



Determining the Role of Different Climatic Factors in the Occurrence of Internal and External Dust in Ahvaz Metropolis using Neural-artificial Network

Fatemeh Dargahian^{1*}, Hengameh Shiravand², Sakineh Lotfinasabasl¹

¹ Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

² Researcher at the National Drought Center, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article Type: Research article

Article history:

Received 6 January 2021

Accepted 19 July 2021

Available online 19 July 2021

Keywords:

Climatic Parameters,
Climatic Indicators, Artificial
Neural Network, Dust,
Internal Resources.

Citation: Dargahian, F., Shiravand, H., Lotfinasabasl, S. (2021). Determining the Role of Different Climatic Factors in the Occurrence of Internal and External Dust in Ahvaz Metropolis using Neural-artificial Network. *Geography and Environmental Sustainability*, 11 (2), 19-34.
doi: [10.22126/GES.2021.6002.2331](https://doi.org/10.22126/GES.2021.6002.2331)

ABSTRACT

In addition to domestic dust sources, Ahvaz city is affected by most of the foreign sources of dust which is mainly due to locating in the passage of southeast-northwest winds and vice versa. In this study, internal and external dusts were separated to determine the role of climatic factors in the occurrence of dust in Ahvaz. Therefore, the data related to parameters and climatic phenomena affecting the occurrence of dust have been used. Besides, the analysis and comparison of different neural networks have been applied to figure out the importance of each climatic factor in the occurrence of dust. In this study, 70% of the data are entered the network as educational data and 30% as test data. The square sum of educational data error and test data, the relative error of educational data test data and also the correlation coefficient between the measured and estimated values have been compared to evaluate the accuracy of different functions. Finally, the model showing the lowest error rate and the highest correlation coefficient has been selected as the optimal model to investigate the contribution of climatic factors affecting the occurrence of internal and external dust. The results show that wind factor with a speed of more than 6 meters per second and then the wind less than 6 meters per second have played the most important role in the occurrence of internal dust. Moreover, rainfall-changes factor is the third effective one. In the case of foreign dust, since Ahvaz is influenced by the conditions of more remote areas that are almost outside the political borders of Iran, drought factors, SPEI and DTR indices, are considered as the important factors in the occurrence of regional widespread dusts that reach Ahvaz due to the impact of.





تعیین سهم عوامل مختلف اقلیمی در رخداد گردوغبار داخلی و خارجی کلان شهر اهواز با استفاده از شبکه عصبی - مصنوعی

فاطمه درگاهیان^{۱*}، هنگامه شیراوند^۲، سکینه لطفی نسب اصل^۱

^۱ عضو هیئت علمی بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
^۲ پژوهشگر مرکز ملی خشکسالی، تهران، ایران

مشخصات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	
تاریخچه مقاله: دریافت ۱۷ دی ۱۳۹۹ پذیرش ۲۸ تیر ۱۴۰۰ دسترسی آنلاین ۲۸ تیر ۱۴۰۰	
کلیدواژه ها: پارامترهای اقلیمی، شاخص های اقلیمی، شبکه عصبی مصنوعی، گردوغبار، منابع داخلی.	
استناد: درگاهیان، فاطمه؛ شیراوند، هنگامه؛ لطفی نسب اصل، سکینه (۱۴۰۰). تعیین سهم عوامل مختلف اقلیمی در رخداد گردوغبار داخلی و خارجی کلان شهر اهواز با استفاده از شبکه عصبی - مصنوعی. جغرافیا و پایداری محیط، ۱۱ (۲)، ۱۹-۳۴. doi: 10.22126/GES.2021.6002.2331	شهر اهواز افزون بر منابع گردوغبار داخلی به واسطه قرارگیری در مسیر عبور بادهای جنوب شرق - شمال غرب و بالعکس از بیشتر منابع کانون های گردوغبار خارجی تأثیرپذیر است. در نوشتار پیش رو گردوغبارهای داخلی و خارجی از هم تفکیک و سهم عوامل اقلیمی در رخداد آنها در شهر اهواز تعیین شد. برای این منظور از داده های مربوط به پارامترها و پدیده های اقلیمی مؤثر بر رخداد گردوغبار استفاده شد. برای تعیین میزان اهمیت هر یک از عوامل اقلیمی در رخداد گردوغبار از تحلیل و مقایسه شبکه های مختلف عصبی استفاده شد. در این بررسی ۷۰٪ داده ها به عنوان داده آموزشی و ۳۰٪ داده ها به عنوان داده تست وارد شبکه شد. به منظور ارزیابی دقت توابع مختلف، مجموع مربعات خطای داده های آموزشی و تست، خطای نسبی داده های آموزشی و تست و همچنین ضریب همبستگی بین مقادیر اندازه گیری شده و تخمین زده شده رخداد گردوغبار و عوامل اقلیمی با یکدیگر مقایسه شد. در نهایت مدلی که کمترین میزان خطا و بیشترین ضریب همبستگی را نشان داد، به عنوان مدل بهینه برای بررسی سهم عوامل اقلیمی تأثیرگذار بر رخداد گردوغبار داخلی و خارجی انتخاب شد. نتایج نشان داد؛ عامل باد با سرعت بیش از شش متر بر ثانیه و سپس باد کمتر از شش متر بر ثانیه، بیشترین نقش را در رخداد گردوغبار داخلی ایفا کرده و تغییرات بارش در درجه سوم اهمیت مؤثر بوده است. در رخداد گردوغبارهای خارجی به دلیل تأثیرپذیری از شرایط مناطق دوردست تر که کمابیش در خارج از مرز سیاسی ایران هستند، عواملی که بیشتر رخداد آنها منطقه ای بوده است؛ مانند شاخص خشک سالی SPEI (شاخص بارش و تبخیر و تعرق استاندارد) و شاخص DTR (اختلاف دمای بین شب و روز)، در رخداد گردوغبارهای فراگیر منطقه ای که به اهواز رسیده، اهمیت بیشتری داشته است.

مقدمه

گردوغبار ویژگی مناطق خشک یا هر منطقه‌ای است که در مجاورت مناطق تولید گردوغبار قرار دارد و با قرارگیری در مسیر عبور سیستم‌های گردوغباری از تبعات آن برخوردار می‌شود. گردوغبار می‌تواند به سایر مناطق منتقل شود، به سلامت انسان آسیب برساند و بر آب‌وهوای جهانی تأثیر بگذارد (گوان^۱ و همکاران، ۲۰۱۷). مناطق واقع در کمربند خشک دنیا در نیم‌کره شمالی هم منطقه خیزش و هم منطقه فرونشست گردوغبار هستند. خاورمیانه و غرب چین به‌عنوان منطقه خیزش گردوغبار شناسایی شده‌اند (جین^۲ و همکاران، ۲۰۱۶). از آنجاکه گردوغبار مختص مناطق خشک است، در دوره‌های مختلف عمر زمین این پدیده با شدت و ضعف مختلف رخ داده است، تنوع گردوغبار گذشته که در بایگانی‌های پوسته دیرینه زمین به‌طور طبیعی حک شده، فرصتی بی‌نظیر را برای بازسازی چرخه گردوغبار جهانی در طیف وسیعی از امکاناتی فراهم می‌کند که به‌طور احتمالی شامل تغییرات آینده در پاسخ به تغییرات آب‌وهوا و پوشش زمین و تغییر کاربری زمین می‌شود (آلبانی و ماهولد^۳، ۲۰۱۹). گردوغبار خروج و ورود جهانی انرژی را به‌طور مستقیم از راه برهم‌کنش با اشعه و به‌طور غیر مستقیم از راه تأثیر آن بر فرایندهای تشکیل ابر و بارش تنظیم می‌کند (اسچوپنسکی^۴، ۲۰۱۸).

تغییرات گردوغبار در ایالات متحده در دهه اخیر تا حد زیادی با تغییرات میزان بارش و سرعت وزش بادهای سطحی همراه بوده است (پو و گینوکس^۵، ۲۰۱۷). مطالعه منابع انتشار فعلی گردوغبار و پیش‌بینی آینده آن‌ها در جنوب غربی ایران با استفاده از داده لایه‌های اقلیمی و مدل‌های آماری در نرم‌افزار مکسنت^۶ برای پیش‌بینی پوشش و توزیع گردوغبار فعلی و آینده و پاسخ آن‌ها به تغییرات آب‌وهوا با استفاده از سناریوهای ۲/۶ و ۴/۵ نشان داد؛ مناطق مستعد انتشار گردوغبار در آینده افزایش می‌یابد (لبابپور^۷، ۲۰۲۰). طوفان‌های گردوغبار ذرات، آلاینده‌ها و مواد بیولوژیکی را برای مسافت‌های طولانی در جهت باد منتقل می‌کنند. هرچند آن‌ها در برخی از نقاط جهان با فرکانس بیشتر رخ می‌دهند و برخی پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که این امر در پاسخ به افزایش فشار کاربری اراضی و کاهش رطوبت خاک ناشی از تغییرات آب‌وهوا ادامه خواهد یافت (گودی^۸، ۲۰۲۰).

