۴۴۷*	۰/۲۸۸
کرمانشاه	۰/۷۲۰**	۰/۵۷۸*
سرپل ذهاب	۰/۶۴۶**	۰/۵۶۴*

** همبستگی در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار است

* همبستگی در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است

مطابق با شکل ۳، بررسی درصد فراوانی طوفان‌های گرد و غبار در ایستگاه‌های منتخب غرب و جنوب غرب ایران در دو فاز مثبت و منفی شاخص نوسان اطلس شمالی نشان می‌دهد که فعالیت‌های سالانه طوفان‌های گرد و غبار طی فاز مثبت شامل ۷۰ درصد از کل رخداد طوفان‌های گرد و غبار در ایستگاه دهلران و ۵۱ درصد در ایستگاه‌های آبادان و کرمانشاه است. براین اساس شرایط وقوع طوفان‌های گرد و غبار در همه ایستگاه‌ها، با فاز مثبت انطباق بیشتری نشان می‌دهد.

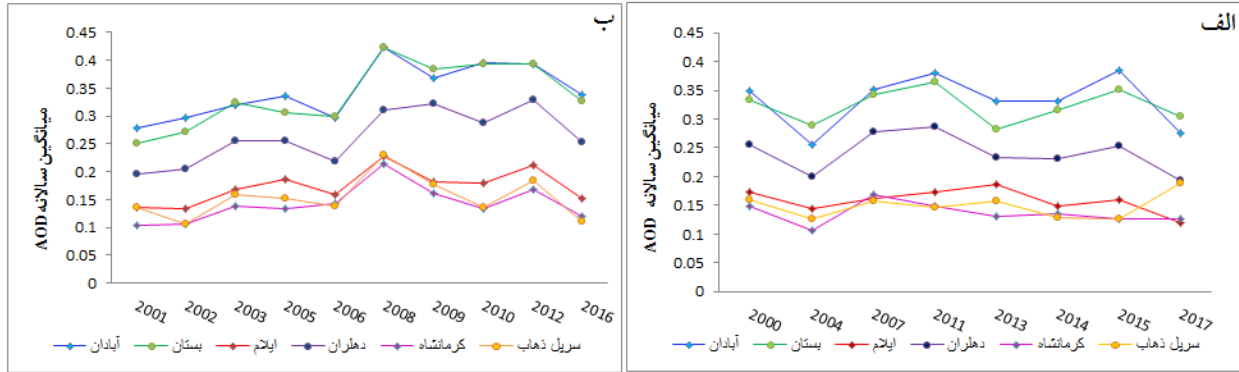


شکل ۳. درصد فراوانی گرد و غبار مشاهده شده نسبت به تعداد کل روزهای گرد و غبار در فازهای مثبت و منفی شاخص NAO

۳٫۱ تغییرات سالانه شاخص AOD

نمودارهای سری زمانی تغییرات شاخص AOD تولید سنجنده MISR هم‌زمان با فاز مثبت در (شکل ۴- الف) نشان داده شده است. هم‌زمان با چیرگی فاز مثبت در ایستگاه‌های ایلام، کرمانشاه و سرپل ذهاب متوسط عمق نوری از غلظت کمتری برخوردار بوده که به‌طور متوسط میزان آن در ایستگاه ایلام بین ۰/۱۲ - ۰/۱۴، کرمانشاه بین ۰/۱۲ تا ۰/۱۶ و در سرپل ذهاب بین ۰/۱۲ تا ۰/۱۸ در نوسان بوده است. توپوگرافی پیچیده به همراه پوشش گیاهی مناسب و تراکم نسبتاً پایین جمعیت و عدم فعالیت قابل‌توجه انسان در این ایستگاه‌ها می‌تواند دلیل کمتر بودن هواویز نسبت به سایر ایستگاه‌های مورد بررسی باشد. درحالی‌که مقدار این شاخص در سه ایستگاه آبادان، بستان و دهلران به ترتیب بین ۰/۲۵ تا ۰/۳۸، ۰/۲۸ تا ۰/۳۶ و ۰/۲۵ تا ۰/۲۸ بوده که بیانگر غلظت قابل‌توجه شاخص در این ایستگاه‌ها می‌باشد. درواقع بیشتر شدن مقادیر AOD از غرب به سمت جنوب نشان‌دهنده افزایش ذرات معلق در امتداد ستون عمودی هوا بوده و به عبارتی دید در امتداد آن ستون کم شده است. این موضوع نشان می‌دهد ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان نسبت به سایر استان‌ها میانگین بیشتری از ذرات معلق هوا را تجربه کرده است.

