

## تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر فراوانی رخداد‌های گردوغبار مطالعه موردی: استان خراسان رضوی

مریم نعیمی<sup>۱\*</sup>، مریم میراکبری<sup>۲</sup>، محمد خسروشاهی<sup>۱</sup>، سمیرا زندی‌فر<sup>۱</sup>، یاسر قاسمی آریان<sup>۱</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۵

### چکیده

استان خراسان رضوی با آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک در برخی سال‌ها بیش از ۷۰ رخداد گردوغبار را ثبت کرده است. هدف از پژوهش حاضر، تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر فراوانی رخداد‌های گردوغبار در ۷ ایستگاه سینوپتیک از منطقه استراتژیک از کشور طی دوره آماری (۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶) می‌باشد. بدین منظور ابتدا، تهیه، پردازش و روندیابی چهار عنصر مهم اقلیمی (بارندگی، دما، سرعت باد و فراوانی بادهای فرساینده) و تعداد روزهای گردوغبار انجام گرفت. در ادامه، تخمین عددی اثرات با استفاده از روش رگرسیون خطی چندگانه محقق شد. نتایج نشان داد روند رخداد‌های گردوغبار در سبزوار، سرخس و قوچان افزایشی معنادار و در راستای تغییرات فراوانی بادهای فرساینده و سرعت باد است. در همین بازه، روند تغییرات کاهش گردوغبار در ایستگاه مشهد هم‌راستا با تغییرات کاهش سرعت باد است. نتایج حاصل از برقراری رگرسیون چندمتغیره نشان داد بیشترین تأثیر تغییرات اقلیمی بر فراوانی رخداد‌های گردوغبار در شهرستان سرخس در مقیاس سالانه و فصلی مستقیم و معنی‌دار است. در این راستا اهمیت تثبیت خاک برای مقابله با گردوغبار آشکار و نقاط اولویت‌دار به‌منظور کاهش اثر سرعت باد پیشنهاد می‌شود.

**کلیدواژه‌ها:** استان خراسان رضوی، پارامترهای اقلیمی، گردوغبار، من-کندال، رگرسیون چندمتغیره.

۱. استادیار مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، نویسنده مسئول، naeimi@rifir-ac.ir

۲. دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران

\* این مقاله برگرفته از طرح تحقیقاتی سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی کشور است.

## مقدمه

رخدادهای گردوغبار به عنوان یکی از مؤلفه‌های اقلیمی مناطق خشک و نیمه‌خشک، یکی از مهم‌ترین مشکلات محیط‌زیستی در این مناطق محسوب می‌شود (تان<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۴). از دیدگاه مهندسی محیط‌زیست، هر نوع تغییر ناشی از دخالت انسان بر پارامترهای اقلیمی در سطح جهانی، منطقه‌ای و محلی مانند افزایش دما یا کاهش بارندگی در بازه زمانی مشخص که منجر به تغییرات محیط‌زیستی از جمله گسترش بیابان‌ها و افزایش گردوغبار گردد، به عنوان تغییر اقلیم شناخته می‌شود (اسحاق<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۹). برآورد طولانی‌مدت داده‌های گردوغبار در سطح جهان نشان می‌دهد که تغییر اقلیم بیشترین تأثیر را بر انتشار گردوغبار و وقوع طوفانهای گردوغبار نسبت به فرایند بیابان‌زایی دارد (ژانگ و اناستایو<sup>۳</sup>، ۲۰۰۳). تغییر اقلیم به واسطه تغییر پارامترهای اقلیمی با تغییر در الگوهای گردشی جو به صورت محلی، منطقه‌ای و حتی جهانی، سبب تغییر الگوی بارش، دما، رژیم باد، خشکسالی و گردوغبار می‌شود (یاراحمدی و همکاران، ۲۰۱۵). تحلیل داده‌های هواشناسی کشور حاکی از تغییرات بارش و دما ویژه در دو دهه گذشته است (میراکبری و همکاران، ۲۰۱۸؛ رضایی و قاسمی، ۲۰۱۹). مطالعات پیشین نشان می‌دهد که افزایش دما، کاهش بارندگی، افزایش سرعت باد به همراه فقر پوشش گیاهی شرایط ایجاد طوفانهای گردوغبار را فراهم می‌کند (ایلی<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۶؛ برومندی و همکاران، ۲۰۱۷). مطالعات انصاری (۲۰۱۱) نشان داد سرعت باد و رطوبت نسبی به ترتیب بالاترین همبستگی مثبت و کمترین همبستگی منفی با رخدادهای طوفان گردوغبار دارا هستند. یاراحمدی و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی تأثیر تغییرات و نوسانات پارامترهای اقلیمی بر طوفانهای گردوغبار در غرب کشور نشان دادند که در سالهای اخیر بارندگی دارای روند کاهشی و دمای متوسط، سرعت باد و تعداد روزهای همراه با گردوغبار دارای روند افزایشی بوده است. استقرار سیستم‌های فشار جنب حاره،

تشکیل سیکلون‌های<sup>۵</sup> سطحی در سطح بیابان‌های غرب ایران، کاهش پوشش گیاهی و خشکیده شدن تالاب‌ها از عوامل ذکر شد (یاراحمدی و همکاران، ۲۰۱۵). نتایج ارتباط دید افقی و فراوانی رخدادهای گردوغبار با تغییرات پارامترهای اقلیمی در استان خوزستان با استفاده از روش رگرسیون خطی چندمتغیره توسط مهرابی و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که در ایستگاه آبادان رطوبت نسبی سه روز قبل طوفان دارای رابطه معکوس، و بارندگی و رطوبت نسبی پنج روز قبل طوفان، همبستگی مثبت با دید افقی دارند. نتایج مطالعه برومندی و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد همبستگی منفی شدیدی بین وقوع گردوغبار و بارندگی و رطوبت نسبی فصلی و سالانه و همچنین همبستگی بالایی بین فراوانی گردوغبار و دمای حداکثر سالانه و فصلی وجود دارد. مدرس و متولی‌زاده (۲۰۱۹) در بررسی ارتباط طوفان‌های گردوغبار و تغییر پارامترهای اقلیمی در منطقه خشک کشور گزارش دادند که متوسط سرعت و بارندگی به ترتیب دارای بالاترین همبستگی مثبت و منفی با رخدادهای گردوغبار هستند.

نتایج مطالعات ایلی و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی روند تغییرات طوفان گردوغبار در ارتباط با پارامترهای اقلیمی، پوشش گیاهی و عامل انسانی (جمعیت، درصد مساحت کاربری اراضی) در شمال شرقی بیابان تاکلامکان<sup>۶</sup> در بازه زمانی ۱۹۸۳ تا ۲۰۱۳ بیانگر آن است که فراوانی سالانه و ماهانه گردوغبار به ترتیب رابطه مثبت و منفی با سرعت باد و بارندگی دارد. نتایج ارتباط رخدادهای گردوغبار با تغییرات اقلیم در منگولیا<sup>۷</sup> در دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ در ۱۱۳ ایستگاه هواشناسی توسط امگالان<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۱۷) حاکی از آن است که روزهای همراه با گردوغبار شدید متناظر با سرعت باد حداکثر در منطقه همراه با بارندگی ۱۰ میلی‌متر می‌باشد، درحالی‌که مقادیر بارندگی شدید رابطه عکس با وقوع گردوغبار دارد. مطالعات ابراهیمی و همکاران (۲۰۲۰) درباره تغییرات مکانی و فصلی رخدادهای گردوغبار و ارتباط آن با شرایط اقلیمی و پوشش گیاهی، با استفاده از رگرسیون ریدج<sup>۹</sup> طی دو بازه زمانی ۲۰۰۱ تا

5. Cyclone

6. Taklimakan Desert

7. Mongolia

8. Amgala

9. Ridge Regression

1. Tan

2. Yizhaq

3. Zhang and Anastasio

4. Aili

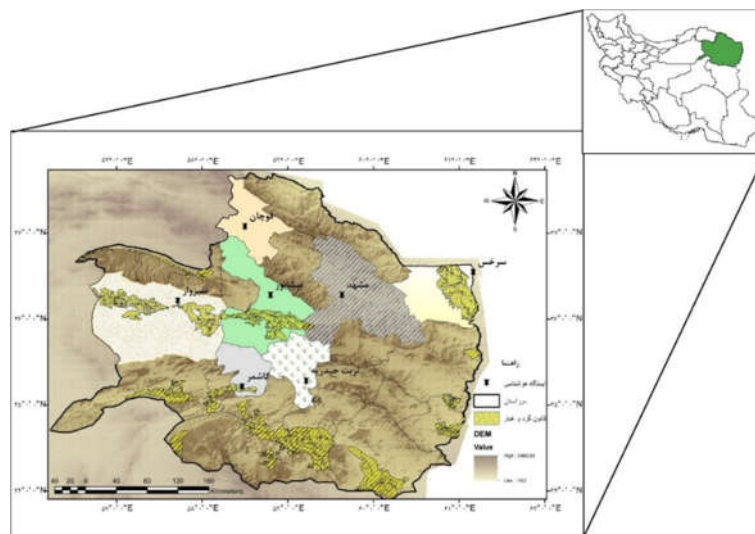
به صورت جداگانه و دقیق می‌تواند گام مؤثری در شناسایی مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر وقوع این پدیده، شناسایی نواحی مستعد به فرسایش بادی و کنترل، یا مهار این پدیده مخرب زیست‌محیطی باشد.

