



Determining the relationship between temperature extreme variables and the frequency of environmental dust and evaluating the best model for predicting the FDSI index in the west of the country

Haniyeh Mohammadi¹, Javad Bazrafshan^{✉2}

1. Department of Irrigation and Development Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, Email: hmohammadi99@ut.ac.ir

2. Corresponding Author, Department of Irrigation and Development Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, Email: jbazr@ut.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: May. 7, 2022

Received: May. 30, 2022

Accepted: May. 30, 2022

Published online: July. 23, 2022

Keywords:

Temperature limit variables,
Tau Kendall correlation,
Forecast,
Best Neighborhood Algorithm,
Bayes Network.

ABSTRACT

Dust has always been one of the most important environmental hazards and has adverse environmental consequences. The purpose of this study is to investigate the relationship between temperature extreme variables and dust storms and evaluate the best model for predicting the FDSI index in the west of the country. We used hourly visibility data, World Meteorological Organization codes and temperature extreme indices including maximum temperature (TXx) and minimum temperature (TNn) on a monthly basis for 14 meteorological stations located in the west of the country with a statistical period of 25 years (1990-2014) and correlation between them were considered using Tau-Kendall and Pearson correlation coefficients. Map of correlation coefficients to better display the results was prepared by spline method (base radius method) in ArcGIS software. Also, three artificial intelligence models including best neighbor algorithm (KNN), gene expression programming (GEP) and Bayesian network (BN) were evaluated to predict dust. The results showed that dust storms have a positive and significant correlation with temperature extreme indices in 14 studied stations, so that the highest Tau-Kendall correlation coefficient with FDSI index is related to the maximum temperature variable in Dogonbadan station with a value of 0.202 and with the minimum temperature at Sare-Pole-Zahab station with the correlation coefficient 0.242. Also, the highest Pearson correlation coefficient with FDSI index for the maximum temperature variable in Dogonbadan station was 0.415 and that of the minimum temperature in Islamabad station 0.211. Also, the results of the forecast indicated the proper performance of the KNN method, which is ranked first in 13 stations and the BN method had the best performance in Islamabad station. The results of this study can help to better understand the occurrence of dust storms and to studying their climatic relations, as well as to reducing the damage caused by this phenomenon in the study area.

Cite this article: Mohammadi, H., & Bazrafshan, J. (2022). Determining the relationship between temperature limit variables and the frequency of environmental dust and evaluating the best model for predicting the FDSI index in the west of the country. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (5), 1093-1109.

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ijswr.2022.342666.669261>



تعیین رابطه بین متغیرهای حدی دما با فراوانی گردوغبار زیست‌محیطی و ارزیابی بهترین مدل پیش‌بینی شاخص FSDS در غرب کشور

هانیه محمدی^۱، جواد بذرافشان^۲

۱. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، ایمیل: hmohammadi99@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، ایمیل: jbazr@ut.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

گرد و غبار همواره به عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات محیطی مطرح بوده و پیامدهای زیست‌محیطی نامطلوبی را برجای می‌گذارد. هدف از این پژوهش، بررسی رابطه‌ی متغیرهای حدی دمایی با طوفان‌های گرد و غبار و ارزیابی بهترین مدل جهت پیش‌بینی شاخص FSDS در غرب کشور می‌باشد. با استفاده از داده‌های ساعتی قدرت دید افقی، کدهای سازمان جهانی هواشناسی، نمایه‌های حدی دمایی شامل دمای بیشینه (T_{xx}) و دمای کمینه (T_{nn}) در مقیاس ماهانه برای ۱۴ ایستگاه هواشناسی واقع در غرب کشور با طول دوره آماری ۲۵ ساله (۱۹۹۰-۲۰۱۴) و ضرایب همبستگی تاو-کندال و پیرسون به ارتباط سنجی پرداخته شد. نقشه ضرایب همبستگی برای نمایش بهتر نتایج به روش اسپلین (روش شعاع پایه) در نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید. همچنین سه مدل هوش مصنوعی شامل الگوریتم بهترین همسایگی (KNN)، برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) و شبکه بیزین (BN) جهت پیش‌بینی گرد و غبار مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که طوفان‌های گرد و غباری همبستگی مثبت و معنی‌داری با نمایه‌های حدی دمایی در ۱۴ ایستگاه مورد مطالعه دارند به نحوی که بالاترین ضریب همبستگی تاو-کندال با شاخص FSDS مربوط به متغیر بیشینه دما در ایستگاه دو گنبدان با مقدار ۰/۲۰۲ و دمای کمینه در ایستگاه سر پل ذهاب با مقدار ۰/۲۴۲ بود. همچنین بالاترین ضریب همبستگی پیرسون با شاخص FSDS نیز برای متغیر بیشینه دما در ایستگاه دوگنبدان با مقدار ۰/۴۱۵ و دمای کمینه در ایستگاه اسلام آباد با مقدار ۰/۲۱۱ بود. همچنین نتایج پیش‌بینی حاکی از عملکرد مناسب روش KNN می‌باشد که در ۱۳ ایستگاه رتبه نخست را به خود اختصاص داده است و در ایستگاه اسلام‌آباد روش BN بهترین عملکرد را داشته است. نتایج نشان داد که این مطالعه می‌تواند به درک صحیح وقوع طوفان‌های گرد و غبار و بررسی روابط اقلیمی و همچنین کاهش خسارات ناشی از این پدیده در منطقه مورد مطالعه کمک شایانی کند.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۱۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۳/۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۵/۱

واژه‌های کلیدی:

متغیرهای حدی دما،

همبستگی تاو-کندال،

پیش‌بینی،

الگوریتم بهترین همسایگی،

شبکه بیزین.

استاد: محمدی، هانیه؛ بذرافشان، جواد (۱۴۰۱). تعیین رابطه بین متغیرهای حدی دما با فراوانی گردوغبار زیست‌محیطی و ارزیابی بهترین مدل پیش‌بینی شاخص FSDS

در غرب کشور. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۳ (۵)، ۱۱۰۹-۱۰۹۳.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ijswr.2022.342666.669261>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

یکی از مهم‌ترین معضلاتی که در سال‌های اخیر گریبان گیر اکثر استان‌های غربی و جنوب غربی کشور بوده است، پدیده‌ی گرد و غبار می‌باشد. پدیده گرد و غبار یکی از مخاطره‌های طبیعی است و سالانه خسارت‌های زیادی را در غرب، جنوب غرب و جنوب شرق کشور به وجود آورده است. علت افزایش طوفان‌های گرد و غبار در ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی کشور و نزدیکی با کشورهای همسایه عربستان، عراق و سوریه که دارای سطح وسیعی بیابان به دلیل عامل‌های مختلفی مانند کمبود پوشش گیاهی، بارش اندک و دمای بالا هستند، می‌باشد (Abdolshahnejad et al, 2020; Araghinejad et al, 2013; Pourgholam-Amiji et al, 2020). منشأ اصلی گرد و غبارها در ایران، باد شمال است. این باد از خرداد تا شهریور در نواحی شمال غربی خاورمیانه شکل می‌گیرد و با گذر از کوه‌های ترکیه به بیابان‌های عراق و سوریه سراریز می‌شود و تا خلیج فارس و رسیدن به سطح آب‌های آزاد پیش می‌رود (Ansari-Renani, 2011). بر اساس تعریف سازمان جهانی هواشناسی^۱ شدت گرد و غبار از نظر میدان دید افقی به چهار طبقه تقسیم‌بندی می‌شود که عبارت‌اند از: گرد و غبار ضعیف با میدان دید افقی بیشتر از ۱۰ کیلومتر، گرد و غبار متوسط با میدان دید بین ۱ تا ۱۰ کیلومتر، طوفان شدید با میدان دید بین ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ متر و طوفان خیلی شدید با میدان دید کمتر از ۲۰۰ متر (Tan et al, 2014). مشاهدات پدیده‌های هواشناسی به فاصله ۳ ساعت یک‌بار و در مجموع ۸ بار در شبانه‌روز ثبت می‌شود (O'Loingsigh et al, 2014). در این مشاهدات، پدیده‌های بصری آب‌وهوا بر اساس دستورالعمل سازمان جهانی هواشناسی در ۱۰۰ کد (۹۹-۰۰) تعریف شده است؛ از بین ۱۰۰ کد به طور کلی، به منظور ثبت و گزارش پدیده گرد و غبار در ایستگاه‌های مختلف هواشناسی از ۱۱ کد استفاده می‌شود (O'Loingsigh et al, 2014). کدهای مربوط به طوفان‌های گرد و غبار در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس تعریف سازمان جهانی هواشناسی، روزهای همراه با طوفان‌های گرد و غبار به‌روزهایی گفته می‌شود که حداقل در یکی از هشت سینوپ (گزارش‌های سه ساعته دیده‌بانی)، یکی از کدهای مربوط به گرد و غبار (۰۶، ۰۷، ۰۸، ۰۹، ۳۰ تا ۳۵ و ۹۸) در بخش هوای حاضر گزارش شده باشد، البته به شرط اینکه داده‌های قدرت دید افقی متناظر با آن کد گرد و غبار کمتر از ۱۰۰۰ متر به ثبت رسیده باشد (Mohammadi, 2015).

جدول ۱. کدهای سازمان جهانی هواشناسی مرتبط با پدیده‌های گرد و غبار (O'Loingsigh et al, 2014)

کد	توضیح
۰۶	رخداد طوفان گرد و غبار گسترده در خارج از ایستگاه هواشناسی
۰۷	خاک یا شن برخاسته از زمین در محدوده ایستگاه هواشناسی
۰۸	مشاهده گردباد در محدوده ایستگاه هواشناسی یا خارج از آن در زمان دیدبانی یا طی ساعت گذشته
۰۹	طوفان شن یا ریزگرد در زمان دیدبانی در خارج از ایستگاه یا طی ساعت گذشته در محدوده ایستگاه هواشناسی
۳۰	طوفان خفیف یا متوسط شن یا خاک با روند کاهشی طی ساعت گذشته و با سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه یا بیشتر، همراه با کاهش میدان دید به کمتر از ۱۰۰۰ اما بیشتر از ۲۰۰ متر
۳۱	طوفان خفیف یا متوسط شن یا خاک بی‌تغییر شدت طی ساعت گذشته و با سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه یا بیشتر و کاهش میدان دید به کمتر از ۱۰۰۰ ولی بیش از ۲۰۰ متر
۳۲	طوفان خفیف یا متوسط شن یا خاک با افزایش شدت طی ساعت گذشته و با سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه یا بیشتر همراه با کاهش میدان دید به کمتر از ۱۰۰۰ اما بیشتر از ۲۰۰ متر
۳۳	طوفان شدید شن یا خاک همراه با روند کاهشی طی ساعت گذشته و با سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه یا بیشتر و کاهش دید کمتر از ۲۰۰ متر
۳۴	طوفان شدید شن یا خاک بی‌تغییر شدت طی ساعت گذشته و با سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه یا بیشتر همراه با کاهش دید به کمتر از ۲۰۰ متر
۳۵	طوفان شدید شن یا خاک با افزایش شدت طی ساعت گذشته و با سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه یا بیشتر و کاهش دید به کمتر از ۲۰۰ متر
۹۸	رعدوبرق بدون بارش همراه با طوفان شن یا خاک (هبوب)

