

تحلیل اثر پارامترهای اقلیمی بر تعداد روزهای غبارآلود استان قزوین

زهرة ابراهیمی خوسفی^۱، سمیرا زندی فر^{۲*}، محمد خسروشاهی^۲، مریم نعیمی^۲

^۱گروه مهندسی علوم و محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران
^۲مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۴

چکیده

هدف از پژوهش حاضر ارزیابی اثر تغییر پارامترهای اقلیمی بر وقوع پدیده گردوغبار در استان قزوین می‌باشد. بدین منظور، متوسط پارامترهای بارش، رطوبت نسبی، تبخیر و تعرق پتانسیل، دما، سرعت متوسط باد و سرعت بادهای بیشتر از ۶ متر بر ثانیه در بازه زمانی ۲۰۱۶-۲۰۰۶ در نظر گرفته شد و تعداد روزهای گردوغبار با توجه به کدهای مربوط به پدیده گردوغبار (۰۶ تا ۰۹، ۳۰ تا ۳۵ و ۹۸) استخراج و در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه محاسبه گردید. روند تغییرات پارامترهای اقلیمی و تعداد روزهای غبارآلود با استفاده از آزمون من-کندال و ارتباط بین آن‌ها با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون بررسی شد. نتایج نشان داد که سرعت بادهای بیشتر از ۶ متر بر ثانیه در اغلب مقیاس‌های مطالعاتی، روندی کاهشی و معنی‌دار ($Z > -1/96$) داشته است. روند مشابهی برای دمای متوسط و تبخیر و تعرق پتانسیل در ماه اکتبر مشاهده شد. روند تغییرات روزهای غبارآلود برای رخدادهای محلی در تابستان و برای رخدادهای فرامحلی در فصل بهار افزایشی و معنی‌دار نشان داده شد. این درحالی است که در سایر پارامترهای مورد بررسی، تغییرات معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین نتایج نشان داد روزهای غبارآلود محلی با شیب ۰/۰۸ و روزهای توأم با گردوغبار فرامحلی با شیب ۰/۶۸ در دوره آماری مورد بررسی افزایش یافته‌اند. تحلیل همبستگی پیرسون نشان داد که ارتباط قوی و معنی‌داری بین افزایش دمای متوسط بیشینه با تعداد روزهای توأم با گردوغبار محلی در فصل زمستان و همچنین بین سرعت متوسط بادهای سطحی بهاره با تعداد روزهای غبارآلود در این مدت وجود شده است ($t = 0/67; P \leq 0/05$).

کلید واژگان: آلودگی هوا، طوفان‌های شن و گردوغبار، فرسایش بادی، من-کندال، پارامترهای اقلیمی

مقدمه

پدیده گردوغبار یکی از مهمترین پدیده‌های جوی مخرب کیفیت هوا و محیط‌زیست است (Chen et al., 2021; Ramirez-Romero et al., 2021) که آگاهی از روند تغییرات آن در دوره‌های زمانی مختلف و شناسایی عوامل مؤثر بر این تغییرات دارای اهمیت زیادی است. Shi et al., (2021; Nafarzadegan et al., 2021). در دهه‌های اخیر، تغییرات اقلیم و وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های متناوب، اثر قابل توجهی بر تغییر شدت و فراوانی طوفان‌های گردوغبار در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان داشته و روند رو به رشد فعالیت رخدادهای گردوغبار در مناطق مختلف جهان و به‌ویژه ایران به اثبات رسیده است (Zeinali, 2016; Baghbanan et al., 2020; Khusfi et al., 2020).

درک عوامل مؤثر بر وقوع رخدادهای گرد و غبار برای بسیاری از زمینه‌های مطالعاتی اعم از ژئومورفولوژی (Lavi et al., 2020)، بیوژئوشیمی (Bekin et al., 2020)، عملکرد سیستم‌های فتوولکانیک (Marinho-Reis et al., 2019)، حتی علوم پزشکی (Mondal and Singh, 2021) از اهمیت زیادی برخوردار است و به‌همین دلیل، مطالعات متعددی در سراسر دنیا در زمینه‌های مختلف و مرتبط با گرد و غبار با رویکردهای مختلف انجام شده است. در بررسی روند تغییرات زمانی طوفان‌های گردوغبار ایران با استفاده از آزمون من-کندال مشخص شده که فراوانی این رخدادهای طی سال‌های ۲۰۱۷-۱۹۶۸ روندی افزایشی داشته است (Baghbanan et al., 2020). همچنین گزارش شده است که بیشترین فراوانی رخدادهای گرد و غبار جنوب غرب آسیا از لحاظ مکانی در حوضه سیستان ایران و بیابان‌های جنوب افغانستان و از نظر زمانی در ماه‌های ژوئن و ژولای بوده است (Kaskaoutis et al., 2018). مناطق نیمه‌خشک ایران در فاصله زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶ روند افزایشی وقایع گرد و غبار را تجربه کرده‌اند. عامل اصلی افزایش رخدادهای گردوغبار تغییرات

