

Investigation of Changes in Climatic Indicators with an Emphasis on Dust and the Impact of Teleconnection Indices on These Changes in Western Iran

Fatemeh Vatanparast Galeh Juq¹, Bromand Salahi^{2*} 

1. Ph.D of Climatology, Department of Physical Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

2. Corresponding Author, Professor of Climatology, Department of Physical Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

Email: Salahi@uma.ac.ir

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4826-6185>

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article Article history: Received: 20 January 2025 Revised: 10 March 2025 Accepted: 15 April 2025 Published: 12 September 2026 Keywords: Climate variables, spatiotemporal changes, teleconnection indices, Mantel test, geo-detector index.	Understanding changes in climate and the factors affecting their occurrence is of great importance. In this study, the trend of spatiotemporal changes in the parameters of average temperature, precipitation, relative humidity, number of dust days, maximum speed, and wind direction from 1987-2023 at 13 stations in the western half of Iran was investigated using Mann-Kendall statistical methods and Sen's slope, and their relationship with each other was analyzed using the Pearson correlation method. Using the Mantel linear test and the Geo-Detector (GDM) geographical classification method, the effects of teleconnection indices, including QBO, IOD, BEST, and NAO, on the aforementioned parameters were investigated. The results of the spatial fluctuation analysis using Sen's slope test showed that more than 85 percent of the area of the study area had an increasing trend in all parameters. The Mann-Kendall test showed that the highest increase and decrease in the parameters were related to the Sarpol-e-Zahab and Dezful stations, respectively. Pearson correlation analysis showed that the highest values of the correlation coefficients were between relative humidity and all parameters, which was inverse and significant at the 0.001% error level. Among the parameters, wind speed played the greatest role in the occurrence of dust storms, and its effects were observed in 74.9% of the study area. According to the results of the Mantel test, among the parameters studied, the highest correlation of the teleconnection indices with dust frequency was established, covering 69% of the study area. Ranking of the dominant factors on climate change with the geo-detector index identified the independent factor IOD as the superior and influential factor in the distribution of these changes. The findings of this study can help understand the climatic factors that influence changes in climate parameters.

How to Cite: Vatanparast Galeh Juq, F. and Salahi, B. (2026). Investigation of Changes in Climatic Indicators with an Emphasis on Dust and the Impact of Teleconnection Indices on These Changes in Western Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 15 (49), 1-24.



© The Author/Authors

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/jneh.2025.50874.2096

EXTENDED ABSTRACT

INTRODUCTION

Understanding the temporal and spatial trends of climate impacts and recognizing the factors influencing their occurrence is of great importance. The temporal and spatial variation of dust events is dependent on numerous climatic and terrestrial factors (Guan et al., 2017). In recent decades, global warming and climate change have caused an increase in temperature, a decrease in rainfall, and frequent droughts. Following the occurrence of these droughts, the dust phenomenon has also increased (Achakulwisut et al., 2018). Climatic characteristics and their dominant elements play an important role in the occurrence and distribution of phenomena (Mahdavi, 2018). Most studies related to the analysis of trends in climate variables have been based on Mann-Kendall tests and linear regression. Therefore, the main objectives of the present study are to use two methods, the Mantel test and the Geo-Detector index, to investigate the temporal and spatial changes of climate variables with an emphasis on the frequency of days with dust storms in the western half of Iran.

MATERIALS AND METHODS

To determine the correlation between climate variables with horizontal visibility, data on average temperature, precipitation, relative humidity, maximum speed and wind direction were used for the 36-year statistical period (1987-2023). To investigate the climatic causes affecting these climate variables, monthly time series data of bivariate ENSO (BEST), Indian Ocean Dipole (IOD), QBO index and time series of North Atlantic Oscillation (NAO) index were used. The Mann-Kendall method and Sen's slope were used to investigate the temporal trends of selected climate variables. To analyze the linear relationship between climate variables and teleconnection data, the Mantel test (a widely used method for testing the linear correlation between two matrices) was used (Meng et al., 2022; Yang et al., 2023). Finally, the factor detector was used to determine the contribution of teleconnection patterns to climate variables.

RESULTS

The results of determining the trends of temperature, precipitation, relative humidity, dust occurrence, maximum speed, and wind direction metrics for the statistical period 1987-2023 showed that the changes in correlation coefficients fluctuated greatly during the statistical period. The trend of dust occurrence correlation in many of the studied stations is almost in line with the trend of changes in climate variables, which indicates that climate changes are in line with these fluctuations in the selected stations in western Iran. The results of determining the trend using the nonparametric slope test showed that the precipitation parameter at Kangavar, Kermanshah, and Dezful stations has a decreasing trend, which can lead to a decrease in water resource storage and a decrease in river discharge. The existence of an upward trend in the temperature parameter for 53% of the study area can cause an increase in evaporation and transpiration, followed by a decrease in water resources and pressure on groundwater. Wind speed had the most significant relationship with the frequency of dust storms, and in 96.2% of the study area, it had the highest correlation coefficient with dust occurrence.

CONCLUSION

Since climate is affected by multiple parameters, climate change cannot be the result of only several specific components, and it is the effect of various parameters that causes climate change in a region. The findings of this study can help decision-makers in developing strategies and measures for sustainable water resource management, reducing and controlling the risks of dust, drought, and flooding, and discovering climate factors affecting changes in climate variables.

REFERENCES

References (in Persian)

Mahdavi, M. (2018). Applied Hydrology. Tehran University Publications, first volume, pp 342. [In Persian].

References (in English)

Achakulwisut, L., Mickley, J., Annenberg, S.C. (2018). Drought sensitivity of fine dust in the US Southwest: Implications for air quality and public health under future climate change. *Environmental Research Letters*, 13, pp 1-12. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabf20>.

Guan, Q., Sun, X., Yang, J., Pan, B., Zhao S., Wang, L. (2017). Dust storms in northern China: long-term spatiotemporal characteristics and climate controls. *Journal of Climate*, 30(17), pp 6683-6700. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0795.1>.

Meng, L., Xu, C., Wu, F., He, H. (2022). Microbial co-occurrence networks driven by low abundance microbial taxa during composting dominate lignocellulose degradation. *Sci. Total Environ*, 845, 157197. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157197>.

Yang, Q., Zhang, P., Li, X., Yang, S., Chao, X., Liu, H., Ba, S. (2023). Distribution patterns and community assembly processes of eukaryotic microorganisms along an altitudinal gradient in the middle reaches of the Yarlung Zangbo River. *Water Res*, 239, 120047. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120047>.

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۵، شماره ۴۹، شماره پیاپی ۳، مهر ۱۴۰۵

بررسی تغییرات فراسنج‌های اقلیمی با تأکید بر گردوغبار و اثر نمایه‌های پیوند از دور بر آن‌ها در غرب ایران

فاطمه وطن پرست قلعه‌جوق^۱، برومند صلاحی^{۲*} 

۱. دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
 ۲. استاد آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی (نویسنده مسئول)
 ایمیل: Salahi@uma.ac.ir [ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4826-6185](https://orcid.org/0000-0003-4826-6185)

چکیده	اطلاعات مقاله
امروزه درک تغییرات پیامدهای اقلیمی و عوامل مؤثر بر وقوع آن‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. در این مطالعه، روند تغییرات زمانی - مکانی فراسنج‌های اقلیمی (میانگین دما، بارش، رطوبت نسبی، تعداد روزهای گردوغبار، حداکثر سرعت و جهت باد) طی دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۲۳ در ۱۳ ایستگاه نیمه غربی ایران با استفاده از روش‌های آماری من - کندال و شیب سن بررسی و ارتباط آن‌ها با یکدیگر با روش همبستگی پیرسون مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. سپس اثر نمایه‌های پیوند از دور شامل QBO، BEST، IOD، NAO با استفاده از آزمون خطی Mantel و روش طبقه‌بندی جغرافیایی Geo-Detector (GDM) بر روی فراسنج‌های نام‌برده بررسی شد. نتایج تحلیل نوسانات مکانی با استفاده از آزمون شیب سن برای بیش از ۸۵ درصد از مساحت پهنه مورد مطالعه روند افزایشی را در همه فراسنج‌ها نشان داد. مطابق با یافته‌های آزمون من - کندال بیشترین تغییرات افزایشی و کاهش در فراسنج‌ها به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های سرپل ذهاب و دزفول است. تحلیل همبستگی پیرسون ثابت کرد بیشترین مقادیر ضرایب همبستگی بین رطوبت نسبی با همه فراسنج‌ها وجود دارد که این ارتباط معکوس بوده و در سطح خطای ۰/۰۰۱ درصد معنادار است. همچنین، پارامتر سرعت باد در بین فراسنج‌ها بیشترین نقش را در رخداد طوفان‌های گردوغباری داشته و اثرات آن در ۷۴/۹ درصد از مساحت پهنه مورد مطالعه دیده می‌شود. بر مبنای نتایج حاصل از آزمون منتل، در بین فراسنج‌های مورد بررسی، بیشترین همبستگی بین نمایه‌های پیوند از دور با فراوانی گردوغبار برقرار است که ۶۹ درصد از مساحت پهنه را در بر گرفته است. رتبه‌بندی عوامل غالب بر تغییرات اقلیمی با نمایه آشکارساز Geo-Detector، عامل مستقل IOD را به عنوان عامل برتر و تأثیرگذار در پراکنش این تغییرات شناسایی نمود. یافته‌های این مطالعه می‌تواند به درک عوامل اقلیمی که بر تغییرات در پارامترهای آب‌وهوایی تأثیر می‌گذارند، کمک کند.	نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۱ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۱/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۶ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۶/۲۲ واژه‌های کلیدی: فراسنج‌های اقلیمی، تغییرات زمانی و مکانی، نمایه‌های پیوند از دور، آزمون Mantel، نمایه Geo-Detector.

استناد: وطن پرست قلعه‌جوق، فاطمه و صلاحی، برومند. (۱۴۰۵). بررسی تغییرات فراسنج‌های اقلیمی با تأکید بر گرد و غبار و اثر نمایه‌های پیوند از دور بر آن‌ها در غرب ایران. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۵ (۴۹)، ۱-۲۴

مقدمه

ادراک و فهم روند نوسانات زمانی و مکانی پیشامدهای اقلیمی و شناخت عوامل تأثیرگذار بر وقوع آن‌ها از ارزشمندی بسیاری برخوردار است و دگرگونی فعالیت زمانی - مکانی رخداد گردوغبار مشروط به عوامل پرشمار اقلیمی و زمینی است (گوان^۱ و همکاران، ۲۰۱۷). پارامترهای اقلیمی در قاعده زمان و مکان بنا به دلایل زیادی دگرگون می‌شوند که باید نحوه تغییرات آن‌ها بر اساس مشاهدات و با بهره‌مندی از شیوه‌های آماری شناسایی شوند (میستری^۲، ۲۰۱۹). طی دهه‌های اخیر پدیده گرمایش جهانی و دگرگونی‌های آب‌وهوایی منجر به افزایش درجه حرارت، کاهش بارندگی و خشک‌سالی‌های پی‌درپی شده است. به‌دنبال رخداد خشک‌سالی‌های مکرر پدیده گردوغبار نیز زیاد شده است (آچاکولویسوت^۳ و همکاران، ۲۰۱۸). بنابراین، ویژگی‌های اقلیمی و عناصر غالب آن نقش مهمی در پراکنش و پیدایش پدیده‌های اساسی اجرا می‌نماید (مهدوی، ۱۳۹۷).

ازجمله پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه روند تغییرات فراسنجهای اقلیمی و اثر آن‌ها بر طوفان‌های گردوغبار، پژوهش ماساتوشی^۴ (۲۰۰۲) است که اعلام کرد درجه حرارت زیاد، سرعت زیاد باد و کاهش بارش شرایط مساعدی برای وقوع طوفان‌های گردوغبار فراهم می‌کند. پیدایش و شدت این طوفان‌ها در مونگولیای چین متأثر از شرایط اقلیمی مثل سرعت باد و مقدار رطوبت خاک بوده است (لی^۵ و همکاران، ۲۰۰۴). رابطه این طوفان‌ها در یافته‌های گو^۶ و همکاران (۲۰۱۰) طی دوره آماری (۲۰۰۷-۱۹۵۴) برای شمال چین با دما معکوس و با بارش معکوس و معنادار بود و در شمال چین رابطه منفی را با رطوبت نسبی نمایان ساخت (فنگ می^۷ و همکاران، ۲۰۱۰). وجود رابطه معکوس و معنادار در سطح اطمینان ۹۹ درصد بین گردوغبار بیابان تکلمکان با بارش دستاوردهای حاصل از پژوهش فنگجیان^۸ و همکاران (۲۰۰۸) است. در بررسی‌های ژو^۹ و همکاران (۲۰۲۳) وجود روند کاهشی در فراوانی گردوغبار حوضه تاریم از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۱ به اثبات رسید. در مطالعات گوپتا^{۱۰} و همکاران (۲۰۲۰) نمایه‌های بارش فرین روندی در سطح اطمینان ۹۵ درصد برای حوضه رودخانه سبرمتی غرب هند نشان داد.