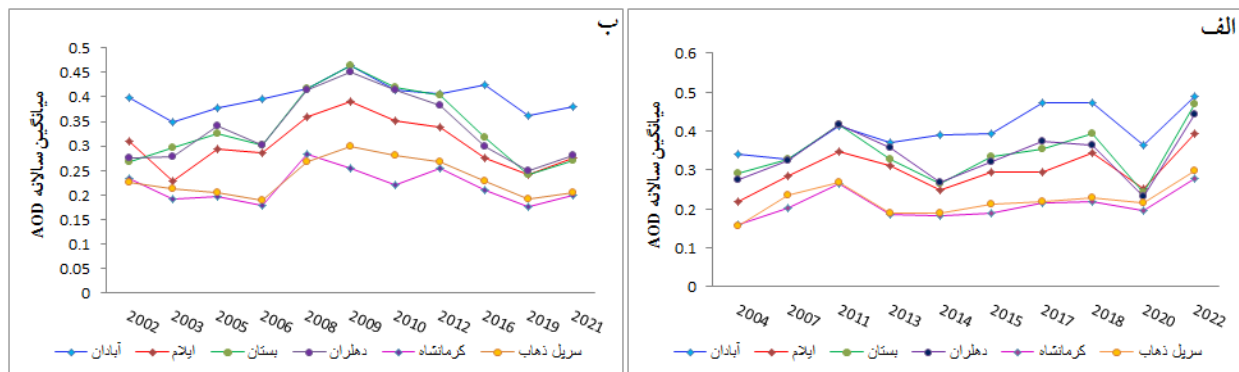
بررسی توزیع زمانی سالانه AOD در زمان‌های حاکمیت فاز منفی شاخص NAO (شکل ۴- ب) نشان می‌دهد تغییرات مشخصی در دوره آماری موردبحث وجود ندارد. به‌طوری‌که در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰ در تمام ایستگاه‌ها میزان ذرات معلق جو یک‌روند کاهشی داشته است. درحالی‌که در سال ۲۰۰۸ مقدار AOD افزایش یافته است که در این میان ایستگاه‌های آبادان، بستان و ایلام میزان افزایش AOD قابل توجهی را به خود اختصاص داده‌اند. علت اصلی افزایش عمق نوری ذرات در این نواحی را می‌توان در جهت باد جستجو کرد که جهت باد غالب شمال غربی در این قسمت‌ها ناشی از انحراف ارتفاعات زاگرس و وجود مراکز فشاری حوضه خلیج فارس است. این در حالی است که باقی ایستگاه‌ها تحت تأثیر غلظت کمتری از ذرات معلق قرار گرفته‌اند. نکته قابل‌توجه این است که در زمان حاکمیت فاز منفی همه ایستگاه‌ها از میانگین غلظت کمتری نسبت به فاز مثبت برخوردار بوده‌اند.



شکل ۴. نمودار تغییرات متوسط سالانه شاخص AOD حاصل از تولید سنجنده MISR (الف) فاز مثبت، (ب) فاز منفی در ایستگاههای منتخب غرب و جنوب غرب ایران

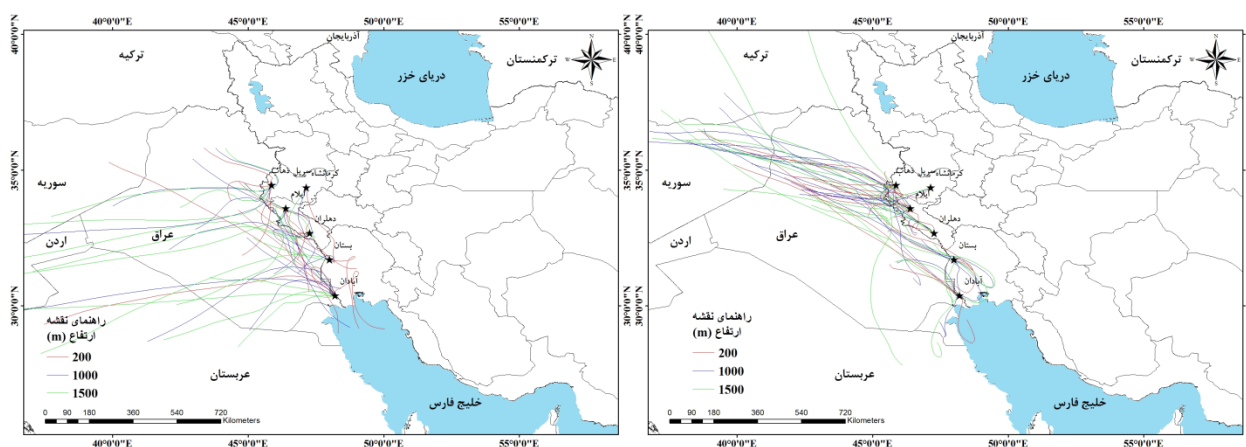
نمودار میانگین سالانه تغییرات، همزمان با چیرگی فاز مثبت مطابق با شاخص Deep Blue AOD در تمامی ایستگاهها نشان دهنده روند افزایشی در شیب میانگین سالانه شاخص AOD بوده است. کمترین مقادیر عمق نوری گرد و غبار مربوط به ایستگاههای کرمانشاه و سرپل ذهاب و بیشترین مقادیر آن به ترتیب با ایستگاههای آبادان، بستان، دهلران و ایلام انطباق دارد. تفاوت بارز میزان غلظت ذرات معلق در ایستگاه آبادان با سایر ایستگاهها به راحتی قابل مشاهده است که می توان عامل مهم این تفاوت را در نقش عوامل محلی و توپوگرافی محل دانست. بررسی روند متوسط عمق نوری نشان داد سالهای ۲۰۱۴ و ۲۰۲۰ با کاهش در همه ایستگاهها همراه بوده درحالی که تمامی ایستگاههای مورد بررسی در سال ۲۰۲۲ حد بالایی از میزان آئروسول را داشته اند (شکل ۵- الف).