### معرفی منطقه مورد بررسی

منطقه مطالعاتی در این پژوهش، استان خراسان رضوی در شمال شرق ایران است که در موقعیت جغرافیایی با عرض ۳۳ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۴۲ درجه و ۳۷ دقیقه شمالی و طول ۵۶ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی با مساحت  $۱۴۶۸۶۴/۱۱$  کیلومتر مربع واقع شده است (شکل ۱). میانگین بارندگی در ایستگاه‌های منتخب بین  $۱۸۳/۲۶$  میلی‌متر در ایستگاه سبزوار تا  $۳۲۰$  میلی‌متر در ایستگاه قوچان متغیر است، به طوری که متوسط بارندگی در سطح استان بر اساس داده‌های حاصل از ایستگاه‌های سینوپتیک طی دوره آماری مشترک  $۱۹۹۰$  تا  $۲۰۱۶$ ،  $۲۳۰/۸۸$  میلی‌متر است. میانگین دمای متوسط، حداکثر و حداقل نیز در منطقه مطالعاتی به ترتیب  $۱۵/۶۳$ ،  $۲۲/۷۱$  و  $۹/۴۵$  درجه سانتی‌گراد است. وزش جریان‌های غالب چرخندهای تابستانه و جریانات غربی زمستان از ویژگی‌های خاص منطقه مطالعاتی بوده که این جریانات شرایط وقوع طوفان گردوغبار با سرعت بالاتر از حد آستانه فرسایش بادی را فراهم می‌کنند (بروغنی و همکاران، ۱۳۹۸).

۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۶ در مناطق نیمه‌خشک ایران مرکزی نشان داد سرعت باد در فصل تابستان و بارندگی در فصل زمستان دارای رابطه همبستگی معنی‌دار با شاخص طوفان گردوغبار در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۸ است. این در حالی است که در بازه زمانی دوم، گردوغبار دارای همبستگی معنادار با سرعت باد در فصول بهار، تابستان و پاییز و رابطه منفی معنی‌دار با پارامتر پوشش گیاهی است.

در این میان، استان خراسان رضوی دارای آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک بوده که در بعضی سال‌ها بیش از ۷۰ رخدادهای گردوغبار در آن ثبت می‌شود. تعدد وقایع گردوغبار در این منطقه اهمیت پژوهش در این زمینه را نشان می‌دهد. نظر به قرارگیری استان خراسان رضوی در مرز شمال شرق کشور و جایگاه استراتژیک آن به‌عنوان مهم‌ترین کانون جمعیتی و توریستی شرق کشور، پرتردترین خط آهن و شوسه کشور، تولید ۳۰٪ از گاز طبیعی کشور از منطقه خانگیران سرخس، قطب تولید سنگ آهن خواف و فیروزه نیشابور، قطب تولید محصولات کشاورزی از جمله زعفران، زرشک و زیره، دارای جایگاه ویژه‌ای در برنامه‌ریزی‌های ملی و فراملی است. بر این اساس، با توجه به تأثیرپذیری رخدادهای گردوغبار از تغییرات اقلیم منطقه، ارتباط میان هریک از پارامترهای اقلیمی و تعداد روزهای گردوغبار در سطح استان بررسی شد. تجزیه و تحلیل تغییرات اقلیمی بر روند تغییرات غبار آلودگی در این مناطق



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی در کشور و ایستگاه‌های مورد مطالعه به‌همراه کانون‌های گردوغبار

Figure (1): Geographical location of the study area in Iran and study stations

## مواد و روش‌ها

## بررسی فراوانی رخداد‌های گردوغبار

با توجه به اهداف پژوهش، داده‌های ماهانه شامل سرعت باد، بارش و دما در ۷ ایستگاه سینوپتیک سطح استان شامل مشهد، سبزوار، سرخس، نیشابور، تربت حیدریه، کاشمر و قوچان هستند، از اداره هواشناسی استان خراسان رضوی اخذ شد. کدهای مربوط به رخداد‌های گردوغبار که دربرگیرنده کدهای ۰۶، ۰۷، ۰۸، ۰۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴، ۳۵ و ۹۸ هستند نیز به منظور تحلیل رخداد‌های گردوغبار در دوره آماری مشترک ایستگاه‌های مطالعاتی (۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶) استخراج شدند. بر این اساس، منشأ گردوغبار با توجه به کدهای ۰۷، ۰۹ تا ۳۰ و ۳۵ به عنوان رخداد‌های محلی و رخداد‌های با کد ۰۶ به عنوان رخداد‌های فرامحلی در نظر گرفته شد.

## بررسی روند تغییرات اقلیمی و فراوانی رخداد‌های گردوغبار

روند تغییرات رخداد‌های گردوغبار و پارامترهای اقلیمی شامل بارندگی، دما، سرعت باد و فراوانی بادهای فرساینده بر آن با استفاده از آزمون روند من-کندال<sup>۱</sup> (من، ۱۹۴۵) بررسی شد. شایان ذکر است بررسی فراوانی بادهای فرساینده، با در نظرگیری سرعت آستانه فرسایش بادی ارائه شده برای تپه‌های ماسه‌ای معادل ۶ m/s صورت پذیرفت.

در تحقیق حاضر، ابتدا خودهمبستگی بین پارامترهای

مورد بررسی با استفاده از روش پیش سفید کردن (Whitening-Pre) حذف شد. پس از حصول اطمینان از وجود نداشتن خودهمبستگی بین داده‌ها با استفاده از آزمون فیلیپس پرون (۲۲) ( $pvalue < 0.05$ )، آزمون من-کندال یک روش ناپارامتری است که برای داده‌های حاصل از طبیعت به دلیل عدم تبعیت از توزیع نرمال مناسب است. در روش من-کندال فرض می‌شود یک سری زمانی به صورت  $x_1, x_2, \dots, x_n$  باشد. برای تعیین روند از آماره آزمون من-کندال (رابطه ۲) استفاده می‌شود که در آن،  $k$  شماره مشاهدات هستند و تابع علامت  $sgn(x)$  به صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n sgn(x_j + x_k) \quad (2)$$

$$sgn(x) = \begin{cases} +1 & x > 0 \\ 0 & x = 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases} \quad (3)$$

بر اساس این آزمون در صورتی که مقدار  $S$  اختلاف معنی داری با صفر نداشته باشد، روند وجود ندارد و در غیر این صورت روند، صعودی یا نزولی خواهد بود. برای آزمون معنی دار بودن روند، از متغیر  $Z$  نرمال استاندارد طبق رابطه (۴) استفاده می‌شود (من، ۱۹۴۵؛ کندال، ۱۹۷۵). فرض صفر ( $H_0$ ) در آزمون من-کندال عدم وجود روند و فرض  $H_1$  وجود روند می‌باشد.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{(\text{var}(S))^{\frac{1}{2}}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{(\text{var}(S))^{\frac{1}{2}}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

## بررسی ارتباط عوامل اقلیمی و رخداد‌های گردوغبار

به منظور بررسی ارتباط تغییرات اقلیمی اخیر و فراوانی رخداد‌های گردوغبار، از روش‌های آماری استفاده شد. روش مورد استفاده در این پژوهش، روش پارامتری پیرسون بود. مقدار این ضریب بین ۱- تا ۱ تغییر می‌کند که بیشترین میزان به معنای همبستگی مثبت کامل، صفر به معنی نبود همبستگی، و کمترین میزان به معنی همبستگی منفی کامل است.

