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

Prediction of dust storm using artificial neural networks in Kermanshah

Toba Alizadeh[1] | **Majid Rezaei Banafsha**[2✉] | **Gholamreza Goudarzi**[3] **Hashem Rostamzadeh**[4]

1., PhD student in Climatology, Department of Climatology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. **E-mail:** alizadehtoba@yahoo.com
2. Corresponding author, Professor of Climatology, Department of Climatology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. **E-mail:** mrbanafsheh@yahoo.com
3. Associate Professor of Environmental Health Engineering, Air Pollution and Respiratory Diseases Research Center, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Jundishapur University of Medical Sciences Ahvaz, Ahvaz, Iran **E-mail:** rgoodarzy@gmail.com
4. Assistant Professor in Climatology, Department of Climatology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. **E-mail:** hrostamzadeh@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Article history:
Received
2021/03/23
Received in revised
2021/05/27
Accepted
2021/07/07
Published
2021/07/11
Published online
2025/09/23

Keywords:
Dust,
Forecast,
ANN,
ANFIS,
Kermanshah.

ABSTRACT

Dust is a phenomenon with significant environmental impacts across various aspects of human life, including agriculture, economy, health, and more. The purpose of this study is to investigate and predict the dust phenomenon in Kermanshah. Meteorological data with a 3-hour resolution for the statistical period (2000–2020) from the Kermanshah station was obtained from the Meteorological Organization. First, the dust data were normalized, and then Artificial Neural Network (ANN) models were used to predict dust concentration, while the Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) was employed to analyze and predict the time series of dust occurrence in MATLAB software. The findings revealed that the maximum predicted dust concentration, related to the minimum dew point with the highest Pearson correlation with dust, was estimated at 3451.23 µg/m³. Additionally, the results of the time series prediction using the ANFIS model showed that the linear bell membership function with grade 3, during both the training and testing stages, was the most effective input function among other membership functions. According to the forecasting models, the highest probability of maximum dust occurrence in the next 20 years in Kermanshah is 94%. Based on the aforementioned studies, sufficient information was gathered to conduct this research. The phenomenon of dust, particularly in western Iran and the city of Kermanshah, has consistently posed significant challenges for the residents of these areas. This phenomenon is influenced by specific atmospheric conditions that cause irreparable damage annually, leading to respiratory issues and deteriorating air quality. Therefore, it is essential to pay serious attention to the issue of dust.

Cite this article: Alizadeh, Toba., Rezaei Banafsha, Majid., Goudarzi, Gholamreza., & Rostamzadeh, Hashem. (2025). Prediction of dust storm using artificial neural networks in Kermanshah. *Applied Researches in Geographical Sciences*, 25 (78), 278-297. DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.78.3

© The Author(s). Publisher: Kharazmi University
DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.78.3

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.3]

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

Extended Abstract

Introduction

The phenomenon of dust storms is one of the most damaging natural disasters in arid regions of the world, especially in Iran, causing numerous environmental problems in these areas(Zolfaqari et al., 2011). It is also one of the dangerous climatic phenomena that annually inflict significant damage to the environment, roads, buildings, and urban air quality. Dust is considered an air pollutant and is measured alongside other atmospheric pollutants. Dust storms are destructive climatic phenomena on synoptic maps influenced by climatic elements such as pressure, cloudiness, precipitation, relative humidity, wind, temperature, and evaporation. The aim of this study is to investigate and predict the dust phenomenon in Kermanshah city. Meteorological data with a 3-hour resolution from 2000 to 2020 was obtained from the national meteorological organization for Kermanshah station. Initially, dust data was normalized; then using Artificial Neural Networks (ANN) models for predicting dust concentration and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) for error checking and time series prediction of dust occurrences were conducted using MATLAB software. The findings indicated that the maximum predicted concentration of dust relates to minimum point Shabam with the highest Pearson correlation with dust at approximately 23/3451 micrograms per cubic meter. Additionally, time series prediction results utilizing ANFIS model showed that a linear bell-shaped membership function with degree 3 designated itself as having the best input function among other membership functions during training and testing phases. Based on predictive models, it was concluded that there is a 94% likelihood for maximum dust events occurring in Kermanshah over the next 20 years.

Material and Methods

In this study, an assessment and prediction of dust storms in the city of Kermanshah were conducted. For this purpose, data from a 20-year period (2000–2020) regarding dust were utilized. Meteorological data with a 3-hour resolution were obtained from the Kermanshah meteorological station. To compare PM10 concentrations, Google Earth Engine data and MODIS AOD (Aerosol Optical Depth) products were used alongside data obtained from the Kermanshah Environmental Protection Agency. To predict PM10 concentration, an Artificial Neural Network (ANN) method was employed. Additionally, for error checking and time series prediction of dust storm occurrences, an Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) model was applied. In this study, all dust storms with a maximum 3-hour PM10 concentration greater than 200 µg/m³ were selected for analysis. The Pearson correlation coefficient was used to explore significant relationships between the maximum level of PM10 on days when dust storms occurred and the average, maximum, and minimum values of all related parameters, including PM10, air pressure (P), air temperature (T), dew point temperature (Td), relative humidity (RH), visibility (Vis), wind speed (WS), and wind direction (WD) over the two days prior to storm occurrence.The results of this research could help identify patterns affecting the occurrence of dust storms and provide useful tools for better crisis management in regions impacted by similar climatic phenomena.

Result and Discussion

The hourly classification of PM10 is presented to demonstrate the impact of dust storms on meteorological parameters. Due to the 3-hour variations in average meteorological data, PM10 was classified at that specific time. An increase in PM10 concentration primarily leads to an increase in wind speed from 2.7 to 5 meters per second and a change in wind direction from 148 to 240 degrees, while relative humidity decreases from 46.63% to 24%. The level of dust storm (LDS) and a further increase in temperature occurred from 11.2°C to 21°C, accompanied by a rise in air

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.3]

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

pressure from 1010.5 hPa to 1015.9 hPa. Most dust storms occurred within the DS class and were concentrated in the Ziba Park area. The general characteristics (maximum and minimum) of hourly meteorological parameters, horizontal visibility, and PM10 levels two days prior to the dust storm day are displayed separately for each station . At all three stations—Ziba Park, Standardization Office, and Oil Company—an increase in PM10 concentration resulted in decreasing trends for horizontal visibility, wind speed, temperature, dew point temperature, and relative humidity. However, air pressure showed an increasing trend during these three days. At the two stations, Ziba Park and Oil Company , it was shown that the highest correlation between dust levels and meteorological parameters occurred at the Ziba Park station, which recorded a total of 25 dust storms. Factors contributing to the favorable results at Ziba Park include: Since its installation, PM10 concentrations at Ziba Park station have been recorded with high precision, down to tenths and hundredths after the decimal point. The station is located away from busy urban areas, reducing interference from local pollution sources.

Conclusion

Natural hazards in various regions of the Earth have damaging effects on living organisms, both directly and indirectly. In the present study, modeling and predicting dust hazards in Kermanshah city were evaluated using Artificial Neural Network (ANN) and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) models. Initially, a statistical analysis of dust levels at the Kermanshah station was conducted, followed by an investigation into the possibility of simulating dust concentration using ANN models and forecasting time series data related to dust using ANFIS. According to the results obtained from the designed ANN neural network, the maximum predicted dust concentration, corresponding to the minimum dew point, is estimated to be 3451.23 micrograms per cubic meter. The ANFIS model demonstrated a high capability in predicting dust levels at Kermanshah stations, with approximately 94% confidence in its predictions. This result indicates that the established structure for the model—with four membership functions and hybrid training methods—provides a suitable framework for forecasting dust levels in the studied region. The method used in this research has been regarded as appropriate for monitoring, analyzing, and comparing results across most studies conducted on this topic. The tracking and simulation of dust storms in Kermanshah city confirmed an acceptable level of accuracy for the model. Utilizing three-hourly data on maximum and minimum values of all parameters—including PM10 concentration, air pressure, air temperature, dew point temperature, relative humidity, horizontal visibility, wind speed, and wind direction—highlighted their roles and importance in assessing and predicting dust levels.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.3]

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

پیش‌بینی وقوع توفان گردوغبار با استفاده از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی در شهر کرمانشاه

طوبی علیزاده[۱]، مجید رضایی بنفشه[۲]✉، غلامرضا گودرزی[۳]، هاشم رستم زاده[۴]

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

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

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

۴. استادیار آب‌وهواشناسی، گروه آب‌وهواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، رایانامه: hrostamzadeh@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۰/۰۱/۰۳

تاریخ بازنگری:
۱۴۰۰/۰۳/۰۶

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۰/۰۴/۱۶

تاریخ انتشار:
۱۴۰۰/۰۴/۲۰

تاریخ انتشار آنلاین:
۱۴۰۴/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:
گردوغبار،
پیش‌بینی،
ANN،
ANFIS،
کرمانشاه.

چکیده

گردوغبار پدیده‌ای است که آثار زیست‌محیطی زیادی را در بخش‌های مختلف زندگی انسان‌ها از جمله: کشاورزی، اقتصاد، بهداشت و غیره دارد. هدف از پژوهش حاضر بررسی و پیش‌بینی پدیده گردوغبار در شهر کرمانشاه می‌باشد. داده‌های هواشناسی با وضوح ۳ ساعته در دوره آماری (۲۰۲۰-۲۰۰۰) ایستگاه کرمانشاه از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. ابتدا داده‌های گردوغبار نرمال‌سازی شد و سپس با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی ANN برای پیش‌بینی غلظت گردوغبار و شبکه عصبی تطبیقی ANFIS برای خطایابی و پیش‌بینی سری زمانی وقوع گردوغبار در نرم‌افزار MATLAB خطایابی و پیش‌بینی شدند. یافته‌های پژوهش نشان داد که حداکثر میزان غلظت گردوغبار پیش‌بینی شده مربوط به حداقل نقطه شبنم با بیشترین میزان همبستگی پیرسون با گردوغبار، به میزان ۳۴۵۱/۲۳ میکروگرم بر مترمکعب برآورد شده است. همچنین نتایج پیش‌بینی سری زمانی با استفاده از مدل ANFIS نشان داد تابع عضویت زنگوله‌ای خطی با درجه ۳، در مراحل آموزش و آزمون، مطلوب‌ترین تابع ورودی را در بین دیگر توابع عضویت به خود اختصاص داده است. بر اساس مدل‌های پیش‌بینی، بیشترین احتمال رخداد حداکثر گردوغبار در ۲۰ سال آینده کرمانشاه با مقدار ۹۴٪ به دست آمد.

استناد: علیزاده، طوبی؛ رضایی بنفشه، مجید؛ گودرزی، غلامرضا؛ و رستم زاده، هاشم (۱۴۰۴). پیش‌بینی وقوع توفان گردوغبار با استفاده از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی در شهر کرمانشاه. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۵ (۷۸)، ۲۹۷-۲۷۸.
http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.78.3

ناشر: دانشگاه خوارزمی تهران.