همزمان با چیرگی فاز منفی NAO، مقادیر AOD حاصل از سنجنده MODIS نشان داد از سال ۲۰۰۲ تا سال ۲۰۰۶ روند متوسط شاخص AOD به صورت کاهشی بوده و از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۶ مقدار شاخص در همه ایستگاهها افزایش پیدا کرده است (شکل ۵- ب). لازم به ذکر است که بیشترین ضخامت اپتیکی AOD، در فازهای مثبت و منفی هر دو سنجنده با ایستگاههایی که در معرض بالاترین میزان گرد و غبار قرار داشته اند انطباق کامل داشته است که به شکل فوق العاده برای سلامتی انسان خطرناک است. در واقع مقدار گرد و غبار از عرض جغرافیایی تبعیت می کند که دلیل روشنی بر موقعیت ایستگاهها با توجه به زمان تولید، انتقال ذرات گرد و غبار و مجاورت آنها با مناطق مستعد گرد و غبار در خاورمیانه است.



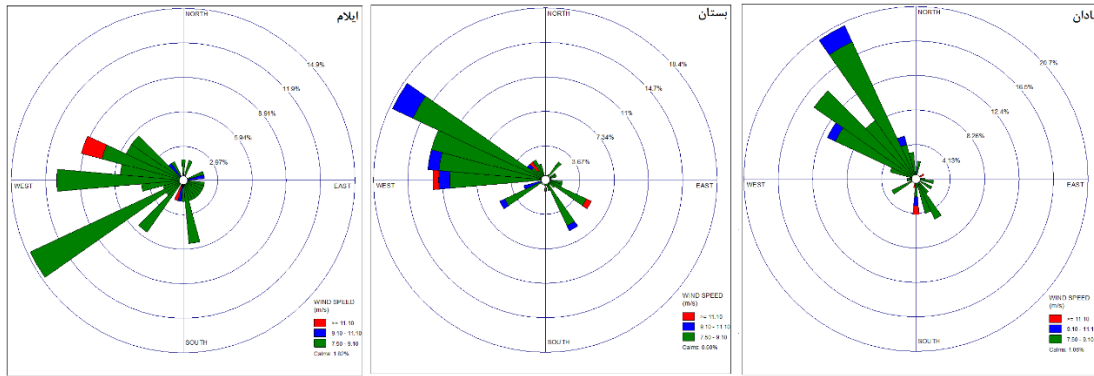
شکل ۵. نمودار تغییرات متوسط سالانه شاخص AOD حاصل از تولید سنجنده MODIS (الف) فاز مثبت، (ب) فاز منفی در ایستگاههای منتخب نیمه غربی ایران

مسیریابی رخدادهای انتقالی که خط سیر آن‌ها طی فاز مثبت شاخص نوسان اطلس شمالی در طول تاریخ‌های مشترک از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۲ از روی ایستگاه‌های منتخب عبور کرده و به این ایستگاه‌ها رسیده‌اند در سه سطح ارتفاعی ۲۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متری از سطح زمین برای وضوح بهتر مسیرهای ورود به صورت دو تصویر جدا در شکل ۶ نشان داده شده است. نتیجه مدل HYSPLIT نشان می‌دهد که مسیر حرکت طوفان در بیشتر روزها به جز تعداد اندکی عمدتاً از سمت غرب و جنوب غرب بوده است. به طوری که بررسی‌های انجام گرفته در این خصوص بیانگر این موضوع می‌باشد که در حدود ۹۲ درصد رخداد طوفان‌های گرد و غبار با دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر در ایستگاه‌های منتخب، مسیر غربی و جنوب غربی (عراق و عربستان) را برای حرکت خود انتخاب کرده‌اند و در باقی موارد مسیر انتقال ذرات در سطح ۱۵۰۰ متر تابعی از مسیر و جهت حرکت باد شمال غربی است که از بیابان‌های سوریه منشأ آن آغاز و با عبور از بیابان‌های مرکزی و غرب عراق با انتشار عمودی به سمت شرق وارد شده‌اند که این موضوع سبب توسعه آلودگی و تشدید غلظت گرد و غبار و نیز کاهش بیشتر دید افقی در ایستگاه‌ها می‌شود.