## تخمین عددی ارتباط تغییرات اقلیمی و فراوانی

## رخداد‌های گردوغبار

در ادامه، به منظور کمی‌سازی و تخمین عددی میزان همبستگی و نوع ارتباط منطقی بین متغیرهای مستقل (پارامترهای اقلیمی) و وابسته (روزهای غبارآلود) از تحلیل رگرسیون چندگانه استفاده شد. رگرسیون چندمتغیره روشی برای تخمین ارتباط بین دو یا چند متغیر است که با استفاده از رابطه (۵) محاسبه شد.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n \quad (5)$$

در رابطه مذکور،  $Y$  متغیر وابسته،  $x_1$  تا  $x_n$  متغیرهای مستقل،  $\beta_0$  عرض از مبدأ و  $\beta_1$  تا  $\beta_n$  ضرایب ثابت مربوط به متغیرهای مستقل مورد بررسی هستند.

## نتایج

## بررسی فراوانی رخدادهای گردوغبار

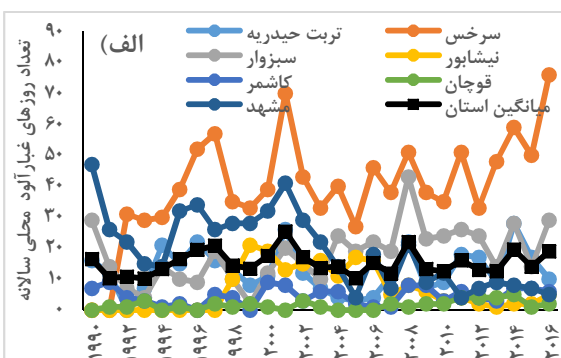
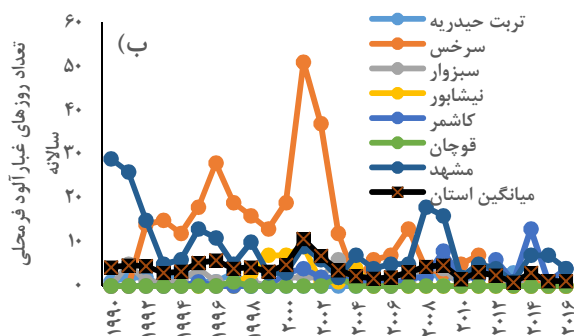
نتایج حاصل از شمارش کدهای گردوغبار ۷ ایستگاه سینوپتیک در سطح استان خراسان رضوی شامل مشهد، سبزوار، سرخس، نیشابور، تربت حیدریه، کاشمر و قوچان نشان داد بیشترین فراوانی تعداد روزهای غبارآلود دارای منشأ محلی بوده و رخدادهای با منشأ فرامحلی از فراوانی کمتری در سطح استان برخوردارند (شکل ۲ الف و ب). نتایج روزهای غبارآلود با منشأ محلی نشان داد که ایستگاه‌های سرخس و مشهد به ترتیب با ۱۰۳۸ و ۵۲۱ روز دارای بیشترین رخدادهای گردوغبار در طی دوره آماری هستند. ایستگاه‌های قوچان و کاشمر نیز به ترتیب با ۴۳ و ۱۲۳ روز واقعه گردوغبار دارای پایین‌ترین فراوانی وقوع گردوغبار در منطقه مطالعاتی و در طی دوره مطالعاتی می‌باشند. بررسی سالانه داده‌های گردوغبار محلی (شکل ۲ الف) نشان داد طی دوره آماری در منطقه مطالعاتی در سال ۲۰۰۱ بیشترین تعداد رخدادهای گردوغبار در ایستگاه‌ها به ثبت رسیده، به طوری که متوسط تعداد رخدادهای در این سال منطقه ۲۵/۴۷ روز است، در حالی که سال ۱۹۹۱ با متوسط ۸/۳۳ روز، کمترین رخدادهای گردوغبار در سطح استان وقوع یافته است.

نتایج (شکل ۲ ب) نشان داد سال ۲۰۰۱ با متوسط ۱۰/۷۱ روز غبار آلود فرامحلی و سال ۲۰۱۳ با متوسط کمتر از ۱

روز غبارآلود (۰/۸۵) به ترتیب بیشترین و کمترین رخدادهای گردوغبار با منشأ فرامحلی به ثبت رسیده است. در این میان ایستگاه‌های سرخس و مشهد به ترتیب با ۳۱۲ و ۲۲۸ روز بالاترین رخدادهای فرامحلی ثبت شده را طی دوره آماری به خود اختصاص می‌دهند، در حالی که در ایستگاه قوچان کمترین روزهای غبارآلود فرامحلی (۳ روز) به ثبت رسیده است.

## روند تغییرات اقلیمی و فراوانی رخدادهای گردوغبار

روند تغییرات اقلیم با بررسی پارامترهای اقلیمی شامل دمای متوسط، بارندگی، فراوانی بادهای فرساینده (سرعت بیشتر از ۶ متر بر ثانیه)، سرعت باد و تعداد روزهای غبارآلود محلی و فرامحلی با استفاده از آزمون روند من-کندال در تمامی ایستگاه‌ها صورت گرفته که در جدول (۱) ارائه شده است. نتایج حاکی از افزایش دمای متوسط در تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی به استثنای نیشابور طی دوره ۲۷ ساله می‌باشد که بر اساس مقدار P-value این روند صعودی دارای تغییرات معنی‌دار است. در ایستگاه نیشابور، دمای متوسط دارای روند نزولی بوده ولی از لحاظ آماری معنی‌دار نیست. همچنین کاهش بارندگی در ایستگاه‌های مشهد، کاشمر، سبزوار تربت حیدریه و سرخس طی دوره ۲۷ ساله مشاهده شده که بر اساس مقدار P-value روند نزولی تغییرات در ایستگاه کاشمر و تربت حیدریه در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.



شکل (۲): تعداد روزهای غبارآلود محلی سالانه (الف) و ماهانه (ب) و فرامحلی سالانه (ب) و ماهانه (د) در ایستگاه‌های مطالعاتی

Figure (2): The number of local dusty days in the study stations

به استثنای سرخس، دارای روند معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد است، در حالی که فراوانی بادهای فرساینده در ایستگاه‌های مشهد و تربت حیدریه در این دوره، سیر نزولی داشته که از لحاظ

نتایج داده‌های فراوانی بادهای فرساینده حاکی از آن است که تغییرات بادهای فرساینده در ایستگاه‌های قوچان، کاشمر، سبزوار، سرخس و نیشابور طی دوره آماری افزایشی بوده که

سبزووار، سرخس، تربت حیدریه و قوچان نسبت به دوره ماقبل (۱۹۹۰ تا ۲۰۰۶) افزایش داشته، که این تغییرات افزایشی در سرخس نسبت به دیگر مناطق بیشتر است. بررسی تغییرات پارامتر بارندگی در بازه زمانی دوم نشان داد میزان بارش در تمامی ایستگاه‌ها به‌استثنای نیشابور کاهش یافته است. نتایج مقایسه تغییرات پارامترهای سرعت باد و فراوانی بادهای فرساینده طی دو بازه زمانی نشان داد تمامی ایستگاه‌ها در دهه آخر دوره مطالعاتی نسبت به دوره ماقبل با افزایش متوسط سرعت باد و بادهای فرساینده مواجهه بودند، به‌طوری که در ایستگاه‌های نیشابور و سبزووار، میزان این تغییرات نسبت به دیگر مناطق بیشتر است. بررسی تغییرات تعداد روزهای توأم با گردوغبار در ایستگاه‌های مطالعاتی نشان داد فراوانی رخدادهای گردوغبار در سبزووار، سرخس، کاشمر، تربت حیدریه و قوچان در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۶ نسبت به دوره ماقبل افزایش یافته، در حالی که در نیشابور و مشهد فراوانی روزهای غبارآلود در دهه آخر دوره مطالعاتی نسبت به دوره قبل کاهش یافته است.

آماری معنی‌دار نیست. نتایج بررسی تغییرات سرعت باد نشان داد سرعت باد در اکثر ایستگاه‌ها (قوچان، کاشمر، نیشابور، سبزووار، سرخس و تربت حیدریه) طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶ افزایش داشته که این سیر صعودی در سرخس و نیشابور قابل توجه بوده و در سطح ۱ درصد معنی‌دار است، در حالی که در ایستگاه مشهد میانگین بلندمدت سرعت باد طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶ سیر نزولی داشته که از لحاظ آماری معنی‌دار نیست (جدول ۱).

