



## Analysis of Horizontal Visibility Trends in Southwestern Iran Between 1998-2020

Behruz Sari Sarraf<sup>1</sup> ✉, Gholamhasan Mohammadi<sup>2</sup> , Mohammad Yazdani<sup>3</sup>

1. Department of Climatology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran

Email: [sarisarraf@tabrizu.ac.ir](mailto:sarisarraf@tabrizu.ac.ir)

2. Department of Climatology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran

Email: [gh.mohammadi88@gmail.com](mailto:gh.mohammadi88@gmail.com)

3. Department of Climatology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran

Email: [yazdani@tabrizu.ac.ir](mailto:yazdani@tabrizu.ac.ir)

### Article Info

Article type:  
Research Article

### Article History:

Received:

2 February 2023

Received in revised form:

31 March 2023

Accepted:

6 May 2023

### Keywords:

Horizontal visibility,

Trend analysis,

Ridit,

AOD,

Southwestern Iran

### ABSTRACT

Ability to see; That is, the ability to observe the farthest distance from a black object against the horizon of the sky. The location of northwest Iran at the end of the flow of dust-producing winds, known as the north wind, which spread dust from the deserts of Syria and Iraq to the southwest of Iran, causes a frequent decrease in horizontal visibility in this region. The current research aims to investigate and study the trend of changes in horizontal visibility in these areas by using horizontal visibility data, the average values of aerosol optical depth and calculating the extinction coefficient. The data used in this research include the daily horizontal visibility data of the synoptic stations of Ilam, Khuzestan, Chaharmahal Bakhtiari, Kohgiluyeh and Boyer Ahmad and Lorestan provinces in the period from 1998 to 2020. The ridit statistical method was used to analyze horizontal visibility data. The visibility horizon in the studied stations was grouped into five categories. The frequency of each category was determined, and the Ridit value and extinction coefficient were calculated for each. Then the relevant charts and maps were drawn. Also, monthly average AOD fluctuations in the studied statistical period were calculated in the geographical location of meteorological stations. The comparison of the graphs of the stations under study shows that, except for the stations of Yasuj, Masjid Suleiman, Aliguderz, Dehhran and Khorramabad, the visibility decreases in all the stations of the studied.

**Cite this article:** Sari Sarraf, B., Mohammadi, Gh., & Yazdani, M. (2023). Analysis of Horizontal Visibility Trends in Southwestern Iran Between 1998-2020. *Physical Geography Research Quarterly*, 55 (1), 1-18.

<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2022.339960.1007685>



© The Author(s).

DOI: [10.22059/JPHGR.2022.339960.1007685](https://doi.org/10.22059/JPHGR.2022.339960.1007685)

**Publisher:** University of Tehran Press

## **Extended Abstract**

### **Introduction**

Vision usually refers to the horizontal distance at which the contrast between a target and its sky background is equal to the threshold of the human eye. In an atmosphere that is standard and without pollution, visibility often varies in the range of 145-225 kms. However, in polluted places, atmospheric visibility is reduced by air pollutants through the dispersion and absorption of fine particles and gases in the atmosphere. In some highly polluted areas, the horizontal visibility can be as low as one kilometer. Due to the adverse effects of air pollution on human life, horizontal visibility has been one of the main concerns in air pollution and climatology studies. The trend of changes in horizontal vision as well as the effects of air pollution on the vision process has attracted the attention of all researchers. The results of many studies have also shown that horizontal vision has a negative correlation with public health, especially in developing countries. One study also found that horizontal vision was associated with an increase in deaths and cardiovascular disease in Shanghai, China. One of the effective climatic phenomena in horizontal view is dust. This meteorological-environmental phenomenon is called a mass of fine dust particles and sometimes smoke emitted into the atmosphere, which increases aerosols and reduces horizontal visibility. The location of southwestern Iran at the top of the basin of dusty winds known as the north wind, which spread dust from the deserts of Syria and Iraq to southwestern Iran, frequently reduces the horizontal visibility in these areas. The aim of this study is to use horizontal vision data, mean values of aerosol optical depth and atmospheric extinction coefficient to study the trend of horizontal vision changes in southwestern Iran between 2000-2020; Therefore, by reviewing the available resources in this field, it is clear that relatively limited methods have been used to study and analyze the process of horizontal vision, among which Ridit analysis is the most widely used and efficient method in this field. Given the importance of the issue, the

need for such a study in this area becomes apparent.

### **Methodology**

The study area is southwestern Iran, which includes the political boundaries of the provinces of Khuzestan, Ilam, Lorestan, Chaharmahal and Bakhtiari, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad. The highest point of this region with an altitude of 4283 meters is located along the northwest-southeast, which is part of the Zagros folds, while the lowest point with a height of -105 is located in the southwest of this region, which (leads to) stretches the Persian Gulf. Also, the area of the study area is 28199 / 42 square kilometers. The data consists of two different types of climatic data, including observational data from meteorological stations and satellite data. Observational data are daily horizontal data of synoptic stations in Ilam, Khuzestan, Chaharmahal Bakhtiari, Kohgiluyeh, Boyer-Ahmad and Lorestan provinces in the period 1998 to 2020. This information is often reported at three-hour intervals. Ridit statistical technique was used to study the horizontal vision trend. Ridit analysis is a useful statistical technique that is widely used in trend study. Ridit indicates the possibility that observation of vision over a period of time is better than distribution of reference vision. Aerosol optical depth index (AOD) and extinction coefficient were also used. Because the aerosol optical depth (AOD) is one of the important parameters in the study of dust and affects the horizontal viewing process. Also, the amount of optical depth can vary with the density of the number of aerosols and the properties of those particles.

### **Results and Discussion**

First, the frequency value of each horizon floor was determined and then the annual Ridit value was calculated for each of the stations studied and the relevant graphs were drawn. By studying the Ridit diagrams of the studied stations, it is clear that in Masjed-e-Soliman, Aligudarz, Dehloran, Khorramabad and Yasuj horizons, the horizon is increasing. Also, in these stations, the trend line is below the reference line until 2009, but from 2009 to

2020, the trend line is above the reference line. But in Shahrekord, Koohrang, Ilam, Do Gonbadan, Boroujerd, Borujen, Ramhormoz, Omidieh, Dezful, Bandar Mahshahr, Bostan, Ahvaz and Abadan stations, the horizontal visibility is decreasing. While in Ilam stations and two domes, there is no change in horizontal vision in the studied years. AOD diagram of the studied stations shows that in Ahvaz, Abadan, Borujen, Boroujerd, Bostan, Dezful, Do Gonbadan, Ilam, Bandar Mahshahr, Koohrang, Omidieh, Ramhormoz and Shahrekord stations, the amount of aerosols is increasing. Unlike 13 previous stations in Aligudarz, Dehloran, Khorramabad and Masjed Soleiman stations, the amount of aerosol has a decreasing trend. By examining and comparing the blackout coefficient diagrams in the studied stations, it was found that the blackout coefficient values decrease in Masjed Soleiman, Aligudarz, Dehloran, Yasuj and Khorramabad stations. But in the next 13 stations of the study area, the rate of blackout increases. After reviewing and studying the R<sub>idit</sub> values, the aerosol optical depth index and calculating the extinction coefficient to determine the condition of the horizon in southwestern Iran Horizon was classified into five quality groups: very good, good, medium, bad and very bad.

### **Conclusion**

In this study, the trend of horizon vision changes based on daily horizontal data of 18 synoptic stations in southwestern Iran, the amount of AOD changes based on Modis satellite data and also by calculating the extinction coefficient in the mentioned stations were studied. The results showed that in Masjed-e-Soleiman, Aligudarz, Dehloran, Khorramabad and Yasuj stations, in the studied years, instead of decreasing the horizontal vision, we are facing a situation of improving the horizontal vision. While in Shahrekord, Koohrang, Ilam, Do Gonbadan, Boroujerd, Borujen, Ramhormoz, Omidieh, Dezful, Mahshahr, Bostan, Ahvaz and Abadan stations, the

horizontal visibility is decreasing. And in these stations, we are faced with a decrease in horizontal visibility, with the difference that this decrease in Bostan, Bandar Mahshahr, Koohrang, Omidieh and Boroujerd stations has a sharp trend and compared to Ahvaz, Abadan, Borujen, Shahrekord, Ramhormoz and Dezful stations have worse conditions. Also, in Ilam and Do Gonbad stations, no change in the horizontal visibility status was observed in the studied years. AOD study in the studied stations showed that in Ahvaz, Abadan, Borujen, Boroujerd, Bostan, Dezful, Do Gonbadan, Ilam, Bandar Mahshahr, Koohrang, Omidieh, Ramhormoz and Shahrekord stations, the amount of aerosol increases. While in other stations, AOD decreases, which indicates an increase in horizontal visibility in these areas. Also, in Masjed-e-Soliman, Aligudarz, Dehloran, Yasuj and Khorramabad stations, the values of the extinction coefficient are reduced. This indicates that in these areas, the horizontal visibility conditions are better than other stations. But in other stations, the values of the blackout coefficient increase and show that in these areas the horizontal visibility is not in the desired condition; Therefore, it can be concluded that in general, in the southwest of Iran, the horizontal visibility trend is decreasing. It is also suggested that this statistical technique be used in other parts of the country to better determine its efficiency.

### **Funding**

There is no funding support.

### **Authors' Contribution**

All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

### **Conflict of Interest**

Authors declared no conflict of interest.

### **Acknowledgments**

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

## تحلیل روند دید افقی در جنوب غرب ایران بین سال‌های ۱۹۹۸-۲۰۲۰

بهروز ساری صراف<sup>۱</sup>، غلامحسن محمدی<sup>۲</sup>، محمد یزدانی<sup>۳</sup>

۱- نویسنده مسئول، گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، رایانامه: [sarisarraf@tabrizu.ac.ir](mailto:sarisarraf@tabrizu.ac.ir)

۲- گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: [Gh.mohammadi88@gmail.com](mailto:Gh.mohammadi88@gmail.com)

۳- گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: [yazdani@tabrizu.ac.ir](mailto:yazdani@tabrizu.ac.ir)

### اطلاعات مقاله

### چکیده

#### نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

#### تاریخ دریافت:

۱۴۰۱/۱۱/۱۳

#### تاریخ بازنگری:

۱۴۰۱/۰۱/۱۱

#### تاریخ پذیرش:

۱۴۰۱/۰۲/۱۶

#### واژگان کلیدی:

دید افقی،

روند،

تحلیل Ridit،

AOD

جنوب غرب ایران

قابلیت دید؛ یعنی توانایی مشاهده دورترین فاصله از یک جسم سیاه است که در برابر افق آسمان قرار دارد. قرارگرفتن شمال غرب ایران در منتهی‌الیه حوزه جریان بادهای گردوغبار زای معروف به باد شمال که گردوغبارهای بیابان‌های سوریه و عراق را به جنوب غرب ایران منتشر می‌کنند باعث کاهش مکرر دید افقی در این منطقه می‌شوند. هدف پژوهش حاضر این است که با استفاده از داده‌های دید افقی، مقادیر میانگین عمق اپتیکی آئروسول و محاسبه ضریب خاموشی روند تغییرات دید افقی در این مناطق بررسی و مطالعه شود. داده‌های به‌کاررفته در تحقیق حاضر، شامل داده‌های روزانه دید افقی ایستگاه‌های سینوپتیک استان‌های ایلام، خوزستان، چهارمحال بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد و لرستان در بازه زمانی ۱۹۹۸ تا ۲۰۲۰ است. برای تجزیه و تحلیل داده‌های دید افقی از روش آماری Ridit استفاده گردید. افق دید در ایستگاه‌های مورد مطالعه در پنج دسته گروه‌بندی شد و فراوانی هر دسته مشخص گردید و مقدار Ridit و ضریب خاموشی هر کدام محاسبه شد. سپس نمودارها و نقشه‌های مربوطه ترسیم گردید. همچنین نوسانات میانگین AOD ماهانه در دوره آماری مورد مطالعه در موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی محاسبه گردید. مقایسه نمودارهای ایستگاه‌های مورد مطالعه مشخص می‌کند که به‌غیر از ایستگاه‌های یاسوج، مسجدسلیمان، الیگودرز، دهلران و خرم‌آباد در همه ایستگاه‌ها منطقه مورد مطالعه افق دید کاهش می‌یابد.

