



## Spatio-temporal analysis of seasonal and annual trends of dust storm days in arid climates of Iran

Jalil Helali<sup>1</sup> | Ebrahim Asadi Oskouei<sup>2✉</sup> | Touran Hosseinzadeh<sup>3</sup> | Mansoureh Kouhi<sup>4</sup> |  
Seyedeh Maryam Mohammadi<sup>5</sup>

1. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: [jalilhelali@gmail.com](mailto:jalilhelali@gmail.com)
2. Corresponding Author, Climatological Research Institute, Atmospheric Science and Meteorology Research Center (ASMERC), Tehran, Iran. E-mail: [e.asadi.o@gmail.com](mailto:e.asadi.o@gmail.com)
3. Department of Natural Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: [p.hosseinzadeh97@gmail.com](mailto:p.hosseinzadeh97@gmail.com)
4. Climatological Research Institute, Mashhad, Iran. E-mail: [man\\_koohi@yahoo.com](mailto:man_koohi@yahoo.com)
5. Department of the Environment, Tehran, Iran. E-mail: [maryam\\_mohamadi110@yahoo.com](mailto:maryam_mohamadi110@yahoo.com)

Article Info	ABSTRACT
<b>Article type:</b> Research Article	Dust storm (DS) is a harmful climatic phenomenon that causes damage to the environment and agriculture. The aim of this study was to investigate the trend analysis of seasonal and annual changes of DS during climatic period of 1977-2021 in arid climates of Iran in 42 synoptic stations. First, the long term changes of DS, before and after 2005 were compared together and investigated. Then, time series trend analysis was performed using regression method and spatial analysis by Menn-Kendall and Sen's Slope methods. The results showed an increase of DS after 2005. The trend of time series also showed an increasing trend in most climates and stations, with the most intense increasing slope during the periods of 2005-2010 and after 2011. The results showed that the frequency of stations with a significant increasing trend in the semi-arid climates on a seasonal and annual basis were up to 93 and 64; and in arid climates up to 83 and 83 percent of the stations, respectively. On the other hand, the incremental changes of 45-year DS in the extra arid climate in winter, spring, summer, autumn and whole year were up to 68, 69, 68, 55 and 261 days; in arid climate up to 54, 31, 37, 45 and 187 days; and in semi-arid climate has reached 23, 21, 9, 12 and 58 days, respectively. Therefore, the temporal change of DS is towards the winter and spring seasons, which indicates the spread of this phenomenon to the wet seasons.
<b>Article history:</b>	
<b>Received:</b> Feb. 16, 2023	
<b>Accepted:</b> Apr. 19, 2023	
<b>Published online:</b> May. 22, 2023	
<b>Keywords:</b> <i>Dust storm (DS), spatiotemporal trend, Arid climates, Mann-Kendall trend</i>	

Cite this article Helali, J., Asadi Oskouei, E., Hosseinzadeh, T., Kouhi, M. & Mohammadi, S.M., (2023). Spatio-temporal analysis of seasonal and annual trends of dust storm days in arid climates of Iran, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (3), 513-531. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.355469.669454>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.355469.669454>



## تحلیل زمانی-مکانی روند فصلی و سالانه روزهای گردوغبار در اقلیم‌های خشک ایران

جلیل هلالی<sup>۱</sup> | ابراهیم اسعدی اسکویی<sup>۲</sup> | توران حسین‌زاده<sup>۳</sup> | منصوره کوهی<sup>۴</sup> | سیده مریم محمدی<sup>۵</sup>۱. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، رایانامه: [jailhelali@gmail.com](mailto:jailhelali@gmail.com)۲. نویسنده مسئول، پژوهشکده اقلیم‌شناسی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران، رایانامه: [e.asadi.o@gmail.com](mailto:e.asadi.o@gmail.com)۳. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران، رایانامه: [p.hosseinzadeh97@gmail.com](mailto:p.hosseinzadeh97@gmail.com)۴. پژوهشکده اقلیم‌شناسی، مشهد، ایران، رایانامه: [man\\_kouhi@yahoo.com](mailto:man_kouhi@yahoo.com)۵. سازمان حفاظت محیط‌زیست، تهران، ایران، رایانامه: [maryam\\_mohamadi110@yahoo.com](mailto:maryam_mohamadi110@yahoo.com)

## چکیده

## اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

گردوغبار پدیده اقلیمی زیان‌باری است که موجب خسارت به بخش‌های محیط زیست و کشاورزی می‌گردد. هدف این مطالعه بررسی روند و تغییرات فصلی و سالانه رخداد گردوغبار در دوره بلندمدت اقلیمی ۱۹۷۷-۲۰۲۱ در اقلیم‌های خشک ایران در ۴۲ ایستگاه سینوپتیک بود. ابتدا تغییرات روزهای گردوغبار در دوره بعد از ۲۰۰۵ نسبت به دوره قبل ۲۰۰۵ و بلندمدت بررسی گردید. سپس تحلیل روند سری زمانی با روش رگرسیون و تحلیل مکانی با روش‌های منکنندال و سین محاسبه گردید. نتایج نشان داد تعداد روزهای گردوغبار در دوره بعد از ۲۰۰۵ افزایش شدیدی نسبت به دوره قبل از ۲۰۰۵ و بلندمدت دارد. روند سری زمانی نیز وجود روند افزایشی را در اکثر اقلیم‌ها و ایستگاه‌ها نشان داد که شدیدترین شیب افزایشی در دوره‌های ۲۰۰۵-۲۰۱۰ و بعد از ۲۰۱۱ دیده می‌شود. نتایج نشان داد فراوانی ایستگاه‌های با روند افزایشی معنادار در اقلیم فراخشک در مقیاس فصلی و سالانه به ترتیب تا ۹۳ و ۶۴ اقلیم خشک تا ۸۳ و ۸۳ درصد ایستگاه‌ها را در بر گرفته است. از طرف دیگر، تغییرات افزایشی روزهای گردوغبار ۴۵ ساله در اقلیم فراخشک در زمستان، بهار، تابستان، پاییز و سالانه به ترتیب تا ۶۸، ۶۹، ۶۸، ۵۵ و ۲۶۱ روز؛ اقلیم خشک به ترتیب ۵۴، ۳۱، ۳۷، ۴۵ و ۱۸۷ روز؛ و اقلیم نیمه‌خشک به ترتیب ۲۳، ۲۱، ۹، ۱۲ و ۵۸ روز رسیده است. بنابراین تغییر زمانی فراوانی تعداد روزهای گردوغبار به طرف فصول زمستان و بهار است که نشان‌دهنده گسترش این پدیده به فصول مرطوب است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱/۳۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۳/۱

واژه‌های کلیدی:

گردوغبار،

تحلیل روند زمانی-مکانی،

اقلیم‌های خشک،

منکنندال

استاد: هلالی، جلیل؛ اسعدی اسکویی، ابراهیم؛ حسین‌زاده، توران؛ کوهی، منصوره؛ محمدی، سیده مریم؛ (۱۴۰۱). تحلیل زمانی-مکانی روند فصلی و سالانه روزهای

گردوغبار در اقلیم‌های خشک ایران، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۴ (۳)، ۵۳۱-۵۳۱

<https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.355469.669454>، ۵۱۳

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.355469.669454>

## مقدمه

گردوغبار به عنوان یکی از مهم‌ترین پدیده‌های جوی و بلایای طبیعی مورد توجه بسیاری از محققان در شاخه‌های مختلف علوم از جمله علوم جوی است. گردوغبار یک پدیده هواشناسی است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک عمومیت داشته و وقتی یک جبهه یا نیروی باد شدید از مقدار آستانه تجاوز کند شن‌ها را فرسایش داده و از سطح زمین خشک جدا می‌سازد (Squires, 2001; Nickovic & Sprigg, 2011). فراوانی تشکیل و شدت وقوع گردوغبار در یک منطقه به وسیله بادهای شدید، مواد سطحی مستعد به فرسایش بادی و شرایط اتمسفری ناپایدار کنترل می‌شود (Xu, 2006). مهم‌ترین مناطق جهان که بیشترین سهم را در ایجاد طوفان گردوغبار به خود اختصاص داده‌اند، صحرای بزرگ آفریقا، بیابان‌های تاکلاماکان، گبی و نواحی مرکزی استرالیا هستند (Yaalon, 1996; Kellogg and Griffin, 2006). این پدیده در مدیریت کیفیت هوا اهمیت بسزایی دارد زیرا اثرات آن در مقیاس محلی، منطقه‌ای و حتی جهانی در کوتاه‌مدت و بلندمدت قابل ملاحظه است (Wang et al., 2005; Fairlie et al., 2007). وقوع خشکسالی‌های مکرر طی سال‌های اخیر و پیامدهای احتمالی تغییرات اقلیمی در خصوص بیابان‌زایی، امروزه طوفان‌های گردوغبار را در کانون توجه بسیاری از محققان قرار داده است. این پدیده بر بهداشت و سلامتی انسان‌ها (Bennion et al., 2007; Meng and Lu, 2007; Prospero et al., 2008)، دمای هوا از طریق جذب و پخش تابش (Toon, 2003)، بیلان تابشی (Maghrabi et al., 2009)، کاهش رشد و بازدهی محصولات کشاورزی (Fryrear, 1971)، کاهش کیفیت هوا (Liu et al., 2006)، اُفت بازدهی سیستم‌های فتوولتائیک خورشیدی (Dietz, 1963; Rashki et al., 2013; Sarver et al., 2013; Michalsky et al., 1988) و حمل‌ونقل (Rashki et al., 2021; Miri & Middelton, 2022) تاثیرگذار است. تنها در بخش جنوب‌شرقی ایران خسارت ناشی از طوفان‌های گردوغبار بر بخش حمل‌ونقل در دوره ۲۰۱۳-۲۰۲۰ بالغ بر ۴۶/۵ میلیون دلار (Miri & Middelton, 2022) و غرب ایران بین ۲۲۲۷ تا ۱۳۳۶۱ میلیون دلار (خالدی، ۱۳۹۲) تخمین زده شده است که در مقیاس کل کشور به مراتب مقادیر بسیار بالاتری خواهد داشت. کشور ایران علاوه بر قرار گرفتن در کمربند خشک و نیمه‌خشک کره زمین در فاصله نزدیکی از مناطق خیزش گردوغبار قرار دارد (Azizi et al., 2012b; Rashki et al., 2021). مکانیزم انتقال ریزگردها شامل برداشت ریزگرد از بیابان‌های غرب و جنوب غرب آسیا به وسیله یک جریان فراباری قوی و انتقال آن به لایه بالای تروپوسفر و سپس انتقال آن به عرض‌های بالاتر است. در نهایت با کاهش انرژی جریان افقی در ارتفاع بالای تروپوسفر ریزگردها به مناطق دور و نزدیک ریزش می‌کنند (کرمی، ۱۳۸۸).

به‌طور کلی، مطالعات انجام‌شده در زمینه گردوغبار از جنبه‌های مختلفی انجام شده است. در اولین نوع از مطالعات صورت گرفته است تمرکز بر تحلیل‌های سینوپتیکی-دینامیکی و منشاء وقوع پدیده گردوغبار مد نظر بوده است (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۱a؛ لشکری و کیخسروی، ۱۳۸۷؛ ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۸۴؛ حسین زاده، ۱۳۷۶؛ Rashki et al., 2013; Kaskaoutis et al., 2015; Hamidi et al., 2021). Engelstadler (2001) بستر خشک دریاچه‌ها و صحرای بزرگ آفریقا را به‌عنوان یکی از کانون‌های اصلی تولیدکننده گردوغبار می‌داند. Kutiel & Furman (2003) نشان دادند که کشورهای ایران، سودان، عراق، عربستان سعودی و تمام کشورهای حوزه خلیج فارس بالاترین فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار را دوره‌های گرم سال داشته‌اند. در این مطالعات مهمترین عامل سینوپتیک تاثیرگذار بر سامانه‌های گردوغبار منطقه غرب ایران منطقه پرفشار آزور همراه با سامانه‌های مهاجر بادهای غربی (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۸۴) درحالی‌که مطالعه Azizi et al. (2012b) منطقه مرزی بین سوریه و عراق، غرب و جنوب غرب عراق و مناطق شرق و شمال شرق عربستان کانون‌های اصلی گردوغبار غرب ایران تشخیص داده شدند. تحلیل سینوپتیکی-دینامیکی طوفان‌های گردوغبار در منطقه سیستان و بلوچستان ایران نشان داده است باد شدید لوار شمالی، گرمایش سطح بالا و ویژگی‌های دره‌مانند منطقه به‌شدت بر وضعیت دینامیکی و تشکیل جریان‌های شدید سطحی که عامل تشدید گردوغبار هستند، تأثیر می‌گذارد و از سوی دیگر، تاثیرگذاری شاخص ENSO بر پدیده گردوغبار معنادار نبوده است بلکه با شرایط فشار سطح پایین دریا در سراسر جنوب آسیا و افزایش شدید واچرخندی بر روی دریای خزر همراه است (Kaskaoutis et al., 2015). در همین منطقه، Rashki et al. (2015) نشان دادند روزهای گردوغبار در منطقه زابل با فرکانس و شدت بیشتر در ماه‌های ژوئن و جولای همراه بوده و مسیر طوفان‌ها در یک مسیر پادساعتگرد در ارتفاعات معمولاً زیر ۲ کیلومتر ادامه دارد به‌طوری‌که ابتدا به سمت جنوب حرکت کرده و بعد از رسیدن به ساحل دریای عرب به سمت شرق-شمال شرق تغییر می‌کنند که به دلیل اثرات توپوگرافی محلی و تشکیل سیستم‌های کم‌فشار حرارتی بر روی سرزمین‌های خشک است. در مطالعه Hamidi et al. (2013) تحلیل جامع طوفان‌های گردوغبار بر منطقه خاورمیانه صورت گرفته است که نتایج به‌دست‌آمده دو نوع طوفان‌های گردوغبار را در منطقه نشان می‌دهد که شامل طوفان‌های گردوغبار شمالی و جبهه‌ای است که مدل‌های پیش‌بینی کننده آن‌ها را هم مشخص می‌کند. در این

