

The Impact of Extreme Temperature and Precipitation on Dust Storm Trends in Southeastern Iran

Maede Nasry¹, Mohammad Rahimi^{2*} , Fereshteh Tarighat³, Hadi Jalili⁴, Aliakbar Damavandi⁵

1. PhD in Desert Management and Control, Combat to Desertification Department, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran

2. Corresponding Author, Professor, Combat to Desertification Department, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran

Email: mrahimi@semnan.ac.ir ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6405-8488>

3. M.Sc. in Remote Sensing, Iranian Space Research Institute, Tehran, Iran

4. Assistant Professor, Iranian Space Research Institute, Tehran, Iran

5. Assistant Professor, Agricultural Education and Extension Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

| Article Info | ABSTRACT |
|---|--|
| <p>Article type: Research Article</p> <p>Article history: Received: 25 January 2025 Revised: 0 March 2025 Accepted: 12 April 2025 Published: 21 March 2026</p> <p>Keywords: Mann-Kendall test, perceptron neural network, climate change, wind erosion, extreme events.</p> | <p>This study investigated the impact of extreme temperature and precipitation indices on the trend of dusty days in southeastern Iran. Extreme temperature and precipitation indices were selected based on local requirements and climatic characteristics of the study region, resulting in a total of eight precipitation indices (Rx1, Rx5, SDII, R10mm, CDD, CWD, and PRCPTOT) and six temperature indices (SU25, TXx, TXn, TX90p, WSDI, and DTR). These indices were derived using daily temperature and precipitation data from stations in the research area over 21 years, from 2000 to 2020, processed using the RCLimDex software. A multilayer perceptron neural network was employed to assess the influence and importance of these temperature and precipitation indices on the trend of dusty days in southeastern Iran. Additionally, the Mann-Kendall test and linear regression were used to analyze the trends in the investigated variables. The results revealed a significant decrease in the pattern of dusty days at the Rudan, Saravan, Iranshahr, Zabol, Bandar Abbas, Bam, and Khash stations. Among these, Zabol and Bandar Abbas recorded the highest number of dusty days over the study period, with annual averages of 171 and 93 days, respectively. The perceptron neural network model indicated that the extreme precipitation indices CDD, R10, and R20, along with the extreme temperature indices SU25, DTR, and TXn, exhibited the strongest correlations with the trend in dust storm variations. These findings provide valuable insights for developing more precise planning and policymaking strategies for dust storm management and adaptation to climate change-related impacts.</p> |

How to Cite: Nasry, M. , Rahimi, M. , Tarighat, F. , Jalili, H. and Damavandi, A. (2026). The Impact of Extreme Temperature and Precipitation on Dust Storm Trends in Southeastern Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 15(47), 117-132.



© The Author/Authors

DOI: 10.22111/jneh.2025.50917.2100

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

EXTENDED ABSTRACT

INTRODUCTION

Recently, it has been acknowledged that the frequency of extreme temperature and precipitation events is closely tied to global warming and is anticipated to rise in areas with hot and dry climates (Liang et al., 2023). Extreme temperature and precipitation events disrupt environmental processes and can alter the intensity and frequency of dust storms in regions characterized by hot and dry climates. The southeastern part of Iran is recognized as one of the most prominent sources of dust storms in Asia (Bahek, 2018). The findings from the examination of the seasonal distribution of extreme precipitation in Iran indicated that the highest Rx1 index of 80 mm occurred during the winter season. The peak SDII index of 19.2 mm was also recorded in the summer season. Meanwhile, the highest number of days with heavy precipitation in all seasons was noted along the Caspian coast (Rahimbeigi et al., 2014). Spatial analysis of climate change in Iran revealed an inverse relationship between altitude, slope, and the trend of hot extreme indices. Thus, as altitude and slope decrease, the trend of hot extreme indices rises, and stations situated in lower areas face more severe climate transformations, with the trend of changes in hot extreme indices surpassing that of cold extreme indices (Sadeghinia et al., 1400). The primary aim of this research is to explore the impact of changes in temperature and precipitation extreme on the trend of dust storm variations in the southeastern region of Iran. The central hypothesis of this research posits that during the timeframe from 2000 to 2020, the alterations in days with dust in the south have shown an upward trend.

DATA AND METHODS

Study Area

The study area is located in southeastern Iran (Figure 1).

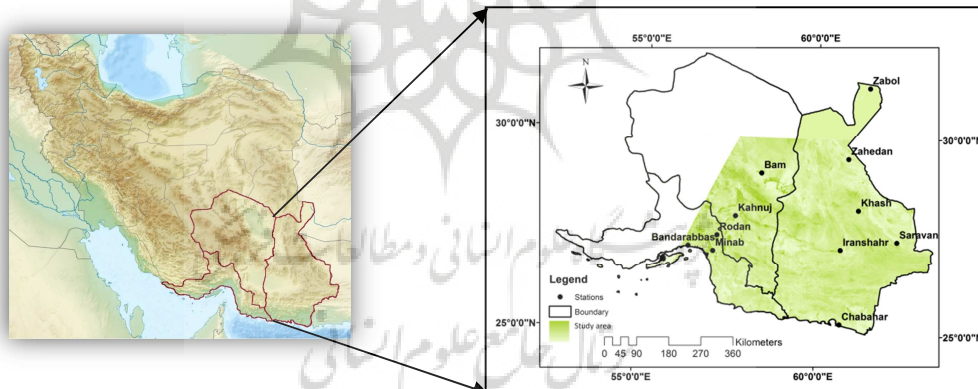


Figure 1: Location of the study area and study stations

To compute the extreme temperature and precipitation indices, daily temperature and precipitation information from the stations within the study area were utilized over 21 years from 2000 to 2020. RclimDex software was employed to determine the precipitation indices Rx1, Rx5, SDII, R10mm, CDD, CWD, and PRCPTOT as well as the temperature indices SDII, TXx, TXn, TX90p, WSDI, and DTR. In this research, the variable of days with dust, horizontal visibility information, and dust meteorological codes were applied to differentiate days with dust of internal and external origins. The multilayer Perceptron neural network technique was employed to investigate the correlation between data. Furthermore, the Mann-Kendall test (Kendall, 1975; Mann, 1945) along with the linear regression technique was utilized to assess the trend of variations in variables (Azarakhshi et al., 2013).

RESULTS AND DISCUSSION

The findings of the trend examination employing the linear regression approach indicated that the trend in the number of days with dust remained stable at the Minab and Kahnouj stations, whereas in the other stations of Rodan, Saravan, Iranshahr, Zabol, Zahedan, Bandar Abbas, Bam, Khash, and Chabahar, the trend exhibited a decline, which was significant only at the Rodan, Saravan, Iranshahr, Zabol, Bandar Abbas, Bam, and Khash stations (with a significance level of less than 0.05). A comparison of the significance of independent predictor variables across various fitted models revealed that the CDD, R10, and R20 indices exhibit the highest correlation with the trend in changes of dust storms. Additionally, a comparison of the significance of independent predictor variables across different fitted models indicated that the SU25, DTR, and TXn indices exert the most substantial influence on the trend of changes in dust storms within the study area.

CONCLUSION

Based on the results obtained, it can be concluded that the occurrence of extreme temperatures and precipitation has significantly influenced the prevalence of dust storms in the study area. Additionally, the trend regarding changes in dust storms in the area has been declining, which may be partially attributed to the reduction in dry days and days with temperatures exceeding 24 degrees Celsius. The incidence of dust storms is directly associated with dry days and elevated temperatures because environmental dryness diminishes soil moisture content, thereby facilitating the wind's ability to lift soil particles. Furthermore, the occurrences of extreme temperature and precipitation manifest simultaneously and can interact with one another.