در داخل ایران مهرابی و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی رابطه بین فراسنجهای اقلیمی (درجه حرارت، رطوبت نسبی، بارش، سرعت و جهت حداکثر باد) و وقوع ریزگردهای استان خوزستان با روش رگرسیون خطی بیان نمودند میزان همبستگی‌ها از غرب به شرق افزایش داشته است. این فراسنجه‌ها در بررسی جبالبارزی و همکاران (۱۴۰۲) برای تالاب جازموریان طی سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ بیشترین تغییرات را در قسمت مرکزی این تالاب نشان داد. گزارش بیشترین میزان همبستگی بین فراوانی روزهای گردوغبار و فراسنجهای اقلیمی در ایستگاه‌های ازنا، الیگودرز و کوه‌دشت استان لرستان طی دوره (۲۰۱۴-۲۰۰۰) با آزمون من - کندال^{۱۱} و اسپیرمن از دستاوردهای انصاری قوجقار و همکاران

¹- Guan

²- Mistry

³- Achakulwisut

⁴- Masatoshi

⁵- Li

⁶- Gu

⁷- Fengmei

⁸- Fengjin

⁹- Zhou

¹⁰- Gupta

¹¹- Man Kendall

(۱۳۹۸) است. در استان چهارمحال و بختیاری تحلیل تغییرات بارش با آزمون من - کندال و شیب سن^۱ طی دوره (۱۹۸۶-۲۰۱۵) روند معناداری را نشان نداد (آروین و همکاران، ۱۳۹۵). ناهم‌ساز با آن دما و بارش حوضه آبخیز گدارخوش طی دوره آماری (۱۳۹۱-۱۳۷۰) در مطالعات مرتضوی قیصوری و همکاران (۱۳۹۷) با آزمون من - کندال روند معناداری را در سطح اطمینان ۹۹ درصد نمایش داد و به گونه وارون این آزمون در ارزیابی تغییرات حداکثر بارش روزانه و سالانه حوضه آبریز کرخه و دز طی دوره (۲۰۱۹-۱۹۵۹) روند مشخصی را نمایش نداد (حسنوند و همکاران، ۱۴۰۱). به کارگیری روش‌های تخمین گر شیب سن و رگرسیون خطی در استان خراسان جنوبی طی دوره (۱۳۹۷-۱۳۵۴) برای بارش و دمای حداقل تغییرات بیشتری را نسبت به سایر فراسنج‌ها برآورد نموده است (کاوایان و همکاران، ۱۴۰۰). روش رگرسیون خطی در پژوهش قربانی و همکاران (۱۴۰۱) برای دمای حداقل و حداکثر ایران طی دوره (۲۰۱۶-۱۹۸۷) بیشترین شیب‌های افزایشی را برای فصل بهار و تابستان نشان داد. این روش همچنین به عنوان یک شیوه کارآمد در پژوهش ربیعی غفار و همکاران (۱۴۰۳) جهت بررسی تغییرات زمانی و مکانی احتمال وقوع بارش ایران در طول دوره آماری (۱۳۹۴-۱۳۴۹) مورد استفاده قرار گرفت. خسروی و آذری (۱۴۰۱) با استفاده از آزمون‌های من - کندال و پتیت در حوضه کشف رود طی سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۶۴ بیان کردند که دمای بیشینه در فصل بهار و تابستان روند افزایشی و بارش در زمستان روند کاهشی داشته است. بررسی تغییرات نمایه‌های حدی دما و بارش ایران از سال ۱۳۹۵۱ تا ۲۰۲۰ با آزمون ناپارامتری اسپیرمن در پژوهش جمالی و همکاران (۱۴۰۳) برای اکثر ایستگاه‌ها کاهش بارش همراه با افزایش دما را نشان داد.

الگوهای پیوند از دور بازتاب دگرگونی‌ها در امواج جوی و جایگاه جت استریم‌ها طی قاعده گسترده بوده و بر دما، بارش، مسیر گذر طوفان‌ها، جایگاه و سختی رودبدها در گستره وسیعی اثرگذار است. بدین سبب آن‌ها غالباً رخداد الگوهای هوایی بی‌قاعده را موجب می‌شوند که به صورت هم‌زمان در گستره دورتری رخ می‌دهند. با نگرش به اینکه الگوهای پیوند از دور از ویژگی‌های آب‌وهوایی در بعد سیاره‌ای می‌باشند و به علت اینکه از حیث اقلیمی همه نواحی وابسته به هم هستند. از این رو، شناسایی ارتباط این الگوها می‌تواند در تفسیر رابطه میان عناصر اتمسفری مفید باشد. همچنین، فهم فراوانی رخدادها در مرحله زمانی مختلف را راحت‌تر نماید (فرج زاده، ۱۳۹۲).

از جمله مطالعات صورت گرفته در این زمینه، پژوهش شین^۲ (۲۰۲۲) می‌باشد که اثر پیوند از دور اقیانوس آرام و قطب شمال بر فعالیت طوفان گردوغبار آسیای مرکزی را بررسی کرد و با اینکه طی سال ۲۰۱۶-۱۹۷۱ در عراق القادی^۳ و همکاران (۲۰۲۱) ارتباط نزدیکی را بین ENSO با فعالیت‌های گردوغبار نشان دادند. در یافته‌های زو^۴ و همکاران (۲۰۲۴) نمایه‌های NAO و ENSO اثر قابل توجهی را بر فعالیت گردوغبار شمال چین طی بهار آینده نشان داد. طوفان‌های گردوغبار ایستگاه‌های غرب و جنوب غرب ایران طی سال‌های ۲۰۲۲-۱۹۸۷ در بررسی‌های وطن‌پرست قلعه جوق و صلاحی (۱۴۰۲) بیانگر ارتباط قوی و معکوس آن در فاز منفی و ارتباط مستقیم آن در فاز مثبت با نمایه NAO بود. امیدوار و همکاران (۱۴۰۳) رابطه بین طوفان‌های گردوغبار استان کرمان را با چندین نمایه پیوند از دور در طول دوره ۲۰۱۷-۱۹۸۸ بررسی کردند. نتایج بیانگر بیشترین تأثیرپذیری ایستگاه‌های کرمان، انار و شهربابک از نمایه AO بود. در پژوهش وطن‌پرست قلعه جوق و همکاران (۱۴۰۳) بررسی تأثیر همزمان نمایه‌های

1- Sen's Slope Estimator Nonparametric Method

2- Xin

3- Al-Qadi

4- Xu

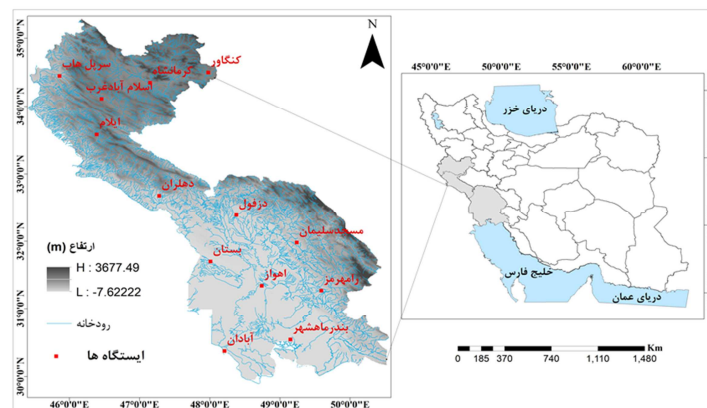
IOD، ENSO، و QBO بر نوسان طوفان‌های گردوغبار نیمه غربی ایران در طول دوره (۱۹۸۷-۲۰۲۲) نشان داد فاز سرد ENSO با فاز منفی QBO بیشترین تأثیر را بر افزایش گردوغبار دارد.

بر اساس مرور منابع انجام‌شده، می‌توان دریافت بیشتر مطالعاتی که در زمینه تشخیص روند فراسنج‌های اقلیمی هست، بر پایه آزمون‌های ناپارامتری قدیمی چون من - کندال و رگرسیون خطی استوار بوده است و با استناد به دستاوردهای پژوهش پیشین، نقش چیره شونده الگوهای پیوند از دور چون ENSO، IOD، و QBO بر وقوع طوفان‌های گردوغبار نیمه غرب ایران محرز و مسلم شده است. از سوی دیگر، در این پژوهش‌ها تنها ارتباط کلی با یک ضریب همبستگی بررسی شده و ارزیابی این ارتباط و تحلیل زمانی - مکانی آن در داخل ایران کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین، خلأ بررسی‌های پیشین را می‌توان ارزیابی این دیدگاه در کنار بررسی دو روش کارآمد آزمون متل و نمایه Geo-Detector دانست تا با شناخت و پیش‌بینی اثر الگوهای پیوند از دور به برنامه‌ریزی و مدیریت پیامدها در هنگام وقوع گردوغبار دست یافت. در راستای بهبود پیش‌بینی‌ها، اهداف اصلی این پژوهش شامل استفاده از این دو روش جهت بررسی دقیق نوسانات زمانی - مکانی فراسنج‌های اقلیمی و همچنین بررسی فراگیرتر اثر نمایه‌های پیوند از دور بر روی آن‌ها با تأکید بر بررسی ریزبینانه‌تر ارتباط این فراسنج‌ها و نمایه‌ها بر فراوانی روزهای توأم با طوفان‌های گردوغبار در نیمه غرب ایران است تا مشخص شود رخداد گردوغبار بیشتر متأثر از کدام فراسنج اقلیمی و الگوهای پیوند از دور است.

داده‌ها

معرفی محدوده مورد مطالعه

در این پژوهش، ایستگاه‌های همدید نیمه غرب ایران که شامل ۱۳ ایستگاه واقع در استان خوزستان، ایلام و کرمانشاه هست مورد پژوهش قرار گرفته است. نام، جایگاه و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱: جایگاه جغرافیایی و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه. منبع: نگارندگان

روش کار

جهت دریافت داده‌های هواشناسی به‌منظور آشکار نمودن میزان همبستگی بین فراسنج‌های اقلیمی و طوفان‌های گردوغبار، پنج پارامتر میانگین دما، بارش، رطوبت نسبی، حداکثر سرعت و جهت باد به‌دلیل ایفای بیشترین نقش در رخداد طوفان گردوغبار ایستگاه‌های منتخب برای سال‌های آماری ۳۷ ساله (۱۹۸۷-۲۰۲۳) برگزیده شد. لازم به

یادآوری است که روزهای توأم با طوفان‌های گردوغبار در این پژوهش، از داده‌های دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر و کدهای هوای حاضر بیان‌کننده رخداد طوفان گردوغبار (۶ تا ۹ و ۳۰ تا ۳۵) پالایه شده‌اند که در طول روز با ۸ بار دیده‌بانی در سازمان هواشناسی به فاصله هر سه ساعت جمع‌آوری می‌شوند. بنابراین، هر روز که در آن یکی از کدهای گردوغباری اتفاق بیافتد و دید افقی به کمتر از ۱۰۰۰ متر برسد، آن روز به‌عنوان روز همراه با طوفان گردوغباری شناخته شد و درنهایت طی همراه تعداد این رخدادها محاسبه و به‌عنوان فراوانی ماهانه گردوغبار هر سال در نظر گرفته شد.

جهت بررسی علل آب‌وهوایی بالقوه در پشت این فراسنجهای اقلیمی، داده‌های سری زمانی ماهانه نمایه دومتغیره (BEST) دربرگیرنده دو جزء اقیانوسی و جوی جهت محاسبه و ارائه نمایه انسو (ENSO)، نمایه حالت دوقطبی (IOD)، نمایه QBO از پایگاه اینترنتی <https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list> و سری زمانی نمایه نوسان اطلس شمالی (NAO) از پایگاه تشخیص اقلیمی سازمان ملی آب‌وهوا در ناسا به آدرس www.cdc.noaa.gov.htm برداشت گردید. انتخاب این نمایه‌ها با نگرش به اهمیت آن‌ها در رخداد گردوغبار نیمه غربی ایران طی دستاوردهای حاصل از پژوهش‌های پیشین صورت گرفته است. برای مقایسه‌پذیر بودن داده‌های مربوط به فراسنجهای اقلیمی با دورپیوندها، داده‌های روزهای توأم با طوفان‌های گردوغبار، دما، بارش، رطوبت نسبی، سرعت و جهت باد به‌صورت ماهانه محاسبه و آماده‌سازی شد و داده‌ها مطابق با رابطه ۱ استانداردسازی شدند (محمودی و همکاران، ۱۳۹۴).

$$Z \frac{(X_i - \bar{X})}{\delta} \quad (1)$$

که در رابطه بالا، Z نمره استاندارد شده فراسنجه اقلیمی، X_i میانگین فراسنجهای اقلیمی برای همراه، $\bar{X}$ فراسنجه اقلیمی روز موردنظر در طول دوره آماری و δ انحراف از معیار ماه موردنظر است.

