



Long-term Fluctuations in Horizontal Visibilities over Northwest of Iran

Bromand Salahi ^{1✉} | Gholam Hasan Mohammadi ² | Atefeh Hoseini Sadr ³

1. Corresponding author, Professor of Climatology, Department of Physical Geography, University of Mohagheh Ardabili, Ardabil, Iran, Corresponding Author, E-mail: Salahi@uma.ac.ir
2. PhD in Climatology, Iranian Meteorological Organization (IRIMO), East Azerbaijan Province Central Bureau of Meteorology, Tabriz, Iran. Email: Gh.mohammadi88@gmail.com
3. Department of Physical Geography, University of Mohagheh Ardabili, Ardabil, Iran, Email: Hoseini.sadr97@gmail.com
4. Geography Department Payame-noor University, Tehran, Iran. Email: Sadr88@pnu.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 15 June 2023

Received in revised form 1

July 2023

Accepted 10 July 2023

Published online 20 November

2024

Keywords:

Horizontal Visibility,

Fluctuation Periods, Trend

Analysis, Ridit test, Northwest of Iran

ABSTRACT

The aim of this study is to investigate the long-term fluctuations and trends in horizontal visibility in the northwest of Iran. For this purpose, hourly horizontal visibility data from 7 synoptic stations were used for the period of 1951-2020. The Koschmieder approach was used to calculate the extinction coefficient. Moreover, the Mann-Kendall and Rdit tests were applied to examine the trend of horizontal visibility. Also, the percentages of very good visibility (>19 km) compared with bad (<10 km) visibilities. Based on the results the annual average of horizontal visibility in northwest of Iran is ~13 km. This study showed three different fluctuation periods in the regional average of horizontal visibility: the first period (1951-1985) showed a sharp decrease in visibility, the second period (1987-2005) was characterized by low and stable visibility, and the third period showed a recent relative improvement. The regional average of horizontal visibility (extinction coefficient) exhibited a significant decreasing (increasing) trend of -0.167(0.0017) km per year at a confidence level of 0.01. The significant decreasing trend was confirmed in all stations except for the Ardabil station. The most severe decreasing trend was detected in Sanandaj and Zanjan stations with rates of 0.183 and 0.179 km year⁻¹, respectively. The region average of Rdit statistic in northwest Iran in the early 1950s was ~-0.85, but it decreased to around 0.3 in the 1990s. Despite the recent improvement in horizontal visibility, reaching the reference distribution (i.e. Rdit=-0.5), the decreasing trend of horizontal visibility was still confirmed. The percentage of trend analysis of very good and bad visibility showed an increase in bad visibilities (from 5% to 25%) and a decrease in very good visibilities (from 80% to 5%), which confirms the decreasing trend in horizontal visibility. Hazy condition with 38.7% was the most influential weather phenomenon in visibility degradation.

Cite this article: Hoseini Sadr, A., Salahi, B., & Mohammadi, Gh. (2024). Long-term Fluctuations in Horizontal Visibilities over Northwest of Iran. *Journal of Geography and Planning*, 28 (89), 269-284. <http://doi.org/10.22034/gp.2023.57121.3156>



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.22034/gp.2023.57121.3156>

Publisher: University of Tabriz.

Extended Abstract

Introduction

Horizontal visibility as one of the air quality indexes is defined as the maximum distance at which an ideally black target can be recognized against the horizon (Horvath, 1981). Air pollution is one of the main causes of reduced horizontal visibility (Malm et al., 1994, 1996). Many atmospheric phenomena such as fog, rain, snow, and hail can affect visibility (Wen and Yeh, 2010). Moreover, industrialization and urbanization have also led to increased air pollution and subsequently reduced visibility (Chang et al., 2009; Deng et al., 2014; Huang et al., 2014). In the northwest of Iran, urbanization has developed a lot in the last few decades, and the rise in the use of vehicle transportation has increased the occurrence of smog (Ghahrmani, 2015). Furthermore, according to recent studies, the frequency of dust storms in the west of Iran has also increased (Mohammadi, 2015; Sari Sarraf et al., 2016). These issues, along with decreased rainfall and increased temperature, can significantly affect horizontal visibility. Therefore, the variation and long-term trend of horizontal visibility in the northwest of Iran were investigated.

Data and Method

Visibility observations in Iran are recorded at surface weather stations under the network of the Iranian Meteorological Organization (IRIMO) based on WMO constructions. In this study, datasets were provided by the data center of the Iranian Meteorological Organization (IRIMO) for the period of 1951 to 2020. In total, 7 synoptic stations in the northwest of Iran had complete datasets for more than 60 years. Daytime meteorological elements including horizontal visibility, temperature, precipitation amount, and present weather codes were extracted from the primary dataset. Visibility data records that had missing codes, precipitation, and high relative humidity ($RH > 90\%$) were screened out in order to minimize the influences of meteorological factors (Solane, 1982a). Mann-Kendall test is a non-parametric method that examines the presence of change in parameters in a time series (Mann 1945; Kendal 1975). A factor that affects trend detection in a series is the presence of positive or negative autocorrelation (Yue et al. 2003; Novotny and Stefan, 2007). Ridity analysis is a widely used statistical approach for visibility trend detection (Molnar et al., 2008; Gao et al., 2011; Deng et al., 2012; Chen and Xie, 2012). Ridity indicates the probability that the visibility condition in a given period was better/worse than a reference visibility distribution (Chen and Xie, 2012). Detailed descriptions of the application of Ridity analysis on visibility trends have been provided in previous research (Craig and Faulkenberry, 1979; Solane, 1982a; Doyle and Dorling, 2002). In addition, the percentages of “very good” ($>19\text{km}$) and “bad” ($<10\text{km}$) visibility records per year, which are good indicators of the long-range transport and haze/dust situation (Gomez and Smith, 1987), were analyzed. Finally, to determine the impact of meteorological factors on reducing visibility, the frequency of each atmospheric phenomenon (smog, mist, dust storms, and other phenomena) was calculated annually for each station.

Results and Discussion

The annual mean horizontal visibility in all stations has relatively similar fluctuations and its regional-mean variations can be classified into three different periods: The first period (1951-1985) was characterized by a significant decrease in the average horizontal visibility, with the regional mean decreasing from > 30 to 11 km . This period was therefore named the “severe decreasing period”. From 1986 to 2005, the average horizontal visibility remained at its lowest level without any significant trend. The regional mean of horizontal visibility variation was between 9.4 and 11.8 km during this period. Therefore, this period was named the “low and stable period”. From 2006, the regional mean of horizontal visibility has gradually increased with a gentle slope, reaching around 16 km . Therefore, this period was introduced as the “recent relative improvement”. Despite the relatively increasing trend during this period, the average horizontal visibility has still been significantly lower than in the 1950s and 1960s. Therefore, the trend of horizontal visibility throughout the study period has been decreasing, as confirmed by the Kendall test. The average Ridity value in northwest Iran was around

~0.85 in the early 1950s. However, it decreased significantly over the following 10 years and dropped to below 0.40 in 1976. The regional mean of Ridity values for all years before 1980 was higher than 0.5, indicating that the horizontal visibility during those years was higher than the reference distribution. Between 1985 and 2010, the regional mean of Ridity values (between 0.31 and 0.38) reached its lowest level. In the last 10 years of the study period (i.e., between 2011 and 2020), the regional mean of Ridity values gradually increased and reached higher than 0.5 since 2017, indicating a relative improvement in horizontal visibility in recent years. However, compared to the years between 1951 and 1980, it is still at a lower level. Therefore, the linear trend of the regional mean Ridity value throughout the study period is decreasing. The percentage of bad horizontal visibility in all stations from 1951 to 1975 was very low and mostly less than 10% of the total observations. From 1975 to 2010, the frequency of poor visibilities gradually increased and reach 10% - 20%. Since 2010, the percentage of bad horizontal visibility has relatively decreased and reached around 10%, indicating a relative improvement in horizontal visibility in recent years. The changes in horizontal visibility in northwest Iran are well reflected through the changes in the frequency of very good visibility. Until before 1980, except for the Tabriz station, very good visibility accounted for a high percentage (20% to 80%) of total horizontal visibility observations. However, the frequency of very good horizontal visibility decreased rapidly from the beginning of the study period. This study confirms the increasing trend of bad horizontal visibility and the decreasing trend of very good horizontal visibility, indicating a decreasing trend of horizontal visibility in northwest Iran. Among the weather phenomena affecting horizontal visibility degradation, smog (38/7%) had the most significant impact, followed by mist and dust storms with percentages of 30% and 17.5%, respectively.

Conclusion

In this study, three different fluctuation periods were identified in the changes in horizontal visibility. In the first period, horizontal visibility was at its highest level, and humidity, especially mist, was the main cause of the visibility reduction. However, in the second period, a considerable increase in smog led to a reduction in visibility. In the third period, due to the relative stability in the frequency of smog and an increase in the frequency of dust storms, there was a relative improvement in horizontal visibility. But, it is not completely improved. It can be concluded that the factors contributing to the decrease in horizontal visibility in northwest Iran have shifted from moisture phenomena to dust-related phenomena (aerosols and smoke) in the past 70 years. Variation of Ridity values indicates that it was higher than the reference distribution until 1986, and it has decreased to less than that since that year. Among the stations, those located in the vicinity of well-developed cities (Tabriz and Urmia) have declined below the reference distribution sooner than other stations. Despite the relative increase in Ridity values in recent years (since 2005), in most stations, the Ridity value has been below 0.5. Due to the location of most stations in the vicinity of well-developed cities and the impact of human activities on air pollution and subsequent reduction in visibility, the results of this study cannot be extended to all of northwestern Iran. However, to have a more accurate examination, data from stations located in natural environments also need to be investigated. As a result, this approach can provide a more realistic assessment of the trend of horizontal visibility in the study area. It has also been shown that multiple factors affect the fluctuations in horizontal visibility, including changes in meteorological factors and anthropogenic pollutants, especially in densely populated cities. Therefore, determining the extent of the impact of each of these factors and identifying the percentage of their impact in past decades can lead to a better understanding of what has happened in the past and help in using them for environmental management in the future.

References

- Alhathloul, S.H., Khan, A., Mishra, A., (2021), **Trend analysis and change point detection of annual and seasonal horizontal visibility trends in Saudi Arabia**, *Theoretical and Applied Climatology*, **144(3)**:127-146.
- Balarabe, M., Abdullah, Kh., Nawawi, M., (2015), **Long-Term Trend and Seasonal Variability of Horizontal Visibility in Nigerian Troposphere**, *Atmosphere*, **6(10)**: 1462-1486; doi:10.3390/atmos6101462.
- Baumer, D., Vogel, B., Versick, S., Rinke, R., Mohler, O. and Schnaiter, M., (2008), **Relationship of visibility, aerosol optical thickness and aerosol size distribution in an ageing air mass over South-West Germany**, *Atmos. Environ.*, **42(5)**: 989-998.
- Chang, D., Song, Y., Liu, B., (2009), **In: Visibility Trends in Six Megalopolis in China 1973–2007**, *Atmos. Res.*, **94(2)**: 161–167.
- Che, H., Zhang, X., Li, Y., Zhou, Z., Qu, J. J., (2007), **Horizontal visibility trends in China 1981–2005**, *Geophysical Research Letters*, **34(24)**: L24706, doi: 10.1029/2007GL031450.
- Chen, S., Guo, J., Song, L., Cohen, J., Wang, Y., (2019), **Temporal disparity of the atmospheric systems contributing to interannual variation of wintertime haze pollution in the North China Plain**, *Int. J. Climatol.*, **40(1)**:128-144.
- Chen, X., Li, X., Yuan, X., Zeng, G., Liang, J., Li, X., Xu, W., Luo, Y., Chen, G., (2018), **Effects of human activities and climate change on the reduction of visibility in Beijing over the past 36 years**, *Environ. Int.* **116(2)**: 92–100.
- Chen, Y., Xie, Sh., (2012), **Temporal and spatial visibility trends in the Sichuan Basin, China 1973 to 2010**, *Atmospheric Research*, **112**: 25–34.
- Craig, C. and Faulkenberry, G., (1979), **The application of ridit analysis to detect trends in visibility**, *Atmospheric Environment*, **13(12)**: 1617-1622.
- Deng, J., Wang, T., Jiang, Z., X. Min., Z. Renjian., X. Hung., J. Zhu., (2012), **Characterization of visibility and its affecting factors over Nanjing, China**, *Atmos. Res.*, **101(3)**: 681-691.
- Deng, J., Xing, Z., Zhuang, B., Du, Ke., (2014), **Comparative study on long-term visibility trend and its affecting factors on both sides of the Taiwan Strait**, *Atmospheric Research*, **143(15)**: 266-278.
- Doyle, M., and S. Dorling., (2002), **Visibility trends in the UK 1950– 1997**, *Atmos. Environ.*, **36(19)**: 3161– 3172.
- Eidels-Dubovoi, S., (2002), **Aerosol impacts on visible light extinction in the atmosphere of Mexico City**, *Sci. Tot. Environ.*, **287(3)**: 213-220.
- Environmental Protection Agency (2001), **Visibility in mandatory federal class I areas (1994–1998)**, report, Off. of Air Qual. Plan. and Stand., Research Triangle Park, N. C, 286p.
- Ferman, M. A., G. T. Wolff, and N. A. Kelly., (1981), **The nature and sources of haze in the Shenandoah Valley/Blue Ridge Mountains area**, *J. Air. Pollut Control Association*, **31(10)**: 1074-1082.
- Gao, L., Jia, G., Zhang, R., H. Che., C. Fu., T. Wang., M. Zhang., H. Jiang., P. Yan., (2011), **Visual range trends in the Yangtze River Delta Region of China 1981e2005**, *J. Air Waste Manage. Assoc.*, **61(8)**: 843-849.