REFERENCES

References (in Persian)


- Azarakhshi, M., Farzadmehr, J., Eslah, M., & Sahabi, H. (2013). An Investigation on Trends of Annual and Seasonal Rainfall and Temperature in Different Climatological Regions of Iran. *Journal of Range and Watershed Management*, 66(1), 1-16. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2013.35324> [in Persian]
- Bahak, B. (2018). Spatial Analysis of Dust Occurrence Process in Sistan and Baluchistan Province Using Statistical Methods. *Geography (Regional Planning)*, 8(31): 97-109. <https://doi.org/20.1001.1.22286462.1397.8.3.28.9> [in Persian]
- Rahim-Begi, N., Zarrin, A., Modfidi, A., & Dadashi-Roudbari, A. (2022). Seasonal Distribution Analysis of Extreme Precipitation in Iran using AgERA5 dataset. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(11), 2723-2737. <https://doi.org/10.22059/IJSWR.2021.333263.669118> [in Persian]
- Sadeghinia, A., & Rafati, S. M. (2022). Spatial analysis of climate change in Iran. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 8 (4), 55-70. <https://doi.org/10.52547/jsaeh.8.4.55> [in Persian]

References (in English)

- Kendall, M. G. (1975). Rank correlation measures. Charles Griffin.
- Liang, H., Jianbin, G., Wenbin, Y., Qunou, J., Lin, C., & Kexin, T. (2023). Multifaceted responses of vegetation to average and extreme climate change over global drylands. *Science of the Total Environment*, 858(Pt 2), 159942. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159942>
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 13(3), 245-259. <https://doi.org/10.2307/1907187>.

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۵، شماره ۴۷، شماره پیاپی ۱، فروردین ۱۴۰۵

بررسی اثر فرین‌های دما و بارش بر روند تغییرات روزهای همراه با گردوخاک در جنوب شرق ایران

مائده نصری^۱، محمد رحیمی^{۲*} , فرشته طریقت^۳، هادی جلیلی^۴، علی اکبر دماوندی^۵

۱. دانش‌آموخته دکتری مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۲. استاد، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران (نویسنده مسئول)

ایمیل: mrahimi@semnan.ac.ir ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6405-8488>

۳. کارشناس ارشد سنجش از دور، مرکز تحقیقات پژوهشگاه فضایی ایران، تهران، ایران

۴. استادیار، مرکز تحقیقات پژوهشگاه فضایی ایران، تهران، ایران

۵. استادیار، موسسه آموزش و ترویج کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

| چکیده | اطلاعات مقاله |
|---|--|
| <p>در این مطالعه، اثر مقادیر فرین دما و بارش بر روند تغییرات روزهای همراه با گردوخاک در جنوب-شرق ایران بررسی شد. از داده‌های روزانه دما و بارندگی ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه در یک بازه زمانی ۲۱ ساله از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ برای محاسبه نمایه‌های فرین استفاده شد. محاسبات در محیط نرم‌افزار RclimDex انجام شد. از روش شبکه عصبی پرسپترون چندلایه برای بررسی تاثیر اهمیت فرین‌های دما و بارش بر روی روند تغییرات روزهای همراه با گردوخاک در جنوب شرق ایران استفاده شد. همچنین، از آزمون من-کنندال و رگرسیون خطی برای بررسی روند تغییرات متغیرهای مورد مطالعه استفاده شد. نتایج نشان داد روند تغییرات روزهای همراه با گردوخاک در ایستگاه‌های رودان، سراوان، ایرانشهر، زابل، بندرعباس، بم و خاش نزولی و معنادار بود. همچنین، ایستگاه‌های زابل و بندرعباس به ترتیب با میانگین سالانه ۱۷۱ و ۹۳ روز طی دوره زمانی مورد مطالعه بیشترین روزهای همراه با گردوخاک را ثبت کرده‌اند. نتایج مدل شبکه عصبی پرسپترون نشان داد نمایه‌های فرین بارش R10.CDD و R20 و نمایه‌های فرین دما SU25، DTR و TXn بیشترین همبستگی را با روند تغییرات طوفان‌های گردوخاک در منطقه مورد مطالعه دارد. مناطق گرم و خشک مانند جنوب شرق ایران به دلیل تغییرات اقلیمی و مدیریت ناپایدار در معرض تهدید فرسایش بادی و در نتیجه وقوع طوفان‌های گردوخاک قرار دارد. درک تاثیر تغییرات اقلیمی برای طراحی گزینه‌های سازگاری با تغییرات اقلیمی و کنترل طوفان‌های گردوخاک مهم است.</p> | <p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۶ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۳ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۱/۰۱</p> <p>واژه‌های کلیدی: آزمون من-کنندال، شبکه عصبی پرسپترون، تغییرات اقلیمی، فرسایش بادی، وقایع فرین.</p> |

استناد: نصری، مائده، رحیمی، محمد، طریقت، فرشته، جلیلی، هادی و دماوندی، علی اکبر. (۱۴۰۵). بررسی اثر فرین‌های دما و بارش بر

روند تغییرات روزهای همراه با گرد و خاک در جنوب شرق ایران. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۵(۴۷)، ۱۱۷-۱۳۲.

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

© نویسنده / نویسندگان

DOI: 10.22111/jneh.2025.50917.2100



مقدمه

متن گرمایش زمین از دلایل اصلی تغییر در شدت و فراوانی وقوع فرین‌های دما و بارش است (ادوارد و همکاران^۱، ۲۰۱۹). وقوع سیل، خشکسالی، دماهای بالا و غیره از جمله شناخته‌شده‌ترین فرین‌های اقلیمی می‌باشند (لیانگ و همکاران^۲، ۲۰۲۳). اختلال در عملکردهای محیط‌زیست ناشی از وقوع فرین‌های اقلیمی بر روی منابع آبی، خاک و پوشش گیاهی مناطق مختلف اقلیمی موثر است و در مناطق با اقلیم گرم و خشک برآیند این تغییرات شدت و فراوانی وقوع طوفان‌های گردوخاک را افزایش یا کاهش می‌دهد. هرچند وقوع طوفان‌های گردوخاک پدیده‌ای دائمی و طبیعی در محیط‌های با اقلیم گرم و خشک است (چپانسکی^۳، ۲۰۱۸، باقرآبادی، ۱۴۰۰) اما روند تغییرات شدت و فراوانی این طوفان‌ها برای جوامع ساکن در این محیط‌ها اهمیت دارد (زوکا و همکاران^۴، ۲۰۱۹). منطقه جنوب‌شرق ایران یکی از فعال‌ترین منابع طوفان گردوخاک در آسیا است و طوفان‌های گردوخاک در این منطقه تقریباً در تمام طول سال رخ می‌دهد؛ اما فراوانی آنها در فصول بهار و تابستان که همزمان با زمان وزش بادهای ۱۲۰ روزه است بیشتر است (باهک، ۱۳۹۷). سالانه وقوع پدیده گردوخاک در جنوب‌شرق ایران آسیب‌های جدی به جوامع محلی و زیرساخت‌های موجود وارد کرده است (رستمی و حسینی، ۱۳۹۷). محدوده مطالعاتی حاضر، بخش‌هایی از استان‌های سیستان و بلوچستان، کرمان و هرمزگان در جنوب‌شرق ایران را شامل می‌شود. مناطق شرقی استان هرمزگان، تالاب جازموریان، شرق استان سیستان و بلوچستان از مهم‌ترین کانون‌های تولید گردوخاک داخلی ایران هستند (دمی‌زاده و همکاران، ۱۴۰۰). همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره شد، از جمله عوامل موثر بر طوفان‌های گردوخاک، تغییر در فراوانی و شدت فرین‌های دما و بارش است (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم^۵، ۲۰۲۲). فرین‌های دما و بارش بر روی ویژگی‌های پوشش گیاهی و خاک اثرگذار هستند (کارولینا و وولینکا^۶، ۲۰۲۳؛ مانینگ و همکاران^۷، ۲۰۱۹) و از این طریق فرسایش‌پذیری خاک را کنترل می‌کنند. به‌طورمثال، موثرترین اثر فرین‌های دما، تغییرات شدید دما و تشدید دوره‌های خشکسالی‌ها است (وانگ و همکاران^۸، ۲۰۲۲). وقوع دوره‌های خشکسالی همزمان با وقوع فرین‌های دمایی با افزایش فرایندهای فرسایشی تشدید شونده، رسوب‌گذاری، کاهش میزان و تنوع پوشش گیاهی و پایداری ساختار خاک همراه است (وانگ و همکاران، ۲۰۲۲). دوره‌های خشکسالی طولانی‌مدت شرایط خشک‌تر شدن خاک را در برابر شرایط خشک متناوب کوتاه‌مدت که همراه با روزهای مرطوب باشند، فراهم می‌کند. بعلاوه، فرین‌های دمایی بالا میزان تبخیر و تعرق را افزایش می‌دهد و می‌تواند خشکی خاک را تشدید کند (سو و همکاران^۹، ۲۰۲۳). کمبود بارش نیز می‌تواند خشکسالی رطوبتی خاک را طولانی‌تر کند؛ زیرا مقادیر بیشتری بارش نیاز است تا شرایط به حالت متعادل باز گردد. بعلاوه، وقوع هم‌زمان دماهای فرین بالا و خشکسالی اثرات شدیدتری را در مقایسه با زمانی که هریک به تنهایی رخ می‌دهند دارد (مانینگ و همکاران^{۱۰}، ۲۰۱۹). از طرفی وقوع فرین‌های بارش از دلایل اصلی وقوع سیلاب است و سواحل مکران و جنوب‌شرق سومین کانون بیشینه شدت بارش‌های فرین در ایران طی فصل تابستان