شکل (۳) نیز تغییرات سالانه پارامترهای اقلیمی را توأم با تغییرات تعداد روزهای غبارآلود در ایستگاه‌های مطالعاتی طی دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶ نشان می‌دهد. در ادامه، علاوه بر بررسی روند تغییرات بلندمدت، دهه آخر دوره مطالعاتی (۲۰۰۷ تا ۲۰۱۶) نیز با سال‌های قبل (۱۹۹۰ تا ۲۰۰۶) مقایسه گردید که در شکل (۳) بازه دوم با رنگی متفاوت برای تمامی پارامترها نشان داده شده است. مقایسه میانگین پارامترهای اقلیمی در دو بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۶، دمای متوسط در دهه آخر دوره مطالعاتی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۶ در ایستگاه‌های کاشمر،

جدول (۱): مقادیر آماره آزمون روند من-کندال پارامترهای اقلیمی و تعداد روزهای غبارآلود در ایستگاه‌های مطالعاتی (۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶)

ایستگاه	دمای متوسط	فراوانی بادهای بیشتر از ۶ متر بر ثانیه	متوسط سرعت باد	بارندگی	تعداد روز غبارآلود محلی	تعداد روز غبارآلود فرامحلی
مشهد	۳/۷۵**	-۱/۵۸	-۱/۵	-۰/۸۸	-۳/۸۴**	-۲/۳۷*
کاشمر	۴/۰۴**	۲/۴۲*	۱/۷۱	-۲/۱۷*	۰/۵۷	۳/۵۳**
سبزووار	۱/۹۷*	۲/۱۷*	۱/۹۲	-۱/۲۹	۲/۶۲**	-۰/۴۵
سرخس	۴/۳۴**	۰/۷۹	۲/۷۵**	-۱/۷۵	۲/۹۲**	-۲/۹۵**
تربت حیدریه	۳/۶۷**	-۰/۶۳	۰/۴۶	-۲/۱۳*	۱/۴	۰/۰۹
نیشابور	-۰/۶۳	۳/۵**	۳/۶۴**	۱/۴۷	-۳/۷۶**	-۳/۵**
قوچان	۱/۹۶	۲/۵۷*	۱/۸۸	۰/۷۵	۲/۴۱*	-
* معنی‌داری در سطح ۵ درصد		** معنی‌داری در سطح ۱ درصد			- فاقد داده کافی برای آزمون روند	

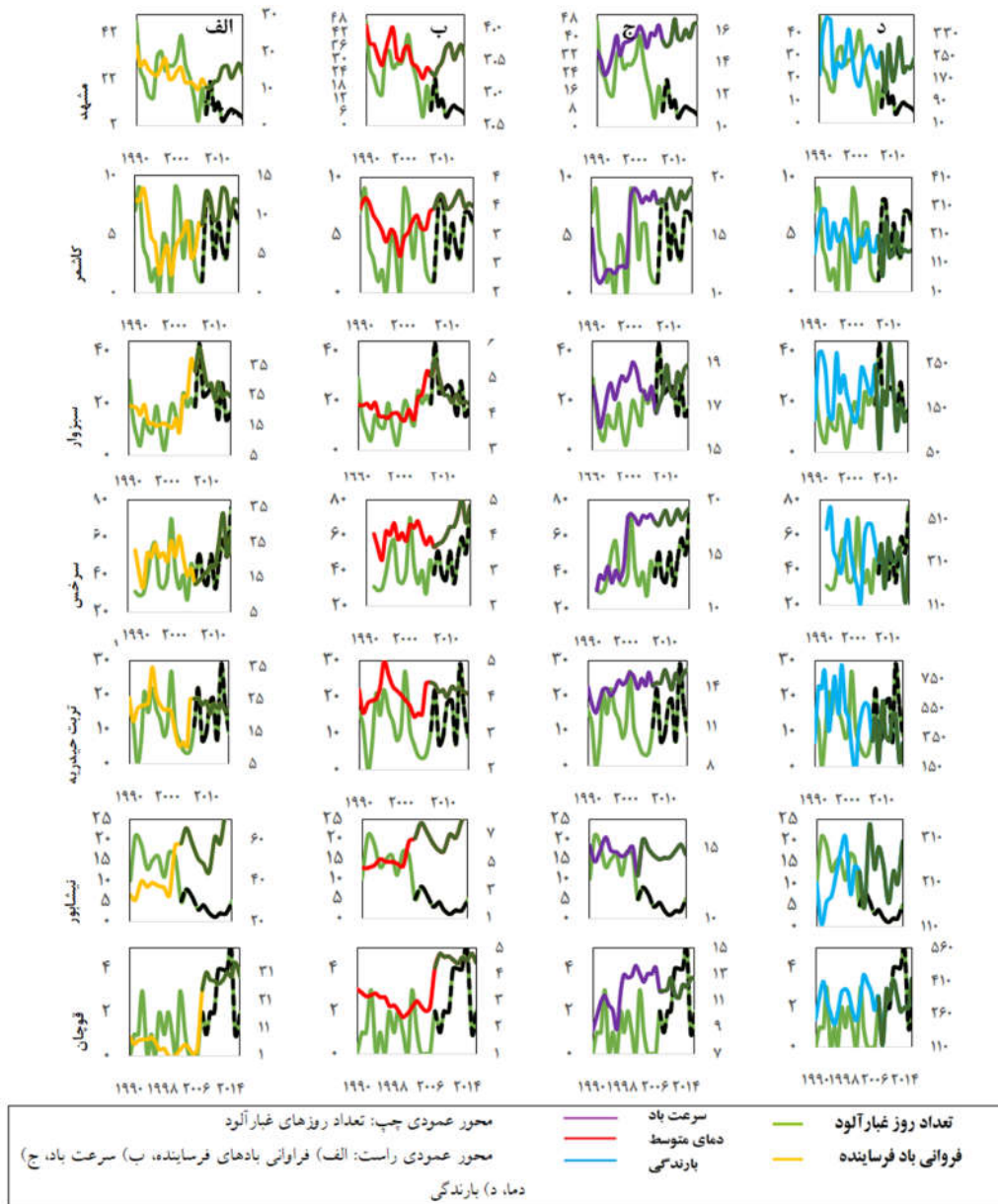
#### ارتباط تغییرات اقلیمی و رخدادهای گردوغبار

به‌منظور درک تأثیر تغییرات اقلیمی بر ایجاد و تشدید رخدادهای گردوغبار به بررسی ارتباط میان پارامترهای اقلیمی مورد مطالعه (دمای متوسط، بارندگی، سرعت باد، فراوانی بادهای بیشتر از ۶ متر بر ثانیه) و تعداد روزهای غبارآلود در ایستگاه‌های مطالعاتی پرداخته شد. با توجه به اینکه تعداد رخدادهای گردوغبار با منشأ فرامحلی در ایستگاه‌های مطالعاتی

لذا نتایج حاصل از بررسی تغییرات اقلیمی و تعداد روزهای گردوغبار چنین استنباط می‌شود که افزایش گردوغبار در دهه آخر دوره مطالعاتی در ایستگاه‌های سبزووار، سرخس، کاشمر، قوچان و تربت حیدریه ارتباط مستقیم با افزایش دما و سرعت باد داشته در حالی که در ایستگاه نیشابور به‌رغم افزایش سرعت باد و فراوانی بادهای فرساینده، تعداد روزهای غبارآلود در این دوره با کاهش مواجهه بوده است.

پرسون برای هر جفت متغیر محاسبه شد (شکل ۴). نتایج همبستگی گردوغبار و پارامتر دما نشان داد در تمامی ایستگاه‌ها دما تأثیر مستقیم بر رخدادهای گردوغبار دارد که از نظر آماری در هیچ‌یک از ایستگاه‌ها معنی‌دار نیست. این در حالی است که رابطه دما و گردوغبار در ایستگاه مشهد منفی می‌باشد.