**استناد:** ساری صراف، بهروز؛ محمدی، غلامحسن و یزدانی، محمد. (۱۴۰۲). تحلیل روند دید افقی در جنوب غرب ایران بین سال‌های ۱۹۹۸-۲۰۲۰. مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۵ (۱)، ۱۸-۱.

<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2022.339960.1007685>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

DOI: 10.22059/JPHGR.2022.339960.1007685

© نویسندگان



## مقدمه

دید افقی معمولاً به فاصله‌ای اشاره دارد که در آن تضاد بین یک هدف و پس‌زمینه آسمان به‌صورت افقی برابر با آستانه دید چشم انسان است (کشمايدر، ۱۹۲۶؛ دنگ و همکاران، ۲۰۱۲). در یک جو استاندارد و بدون آلودگی، دید اغلب در محدوده ۱۴۵-۲۲۵ کیلومتر متغیر هست (آژانس حفاظت از محیط‌زیست، ۲۰۰۱). با این حال، در مکان‌های آلوده، دید اتمسفری به‌وسیله آلاینده‌های هوا از طریق پراکندگی و جذب ذرات ریز و گازهای موجود در جو کاهش می‌یابد (مالم و همکاران، ۱۹۹۴؛ ۱۹۹۶؛ دنگ و همکاران، ۲۰۱۲). در برخی از مکان‌های به‌شدت آلوده، دید افقی حتی به کمتر از یک متر هم می‌رسد (هاسر و همکاران، ۱۹۸۱). با توجه به اثرات نامطلوب آلودگی هوا در زندگی انسان، میزان دید افقی در مطالعات آلودگی هوا و اقلیم‌شناسی یکی از نگرانی‌های اصلی بوده است (مالم و کرایدن وایز، ۱۹۹۷؛ یان و همکاران، ۲۰۰۲، لی و همکاران، ۲۰۰۵؛ چی و همکاران، ۲۰۰۷؛ دنگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ ۲۰۱۲). روند تغییرات دید افقی و همچنین تأثیرات آلودگی هوا در روند آن توجه پژوهشگران بسیاری را به خود جلب کرده است (کریگ و فاولکنبری، ۱۹۷۹؛ اسلون، ۱۹۸۲ a، ۱۹۸۲ b؛ لی، ۱۹۹۴؛ هاسر و همکاران، ۲۰۰۰؛ شیچتل و همکاران، ۲۰۰۱؛ دوپل و دورلینگ، ۲۰۰۲؛ قیم و همکاران، ۲۰۰۵؛ تاسی و همکاران، ۲۰۰۷؛ مولنار و همکاران، ۲۰۰۸؛ دنگ و همکاران، ۲۰۱۲). نتایج بسیاری از مطالعات نیز نشان داده‌اند که دید افقی با سلامت عمومی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه همبستگی منفی دارد. همچنین در یک بررسی مشخص‌شده است که دید افقی با افزایش مرگ‌ومیر و بیماری‌های قلبی عروقی در شانگهای در چین ارتباط دارد (هونگ، ۲۰۰۹). یکی از پدیده‌های اقلیمی مؤثر در دید افقی، گردوغبار است. این پدیده هواشناختی - محیطی به توده‌ای از ذرات جامد ریز غبار و گاه دود پخش شده در اتمسفر گفته می‌شود که باعث افزایش آتروسل‌ها و کاهش دید افقی می‌گردد (رسولی و همکاران، ۱۳۸۹). در مناطق مختلف جهان الگوهای مکانی و زمانی دید و همچنین تأثیرات عوامل طبیعی و انسانی بر آن، به‌عنوان شاخص‌های آلودگی جو به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است. اسلون (۱۹۸۲، ۱۹۸۳) دو روش آماری برای تعیین روند تغییرات بلندمدت دید افقی معرفی و سپس این روند را برای دوره سی‌ساله از ۱۹۴۸ تا ۱۹۷۸ در شرق آمریکا بررسی کرد. نتایج این بررسی‌ها نشان داد که الگوی یکسان در روند تغییرات بلندمدت دید در شهرهای گوناگون آمریکا وجود ندارد. چانگ و همکاران، (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای به بررسی روند تغییرات دید در شش شهر بزرگ چین در بازه زمانی ۱۹۷۳ تا ۲۰۰۷ اقدام نمودند. آنها داده‌ها را با استفاده از مدل رگرسیون خطی مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج نشان داد که میانگین دید سالانه در شش شهر پکن، چنگدو، گوانگژو، شانگهای، شنیانگ و شیآن به ترتیب ۱۰/۶۷، ۸/۶، ۱۰/۷۶، ۸/۵۹ و ۹/۷۴ می‌باشد. جیشیا و همکاران (۲۰۱۷) به پژوهش پیوند بین مهندسی زیست‌شناسی و جنگل‌داری و هوای گردوغبار در مغولستان داخلی اقدام نمودند و به این نتیجه رسیدند که باد یک اثر قوی بر هوای گردوغبار دارد. ونگ و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی اثرات قابل توجهی از واکنش‌های ناهمگونی بر ترکیب شیمیایی و حالت مخلوط‌شدن ذرات گردوغبار پرداخته‌اند و به این نتیجه دست یافتند که واکنش‌های ناهمگونی، مکانیسم اصلی تولید نیترات و سولفات در ذرات گردوغبار می‌باشد. با توجه به جذب گاز اسید توسط ذرات گردوغبار، نیترات آروماتیک و سولفات آمونیوم کاهش می‌یابد. اجر و همکاران (۲۰۱۸) افزایش گردوغبار شمال آتلانتیک با توجه به تغییر چشم‌انداز شمال غربی آفریقا در طول دوره هولوسن را شبیه‌سازی کردند. آنها دریافتند هم‌زمان با خشک شدن قاره، سطح باد در صحرای غربی تسریع می‌شود. آنها همچنین ناهمگونی زمانی - مکانی گردوغبار را در صحرای آفریقا شناسایی کردند. اوهاگیتو و همکاران (۲۰۱۸) اثر گردوغبار بر دمای سطح را بررسی و نتیجه گرفتند اثر افزایش گردوغبار باعث خنکی کمتر در مناطق قطبی می‌شود و یکی از دلایل آن خنک‌سازی برف یا یخ است که باعث

کاهش آلبیدو با رسوب گردوغبار زیاد می‌شود. الحثلو و همکاران (۲۰۲۱) روند دید افقی را در عربستان بررسی نمودند نتایج نشان داد که قبل از اوایل دهه ۲۰۰۰، اکثر ایستگاه‌ها روند افزایش دوره‌ای را نشان می‌دهند؛ ولی بعد از این سال در اکثر ایستگاه‌ها عمدتاً روند کاهشی مشاهده می‌شود منتهی در ایستگاه‌های شمال غربی این امر بسیار چشمگیرتر است. در ایران، وضعیت دید نیز به یک موضوع مهم تبدیل شده است که هم عموم مردم و هم جامعه علمی را نگران می‌کند. زینالی (۱۳۹۵) روند تغییرات فراوانی روزهای همراه با توفان‌های گردوغباری نیمه غربی ایران را بررسی و مطالعه کردند نتایج نشان داد که در روش من کندال از مجموع ۲۶ سری داده، ۹ سری، در روش سنس استیسیتور ۶ سری و در روش رگرسیون خطی ساده ۱۳ سری داده دارای روند معنی‌دار مثبت در سطح معنی‌داری ۱ و ۵ درصد بودند. گودرزی و همکاران (۱۳۹۶) پژوهشی با عنوان بررسی توزیع زمانی و مکانی روزهای همراه با گردوغبار در غرب و جنوب غرب ایران انجام دادند نتایج حاصل نشان داد که توزیع رخداد این پدیده، تحت‌تأثیر سیستم‌های اقلیمی منطقه‌ای به دلیل شرایط ناهمواری‌ها و سطح ارتفاعی غرب کشور یکسان نیست و بیشترین روزهای همراه با گردوغبار در جنوب غرب برای استان خوزستان مشاهده می‌شود. ارجمند و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای پدیده گردوغبار را در جنوب شرق ایران بخصوص در منطقه جازموریان مطالعه کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که عمده وقایع گردوغبار در منطقه جازموریان در دو فصل بهار و تابستان اتفاق می‌افتد و به ترتیب در فصل زمستان و پاییز از شدت آن کاسته می‌شود؛ بنابراین فعالیت گردوغبار در چهار ماه می، ژوئن، ژولای و آگوست شدید و در چهار ماه نوامبر، دسامبر، ژانویه و فوریه ضعیف‌تر از سایر ماه‌ها می‌باشد. نوروزی و شعاعی (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای مناطق دارای پتانسیل تولید گردوغبار در خوزستان را بررسی نمودند و نتیجه گرفتند که ردیابی مسیر گردوغبارهای ورودی نشان داد که طی دوره گرم سال بیشترین گردوغبارهای ورودی با جهت شمال غربی - جنوب شرقی و غربی - شرقی و در دوره سرد به‌ویژه در اواخر دوره با جهت جنوبی - شمالی این استان را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند. فاریابی و همکاران (۱۳۹۸) پژوهشی با عنوان شناسایی گردوغبار در نواحی غرب و جنوب غرب ایران بر مبنای الگوریتم سنجه DAI و داده‌های طیفی سنجنده مودیس انجام دادند و نتیجه‌گیری کردند که برخلاف برخی از الگوریتم‌های تشخیص گردوغبار که با استفاده از اندازه‌گیری‌ها در باند مادون‌قرمز حرارتی انجام می‌شود، مزیت این الگوریتم استفاده از وابستگی طیفی پراکندگی ریلی، بازتاب سطح و جذب گردوغبار موجود در هوا برای تشخیص گردوغبار می‌باشد.