مطالعه ۶۸ درصد طوفان‌های گردوغبار شمالی، در یک سیستم پرفشار بین ۰ تا ۳۰ درجه شرقی و ۲۷ تا ۴۵ درجه شمالی و یک سیستم کم‌فشار بین ۵۰ تا ۷۰ درجه شرقی و ۲۳ تا ۴۳ درجه شمالی واقع شده است. ۸۶ درصد طوفان‌های گردوغبار جبهه‌ای نیز در منطقه‌ای بین ۵۱ تا ۶۷ درجه شرقی و ۱۸ تا ۳۳ درجه شمالی و مقدار کمی نیز در بین ۲۸ تا ۴۸ درجه شرقی و ۳۲ تا ۴۳ درجه شمالی واقع شده‌اند. این تحلیل تایید کرد که طوفان‌های گردوغبار شمال مربوط به واچرخندهای واقع در شمال آفریقا به اروپای شرقی و فرود موسمی بر عراق، جنوب ایران، پاکستان و شبه‌قاره هند است. درحالی‌که منبع گردوغبارهای جبهه‌ای در دشت آبرفتی دجله و فرات از مرکز عراق به غرب و مرکز ایران و در اکثر موارد به شمال ایران و ساحل جنوبی دریای خزر گسترش می‌یابد.

در بخش دوم مطالعات صورت‌گرفته تأکید بر استفاده از سنجش از دور و مدل‌های مسیریابی پدیده گردوغبار به عنوان ابزاری کارآمد تاکید شده است (Azizi et al., 2012b; Darvishi Bolorani et al., 2013; Dashedi-Roudbari, 1395; Ahmadi, 2021). به عقیده Azizi et al. (2012b) مقادیر گردوغبار در ایران دارای دو اوج در دوره‌های ۱۹۸۲-۱۹۹۰ و ۲۰۰۵-۲۰۰۸ بوده است که عوامل انسان‌محور شامل جنگ، فعالیت‌های کشاورزی، سدسازی و خشکسالی‌های گسترده بوده است. تحلیل مطالعه Darvishi Bolorani et al. (2013) با مدل فیزیکی-هواشناسی HYSPLIT نشان می‌دهد که دو منبع اصلی موثر بر طوفان گردوغبار غرب ایران منطقه‌ای بین ساحل غربی رودخانه فرات-شرق دجله و شرق-جنوب شرق شبه جزیره عربستان است.

در نوع سوم مطالعات صورت گرفته بر جنبه تحلیل‌های آماری فراوانی و روند رخداد گردوغبار تاکید شده است (علیچانی، ۱۳۷۶ بیشترین مقدار گردوغبار در مرکز ایران و مرداد ماه دارای بیشترین مقدار رخداد پدیده گردوغبار؛ Miri et al., 2009, 2010 روند افزایشی طوفان‌های گردوغبار بعد از دهه ۷۰ و اوایل ۸۰ در منطقه سیستان و بلوچستان؛ رسولی و همکاران، ۱۳۸۹ عدم همگنی فضایی رخداد گردوغبار و روند افزایشی معنادار در غرب ایران؛ هلالی و همکاران، ۱۳۹۲ a,b روند افزایشی در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه و بیشترین فراوانی رخداد پدیده گردوغبار در بخش‌های مرکزی، جنوب شرقی، جنوب غربی و غرب؛ Zanganeh, 2014 رخداد بیشینه و کمینه طوفان‌های گردوغبار به ترتیب در تابستان و زمستان؛ زینالی، ۱۳۹۵ روند افزایشی طوفان‌های گردوغباری به‌ویژه بخش جنوب غربی در دوره ۱۹۹۰-۲۰۱۳؛ Modarres & Sadeghi, 2018 تأثیر سرعت باد و تغییر شدید کاربری اراضی بر افزایش فراوانی و شدت گردوغبار در جنوب شرق ایران؛ Beyranvand et al., 2019 بیشترین فراوانی گردوغبار در جنوب شرق و افزایش شدید فراوانی گردوغبار در نیمه غربی ایران در دوره ۲۰۰۲-۲۰۱۶ نسبت به دوره ۱۹۸۷-۲۰۰۱؛ Baghbanan et al., 2020 منطقه‌بندی طوفان‌های گردوغبار در ایران به ۵ منطقه شامل مناطق جنوب شرقی، جنوبی و مرکزی، غربی، مناطق شرقی-مرکزی و شمالی؛ Ghamkhar et al., 2022 تحلیل وضعیت گردوغبار در مناطق شهری ایران).

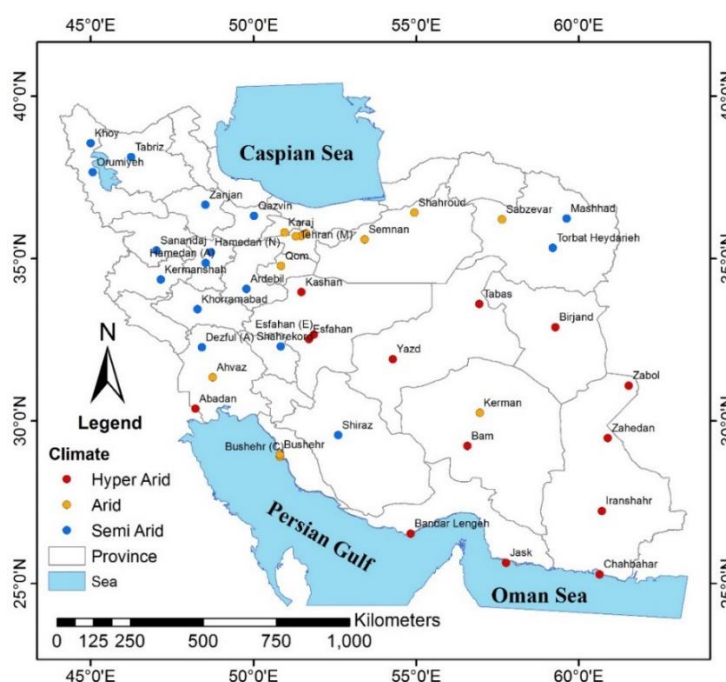
در نوع چهارم مطالعات سعی شده است رخداد پدیده گردوغبار مورد مدل‌سازی و شبیه‌سازی قرار گیرد (Dodangeh et al., 2012)؛ عراقی نژاد و همکاران، ۱۳۹۷؛ هلالی و بذرافشان، ۱۳۹۲؛ Miri et al., 2021؛ Ebrahimi Khusfi et al., 2020؛ Baghbanan et al., 2021). در این نوع مطالعات ترکیبی از مدل‌های مختلف و همچنین توزیع احتمالاتی مناسب رخداد پدیده گردوغبار مورد ارزیابی قرار گرفته و نشان داده شده است گردوغبارهای رخ داده در مناطق مختلف از نظر منشاء تولید متفاوت هستند (Dodangeh et al., 2012). عرض جغرافیایی توجیه بهتری از پراکنش گردوغبار در ایران دارد (هلالی و بذرافشان، ۱۳۹۲)، مدل‌سازی رخداد آن در روش ترکیبی مدل‌های مختلف نتایج رضایت‌بخش‌تری ارائه می‌کند (Ebrahimi Khusfi et al., 2021)، و مهمترین عامل در تشکیل این پدیده از دیدگاه هواشناسی سرعت باد، دمای بیشینه و دمای عمق ۵ سانتیمتری خاک (عراقی نژاد و همکاران، ۱۳۹۷) و افزایش سرعت باد، افزایش دما، کاهش بارش، رطوبت نسبی و پوشش گیاهی (Miri et al., 2021) بوده است. همچنین Amanollahi et al. (2015) نشان دادند که اختلاف دمایی بین سطح دریای مدیترانه و بیابان‌های سوریه چهار روز قبل از وقوع طوفان گردوغبار عامل مهمی در پیش‌بینی این رویداد است.

هدف این مطالعه بررسی تغییرات تعداد روزهای همراه با پدیده گردوغبار در اقلیم‌های خشک ایران در فصول مختلف بود. در مناطق خشک و نیمه‌خشک وجود سطح زمین خشک و دمای بالا عاملی برای مستعد بودن فرسایش بادی و افزایش احتمال رخداد این پدیده است. هدف دیگر این مطالعه بررسی شدت تغییرات تعداد روزهای وقوع این پدیده در دو دوره اقلیمی بعد از سال ۲۰۰۵ و قبل از آن و درعین حال مقایسه این دو با کل دوره اقلیمی تا سال ۲۰۲۱ بوده است.

## مواد و روش‌ها

### داده‌ها و منطقه مورد مطالعه

هدف پژوهش حاضر بررسی وضعیت فصلی تعداد روزهای همراه با پدیده گردوغبار در دوره قبل و بعد از سال ۲۰۰۵ بود. به این منظور از داده‌های تعداد روزهای گردوغبار (کدهای ۰۵، ۰۶، ۰۷ و ۰۸) ۴۲ ایستگاه سینوپتیک در طی دوره آماری ۱۹۷۷-۲۰۲۱ (۴۵ سال داده) استفاده گردید. در مطالعه هلالی و همکاران (۱۳۹۲a) دوره قبل از سال ۲۰۰۵ وضعیت تعداد روزهای گردوغبار مورد مطالعه قرار گرفته است. در این مطالعه تلاش شد تغییرات تعداد روزهای گردوغبار بعد از این دوره نسبت به دوره قبل از ۲۰۰۵ و همچنین نسبت به میانگین بلندمدت ۴۵ ساله مورد ارزیابی قرار گیرد. طبقه‌بندی ایستگاه‌ها بر حسب اقلیم دومارتن به سه طبقه اقلیمی فراخشک (۱۴ ایستگاه)، خشک (۱۲ ایستگاه) و نیمه‌خشک (۱۶ ایستگاه) تقسیم شدند (شکل ۱). در مرحله بعد متوسط تعداد روزهای قبل از ۲۰۰۵، بعد از دوره ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۱ و کل دوره اقلیمی از ۱۹۷۷ الی ۲۰۲۱ محاسبه شده و در مقیاس زمانی فصلی با یکدیگر مقایسه گردیدند.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه‌های مورد مطالعه در گستره ایران

### تحلیل روند

به‌منظور تحلیل روند زمانی و مکانی از چندین روش استفاده شد. برای بررسی سری زمانی ماهانه از روش رگرسیونی استفاده شد. در این روش سری زمانی ماهانه تعداد روزهای گردوغبار به‌صورت رابطه زیر محاسبه گردید:

$$y = ax + b$$

رابطه ۱)

که در آن  $y$  تعداد روزهای گردوغبار ماهانه،  $x$  شماره سری زمانی ماهانه،  $a$  و  $b$  به ترتیب شیب خط رگرسیونی و عرض از مبدأ است. برای تحلیل مکانی از روش منکندال و شیب سن استفاده شد. در سری‌های زمانی شدت یک متغیر در زمان خاص بستگی به شدت آن متغیر در زمان بعد و یا زمان‌های قبل از خود دارد که اصطلاحاً خودهمبستگی نامیده می‌شود که این امر احتمال تشخیص روند معنادار را در سری زمانی افزایش می‌دهد (Karmeshu, 2012; Partal & Kahya, 2006). بنابراین اثر خودهمبستگی توسط آزمون  $pre$ -whitening حذف شد (von Storch & Navarra, 1995, 1999). در ادامه تحلیل روند با استفاده از آزمون ناپارامتری من‌کندال انجام شد. این روش ابتدا توسط Mann (1945) ارائه و سپس توسط Kendall (1975) بسط و توسعه یافت. این روش برای داده‌های حدی قوی بوده (Hirsch et al., 1993)، به توزیع احتمالاتی خاصی نیاز نداشته (Zhai & Feng, 2009) و داده‌های مفقود نیز بر آن تأثیری ندارد (Yu et al., 1993). فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک مبین وجود روند در سری داده‌ها است. در این روش ابتدا اختلاف بین تک تک مشاهدات با یکدیگر محاسبه شده و تابع علامت بر آن اعمال و پارامتر  $S$  به شرح زیر استخراج می‌گردد:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad \text{رابطه ۲}$$