© نویسندگان.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.3]

مقدمه

پدیده گردوغبار یکی از زیان‌بارترین بلایای طبیعی در مناطق کم باران جهان، به‌ویژه در ایران می‌باشد که مشکلات محیطی زیادی را در این نواحی به ارمغان می‌آورد (خوش کیش و همکاران،۱۳۹۰)؛ و همچنین یکی از پدیده‌های خطرناک اقلیمی است که سالانه خسارات فراوانی را به محیط‌زیست، جاده‌ها، ساختمان‌ها و هوای شهری وارد می‌کنند، گردوغبار به‌عنوان یک ماده آلاینده هوا، همراه با دیگر آلاینده‌های جوی موردسنجش قرار می‌گیرد (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۰)، همچنین یکی از چالش‌های زیست‌محیطی به وجود آمده در منطقه خاورمیانه و ایران در سال‌های اخیر است، این پدیده امروزه به یکی از مشکلات اساسی در مناطق خشک و نیمه‌خشک تبدیل شده است که اثرات نامطلوب اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی دارد (فلاح و همکاران، ۱۳۹۳)، توفان‌های گردوغبار از پدیده‌های مخرب اقلیمی بر روی نقشه‌های سینوپتیکی بوده که متأثر از عناصر اقلیمی فشار، ابرناکی، بارندگی، رطوبت نسبی، باد، دما و تبخیر است (لشکری و کیخسروی، ۱۳۸۷: ۱۹)؛ و می‌توان به‌طور یقین بیان کرد که یکی از مخاطرات محیطی در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا توفان‌های گردوغباری هستند، این رخداد محیطی از مخاطرات اقلیمی به شمار می‌رود و موجب بروز یا تشدید بیماری‌های قلبی– عروقی، بیماری‌های تنفسی و آلرژی‌های فراوان در بدن انسان می‌شود (ناصرپور و همکاران، ۱۳۹۴)؛ همواره به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات محیطی و یکی از مشکلاتی است که در چند سال اخیر در اثر دخالت‌های بشری و استفاده غیرمنطقی از منابع طبیعی و تخریب آن در حال گسترش می‌باشد (گندمکار و همکاران، ۱۳۹۶). توفان‌های گردوغبار به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اشکال آلودگی جوی از زوایای مختلف موردتوجه محققین خارجی و داخلی قرار گرفته و مطالعات متعددی در این زمینه انجام شده است. دراکسلر(۲۰۰۱) [1]، برای برآورد غلظت PM_{10} هوا از توفان‌های گردوغبار در عراق، عربستان و کویت با استفاده از مدل عددی HYSPLIT دریافتند که نتایج مدل در پیش‌بینی مسیرها و تعداد رویدادهای گردوغبار برای کویت از صحت بالایی برخوردار است هرچند نتایج حاصل از مدل در مناطق ساحلی با نتایج حاصل از دیده‌بانی مطابقت ندارد و برآورد مدل بیشتر بوده است که علت آن را نسیم دریا و درون آمیختگی حاصل از آن و شبکه‌بندی بزرگ‌مقیاس مورداستفاده در مدل تشخیص داده‌اند. در مطالعه دیگر هسو (۲۰۱۳)[2]، به بررسی قابلیت‌های الگوریتم دیپ-بلو[3] برای شناسایی پدیده گردوغبار پرداختند. آن‌ها بعد از بررسی زیادی در مناطق صحرای شمال آفریقا و مناطق نیمه‌خشک خاورمیانه دریافتند که این الگوریتم انعطاف‌پذیری بالایی دارد و انتخاب عمق نوری مناسب می‌تواند برای آشکارسازی پدیدهٔ گردوغبار در مناطق خشک و نیمه‌خشک کاربرد بهتری داشته باشد. والدهوسروا (۲۰۱۶)[4]، با استفاده از شبیه‌سازی عددی به بررسی مقدار گردوغبار طی دو توفان در جنوب غربی ایسلند که هرکدام حاوی ۱۸۰۰۰۰ تن و ۲۸۰۰۰۰ تن ذرات گرد غبار بودند، پرداخته و دریافتند که برآورد گردوغبار آتش‌فشانی در ایسلند بیشتر از ذرات زیر میکرون است و توفان در مناطق نسبتاً پرجمعیت ایسلند رخ داده است. ونگ و همکاران(۲۰۱۷)[5]، به بررسی اثرات قابل‌توجهی از واکنش‌های ناهمگونی بر ترکیب شیمیایی و حالت مخلوط شدن ذرات گردوغبار پرداخته‌اند و به این نتیجه دست یافتند که واکنش‌های ناهمگونی مکانیسم اصلی تولید نیترات و سولفات در ذرات گردوغبار بود. با توجه به جذب گاز اسید توسط ذرات گردوغبار نیترات آروماتیک و سولفات آمونیوم کاهش می‌یابد. لیو و همکاران(۲۰۱۷)[6]، به مطالعه شیب سازی شارژ گردوغبار در شرایط پلاک توکاماک پرداخته‌اند ایشان به این نتیجه رسیدند که ذرات گردوغبار برای دمای نسبتاً کم پلاسمای کم‌تر از EV۱۰ و تراکم پلاسمای کمتر از ۱۰۱۹ متر ۳ بار منفی دارند. نبوی و همکاران(۲۰۱۷)، به پژوهش حساسیت پیش‌بینی‌های آب‌وهوا همراه با شیمی (WRF-CHEM) به مشخصات عملکرد تابع منبع گردوغبار در غرب آسیا اقدام نمودند و به این نتیجه رسیدند که افزایش میانگین همبستگی اسپرمن بین مشاهدات و پیش‌بینی ضریب

[1]- Draxeler
[2]- Hsu
3-Deep Blue aerosol retrieval algorithm
4- Waldhauserova
[5]- Wang
[6]- liu

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.3]

نوری آئروسل را با ۱۲ تا ۱۶ درصد نسبت به اجرای کنترل با استفاده از توابع منبع استاندارد پیش‌بینی می‌کند آن‌ها حتی شبیه‌سازی گردوغبار MACC و DREAM بیش از بسیاری از مناطق گردوغبار بهتر انجام می‌دهد. گودرزی(۲۰۱۸)، به مطالعه و بررسی تشکیل و انتشار توفان گردوغبار ۷-۸ ژانویه ۲۰۱۳ با استفاده از نرم‌افزار HYSPLIT و تصاویر ماهواره‌ای مودیس در شهر اهواز پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که جریانات (باد شمال) با جهت شمال غرب- غرب و جنوب غرب باعث انتقال حجم انبوهی گردوغبار از بیابان‌های کویت، عراق، سوریه و عربستان به سمت جنوب غرب ایران و شهر اهواز شده است که غلظت PM_{10} به بیشترین میزان غلظت در ماه ژانویه رسیده است. رضایی بنفشه و همکاران(۱۳۹۱)، میزان گردوغبار استان کردستان را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برآورد کرده‌اند. نتایج نشان داده است که میزان گردوغبار متوسط به‌طورکلی روندی کاهشی و گردوغبار ضعیف و شدید روند افزایشی داشته‌اند به‌طوری‌که میزان گردوغبار شدید بیشترین روند افزایشی را به خود اختصاص داده است. نیکفال(۱۳۹۳)، با استفاده از مدل WRF-chem به برآورد غلظت ذرات PM_{10} در منطقه ایران پرداخته است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی ذرات PM_{10}، منطقه بین‌النهرین در نزدیکی جنوب غرب ایران را به‌عنوان چشمه اصلی نمایش می‌دهد. طولابی نژاد و همکاران(۱۳۹۷)، به مطالعه تشکیل و منشأ توفان گردوغبار در ژوئن ۲۰۱۵ در منطقه جنوب غرب ایران با استفاده از مدل HYSPLIT پرداختند و نشان دادند که هسته‌های گردوغبار در محدوده‌های غرب عراق، شرق سوریه و عربستان قرار دارند. رضایی بنفشه و همکاران(۱۳۹۸)، به بررسی منشأ گردوغبار فراگیر اردیبهشت ۹۷ وارده به قسمت‌های شرق، جنوب شرق، جنوب، جنوب غرب و مرکز ایران و ردیابی مسیر حرکت آن پرداختند. برای تعیین منشأ گردوغبار، از مدل HYSPLIT به روش پسگرد، طی ۲۴ ساعت قبل از وقوع برای روز موردنظر اجرا و نشان دادند که منشأ گردوغبار منطقه، در شبه‌جزیره عربستان بوده است. صفریان و همکاران(۱۳۹۸)، با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی هیبرید- پانل و شبکه عصبی تطبیقی ANFIS به پیش‌بینی توفان‌های گردوغبار پرداختند. بر اساس مدل‌های پیش‌بینی بیشترین احتمال رخداد حداکثر گردوغبار در ۲۳ سال آینده در دو ایستگاه سرپل ذهاب و آبادان به ترتیب با ۱۲۸/۹، ۱۲۰/۷ درصد خواهد بود. علیزاده و همکاران(۱۳۹۹)، با استفاده از مدل‌های HYSPLIT و WRF-chem به مسیریابی و شبیه‌سازی گردوغبار در شهر کرمانشاه پرداختند. نتایج نشان داد که منشأ گردوغبار در روزهای موردنظر بیابان‌های عراق، سوریه و بخش شمالی عربستان است؛ و همچنین با توزیع مکانی غلظت گردوغبار شبیه‌سازی شده توسط مدل WRF-chem انطباق دارد.

منطقه خاورمیانه به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین چشمه‌های انتشار گردوغبار در جهان است (تاناکا و چیبا،۲۰۰۶:۹۲)[7]. با توجه به اینکه کشور ما نیز در منطقهٔ خشک و نیمه‌خشک جهان (در حدود ۹۱ درصد از مساحت کشور) واقع شده است، اثرات گردوغبار می‌تواند خسارت فاجعه‌بار زیست‌محیطی فراوانی به بار آورد. با توجه به مطالعات انجام شده مذکور برای اجرای این پژوهش اطلاعات کافی در تدوین این پژوهش حاصل شد، پدیده گردوغبار به‌ویژه در غرب ایران و شهر کرمانشاه همواره با مشکلات فراوانی برای ساکنان این مناطق همراه بوده است. این پدیده متأثر از شرایط جوی خاصی است که همه‌ساله خسارات جبران‌ناپذیری را وارد نموده و باعث بروز مشکلات تنفسی می‌شود و کیفیت هوا را کاهش می‌دهد؛ بنابراین به موضوع گردوغبار باید توجه اساسی داشته باشیم. هدف پژوهش حاضر ارزیابی و پیش‌بینی غلظت گردوغبار و سری زمانی وقوع پدیده گردوغبار با استفاده از شبکه عصبی ANN و شبکه عصبی تطبیقی ANFIS می‌باشد.