حوادث شدید گردوغبار غالباً در مناطق خشک رخ داده است. خاورمیانه یکی از مناطق جهان است که تحت تأثیر طوفان‌های شدید گردوغبار قرار دارد (لی^۹ و همکاران، ۲۰۲۰). فعالیت گردوغبار در خاورمیانه به‌دلیل عوامل زیادی از جمله تغییرات آب‌وهوایی، خشک‌سالی و راهبردهای ضعیف مدیریتی در حوزه آب در سال‌های اخیر شدت یافته است (حمیدی، ۲۰۲۰). ارتباط گردوغبار با شرایط خشک‌سالی در جنوب غربی ایالات متحده نشان داد که گردوغبار با شدت شاخص خشک‌سالی بارش و تبخیر و تعرق استاندارد^{۱۰} ارتباط دارد (آچاکولواسوت^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۸). بررسی ویژگی‌های اقلیم‌شناختی طوفان‌های گردوغبار با میدان دید یک کیلومتری برای دوره ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۸ در اردن نشان داد که بین گردوغبار و سرعت باد رابطه مثبت و با

1- Guan

2- Jin

3- Albani & Mahowald

4- Schepanski

5- Pu & Ginoux

6- Maxent

7- Lababpour

8- Goudie

9- Li

10- Standard Precipitation and Evapotranspiration Index (SPEI)

11- Achakulwisut

رطوبت نسبی، فشار و بارندگی رابطه منفی داشت و با حداکثر دما رابطه‌ای نداشت (قائم^۱، ۲۰۲۰). به منظور بررسی عوامل مؤثر بر فراوانی رخداد روزهای همراه با گردوغبار مطالعات زیادی در مقیاس‌های مختلف انجام شده است. از نظرگاه مکانی توزیع ذرات معلق $PM_{2.5}$ در غرب و جنوب غرب ایران نشان داد که مقدار ذرات معلق از جنوب به شمال غرب به شرق روندی کاهشی را به دلیل توپوگرافی پیچیده، عوامل بیوفیزیکی، عوامل هواشناسی و دوری از چشمه‌های گردوغباری دارند (احمدی و همکاران، ۱۳۹۸). در مقیاس سینوپتیک نقش سیستم‌ها یا الگوهای فشار و چگونگی آرایش آن‌ها در تولید گردوغبار به‌ویژه در غرب و جنوب غرب کشور و از جمله استان خوزستان به‌وفور انجام شده و منجر به شناسایی قابل قبولی از مکانیسم تشکیل و حرکت و اثرگذاری آن شده است (طاووسی، ۱۳۸۹). شناسایی خاستگاه طوفان‌های گردوغبار خاورمیانه نشان داد که عراق و سوریه بیش از ۶۰٪ گردوغبارهای منطقه را تولید می‌کنند (کریمی و همکاران، ۱۳۹۰). مطالعه الگوهای هواشناسی، شناسایی چشمه‌های تولید گردوغبار و مسیر حرکت ذرات معلق در طوفان جولای ۲۰۰۹ نشان داد که چشمه‌های اصلی تولید گردوغبار در نواحی شرقی سوریه و شمال غربی عراق بوده است (رنجبر سعادت‌آبادی و عزیزی، ۱۳۹۱). منشأیابی و تحلیل سینوپتیکی پدیده گردوغبار ۱ ژوئن ۲۰۱۱ نشان داد زبانه‌های سامانه کم‌فشار موسمی از روی عراق عبور کرده و سبب حرکت صعودی جریان هوا و حرکت بالاسوی گردوغبار در کشور عراق شده است (فلاح ززولی و همکاران، ۱۳۹۳).

در بستر سیستم‌های سینوپتیک با توجه به شرایط زمانی و مکانی نقش پارامترهای اقلیمی در رخداد گردوغبار می‌تواند متفاوت باشد؛ بررسی تأثیر نوسانات اقلیمی بر فراوانی طوفان‌های گردوغبار در ایران در ۳۷ ایستگاه سینوپتیک نشان داد که فراوانی روزهای گردوغباری با سرعت بیشینه باد، شاخص استاندارد بارندگی - تبخیر و تعرق و دمای بیشینه بیشترین همبستگی را داشته است (عراقی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۷). در ایستگاه سینوپتیک ایلام پارامترهای دما، رطوبت، بارندگی و سرعت باد به‌ترتیب بیشترین همبستگی را با غلظت داشته‌اند (سروریان و همکاران، ۱۳۹۷).

در دشت خوزستان وزش بادهای دائمی در رویارویی با زمین‌های شور منجر به رخداد گردوغبار شده است (جعفری، ۱۳۹۹). بین مقادیر متوسط درجه حرارت ماهیانه و درجه حرارت بیشینه با PM_{10} رابطه غیر خطی معنی‌داری در یزد برقرار شده است (ابراهیمی خوسفی و درگاهیان، ۱۳۹۷). میانگین دما در روزهای وقوع گردوغبار در ایستگاه‌های سینوپتیک ایلام، ایوان و دهلران در مقایسه با روز قبل کاهش و رطوبت نسبی و ابرناکی آن‌ها به‌طور میانگین افزایش یافته و بازخورد وقوع گردوغبار بر عوامل اقلیمی منجر به کاهش بارندگی شده است (ظریف‌معظم و همکاران، ۱۳۹۷). واکاوی فراوانی رخداد‌های گردوغبار و بارش هم‌زمان، در جنوب غربی ایران نشان داد که گردوغبار می‌تواند به‌طور قابل توجهی به‌عنوان عامل کاهنده یا سرکوب‌کننده میزان بارندگی در منطقه عمل کند (انصافی مقدم و همکاران، ۱۳۹۷).

در نوشتار پیش رو به‌منظور تعیین سهم عوامل اقلیمی در رخداد گردوغبار از مدل‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شده است؛ زیرا مزیت این مدل‌ها نسبت به مدل‌های رگرسیونی برای پیش‌بینی بار رسوب در حوضه آبخیز سمندگان (ولی و همکاران، ۱۳۹۰) و به‌منظور برآورد حجم تنه درختان (بیاتی و نجفی، ۱۳۹۰) به اثبات رسیده است. ترز و ارول^۲ (۲۰۰۵) نیز برای محاسبه تبخیر روزانه از تشت تبخیر از شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده کردند. قابلیت بالای استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در تعیین پیک تخلیه و

1- Ghanem

2- Terz & Erol

زمان اوج تخلیه در فرایندهای بارندگی - رواناب به‌وسیله سرکار و کومار^۱ (۲۰۱۲) نیز به اثبات رسیده است. تعیین میزان اهمیت تأثیر پارامترهای متعدد هیدرواقلمی بر خشکیدگی تالاب گاوخونی با به‌کارگیری شبکه عصبی مصنوعی و داده‌های سنجش‌ازدور نشان داد که مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر تغییرات سطح مرطوب تالاب گاوخونی به‌ترتیب عبارت‌اند از دبی جریان‌های ورودی به تالاب، تبخیر، افت سطح ایستابی، درجه حرارت و بارندگی (ولی و همکاران، ۱۳۹۵).

کلان‌شهر اهواز به‌واسطه موقعیت جغرافیایی از بیشتر کانون‌های گردوغبار داخلی متأثر است و در فصل‌های مختلف سال تحت تأثیر گردوغبار از منابع خارجی است. ۶۵٪ وقایع ریزگرد در شهرستان‌های اهواز و آبادان، رخ داده‌اند. دلیل این امر می‌تواند نزدیکی مکانی بیشتر این دو ایستگاه نسبت به کانون‌های ریزگرد در داخل و خارج از کشور باشد (نبوی و همکاران، ۱۳۹۸). در رخداد گردوغبار اهواز عوامل متعددی نقش دارند که نقش عوامل اقلیمی به‌عنوان نیروی محرک ذرات گردوغبار نقش مهمی در تولید و تشدید گردوغبار ورودی به کلان‌شهر اهواز به‌عنوان بزرگ‌ترین شهر جمعیتی منطقه با اهمیت کلان اقتصادی دارد. شناخت و آگاهی از منابع گردوغبار مؤثر بر این کلان‌شهر، برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان مبارزه و کنترل ریزگرد را در برنامه‌های عملیاتی مهار و کاهش اثرات ناشی از آن کمک می‌کند.

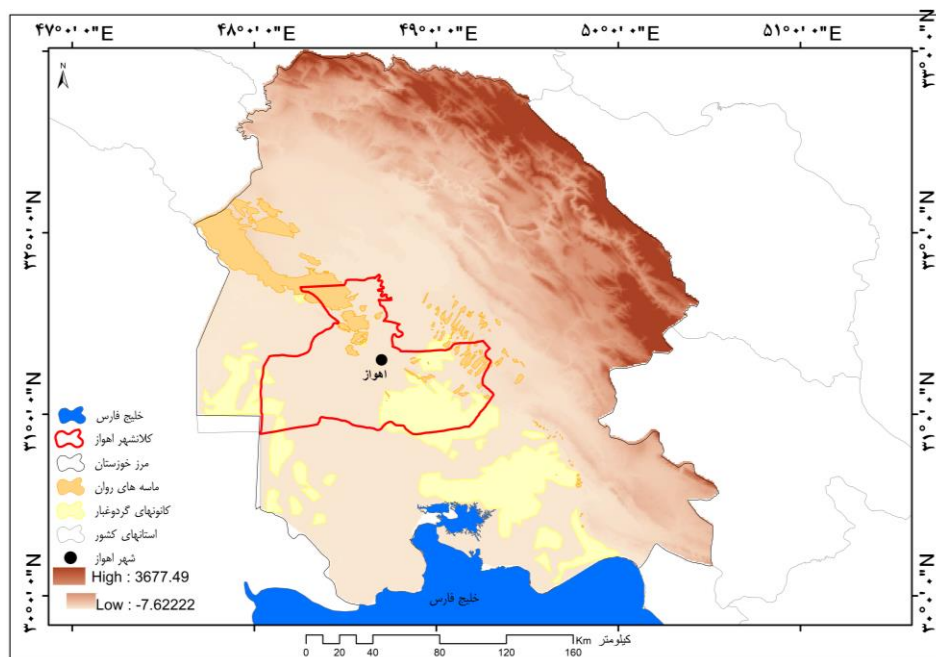
در پژوهش‌های بسیاری به نقش عوامل اقلیمی در رخداد گردوغبار پرداخته شده است. در بیشتر این مطالعات، به چند پارامتر یا شاخص اقلیمی و بررسی ارتباط آن‌ها پرداخته شده است؛ اما تاکنون تأثیر همه پارامترها و عوامل اقلیمی و تعیین سهم آن‌ها به‌طور جامع و کامل بر رخداد گردوغبار مدل‌سازی نشده است. در نوشتار پیش رو به‌منظور تعیین میزان اهمیت پارامترها و شاخص‌های اقلیمی منتج از آن‌ها، ضمن شناسایی و استخراج رخداد گردوغبارهای داخلی و خارجی از مدل‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی و توابع شعاع مدار استفاده شده است.