سرعت بادهای سطحی در فصول بهار، تابستان و پاییز و همچنین تخریب پوشش گیاهی بوده است (Khusfi et al., 2020). در استان زنجان، بیشترین غلظت ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرومتر (PM10) طی بازه زمانی ۲۰۱۸-۲۰۰۷ در ماه‌های می و ژولای مشاهده شده است. با بکارگیری شبکه‌های عصبی مصنوعی، پیشینه و کمبینه دما و سرعت باد از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تغییرات غلظت PM10 در این استان عنوان شده‌اند (Moghanlo et al., 2021). سرعت بادهای سطحی، دمای پیشینه هوا، رطوبت نسبی، بستر خشکیده تالاب‌ها و فراوانی بادهای فرساینده به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تغییرات رخدادهای گردوغبار در اطراف تالاب‌های هامون در جنوب شرق ایران شناخته شده‌اند (Ebrahimi-Khusfi et al., 2021). تغییرات دما، بارندگی و سرعت بادهای ۱۲۰ روزه به‌عنوان نیرو محرکه اصلی اقلیمی مؤثر بر رخدادهای گردوغبار جنوب شرق ایران شناخته شده‌اند (Yarmoradi et al., 2020) بررسی تغییرات زمانی طوفان‌های گردوغبار خرم‌آباد با استفاده از روش تحلیل روند خطی، پلی نومیال و آزمون ناپارامتری من-کندال حاکی از روند افزایشی این طوفان‌ها در اغلب ماه‌های سال و در سه فصل بهار، تابستان و پاییز می‌باشد (Ghavidel et al., 2018). نتایج حاصل از بررسی تغییرپذیری فرکانس طوفان‌های گردوغبار در مقیاس زمانی ده ساله در سه کمربند گردوغبار نواکچوت در موریتانی، زابل در ایران و مینکین در چین حاکی از روند کاهش طوفان‌های گردوغبار به‌ترتیب در اواخر دهه ۱۹۸۰، سال ۲۰۰۴ و اواخر دهه ۱۹۷۰ به‌دلیل نقش عوامل طبیعی می‌باشد (Middleton et al., 2019).

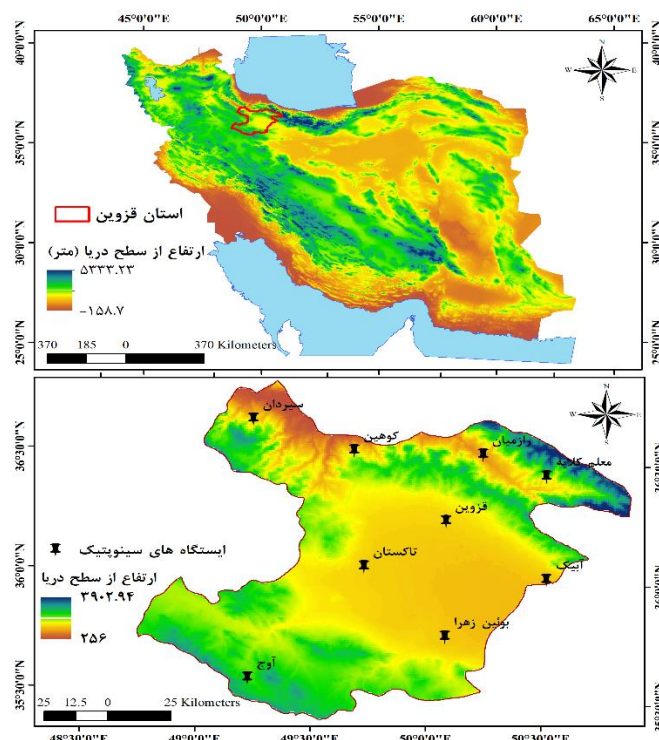
ایران مرکزی به‌عنوان و وسیع‌ترین محدوده با حاکمیت اقلیم خشک و نیمه‌خشک در ایران و با داشتن موقعیت استراتژیک به‌دلیل قرار گرفتن مراکز مهم و پرجمعیت کشور، منطقه مطالعاتی مناسبی برای بررسی تغییرات اقلیمی و تأثیر آن بر میزان فعالیت رخدادهای گردوغبار می‌باشد زیرا اکثر استان‌های بیابانی در بخش ایران مرکزی

هکتار است (Ministry of Energy-Water Resources Planning Office, 2013). از کل اراضی استان ۸۹۱/۷۵۵ هکتار معادل ۵۶/۳۷ درصد از آن را مراتع و جنگل ها تشکیل داده‌اند. بر اساس آخرین مطالعات صورت گرفته (مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین، ۱۳۸۵)، گیاهان شناسایی شده شامل ۹۷ تیره، ۵۸۶ جنس و ۱۱۹۲ گونه می‌باشد. از این تعداد ۳۲ گونه آن بوته‌ای، ۳۱ گونه درختی و ۵۱ گونه درختچه‌ای هستند و بقیه نیز گیاهان علفی یک‌ساله، دو ساله و چند ساله می‌باشند. ارتفاع متوسط منطقه مطالعاتی از سطح دریا ۱۲۷۹ متر می‌باشد. ۹ ایستگاه سینوپتیک در این استان وجود دارد که پراکنش جغرافیایی آن‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. هدف اصلی از انجام این تحقیق، تحلیل تأثیر تغییرات پارامترهای اقلیمی بر تعداد روزهای غبارآلود این استان است. لذا در ابتدا داده‌های متوسط ماهیانه مربوط به پارامترهای مهم اقلیمی ۹ ایستگاه سینوپتیک واقع در استان قزوین از قبیل بارندگی، دمای متوسط، دمای متوسط حداکثر، دمای متوسط حداقل، سرعت متوسط وزش بادهای، رطوبت نسبی و همچنین داده‌های ساعتی مربوط به کد پدیده گردوغبار فرامحلی (کد ۰۶) و محلی (۰۷ تا ۰۹، ۳۰ تا ۳۵ و ۹۸)، از سازمان هواشناسی استان قزوین دریافت شد. با توجه به اینکه بادهای با سرعت بیشتر از ۶ متر بر ثانیه نقش مؤثری در وقوع پدیده فرسایش بادی و توفان‌های شن و گردوغبار دارند (Ebrahimi-*et al.*, 2021)، فراوانی سرعت بادهای با سرعت بیشتر از ۶ متر بر ثانیه برای همه ایستگاه‌های سینوپتیک استان قزوین در مقیاس ماهانه با استفاده از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۶ محاسبه گردید. با استفاده از روش Thorntwaite (۱۹۴۸) و بکارگیری اطلاعات دمای متوسط و بارندگی، مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل نیز برای ایستگاه‌های مطالعاتی محاسبه گردید. به دلیل کوتاه بودن دوره آماری مربوط به ۳ ایستگاه رازمیان، سیردان و آبیک (۲۰۱۴ تاکنون)، از داده‌های هواشناسی مربوط به سایر ایستگاه‌ها (قزوین، آوج، معلم کلاویه، تاکستان، بوئین‌زهرا و