روش تحقیق

منطقه موردمطالعه

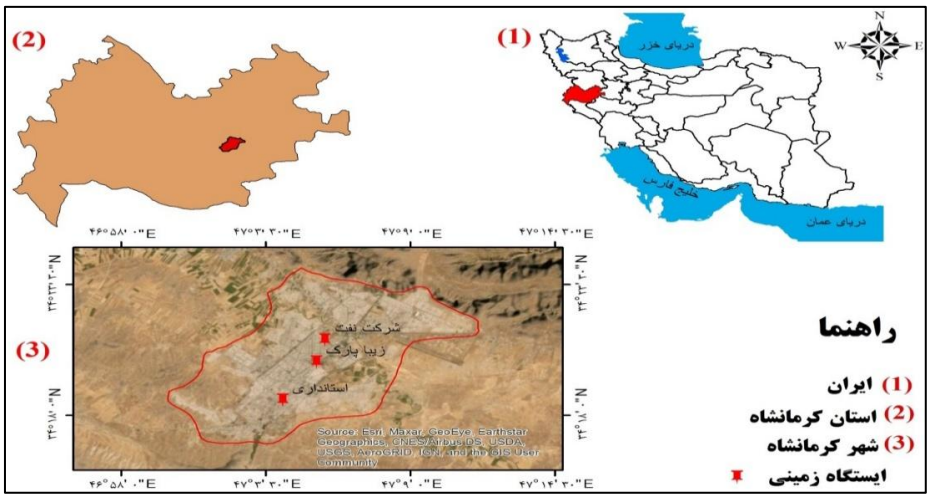
شهرستان کرمانشاه با موقعیت جغرافیایی ′۲۵ °۴۶ تا′۴ °۴۷ طول شرقی و′ ۴۵ °۳۳ تا ′۴ °۳۴ عرض شمالی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. ایستگاه سینوپتیک شهرستان کرمانشاه ۱۴۲۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. طبق سرشماری آماری سال ۱۳۹۵ بیش از یک‌میلیون و ۹۵۲ هزار و ۴۳۴ نفر جمعیت را در خود سکنی داده است که از اثرات توفان‌های

[7]- Tanaka &Chiba

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.3]

گردوغباری متأثر می‌شوند. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی شهرستان کرمانشاه و ایستگاه‌های سه‌گانه مطالعاتی را نشان می‌دهد.



شکل (۱). موقعیت جغرافیایی شهر کرمانشاه و ایستگاه‌های مطالعاتی در استان

روش تحقیق و داده‌ها

در این پژوهش برای ارزیابی و پیش‌بینی گردوغبار در شهر کرمانشاه از داده‌های ۲۰ ساله گردوغبار بین سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۲۰ استفاده شد. داده‌های هواشناسی با وضوح ۳ ساعته بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ برای ایستگاه هواشناسی کرمانشاه از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. با استفاده از داده‌های Google Earth Engine و پروداکت AOD سنجنده MODIS برای مقایسه میزان غلظت PM_{10} با داده‌های اخذ شده از اداره محیط‌زیست کرمانشاه استفاده گردید. برای محقق شدن این هدف از روش شبکه عصبی ANN[۸] برای پیش‌بینی غلظت PM_{10} استفاده گردید و سپس برای خطایابی و پیش‌بینی سری زمانی وقوع گردوغبار از شبکه عصبی تطبیقی ANFIS[۹] استفاده شد. تمامی توفان‌های گردوغبار که حداکثر غلظت ۳ ساعته PM_{10} آن‌ها بزرگ‌تر از ۲۰۰ میلی‌گرم بر مترمکعب بود انتخاب شد. جدول (۱) آنالیز داده‌های ایستگاه‌های زیبا پارک، استانداری و شرکت نفت را که توسط ایستگاه‌های نظارت بر کیفیت هوای کرمانشاه در یک‌زمان ثبت شده است را نشان می‌دهد.

جدول (۱). تجزیه‌وتحلیل آماری PM_{10} در هنگام وقوع گردوغبار در سه ایستگاه کنترل کیفیت هوا در شهر کرمانشاه PM_{10} (µg/m3).

آمار	زیبا پارک	استانداری	شرکت نفت
حداکثر	۳۸۲۷/۱۲	۳۰۵۳/۰۸	۲۴۲۸/۱۸
میانگین	۳۶۹/۱۲	۲۱۲/۰۹	۲۱۸/۳۲
حداقل	۳۴۰/۰۳۴	۱۶۷/۹۹	۱۴۳/۷۷
تعداد توفان‌ها	۲۵	۲۰	۱۷

تحلیل تجربی

ده‌ها نوسان بزرگ و کوچک برای همه متغیرها قبل از شروع توفان‌های گردوغبار وجود دارد؛ بنابراین، از همبستگی پیرسون رابطه (۱) برای یافتن رابطه معنی‌داری بین حداکثر سطح PM_{10} در روزهای گردوغبار و میانگین، حداکثر و

[1]- Artificial neural network
[2]- Adaptive-Network-based Fuzzy Inference Systems

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.3]

حداقل کلیه پارامترهای شامل PM_{10}، فشار هوا (P)، دمای هوا (T)، نقطه شبنم (Td)، رطوبت نسبی (RH)، دیدافقی (Vis)، سرعت باد (WS) و جهت باد (WD)، طی دو روز اولیه قبل از وقوع طوفان گردوغبار استفاده شد.

$$r = \frac{n(\Sigma xy)-(\Sigma x)(\Sigma y)}{\sqrt{(n(\Sigma x^2)-(\Sigma x)^2(n(\Sigma y^2)-(\Sigma y)^2)}} :$$ رابطه (۱)

که x و y متغیر و n تعداد متغیرهاست.

شبکه‌های عصبی مصنوعی

روش تغذیه به جلو شبکه عصبی مصنوعی (ANN) به نام پرسپترون چندلایه است که بسیاری از داده‌های ورودی را بر روی مجموعه‌ای از خروجی‌های سازگار نشان می‌دهد. (MLP) اصلاح پرسپترون خطی استاندارد است و می‌تواند داده‌هایی را که از نظر خطی از هم جدا نیستند بفهمد. یک (MLP) که در این مطالعه مورداستفاده قرار می‌گیرد، شامل لایه‌های مختلف گره در یک نمودار گرا است که هر لایه کاملاً به لایه بعدی وصل می‌شود. به‌جز گره‌های ورودی، هر گره یک نورون (عنصر پردازش) با یک تابع فعال‌سازی غیرخط است. (MLP) از یک روش یادگیری نظارت شده به نام انتشار مجدد برای آموزش شبکه استفاده می‌کند. در این شبکه عصبی لایه‌های ورودی، پنهان و خروجی وجود دارد به‌طوری‌که آن‌ها با وزن‌های سیناپسی به هم وصل شوند. ورودی‌ها شامل هر پارامتری است که با حداکثر PM10 یا فواصل ۳ یا ۱ ساعت در روز گردوغبار رابطه معنی‌داری نشان می‌دهد. لایه پنهان شامل ۳۰ نورون است و لایه خروجی حاوی بیشترین غلظت PM10 در روز گردوغبار است. شبکه عصبی به سه بخش داده تقسیم شده است: آموزش، اعتبار سنجی و آزمایش که ۳۰٪ از حوادث گردوغبار از طریق اعتبار سنجی و آزمایش آنالیز شده و ۴۰٪ از داده‌ها برای آموزش مدل ارائه می‌شوند. سرانجام برای نشان دادن قدرت مدل و نتیجه از ضریب همبستگی خطی رابطه (۲) استفاده شد.

$$R = \left(\frac{\sum_1^n[(y_i - \overline{\hat{y}_i}) \times (y_i - \overline{\hat{y}_i})}{(\sum_1^n (y_i - \hat{\bar{y}}_i)^2 * (y_i - \hat{\bar{y}}_i)])^{0.5}}\right)$$ رابطه (۲)

که در آن Yi و $\overline{Y_i}$ غلظت اندازه‌گیری شده و میانگین غلظت اندازه‌گیری شده PM_{10} می‌باشند، $\overline{Y_i}$ و $\hat{Y}i$ غلظت پیش‌بینی شده و میانگین غلظت پیش‌بینی شده PM_{10} : n نیز مجموع تعدادی از صفر داده‌هاست. باید توجه داشت که مقدار ایده آل برای R برابر ۱ است(هو و همکاران، ۲۰۰۲)[۱۰].

AOD (عمق اپتیکی آئروسل)

داده‌های سنجنده MODIS به‌صورت آماده در قالب پروداکت‌های موضوعی در زمینه‌های مختلف منتشر می‌شود. یکی از این‌ها پروداکت AOD سنجنده است. پروداکت AOD سنجنده MODIS به‌صورت روزانه و با توان تفکیک مکانی ۱ کیلومتری برداشت می‌شود. در حقیقت پروداکت AOD نشان‌دهنده میزان آئروسل‌های موجود در جو و غلظت آن است. هرچقدر مقدار عددی AOD بالاتر باشد میزان آئروسل‌ها نیز بیشتر است و به‌عنوان یکی از داده‌های مهم در مطالعات گردوغبار همواره مورداستفاده قرار می‌گیرد. عمق نوری آئروسل AOD (ضخامت نوری آئروسل) سطحی را نشان می‌دهد که ذرات موجود در هوا از عبور نور از جو جلوگیری می‌کنند. آئروسل‌ها نور خورشید ورودی را پراکنده و جذب می‌کنند و باعث کاهش دید و افزایش عمق نوری می‌شوند. از دید ناظری که روی زمین است با AOD کمتر ۰/۱ آسمان آبی روشن و با حداکثر دید قابل‌مشاهده است. با افزایش AOD از ۰/۱ به ۰/۵ و خصوصاً بالای ۰/۳ گردوغبار آن‌قدر زیاد می‌شود که خورشید قابل‌مشاهده نیست (لیاپوستین و وانگ، ۲۰۱۸)[۱۱].

1- Ho et al., 2002
2- Lyapustin& Wang

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.3]

معرفی و معیارهای مقایسه و ارزیابی دقت در روش‌های پیش‌بینی

به‌منظور مقایسه و ارزیابی روش‌های مختلف پیش‌بینی از معیارهایی نظیر میانگین مجذور خطا[12] و میانگین درصد قدر مطلق خطا[13] استفاده می‌شود که در جدول (۲) اطلاعات مربوط به این معیارها ارائه شده است، مقادیر iy، yi، n به ترتیب نشان‌دهندهٔ مقادیر پیش‌بینی شده، مقادیر واقعی و تعداد داده‌ها می‌باشند (توحیدی و همکاران، ۱۳۹۴:۱۰۷).