معرفی منطقه مورد بررسی

کلان‌شهر اهواز مرکز سیاسی، اقتصادی استان خوزستان شامل پنج شهر اهواز، ملاثنانی، شیبان، ویس و حمیدیه، بین ۴۹° ۱۱' طول شرقی تا ۳۱° ۵۰' عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). متوسط بارش سالانه سی سال اخیر، ۲۱۶ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه آن ۲۶ درجه سانتی‌گراد است. در منطقه مورد مطالعه کانون‌های گردوغبار داخلی به‌وسیله مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور به مساحت ۷۴۱۴/۸۹ کیلومتر مربع است (شکل ۱). در بین استان‌های کشور بیشترین مساحت کانون‌های گردوغبار داخلی در استان خوزستان واقع شده است. از طرفی این استان بیشترین نزدیکی را با منابع گردوغبار خارج از مرزهای سیاسی کشور مانند عراق، سوریه، کویت و عربستان را دارد (درگاهیان و رضوی‌زاده، ۱۳۹۸).

مواد و روش‌ها

با توجه به اینکه در نوشتار پیش رو هدف شناسایی تعداد رخداد‌های گردوغبار با منشأ داخلی یا اطراف ایستگاه (داخلی، ۰۷) و گردوغبارهای خارج از ایستگاه (خارجی، ۰۶) و تعیین سهم عوامل اقلیمی در رخداد آن‌ها است، از آمار سینوپتیک ساعتی (هر سه ساعت یک‌بار) به‌منظور شناسایی تعداد رخداد‌های گردوغبار از کدهای دیده‌بانی مربوط به گردوغبار ثبت‌شده در ایستگاه سینوپتیک اهواز در طول دوره آماری ۱۹۵۸-۲۰۱۸ استفاده شده است (جدول ۱).



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. کدهای هواشناسی ثبت پدیده گردوغبار (علیجانی، ۱۳۸۱)

کد هواشناسی	نوع پدیده	شرح پدیده گردوغبار
۶	گردوخاک معلّق	گردوخاک معلّق در هوا که در اثر طوفان شن و خاک نقاط خارج از ایستگاه به ایستگاه آمده است.
۷	گردوخاک	گردوخاک یا شنی که به وسیله باد در ایستگاه یا در نزدیکی آن در ساعت دیدبانی بلند شده است.
۸	گردباد	گردبادهای تکامل یافته در خود ایستگاه یا اطراف آن.
۹	طوفان	طوفان گردوخاک در ساعت دیدبانی در اطراف ایستگاه.
۳۰	طوفان گردوخاک با ماسه ملایم	طوفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن - طی ساعت گذشته از شدت طوفان کاسته شده است.
۳۱	طوفان گردوخاک با ماسه ملایم	طوفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن - طی ساعت گذشته شدت طوفان تغییری نکرده است.
۳۲	طوفان گردوخاک با ماسه ملایم	طوفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن - طی ساعت گذشته بر شدت طوفان افزوده شده است.
۳۳	طوفان گردوخاک با ماسه شدید	طوفان شدید گردوخاک یا شن - طی ساعت گذشته از شدت طوفان کاسته شده است.
۳۴	طوفان گردوخاک با ماسه شدید	طوفان شدید گردوخاک یا شن - طی ساعت گذشته شدت طوفان تغییری نکرده است.
۳۵	طوفان گردوخاک با ماسه شدید	طوفان شدید گردوخاک یا شن - طی ساعت گذشته بر شدت طوفان افزوده شده است.

آمار مربوط به سایر پارامترها و پدیده‌های اقلیمی مؤثر بر رخداد گردوغبار داخلی و خارجی همچون متوسط دما، متوسط دمای حداکثر، متوسط دمای حداقل، بارندگی، تبخیر، حداقل و حداکثر رطوبت نسبی، تعداد رخداد کلّ بادهای کمتر از شش متر بر ثانیه، باد بیشتر از شش متر بر ثانیه و شاخص‌های اقلیمی مانند بارش مؤثر، شاخص خشک‌سالی بارش و تبخیر و تعرق استاندارد، شاخص اختلاف دمای بین شب و روز^۱ و روزهای همراه با بارش در طول ۶۱ سال در نظر گرفته شد.

با توجه به اینکه افزون بر شناسایی روند تغییرات گردوغبارها با منشأ داخلی و خارجی، هدف از پژوهش حاضر تعیین میزان اهمیت هریک از عوامل مؤثر بر رخداد گردوغبارهای داخلی و خارجی در کلان‌شهر اهواز است، برای این منظور از تحلیل و مقایسه شبکه‌های مختلف عصبی (پرسپترون چندلایه و توابع شعاع مدار) استفاده شد. شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌عنوان زیرمجموعه‌ای از روش‌های هوش مصنوعی، مدل‌های ریاضی از مغز انسان هستند که اجزائی به‌نام نورون دارد. این نورون‌ها به‌طور موازی و هم‌زمان کار می‌کنند و می‌توانند نظم و الگوهای موجود درون حجم عظیم ورودی‌های مبهم و به‌ظاهر بی‌نظم را استخراج نمایند. یکی از شبکه‌های عصبی نظارت‌شده و پرکاربرد در مدیریت منابع طبیعی، شبکه عصبی پیش‌خور با الگوریتم پس‌انتشار خطا، شبکه چندلایه پرسپترون است (روملهارت^۱ و همکاران، ۱۹۸۶).

یکی دیگر از مهم‌ترین گونه‌های شبکه عصبی نظارت‌شده، تابع شعاع مدار است. این شبکه با توجه به کاربردهای متنوعش به یکی از معروف‌ترین شبکه‌های عصبی تبدیل شده و مهم‌ترین رقیب شبکه چندلایه پرسپترون^۲ به‌شمار می‌رود. این شبکه‌ها بیشتر از روش‌های آماری طبقه‌بندی الگو گرفته‌اند. (روملهارت، ۱۹۸۶). این نوع شبکه به نورون‌های بیشتری نیاز دارد، اما مزیت آن‌ها در زمان طراحی کوتاه‌تر آن‌ها در مقایسه با شبکه‌های استاندارد پس‌انتشار است. این شبکه‌ها زمانی که بردارهای آموزشی بسیار زیادند، بهترین کارایی را دارند (نوروسیس^۳، ۲۰۰۷). در این بررسی، ۷۰٪ داده‌ها به‌عنوان داده آموزشی و ۳۰٪ داده‌ها به‌مثابه داده تست وارد شبکه شدند. به‌منظور ارزیابی دقت توابع مختلف، مجموع مربعات خطای داده‌های آموزشی، مجموع مربعات خطای داده‌های تست، خطای نسبی داده‌های آموزشی، خطای نسبی داده‌های تست و همچنین ضریب همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری‌شده و تخمین‌زده‌شده رخداد گردوغبار و عوامل اقلیمی با یکدیگر مقایسه شد و در نهایت مدلی که کمترین میزان خطا و بیشترین ضریب همبستگی را نشان داد، به‌عنوان مدل بهینه به‌منظور بررسی سهم عوامل اقلیمی تأثیرگذار بر رخداد گردوغبار داخلی و خارجی در ایستگاه سینوپتیک اهواز بر اساس مدل بهینه برآورد شد؛ سپس با توجه به واقعیات محلی و منطقه، نقش عوامل اقلیمی (متغیرهای مستقل) بر رخداد گردوغبار داخلی و خارجی (متغیر وابسته) تجزیه و تحلیل شد.

نتایج

روند تغییرات گردوغبار

روند تغییرات فراوانی رخدادهای گردوغبار خارجی (خارج از ایستگاه) در اهواز افزایش را نشان داد است. در سه دهه اول، فراوانی گردوغبار خارجی کم بوده به‌طوری که حتی در دو دهه اول کمتر از ۱۰۰ رخداد بوده است؛ اما از سال ۲۰۰۰ که در منطقه منشأ گردوغبار در خارج از مرزهای کشور به‌ویژه در غرب و جنوب عراق و شمال و شرق عراق و مرز عراق و سوریه و کلاً در خاورمیانه خشک‌سالی‌های فراگیر و مداوم رخ داده اساساً بر تعداد گردوغبار با منشأ خارجی در اهواز افزوده شده است (شکل ۲).

تغییرات فراوانی رخدادهای گردوغبار خارج و اطراف ایستگاه در سرعت باد کمتر از شش متر بر ثانیه

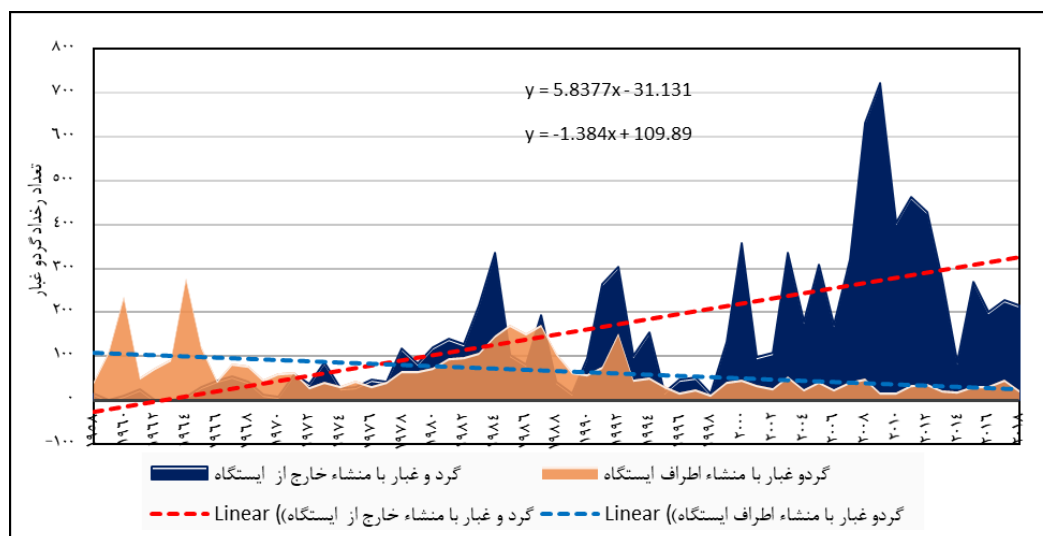
در ماسه‌های روان، آستانه سرعت باد برای فرسایش شش متر بر ثانیه است (فرایرگر و دام، ۱۹۷۹). در کانون‌های گردوغبار خوزستان آستانه فرسایش باد بر اساس آزمایشات تونل باد ۵/۵ متر بر ثانیه شروع شده است (عباسی، ۱۳۹۹).