واقع شده‌اند و تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر بر روند تغییرات غبارآلودگی در آن‌ها به صورت جداگانه و دقیق می‌تواند گام موثرتری در شناسایی مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر وقوع این پدیده و تدوین برنامه‌ریزی‌های مناسب برای مهار این پدیده مخرب محیط‌زیستی در هر یک از این استان‌ها باشد. یکی از این استان‌ها، استان قزوین در شمال غربی بخش ایران مرکزی است. با توجه به اینکه تاکنون مطالعه جامعی در رابطه با تحلیل روند نوسانات اقلیمی و تعداد روزهای غبارآلود و همچنین بررسی ارتباط بین آن‌ها در سطح این استان انجام نشده است؛ به‌عنوان منطقه مطالعاتی، پژوهش حاضر اهمیت پیدا می‌کند. در این پژوهش تلاش شده است که روند تغییرات پارامترهای اقلیمی (بارندگی، دمای متوسط، دمای کمینه و بیشینه، تبخیر و تعرق پتانسیل، رطوبت نسبی، سرعت باد و فراوانی سرعت بادهای بیشتر از ۶ متر بر ثانیه) و روزهای توأم با گردوغبار و همچنین ارتباط بین عناصر آب و هوایی و تعداد روزهای غبارآلود استان قزوین به‌عنوان اهداف اصلی این پژوهش مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی: استان قزوین با وسعتی معادل ۱۵۸۲۱ کیلومتر مربع در شمال غربی بخش ایران مرکزی واقع شده است. میانگین بارش سالانه در سطح استان از ۲۱۰ میلی‌متر در بخش‌های شرقی تا بیش از ۵۵۰ میلی‌متر در ارتفاعات شمال شرقی متغیر است. پربارترین نقاط استان دامنه‌های شمال شرقی در منطقه الموت با بارشی بیش از ۵۵۰ میلی‌متر است (Faraji *et al.*, 2017). کمترین و بیشترین مقدار متوسط سالانه دما به ترتیب ۲ درجه سانتی‌گراد در ارتفاعات شمال شرقی و ۱۸ درجه سانتی‌گراد بوده در مناطق کم ارتفاع شمال غربی پیرامون دریاچه سد سفیدرود می‌باشد (Faraji *et al.*, 2017). وسعت اراضی با کاربری کشاورزی، مرتعی، تأسیسات شهری، بدون پوشش و مرطوب باتلاقی در استان به ترتیب برابر ۵۶۹۵۸۸، ۴۸۶۵۶۸، ۹۱۳۲، ۶۱۸۴۵ و ۱۱۸۸



شکل ۱- نقشه پراکنش ایستگاه‌های سینوپتیک استان قزوین.

سری زمانی مورد بررسی می‌باشد. با در نظر گرفتن یک سری زمانی به صورت x_1, x_2, \dots, x_n آماره آزمون من-کندال (Z) با استفاده از رابطه‌های ۱ تا ۳ محاسبه می‌شود:

رابطه (۱)

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

رابطه (۲)

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

برای آزمون معنی‌دار بودن روند، از متغیر Z نرمال استاندارد طبق رابطه ۵ استفاده می‌شود. فرض صفر (H_0) در آزمون من-کندال عدم وجود روند و فرض H_1 وجود روند می‌باشد.

رابطه (۳)

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

پس از حصول اطمینان از نرمال بودن داده‌ها با استفاده

کوهین) جهت پایش اقلیمی پدیده گردوغبار در این مطالعه استفاده شد (جدول ۱).

از ۱۰۰ کد هواشناسی که توسط سازمان جهانی هواشناسی تعریف شده است کد ۰۰ به کم اهمیت‌ترین رخداد و کد ۹۹ به بااهمیت‌ترین رخداد هواشناسی اختصاص داده می‌شود؛ از این ۱۰۰ کد، یازده کد برای رخدادهای فرسایش بادی یا وقایع گردوغبار با منشأ محلی (کدهای ۰۷ تا ۰۹، ۳۰ تا ۳۵ و ۹۸) و فرامحلی (کد ۰۶) تعریف شده است که در جدول ۲ ارائه شده است. در پژوهش حاضر، تعداد روزهای توأم با گردوغبار بر اساس کدهای مذکور برای ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه، استخراج و از آن‌ها برای محاسبه مجموع تعداد روزهای غبارآلود استان استفاده گردید. در گام بعدی با استفاده از آزمون من-کندال اقدام به بررسی وضعیت روند تغییرات روزهای غبارآلود و پارامترهای اقلیمی گردید (Mann, 1945; Kendall, 1975). از مزایای مهم این روش می‌توان به عدم پیروی آن از یک توزیع آماری خاص و عدم تأثیرپذیری از رخدادهای حدی اشاره کرد. فرض صفر و یک این آزمون به ترتیب دال بر عدم وجود و وجود روند در

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در استان قزوین.

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول دوره آماری
قزوین	۴۱۴۶۴۸/۴	۴۰۱۲۰۹۶	۱۲۷۹/۲	۱۹۵۹-۲۰۱۶
اوج	۳۳۸۳۸۸/۹	۳۹۳۷۳۵۰	۲۰۳۴/۹	۱۹۹۷-۲۰۱۶
معلم کلایه	۴۵۳۶۹۹/۶	۴۰۳۳۹۸۶	۲۹۱۶/۲	۲۰۰۱-۲۰۱۶
تاکستان	۳۸۲۹۰۴/۷	۳۹۹۰۲۷۶	۱۲۸۳/۴	۲۰۰۴-۲۰۱۶
بوئین زهرا	۴۱۵۶۳۲/۳	۳۹۵۸۴۷۱	۱۲۵۵	۲۰۰۶-۲۰۱۶
کوهین	۳۷۷۶۵۶/۶	۴۰۴۳۹۷۴	۱۵۳۹	۲۰۰۹-۲۰۱۶

جدول ۲- کدهای هواشناسی تعریف شده توسط سازمان جهانی هواشناسی برای بیان پدیده گردوغبار.