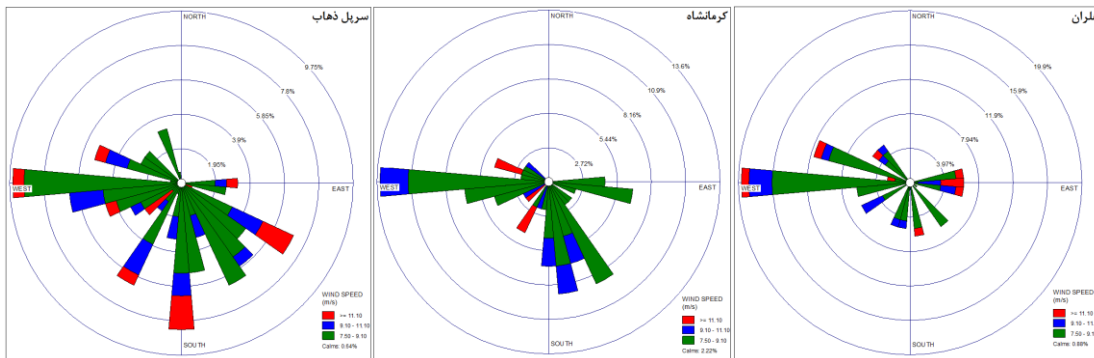


شکل ۶. ردیابی پسگرد مسیر طوفان‌های گرد و غبار با گام زمانی ۶ ساعته در ایستگاه‌های منتخب غرب و نیمه غرب ایران در طول دوره آماری (۲۰۱۱-۲۰۲۲)

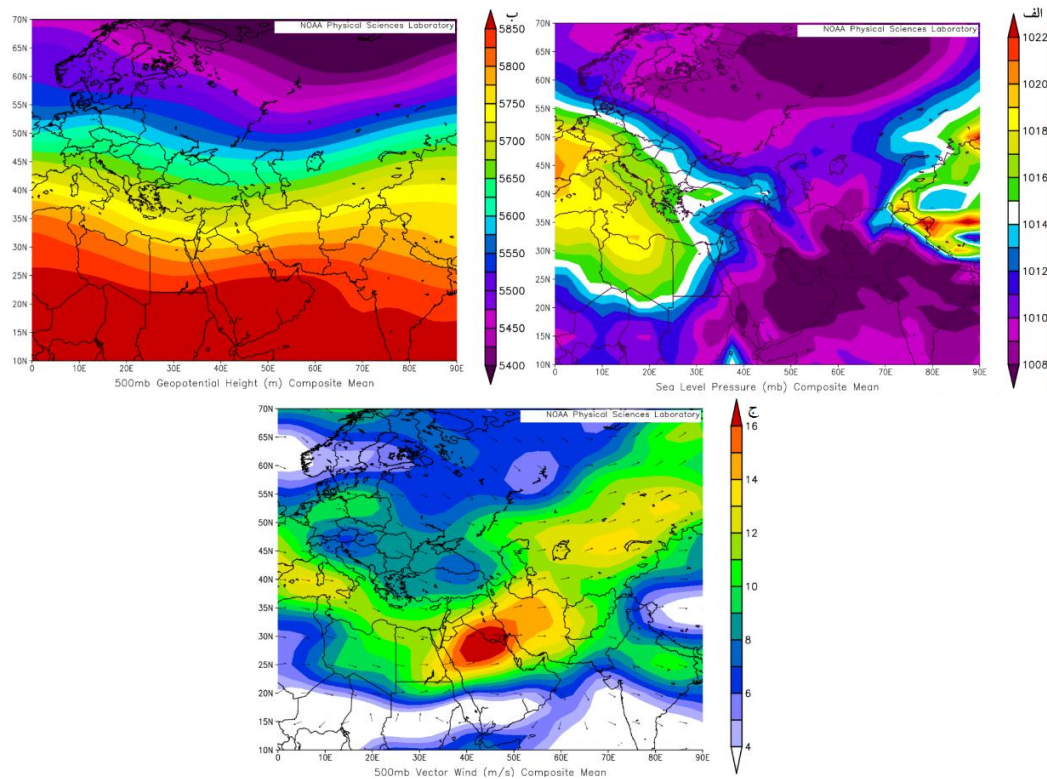
نتایج گل طوفان‌های سالانه روزهای توأم با گرد و غبار بیانگر آن است که در ایستگاه‌های آبادان و بستان فرساینده‌ترین بادها از جهت شمال غرب و در ایستگاه ایلام از جهت جنوب غرب می‌وزند. بر اساس نتایج حاصل از این گل طوفان‌ها، وزش بادهای فرساینده دارای سرعت بیش از $7/5$ متر بر ثانیه در ایستگاه بستان دارای فراوانی بیشتری نسبت به دو ایستگاه آبادان و ایلام می‌باشد. (شکل ۷). در ایستگاه‌های دهلران، کرمانشاه و سرپل ذهاب گل طوفان در قطاع غربی دارای بازوی بلندتری بوده و منشأ اغلب گرد و غبارهای رسیده به این ایستگاه‌ها از کانون‌های نزدیک به این ناحیه یعنی سمت غرب است و بیش‌ترین نقش را در وقوع گرد و غبارهای چشمگیر داشته‌اند (شکل ۸).