- Gahremani heyran, Eltefat. **Evaluation of the effects of urban development and climate fluctuations on changes in the frequency of the occurrence of haze phenomenon in the metropolis of Tabriz**, Master's degree, Water and Meteorology, Faculty of Geography and Planning, University of Tabriz, 2014. M. Sc. thesis. (in persian).
- Ghim, Y. S., K. C. Moon, S. Lee, and Y. P. Kim., (2005), **Visibility trends in Korea during the past two decades**, *J. Air Waste Manage. Assoc.*, **55(1)**: 73– 82.
- Horvath, H., (1981), **Atmospheric visibility**, *Atmospheric Environment*, **15(10-11)**: 1785–1796.
- Hua, Y., Yao, L., Cheng, Z., Wang, Y., (2017), **Long-term atmospheric visibility trends in megacities of China, India and the United States**, *Environmental Research* ,**159(5)**: 466–473.
- Huang, R.J., Zhang, Y.L., Bozzetti, C., K, Fia ho., J, Jicao.,Y, Han., K, Daellenbach., j, J, G, Slowik., S, M, Platt., F, Canonaco., P, Zotter., R, Wolf., S, M, Pieber., E, A, Bruns., M, Crippa., G, Ciarelli., A, Piazzalunga., M, Schwikowski., G, Abbaszade., J, Schnelle-Kreis., R, Zimmermann., Z, An., S, Szidat., U, Baltensperger., I, El Haddad., A, S, H, Prévôt., (2014), **High secondary aerosol contribution to particulate pollution during haze events in China**, *Nature*, **514(17)**: 218-222.
- Husar, R. B., and W. E. Wilson, (1993), **Haze and sulfur emission trends in the eastern United States**, *Environ. Sci. Technol*, **27(1)**: 12– 16.
- Husar, R. B., J. M. Holloway, D. E. Poll, and W. E. Wilson., (1981), **Spatial and temporal pattern of eastern U.S. haziness: A summary**, *Atmos. Environ*, **15(10-11)**: 1919– 1928.
- Lee, D. O., (1994), **Regional variations in long-term visibility trends in the UK (1962– 1990)**, *Geography*, **79(4)**: 108– 121.
- Lee, Y. L., and R. Sequeira., (2001), **Visibility degradation across Hong Kong: Its components and their relative contributions**, *Atmos. Environ*, **35(34)**: 5861– 5872.
- Mahowald, N.M., Ballantine, J.A., Feddema, J., N, Ramankutty., (2007), **Global trends in visibility: implications for dust sources**, *Atmos. Chem. Phys*, **7(12)**: 3309-3339.
- Malm, W.C., Molnar, J.V., Eldred, R.A., et al., (1996), **Examining the relationship among atmospheric aerosols and light scattering and extinction in the Grand Canyon Area**, *J. Geophys. Res*, **101(14)**: 19251-19265.
- Malm, W.C., Sisler, J.F., Huffman, D., et al., (1994), **Spatial and seasonal trends in particle concentration and optical extinction in the United States**, *J. Geophys. Res*, **99(1)**: 1347-1370.
- Mohammadi, Gholam Hasan, **Analysis of Atmospheric Mechanisms of Dust Transport to the West of the Country**, Ph.D., Hydrology and Meteorology, Faculty of Geography and Planning, Tabriz University, 2014, Ph.D. Dissertation. (in persian).
- Molnar, A., Meszaros, E., Imre, K., A, Rull., (2008), **Trends in visibility over Hungary between 1996-2002**, *Atmos. Environ*, **42(11)**: 2621-2629.
- Ozkaynak, H.A., Schatz, D., Thurston, G.D., Isaacs, R.G., Husar, R.B., (1985), **Relationships between aerosol extinction coefficients derived from airport visual range observations and alternative measure of airborne particles mass**, *J. Air Poll. Control Assoc*, **35(11)**: 1176– 1185.
- Pei, L., Yan, Z., Sun, Z., Miao, S., Yao, Y., (2018), **Increasing persistent haze in Beijing: potential impacts of weakening East Asian winter monsoons associated with northwestern Pacific sea surface temperature trends**, *Atmos. Chem. Phys*, **18(5)**: 3173–3183.
- Sabet gadam, S., M, Khoshsima., F, Ahmadi Givi., (2016), **Study of long-term variation of extinction coefficient based on horizontal visibility in busiest airports in Iran**, *Journal of the Earth and Space Physics*, **42(2)**: 459-467. (in persian).

- Sari Sarraf, B., Rasouli, A. A., Mohammadi Gh. H., Hoseini Sadr, A., (2016), **Long-term trends of seasonal dusty day characteristics—West Iran**, Arab Journal Geoscience, **9 (563)**: 1-10.
- Schichtel, B. A., R. B. Husar, S. R. Falke, and W. E. Wilson., (2001), **Hazetrends over the United States, 1980– 1995**, Atmos. Environ., **35(30)**: 5205–5210.
- Sloane, C. S., (1982a), **Visibility trends I: Methods of analysis**, Atmos. Environ, **16(1)**: 41-51.
- Sloane, C. S., (1982b), **Visibility trends II: Mideastern United States**, Atmos. Environ, **16(10)**: 2309-2321.
- Wen, C., and Yeh, H., (2010), **Comparative influences of airborne pollutant and meteorological parameters on atmospheric visibility and turbidity**, Atmos. Research, **96(4)**: 496-509.
- White, W. H., and P. T. Roberts., (1977), **On the nature and origins of visibility-reducing aerosols in the Los Angeles air basin**, Atmos. Environ.,**11(9)**: 803– 812.
- WMO, World Meteorological Organization., (1974), **Manual on Codes**, vol. I. International codes. WMO Publ., Geneva.
- Wu, J., Fu, C., Zhang, L., and Tang, J., (2012), **Trends of visibility on sunny days in China in the recent 50 years**, Atmos. Environ., **55**: 339-346.
- Yarmoradi, Z., B. Nasiri., M. Karampour., Gh. Mohammadi., (2018), **Trend analysis of dusty days frequency in Eastern parts of Iran associated with Climate Fluctuations**, Desert Ecosystem Engineering Journal, **7(18)**: 1-14. (in persian).
- Zhang, Y., Gao, Lina., Cao, Lijuan., Yan, Zhongwei., Wu, Y., (2020), **Decreasing atmospheric visibility associated with weakening winds from 1980 to 2017 over China**, Atmospheric Environment, **224(1)**: 1-12.
- Zhao, P., Zhang, X., Xu, X., Zhao, X., (2011), **Long-term visibility trends and characteristics in the region of Beijing, Tianjin, and Hebei, China**, Atmos. Res, **101(3)**: 711–718.

تحلیل اقلیمی نوسانات طولانی مدت دید افقی در شمال غرب ایران

برومند صلاحی^۱ | غلام حسن محمدی^۲ | عاطفه حسینی صدر^۳

۱. نویسنده مسئول، استاد اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: salahi@uma.ac.ir

۲. دکتری اقلیم شناسی، کارشناس هواشناسی، سازمان هواشناسی کشور، اداره کل هواشناسی آذربایجان شرقی، تبریز، ایران.

رایانامه: Gh.mohammadi88@gmail.com

۳. گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران رایانامه: Hoseini.sadr97@gmail.com

گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: Sadr88@pnu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۵</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۱۰</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۹</p> <p>تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۸/۳۰</p> <p>کلیدواژه‌ها: دید افقی، دوره‌های نوسانی، روند، آماره Rdit، شمال غرب ایران.</p>	<p>به منظور بررسی نوسانات طولانی مدت دید افقی در شمال غرب ایران، داده‌های ساعتی دید افقی ثبت شده در ۷ ایستگاه منتخب در دوره ۱۹۵۱ تا ۲۰۲۰ اخذ شد. بعد از غربالگری داده‌ها، پراشیدگی زمانی میانگین دید افقی بررسی شد. ضریب خاموشی^۱ اتمسفر با استفاده از رابطه کشمایدی^۲ محاسبه شد؛ آزمون من-کنندال روی میانگین سالانه و آماره Rdit روی داده‌های ساعتی دید افقی اجرا شد. سپس تغییرات درصد دیده‌های خیلی خوب (کیلومتر >۱۹) نسبت به درصد دیده‌های بد (کیلومتر <۱۰) محاسبه شد. نتایج حاکیست میانگین سالانه دید افقی در منطقه مورد مطالعه ۱۳~ کیلومتر است. سه دوره نوسانی متفاوت در میانگین منطقه‌ای دید افقی شناسایی شد: دوره اول «دوره کاهش شدید» میانگین دید افقی (۱۹۵۱ تا ۱۹۸۵)؛ دوره دوم «دوره دید افقی پایین و ثابت» (۱۹۸۷ تا ۲۰۰۵)؛ و دوره سوم «دوره بهبود نسبی اخیر». میانگین منطقه‌ای دید افقی (ضریب خاموشی) با آهنگ ۰/۱۶۷- (۰/۰۱۷) کیلومتر در سال روند کاهشی (افزایشی) معنی‌دار در سطح اطمینان ۰/۰۱ دارد. روند کاهشی معنی‌دار در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه به‌استثنای ایستگاه اردبیل تأیید شد. میانگین Rdit در شمال غرب ایران در اوایل دهه‌ی ۱۹۵۰، ۸۵/۰~ بوده است در حالی که در دهه ۱۹۹۰ به حدود ۰/۳ کاهش یافته است. با وجود بهبود میدان دید افقی در دهه اخیر و رسیدن آن به حدود توزیع مرجع (شاخص ریدیت ۰/۵~)؛ اما همچنان روند کاهشی دید افقی اثبات شد. روند افزایشی دیده‌های بد (از ۵٪ به ۲۵٪) به همراه روند کاهشی دیده‌های خیلی خوب (از ۸۰٪ به ۵٪) حاکی از روند کاهشی دید افقی می‌باشد که اوایل دهه ۱۹۸۰ به‌عنوان نقطه شکست مشخص شد. پدیده مه-دود ۳۸/۷٪ در کل دوره، تأثیرگذارترین پدیده هواشناسی در کاهش دید افقی بوده و در بین ایستگاه‌ها بیشترین (کمترین) تأثیرگذاری آن در تبریز و ارومیه (سقز و اردبیل) به ترتیب ۶۳٪ و ۵۶/۵٪ (۲۴/۸٪/۲۱/۲٪) بوده است.</p>

استناد: صدر حسینی، عاطفه؛ صلاحی، برومند؛ و محمدی، غلام‌حسن (۱۴۰۳). تحلیل اقلیمی نوسانات طولانی مدت دید افقی در شمال غرب ایران. *جغرافیا و برنامه ریزی*، ۲۸ (۸۹)، ۲۶۹-۲۸۴.