جدول (۲). معیارهای مقایسه و ارزیابی دقت در پیش‌بینی

معیار	رابطه‌ها
میانگین مربعات خطا	$\text{MSE}=\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}(y_i-\hat{y}_i)^2$
میانگین درصد قدر مطلق خطا	$\text{MAPE}=\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left\|\frac{y_i-\hat{y}_i}{y_i}\right\|\times 100$

سیستم‌های استنتاج عصبی- فازی تطبیقی ANFIS[14]

در این مرحله امکان مدل‌سازی و پیش‌بینی گردوغبار در منطقهٔ موردمطالعه با استفاده از مدل شبکهٔ عصبی– فازی تطبیقی ANFIS بررسی می‌شود. در این پژوهش پدیدهٔ گردوغبار به‌صورت سری زمانی به طول ۲۰ سال (۲۰۰۰-۲۰۲۰) در مدل شبکه عصبی ANFIS در ایستگاه کرمانشاه در نظر گرفته شده است. در یک سری زمانی متشکل از n نمونه $x_1,x_2,\ldots,x_n$ مقدار آتی رابطه ۳ از مقدار قبلی خود است (صفریان زنگیر و همکاران، ۲۰۱۹).

$$X_k=f(x_{k-1},x_{k2},\ldots,x_{k-p})$$ رابطه (۳)

سیستم فازی یک سیستم مبتنی بر قواعد منطقی "شرط- نتیجه" است که با استفاده از مفهوم متغیرها و روند تصمیم‌گیری فازی، فضای متغیرهای ورودی را بر فضای متغیرهای خروجی تصویر می‌کند. ترکیب سیستم‌های فازی که مبتنی بر قواعد منطقی بوده و روش شبکه‌های عصبی مصنوعی که توان استخراج دانش از اطلاعات عددی را دارند، منجر به ارائه سیستم استنتاج تطبیقی عصبی شده است. یک سیستم فازی سوگنو با دو ورودی، یک خروجی و دو قانون و سیستم ANFIS معادل آن آمده است. این سیستم دارای دو ورودی x و y و یک خروجی f می‌باشد. اگر خروجی هر لایه به‌صورت O_1^1 باشد، (i و i امین گره از لایه j)، ساختار ANFIS از پنج لایه تشکیل می‌شود (احمدزاده و همکاران، ۱۳۸۹، سبحانی و صفریان ۲۰۲۰). در پایان میزان خطای مدل‌های حاصل با هم مقایسه می‌شود و تابعی که کم‌ترین میزان خطا را در کم‌ترین زمان آموزش حاصل کند، به‌عنوان تابع عضویت برگزیده خواهد شد. اصولاً وارد کردن داده‌ها به‌صورت خام باعث کاهش سرعت و دقت شبکه‌ها می‌شود. از اشباع زودهنگام نورون‌ها و یکسان‌سازی ارزش داده‌ها برای شبکه، بایستی ورودی خالص آن‌ها در محدوده تابع سیگموئید (بین ۰ و ۱) قرار می‌گیرد. این کار مانع از کوچک شدن بی‌شمار حد وزن‌ها شده و از اشباع زودهنگام نورون‌ها جلوگیری می‌کند (کنارکوهی، ۱۳۸۹؛ سبحانی و صفریان زنگیر، ۲۰۲۰).

بحث و نتیجه‌گیری

خصوصیات کلی PM_{10} و پارامترهای هواشناسی

طبقه‌بندی ساعتی PM_{10} در جدول (۳) به‌منظور نشان دادن تأثیر توفان گردوغبار بر روی پارامترهای هواشناسی ارائه شده است. به دلیل تغییرات ۳ ساعته میانگین‌های هواشناسی، PM_{10} در همان زمان مشخص طبقه‌بندی شد. افزایش غلظت PM_{10} به‌طور عمده منجر به افزایش سرعت باد از ۲/۷ به ۵ متر بر ثانیه و جهت باد از ۱۴۸ به ۲۴۰ درجه می‌شود درحالی‌که رطوبت نسبی از ۴۶/۶۳ به ۲۴ درصد کاهش می‌یابد. نقطه شبنم و فشار هوا از این روند خطی پیروی نمی‌کنند،

3-Mean Squared Error (MSE)
4-Mean Absolute Percentage Error (MAPE)
1- Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.3]

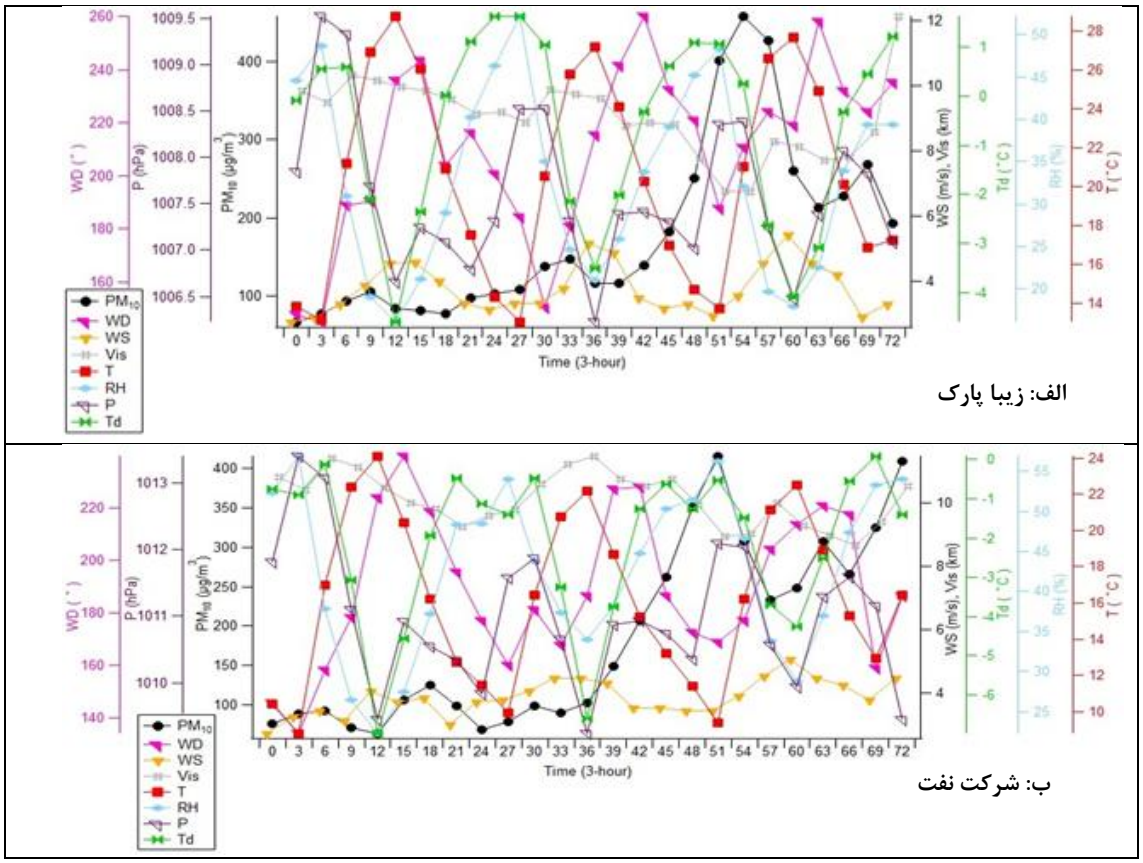
از سطح توفان گردوغبار (LDs) و افزایش بیشتر دما از ۱۱,۲ تا ۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار هوا از ۱۰۱۰,۵ به ۱۰۱۵,۹ هکتوپاسکال رخ داده است. بیشتر توفان گردوغبار در کلاس DS و در منطقه زیبا پارک رخ داده است.

جدول (۳). طبقه‌بندی PM_{10} بر اساس میانگین ۳ ساعته در کرمانشاه و تأثیر ارتباطشان بر روی پارامترهای هواشناسی (CD): روزهای پاک؛ ND: روزهای نرمال؛ LDS: طوفان گردوغبار کم؛ DS: طوفان گردوغبار؛SDS : توفان گردوغبار شدید؛ WD: جهت باد؛ WS: سرعت باد؛ T: دما؛ Td : نقطه شبنم؛ P: فشار؛ RH : رطوبت نسبی)

PM10 RENG (µg/m3)		PM_{10} mean (µg/m3)	Vis(m)	WD (º)	WS (m/s)	T (ºc)	TD (ºc)	P (hpa)	RH (%)	Frequency (hour)	%
۵۰-۰	(CD)	۴۲/۳۲	۱۰۰۰	۱۴۸	۲/۷	۳/۴	۶/۲	۱۰۱۵/۷	۴۶/۶۳	۱۵۷۳	۴۶/۰۸
۲۷۳-۵۰	(ND)	۹۴/۹	۹۰۰	۱۶۴	۲/۹	۸/۲	۷/۵	۱۰۱۰/۸	۳۵/۴	۳۲۴۶	۵۰/۴۹
۹۰۰-۲۷۳	(LDs)	۴۰۵/۴	۶۰۰۰	۱۷۰	۳/۳	۱۱/۲	۴/۴	۱۰۱۱/۴	۳۷/۸	۱۴۶	۳/۰۱
۳۰۰۰ -۹۰۰	(DS)	۱۳۵۱/۰۵	۵۰۰	۱۹۰	۲/۷	۲۰/۶	۸/۹	۱۰۱۲/۷	۲۹/۸	۲۰	۰/۴۱
۱۰۰۰۰-۳۰۰۰	(SDs)	۳۱۱۶/۰۷	۲۰۰	۲۴۰	۲/۳	۱۸/۹	۵/۴	۱۰۱۵	۲۴	۱	۰/۰۰۲

تجزیه‌وتحلیل ذرات گردوغبار PM_{10}، دید افقی و پارامترهای هواشناسی

مشخصات عمومی (حداکثر و حداقل) پارامترهای هواشناسی ساعتی، دید افقی و PM_{10} در روزهای گردوغباری دو روز قبل از روز توفان گردوغبار در شکل (۲) برای هر ایستگاه به‌طور جداگانه نمایش داده شده است؛ که در هر سه ایستگاه زیبا پارک، استانداری و شرکت نفت با افزایش غلظت PM_{10}، دید افقی، سرعت باد، دما، نقطه شبنم و رطوبت نسبی روند کاهشی داشته‌اند؛ اما فشار هوا در این سه روز روندی افزایش را داشته است.

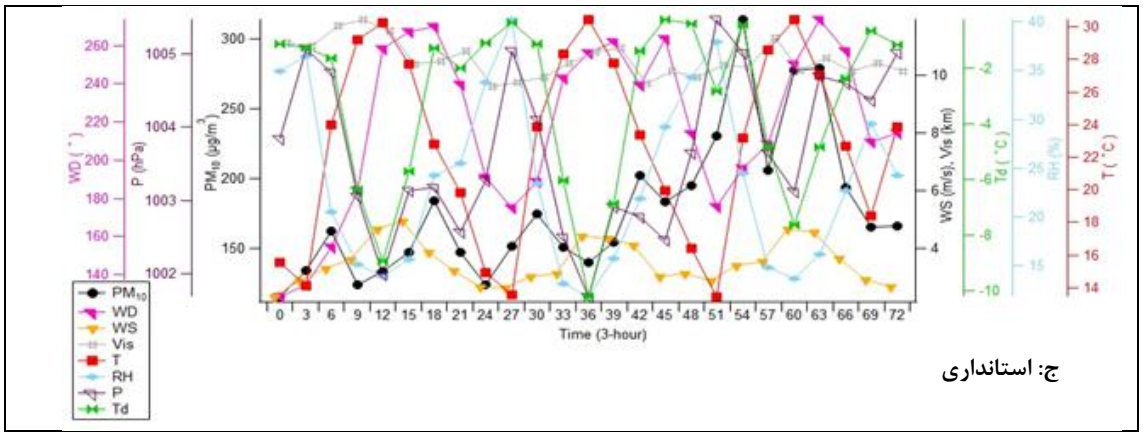


الف: زیبا پارک

ب: شرکت نفت

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.3]



شکل (۲). تغییرات زمانی ذرات گردوغبار (PM_{10})، دید افقی و پارامترهای هواشناسی در ایستگاه‌های الف: زیبا پارک، ب: شرکت نفت، ج: استانداری در طول روزهای توفان گردوغبار و دو روز قبل از توفان گردوغبار.