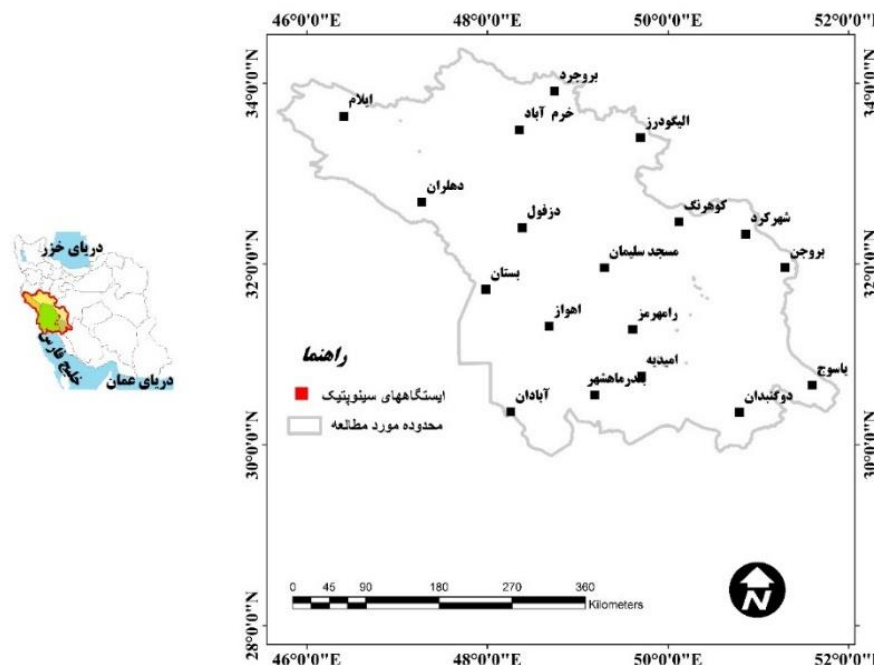
سبحانی و صفریان زنگیر (۱۳۹۸) پدیده گردوغبار را در جنوب غرب ایران بررسی کردند. بر اساس مدل‌های پیش‌بینی بیشترین احتمال رخداد، حداکثر گردوغبار در ۲۳ سال آینده پیش‌بینی شده در منطقه مورد مطالعه در دو ایستگاه سرپل ذهاب و آبادان مشاهده شد. مدبرپور و همکاران (۱۳۹۸) پژوهشی با هدف بررسی گردوغبار در ایستگاه‌های یاسوج و دوگنبدان انجام دادند. نتایج مطالعه آنها نشان داد ایستگاه دوگنبدان با ۲۳۸۱ روز گردوغباری بیشترین رخداد گردوغبار را طی دوره آماری مورد مطالعه داشته است. باغی و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی خصوصیات شیمیایی و کانی‌شناسی گردوغبار ورودی به شمال شرق ایران و پتانسیل بیماری‌زایی آن پرداختند نتایج نشان داد که در بین عناصر اصلی کلسیم، آلومینیم و سیلیسیم به ترتیب درصد بیشتری داشته است. وجود عناصر سنگین نظیر آرسنیک، سرب، تنگستن، کادمیوم و آهن در نمونه‌های گردوغبار در غلظت‌های بالا احتمال بروز سینوزیت، برونشیت، آسم و آلرژی و صدمه به عملکرد دفاعی ماکروفاژها که منجر به افزایش عفونت‌های بیمارستانی می‌گردد را افزایش می‌دهد. مصباح‌زاده و همکاران (۱۳۹۹) تغییرات زمانی و مکانی گردوغبار را در فلات مرکزی ایران واکاوی نمودند نتایج بررسی فصلی روزهای گردوغبار در دوره آماری مورد نظر نشان داد که فصل بهار با بیش از ۴۶ درصد بیشترین وقوع گردوغبار را داشته است. میر موسوی

و تاران (۱۴۰۰) ارتباط نوسانات گردوغبار را با نوسانات دما و بارش در غرب و جنوب غرب ایران مطالعه کردند نتایج حاصل از تحلیل خودهمبستگی فضایی با شاخص موران نشان داد که پدیده گردوغبار در غرب و جنوب غرب ایران با دما، بارش و روزهای خشک دارای ساختار فضایی بوده و به شکل خوشه‌ای توزیع شده‌اند.

قرارگرفتن جنوب غرب ایران در منتهی‌الیه حوزه جریان بادهای گردوغبارزای معروف به باد شمال که گردوغبارهای بیابان‌های سوریه و عراق را به جنوب غرب ایران منتشر می‌کنند باعث کاهش مکرر دید افقی در این مناطق می‌شوند. هدف پژوهش حاضر این است که با استفاده از داده‌های دید افقی، مقادیر میانگین عمق اپتیکی آئروسول و ضریب خاموشی جو به مطالعه روند تغییرات دید افقی در جنوب غرب ایران بین سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۲۰ پرداخته شود؛ بنابراین با بررسی و مطالعه منابع موجود در این زمینه مشخص می‌شود که از روش‌های نسبتاً محدودی برای مطالعه و تحلیل روند دید افقی استفاده شده است. با توجه به اهمیت موضوع، در این مطالعه از تحلیل Ridity که از پرکاربردترین و کارآمدترین روش‌ها در این زمینه هست استفاده می‌شود.

### محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه جنوب غربی ایران است با مساحت ۲۸۱۹۹/۴۲ کیلومترمربع که شامل محدوده سیاسی استان‌های خوزستان، ایلام، لرستان، چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد می‌باشد. مرتفع‌ترین نقطه این منطقه جزو چین‌خوردگی‌های زاگرس هست درحالی‌که کم‌ارتفاع‌ترین نقطه در جنوب غربی این منطقه واقع شده است که به خلیج فارس منتهی می‌شود. ایستگاه‌های مورد مطالعه شامل ۱۸ ایستگاه سینوپتیک هست. پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی استان خوزستان

## روش پژوهش

### داده‌های هواشناسی

داده‌ها متشکل از دو نوع داده متفاوت اقلیمی است که شامل داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های هواشناسی و داده‌های ماهواره‌ای است. داده‌های مشاهداتی عبارت‌اند از داده‌های روزانه دید افقی ایستگاه‌های سینوپتیک استان‌های ایلام، خوزستان، چهارمحال بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد و لرستان در بازه زمانی ۱۹۹۸ تا ۲۰۲۰ است این اطلاعات اغلب در فاصله‌های زمانی سه‌ساعته گزارش می‌شوند. در پژوهش حاضر، اطلاعات مربوط به متوسط روزانه ساعت‌های ۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ استفاده شده است، بدین منظور ابتدا از طریق فیلترکردن داده‌های ساعت مذکور افق دید جداسازی گردید. همچنین کد پدیده‌های مربوط به مه و بارش که باعث کاهش دید می‌شوند و در تخریب افق دید نقش ندارند حذف شدند. سپس در محیط نرم‌افزار SPSS داده‌های افق دید در پنج گروه ۰-۴۹۹۹، ۵۰۰۰-۹۹۹۹، ۱۰۰۰۰-۱۴۹۹۹، ۱۵۰۰۰-۱۹۹۹۹، ۲۰۰۰۰ و بیشتر طبقه‌بندی شد و درصد فراوانی هر طبقه برای هر یک از ایستگاه‌ها محاسبه شد. سپس با استفاده از درصد فراوانی هر طبقه مقدار Riddit برای هر سال محاسبه گردید و نمودارهای مربوطه ترسیم شد.

### شاخص عمق اُپتیکی اُتروسل (AOD)

عمق اُپتیکی اُتروسل (AOD) یکی از پارامترهای مهم در مطالعه گردوغبارها هست و در روند دید افقی تأثیر می‌گذارد همچنین مقدار عمق اُپتیکی می‌تواند با تراکم تعداد هواویزها (اُتروسل‌ها) و ویژگی‌های آن ذرات متفاوت باشد. دامنه تغییرات عمق اُپتیکی ۰/۱ تا ۰/۲ را برای شرایط هوای قاره‌ای صاف و ۰/۱ تا ۰/۵ را برای هوای بحری صاف پیشنهاد می‌نمایند (اوگرن، ۱۹۹۵). بیشتر بودن مقادیر AOD از این مقدار نشان‌دهنده تراکم هواویزها در امتداد ستون عمودی هوا بوده و به عبارتی دید در امتداد آن ستون کم هست. میانگین عمق اُپتیکی جهانی در شرایط عادی به علت وجود غبارات نمک و ذرات ناشی از کانی‌ها حدود ۰/۰۲۳ برآورد شده است. در صورتی که گردوغبارهای عمده دنیا دارای عمق اُپتیکی در محدوده ۰/۳ تا ۲/۵ است که بیانگر نقش مهم گردوغبارها در کاهش نور است. عمق اُپتیکی اُتروسل‌ها معمولاً با افزایش طول موج کاهش می‌یابد و بنابراین مقدار آن در تابش‌های طول موج بلند بسیار کمتر از تابش‌های طول موج کوتاه هست. ذرات اُتروسل تمایل به جذب یا انعکاس تابش خورشیدی وارده را داشته و بنابراین میزان قابلیت دید را کاهش داده و عمق اُپتیکی را افزایش می‌دهند. عمق اُپتیکی کمتر از ۰/۱ نشان‌دهنده هوای صاف و عمق اُپتیکی بیشتر از ۴ بیانگر حضور حجم متراکمی از هواویزهاست که مانع از رسیدن نور خورشید حتی در میانه روزه سطح زمین می‌شوند. همچنین AOD کمیتی بی‌بعد بوده و عبارت است از میزان جلوگیری از گذر پرتو نور در جو به خاطر جذب و پراکنش ناشی از وجود هواویزها در مسیر عبور نور همچنین AOD به عنوان ضریب خاموشی کاهش تشعشع بر روی یک ستون قائم در واحد طول تعریف می‌شود.

### سنجنده MISR<sup>۲</sup>

سنجنده MISR در ۱۸ دسامبر ۱۹۹۹ روی ماهواره Terra ناسا آغاز به کار کرد. دوربین‌های ۹ گانه با ۴ باند طیفی MISR نه زاویه دید متفاوت از جو و سطح زمین ارائه می‌کنند، در نتیجه می‌تواند اطلاعات مفیدی در مورد ذرات معلق در هوا، جو زمین، ابر و سطح پوشش زمین ارائه دهد. به سبب نوار باریک آن (۳۶۰ کیلومتر)، در حدود ۹-۷ روز، زمان برای

1. Aerosol Optical Depth  
2. Multi-angle Imaging Spectroradiometer



پوشش جهانی نیاز دارد. این چرخه طولانی باعث افزایش دوره زمانی آنالیز، اما دقت بالا در بازیابی بر روی مناطق روشن بیابانی می‌شود (ارجمند و همکاران ۱۳۹۷). دلیل اصلی انتخاب سنجنده MISR برای اخذ داده‌های میانگین ماهانه AOD؛ قدرت تفکیک مکانی بهتر آن است که در ابعاد  $0.5 \times 0.5$  درجه هست؛ لذا استفاده از محصولات این ماهواره می‌تواند پراکندگی مکانی فعالیت توفان‌های گردوغبار به شکل گویاتری نمایش دهد. نوسانات میانگین AOD ماهانه و سالانه در دوره آماری مورد مطالعه در موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی محاسبه و مقادیر آن‌ها استخراج گردید و سپس از طریق ترسیم نمودار به تحلیل آن‌ها پرداخته شد.