¹ Edwards

² Liang

³ Schepanski

⁴ Zucca

⁵ IPCC

⁶ Karolina and Wolińska

⁷ Manning

⁸ Wang

⁹ Su

¹⁰ Manning

است (رحیم‌بیگی و همکاران، ۱۴۰۰). بارش‌های فرین به‌صورت ناگهانی و کوتاه‌مدت رخ می‌دهند و اغلب زمینه‌ساز فرسایش شدید آبی هستند (جهان‌بخش و همکاران، ۱۳۹۹) که در نهایت با بر جای گذاشتن رسوبات ریزدانه و با گذشت از دوره‌های مرطوب و شروع دوره‌های خشک می‌تواند منابع برداشت فرسایش بادی را فراهم کند (نا و همکاران^۱، ۲۰۲۰).

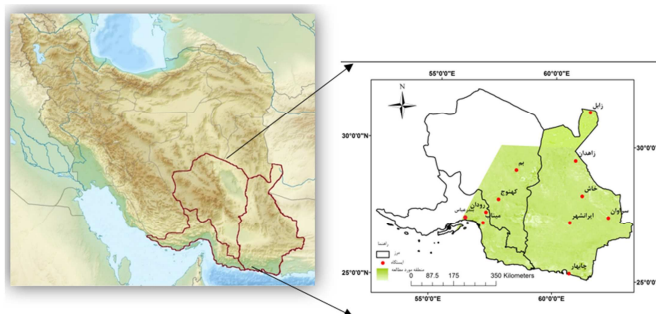
مطالعات مختلفی در این زمینه در ایران و سایر مناطق جهان انجام شده است. نتایج مطالعه پراکنش فصلی بارش‌های فرین در ایران نشان داد بیشینه نمایه $Rx1$ به مقدار ۸۰ میلی‌متر در فصل زمستان رخ داده است. بیشینه نمایه SDII با مقدار ۱۹/۲ میلی‌متر نیز در فصل تابستان مشاهده شد. درحالی‌که بیشینه روزهای همراه با بارش سنگین در تمامی فصول در سواحل خزری دیده شد (رحیم‌بیگی و همکاران، ۱۴۰۰). تحلیل فضایی تغییرات اقلیمی در ایران نشان داد بین عامل ارتفاع، شیب و روند نمایه‌های فرین گرم همبستگی معکوس وجود دارد. بنابراین با کاهش ارتفاع و شیب، روند فرین‌های گرم افزایش می‌یابد و ایستگاه‌های نواحی پست‌تر تغییرات اقلیمی شدیدتری را تجربه می‌کنند (صادقی‌نیا و همکاران، ۱۴۰۰). همچنین، بررسی روند تغییرات اقلیمی با استفاده از نمایه‌های فرین بارش و دما در جنوب‌شرق ایران طی دوره زمانی ۲۰۱۵-۱۹۶۶ نشان داد، روند افزایشی و غیرمعنی‌دار در بیشینه حداکثر دمای روزانه و دمای کمینه روزانه وجود دارد (علوی‌نیا و زارعی، ۱۴۰۰). بررسی روند تغییرات بارش در جنوب‌شرق ایران نیز نشان داد روند بارش در منطقه جنوب‌شرق ایران شامل استان‌های کرمان و سیستان و بلوچستان طی دوره زمانی ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۰ در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه افزایشی بوده است (میان‌آبادی و همکاران، ۱۴۰۱). حداکثر نمایه‌های روزهای گرم در بیشتر مناطق ایران نیز دارای روند افزایشی بوده است (فتحیان و همکاران، ۱۴۰۱). هدف اصلی این مطالعه، بررسی اثر تغییرات فرین‌های دما و بارش بر روی روند تغییرات طوفان‌های گردوخاک در منطقه جنوب‌شرق ایران است. همچنین، لزوم برنامه‌ریزی برای سازگاری و افزایش تاب‌آوری در برابر چالش‌های پیش روی کشور ناشی از تاثیر فرین‌های دما و بارندگی بر روند تغییرات طوفان‌های گردوخاک، ضرورت اصلی این مطالعه است. فرضیه اصلی این مطالعه این است که طی دوره زمانی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ تغییرات روزهای همراه با گردوخاک در جنوب‌روندی افزایشی داشته است.

داده‌ها و روش‌ها

ویژگی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در جنوب‌شرقی ایران می‌باشد (شکل ۱). این منطقه در مجموع بخش‌هایی از سه استان کرمان، هرمزگان و سیستان و بلوچستان است. کل مساحت منطقه مورد مطالعه برابر با ۷۷۶ کیلومتر مربع است. به‌طور کلی، متوسط بارش مناطق جنوب‌شرق ایران ۲۱۶ میلی‌متر می‌باشد که بیشترین مقدار مربوط به استان هرمزگان با ۳۲۶ میلی‌متر و کمترین مقدار مربوط به استان‌های کرمان و سیستان و بلوچستان به‌ترتیب با میزان ۱۳۶ و ۱۰۳ میلی‌متر است. میانگین دمای سالانه استان‌های سیستان و بلوچستان، هرمزگان و کرمان به‌ترتیب برابر با ۲۷، ۲۲ و ۲۴ درجه سلسیوس است.

¹ Na



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

داده‌های منطقه مورد مطالعه

ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک انتخاب‌شده در جنوب‌شرقی ایران با طول دوره آماری ۲۰ ساله در جدول ۱ نمایش داده شده است.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

| دوره آماری | عرض جغرافیایی | طول جغرافیایی | استان | نام ایستگاه | |
|------------|---------------|---------------|-------------------|-------------|----|
| ۲۰۰۰-۲۰۲۰ | ۲۹/۱ | ۵۸/۴ | کرمان | بم | ۱ |
| ۲۰۰۰-۲۰۲۰ | ۲۸ | ۵۷/۷ | | کهنوج | ۲ |
| ۲۰۰۰-۲۰۲۰ | ۲۷/۱ | ۵۷/۱ | | میناب | ۳ |
| ۲۰۰۳-۲۰۲۰ | ۲۷/۵ | ۵۷/۲ | هرمزگان | رودان | ۴ |
| ۲۰۰۰-۲۰۲۰ | ۲۷/۲ | ۵۶/۴ | | بندرعباس | ۵ |
| ۲۰۰۰-۲۰۲۰ | ۲۵/۳ | ۶۰/۷ | | چابهار | ۶ |
| ۲۰۰۰-۲۰۲۰ | ۲۷/۲ | ۶۰/۷ | سیستان و بلوچستان | ایران‌شهر | ۷ |
| ۲۰۰۰-۲۰۲۰ | ۲۸/۲ | ۶۱/۲ | | خاش | ۸ |
| ۲۰۰۰-۲۰۲۰ | ۲۷/۴ | ۶۲/۳ | | سراوان | ۹ |
| ۲۰۰۰-۲۰۲۰ | ۳۱/۱ | ۶۱/۵ | | زابل | ۱۰ |
| ۲۰۰۰-۲۰۲۰ | ۲۹/۵ | ۶۰/۹ | | زاهدان | ۱۱ |

نمایه‌های فرین اقلیمی

نمایه‌های فرین دما و بارش با استفاده از داده‌های دما و بارندگی روزانه ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه در یک بازه زمانی ۲۰ ساله از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ با کمک نرم‌افزار RclimDex محاسبه شد (فتحیان و همکاران، ۱۴۰۱). نمایه‌های فرین دما و بارش انتخاب‌شده برای این مطالعه شامل ۸ نمایه فرین بارش و ۶ نمایه فرین دما می‌باشد که در جدول ۲ و ۳ نمایش داده شده است.