که  $n$  تعداد مشاهدات سری،  $x_j$  و  $x_k$  به ترتیب داده‌های  $j$ ام و  $k$ ام سری است. در مرحله بعد تابع علامت به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{sgn}(n) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه ۳}$$

سپس با استفاده از رابطه ۴ واریانس محاسبه می‌شود:

$$\begin{cases} \text{Var}(S) = \frac{n - (n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t(t-1)(2t-5)}{18} & \text{if } n > 10 \\ \text{Var}(S) = \frac{n - (n-1)(2n+5)}{18} & \text{if } n < 10 \end{cases} \quad \text{رابطه ۴}$$

که  $n$  تعداد داده‌های مشاهده‌ای،  $m$  معرف تعداد سری‌های دارای داده تکراری و  $t$  فراوانی داده‌های با ارزش یکسان می‌باشد. در نهایت آماره  $Z$  به کمک یکی از روابط زیر به دست می‌آید:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه ۵}$$

در یک آزمون دو دامنه برای روند یابی سری داده‌ها، فرض صفر در حالتی پذیرفته می‌شود که رابطه زیر برقرار باشد:

$$|Z| \leq Z_{\alpha/2} \quad \text{رابطه ۶}$$

که  $\alpha$  سطح معناداری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و  $Z_{\alpha}$  آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معناداری  $\alpha$  است. در صورتی که آماره  $Z$  مثبت باشد روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود. به منظور بررسی بزرگی روند در سری‌های زمانی دما، رطوبت نسبی و درصد رطوبت تعادل چوب از آزمون تخمین گر شیب سن که توسط Sen (1968) ارائه شده است استفاده گردید اساس این آزمون محاسبه شیب میانه برای سری زمانی و قضاوت نمودن در مورد حقیقی بودن این شیب در سطوح معناداری مختلف است. این نوع آزمون در سری‌هایی که فراوانی داده‌های تکراری زیاد باشد عملکرد بهتری از آزمون من-کندال دارد. در ادامه به مراحل انجام این آزمون پرداخته می‌شود. در مرحله اول شیب بین هر جفت داده سری زمانی با کمک رابطه ۷ به دست می‌آید:

$$Q = \frac{X_j - X_i}{j - i} \quad \text{رابطه ۷}$$

که  $N^*$  برابر با تعداد جفت داده‌ها بوده و با رابطه ۸ محاسبه می‌شود ( $n$  تعداد داده‌های سری زمانی):

$$N^* = \frac{n(n-1)}{2} \quad \text{رابطه ۸}$$

سپس سری شیب‌های به دست آمده از کوچک‌ترین به بزرگ‌ترین مرتب شده و میانه ( $Q_{\text{med}}$ ) یا همان شیب خط روند با توجه به فرد یا زوج بودن  $N^*$  محاسبه می‌شود (Sen, 1968; Gocic & Trajkovic, 2013).

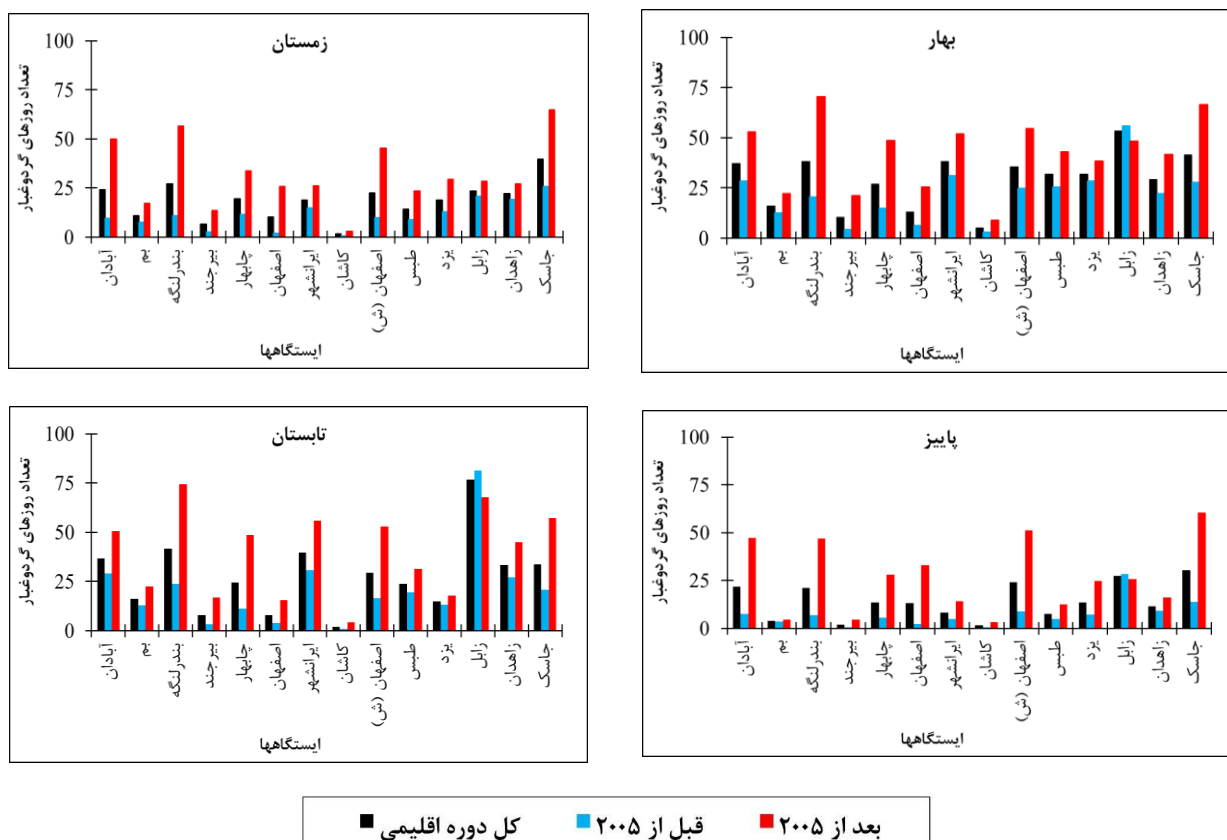
## نتایج و بحث

تحلیل تغییرات فصلی در اقلیم‌های مختلف

### اقلیم فراخشک

رخداد پدیده گردوغبار را می‌توان به فصل وقوع مرتبط دانست. بررسی‌های انجام شده نشان داد که در اقلیم فراخشک که در اکثر مواقع

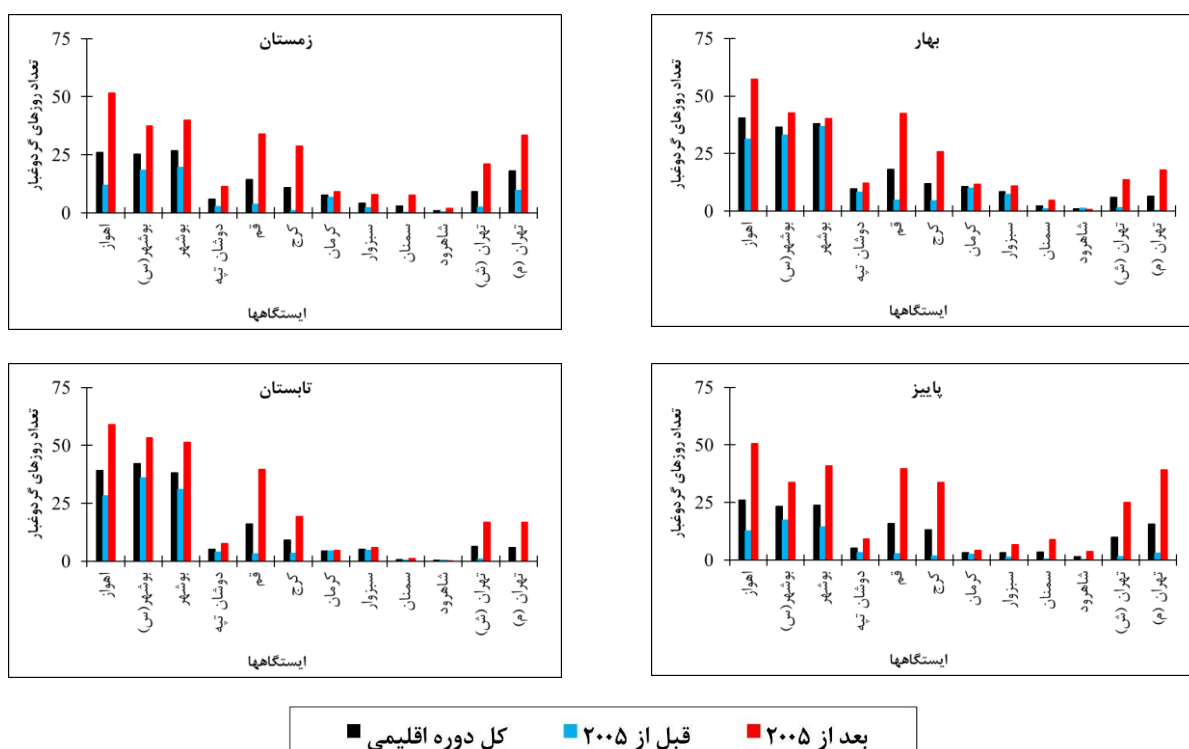
تحت شرایط اقلیمی خشک قرار دارند بررسی پدیده‌ای همچون گردوغبار دارای اهمیت بسزایی است. بررسی نشان می‌دهد در فصل زمستان در اقلیم فراخشک همه ۱۴ ایستگاه مورد مطالعه روند افزایشی تعداد روزهای گردوغبار را طی دوره بعد از سال ۲۰۰۵ نسبت به دوره قبل از آن تجربه کرده است که بیشترین و کمترین مقدار افزایش متعلق به ایستگاه‌های بندرلنگه و کاشان و به ترتیب برابر با ۴۶ و ۲ روز در سه ماه است. این روند در مقایسه با کل دوره اقلیمی تا سال ۲۰۲۱ نیز قابل مشاهده است. ایستگاه‌های بندرلنگه، آبادان و جاسک بیشترین روند افزایشی را در سه ماهه زمستان نشان می‌دهند که به ترتیب برابر با ۴۰، ۳۹ و ۴۰ روز در سه ماهه است. در سه ماهه بهار در دوره بعد از ۲۰۰۵ نسبت به دوره قبل از آن ۱۳ ایستگاه مورد مطالعاتی (۹۲ درصد) روند افزایشی داشتند که بیشترین و کمترین آن متعلق به ایستگاه‌های بندرلنگه و کاشان به ترتیب ۵۰ و ۶ روز در دوره سه ماهه است و تنها در ایستگاه زابل کاهش ۸ روز در سه ماهه دیده می‌شود. بیشترین روند افزایشی در سه ماهه بهار در بندرلنگه، جاسک و شرق اصفهان به ترتیب برابر با ۵۰، ۳۹ و ۳۰ روز در سه ماهه است. روند تغییرات دوره بعد از ۲۰۰۵ نسبت به دوره بلندمدت اقلیمی نیز مشابه با دوره قبل از ۲۰۰۵ است. بررسی فصل تابستان نشان داد ۱۱ ایستگاه (۷۹ درصد) روند افزایشی در مقایسه با دوره قبل از ۲۰۰۵ داشته‌اند که بیشترین و کمترین مقدار روند افزایشی متعلق به ایستگاه‌های بندرلنگه و کاشان به ترتیب برابر با ۵۰ و ۴ روز در سه ماهه است، در حالی که روند کاهش ۱۴ روزه در سه ماهه تنها در ایستگاه زابل قابل مشاهده است. در مقایسه با کل دوره اقلیمی در دوره بعد از ۲۰۰۵ در فصل تابستان هم افزایش تعداد روزهای گردوغبار (به جز ایستگاه زابل) قابل مشاهده است. تغییرات تعداد روزهای گردوغبار در سه ماهه پاییز نشان داد که ۱۱ ایستگاه (۷۹ درصد) روند افزایشی دارند که بیشترین و کمترین مقادیر روند افزایشی در ایستگاه‌های جاسک و بم به ترتیب برابر با ۴۷ و ۱ روز در دوره سه ماهه است در حالی که ایستگاه زابل کاهش ۳ روز در سه ماهه دیده می‌شود. بررسی کلی این اقلیم نشان داد که از یک سوی، درصد فراوانی روندهای افزایشی بیشتر از روندهای کاهش‌ی است و از طرف دیگر مقدار روندهای افزایشی بیشتر از روندهای کاهش‌ی است. نتیجه نهایی در این اقلیم مشخص نمود که در فصول مختلف بیشترین روند افزایشی در ایستگاه بندرلنگه (فصل پاییز ایستگاه جاسک) و بیشترین روند کاهش‌ی در زابل رخ داده است (شکل ۲).