### ریدیت آنالیز

تجزیه و تحلیل Ridity یک تکنیک آماری مفید است که به طور وسیع در بررسی و مطالعه روند استفاده می‌شود. (فاولکنبری و کریگ، ۱۹۸۰؛ دوپل و دورلینگ، ۲۰۰۲؛ کائو و همکاران، ۲۰۱۱؛ چن و شی، ۲۰۱۲). Ridity این احتمال را نشان می‌دهد که مشاهده دید در یک دوره معین بهتر از توزیع دید مرجع است. این روش می‌تواند برای توصیف روند کلی در یک دوره مشاهده کامل استفاده شود. کریگ و فاولکنبری (۱۹۷۹)، اسلون (۱۹۸۲)، جزئیات و کاربرد روش ریدیت را به طور کامل در بررسی روند دید افقی توضیح داده‌اند که در پژوهش حاضر از این منابع استفاده شده است؛ بنابراین رابطه Ridity را می‌توان چنین نوشت.

$$P(V_A > V_R) = \int_0^{\max} \int_0^v f_A(V) f_R(V') dV' dv = \int_0^{\max} f_A(V) F_R(V) dv \quad (۱)$$

که در آن  $f_A(V)$  تابع چگالی احتمال و  $F_A$  تابع توزیع تجمعی مشاهدات دید را در یک دوره مشخص نشان می‌دهد. همچنین  $f_R(V')$  توزیع دید مرجع و  $F_R$  توزیع دید حداکثر را برای دورترین فاصله مشاهده نشان می‌دهد. Ridity های سالانه برای هر سال از طریق مقایسه‌ی توزیع دید سال‌های داده‌شده با توزیع مرجع محاسبه شده است. سپس مقدار Ridity برای هر سال با تقسیم‌بندی میزان دید در فواصل معین از طریق رابطه (۲) به دست آمد.

$$P(V_A > V_R) = \sum_{i=1}^k f_{Ai} (\sum_{j=1}^{i-1} f_{Rj} + \frac{1}{2} f_{Ri}) = \text{Mean Ridity} \quad (۲)$$

که در آن  $f_{Rj}$  و  $f_{Ai}$  به ترتیب فراوانی نسبی زیر تقسیمات افق دید را برای هر توزیع نشان می‌دهد. پنج زیر دسته برای افق دید در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که مقادیر Ridity ها مستقیماً از ایستگاهی به ایستگاه دیگر قابل مقایسه نیستند، زیرا توزیع دید مرجع به ایستگاه وابسته است. موقعیت جغرافیایی، جمعیت و منابع انتشار انواع آلاینده‌ها در هر ایستگاه بر روند واقعی افق دید در آن ایستگاه تأثیر می‌گذارد. با این حال ممکن است از مقادیر Ridity به عنوان نشانه‌ای از بهبود یا بدتر شدن روند دید افقی در کیفیت هوا استفاده گردد. برای هر ایستگاه، روند میانگین تغییرات ریدیت نشان‌دهنده تغییرات دقیق در افق دید است.

### ضریب خاموشی

خاموشی نور در مسیر عبوری از چشمه تا ناظر متناسب با غلظت آلاینده‌های موجود در مسیر نوری تغییر می‌کند. تعیین میدان دید بستگی ویژه‌ی فیزیکی جو و جذب و پراکنش نور با ذرات و گازها دارد، بنابراین ضریب خاموشی جو معمولاً به شکل مجموع ضریب پراکنش  $b_{\text{scat}}$  و جذب  $b_{\text{abs}}$  نشان داده می‌شود (ایدلس - دوبوی، ۲۰۰۲).

$$b_{\text{ext}} = b_{\text{scat}} + b_{\text{abs}} = b_{\text{sg}} + b_{\text{sp}} + b_{\text{ag}} + b_{\text{ap}} \quad (۳)$$

در رابطه (۳)، ضریب پراکنش  $b_{\text{scat}}$  مجموع مؤلفه‌های مربوط به پراکنش با گازها  $b_{\text{sg}}$  و ذرات  $b_{\text{sp}}$  و ضریب جذب  $b_{\text{abs}}$  نیز مجموع جذب با گازها  $b_{\text{ag}}$  و ذرات  $b_{\text{ap}}$  است. تنها فرایند مهم در پراکنش گازها، پراکنش ریلی است که به پراکندگی

نور با مولکول‌های هوا عمدتاً  $N_2$  و  $O_2$  می‌شود که شعاعی کوچک‌تر از طول موج نور مرئی دارند. جذب نور در گازهای جو نیز عمدتاً مربوط به نیتروژن دی‌اکسید  $NO_2$ ،  $O_3$  و نیترات  $NO_3$  است (جاکوبسن، ۲۰۰۵؛ ثابت‌قدم و همکاران، ۱۳۹۴). جذب ازن در طیف مرئی بسیار ضعیف و غلظت رادیکال‌های نیترات نیز در طول روز بسیار ناچیز است. از این رو در بیشتر مطالعات جمله  $b_{ag}$  را در رابطه (۳) به جذب نیتروژن دی‌اکسید نسبت داده می‌شود. در مناطقی که انتشار ذرات معلق کم است، مانند مناطق غیرشهری، نقش این جمله قابل توجه است (هوروات، ۱۹۹۳؛ ثابت‌قدم و همکاران، ۱۳۹۵). معمولاً نقش گازها نسبت به ذرات در خاموشی نور ضعیف‌تر است (پارتسینیس و همکاران، ۱۹۸۴؛ آدامز و همکاران، ۱۹۹۰؛ ثابت‌قدم و همکاران، ۱۳۹۵). بر اساس تحقیقات صورت‌گرفته در مناطق گوناگون دنیا، اغلب  $b_{sp}$  بیشترین نقش را در خاموشی کلی دارد و شامل گستره‌ای از ترکیبات هواویزها است (مالم و همکاران، ۲۰۰۱؛ ثابت‌قدم و همکاران، ۱۳۹۴). در مناطق شهری به علت صنعتی‌شدن، هواویزهای بیشتری ایجاد شده است (چارلسون، ۱۹۶۹؛ ثابت‌قدم و همکاران، ۱۳۹۴) که با جذب و پراکنش نور خورشید منجر به کاهش دید می‌شود. در رابطه (۳)  $b_{ap}$  بیشتر مربوط به جذب نور توسط ذرات کربن دار است (گرویلیکی، ۱۹۸۱؛ ثابت‌قدم و همکاران، ۱۳۹۴). ضریب خاموشی جو با استفاده از روش‌های متفاوت تعیین می‌شود. ضریب خاموشی را می‌توان با اندازه‌گیری پخش و عبوردهی نور در دستگاه‌های اندازه‌گیری از جمله نفلومتر و ترنس‌میسومتر تعیین کرد. نفلومتر میزان ذرات موجود در جو را با استفاده از پرتو مستقیم نور و یک آشکارساز مشخص می‌کند. اساس نفلومتر تعیین میزان تضعیف نور در پراکنش است که از اندازه‌گیری تجمعی پراکنش پیش‌سو و پس‌سو استفاده می‌کند (بئوتل و بروئر ۱۹۴۹؛ ثابت‌قدم و همکاران، ۱۳۹۴). از ترنس‌میسومتر معمولاً در فرودگاه‌ها استفاده می‌شود میزان ضریب خاموشی جو را بر اساس میزان گذرایی نور لیزر در جو تعیین می‌کند (ثابت‌قدم و همکاران، ۱۳۹۵). در شرایطی که دستگاه‌های اندازه‌گیری در دسترس نباشد ضریب خاموشی از میدان دید افقی گزارش شده دیدبانی انسانی و با استفاده از رابطه تجربی محاسبه می‌شود؛ بنابراین برای برآورد ضریب خاموشی جو بر اساس میدان دید افقی از رابطه زیر استفاده می‌شود (جاکوبسن، ۲۰۱۲؛ ثابت‌قدم و همکاران، ۱۳۹۴):

$$X = \frac{\ln(C_{ratio})}{-b_{ext}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

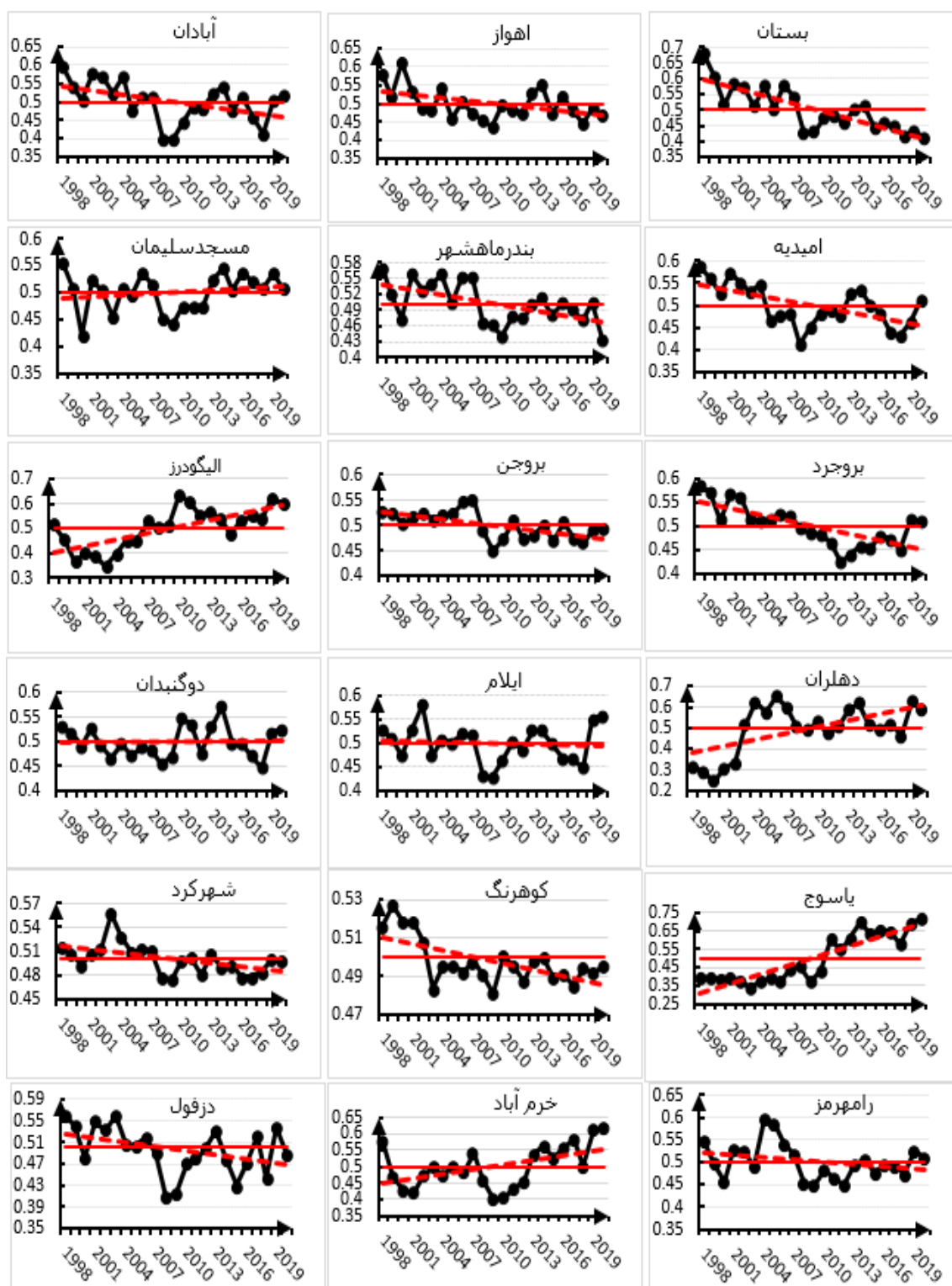
که در آن فاصله  $X$  برابر با میدان دید،  $b_{ext}$  ضریب خاموشی جو و مقدار  $C_{ratio}$  بیانگر نسبت شدت نور پس‌زمینه و جسم است. بنابراین ضریب خاموشی با استفاده از رابطه کشماید بر اساس میدان دید افقی ( $V$ ) محاسبه می‌شود:

$$b_{ext} = \frac{30912}{V} \quad \text{رابطه (۵)}$$

در رابطه (۳) کمیت‌های  $V$  و  $b_{ext}$  دارای واحد مشابه هستند. در این رابطه فرض شده است که ناظر قابلیت آشکارسازی تضاد روشنایی ۰/۰۲ را دارد که این قابلیت برای ناظری بادید عادی امکان‌پذیر است (میدلتون، ۱۹۵۲؛ ثابت‌قدم و همکاران، ۲۰۱۲).