1- Rumelhart

2- Multi Layers Perceptron (MLP)

3- Norusis

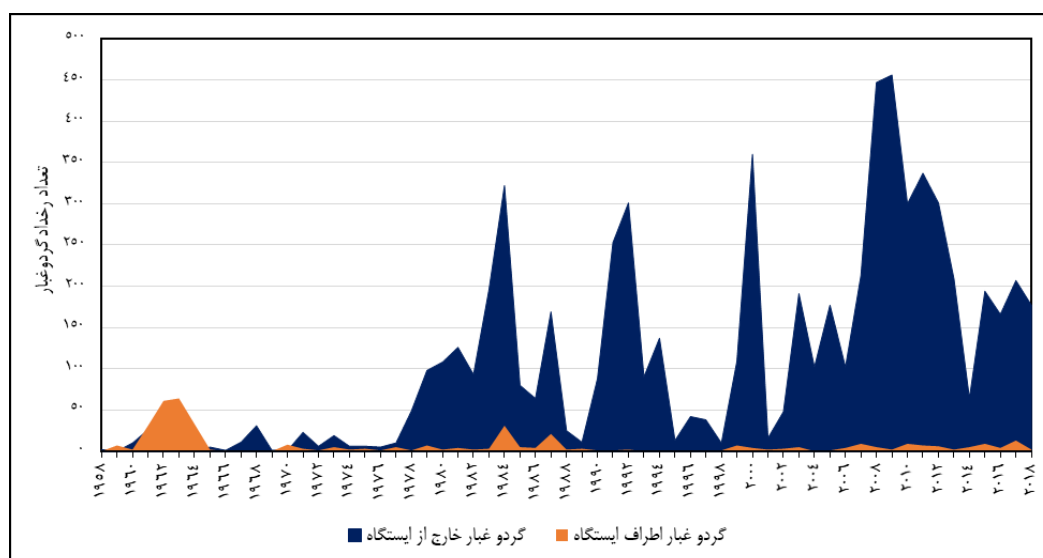
4- Fryberger & Deam



شکل ۲. توزیع فراوانی رخداد‌های گردوغبار خارج و اطراف ایستگاه در ایستگاه سینوپتیک اهواز (۱۹۵۸-۲۰۱۸)

بررسی روند تغییرات رخداد‌های گردوغبار خارج و اطراف ایستگاه در سرعت باد کمتر از شش متر بر ثانیه نشان داد که تعداد رخداد گردوغبارها با منشأ اطراف ایستگاه از فراوانی بسیار کمی و تعداد رخداد‌های گردوغبار با منشأ خارج از ایستگاه از فراوانی زیادی برخوردار هستند به‌طوری که در سال ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ تعداد آن‌ها به ۴۵۰ رخداد در سال رسیده است. فراوانی بیشتر رخداد گردوغبار با منشأ خارجی در سرعت باد کمتر از آستانه فرسایش به دلیل دوربودن از سرچشمه و کانون گردوغبار بوده، زیرا گردوغباری که از کانون‌های دوردست برخاسته به علت کاهش سرعت باد در این منطقه، مجبور به فرونشینی شده و منطقه را با گردوغبار روبه‌رو کرده است (شکل ۳).

تغییرات فراوانی رخداد‌های گردوغبار خارج و اطراف ایستگاه در سرعت باد بیشتر از شش متر بر ثانیه تعداد رخداد گردوغبار خارجی در سرعت باد بیش از شش متر بر ثانیه از فراوانی کمی برخوردار است. به‌طوری که در بیشتر سال‌ها، تعداد آن‌ها کمتر از ۴۰ رخداد بوده و بیشترین فراوانی آن در سال ۱۹۸۴ به ۱۶۰ رخداد رسیده است.



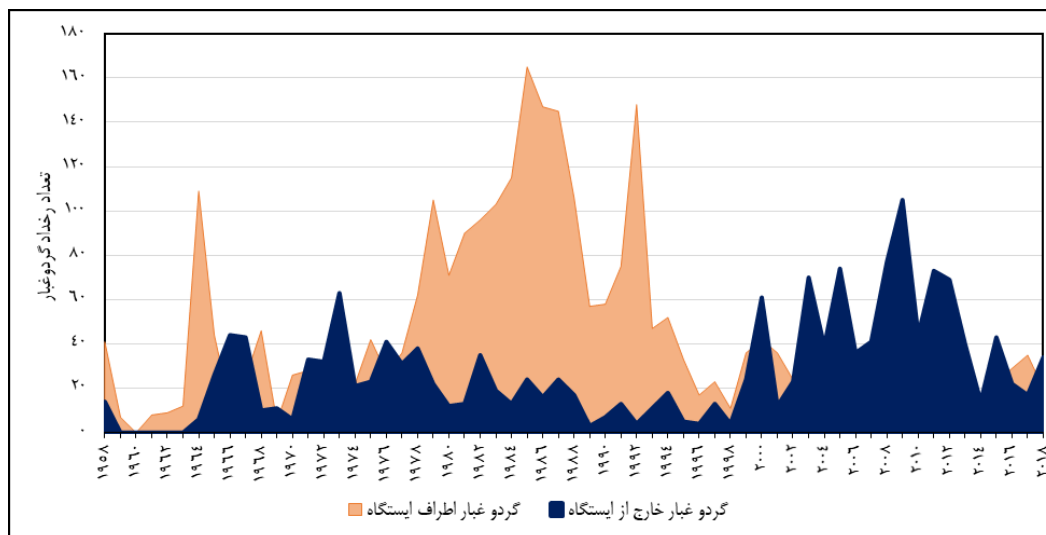
شکل ۳. توزیع رخداد‌های گردوغبار خارج و اطراف ایستگاه در سرعت باد کمتر از شش متر بر ثانیه در ایستگاه سینوپتیک اهواز

فراوانی رخداد گردوغبارهای داخلی در سرعت باد شش متر بر ثانیه که آستانه فرسایش است، بیشتر از فراوانی گردوغبار در سرعت باد کمتر از شش متر بر ثانیه است. نکته قابل توجه درمورد افزایش تعداد رخدادهای گردوغبار داخلی در آستانه باد بیشتر از شش متر بر ثانیه در دو دهه اخیر است؛ که این امر به دلیل فعال شدن کانون‌های داخلی گردوغبار در منطقه و به‌ویژه اطراف اهواز است (شکل ۴). در جنوب شرق اهواز کانون گردوغبار وسیعی وجود دارد که به‌علت نزدیکی به شهر اهواز، به‌ویژه قرارگیری در مسیر جریانات جوی زمستانه، باعث تقویت گردوغبارهای شدید و خسارت‌زا مانند بهمن ۱۳۹۳ و بهمن ۱۳۹۵ در اهواز شد.

کانون گردوغبار فعال شرق اهواز و کانون گردوغبار شمال خرمشهر و جنوب هورالعظیم نیز در غرب و شمال غرب اهواز واقع شده و به‌ویژه در فصل بهار و تابستان اهواز را متأثر می‌کنند. ضمن اینکه کانون گردوغبار امیدیه ماهشهر و ماهشهر - هندیجان نیز در مسیر بادهای جنوب شرق و شمال غرب می‌توانند به‌عنوان کانون گردوغبار داخلی ثانویه اهواز را تحت تأثیر قرار دهد. موقعیت شن‌های روان و ماسه‌های متحرک در مسیر باد شمال غرب - جنوب شرق نیز به‌طور دائم و به‌ویژه در فصل گرم اهواز را تحت تأثیر قرار داده و منجر به آورد گردوغبار داخلی در این منطقه می‌شود؛ بنابراین قرارگیری اهواز نسبت به کانون‌های گردوغبار داخلی که به‌ویژه در دو دهه اخیر فعال شده‌اند و انتقال گردوغبار از آن‌ها در بستر جریانات جوی در فصل‌های مختلف سال موجب افزایش گردوغبارهای داخلی به‌ویژه در سرعت آستانه فرسایش شده است (شکل ۴).

مدل‌سازی تعیین پارامترها و شاخص‌های اقلیمی مؤثر بر گردوغبار اهواز

بررسی توابع شعاع‌مدار و چندلایه پرسپترون شبکه‌های عصبی نشان داد که ساختار شبکه چندلایه پرسپترون در حالت سوم با تابع لایه انتقال پنهان سیگموئید و تابع لایه خروجی تانژانت هیپربولیک معرف به‌دلیل بالابودن میزان ضریب همبستگی و پایین‌بودن خطاهای نسبی و مجموع مربعات خطا نسبت به سایر مدل‌های شبکه دقت بالاتری دارد (جدول ۲)؛ بنابراین، از این مدل، به‌منظور تعیین سهم عوامل اقلیمی مؤثر در تغییرات تعداد رخدادهای گردوغبار با منشأ داخلی و خارجی در ایستگاه سینوپتیک اهواز استفاده شد. از طرفی در این مدل انتخابی افزون بر بالابودن مقدار ضریب همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری‌شده و تخمین‌زده‌شده، مقدار خطاهای نسبی و مربعات خطا نسبت به سایر توابع کمتر است و از دقت بالاتری برخوردار است.