در روش هوش مصنوعی و از جمله روش‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی هر چه تعداد داده‌ها بیشتر باشد کارکرد شبکه بهتر می‌شود، اما از طرف دیگر این افزایش حجم داده‌ها باعث می‌شود سرعت یادگیری و نیز اجرای مدل کند شود و همچنین امکان ایجاد اختلال نیز در شبکه وجود دارد. به‌طوری‌که برای تعیین بهترین و مناسب‌ترین متغیرهای ورودی به شبکه، با استفاده از نرم‌افزار SPSS آزمون همبستگی بین داده‌ها انجام شد. داده‌هایی که همبستگی بالاتری با خروجی هر مدل را نشان دادند به‌عنوان ورودی انتخاب شده و در صورت عدم کارایی مناسب از مدل حذف شده و متغیر بعدی جایگزین آن گردید. در ساخت مدل همواره سعی شد تا با کمترین تعداد ورودی‌ها کار پیش‌بینی انجام شود، در دو ایستگاه زیبا پارک جدول (۴) و شرکت نفت جدول (۵) نشان داده شده است که بیشترین همبستگی بین گردوغبار و پارامترهای هواشناسی در ایستگاه زیبا پارک با تعداد ۲۵ توفان گردوغبار وجود داشته است؛ که در نهایت متغیرهای حداکثر دما، حداکثر نقطه شبنم، حداقل نقطه شبنم، حداکثر رطوبت نسبی، حداقل رطوبت نسبی و حداکثر PM_{10} با بیشترین همبستگی در ایستگاه زیبا پارک به‌عنوان ورودی‌های مدل انتخاب شدند. از دلایل نتایج مطلوب در ایستگاه زیبا پارک می‌توان به اولاً، از زمان نصب ایستگاه زیبا پارک، غلظت PM_{10} با دقت دهم و صدم پس از نقطه اعشاری ثبت شده است. ثانیاً از منطقه پررفت‌وآمد دور است، اشاره نمود. این دلایل باعث شد زیبا پارک به‌عنوان ایستگاه مناسبی برای نشان دادن رابطه معنی‌داری بین حداقل نقطه شبنم، رطوبت نسبی، دما و حداکثر غلظت PM_{10} در طول روزهای گردوغباری شناخته شود؛ و علاوه بر این، همبستگی ضعیف PM_{10} و پارامترهای هواشناسی در دو ایستگاه شرکت نفت و استانداری نشان‌دهندهٔ کیفیت پایین اندازه‌گیری PM_{10} بوده که می‌تواند دلیل اصلی همبستگی ناچیز کلیه متغیرها برای این دو ایستگاه باشد.

جدول (۴). تجزیه‌وتحلیل همبستگی پیرسون بین حداکثرهای PM_{10} (mp) در طول روزهای گردوغباری، حداکثر (X) و حداقل PM ((N))، دید افقی و پارامترهای هواشناسی در طی روزهای ۲ و ۱ (دوم و یکم) قبل از روزهای وقوع گردوغبار در ایستگاه زیبا پارک از طریق فواصل (۱ ساعت و ۳ ساعت) (n= ۲۵ تعداد توفان‌های گردوغبار).

زیبا پارک	PM_{10} 1hmp 2ndd		PM_{10} 3hmp 2ndd		PM_{10} 1hmp 1std		PM_{10} 3hmp 1std	
	R	P-Value	r	P-Value	R	P-Value	R	P-Value
PM10 1h x	-۰/۲۰۸	۰/۳۱۸	-۰/۲۱۷	۰/۲۹۶	-۰/۰۸۰	۰/۷۰۵	-۰/۰۵۳	۰/۸۰۰
PM10 3h x	-۰/۱۴۷	۰/۴۸۳	-۰/۱۶۰	۰/۴۴۵	۰/۶۱۷**	۰/۰۰۱	۰/۶۵۲**	۰/۰۰۰
Vis x	۰/۰۸۰	۰/۷۰۴	۰/۱۰۵	۰/۶۱۸	۰/۱۴۳	۰/۴۹۶	۰/۱۳۸	۰/۵۱۱
Vis n	-۰/۵۵۸**	۰/۰۰۴	-۰/۵۵۷**	۰/۰۰۴	-۰/۲۵۴	۰/۲۲۱	-۰/۲۲۳	۰/۲۸۴
WD x	-۰/۲۶۶	۰/۱۹۹	-۰/۳۱۹	۰/۱۲۰	۰/۲۹۶	۰/۱۵۱	۰/۲۶۲	۰/۲۰۵

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.3]

WD n	۰/۱۸۹	۰/۳۶۵	۰/۲۱۷	۰/۲۹۸	-۰/۰۱۱	۰/۹۶۰	-۰/۰۶۲	۰/۷۶۹
WS x	-۰/۰۶۶	۰/۷۵۲	-۰/۰۷۳	۰/۷۲۹	۰/۲۷۶	۰/۱۸۲	۰/۳۲۰	۰/۱۱۹
WS n	-۰/۱۵۳	۰/۴۶۵	-۰/۱۹۸	۰/۳۴۴	-۰/۰۷۱	۰/۷۳۸	-۰/۰۵۱	۰/۸۰۹
T x	-۰/۱۵۳	۰/۴۶۴	-۰/۱۹۹	۰/۳۴۱	-۰/۳۸۶	۰/۰۵۶	-۰/۵۲۶*	۰/۰۳۴
T n	-۰/۰۵۰	۰/۸۱۳	-۰/۱۱۳	۰/۵۹۲	۰/۰۱۲	۰/۹۵۵	-۰/۰۴۶	۰/۸۲۷
Td x	۰/۴۶۵*	۰/۹۱۶	۰/۴۳۹*	۰/۰۲۸	۰/۶۶۳**	۰/۰۰۰	۰/۶۶۴**	۰/۰۰۰
Td n	-۰/۱۷۵	۰/۴۰۲	-۰/۱۸۹	۰/۳۷۳	۰/۶۸۶**	۰/۰۰۰	۰/۶۸۳**	۰/۰۰۰
P x	۰/۱۱۵	۰/۵۸۴	۰/۱۶۹	۰/۴۲۰	۰/۱۱۶	۰/۵۸۱	۰/۱۶۹	۰/۴۱۹
P n	۰/۱۴۷	۰/۴۸۲	۰/۱۹۵	۰/۳۵۱	۰/۱۹۴	۰/۳۵۲	۰/۲۳۴	۰/۲۶۰
RH x	۰/۳۶۷	۰/۰۷۱	۰/۴۲۱*	۰/۰۳۶	۰/۴۶۷*	۰/۰۱۹	۰/۵۱۵**	۰/۰۰۸
RH n	۰/۱۲۶	۰/۵۴۸	۰/۱۵۶	۰/۴۵۸	۰/۶۹۳**	۰/۰۰۰	۰/۷۲۵**	۰/۰۰۰

*.همبستگی در سطح ۰/۰۵ معنادار است. **همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنادار است.

جدول (۵). تجزیه‌وتحلیل آماری پیرسون بین پیک اصلی PM10 (mp) در طول روزهای گردوغباری و (حداکثر (X) و حداقل (N)) PM10 و پارامترهای هواشناسی در طی روزهای (دوم و یکم) قبل از روزهای توفان گردوغبار در ایستگاه شرکت نفت تعداد ۱۷ از طریق ایستگاه شرکت نفت ۱ و ۳ ساعته (۱ ساعت و ۳ ساعت) فواصل زمانی.

شرکت نفت	PM_{10} 1hmp 2ndd		PM_{10} 3hmp 2ndd		PM_{10} 1hmp 1std		PM_{10} 3hmp 1std	
	R	**P-Value**	**R**	**P-Value**	**r**	**P-Value**	**R**	**P-Value**
PM10 1h x	۰/۱۰۹	۰/۶۷۷	-۰/۱۴۴	۰/۵۸۱	۰/۳۲۵	۰/۲۰۳	-۰/۰۷۳	۰/۷۲۸
PM10 3h x	۰/۰۷۰	۰/۷۸۹	-۰/۱۴۹	۰/۵۶۹	۰/۶۱۳**	۰/۰۰۹	۰/۲۶۴	۰/۳۰۵
Vis x	-۰/۲۶۸	۰/۲۸۹	۰/۱۷۵	۰/۵۰۲	-۰/۰۲۹	۰/۹۱۲	۰/۱۲۷	۰/۶۲۸
Vis n	-۰/۴۸۵*	۰/۰۴۹	-۰/۳۰۷	۰/۲۳۱	-۰/۰۰۲	۰/۹۹۴	۰/۰۹۱	۰/۷۲۹
WD x	-۰/۱۱۱	۰/۶۷۱	-۰/۰۴۵	۰/۸۶۳	۰/۲۱۲	۰/۴۱۳	-۰/۰۷۳	۰/۷۸۲
WD n	-۰/۰۳۹	۰/۸۸۹	-۰/۰۰۶	۰/۹۸۰	-۰/۰۴۷	۰/۸۵۸	-۰/۱۴۷	۰/۵۷۲
WS x	-۰/۳۱۱	۰/۲۲۴	-۰/۴۰۸	۰/۱۰۴	۰/۱۳۱	۰/۶۱۶	-۰/۱۵۲	۰/۵۶۱
WS n	.c		.c		۰/۳۸۳	۰/۱۲۹	۰/۳۰۲	۰/۲۳۹
T x	-۰/۰۷۹	۰/۷۶۳	-۰/۲۶۸	۰/۲۹۷	-۰/۱۸۴	۰/۴۸۱	-۰/۲۷۲	۰/۲۹۰
T n	-۰/۲۰۷	۰/۴۲۶	-۰/۴۱۸	۰/۰۹۵	-.۰/۱۹۵	۰/۴۵۳	-۰/۳۵۷	۰/۱۶۰
Td x	۰/۱۲۹	۰/۶۲۳	۰/۰۸۳	۰/۷۵۰	۰/۱۸۶	۰/۴۵۷	۰/۱۶۹	۰/۵۱۶
Td n	۰/۰۹۱	۰/۷۲۸	۰/۱۳۲	۰/۶۱۳	۰/۳۴۰	۰/۱۸۱	۰/۳۸۴	۰/۱۲۸
P x	۰/۱۶۹	۰/۵۱۷	۰/۲۵۳	۰/۳۲۸	۰/۱۳۱	۰/۶۱۷	۰/۲۸۲	۰/۲۷۳
P n	۰/۲۳۶	۰/۳۶۱	۰/۳۲۴	۰/۲۰۵	۰/۲۱۵	۰/۴۰۸	۰/۳۶۱	۰/۱۵۵
RH x	۰/۱۸۰	۰/۴۹۰	۰/۱۴۱	۰/۵۸۹	۰/۲۶۵	۰/۳۰۳	۰/۱۶۳	۰/۵۳۲
RH n	۰/۱۱۹	۰/۶۴۹	-۰/۰۱۷	۰/۹۴۷	۰/۰۴۷	۰/۸۵۷	-۰/۰۵۵	۰/۸۳۳

*.همبستگی در سطح ۰/۰۵ معنادار است. **همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنادار است.