شکل ۷. گل طوفان روزهای گرد و غباری سال ۲۰۲۲-۱۹۸۷ طی فاز مثبت در ایستگاههای آبادان، بستان و ایلام



شکل ۸. گل طوفان روزهای گرد و غباری سال ۲۰۲۲-۱۹۸۷ طی فاز مثبت در ایستگاههای دهلران، کرمانشاه و سرپل ذهاب



شکل ۹. الف) میانگین فشار سطح دریا (برحسب هکتوپاسکال). ب) میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (برحسب ژئوپتانسیل متر). ج) سرعت و جهت وزش باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (m/s) طی فاز مثبت

برای نشان دادن اثر فاز مثبت شاخص نوسان اطلس شمالی بر فرایند رسیدن طوفان‌های گرد و غبار به پهنه مورد بررسی، نقشه‌های میانگین فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل و باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از پایگاه اینترنتی <https://psl.noaa.gov/cgi-bin/data/composites/printpage.pl> أخذ شد. مطابق با شکل‌های (۹- الف، ب و ج) بررسی نقشه‌های میانگین فشار سطح زمین، ارتفاع ژئوپتانسیل، سرعت و جهت باد در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکالی در تاریخ‌های توأم با طوفان گرد و غبار و هم‌زمان با فاز مثبت شاخص نوسان اطلس شمالی طی دوره (۲۰۲۲-۱۹۸۷) نشان می‌دهد جهت باد در محدوده مورد بررسی تحت تأثیر کم‌فشارهای گرمایی خلیج فارس با مکش هوای بیابان‌های اطراف شبه‌جزیره عربستان قرار دارد و ارتفاعات رشته‌کوه زاگرس با امتداد شمال غربی- جنوب شرقی همانند سدی جلوی عبور طوفان‌های گرد و غبار وارد شده به این نواحی را گرفته و سبب می‌شود این پدیده نسبت به بقیه مناطق زمان بیشتری را در این نواحی سپری نماید. شرایط جوی حاکم بر لایه هواسپهر، در انتقال گرد و غبار از بیابان‌های شمال عربستان، شرق و جنوب سوریه و غرب و جنوب عراق به جنوب غرب ایران نقش مهمی دارد. قرارگیری ناوه و چرخند همراه با تاوایی مثبت در محور ناوه و ناپایداری و صعود هوا، زمینه را برای ایجاد شرایطی متلاطم بر فراز نواحی بیابانی کشورهای عربی هم‌جوار با غرب ایران، فراهم و شرایط مساعدی برای انتقال گرد و غبار به نواحی غرب و جنوب غرب ایران فراهم آورده است (رئیس‌پور، ۱۳۹۷).