جدول ۲: فهرست نمایه‌های فرین دما انتخاب‌شده

| واحد اندازه‌گیری | تعریف به فارسی | فرین دما | |
|------------------|--|----------|---|
| روز | تعداد روزهای تابستانی (دمای حداکثر روزانه ۲۴ درجه) | SU25 | ۱ |
| °C | بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه | TXx | ۲ |
| °C | کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه | TXn | ۳ |
| روز | روزهای گرم، درصد روزهای که دمای حداکثر بیشتر از صدک نودم باشد | TX90p | ۴ |
| روز | نمایه طول مدت گرما، تعداد روزهایی که حداقل شش روز متوالی دمای حداکثر آنها بیشتر از صدک نودم باشد | WSDI | ۵ |
| °C | دامنه تغییرات شبانه روزی دما | DTR | ۶ |

جدول ۳: فهرست نمایه‌های فرین بارش انتخاب شده

| واحد اندازه‌گیری | تعریف به فارسی | فرین بارش | |
|------------------|--|-----------|---|
| mm | حداکثر بارش یک روزه | Rx1 | ۱ |
| mm | حداکثر بارش ۵ روزه، میزان بارش ماهانه پنج روز متوالی | Rx5 | ۲ |
| mm | نمایه ساده شدت روزانه | SDII | ۳ |
| روز | تعداد روزهای با بارش سنگین | R10 | ۴ |
| روز | تعداد روزهای با بارش خیلی سنگین | R20 | ۵ |
| روز | حداکثر طول دوره خشک | CDD | ۶ |
| روز | حداکثر طول دوره مرطوب | CWD | ۷ |
| mm | کل بارش سالانه در روزهای مرطوب | PRCPTOT | ۸ |

روزهای همراه با گردوخاک

در این مطالعه از متغیر روزهای همراه با گردوخاک استفاده شد. همچنین از داده‌های دید افقی و کدهای هواشناسی گردوخاک برای تفکیک روزهای همراه با گردوخاک با منشا داخلی استفاده شد که در جدول ۴ نمایش داده شده است.

جدول ۴: کدهای هواشناسی گردوخاک (سازمان جهانی هواشناسی) استفاده شده در این مطالعه

| تعریف | کد هواشناسی |
|--|-------------|
| گردوخاک برخواسته | ۰۷ |
| گردوخاک‌های تکامل یافته که در زمان دیدبانی یا طی یک ساعت گذشته در ایستگاه و یا اطراف آن مشاهده شده است. | ۰۸ |
| توفان گردوخاک یا شن که در ساعت دیدبانی در اطراف ایستگاه وجود داشته یا در ساعت گذشته در خود ایستگاه وجود داشته است. | ۰۹ |
| گردوخاک خفیف یا متوسط شن و ماسه همراه با کاهش میدان دید کمتر از ۱۰۰۰ متر اما بیشتر از ۲۰۰ متر. | ۳۰ |
| گردوخاک پایدار یا متوسط شن و ماسه همراه با کاهش میدان دید کمتر از ۱۰۰۰ متر اما بیشتر از ۲۰۰ متر. | ۳۱ |
| شروع یا افزایش گردوخاک خفیف یا متوسط شن و ماسه همراه با کاهش میدان دید کمتر از ۱۰۰۰ متر اما بیشتر از ۲۰۰ متر. | ۳۲ |
| توفان گردوخاک شدید همراه با کاهش دید کمتر از ۲۰۰ متر. | ۳۳ |
| توفان گردوخاک پایدار شدید همراه با کاهش دید کمتر از ۲۰۰ متر. | ۳۴ |
| شروع یا افزایش توفان گردوخاک شدید همراه با کاهش دید کمتر از ۲۰۰ متر. | ۳۵ |
| رعد و برق با گردوخاک و یا توفان شن و ماسه. | ۹۸ |

روش کار

از روش شبکه عصبی پرسپترون چندلایه، برای تشخیص موثرترین شاخص‌های حدی دما و بارش بر تغییرات روزهای همراه با گردوغبار استفاده شد. هدف از طراحی مدل پرسپترون چند لایه، حل مسائل غیرخطی است. این مدل به-عنوان یکی از انواع مدل‌های شبکه عصبی از چند لایه نورون متصل به هم تشکیل شده است که شامل لایه ورودی، پنهان و خروجی می‌باشد (جورابیان و همکاران، ۱۳۹۸). یافتن ارتباط منطقی بین داده‌ها شبیه‌سازی احتمال وقوع پدیده‌ها را امکان‌پذیر می‌کند. هر شبکه عصبی از سه مولفه اصلی شامل وزن (W)، اربیب (Bias) و تابع انتقال (F) تشکیل شده است (نجیب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸). طراحی شبکه عصبی در محیط نرم‌افزار SPSS انجام شد. در این مطالعه پس از برازش شبکه‌های مختلف، شبکه‌ای که کمترین مربعات خطا را بر روی داده‌های آزمون داشت به‌عنوان شبکه نهایی انتخاب می‌شود.

پس از مشخص شدن نتایج مربوط به تعیین مهم‌ترین حدی‌های دما و بارش تاثیرگذار بر روی روند تغییرات روزهای همراه با گردوخاک، برای بررسی معنی‌داری و جهت روند تغییرات این شاخص‌ها در منطقه مورد مطالعه از آزمون من-کندال (کندال ۱، ۱۹۷۵، من^۲، ۱۹۴۵) استفاده شد. مقادیر منفی و مثبت آماره من - کندال (Z) به ترتیب بیانگر روند کاهشی و افزایشی در سری داده‌ها است. با توجه به سطح اطمینان ۹۵ درصد اگر $|Z| > 1/96$ باشد، فرض صفر مبنی بر عدم وجود روند در سری زمانی رد می‌شود و وجود روند در سری زمانی داده‌ها پذیرفته می‌شود. همچنین، روند تغییرات سالانه روزهای همراه با گردوخاک به کمک رسم نمودار و برازش خط رگرسیون نمایش داده شد (آذرخشی و همکاران، ۱۳۹۲).

نتایج و بحث

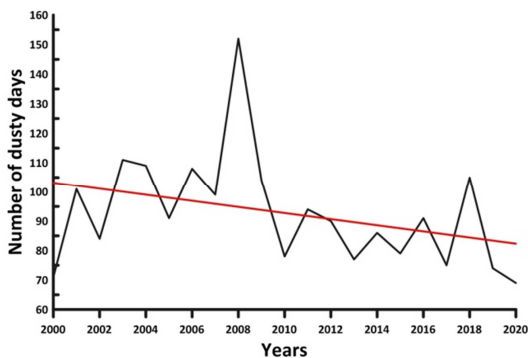
روند تغییرات سالانه روزهای همراه با گردوخاک در ایستگاه‌های میناب و کهنوج ثابت بود و در ایستگاه‌های رودان، سراوان، ایرانشهر، زابل، زاهدان، بندرعباس، بم، خاش و چابهار روند تغییرات نزولی بود و تنها در ایستگاه‌های رودان، سراوان، ایرانشهر، زابل، بندرعباس، بم و خاش معنادار بود (سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵) (شکل ۲). مقدار شیب، جذر میانگین مربعات و P-value محاسبه شده از برازش خط رگرسیونی بر داده‌ها در هر ایستگاه در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵: خلاصه آزمون رگرسیون خطی بر متغیر روزهای همراه با گردوخاک