مدل پیش‌بینی غلظت توفان گردوغبار با استفاده از شبکه عصبی ANN

در این مطالعه، به دلیل رابطه معنی‌داری بین غلظت PM_{10} در ایستگاه زیبا پارک شهر کرمانشاه و پارامترهای هواشناسی، دما، دمای نقطه شبنم و رطوبت نسبی در روز اول قبل از وقوع توفان گردوغبار از مدل ANN برای پیش‌بینی غلظت

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

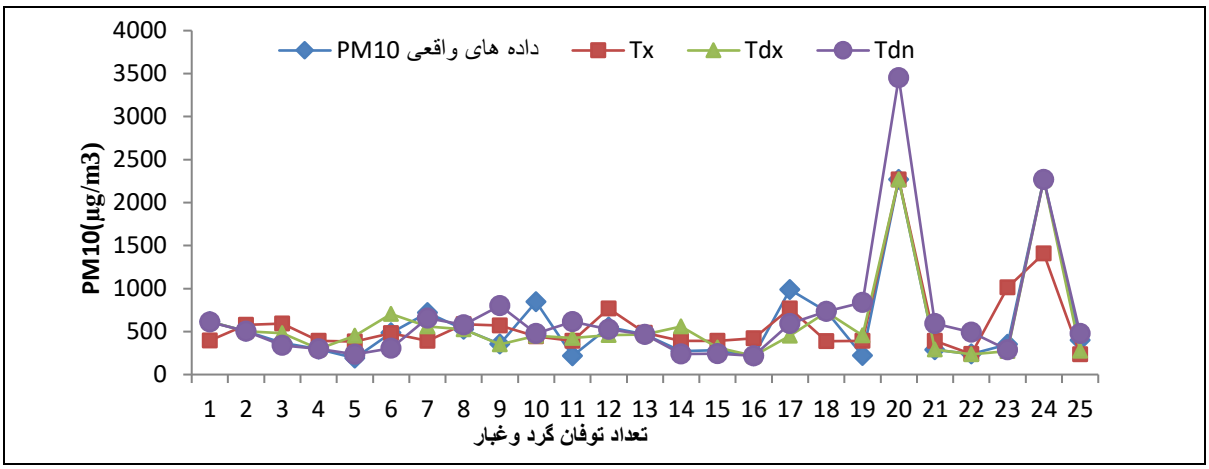
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.3]

PM_{10} استفاده شد. شبکه عصبی ANN شامل سه لایه ورودی، پنهان و خروجی است، ورودی شامل پارامترهای غلظت PM_{10}، حداکثر دما، حداقل نقطه شبنم، حداکثر نقطه شبنم، حداقل رطوبت نسبی، حداکثر رطوبت نسبی و حداکثر PM_{10} سه‌ساعته می‌باشد. لایه پنهان شامل ۵۰ نورون و خروجی که حاوی پیش‌بینی غلظت PM_{10} در روزهای گردوغباری است. در مدل ANN برای رویداد غلظت گردوغباری در جدول (۶) داده‌های آموزش، اعتبارسنجی، آزمون و R^2 نمایش داده شد که در آن خروجی‌های این مدل حداکثر نقطه شبنم، حداکثر رطوبت نسبی، حداقل رطوبت نسبی در روز قبل از توفان گردوغباری و حداکثر PM_{10} به‌طورکلی، با توجه به ضریب همبستگی خطی تجمعی (R^2=۰/۹٤)، (R^2 = ۰/۹۵)، (R^2 = ۰/۹۵) و (R^2 =۰/۹۶) متغیرهای خوبی برای پیش‌بینی غلظت توفان‌های گردوغبار در سطح شهر کرمانشاه می‌باشند.

جدول (۶). ضرایب همبستگی چهار بخش آموزش، اعتبارسنجی، آزمون و تجمعی بین پیک مشاهده شده (هدف) و پیش‌بینی شده (خروجی) PM_{10} (میکروگرم بر مترمکعب) در طی روزهای توفانی گردوغبار.

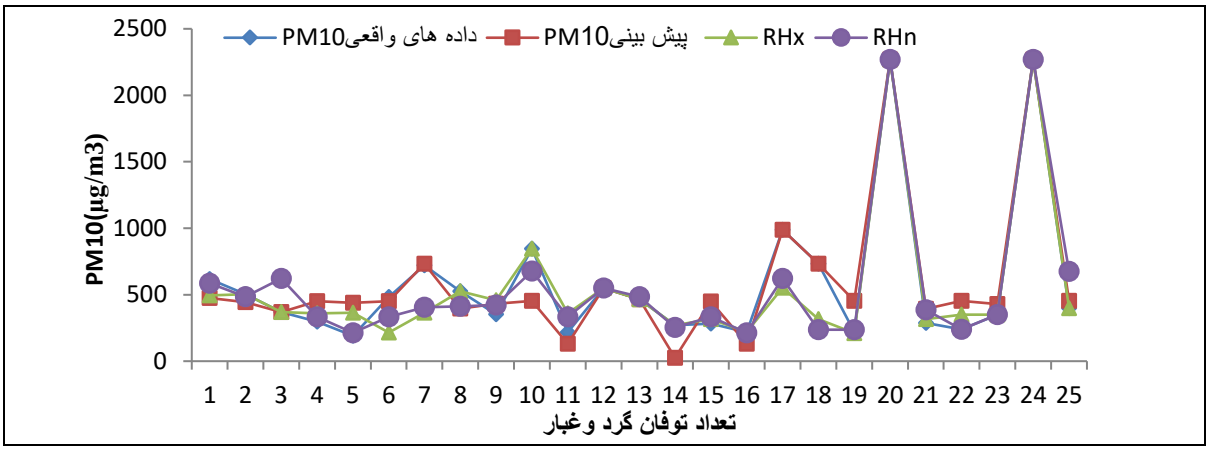
پارامترهای هواشناسی	آموزش	اعتبار سنجی	آزمون	R^2
حداکثر دما	۰/۹۱۵	۰/۹۹۷	۰/۰۴۸	۰/۸۵
حداکثر نقطه شبنم	۰/۹۵۶	۰/۹۶۱	۰/۴۷۹	۰/۹۴
حداقل نقطه شبنم	۰/۹۶۳	۰/۵۲۸	۰/۹۷۷	۰/۸۹
حداکثر رطوبت نسبی	۰/۹۷۵	۰/۸۰۳	۰/۹۶۷	۰/۹۵
حداقل رطوبت نسبی	۰/۹۶۶	۰/۹۴۸	۰/۶۰۳	۰/۹۵
حداکثر PM_{10}	۰/۹۵۹	۰/۹۹۰	۰/۷۴	۰/۹۶

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از شبکه عصبی طراحی شده ANN، حداکثر میزان غلظت گردوغبار پیش‌بینی شده مربوط به حداقل نقطه شبنم شکل (۳) به میزان ۳۴۵۱/۲۳ میکروگرم بر مترمکعب برآورد شده است و کمترین غلظت نیز مربوط به حداقل نقطه شبنم با ۲۱۸/۳۲۳ میکروگرم بر مترمکعب می‌باشد. در نتایج به‌دست‌آمده در شکل (۴) از مقایسه داده‌های واقعی و داده‌های پیش‌بینی شده حداکثر میزان غلظت مربوط به حداقل رطوبت نسبی به میزان ۲۲۶۹/۵۲ میکروگرم بر مترمکعب است و کمترین مقدار پیش‌بینی شده مربوط به حداکثر PM_{10} ۳، ساعته به مقدار ۲۳/۳۶۸ میکروگرم بر مترمکعب می‌باشد.



شکل (۳). نتایج پیش‌بینی مدل ANN با استفاده از داده‌های حداکثر دما، حداکثر نقطه شبنم و حداقل نقطه شبنم

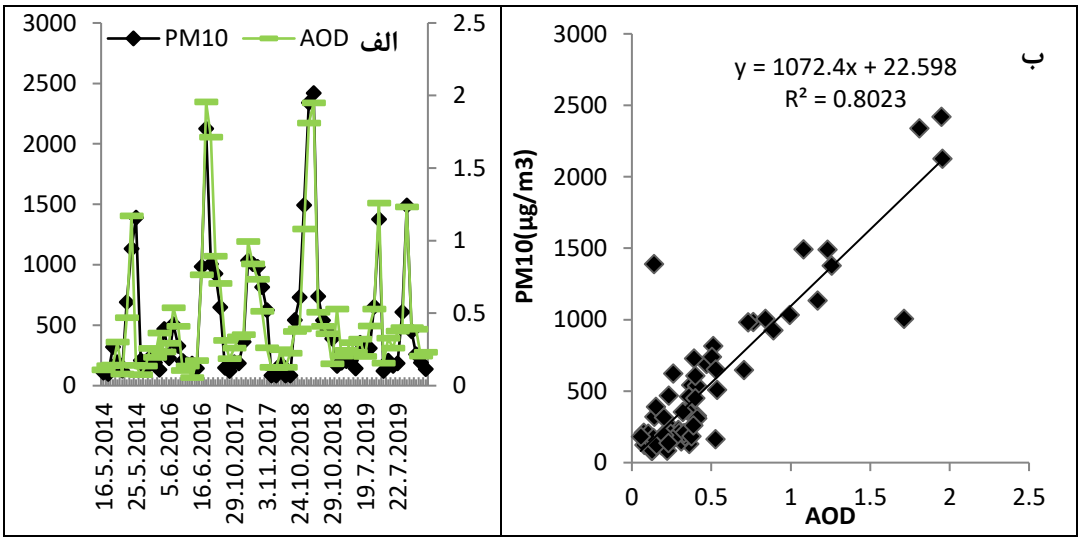
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.3]



شکل (۴). نتایج پیش‌بینی مدل ANN با استفاده از داده‌های حداکثر رطوبت نسبی، حداقل رطوبت نسبی و حداکثر PM10

صحت سنجی و اعتبار سنجی اولیه برای پیش‌بینی

همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود همبستگی بسیار خوبی بین PM_{10} داده‌های واقعی و مقادیر AOD مشتق شده از ماهواره MODIS (R=۰/۸؛ n=۷۱) در منطقه موردمطالعه وجود دارد. شکل ۵ (الف) نمودار پراکندگی AOD در مقابل PM_{10} را برای ماه‌های می ۲۰۱۴، ژوئن ۲۰۱۶، اکتبر ۲۰۱۸ و جولای ۲۰۱۹ نشان می‌دهد. بیشترین میانگین مقادیر AOD روزانه طی سه رویداد مهم گردوغبار به ترتیب ۱/۱۷، ۱/۹۵ و ۱/۹۵ در جولای ۲۰۱۹، ۱/۲۶ است. در پژوهش‌های مشابهی که توسط دی و همکاران (۲۰۰۴) گزارش شده، نشان‌دهنده AOD بالا در توفان‌های گردوغبار است. بعدازآن برای دهلی‌نو؛ شارما و همکاران (۲۰۱۲) و آلام و همکاران (۲۰۱۴) در خاورمیانه و جنوب غرب آسیا پژوهش‌هایی صورت گرفته است؛ بنابراین، بررسی ویژگی‌های نوری ساعتی ممکن است علائم قابل‌توجهی را قبل از وقوع توفان‌های شدید گردوغبار در مطالعات آینده پیدا کند.