کد هواشناسی	نام علمی	توضیحات
۰۶	گردوغبار معلق	گردوغبار معلق در هوا که مسافت زیادی را پوشانده است.
۰۷	گرد و خاک	گردوغبار یا ماسه‌ای که در محل ایستگاه بلند شده است
۰۸	گردباد	گردبادهای تکامل یافته در خود ایستگاه یا اطراف آن
۰۹	توفان	گرد و خاک در ساعت دیده‌بانی در اطراف ایستگاه وجود دارد یا در طی ساعت گذشته در خود ایستگاه وجود داشته است
۳۰	توفان گرد و غبار یا ماسه ملایم	طی ساعت گذشته از شدت توفان کاسته شده است با دید افقی ۲۰۰-۱۰۰۰ متر
۳۱	توفان گرد و غبار یا ماسه ملایم	طی ساعت گذشته شدت توفان تغییری نکرده است با دید افقی ۲۰۰-۱۰۰۰ متر
۳۲	توفان گرد و غبار یا ماسه ملایم	طی ساعت گذشته بر شدت توفان افزوده شده است با دید افقی ۲۰۰-۱۰۰۰ متر
۳۳	توفان گرد و غبار یا ماسه شدید	طی ساعت گذشته از شدت توفان کاسته شده است با دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر
۳۴	توفان گرد و غبار یا ماسه شدید	طی ساعت گذشته شدت توفان تغییری نکرده است با دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر
۳۵	توفان گرد و غبار یا ماسه شدید	طی ساعت گذشته بر شدت توفان افزوده شده است با دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر
۹۸	توفان گرد و غبار یا ماسه خیلی شدید یا تندر	توفان‌هایی که در محل ایستگاه یا اطراف آن بلند شده‌اند با دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر

$$R = \frac{n \sum_i XY - \sum_i X \sum_i Y}{\sqrt{n \sum_i X^2 - (\sum_i X)^2} \sqrt{n \sum_i Y^2 - (\sum_i Y)^2}}$$

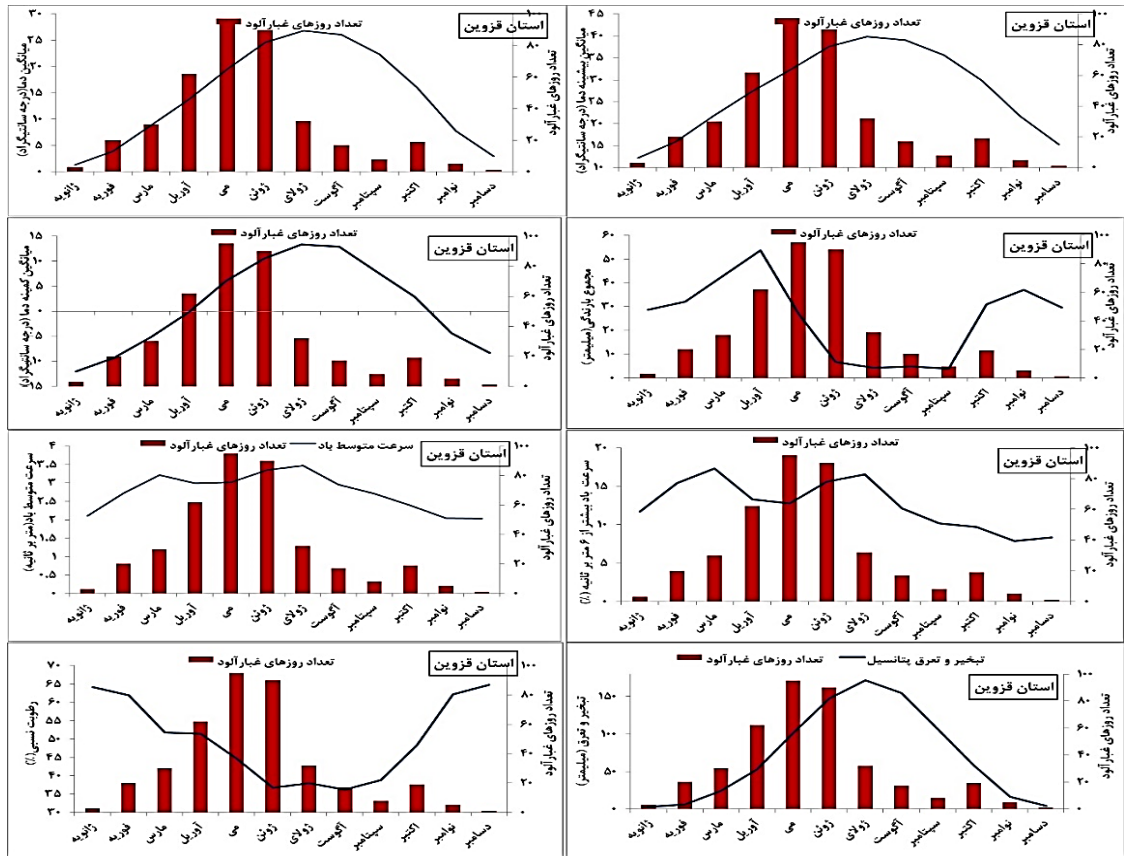
که در این رابطه X و Y به ترتیب بیانگر مقادیر مربوط به متغیرهای اقلیمی و تعداد روزهای غبارآلود در مطالعه حاضر می‌باشند.