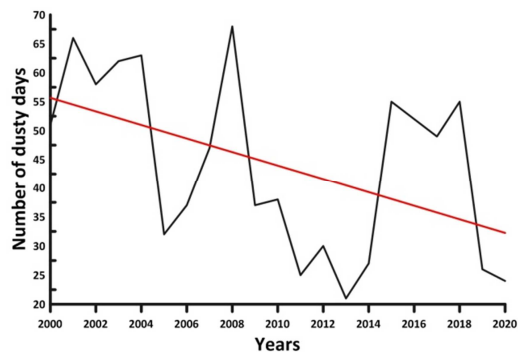
| ایستگاه | معادله شیب خط | جذر میانگین مربعات | P- value |
|------------------|--------------------------|--------------------|-----------------|
| ایستگاه رودان | $Y = -2/2 * X + 4617$ | ۰/۶ | ۰/۰۰۶ |
| ایستگاه سراوان | $Y = -1.1 * X + 2398.5$ | ۰/۴۷ | ۰/۰۳ |
| ایستگاه ایرانشهر | $Y = -3.1 * X + 6344.1$ | ۰/۶۳ | ۰/۰۰۱ |
| ایستگاه زابل | $Y = -3.1 * X + 6453.8$ | ۰/۷۷ | کم تر از ۰/۰۰۰۱ |
| ایستگاه چابهار | $Y = -1.36 * X + 2773.3$ | ۰/۴۲ | ۰/۰۵ |
| ایستگاه کهنوج | $Y = -0.05 * X + 128.7$ | ۰/۰۲۱ | ۰/۹ |
| ایستگاه بندرعباس | $Y = -3.19 * X + 6514.1$ | ۰/۴۵ | ۰/۰۳ |
| ایستگاه بم | $Y = -3.27 * X + 6617.1$ | ۰/۷۶ | کم تر از ۰/۰۰۰۱ |
| ایستگاه خاش | $Y = -3.61 * X + 7324.1$ | ۰/۷۸ | کم تر از ۰/۰۰۰۱ |
| ایستگاه میناب | $Y = -0.049 * X + 113.5$ | ۰/۰۳ | ۰/۸۷ |
| ایستگاه زاهدان | $Y = -1.04 * X + 2188.2$ | ۰/۳۴ | ۰/۱۳ |

معنی‌داری در سطح ۰/۰۵

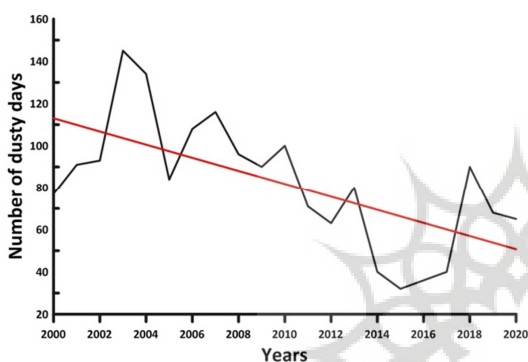
نتایج همچنین نشان داد ایستگاه زابل و بندرعباس به ترتیب با میانگین سالانه ۱۷۱ و ۹۳ روز طی دوره زمانی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ بیشترین روزهای همراه با گردوخاک را ثبت کرده‌اند (شکل ۲). کمترین میانگین روزهای همراه با گردوخاک نیز برابر با ۱۵ روز مربوط به ایستگاه میناب بود. سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۲ سال‌های با بیشترین تعداد روزهای همراه با گردوخاک و سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۲۰ سال‌های با کمترین روزهای همراه با گردوخاک می‌باشد.



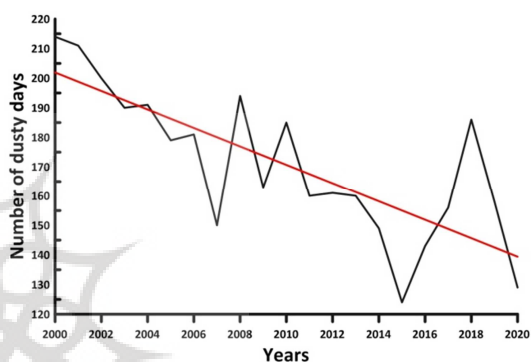
ایستگاه رودان



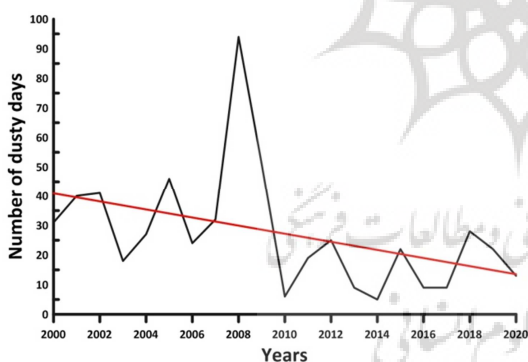
ایستگاه سراوان



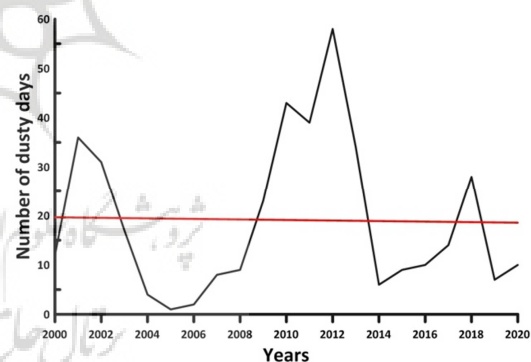
ایستگاه ایرانشهر



ایستگاه زابل



ایستگاه چابهار



ایستگاه کهنوج

شکل ۲: روند تغییرات سالانه روزهای همراه با گردوخاک در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه طی دوره زمانی ۲۰۰۰-۲۰۲۰

نتایج ارتباط بین فرین‌های بارش با روزهای همراه با گردوخاک

اطلاعات مربوط به شبکه عصبی برازش داده‌شده به نمایه‌های فرین بارش در جدول ۶ نشان داده شده است. ۷۰ درصد داده‌های واردشده به مدل پرسپترون چندلایه در گروه نمونه آموزشی و ۳۰ درصد داده‌های واردشده در گروه نمونه آزمایشی قرار گرفت. متغیرهای مستقل واردشده به مدل شامل نمایه‌های فرین بارش $Rx1$ ، $Rx5$ ، $SDII$ ، $R10$ ، $R20$ ، CDD ، CWD و $PRCPTOT$ می‌باشد. متغیر وابسته روزهای همراه با گردوخاک است. پس از آزمون و خطا و برازش مدل‌های مختلف، در نهایت شبکه‌ای با تابع فعال ورودی هایپربولیک تانژانت و خروجی سیگموئیدی با

۱ لایه پنهان و ۶ نورون و همچنین مجموع مربعات خطا کمتر (۰/۵۱) در مورد نمونه آموزشی به عنوان شبکه مطلوب انتخاب شد. بررسی نتیجه اهمیت نمایه‌های فرین بارش موثر بر طوفان‌های گردوخاک در منطقه مورد مطالعه نشان داد، نمایه‌های R20، R10، CDD و R20 بیشترین همبستگی را با روند تغییرات طوفان‌های گردوخاک دارد.

جدول ۶- اطلاعات مدل شبکه عصبی برازش داده شده به نمایه‌های فرین بارش

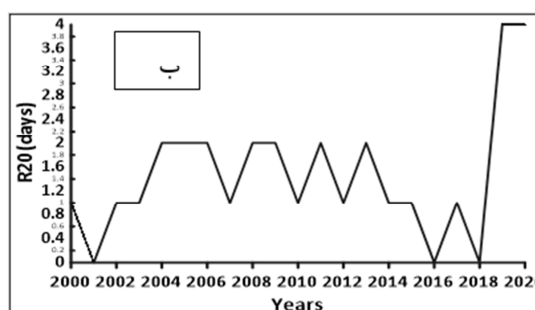
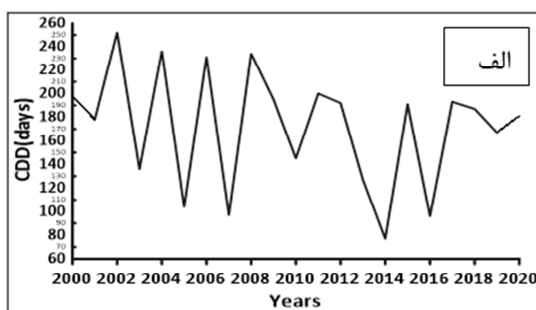
| مدل/نمایه | R20 | RX1 | RX5 | SDII | R10 | CDD | CWD | PRCPTOT |
|----------------------------|------|------------|------|------------|---------------------|-----|-----|---------|
| اهمیت نرمال - شده(%) | ۴۸ | ۲۸/۵ | ۴۰/۳ | ۷/۲ | ۱۹/۵ | ۱۰۰ | ۱۴ | ۸ |
| اهمیت | ۰/۲۹ | ۰/۱۵ | ۰/۱۲ | ۰/۰۲۲ | ۰/۲۱ | ۰/۳ | ۰/۳ | ۰/۰۲۷ |
| مجموع مربعات خطا آموزش | ۰/۷۱ | تابع ورودی | | تابع خروجی | لایه پنهان -- نورون | | | |
| مجموع مربعات خطا آزمایش | ۰/۳۱ | هایپربولیک | | سیگموئیری | ۶-۱ | | | |