شکل (۵). (الف) سری زمانی PM10 و MODIS AOD (۵۵۰ نانومتر) بیش از کرمانشاه برای پنج رویداد مهم توفان گردوغبار در فوریه ۲۰۱۴، ژوئن ۲۰۱۶، اکتبر ۲۰۱۸ و جولای ۲۰۱۹. (ب) پراکندگی PM10 و AOD.

با توجه به داده‌های AOD، دما، نقطه شبنم و رطوبت نسبی در ۲۰ سال آماری، برای ساخت مدل، ۱۸۹۰ سری داده (حدود ۸۰ درصد) جهت آموزش و (حدود ۲۰ درصد) جهت آزمون در مدل مورداستفاده قرار گرفت. در این پژوهش با کدنویسی در نرم‌افزار MATLAB، مدل‌سازی به روش ANFIS انجام شد و تابع عضویت مطلوب از میان توابع مختلف

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.3]

مثلثی، زنگوله‌ای و گاوسی و درجه عضویت مناسب آن‌ها برای هر ترکیب ورودی از آزمون سعی و خطا به دست آمد. نتایج شبیه‌سازی و نمایه‌های آماری مربوط به آن‌ها شامل میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین درصد قدر مطلق خطا (MAPE) برای آموزش و تطبیق با سیستم، استنتاج فازی استفاده شد. نتایج حاصل از مدل‌سازی به روش ANFIS برای تعیین بهترین ترکیب ورودی هر یک از دسته‌های اشاره شده به همراه ساختار معماری شبکه آن‌ها و آماره‌های حاصل از آموزش و آزمون در جدول (۷) آمده است. با توجه به جدول (۷) در شبکه‌ها مشاهده می‌شود که از بین توابع عضویت مختلف، تابع عضویت زنگوله‌ای خطی، با درجه عضویت ۳ با پایین‌ترین مقادیر به‌دست‌آمده MAPE، RMSE (به ترتیب ۰/۱۰۷۴۴۷، ۰/۱۱۷۰۲۱) مطلوب‌ترین تابع بهترین ترکیبات ورودی اکثر دسته‌ها را به خود اختصاص داده است؛ و در نهایت می‌توان گفت سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی (ANFIS) با بهره‌گیری از تلفیق دو روش عصبی و فازی، روشی توانا در پیش‌بینی گردوغبار می‌باشد.

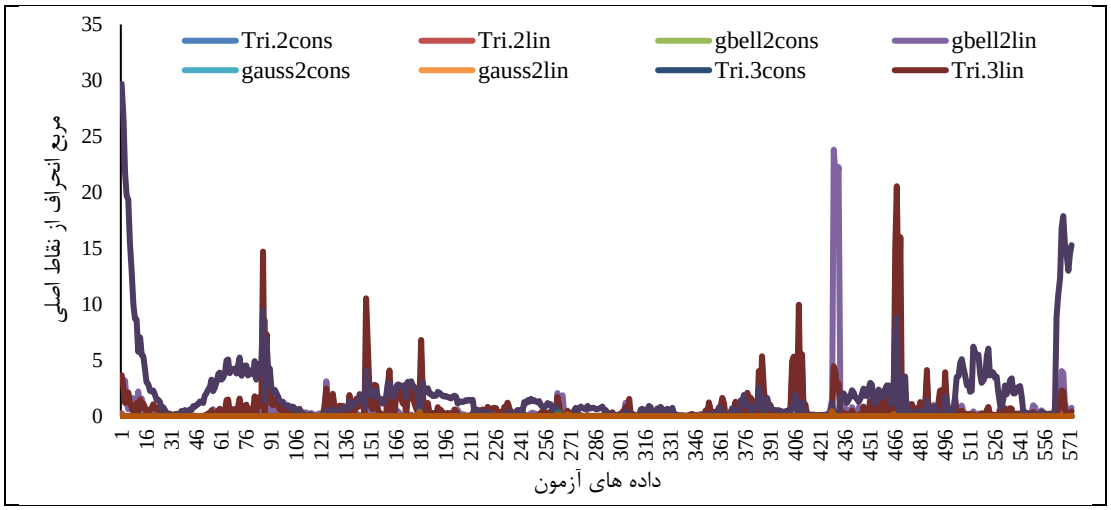
جدول (۷). مقادیر نمایه‌های مختلف آماری RMSE و MAPE برای شبکه فازی- عصبی تطبیقی ANFIS

تابع عضویت مطلوب	لایه خروجی	درجه توابع عضویت	مرحله آموزش		مرحله آزمون	
			RMSE	MAPE	RMSE	MAPE
مثلثی	ثابت	۲	۰/۱۳۳۷۸۱	۰/۱۰۱۹۳۹	۰/۰۷۷۹۳۵	۰/۰۹۷۳۳۵
زنگوله‌ای	ثابت	۲	۰/۲۲۹۲۳۴	۰/۴۴۰۱۲۸	۰/۱۷۶۹۲۱	۰/۸۰۱۳۷۹
گاوسی	ثابت	۲	۰/۷۷۷۰۶۶	۲/۳۷۰۰۵۸	۰/۷۵۹۹۷۲	۳/۶۷۰۷۱۸
مثلثی	ثابت	۳	۰/۱۳۲۹۸۲	۰/۱۲۸۱۷۳	۰/۰۷۸۲۰۳	۰/۱۷۸۱۹۹
زنگوله‌ای	ثابت	۳	۰/۷۸۱۹۱۳	۲/۰۹۱۶۹۲	۰/۸۵۹۹۴۶	۳/۷۹۰۶۳۹
گاوسی	ثابت	۳	۱/۲۹۱۷۰۴	۶/۱۲۹۱۲۱	۱/۳۵۰۳۴۸	۱۰/۶۳۵۱۱
مثلثی	خطی	۲	۰/۱۳۲۹۵۶	۰/۰۹۹۹۹۲	۰/۰۷۷۴۶۳	۰/۲۶۲۰۰۷
زنگوله‌ای	خطی	۲	۰/۱۲۶۹۵۶	۰/۱۰۹۴۳	۰/۰۸۰۴۵۷	۰/۲۵۱۲۷۶
گاوسی	خطی	۲	۰/۱۲۸۶۳۳	۰/۱۱۳۷۲۲	۰/۰۷۹۰۵۷	۰/۲۴۶۷۸۷
مثلثی	خطی	۳	۰/۱۲۷۲۱۸	۰/۱۱۰۵۵۸	۰/۰۷۸۳۹۵	۰/۳۵۰۹۶۷
زنگوله‌ای	خطی	۳	۰/۱۰۷۴۴۷	۰/۱۱۷۰۲۱	۰/۰۷۸۲۱۹	۰/۱۲۲۱۵
گاوسی	خطی	۳	۰/۱۲۲۴۴۹	۰/۱۰۴۵۸۷	۰/۰۸۱۷۴۸	۰/۱۷۲۴۶

شکل (۶) انحراف از مقادیر داده‌های واقعی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، کمترین انحراف از مقادیر، مربوط به تابع عضویت زنگوله‌ای خطی با درجه عضویت ۳ می‌باشد. این نمودار به‌وضوح نشان می‌دهد که ANFIS از نظر دقت با موفقیت می‌تواند پیش‌بینی کند.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

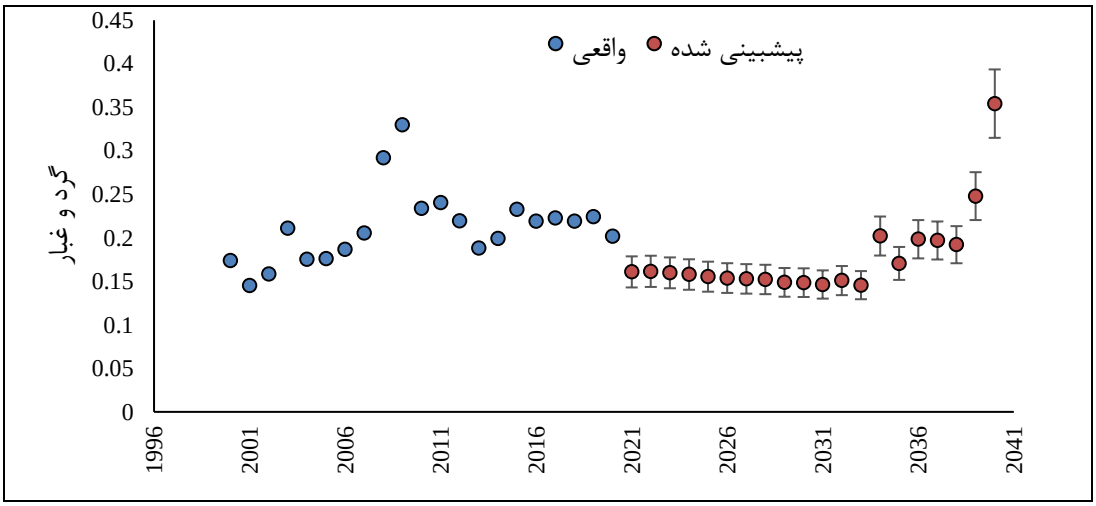
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.3]



شکل (۶). مربعات انحراف از داده‌های واقعی

پیش‌بینی فراوانی گردوغبار برای سال‌های آینده

با توجه به خطا سنجی و اعتبار سنجی صورت گرفته و داده‌های حاصل از آن، با استفاده از مدل شبکه ANFIS با اطمینان بیش‌تر می‌توان داده‌های گردوغبار را برای ۲۰ سال آینده پیش‌بینی کرد. بر اساس داده‌های به‌دست‌آمده از پیش‌بینی در ایستگاه موردمطالعه شکل (۷) روندی کاهشی- افزایشی را نشان می‌دهد که با یک روند افزایشی از سال ۲۰۳۱ تا ۲۰۴۱ سیر صعودی برای این سال‌ها نشان می‌دهد.