شکل ۲. تعداد روزهای گردوغبار در اقلیم فراخشک در سه دوره اقلیمی در فصل‌های مختلف

### اقلیم خشک

بررسی نتایج نشان می‌دهد در کلیه فصول روند کاهشی وجود نداشته و عمدتاً فراوانی روندهای افزایشی و گاهی بدون روند دیده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد در فصل زمستان بیشترین و کمترین روند افزایشی در ایستگاه‌های اهواز و شاهرود به ترتیب ۴۰ و ۱ روز در سه ماه، فصل بهار ایستگاه‌های قم و بوشهر به ترتیب ۳۸ و ۳ روز در سه ماه (شاهرود بدون روند)؛ در فصل تابستان قم و سمنان به ترتیب ۳۶ و ۱ روز در سه ماه (شاهرود و کرمان بدون تغییر)؛ و در فصل پاییز اهواز و کرمان به ترتیب ۳۸ و ۲ روز در سه ماه بودند. این وضعیت در مقایسه با دوره بلندمدت اقلیمی نیز قابل مشاهده است. بر اساس فصل‌های مورد مطالعه بیشترین تغییرات افزایشی در دوره بعد از ۲۰۰۵ نسبت به دوره قبل از آن در فصل زمستان در ایستگاه‌های اهواز، قم و کرج به ترتیب ۴۰، ۳۰ و ۲۸ روز در سه ماه؛ فصل بهار در ایستگاه‌های قم، اهواز و کرج به ترتیب ۳۸، ۲۶ و ۲۱ روز در سه ماه؛ فصل تابستان در ایستگاه‌های قم، اهواز و بوشهر به ترتیب ۳۶، ۳۱ و ۲۰ روز در سه ماه؛ و فصل پاییز در ایستگاه‌های اهواز، قم و تهران مهرآباد به ترتیب ۳۸، ۳۷ و ۳۶ روز در سه ماه دیده می‌شود. این در حالی است تغییرات دوره بعد از ۲۰۰۵ نسبت به کل دوره اقلیمی نیز همین وضعیت را دارد به طوری که در فصل زمستان در ایستگاه‌های اهواز، قم و کرج به ترتیب ۲۶، ۱۹ و ۱۸ روز در سه ماه، فصل بهار در ایستگاه‌های قم، اهواز و کرج به ترتیب ۲۴، ۱۷ و ۱۴ روز در سه ماه؛ فصل تابستان در ایستگاه‌های قم، اهواز و تهران مهرآباد به ترتیب ۲۳، ۲۰ و ۱۱ روز در سه ماه؛ و فصل پاییز در ایستگاه‌های اهواز، قم و تهران مهرآباد به ترتیب ۲۴، ۲۴ و ۲۶ روز در سه ماه دیده می‌شود (شکل ۳).



شکل ۳. تعداد روزهای گردهبار در اقلیم خشک در سه دوره اقلیمی در فصل‌های مختلف

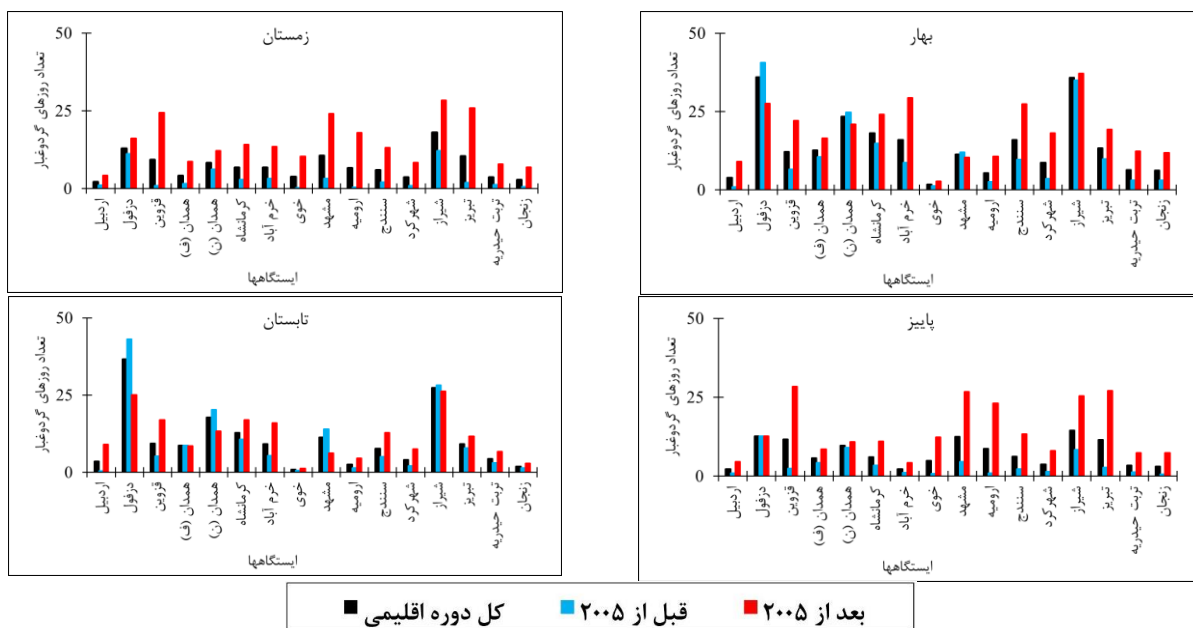
### اقلیم نیمه خشک

پراکنش ایستگاه‌های واقع در اقلیم نیمه خشک از نظر جغرافیایی گستره است به طوری که اکثراً در مناطق غربی، شمال غربی و جنوب غربی و تعدادی نیز همچون مشهد و تربت حیدریه در بخش شمال شرقی قرار داشتند (شکل ۴). بررسی انجام شده در فصل زمستان نشان می‌دهد که در ایستگاه‌های واقع در این اقلیم تغییرات افزایشی قابل مشاهده است که بیشترین و کمترین مقدار در ایستگاه‌های تبریز و اردبیل به ترتیب ۲۴ و ۳ روز در سه ماه است (بیشترین تغییرات افزایشی در ایستگاه‌های تبریز، قزوین و مشهد به ترتیب ۲۴، ۲۳ و ۲۱ روز در سه ماه). مقایسه این تغییرات نسبت به دوره بلندمدت اقلیمی افزایشی است که بیشترین مقادیر آن در ایستگاه‌های تبریز، قزوین و مشهد به ترتیب ۱۵، ۱۵ و ۱۳ روز بوده است. بررسی تغییرات فصل بهار نیز نشان می‌دهد درصد ایستگاه‌های دارای تغییرات افزایشی در دوره بعد از



۲۰۰۵ نسبت به دوره قبل از آن و کل دوره اقلیمی به ترتیب ۸۷٫۵ و ۸۱ درصد است. در این فصل بیشترین تغییرات افزایشی بعد از دوره ۲۰۰۵ متعلق به ایستگاه‌های خرم‌آباد، سنندج و قزوین و به ترتیب برابر با ۲۱، ۱۸ و ۱۶ روز است (تغییرات کاهشی در دزفول، همدان نوزه و مشهد به ترتیب ۱۳، ۴ و ۲ روز) ولی نسبت به دوره بلندمدت متعلق به ایستگاه‌های خرم‌آباد، سنندج و قزوین و به ترتیب ۱۳، ۱۱ و ۱۰ روز (تغییرات کاهشی در دزفول و همدان نوزه به ترتیب ۸ و ۲ روز) است. نتایج در فصل تابستان نشان می‌دهد فراوانی تعداد ایستگاه‌های با تغییرات افزایشی در دوره بعد از ۲۰۰۵ نسبت به دوره قبل از آن و کل دوره اقلیمی به ترتیب ۶۹ درصد ایستگاه‌ها (بیشترین تغییرات افزایشی در ایستگاه‌های قزوین، خرم‌آباد و اردبیل به ترتیب ۱۲، ۱۰ و ۹ روز) و ۶۳ درصد ایستگاه‌ها (بیشترین تغییرات افزایشی در ایستگاه‌های قزوین، خرم‌آباد و اردبیل به ترتیب ۷، ۷ و ۵ روز) را در بر گرفته است. این در حالی است که فراوانی تعداد ایستگاه‌های با تغییرات کاهشی در دوره بعد از ۲۰۰۵ نسبت به دوره قبل از آن و کل دوره اقلیمی به ترتیب ۲۵ درصد ایستگاه‌ها (بیشترین تغییرات کاهشی در ایستگاه‌های دزفول، مشهد و همدان به ترتیب ۱۸، ۸ و ۷ روز) و ۱۹ درصد ایستگاه‌ها (بیشترین تغییرات کاهشی در ایستگاه‌های دزفول، مشهد و همدان به ترتیب ۱۲، ۵ و ۴ روز) را در بر گرفته است. این در حالی است که در تعدادی از ایستگاه‌ها مانند همدان فرودگاه و خوی تغییراتی دیده نمی‌شود.

نتایج در فصل پاییز نشان می‌دهد فراوانی تعداد ایستگاه‌های با تغییرات افزایشی در دوره بعد از ۲۰۰۵ نسبت به دوره قبل از آن و کل دوره اقلیمی به ترتیب ۹۲ درصد ایستگاه‌ها (بیشترین تغییرات افزایشی در ایستگاه‌های قزوین، تبریز و ارومیه به ترتیب ۲۶، ۲۴ و ۲۲ روز) و ۹۲ درصد ایستگاه‌ها (بیشترین تغییرات افزایشی در ایستگاه‌های قزوین، تبریز و ارومیه به ترتیب ۱۷، ۱۶ و ۱۴ روز) را در بر گرفته است درحالی‌که هیچ تغییرات کاهشی دیده نمی‌شود بلکه در ایستگاه دزفول تغییرات دیده نمی‌شود.

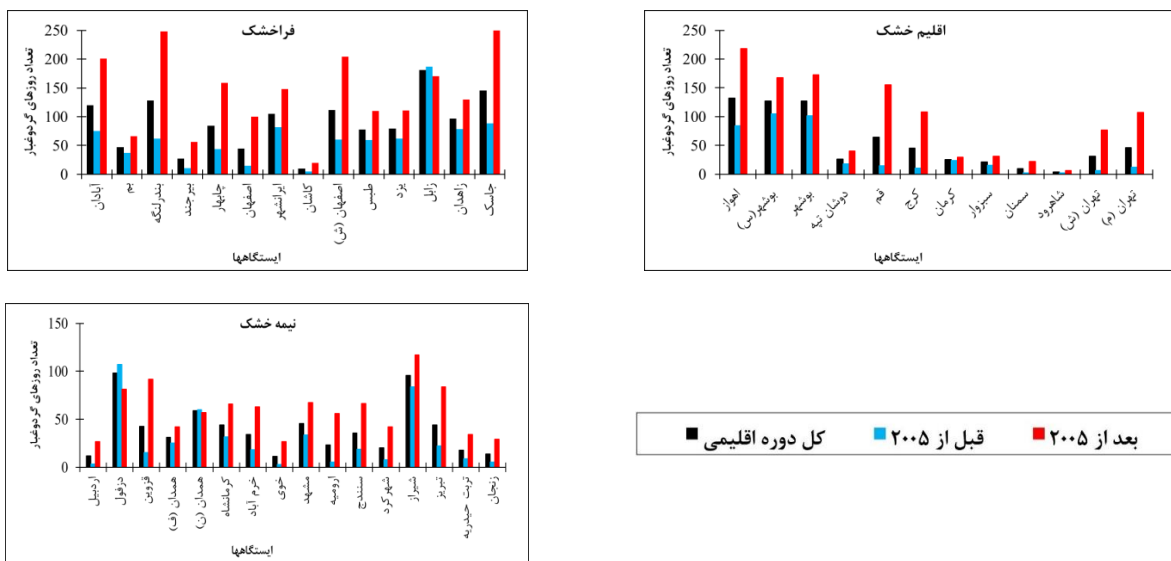


شکل ۴. تعداد روزهای گردوغبار در اقلیم نیمه‌خشک در سه دوره اقلیمی در فصل‌های مختلف