شناخت پدیده‌های اقلیمی و ارتباط آن‌ها با طوفان‌های گرد و غبار می‌تواند یکی از مهم‌ترین راهکارهای کاهش خسارت‌های ناشی از مخاطرات طبیعی باشد. در بین متغیرهای اقلیمی دما از اهمیت بسزایی برخوردار بوده و شبیه‌سازی دقیق دما و ارتباط آن با گرد و غبار در مطالعات هواشناسی و کشاورزی از اهمیت زیادی برخوردار است (Tanarhte et al, 2012; Ansari Ghoghghar et al., 2020). با بررسی سایر مطالعات و پژوهش‌های انجام‌شده در ارتباط با این موضوع موارد زیر قابل اشاره است:

در پژوهشی حرکت فصلی طوفان‌های گرد و غبار بر فراز منطقه سیستان (ایران) و ویژگی‌های حمل‌ونقل و مناطق آسیب‌دیده را در



طول تابستان (خرداد تا شهریور) و در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۱ با استفاده از اطلاعات مرکز هواشناسی محلی و مشاهدات ماهواره‌ای بررسی شد. نتایج این مطالعه نشان داد که حرکت طوفان‌های گرد و غبار (۳۵۶ رخداده در کل) با دید زیر یک کیلومتر در ایستگاه هواشناسی زابل در ایران، در ماه‌های خرداد و تیر، شدت بالاتری دارد. همچنین دریافتند که در چند مورد طوفان گرد و غبار، سیستم تحت تأثیر مرکز و جنوب عربستان و اقیانوس هند قرار می‌گیرد (Rashki et al, 2015). نتایج روند طولانی مدت ویژگی‌های فصلی روزهای گرد و غبار در غرب ایران طی دوره ۲۰۱۴-۱۹۵۱ نشان داد، فراوانی روزهای گرد و غبار از شمال به جنوب و از شرق به غرب ایران افزایش یافته است. بیش‌ترین روزهای گرد و غبار در ماه‌های می، ژوئن و جولای در جنوب و جنوب غرب و بیش‌ترین شدت روزهای گرد و غبار در مناطق میانی غرب مشاهده شده است (Saremi Naeini, 2016). مطالعه آب‌وهواشناسی طوفان‌های گرد و غبار در ایران نشان داد که بیشینه طوفان‌های گرد و غبار در تابستان و کمینه آن در زمستان رخ می‌دهد. تیرماه بیش‌ترین فراوانی و آذرماه کمترین فراوانی را داشته است (Zanganeh et al, 2014). فراوانی طوفان‌های گرد و غبار در نیمه غربی ایران به‌خصوص جنوب غرب آن در حال افزایش است (Zeinali et al, 2016). عده‌ای از پژوهشگران بر این باورند که در برخی مناطق مانند شرق آسیا همبستگی زیادی بین وقوع گرد و غبارها و سرعت باد در مجاورت سطح زمین وجود دارد. درحالی که در برخی تحقیقات به‌دلیل منشأ محلی داشتن، هیچگونه همبستگی قابل قبولی بین سرعت باد و فراوانی وقوع گرد و غبار مشاهده نشده است (Jalali et al, 2012). برخی پژوهشگران بر این باورند که تغییرات اقلیمی منطقه‌ای نقش مهمی بر وقوع طوفان‌های گرد و غبار فراهم می‌کنند. آنها همچنین نشان دادند که دمای بالای هوا، بارندگی کم، پوشش گیاهی فقیر و سرعت باد شرایط مساعدی برای وقوع طوفان‌های گرد و غبار دارند (Yoshino, 2002). در مطالعه‌ای جهت بررسی عملکرد متغیرهای حدی (دمای بیشینه و دمای کمینه) با فراوانی روزهای همراه با طوفان‌های گرد و غباری، داده‌های ساعتی و روزانه گرد و غبار و همچنین داده‌های هواشناسی ۱۰ ایستگاه سینوپتیک استان لرستان با طول دوره آماری مشترک (۲۰۱۴-۲۰۰۰) در مقیاس فصلی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که متغیر دمای بیشینه با ۵ ایستگاه سینوپتیک دارای روند افزایشی معنادار بیش‌ترین مطابقت اقلیمی را با طوفان‌های گرد و غبار دارد (Ansari Ghojghar & Araghinejad, 2017). (Ghorbani & Moddress, 2019) به مدل‌سازی رابطه فراوانی طوفان‌های گرد و غبار با متغیرهای اقلیمی مناطق بیابانی ایران در فصل تابستان پرداختند. نتایج آنها نشان داد که ایستگاه‌های واقع در جنوب و جنوب‌شرق منطقه مورد مطالعه دارای بیش‌ترین رخداد گرد و غبار هستند. به‌طوری که ایستگاه زابل با (۳۸۹۲ روز) با تفاوت زیادی بیش‌ترین فراوانی وقوع طوفان‌های گرد و غبار را داشته است. متغیر بیشینه دما در ایستگاه قم با ضریب همبستگی ۰/۳۸۹ یک رابطه معنی‌دار و مثبت را نشان داده و ایستگاه ایرانشهر با ضریب همبستگی ۰/۶۲۰- با میانگین دما و میناب با ضریب همبستگی ۰/۴۶۱- با بیشینه دما همبستگی معکوس داشتند. نتایج همبستگی دما با وقوع طوفان‌های گرد و غبار حاکی از آن است که کم فشارهای سطح زمین در ایجاد پدیده‌های غباری در دوره گرم سال مؤثر بوده است. شجاعی‌زاده و همکاران (۲۰۱۳) به تحلیل آماری-اقلیمی رابطه اقلیم و پدیده گرد و غبار شهر ماهشهر در دوره آماری (۲۰۰۵-۱۹۸۶) پرداختند. به این منظور از متغیرهای اقلیمی رطوبت نسبی، حداقل حداکثر دما، میانگین بارش و سرعت باد استفاده کردند. نتایج رگرسیون چند متغیره نشان داد که در ایستگاه ماهشهر ارتباطی قوی بین تمام عناصر اقلیمی با گرد و غبار وجود دارد. بالاترین ضریب همبستگی مربوط به متغیر باد با ۰/۹۵ و همبستگی معکوس با متغیرهای رطوبت و بارش مشاهده می‌شود. همچنین بیان کردند که تعداد روزهای همراه با طوفان‌های گرد و غبار در ایستگاه ماهشهر ۸۱ روز در سال است. در مطالعه‌ای با استفاده از داده‌های ۲۷ ساله گرد و غبار در ۱۴ ایستگاه سینوپتیک در جنوب غرب ایران در بازه زمانی (۲۰۱۷-۱۹۹۰) و با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی هیبرید- پانل دیتا، شبکه عصبی تطبیقی ANFIS اقدام به پیش‌بینی گرد و غبار کردند و برای اولویت‌سنجی ایستگاه‌های بیش‌تر در معرض گرد و غبار از مدل‌های تصمیم‌گیری چند متغیره TOPSIS و SAW استفاده شد. یافته‌های پژوهش نشان داد که میزان اطمینان حاصل از مدل‌های خطا سنجی (شبکه عصبی هیبرید-پانل نسبت به شبکه عصبی تطبیقی ANFIS) بیش‌تر است. بر اساس مدل‌های پیش‌بینی بیش‌ترین احتمال رخداد، حداکثر گرد و غبار در ۲۳ سال آینده پیش‌بینی شده در منطقه مورد مطالعه در دو ایستگاه سرپل ذهاب و آبادان به ترتیب با درصد (۱۲۰/۷۰۹، ۱۲۸/۹۱۷) به دست آمده است. بر اساس مدل SAW بیش‌ترین مقدار احتمال رخداد گرد و غبار پیش‌بینی شده در ۲۳ سال آینده در ایستگاه آبادان با ۰/۹۹ و بر اساس مدل TOPSIS در ایستگاه اسلام‌آباد غرب با مقدار ۰/۹۷ را به خود اختصاص داد (Sobhani & Safarian zengir, 2020). (Amini, 2020) در مطالعات خود به تأثیر تغییرات طولانی مدت آب و هوایی نظیر بارش و دما بر وقوع طوفان‌های گرد و غبار در استان کردستان پرداخت. در این تحقیق از آزمون گرافیکی من-کندال برای بررسی تغییراتی که در سری زمانی برای میانگین دما و میزان بارندگی ماهانه رخ داده استفاده شده است. توزیع فضایی دما و بارندگی همراه با شاخص‌های خشک‌سالی در محیط GIS تأمین شد. نتایج نشان داد که تغییرات بارندگی و پارامترهای دما منجر به

گسترش خشک‌سالی در منطقه شده است. در یک سری زمانی طولانی مدت ۳۰ ساله، ۱۹ و ۳۱ ماه برای تغییرات، به ترتیب، میانگین بارش و دما در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه ثبت شد. در این روند، به ترتیب ۷ و ۵ ماه با توجه به تغییرات ناگهانی بارش و دما گزارش شده است. همچنین، تعداد روزهای گرد و غبار به طور قابل توجهی افزایش یافته است. Su et al. (2014) تغییرات زمانی و مکانی روزهای غباری و ارتباط آن با پارامترهای هواشناسی از سال (۲۰۱۳-۱۹۶۱) در سه کلانشهر (پکن، نانجینگ و گوانگژو) را با استفاده از آزمون‌های آماری من-کندال و ضریب همبستگی پیرسون مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که فراوانی روزهای غباری در نانجینگ و گوانگژو به‌طور مداوم از سال ۱۹۶۱ در حال افزایش می‌باشد درحالی‌که روند افزایشی در پکن از سال ۲۰۰۰ آغاز شده است. Sepahvand et al. (2019) در تحقیقی در استان‌های لرستان، کرمانشاه، همدان، ایلام، مرکزی و کردستان نتیجه گرفتند که همبستگی متغیرهای اقلیمی فشار، دما و بارش بر پدیده گرد و غبار در مکان‌های مختلف متفاوت است.