شکل (۷). روند سری زمانی سال‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده گردوغبار در ایستگاه کرمانشاه

نتیجه‌گیری

مخاطرات طبیعی در مناطق مختلف کرهٔ زمین آثار زیان باری بر روی موجودات زنده به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم می‌گذارد. یکی از این بلایای طبیعی گردوغبار در جنوب غرب آسیا به‌ویژه در کشور ایران است، توجه به این نوع مخاطرات طبیعی گردوغبار و شناسایی مناطق درگیر با آن موجب ارتقای کیفیت زندگی و افزایش سلامت موجودات زنده می‌شود. با توجه به مطالعات انجام گرفته در داخل و خارج کشور، در زمینهٔ مدل‌سازی و پیش‌بینی شناسایی مناطق مستعد گردوغبار در سال‌های آتی که بتواند دیدی کلی‌تر از آیندهٔ گردوغبار را به ما نشان دهد تحقیق یا پژوهشی که دقت و کفایت موضوع را در برگرفته باشد وجود ندارد و اگر هم باشد، بسیار نادر است. در پژوهش حاضر مدل‌سازی و پیش‌بینی مخاطره‌ای گردوغبار در شهر کرمانشاه با استفاده از مدل‌های ANN و ANFIS مورد ارزیابی قرار گرفت. در این پژوهش ابتدا به

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.3]

بررسی آماری گردوغبار در ایستگاه کرمانشاه پرداخته شد و در ادامه امکان شبیه‌سازی آن با مدل‌های ANN برای پیش‌بینی غلظت گردوغبار و ANFIS برای پیش‌بینی سری زمانی گردوغبار موردبررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از شبکه عصبی طراحی شده ANN حداکثر میزان غلظت گردوغبار پیش‌بینی شده مربوط به حداقل نقطه شبتم به میزان ۳۴۵۱/۲۳ میکروگرم بر مترمکعب برآورد شده است. همچنین نتایج پیش‌بینی سری زمانی با استفاده از مدل ANFIS نشان داد تابع عضویت زنگوله‌ای خطی با درجه ۳، با مقادیر RMSE=۰/۱۰۷۴۴۷ و ۰/۱۱۷۰۲۱ =MAPEدر مرحله آموزش و RMSE=۰/۰۷۸۲۱۹ و MAPE=۰/۱۲۲۱۵ در مرحله آزمون، مطلوب‌ترین تابع ورودی را در بین دیگر توابع عضویت به خود اختصاص داده است. مدل ANFIS از قابلیت بالایی در پیش‌بینی گردوغبار در ایستگاه‌های کرمانشاه برخوردار می‌باشد و با اطمینان حدود ۹۴ درصد گردوغبار را پیش‌بینی می‌کند. این نتیجه نشان می‌دهد، ساختار تعیین شده برای مدل با چهار تابع عضویت و روش آموزش هیبرید، ساختار و آموزش مناسبی جهت پیش‌بینی گردوغبار در منطقه موردمطالعه می‌باشد. روش مورداستفاده در پژوهش حاضر در اکثر مطالعات که صورت گرفته، روش مناسبی در امر پایش، آنالیز و مقایسه عنوان شده است، از جمله: برومندی و همکاران (۱۳۹۵)؛ منشأیابی ذرات گردوغبار با بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها و مدل‌سازی عددی در شهرستان مسجدسلیمان؛ صحرایی و همکاران (۱۳۹۶)؛ ردیابی توفان گردوغبار (مطالعه موردی خوزستان)؛ صفریان زنگیر و همکاران (۱۳۹۷)؛ بررسی گردوغبار و ارزیابی امکان پیش‌بینی آن در استان اردبیل با استفاده از مدل ANFIS، سبحانی و همکاران (۱۳۹۸)؛ واکاوی و پیش‌بینی پدیده گردوغبار در جنوب غرب ایران و علیزاده و همکاران (۱۳۹۹)؛ ردیابی و شبیه‌سازی توفان گردوغبار شهر کرمانشاه، دقت قابل‌قبول مدل را تأیید نمودند. استفاده از داده‌های سه‌ساعته حداکثر و حداقل کلیه پارامترهای PM_{10}، فشار هوا، دمای هوا، نقطه شبنم، رطوبت نسبی، دید افقی، سرعت باد و جهت باد در این پژوهش نقش و اهمیت عناصر مختلف را در ارزیابی و پیش‌بینی گردوغبار به نمایش گذاشت.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.3]

منابع

احمدزاده قره گویز، کاوه؛ میرلطفی، مجید؛ محمدی، کورش (۱۳۸۹). مقایسه سیستم‌های هوش مصنوعی در (ANN و ANFIS) در تخمین میزان تبخیر تعرق گیاه مرجع در مناطق بسیار خشک ایران، نشریه آب‌وخاک. دوره ۴، شماره ۵، صص ۶۸۹-۶۷۹.

برومندی، پریا، (۱۳۹۶)."منشأیابی ذرات گردوغبار با بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها و مدل‌سازی عددی در شهرستان مسجدسلیمان، سلامت و محیط‌زیست، دوره ۹، شماره ۴، صص ۵۲۶-۵۱۷.

توحیدی، امیرحسین؛ زارع مهرجردی، محمدرضا؛ مهرابی، حسین؛ نظام‌آبادی پور، حسین؛ (۱۳۹۴). ارزیابی مدل هیبرید شبکه عصبی مصنوعی- پانل دیتا در پیش‌بینی قیمت صادرات خشک بار ایران، فصل‌نامه اقتصاد مقداری (بررسی‌های اقتصادی سابق)، دوره ۱۲، شماره ۳، صص ۱۱۶-۹۵.

خوش کیش، اسدالله، علیجانی، بهلول، حجازی زاده، زهرا، (۱۳۹۰)، "تحلیل سینوپتیکی سامانه‌های گردوغبار در استان لرستان، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره ۱۸، شماره ۲۱، صفحات: ۱۱۰- ۹۱.

ذوالفقاری، حسن، معصوم پور، جعفر، شایگان مهر، شاپور، احمدی، محمد، (۱۳۹۰)،" بررسی همدید توفان‌های گردوغبار ایران طی سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۸۸"، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دوره ۲۲، شماره ۳، صفحات: ۳۴-۱۷.

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

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

رضایی بنفشه، مجید، علیزاده، طوبی، ملکی، حیدر، علیزاده، حمزه، رستم زاده، هاشم، گودرزی، غلامرضا، (۱۳۹۹)،" ردیابی و شبیه‌سازی توفان گردوغبار شهر کرمانشاه با استفاده از مدل‌های HYSPLIT و WRF-chem "، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، پاییز ۱۳۹۹.

سبحانی، بهروز، صفریان زنگیر، وحید، "واکاوی و پیش‌بینی گردوغبار در جنوب غرب ایران "، مجله مخاطرات طبیعی، دوره هشتم، شماره بیست و دوم، زمستان ۱۳۹۸، صفحات: ۱۹۸-۱۷۹.

صحرایی، جلیل، بهرامی، مژگان، محمدی، ناهید، (۱۳۹۶). " ردیابی توفان گردوغبار (مطالعه موردی خوزستان)، اولین همایش اندیشه‌ها و فناوری‌های نوین در علوم جغرافیا، صص ۱۶-۱۱.

صفریان زنگیر، وحید، زینالی، بتول، جعفری، یوسف، جعفرزاده، لیلا، (۱۳۹۷)، " بررسی گردوغبار و ارزیابی امکان پیش‌بینی آن در استان اردبیل با استفاده از مدل ANFIS، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال ۵، شماره ۲، صص ۱۴۲- ۱۲۵.

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

فلاح، محمد، وفایی نژاد، علیرضا، خیرخواه، مسعود، احمدی، فریبرز، (۱۳۹۳)،" پایش و تحلیل سینوپتیکی پدیده گردوغبار "، اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۳، شماره ۹۱، صفحات: ۸۰-۶۹.

کنارکوهی، عذرا؛ سلیمان جاهی، حوریه؛ فلاحی، شهاب؛ ریاحی مدوار، حسین؛ مشکات، زهرا؛ (۱۳۸۹). استفاده از سیستم جدید هوشمند استنتاج فازی – عصبی تطابقی (ANFIS) برای پیش‌بینی قدرت سرطان‌زایی ویروس پاپیلوهای انسانی. مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی اراک، دوره ۴، شماره ۲، صص ۱۰۵-۹۵.

گندمکار، امیر، فنایی، راضیه، دانشور، فاطمه، کاردان، حسین، احدی نژاد، مریم، رضایی، نجمه، (۱۳۹۶)،" بررسی و ارتباط سنجی روند سری‌های دمایی و روزهای همراه با گردوغبار استان همدان "، جغرافیا، دوره ۱۵، شماره ۵۳، صفحات:۲۹۳-۲۷۷.

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

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.3]

ناصرپور، سمیه، علیجانی، بهلول، ضیاییان، پرویز، (۱۳۹۴)،" منشأیابی توفان‌های گردوغبار در جنوب غرب ایران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های هوا "، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۷، شماره ۱، صفحات: ۳۶-۲۱.

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

Alam, K., Trautmann, T., Blaschke, T. and Subhan, F., 2014. *Changes in aerosol optical properties due to dust storms in the Middle East and Southwest Asia*. Remote Sensing of Environment, 143, pp.216-227.

Dey, S., Tripathi, S.N., Singh, R.P. And Holben, B.N., 2004. *Influence of dust storms on the aerosol optical properties over the Indo- Gangetic basin. Journal of Geophysical Research: Atmospheres,* 109(D20).

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

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

Ho, S., M. Xie and T. Goh (2002). "*A comparative study of neural network and Box-Jenkins ARIMA modeling in time series prediction."* Computers & Industrial Engineering 42(2): 371-375.

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

Liu, Z; wang, D; miloshevsky, G., (2017), *Simulation of dustgrain charging under tokamak plasma conditions*, nuclear materials and energy, 12, (530-535).

Lyapustin, A., & Wang, Y. (2018). *MODIS Multi-Angle Implementation of Atmospheric Correction (MAIAC) Data User's Guide. NASA*: Greenbelt, MD, USA.

Nabavi, O., haimberger, L., samimi, C., (2017), *Sensitivity of WRF- chem predictions to dust source function specification in west asia*, Aeolian research, 24, (115-131).

Safarianzengir, V.; Sobhani, B. (2020). *Simulation and Analysis of Natural Hazard Phenomenon, Drought in Southwest of the Caspian Sea, IRAN*, Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences,15, (127–136); DOI:10.26471/cjees/2020/015/115

Safarianzengir, V; Siobhan, B. and Asghari, S. (2019). *Modeling and Monitoring of Drought for forecasting it, to Reduce Natural hazards Atmosphere in western and north western part of Iran*, Iran. Air Qual Atmos Health (2019) doi: 10.1007/s11869-019-00776-8.

Sharma, D., Singh, D. and Kaskaoutis, D.G., 2012. *Impact of two intense dust storms on aerosol characteristics and radiative forcing over Patiala, northwestern India*. Advances in Meteorology, 2012.

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

Verma, S., Payra, S., Gautam, R., Prakash, D., Soni, M., Holben, B. and Bell, S., 2013. *Dust events and their influence on aerosol optical properties over Jaipur in Northwestern India*. Environmental monitoring and assessment, 185(9), pp.7327-7342.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.3]

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

Wang, Z., Pan, X., Uno, I., li, J., Wang, Z., Chen, X., Fu, P., Yang, T., Kobayashi, H., Shimizu, A., Sugimoto, N., Yamamotom, S., (2017), *Significant impacts of heterogeneous reactions on the chemical composition and mixing state of dust particles*, atmospheric environment, 159, (83-91).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.3]