### بررسی تغییرات سالانه فراوانی گردوغبار در اقلیم‌های مختلف

بررسی تغییرات سالانه تعداد روزهای همراه با پدیده گردوغبار نشان می‌دهد در اقلیم فراخشک بیشترین تغییرات افزایشی در دوره بعد از ۲۰۰۵ نسبت به دوره قبل از آن متعلق به ایستگاه‌های بندرلنگه، جاسک و شرق اصفهان به مقدار ۱۸۶، ۱۶۱ و ۱۴۴ روز در سال و کمترین تغییرات افزایشی در ایستگاه‌های کاشان، بم و بیرجند به مقدار ۱۴، ۲۹، ۴۵ روز در سال بوده است درحالی‌که تنها تغییرات کاهشی در ایستگاه زابل با ۱۷ روز در سال بوده است. این تغییرات را می‌توان در دوره بلندمدت نیز مشاهده نمود. بررسی تغییرات سالانه تعداد روزهای همراه با پدیده گردوغبار نشان می‌دهد در اقلیم خشک بیشترین تغییرات افزایشی در دوره بعد از ۲۰۰۵ نسبت به دوره قبل از آن متعلق به ایستگاه‌های قم، اهواز و کرج به مقدار ۱۴۱، ۱۳۵ و ۹۷ روز در سال و کمترین تغییرات افزایشی در ایستگاه‌های شاهرود، کرمان و سبزوار به مقدار ۴، ۶ و ۱۶ روز در سال بوده است درحالی‌که تغییرات کاهشی در هیچ ایستگاهی دیده نمی‌شود. این وضعیت را می‌توان در مقایسه

با کل دوره اقلیمی نیز مشاهده نمود. بررسی تغییرات سالانه تعداد روزهای همراه با پدیده گردوغبار نشان می‌دهد در اقلیم نیمه‌خشک بیشترین تغییرات افزایشی در دوره بعد از ۲۰۰۵ نسبت به دوره قبل از ۲۰۰۵ به مقدار ۷۷، ۶۱ و ۵۱ روز در سال و کمترین تغییرات افزایشی در ایستگاه‌های همدان فرودگاه، اردبیل و زنجان به مقدار ۱۷، ۲۳ و ۲۳ روز در سال بوده است درحالی‌که تغییرات کاهش‌ی را می‌توان در دزفول و همدان نوزه به مقدار ۲۶ و ۳ روز در سال مشاهده نمود. مطالعات پیشین عمدتاً با تمرکز بر مناطق جغرافیایی خاص (علیچانی، ۱۳۷۶، فلات مرکزی ایران؛ Miri et al., 2009, 2010، سیستان و بلوچستان؛ رسولی و همکاران، ۱۳۸۹ غرب ایران؛ Modarres and Sadeghi, 2018 جنوب شرق ایران) یا کل ایران از دیدگاه جغرافیایی (زینالی، ۱۳۹۵؛ زنگنه، ۱۳۹۳؛ هلالی و همکاران، ۱۳۹۲ a,b؛ Beyranvand et al., 2019؛ Baghbanan et al., 2020). با توجه به این موارد مقایسه وضعیت گردوغبار از دیدگاه اقلیمی به ویژه اقلیم‌های خشک تا نیمه‌خشک که این پدیده در آن‌ها بسیار رایج دارد انجام نشده بود که در این مطالعه انجام شد و نتایج آن نیز بیانگر بررسی این پدیده از دیدگاه اقلیمی بود.



شکل ۵. تغییرات سالانه فراوانی گردوغبار در اقلیم‌های مختلف

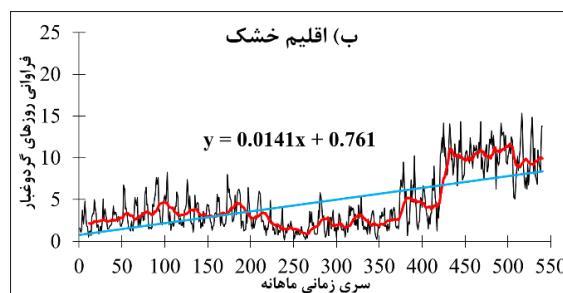
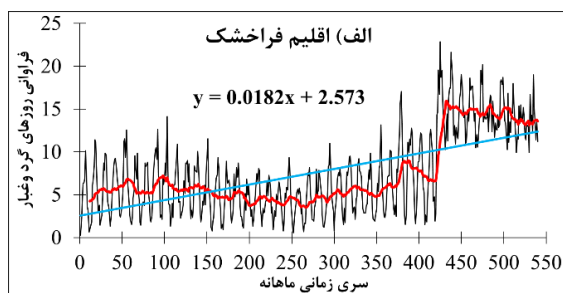
### تحلیل روند سری زمانی اقلیم‌های مختلف با روش رگرسیونی

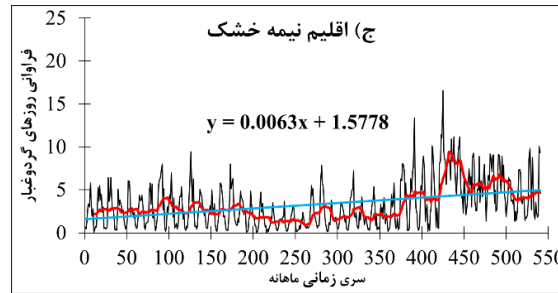
تحلیل رگرسیونی سری زمانی ماهانه تعداد روزهای گردوغبار در اقلیم‌های مختلف در شکل ۶ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد در اقلیم فراخشک روند سری زمانی شدیدی رخ داده است که این روند در دوره ۲۰۰۵ به بعد و به‌ویژه بعد از ۲۰۱۲ با شیب تندتر ادامه یافته است (شکل ۶-الف). در اقلیم خشک نیز شیب افزایشی تعداد روزهای گردوغبار شدید است که در دوره بعد از ۲۰۱۲ شدیدتر شده است (شکل ۶-ب). وضعیت شیب رخداد پدیده گردوغبار در اقلیم نیمه‌خشک کمتر از دو اقلیم فراخشک و خشک است ولی در دوره ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ یک افزایش جزئی تجربه کرده و سپس بعد از آن کاهش یافته است (شکل ۶-ج). این نتایج نشان‌دهنده تشدید روند افزایشی تعداد روزهای گردوغبار در اکثر اقلیمی فراخشک تا نیمه‌خشک ایران است که می‌تواند منشاء داخلی یا خارجی داشته و در نتیجه خشکسالی‌های متوالی دهه‌های اخیر است. نتایج روند سری زمانی به تفکیک ایستگاه‌های مورد مطالعه و نقطه تشدید این روند در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد روند سری زمانی تعداد روزهای گردوغبار ماهانه در اکثر اقلیم‌ها و ایستگاه‌ها افزایشی است ولی در اقلیم فراخشک در ایستگاه زابل، و اقلیم نیمه‌خشک در ایستگاه‌های دزفول و همدان نوزه روند کاهش‌ی دیده می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد نقطه عطف که شدت روند تعداد روزهای گردوغبار تشدید شده از سه گروه طبقه‌بندی می‌شود. گروه اول که عمدتاً در بخش غربی، شمال غربی و جنوب غربی قرار دارند به دوره قبل از سال ۲۰۱۰ (آبادان، زابل، جاسک، بوشهر ساحلی، قم، کرج، همدان فرودگاه، کرمانشاه، خرم‌آباد، ارومیه، سنندج، شهرکرد و تبریز) برمی‌گردد. این در حالی است که در ایستگاه‌های طیس، اهواز، دوشان تپه، سبزوار، اردبیل و شیراز از سال ۲۰۱۰ روند رخداد تعداد روزهای گردوغبار تشدید شده است. در سایر ایستگاه‌ها نیز از دوره ۲۰۱۱ به بعد این وضعیت مشاهده می‌شود. این امر نشان

می‌دهد در نتیجه خشکسالی‌های رخ داده در مناطق مختلف کشور و همچنین کشورهای مجاور به ویژه عراق و عربستان این وضعیت رخ داده است. تحلیل سری زمانی با روش رگرسیونی در اکثر اقلیم‌ها روندی افزایشی نشان می‌دهد که شیب افزایش سریع در تعدادی از ایستگاه‌ها بعد از سال ۲۰۰۵ بوده است ولی اکثر ایستگاه‌ها این افزایش شدید را در دوره ۲۰۱۱ به بعد تجربه کرده‌اند که می‌تواند ناشی از افزایش فراوانی خشکسالی‌ها (Xu, 2006; Miri et al., 2009, 2010)، تغییرات اقلیمی (عراقی نژاد و همکاران، ۱۳۹۷؛ Miri et al., 2021)، تغییر کاربری اراضی (Modarres & Sadeghi, 2018)، سدسازی در مناطق تولید گردوغبار (Azizi et al., 2012b) و یا تغییر رفتار الگوهای بزرگ‌مقیاس اقلیمی (Amanollahi, 2015; Rashki et al., 2015) باشد که نیازمند مطالعات دقیق‌تر از دیدگاه سینوپتیکی، دینامیکی و سنجش از دور خواهد بود. این نتایج نشان می‌دهد وضعیت تغییرات گردوغبار در اقلیم فراه‌خشک شدیدتر از دو اقلیم خشک و نیمه‌خشک بوده و به‌عنوان هشدار در بخش مدیریت گردوغبار خواهد بود. در این بین تحلیل خسارت ناشی از طوفان‌های گردوغبار و بازنگری در آن‌ها به‌ویژه در مناطق روستایی که عمده فعالیت‌های کشاورزی و امنیت غذایی در آن‌ها صورت می‌گیرد (Darvishi Boloorani et al., 2023) می‌تواند به‌عنوان مباحث تحقیقاتی آتی مدنظر قرار گیرد. از طرف دیگر، افزایش شدید شیب روند در دوره بعد از ۲۰۰۵ و ۲۰۱۱ به بعد مدل‌سازی رخداد این پدیده را مشکل خواهد ساخت که لازم است از مدل‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق استفاده شود (هلالی و بذرافشان، ۱۳۹۲؛ عراقی نژاد و همکاران، ۱۳۹۷؛ Ebrahimi Khusfi et al., 2021).

جدول ۱. وضعیت روند سری زمانی داده‌های گردوغبار به همراه رابطه و سال تشدید روند

سال تشدید روند	رابطه	ایستگاه	اقلیم	سال تشدید روند	رابطه	ایستگاه	اقلیم
۲۰۱۰	$y = 0.0035x + 0.8097$	سبزوار	خشک	۲۰۰۶	$y = 0.0264x + 2.8342$	آبادان	فراخشک
۲۰۱۴	$y = 0.0053x - 0.6394$	سمنان	خشک	۲۰۱۳	$y = 0.0103x + 1.1616$	بیم	فراخشک
۲۰۱۶	$y = 0.001x + 0.0636$	شاهرود	خشک	۲۰۱۲	$y = 0.042x - 0.6669$	بندرلنگه	فراخشک
۲۰۱۱	$y = 0.0171x - 2.0109$	تهران شمال	خشک	۲۰۱۳	$y = 0.0099x - 0.4214$	بیرجند	فراخشک
۲۰۱۱	$y = 0.0237x - 2.5631$	تهران مهرآباد	خشک	۲۰۱۲	$y = 0.0272x - 0.3171$	چابهار	فراخشک
۲۰۱۰	$y = 0.0048x - 0.3183$	اردبیل	نیمه خشک	۲۰۱۱	$y = 0.0195x - 1.5564$	اصفهان	فراخشک
۲۰۱۳	$y = -0.0101x + 10.904$	دزفول	نیمه خشک	۲۰۱۴	$y = 0.0165x + 4.2977$	ایران‌شهر	فراخشک
۲۰۱۱	$y = 0.0174x - 1.181$	قزوین	نیمه خشک	۲۰۱۲	$y = 0.0029x + 0.0529$	کاشان	فراخشک
۲۰۰۶	$y = 0.0005x + 2.4451$	همدان فرودگاه	نیمه خشک	۲۰۱۲	$y = 0.0321x + 0.5939$	شرق اصفهان	فراخشک
۲۰۱۲	$y = -0.0005x + 5.0658$	همدان نوژه	نیمه خشک	۲۰۱۰	$y = 0.0121x + 3.1764$	طبس	فراخشک
۲۰۰۶	$y = 0.0054x + 2.2006$	کرمانشاه	نیمه خشک	۲۰۱۲	$y = 0.007x + 4.6983$	یزد	فراخشک
۲۰۰۵	$y = 0.0084x + 0.5915$	خرم آباد	نیمه خشک	۲۰۰۵	$y = -0.0045x + 16.289$	زابل	فراخشک
۲۰۱۲	$y = 0.0058x - 0.6284$	خوی	نیمه خشک	۲۰۱۱	$y = 0.0123x + 4.7172$	زاهدان	فراخشک
۲۰۱۱	$y = 0.0087x + 1.4662$	مشهد	نیمه خشک	۲۰۰۵	$y = 0.0406x + 1.1629$	جاسک	فراخشک
۲۰۰۹	$y = 0.0121x - 1.3228$	ارومیه	نیمه خشک	۲۰۱۰	$y = 0.03x + 2.8756$	اهواز	خشک
۲۰۰۵	$y = 0.01x + 0.2897$	سنندج	نیمه خشک	۲۰۰۵	$y = 0.0143x + 6.7232$	بوشهر ساحلی	خشک
۲۰۰۸	$y = 0.0085x - 0.6327$	شهرکرد	نیمه خشک	۲۰۱۲	$y = 0.0162x + 6.1952$	بوشهر	خشک
۲۰۱۰	$y = 0.0046x + 6.7331$	شیراز	نیمه خشک	۲۰۱۰	$y = 0.0023x + 1.5523$	دوشان تپه	خشک
۲۰۰۷	$y = 0.0127x + 0.2581$	تبریز	نیمه خشک	۲۰۰۵	$y = 0.0326x - 3.4289$	قم	خشک
۲۰۱۲	$y = 0.0064x - 0.2487$	ترت حیدریه	نیمه خشک	۲۰۰۶	$y = 0.023x - 2.4594$	کرج	خشک
۲۰۱۳	$y = 0.0057x - 0.3767$	زنجان	نیمه خشک	۲۰۱۳	$y = 0.0005x + 2.0147$	کرمان	خشک