شکل ۴. توزیع رخدادهای گردوغبار خارج و اطراف ایستگاه در سرعت باد بیشتر از شش متر بر ثانیه در ایستگاه سینوپتیک اهواز

جدول ۲. ارزیابی ساختارهای متفاوت شبکه پرسیترون چندلایه و توابع شعاع مدار در برآورد اهمیت عوامل مؤثر بر رخداد گردوغبار

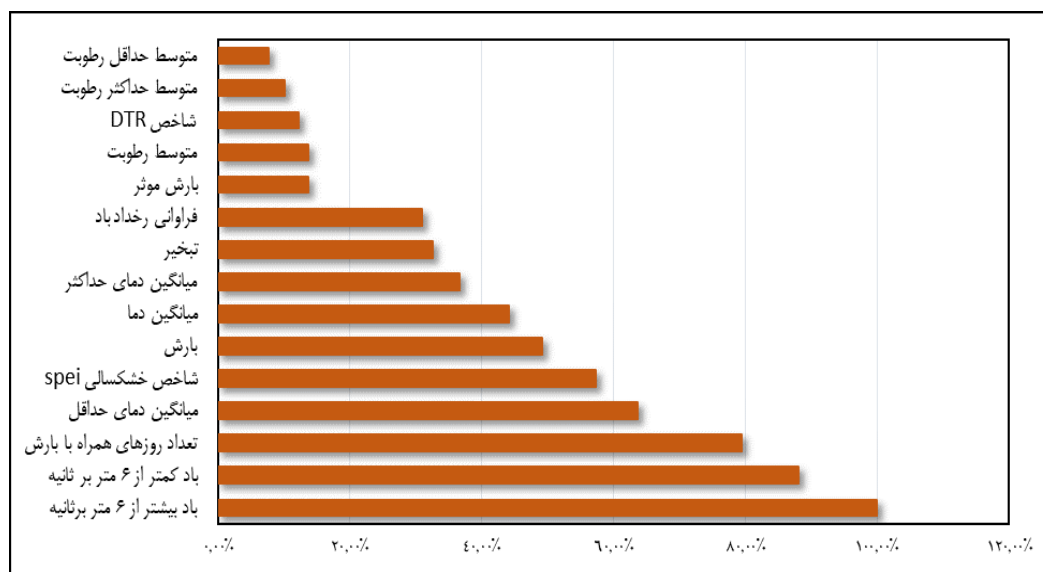
MLP	ساختار	تابع انتقال لایه پنهان تابع انتقال لایه خروجی	آموزشی		تست		ضریب همبستگی
			RE	SSE	RE	SSE	
MLP1	Automatic	تانزانت هیپربولیک معرف	۰/۵۱	۰/۰۶	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۷۹
MLP2	Custom	تانزانت هیپربولیک معرف	۰/۴۴	۰/۰۹۵	۰/۵۷	۰/۶۶	۰/۹۳
MLP3	Custom	تانزانت هیپربولیک تانزانت هیپربولیک	۰/۳۵	۰/۰۶	۰/۳۱	۰/۶۷	۰/۹۶
MLP4	Custom	تانزانت هیپربولیک سیگموئید	۲/۱۲	۳۳۲۰	۱/۲۶	۰/۶۵	۰/۷۸
MLP5	Custom	سیگموئید معرف	۲/۰۴	۰/۴۳	۱/۳۶	۰/۶۸	۰/۷۸
MLP6	Custom	سیگموئید تانزانت هیپربولیک	۴/۹۵	۰/۴۹	۳/۹	۰/۵۹	۰/۷۲
MLP7	Custom	سیگموئید سیگموئید	۵/۱	۰/۸۹	۱۲	۱/۵	۰/۶۴
RBF1	Automatic	ترم کار معرف	۳/۹۵	۰/۴۹	۲/۹	۰/۵۹	۰/۷۸
RBF2	Automatic	نمایی معرف	۵/۵	۰/۷۹	۱۴	۱/۳	۰/۷۶

تعیین میزان اهمیت تأثیر پارامترها و شاخص‌های اقلیمی بر رخداد گردوغبارهای داخلی

میزان اهمیت پارامترها و شاخص‌های اقلیمی در رخداد گردوغبارهای داخلی به ترتیب میزان اهمیت و نقش عامل‌ها در جدول ۳ نشان داده شده است. در ستون چهارم جدول، به منظور درک بهتر مقادیر میزان اهمیت داده‌ها نرمالیزه شده به صورت درصد اهمیت و به ترتیب آمده است؛ سپس مقادیر نرمال شده به شکل نمودار آمده است (شکل ۵). همان‌طور که در شکل ۵ دیده می‌شود، مهم‌ترین پارامتر اقلیمی در رخداد گردوغبار با منشأ داخلی رخداد باد با سرعت آستانه فرسایش برای بلندکردن ذرات گردوغبار با سرعت شش متر بر ثانیه و بیشتر بوده است. دومین عامل مهم مجدداً باد با سرعت کمتر از شش متر بر ثانیه و سومین عامل نیز کم‌شدن تعداد روزهای همراه با بارش است که منجر به خشک‌شدن خاک و کم‌شدن پوشش گیاهی و در نتیجه مساعدشدن بستر زمین و آمادگی رسوبات ریزدانه در کانون‌های داخلی برای برخاستن از زمین حتی در سرعت‌های باد کمتر از آستانه فرسایش، شش متر بر ثانیه در منطقه است.

جدول ۳. میزان اهمیت پارامترها و شاخص‌های اقلیمی در رخداد گردوغبارهای داخلی

ردیف	گردوغبار داخلی	میزان اهمیت	اهمیت نرمال شده
۱	باد بیشتر از شش متر بر ثانیه	۰/۱۵۶	٪۱۰۰
۲	باد کمتر از شش متر بر ثانیه	۰/۱۳۸	٪۸۸
۳	تعداد روزهای همراه با بارش	۰/۱۲۴	٪۷۹
۴	میانگین دمای حداقل	۰/۰۹۹	٪۶۴
۵	شاخص بارش - تبخیر و تعرق	۰/۰۹	٪۵۷
۶	بارش	۰/۰۷۷	٪۴۹
۷	میانگین دما	۰/۰۶۹	٪۴۴
۸	میانگین دمای حداکثر	۰/۰۵۷	٪۳۷
۹	تبخیر	۰/۰۵۱	٪۳۳
۱۰	فراوانی رخداد باد	۰/۰۴۸	٪۳۱
۱۱	بارش مؤثر	۰/۰۲۲	٪۱۴
۱۲	متوسط رطوبت	۰/۰۲۱	٪۱۴
۱۳	شاخص اختلاف دما	۰/۰۱۹	٪۱۲
۱۴	متوسط حداکثر رطوبت	۰/۰۱۶	٪۱۰
۱۵	متوسط حداقل رطوبت	۰/۰۱۲	٪۸



شکل ۵. میزان اهمیت پارامترها و شاخص‌های اقلیمی نرمال‌شده در رخداد گردوغبارهای داخلی

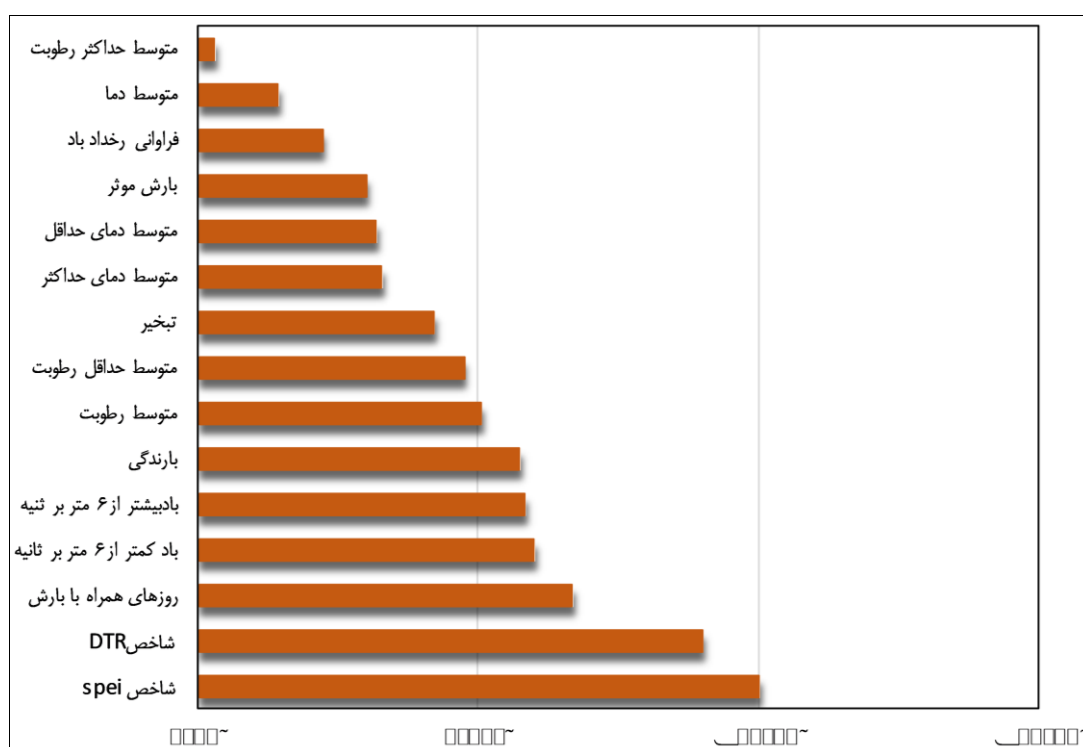
تعیین میزان اهمیت تأثیر پارامترهای متعدد اقلیمی بر رخداد گردوغبارهای خارجی

در جدول ۴ میزان اهمیت پارامترها و شاخص‌های اقلیمی در رخداد گردوغبارهای داخلی به ترتیب میزان اهمیت و نقش عامل‌ها نشان داده شده است. در ستون چهارم جدول به منظور درک بهتر مقادیر میزان اهمیت داده‌های نرمال‌شده و به صورت درصد اهمیت و به ترتیب آمده است؛ سپس مقادیر نرمال‌شده به شکل نمودار نشان داده است. مهم‌ترین اثر تغییر اقلیم، افزایش دمای کره زمین است. منطقه خاورمیانه و از جمله کشور ما و به ویژه استان خوزستان و شهر اهواز، نسبت به کل خشکی‌های جهان، نابهنجاری دمایی بیشتری تجربه کرده است. در بررسی شاخص اقلیمی خشک‌سالی بارش استاندارد تنها پارامتر بارش بدون توجه به تغییرات دما و تبخیر نشان داده می‌شود. در شاخص اقلیمی خشک‌سالی بارش و تبخیر و تعرق استاندارد افزون بر تغییرات بارش که در صورت منفی بودن، خشک‌بودن منطقه را نشان می‌دهد، تغییرات دمایی که منجر به تبخیر آب بارش و کاهش رطوبت منطقه می‌شود را نیز نشان می‌دهد؛ از طرفی کاهش بارش و افزایش دما پارامترهایی نیستند که به صورت نقطه‌ای افزایش و کاهش یابند، بلکه تغییرات آن بیشتر در مقیاس منطقه‌ای است؛ بنابراین رخداد خشک‌سالی به علت افزایش دما و کاهش بارش در کل منطقه خاورمیانه و در منطقه سرچشمه و منبع کانون‌های گردوغبار خارجی مؤثر بر اهواز می‌تواند مهم‌ترین دلیل رخداد گردوغبار خارجی باشد. روند این تغییرات در خاستگاه کانون‌های گردوغبار منجر به بلندشدن گردوغبار و ورود به جریانات جو می‌شود که در بستر سینوپتیک به منطقه وارد می‌شوند و در اثر کاهش سرعت باد در منطقه فرصت فرونشینی پیدا می‌کنند.