با توجه به اهمیت طوفان‌های گرد و غبار در غرب کشور و اثرات مخرب و پیامدهای نامطلوب این پدیده، مطالعات و پیش‌بینی آن امری ضروری است. طوفان‌های گرد و غبار با عناصر اقلیمی مانند بارش، دما و سرعت باد ارتباط دارد. افزایش دما باعث می‌شود که رطوبت خاک از بین رفته و در نتیجه باعث کاهش چسبندگی و افزایش فرسایش‌پذیری خاک می‌شود. در این تحقیق با استفاده از داده‌های ساعتی قدرت دید افقی، کدهای سازمان جهانی هواشناسی و همچنین نمایه‌های حدی دمایی^۱ شامل دمای بیشینه^۲ (T_{Xx}) و دمای کمینه^۳ (T_{Nn}) در مقیاس ماهانه برای ۱۴ ایستگاه هواشناسی در غرب کشور با طول دوره آماری ۲۵ ساله (۱۹۹۰-۲۰۱۴) به بررسی ارتباط بین متغیرهای حدی دمایی با طوفان‌های گرد و غبار و همچنین پیش‌بینی شاخص FDSO پرداخته شد. برای بررسی روابط آماری از ضرایب همبستگی تاو-کندال و پیرسون استفاده شد و نقشه ضرایب همبستگی به روش اسپلین تهیه گردید. همچنین برای پیش‌بینی فراوانی روزهای همراه با طوفان‌های گرد و غبار (FDSO) سه مدل هوش مصنوعی شامل الگوریتم بهترین همسایگی (KNN)، برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) و شبکه بیزین (BN) مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

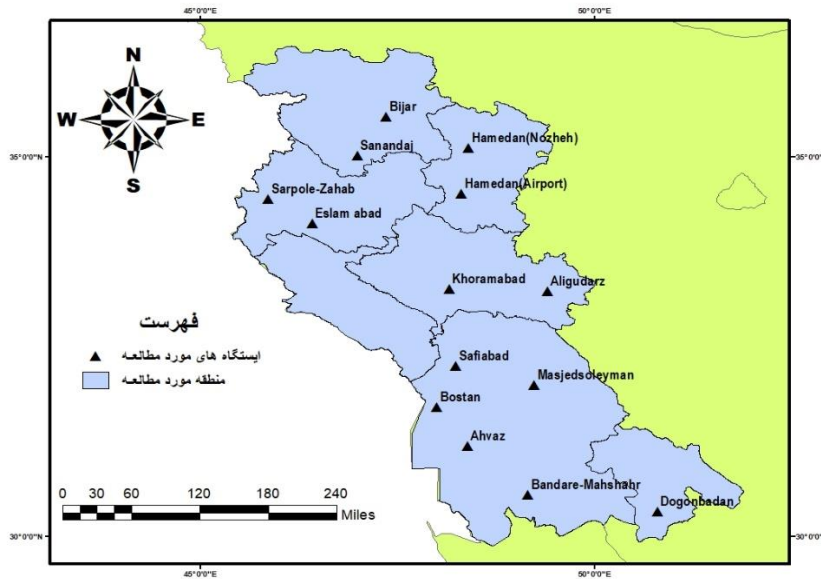
منطقه مورد مطالعه

به منظور انجام پژوهش حاضر، از داده‌های ساعتی قدرت دید افقی، کدهای سازمان جهانی هواشناسی و همچنین نمایه‌های حدی ماهانه شامل دمای بیشینه (T_{Xx}) و دمای کمینه (T_{Nn}) برای ۱۴ ایستگاه هواشناسی واقع در ۶ استان در غرب کشور (کردستان، کرمانشاه، همدان، لرستان، خوزستان و کهگیلویه و بویر احمد) با طول دوره آماری ۲۵ ساله (۱۹۹۰-۲۰۱۴) استفاده شد. شکل ۱ پراکنش ایستگاه‌های سینوپتیک به کاررفته رفته در این تحقیق را نشان می‌دهد و خصوصیات ایستگاه‌ها در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد بررسی

نام ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع (متر)
اسلام آباد	۴۶/۴۳	۳۴/۱۳	۱۳۴۹
سرپل ذهاب	۴۵/۸۷	۳۴/۴۵	۵۴۵
بیجار	۴۷/۳۷	۳۵/۵۳	۱۸۸۳/۴
سندج	۴۷	۳۵/۰۲	۱۳۷۳/۴
الیگودرز	۴۹/۴۱	۳۳/۲۴	۱۹۷۲
خرم‌آباد	۴۸/۱۷	۳۳/۲۶	۱۱۴۷/۸
همدان هواپیمایی	۴۸/۳۲	۳۴/۵۲	۱۷۳۰
همدان نوژه	۴۸/۴۱	۳۵/۱۲	۱۶۷۹
اهواز	۴۸/۴	۳۱/۲	۲۲/۵
بندر ماهشهر	۴۹/۱۶	۳۰/۵۶	۶/۲
بستان	۴۸/۰۱	۳۱/۷۱	۸/۶
صفی‌آباد	۴۸/۲۵	۳۲/۲۵	۸۲
مسجدسلیمان	۴۹/۲۴	۳۲	۳۲۰
دو گنبدان	۵۰/۸۱	۳۰/۳۳	۷۲۶

1. Temperature extreme variables
 2. Maximum temperature
 3. Minimum temperature



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در غرب کشور

در این تحقیق برای تشخیص طوفان‌های گرد و غباری، از فاکتور قدرت دید افقی $1000 \leq$ متر برای همه کدهای هواشناسی گرد و غبار استفاده شده است (Goudie & Middleton, 2006). با توجه به اینکه داده‌های گرد و غبار به صورت تفکیک نشده از سایر پدیده‌های هواشناسی از سازمان هواشناسی در اختیار قرار می‌گیرد، در مرحله اول، کدهای مربوط به گرد و غبار از سایر پدیده‌های اقلیمی در ساعات مختلف سینوپتیکی جدا شد (Goudie & Middleton, 2006). پس از بررسی و کنترل کیفی آمار ایستگاه‌ها و رفع نواقص آماری، همگنی داده‌ها با استفاده از آزمون Run Test ارزیابی و تصادفی بودن داده‌ها در سطح اطمینان ۹۵٪ پذیرفته شد. در انجام این تحقیق برای بررسی رابطه نمایه‌های حدی دمایی با طوفان‌های گرد و غبار، داده‌های حدی دمایی ایستگاه‌ها (به عنوان متغیر مستقل) و همچنین متغیر فراوانی روزهای همراه با طوفان‌های گرد و غبار آن‌ها (به عنوان متغیر وابسته) با تکنیک‌های همبستگی تاو-کندال و پیرسون مورد پردازش و تحلیل واقع شدند و نقشه پهنه بندی ضرایب همبستگی به روش اسپلاین (روش شعاع پایه) در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. در انتها مدل‌های پیش‌بینی کننده گرد و غبار مورد ارزیابی قرار گرفت و بهترین مدل پیش‌بینی معرفی گردید.

ضریب همبستگی تاو-کندال

یکی از ضرایب همبستگی به نام همبستگی مان-کندال یا تاو-کندال معروف است. برای استفاده از این همبستگی به مقادیر نسبی داده‌ها نیاز است (Asakereh, 2011). ضریب همبستگی تاو-کندال برای سنجش میزان تناظر یا مطابقت بین دو مجموعه و ارزیابی معنی‌داری این تناظر به کار می‌رود (Mahdavi & Taherkhani, 2005). ضریب تاو-کندال همواره بین -۱ تا +۱ در نوسان است. اگر بین دو رتبه یا دو مجموعه توافق کامل وجود داشته باشد، مقدار ضریب +۱ خواهد بود. اگر بین دو مجموعه عدم توافق کامل وجود داشته باشد، مقدار ضریب -۱ خواهد بود. اما اگر رتبه‌ها به‌طور کامل مستقل از هم باشند و افزایش یا کاهش در یکی با افزایش و یا کاهش دیگری مرتبط نباشد، مقدار ضریب به‌طور متوسط برابر با صفر خواهد بود. ضریب همبستگی تاو-کندال از رابطه ۱ محاسبه می‌شود (Mahdavi & Taherkhani, 2005).

$$\tau = \frac{2S}{N(N-1)} \quad \text{رابطه ۱}$$

τ = ضریب همبستگی تاو-کندال

S = مجموع ضرایب همبستگی مرتب شده

N = مقدار حجم جامعه

مقدار ضریب S از طریق رابطه ۲ قابل محاسبه است:

$$S = \sum P_i - \sum Q_i \quad \text{رابطه ۲}$$

P_i = اعداد بزرگتر از حد آستانه
 Q_i = اعداد کوچکتر از حد آستانه

ضریب همبستگی پیرسون

کارل پیرسون یکی از افرادی بود که نحوه محاسبه همبستگی را به صورت فرمول بیان کرد و این روش زمانی کاربرد دارد که مقیاس اندازه گیری داده‌ها، فاصله‌ای و یا نسبی باشند و می‌توان طبق فرمول زیر ضریب همبستگی را محاسبه نمود (Pearson, 1897).

$$r_{xy} = \frac{n \sum xy - \sum x \cdot \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} = \frac{cov(x, y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad \text{رابطه ۳}$$

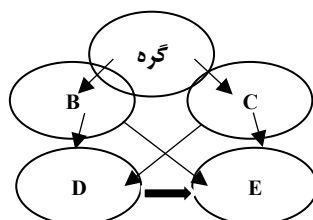
در صورت فرمول، کواریانس x و y می‌باشد که با صورت شیب خط رگرسیون برابر است و در مخرج آن دو انحراف معیار x و y در هم ضرب شده است. ضریب همبستگی در فاصله -1 تا $+1$ ($-1 \leq r_{xy} \leq +1$) تغییر می‌کند بنابراین علامت ضریب همبستگی جهت و مقدار آن، شدت ضریب همبستگی را نشان می‌دهد.

شبکه بی‌زین^۱ (BN)

نخستین بار در اوایل دهه ۱۹۹۰ به‌وسیله بنتین و بعدها Mackay (۱۹۹۲) برای شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌کار برده شد و با سرعت به یک ابزار انتخاب برای کاربردهای هوش مصنوعی تبدیل شد (Mackay, 1992). در شبکه‌های بی‌زین برخلاف شبکه‌های عصبی متداول هدف یافتن یک بردار وزن بهینه نیست، بلکه ارائه عدم قطعیت صریح با توجه به مقادیر وزن به‌وسیله توزیع احتمال ثانویه است (Kingston et al, 2005). شبکه بی‌زین، نمایش با معنی روابط نامشخص مابین پارامترها در یک فرآیند می‌باشد و گرافی جهت‌دار غیر حلقوی از گره‌ها، برای نمایش متغیرهای تصادفی و کمان‌ها، برای نمایش روابط احتمالی میان متغیرها به‌شمار می‌رود. Mackay (۱۹۹۲) دو سطح از استنتاج‌های بی‌زین را که می‌توان در مدل‌سازی شبکه عصبی بی‌زین به‌کار رود، تشریح کرده است. اولین سطح شامل استخراج شبکه وزن‌ها می‌باشد، البته با این فرض که ساختار شبکه انتخاب شده صحیح است. سطح دوم شامل مقایسه مدل‌ها و انتخاب مدل است (Mackay, 1992). شبکه بی‌زین یک مدل گرافیکی احتمالاتی است که مجموعه‌ای از متغیرها و احتمالات را نشان می‌دهد. این شبکه، یک گراف مستقیم و غیرچرخه‌ای است که در آن گره‌ها در حکم متغیرهای مسئله هستند. شبکه‌های بی‌زین محدودیتی در نمایاندن متغیرهای تصادفی ندارند. ساختار یک شبکه بی‌زین در واقع یک نمایش نموداری از اثرات متقابل متغیرهایی است که باید الگوبندی شوند، علاوه بر اینکه کیفیت، رابطه بین متغیرها را نیز به نمایش می‌گذارد. این روش بر مبنای محاسبات احتمالات شرطی (قانون بی‌زین^۲) است. معادله زیر رابطه بی‌زین را نشان می‌دهد.

$$P(a|b) = \frac{P(b|a) \times P(a)}{P(b)} \quad \text{رابطه ۴}$$

که در آن، $P(a)$ احتمال وقوع پیشامد a ، $P(b)$ احتمال وقوع پیشامد b ، $P(b|a)$ احتمال شرطی پیشامد b است به شرطی که پیشامد a اتفاق افتاده باشد و $P(a|b)$ احتمال شرطی پیشامد a است. شکل ۲، نمونه‌ای از گراف بی‌زین را به‌صورت چرخه‌ای و مستقیم نشان می‌دهد.