شکل ۶. سری زمانی ماهانه فراوانی روزهای گردوغبار در اقلیم‌های مختلف بر مبنای روش رگرسیون (منحنی آبی شیب روند؛ منحنی قرمز میانگین متحرک ۱۲ ماهه)

### تحلیل روند با روش منکندال و شیب سن

بررسی نتایج تحلیل روند وجود روند افزایشی و معنادار تعداد روزهای گردوغبار را در اکثر ایستگاه‌ها و اقلیم‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد (جدول ۲). این نتایج نشان می‌دهد در اقلیم فراهشک تغییرات روند تعداد روزهای گردوغبار بر اساس روش شیب سن در زمستان، بهار، تابستان، پاییز و سالانه به ترتیب بین ۲ تا ۶۸، ۱۴ تا ۶۹، ۲۳ تا ۶۸، ۴ تا ۵۵ و ۳۲ تا ۲۶۱ روز است. در این اقلیم فراوانی روندهای افزایشی معنادار بر اساس روش منکندال در زمستان، بهار، تابستان، پاییز و سالانه به ترتیب ۹۳، ۷۱، ۵۷، ۶۴ و ۶۴ درصد ایستگاه‌ها و روندهای کاهشی معنادار نیز در زمان‌های فوق به ترتیب در صفر، ۷، ۷، صفر و ۷ درصد ایستگاه‌ها را تشکیل می‌دهند. بنابراین روندهای افزایشی تعداد روزهای گردوغبار وضعیت غالب در این اقلیم خشک تغییرات روند تعداد روزهای گردوغبار بر اساس روش شیب سن در زمستان، بهار، تابستان، پاییز و سالانه به ترتیب بین ۲ تا ۵۴، ۶ تا ۳۱، ۲ تا ۳۷، ۴ تا ۴۵ و ۱۵ تا ۱۸۷ روز است. در این اقلیم فراوانی روندهای افزایشی معنادار بر اساس روش منکندال در زمستان، بهار، تابستان، پاییز و سالانه به ترتیب ۸۳، ۵۸، ۵۰، ۸۳ و ۸۳ درصد ایستگاه‌ها و روندهای کاهشی معنادار نیز در زمان‌های فوق به ترتیب در ۸، ۱۷، ۸، ۸ و ۸ درصد ایستگاه‌ها را تشکیل می‌دهند. بنابراین در این اقلیم نیز روندهای افزایشی تعداد روزهای گردوغبار وضعیت غالب است. در اقلیم نیمه‌خشک تغییرات روند تعداد روزهای گردوغبار بر اساس روش شیب سن در زمستان، بهار، تابستان، پاییز و سالانه به ترتیب بین ۴ تا ۲۳، ۳۱ تا ۳۱، ۲۱ تا ۳۹، ۹ تا ۱۱ و ۱۲ تا ۸۶ روز است. در این اقلیم فراوانی روندهای افزایشی معنادار بر اساس روش منکندال در زمستان، بهار، تابستان، پاییز و سالانه به ترتیب ۸۸، ۴۴، ۱۳، ۶۳ و ۶۳ درصد ایستگاه‌ها و روندهای کاهشی معنادار نیز در زمان‌های فوق به ترتیب در صفر، ۶، ۱۹، ۶ و ۶ درصد ایستگاه‌ها را تشکیل می‌دهند. بنابراین در این اقلیم نیز روندهای افزایشی تعداد روزهای گردوغبار وضعیت غالب است. نتایج شیب و نوع روند ایستگاهی (فارغ از نوع اقلیم) نشان می‌دهد در فصول زمستان، بهار، تابستان، پاییز و سالانه به ترتیب بین ۴ تا ۶۸، ۳۱ تا ۶۹، ۳۹ تا ۶۸، ۱۱ تا ۶۸ و ۵۵ تا ۸۶ روز تغییر کرده است و از نظر فراوانی نیز روندهای افزایشی معنادار در فصول فوق به ترتیب در ۸۸، ۵۵، ۴۰، ۶۹ و ۶۹ درصد ایستگاه‌ها و روندهای کاهشی معنادار نیز به ترتیب در ۲، ۱۰، ۱۲، ۵ و ۷ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه قابل مشاهده است. این نتایج نشان می‌دهد هرچند بزرگی روندهای افزایشی زیادتر و شدیدتر است ولی روندهای کاهشی فصلی بین ۴ تا ۳۹ روز و سالانه تا ۸۶ روز رسیده است به طوری که بیشترین روند در فصل بهار دیده می‌شود که با مطالعات به دست آمده سایر محققان متفاوت (علیچانی، ۱۳۷۶؛ هالالی و همکاران، ۱۳۹۲a؛ Miri et al., 2010) و با تعدادی دیگر از آن‌ها (Beyranvand et al., 2019؛ زینالی، ۱۳۹۵) همخوانی دارد. بنابراین در دوره بلندمدت اقلیمی ۴۵ ساله در فصل زمستان ایستگاه‌های بیشتری درگیر پدیده گردوغبار بوده‌اند که تغییر زمانی این پدیده از فصول خشک به فصول مرطوب‌تر شده است که این نتایج در سایر مطالعات دیده نمی‌شود. در این مورد لازم است تاثیر متغیرهای خشکسالی و اقلیمی از دوره ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ به بعد در منابع داخلی و خارجی از طریق تحلیل‌های ماهواره‌ای و استفاده از مدل‌های هواشناسی-فیزیکی (کرمانی و همکاران، ۱۳۹۵؛ Kaskaoutis et al., 2015؛ Darvishi Boloorani et al., 2013؛ Darvishi Boloorani et al., 2020؛ Dashedi-Roudbari & Ahmadi, 2021) مورد بازنگری قرار گیرد.

جدول ۲. مقادیر روند منکندال و شیب سن فصلی و سالانه تغییرات روزهای گردوغبار

اقلیم	ایستگاه	زمستان		بهار		تابستان		پاییز		سالانه	
		MK	SS	MK	SS	MK	SS	MK	SS	MK	SS
فراهشک	آبادان	۴۵	***	۲۲	*	۱۹	ns	۲۶	**	۱۴۲	**
فراهشک	بم	۱۹	*	۲۲	**	۲۱	**	۵	**	۷۱	**
فراهشک	بندرلنگه	۶۳	**	۶۹	**	۶۷	**	۵۱	**	۲۶۱	**

**	۳۵	**	۳	**	۸	**	۱۳	**	۱۱	بیرجند	فراخشک
**	۹۵	**	۲۰	**	۴۵	*	۲۵	**	۲۴	چابهار	فراخشک
ns	۴۵	**	۶	ns	۸	*	۱۷	*	۸	اصفهان	فراخشک
**	۸۴	**	۱۰	**	۳۸	**	۳۰	*	۱۱	ایران شهر	فراخشک
ns	۸	ns	۰	ns	۰	ns	۰	**	۲	کاشان	فراخشک
ns	۲۵	ns	۶	ns	۲۸	ns	۱۷	ns	۹	شرق اصفهان	فراخشک
**	۷۹	**	۶	*	۱۶	**	۳۱	**	۱۹	طیس	فراخشک
ns	۲۸	ns	۰	ns	-۳	ns	۴	*	۱۴	یزد	فراخشک
**	-۳۲	ns	-۴	**	-۲۳	*	-۱۴	**	۱۲	زابل	فراخشک
**	۷۱	ns	۵	**	۲۵	**	۲۵	**	۱۲	زاهدان	فراخشک
**	۲۴۶	**	۵۵	**	۵۷	**	۶۲	**	۶۸	جاسک	فراخشک
**	۱۸۷	**	۳۴	**	۳۷	**	۳۱	**	۵۴	اهواز	خشک
**	۱۰۵	**	۲۷	**	۲۹	ns	۱۰	**	۲۹	بوشهر ساحلی	خشک
**	۱۱۱	**	۴۵	*	۲۵	ns	۲	**	۳۶	بوشهر	خشک
**	-۱۵	**	-۴	*	-۲	*	-۶	*	-۲	دوشان تپه	خشک
**	۱۲۷	**	۳۱	**	۳۳	**	۳۰	**	۲۲	قم	خشک
**	۸۶	**	۲۹	*	۹	**	۱۸	**	۲۰	کرج	خشک
ns	۰	ns	۰	ns	-۲	ns	۰	ns	۲	کرمان	خشک
**	۲۴	**	۵	ns	۲	ns	۵	**	۸	سبزوار	خشک
**	۱۶	**	۲	ns	۰	**	۲	**	۴	سمنان	خشک
*	۳	ns	۰	ns	۰	*	-۱	*	۱	شاهرود	خشک
**	۴۵	**	۱۱	**	۱۱	**	۱۱	**	۱۲	تهران شمال	خشک
**	۴۴	**	۱۱	**	۶	**	۱۴	*	۲۰	تهران مهرآباد	خشک
*	۷	ns	۰	ns	۰	*	۱	*	۱	اردبیل	نیمه خشک
**	-۸۶	**	-۱۱	**	-۳۹	**	-۳۱	ns	-۴	دزفول	نیمه خشک
ns	۶	ns	۰	ns	۰	ns	۵	**	۴	قزوین	نیمه خشک
ns	۳	ns	۰	*	-۱۰	ns	-۴	**	۸	همدان فرودگاه	نیمه خشک
ns	۰	ns	۰	ns	-۹	ns	-۱۲	ns	۳	همدان نوژه	نیمه خشک
*	۲۹	ns	۵	ns	۰	ns	۴	**	۱۴	کرمانشاه	نیمه خشک
**	۴۰	*	۱	*	۱۰	**	۲۱	**	۱۰	خرم آباد	نیمه خشک
**	۱۳	ns	۰	ns	۰	ns	۰	**	۲	خوی	نیمه خشک
ns	۳۳	**	۱۰	**	-۱۲	ns	۰	**	۱۰	مشهد	نیمه خشک
**	۴۵	**	۴	ns	۰	**	۶	**	۳	ارومیه	نیمه خشک
**	۵۸	**	۱۲	ns	۵	**	۱۸	**	۱۲	سنندج	نیمه خشک
**	۴۳	**	۴	**	۷	**	۱۶	**	۷	شهرکرد	نیمه خشک
ns	۴۳	ns	۱۱	ns	-۳	ns	-۷	**	۲۲	شیراز	نیمه خشک
**	۵۴	**	۱۰	ns	-۲	ns	۴	**	۱۵	تبریز	نیمه خشک
*	۲۰	**	۳	ns	۰	**	۷	**	۶	ترت حیدریه	نیمه خشک
**	۲۰	*	۲	ns	۰	*	۶	**	۳	زنجان	نیمه خشک

نکته: \* و \*\* معنادار در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد؛ ns غیرمعنادار

## نتیجه گیری

بروز پدیده گردوغبار در واقع نشأت گرفته از اثرات متقابل عوامل مختلفی است که از آن جمله می توان عوامل هواشناسی، جغرافیایی و انسانی را نام برد. هدف این مطالعه بررسی تغییرات و روند فصلی و سالانه تعداد روزهای وقوع گردوغبار در دوره در دوره اقلیمی ۴۵ ساله و در دو دوره مختلف در ۴۲ ایستگاه در غالب سه اقلیم فراخشک، خشک و نیمه خشک ایران بود. نتایج این مطالعه تشدید وقوع گردوغبار را در دوره بعد از ۲۰۰۵ نسبت به دوره قبل از آن و کل دوره اقلیمی ۴۵ ساله نشان می دهد به طوری که شدت این افزایش در اقلیم های فراخشک نسبت به اقلیم های خشک و نیمه خشک بیشتر است. این نتیجه مشخص کرد رخداد پدیده گردوغبار مناطق واقع در اقلیم فراخشک که مستعدتر هستند تشدید شده است که می تواند تبعات جبران ناپذیری بر بخش های بهداشتی، تغییر کاربری اراضی، کشاورزی و در نهایت



اقتصادی-اجتماعی داشته باشد. همچنین وقوع شیب افزایشی شدید در دوره بین ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ به بعد مدل سازی سری زمانی این پدیده را مشکل نماید.