تحلیل روند

آزمون گرافیکی و ناپارامتریک من - کندال ابتدا توسط من (۱۹۴۵) و سپس توسط کندال (۱۹۷۵) بسط یافت. برای روشن نمودن هرگونه روند یا جهش ناگهانی در رفتار یک سری زمانی می‌توان از این آزمون استفاده نمود. همچنین جهت برآورد شیب واقعی یک‌روند در سری زمانی استفاده از روش ناپارامتریک شیب سن می‌تواند یک روش مناسب باشد که این روش ابتدا توسط تیل^۱ (۱۹۵۰) ارائه و سپس به‌وسیله سن (۱۹۶۸) توسعه و گسترش داده شده است. این دو روش نیازی به توزیع نرمال داده ندارند و نسبت به خطاهای اندازه‌گیری و نقاط دورافتاده حساس نیستند و تخمین بهتری از روند طولانی‌مدت آب‌وهوا ارائه می‌دهند (دای^۲ و همکاران، ۲۰۲۳). در این پژوهش از روش من - کندال و شیب سن برای تعیین وجود روندهای زمانی - مکانی فراسنجهای اقلیمی منتخب و میزان معنی‌دار بودن آن در سری زمانی سالانه استفاده شد. علاوه بر این، از روش من - کندال برای محاسبه مقدار آماره Z نیز استفاده شد که در آن $Z > 0$ روند افزایشی و $Z < 0$ روند کاهشی در داده‌ها را نشان می‌دهد و اگر $|Z| \geq 1/96$ باشد، به این معنی که این روند سطح اطمینان ۹۵٪ را برآورده می‌کند (وانگ^۳ و همکاران، ۲۰۲۱). $|Z| \geq 2/58$ و $|Z| \geq 3/29$ سطح

^۱ - Til

^۲ - Dai

^۳ - Wang

اطمینان ۹۹ درصد را نشان می‌دهد (وو^۱ و همکاران، ۲۰۲۲). سپس به صورت جزئی‌تر برای تعیین جهت روند، نوع و زمان تغییر در داده گردوغبار نیز به کار برده شدند تا با استفاده از این روندهای چندساله مشخص شود آیا ایستگاه‌های منتخب تحت تأثیر قابل توجهی از این فراسنج‌ها در رخداد گردوغبار هستند یا خیر؟

تحلیل همبستگی پیرسون و آزمون منتل^۲

تجزیه و تحلیل همبستگی پیرسون یک روش رایج برای بررسی رابطه خطی بین دو مجموعه از متغیرها است (هوانگ^۳ و همکاران، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۱؛ سونگ^۴ و همکاران، ۲۰۱۹). با استفاده از این آزمون ارتباط بین فراسنج‌های اقلیمی باهم مورد تحلیل قرار گرفت. جهت بررسی و ارزیابی ارتباط خطی بین شش فراسنج اقلیمی یادشده با داده‌های پیوند از دور از آزمون منتل که روشی پرکاربرد در بوم‌شناسی برای آزمایش همبستگی خطی بین دو ماتریس است، استفاده شد (منگ^۵ و همکاران، ۲۰۲۲؛ یانگ و همکاران، ۲۰۲۳). لازم به یادآوری است که محاسبه ضرایب همبستگی و ترسیم نمودارها در محیط نرم‌افزار R انجام شده است.

روش Geo-Detector

روش Geo-Detector (GDM)، مدلی است که برای شناسایی و استفاده از تفاوت‌های جغرافیایی استفاده می‌شود (وانگ و همکاران، ۲۰۱۷). در واقع یک روش اندازه‌گیری جهانی است که از مفهوم تحلیل واریانس (ANOVA) برای تشخیص ناهمگونی طبقه‌ای استفاده کرده و علل ریشه‌ای آن را توضیح می‌دهد (وانگ و همکاران، ۲۰۱۰، ۲۰۱۶ و ۲۰۲۲). به این مفهوم که اگر متغیر مستقل (X) و متغیر وابسته (Y) نظم مشخصی را در سری زمانی یا توزیع مکانی خود نشان دهند؛ بنابراین متغیر وابسته Y به طور قابل توجهی متأثر از متغیر مستقل X خواهد بود (وانگ و همکاران، ۲۰۱۶؛ وی^۶ و همکاران، ۲۰۲۳). به عبارت دیگر، در این روش فرض بر این است که اگر یک عامل مستقل تأثیر قابل توجهی بر یک متغیر وابسته داشته باشد، توزیع فضایی آن‌ها نیز باید مشابه هم باشد (وانگ و هو^۷، ۲۰۱۲). از چهار نوع آشکارساز تشکیل شده است: آشکارساز عامل (فاکتور)، آشکارساز تعامل، آشکارساز اکولوژیکی و آشکارساز خطر (وانگ و همکاران، ۲۰۱۶). در این مطالعه، ما از آشکارساز فاکتور برای کشف موارد خاص استفاده کردیم و سهم الگوهای پیوند از دور بالقوه تأثیرگذار (متغیرهای مستقل) در فراسنج‌های اقلیمی (متغیرهای وابسته)، توسط کمیت آماری q نشان داده شد. مقدار q در فاکتور آشکارساز نشان‌دهنده مقدار عددی میزان مستقل بودن است و متغیر X، متغیر وابسته Y را توضیح می‌دهد که فاکتور آن را دارد و بالاترین مقدار q کمک‌کننده اصلی است. اندازه‌گیری آماری q با رابطه (۲) بیان می‌شود (ژانگ^۸ و همکاران، ۲۰۲۲؛ رن^۹ و همکاران، ۲۰۲۴).

¹ - Wu

² - Mantel test

³ - Huang

⁴ - Song

⁵ - Meng

⁶ - Wei

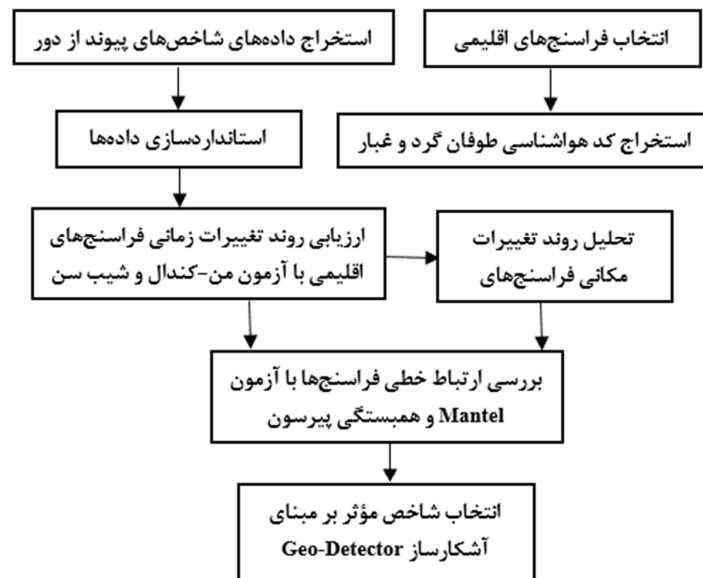
⁷ - Wang and Hu

⁸ - Zhang

⁹ - Ren

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (2)$$

در رابطه بالا h نشان‌دهنده طبقه‌بندی یا پارتیشن متغیر مستقل X و یا متغیر وابسته Y است. N و N_h به ترتیب نشان‌دهنده تعداد واحدهای لایه h و کل محدوده است. σ_h^2 و σ^2 به ترتیب نشان‌دهنده واریانس متغیر وابسته Y در لایه h و کل محدوده است. فرایند پژوهش در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲: روند نمای پژوهش. منبع: نگارندگان

نتایج و بحث

تغییرات زمان-روند در فراسنج‌های اقلیمی

جهت شناسایی و سنجش جریان‌های کاهشی یا افزایشی فراسنج‌های اقلیمی در ایستگاه‌های غرب کشور از دو روش ناپارامتریک برآوردکننده شیب سن و من - کندال استفاده گردید. جدول ۱ روندهای خطی و نتایج آماری روش‌های من - کندال و شیب سن و شکل ۳ نیز روند دگرگونی‌ها بر مبنای من - کندال برای فراوانی گردوغبار را نمایش می‌دهد. برگرفته از آزمون من - کندال برای فراوانی گردوغبار یک روند کلی افزایشی از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۲۳ در ایستگاه‌های اهواز، بستان، اسلام‌آباد غرب، ایلام، رامهرمز، دهلران، کنگاور، سرپل ذهاب و مسجدسلیمان با دامنه روند منطقه‌ای بین ۰/۴۶ تا ۳/۲۴ وجود دارد و میانگین منطقه‌ای میزان تغییرات یادشده در ایستگاه‌های منتخب برابر با مقدار ۱/۶۷ است. دگرگونی‌های افزایشی در ایستگاه سرپل ذهاب بسیار قابل توجه بوده و از آنجا که مقدار Z آن بزرگ‌تر از عدد ۲/۵۸ هست، وجود روند صعودی در سطح اطمینان ۹۹ درصد در این ایستگاه پذیرفته می‌شود. در مقابل ایستگاه‌های آبادان، بندر ماهشهر، دزفول و کرمانشاه ساز مخالف داشته و یک روند کلی کاهشی را با دامنه روند منطقه‌ای بین ۰/۲۶ تا ۱/۰۶ به نمایش گذاشته‌اند و میانگین تغییرات آن‌ها برابر با ۰/۶۰ است. بیشترین شیب روند در دزفول با مقدار Z کمتر از ۱/۹۶ وجود دارد که وجود روند نزولی در سطح اطمینان ۹۵ درصد در آن به‌روشنی

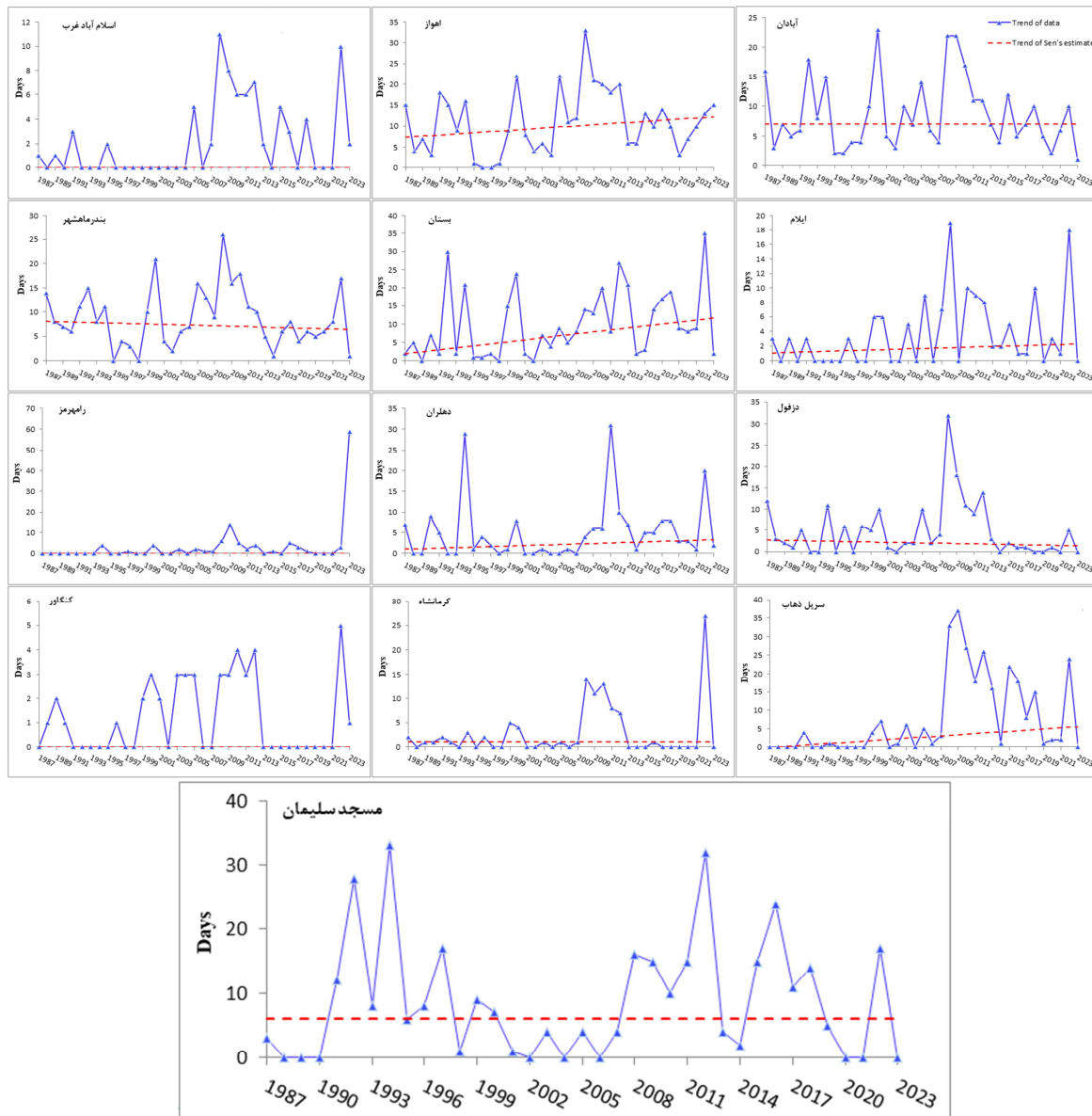
قابل مشاهده است. سرعت و جهت باد نیز در این ایستگاه‌ها روند کاهشی را نشان می‌دهد و همانند فراوانی گردوغبار، روند مثبت سرعت و جهت باد در ایستگاه سرپل ذهاب قابل توجه است. بنابراین، می‌توان گفت که افزایش و کاهش فراوانی روزهای توأم با گردوغبار در ایستگاه‌ها هماهنگ با افزایش و کاهش سرعت و جهت باد بوده است. بنابراین، کاهش سرعت باد در مهار رخداد گردوغبار کارساز است.