<http://doi.org/10.22034/gp.2023.57121.3156>



مقدمه

دید افقی یکی از شاخص‌های کیفیت هواست. به همین خاطر میدان دید در مطالعات آلودگی هوا و اقلیم‌شناسی بیشتر مورد توجه است (وایت و رُبرت، ۱۹۷۷؛ فرمان و همکاران، ۱۹۸۱؛ هوسار و ویلسون، ۱۹۹۳؛ لی و سکوئیرا، ۲۰۰۱؛ مه‌والد و همکاران، ۲۰۰۷؛ مولنار و همکاران، ۲۰۰۸؛ بلرابه و همکاران، ۲۰۱۵؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۲۰). وجود رابطه بین روند طولانی‌مدت دید افقی با مقدار آتروسول‌ها در ایالات متحده (هوسار و همکاران، ۱۹۸۱؛ شیچتل و همکاران، ۲۰۰۱) و چین (چه و همکاران، ۲۰۰۷)؛ همبستگی دید افقی با شرایط هواشناسی و مصرف سوخت در انگلستان (لی، ۱۹۹۴)؛ دویله و دورلینگ، ۲۰۰۲) و همچنین تأثیر آلاینده‌های هوا در کاهش دید افقی در کره (قیم و همکاران، ۲۰۰۵) اثبات شده است. بررسی روند دید افقی در مناطق مختلف دنیا نشان داده است که در اکثر مناطق روند کاهشی دید افقی وجود داشته است که بعضاً با یک بهبود نسبی در سال‌های اخیر مواجه بوده‌اند (گاو و همکاران، ۲۰۱۱؛ چن و ژیه، ۲۰۱۳؛ دنگ و همکاران، ۲۰۱۴؛ بلرابه و همکاران، ۲۰۱۵؛ هوا و همکاران، ۲۰۱۷؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۲۰ و الهثلول و همکاران، ۲۰۲۱). در شمال غرب ایران توسعه شهرها و احداث کارخانجات و افزایش وسایط نقلیه موتوری باعث افزایش رخداد پدیده مه-دود شده است (قهرمانی، ۱۳۹۲). همچنین طبق نتایج مطالعات اخیر فراوانی پدیده گردوغبار نیز روند افزایشی داشته است (محمدی، ۱۳۹۴؛ ساری صراف و همکاران، ۲۰۱۶، خورشیددوست و همکاران، ۱۳۹۲). این موضوعات به‌علاوه‌ی دیگر جنبه‌های تغییرات اقلیمی از جمله کاهش بارش و افزایش دما (رضایی بنفشه و همکاران، ۱۳۹۰)، میدان دید افقی را تحت تأثیر قرار داده است. با بررسی منابع علمی منتشر شده در مورد دید افقی مشخص گردید در ایران مطالعات بسیار محدودی در مورد این پارامتر اقلیمی انجام شده است. ممکن است دلیل این امر ماهیت داده‌های دید افقی و عدم وجود داده‌های پردازش شده‌ی ماهانه و سالانه این پارامتر در بایگانی داده‌های سازمان هواشناسی کشور باشد. لذا انجام مطالعه حاضر می‌تواند در آشکارسازی نوسانات و مشخصه‌های آماری طولانی‌مدت دید افقی به‌عنوان یکی از شاخص‌های کیفیت هوا مفید واقع شود.

1 - White & Robert

2 - Ferman et al

3 - Husar & Wilson

4 - Lee & Sequeira

5 - Mahowald et al

6 - Molnar et al

7 - Balarabe et al

8 - Zhang et al

9 - Husar et al

1 - Schichtel et al 0

1 - Che et al 1

1 - Lee 2

1 - Doyle & Dorling 3

1 - Ghim et al 4

1 - Gao et al 5

1 - Chen & Xie 6

1 - Deng et al 7

1 - Balarabe et al 8

1 - Hua et al 9

2 - Zhang et al 0

2 - Alhathloul et al 1

به دلیل تکرار بسیار زیاد اعداد مشابه در این پارامتر، مطالعه آن، روش‌های آماری خاص خود را می‌طلبد. اولین مطالعات علمی در این خصوص مربوط به ایستگاه‌های ایالات متحده بوده و مبنای علمی و روش‌های تحلیل این پارامتر در این مطالعات در دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ بیان شده است. نکته مهم دیگر این است که روش‌های آماری محدودی برای مطالعه داده‌های دید افقی مورد استفاده قرار گرفته است که روش‌های درصد فراوانی، آنالیز Rdit و ضریب خاموشی جو از معروف‌ترین آن‌ها هستند. اخیراً از آماره من-کندال نیز برای آشکارسازی روند دید افقی استفاده شده است. تحلیل نوسانات طولانی مدت میانگین دید افقی و آشکارسازی روند آن در ایستگاه‌های واقع در حاشیه شهرهای توسعه یافته شمال غرب کشور هدف اصلی تحقیق حاضر است. بر اساس جستجوهای انجام شده، چنین مطالعه‌ای در شمال غرب ایران انجام نشده است.

مبانی نظری تحقیق

دید افقی به مسافتی گفته می‌شود که در آن فاصله بتوان یک جسم سیاه بزرگ را در برابر نور آسمان تشخیص داد (هرواث، ۱۹۸۱). در صورت عدم آلودگی در جو، محدوده دید در مناطق مختلف نزدیک ۱۴۵ تا ۲۲۵ کیلومتر خواهد بود (آژانس حفاظت محیط؛ ۲۰۰۱) و برای مناطقی با هوای معمولی بین ۱۰ تا ۱۰۰ کیلومتر و در مناطق آلوده کمتر از این مقدار است (وو و همکاران؛ ۲۰۱۲). آلودگی هوا می‌تواند باعث کاهش دید شود (مالم و همکاران؛ ۱۹۹۴ و ۱۹۹۶). در برخی از مکان‌های خیلی آلوده، دید افقی حتی می‌تواند کمتر از ۱ کیلومتر باشد (هوسار و همکاران؛ ۱۹۸۱). کاهش دید بیش از هر چیز به پخش و جذب نور خورشید به وسیله ذرات معلق در هوا وابسته است (ژائو و همکاران؛ ۲۰۱۱). این ذرات توسط منابع طبیعی و انسانی از جمله توفان‌های گردوخاک، فعالیت‌های کشاورزی، آتش‌سوزی جنگل، نمک‌های غیرآبی ثانویه و اسپری دریا منتشر می‌شوند. علاوه بر این بسیاری از پدیده‌های جوی مانند مه، باران، برف و تگرگ می‌توانند بر کاهش میزان دید اثر داشته باشند (ون و یه؛ ۲۰۱۰). صنعتی شدن و شهرنشینی نیز منجر به افزایش آلودگی هوا و در نتیجه کاهش دید می‌شود (چانگ و همکاران؛ ۲۰۰۹؛ دنگ و همکاران؛ ۲۰۱۴؛ هوانگ و همکاران؛ ۲۰۱۴). در میان متغیرهای هواشناسی سرعت باد و رطوبت نسبی بیشترین تأثیر را بر روی دید اتمسفری دارند (ژائو و همکاران؛ ۲۰۱۱؛ ژانگ و همکاران؛ ۲۰۲۰؛ چن و همکاران؛ ۲۰۱۸؛ پئی و همکاران؛ ۲۰۱۸؛ چن و همکاران؛ ۲۰۱۹). دید افقی در ایستگاه‌های هواشناسی ایران طبق دستورالعمل سازمان هواشناسی جهانی (WMO، ۱۹۷۴) توسط دیدبانان آموزش‌دیده از طریق نقطه نشانه‌های ثابت و مشخصی که فاصله‌ی آن‌ها تا ایستگاه قبلاً

1 - Horvath

2 - Environmental Protection Agency

3 - Wu et al

4 - Malm et al

5 - Husar et al

6 - Zhao et al

7 - Wen & Yeh

8 - Chang et al

9 - Deng et al

1 - Huang et al 0

1 - Geo et al 1

1 - Zhang et al 2

1 - Chen et al 3

1 - Pei et al 4

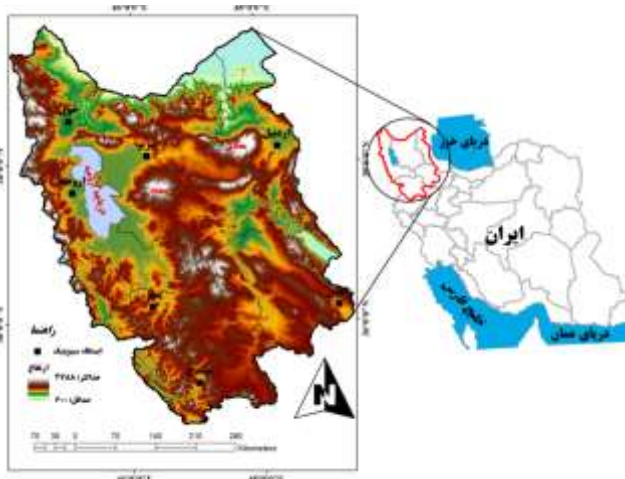
1 - Chen et al 5

1 - World Meteorological Organization

تعیین شده است؛ برآورد می‌گردد. بدین منظور برای هر ایستگاه مخصوصاً ایستگاه‌های هواشناسی فرودگاهی نقشه‌ای به نام «چارت دید افقی» تهیه شده و در اتاق دیدبانی نصب می‌گردد و از آن برای تخمین دقیق دید افقی استفاده می‌شود.

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه ۵ استان شمال غربی ایران است. این منطقه دارای توپوگرافی کوهستانی ناهمگون است. کوهستان‌های سه‌پند و سبلان و بستر خشک دریاچه ارومیه عوارض طبیعی بارز این منطقه هستند (شکل ۱). به همین خاطر مقدار دید افقی در این ناحیه به تناسب توپوگرافی متفاوت است.



شکل (۱): نقشه‌ی موقعیت جغرافیایی و توپوگرافی منطقه مورد مطالعه و پراکنندگی ایستگاه‌های هواشناسی منتخب.

با هدف آشکارسازی رفتار طولانی مدت دید افقی در شمال غرب کشور، ایستگاه‌هایی که بیش از ۶۰ سال آمار ثبت شده داشتند انتخاب شدند. با لحاظ این شرط ۷ ایستگاه هواشناسی در ۵ استان شمال غرب کشور شناسایی شد که موقعیت جغرافیایی و مشخصات آن‌ها در شکل (۱) و جدول (۱) بیان شده‌اند. اکثر ایستگاه‌هایی که آمارهای طولانی مدت دارند؛ فرودگاهی هستند و به دلیل اهمیت زیاد برآورد صحیح دید افقی برای امنیت پرواز هواپیما، نهایت دقت در تخمین دید افقی بکار گرفته می‌شود. لذا داده‌های دید افقی که در این مطالعه استفاده شده‌اند از صحت و اطمینان بالایی برخوردار هستند. داده‌های اخذ شده از سازمان هواشناسی عبارت‌اند از: دید افقی (برحسب متر)، سرعت باد (متر بر ثانیه)، رطوبت نسبی (درصد) و کد پدیده هوای حاضر در مقیاس روزانه.

جدول (۱). مشخصات جغرافیایی و دوره آماری ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه.