## یافته‌ها

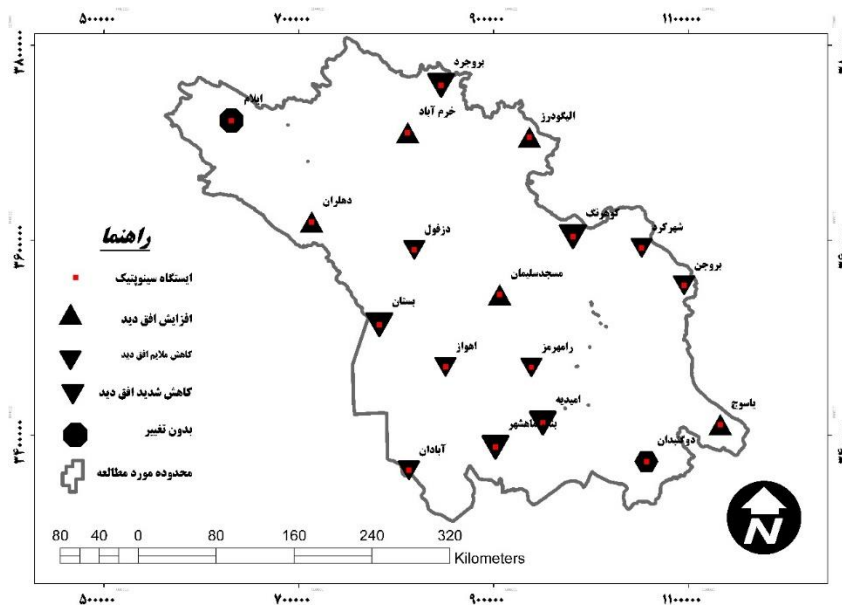
ابتدا مقدار فراوانی هر طبقه افق دید مشخص شد جدول (۱) و سپس مقدار  $Ridit$  سالانه برای هریک از ایستگاه‌های مورد مطالعه محاسبه گردید و نمودارهای مربوطه نیز ترسیم گردید شکل (۲).



شکل ۲. نمودار روند تغییرات Ridit در ایستگاه‌های مورد مطالعه

جدول ۱. گروه‌بندی افق دید در ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه سینوپتیک	فراوانی افق دید / کیلومتر				
	۴/۹-۰	۹/۹-۵	۱۴/۹-۱۰	۱۹/۹-۱۵	۰ > ۲
آبادان	۲۹۰۷	۷۵۷۹	۲۱۸۱۱	۲۲۵	۲
اهواز	۴۲۸۴	۹۲۴۹	۱۹۲۷۵	۸۶	۲
بستان	۵۰۲۵	۹۲۷۸	۱۴۷۶۰	۲۶۸۴	۱۹۶
بندر ماهشهر	۲۰۴۱	۵۲۷۴	۲۱۰۹۲	۱۶۳	۱
دزفول	۱۸۸۰	۳۹۵۲	۲۵۳۲۸	۸۹۷	۱۱۷
مسجدسلیمان	۱۷۶۶	۳۴۷۳	۲۶۷۸۲	۱۵۶	۲۸
امیدیه	۱۸۶۱	۴۶۵۲	۲۶۸۴۳	۳۸۲	۱
رامهرمز	۸۸۵	۴۹۵۹	۳۱۹۸۳	۱۲۲۳	۱
الیگودرز	۲۴۳	۲۸۱۹	۲۰۱۰۸	۶۵۷۳	۲۱۵۳
بروجن	۱۹۵	۲۴۸۸	۲۸۹۳۷	۷۷۴	۳۲
بروجرد	۳۳۰	۳۱۲۸	۲۷۲۳۱	۷۹۵	۲۰۹
دهلران	۱۰۵۰	۵۸۸۳	۱۳۱۳۵	۱۹۴۵۱	۷
دوگنبدان	۸۰۰	۳۴۶۱	۲۵۶۴۹	۱۰۳۱	۷۰۹
ایلام	۸۲۰	۳۹۳۶	۲۴۹۵۰	۱۸۵۶	۲۹۶
خرم‌آباد	۴۱۶	۲۱۵۶	۱۷۶۱۲	۹۵۸۴	۲۲۰۴
کوه‌رنگ	۲۴۲	۹۴۶	۲۹۲۷۰	۳۲۳	۷۲
شهرکرد	۴۸۷	۳۰۸۱	۵۶۹۰۰	۷۵۰	۷۶
یاسوج	۳۹۴	۲۶۸۶	۱۸۷۵۰	۷۹۸۱	۱۴۲۶



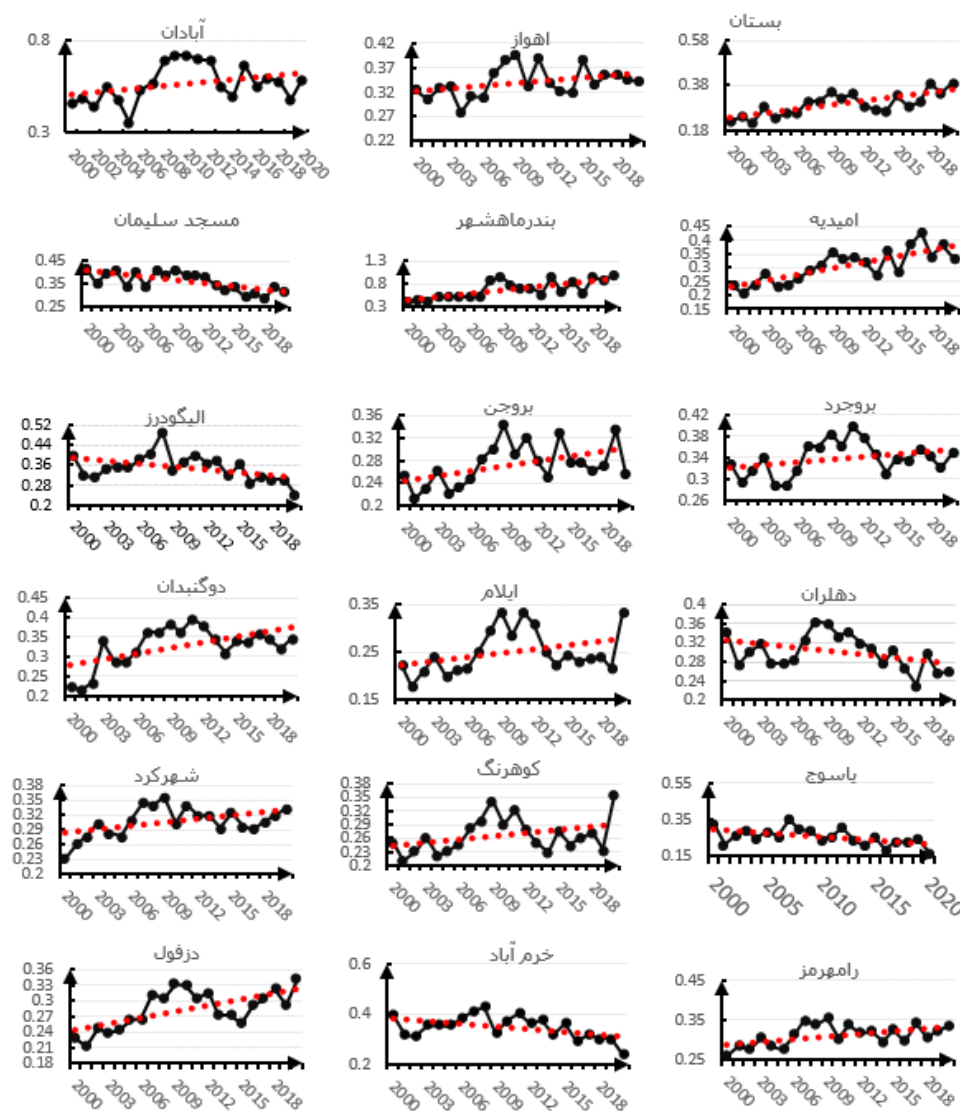
شکل ۳. نقشه وضعیت افق دید در ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس مقادیر Ridit

با بررسی و مطالعه نمودارهای Ridit ایستگاه‌های مورد مطالعه مشخص می‌شود که در ایستگاه‌های مسجدسلیمان، الیگودرز، دهلران، خرم‌آباد و یاسوج افق دید روند افزایشی دارد، همچنین در این ایستگاه‌ها تا سال ۲۰۰۹ خط روند زیرخط مرجع است؛ ولی از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۰ خط روند بالای خط مرجع قرار دارد. اگر این ایستگاه‌ها را بخواهیم از نظر پراشیدگی بررسی و مطالعه کنیم به ترتیب در ایستگاه‌های مسجدسلیمان، خرم‌آباد، الیگودرز، یاسوج و دهلران میزان پراشیدگی افزایش می‌یابد. بیشترین پراشیدگی مربوط به ایستگاه دهلران و کمترین پراشیدگی مربوط به ایستگاه مسجدسلیمان است؛ اما در ایستگاه‌های شهرکرد، کوه‌رنگ، ایلام، دوگنبدان، بروجرد، بروجن، رامهرمز، امیدیه، دزفول،

بندر ماهشهر، بستان، اهواز و آبادان افق دید روند کاهشی دارد که این کاهش در ایستگاه‌های بستان، بندر ماهشهر، کوهرنگ، امیدیه و بروجرد روند تندی دارد در صورتی که در ایستگاه‌های اهواز، آبادان، بروجن، شهرکرد، رامهرمز و دزفول کاهش افق دید شیب ملایمی دارد و در ایستگاه‌های ایلام و دوگنبدان تغییری در افق دید در سال‌های مورد مطالعه مشاهده نمی‌شود. از نظر پراشیدگی در ایستگاه‌های که کاهش افق دید مشاهده می‌شود بیشترین پراشیدگی مربوط به ایستگاه‌ها بستان، آبادان، امیدیه و دزفول است و کمترین پراشیدگی مربوط به ایستگاه‌های کوهرنگ و شهرکرد است (شکل ۳).

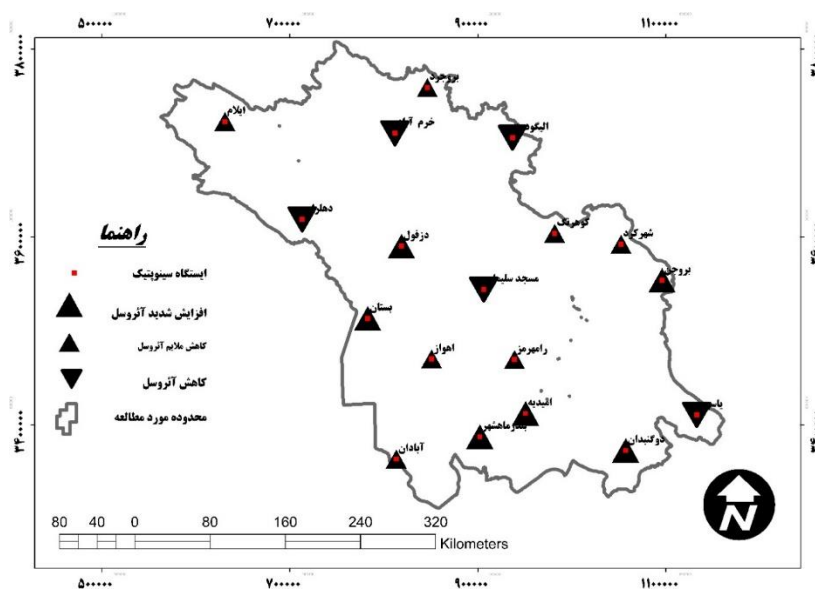
### بررسی شاخص عمق اُپتیکی اُروسول (AOD)

اُروسول‌های موجود در هوا متشکل از طیف وسیعی از ذرات معلق شامل گردوغبارهای بیابانی، ذرات نمک برخاسته از سطح دریاها، آلاینده‌های تولیدشده از فعالیت‌های انسانی شامل سوزاندن سوخت‌های فسیلی می‌شوند که به دلیل ماهیت دینامیک اتمسفر غلظت آن‌ها در طول زمان کوتاهی دچار نوسانات زیاد می‌شود. بر اساس نوسانات میانگین AOD سالانه در دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۰ نمودارهای ایستگاه‌های مورد مطالعه ترسیم گردید (شکل ۴).