میانگین دما از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۲۳ بیشترین اندازه تغییرات را برای ایستگاه‌های دزفول (روند کاهشی) و سرپل ذهاب (روند افزایشی) نشان می‌دهد. به دیگر سخن، با نگرش به تغییرات رخ داده طی سال‌های اخیر، دستاورد کاهش میانگین دما و بارش در ایستگاه‌های آبادان، کنگاور، کرمانشاه و دزفول و افزایش میانگین این فراسنج‌ها در ایستگاه‌های اهواز، بستان، رامهرمز، سرپل ذهاب و اسلام‌آباد غرب می‌تواند به صورت تغییر اقلیم و خشک‌سالی باشد. نم نسبی هم در ایستگاه‌ها به جز ایستگاه‌های کرمانشاه و دزفول با صعود در روند همراه هست که می‌تواند فراهم‌کننده روانش نم از پهنه‌های آبی به خشکی‌ها باشد. این یافته‌های حاصل‌شده بیان می‌کنند که شیوه‌های رایج می‌توانند کلیات جریان را پیش‌بینی نمایند؛ ولی برای رسیدن به ریز تغییرات داده‌ها شاید به کارگیری روش سن بسیار کارا باشد.

نتایج بررسی روند تغییرات گردوغبار با آزمون تخمین گر شیب سن، نمایش داد بیشترین مقدار شیب مثبت خط روند دربرگیرنده ایستگاه‌های بستان و سرپل ذهاب است. به عبارتی، ۸۵ درصد ایستگاه‌ها روند مثبت در سطح ۵ درصد و ۱۵ درصد ایستگاه‌ها روند منفی را در این سطح داشته‌اند. شدیدترین جریان‌های منفی برای جهت باد در ایستگاه آبادان با آماره Z برابر با ۱- می‌باشد. در مقابل شدیدترین روند صعودی برای جهت باد در سرپل ذهاب و مسجدسلیمان به ترتیب با مقدار Z برابر با ۵/۸ و ۲/۸ قابل مشاهده است (جدول ۱). سطح اهمیت این یافته با روند بین سالانه برای آزمون من - کندال تقریباً مطابقت دارد.

جدول ۱: روند شش فراسنج اقلیمی در طول دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۲۳ برای ایستگاه‌های منتخب غرب ایران. منبع: نگارندگان

آماره من-کندال Z						شیب سن					
سرعت باد	جهت باد	دما	بارش	رطوبت	گرد و غبار	سرعت باد	جهت باد	دما	بارش	رطوبت	گرد و غبار
-۰/۰۳	-۱/۰۰	-۰/۱۶	۰/۰۰۱	۰/۰۹	-۰/۱۱	-۰/۰۳	-۱/۰۰	-۰/۱۶	۰/۰۰۱	۰/۰۹	-۰/۱۱
۰/۰۱	۱/۴۰	۰/۰۹	۰/۰۰۱	۰/۳۱	۰/۱۲	۰/۰۱	۱/۴۰	۰/۰۹	۰/۰۰۱	۰/۳۱	۰/۱۲
۰/۱۰	۳/۰۰	۰/۲۹	۰/۰۰۱	۰/۴۴	۰/۳۱	۰/۱۰	۳/۰۰	۰/۲۹	۰/۰۰۱	۰/۴۴	۰/۳۱
-۰/۰۳	۰/۰۳	-۰/۰۴	۰/۰۰۱	۰/۱۷	-۰/۰۴	-۰/۰۳	۰/۰۳	-۰/۰۴	۰/۰۰۱	۰/۱۷	-۰/۰۴
۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۰۰۱	۰/۲۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۰۰۱	۰/۲۲	۰/۰۳
۰/۰۷	۲/۸	۰/۴۴	۰/۰۰۱	۰/۶۱	۰/۲۰	۰/۰۷	۲/۸	۰/۴۴	۰/۰۰۱	۰/۶۱	۰/۲۰
۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
۰/۰۳	۱/۴۳	۰/۱۲	۰/۰۰۱	۰/۲۵	۰/۰۶	۰/۰۳	۱/۴۳	۰/۱۲	۰/۰۰۱	۰/۲۵	۰/۰۶
۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
۰/۱۶	۵/۸۱	۰/۵۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۳۰	۰/۱۶	۵/۸۱	۰/۵۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۳۰
۰/۰۷	۲/۸	۰/۴۴	۰/۰۰۱	۰/۶۱	۰/۲۰	۰/۰۷	۲/۸	۰/۴۴	۰/۰۰۱	۰/۶۱	۰/۲۰

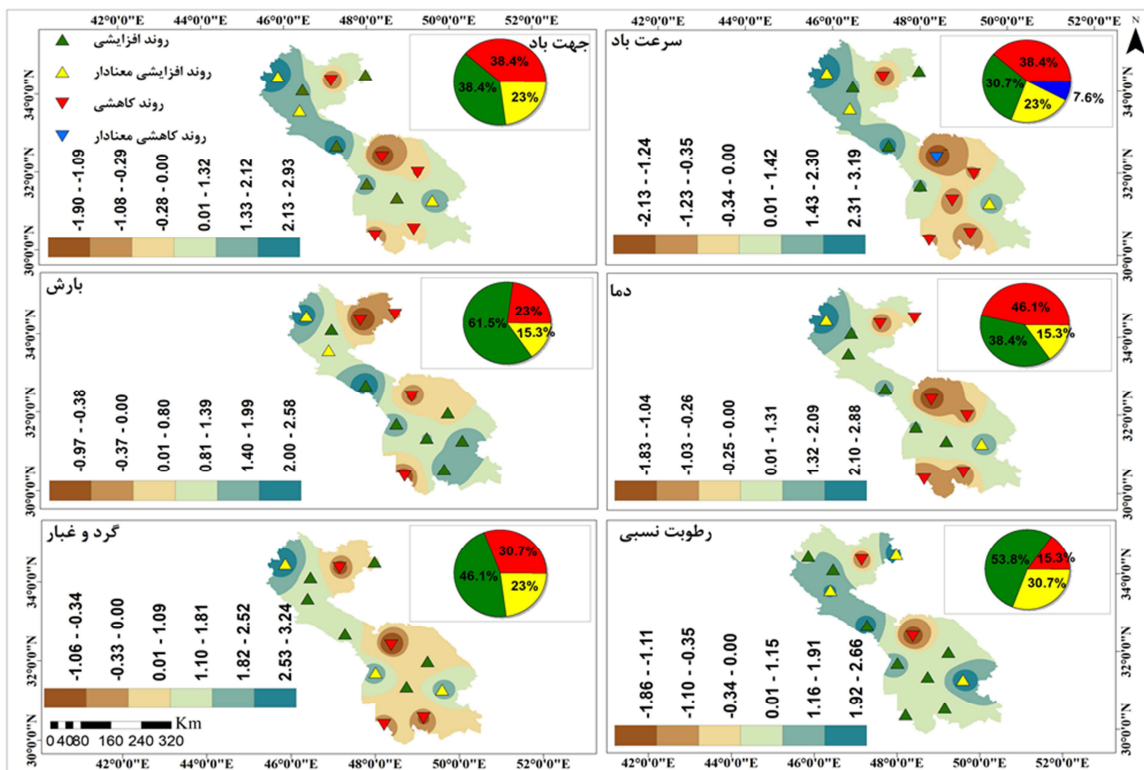


شکل ۳: تغییرات سالانه فراوانی روزهای توأم با گردوغبار در ایستگاه‌های غرب ایران از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۲۳. منبع: نگارندگان

تغییرات مکانی فراسنج‌های اقلیمی

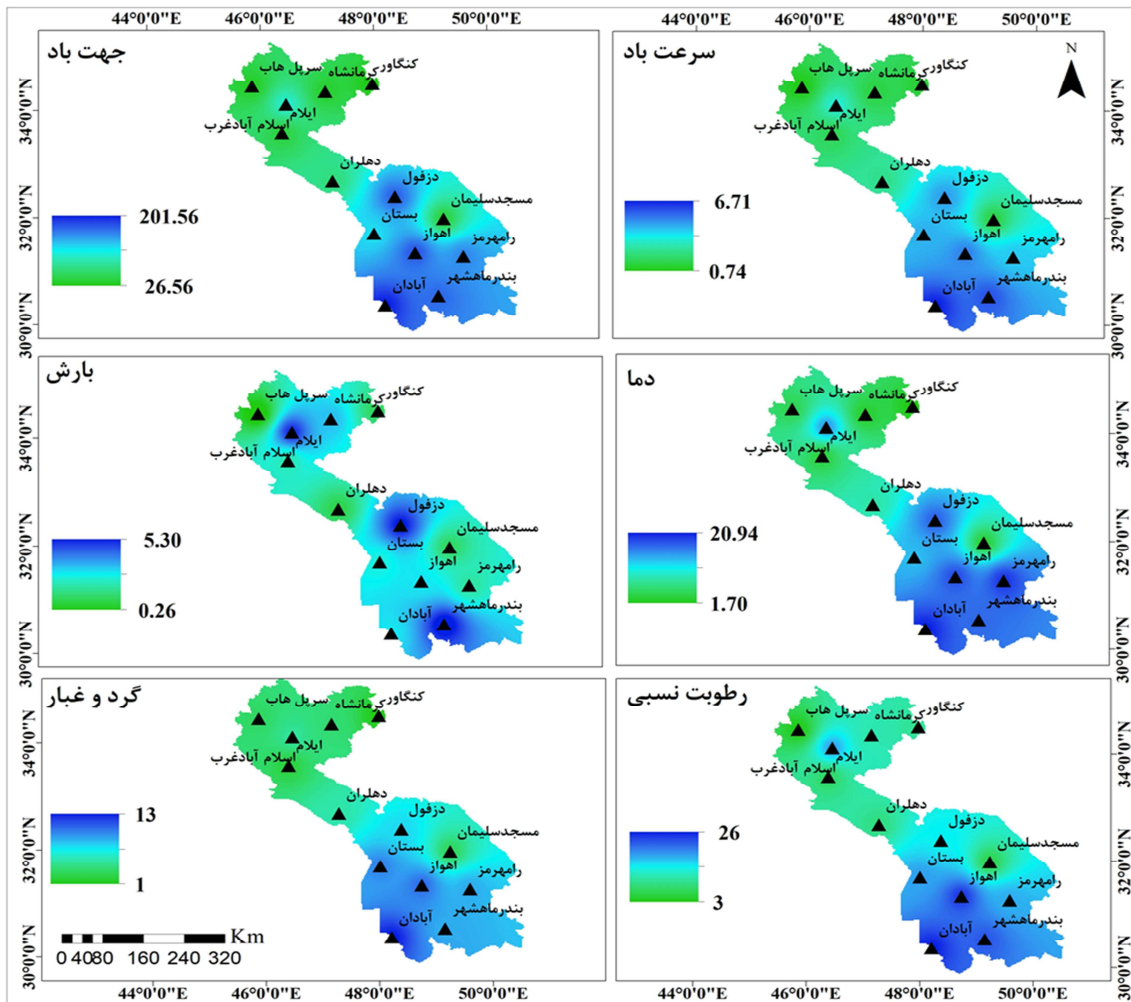
شکل (۴) روند و توزیع فضایی فراسنج‌های اقلیمی در ایستگاه‌های هواشناسی منتخب را از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۲۳ نمایش می‌دهد. مطابق شکل مشاهده می‌شود، از نظر سرعت باد، مناطق با تنوع بالا در ایستگاه‌های استان خوزستان متمرکز شده‌اند. در حالت کلی، ۶۱/۴ درصد ایستگاه‌ها (۷ مورد) روند افزایشی در سرعت باد داشته‌اند که از این مقدار حدود ۳۸/۴ درصد بدون معنی‌داری بوده، اما همبستگی معنادار در ۲۳ درصد مساحت باقیمانده در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد قابل‌ملاحظه است. افزون بر آن، در ۵ ایستگاه دیگر جریان روند در جهت نزولی بوده و این دگرگونی‌های پدید آمده در ۳۰/۷ درصد مساحت فاقد معناداری و در ۷/۶ درصد پهنه معناداری را در سطح اطمینان

۹۵ درصد نمایش می‌دهد. جریان صعودی برای فراسنج جهت باد در منطقه شامل ۳۸/۴ درصد بوده و برابر با همین مقدار نیز سیر نزولی را سپری کرده است؛ با این تفاوت که روند نزولی در هیچ ایستگاهی با نرخ معناداری خاصی همراه نبوده، درحالی‌که ۲۳ درصد مساحت پهنه سیر صعودی و معنادار را تجربه داشته‌اند. در بررسی تغییرات دما روند کاهشی مورد توجه، اما بدون معناداری برای شش ایستگاه (۴۶/۱ درصد) قابل مشاهده است. درحالی‌که ۵۳/۷ درصد ایستگاه‌ها هم روند مثبتی را داشته‌اند که از این میزان تنها ۱۵/۳ درصد در سطح اطمینان ۹۵ (رامهرمز) و ۹۹ درصد (سرپل ذهاب) معنادار بوده‌اند. بر پایه این یافته‌های آماری، نوسانات صعودی در فراسنجهای اقلیمی سبب ازدیاد فراوانی رویدادهای خشک‌سالی، گرما و درنهایت منجر به ایجاد شرایط خشک‌تر می‌شود. در بیشتر ایستگاه‌های جنوبی پهنه مورد پژوهش احتمال روند صعودی در تغییرات مکانی پارامتر دما و بارش بیشتر است و افزایش دمای زیاد در آن‌ها گواه رخداد تغییر اقلیم بیشتر در منطقه و ظهور جنبه‌های ناشناخته فراوان است. جهت افزایش پارامتر بارش و رطوبت ایستگاه‌ها، حدود ۶۱/۵ درصد از مساحت پهنه را برای بارش و حدود ۵۳/۸ درصد را برای رطوبت نسبی در بر می‌گیرد. با این وجود سیر کاهشی برابر با ۲۳ درصد از مساحت گستره در بارش و ۱۵/۳ درصد برای رطوبت بوده است. روند صعودی فراوانی توأم با گردوغبار در ۴۶/۱ درصد ایستگاه‌ها متمرکز شده است که از این میزان حدود ۲۳ درصد ایستگاه‌ها با معناداری همراه بوده و باین‌حال در ۳۰/۷ درصد مساحت پهنه مورد پژوهش جهت نزولی هیچ‌گونه معناداری خاصی را نمایش نداده است. در حالت کلی، می‌توان گفت که همه متغیرها در پهنه مورد پژوهش از الگوی افزایشی بیشتری نسبت به جریان کاهشی پیروی می‌کنند.