۴ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش تغییرات زمانی طوفان‌های گرد و غبار در ارتباط با شاخص نوسان اطلس شمالی در ایستگاه‌های منتخب غرب و جنوب غرب ایران بررسی شد. برای شناسایی رخدادها از داده‌های هواشناسی با کدهای گرد و غباری و داده‌های ماهواره‌ای استفاده شد. تحلیل نتایج مربوط به مقادیر ضریب همبستگی بین فاز مثبت شاخص نوسان اطلس شمالی با رخداد طوفان گرد و غبار نشان‌دهنده این واقعیت است که فراوانی گرد و غبار در طول فاز مثبت NAO نسبت به فاز منفی بیشتر بوده است که با نتایج پژوهش المزرویی^۱ و همکاران (۲۰۱۸) برای شمال شبه‌جزیره عربستان تطابق دارد. در واقع بین رخداد طوفان‌های گرد و غبار با فاز مثبت ارتباط مستقیم اما ضعیفی به‌صورت هم‌زمان در همه ایستگاه‌ها وجود دارد. در حالی که در فاز منفی، ارتباط معکوس و متوسط به بالا با رخداد طوفان گرد و غبار وجود دارد که همسو با نتایج پژوهش جاویدنیا (۱۳۹۹) در بررسی ارتباط NAO با گرد و غبار برای استان کرمان است.

برای استنباط بهتر اثرات ذرات معلق هوا بایسته است که غلظت و توزیع اندازه ذرات آن‌ها به شکل بسامان و در مقیاس جهانی مورد پیش قرار گیرد که روش‌های سنجش‌ازدور می‌تواند برای توزیع زمانی و مکانی ذرات معلق جو ابزار مناسبی باشد. در این پژوهش وجود ارتباط معنی‌دار و قابل قبول بین AOD و تعداد روزهای توأم با گرد و غبار در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد برای ایستگاه‌های مورد بررسی با نتایج پژوهش میراکبری و ابراهیمی خوسفی (۱۳۹۹) همساز است. از این رو AOD می‌تواند معیار روشنی برای بررسی و ارزیابی وقایع روزانه گرد و غبار به حساب بیاید. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل نمودارهای میانگین سالانه جهت بررسی نحوه تغییرات گرد و غبار در ارتباط با فازهای مثبت و منفی شاخص نوسان اطلس شمالی می‌توان به این نتیجه رسید که بیشترین میزان تغییرات سالانه شاخص AOD تولید سنجنده‌های MISR و MODIS در فاز مثبت به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های آبادان، بستان و ایلام و در فاز منفی نیز مربوط به آبادان و بستان است. مطابق با شاخص حاصل از تولید سنجنده MISR سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۵ در فاز مثبت و سال ۲۰۰۸ در فاز منفی اوج فعالیت طوفان گرد و غبار در تمامی ایستگاه‌ها است که با مطالعه ارجمند و همکاران (۱۳۹۷) تقریباً همسو است. مطابق با شاخص

¹ Almazroui

دیپ بلو حاصل از سنجنده MODIS در فاز مثبت سال ۲۰۲۲ و در فاز منفی سال ۲۰۰۹ را می‌توان به‌عنوان اوج طوفان‌های گرد و غبار تفکیک کرد که نشان‌دهنده این است در این سال‌ها شدت وقوع گرد و غبار بیشتر بوده است. نتایج پایش طوفان‌های گرد و غبار با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای نشان داد که مقدار عمق نوری در ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان نسبت به ایستگاه‌های استان ایلام و کرمانشاه بیشتر بوده است که نشان می‌دهد این استان از نظر گرد و غبار شرایط بحرانی‌تری دارد از این منظر جهت مدیریت باید در اولویت قرار بگیرد که با پژوهش داروند و همکاران (۱۳۹۹) برای غرب و جنوب غرب کشور و پژوهش برتینا و همکاران (۱۳۹۳) برای غرب کشور همساز است.

به علت آن‌که بین ۵۱ تا ۷۰ درصد از رخدادهای طوفان گرد و غبار با فاز مثبت شاخص NAO هم‌زمان بوده، جهت بررسی وضعیت باد و مسیریابی حرکت گرد و غبار در نرم‌افزار WRPLOT و مدل HYSPLIT از سال‌های هم‌زمان با چیرگی فاز مثبت استفاده شد. مسیریابی سال‌های هم‌زمان با چیرگی فاز مثبت در طول دوره آماری ۲۰۱۱-۲۰۲۲ از روی شش ایستگاه آبادان، بستان، ایلام دهلران، کرمانشاه و سرپل ذهاب نشان می‌دهد که بیش از ۹۰ درصد طوفان‌های رخ داده از سمت کشورهای همسایه غربی و جنوب غربی به این مناطق بوده است که همسو با نتایج پژوهش قوچی‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) برای شهر قم است و همین امر سبب تشدید و افزایش آلودگی‌های مناطق هم‌جوار که خود نیز از مهم‌ترین کانون‌های گرد و غبار کشور هستند، می‌شود به‌طوری‌که تمامی نیمه غربی ایران را تحت نفوذ خود درمی‌آورد؛ بنابراین برنامه‌ریزی برای کنترل و تثبیت کانون‌های اثرگذار در این نواحی نقش بسیار مؤثری در کاهش اثرات طوفان‌های گرد و غبار در مناطق هم‌جوار این نواحی دارد. نتایج حاصل از گل طوفان‌های ایستگاه‌های همدید منتخب در دوره آماری ۲۰۲۲-۱۹۸۷ بیانگر این واقعیت است که سمت وقوع طوفان‌های چشمگیر در ایستگاه‌های دهلران، کرمانشاه و سرپل ذهاب، غربی و در ایستگاه ایلام جنوب غربی است که با نتایج مطالعات زمانی و همکاران (۱۳۹۸) برای استان کرمان منطبق است. جهت وزش بادهای حامل گرد و غبار در ایستگاه آبادان و بستان شمال غربی بوده است. این یافته از نظر تعیین منشأ و همچنین انجام عملیات حفاظتی حائز اهمیت است و با پژوهش اختصاصی و همکاران (۱۳۸۵) همسویی اندکی دارد.