نتایج نشان می‌دهد برخلاف سایر مطالعات فراوانی ایستگاه‌هایی که تغییرات افزایشی گردوغبار داشته‌اند در فصل زمستان بیشتر بوده است و به عبارتی تعداد ایستگاه‌های بیشتری در زمستان درگیر این پدیده بوده‌اند درحالی‌که در مطالعات پیشین این وضعیت در تابستان رخ داده است. همچنین روند افزایشی تعداد روزهای گردوغبار برخلاف مطالعات پیشین عمدتاً در فصل بهار بوده است. این نتایج بیانگر نوعی تغییر زمانی وقوع پدیده گردوغبار از فصول خشک به فصول مرطوب زمستان و بهار است که نیازمند مطالعات همه‌جانبه است. با توجه به تأثیرپذیری این پدیده از عوامل مختلف از جمله عوامل اقلیمی (خشکسالی‌ها، نوسان متغیرهای اقلیمی)، انسان محور (تغییر کاربری اراضی مرتعی به کشاورزی و ساخت‌وساز، سدسازی) و منشاء خارجی و داخلی مدنظر قرار گرفته و با کمک مدل‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق اقدام به پیش‌بینی این پدیده نمود. از سوی دیگر، لزوم به‌روز نمودن تأثیر عوامل اقلیمی و غیر اقلیمی از طریق مدل‌های فیزیکی-هواشناسی و فناوری سنجش ازدور ضروری به نظر می‌رسد. در نهایت با توجه به شیب جهشی و ناگهانی از دوره ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ به بعد، نیاز به مطالعه‌ای در جهت برآورد خسارت‌های ناشی از این پدیده بر بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی، حمل‌ونقل، صنایع به‌خصوص تولید برق نیروگاه‌های خورشیدی و در نتیجه راهکارهای عملیاتی جهت مقابله با گردوغبار احساس می‌شود.

## سپاس‌گزاری

بدین وسیله از سازمان هواشناسی کشور به دلیل در اختیار قرار دادن اطلاعات روزهای همراه با پدیده گردوغبار تشکر و قدردانی می‌گردد.

## "هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

## منابع

- حسین‌زاده، سیدرضا؛ (۱۳۷۶). بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، تحقیقات جغرافیایی، ۴۶: ۱۰۳-۱۲۷.
- خالدی، کوهسار؛ (۱۳۹۲). زیان‌های اقتصادی طوفان گردوغبار بر استان‌های غربی ایران (مطالعه موردی: ایلام، خوزستان و کرمانشاه)، مدل‌سازی اقتصادی، ۲۳، ۱۰۵-۱۲۵.
- ذوالفقاری، حسن؛ و عابدزاده، حیدر؛ (۱۳۸۴). تحلیل سینوپتیک سیستم‌های گردوغبار در غرب ایران، جغرافیا و توسعه، ۸۴، ۱۸۷-۱۷۳.
- رسولی، علی اکبر؛ ساری‌صراف، بهروز؛ محمدی، غلامحسین؛ (۱۳۸۹). تحلیل روند وقوع پدیده اقلیمی گردوغبار در غرب کشور در ۵۵ سال اخیر با استفاده از روش‌های آماری ناپارامتری، جغرافیای طبیعی، ۳(۹)، ۲۸-۱۵.
- زنگنه، معصومه؛ (۱۳۹۳). آب‌هواشناسی توفان‌های گردوغبار در ایران، آب و هواشناسی کاربردی، ۱، ۱-۱۲.
- زینالی، بتول؛ (۱۳۹۵). بررسی روند تغییرات فراوانی روزهای همراه با توفان‌های گردوغباری نیمه غربی ایران، مخاطرات محیط طبیعی، ۵(۷)، ۸۷-۱۰۰.
- عراقی‌نژاد، شهاب؛ انصاری قوجقار، محمد؛ پورغلام آمیجی، مسعود؛ لیاقت، عبدالمجید؛ و بذرافشان، جواد؛ (۱۳۹۷). تأثیر نوسانات اقلیمی بر فراوانی طوفان‌های گردوغبار در ایران، اکوسیستم بیابان، ۲۱، ۱۳-۳۲.
- عزیزی، قاسم؛ میری، مرتضی؛ نبوی، سید امید؛ (۱۳۹۱a). ردیابی پدیده گردوغبار در نیمه غربی ایران، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۲(۷)، ۶۳-۸۱.
- علیجانی، پهلول؛ (۱۳۷۶). آب و هوای ایران، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.
- کرمانی، مجید؛ طاهریان، الهام؛ و ایزانلو، مریم؛ (۱۳۹۵). تحلیل تصاویر ماهواره‌ای ریزگردها و طوفان‌های گردوغباری در ایران به منظور بررسی منشاءهای داخلی و خارجی و روش‌های کنترل آنها، راه‌آورد سلامت، ۲(۱)، ۳۹-۵۱.
- کرمی، فریبا؛ (۱۳۸۸). همگرایی سیستم‌های فشار و توفان‌های گردوغبار در استان خوزستان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه جغرافیای دانشگاه رازی.
- لشکری، ح. و کیخسروی، ق.، (۱۳۸۷). تحلیل آماری سینوپتیکی توفان‌های گردوغبار استان خراسان رضوی در فاصله زمانی ۲۰۰۵-۱۹۹۳، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ۶۵، ۳۳-۱۷.
- هلالی، جلیل؛ و بذرافشان، جواد؛ (۱۳۹۲). مدل‌سازی و رابطه‌یابی وقوع پدیده گردوغبار با استفاده از متغیرهای زمین‌آماری در گستره ایران، سومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گردوغبار، ۲۶-۲۵ دی ماه، دانشگاه یزد.
- هلالی، جلیل؛ بذرافشان، جواد؛ و اسعدی اسکویی، ابراهیم؛ (۱۳۹۲a). تحلیل مکانی و زمانی تعداد روزهای همراه با پدیده گردوغبار در گستره ایران،

سومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گردوغبار، ۲۶-۲۵ دی ماه، دانشگاه یزد.

هلالی، جلیل؛ اسعدی اسکویی، ابراهیم؛ و بذرافشان، جواد؛ (۱۳۹۲ب). پهنه‌بندی تعداد روزهای همراه با پدیده گردوغبار در گستره ایران با استفاده از تکنیک سامانه اطلاعات جغرافیایی، سومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گردوغبار، ۲۶-۲۵ دی ماه، دانشگاه یزد.

## REFERENCES

- Abbasi, F., Bazgeer, S., Kalehbasti, P. R., Oskoue, E. A., Haghghat, M., & Kalehbasti, P. R. (2021). New climatic zones in Iran: a comparative study of different empirical methods and clustering technique. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-15.
- Alijani, B. (1997). Climatology of Iran, *Payam Noor University press*, Tehran (In Persian).
- Amanollahi, J., Kaboodvandpour, S., Qhavami, S. & Mohammadi, B. (2015). Effect of the temperature variation between Mediterranean Sea and Syrian deserts on the dust storm occurrence in the western half of Iran. *Atmospheric Research*, 154, 116-125.
- Araghinejad, S., Ansari Ghojghar, M., PourGholam Amigi, M., Liaghat, A. & Bazrafshan, J. (2019). The effect of climate fluctuation on frequency of dust storms in Iran. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 7(21), 13-32 (In Persian).
- Armbrust, D.V. (1984). Wind and sandblast injury to field crops: Effects of plant age. *Agronomy Journal*, 76, 991-993.
- Azizi, G., Miri, M. & Nabavi, S.A. (2012a). Tracing the dust Storm phenomenon in the western half of Iran, *Journal of arid regions geographic studies*, 2(7), 63-81 (In Persian).
- Azizi, G., Shamsipour, A., Miri, M. and Safarrad, T. (2012b). Synoptic and remote sensing analysis of dust events in southwestern Iran. *Natural hazards*, 64, 1625-1638.
- Baghbanan, P., Ghavidel, Y. & Farajzadeh, M. (2020). Temporal long-term variations in the occurrence of dust storm days in Iran. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 132, 885-898.
- Bennion, P., Richard, H., O'Hara, S., Wiggs, G., Wegerdt, J., Lewis, S. & Small, I. (2007). The impact of airborne dust on respiratory health in children living in the Aral Sea region. *International Journal of Epidemiology*, 36, 1103-1110.
- Beyranvand, A., Azizi, G., Alizadeh-Choobari, O. & Darvishi Bolorani, A. (2019). Spatial and temporal variations in the incidence of dust events over Iran. *Natural Hazards*, 97, 229-241.
- Dadashi-Roudbari, A. & Ahmadi, M. (2021). An assessment of change point and trend of diurnal variation of dust storms in Iran: a multi-instrumental approach from in situ, multi-satellite, and reanalysis dust product. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 133(5), 1523-1544.
- Darvishi Bolorani, A., Soleimani, M., Neysani Samany, N., Bakhtiari, M., Qareqani, M., Papi, R., & Mirzaei, S. (2023). Assessment of Rural Vulnerability to Sand and Dust Storms in Iran. *Atmosphere*, 14(2), 281.
- Davishi Bolorani, A., Nabavi, S.O., Azizi, R. & Bahrami, H.A. (2013). Characterization of dust storm sources in western Iran using a synthetic approach. *In Advances in meteorology, climatology and atmospheric physics*: 415-420.
- Davishi Bolorani, A., Kazemi, Y., Sadeghi, A., Shorabeh, S. N., & Argany, M. (2020). Identification of dust sources using long term satellite and climatic data: A case study of Tigris and Euphrates basin. *Atmospheric Environment*, 224, 117299.
- Dietz, A.G.H. (1963). Diathermanous materials and properties of surfaces. *Introduction to the utilization of solar energy*, 59-86.
- Dodangeh, E., Shao, Y. & Daghestani, M. (2012). L-Moments and fuzzy cluster analysis of dust storm frequencies in Iran. *Aeolian Research*, 5, 91-99.
- Ebrahimi-Khusfi, Z., Taghizadeh-Mehrjardi, R. & Mirakbari, M. (2021). Evaluation of machine learning models for predicting the temporal variations of dust storm index in arid regions of Iran. *Atmospheric Pollution Research*, 12(1), 134-147.
- Engelstadler, S. (2001). Dust Storm Frequencies and Their Relationships to Land Surface Conditions. *Freidrich Schiller University Press*. Jena. Germany.
- Fairlie, T.D., Jacobb, D.J. & Parkb, R.J. (2007). The impact of transpacific transport of mineral dust in the United States. *Atmospheric Environment*, 41, 1251-1266.
- Fryrear, D.W. (1971). Survival and growth of cotton plants damaged by windblown sand. *Agronomy Journal*, 63 (4), 638-642.