شکل ۴. نمودار روند تغییرات AOD در ایستگاه‌های مورد مطالعه

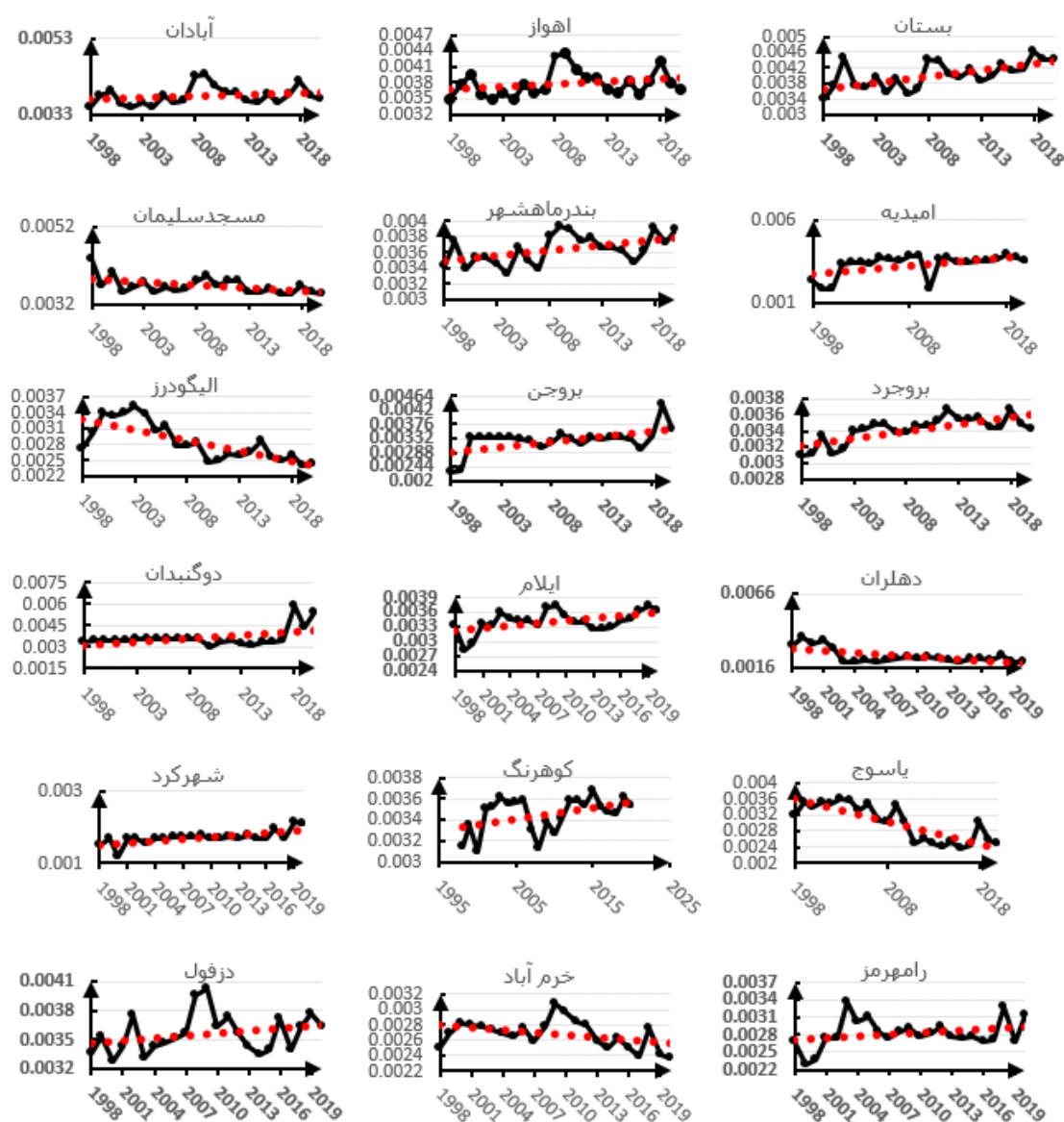
نمودار AOD ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که در ایستگاه‌های اهواز، آبادان، بروجن، بروجرد، بستان، دزفول، دوگنبدان، ایلام، بندر ماهشهر، کوهرنگ، امیدیه، رامهرمز و شهرکرد میزان آئروسول روند افزایشی دارد با این تفاوت که در ایستگاه‌های بروجن، بستان، دزفول، دوگنبدان، بندر ماهشهر و امیدیه افزایش آئروسول دارای شیب تند است در صورتی که در بقیه ایستگاه‌ها روند افزایش شیب ملایمی دارد. در اکثر این ایستگاه‌ها میزان پراشیدگی نیز زیاد است و عمده‌تاً میزان آئروسول بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ بالای خط روند قرار دارد. همچنین در ایستگاه‌های الیگودرز، دهلران، خرم‌آباد و مسجدسلیمان میزان آئروسول برخلاف ۱۳ ایستگاه قبلی روند کاهشی دارد و میزان پراشیدگی نیز در این ایستگاه‌ها زیاد است شکل (۵).



شکل ۵. نقشه مقادیر آئروسول در ایستگاه‌های مورد مطالعه

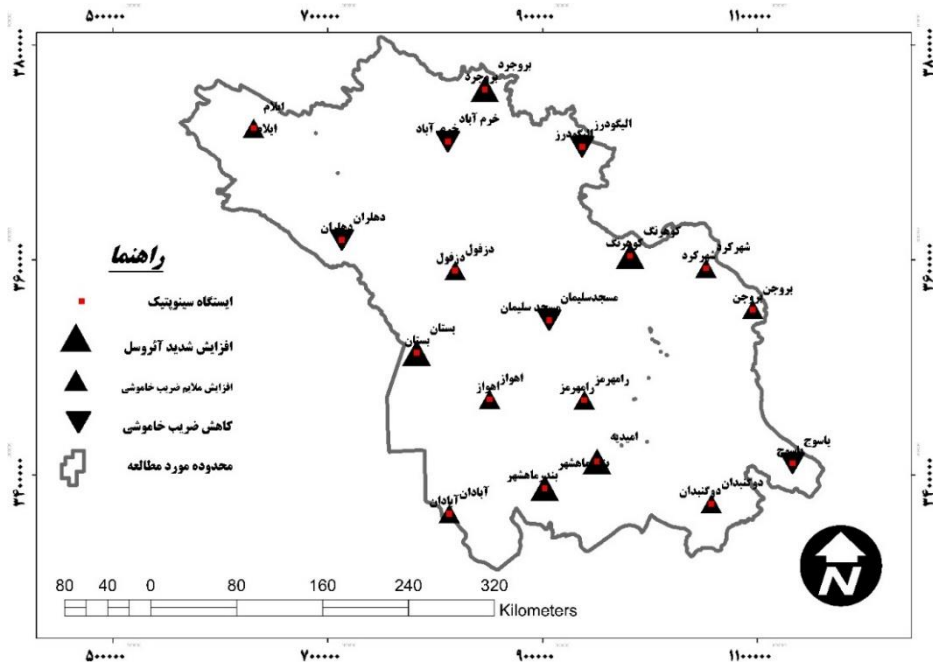
#### بررسی ضریب خاموشی در منطقه مورد مطالعه

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های نوری جو، خاموشی نور در جو است که از جنبه‌های گوناگون ترافیک زمینی و هوایی دارای اهمیت است شدت نور در حین عبور از جو و در طول مسیر خود ممکن است دستخوش تغییر شود. خاموشی نور در مسیر عبور از چشمه تا به ناظر علت حضور آلاینده‌های موجود در مسیر نوری رخ می‌دهد؛ بنابراین میزان ضریب خاموشی جو در ایستگاه‌های مورد مطالعه برای بررسی هر چه بیشتر روند دید افقی با استفاده از رابطه کشمایدن محاسبه شد و نمودارهای مربوطه نیز ترسیم گردید شکل (۶).



شکل ۶. نقشه مقادیر ضریب خاموشی در ایستگاه‌های مورد مطالعه

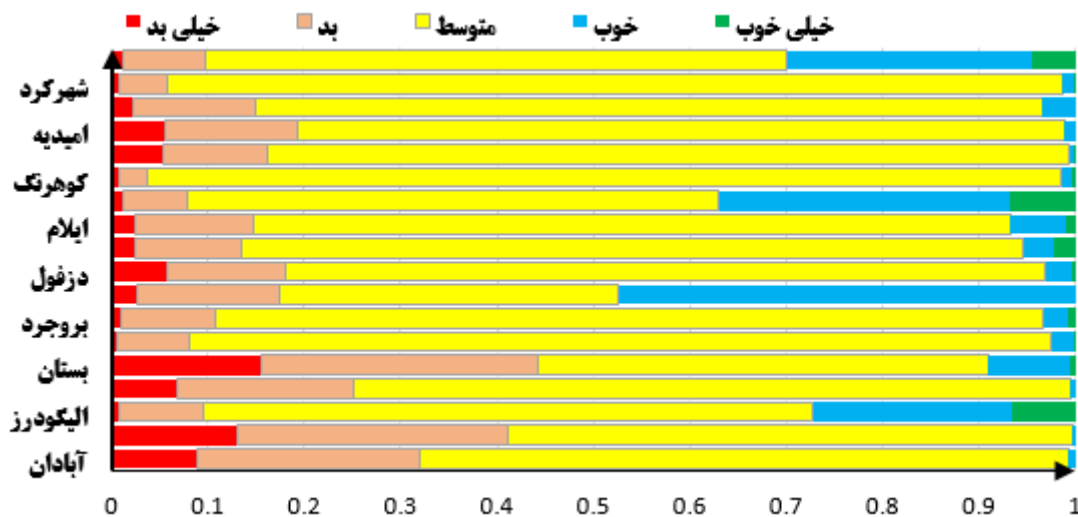
با بررسی و مقایسه نمودارهای ضریب خاموشی در ایستگاه‌های مورد مطالعه مشخص شد که در ایستگاه‌های مسجدسلیمان، الیگودرز، دهرلان، یاسوج و خرم‌آباد مقادیر ضریب خاموشی کم می‌شود این موضوع نشان می‌دهد که روند افق دید در این ایستگاه‌ها افزایش می‌یابد؛ بنابراین میزان افق دید در این مناطق بهتر از سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه است. منتهی میزان پراشیدگی در ایستگاه‌های الیگودرز، یاسوج و خرم‌آباد بیشتر از ایستگاه‌های دهرلان و مسجدسلیمان است. در ۱۳ ایستگاه بعدی منطقه مورد مطالعه میزان ضریب خاموشی افزایش می‌یابد با این تفاوت که افزایش در بستان، بندر ماهشهر، بروجرد و کوهرنگ با روند تندی صورت می‌گیرد. همچنین میزان پراشیدگی نیز در این گروه به‌غیر از ایستگاه‌های دوگنبدان و شهرکرد در سایر ایستگاه‌ها بیشتر است (شکل ۷).