نتایج

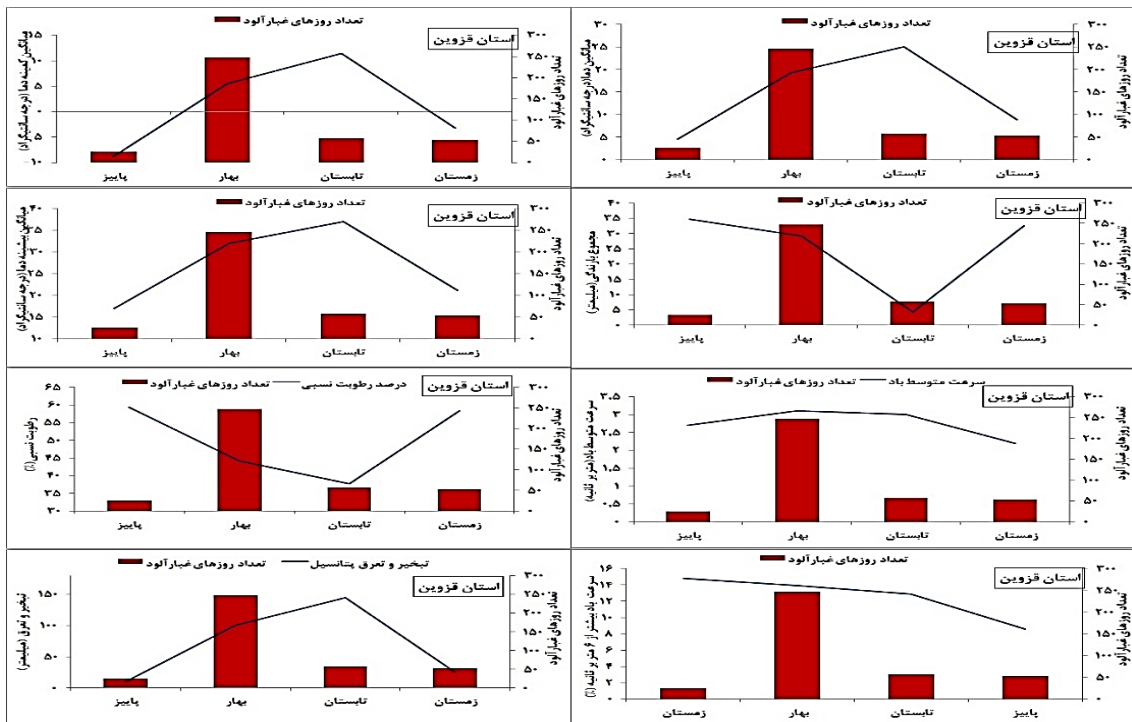
تغییرات زمانی عناصر اقلیمی و تعداد روزهای غبارآلود در استان قزوین: جهت تحلیل تغییرات عناصر اقلیمی و روزهای غبارآلود محلی (کدهای ۰۷ تا ۰۹، ۳۰ تا ۳۵ و ۹۸)

از آزمون کلوموگرووف-اسمیرنوف، به منظور تعیین میزان ارتباط منطقی بین متغیرهای مستقل (پارامترهای اقلیمی) و وابسته (تعداد روزهای غبارآلود) و نوع ارتباط بین آن‌ها در این تحقیق از روش همبستگی (پیرسون) در نرم افزار SPSS نسخه ۲۰ استفاده شد و نمودار پراکنش نقاط بین متغیرهای مورد بررسی نیز ترسیم گردید. ضریب همبستگی پیرسون با علامت R نشان داده می‌شود که بین -۱ تا +۱ متغیر است و علامت آن بیانگر جهت رابطه ۴ است که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{رابطه (۴)}$$



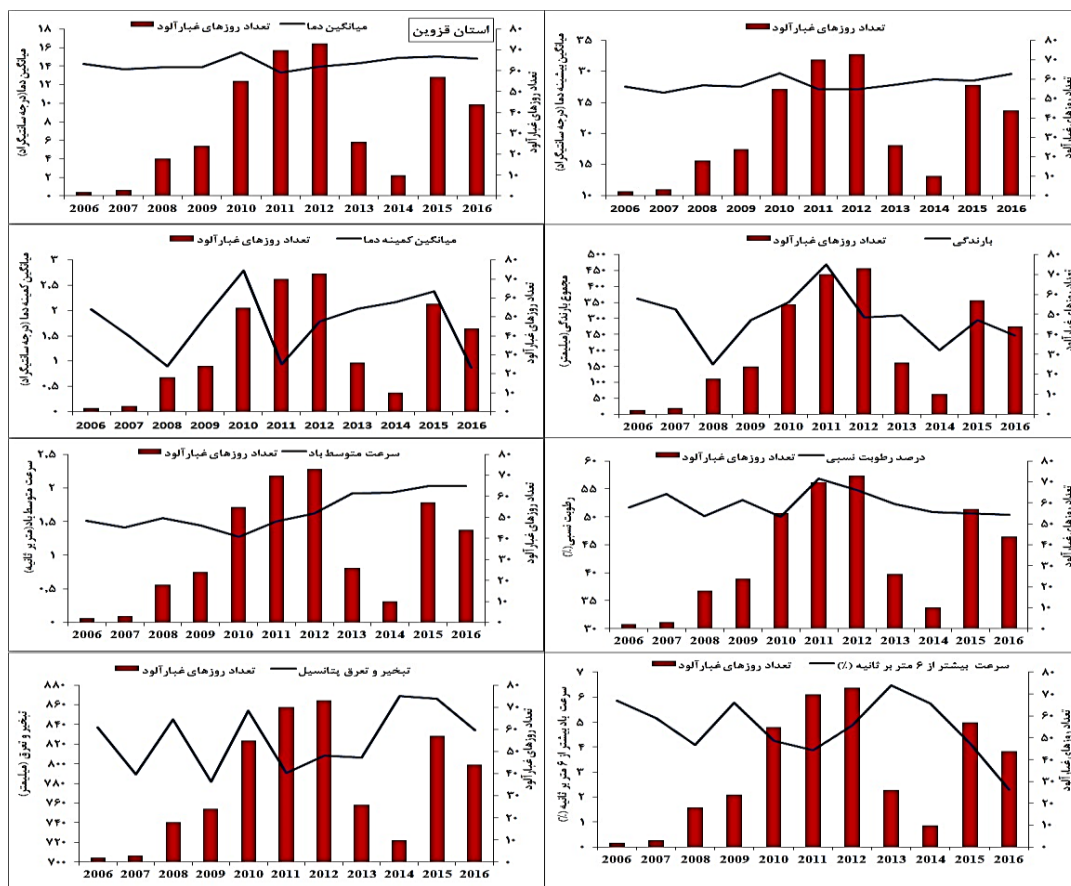
شکل ۲- مقادیر متوسط ماهیانه پارامترهای اقلیمی و تعداد روزهای غبارآلود در استان قزوین (۲۰۱۶-۲۰۲۰).