شکل ۲. نمایش گراف چرخه‌ای و مستقیم شبکه بی‌زین

برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP)

برنامه‌ریزی بیان ژن که در ادامه سیر تکاملی مدل‌های هوشمند به‌وجود آمده است، جزء روش‌های الگوریتم گردشی محسوب می‌شود که مبنای تمامی آنها بر اساس نظریه تکامل داروین استوار است (Danandehmehr & Tabatabaie, 2010). مزیت فرامدل شبیه‌ساز بیان ژن نسبت به مدل‌های دیگر از جمله شبکه عصبی مصنوعی این است که در فرامدل شبیه‌ساز بیان ژن، ابتدا ساختار (متغیرهای ورودی، هدف



و مجموع توابع) تعریف شده، سپس ساختار بهینه مدل و ضرایب طی فرآیند آموزش تعیین می‌شوند. درحالی که در شبکه‌های عصبی، ابتدا باید ساختار تعیین شده، فقط ضرایب مدل طی فرآیند آموزش حاصل می‌شوند. همچنین، این الگوریتم به‌طور خودکار می‌تواند متغیرهای ورودی که در این روش کروموزوم‌های خطی و ساده با طول ثابت، مشابه با آنچه که در الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود و ساختارهای شاخه‌ای با اندازه‌ها و اشکال متفاوت، مشابه با درختان تجزیه در برنامه‌ریزی ژنتیک ترکیب می‌شوند. اولین مرحله در الگوریتم مدل، تولید جمعیت اولیه از راه حل‌هاست. این امر می‌تواند به‌وسیله فرآیند تصادفی و یا در نظر گرفتن اطلاعات ورودی درباره مسأله انجام شود. سپس کروموزوم‌ها به‌صورت بیان درختی ارائه شده، به‌وسیله تابع برازش ارزیابی می‌شوند. در صورت دستیابی به راه‌حل مطلوب و یا رسیدن نسل‌ها به تعداد معین، تکامل متوقف شده و بهترین راه‌حل ارائه می‌شود. اگر شرایط توقف یافت نشود، نخبه‌گزینی انجام می‌شود و باقی راه‌حل‌ها به فرآیندی گزینشی واگذار می‌شوند. این فرآیند برای چندین نسل تکرار می‌شود و با پیش رفتن نسل به جلو کیفیت جمعیت نیز به‌طور نسبی بهبود می‌یابد (Ferreira, 2006). فرامدل شبیه‌ساز بیان ژن نیز همانند الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی ژنتیک، یک الگوریتم ژنتیکی است. تفاوت اساسی بین این الگوریتم، مربوط به ماهیت افراد آن‌ها است به‌طوری که در الگوریتم ژنتیک، افراد رشته‌های خطی با طول ثابت (کروموزوم‌ها) و در برنامه‌ریزی ژنتیک، نهاده‌های غیر خطی با اندازه‌ها و اشکال متفاوت (درختان تجزیه) می‌باشند، در حالی که در فرامدل شبیه‌ساز بیان ژن، افراد به‌صورت رشته‌های خطی با طول ثابت (ژنوم یا کروموزوم‌ها) کدگذاری شده و سپس به شکل نهاده‌های غیر خطی با اندازه‌ها و اشکال متفاوت (یعنی نمایش دیاگرام ساده یا بیان درختی) بیان می‌شوند (Ferreira, 2001). برای کسب اطلاعات بیشتر با این مدل به تحقیقات Meshkani & Nazemi (2009) و Singh, et al. (2002) مراجعه شود.

الگوریتم بهترین همسایگی K-NN

مفاهیم اولیه و الگوریتم کلی استفاده از K-NN در فرآیندهای پیش‌بینی

از مزایای استفاده از الگوریتم K-NN در فرآیندهای پیش‌بینی، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (Yakowitz, 1985; Karlsson & Yakowitz, 1987; Jayawardena et al., 2002):

۱. اجرای ساده

۲. عدم نیاز به مرحله تخمین پارامترها

۳. قابلیت مدل‌سازی غیرخطی

۴. مؤثر بودن و عملکرد با بازدهی بالا در برخورد با تعداد دسته‌های زیاد از داده‌ها.

از محدودیت‌های استفاده از الگوریتم K-NN در فرآیندهای پیش‌بینی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (Jayawardena et al., 2002; Todeschini, 1989):

از آنجا که این مدل سعی در شناسایی الگوهای مشابه در سری تاریخی و استفاده از آن‌ها در پیش‌بینی دارد، وجود اطلاعات کافی برای واسنجی آن لازم است. اطلاعات کوتاه‌مدت ممکن است منجر به خطاهای زیادی در مدلسازی با استفاده از این الگوریتم شود. همان‌گونه که از روابط مربوط به ساختار روش K-NN برای تخمین اطلاعات توسط این الگوریتم بر می‌آید این الگوریتم قادر نیست مقادیر بزرگ‌تر از بیش‌ترین مقدار مشاهده شده تاریخی و کوچک‌تر از کمترین مقدار مشاهده شده تاریخی تولید کند. به عبارت دیگر این الگوریتم تنها توانایی درون‌یابی بین اطلاعات را دارد و قادر به انجام برون‌یابی نیست. بنابراین استفاده از این الگوریتم در پیش‌بینی مقادیر تا حدی ممکن است منجر به تولید خطاهای چشمگیر شود.

در روش K-NN تابع توزیع مقادیر در پیش‌بینی با استفاده از توزیع ناپارامتری تابع کرنل به‌دست می‌آید. مفهوم مورد استفاده در این روش به این شرح است که با مشاهده متغیرهای مستقل در زمان واقعی، مدل به جستجوی الگوهای مشابه شرایط فعلی در سری تاریخی می‌پردازد. وقایعی که در سری تاریخی در این الگوها پیش آمده‌اند می‌توانند به عنوان گزینه‌های محتمل در شرایط فعلی در نظر گرفته شوند. احتمال وقوع هر یک از این حالتها در شرایط حاضر، بستگی به شباهت بردار متغیرهای مستقل فعلی با بردار متغیرهای مستقل مشاهداتی در سری تاریخی دارد. دو عامل مهم در به کارگیری روش K-NN، تعداد همسایه‌ها (K) و وزن پیش‌بینی کننده‌ها (W_j) هستند. براساس توضیحات ارائه شده، الگوریتم انجام پیش‌بینی با استفاده از روش K-NN به‌صورت زیر است:

۱- بردار سطری m ستونه مقادیر متغیرهای پیش‌بینی کننده X_j در زمان t به‌صورت زیر است.

$$Pr_{jt} = (X_{jt}) \quad j = 1 \dots m$$

رابطه (۵)

ماتریس m ستونه و n سطری از مقادیر متغیرهای پیش بینی کننده X_j در سری زمانی تاریخی به صورت زیر است

$$Pr_{j,(t-i)} = (X_{j,(t-i)}) \quad j = 1 \dots m, i = 1 \dots n \quad \text{رابطه (۶)}$$

با استفاده از تابع فاصله سنجی $Dist$ ، فواصل بین بردار $Pr_{j,t}$ با سطرهاى ماتریس $Pr_{j,(t-i)}$ استخراج می گردد

$$Dist(t-i) = f(W_j, X_{j,(t-i)}, X_{jt}) \quad \text{رابطه (۷)}$$

که در این رابطه اندیس j نشان دهنده متغیرهای پیش بینی کننده و اندیس i بیان کننده گام زمانی در سری تاریخی است. مقادیر W_j ، وزنهایی است که برای پیش بینی کنندهها در نظر گرفته می شود.

در این تحقیق برای تعیین وزن ها از روش صحت سنجی متقاطع تعمیم داده شده^۱ استفاده شد. رابطه محاسبه GCV به صورت زیر است (Tarboton et al., 1993):

$$GCV = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2 / n}{(1 - 1 / \sum_{j=1}^k 1/j)^2} \quad \text{رابطه (۸)}$$

که در این رابطه n تعداد داده ها و e_i خطای پیش بینی ها و k تعداد بهترین همسایگی است. در این فرآیند پس از انتخاب بهترین همسایگی، مقادیر مختلفی برای وزن ها در نظر گرفته می شود و در نهایت وزن هایی که کمترین GCV را نتیجه می دهند، انتخاب می گردند. محدوده وزن ها را می توان به نسبت میزان همبستگی بین هر یک از متغیرهای پیش بینی کننده با متغیر وابسته تعیین کرد.

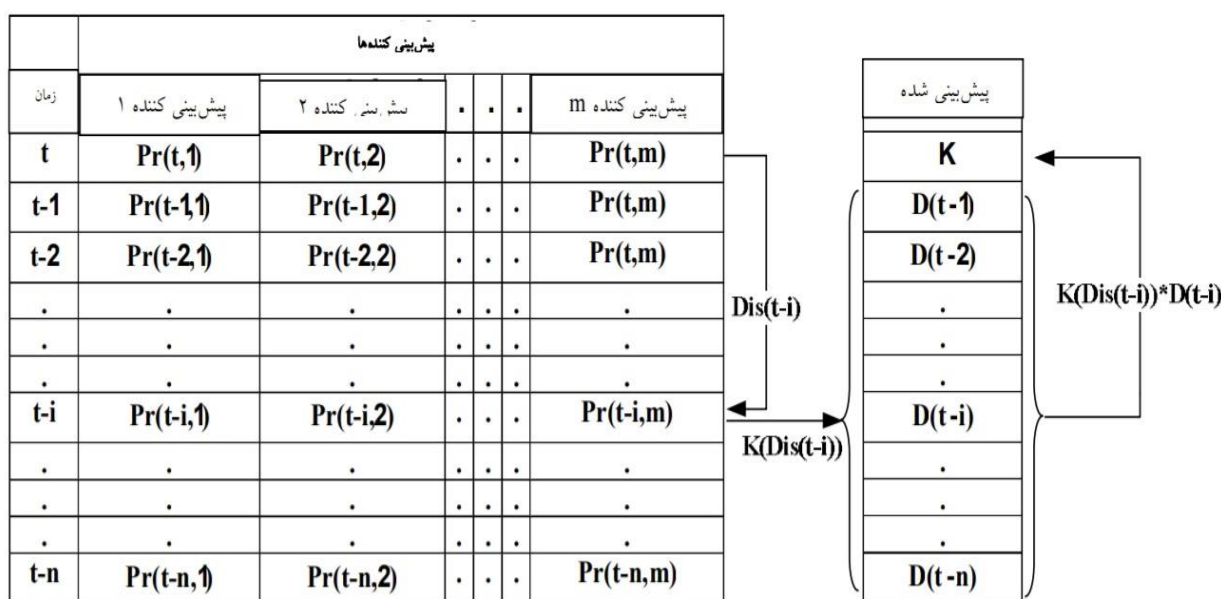
۲_ از یک تابع کرنل گسسته برای وزن دهی به همسایه ها استفاده می شود. یاکوویتز، تابع کرنل زیر را پیشنهاد داده است (Yakowitz, 1985):

$$K(Dist(t-i)) = \frac{1/Dist(t-1)}{\sum_{i=1}^k 1/Dist(t-i)} \quad \text{رابطه (۹)}$$

نزدیک ترین همسایه ها بر اساس وزن محاسبه شده از ۱ تا K رتبه بندی می شوند به نحوی که همسایه با بیش ترین وزن، کمترین رتبه را دارد و برعکس. چنانچه دو یا چند همسایه دارای یک وزن باشند، رتبه همسایه ای که در سری تاریخی فاصله زمانی کمتری با زمان پیش بینی دارد، کمتر در نظر گرفته می شود. اینکه بتوان تعیین کرد کدام تعداد همسایگی به عنوان بهترین تعداد همسایگی است یکی از دغدغه های موجود در این روش است. در نهایت مقدار پیش بینی از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$D(t) = \sum_{i=1}^K k(Dist(t-i)) \times D(t-i) \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

که در این رابطه $D(t-i)$ مقدار متغیر وابسته در زمان $t-i$ و $D(t)$ مقدار متغیر وابسته در زمان t است. شکل ۳ شماتیک روش پیش بینی K-NN را نشان می دهد.