شکل ۷. نقشه مقادیر رطوبت خاوشی در ایستگاه‌های مورد مطالعه

#### وضعیت افق دید در ایستگاه‌های مورد مطالعه

پس از بررسی و مطالعه مقادیر Ridit، شاخص عمق اپتیکی آئروسول و محاسبه رطوبت خاوشی برای مشخص شدن وضعیت افق دید در جنوب غرب ایران افق دید در پنج گروه کیفی خیلی خوب، خوب، متوسط، بد و خیلی بد طبقه‌بندی شد و نمودار آن ترسیم شد (شکل ۸).



شکل ۸. نمودار وضعیت افق دید در ایستگاه‌های مورد مطالعه

باتوجه به نمودار وضعیت افق دید در منطقه مورد مطالعه همان‌طوری که مشاهده می‌شود در سال‌های مورد مطالعه وضعیت افق دید در شرایط متوسط بوده است و افق دید با شرایط خوب با فراوانی بالا فقط در ایستگاه‌های یاسوج، خرم‌آباد، دهلران، بستان و الیگودرز وجود دارد. همچنین افق دید با شرایط خیلی خوب با بیشترین فراوانی در مقایسه با



سایر ایستگاه‌ها فقط در ایستگاه‌های یاسوج، خرم‌آباد و الیگودرز مشاهده می‌شود در صورتی که افق دید با شرایط بد و خیلی بد در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه دیده می‌شود. نتایج به دست آمده با یافته‌های رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹۱)، حجازی و همکاران (۱۳۹۳)، گودرزی و همکاران (۱۳۹۶)، آرامی و همکاران (۱۳۹۷)، جعفری و همکاران (۱۳۹۷)، حجازی زاده و همکاران، (۱۳۹۷)، مدبر پور و همکاران (۱۳۹۸)، سبحانی و صفریان زنگیر (۱۳۹۸) که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای وضعیت گردوغبار را در مناطق مختلف ایران مخصوصاً در جنوب غرب ایران و استان خوزستان بررسی و مطالعه نموده‌اند و یکی از عوامل کاهش دید افقی را میزان گردوغبار معرفی کرده‌اند با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. ولی ثابت‌قدم و همکاران (۱۳۹۵) و حاتمی مهندس و همکاران (۱۳۹۸) وضعیت افق دید را در فرودگاه امام خمینی و چند فرودگاه پر تردد کشور بررسی و مطالعه نمودند که باهدف پژوهش حاضر هم‌راستا نیست. همچنین مولنار و همکاران (۲۰۰۸)، فو و وو (۲۰۱۱)، وو و همکاران (۲۰۱۲)، چن و شی (۲۰۱۲) و لیو و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از روش آماری Ridity روند تغییرات افق دید را در کشور چین و لهستان مطالعه و بررسی نمودند و به نتایج قابل قبولی دست یافتند و این تکنیک آماری را یکی از روش‌های کاربردی و موفق در زمینه بررسی افق دید معرفی کرده‌اند که نتایج حاصل از پژوهش حاضر نیز این امر را تأیید می‌کند.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش روند تغییرات افق دید بر اساس داده‌های روزانه دید افقی ۱۸ ایستگاه سینوپتیک جنوب غرب ایران، میزان تغییرات AOD بر اساس داده‌های ماهواره‌ای مودیس و همچنین با محاسبه ضریب خاموشی در ایستگاه‌های مذکور بررسی و مطالعه شد. داده‌های مورد استفاده دو نوع داده متفاوت اقلیمی است که شامل داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های هواشناسی و داده‌های ماهواره‌ای است. برای تحلیل روند دید افقی از تکنیک آماری Ridity استفاده شده است. نتایج نشان داد که در ایستگاه‌های مسجدسلیمان، الیگودرز، دهلران، خرم‌آباد و یاسوج افق دید در سال‌های مورد مطالعه بجای کاهش افق دید ما با وضعیت بهتر شدن افق دید مواجه هستیم. در صورتی که در ایستگاه‌های شهرکرد، کوهرنگ، ایلام، دوگنبدان، بروجرد، بروجن، رامهرمز، امیدیه، دزفول، بندر ماهشهر، بستان، اهواز و آبادان افق دید روند کاهشی دارد و در این ایستگاه‌ها ما با کاهش افق دید مواجه هستیم با این تفاوت که این کاهش در ایستگاه‌های بستان، بندر ماهشهر، کوهرنگ، امیدیه و بروجرد روند تندی دارد و در مقایسه با ایستگاه‌های اهواز، آبادان، بروجن، شهرکرد، رامهرمز و دزفول شرایط بدتری دارند همچنین در ایستگاه‌های ایلام و دوگنبدان تغییری در وضعیت افق دید در سال‌های مورد مطالعه مشاهده نشد. بررسی میزان AOD در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که در ایستگاه‌های اهواز، آبادان، بروجن، بروجرد، بستان، دزفول، دوگنبدان، ایلام، بندر ماهشهر، کوهرنگ، امیدیه، رامهرمز و شهرکرد میزان آئروسول افزایش می‌یابد در حالی که در بقیه ایستگاه‌ها AOD کاهش می‌یابد که بیانگر افزایش افق دید در این مناطق است. البته در ایستگاه‌های بروجن، بستان، دزفول، دوگنبدان، بندر ماهشهر و امیدیه افزایش غلظت آئروسول بیشتر از سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه است. بررسی و مقایسه نمودارهای ضریب خاموشی نشان داد که در ایستگاه‌های مسجدسلیمان، الیگودرز، دهلران، یاسوج و خرم‌آباد مقادیر ضریب خاموشی کاهش می‌یابد این موضوع بیانگر این است که در این مناطق شرایط دید افقی بهتر از سایر ایستگاه‌ها است. ولی در بقیه ایستگاه‌ها مقادیر ضریب خاموشی افزایش می‌یابد و نشان می‌دهد که در این مناطق دید افقی در وضعیت مطلوب قرار ندارد؛ بنابراین می‌توان گفت که وضعیت افق دید در منطقه مورد مطالعه بیشتر در شرایط متوسط بوده است و افق دید با شرایط خوب و خیلی خوب با فراوانی بالا فقط در

ایستگاه‌های یاسوج، خرم‌آباد، دهلران، بستان و الیگودرز وجود دارد. درحالی‌که افق دید با شرایط بد و خیلی بد در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه مشاهده گردید. پس می‌توان نتیجه گرفت که در مجموع در جنوب غرب ایران روند دید افقی حالت کاهشی دارد. باتوجه‌به کارآمدی آنالیز ریدیت پیشنهاد می‌شود این تکنیک آماری در سایر مناطق کشور نیز مورد استفاده قرار گیرد تا کارایی آن بهتر مشخص گردد.

## تقدیر و تشکر

بنا به اظهار نویسنده مسئول، این مقاله حامی مالی نداشته است.

## منابع

- (۱) آرامی، س. ع. اونق، م. محمدیان بهبهانی، ع. اکبری، م. و زراسوندی، ع. (۱۳۹۷). تحلیل مطالعات مخاطره گردوغبار در جنوب غرب ایران در دوره ۲۲ ساله (۲۰۱۷-۱۹۹۶). *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۵ (۱)، ۳۹-۶۶.
- (۲) ارجمند، م. سرگزی، ح. و راشکی، ع. (۱۳۹۷). پایش زمانی و مکانی پدیده گردوغبار با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در جنوب شرق ایران، با تأکید بر منطقه جازموریان. *فصلنامه اطلاعات جغرافیایی*، ۲۷ (۱۰۶)، ۱-۱۲.
- (۳) باغی، م. راشکی، ع. و محمودی قرائی، م. ح. (۱۳۹۹). بررسی خصوصیات شیمیایی و کانی‌شناسی گردوغبار ورودی به شمال شرق ایران و پتانسیل بیماری‌زایی آن. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۹ (۱)، ۱۵۳-۱۳۹.
- (۴) ثابت‌قدم، س. احمدی گیوی، ف. و گلستانی، ی. (۱۳۹۴). کاربست روش پردازش رقمی تصویر در تعیین ضریب خاموشی جو شهری تهران. *نشریه ژئوفیزیک ایران*، ۹ (۲)، ۵۱-۴۰.
- (۵) ثابت‌قدم، س. احمدی گیوی، ف. و گلستانی، ی. (۱۳۹۵). بررسی تغییرات ضریب خاموشی جو بر مبنای دید افقی در چهار فرودگاه پرتردد کشور. *فیزیک زمین و فضا*، ۴۲ (۲)، ۴۶۷-۴۵۹.
- (۶) جعفری، م. زهتابیان، غ. و مصباح‌زاده، ط. (۱۳۹۷). واکاوی آماری پدیده گردوغبار (مطالعه موردی اصفهان). *فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۲۵ (۴)، ۸۷۶-۸۶۳.
- (۷) حاتمی مهند، ج. ثابت‌قدم، س. و احمدی گیوی، ف. (۱۳۹۸). بررسی شرایط هواشناسی کمینه دید افقی روزانه با استفاده از اطلاعات دستگاه RVR فرودگاه امام خمینی. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۶ (۱)، ۳۰-۱۷.
- (۸) حجازی زاده، ز. طولابی نژاد، م. زارعی چق‌بلکی، ز. و امرایی، ب. (۱۳۹۷). پایش طوفان گردوغبار در نیمه غربی ایران مطالعه موردی: طوفان گردوغبار ۱۶ تا ۱۹ ژوئن ۲۰۱۵. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۵ (۴)، ۱۰۷-۱۲۴.
- (۹) حجازی، س. ع. مباشری، م. و مجیدی، د. (۱۳۹۳). استفاده از تصویر ماهواره‌ای در محاسبه قابلیت دید افقی جو. *نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۵ (۱۷)، ۵۷-۴۷.
- (۱۰) رسولی، ع. ساری صراف، ب. و محمدی، غ. (۱۳۸۹). تحلیل روند وقوع پدیده اقلیمی گردوغبار در غرب کشور در ۵۵ سال اخیر با استفاده از روش‌های آماری ناپارامتری. *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، ۳ (۳)، ۲۸-۱۵.
- (۱۱) رضایی بنفشه، م. شریفی، ل. و پیرخضرائیان، س. ل. (۱۳۹۱). برآورد میزان گردوغبار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مطالعه موردی: استان کردستان. *نشریه جغرافیای طبیعی*، ۵ (۱۸)، ۲۵-۱۳.
- (۱۲) زینالی، ب. و اصغری، ص. (۱۳۹۷). ارزیابی برخی شاخص‌های شناسایی گردوغبار و پایش آن (مطالعه موردی طوفان ۱۰ اوت ۲۰۰۸ شرق ایران). *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۲ (۶۵)، ۱۸-۱.
- (۱۳) سبحانی، ب. و صفریان زنگیر، و. (۱۳۹۸). واکاوی و پیش‌بینی پدیده گردوغبار در جنوب غرب ایران. *نشریه مخاطرات محیط طبیعی*، ۱ (۲۲)، ۱۹۸-۱۷۹.