شکل ۴: توزیع فضایی روند تغییرات سالانه فراسنجهای اقلیمی. منبع: نگارندگان

شکل ۵ ویژگی، توزیع و پراکنش فضایی میانگین مقادیر سالانه فراسنج‌ها را نشان می‌دهد. مطابق با شکل در پارامترهای فراوانی گردوغبار، حداکثر سرعت و جهت باد هماهنگ با عرض جغرافیایی افزایش از شمال به جنوب کاملاً آشکار است. به بیان دیگر، ایستگاه‌های آبادان و اهواز بالاترین میانگین سرعت باد را با ۶/۷ متر بر ثانیه و تعداد ۱۳ روز گردوغبار به خود اختصاص داده‌اند. این ایستگاه‌ها در دما و رطوبت نسبی نیز با میانگین دمایی ۲۰/۹ درجه سانتی‌گراد و ۲۶ درصد رطوبت از دیگر ایستگاه‌ها سبقت گرفته‌اند. در مقابل ایستگاه‌های واقع در استان کرمانشاه کمترین میانگین را شامل می‌شوند، به گونه‌ای که میانگین دما و رطوبت نسبی در اسلام‌آباد غرب و سرپل ذهاب به ترتیب برابر با ۱/۷ درجه سانتی‌گراد و ۳ درصد می‌باشد. اما میزان بارش علاوه بر قسمت‌های جنوبی در بیشتر قسمت‌های شمالی هم میانگین بالاتری را نسبت به پهنه‌های جنوب شرقی و شمال غربی نمایش می‌دهد. بر پایه یافته‌ها می‌توان گفت که میانگین تمامی پارامترها از جنوب به سمت شمال در حال کاهش بوده است و از میان همه متغیرها سرعت و جهت باد سازوکاری ویژه با فراوانی رخداد گردوغبار داشته است.



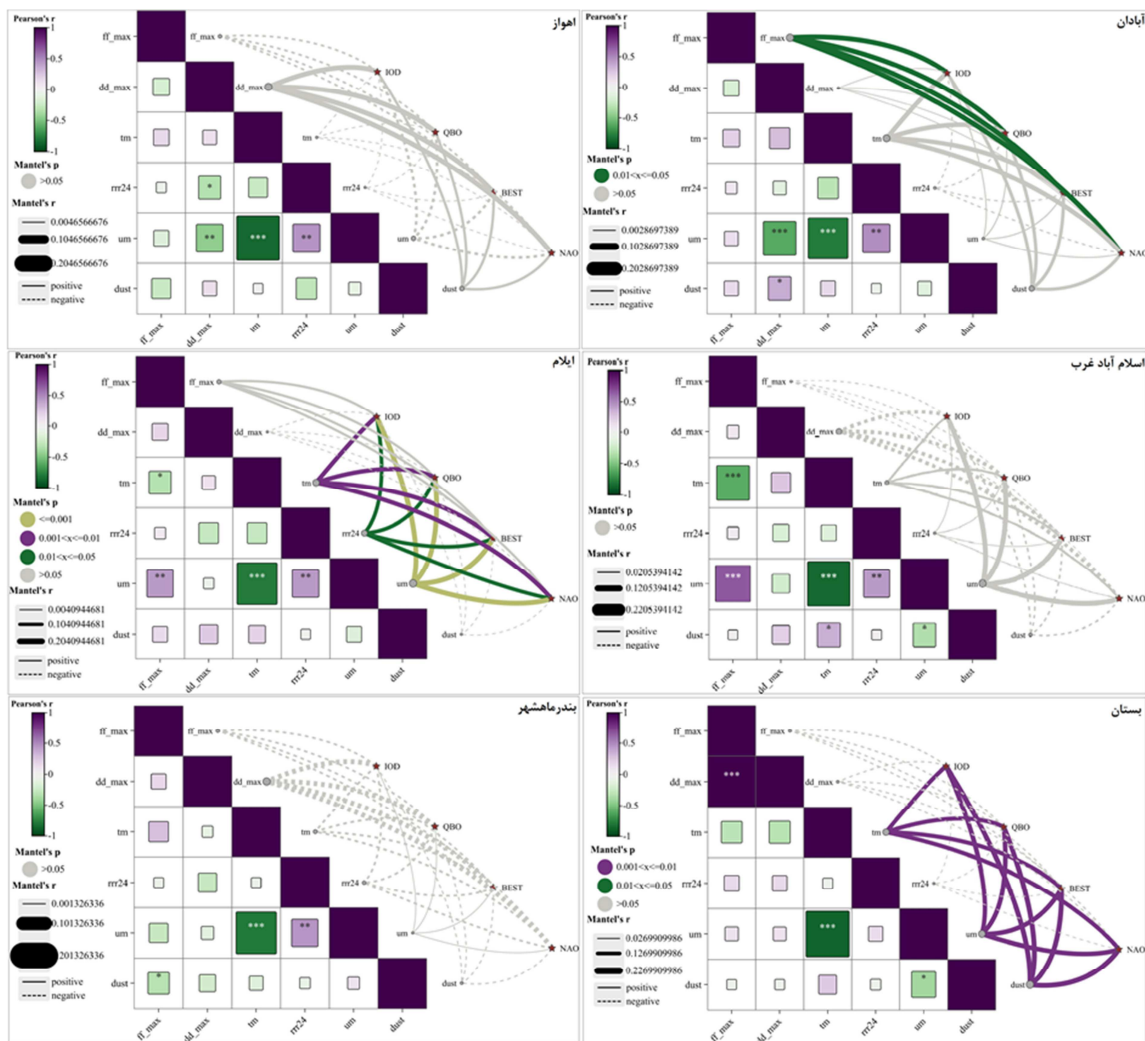
شکل ۵: توزیع مکانی میانگین سالانه فراسنج‌های اقلیمی. منبع: نگارندگان

همبستگی بین فراسنج‌های اقلیمی با الگوهای پیوند از دور

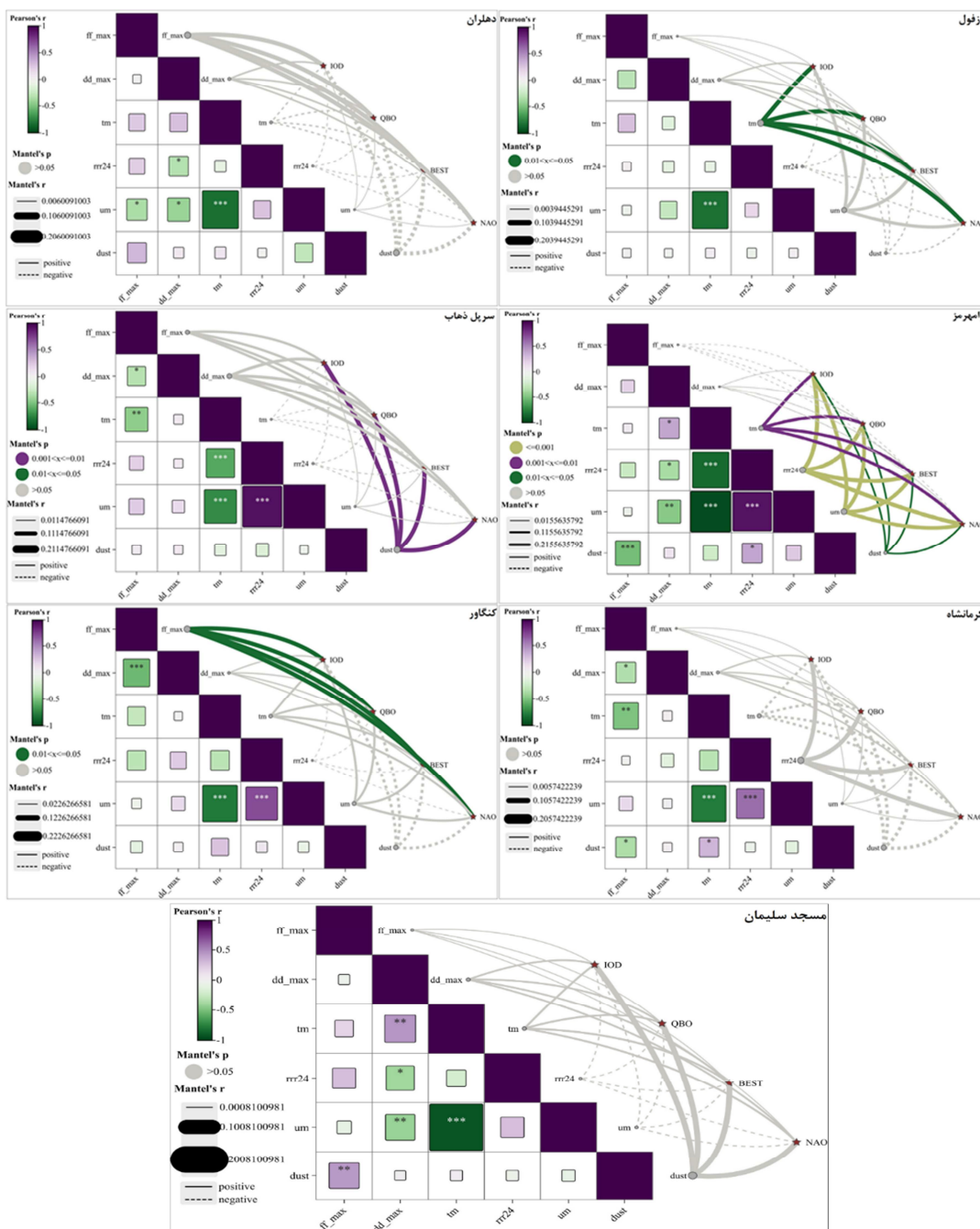
برنامه‌ریزی در زمینه مدیریت بحران‌ها نیازمند داشتن مهارت کافی در آن است. بسیاری از این مهارت‌ها بر اساس سیگنال‌های پیوند از دور و الگوهای گردشی قابل‌پیش‌بینی برآمده از آن‌ها قابل‌اجرا است و این شناخت همواره با شیوه‌های بسیاری در حال تکامل هست. در شکل‌های ۶ و ۷، نیمه سمت راست شکل، همبستگی پیرسون بین فراسنج‌های اقلیمی و نیمه چپ نیز میزان ارتباط بین این فراسنج‌ها و چهار الگوی پیوند از دور بر مبنای آزمون منتل است. پایه‌ریزی این آزمون برای کشف اثرگذاری بیشتر یک پارامتر نسبت به پارامترهای دیگر بوده است. یادآور می‌شود که خط‌چین‌ها ارتباط منفی و خطوط صاف ارتباط مثبت را بیان می‌کنند. تجزیه و تحلیل همبستگی میان فراسنج‌ها بر مبنای پیرسون، برای همه ایستگاه‌ها بیشترین مقادیر همبستگی را بین رطوبت نسبی با دما برآورد کرده است که با ضرایب همبستگی معکوس بین ۰/۷۲ در سرپل ذهاب تا ۰/۹۶ در رامهرمز همراه بوده و این ارتباط در تمامی ایستگاه‌ها در سطح اطمینان ۰/۰۱ درصد بسیار معنی‌دار است که ارمغان این نوسان محیطی خشک‌سالی، گسترش بیابان‌زایی و تغییر در پوشش گیاهی زمین است. برون‌داد بررسی همبستگی بین فراوانی گردوغبار با سایر فراسنج‌های اقلیمی، برای ایستگاه‌های آبادان و ایلام بیشترین مقدار همبستگی را برای جهت باد به‌ترتیب با مقدار ۰/۳۶ و ۰/۲۳ نشان می‌دهد که این مقدار همبستگی به‌صورت مستقیم بوده و تنها در آبادان در سطح اطمینان ۰/۰۵ درصد معنادار است. در اسلام‌آباد غرب و بستان نیز بیشترین ضرایب همبستگی بین گردوغبار با دما (ارتباط مثبت) و رطوبت (ارتباط منفی) قابل مشاهده است که در اسلام‌آباد غرب هر دو پارامتر و در بستان پارامتر رطوبت در سطح اطمینان ۰/۰۵ درصد معنادار است. در بندر ماهشهر گردوغبار با سرعت باد و در اهواز و سرپل ذهاب علاوه بر سرعت باد با بارش نیز بیشترین مقدار ضرایب همبستگی معکوس مشاهده می‌شود که در بندر ماهشهر با معناداری در سطح اطمینان ۰/۰۵ درصد برآورد شده است. در حالی‌که ایستگاه‌های دهلران، مسجدسلیمان و رامهرمز بین گردوغبار با سرعت باد بیشترین همبستگی را نشان می‌دهند که مقدار آن در مسجدسلیمان با معناداری خوب در سطح اطمینان ۰/۰۱ درصد بوده و در دهلران ارتباط به‌صورت مثبت و در رامهرمز به شکل منفی و برابر با ۰/۵۲ می‌باشد. در ایستگاه‌های کرمانشاه و کنگاور بیشترین همبستگی با سرعت باد به‌صورت معکوس و دما به‌صورت مستقیم وجود دارد که در کرمانشاه برای سرعت باد و دما به‌ترتیب برابر با ۰/۳۶ و ۰/۳۳ بوده و در سطح اطمینان ۰/۰۵ معنی‌دار است و در کنگاور به‌ترتیب برابر با ۰/۱۱ و ۰/۲۷ و بدون معنادار بوده است. این در حالی است که رخداد گردوغبار ایستگاه دزفول با همه فراسنج‌ها همبستگی بسیار ضعیفی را برآورد کرده است.