شکل ۳. شماتیک روش پیش بینی K-NN با استفاده از تابع کرنل

مدل‌های پیش‌بینی

به منظور پیش‌بینی کمی فراوانی روزهای همراه با طوفان‌های گرد و غبار (FDSD) سه مدل هوش مصنوعی شامل الگوریتم بهترین همسایگی (KNN)، برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) و شبکه بیزین (BN) مورد استفاده قرار گرفت. سپس بر اساس معیارهای ارزیابی بهترین مدل در هر پیش‌بینی انتخاب شد. متغیر تعداد فصل (های) گذشته برای پیش‌بینی فصل آتی به کار گرفته شد که می‌تواند شامل یک، دو، سه و چهار فصل قبل از متغیر فراوانی روزهای همراه با طوفان‌های گرد و غبار باشد. در مدل ۱، برای پیش‌بینی متغیر فراوانی روزهای همراه با طوفان‌های گرد و غبار در فصل بعد، از سری زمانی FDSD با یک گام تأخیر استفاده شد. بدین صورت که برای پیش‌بینی در زمان $t+1$ از مقدار آن در زمان t استفاده شد. در مدل ۲، پیش‌بینی در فصل بعد بر اساس مقادیر فراوانی روزهای همراه با طوفان‌های گرد و غبار تا دو فصل قبل استفاده شد و به طور مشابه در مدل ۳ و ۴، پیش‌بینی‌ها بر اساس مقادیر متغیر مورد نظر تا سه و چهار فصل قبل صورت پذیرفت. روابط زیر در تکمیل توضیحات بیان شده ارائه می‌شود.

$FDSD_{(t+1)} = f(FDSD_{(t)})$	مدل ۱	رابطه (۱۱)
$FDSD_{(t+1)} = f(FDSD_{(t)}, FDSD_{(t-1)})$	مدل ۲	رابطه (۱۲)
$FDSD_{(t+1)} = f(FDSD_{(t)}, FDSD_{(t-1)}, FDSD_{(t-2)})$	مدل ۳	رابطه (۱۳)
$FDSD_{(t+1)} = f(FDSD_{(t)}, FDSD_{(t-1)}, FDSD_{(t-2)}, FDSD_{(t-3)})$	مدل ۴	رابطه (۱۴)

معیارهای ارزیابی

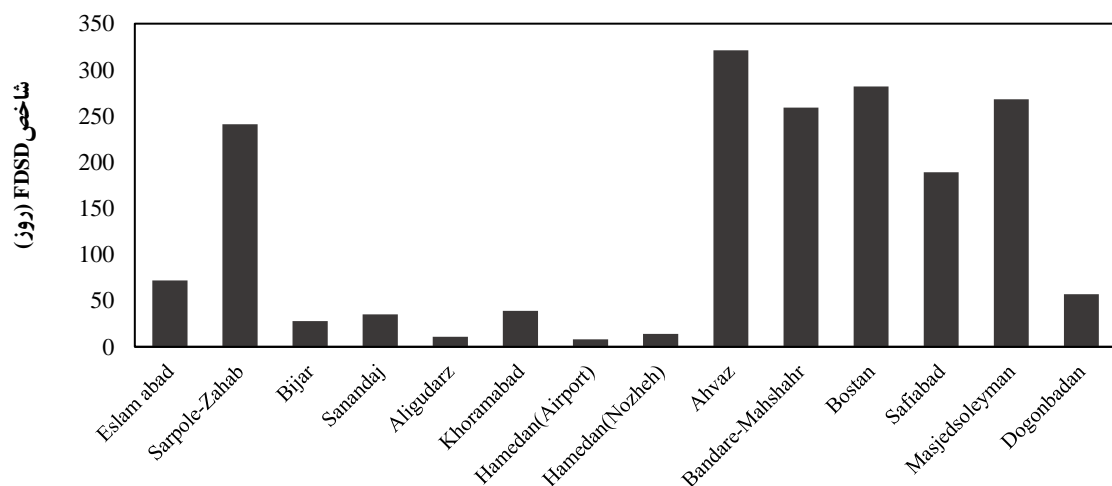
برای ارزیابی مدل‌ها و مقایسه نتایج، از سه معیار ارزیابی یعنی ضریب همبستگی^۱ (R)، جذر میانگین مربعات خطا^۲ (RMSE) و میانگین قدرمطلق خطا^۳ (MAE) استفاده شد. رابطه ریاضی متغیرها به شرح زیر است:

$$R = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(f_i - \bar{f})}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - \bar{f})^2}} \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - f_i)^2} \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

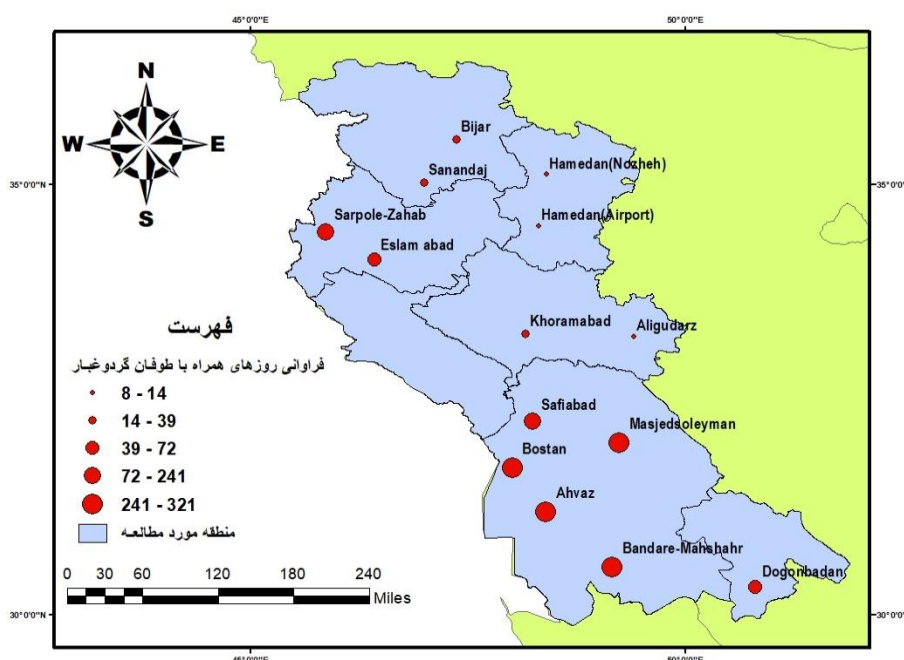
$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |O_i - f_i| \quad \text{رابطه (۱۷)}$$

در این روابط، O_i مقادیر مشاهده شده در گام زمانی t ام، f_i مقادیر پیش‌بینی شده در گام زمانی t ام، \bar{O} میانگین مقادیر مشاهده شده، \bar{f} میانگین مقادیر پیش‌بینی شده و n تعداد داده‌ها است. هر مدلی که دارای R بیشتر، RMSE و MAE کمتر باشد، از مطلوبیت بیشتری برخوردار است.



ایستگاه‌های مورد مطالعه

شکل ۴. مجموع روزهای همراه با طوفان گرد و غبار در ایستگاه‌های مورد مطالعه



شکل ۵. فراوانی طوفان‌های گرد و غباری در نیمه غربی کشور (۱۹۹۰-۲۰۱۴)

نتایج و بحث

بررسی نمایه‌های حدی دمایی و فراوانی روزهای همراه با گرد و غبار

شکل ۴ و ۵، فراوانی روزهای همراه با طوفان‌های گرد و غبار را برای هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. بر اساس استانداردهای جهانی (WMO, 1996) طوفان گرد و غبار زمانی اتفاق می‌افتد که دید افقی به ۱۰۰۰ متر و کمتر و سرعت باد به ۱۵ متر بر ثانیه و بیشتر برسد. نتایج نشان می‌دهد ایستگاه‌های واقع در جنوب غرب منطقه مورد مطالعه دارای بیشترین رخداد گرد و غبار هستند. به طوری که ایستگاه اهواز (۳۲۱ روز) بیشترین فراوانی وقوع طوفان‌های گرد و غبار را داشته است. ایستگاه‌های بستان (۲۸۲)، مسجدسلیمان (۲۶۸)، بندرماهشهر (۲۵۹)، سرپل ذهاب (۲۴۱)، صفی آباد (۱۸۹) و اسلام آباد (۷۲) شامل ایستگاه‌هایی با فراوانی وقوع بالا هستند و کمترین فراوانی وقوع طوفان‌های گرد و غبار در ایستگاه‌های دوگنبدان (۵۷)، خرم آباد (۳۹)، سنندج (۳۵)، بیجار (۲۸)، همدان نوژه (۱۴)، الیگودرز (۱۱) و فرودگاه همدان (۸) بوده است. بر اساس این توضیحات به صورت جغرافیایی می‌توان بیان کرد که ایستگاه‌های واقع در استان خوزستان دارای بیشترین فراوانی وقوع طوفان‌های گرد و غبار می‌باشند.

در این مطالعه با ثابت در نظر گرفتن پارامترهای تأثیرگذار بر روی گرد و غبار، فقط تأثیر متغیرهای حدی دما مورد بررسی قرار گرفته است. جدول ۳ میانگین ماهانه نمایه‌های حدی دما را نشان می‌دهد. می‌توان گفت تعداد روزهای گرد و غباری در مناطق غرب ایران رابطه مستقیم با نمایه‌های حدی دما دارد. باتوجه به جدول ۳، بیشترین فراوانی شاخص FDS مربوط به ایستگاه‌هایی با بیشترین مقدار دما است؛ به نحوی که میانگین دمای بیشینه (T_{XX}) و کمینه (T_{NN}) در ایستگاه اهواز به ترتیب ۴۲/۹ و ۱۰/۳ و همچنین در ایستگاه بستان به ترتیب ۴۲/۶ و ۷/۱ درجه سلسیوس، بالاترین مقادیر عددی در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد. علت این افزایش دما و خشکی منطقه را می‌توان در مواردی همچون گرمایش جهانی، بیابان‌زایی و خشک شدن تالاب‌های منطقه جستجو کرد. نتایج این قسمت با Zeinali (2016) و Cao et al. (2014) همخوانی دارد.