دومین شاخص اقلیمی مهم در رخداد گردوغبار با منشأ خارجی در اهواز تغییرات میزان شاخص اختلاف دمای شب و روز است. رخداد تغییر اقلیم در منطقه منجر به افزایش دماهای حداقل بیشتر از افزایش دماهای حداکثر شده است و همین امر منجر به کاهش اختلاف دمای روز و شب و در نتیجه کاهش سرعت باد در منطقه مقصد، یعنی اهواز شده است و ذرات غبار با منشأ خارجی پس از طی مسیری طولانی به علت کاهش باد فرصت فرونشینی پیدا کرده‌اند. اهمیت این شاخص به دلیل اهمیت افزایش دما در منطقه است. سومین عامل، تعداد روزهای بارش است که با توجه به محلی نبودن و منطقه‌ای بودن روزهای همراه با بارش در منطقه برداشت گردوغبارهای خارجی کاهش داشته است و عامل بعدی باد کمتر از شش متر بر ثانیه است که با کاهش سرعت باد گردوغبارهای با منشأ خارجی فرصت نزول و فرونشینی در اهواز را داشته‌اند (شکل ۶).

جدول ۴. میزان اهمیت پارامترها و شاخص‌های اقلیمی در رخداد گردوغبارهای خارجی

ردیف	گردوغبار خارج از ایستگاه	میزان اهمیت	اهمیت نرمال شده
۱	شاخص بارش - تبخیر و تعرق	۰/۱۴۲	٪۱۰۰
۲	شاخص اختلاف دما	۰/۱۲۸	٪۹۰
۳	روزهای همراه با بارش	۰/۰۹۵	٪۶۷
۴	باد کمتر از شش متر بر ثانیه	۰/۰۸۵	٪۶
۵	باد بیشتر از شش متر بر ثانیه	۰/۰۸۳	٪۵۸
۶	بارندگی	۰/۰۸۱	٪۵۷
۷	متوسط رطوبت	۰/۰۷۱	٪۵۰
۸	متوسط حداقل رطوبت	۰/۰۶۷	٪۴۷
۹	تبخیر	۰/۰۶	٪۴۲
۱۰	متوسط دمای حداکثر	۰/۰۴۶	٪۳۲
۱۱	متوسط دمای حداقل	۰/۰۴۵	٪۳۱
۱۲	بارش مؤثر	۰/۰۴۲	٪۳۰
۱۳	فراوانی رخداد باد	۰/۰۳۱	٪۲۲
۱۴	متوسط دما	۰/۰۲۲	٪۱۴
۱۵	متوسط حداکثر رطوبت	۰/۰۲	٪۳



شکل ۶. میزان اهمیت پارامترها و شاخص‌های اقلیمی نرمال شده در رخداد گردوغبارهای خارجی

بحث

مؤلفه‌های اقلیمی متعددی بر رخداد طوفان‌های گردوغبار داخلی با منشأ اطراف ایستگاه و گردوغبارهای خارج از ایستگاه و با منشأ خارجی مؤثرند. در هر مکان و زمان ممکن است برخی از عوامل اقلیمی نسبت به یکدیگر ارجحیت داشته باشد؛ بنابراین رخداد گردوغبار از یک عامل متأثر نیست؛ بلکه درهم‌آمیختگی مجموعه رخدادهای دمایی، بارشی و خشک‌سالی و سایر پارامتر و شاخص‌های اقلیمی در کنار عوامل انسانی به‌شکل سوء مدیریت منجر به طوفان‌های گردوغبار خسارت‌زا می‌شود که در صورت بی‌توجهی به مدیریت یکپارچه در

کنترل طوفان گردوغبار این پدیده به‌عنوان چالشی اساسی با پیامدهای زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی با توجه به شرایط اقلیمی پیش رو فراگیرتر و شدیدتر خواهد شد.

دو شرط لازم برای رخداد گردوغبار یکی فراهم‌بودن بستر ذرات ریزدانه با قطر کم و حجم زیاد، به‌عنوان منبع گردوغبار و دیگری شرایط سینوپتیکی و دینامیکی به‌مثابه نیروی محرک و منتقل‌کننده از مناطق منشأ به سایر مناطق است. عوامل متعددی از جمله فقر پوشش گیاهی تخریب ساختار خاک و غیره در فراهم‌نمودن شرط اول نقش دارند، اما پارامترها و عوامل اقلیمی به‌عنوان اجزاء شرط دوم ایفای نقش می‌کنند. عوامل اقلیمی متعددی که با رخداد گردوغبار ارتباط دارند در مطالعات متعددی شناسایی شده‌اند، اما میزان اهمیت پارامترها و عوامل مختلف و میزان سهمی که در رخداد طوفان گردوغبار با منشأ اطراف ایستگاه و با منشأ خارج از ایستگاه در اهواز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مناطق برداشت و فرونشینی گردوغبار، شناسایی و تعیین نشده است. در این مطالعه بیشتر پارامترها و شاخص‌های اقلیمی متعددی که می‌توانند در رخداد طوفان گردوغبار نقش داشته باشند، در یک دوره ۶۱ ساله، شناسایی شدند. در برخی مطالعات تنها چند پارامتر اقلیمی مانند بارش، دما، تبخیر، رطوبت و باد در نظر گرفته شده (نعیمی و همکاران، ۱۳۹۸).

در بررسی رابطه بین پارامترهای اقلیمی و وقوع ریزگردها در استان خوزستان پارامترهای اقلیمی دما، رطوبت و سمت و سرعت باد در نظر گرفته شده است (محرابی و همکاران، ۱۳۹۴). به‌منظور تعیین میزان اهمیت عوامل اقلیمی متعدد در رخداد گردوغبار از توابع شعاع مدار و چندلایه پرسپترون شبکه‌های عصبی استفاده شد. از بین مدل‌هایی که داده‌ها بر آن برازش داده، ساختار شبکه چندلایه پرسپترون در حالت سوم با تابع لایه انتقال پنهان سیگموئید و تابع لایه خروجی تانژانت هیپربولیک معرف به‌دلیل بالا بودن میزان ضریب همبستگی و پایین بودن خطاهای نسبی و مجموع مربعات خطا نسبت به سایر مدل‌های شبکه از دقت بالاتری برخوردار بود، استفاده شد. ارجحیت ساختار شبکه چندلایه پرسپترون نسبت به توابع شعاع مدار در مطالعه تعیین سهم عوامل مؤثر در سطوح آبدار تالاب گاوخونی نشان داده شده است (ولی و همکاران، ۱۳۹۵).

در رخداد گردوغبار با منشأ داخلی یا اطراف ایستگاه در اهواز، باد با سرعت بیش از شش متر بر ثانیه به‌عنوان مهم‌ترین عامل مؤثر بر رخداد گردوغبار شناسایی شده است؛ زیرا در رخداد گردوغبار در اطراف ایستگاه باید سرعت باد به آستانه فرسایش برسد تا بتواند ذرات را از سطح زمین جدا و وارد جریانات جو کند. در رخداد گردوغبار با منشأ خارجی این آستانه باد در منطقه شروع رخداد گردوغبار در منطقه منشأ و کانون اصلی برخاست گردوغبار رخ داده و ذرات وارد جریانات جو شده و در بستر مسیر عبور جریانات سینوپتیکی، وارد منطقه و منجر به کاهش دید و گزارش گردوغبار در منطقه شده است و چه‌بسا در بیشتر موارد در رخدادهای با منشأ خارجی به‌علت کاهش سرعت باد نسبت به خاستگاه اولیه، اهواز در بسیاری از موارد منطقه فرونشست ذرات بوده است؛ به‌عبارتی در رخدادهای داخلی اهواز به‌علت نزدیکی به کانون‌های گردوغبار داخلی و ماسه‌های روان از هر طرف منطقه برداشت ذرات گردوغبار در فصل‌های مختلف سال بوده است (درگاهیان و رضوی‌زاده، ۱۳۹۸) و در رخدادهای با منشأ خارجی به‌علت قرارگیری در مسیر عبور اصلی گردوغبارهای ورودی شمال غرب - جنوب شرق و مسیر جنوب شرق - شمال غرب و شمال منطقه فرونشینی ذرات به‌علت کاهش سرعت باد بوده است؛ بنابراین دومین عامل مهم مجدداً باد با سرعت کمتر از شش متر بر ثانیه و سومین عامل نیز کم‌شدن تعداد روزهای همراه با بارش است که منجر به خشک‌شدن خاک و کم‌شدن پوشش گیاهی و در نتیجه مساعدشدن بستر زمین و آمادگی رسوبات ریزدانه در کانون‌های داخلی برای برخاستن از زمین حتی در سرعت‌های باد کمتر از آستانه فرسایش، شش متر بر ثانیه در منطقه است.

در رخدادهای گردوغبار با منشأ خارجی، شاخص خشک‌سالی اقلیمی بارش و تبخیر و تعرق استاندارد بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است. کاهش بارش و افزایش دما پارامترهایی هستند که بیشتر در مقیاس منطقه‌ای رخ می‌دهند؛ بنابراین رخدادهای خشک‌سالی به‌علت افزایش دما و کاهش بارش در کل منطقه خاورمیانه و در منطقه سرچشمه و منبع کانون‌های گردوغبار خارجی مؤثر بر اهواز به‌ویژه در قسمت‌های مختلف عراق (حامد^۱ و همکاران، ۲۰۱۸) می‌تواند مهم‌ترین دلیل رخدادهای گردوغبار خارجی باشد. روند این تغییرات در خاستگاه کانون‌های گردوغبار منجر به بلندشدن گردوغبار و ورود به جریانات جو می‌شود که در بستر سینوپتیک وارد منطقه و در اثر کاهش سرعت باد در منطقه اهواز، فرصت فرونشینی پیدا می‌کنند. دومین شاخص اقلیمی مهم در رخدادهای گردوغبار با منشأ خارجی در اهواز تغییرات میزان شاخص اختلاف دمای شب و روز است. رخدادهای تغییر اقلیم در منطقه منجر به افزایش دماهای حداقل بیشتر از افزایش دماهای حداکثر شده است و همین امر منجر به کاهش اختلاف دمای روز و شب و در نتیجه کاهش سرعت باد در منطقه مقصد، یعنی اهواز شده است و ذرات غبار با منشأ خارجی پس از طی مسیری طولانی به‌علت کاهش باد فرصت فرونشینی یافته‌اند (درگاهیان و رضوی‌زاده، ۱۳۹۸). اهمیت این شاخص به‌دلیل اهمیت افزایش دما در منطقه است. سومین عامل تعداد روزهای بارش است که با توجه به محلی‌نبودن و منطقه‌ای‌بودن روزهای همراه با بارش در منطقه برداشت گردوغبارهای خارجی کاهش داشته است و عامل بعدی، باد کمتر از شش متر بر ثانیه است و با کاهش سرعت باد گردوغبارهای با منشأ خارجی فرصت نزول و فرونشینی در اهواز را داشته‌اند.