- Fryrear, D.W. (1990). Wind Erosion: Mechanics, Prediction, and Control. *Advances in Soil Science*, 13, 187-199.
- Gerivani, H., Lashkaripour, G. R., Ghafoori, M., & Jalali, N. (2011). The source of dust storm in Iran: a case study based on geological information and rainfall data. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 6.
- Ghamkhar, M., Roustaei, F. & Ebrahimi-Khusfi, Z. (2022). Spatiotemporal variations of internal dust events in urban environments of Iran, Southwest Asia. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-18.
- Gilbert, Richard O. (1987). Statistical methods for environmental pollution monitoring. *John Wiley & Sons*.
- Gocic, M. & Trajkovic, S. (2013). Analysis of changes in meteorological variables using MannKendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. *Global and Planetary Change*, 100, 172-182.
- Hamidi, M., Kavianpour, M.R. & Shao, Y. (2013). Synoptic analysis of dust storms in the Middle East. *Asia-Pacific Journal of atmospheric sciences*, 49, 279-286.
- Helali, J. & Bazrafshan, J. (2014). Modeling of the occurrence of dust phenomenon using geostatistical variables in Iran. *The third national conference on wind erosion and dust storms*, January 15-16, Yazd, Iran (In Persian)
- Helali, J., Asadi Oskouei, E. & Bazrafshan, J. (2014b). Zoning of the dust Storm Days in Iran using GIS. *The third national conference on wind erosion and dust storms*, January 15-16, Yazd, Iran (In Persian)
- Helali, J., Bazrafshan, J. & Asadi Oskouei, E. (2014a). Spatio-temporal analysis of dust storms days in Iran. *The third national conference on wind erosion and dust storms*, January 15-16, Yazd, Iran (In Persian)
- Hirsch, R., Helsel, D., Cohn, T., & Gilroy, E. (1993). Statistical analysis of hydrologic data. In D. R. Maidment (Ed.), *Handbook of hydrology (Chap. 17)*, New York: McGraw-Hill.
- Hoseinzadeh, R. (1997). 120-day winds of Sistan. *Geographical Researches*, 46, 103-127 (In Persian)
- Karami, F. (2009). Pressure systems convergence and dust storms in Khuzestan province. *MSc thesis, Department of Geography, Razi University*. (In Persian)
- Karmeshu, N. (2012). Trend detection in annual temperature & precipitation using the Mann Kendall test—a case study to assess climate change on select states in the northeastern United States. *Master of Environmental Studies Capstone Projects*, Department of Earth & Environmental Science, University of Pennsylvania.
- Kaskaoutis, D.G., Rashki, A., Houssos, E.E., Mofidi, A., Goto, D., Bartzokas, A., Francois, P. & Legrand, M. (2015). Meteorological aspects associated with dust storms in the Sistan region, southeastern Iran. *Climate Dynamics*, 45, 407-424.
- Kellogg, C.A. & Griffin, D.W. (2006). Aerobiology and the global transport of desert dust. *Trends Ecol Evol*, 21, 638-44.
- Kendall, M.G. (1975). Rank correlation methods. *London: Griffin*.
- Kermani, M., Taherain, E. & IZanloo, M. (2016). Analysis of dust and dust storms in Iran, Investigation Internal and external origin of dust storms in Iran using satellite images and Control methods. *Rahavard Salamat Journal*, 2(1), 39-51. (In Persian)
- Khaledi, K.S. (2013). Economic loss of dust storms in Iran west provinces case study of Ilam, Khuzestan and Kermanshah. *Economical Modeling*, 7(23), 105-125 (In Persian).
- Kutiel, H. & Furman, H. (2003). Dust Storms in the Middle East: Sources of Origin and their Temporal Characteristics. *Indoor Built Environ*, 12(6), 419-426.
- Lashkari, H. & Keykhosravi, Gh. (2008). Statistical Synoptic analysis of dust storm in Khorasan Razavi province (1993-2005). *Physical Geography Research Quarterly*, 65, 17-33 (In Persian).
- Liu, C., Chea-Yuan, Y. & Yen-Chih, L. (2006). Influence of Asian dust storms on air quality in Taiwan, *Science of the Total Environment*, 368, 884-897.
- Maghrabi, A., Alharbi, B. & Tapper, N. (2009). Impact of the March 2009 dust event in Saudi Arabia on aerosol optical properties, meteorological parameters, sky temperature and emissivity. *Atmos Environ*, 45, 2164-2173.
- Mann, H.B. (1945). Non-parametric tests against trend. *Econometrica*, 13, 245-259.
- Meng, Z. & Lu, B. (2007). Dust events as a risk factor for daily hospitalization for respiratory and



- cardiovascular diseases in Minqin, China. *Atmos Environ*, 41, 331-343.
- Michalsky, J.J., Perez, R., Stewart, R., LeBaron, B.A. & Harrison, L. (1988). Design and development of a rotating shadow band radiometer solar radiation/daylight network, *Solar Energy*, 41, 577-581.
- Miri, A. & Middleton, N. (2022). Long-term impacts of dust storms on transport systems in south-eastern Iran. *Natural Hazards*, 114(1), 291-312.
- Miri, A., Ahmadi, H., Ekhtesasi, M.R., Panjehkeh, N. & Ghanbari, A. (2009). Environmental and socio-economic impacts of dust storms in Sistan Region, Iran. *International journal of environmental studies*, 66(3), 343-355.
- Miri, A., Maleki, S. & Middleton, N. (2021). An investigation into climatic and terrestrial drivers of dust storms in the Sistan region of Iran in the early twenty-first century. *Science of the Total Environment*, 757, 143952.
- Miri, A., Moghaddamnia, A., Pahlavanravi, A. & Panjehkeh, N. (2010). Dust storm frequency after the 1999 drought in the Sistan region, Iran. *Climate Research*, 41(1), 83-90.
- Miri, A., Pahlavan, R., A. & Moghadamnia, A. (2009). Investigation occurrence of dust storm in the sistan region after periodic droughts. *Iranian Journal of Rang and Desert Research*, 3, 329-342 (In Persian).
- Misconi, H., & Navi, M. (2010). Medical geology in the Middle East. *Medical Geology: A Regional Synthesis*, 135-174.
- Modarres, R. & Sadeghi, S. (2018). Spatial and temporal trends of dust storms across desert regions of Iran. *Natural Hazards*, 90, 101-114.
- Nickovic, S. & Sprigg, W.A. (2011). WMO Sand and Dust Storm Warning Advisory and Assessment System (SDS-WAS): Regional Cooperation Initiative for Americas. *In AGU Fall Meeting Abstracts*, U14A-01.
- Partal, T. & Kahya, E. (2006). Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrological Processes*, 20(9), 2011-2026.
- Prospero, J.M., Blades, E., Naidu, R., Mathison, G., Thani, H. & Lavoie, M.C. (2008). Relationship between African dusts carried in the Atlantic trade winds and surges in pediatric asthma attendances in the Caribbean. *International Journal of Biometeorology*, 52, 823-832.
- Rashki, A., Kaskaoutis, D.G., Francois, P., Kosmopoulos, P.G. & Legrand, M. (2015). Dust-storm dynamics over Sistan region, Iran: Seasonality, transport characteristics and affected areas. *Aeolian Research*, 16, 35-48.
- Rashki, A., Middleton, N.J. & Goudie, A.S. (2021). Dust storms in Iran—Distribution, causes, frequencies and impacts. *Aeolian Research*, 48, 100655.
- Rasouli, A.A., Sari Sarraf, B. & Mohammadi, Gh. (2010). Trend analysis the number of dusty days in the past 55 years in the west of Iran, using non-parametric statistics. *Journal of Physical Geography*, 3(9), 15-28. (In Persian)
- Sarver, T., Al-Qaraghuli, A. & Lawrence, L.K. (2013). A comprehensive review of the impact of dust on the use of solar energy: History, investigations, results, literature, and mitigation approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 698-733.
- Sen, P.K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379-1389.
- Squires, V.R. (2001). Dust and sandstorms: an early warning of impending disaster. *Global alarm: Dust and sandstorms from world's drylands*, 15-28.
- Toon, O.B. (2003). African dust in Florida clouds, *Nature*, 424, 623-624.
- von Storch, H. & Navarra, A. (1995). Analysis of climate variability. *Applications of statistical techniques*. New York: Springer.
- von Storch, H. & Navarra, A. (1999). Analysis of climate variability. *Applications of statistical techniques*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, 2 nd.
- Wang, S., Wang, J., Zhou, Z. & Shang, K. (2005). Regional characteristics of three kinds of dust storm events in China. *Atmos Environ*, 39 (3), 509-520.
- Wang, W. (2005). A Synoptic Model on East Asian Dust Emission and Transport. *Atmospheric Science and Air Quality Conferences Beijing, China*, 13.
- Xu, J. (2006). Sand-dust storms in and around the Ordos Plateau of China as influenced by land use change and desertification. *Catena*, 65, 279-284.



- Yaalon, D. (1996). Comments on the source, transportation and deposition of Saharan dust to Southern Europe, *Journal of Arid Environments*, 36, 193-196.
- Yu, Y.-S., Zou, S. & Whittemore, D. (1993). Non-parametric trend analysis of water quality data of rivers in Kansas. *Journal of Hydrology*, 150, 61-80.
- Zanganeh, M. (2014). Climatology of Dust storms in Iran. *Applied Climatology*, 1:1-12 (In Persian).
- Zeinali, B. (2016). Investigation of frequency changes trend of days with dust storms in western half of Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 5(7), 87-100 (In Persian).
- Zhai, L. & Feng, Q. (2009). Spatial and temporal pattern of precipitation and drought in Gansu Province, Northwest China. *Natural Hazards*, 49, 1-24.
- Zhang, B.L., Atsushi, T. and Mitsuru, T. (2008). Contributions of Sandy Lands and Stony Deserts to Long-Distance Dust Emission in China and Mongolia during 2000-2006. *Global and Planetary Change*, 60, 487-504.
- Zohfaghari, H. & Abedzadeh, H. (2005). Synoptic analysis of dust systems in western Iran, *Geography and Development*, 84, 173-187 (In Persian).

## Spatio-temporal analysis of seasonal and annual trends of dust storm days in arid climates of Iran

### EXTENDED ABSTRACT

#### Introduction

Dust storm (DS) is an atmospheric phenomenon that causes economic damage to the environmental and agricultural sections. The occurrence of this type of weather has exerted an extremely adverse effect upon the environment. In recent years, the frequency and intensity of dust storms have increased dramatically in Iran (Gerivani et al., 2011; Miri et al., 2021). These atmospheric phenomena have been recognized as having a very wide range of environmental, health and climate impacts in the southern provinces of Iran including the southwest of Khuzestan Province and the northern part of the southeastern Sistan and Baluchistan Provinces (Misconi & Navi, 2010). This study aims to investigate and compare the annual and seasonal variability of DS days before and after the 2005 year using 42 synoptic stations of DS days during three periods: 1977-2005, 2005-2021 and 1977-2021.

#### Material and Methods

##### Study Area

Iran, with an area of 1,648,195 km<sup>2</sup>, between the eastern longitudes of 44–63° and the northern latitudes of 25–45°, is located in the dust belt that extends from the west coast of North Africa, over the Middle East, Central and South Asia, to China. This country borders the Caspian Sea in the north and the Persian Gulf and Oman sea in the south. The Zagros in the west and the Alborz in the north are the two ranges of high mountains of this country which have a vital role in preventing the Mediterranean and the Caspian Sea winds near the central plateau of Iran, respectively. The country has a different type of climate. It is mild and quite wet on the coast of the Caspian Sea, continental and arid on the plateau, cold in the high mountains, and hot on the southern coast and in the southeastern region (Abbasi et al., 2021).

##### Meteorological data

Weather stations worldwide are used to record surface meteorological observations as defined by the WMO. In these regards, the codes of dust events are assigned to reflect the severity and proximity of each event. For this article, dust codes (05, 06, 07 & 08), recorded at 42 stations over Iran, were the main data source. In order to investigate the main seasons of dust storm occurrences, seasonal sub series were used, i.e. spring (from April to June), summer (from July to September), autumn (from October to December) and winter (January to March) of period 1977-2021. This period was divided into two sub-periods before and after 2005. The number of DS days of these two sub-periods and total period (1977-2021) were finally compared.

#### Methods

The purpose of the Mann-Kendall (MK) test (Mann 1945, Kendall 1975, Gilbert 1987) is to statistically assess if there is a monotonic downward or upward trend of the variable of interest over time. To calculate the trend, list the data in the order in which they were collected over time,  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , which denote the measurements obtained at times 1, 2, ..., n, respectively. The MK test statistics are calculated based on the sign of the difference between two consecutive observations,  $sgn(x_j - x_i)$ .

The sign function is

$$(x) = 1 \text{ if } x > 0; = 0 \text{ if } x = 0; = -1 \text{ if } x < 0 \quad (1)$$

and then

$$M = \sum (x_j - x_i) \quad 1 \leq i < j \leq n \quad (2)$$

Under the null hypothesis ( $H_0$ ) of no monotonic trend, M has asymptotically normal distribution with mean zero and approximated variance:

$$(M) = n(n-1)(2n-5)/18 \quad (3)$$

#### Results

The obtained results show that a sharp increasing trend in the frequency of dusty days in the period after 2005 is conspicuous compared to the period before 2005 and long-term, especially in the extra-arid climates. The variations revealed a significant positive trends in extra-arid, arid and semi-arid climates respectively, up to 93, 83, and 88 percent of stations (PS) in winter, 71, 50 and 44 PS in spring, 57, 58 and 13 PS in summer and 64, 83 and 63 PS in autumn. In annual scale, a significant positive trend of DS was found to be 64, 83 and 63 PS for extra-arid, arid and semi-arid climates, respectively. Moreover, a clear seasonal pattern of dust emissions shows increases in the frequency of dust events in spring and winter which indicates the extension of this phenomenon to the wet seasons.