نتایج آزمون منتل نشان می‌دهد که ایستگاه‌هایی که بیشترین مقدار همبستگی (خطوط و منحنی پررنگ‌تر نسبت به سایر پارامترها) را با متغیر سرعت باد و چهار نمایه پیوند از دور BEST، IOD، QBO و NAO دارند شامل آبادان، دهلران، سرپل ذهاب و کنگاور است که این ارتباط به‌صورت مستقیم بوده و در آبادان و کنگاور در سطح اطمینان ۰/۰۵ درصد (رنگ سبز) معنادار است. بنابراین، در این ایستگاه‌ها اثرگذاری الگوهای پیوند از دور بر سرعت باد به‌وضوح مشخص است. جهت باد نیز بیشترین مقدار ضرایب همبستگی را برای ایستگاه‌های اسلام‌آباد غرب، بندر ماهشهر به‌صورت معکوس و اهواز و سرپل ذهاب به‌صورت مستقیم و بدون معناداری نشان می‌دهد. پارامتر دما در ایستگاه‌های آبادان، ایلام، بستان، رامهرمز و دزفول همبستگی مستقیم دارد که در ایلام و بستان در سطح اطمینان ۰/۰۱ درصد (رنگ بنفش) و در رامهرمز و دزفول در سطح اطمینان ۰/۰۵ درصد معنادار است که نشان می‌دهد با افزایش فعالیت نمایه‌های یادشده بر میزان درجه حرارت افزوده می‌شود. برای پارامتر بارش، بیشترین ضرایب

همبستگی به شکل مثبت در ایستگاه‌های ایلام، رامهرمز و کرمانشاه مشاهده می‌شود که در ایلام و رامهرمز به ترتیب با سطح اطمینان ۰/۰۵ و ۰/۰۰۱ (رنگ زرد) درصد معنی‌دار است. رطوبت نسبی در اسلام‌آباد غرب، دزفول، ایلام، رامهرمز و بستان بیشترین مقادیر ضرایب همبستگی را به خود اختصاص داده‌اند که این ضرایب به صورت مثبت بوده و در ایلام و رامهرمز در سطح ۰/۰۰۱ درصد و بستان در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است. بین فراوانی رخداد طوفان‌های گردوغبار با الگوهای پیوند از دور، بیشترین مقدار همبستگی در ایستگاه‌های آبادان، اهواز، مسجدسلیمان، بستان، رامهرمز و سرپل ذهاب، کرمانشاه، کنگاور و دهلران وجود دارد که این ارتباط در کرمانشاه، کنگاور و دهلران به صورت معکوس بوده و در باقی ایستگاه‌ها مستقیم است و در سرپل ذهاب در سطح اطمینان ۰/۰۱ و رامهرمز در سطح ۰/۰۵ درصد معنادار است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که الگوهای پیوند از دور در بین این فراسنج‌ها بیشترین تأثیر را بر دگرگونی فراوانی گردوغبار داشته‌اند و تداعی بخش این موضوع است که افزایش و کاهش فعالیت این الگوها به گونه‌ای معنی‌دار بر تعداد روزهای گردوغبار اثر گذاشته است.



شکل ۶: تجزیه و تحلیل همبستگی پیرسون بین فراسنج‌های اقلیمی و تجزیه و تحلیل آزمون Mantel بین فراسنج‌های اقلیمی و نمایه‌های پیوند از دور. علامت‌های "***"، "**"، و "*" معنی‌داری را به ترتیب در سطح $p < 0/05$ ، $p < 0/01$ و $p < 0/001$ نشان می‌دهد. منبع: نگارندگان



شکل ۷: تجزیه و تحلیل همبستگی پیرسون بین فراسنجهای اقلیمی و تجزیه و تحلیل آزمون Mantel بین فراسنجهای اقلیمی و نمایه‌های پیوند از دور. علامت‌های "***"، "**"، و "*" معنی‌داری را به ترتیب در سطح $p < 0/05$ ، $p < 0/01$ و $p < 0/001$ نشان می‌دهد. منبع: نگارندگان

تأثیر نمایه‌های پیوند از دور در فراسنجهای اقلیمی

برای توضیح بیشتر در مورد اینکه کدام نمایه پیوند از دور بر فراسنجهای اقلیمی اثر دارند، از نمایه آشکارساز ژئودتکتور استفاده کردیم و در شکل ۸ برای یک نمونه از فراسنجهای (فراوانی روزهای توأم با گردوغبار) ارتباط بین فاکتورها با فراسنجهای آورده شده است. با توجه به نتایج تشخیص فاکتورهای تأثیر در ایستگاه‌های منتخب، عوامل

کلیدی مؤثر بر ستون متغیرهای (دما، بارش، رطوبت، گردوغبار، سرعت و جهت باد و گرد) عبارت‌اند از فاکتورهای BEST، QBO، NAO که در جدول‌های (۲ تا ۵) نشان داده شده است. برحسب نتایج حاصله نمایه BEST تنها در فراوانی گردوغبار ایستگاه‌های اهواز و مسجدسلیمان و پارامتر سرعت باد در کنگاور بیشترین مشارکت را داشته است که از نظر آماری برای کنگاور و بستان در سطح اطمینان ۰/۰۵ و برای اهواز در سطح اطمینان ۰/۰۱ معنادار هستند. نمایه NAO نیز در آبادان تأثیر قابل‌توجهی بر سرعت باد و فراوانی گردوغبار ایستگاه مسجدسلیمان در سطح اطمینان ۰/۰۰۱ داشته و در کرمانشاه و بندر ماهشهر در سطح اطمینان ۰/۰۱ و ۰/۰۵ تأثیرات معنادار بر الگوهای فضایی گردوغبار داشته است. نمایه QBO نسبت به دو نمایه دیگر تأثیرات بیشتری بر فراسنج‌های اقلیمی ایستگاه‌ها داشته که تأثیرات آن بر روی گردوغبار دربرگیرنده ایستگاه‌های آبادان، بستان و مسجدسلیمان با معناداری در سطح اطمینان ۰/۰۰۱ می‌باشد. این عامل همچنین بر روی جهت باد اهواز و بستان و گردوغبار بستان و بندر ماهشهر در سطح اطمینان ۰/۰۱ تأثیرگذار بوده است.

با توجه به نتایج حاصل از تست آشکارساز عامل، بدیهی است که در بین چهار فاکتور یادشده، فاکتوری که بیشترین تأثیر را بر فراسنج‌ها دارد و مشارکت‌کننده اصلی است عامل مستقل IOD می‌باشد، به‌گونه‌ای که این عامل در ایلام و اسلام‌آباد غرب تأثیر قابل‌توجهی بر همه متغیرهای وابسته داشته است. همچنین، بر پارامتر بارش در بستان و مسجدسلیمان و رخداد گردوغبار ایستگاه‌های رامهرمز و کرمانشاه با معناداری در سطح اطمینان ۰/۰۵ و کنگاور در سطح اطمینان ۰/۰۰۱ اثرگذار بوده است. بنابراین، در این عرض جغرافیایی، دگرگونی فراسنج‌ها تا حد زیادی می‌تواند برآمده از دخالت IOD باشد.

جدول ۲: تأثیر نمایه BEST بر فراسنج‌های مختلف مورد بررسی. منبع: نگارندگان

q – statistic value							
ایستگاه		سرعت باد	جهت باد	دما	بارش	رطوبت	گرد و غبار
X1	آبادان	۰/۹۹	۱	۱	۰/۸۰*	۱	۰/۹۵**
X2	اهواز	۱	۰/۹۸	۱	۰/۷۸	۱	۰/۹۹
X3	بستان	۰/۹۸	۰/۹۶	۱	۰/۵۲	۱	۰/۸۹*
X4	بندر ماهشهر	۱	۰/۹۹	۱	۰/۶۴	۱	۰/۹۸
X5	ایلام	۰/۵۹	۰/۵۶	۰/۶۱	۰/۳۰	۰/۶۱	۰/۵۱
X6	اسلام‌آباد غرب	۰/۶۲	۰/۵۰	۰/۶۳	۰/۳۷	۰/۶۳	۰/۴۲
X7	دزفول	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۴۳	۰/۶۸	۰/۶۳
X8	رامهرمز	۰/۳۰	۰/۴۳	۰/۴۸	۰/۱۴	۰/۴۸	۰/۱۷
X9	دهلران	۰/۶۳	۰/۶۲	۰/۶۷	۰/۳۳	۰/۶۷	۰/۶۳
X10	کرمانشاه	۰/۸۴	۰/۸۶	۰/۸۸	۰/۶۷	۰/۸۸	۰/۶۹
X11	کنگاور	۰/۸۳*	۰/۶۷	۰/۹۲	۰/۵۹	۰/۹۲	۰/۶۷
X12	سرپل ذهاب	۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۳۸	۰/۴۷	۰/۴۲
X13	مسجدسلیمان	۰/۹۹	۱	۱	۰/۵۷	۱	۰/۹۹

*, ** و *** معنی‌داری به ترتیب در سطح ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱ هستند.

جدول ۳: تأثیر نمایه NAO بر فراسنجهای مختلف مورد بررسی. منبع: نگارندگان

q –statistic value						
ایستگاه	سرعت باد	جهت باد	دما	بارش	رطوبت	گرد و غبار
آبادان	۰/۹۹	۱	۱	۰/۸۴	۱	۰/۹۹
اهواز	۱	۰/۹۸	۱	۰/۶۲	۱	۰/۹۹
بستان	۰/۹۷	۰/۹۵	۱	۰/۷۳	۱	۰/۹۸
بندر ماهشهر	۱	۰/۹۸	۱	۰/۷۷	۱	۰/۹۹**
ایلام	۰/۸۰	۰/۷۶	۰/۸۱	۰/۲۳	۰/۸۱	۰/۵۱
اسلام آباد غرب	۰/۵۰	۰/۴۳	۰/۵۰	۰/۳۱	۰/۵۰	۰/۳۵
دزفول	۰/۶۴	۰/۶۳	۰/۶۴	۰/۴۵	۰/۴۶	۰/۵۰
رامهرمز	۰/۴۵	۰/۵۳	۰/۵۴	۰/۳۹	۰/۵۴	۰/۴۴
دهلران	۰/۶۰	۰/۵۷	۰/۶۶	۰/۳۷	۰/۶۶	۰/۶۳
کرمانشاه	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۸۹	۰/۵۴	۰/۸۹	۰/۷۱*
کنگاور	۰/۸۵	۰/۸۴	۰/۹۲	۰/۳۸	۰/۹۲	۰/۵۸
سرپل ذهاب	۰/۳۵	۰/۲۸	۰/۳۵	۰/۲۳	۰/۳۰	۰/۲۷
مسجد سلیمان	۰/۸۰*	۱	۱	۰/۸۱	۱	۰/۹۷***

*, **, و *** معنی داری به ترتیب ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱ هستند.

جدول ۴: تأثیر نمایه QBO بر فراسنجهای مختلف مورد بررسی. منبع: نگارندگان

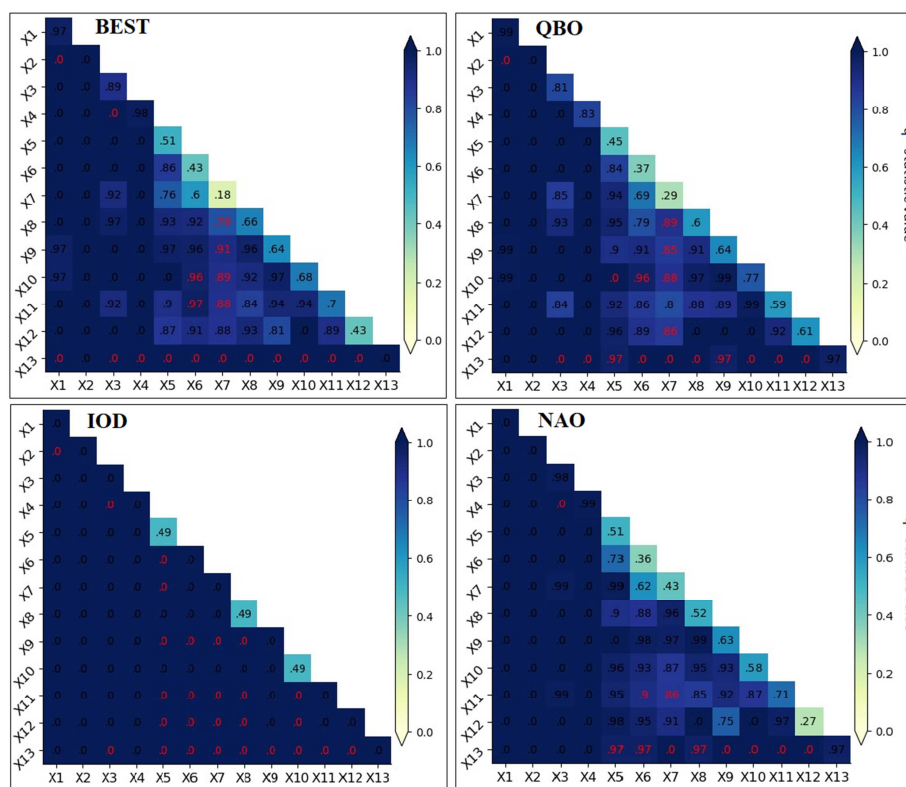
q –statistic value						
ایستگاه	سرعت باد	جهت باد	دما	بارش	رطوبت	گرد و غبار
آبادان	۰/۹۱***	۱	۱	۰/۵۲	۱	۰/۹۸
اهواز	۱	۰/۸۸**	۱	۰/۵۸	۱	۰/۹۹
بستان	۰/۹۰***	۰/۸۳**	۱	۰/۳۵	۱	۰/۸۱**
بندر ماهشهر	۱	۰/۹۷	۱	۰/۴۹	۱	۰/۸۳**
ایلام	۰/۵۵	۰/۴۸	۰/۶۳	۰/۱۸	۰/۶۳	۰/۴۵
اسلام آباد غرب	۰/۶۴	۰/۵	۰/۶۴	۰/۱۴	۰/۶۴	۰/۳۷
دزفول	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۴۵	۰/۶۷	۰/۶۰
رامهرمز	۰/۳۹	۰/۳۶	۰/۴۴	۰/۰۸	۰/۴۴	۰/۲۹
دهلران	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۷۴	۰/۴۱	۰/۷۴	۰/۶۴
کرمانشاه	۰/۶۷	۰/۶۰	۰/۷۸	۰/۴۱	۰/۷۸	۰/۵۹
کنگاور	۰/۸۱	۰/۹۱	۰/۹۶	۰/۴۹	۰/۹۶	۰/۷۶
سرپل ذهاب	۰/۷۰	۰/۶۱	۰/۷۰	۰/۴۸	۰/۶۸	۰/۶۱
مسجد سلیمان	۰/۹۷***	۱	۱	۰/۴۶	۱	۰/۹۷

*, **, و *** معنی داری به ترتیب در سطح ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱ هستند.

جدول ۵: تأثیر نمایه IOD بر فراسنج‌های مختلف مورد بررسی. منبع: نگارندگان

q-statistic value						
ایستگاه	سرعت باد	جهت باد	دما	بارش	رطوبت	گرد و غبار
آبادان	۱	۱	۱	۰/۹۹	۱	۰/۸۵
اهواز	۱	۰/۹۹	۱	۰/۹۹	۱	۰/۸۶
بستان	۱	۰/۹۹	۱	۰/۹۹*	۱	۰/۹۹
بندر ماهشهر	۱	۱	۱	۰/۹۹	۱	۰/۹۸
ایلام	۰/۹۹*	۰/۹۹*	۰/۹۹*	۰/۹۹*	۰/۹۹*	۰/۹۹*
اسلام‌آباد غرب	۰/۹۹*	۰/۹۹*	۰/۹۹*	۰/۹۹*	۰/۹۹*	۰/۹۹*
دزفول	۰/۴۸	۰/۴۸	۰/۴۸	۰/۰۴	۰/۴۸	۰/۴۸
رامهرمز	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹*
دهلران	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
کرمانشاه	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹*	۰/۹۹	۰/۹۹*
کنگاور	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹***
سرپل ذهاب	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
مسجدسلیمان	۱	۱	۱	۰/۹۹*	۱	۰/۹۸

*, **, و *** معنی‌داری به ترتیب در سطح ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱ هستند.



شکل ۸: تأثیر نمایه‌های پیوند از دور بر فراوانی روزهای توأم با گردوغبار ایستگاه‌های نیمه غرب ایران. منبع: نگارندگان

نتیجه‌گیری

فراسنجهای اقلیمی نه تنها نقش مهمی در تحلیل وقایع اقلیمی در مقیاس جهانی و منطقه‌ای دارند، بلکه به تصمیم‌گیران در ارزیابی اثرات بخش‌های متنوع نیز کمک می‌کنند. بررسی و تحلیل‌های انجام‌شده در این پژوهش در رابطه با فراسنجهای اقلیمی، علاوه بر اینکه می‌تواند حاکی از تابعیت رفتار آن‌ها از تأثیرات انسانی، موقعیت جغرافیایی، شرایط محیطی و ناهم‌واری منطقه غرب باشد، به‌تازگی تحت تأثیر شدید الگوهای پیوند از دور نیز قرار گرفته است. نتایج تعیین روند فراسنجهای دما، بارش، رطوبت نسبی، رخداد گردوغبار، حداکثر سرعت و جهت باد برای دوره آماری (۱۹۸۷-۲۰۲۳) نشان داد که تغییرات ضریب همبستگی در طول دوره آماری دارای نوسان زیادی بوده است و روند همبستگی رخداد گردوغبار در بسیاری از ایستگاه‌ها با جهت تغییرات فراسنجهای اقلیمی تقریباً همسو است که بیانگر هم‌راستا بودن دگرگونی‌های اقلیمی با این نوسانات در ایستگاه‌های منتخب غرب ایران است و این تغییرات بیانگر تغییر اقلیم در منطقه است.

نتایج تعیین روند با آزمون ناپارامتری شیب سن نشان داد که متغیر بارش به‌عنوان یک فاکتور و منبع تأمین آب در ایستگاه‌های کنگاور، کرمانشاه و دزفول در این پهنه جغرافیایی روند کاهشی دارد که از پیامدهای آن می‌توان به کاهش ذخیره منابع آب و کاهش آب‌دهی رودخانه‌ها اشاره نمود. وجود روند صعودی در پارامتر دما برای ۵۳ درصد از گستره مورد پژوهش می‌تواند سبب افزایش تبخیر و تعرق، خشک‌سالی و به‌دنبال آن کاهش منابع آب شود و به آب‌های زیرزمینی فشار وارد بیاورد. سرعت باد به‌عنوان مؤلفه‌ای بوده که بیشترین ارتباط معنادار را در فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار داشته و در ۹۶/۲ درصد از مساحت پهنه مورد بررسی بیشترین میزان ضرایب همبستگی را با رخداد گردوغبار شامل شده است و با نتایج پژوهش چوبین و همکاران (۱۴۰۱) در استان آذربایجان غربی که نتیجه گرفتند ارتباط بین سرعت باد و AOD در حدود ۶۴ درصد هست تقریباً همساز است و بعد از آن دمای بالا در ۳۰/۷ درصد از مساحت محدوده بیشترین نقش را در افزایش وقوع فراوانی گردوغبار داشته است. با نتایج پژوهش خسروشاهی و همکاران (۱۴۰۲) که نتیجه گرفتند روزهای گردوغباری در اقلیم‌های نیمه‌خشک تا فراخشک ایران به‌دنبال افزایش دما روند افزایشی دارد و همچنین، نتایج پژوهش بالویی و همکاران (۱۴۰۳) که بیان کردند دما روند مثبت و رو به افزایش طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ در استان خوزستان خواهد داشت، همساز است. در پژوهش پیش رو، کاهش بارندگی هم اثر افزایشی بر گردوغبار گستره غرب ایران داشته و با نتایج پژوهش کاویان و همکاران (۱۴۰۰) که نشان دادند پارامتر بارندگی و دمای حداقل استان خراسان جنوبی در جهت حرکت به سمت خشک‌سالی بوده است و با نتایج پژوهش متولی زاده نائینی و مدرس (۱۴۰۰) برای مناطق خشک ایران تقریباً مشابهت و همسویی دارد. از آنجاکه اقلیم خود از پارامترهای متعددی اثرپذیر است، می‌توان چنین نتیجه گرفت که تغییرات اقلیمی نمی‌تواند فقط منتج از تعدادی مؤلفه خاص باشد و این تأثیر فراسنجهای گوناگون است که تغییرات اقلیمی یک منطقه را خلق می‌کنند. همچنین، یافته‌های این مطالعه می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان در تدوین استراتژی‌ها و اقدامات مدیریت منابع آب پایدار، کاهش و مهار خطرات گردوغبار، خشک‌سالی و سیل کمک نماید.

منابع

آروین، عباسعلی؛ قانقرمه، عبدالعظیم؛ حاجی‌پور، داور؛ حیدری، مهران. (۱۳۹۵). بررسی روند تغییرات برخی عناصر اقلیمی در استان چهارمحال و بختیاری. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۶(۴۱)، ۱۵۳-۱۷۶. <http://jgs.khu.ac.ir/article-1-2658-fa.html>