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)	دوره آماری
اردبیل	۳۸/۲۲	۴۸/۳۳	۱۳۳۵	۲۰۲۰-۱۹۶۱
ارومیه	۳۷/۶۶	۴۵/۰۵	۱۳۲۸	۲۰۲۰-۱۹۵۱
تبریز	۳۸/۱۲	۴۶/۲۴	۱۳۶۱	۲۰۲۰-۱۹۵۱
خوی	۳۸/۵۶	۴۶/۹۹۵	۱۱۰۳	۲۰۲۰-۱۹۶۰
زنجان	۳۶/۱۹۵	۴۶/۲۱	۱۵۷۵	۲۰۲۰-۱۹۵۵
سقز	۳۶/۲۲	۴۶/۳۱	۱۵۲۲	۲۰۲۰-۱۹۶۰
سنندج	۳۵/۲۵	۴۷/۰۱	۱۳۷۳	۲۰۲۰-۱۹۵۱

داده‌های مربوط به دید افقی به صورت خام در بایگانی سازمان هواشناسی موجود می‌باشد. لذا داده‌های روزانه (شامل ۸ سینوپ برای هر روز) برای ایستگاه‌های منتخب در بازه زمانی ۱۹۵۱ تا ۲۰۲۰ از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. در این مطالعه از سری داده‌های جزئی برای محاسبات آماری استفاده شد. بدین ترتیب که داده‌های مربوط به ساعات روز یعنی سینوپ-

های ۰۶، ۰۹، ۱۲ و ۱۵ گرینویچ مورد استفاده قرار گرفت و همچنین سینوپ‌های دارای دید افقی ثبت نشده (داده‌ی گم‌شده)، همراه با پدیده‌های بارشی و یا رطوبت نسبی بالای ۹۰٪ غربال شدند. غربالگری مذکور با هدف کاهش خطاها و همچنین کاهش اثر فاکتورهای هواشناسی انجام می‌شود (اسلون؛ ۱۹۸۲) و در مطالعات مربوط به روندیابی دید افقی مرسوم است (اسلون، ۱۹۸۲؛ قیم و همکاران؛ ۲۰۰۵؛ ژائو و همکاران؛ ۲۰۱۱).

برای تحلیل داده‌ها در ابتدا میانگین سالانه دید افقی از طریق محاسبه میانگین منطقه‌ای و از طریق ترسیم نمودار بررسی شد و سه دوره رفتاری متفاوت در فاصله سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۲۰ تعیین شد. سپس ضریب خاموشی اتمسفر محاسبه شد. خاموشی نور در جو یکی از ویژگی‌های نوری اتمسفر است که از جنبه‌های مختلف مانند ترافیک زمینی و هوایی حائز اهمیت است. بخشی از نور در هنگام عبور از اتمسفر از طریق فرایندهای جذب و پخش توسط ذرات و گازها از بین می‌رود که به آن ضریب خاموشی گفته می‌شود (ثابت قدم و همکاران، ۱۳۹۵). این پارامتر با استفاده از میدان دید افقی قابل محاسبه است (ایدلز-دوبووی؛ ۲۰۰۲؛ بامر و همکاران؛ ۲۰۰۸). در برخی از مطالعات از میدان دید و یا ضریب خاموشی جو به‌عنوان جایگزینی برای بررسی آلودگی هوا استفاده شده است (دویل و دورلینگ؛ ۲۰۰۲). ضریب خاموشی جو ($\beta_{ext}(km^{-1})$) از طریق رابطه معروف کشمایدنر (رابطه ۱) قابل محاسبه است (کشمایدنر؛ ۱۹۲۶).

$$\beta_{ext} = k/v \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه v نشان دهنده دید افقی برحسب کیلومتر است و k ثابت کشمایدنر برای برآورد «ضریب خاموشی خشک» است و در واقع یک فاکتور اصلاحی نسبی برای کاهش تأثیر رطوبت نسبی می‌باشد (هوسار و همکاران؛ ۱۹۸۱). در مطالعه حاضر بر اساس نتایج تحقیقات اُزکایناک و همکاران^۹ (۱۹۸۵)، ثابت کشمایدنر $1/9$ در نظر گرفته شد. آن‌ها اثبات کردند که اگر رابطه ضریب خاموشی به صورت $\beta_{ext} = 1.9/v$ باشد، نتایج بهتری در مقایسه با رابطه‌ی اولیه به دست می‌دهد. این رابطه روی داده‌های دید افقی ایستگاه‌های مورد مطالعه اعمال شد و با محاسبه میانگین ماهانه و سالانه، در بررسی روند و رفتار دید افقی مورد استفاده قرار گرفت. طبیعی است که داده‌های تولید شده با میانگین دید افقی در تضاد بوده و با کاهش (افزایش) دید افقی، ضریب خاموشی افزایش (کاهش) می‌یابد.

آزمون مان-کندال از آماره ناپارامتری معروفی است که در روندیابی پارامترهای اقلیمی کاربرد فراوانی دارد. اخیراً از این آماره برای روندیابی دید افقی نیز استفاده شده است (الهتلول و همکاران؛ ۲۰۲۱). به دلیل تشریح این آماره در تعدادی زیادی از مطالعات پیشین (ساری صراف و همکاران، ۲۰۱۶؛ یارمردادی و همکاران، ۱۳۹۷، جهانبخش و همکاران، ۱۳۹۶) و به جهت جلوگیری از تطویل مطلب از ارائه جزئیات آن در این مطالعه صرف‌نظر شد.

پرباربردترین و مطمئن‌ترین آماره برای روندیابی دید افقی، آنالیز Rdit است (مولنار و همکاران؛ ۲۰۰۸؛ گاؤ و همکاران؛ ۲۰۱۱؛ دنگ و همکاران؛ ۲۰۱۳). این آماره نشان می‌دهد که شرایط دید افقی در یک دوره‌ی مشخص بهتر یا بدتر از توزیع

1 - Sloane

2 - Ghim et al

3 - Gao et al

4 - Eidels-Dubovoi

5 - Baumer et al

6 - Doyle & Dorling

7 - Koschmieder

8 - Husar et al

9 - Ozkaynak et al

1 - Alhathloul et al 0

1 - Molnar et al 1

1 - Ozkaynak 2

1 - Deng et al 3

مرجع است (چن و ژیه، ۲۰۱۲). جزئیات کامل و کاربرد آنالیز Rdit در روندیابی دید افقی در تعدادی از مطالعات پیشین تشریح شده است (کریگ و فالکنبری، ۱۹۷۹؛ اسلون، ۱۹۸۲؛ دویله و دورلینگ، ۲۰۰۲). در این آماره هر ایستگاه دارای یک توزیع مرجع مخصوص به خود است که از طریق بررسی دیدهای افقی در کل دوره به دست می‌آید. چنانچه K را تعداد کلاسه‌های دید افقی در نظر بگیریم و P_i نسبت توزیع مرجع در کلاسه i ام باشد؛ با جمع تمام مشاهدات دید افقی در کل دوره آماری؛ توزیع مرجع به دست می‌آید:

$$R_1 = \frac{1}{2}P_1, R_2 = P_1 + \frac{1}{2}P_2, \dots, R_k = P_1 + \dots + P_{k-1} + \frac{1}{2}P_k \quad \text{رابطه (۲)}$$

مقدار Rdit در هر دوره منفرد از طریق مقایسه توزیع دید افقی آن دوره با توزیع مرجع به دست می‌آید. ریدیت هر دوره هم با طبقه‌بندی رکوردهای دید افقی به ۵ طبقه ۰ تا ۴/۹؛ ۵ تا ۹/۹؛ ۱۰ تا ۱۴/۹؛ ۱۵ تا ۱۹/۹ و >20 کیلومتر برآورد می‌گردد. توزیع مرجع دید افقی برای هر ایستگاه به صورت جداگانه محاسبه می‌شود و قابل مقایسه با دیگر ایستگاه‌ها نیست. بدین ترتیب مقادیر ریدیت برای هر یک از سال‌ها محاسبه می‌شود و وجود روند در سری مقادیر آن نشان‌دهنده وجود یا عدم وجود روند در دید افقی در هر ایستگاه می‌باشد. همچنین مقادیر ریدیت بزرگ‌تر (کوچک‌تر) از ۰/۵ نمایانگر شرایط دید افقی بهتر (بدتر) در مقایسه با کل دوره است (چن و ژیه، ۲۰۱۲؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۳).

یکی دیگر از روش‌های پرکاربرد در مطالعه دید افقی بررسی تغییرات درصد دیدهای خیلی خوب (۲۰ کیلومتر و بیشتر) در مقایسه با دیدهای بد (کمتر از ۱۰ کیلومتر) است (دنگ و همکاران، ۲۰۱۲). این روش شاخص خوبی برای بررسی تأثیر انتقال گردوغبار و پدیده مه-دود بر دید افقی است (گُمز و اسمیت، ۱۹۸۷). به این اساس در مطالعه حاضر دیدهای خیلی خوب و بد کدگذاری شده و درصد فراوانی هر کدام به صورت سالانه محاسبه شد. ترسیم نمودار تغییرات برای ایستگاه‌های مورد مطالعه و همچنین میانگین منطقه‌ای آن ویژگی دیگر تغییرات طولانی‌مدت دید افقی را مشخص کرد.

نهایتاً با هدف تعیین میزان تأثیرگذاری پارامترهای هواشناسی در کاهش دید افقی و همچنین تغییرات میزان اثرگذاری پارامترهای مذکور در گذر زمان؛ در ابتدا روی داده‌های خام غربال شده، دیدهای افقی محدود شده (کمتر از ۱۰ کیلومتر) از بقیه رکوردهای جداسازی شدند. سپس درصد فراوانی پدیده‌های صدگانه هوای حاضر (WW) به تفکیک سال و ایستگاه محاسبه شد. پدیده‌های هوای حاضر به جهت بیان ساده‌تر به چهار دسته یعنی پدیده‌های مه-دود، مه رقیق، توفان‌های گردوغبار و سایر پدیده‌ها طبقه‌بندی شدند و درصد (از طریق کدگذاری پدیده‌ها) هر کدام از آن‌ها به تفکیک سال و ایستگاه محاسبه شدند. سپس درصد تأثیرگذاری هر دسته از پدیده‌ها یک‌بار برای کل دوره و سپس به تفکیک دوره‌های نوسانی شناسایی شده محاسبه شد. خروجی نتایج حاصل شده تغییرات میزان تأثیرگذاری پارامترهای هواشناسی در گذر زمان را آشکار کرد.

یافته‌های تحقیق

در شکل (۱) پراشیدگی میانگین سالانه دید افقی در ایستگاه‌های مورد مطالعه به همراه میانگین منطقه‌ای آن در قالب سه دوره نوسانی متفاوت نمایش داده شده است. همچنین در جدول (۲) مشخصات آماری میانگین دید افقی و ضریب خاموشی آورده شده است. پراشیدگی میانگین سالانه دید افقی همه ایستگاه‌های مورد مطالعه از الگوی نسبتاً مشابهی تبعیت کرده است. با میانگین‌گیری از کل ایستگاه‌ها مشخص شد نوسانات دید افقی را می‌توان به سه دوره متفاوت دسته‌بندی کرد: دوره اول یک دوره طولانی است که از ۱۹۵۱ تا ۱۹۸۵ ادامه داشته است. این دوره در شکل (۲) با خط ضخیم سیاه مشخص شده است. ویژگی اصلی این دوره کاهش میانگین دید افقی با شیب تند است. به طوری که میانگین منطقه‌ای دید افقی از بیشتر از >30 به ۱۱ کیلومتر کاهش یافته است. در اوایل این دوره یعنی در سال‌های ۱۹۵۱ تا ۱۹۶۰، فقط سه ایستگاه داده کامل دارند، لذا میانگین-