نتیجه‌گیری

در بین تمام استان‌های کشور استان خوزستان و در بین شهرهای استان خوزستان کلان‌شهر اهواز بحرانی‌ترین منطقه‌ای است که با چالش گردوغبار روبه‌رو است (درگاهیان و همکاران، ۱۳۹۷). شناسایی منشأهای داخلی طوفان‌های گردوغبار با استفاده از سنجش‌ازدور، جی.آی.اس. و زمین‌شناسی در سال ۱۳۹۳ به‌وسیله حیدریان و همکاران نشان داد که ۹٪ از مساحت دشت خوزستان، معادل ۳۴۹۲۵۴ هکتار منشأ و کانون تولید گردوغبار هستند (حیدریان و همکاران، ۱۳۹۶). با توجه به تداوم و تشدید شرایط خشک‌سالی مساحت کانون‌های گردوغبار داخلی افزایش و اثرگذاری آن‌ها به‌ویژه در شهر اهواز تشدید یافت؛ به‌طوری که مساحت همان کانون‌های شناسایی‌شده به‌وسیله سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی خوزستان، با مطالعات شناسایی و کنترل کانون‌های گردوغبار داخلی استان خوزستان در حدود دوبرابر و ۷۴۱۴۸۹ هکتار برآورد شد بنابراین تشدید و تعدیل شرایط اقلیمی در نواحی مستعد تولید گردوغبار نقش تعیین‌کننده‌ای در فراوانی، تداوم و تشدید گردوغبار دارند.

منطقه مورد مطالعه در این مقاله و کانون‌های گردوغبار مؤثر بر آن در منطقه خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند از آنجاکه ویژگی‌های ذاتی این مناطق، در برابر تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی به‌ویژه در دو دهه اخیر، شرایط حساس و شکننده‌ای داشته و در آینده نیز بیشتر تحت تأثیر قرار می‌گیرند، پدیده گردوغبار همواره به‌عنوان چالشی اساسی در آن حضور خواهد داشت. از آنجاکه کنترل عوامل اقلیمی از عهده انسان خارج است؛ اما با انجام اقدامات مناسب تا حدودی امکان کنترل و کاهش خسارات وجود دارد. کنترل کانون‌های گردوغبار داخلی به‌علت اثرات شدیدتر و خسارات بیشتر نسبت به کانون‌های گردوغبار خارجی در اولویت هستند. با شناخت سهم عوامل اقلیمی مؤثر بر رخدادهای گردوغبار با منشأ داخلی و اطراف ایستگاه و

خارج از اطراف ایستگاه، کنترل کانون‌های داخلی با شناخت ویژگی‌های خاک‌شناسی و راهکارهایی همچون عملیات بیولوژیک و مرطوب‌سازی و غیره پیشنهاد می‌شوند هرچند اقداماتی به‌منظور جلوگیری از گسترش کانون‌ها و تبدیل کانون‌های بالقوه به بالفعل در خوزستان از جمله رعایت حقابه هورها تالاب‌ها و به‌ویژه دشت‌های رسوبی پیشنهاد می‌شود. کنترل گردوغبارهای خارجی ضمن شناسایی مناطق بحرانی مؤثر بر گردوغبار خوزستان به‌ویژه کلان‌شهر اهواز با اهمیت سیاسی، اجتماعی و اقتصادی، مذاکرات و همکاری‌های منطقه‌ای و بین‌المللی را می‌طلبد.

سپاسگزاری

نوشتار پیش رو مستخرج از طرح ملی پایش عوامل اقلیمی مؤثر بر تشدید پدیده گردوغبار و ماسه‌های روان (فرسایش بادی) در استان خوزستان، در مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور است که بدین‌وسیله از معاونت محترم پژوهشی مؤسسه تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- ابراهیمی خوسفی، زهره؛ درگاهیان، فاطمه (۱۳۹۷). بررسی پارامترهای اقلیمی بر تغییر غلظت ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرومتر و ارتباط آن با رخداد فرسایش بادی در مناطق خشک. *مجله مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۹ (۳۴)، ۷۶-۹۲.
- احمدی، محمود؛ داداشی رودباری، عباسعلی؛ جعفری، مهناز (۱۳۹۸). تأثیر ارتفاع لایه مرزی در توفان‌های گردوغبار جنوب غرب ایران. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۸ (۱۹)، ۱۵۱-۱۷۴.
- انصافی مقدم، طاهره؛ خوش‌اخلاق، فرامرز؛ شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ صفراد، طاهر؛ امیر اصلانی، فرشاد (۱۳۹۷). واکاوی فراوانی رخداد‌های گردوغبار و بارش هم‌زمان در جنوب غربی ایران. *نشریه علمی تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۲۵ (۴)، ۷۷۰-۷۸۸.
- بیاتی، هادی؛ نجفی، اکبر (۱۳۹۰). کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در برآورد حجم تنه درختان. *تحقیقات منابع طبیعی تجدیدپذیر*، ۲ (۴)، ۵۲-۵۹.
- جعفری، سیروس (۱۳۹۹). بررسی اثرات سدسازی و تغییر رژیم هیدرولوژی رودخانه بر شوری اراضی و رخداد پدیده گردوغبار در دشت خوزستان. *مجله علوم و مهندسی آبیاری*، ۴۳ (۱)، ۱۵۷-۱۷۲.
- حیدریان، پیمان؛ اژدری علی؛ جودکی محمد؛ درویشی خاتون‌آبادی، جواد؛ شهبازی، رضا (۱۳۹۶). شناسایی منشأهای داخلی توفان‌های گردوغبار با استفاده از سنجش‌ازدور، GIS و زمین‌شناسی. *مجله علوم زمین*، ۲۷ (۱۰۵)، ۳۳-۴۶.
- درگاهیان، فاطمه؛ لطفی نسب اصل، سکینه؛ خسروشاهی، محمد (۱۳۹۷). تحلیل نقش کانون‌های گردوغبار داخلی در ایجاد شرایط بحرانی در اهواز با تأکید بر کانون جنوب شرق. *مجله علمی و پژوهشی تحقیقات حمایت و حفاظت از جنگل‌ها و مراتع ایران*، ۱۶ (۲)، ۱۵۷-۱۷۰.
- درگاهیان، فاطمه؛ رضوی‌زاده، سمانه (۱۳۹۸). تغییرات زمانی و مکانی مولدین گردوغبار در رخداد دیدهای فوق بحرانی در اهواز. *مجله مدیریت اراضی*، ۷ (۲)، ۱۹۵-۲۰۹.
- رنجبر سعادت‌آبادی، عباس؛ عزیزی، قاسم (۱۳۹۱). مطالعه الگوهای هواشناسی، شناسایی چشمه‌های تولید گردوغبار و مسیر حرکت ذرات معلق. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۴ (۸۱)، ۷۳-۹۲.
- سروریان، جواد؛ حیدری، مهدی؛ بازگیر، مسعود (۱۳۹۷). بررسی روند تغییرات شاخص‌های گردوغبار در رابطه با عوامل اقلیمی (مطالعه موردی: شهر ایلام). *دومین همایش بین‌المللی گردوغبار، ایلام*، ۹.
- طاووسی، تقی (۱۳۸۹). تحلیل سینوپتیک سیستم‌های گردوغبار در استان خوزستان. *فصلنامه جغرافیا و توسعه*، ۸.

(۲۰)، ۹۸-۱۱۷.

ظریف معظم، ملیحه سادات؛ مهدوی، رسول؛ جوانمرد، سهیلا؛ رضایی، مرضیه (۱۳۹۷). اثر رخدادهای گردوغبار بر بازخورد برخی عوامل اقلیمی استان ایلام. *مجله محیط‌شناسی*، ۴۴ (۳)، ۵۴۹-۵۶۳.

عباسی، حمیدرضا (۱۳۹۹)، تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک کانون‌های ریزگرد خوزستان، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور.

عراقی‌نژاد، شهاب؛ انصاری قوجقار، محمد؛ پورغلام آمیجی، مسعود؛ لیاقت، عبدالمجید؛ بذرافشان، جواد (۱۳۹۷). تأثیر نوسانات اقلیمی بر فراوانی طوفان‌های گردوغبار در ایران. *مهندسی/کوسیستم بیابان*، ۷ (۲۱)، ۱۳-۳۲.

فلاح ززولی، محمد؛ وفایی‌نژاد، علیرضا؛ خیرخواه زرکش، میرمسعود؛ احمدی دهکا، فریبرز (۱۳۹۳). منشأیابی گردوغبار غرب و جنوب غرب ایران و تحلیل سینوپتیکی آن با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. *فصلنامه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۵ (۴)، ۶۱-۷۷.

کریمی، خدیجه؛ طاهری شهرآیینی، حمید؛ حبیبی نوخندان، مجید؛ حافظی مقدس، ناصر (۱۳۹۰). شناسایی خاستگاه‌های تولید توفان‌های گردوغبار در خاورمیانه با استفاده از سنجش‌ازدور. *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۲ (۷-۸)، ۵۷-۷۲.