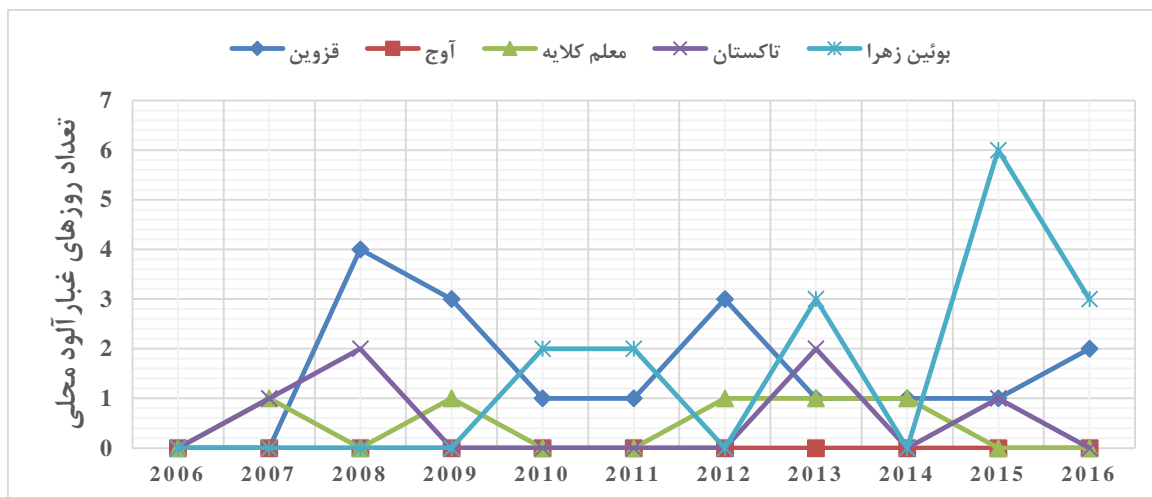
شکل ۳- مقادیر متوسط فصلی پارامترهای اقلیمی و تعداد روزهای غبارآلود در استان قزوین (۲۰۱۶-۲۰۲۰).

۲۰۰۶) استفاده شده است. بدین منظور، میانگین پارامترهای اقلیمی این ایستگاه‌ها به‌عنوان متوسط پارامترهای اقلیمی استان قزوین محاسبه و نتایج به‌دست آمده در شکل‌های ۲،

و فرامحلی (کد ۰۶) در سطح استان قزوین از آمار مربوط به ایستگاه‌های قزوین، اوج، معلم کلابه، تاکستان و بوئین‌زهرا به جهت دارا بودن بازه زمانی مشترک طولانی‌تر (۲۰۱۶-



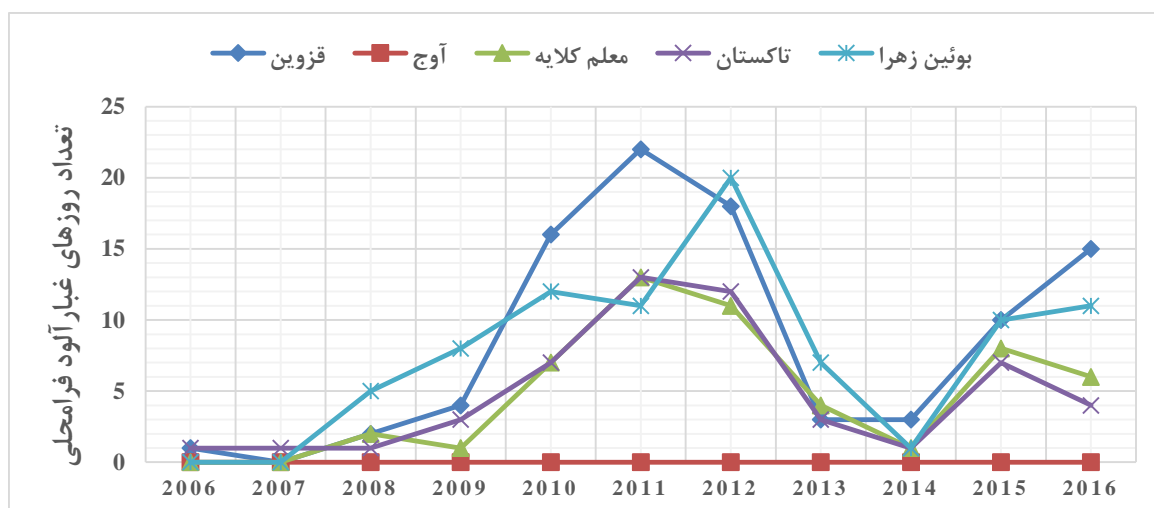
شکل ۴- مقادیر متوسط سالانه پارامترهای اقلیمی و تعداد روزهای غبارآلود در استان قزوین (۲۰۱۶-۲۰۰۶).