1 - Chen & Xie

2 - Craig, & Faulkenberry

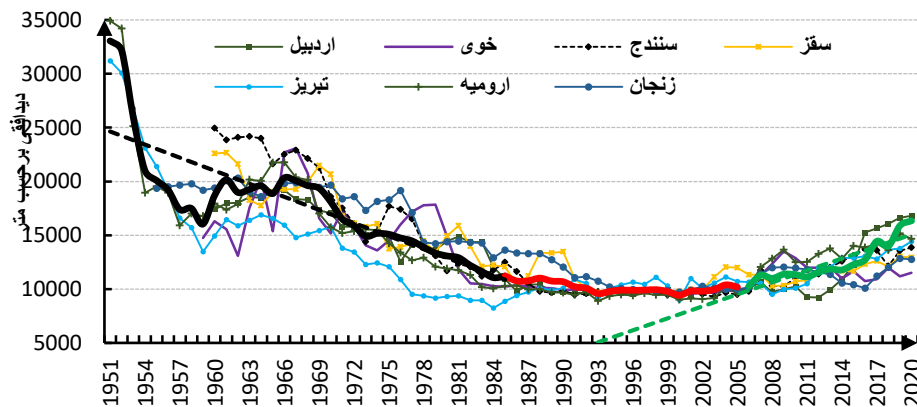
3 - Sloane

4 - Wang et al

5 - Deng et al

6 - Gomez & Smith

های محاسبه شده قدری ابهام آمیز هستند. میانگین منطقه‌ای دید افقی در ابتدای این دوره >30 کیلومتر بوده و طی ۵ سال به حدود ۲۰ کیلومتر کاهش یافته است و بعد از یک نوسان کوچک، در فاصله سال‌های ۱۹۵۶ تا ۱۹۶۹؛ روند کاهشی تا ۱۹۸۵ تداوم داشته است به طوری که در پایان این دوره به پایین‌ترین از ۱۱ کیلومتر افت کرده است. به همین خاطر نام این دوره، «دوره‌ی کاهش شدید» دید افقی نام‌گذاری شد. میانگین منطقه‌ای دید افقی (ضریب خاموشی) در این دوره $16/38$ ($0/114$) است. بالاترین میانگین دید در ایستگاه سنندج و پایین‌ترین آن در ایستگاه اردبیل به ترتیب $18/08$ و $13/64$ کیلومتر بوده است (جدول ۲). از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۵ یک دوره متفاوت دیگر تشکیل شده است که در آن میانگین دید افقی در پایین‌ترین حد بوده و فاقد روند است و همچنین پراشیدگی سال به سال کمی داشته است. به طوری که میانگین منطقه‌ای دید افقی بین $9/4$ تا $11/8$ کیلومتر پراشیده است. به همین خاطر نام این دوره را «دوره دید افقی کم و پایدار» گذاشتیم. در بین ایستگاه‌ها بالاترین (پایین‌ترین) میانگین دید افقی (ضریب خاموشی) در ایستگاه‌های زنجان و سقز به ترتیب $10/88$ و $10/84$ ($0/177$) و $0/178$ بوده و پایین‌ترین (بالاترین) میانگین دید افقی (ضریب خاموشی) در ایستگاه ارومیه $9/54$ ($0/201$) بوده است (جدول ۲).



شکل (۲): نمودار پراشیدگی میانگین سالانه دید افقی در ایستگاه‌های مورد مطالعه (خطوط رنگی و نماددار نازک) به همراه میانگین منطقه‌ای آن (خط ممتد ضخیم). در این نمودار «دوره‌ی کاهشی شدید» به رنگ سیاه، «دوره دید افقی کم و پایدار» به رنگ قرمز و «دوره بهبود نسبی اخیر» به رنگ سبز نمایش داده شده‌اند.

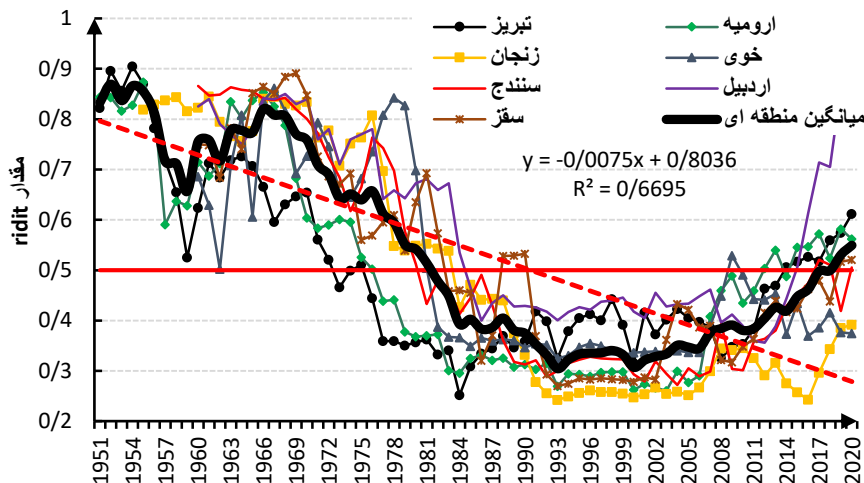
از سال ۲۰۰۶ میانگین منطقه‌ای دید افقی با شیب ملایم افزایش پیدا کرده است و از حدود ۱۰ به ۱۶ کیلومتر افزایش یافته است. لذا این دوره با عنوان «دوره‌ی بهبود نسبی اخیر» معرفی شد. در این دوره اختلاف میانگین دید افقی بین ایستگاه‌ها چشمگیرتر شده است. با وجود روند افزایشی نسبی در این دوره همچنان میانگین دید افقی به طور قابل ملاحظه‌ای پایین‌تر از دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ است. لذا روند دید افقی در کل دوره مورد مطالعه کاهشی است. این موضوع در اجرای تست من-کندال تأیید شد (جدول ۲). همان‌طور که در جدول (۲) آمده است میانگین منطقه‌ای دید افقی (ضریب خاموشی) در شمال غرب ایران $13/02$ ($0/144$) است و اختلاف فاحشی بین ایستگاه‌ها وجود ندارد. بالاترین (پایین‌ترین) میانگین سالانه دید افقی در ایستگاه ارومیه (تبریز)، $13/46$ ($12/33$) می‌باشد. میانگین منطقه‌ای دید افقی (ضریب خاموشی) با آهنگ $-0/167$ ($0/0017$) کیلومتر در سال روند کاهشی (افزایشی) معنی‌دار در سطح اطمینان $0/01$ داشته است. روند کاهشی معنی‌دار در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه به استثنای ایستگاه اردبیل در سطح اطمینان $0/01$ تأیید شد. شدیدترین آهنگ کاهشی در ایستگاه‌های سنندج و زنجان به ترتیب به مقدار $0/183$ و $0/179$ کیلومتر در سال می‌باشد در حالیکه مقدار آن در ایستگاه اردبیل $0/003$ محاسبه شد. نکته قابل توجه در جدول ۲ رفتار متضاد ضریب خاموشی با پراشیدگی میانگین و روند دید افقی در همه ایستگاه‌هاست.

جدول (۲). میانگین دید افقی و ضریب خاموشی جو (برحسب کیلومتر) برای کل دوره‌ی مورد مطالعه و سه دوره‌ی نوسانی تعیین شده به تفکیک ایستگاه‌های هواشناسی منتخب و میانگین منطقه‌ای آن در شمال غرب کشور؛ در این جدول برای محاسبه ضریب خاموشی از رابطه کشمایدنر و برای آزمون روند (روندهای معنی‌دار با ستاره مشخص شده‌اند) و آهنگ تغییرات از آماره‌ی من-کندال استفاده شده است.

ایستگاه	دوره اول	دوره دوم	دوره سوم	کل دوره	آماره Z من- کندال	آهنگ تغییر (کیلومتر در سال)
میانگین سالانه (کیلومتر)	اردبیل	۱۳/۶۴	۹/۷۹	۱۵/۵	-۰/۰۹	-۰/۰۰۳
	خوی	۱۵/۵۷	۱۰/۰۵	۱۱/۷۸	-۴/۶*	-۰/۰۸۶
	سنندج	۱۸/۰۸	۹/۸	۱۲/۰۱	-۵/۲۵*	-۰/۱۸۳
	سقز	۱۷/۱۹	۱۰/۸۴	۱۱/۶۵	-۵/۳۵*	-۰/۱۴۱
	تبریز	۱۴/۸۱	۱۰/۲۷	۱۱/۹۲	-۳/۵۹*	-۰/۰۸۷
	ارومیه	۱۷/۵۷	۹/۵۴	۱۳/۲۷	-۵/۵۰*	-۰/۱۴۵
	زنجان	۱۷/۸۱	۱۰/۸۸	۱۱/۴۹	-۷/۵۸*	-۰/۱۷۹
	میانگین منطقه‌ای	۱۶/۳۸	۱۰/۱۷	۱۲/۵۲	-۶/۲۲*	-۰/۱۶۷
ضریب خاموشی	اردبیل	۰/۱۱۲	۰/۱۹۴	۰/۱۵۳	-۰/۰۹	۰/۰۰۰
	خوی	۰/۱۲۹	۰/۱۹۴	۰/۱۶۹	۴/۶*	۰/۰۰۱
	سنندج	۰/۱۱۶	۰/۱۹۵	۰/۱۶۲	۵/۰۱*	۰/۰۰۱۷
	سقز	۰/۱۱۹	۰/۱۷۸	۰/۱۶۵	۵/۲۷*	۰/۰۰۱۸
	تبریز	۰/۱۴۳	۰/۱۸۶	۰/۱۶۲	۳/۶*	۰/۰۰۱۱
	ارومیه	۰/۱۲۱	۰/۲۰۱	۰/۱۵۱	۵/۴۹*	۰/۰۰۱۴
	زنجان	۰/۱۰۹	۰/۱۷۷	۰/۱۶۷	۷/۵۸*	۰/۰۰۱۶
	میانگین منطقه‌ای	۰/۱۱۴	۰/۱۸۸	۰/۱۵۵	۶/۲۲*	۰/۰۰۱۷

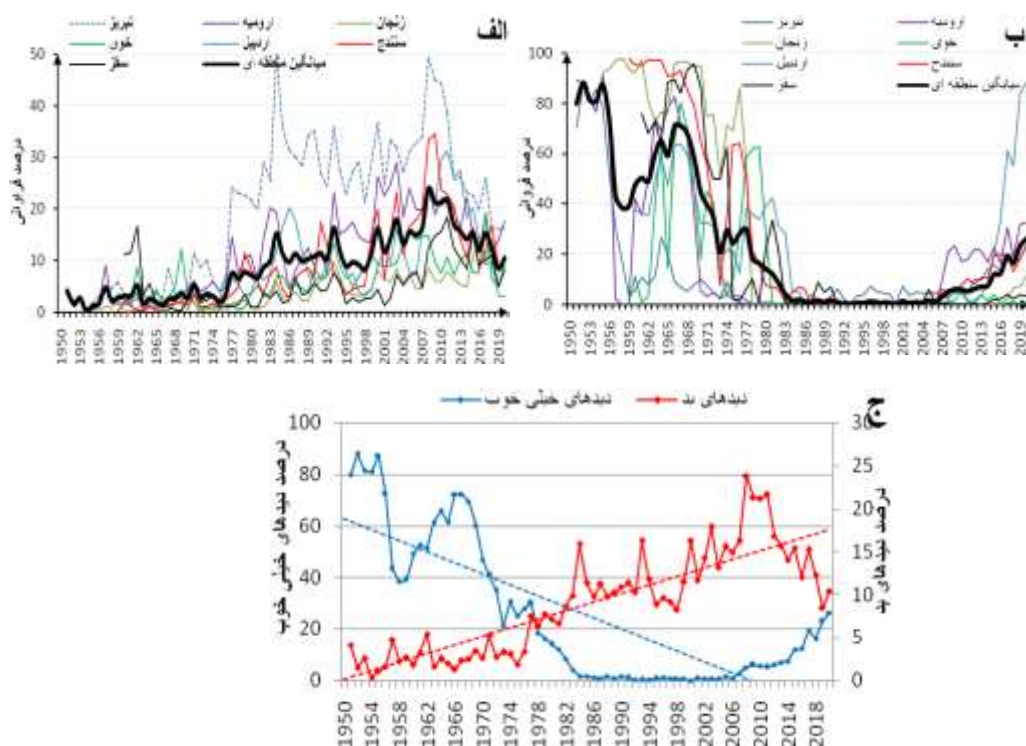
در شکل (۳) پراشیدگی مقادیر Rdit سالانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه به همراه میانگین منطقه‌ای آن نمایش داده شده است. در این نمودار خط سیاه ضخیم میانگین منطقه‌ای ریدیت‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که قبلاً اشاره شد در آماره‌ی Rdit مقادیر بالاتر (پایین‌تر) از ۰/۵ نشان دهنده‌ی دید افقی بهتر (پایین‌تر) از توزیع مرجع هستند. میانگین Rdit در شمال غرب ایران در اوایل دهه‌ی ۱۹۵۰، ۰/۸۵~ بوده که طی ۱۰ سال بعد با شدت نسبتاً زیادی کاهش یافته و به ۰/۶۵~ رسیده است؛ اما مجدداً افزایش یافته و در سال ۱۹۶۶ به ۰/۸۲ رسیده است. بعد از آن سال تا ۱۹۸۵ میانگین Rdit با شیب قابل‌ملاحظه‌ای کاهش یافته است به طوری که در سال ۱۹۷۶ به پایین‌تر از ۰/۴ افتاده است. همان‌طور که در چارت مشخص است میانگین منطقه‌ای مقادیر Rdit در تمامی سال‌های قبل از ۱۹۸۰ بالاتر از ۰/۵ بوده است. به عبارتی دید افقی در این سال‌ها بالاتر از توزیع مرجع بوده است. با دقت در نمودار مشخص شد که مقادیر Rdit در ایستگاه‌های تبریز و ارومیه زودتر از بقیه ایستگاه‌ها یعنی در سال ۱۹۷۶ به پایین‌تر از ۰/۵ کاهش یافته‌اند در حالیکه ایستگاه‌های اردبیل و زنجان از سال ۱۹۸۵ به پایین‌تر از ۰/۵ افت کرده‌اند. در فاصله سال‌های ۱۹۸۵ تا سال ۲۰۱۰ میانگین منطقه‌ای Rdit در پایین‌ترین مقدار باقی‌مانده و فقط مابین ۰/۳۱ تا ۰/۳۸ پراشیده است.