ارزیابی همبستگی بین تعداد روزهای گردوغبار و متغیرهای حدی دمایی

مقدار ضریب همبستگی بین نمایه‌های حدی دمایی (T_{NN} ، T_{XX}) با تعداد روزهای همراه با طوفان‌های گرد و غبار (شاخص FDS) در جدول ۴ آورده شده است. نتایج همبستگی در غرب کشور نشان می‌دهد که در بیشتر ایستگاه‌های واقع در این منطقه، بین شاخص FDS و نمایه‌های حدی دمایی ارتباطی قوی و مؤثر وجود دارد. نتایج آزمون تاو-کندال برای داده‌های طوفان گرد و غبار در جدول ۴ نشان دهنده این موضوع است که بین نمایه‌های حدی دما و وقوع پدیده گرد و غبار در تمامی ۱۴ ایستگاه همبستگی مثبت وجود دارد. این همبستگی

برای اکثر ایستگاه‌ها در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار شده است. طبق آزمون همبستگی تاو-کندال، رابطه بین متغیرهای حدی دما و شاخص FDSI در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه مثبت بوده است؛ به‌نحوی که در مورد دمای بیشینه (T_{xx}) و فراوانی روزهای همراه با طوفان گرد و غبار، بالاترین همبستگی مربوط به ایستگاه دوگنبدان با مقدار $0/202$ و کمترین همبستگی مربوط به ایستگاه اسلام آباد با مقدار $0/138$ می‌باشد. مطابق آنچه گفته شد، در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه بین دمای کمینه (T_{Nn}) و فراوانی روزهای همراه با طوفان گرد و غبار نیز همبستگی مثبتی وجود دارد. به‌گونه‌ای که ضریب همبستگی در ایستگاه سر پل ذهاب با مقدار $0/242$ بالاترین و در ایستگاه الیگودرز با مقدار $0/137$ کمترین مقدار را دارا می‌باشد. نتایج این تحقیق در ارتباط با همبستگی نمایه‌های حدی دما با طوفان‌های گرد و غبار با نتایج مطالعات انصاری قوجقار و عراقی‌نژاد (۲۰۱۷)، دانش شهرکی و همکاران (۲۰۱۷) همسو است. باتوجه به جدول ۴، نتایج همبستگی پیرسون نشان می‌دهد که بین نمایه‌های حدی دما و شاخص FDSI رابطه‌ای مستقیم و مثبت برقرار است؛ به‌نحوی که در مورد دمای بیشینه (T_{xx}) و فراوانی روزهای همراه با طوفان گرد و غبار، بالاترین همبستگی مربوط به ایستگاه دوگنبدان با مقدار $0/415$ و کمترین همبستگی مربوط به ایستگاه الیگودرز با مقدار $0/111$ و در مورد دمای کمینه (T_{Nn}) نیز همبستگی در ایستگاه اسلام آباد با مقدار $0/211$ بالاترین و در ایستگاه مسجدسلیمان با مقدار $0/107$ کمترین مقدار را دارا می‌باشد. باتوجه به جدول ۴ می‌توان دریافت که ضرایب آزمون همبستگی تاو-کندال و پیرسون به‌منظور ارتباط سنجی نمایه‌های حدی دمایی با شاخص FDSI، با افزایش تعداد روزهای همراه با طوفان گرد و غبار رابطه مستقیمی دارد؛ بدین معنی که با افزایش فراوانی روزهای همراه با طوفان گرد و غبار، مقادیر ضرایب همبستگی نیز افزایش می‌یابند. به‌منظور تحلیل منطقه‌ای ضریب همبستگی بین نمایه‌های حدی دمایی و فراوانی گرد و غبار، نقشه پهنه‌بندی این ضرایب در شکل‌های ۶ تا ۹ نمایش داده شده‌اند.

جدول ۳. میانگین سالانه نمایه‌های حدی دما و شاخص FDSI در ایستگاه‌های مورد مطالعه

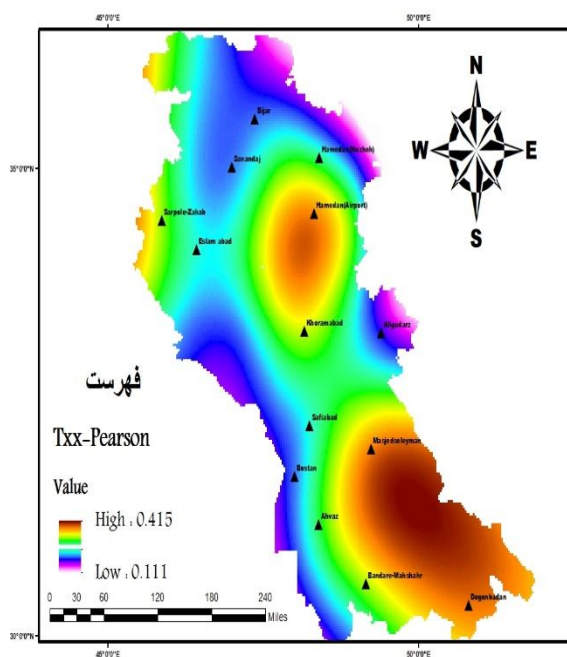
نام ایستگاه	روزهای همراه با گردوغبار (FDSI)	$T_{xx}(^{\circ}C)$	$T_{Nn}(^{\circ}C)$
اهواز	۳۲۱	۴۲/۹	۱۰/۳
بستان	۲۸۲	۴۲/۶	۷/۱
مسجد سلیمان	۲۶۸	۴۱/۵	۱۰/۳
بندر ماهشهر	۲۵۹	۴۲/۶	۹/۴
سر پل ذهاب	۲۴۱	۳۸/۵	۳/۱
صفی آباد	۱۸۹	۴۱/۸	۷/۳
اسلام آباد	۷۲	۳۲/۵	-۵/۱
دو گنبدان	۵۷	۳۹/۳	۶/۶
خرم آباد	۳۹	۳۴/۸	-۰/۲
سندج	۳۵	۳۲/۷	-۴/۲
بیجار	۲۸	۲۷/۸	-۵/۶
همدان نوژه	۱۴	۳۰/۶	-۸/۹
الیگودرز	۱۱	۲۸/۸	-۴/۸
فرودگاه همدان	۸	۳۰/۲	-۷/۷

شکل ۶ نقشه ضریب همبستگی پیرسون نمایه بیشینه دما با فراوانی وقوع طوفان‌های گرد و غبار در نیمه‌غربی کشور است و نشان می‌دهد که در بخش‌های جنوب غربی کشور و بیشتر ایستگاه‌های مسجد سلیمان و دوگنبدان، فراوانی وقوع طوفان‌های گرد و غبار تحت تأثیر نمایه بیشینه دما بوده و در این مناطق مقدار ضریب همبستگی معنی‌دار است یعنی افزایش دما باعث افزایش طوفان‌های گرد و غبار خواهد شد. نقشه ضریب همبستگی پیرسون نمایه کمینه دما نیز نشان دهنده همبستگی مثبت و قوی با فراوانی وقوع طوفان‌های گرد و غبار در قسمت‌های غربی است و هرچه به سمت نواحی مرکزی و جنوب غرب می‌رویم از شدت همبستگی کاسته می‌شود (شکل ۷). نقشه ضریب همبستگی تاو-کندال نمایه بیشینه دما نیز نشان دهنده همبستگی مثبت و معنی‌دار بین فراوانی وقوع طوفان‌های گرد و غبار با نمایه بیشینه دما است (شکل ۸). هرچه به سمت جنوب غرب و شمال غرب منطقه مورد مطالعه نزدیک می‌شویم این همبستگی مثبت قوی‌تر می‌شود و نقشه نمایه کمینه دما نیز همبستگی مثبت با فراوانی وقوع طوفان‌های گرد و غبار است و در این نمایه، مناطق غرب و شمال غرب دارای بالاترین همبستگی هستند (شکل ۹).

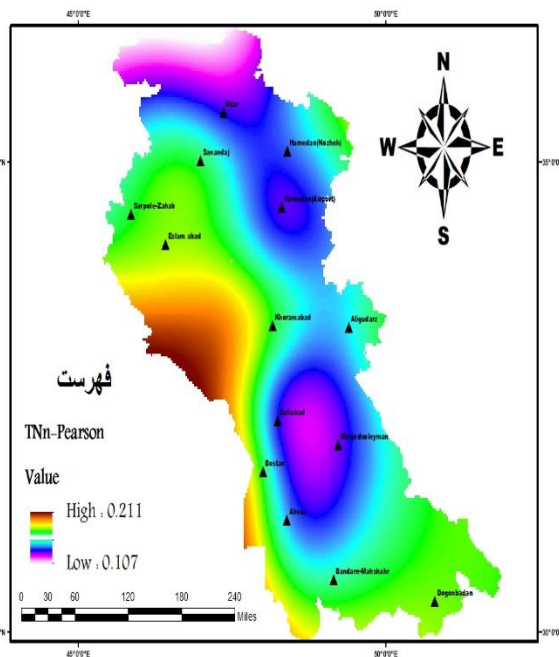
جدول ۴. نتایج همبستگی شاخص FSDS با نمایه‌های حدی دمایی در مقیاس ماهانه (۱۹۹۰-۲۰۱۴)

ردیف	ایستگاه	همبستگی تاو کندال		همبستگی پیرسون	
		T _{NN}	T _{XX}	T _{NN}	T _{XX}
۱	اسلام آباد	۰/۲۱۷**	۰/۱۳۸ *	۰/۲۱۱**	۰/۲۰۳**
۲	سرپل ذهاب	۰/۲۴۲**	۰/۱۵۹**	۰/۱۹۱**	۰/۲۹۷**
۳	بیجار	۰/۱۹۶**	۰/۱۷۶**	۰/۱۱۷ *	۰/۱۴۷ *
۴	سندج	۰/۱۵۳**	۰/۱۷۸**	۰/۱۸۲**	۰/۱۵۳**
۵	الیگودرز	۰/۱۳۷ *	۰/۱۶۵**	۰/۱۵۶**	۰/۱۱۱ *
۶	خرم آباد	۰/۱۳۹ *	۰/۱۹۶**	۰/۱۹۱**	۰/۳۱۷**
۷	فرودگاه همدان	۰/۱۵۱**	۰/۱۸۸**	۰/۱۱۳ *	۰/۴۰۳**
۸	همدان نوژه	۰/۱۴۷ *	۰/۱۷۵**	۰/۱۳۲ *	۰/۲۳۶**
۹	اهواز	۰/۱۷۲**	۰/۱۶۷**	۰/۱۴۷ *	۰/۳۴۹**
۱۰	بندر ماهشهر	۰/۱۷۶**	۰/۱۵۹**	۰/۱۷۴**	۰/۳۰۷**
۱۱	بستان	۰/۱۵۹**	۰/۱۴۸ *	۰/۱۸۶**	۰/۱۵۱**
۱۲	صفی آباد	۰/۱۶۳**	۰/۱۷۸**	۰/۱۲۱ *	۰/۲۰۲**
۱۳	مسجد سلیمان	۰/۱۹۴**	۰/۱۹۶**	۰/۱۰۷ *	۰/۴۰۸**
۱۴	دو گنبدان	۰/۲۰۳**	۰/۲۰۷**	۰/۲۰۵**	۰/۴۱۵**