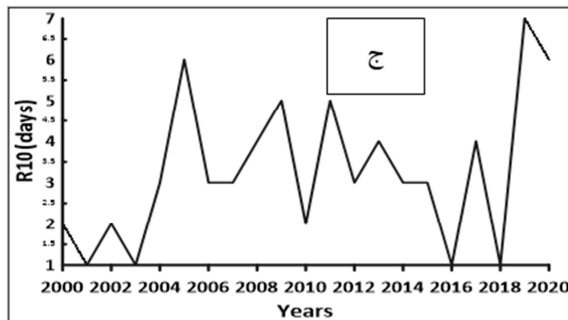
بررسی معنی‌داری و جهت روند تغییرات نمایه CDD با استفاده از آزمون من - کندال نشان داد، روند تغییرات این نمایه نزولی و معنی‌دار است (مقدار Z برابر با ۱/۹۷-). روند تغییرات نمایه‌های R10 و R20 نیز صعودی بود، اما معنی‌دار نبود (Z به ترتیب برابر با ۱/۷۲ و ۰/۸۲).

بیشترین و کمترین مقادیر نمایه CDD در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۴ به ترتیب برابر با ۲۵۲ و ۷۷ روز مشاهده شد (شکل ۳ الف). همچنین، در بین ایستگاه‌های مختلف منطقه مورد مطالعه، ایستگاه ایرانشهر بیشترین و ایستگاه رودان کمترین مقادیر نمایه CDD را ثبت کرده‌اند.

بیشترین مقادیر نمایه R20 به ترتیب در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ برابر با ۴ روز مشاهده شد. در مقابل کمترین مقادیر نمایه R20 در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ برابر با ۰ مشاهده شد (شکل ۳ ب). همچنین، در بین ایستگاه‌های مختلف منطقه مورد مطالعه، ایستگاه‌های بم، زابل و زاهدان کمترین و ایستگاه رودان بیشترین مقادیر نمایه R20 را ثبت کرده‌اند.

بیشترین مقادیر نمایه R10 در سال ۲۰۱۹ برابر با ۷ روز مشاهده شد. در مقابل کمترین مقادیر نمایه R10 در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۳، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ برابر با ۱ روز مشاهده شد (شکل ۳ ج). همچنین، در بین ایستگاه‌های مختلف منطقه مورد مطالعه نیز ایستگاه رودان بیشترین و ایستگاه‌های بم و زابل کمترین مقادیر نمایه R10 ثبت شده است.





شکل ۳: روند تغییرات سالانه نمایه‌های فرین بارش (طی دوره زمانی ۲۰۰۰-۲۰۲۰) در ایستگاه‌های مختلف منطقه مورد مطالعه. شکل (الف) روند تغییرات نمایه CDD، (ب) روند تغییرات نمایه R20، (ج) روند تغییرات نمایه R10

نتایج ارتباط فرین‌های دما با روزهای همراه با گردوخاک

اطلاعات مربوط به شبکه عصبی برازش داده‌شده به نمایه‌های فرین بارش در جدول ۷ نشان داده شده است. ۷۰ درصد داده‌های واردشده به مدل پرسپترون چندلایه در گروه نمونه آموزشی و ۳۰ درصد داده‌های واردشده در گروه نمونه آزمایشی قرار گرفت. متغیرهای مستقل واردشده به مدل شامل نمایه‌های فرین دما TX90p, TXn, TXx, SDII، WSDI و DTR می‌باشد. متغیر وابسته روزهای همراه با گردوخاک است. پس از آزمون و خطا و برازش مدل‌های مختلف، در نهایت شبکه‌ای با تابع فعال ورودی هایپربولیک تانژانت و خروجی سیگموئیدی با ۱ لایه پنهان و ۵ نورون و همچنین، مجموع مربعات خطا کمتر (۰/۶۷) در مورد نمونه آموزشی به‌عنوان شبکه مطلوب انتخاب شد. بررسی نتیجه اهمیت نمایه‌های فرین بارش موثر بر طوفان‌های گردوخاک در منطقه مورد مطالعه نشان داد، نمایه‌های SU25، DTR و TXn بیشترین همبستگی را با روند تغییرات طوفان‌های گردوخاک دارد.

جدول ۷: اطلاعات مدل شبکه عصبی برازش داده‌شده به نمایه‌های فرین دما

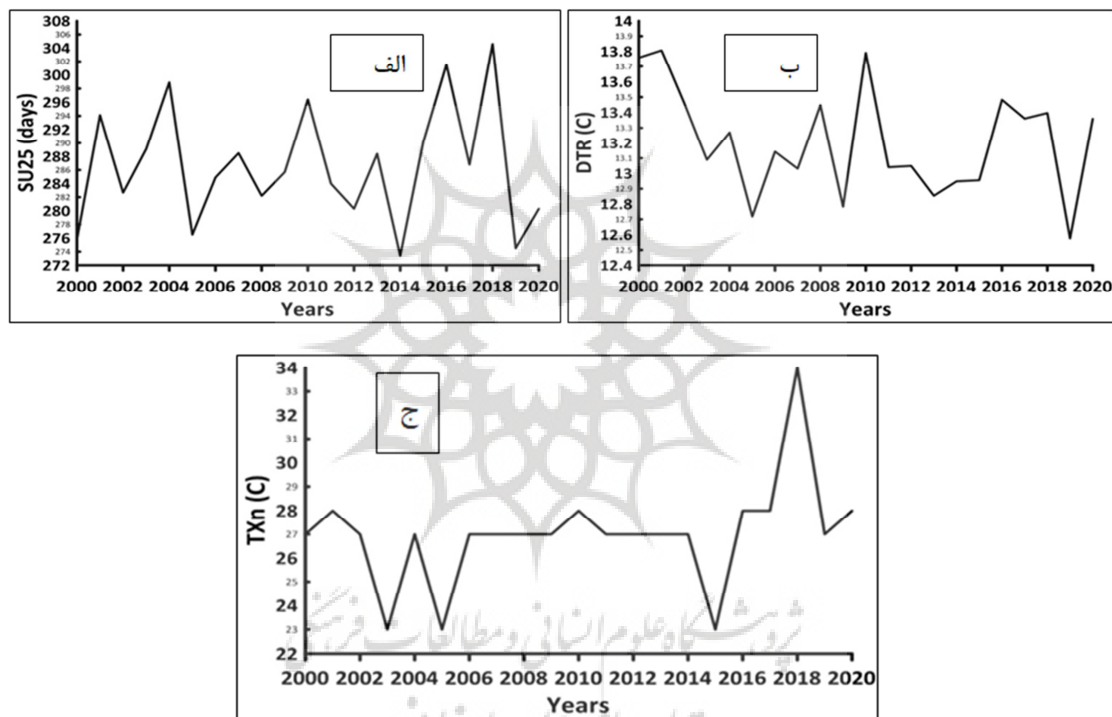
| مدل/نمایه | SU25 | TXx | TXn | TX90p | DTR | WSDI |
|---------------------|------|------------|------------|-------|------|------------------|
| اهمیت نرمال شده (%) | ۱۰۰ | ۵۱ | ۸۹ | ۲۵ | ۸۵ | ۳۸ |
| اهمیت | ۰/۳۷ | ۰/۰۵ | ۰/۶۱ | ۰/۰۲۵ | ۰/۱۸ | ۰/۰۶۴ |
| مجموع مربعات خطا | ۰/۶۷ | تابع ورودی | تابع خروجی | | | لايه پنهان/نورون |
| مجموع مربعات خطا | ۰/۴۵ | سیگموئیدی | همانی | | | ۵-۱ |

بررسی معنی‌داری و جهت روند تغییرات نمایه SU25 با استفاده از آزمون من - کندال نشان داد، روند تغییرات این نمایه نزولی و معنی‌دار است (مقدار Z برابر با ۲/۲۱-). روند تغییرات نمایه‌های DTR و TXn نیز معنی‌دار نبود (Z به ترتیب برابر با ۰/۰۹ و ۱/۷ است).