References

- Chahardowli, M., & Sajadzadeh, H. (2022). A strategic development model for regeneration of urban historical cores: A case study of the historical fabric of Hamedan City, Land Use Policy, 114. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.105993>.
- Chandan, S., & Kumar, A. (2019). Review of urban conservation practices in historic cities. Int. J. Emerg. Technol, 10, Pp: 74-84.
- Della Spina, L. (2019). Multidimensional Assessment for "Culture-Led" and "Community-Driven" Urban Regeneration as Driver for Trigger Economic Vitality in Urban Historic Centers. Sustainability, 11 (24), Pp: 1-20. <https://doi.org/10.3390/su11247237>.
- Enemark, J. (2004). Urban Social Planning, Australia, Vilz University, Australia Press.
- Esmailpoor, N., Esmaeilpoor, F., Rezaeian, F. (2023). Explaining the causes of population outflow from the historical fabric of Yazd city, Cities, 137. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104318>.
- Landeta, J. (2006). Current validity of the Delphi method in social sciences, Technological Forecasting and Social Change, 73(5), Pp: 467-482. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2005.09.002>.

- Málóvics, G., Crețan, R., Berki, M., Tóth, J. (2019). Socio-environmental justice, participatory development, and empowerment of segregated urban Roma: Lessons from Szeged, Hungary, *Cities*, 19. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.11.013>.
- Moreno, C. (2023). Transport policy: Empowering local community for poverty alleviation in a deprived neighborhood in Colombia, *Case Studies on Transport Policy*, 13. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2023.101027>.
- Nosratabadi, S., Mosavi, A., Shamshirband, S., Zavadskas, E. K., Rakotonirainy, A., & Chau, K. W. (2020). Sustainable business models: A review. *Sustainability 2 (Switzerland)*, 1(11), 1-26.
- Powell, C. (2003). The Delphi technique: myths and realities, *J Adv Nurs*, 4(41), Pp: 376-382.
- Thomson, G. & Newman, P. (2018). Urban fabrics and urban metabolism – from sustainable to regenerative, *cities, Resources, Conservation and Recycling*. 132, Pp: 218-229. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.01.010>.
- Trommlerová, S.K., Klasen, S., Leßmann, O. (2015). Determinants of Empowerment in a Capability-Based Poverty Approach: Evidence from The Gambia, *World Development*, 66: Pp: 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2014.07.008>.
- UNDP and Oxford Poverty Initiative. (2019). *Global multi-dimensional poverty index 2019.illuminating inequalities*.
- World Bank. (2008). *World development report 2008*. New York City: Oxford University Press.
- Zheng, W., Shen, G. Q., Wang, H., Hong, J., & Li, Z. (2017). Decision support for sustainable urban renewal: A multi-scale model. *Land use policy*, 69, Pp: 361-371. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.09.019>.
- Tweed, C., & Sutherland, M. (2017). Built cultural heritage and sustainable urban development. *Journal of Landscape and Urban Planning*, 1(83): Pp: 62-69.
- Meeks, S., & Murphy, K. C. (2016). *The past and future city: How historic preservation is reviving America's communities*. Island Press.
- Amanpour, S., & Hosseini Siah-Goli, M. (2020). Modeling the effects of urban poverty on the physical-spatial structure of worn-out tissues, a case study: Izeh city. *Bi Quarterly Journal of Urban Social Geography*, 7(2), Pp: 59-76, [in Persian]. <https://www.doi.org/10.22103/JUSG.2020.2019>.
- Badkoo, B., Ghasemisiani, M., Ranjbaraki, A., Shambayati, M., & Shakiba, A. (2022). The Effect of Microcredit on Empowerment, Job Creation and Poverty Reduction in the Development of Local Communities (Case Study: Ahmadi district, Hajiabad, Hormozgan). *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 12(44), Pp: 201-226, [in Persian]. <https://doi.org/10.22111/gaij.2022.39544.2955>.
- Bahadrinejad, M., & Zakir Haghghi, K. (2016). Explaining the mechanism of revitalization of historical textures using the re-creation approach (case example: Haji neighborhood in the historical area of Hamedan city). *Haft Hesar Environmental Studies*, 5(18), Pp: 5-18, [in Persian]. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.23225602.1395.5.18.3.7>.