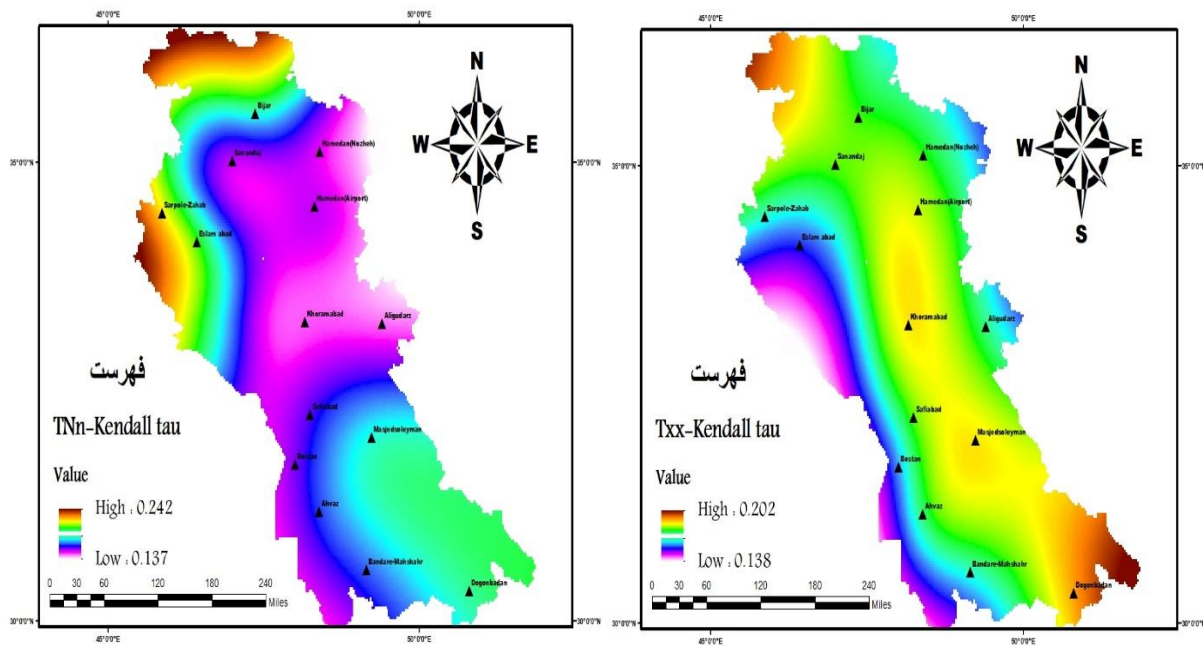
** روند معنی داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد و * روند معنی داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد



شکل ۷. نقشه ضریب همبستگی پیرسون برای ارتباط سنجی بین نمایه کمینه دما با شاخص FSDS، High و Low به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار این ضریب را نشان می‌دهد.



شکل ۶. نقشه ضریب همبستگی پیرسون برای ارتباط سنجی بین نمایه بیشینه دما با شاخص FSDS، High و Low به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار این ضریب را نشان می‌دهد.



شکل ۹. نقشه ضریب همبستگی تاوکندال برای ارتباط سنجی بین نمایه کمینه دما با شاخص FDSM، High و Low به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار این ضریب را نشان می‌دهد.

شکل ۸. نقشه ضریب همبستگی تاوکندال برای ارتباط سنجی بین نمایه بیشینه دما با شاخص FDSM، High و Low به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار این ضریب را نشان می‌دهد.

ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی کننده طوفان‌های گرد و غبار

متغیرهای ورودی جهت پیش‌بینی طوفان‌های گرد و غبار، شاخص FDSM و متغیرهای حدی دمایی معنادار در ایستگاه‌های مورد بررسی می‌باشد. به عبارت دیگر در ایستگاهی که متغیرهای حدی دمایی در سطح ۹۵٪ معنی‌دار شده به عنوان ورودی همراه با شاخص FDSM در نظر گرفته شده است. و متغیر خروجی در هر ایستگاه، شاخص FDSM در فصل آینده می‌باشد. جداول ۵ و ۶، مقادیر معیارهای ارزیابی مدل‌های هوش مصنوعی BN، GEP و KNN به منظور پیش‌بینی فراوانی روزهای همراه با طوفان گرد و غبار در ۱۴ ایستگاه واقع در غرب ایران را نشان می‌دهد. نتایج پیش‌بینی شاخص FDSM حاکی از عملکرد مناسب هر سه روش در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد. در جداول ۵ و ۶ اعداد داخل پرانتز روبروی مقادیر معیارهای ارزیابی، رتبه‌بندی هر روش بر اساس معیارهای ارزیابی مورد نظر در پیش‌بینی فراوانی روزهای همراه با طوفان گرد و غبار را نشان می‌دهد. بر این مبنای تقریباً در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه، مدل KNN بیشترین مقدار رتبه اول (بهترین پیش‌بینی) را داشته است در صورتیکه در ایستگاه اسلام‌آباد مدل BN رتبه نخست را به خود اختصاص داده است. با ترکیب مقدار معیارهای ارزیابی و تعداد ایستگاه‌های مورد مطالعه برای پیش‌بینی فراوانی روزهای همراه با طوفان گرد و غبار، ۴۲ رتبه اول (۱۴*۳) برای هر روش وجود دارد. بدین ترتیب مدل برنامه‌ریزی بیان ژن اصلاً رتبه نخستی به خود اختصاص نداده است؛ این در حالی است که مدل‌های KNN و BN به ترتیب ۴۰ و ۲ بار در رتبه نخست قرار گرفتند. در مجموع، عملکرد مدل KNN بهتر از سایر روش‌ها بوده است پس از روش KNN، روش GEP با ۴۲ بار قرارگیری در رتبه دوم بهترین عملکرد را داشته است. نتیجه دیگری که از جداول ۵ و ۶ قابل استنتاج است، انتخاب مدل‌های ساده‌تر به عنوان مدل پهنه پیش‌بینی کننده در ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد. به نحوی که برای پیش‌بینی فراوانی روزهای همراه با طوفان‌های گرد و غبار در اکثر ایستگاه‌ها، مدل شماره ۱ و ۲ (با یک و دو گام تأخیر) نتیجه بهتری را گزارش می‌کند اما در ایستگاه‌های سرپل ذهاب، سندر، بندرماهشهر و مسجد سلیمان مدل شماره ۱ (با یک گام تأخیر) نتیجه بهتری را ارائه می‌دهد که دلیل آن را می‌توان تأثیر ذرات به جامانده از طوفان‌های قبلی و فصل گذشته بر شکل‌گیری طوفان‌های گرد و غبار فصل آینده با بومی شدن منشأ طوفان‌های گرد و غبار (پیشروی از مناطق مرزی به مرکز کشور) جستجو کرد. نتایج این قسمت با مطالعات Rashki et al. (2015)، Araghi et al. (2019) و Saremi Naeni (2016) مطابقت دارد.

جدول ۵. معیارهای ارزیابی محاسبه شده مدل های مختلف هوش مصنوعی در پیش بینی طوفان های گردوغبار

روش	معیارهای ارزیابی	ایستگاهها					
		اسلام آباد	سرپل ذهاب	بیجار	سنندج	الیگودرز	خرم آباد
BN	مدل بهینه	۱	۱	۲	۱	۱	۲
	R	۰/۷۳ (۱)	۰/۷۱ (۳)	۰/۶۹ (۳)	۰/۷۲ (۳)	۰/۷۱ (۳)	۰/۷۳ (۳)
	MAE	۰/۶۴ (۱)	۰/۶۸ (۳)	۰/۶۱ (۳)	۰/۷۱ (۳)	۰/۶۹ (۳)	۰/۶۳ (۳)
	RMSE	۰/۶۳ (۳)	۰/۵۸ (۳)	۰/۵۳ (۳)	۰/۶۳ (۳)	۰/۵۳ (۳)	۰/۵۱ (۳)
GEP	مدل بهینه	۱	۱	۱	۱	۱	۲
	R	۰/۷۱ (۲)	۰/۷۳ (۲)	۰/۷۱ (۲)	۰/۷۳ (۲)	۰/۷۲ (۲)	۰/۷۷ (۲)
	MAE	۰/۶۹ (۲)	۰/۶۵ (۲)	۰/۵۹ (۲)	۰/۷۰ (۲)	۰/۶۸ (۲)	۰/۶۱ (۲)
	RMSE	۰/۵۹ (۲)	۰/۵۵ (۲)	۰/۵۱ (۲)	۰/۶۱ (۲)	۰/۵۱ (۲)	۰/۴۷ (۲)
KNN	مدل بهینه	۲	۱	۱	۱	۲	۱
	R	۰/۶۸ (۳)	۰/۷۵ (۱)	۰/۷۲ (۱)	۰/۷۶ (۱)	۰/۷۹ (۱)	۰/۸۱ (۱)
	MAE	۰/۷۳ (۳)	۰/۶۲ (۱)	۰/۵۷ (۱)	۰/۶۹ (۱)	۰/۶۶ (۱)	۰/۵۸ (۱)
	RMSE	۰/۵۱ (۱)	۰/۵۱ (۱)	۰/۴۹ (۱)	۰/۵۹ (۱)	۰/۴۸ (۱)	۰/۴۶ (۱)

جدول ۶. معیارهای ارزیابی محاسبه شده مدل های مختلف هوش مصنوعی در پیش بینی طوفان های گردوغبار

روش	معیارهای ارزیابی	ایستگاهها					
		همدان نوژه	اهواز	بندر ماهشهر	بستان	صفی آباد	مسجد سلیمان
BN	مدل بهینه	۲	۲	۱	۲	۲	۱
	R	۰/۷۱ (۳)	۰/۷۲ (۳)	۰/۷۷ (۳)	۰/۷۳ (۳)	۰/۷۷ (۳)	۰/۷۹ (۳)
	MAE	۰/۷۰ (۳)	۰/۶۶ (۳)	۰/۶۹ (۳)	۰/۶۹ (۳)	۰/۶۷ (۳)	۰/۷۰ (۳)
	RMSE	۰/۶۱ (۳)	۰/۴۹ (۳)	۰/۵۳ (۳)	۰/۶۲ (۳)	۰/۴۹ (۳)	۰/۴۹ (۳)
GEP	مدل بهینه	۲	۲	۱	۱	۱	۱
	R	۰/۷۳ (۲)	۰/۷۴ (۲)	۰/۸۰ (۲)	۰/۷۵ (۲)	۰/۸۲ (۲)	۰/۸۱ (۲)
	MAE	۰/۶۷ (۲)	۰/۶۵ (۲)	۰/۶۶ (۲)	۰/۶۸ (۲)	۰/۶۴ (۲)	۰/۶۹ (۲)
	RMSE	۰/۴۹ (۲)	۰/۴۵ (۲)	۰/۴۹ (۲)	۰/۵۹ (۲)	۰/۴۳ (۲)	۰/۴۴ (۲)
KNN	مدل بهینه	۱	۱	۱	۱	۱	۲
	R	۰/۷۷ (۱)	۰/۷۹ (۱)	۰/۸۲ (۱)	۰/۷۷ (۱)	۰/۸۵ (۱)	۰/۸۳ (۱)
	MAE	۰/۶۶ (۱)	۰/۶۳ (۱)	۰/۶۴ (۱)	۰/۶۷ (۱)	۰/۶۳ (۱)	۰/۶۶ (۱)
	RMSE	۰/۴۶ (۱)	۰/۴۳ (۱)	۰/۴۴ (۱)	۰/۵۲ (۱)	۰/۴۲ (۱)	۰/۴۲ (۱)