- ۱۳) فاریابی، آ.، متین فر، ح. ر. علوی پناه، س. ک. و نوروزی، ع. ا. (۱۳۹۸). شناسایی گردوغبار در نواحی غرب و جنوب غرب ایران بر مبنای الگوریتم سنجه DAI و داده‌های طیفی سنجنده مودیس. *فصلنامه علوم محیطی*، ۱۷ (۳)، ۱۶۲-۱۵۱.
- ۱۴) گودرزی، م. حسینی، س. ا. و احمدی، ح. (۱۳۹۶). بررسی توزیع زمانی و مکانی روزهای همراه با گردوغبار در غرب و جنوب غربی ایران. *نشریه علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران*، ۱۱ (۳۹)، ۱-۱۱.
- ۱۵) مدبرپور، ع. گندمکار، ا. و خداقلی، م. (۱۳۹۸). بررسی زمانی - مکانی مخاطره گردوغبار (مطالعه موردی: یاسوج و دوگنبدان). *فصلنامه انجمن جغرافیای ایران*، ۱۷ (۶۱)، ۹۱-۱۰۸.
- ۱۶) مصباح‌زاده، ط. سلیمانی ساردو، ف. سلاجقه، ع. زهتابیان، غ. ر. رنجبر، ع. و مارسلو میگلوتا، م. (۱۳۹۹). واکاوای تغییرات زمانی و مکانی روزه‌های گردوغبار در فلات مرکزی ایران. *فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۲۷ (۴)، ۷۴۵-۷۵۹.
- ۱۷) میر موسوی، س. ح. و تاران، ز. (۱۴۰۰). بررسی و تحلیل ارتباط نوسانات گردوغبار با نوسانات دما و بارش غرب و جنوب غرب ایران. *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۵ (۷۷)، ۲۴۵-۲۵۹.
- ۱۸) نوروزی، ع. ا. شعاعی، ض. (۱۳۹۷). شناسایی مناطق دارای پتانسیل تولید گردوغبار در جنوب غرب ایران، مطالعه موردی استان خوزستان. *مهندسی و مدیریت آب‌خیز*، ۱۰ (۳)، ۳۹۸-۴۰۹.

## References

- 1) Adams, K. M., Davis Jr, L. I., Japar, S. M., & Finley, D. R. (1990). Real-time, in situ measurements of atmospheric optical absorption in the visible via photoacoustic spectroscopy—IV. Visibility degradation and aerosol optical properties in Los Angeles. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 24(3), 605-610.
- 2) Alhathloul, S. H., Khan, A. A., & Mishra, A. K. (2021). Trend analysis and change point detection of annual and seasonal horizontal visibility trends in Saudi Arabia. *Theoretical and Applied Climatology*, 144(1), 127-146.
- 3) Beuttell, R. G., & Brewer, A. W. (1949). Instruments for the measurement of the visual range. *Journal of Scientific Instruments*, 26(11), 357.
- 4) Chang, D., Song, Y., Liu, B., 2009. Visibility trends in six megacities in China 1973–2007. *Atmos. Res*, 94, 161–167.
- 5) Charlson, R. J. (1969). Atmospheric visibility related to aerosol mass concentration. *Environmental science & technology*, 3(10), 913-918.
- 6) Chen, Y., & Xie, S. (2012). Temporal and spatial visibility trends in the Sichuan Basin, China, 1973 to 2010. *Atmospheric Research*, 112, 25-34.
- 7) Che, H., Zhang, X., Li, Y., et al., 2007. Horizontal visibility trends in China 1981e2005. *Geophys. Res. Lett.* 34. doi:10.1029/2007GL031450.
- 8) Craig, C.D., Faulkenberry, G.D., 1979. The application of ridit analysis to detect trends in visibility. *Atmos. Environ*, 13, 1617e1622.
- 9) Deng, J., Wang, T., Jiang, Z., Xie, M., Zhang, R., Huang, X., & Zhu, J. (2011). Characterization of visibility and its affecting factors over Nanjing, China. *Atmospheric Research*, 101(3), 681-691.
- 10) Deng, J., Du, K., Wang, K., Yuan, C. S., & Zhao, J. (2012). Long-term atmospheric visibility trend in Southeast China, 1973–2010. *Atmospheric Environment*, 59, 11-21.
- 11) Doyle, M., & Dorling, S. (2002). Visibility trends in the UK 1950e1997. *Atmos. Environ*, 36, 3161e3172.
- 12) Egerer, S., Claussen, M., & Reick, C. (2018). Rapid increase in simulated North Atlantic dust deposition due to fast change of northwest African landscape during the Holocene.

- Climate of the Past*, 14(7), 1051-1066.
- 13) Environmental Protection Agency, 1999. Regional Haze Regulations: Final Rule. 40 CFR Part 51, *Federal Register*. 64(126), 35714e35774.
  - 14) Faulkenberry, D., & Craig, C.D. (1980). The application of ridit analysis to detect trends in visibility e reply. *Atmos. Environ*, 14, 1205e1206.
  - 15) Fu, C., & Wu, J. (2011). The different characteristics of sunny visibility over southwest china in recent 50 years. *Procedia Environmental Sciences*, 10, 247-254.
  - 16) Jacobson, M. (2005). *Fundamentals of aAtmospheric modeling*. Second Edition, Cambridge University Press.
  - 17) Jacobson, M. (2012). *Air Pollution and Global Warming: History. Science, and Solutions*: Cambridge University Press.
  - 18) Jixia, H., Qibin, Z., Jing, T., Depeng, Y., & Quansheng, G. (2018). Association between forestry ecological engineering and dust weather in Inner Mongolia: A panel study. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 104, 76-83.
  - 19) Gao, L., Jia, G., & Zhang, R. (2011). Visual range trends in the Yangtze River Delta Region of China, 1981e2005. *J. Air Waste Manage. Assoc*, 61, 843e849.
  - 20) Ghim, Y. S., Moon, K. C., Lee, S., & Kim, Y. P. (2005). Visibility trends in Korea during the past two decades. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 55(1), 73-82.
  - 21) Groblicki, P. J., Wolff, G. T., & Countess, R. J. (1981). Visibility-reducing species in the Denver “brown cloud”—I. Relationships between extinction and chemical composition. *Atmospheric Environment (1967)*, 15(12), 2473-2484.
  - 22) Horvath, H. (1993). Atmospheric light absorption—A review. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 27(3), 293-317.
  - 23) Huang, W. Tan, J. Kan, H. Zhao, N. Song, W. Song, G. Chen, G. Jiang, L. Jiang, C. Chen, R. Chen, B. (2009). Visibility, air quality and daily mortality in Shanghai, China. *Sci. Total Environ*, 407, 3295–3300.
  - 24) Husar, R. B., Holloway, J. M., Patterson, D. E., & Wilson, W. E. (1981). Spatial and temporal pattern of eastern US haziness: a summary. *Atmospheric Environment (1967)*, 15(10-11), 1919-1928.
  - 25) Husar, R. B., Husar, J. D., & Martin, L. (2000). Distribution of continental surface aerosol extinction based on visual range data. *Atmospheric Environment*, 34(29-30), 5067-5078.
  - 26) Koschmieder, H. (1926). The air currents around mountain obstacles in the free atmosphere. Gerland's contribution z. *Geophysics*, 15, 285.
  - 27) Lee, D. (1994). Regional Variations in Longterm Visibility Trends in the UK, 1962—1990. *Geography*, 125, 108-121.
  - 28) Lee, C. G., Yuan, C. S., Chang, J. C., & Yuan, C. (2005). Effects of aerosol species on atmospheric visibility in Kaohsiung city, Taiwan. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 55(7), 1031-1041.
  - 29) Liao, W., Wang, X., Fan, Q., Zhou, S., Chang, M., Wang, Z., ... & Tu, Q. (2015). Long-term atmospheric visibility, sunshine duration and precipitation trends in South China. *Atmospheric Environment*, 107, 204-216.
  - 30) Malm, W., Sisler, J., Huffman, D., Eldred, R. and Cahill, T., 1994, Spatial and seasonal trends in particle extinction in the United States. *Geophys Res concentrations and optical Lett*, 99, 1347-1370.
  - 31) Malm, W. C., & Kreidenweis, S. M. (1997). The effects of models of aerosol hygroscopicity on the apportionment of extinction. *Atmospheric Environment*, 31(13),

1965-1976.

- 32) Malm, W. C., Molnar, J. V., Eldred, R. A., & Sisler, J. F. (1996). Examining the relationship among atmospheric aerosols and light scattering and extinction in the Grand Canyon area. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 101(D14), 19251-19265.
- 33) Malm, W. C., & Day, D. E. (2001). Estimates of aerosol species scattering characteristics as a function of relative humidity. *Atmospheric Environment*, 35(16), 2845-2860.
- 34) Molnár, A., Mészáros, E., Imre, K., Rüll, A., 2008. Trends in visibility over Hungary between 1996 and 2008. *Atmos. Environ*, 42, 2621–2629.
- 35) Ogren, J. A. (1995). A systematic approach to in situ observations of aerosol properties. *Aerosol forcing of climate*, 215, 226.
- 36) Ohgaito, R., Abe-Ouchi, A., O'ishi, R., Takemura, T., Ito, A., Hajima, T., & Kawamiya, M. (2018). Effect of high dust amount on surface temperature during the Last Glacial Maximum: a modelling study using MIROC-ESM. *Climate of the Past*, 14(11), 1565-1581.
- 37) Partsinis, S., Novakov, T., Ellis, E., and Friedlander, S. (1984). The carbon containing component of the Los Angeles aerosol: Source apportionment and contributions to the visibility budget: JAPCA J. Air. Waste. Ma34, 643-650.
- 38) Sabetghadam, S., Ahmadi-Givi, F., & Golestani, Y. (2012). Visibility trends in Tehran during 1958–2008. *Atmospheric Environment*, 62, 512-520.
- 39) Schichtel, B. A., Husar, R. B., Falke, S. R., & Wilson, W. E. (2001). Haze trends over the United States, 1980–1995. *Atmospheric Environment*, 35(30), 5205-5210.
- 40) Sloane, C.S., (1982a). Visibility trends e I. Methods of analysis. *Atmos. Environ*, 16, 41e51.
- 41) Sloane, C.S., (1982b). Visibility trends e II. Mideastern United States 1948–1978. *Atmos. Environ*, 16, 2309e2321.
- 42) Sloane, C. S. (1983). Summertime visibility declines: meteorological influences. *Atmospheric Environment (1967)*, 17(4), 763-774.
- 43) Tsai, Y.I., Kuo, S.C., Lee, W.J., Chen, C.L., & Chen, P.T. (2007). Long-term visibility trends in one highly urbanized, one highly industrialized, and two rural areas of Taiwan. *Sci. Total. Environ*, 382, 324–341.
- 44) Wang, Z., Pan, X., Uno, I., Li, J., Wang, Z., Chen, X., & Yamamoto, S. (2017). Significant impacts of heterogeneous reactions on the chemical composition and mixing state of dust particles: A case study during dust events over northern China. *Atmospheric environment*, 159, 83-91.
- 45) Wu, J., Fu, C., Zhang, L. & Tang, J., (2012). Trends of visibility on sunny days in China in the recent 50 years. *Atmos. Environ*, 55, 339-346.
- 46) Yuan, C.S., Lee, C.G., Liu, S.H., et al., 2002. Developing strategies for improving urban visual air quality. *Aerosol Air Qual. Res*, 2, 9e22.