در فاصله این سالها دید افقی در ایستگاههای زنجان (اردبیل) پایینترین (بالاترین) مقادیر را در مقایسه با بقیه ایستگاهها داشتند. مقدار Rdit در هیچ یک از ایستگاهها (به استثنای سه سال در ایستگاه سقر) به بالاتر از ۰/۵ نرسیده است. در ۱۰ سال انتهایی مورد مطالعه (در فاصله سالهای ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰) میانگین منطقه‌ای Rdit به تدریج افزایش یافته و از سال ۲۰۱۷ به بالاتر از ۰/۵ رسیده است. البته باید اشاره شود که مقادیر Rdit در ایستگاههای زنجان و خوی همچنان پایینتر از ۰/۵ باقی مانده‌اند؛ بنابراین بهبود نسبی در دید افقی در سالهای اخیر تأیید می‌شود؛ اما در مقایسه با سالهای ابتدایی مورد مطالعه (۱۹۵۱ تا ۱۹۸۰) در سطح پایینتری قرار دارد به همین خاطر روند خطی میانگین منطقه‌ای Rdit در کل دوره مورد مطالعه با شیب $Y = -0.007x + 0.803$ و $R^2 = 0.669$ کاهش می‌باشد.



شکل (۳): پراشیدگی مقادیر سالانه Rdit در ایستگاههای مورد مطالعه (خطوط رنگی و نماددار نازک) به همراه میانگین منطقه‌ای آن (خط ممتد ضخیم). در این نمودار آستانه ۰/۵ (برای نمایش دیدهای بالاتر یا پایینتر نسبت به توزیع مرجع) با خط ممتد قرمز و روند خطی میانگین منطقه‌ای Rdit با خط چین قرمز رنگ ترسیم شده‌اند.

مقایسه پراشیدگی دیدهای کم (دیدهای محدود و احتمالاً همراه با آلودگی هوا) با دیدهای خیلی خوب در یک دوره‌ی آماری طولانی مدت می‌تواند برخی از ویژگی‌های رفتاری این پارامتر از جمله تشخیص روند را آشکار نماید. طبیعی است افزایش فراوانی دیدهای بد و کاهش فراوانی دیدهای خیلی خوب از روند کاهش دید افقی حکایت دارد و برعکس آن برای روند افزایشی دید افقی صادق است. در مطالعه حاضر پراشیدگی درصد دیدهای بد و دیدهای خوب (به صورت جداگانه) و برای همه ایستگاههای مورد مطالعه به صورت یکجا ترسیم شدند (شکل ۳). همان‌طور که در شکل ۴ الف مشاهده می‌شود درصد دیدهای بد در همه ایستگاههای مورد مطالعه در سالهای ۱۹۵۱ تا ۱۹۷۵ خیلی پایین بوده و عمدتاً کمتر از ۱۰٪ کل دیدبانی‌های دید افقی را شامل می‌شد. از سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۰ به تدریج فراوانی دیدهای بد افزایش پیدا کرده است به طوری که میانگین منطقه‌ای درصد فراوانی دیدهای بد بین ۱۰٪ تا ۲۰٪ نوسان داشته است. نکته قابل توجه در این دوره اختلاف نسبتاً چشمگیر در فراوانی دیدهای بد بین ایستگاههای مورد مطالعه است. افزایش فراوانی دیدهای بد در ایستگاه تبریز هم زودتر و شدیدتر از بقیه ایستگاهها صورت گرفته است. به طوری که در برخی از سالها (۱۹۸۴ و ۲۰۰۸) حدود ۵۰٪ کل دیدبانی‌های دید افقی را شامل شده است. البته درصد دیدهای بد در ایستگاه سقر کمتر از بقیه ایستگاهها بوده و به استثنای دوره ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۵، اغلب پایینتر از ۱۰٪ کل رکوردها را شامل شده است. در بقیه ایستگاهها رفتار نسبتاً مشابهی حاکم بوده است و پراشیدگی درصد دیدهای بد بین ۸٪ تا ۲۰٪ ثبت شده است. از سال ۲۰۱۰ به بعد درصد فراوانی دیدهای بد نسبتاً کاهش یافته و به حدود ۱۰٪ رسیده است که حاکی از بهبود نسبی دید در این سالهاست.



شکل (۴): نمودار پراشیدگی درصد فراوانی دیدهای بد (الف) و دیدهای خیلی خوب (ب) در ایستگاه‌های مورد مطالعه. در این شکل برای ایجاد دید جامع و رعایت تلخیص داده‌های کل ایستگاه‌ها در قالب نمودارهای ترکیبی ترسیم شدند و میانگین منطقه‌ای هر کدام با خط ممتد ضخیم نمایش داده‌اند. پراشیدگی میانگین منطقه‌ای دیدهای بد و خیلی خوب به همراه خط روند هر کدام در نمودار ج نمایش داده شده است.

تغییرات میدان دید افقی در شمال غرب ایران در پراشیدگی درصد فراوانی دیدهای خیلی خوب به‌طور گویاتری مشخص است (شکل ۴ب). تا قبل از سال ۱۹۸۰ به‌استثنای ایستگاه تبریز دیدهای خیلی خوب درصد زیادی (۲۰٪ تا ۸۰٪) از کل دیدبانی‌های دید افقی را شامل شده است. نکته قابل تأمل کاهش شدید فراوانی این دیدها از همان ابتدا و مخصوصاً در فاصله سال‌های ۱۹۶۸ تا ۱۹۸۵ است. همان‌طور که در نمودار شکل ۳ ب کاملاً مشهود است در فاصله‌ی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۶ فراوانی دیدهای خیلی خوب در حد صفر باقی‌مانده است؛ اما از سال ۲۰۰۷ به‌تدریج فراوانی دیدهای خیلی خوب افزایش یافته و به حدود ۲۰٪ رسیده است. برای نمایش گویاتر نوسانات دید افقی در منطقه‌ی مورد مطالعه؛ پراشیدگی میانگین سالانه‌ی منطقه‌ای دیدهای بد و خیلی خوب در شکل ۳ج نمایش داده شد. در این نمودار روند افزایش دیدهای بد به همراه روند کاهشی دیدهای خیلی خوب حاکی از روند کاهشی دید افقی در شمال غرب ایران می‌باشد. نکته مهم دیگر این است که به لحاظ تقاطع و برش دو نمودار در فاصله سال‌های ۱۹۷۸ تا ۱۹۸۲؛ می‌توان از اوایل دهه‌ی ۱۹۸۰ را به‌عنوان زمان جهش (نقطه شکست) در کاهش دید افقی در شمال غرب ایران معرفی کرد.

در این قسمت از مطالعه حاضر پدیده‌های هواشناسی کاهش‌دهنده‌ی دید افقی مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۳). همان‌گونه که در بخش‌های پیشین توضیح داده شد در این مطالعه از سری داده‌های جزئی استفاده شده است و لذا بخشی از داده‌های حذف شده‌اند. به همین خاطر در بررسی پدیده‌های محدودکننده دید افقی برخی از پدیده‌های هواشناسی (از جمله پدیده‌های بارشی و مه) در فرایند غربالگری حذف شده‌اند. در این بخش از مطالعه، دیده‌های افقی پایین‌تر از ۱۰ کیلومتر فیلتر شد و با انجام بررسی اولیه، پدیده‌های هواشناسی گزارش شده همراه آن‌ها به چهار گروه از پدیده‌ها یعنی پدیده مه-دود، مه رقیق؛ توفان‌های گردوغبار؛ و بقیه پدیده‌ها در گروه جداگانه‌ای با عنوان «سایر پدیده‌ها» بررسی شد. یادآور می‌گردد که در تعداد محدودی از رکوردها داده‌ی گم‌شده وجود داشت که بین ۰/۲٪ تا ۲/۲٪ در ایستگاه‌ها متفاوت بود و به‌طور میانگین ۱/۳٪ کل رکوردهای غربال شده را شامل می‌شد. برای تعیین تغییرات تأثیرگذاری هر یک از پدیده‌ها در ۷۰ سال گذشته، درصد تأثیرگذاری هر گروه از پدیده‌ها به تفکیک سه دوره‌ی نوسانی شناسایی شده نیز محاسبه شد. با دقت در جدول ۳ مشخص شد که پدیده مه-دود با ۳۸٪/۷ در کل دوره، تأثیرگذارترین پدیده هواشناسی در کاهش دید افقی در شمال غرب ایران می‌باشد. این پدیده در شهرهای توسعه یافته مشهودتر است که نشان‌دهنده تأثیر تولید آلاینده‌های اتمسفری توسط فعالیت‌های انسانی در این شهرهاست. در شمال غرب ایران نیز این اثر قابل تشخیص است. طبق جدول ۳ میزان تأثیرگذاری پدیده مه-دود در تحدید دید افقی در دوره‌های اول «دوره کاهش شدید» و دوم «دوره دید افقی پایین و پایدار» و سوم «دوره بهبود نسبی اخیر» به ترتیب ۴۳٪/۸، ۴۱٪ بوده است که نشان می‌دهد این پدیده در دوره دوم افزایش چشمگیری پیدا کرده است و تنها کاهش ناچیزی در درصد فراوانی این پدیده در دوره سوم مشاهده می‌شود. در بین ایستگاه‌ها بیشترین (کمترین) تأثیرگذاری پدیده مه-دود در ایستگاه‌های تبریز و ارومیه (سقز و اردبیل) به ترتیب ۶۳٪ و ۵۶٪/۵ (۲۱٪/۲ و ۲۴٪/۸) بوده است. نکته مهم افزایش تأثیرگذاری این پدیده در کاهش دید افقی در سه دوره‌ی نوسانی معرفی شده مخصوصاً افزایش قابل‌ملاحظه‌ی آن از دوره‌ی اول به دوره دوم است که در همه ایستگاه‌ها (به‌استثنای ایستگاه سقز) قابل تشخیص است.