از فراوانی کمی برخوردار است، ارتباط پارامترهای اقلیمی تنها بر اساس رخدادهای محلی بررسی می‌شود. بدین منظور، نمودار پیکش نقطه‌ای تعداد روزهای غبارآلود در مقابل پارامترهای دمای متوسط، بارندگی، سرعت باد و فراوانی بادهای فرساینده در ایستگاه‌های مطالعاتی ترسیم گردید و ضریب همبستگی



شکل (۳): روند تغییرات تعداد روزهای غبارآلود در مقابل تغییرات پارامترهای اقلیمی فراوانی بادهای فرساینده، سرعت باد،

دمای متوسط و بارندگی در ایستگاه‌های مطالعاتی

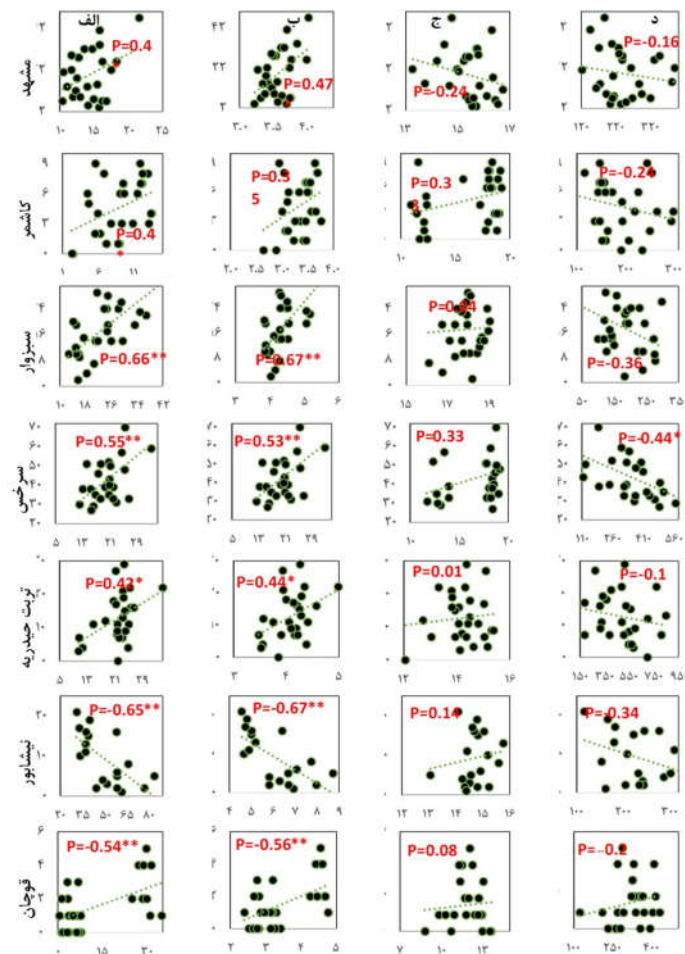
Figure (3): Changes trend of the number of dusty days versus changes in climatic parameters: frequency of erosive winds, wind speed, mean temperature and precipitation in study stations

در سرخس در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. وجود رابطه منفی قابل قبول میان بارندگی و گردوغبار در این منطقه حاکی از تأثیر کاهش بارندگی در افزایش رخدادهای گردوغبار است.

مقادیر ضریب همبستگی میان گردوغبار و بارندگی در ایستگاه‌های مطالعاتی نشان از رابطه منفی میان این دو پارامتر است که از نظر آماری تنها تأثیر معکوس بارندگی بر گردوغبار

بیانگر این است که با افزایش سرعت باد به میزان گردوغبار افزوده نشده و عاملی دیگر سبب کاهش تأثیر سرعت باد می‌باشد. در ادامه، بمنظور درک بهتر عوامل موثر بر رخدادهای گردوغبار در سال‌های اخیر در استان خراسان رضوی، ارتباط پارامترهای اقلیمی و رخدادهای گردوغبار در دهه آخر دوره مطالعاتی (۲۰۰۷ تا ۲۰۱۶) در سطح استان بررسی شد (جدول ۲).

در ایستگاه قوچان ارتباط میان بارندگی و گردوغبار مثبت بوده که از نظر آماری معنی‌دار نشده است. نتایج تحلیل همبستگی میان تعداد روزهای غبارآلود و سرعت باد و فراوانی بادهای فرساینده نشان داد تأثیرگذارترین پارامتر در ایجاد گردوغبار در سطح منطقه، سرعت باد است؛ این در حالی است که در ایستگاه نیشابور، رابطه منفی معنی‌دار میان گردوغبار و سرعت باد وجود دارد. در واقع وجود ارتباط معکوس مابین گردوغبار و سرعت باد



\*معنی‌دار در سطح ۵ درصد  
\*\*معنی‌دار در سطح ۱ درصد

محور عمودی چپ: تعداد روزهای غبارآلود  
محور عمودی راست: الف) فراوانی بادهای فرساینده، ب) سرعت باد، ج) دما، د)

بارندگی

شکل (۴): نمودار پراکنندگی نقاط تعداد روزهای گردوغبار و پارامترهای اقلیمی فراوانی بادهای فرساینده، سرعت باد، دمای متوسط و بارندگی

در ایستگاه‌های مطالعاتی

Figure (4): scatter plot of the number of dusty days and climatic parameters of erosive wind frequency, wind speed, mean temperature and precipitation in synoptic stations

مطالعاتی است. سرعت باد و فراوانی بادهای فرساینده، تأثیر قابل قبولی بر گردوغبار در ایستگاه‌های سرخس و سبزوار دارند، این در حالی است که در ایستگاه مشهد، سرعت باد و فراوانی بادهای فرساینده تأثیر معکوس معنادار بر تعداد روزهای

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده پارامترهای دما و بارندگی بر تعداد روزهای غبارآلود در محدوده مطالعاتی تأثیر معناداری نداشته، به‌طوری که مقادیر ضریب همبستگی حاکی از وجود رابطه منفی و مثبت میان این دو پارامتر و گردوغبار در این دوره



گردوغبار داشتند.

جدول (۲): مقادیر ضریب همبستگی روزهای غبارآلود و پارامترهای اقلیمی در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۶

Table (2): the values of correlation coefficient of dusty days and climatic parameters in the period of 2007-2016

ایستگاه	دمای متوسط	بارندگی	سرعت باد	فراوانی باد فرساینده
مشهد	-۰/۳	-۰/۱	-۰/۶۴*	-۰/۷۱*
کاشمر	۰/۰۴	-۰/۲	۰/۲	۰/۳۴
سبزوار	-۰/۵۰	-۰/۱۶۰	۰/۶*	۰/۶۰۱*
سرخس	۰/۳	۰/۰۳	۰/۶۸*	۰/۶۹*
ترت حیدریه	-۰/۴۴	۰/۲	۰/۱۷	۰/۰۴
نیشابور	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۳۳	۰/۲۰
قوچان	-۰/۴	۰/۲۴	-۰/۲۶	-۰/۳۶

\*معنی‌دار در سطح ۵ درصد

### تخمین عددی ارتباط تغییرات اقلیمی بر فراوانی رخداد‌های گردوغبار

در ادامه، به منظور ارائه معادلات و تحلیل دقیق‌تر اثر تغییرات اقلیمی بر فراوانی رخداد‌های گردوغبار، نتایج حاصل از برقراری رگرسیون چندمتغیره بین تعداد روزهای غبارآلود و پارامترهای اقلیمی مورد بررسی برای تمامی ایستگاهها محاسبه شد. نتایج با توجه به جدول (۳) نشان داد که روند تغییر پارامترهای اقلیمی تأثیری بر روند افزایشی تعداد روزهای گردوغبار در مقیاس سالانه در تمامی ایستگاهها به جز نیشابور برقرار است. در مقیاس سالانه، ارتباط مستقیم و معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد، بین فراوانی بادهای فرساینده و تعداد روزهای گردوغبار در ایستگاه سبزوار و قوچان، و بین سرعت باد و تعداد روزهای گردوغبار در ایستگاه سرخس مشاهده شد. تفسیر نتایج بسته به ضرایب و ضریب تعیین قابل تحلیل خواهد بود. بر این اساس، در اثر افت هر واحد فراوانی بادهای فرساینده و سرعت باد به ترتیب به میزان ۰/۷۸ و ۰/۴۳ واحد، به تعداد تغییرات روزهای غبارآلود در ایستگاه سبزوار و سرخس اضافه شده است. ضریب تعیین ( $R^2$ ) حاصل از این مدلها به ترتیب تبیینکننده ۵۰ و ۴۳ درصد روند افزایشی انتشار ذرات گردوغبار در اثر تغییر دو پارامتر مهم فراوانی بادهای فرساینده