بیشترین و کمترین مقادیر نمایه SU25 در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۴ به ترتیب برابر با ۳۰۵ و ۲۷۳ روز مشاهده شد (شکل ۴ الف). همچنین، در بین ایستگاه‌های مختلف منطقه مورد مطالعه، ایستگاه چابهار بیشترین و ایستگاه خاش کمترین مقادیر نمایه SU25 را ثبت کرده‌اند.

بیشترین مقادیر نمایه DTR در سال ۲۰۰۱ برابر با ۱۳/۸۱ درجه سلسیوس مشاهده شد. در مقابل کمترین مقادیر نمایه DTR در سال ۲۰۱۹ برابر با ۱۲/۵۸ درجه سلسیوس مشاهده شد (شکل ۴ ب). همچنین، در بین ایستگاه‌های مختلف منطقه مورد مطالعه، ایستگاه‌های خاش، زابل و سراوان بیشترین و ایستگاه چابهار کمترین مقادیر نمایه DTR را ثبت کرده‌اند.

بیشترین مقادیر نمایه TXn در سال ۲۰۱۸ برابر با ۲۹ درجه سلسیوس مشاهده شد. در مقابل کمترین مقادیر نمایه TXn در سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۵ برابر با ۲۶ درجه سلسیوس مشاهده شد (شکل ۳ ج). همچنین، در بین ایستگاه‌های مختلف منطقه مورد مطالعه، ایستگاه چابهار بیشترین و ایستگاه‌های بهم، خاش و زابل کمترین مقادیر نمایه TXn ثبت شده است.



شکل ۴: روند تغییرات سالانه نمایه‌های فرین دما (طی دوره زمانی ۲۰۰۰-۲۰۲۰) در ایستگاه‌های مختلف منطقه مورد مطالعه. شکل (الف) روند تغییرات نمایه SU25، (ب) روند تغییرات نمایه DTR، (ج) روند تغییرات نمایه TXn

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، روند تغییرات روزهای همراه با گردوخاک در ایستگاه‌های رودان، سراوان، ایرانشهر، زابل، بندرعباس، بهم و خاش نزولی و معنادار بود. خدام و همکاران (۱۳۹۸) طی بررسی شاخص طوفان گردوخاک در یک دوره ۳۰ ساله در استان سیستان و بلوچستان بیان می‌کند، طی ۱۵ سال اخیر روند تغییرات طوفان‌های گردوخاک به صورت معنی‌دار کاهش داشته است. نامداری و همکاران (۱۴۰۰) نیز در تحلیل تغییرات کانون‌های گردوخاک داخلی ایران در بیست سال اخیر نشان داد، در بسیاری از کانون‌های مرکزی، شرق و جنوب‌شرق ایران روند کاهشی داشته است.

محمودی و ایکیگایا (۲۰۲۳) در مطالعه خود به منظور بررسی پراکنش و فراوانی طوفان‌های گردوخاک در ایران بر اساس مشاهدات بلندمدت ۴۰۰ ایستگاه هواشناسی نشان داد، میانگین بالاترین آمار روزهای همراه با گردوخاک به ترتیب برابر با ۱۵۰، ۱۰۰ و ۳۰ روز در هر سال می‌باشد که مربوط به ایستگاه‌های جنوبی، شرقی و مرکزی ایران است. نتایج این مطالعه نشان داد ایستگاه زابل و بندرعباس به ترتیب با میانگین سالانه ۱۷۱ و ۹۳ روز طی دوره زمانی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ بیشترین روزهای همراه با گردوخاک را ثبت کرده‌اند.

نتایج برازش مدل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه نشان داد، نمایه‌های فرین بارش CDD، R10 و R20 بیشترین همبستگی را با روند تغییرات طوفان‌های گردوخاک دارد. تنها روند تغییرات نمایه CDD نزولی و معنی‌دار بود. نمایه CDD حداکثر طول دوره خشک را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، تعداد روزهای همراه با خشکی و بی‌بارشی در منطقه مورد مطالعه روند کاهشی داشت که می‌تواند بر روی فرآیندهای فرسایشی خاک تاثیر منفی داشته باشد. حلبیان و کیخسروی (۱۳۹۹) در مطالعه خود با هدف بررسی تغییرات نمایه‌های فرین بارش در ایران طی دوره زمانی ۲۰۱۶-۱۹۸۲ نشان داد، روند تغییرات نمایه CDD کاهشی است که نتایج این مطالعه با نتایج آنها مشابه است. در ارتباط با روند تغییرات نمایه‌های R10 و R20 نیز صعودی بود، اما معنادار نبود.

همچنین، نتایج برازش مدل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه نشان داد، نمایه‌های فرین دما SU25، DTR و TXn بیشترین همبستگی را در روند تغییرات طوفان‌های گردوخاک در منطقه مورد مطالعه دارد. روند تغییرات نمایه SU25 منفی و معنادار بود. نمایه SU25 تعداد روزهای با دمای حداکثر روزانه ۲۵ درجه سلسیوس را نشان می‌دهد. بنابراین، کاهش روند این نمایه می‌تواند تاثیر زیادی در کاهش روند وقوع طوفان‌های گردوخاک داشته باشد؛ زیرا دماهای بالا با افزایش تبخیر از سطح خاک و کاهش رطوبت خاک همراه است. سو و همکاران (۲۰۲۳) بیان می‌کند افزایش حدی‌های دمایی مانع رشد گیاهان می‌شود و کاهش رشد پوشش گیاهی می‌تواند بر روی فرآیندهای فرسایشی سطح زمین موثر باشد. تاجیک و اربابی سبزواری (۱۳۹۹) در مطالعه خود با هدف بررسی نمایه‌های حدی دمایی در سطح کشور نشان داد، ایستگاه‌های سواحل جنوبی ایران رتبه اول و مناطق جنوب شرق ایران رتبه دوم را از نظر بیشترین مقادیر نمایه SU25 دارند که با نتایج این مطالعه مشابه است. همچنین، نا و همکاران (۲۰۱۸) بیان می‌کند، تشدید رخداد‌های حدی دمایی باعث افزایش تبخیر و تعرق از خاک می‌شود و به این ترتیب خاک رطوبت کافی ندارد.

با توجه به نتایج به دست آمده، می‌توان نتیجه گرفت وقوع حدی‌های دما و بارش بر وقوع طوفان‌های گردوخاک در منطقه مورد مطالعه موثر بوده است و روند تغییرات طوفان‌های گردوخاک در منطقه کاهشی بوده است که می‌تواند بخشی از آن به دلیل کاهش روزهای خشک و روزهای با دمای بالای ۲۵ درجه سلسیوس باشد. وقوع طوفان‌های گردوخاک با روزهای خشک و دماهای بالا رابطه مستقیم دارد؛ زیرا خشکی محیط میزان رطوبت خاک را کاهش می‌دهد و از این طریق به برداشت ذرات خاک توسط باد کمک می‌کند. وقوع حدی‌های دما و بارش به صورت همزمان رخ می‌دهند و می‌توانند بر یکدیگر اثر متقابل داشته باشند. با توجه به نتایج به دست آمده، فرضیه اصلی این مطالعه مبنی بر روند افزایشی تغییرات روزهای همراه با گردوخاک در دوره زمانی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ رد می‌شود.