- امیدوار، کمال؛ جاویدنیا، مرتضی؛ محمدی راوری، فروغ. (۱۴۰۳). واکاوی رابطه بین طوفان‌های گردوغبار با شاخص‌های پیوند از دور در فصول مختلف طی دوره آماری ۱۹۸۸-۲۰۱۷ در استان کرمان. *مجله نیوار*، ۴۸ (۱۲۶-۱۲۷)، ۱-۱۷. <https://doi.org/10.30467/nivar.2024.437613.1280>
- انصاری قوجقار، محمد؛ عراقی‌نژاد، شهاب؛ بذرافشان، جواد؛ هورفر، عبدالحسین. (۱۳۹۸). بررسی روند فراوانی روزهای همراه با توفان‌های گردوغبار و ارتباط آن با عناصر اقلیمی (مطالعه موردی: استان لرستان). *مجله تحقیقات آب‌وخاک ایران*، ۵۰ (۹)، ۲۳۸۹-۲۳۰۱. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2018.259959.667940>
- بالویی، فاطمه؛ کابلی‌زاده، مصطفی؛ محمدی، شاهین. (۱۴۰۳). پایش تغییرات زمانی - مکانی خشک‌سالی هواشناسی و تحلیل روند متغیرهای اقلیمی در استان خوزستان بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰. *مجله مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۳ (۴۰)، ۷۳-۹۴. <https://doi.org/10.22111/jneh.2024.46574.1987>
- جبالبارزی، بهاره؛ زهتابیان، غلامرضا؛ خسروی، حسن؛ برخوری، سعید. (۱۴۰۲). ارزیابی تغییرات زمانی - مکانی عناصر اقلیمی مؤثر بر وقوع پدیده گردوغبار در مناطق خشک و نیمه‌خشک (مطالعه موردی: تالاب جازموریان). *مجله پژوهش‌های فرسایش محیطی*، ۱۳ (۴)، ۱۰۹-۱۲۹. <http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-806-fa.html>
- جمالی، محمد؛ گوهری، سیدعلیرضا؛ اخوان صراف، غزل. (۱۴۰۳). ارزیابی مکانی و زمانی روند شاخص‌های حدی دما و بارش ایران تحت تأثیر تغییر اقلیم. *مجله مدیریت آب و آبیاری*، ۱۴ (۳)، ۷۴۳-۷۵۲. <https://doi.org/10.22059/jwim.2024.374814.1156>
- چوبین، بهرام؛ ساجدی حسینی، فرزانه؛ رحمتی، امید؛ مهدی زاده یوشانلوئی، منصور؛ جلالی، محمد. (۱۴۰۱). بررسی تغییرات زمانی و مکانی تعداد روزهای رخداد گردوغبار در استان آذربایجان غربی، تعیین عوامل اثرگذار و شناسایی منشأ. *مجله مدیریت بیابان*، ۱۰ (۲)، ۷۱-۸۶. <https://doi.org/10.22034/jdmal.2022.550729.1378>
- حسنوند، زیبا؛ یاراحمدی، داریوش؛ میرهاشمی، حمید. (۱۴۰۱). تحلیل روند تغییرات سری زمانی بیشینه بارش روزانه و سالانه حوضه آبریز کرخه و دز. *مجله مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۱ (۳۲)، ۱۹۹-۱۶۸. <https://doi.org/10.22111/jneh.2022.38193.1788>
- خسروشاهی، محمد؛ سعیدی‌فر، زهرا؛ شهبازی، خسرو؛ زندی‌فر، سمیرا؛ لطفی‌نسب اصل، سکینه؛ گوهردوست، آزاده؛ درگاهیان، فاطمه؛ نعیمی، مریم؛ انصافی‌مقدم، طاهره؛ کاشی زنوزی، لیلا؛ ابراهیمی خوسفی، زهره؛ خداقلی، مرتضی. (۱۴۰۲). بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی روزهای گردوغباری و تعیین سهم عناصر اقلیمی بر گسترش آن در اقلیم‌های نیمه‌خشک تا فراخشک ایران. *مجله تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۳۰ (۴)، ۵۲۱-۵۴۱. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2024.130966>
- خسروی، آمنه؛ آذری، محمود. (۱۴۰۱). تعیین روند زمانی و مکانی و نقطه تغییر دما و بارش در حوضه کشف رود. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۲ (۶۶)، ۲۸۹-۳۰۶. <http://jgs.khu.ac.ir/article-1-3335-fa.html>
- ربیعی غفار، زهرا؛ عساکره، حسین؛ خسروی، یونس. (۱۴۰۳). بررسی تغییرات زمانی - مکانی احتمال وقوع بارش با تداوم‌های مختلف در ایران. *مجله مطالعات جغرافیایی نواحی ساحلی*، ۵ (۲)، ۱-۱۹. <https://doi.org/10.22124/gscaj.2024.24732.1245>
- فرج‌زاده اصل، منوچهر؛ رجای نجف‌آبادی، سعید. (۱۳۹۲). تحلیل سینوپتیک الگوهای توفان‌های گردوغبار بوشهر از ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ (مطالعه موردی: روز ۵ اسفندماه ۱۳۸۸). *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، ۵ (۱۸)، ۱-۱۲.
- قربانی، خلیل؛ برارخان‌پور احمدی، صدیقه. (۱۴۰۱). بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی در چندک‌های حدی کمینه و بیشینه دما در ایران. *مجله پژوهش‌های تغییرات آب‌وهوایی*، ۳ (۱۲)، ۵۳-۶۸. <https://doi.org/10.30488/ccr.2023.375498.1107>
- قیصوری، مرتضی؛ سلطانی گردفرامری، سمیه؛ قاسمی، محسن. (۱۳۹۷). بررسی و پیش‌بینی روند تغییرات پارامترهای اقلیمی بر دبی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز گدارخوش). *مجله مخاطرات محیط طبیعی*، ۷ (۱۷)، ۱۳۷-۱۵۴. <https://doi.org/10.22111/jneh.2017.19571.1222>
- کاویان، عطاله؛ شاهدهی، کاکا؛ چمنی، رضا؛ دهقانی، مرتضی. (۱۴۰۰). ارزیابی روند تغییرات زمانی - مکانی متغیرهای اقلیمی استان خراسان جنوبی با استفاده از GIS و تکنیک‌های آماری. *مجله ترویج و توسعه آبخیزداری*، ۹ (۳۳)، ۵۴-۶۷.
- متولی‌زاده، معین؛ مدرس، رضا. (۱۴۰۰). فراوانی طوفان‌های گردوغبار در ارتباط با تغییرات اقلیمی در منطقه خشک ایران. *مجله علوم آب‌وخاک*، ۲۵ (۴)، ۲۳۹-۲۵۲. <http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-4087-fa.html>
- محمودی، پیمان؛ خسروی، محمود؛ مسعودیان، سیدابوالفضل؛ علیجانی، بهلول. (۱۳۹۴). رابطه بین الگوهای پیوند از دور و یخبندان‌های فراگیر ایران. *نشریه جغرافیا و توسعه*، ۱۳ (۴۰)، ۱۷۵-۱۹۴. <https://doi.org/10.22111/gdij.2015.2105>
- مهدوی، محمد. (۱۳۹۷). هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوازدهم، جلد اول، ۳۴۲.

- مهرابی، شهباز؛ سلطانی، سعید؛ جعفری، رضا. (۱۳۹۴). بررسی رابطه بین پارامترهای اقلیمی و وقوع ریزگردها (مطالعه موردی: استان خوزستان). *مجله علوم آب و خاک*، ۱۹(۷۱)، ۶۹-۸۱. <http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-2998-fa.html>
- وطن پرست قلعه جوق، فاطمه؛ صلاحی، برومند. (۱۴۰۲). پایش تغییرات طوفان‌های گردوغبار و ارتباط آن‌ها با شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) در ایستگاه‌های منتخب غرب و جنوب غرب ایران. *کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی*، ۱۱(۲)، ۱۴۹-۱۶۴. <https://doi.org/10.22034/grd.2024.21203.1608>
- وطن پرست قلعه جوق، فاطمه؛ صلاحی، برومند؛ زینالی، بتول. (۱۴۰۳). تحلیل تأثیر هم‌زمان چرخه‌های انسو، دوقطبی اقیانوس هند و نوسان شبه دو ساله بر نوسان طوفان‌های گردوغبار در نیمه غربی ایران. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۳(۳۹)، ۱۰۹-۱۲۶. <https://doi.org/10.22111/jneh.2023.45793.1966>
- Achakulwisut, L., Mickley, J., Annenberg, S.C. (2018). Drought sensitivity of fine dust in the US Southwest: Implications for air quality and public health under future climate change. *Environmental Research Letters*, 13, pp 1-12. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabf20>.
- Al-Qadi, T. A., Muslih, K. D., Shiltagh, A.G. (2021). Analysis of Correlation and Coupling between El Niño-Southern Oscillation and Dust Storms in Iraq from 1971 to 2016. *Iraqi Geological Journal*, 54(1E), pp 103-113. <http://dx.doi.org/10.46717/igj.54.1E.9Ms-2021-05-30>.
- Dai, X., Wang, L., Li, X., Gong, J., Cao, Q. (2023). Characteristics of the extreme precipitation and its impacts on ecosystem services in the Wuhan Urban Agglomeration. *Sci. Total Environ*, 864, 161045 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161045>.
- Fengjin, X., Caiping Z., Yaoming, L. (2008). Dust storms evolution in Taklimakan Desert and its correlation with climatic parameters. *Journal of Geographical Sciences*, 18, pp 514-425. <http://dx.doi.org/10.1007/s11442-008-0415-8>.
- Fengmei, Y., Chongy, E. (2010). Correlation analysis between sand-dust events and meteorological factors in shapotou, Northern China. *Journal of Environmental Earth Sciences*, 20(3), pp 49-52.
- Gu, Y., Liou, K.N., Chen, W., Liao, H. (2010). Direct climate effect of black carbon in China and its impact on dust storms. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 115(D7). <https://doi.org/10.1029/2009JD013427>.
- Guan, Q., Sun, X., Yang, J., Pan, B., Zhao S., Wang, L. (2017). Dust storms in northern China: long-term spatiotemporal characteristics and climate controls. *Journal of Climate*, 30(17), pp 6683-6700. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0795.1>.
- Gupta, S., Gupta, A., Himanshu, S.K., Singh, R. (2020). Analysis of the Extreme Rainfall Events Over Upper Catchment of Sabarmati River Basin in Western India Using Extreme Precipitation Indices, In *Advances in Water Resources Engineering and Management*. Springer, pp 103-111. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-13-8181-2_8.
- Huang, C., Huang, X., Peng, C., Zhou, Z., Teng, M., Wang, P. (2019). Land use/cover change in the Three Gorges Reservoir Area, China: reconciling the land use conflicts between development and protection. *CATENA*, 175, pp 388-399. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.01.002>.
- Huang, H., Cui, H., Ge, Q. (2021). Will a nonstationary change in extreme precipitation affect dam security in China? *Journal of Hydrol*, 603, 126859. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126859>.
- Kendall, M. (1975). *Multivariate Analysis*. Charles Griffin.
- Li, N., GU, W. (2004). Threshold value response of soil moisture to dust storms. *Functioning and management*. Cambridge Universe- a case study of Midwestern Inner Mongolia. *Journal of Nat. Disast*, 13(1), pp 44-49.
- Mann, H.B. (1945). Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrical. Journal of the Econometric Society*, pp 245-259.
- Masatoshi, Y. (2002). Climatology of yellow sand (Asian sand, Asian dust or Kosa) in East Asia. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 45, pp 59-70. <https://doi.org/10.1360/ym2002-45-S1-59>.
- Meng, L., Xu, C., Wu, F., He, H. (2022). Microbial co-occurrence networks driven by low abundance microbial taxa during composting dominate lignocellulose degradation. *Sci. Total Environ*, 845, 157197. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157197>.
- Mistry, M. N. (2019). A high-resolution global gridded historical dataset of climate extreme indices. *Data*, 4(1), pp 41. <https://doi.org/10.3390/data4010041>.
- Ren, Z., Zhao, H., Mu c, X., Xu, Q., Shi, K., Yang, G. (2024). Spatiotemporal variations of extreme weather events and climate drivers in the Three Gorges Reservoir Area and its surrounding regions from 1960 to 2020. *Atmospheric Research*, 304, 107379. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2024.107379>.
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63, pp 1379-1389.

- Song, X., Zhang, J., Zou, X., Zhang, C., AghaKouchak, A., Kong, F. (2019). Changes in precipitation extremes in the Beijing metropolitan area during 1960–2012. *Atmos. Res.*, 222, pp 134–153. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.02.006>.
- Thiel, H. (1950). A Rank-invariant Method of Linear and Polynomial Regression Analysis: Part 3. *Proceeding of Koninklijke Nederland's Academies van Wetenschappen* A. 53, pp 1397-1412.
- Wang, J., Li, X., Christakos, G., Liao, Y., Zhang, T., Gu, X., Zheng, X. (2010). Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the Neural Tube defects study of the Heshun Region, China. *Int. Journal of Geogr. Inf. Sci.*, 24, pp 107–127. <https://doi.org/10.1080/13658810802443457>.
- Wang, J. F., Hu, Y. (2012). Environmental health risk detection with GeogDetector. *Environmental Modelling & Software*, 33, pp 114–115. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.01.015>.
- Wang, J. F., Zhang, T. L., Fu, B. J. (2016). A measure of spatial stratified heterogeneity. *Ecological Indicators*, 67, pp 250–256. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.052>
- Wang, J., Xu, C. (2017). Geodetector: Principle and perspective. *Acta Geogr. Sin.*, 72, pp 116–134. <http://dx.doi.org/10.11821/dlxb201701010>.
- Wang, L., Chen, S., Zhu, W., Ren, H., Zhang, L., Zhu, L. (2021). Spatiotemporal variations of extreme precipitation and its potential driving factors in China's North-South transition Zone during 1960–2017. *Atmos. Res.*, 252, 105429. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105429>.
- Wang, D., Dong, Z., Ling, Z., Jiang, F., Zhu, S., Chen, J. (2022). Spatiotemporal variability of extreme precipitation at different time scales and quantitative analysis of associated driving teleconnection factors: insights from Taihu Basin, China. *Ecol. Indic.*, 142, 109287. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109287>.
- Wei, W., Zou, S., Duan, W., Chen, Y., Li, S., Zhou, Y. (2023). Spatiotemporal variability in extreme precipitation and associated large-scale climate mechanisms in Central Asia from 1950 to 2019. *Journal of Hydrol.*, 620, 129417. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129417>.
- Wu, Q., Zuo, Q., Han, C., Ma, J. (2022). Integrated assessment of variation characteristics and driving forces in precipitation and temperature under climate change: a case study of Upper Yellow River basin, China. *Atmos. Res.*, 272, 106156. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106156>.
- Xin, X. (2022). Recent extreme dust storms in Central Asia are associated with tropical Pacific and Arctic teleconnections. *Bibcode*. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2022AGUFM.A55O1314X/abstract>.
- Xu, F., Wang, S., Li, Y., Feng, J. (2024). Synergistic effects of the winter North Atlantic Oscillation (NAO) and El Niño–Southern Oscillation (ENSO) on dust activities in North China during the following spring. *Atmos. Chem. Phys.*, 24, pp 10689–10705. <https://doi.org/10.5194/acp-24-10689-2024>.
- Yang, Q., Zhang, P., Li, X., Yang, S., Chao, X., Liu, H., Ba, S. (2023). Distribution patterns and community assembly processes of eukaryotic microorganisms along an altitudinal gradient in the middle reaches of the Yarlung Zangbo River. *Water Res.*, 239, 120047. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120047>.
- Zhang, S., Zhou, Y., Yu, Y., Li, F., Zhang, R., Li, W. (2022). Using the Geodetector Method to Characterize the Spatiotemporal Dynamics of Vegetation and Its Interaction with Environmental Factors in the Qinba Mountains, China. *Remote Sens.*, 14(22), 5794. <https://doi.org/10.3390/rs14225794>.
- Zhou, Y., Xin, G., Jiaqiang, L. (2023). Characteristics of Dust Weather in the Tarim Basin from 1989 to 2021 and Its Impact on the Atmospheric Environment. *Remote Sens.*, 15(7), 1804. <https://doi.org/10.3390/rs15071804>.