و سرعت باد در مقیاس سالانه و در بازه زمانی مورد مطالعه است. نتایج در مقیاس فصلی نشان از ارتباط مستقیم و معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد، در تمامی ایستگاهها به جز نیشابور و قوچان مشاهده شد. به عبارت دیگر، تغییرات اقلیمی بسته به منطقه مورد مطالعه منجر به افزایش روزهای غبارآلود شده است. برای مثال، افزایش قابل توجه فراوانی بادهای فرساینده بهاری در سبزوار و مشهد، افزایش دمای متوسط هوای زمستان در سرخس و همچنین افزایش سرعت باد در زمستانهای تربت حیدریه، توانسته است بر تشدید پدیده گردوغبار در این مناطق اثرگذار باشد. همچنین نتایج نشان داد بارندگی در هیچ‌یک از ایستگاهها در افزایش فراوانی رخداد‌های گردوغبار مؤثر نبوده است. بر اساس نتایج جدول ۳، این گونه استنباط می‌شود که در ایستگاه نیشابور به ازای هر واحد کاهش سرعت باد، تعداد روزهای غبارآلود به اندازه ۳/۵۱ واحد در سال کاهش یافته است. همچنین به ازای هر واحد کاهش فراوانی بادهای فرساینده در فصل بهار و تابستان به ترتیب، ۰/۱۶ و ۰/۰۹ واحد از تغییرات روزهای همراه با رخداد‌های گردوغبار در شهرستان نیشابور کاسته شده است.

جدول (۳): نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون خطی چندگانه در مقیاس فصلی و سالانه  
 Table (3): Results of multiple linear regression analysis on seasonal and annual scale

R <sup>2</sup>	معادله	مقیاس زمانی	ایستگاه	R <sup>2</sup>	معادله	مقیاس زمانی	ایستگاه
0.19*	$Y_1 = -1.15 + 0.63X_1$	سالانه	ترت	0.22*	$Y_1 = -78.72 + 27.38X_1$	سالانه	مشهد
0.16*	$Y_1 = -15.72 + 1.03X_3$	بهار	حیدریه	0.36**	$Y_1 = -9.83 + 0.94X_1$	بهار	
0.26**	$Y_1 = -6.27 + 2.27X_2$	زمستان		0.16*	$Y_1 = 1.54 + 0.34X_2$	سالانه	کاشمر
0.45**	$Y_1 = 30.5 - 3.51X_2$	سالانه	نیشابور	0.35**	$Y_1 = -0.12 + 0.12X_1$	زمستان	
0.45**	$Y_1 = 14.85 - 0.16X_1$	بهار		0.31**	$Y_1 = 77 + 0.063X_1$	سالانه	قوچان
0.31*	$Y_1 = 10.19 - 0.092X_1$	تابستان		0.5**	$Y_1 = -0.53 + 0.78X_1$	سالانه	سبزوار
	$Y_1 =$ فراوانی روزهای گردوغبار ،			0.38**	$Y_1 = -2.23 + 0.32X_1$	بهار	
	$X_1 =$ فراوانی بادهای فرساینده ،			0.17*	$Y_1 = 0.26 + 0.11X_1$	پائیز	
	$X_2 =$ سرعت باد ،			0.46**	$Y_1 = -2.24 + 0.29X_1$	زمستان	
	$X_3 =$ دمای متوسط ،			0.43**	$Y_1 = -46.12 + 21.84X_2$	سالانه	سرخس
	$X_4 =$ بارندگی			0.23*	$Y_1 = -7.89 + 5.12X_2$	بهار	
	**معنی دار در سطح ۱ درصد			0.62**	$Y_1 = 1.53 + 0.54X_1$	تابستان	
	**معنی دار در سطح ۵ درصد			0.31**	$Y_1 = 0.53 + 0.49X_1$	پائیز	
	- بدون ارتباط معنی دار			0.36**	$Y_1 = -2.72 + 1.42X_3$	زمستان	

بوچانی و فاضلی، ۲۰۱۱؛ شاهسونی و همکاران، ۲۰۱۱؛ قویدل رحیمی و همکاران، ۲۰۱۸؛ نعیمی و همکاران، ۲۰۱۹). وجود روند کاهشی فراوانی گردوغبار در مشهد و نیشابور نیز همراستا با نتایج مطالعه رفیعی و همکاران، (۲۰۱۷) حاکی از روند کاهشی فراوانی رخدادهای گردوغبار در یزد، سمنان، کاشان، رامسر و چندین ایستگاه دیگر است. در واقع روند کاهشی سرعت باد در ایستگاه مشهد طی دوره آماری مورد مطالعه (۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶) می تواند یکی از دلایل عمده کاهش فراوانی رخدادهای گردوغبار در این ناحیه باشد. به منظور بررسی دلایل تغییرات رخدادهای گردوغبار به تحلیل تأثیر تغییرات اقلیمی شامل بارندگی، دمای متوسط، سرعت باد و فراوانی بادهای فرساینده در سطح استان پرداخته شد که نتایج حاکی از تأثیر مستقیم دما در تمام ایستگاه های مطالعاتی به استثنای نیشابور بود. در واقع وجود رابطه مثبت و معنی دار میان گردوغبار و دما در منطقه مطالعاتی حاکی از آن است که دما با تأثیر بر محتوای رطوبت خاک سطحی و افزایش تبخیر-تعرق می تواند شرایط ایجاد گردوغبار را در منطقه فراهم کند. همان طور که نتایج مطالعات انجام شده توسط بهرامی و همکاران (۲۰۱۳)، هارا<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۶)، برایانت<sup>۲</sup> و

با توجه به جدول ۳، نتایج حاصل از برقراری رگرسیون چندمتغیره بین تعداد روزهای غبارآلود و پارامترهای اقلیمی مورد بررسی نشان داد بیشترین تأثیر تغییرات اقلیمی بر فراوانی رخدادهای گردوغبار در شهرستان سرخس در تمامی مقیاس های مورد بررسی مستقیم و معنی دار است، به طوری که سرعت باد در مقیاس سالانه و بهار، فراوانی بادهای فرساینده در تابستان و پاییز و دمای هوا در زمستان بر افزایش فراوانی رخدادهای گردوغبار به صورت مستقیم و معنی دار با سطح اطمینان ۹۹ درصد اثرگذار می باشند.

## بحث

رخدادهای گردوغبار از جمله مؤلفه های اقلیمی عرصه های خشک و نیمه خشک و از مهم ترین مشکلات محیط زیستی در این مناطق محسوب می شود. نتایج پژوهش حاضر حاکی از روند تغییرات افزایشی رخدادهای گردوغبار با منشأ محلی در اکثر ایستگاه های مطالعاتی استان خراسان رضوی به استثنای مشهد و نیشابور است. روند افزایشی تعداد رخدادهای گردوغبار توسط دیگر محققان در مناطق سبزوار، ایلام و غرب ایران، خوزستان، خرم آباد به ترتیب در دوره آماری ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۸، ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۸، ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۵ گزارش شده است (مهرشاهی و نکونام، ۲۰۰۹؛

1. Hara and Wang  
 2. Bryant

بادهای فرساینده در ایستگاه سبزوار بیشترین تأثیر را بر رخدادهای گردوغبار دارند، به طوری که در این منطقه ۶۶ درصد تغییرات تعداد روزهای گردوغبار توسط بادهای با سرعت بالاتر از ۶ متر بر ثانیه کنترل می‌شود. شایان ذکر است رابطه منفی معنی‌دار میان سرعت باد و تعداد روزهای گردوغبار وجود دارد که می‌تواند بیانگر تأثیر معکوس باد بر ایجاد گردوغبار باشد. در واقع وجود رابطه منفی میان گردوغبار و سرعت باد که به‌عنوان عمده‌ترین فاکتور مؤثر بر ایجاد گردوغبار می‌باشد، می‌تواند بیانگر تأثیر خشی‌کننده عوامل دیگری همچون وجود پوشش گیاهی در سطح خاک باشد که مانع خوبی برای جلوگیری از بلند شدن ذرات از سطح خاک است. همان‌طور که کیمورا<sup>۳</sup> (۲۰۱۲) در مطالعه خود تأثیر نقش پوشش گیاهی بر کاهش اثر سرعت باد را در ایجاد رخدادهای گردوغبار گزارش کرد.

### نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه فراوانی رخدادهای گردوغبار رابطه نزدیکی با شرایط اقلیمی محلی همانند بارندگی، دما و سرعت باد دارد، بررسی و تحلیل تغییرات زمانی تغییرات اقلیمی مؤثر بر وقوع این رخدادهای از اهمیت بسزایی برخوردار است. لذا پژوهش حاضر با هدف تحلیل روند تغییر اقلیم بر فراوانی رخدادهای گردوغبار در محل ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی بررسی شد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد در برخی موارد تغییرات فراوانی رخدادهای گردوغبار هم‌راستا با تغییرات پارامترهای اقلیمی مورد مطالعه در دوره ۲۷ ساله مورد بررسی است. نتایج تحلیل همبستگی گردوغبار و پارامترهای اقلیمی در سطح استان خراسان رضوی حاکی از آن است که سرعت باد و فراوانی رخدادهای باد بالاتر از ۶ متر بر ثانیه بیشترین تأثیر را بر رخدادهای گردوغبار دارند. با وجود این، تأثیر سرعت باد بر فراوانی رخدادهای گردوغبار در ایستگاه نیشابور دور از انتظار بود که دلیل احتمالی آن را می‌توان تأثیر خشی‌کننده تثبیت‌های بیولوژیکی سطحی بر کاهش انتقال ذرات خاک از سطح زمین بیان کرد. بر این اساس، با توجه به ماهیت تکرارشونده رخدادهای گردوغبار در مناطق مستعد و با حساسیت‌پذیری بالا از نقطه‌نظر

همکاران (۲۰۰۷)، برومندی و همکاران (۲۰۱۷)، امگلان و همکاران (۲۰۱۷) نیز مؤید تأثیر مستقیم دما بر فراوانی گردوغبار است. وجود رابطه منفی میان دما و گردوغبار در ایستگاه مشهد می‌تواند بیانگر آن باشد که طوفان‌های گردوغبار با فعالیت هوای سرد همراه هستند و بنابراین سرمایش یا کاهش دما نیز می‌تواند منجر به ایجاد شرایط مساعد تولید گردوغبار شود (فنجین<sup>۱</sup> و همکاران ۲۰۰۸). همان‌طور که نتایج مطالعه هارا و همکاران (۲۰۰۶) نیز مؤید ارتباط منفی مابین گردوغبار و دما می‌باشد. به‌طور کلی بر اساس داده‌های ایستگاهی، بیشترین تأثیر یا به بیان دیگر بیشترین ارتباط میان گردوغبار و پارامتر دما در دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶ در ایستگاه سرخس وجود دارد. نتایج حاصل از تحلیل همبستگی میان بارندگی و تعداد روزهای گردوغبار نشان داد بارندگی دارای ارتباط منفی معنی‌دار با فراوانی رخدادهای گردوغبار در ایستگاه سرخس می‌باشد، به طوری که در این ایستگاه ۴۴ درصد تغییرات گردوغبار تحت تأثیر بارندگی کنترل می‌شود.

ارتباط منفی معنی‌دار بدان معناست که کاهش میران بارندگی سبب خواهد شد رطوبت سطحی خاک کاهش یابد و حساسیت‌پذیری خاک به فرسایش بادی بالاتر رفته، در نتیجه شرایط برای ایجاد گردوغبار فراهم خواهد شد (هانگ و گائو<sup>۲</sup>، ۲۰۰۱). مطالعات انجام‌شده توسط محققان (بهرامی و همکاران، ۲۰۱۳؛ ایللی و همکاران، ۲۰۱۶؛ برومندی و همکاران، ۲۰۱۷؛ امگلان و همکاران ۲۰۱۷) حاکی از تأثیر غیرمستقیم بارندگی بر فراوانی گردوغبار است که با نتایج حاصل از بررسی ارتباط گردوغبار و بارندگی در تحقیق حاضر مطابقت دارد. نتایج بررسی تأثیر سرعت باد و فراوانی بادهای فرساینده بر تعداد روزهای غبارآلود نشان داد مؤثرترین پارامتر بر فراوانی رخدادهای گردوغبار سرعت باد است. مطالعات انجام‌شده توسط بهرامی، جلالی، هارا و همکاران (۲۰۰۶)، برایان و همکاران (۲۰۰۷)، ایللی و همکاران (۲۰۱۶)، برومندی و همکاران (۲۰۱۷)، امگلان و همکاران (۲۰۱۷) نیز حاکی از وجود رابطه مثبت بین سرعت باد و گردوغبار است که مؤید تأثیر مستقیم سرعت باد بر فراوانی گردوغبار هستند. بر اساس مقادیر ضریب همبستگی فراوانی

بر تشدید پدیده گردوغبار و ماسه‌های روان (فرسایش بادی) زیر پروژه «استان خراسان رضوی» با کد مصوب -۰۹-۰۹-۱۲۷-۱۰۴۷-۹۶۱۰۴۷ است. در اینجا لازم می‌داند از همکاری و مساعدت ریاست محترم مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، جناب آقای دکتر جلیلی و راهنمایی‌های ارزنده مدیران و کارشناسان اداره هواشناسی استان خراسان رضوی در جهت اعتلای بیشتر پژوهش سپاسگزاری نماید.

فرسایش بادی در شهرهای استراتژیک استان همچون سرخس، سبزوار و قوچان، پیشنهاد می‌شود که ضمن شناسایی کانون‌های تولید گردوغبار، احتمال وقوع طوفان‌های گردوغبار در آینده با استفاده از مدل‌های آماری دقیق پیش‌بینی شده تا بتوان اقدامات لازم برای کاهش اثرات منفی احتمالی ناشی از وقوع آن‌ها همچون روش‌های نوین تثبیت خاک صورت پذیرد.

### سپاسگزاری

پژوهش حاضر بخشی از طرح ملی بایش عوامل اقلیمی موثر

### منابع

1. Ansari, M. 2011. Statistical- climatic analysis of dust during (1986-2005) in Zahedan province. The 1<sup>th</sup> international congress on dust haze and dealing with its harmful effects, Ahvaz, Iran University of Science and Technology.
2. Aili, A., Kim, Oanh, N.T. and Abuduwaili, J. 2016. Variation Trends of Dust Storms in Relation to Meteorological Conditions and Anthropogenic Impacts in the Northeast Edge of the Taklimakan Desert, China. Open Journal of Air pollution 5, 127- 143.
3. Amgalan, G., Liu, G.R., Lin, T.H. and Kuo, T.H. 2017. Correlation between dust events in Mongolia and surface wind and precipitation. Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences, 28(1), 23- 32.
4. Bahrami, H., Jalali, M., Darvishi Bouloorani, A. and Azizi, R. 2013. Spatial- Temporal Modeling of Dust Storm Occurrence in Khuzestan Province. Iranian Journal Remote Sensing and GIS, 5(2), 95- 114.
5. Boroghani, M., Moradi, HR., Zangane Asadi, M. and Pourhashemi, S. 2019. Evaluation of the role of drought in frequency of dust in Khorasan Razavi province. Journal of Environmental Science Technology, 21(5), 109-121.
6. Broomandi, P., Dabir, B., Bonakdarpour, B. and Rashidi, Y. 2017. Identification of dust storm origin in South- West of Iran. Environmental Health Science & Engineering, 15(16), 1-1.
7. Boochani, MH., and Fazeli, D. 2011. Environment Challenges and its Consequences Case Study: Dust and its Impact in the West of Iran. Political, defense and security policy guidelines Journal, 2(3), 125.
8. Bryant, R.G., Bigg, G.R., Mahowald, N.M., Eckardt, F.D., Ross, S.G. 2007. Dust emission response to climate in southern Africa. Geophysical Research D: Atmospheres, 112, D09207.
9. Ebrahimi Khosfi, Z., Khosroshahi, M., Roustaei, F. and Mirakbari, M. 2020. Spatial and seasonal variations of sand-dust events and their relation to atmospheric conditions and vegetation cover in semi-arid regions of central Iran. Geoderma, 365. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020>.
10. Fengjin, X., ZHOU, C. and Yaoming, L. 2008. Dust storms evolution in Taklimakan Desert and its correlation with climatic parameters. Geographical Sciences, 18, 415-424.
11. Gavidel Rahimi, Y., Farajzadeh, M. and Lashni Zand, E. 2018. Analysis of temporal changes of Khorramabad dust storms. Journal of Applied Research in Geographical Sciences, 18(51), 87-102.
12. Hara, Y., Uno, I. and Wang, Z. 2006. Long-term variation of Asian dust and related climate factors. Atmospheric Environment. Vo. 40, PP.6730–6740.
13. Huang, FX. and Gao, Q. 2001. Climate controls on dust storm occurrence in Maowusu Desert, Inner Mongolia, North China. Environmental Science (China), 13, 14–21.
14. Kendall, M. G. (1975). Kendall rank correlation methods. Griffin, London.
15. Kimura, R. 2012. Effect of the Strong Wind and Land Cover in Dust Source Regions on the Asian Dust Event over Japan from 2000 to 2011. SOLA. 8, PP.77-80. 10.2151/sola.2012-020.
16. Mann, H.B. 1945. Nonparametric test against trend. Econometrica, 13, 245-259.
17. Mehrabi Sh., Soltani S. and Jafari R. 2015. Analyzing the relationship between dust storm occurrence and climatic parameters. Journal of Water and Soil Science, 19(71), 69-81.
18. Modarres, R. 2019. The relationship between the frequency of dust storms and climate change in arid regions of Iran. The 6<sup>th</sup> Regional Climate Change Conference, Iran Meteorological Organization, Tehran.
19. Mehrshahi, D. and Nekounam, Z. 2009. Statistical study of dust phenomenon and analysis of dust wind patterns in Sabzevar city. Geographical Association of Iran, 7(22), 83-104.
20. Naeimi, M., Yousefi, M. J., Khosroshahi, M., Zandifar, S. and Ebrahimi Khosafi, Z. 2019. A Study of the Effects of Climatic Factors on dust,