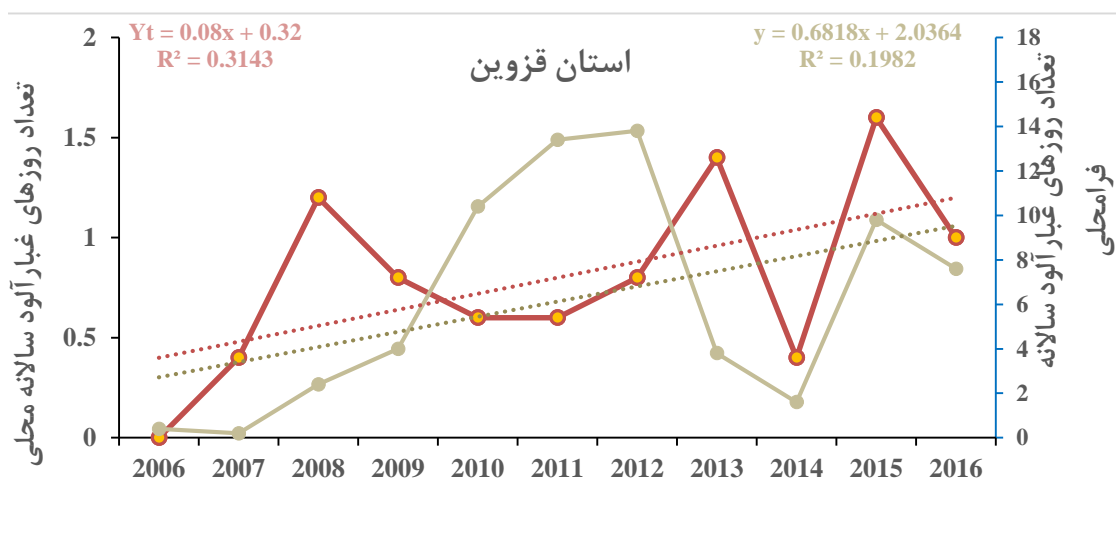
شکل ۵- تغییرات سالانه تعداد روزهای غبارآلود محلی در ایستگاه‌های سینوپتیک استان قزوین (۲۰۱۶-۲۰۰۶).

میلی‌متر) و کمترین (۱۰/۹ میلی‌متر) مقدار خود بوده است. در این بازه زمانی، بیشترین بارندگی در ماه‌های آوریل (۵۳/۶۸ میلی‌متر) و مارس (۴۳/۰۴ میلی‌متر) و در مقیاس فصلی در فصل زمستان و کمترین بارندگی در ماه‌های فصل تابستان (به‌طور متوسط کمتر از ۴ میلی‌متر) به وقوع پیوسته

۳ و ۴ ارائه شده است. بر اساس نتایج، میانگین پارامترهای دمایی مورد بررسی در استان قزوین در دوره مشترک آماری (۲۰۰۶-۲۰۱۶)، در ماه‌های فصل تابستان حداکثر و در ماه‌های فصل زمستان، حداقل بوده است. در این فصل‌ها، میزان تبخیر و تعرق پتانسیل به‌ترتیب در بیشترین (۱۴۴/۵



شکل ۶- تغییرات سالانه تعداد روزهای غبارآلود فرامحلی در ایستگاه‌های سینوپتیک استان قزوین (۲۰۰۶-۲۰۱۶).



شکل ۷- شیب تغییرات سالانه تعداد روزهای غبارآلود محلی و فرامحلی در استان قزوین در بازه زمانی مشترک (۲۰۰۶-۲۰۱۶).

شده است.

بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۵، کمترین تعداد روزهای غبارآلود محلی برای ایستگاه اوج و بیشترین آن برای ایستگاه قزوین به ثبت رسیده است. نتایج ارائه شده در شکل ۶ بیانگر روند افزایشی تعداد روزهای غبارآلود فرامحلی در اغلب ایستگاه‌های سینوپتیک استان قزوین طی بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱، روند کاهشی آن در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۱۱ و روند افزایشی در سال‌های پس از آن می‌باشد.

نتایج حاصل از بررسی شیب تغییرات سالانه تعداد روزهای غبارآلود محلی و فرامحلی در سطح استان قزوین (شکل ۷) بیانگر روند افزایشی هر دو نوع رخداد در این منطقه از ایران

است. در ماه‌های سرد سال، هوای استان بیشترین مقدار رطوبت نسبی (بیش از ۵۰٪) و در ماه‌های گرم سال (کمتر از ۳۸٪) کمترین مقدار رطوبت نسبی را داشته است. سرعت متوسط بادهای سطحی در اغلب ماه‌ها بیشتر از ۲ متر بر ثانیه و در ماه‌های ژولای، ژوئن، می و مارس بیشتر از ۳ متر بر ثانیه در دوره مشترک آماری بوده است.

روند تغییرات زمانی عناصر اقلیمی و تعداد روزهای غبارآلود در استان قزوین تغییرات سالانه تعداد روزهای غبارآلود محلی و فرامحلی در تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی برای بازه زمانی مشترک (۲۰۰۶-۲۰۱۶) در شکل‌های ۵ و ۶ و در سطح استان در شکل ۷ نشان داده

جدول ۳- مقادیر آماره آزمون من کندال (Z) مربوط به پارامترهای مورد بررسی در استان قزوین (۲۰۱۶-۲۰۰۶).