پدیده مه رقیق یکی از پدیده‌های هواشناختی تأثیرگذار در کاهش دید افقی است که تأثیر ۳۰ درصدی آن در شمال غرب ایران اثبات شد (جدول ۳). میانگین منطقه‌ای درصد تأثیرگذاری این پدیده در دوره اول و دوم ۳۴٪/۶ و ۳۲٪/۸ بوده که در دوره سوم به ۲۶٪ کاهش یافته است. باید اشاره گردد که این پدیده جزء پدیده‌های رطوبتی جو است که بشدت تحت تأثیر دمای هواست. افزایش درجه حرارت هوا در کاهش وقوع این پدیده مور است. در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه پدیده مه رقیق در اردبیل و خوی به ترتیب با ۵۸٪/۸ و ۴۶٪/۴ مؤثرترین پدیده‌ی جوی در کاهش دید افقی هستند. کاهش نسبی درصد تأثیرگذاری این پدیده در اکثر ایستگاه‌ها به غیر از خوی و اردبیل قابل تشخیص است. تأثیر ۱۷٪/۵ درصدی توفان‌های گردوغبار در کاهش دید افقی در شمال غرب ایران در جدول (۳) مشخص شده است. طبق نتایج مطالعات اخیر (محمدی، ۱۳۹۴) اغلب توفان‌های گردوغبار مشاهده شده در غرب ایران از نوع انتقال یافته هستند. هم‌راستا با این تحقیق در این مطالعه نیز ایستگاه‌هایی که به منابع انتشار گردوغبار نزدیک‌تر هستند تأثیرپذیری بیشتری نشان دادند. بیشترین تأثیرگذاری توفان‌های گردوغبار در کاهش دید افقی در ایستگاه‌های سقز و سنندج به ترتیب با ۳۹٪/۸ و ۳۶٪/۳ است. در حالیکه این مقدار در ایستگاه‌های خوی و اردبیل به ۱۶٪/۳ و ۵٪ می‌باشد. میانگین منطقه‌ای درصد تأثیرگذاری این پدیده در دوره اول ۱۸٪/۲ بوده که در دوره دوم به ۱۰٪/۳ کاهش یافته ولی در دوره سوم به شدت افزایش یافته و به ۲۳٪/۷ رسیده است. بررسی مجدد جدول (۳) مشخص کرد که در دوره دوم افزایش قابل‌ملاحظه فراوانی پدیده مه-دود به همراه پدیده مه رقیق عامل اصلی کاهش دید افقی بوده‌اند؛ اما در دوره سوم با وجود کاهش نسبی در فراوانی رخداد آن دو؛ افزایش قابل‌ملاحظه‌ی توفان‌های گردوغبار مانع بهبود کامل میانگین دید افقی در منطقه مورد مطالعه شده است.

جدول (۳). درصد تأثیر پدیده‌های هواشناسی در کاهش دید افقی (به پایین‌تر از ۱۰ کیلومتر) در ایستگاه‌های مورد مطالعه به تفکیک دوره‌های نوسانی معرفی شده و کل دوره.

	میانگین منطقه‌ای	زنجان	تبریز	ارومیه	سقز	سنندج	خوی	اردبیل	پدیده هوای حاضر
دوره اول	۲۴/۸	۱۳/۱	۴۶	۳۲/۶	۳۰/۲	۱۶/۱	۱۲/۴	۲۲/۹	مه-دود
	۳۴/۶	۳۵	۲۰/۵	۴۱/۴	۲۲/۶	۲۰/۱	۴۲/۸	۵۹/۹	مه رقیق
	۱۸/۲	۲۰/۵	۱۶/۶	۷/۱	۲۴	۴۶/۵	۶/۱	۶/۳	توفان‌های گردوغبار
	۲۲/۴	۳۱/۴	۱۶/۹	۱۸/۹	۲۳/۲	۱۷/۳	۳۸/۷	۱۰/۹	سایر پدیده‌ها
دوره دوم	۴۲/۸	۳۶/۱	۷۳/۳	۶۸/۴	۲۹/۸	۴۵/۹	۳۷/۷	۱۵/۵	مه-دود
	۳۲/۸	۲۵/۹	۹/۵	۲۳/۱	۳۲/۶	۱۹/۵	۵۲/۵	۶۵/۷	مه رقیق
	۱۰/۳	۹/۴	۷/۱	۲/۶	۲۳/۳	۲۴/۱	۲/۶	۳	توفان‌های گردوغبار
	۱۳/۱	۲۸/۶	۱۰/۱	۵/۹	۱۴/۳	۱۰/۵	۶/۳	۱۵/۸	سایر پدیده‌ها
دوره سوم	۴۱	۳۶/۹	۶۳/۸	۵۹/۴	۱۲/۷	۳۵/۶	۴۸/۳	۳۰/۶	مه-دود
	۲۶	۱۶/۳	۱۰/۲	۲۳/۸	۲۵/۱	۱۱/۵	۴۰/۴	۵۴/۷	مه رقیق
	۲۳/۷	۲۸/۱	۱۶/۴	۱۰/۹	۵۵/۵	۴۴/۴	۳/۵	۷/۴	توفان‌های گردوغبار
	۹/۳	۱۸/۷	۹/۶	۵/۹	۶/۷	۸/۵	۷/۸	۷/۳	سایر پدیده‌ها
کل دوره	۳۸/۷	۳۲/۹	۶۳	۵۶/۵	۲۱/۲	۳۵/۹	۳۶/۴	۲۴/۸	مه-دود
	۳۰	۲۳	۱۲/۶	۲۷/۶	۲۶/۵	۱۵/۳	۴۶/۴	۵۸/۸	مه رقیق
	۱۷/۵	۱۸/۹	۱۲/۳	۶/۶	۳۹/۸	۳۶/۶	۳/۶	۵	توفان‌های گردوغبار
	۱۲/۵	۲۲/۸	۱۱/۹	۸/۹	۱۰/۷	۱۰/۳	۱۲/۷	۱۰/۲	سایر پدیده‌ها
	۱/۳	۲/۴	۰/۲	۰/۴	۱/۸	۲/۲	۰/۹	۱/۲	داده‌های گم‌شده (%)

نتیجه‌گیری

برای مطالعه ویژگی‌های اقلیمی دیدهای افقی دیدبانی‌شده در ایستگاه‌های هواشناسی شمال غرب کشور که دارای دوره آماری طولانی‌مدت بودند، از طریق کاربست چند روش متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. میانگین سالانه دید افقی در ایستگاه‌های مورد مطالعه اختلاف ناچیزی با هم داشته و پراشیدگی آن‌ها در طول ۷۰ سال گذشته از الگوی مشابهی تبعیت کرده است. در این مطالعه سه دوره نوسانی متفاوت در تغییرات میدان دید افقی شناسایی شد. نکته مهم این است که در همه مراحل تحقیق و روش‌های مورد استفاده، ردپای دوره‌های نوسانی معرفی شده را می‌توان تشخیص داد. ویژگی اصلی دوره اول کاهش شدید میدان دید افقی در شمال غرب است که نیمی از دوره‌ی مورد مطالعه (۱۹۵۱ تا ۱۹۸۵) را در بر داشته است. در دوره‌ی دوم میدان دید افقی در شمال غرب ایران در پایین‌ترین حد بوده و پراشیدگی سال به سال ناچیزی داشته است؛ اما در ۱۵ سال انتهایی مورد مطالعه (۲۰۰۶ تا ۲۰۲۰) مقدار دید افقی قدری بهبود پیدا کرده است ولی در مقایسه با سه دهه‌ی اول مورد مطالعه همچنان در حد پایینی قرار دارد. لذا این بهبود باعث تغییر در جهت روند دید افقی نشده است. آنچه این مطالعه را به آشکارسازی نوسانات مذکور قادر ساخت دید اقلیمی وسیعی بود که استفاده از داده‌های طولانی‌مدت فراهم کرد.

در دوره اول دید افقی در بالاترین حد بوده و در تعداد کمی از گزارش‌ها محدودیت دید گزارش می‌شده است و پدیده‌های رطوبتی مخصوصاً مه رقیق پدیده‌ی اصلی کاهش دید بوده است. عامل اصلی کاهش دید افقی در دوره دوم افزایش قابل‌ملاحظه‌ی پدیده‌ی مه-دود بوده است؛ اما در دوره سوم با وجود بهبود نسبی در میدان دید افقی، به دلیل ثبات نسبی در فراوانی پدیده مه-دود و افزایش در فراوانی رخداد توفان‌های گردوغبار، مانع بهبود کامل در مقدار دید شده است. می‌توان نتیجه گرفت که عوامل کاهش دید افقی در شمال غرب ایران در ۷۰ سال گذشته از پدیده‌های رطوبتی به پدیده‌های غباری (هواویزاها و دود) گرایش پیدا کرده است. افزایش تولید آلاینده‌های جوی در شهرهای در حال رشد به همراه افزایش فعالیت توفان‌های گردوغبار عامل اصلی کاهش دید افقی در چند دهه اخیر هستند. به لحاظ جغرافیایی ایستگاه‌هایی که در مناطق جنوبی واقع شده‌اند به جهت داشتن فاصله کمتر با منابع انتشار گردوغبار حوزه دجله و فرات و قرار گرفتن در معرض جریان‌های جوی انتقال دهنده‌ی گردوغبار، تحت تأثیر این پدیده هستند و افزایش در فراوانی رخداد توفان‌های گردوغبار در کاهش میانگین دید افقی در

این مناطق مؤثر است؛ اما در شهرهای توسعه‌یافته‌تر که داری جمعیت بیشتری نیز هستند رخداد پدیده‌ی مه-دود اغلب باعث کاهش دید افقی می‌شود. نکته قابل توجه دیگر اینکه در این شهرها نوسانات دید افقی با شدت بیشتر و از لحاظ زمانی زودتر از بقیه مناطق اتفاق می‌افتد.

پراشیدگی مقادیر Rdit حاکیست که با وجود تفاوت‌های جزئی مابین ایستگاه‌ها، نوسانات میدان دید افقی در شمال غرب کشور از الگوی مشابهی تبعیت کرده است. به طوری که اغلب تا سال ۱۹۸۶ بالاتر از توزیع مرجع بوده و از آن سال به بعد به کمتر از توزیع مرجع نزول کرده است. در این میان ایستگاه‌هایی که در حاشیه شهرهای بزرگ‌تر (تبریز و ارومیه) قرار دارند زودتر از بقیه‌ی ایستگاه‌ها به پایین‌تر از توزیع مرجع افت کرده‌اند. افزایش نسبی در مقادیر Rdit در سال‌های اخیر (از سال ۲۰۰۵ به بعد) قابل تشخیص است اما در اکثر ایستگاه‌ها در پایین‌تر از ۰/۵ (پایین‌تر از توزیع مرجع) قرار دارند. امید است بهبود در شرایط آب و هوایی و رعایت اصول زیست‌محیطی در کاهش آلاینده‌های جوی در سال‌های آتی ادامه یابد و میانگین دید افقی در بالاتر از توزیع مرجع تثبیت گردد.

نهایتاً باید اشاره شود که روندهای محاسبه شده و نتایج حاصل از آن‌ها برای ایستگاه‌هایی هستند که در حاشیه‌ی شهرهای توسعه یافته شمال غرب ایران واقع شده‌اند. مشخص است که فعالیت‌های بشری در تولید و انباشت آلاینده‌ها در اتمسفر اطراف شهرها و در نتیجه کاهش دید افقی مؤثر است. به همین خاطر تعمیم نتایج حاصل از این مطالعه به کل مناطق شمال غرب کشور خالی از اشکال نیست و برای بررسی دقیق‌تر لازم است داده‌های ایستگاه‌هایی که در محیط‌های طبیعی و دست‌نخورده احداث شده‌اند نیز بررسی شود. در این صورت می‌تواند ارزیابی واقعی‌تری از روند منطقه‌ای دید افقی در این مناطق به دست داد.

طبیعی است که عوامل متعددی در نوسانات دید افقی مؤثر هستند که بخشی از آن ناشی از تغییرات فاکتورهای آب و هوایی است و بخش مهم دیگر تحت تأثیر عوامل انسان‌ساخت از جمله تولید آلاینده‌های جوی مخصوصاً در شهرهای پرجمعیت است. لذا تعیین میزان اثرگذاری هر کدام از عوامل مذکور و مشخص ساختن تغییرات درصد تأثیرگذاری آن‌ها در دهه‌های گذشته می‌تواند به شناخت بهتر آنچه در گذشته اتفاق افتاده و استفاده از آن‌ها در مدیریت محیط در آینده کمک شایانی نماید.