منابع

- آذرخشی، مریم؛ فرزادمهر، جلیل؛ اصلاح، مهدی، صحابی، حسین. (۱۳۹۲). بررسی روند تغییرات سالانه و فصلی بارش و پارامترهای دما در مناطق مختلف آب‌وهوایی ایران، نشریه علمی - پژوهشی مرتع و آبخیزداری، دوره ۶۶، شماره ۱، صص: ۱-۱۶.
- باقرآبادی، رسول. (۱۴۰۰). تجزیه و تحلیل روند تغییرات گردوغبار و ارتباط آن با شاخص (SPI) مطالعه موردی: شهر اهواز، مجله جغرافیا و روابط انسانی، سال ۴، شماره ۳، صص: ۲۲۴-۲۳۷.
- باهک، بتول. (۱۳۹۷). تحلیل فضایی روند وقوع پدیده گردوغبار در استان سیستان و بلوچستان با روش‌های آماری، فصلنامه جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، سال ۸، شماره ۳۱، صص: ۹۷-۱۰۹.
- حلیان، امیرحسین؛ کیخسروی کیانی، محمدصادق. (۱۳۹۹). ارزیابی تغییرات نمایه‌های فرین بارش در ایران، مجله برنامه‌ریزی فضایی، سال ۱۰، شماره ۴، صص: ۲۴-۴۵.
- خدام، نوشین؛ تاج‌بخش، سحر؛ علی‌اکبری بیدختی، عباسعلی؛ صحت کاشانی، ساويز؛ رنجبرسعادت آبادی، عباس. (۱۳۹۹). اقلیم‌شناسی رخدادهای توفان گردوخاک در فصل تابستان در استان سیستان و بلوچستان در دوره ۳۰ ساله (۲۰۱۶-۱۹۸۷)، پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال ۵، شماره ۴۰، صص: ۸۱-۸۹.
- جهانپخش اصل، سعید؛ ساری صراف، بهروز؛ عساکره، حسین؛ شیرمحمدی، سهیلا. (۱۳۹۹). واکاوی تغییرات زمانی - مکانی بارش‌های بحرانی (فرین بالا) در غرب ایران طی سال‌های ۲۰۱۶ - ۱۹۶۵، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال ۱، شماره ۷، صص: ۸۹-۱۰۶.
- جورابیان شوشتری، شریف؛ اسماعیلی ساری، عباس؛ حسینی، سید محسن؛ غلامعلی فرد، مهدی. (۱۳۹۸). کاربرد روش پرسپترون چندلایه شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی شرق استان مازندران، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دوره ۴، شماره ۲۹، صص: ۱۲۵-۱۴۴.
- دمی‌زاده، محمود؛ میری، مرتضی؛ زند، مهران. (۱۴۰۰). شناسایی کانون‌های داخلی برداشت گردوغبار و مسیرهای انتقال آن در استان هرمزگان (مطالعه موردی: منطقه کوهستک تا بندرعباس)، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳، شماره ۴۷، صص: ۵۰۱-۵۱۸.
- رحیم‌بیگی، نرگس؛ زرین، آذر؛ مفیدی، عباس؛ داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۴۰۰). تحلیل پراکنش فصلی بارش‌های فرین در ایران با استفاده از پایگاه AgERA5. تحقیقات آب‌و‌خاک ایران، دوره ۱۱، شماره ۵۲، صص: ۲۷۲۳-۲۷۳۷.
- رستمی، دانا؛ حسینی سید، اسعد. (۱۳۹۷). واکاوی و ردیابی پدیده گردوغبار در جنوب و جنوب‌شرق ایران با استفاده از مدل HYSPLIT و اصول سنجش‌از‌دور، مجله تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، دوره ۵، شماره ۳، صص: ۱۰۳-۱۱۹.
- صادقی نیا، علیرضا؛ رفعتی، سمیه؛ صداقت، مهدی. (۱۴۰۰). تحلیل فضایی تغییرات اقلیمی در ایران، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، دوره ۸، شماره ۴، صص: ۵۵-۷۰.
- علوی نیا، سیدحسین؛ زارعی، مهدی. (۱۴۰۰). آنالیز روند تغییر اقلیم با استفاده از شاخص‌های حدی داده‌های بلندمدت بارش و دما در جنوب‌شرق ایران، فصلنامه علمی برنامه‌ریزی منطقه‌ای، دوره ۱۱، شماره ۴۴، صص: ۱۱۹-۱۳۴.
- فتحیان، فرشاد؛ قدمی، محمد؛ دهقان، زهره. (۱۴۰۱). تحلیل مکانی نمایه‌های حدی دما تحت تأثیر تغییر اقلیم مبتنی بر داده‌های CORDEX و روش توسعه‌یافته تصحیح آریبی در ایران، مجله علوم آب‌و‌خاک، دوره ۲۶، شماره ۴، صص: ۱۳۷-۱۶۰.
- میان‌آبادی، آمنه؛ سالاری، خسرو؛ پورمحمد، یاور. (۱۴۰۱). ارزیابی محصول ماهواره‌ای CHIRPS در بررسی روند تغییر بارش‌های جنوب-شرق ایران، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، دوره ۱۶، شماره ۳، صص: ۶۷۰-۶۸۴.
- نامداری، سودابه؛ حاجیگیلو، علی؛ ابادری، غلامرضا. (۱۴۰۰). تحلیل تغییرات کانون‌های گردوغبار داخلی ایران در بیست سال اخیر، جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۲۵، شماره ۷۸، صص: ۳۴۵-۳۶۱.
- نجیب‌زاده، نازنین؛ قادری، کوروش؛ احمدی، محمدمهدی. (۱۳۹۸). بهره‌گیری از روش‌های رگرسیون بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی بارش رواناب (مطالعه موردی: حوضه آبریز سد صفارود)، مجله آبیاری و زهکشی ایران، دوره ۱۲، شماره ۶، صص: ۱۷۰۹-۱۷۲۰.

Edwards, B. L., Webb, N. P., Brown, D. P., Elias, E., & Peck, D. E. (2019). Climate change impacts wind and water. *Journal of Soil and Water Conservation*, 74(4), 405-418. <https://doi.org/10.2489/jswc.74.4.405>

Furtak, K., & Wolińska, A. (2023). The impact of extreme weather events as a consequence of climate change on the soil moisture and the quality of the soil environment and agriculture. *CATENA*, 231, 107378. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107378>

- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). Climate change: Impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Kendall, M. G. (1975). Rank correlation measures. Charles Griffin.
- Liang, H., Jianbin, G., Wenbin, Y., Qunou, J., Lin, C., & Kexin, T. (2023). Multifaceted responses of vegetation to average and extreme climate change over global drylands. *Science of the Total Environment*, 858(Pt 2), 159942. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159942>
- Mahmoudi, L., & Ikegaya, N. (2023). Identifying the distribution and frequency of dust storms in Iran based on long-term observations from over 400 weather stations. *Sustainability*, 15(16), 215–228. <https://doi.org/10.3390/su1516215>
- Manning, C., Widmann, M., Bevacqua, E., Van Loon, A. F., Maraun, D., & Vrac, M. (2019). Increased probability of compound long-duration dry and hot events in Europe during summer (1950–2013). *Environmental Research Letters*, 14(10), 105006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab42fb>
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 13(3), 245–259. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- Na, L., Na, R., Zhang, J., Tong, S., Shan, Y., Ying, H., Li, X., & Bao, Y. (2018). Vegetation dynamics and diverse responses to extreme climate events in different vegetation types of Inner Mongolia. *Atmosphere*, 9(10), 394. <https://doi.org/10.3390/atmos9100394>
- Schepanski, K. (2018). Transport of mineral dust and its impact on climate. *Geosciences*, 8(5), 151. <https://doi.org/10.3390/geosciences8050151>
- Su, R., Guo, E., Wang, Y., Yin, S., Bao, Y., Sun, Z., Mandula, N., & Bao, Y. (2023). Vegetation dynamics and its response to extreme climate on the Inner Mongolian Plateau during 1982–2020. *Remote Sensing*, 15(15), 3891. <https://doi.org/10.3390/rs15153891>
- Wang, W., Samat, A., Abuduwaili, J., Ge, Y., De Maeyer, P., & Van de Voorde, T. (2022). Temporal characterization of sand and dust storm activity and its climatic and terrestrial drivers in the Aral Sea region. *Atmospheric Research*, 275, 106242. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106242>
- Zucca, C., Fleiner, R., Bonaiuti, E., & Kang, U. (2021). Land degradation drivers of anthropogenic sand and dust storms. *CATENA*, 219, 106575. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.106575>