- Case Study: West of Khorasan Razavi Province. *Geographical Exploration of Desert Areas*, 7(2), 25-45.
21. Rafiei, Z., Yazdani, M. and Rahimi, M. 2017. Trend analysis of number of dusty days in Iran. *Arid Biome*, 6(2), 11-22.
22. Rezaei M. and Ghasemieh H. 2019. Assessing the impact of climate change on rainfall and temperature variability (Case Study: Kashan and Khur O Biabank Stations). *Arid Biome*, 9(1), 81-99.
23. Shahsavani, A., Yarahmadi, M., Mesdaghinia, A., Younesian, M., Jaafarzadeh Haghhighifard, N., Naimabadi, A., Salesi, M. and Naddafi, K. 2011. Analysis of Dust Storms Entering Iran with Emphasis on Khuzestan Province. *Hakim Research Journal*, 15(3), 192- 202.
24. Tan, M., Li, X. and Xin, L. 2014. Intensity of dust storms in China from 1980 to 2007: A new definition. *Atmospheric Environment*, 85(4), 215-222.
25. Yarahmadi, D., Nasiri, B., Khoshkish, A. and Nikbakht, H. 2015. Climate change and dusty days in the west and southwest of Iran. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 3(5), 19-28.
26. Yizhaq, H., Ashkenazy, Y. and Tsoar H. 2009. Sand dune dynamics and climate change: a modeling approach. *Journal of Geophysics Research* 114:F01023.
27. Zhang, Q.I. and Anastasio, C. 2003. Free and combined amino compounds in atmospheric fine particles (PM<sub>2.5</sub>) and fog waters from Northern California. *Atmospheric Environment*, 37(16), 2247-2258.

## Analyzing the effects of climate change on dust events, a case study: Khorasan Razavi province

Maryam Naeimi<sup>1</sup>, Maryam Mirakbari<sup>2</sup>, Mohammad Khosroshahi<sup>1</sup>, Samira Zandifar<sup>1</sup>, Yaser Ghasemi Aryan<sup>1</sup>

Received: 13/02/2021

Accepted: 31/05/2021

### Extended Abstract

**Introduction:** Climatic components are the vital factors influencing the dust event. It was believed that changes in climate parameters play a crucial role in the occurrence of dust events. Former studies have shown that temperature, rainfall, and wind speed contribute to poor vegetation, providing requirements of dust events. Long-term dust data indicated that climate has a profound effect on dust events and the occurrence of dust storms compared to the desertification process (Zhang and Anastasio, 2003). Monitoring Iran's meteorological data indicates changes in precipitation and temperature in the last two decades (Rezaei and Ghasemieh, 2019). Alterations in the amount and pattern of rainfall and rising temperature can initiate the changes that cause natural hazards, including dust storms. Hence, in the present study, the trend of changes in climatic parameters in Khorasan Razavi province has been investigated. Note that the climatic parameters are consisting of rainfall, average temperature, wind speed, and frequency of erosive winds.

**Material and methods:** According to the objectives of the present study, the monthly precipitation, temperature, and wind speed of seven synoptic stations including, Mashhad, Sabzevar, Sarakhs, Neishabour, Torbat Heydariyeh, Kashmar, and Quchan, were obtained from the meteorological organization of Khorasan Razavi from 1990 to 2016. Hourly dust codes also were extracted to detect the number of dusty days in the study period.

1. Assistant Professor, Research Institute of Forests and Rangelands, AREEO, Tehran, Corresponding Author; naeimi@rifr-ac.ir  
2. Ph.D. in Combating Desertification, University of Tehran, Tehran  
DOI: 10.22052/deej.2021.10.33.41

The relationship between climatic parameters of precipitation, temperature, wind speed, and erosive wind frequency was inspected by the Pearson correlation coefficient for each station. Later, the trend of dust events and climatic parameters was analyzed using the Mann-Kendall trend test.

**Results and discussion:** Results of dust codes indicated the local origin for the highest frequency of dusty days. Even though Sarakhs and Mashhad stations had the highest dusty days, Quchan and Kashmar had the lowest one in the study region. The Mann- Kendall test pointed out an increase in temperature for all study stations except Neishabour. Meanwhile, the precipitation had a downward trend in the Mashhad, Kashmar, Sabzevar, Torbat Heydariyeh, and Sarakhs stations and an increasing trend in the Neishabour and Quchan. Raising the frequency of the erosive wind in Quchan, Kashmar, Sabzevar, Sarakhs, and Neishabour stations during the study period could also be stated. In most of the stations (except Mashhad and Neishabour) upward tendency in the number of dusty days is consistent with other researchers such as Mehrshahian and Nekounam (2009) in Sabzevar, Boochani, and Fazeli (2011) in Ilam, Shahsavani et al. (2011) in Khuzestan stated. Hence, the decreasing tendency of dusty days in Mashhad and Neishabour is also in line with Rafiei et al. (2015) in Yazd, Semnan, Kashan, Ramsar, and several other stations. The falling trend of wind speed in Mashhad station can be reflected as the main reason for the reduction of dust events. In addition, the rising tendency of precipitation and possible decline of drought in Neishabour can be considered as the main reasons for the decrease in the number of dusty days. To understand the effect of climatic factors on the occurrence and intensification of dust events, the relationship between the number of dusty days and climatic parameters was determined. The results of correlation analysis between dust events and climatic parameters showed that the temperature directly affects the dust events in all stations except Mashhad. The positive correlation between temperature and dust events was stated in other studies (Bahrami et al., 2013; Amgalan et al., 2017). The correlation coefficient between dust event and precipitation showed a negative relationship between them which was significant at 95% level in Sarakhs station. Other studies (Ali et al., 2016; Broomandi et al., 2017; Amgalan et al., 2017) have also indicated the inverse effect of precipitation on dust events, which is following the findings of this study. The results of correlation analysis between the number of dusty days and wind speed and the frequency of erosive wind showed that the enormous influence on dust events is wind speed. While, at Neishabour station, there is a significant negative relationship between dust and wind speed. Indeed, the inverse relationship between dust and wind speed indicates that with increasing wind speed, the dust emission does not increase and another factor reduces the effect of wind speed. As Kimura (2012) reported the impact of vegetation on reducing the wind speed impact on the dust occurrence.

**Conclusion:** It was proven that the number of dusty days is in line with the variations of the climatic parameters. The decrease in rainfall, increase in temperature, and wind speed has been accompanied by an increase in dusty days in the region. In general, correlation analysis of dusty days and climatic parameters in Khorasan Razavi province indicated that wind speed and the frequency of erosive wind have considerable influence on dust events. However, the effect of wind speed on dust events at the Neishabour station reflected the significance of vegetation cover on reducing the transfer of soil particles.

**Key Words:** Climatic parameters, Dust, Khorasan Razavi Province, Mann – Kendall, Multivariate regression.