منابع

- جهانبخش اصل، سعید؛ محمدی، غلام حسن؛ راشدی، شهناز؛ حسینی صدر، عاطفه. (۱۳۹۶). بررسی روند تغییرات میانگین حداقل دمای ماهانه دوره سرد سال در شمال غرب ایران. *نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۱(۶۲)، ۷۹-۹۶.
- ثابت قدم، سیده سمانه؛ خوش‌سیما، مسعود؛ احمدی گیوی، فرهنگ. (۱۳۹۵). بررسی تغییرات ضریب خاموشی جو بر مبنای دید افقی در چهار فرودگاه پرتردد کشور، *فیزیک زمین و فضا*، ۴۲(۲)، ۴۶۷-۴۵۹.
- رضایی بنفشه، مجید؛ سرافروزه، فاطمه؛ جلالی، طاهره. (۱۳۹۰). بررسی روند دما و بارش‌های روزانه حدی در حوضه دریاچه ارومیه. *نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی*. ۱۶(۳۸)، ۷۴-۴۳.
- قهرمانی حیران، التفات. ارزیابی اثرات توسعه شهری و نوسانات اقلیمی در تغییرات فراوانی وقوع پدیده مه-دود در کلان‌شهر تبریز، کارشناسی ارشد، آب و هواشناسی، *دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز*، ۱۳۹۴، پایان‌نامه کارشناسی ارشد.
- محمدخورشید دوست، علی؛ محمدی، غلام‌حسن؛ حسینی صدر، عاطفه؛ جوان، خدیجه؛ جمالی، ابوالفضل. (۱۳۹۲). تحلیل همبند عوامل مؤثر در فراوانی روزهای گردوغباری غرب کشور. *نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی*. ۱۷(۴۶)، ۶۶-۴۷.
- محمدی، غلام حسن. تحلیل سازوکارهای جوی انتقال گردوغبار به غرب کشور، دکتری تخصصی، آب و هواشناسی، *دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز*، ۱۳۹۴، رساله دکتری.
- یارمادی، زهرا؛ نصیری، بهروز؛ کریمپور، مصطفی؛ محمدی، غلام‌حسن. (۱۳۹۷). تحلیل روند فراوانی روزهای گردوغباری در نیمه شرقی ایران در ارتباط با نوسانات اقلیمی، *مهندسی اکوسیستم بیابان*، ۷(۱۸)، صص ۱-۱۴.
- Alhathloul, S.H., Khan, A. A., Mishra, A., (2021), *Trend analysis and change point detection of annual and seasonal horizontal visibility trends in Saudi Arabia*, Theoretical and Applied Climatology, **144(3)**:127-146.
- Balarabe, M., Abdullah, Kh., Nawawi, M., (2015), *Long-Term Trend and Seasonal Variability of Horizontal Visibility in Nigerian Troposphere*, Atmosphere, **6(10)**: 1462-1486; doi:10.3390/atmos6101462.
- Baumer, D., Vogel, B., Versick, S., Rinke, R., Mohler, O. and Schnaiter, M., (2008), *Relationship of visibility, aerosol optical thickness and aerosol size distribution in an ageing air mass over South-West Germany*, Atmos. Environ., **42(5)**: 989-998.
- Chang, D., Song, Y., Liu, B., (2009), *In: Visibility Trends in Six Megalopolis in China 1973-2007*, Atmos. Res, **94(2)**: 161-167.
- Chen, S., Guo, J., Song, L., Cohen, J., Wang, Y., (2019), *Temporal disparity of the atmospheric systems contributing to interannual variation of wintertime haze pollution in the North China Plain*, Int. J. Climatol, **40(1)**:128-144.
- Chen, X., Li, X., Yuan, X., Zeng, G., Liang, J., Li, X., Xu, W., Luo, Y., Chen, G., (2018), *Effects of human activities and climate change on the reduction of visibility in Beijing over the past 36 years*, Environ. Int. **116(2)**: 92-100.
- Craig, C. and Faulkenberry, G., (1979), *The application of Rdit analysis to detect trends in visibility*, Atmospheric Environment, **13(12)**: 1617-1622.
- Deng, J., Wang, T., Jiang, Z., X. Min., Z. Renjian., X. Hung., J. Zhu., (2012), *Characterization of visibility and its affecting factors over Nanjing, China*, Atmos. Res, **101(3)**: 681-691.
- Deng, J., Xing, Z., Zhuang, B., Du, Ke., (2014), *Comparative study on long-term visibility trend and its affecting factors on both sides of the Taiwan Strait*, Atmospheric Research, **143(15)**: 266-278.

- Doyle, M., and S. Dorling., (2002), *Visibility trends in the UK 1950–1997*, Atmos. Environ, **36(19)**: 3161–3172.
- Eidels-Dubovoi, S., (2002), *Aerosol impacts on visible light extinction in the atmosphere of Mexico City*, Sci. Tot. Environ, 287(3): 213-220.
- Environmental Protection Agency (2001), *Visibility in mandatory federal class I areas (1994–1998)*, report, Off. of Air Qual. Plan. and Stand., Research Triangle Park, N. C, 286p.
- Ferman, M. A., G. T. Wolff, and N. A. Kelly., (1981), *The nature and sources of haze in the Shenandoah Valley/Blue Ridge Mountains area*, J. Air. Pollut. Control Association, **31(10)**: 1074-1082.
- Gao, L., Jia, G., Zhang, R., H. Che., C. Fu., T. Wang., M. Zhang., H. Jiang., P. Yan., (2011), *Visual range trends in the Yangtze River Delta Region of China 1981e2005*, J. Air Waste Manage. Assoc, **61(8)**: 843-849.
- Ghim, Y. S., K. C. Moon, S. Lee, and Y. P. Kim., (2005), *Visibility trends in Korea during the past two decades*, J. Air Waste Manage. Assoc., **55(1)**: 73–82.
- Horvath, H., (1981), *Atmospheric visibility*, Atmospheric Environment, **15(10-11)**: 1785–1796.
- Hua, Y., Yao, L., Cheng, Z., Wang, Y., (2017), *Long-term atmospheric visibility trends in megacities of China, India and the United States*, Environmental Research, **159(5)**: 466–473.
- Huang, R.J., Zhang, Y.L., Bozzetti, C., K. Fia ho., J. Jicao., Y. Han., K. Daellenbach., j, J, G, Slowik., S, M, Platt., F, Canonaco., P, Zotter., R, Wolf., S, M, Pieber., E, A, Brunns., M, Crippa., G, Ciarelli., A, Piazzalunga., M, Schwikowski., G, Abbaszade., J, Schnelle-Kreis., R, Zimmermann., Z, An., S, Szidat., U, Baltensperger., I, El Haddad., A, S, H, Prévôt., (2014), *High secondary aerosol contribution to particulate pollution during haze events in China*, Nature, **514(17)**: 218-222.
- Husar, R. B., and W. E. Wilson, (1993), *Haze and sulfur emission trends in the eastern United States*, Environ. Sci. Technol, **27(1)**: 12–16.
- Husar, R. B., J. M. Holloway, D. E. Poll, and W. E. Wilson., (1981), *Spatial and temporal pattern of eastern U.S. haziness: A summary*, Atmos. Environ, **15(10-11)**: 1919–1928.
- Koschmieder, H., 1926. *Theorie der horizontalen Sichtweite Beit. Phys. Atmos.* **12**, 33e55.
- Lee, D. O., (1994), *Regional variations in long-term visibility trends in the UK (1962–1990)*, Geography, **79(4)**: 108–121.
- Lee, Y. L., and R. Sequeira., (2001), *Visibility degradation across Hong Kong: Its components and their relative contributions*, Atmos. Environ, **35(34)**: 5861–5872.
- Mahowald, N.M., Ballantine, J.A., Feddema, J., N, Ramankutty., (2007), *Global trends in visibility: implications for dust sources*, Atmos. Chem. Phys, **7(12)**: 3309-3339.
- Malm, W.C., Molenaar, J.V., Eldred, R.A., et al., (1996), *Examining the relationship among atmospheric aerosols and light scattering and extinction in the Grand Canyon Area*, J. Geophys. Res, **101(14)**: 19251-19265.
- Malm, W.C., Sisler, J.F., Huffman, D., et al., (1994), *Spatial and seasonal trends in particle concentration and optical extinction in the United States*, J. Geophys. Res, **99(1)**: 1347-1370.
- Molnar, A., Meszaros, E., Imre, K., A, Rull., (2008), *Trends in visibility over Hungary between 1996-2002*, Atmos. Environ, **42(11)**: 2621-2629.

- Ozkaynak, H.A., Schatz, D., Thurston, G.D., Isaacs, R.G., Husar, R.B., (1985), **Relationships between aerosol extinction coefficients derived from airport visual range observations and alternative measure of airborne particles mass**, J. Air Poll. Control Assoc, **35(11)**: 1176–1185.
- Pei, L., Yan, Z., Sun, Z., Miao, S., Yao, Y., (2018), **Increasing persistent haze in Beijing: potential impacts of weakening East Asian winter monsoons associated with northwestern Pacific sea surface temperature trends**, Atmos. Chem. Phys, **18(5)**: 3173–3183.
- Sari Sarraf, B., Rasouli¹, A. A., Mohammadi Gh. H., Hoseini Sadr, A., (2016), **Long-term trends of seasonal dusty day characteristics—West Iran**, Arab Journal Geoscience, **9 (563)**: 1-10.
- Schichtel, B. A., R. B. Husar, S. R. Falke, and W. E. Wilson., (2001), **Haze trends over the United States, 1980– 1995**, Atmos. Environ., **35(30)**: 5205–5210.
- Sloane, C. S., (1982a), **Visibility trends I: Methods of analysis**, Atmos. Environ, **16(1)**: 41-51.
- Sloane, C. S., (1982b), **Visibility trends II: Mid-eastern United States**, Atmos. Environ, **16(10)**: 2309-2321.
- Wang Q, Cao J, Tao J, Li N, Su X, L. W. Antony Chen, Ping Wang, Zhenxing Shen, Suixin Liu, Wenting Dai (2013), **Long-Term Trends in Visibility and at Chengdu, China**. PLoS ONE **8(7)**: e68894. doi:10.1371/ journal.pone.0068894.
- Wen, C., and Yeh, H., (2010), **Comparative influences of airborne pollutant and meteorological parameters on atmospheric visibility and turbidity**, Atmos. Research, **96(4)**: 496-509.
- White, W. H., and P. T. Roberts., (1977), **On the nature and origins of visibility-reducing aerosols in the Los Angeles air basin**, Atmos. Environ,**11(9)**: 803– 812.
- WMO, World Meteorological Organization., (1974), **Manual on Codes**, vol. I. International codes. WMO Publ., Geneva.
- Wu, J., Fu, C., Zhang, L., and Tang, J., (2012), **Trends of visibility on sunny days in China in the recent 50 years**, Atmos. Environ., **55**: 339-346.
- Zhang, Y., Gao, Lina., Cao, Lijuan., Yan, Zhongwei., Wu, Y., (2020), **Decreasing atmospheric visibility associated with weakening winds from 1980 to 2017 over China**, Atmospheric Environment, **224(1)**: 1-12.
- Zhao, P., Zhang, X., Xu, X., Zhao, X., (2011), **Long-term visibility trends and characteristics in the region of Beijing, Tianjin, and Hebei, China**, Atmos. Res, **101(3)**: 711–718.
- Che, H., Zhang, X., Li, Y., Zhou, Z., Qu, J. J., (2007), **Horizontal visibility trends in China 1981–2005**, Geophysical Research Letters, 34(24): L24706, doi: 10. 1029/2007GL031450.
- Chen, Y., Xie, Sh., (2012), **Temporal and spatial visibility trends in the Sichuan Basin, China 1973 to 2010**, Atmospheric Research, **112**: 25–34.
- Gomez, B., Smith, C.G., (1987), **Visibility at Oxford 1926-1985**. Weather **42**, 98-106.