- Eskandrian, Gh., & Firozabadi, S. A. (2021). Analyzing the role and importance of the empowerment approach in dealing with informal settlements from the point of view of experts and professionals. *Urban and Regional Development Planning Quarterly*, 4(11), Pp: 57-86, [in Persian]. <https://doi.org/10.22054/urdp.2021.51284.1200>.
- Hashempour, R., Sifaei, M., & Salehi, N. (2022). Social Empowerment in Urban Informal Settlements by Relying on Assets, *Journal of Construction Engineering and Management*, 7(1), Pp: 74-66, [in Persian].
- Heidermanesh, S., Saberi, H., Azani, M., & Gandomkar, A. (2022). Development of Empowerment Scenarios for the Poor Residents of the Inefficient Structures of Naft Sharh of Abadan in 2041 Horizon. *Journal of Geography and Regional Development*, 20(4), Pp: 132-99, [in Persian]. <https://doi.org/10.22067/jgrd.2022.78038.1179>.
- Heydarmanesh, S., Saberi, H., Azani, M., & Gandomkar, A. (2022). Identifying the Strategic Drivers Affecting Poverty to Empower the Inefficient Oil Contexts of Abadan City (Iran) with a Foresight Approach in the Horizon 2041 (H2041) (1420-Solar Year). *Quarterly Journals of Urban and Regional Development Planning*, 7(22), Pp: 175-211, [in Persian]. <https://doi.org/10.22054/urdp.2022.67037.1425>.
- Iszadeh, I., Prizadi, T., & Iszadeh, V. (2022). Empowerment of neighborhoods with urban poverty (case study: Ismail Abad neighborhood, District 19 of Tehran Municipality). *Scientific Journal of Geography and Urban Planning*, 26(81), Pp: 151-171, [in Persian]. <https://www.doi.org/10.22034/gp.2022.48146.2896>.
- Mashhadizadeh Dehaghani, N., & Rostami, F. (2016). Organizing and empowering disorderly neighborhoods with a value approach, *Haft Shahr magazine*, 54: Pp: 71-52, [in Persian].
- Masoud, M., Moezzi, A.Mohammad. (2012). The asset approach is a new approach in organizing worn and historical textures. *Scientific Journal of Restoration and Architecture of Iran*, 2 (3): Pp: 63-78, [in Persian].
- Moayedfar, S., & azizi, S. (2023). Empowerment of Informal Settlements with Urban Renaissance Approach (Case Study: Poshteshahr Neighborhood, Bandar Abbas city). *Geography and Urban Space Development*, 10(1), Pp: 117-136, [in Persian]. <https://doi.org/10.22067/jgusd.2022.71482.1073>.
- Mohamadi Dost, S., Moradi Rizi, M., & Khani Zadeh, M. A. (2018). Urban management in urban poor settlements assess the role of empowerment with emphasis on the wishes of the residents (Case Study: Isfahan Zainabiyya neighborhood). *Geographical Planning of Space*, 8(29), Pp: 147-166, [in Persian].
- Nikpour, A., & Hasanalizadeh, M. (2020). Investigating and analyzing the extent to which worn-out tissue adapts to poverty zones (Case study: Ghaemshahr, Mazandaran). *Physical Social Planning*, 7(1), Pp: 45-60, [in Persian]. <https://doi.org/10.30473/psp.2020.6798>.
- Rahban, S. (2009). economic analysis of worn-out fabrics for their organization (case example: Saqqez city), master's thesis, Payam Noor Sari University, [in Persian].

- Rezazadeh, R., Mohammadi Aidghmish, F., & Rafiyan, M. (2012). Development of the local community by taking advantage of the participatory capacities in the asset-based approach (case study: Imamzadeh Hasan neighborhood, district 17 of Tehran), planning and preparation of space (Teacher of Humanities), 16(2): Pp: 37-55, [in Persian].
- Saraei, M.H., & Alian, M. (2015). Measuring and evaluating the level of neighborhood stability in the historical context of Yazd city, Planning and Space Planning, 19(1), Pp: 108-79, [in Persian].
- Shaterian, M., & Armaki, Z. (2015). The approach of urban revitalization in the direction of reducing urban decay and poverty, case study: the old context of Kashan city. Geography, 13(44), Pp: 119-142, [in Persian].