نتیجه گیری

هدف از این تحقیق، بررسی رابطه متغیرهای حدی دمایی با طوفان های گرد و غبار و همچنین پیش بینی شاخص FDSD در ۱۴ ایستگاه سینوپتیک واقع در غرب کشور بود. نتایج آزمون همبستگی تاو-کندال و پیرسون که به منظور ارتباط سنجی نمایه های حدی با شاخص FDSD به کار گرفته شده بود، نشان داد که با افزایش فراوانی روزهای همراه با طوفان گرد و غبار، مقادیر ضریب های همبستگی بهبود یافتند. نمایه های حدی دما به عنوان یک عامل مهم و تأثیرگذار در شکل گیری طوفان های گرد و غبار شناخته می شوند زیرا افزایش مقادیر وقوع این گونه طوفان های گرد و غبار فراهم کند. با افزایش متغیرهای حدی دما در نیمه غربی کشور، شرایط اقلیمی منطقه برای وزش بادهای شدید (به ویژه در مناطق مرزی استان خوزستان) مساعد می شود. این عوامل به همراه خشک بودن خاک و فقدان پوشش گیاهی، شرایط مناسبی را برای فرسایش بادی و وقوع طوفان های گرد و غبار فراهم می کند. همچنین در این مطالعه برای پیش بینی فراوانی روزهای همراه با طوفان های گرد و غبار (FDSD) سه مدل هوش مصنوعی شامل الگوریتم بهترین همسایگی (KNN)، برنامه ریزی بیان ژن (GEP) و شبکه بیزین (BN) مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج حاکی از عملکرد مناسب روش KNN می باشد که در ۱۳ ایستگاه رتبه



نخست را به خود اختصاص داده است و در ایستگاه اسلام‌آباد روش BN بهترین عملکرد را داشته است. لذا استفاده از مدل‌های هوش-مصنوعی جهت پیش‌بینی شاخص FDS در غرب کشور، می‌تواند به عنوان ابزاری مناسب در اتخاذ تصمیمات مدیریتی قرار گیرد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

- Abdolshahnejad, M., Khosravi, H., Nazari Samani, A. A., Zehtabian, G. R. & Alambaigi, M. (2020). Determining the Conceptual Framework of Dust Risk Based on Evaluating Resilience (Case Study: Southwest of Iran). *Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 5(1), 33-44. (In Persian)
- Amini, A. (2020). The role of climate parameters variation in the intensification of dust phenomenon. *Natural Hazards*, DOI: 10.1007/s11069-020-03933-w.
- Ansari Ghojghar, M., & Shahab, Araghinejad, S. (2017). The study of the reaction of temperature variables to the frequency of days with dust storms (Case study of Lorestan province). *Fifth International Congress of Civil Engineering, Architecture and Urban Development*, Tehran. (In Persian)
- Ansari Ghojghar, M., Pourgholam-Amiji, M., Bazrafshan, J., Liaghat, A., & Araghinejad, S. (2020). Performance Comparison of Statistical, Fuzzy and Perceptron Neural Network Models in Forecasting Dust Storms in Critical Regions in Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(8), 2051-2063. (In Persian)
- Ansari Renani, M. (2011). Climatic statistical analysis of dust in Zahedan province in the period 1986-2005. *The First International Congress on Dust Phenomena and Combating Its Harmful Effects*, Ramin Khuzestan University of Agriculture and Natural Resources. (In Persian)
- Araghinejad, S. (2013). Data-driven modeling: using MATLAB® in water resources and environmental engineering (Vol. 67). *Springer Science & Business Media*.
- Araghinejad, S., Ansari Ghojghar, M., Pourgholam-Amiji, M., Liaghat, A., & Bazrafshan J. (2019). The Effect of Climate Fluctuation on Frequency of Dust Storms in Iran. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 7 (21), 13-32. (In Persian)
- Asakereh, H. (2011). *Fundamentals of Statistical Climatology*. Zanjan University Press, First Edition, Zanjan.
- Cao, R., Jiang, W., Yuan, L., Wang, W., Lv, Z., & Chen, Z. (2014). Inter-annual variations in vegetation and their response to climatic factors in the upper catchments of the Yellow River from 2000 to 2010. *Journal of Geographical Sciences*, 24(6), 963-979.
- Danandehmehr, A. and M.R. Majdzadeh Tabatabai. (2010). Prediction of daily discharge trend of river flow based on genetic programming. *Journal of Water and Soil*, 24(2), 325-33 (In Persian).
- Ferreira, C. (2001). Gene expression programming: a new adaptive algorithm for solving problems. *Complex System*, 13, 87-129.
- Ferreira, C. (2006). *Gene expression programming: mathematical modeling by an artificial intelligence (studies in computational intelligence)*. Springer-Verlag New York, Inc. Secaucus, NJ, USA.
- Ghorbani, S., Moddress, R. (2019). Modelling the Relationship between the Frequency of Dust Storms and Climatic Variables in the Summer Time in Desert Areas of Iran. *Journal of Soil and Water Sciences*, 23(3), 125-140. (In Persian)
- Goudie, A., (2014). Review Desert dust and human health disorders. *Journal of Environment International*, 63 (3), 101-113.
- Goudie, A., Middleton, N. (2006). *Desert Dust in the Global System*. Springer, 288p.
- Jalali, M., Bahrami, H., & Dervish Bolurani, A. (2011). Study of the correlation between climatic parameters with dust storms in Khuzestan province, *the first international congress on the phenomenon of dust and dealing with its harmful effects*. 26-28 February 2011. Ahvaz. (In Persian)
- Jayawardena, A. W., Li, W. K. & Xu, P. (2002). Neighbor selection for local modelling and prediction of hydrological time series. *J. of Hydrology*, 258, 40-57.
- Karlsson, M. & Yakowitz, S. (1987). Nearest-neighbor methods for nonparametric rainfall-runoff forecasting. *Water Resources Research*, 23(7), 1300-1308.
- Kingston, G.B., Lambert, M.F. & Maier, H.R. (2005). Bayesian training of artificial neural networks used for water resources modeling. *Water Resources Research*, 41(12), 11. <https://doi.org/10.1029/2005WR004152>.
- Mahdavi, M., & Taherkhani., M, (2005). Application of Statistics in Geography. *Qoms Publishing, First*

- Edition*, Tehran. (In Persian)
- MacKay, D.J.C. (1992). A practical Bayesian framework for backpropagation networks. *Neural Computation*, 4(3), 448-472.
- Meshkani, A. & Nazemi, A. (2009). Introduction to data mining. Ferdowsi University of Mashhad, 456 pages. (In Persian)
- Mohammadi, G, H. (2015). Analysis of Atmospheric Mechanisms in Dust Transport over West of Iran. Ph.D. thesis, Tabriz University, 142pp.
- Movahedi, S., Kh. Hatami Bahman Bigloo and M. Kh. Tangerine Fred. 2014. Spatial and temporal monitoring of climatic phenomena related to dust in Iranian cities. *Journal of Geography and Environmental Studies*, (11), 37-47. (In Persian)
- O'Loingsigh, T., McTainsh, G. H., Tews, E. K., Strong, C. L., Leys, J. F., Shinkfield, P., Tapper, N. J. (2014). The Dust Storm Index (DSI): a method for monitoring broadscale wind erosion using meteorological records. *Aeolian Research*, 12, 29-40.
- Pearson, K. (1897). Mathematical contributions to the theory of evolution. on a form of spurious correlation which may arise when indices are used in the measurement of organs. *Proceedings of the royal society of London*, 60(359-367), 489-498.
- Pourgholam-Amiji, M., Ansari Ghojghar, M., Araghinejad, S. & Babaian, I. (2020). Modeling the relationship between dust storms and limit and average temperature variables in the western half of the country. *Climatological research*, 1400(45), 113-126. (In Persian)
- Rashki, A., Kaskaoutis, D.G., Francois, P., Kosmopoulos, P.G., & Legrand, M. (2015). Dust-storm dynamics over Sistan region, Iran: Seasonality, transport characteristics and affected areas. *Aeolian Research*, 16, 35-48. (In Persian)
- Saremi Naeini, M. (2016), Estimation of the Frequency of Speed and Direction of the Erosive Winds and Dust storms in the Yazd Province, by Using Windrose, *Stormrose and Sandrose, Desert Management*, 8, 96-106. (In Persian)
- Sepahvand, A., Almasian, F. & Zand, M. (2019). Investigating the effect of climatic variables (rainfall, temperature and pressure) on the occurrence of dust in the west of the country. *7th National Conference on Rainwater Catchment Systems*. Iran, 20-21 February, 178-187. (In Persian)
- Shojaeezadeh, K., Drijani, R., & Heidary, F. (2013). Investigation of climate relationship and dust occurrence (Case Study: Mahshahr City). *Proceeding of the Second International Conference on Environmental Hazards*, Kharazmi University of Tehran. (In Persian)
- Singh, V.P., Translation, M.R. Najafi. (2002). Hydrological systems for rainfall modeling. Tehran University Press, First Edition, 578 pages. (In Persian)
- Sobhani, B., Safarian zengir, V. (2020). Analysis and prediction of Dust phenomenon in the southwest of Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 8(22), 179-198. (In Persian)
- Su, B., Zhan, M., Zhai, J., Wang, Y., & Fischer. T. (2014). Spatio-Temporal variation of haze days and atmospheric circulation pattern in china (1961-2013). *Quaternary International*. 380, 14-21.
- Tan, M., Li, X., Xin, L. (2014). Intensity of dust storms in China from 1980 to 2007: A new definition. *Atmospheric environment*, 85, 215-222.
- Tanarhte, M., Hadjinicolaou, P., & Lelieveld, J. (2012). Intercomparison of temperature and precipitation data sets based on observations in the Mediterranean and the Middle East. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117(D12).
- Tarboton, D. G., Sharma, A., and Lall, U. (1993). The use of non-parametric probability distribution in streamflow modeling. In *Proceeding of the 6 South African National Hydrological Symposium*, Ed. S. A Todeschini, R. (1989). K-nearest neighbour method: Influence of data transformations and metrics. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 6, 213-220.
- Yakowitz, S. J. (1985). Nonparametric density estimation, prediction, and regression for markov sequences. *J. Am. Stat. Assoc.*, 80, 215-221.
- Yoshino, M. (2002). Climatology of yellow sand (Asian sand, Asian dust or Kosa) in East Asia. *Science in china series dearth*. *Science*, 45, 59-70.
- Zanganeh, M. (2014), Climatological Analysis of Dust Storms in Iran, *Applied Climatology*, 1(1), 1-12. (In Persian)
- Zeinali, B. (2016), Investigation of frequency changes trend of days with dust storms in western half of Iran, *Natural Environment hazards*, 5(7), 87-100. (In Persian)