محرابی، شهباز؛ سلطانی، سعید؛ جعفری، رضا (۱۳۹۴). بررسی رابطه بین پارامترهای اقلیمی و وقوع ریزگردها (مطالعه موردی استان خوزستان). *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۹ (۷۱)، ۶۹-۸۰.

نبوی، سید سعید؛ مرادی حمیدرضا؛ شریفی‌کیا، محمد (۱۳۹۸). ارزیابی توزیع زمانی توفان‌های ریزگرد و ارتباط عوامل مؤثر با فراوانی وقوع این پدیده در استان خوزستان طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵. *فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی*، ۲۸ (۱۱۱)، ۱۹۱-۲۰۳.

نعیمی، مریم؛ یوسفی، محمدجواد؛ خسروشاهی، محمد؛ زندی‌فر، سمیرا؛ ابراهیمی خوسفی، زهره (۱۳۹۸). بررسی اثرات عوامل اقلیمی بر گردوغبار، مطالعه موردی: غرب استان خراسان رضوی. *نشریه کاوش‌های جغرافیایی مناطق خشک*، ۷ (۲)، ۲۵-۴۵.

ولی عباسعلی؛ رامشت؛ محمدحسین؛ سیف، عبدالله؛ قضاوی، رضا (۱۳۹۰). مقایسه عملکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل‌های رگرسیون برای پیش‌بینی مطالعه موردی جریان رسوب: حوضه سمندگان. *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۲ (۴)، ۱۹-۳۴.

ولی عباسعلی؛ ابراهیمی، زهره؛ خسروشاهی، محمد؛ قضاوی، رضا (۱۳۹۵). تعیین اهمیت تأثیر پارامترهای مختلف آب‌وهوایی بر خشک‌شدن تالاب گاوخونی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و داده‌های سنجش‌ازدور. *مجله مهندسی/کوسیستم بیابان*، ۵ (۱۲)، ۹۴-۷۹.

References

- Abbasi, H. (2020), *Determination of physical and chemical properties of soil in Khuzestan dust centers*. Forests and Rangelands Research Institute (In Persian).
- Achakulwisut, P., Mickley, L. J. & Anenberg, S. C. (2018). Drought-sensitivity of fine dust in the US Southwest: Implications for air quality and public health under future climate change. *Environmental Research Letters*, 13 (5), 1-25.
- Ahmadi, M., Dadashi Rudbari, A. A. & Jafari, M. (1398). The effect of boundary layer height on dust storms in southwestern Iran. *Quarterly Journal of Environmental Hazards*, 8 (19), 151-174. (In Persian).
- Albani, S. & Mahowald N. M. (2019). Paleodust insights into dust impacts on climate. *Journal of Climate*, 32 (22), 7897-7913.
- Araqinezhad, Sh., Ansari Qojqar, M., Pourghlam Amiji, M., Liaqat, A. M. & Bazrafshan, J. (2018). The effect of climate fluctuations on the frequency of dust storms in Iran. *Desert Ecosystem Engineering* 7 (21), 13-32 (In Persian).
- Bayati, H. & Najafi, A. (2011). Application of Artificial Neural Network for Assessing of the

- Stem Volume Trees. *Journal of Renewable Natural Resources*, 2 (2), 52-57 (In Persian).
- Dargahian, F., Lotfi Nasab Asl, S. & Khosroshahi, M. (2018). Analysis of the role of internal dust centers in creating critical conditions in Ahvaz with emphasis on the southeast center. *Journal of Forests and Rangelands Protection and Conservation of Iran*, 16 (2), 157-170 (In Persian).
- Dargahian, F. & Razavizadeh, S. (2019). Temporal and spatial changes of dust generators in the occurrence of supercritical views in Ahvaz. *Journal of Land Management*, 7 (2), 195-209 (In Persian).
- Ebrahimikhusfi, Z. & Dargahian F. (2018). Investigation of the Climatic parameters Effect on the Concentration Change of Particles Matter less than 10 μm and its Relation to Wind Erosion Occurrence in Arid Regions. *Arid Regions Geographic Studies*. 9 (34), 76-92 (In Persian).
- Ensafi Moghadam, T., Khoshakhlagh, F., Shamsipoor, A. A., Safarrad, T. & Amir Aslani, F. (2018). Analysis of the frequency of dust and simultaneous rainfall events in southwestern Iran. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 25 (4), 770-788. (In Persian).
- Fallah Zzoli, M., Vafainejad, A., Khairkash Zarkash, M. M., & Ahmadi Dehka, F. (2014). Synoptic monitoring and analysis of dust phenomenon using remote sensing and GIS. *Geographical Information Quarterly (Sepehr)* 23 (91), 69-80 (In Persian).
- Fryberger, S. G. & Dean, G. (1979). Dune forms and wind regime. A study of global sand seas. *US Government Printing Office Washington, Professional paper*, 1052, 137-169.
- Ghanem, A. A. (2020). Climatic Characteristics of Dust Storms in Jordan. *American Journal of Climate Change*, 9 (2), 136-146.
- Goudie, A. S. (2020). Dust storms and human health. *In Extreme Weather Events and Human Health*, 13-24.
- Guan, Q., Sun, X., Yang, J., Pan, B., Zhao, S. & Wang, L. (2017). Dust Storms in Northern China, Long-Term Spatiotemporal Characteristics and Climate Controls. *Journal of Climate*, 30 (17), 6683-6700.
- Hameed, M., Ahmadalipour, A. & Moradkhani, H. (2018). Apprehensive drought characteristics over Iraq: results of a multidecadal spatiotemporal assessment. *Geosciences*, 8 (2), 58.
- Hamidi, M. (2020). The key role of water resources management in the Middle East dust events. *CATENA*, 187, 104337.
- Heydarian, P., Ajdari, A., Judaki, M., Darvish Khatunabadi, J. & Shahbazi, R. (2017). Identify the internal sources of dust storms using remote sensing, GIS and geology. *Journal of Earth Sciences*, 27 (105), 33-46 (In Persian).
- Jafari, S. (2020). Investigation of the effects of dam construction and change of river hydrological regime on land salinity and occurrence of dust phenomenon in Khuzestan plain. *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 43 (1), 157-172 (In Persian).
- Jin, Q., Yang, Z.L., & Wei, J. (2016). Seasonal Responses of Indian Summer Monsoon to Dust Aerosols in the Middle East, India, and China. *Journal of Climate*, 29 (17), 6329-6349.
- Karimi, Kh., Taheri Shahraini, H., Habibi Nokhandan, M., & Hafezi Moghadas, N. (2011). Identify the origins of dust storms in the Middle East using remote sensing. *Climatological Research*, 2 (7-8), 57-72 (In Persian).
- Lababpour, A. (2020). The response of dust emission sources to climate change: Current and future simulation for southwest of Iran. *Science of the Total Environment*, 714, 136821.
- Li, J., Garshick, E., Al-Hemoud, A., Huang, S. & Koutrakis, P. (2020). Impacts of meteorology and vegetation on surface dust concentrations in Middle Eastern countries. *Science of the Total Environment*, 712, 136597.
- Mehrabi, S., Soltani, S. & Jafari, R. (2015). Investigating the relationship between climatic parameters and the occurrence of fine dust (Case study of Khuzestan province). *Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources*, 19 (71), 69-80 (In Persian).
- Nabavi, S. S., Moradi, H. & Sharifikya, M. (2019). Evaluation of temporal distribution of dust

- storms and the relationship between effective factors and the frequency of occurrence of this phenomenon in Khuzestan province during 2000-2015. *Quarterly Journal of Geographical Information*, 28 (111), 191-203 (In Persian).
- Naemi, M., Yousefi, M.J., Khosroshahi, M., Zandifar, S. & Ebrahimi Khosfi, Z. (2020). Investigation of the effects of climatic factors on dust, a case study: West of Khorasan Razavi province, *Geographical explorations of desert areas*, 7 (2), 25-45 (In Persian).
- Norusis, M. J. (2007). *SPSS 15.0 advanced statistical procedures companion*. Chicago, IL: Prentice Hall.
- Pu, B. & Ginoux, P. (2017). Projection of American dustiness in the late 21 st century due to climate change. *Scientific Reports*, 7 (1), 1-10.
- Ranjbar Saadat Abadi, A. & Azizi, Q. (2012). Study of meteorological patterns, identification of sources of dust production and movement path of suspended particles. *Natural Geography Research*, 44 (81), 73-92 (In Persian).
- Rumelhart, D. E., Hinton G. E. & Williams R. J. (1986). *Learning internal representation by back-propagation errors*. In: Rumelhart DE, McClelland JL, the PDP Research Group (Eds.), *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*. MIT Press, MA.
- Sarkar, A. & Kumar, R. (2012). Artificial Neural Networks for Event Based Rainfall-Runoff Modeling. *Journal of Water Resource and Protection* 4, 891-897.
- Schepanski, K. (2018). Transport of mineral dust and its impact on climate. *Geosciences*, 8 (5), 151.
- Sorourian, J., Heydari, M., & Bazgir, M. (2018). Investigating the trend of changes in dust indices in relation to climatic factors (Case study: Ilam city). *2nd International Dust Conference*, Ilam. (In Persian).
- Tavousi, T. (2010). Synoptic analysis of dust systems in Khuzestan province. *Journal of Geography and Development*, 8 (20), 98-117 (In Persian).
- Terz, O. & Erol, K. M. (2005). Modeling of Daily Pan Evaporation. *Journal of Applied Sciences* 5 (2), 368-372.
- Vali, A., Ebrahimi Khosafi, Z., Khosroshahi, M. & Ghazavi R. (2016). Determining the importance of the effect of various hydro-climatic parameters on the drying of Gavkhoni wetland using artificial neural network and remote sensing data. *Journal of Desert Ecosystem Engineering*, 5 (12), 94-79 (In Persian).
- Vali, A., Ramesht, M. H., Seif, A. & Ghazavi, R. (2011). Comparison of the performance of artificial neural networks and regression models to predict a case study of sediment flow: Samandgan Basin. *Journal of Geography and Environmental Planning*, 22 (4), 19-34 (In Persian).
- Zarif Moazam, M. S., Mahdavi, R., Javanmard, S. & Rezaei, M. (2018). The effect of dust events on the feedback of some climatic factors in Ilam province. *Journal of Environmental Studies*, 44 (3), 549-563 (In Persian).