مقیاس زمانی	بارندگی	سرعت باد	سرعت باد بیشتر از ۶ متر بر ثانیه	رطوبت نسبی	دمای متوسط	حداکثر دمای متوسط	حداقل دمای متوسط	تبخیر و تعرق پتانسیل	روزهای غبارآلود محلی	روزهای غبارآلود فرامحلی	
ژانویه	Test Z	-۰/۷۸	۱/۸۷	-۱/۸۷	-۰/۹۳	۲/۱۸	۱/۵۶	۱/۸۷	-۱/۸۷	۰/۰۰	-۰/۶۶
	Sig	-	+	+	-	*	-	+	+	-	-
فوریه	Test Z	-۰/۹۳	۱/۷۱	-۳/۳۷	۰/۷۸	-۰/۳۱	۰/۳۱	۱/۲۵	۰/۱۶	۰/۵۹	۱/۲۰
	Sig	-	+	**	-	-	-	-	-	-	-
مارس	Test Z	۰/۷۸	-۰/۳۱	-۲/۶۵	۱/۰۹	-۰/۷۸	-۰/۷۸	-۰/۱۶	-۰/۷۸	۰/۵۵	۱/۸۹
	Sig	-	-	**	-	-	-	-	-	-	+
آوریل	Test Z	-۱/۰۹	-۰/۶۲	-۲/۶۵	-۰/۶۲	۰/۱۶	۰/۱۶	۱/۵۶	-۱/۷۱	-۰/۲۷	۰/۶۳
	Sig	-	-	**	-	-	-	-	+	-	-
می	Test Z	۰/۴۷	۰/۴۷	-۲/۱۸	-۰/۷۸	۰/۱۶	۱/۵۶	۰/۲۳	۰/۷۸	۰/۰۹	۰/۷۹
	Sig	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-
ژوئن	Test Z	-۰/۶۲	۱/۰۹	۲/۰۲	-۱/۵۶	-۰/۴۷	۱/۰۹	-۱/۴	-۰/۳۱	۱/۱۲	۱/۸۸
	Sig	-	-	*	-	-	-	-	-	-	+
ژولای	Test Z	۰/۳۹	-۰/۸۶	-۲/۴۹	۰/۰۰	-۰/۳۱	۱/۲۵	۰/۴۷	-۰/۴۷	۰/۳۵	۰/۲۶
	Sig	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-
اگوست	Test Z	-۰/۱۶	-۰/۱۶	-۲/۸۰	۰/۶۲	-۰/۹۳	۰/۶۲	-۰/۴۷	-۰/۷۸	۰/۹۱	۰/۷
	Sig	-	-	**	-	-	-	-	-	-	-
سپتامبر	Test Z	-۰/۶۲	۰/۶۲	-۲/۹۶	۰/۰۰	-۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۶۲	-۰/۴۷	۱/۲۳	۰/۹۱
	Sig	-	-	**	-	-	-	-	-	-	-
اکتبر	Test Z	۰/۱۶	۰/۳۹	-۳/۳۷	۰/۷۸	-۲/۱۸	۰/۶۲	-۱/۵۶	-۲/۰۲	۰/۵۵	۰/۸۲
	Sig	-	-	**	-	*	-	-	*	-	-
نوامبر	Test Z	۰/۰۰	۰/۴۷	-۱/۵۶	۰/۶۲	-۱/۰۹	-۰/۱۶	۰/۳۱	-۰/۷۸	۰/۱۲	-
	Sig	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
دسامبر	Test Z	۰/۰۰	۰/۹۳	-۱/۷۱	۱/۲۵	۰/۳۱	۰/۹۳	۱/۲۵	۰/۴۷	-	-
	Sig	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
زمستان	Test Z	-۰/۷۸	۰/۹۳	-۳/۳۷	۰/۱۶	۰/۷۸	۰/۹۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۱۱	۱/۰۳
	Sig	-	-	**	-	-	-	-	-	-	-
بهار	Test Z	-۱/۴	۰/۳۱	-۲/۶۵	-۱/۴	-۰/۴۷	۱/۴	-۱/۴۸	-۰/۱۶	۰/۳۲	۱/۷۲
	Sig	-	-	**	-	-	-	-	-	-	+
تابستان	Test Z	-۰/۱۶	-۰/۳۱	-۳/۱۱	-۰/۱۶	-۱/۰۹	۱/۰۹	۰/۰۰	-۱/۲۵	۱/۷۲	۰/۹۷
	Sig	-	-	**	-	-	-	-	-	+	-
پاییز	Test Z	۰/۳۱	۰/۹۳	-۱/۷۱	۱/۷۱	-۰/۴۷	۰/۷۸	۰/۰۰	-۱/۵۶	۰/۷	۱/۵۴
	Sig	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
سالانه	Test Z	-۱/۴	۱/۰۹	-۳/۳۷	۰/۱۶	-۰/۱۶	۱/۸۷	-۰/۳۱	-۰/۹۳	۱/۵	۱/۴
	Sig	-	-	**	-	-	+	-	-	-	-

است و برای سایر پارامترهای اقلیمی روند تغییرات ثابتی مشاهده نشد.

تأثیر تغییر پارامترهای اقلیمی بر تعداد روزهای غبارآلود استان قزوین: در نهایت ارتباط بین پارامترهای اقلیمی و روزهای غبارآلود در مقیاس‌های زمانی مختلف

طی بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۶ می‌باشد. روند تغییرات پارامترهای اقلیمی و روزهای غبارآلود محلی و فرامحلی استان قزوین بر اساس آزمون من-کندال (جدول ۳) نشان می‌دهد که تغییرات مربوط به سرعت بادهای بیشتر از ۶ متر بر ثانیه در همه مقیاس‌های زمانی، کاهشی و معنی‌دار بوده

جدول ۴- نتایج حاصل از تحلیل همبستگی پیرسون بین پارامترهای اقلیمی و تعداد روزهای غبارآلود محلی (INDD) در استان قزوین (۲۰۱۶-۲۰۰۶).

	Tmean	Tmax	Tmin	p	WS	RH%	ETP	% WS>6m/s
زمستان								
INDD	0.592	0.670*	0.487	-0.096	0.586	-0.210	0.029	-0.309
بهار								
INDD	0-0.270	-0.234	-0.018	-0.037	0.67**	-0.238	-0.0331	0.290
تابستان								
INDD	-0.289	0.089	-0.023	-0.059	-0.302	0.139	-0.308	-0.456
پاییز								
INDD	-0.0327	0.030	-0.269	0.335	0.252	0.183	-0.319	0.037
سالیانه								
INDD	-0.012	0.241	-0.164	-0.416	0.522	-0.167	-0.070	-0.357

در تابستان و پاییز بوده است. در نهایت تأثیر عوامل متعدد منجر به اوج غبارآلودگی هوا در ماه‌های فصل بهار و تابستان شده است. به نظر می‌رسد تأثیر برخی ویژگی‌های فیزیکی سطحی نظیر بالا بودن محتوای رطوبتی خاک در فصل سرد سال، علی‌رغم بالا بودن سرعت بادهای فرسایش‌زا، در افزایش سرعت آستانه فرسایش بادی و کاهش اثرگذاری بادهای فرسایش‌زا و انتشار ذرات گردوغبار در این فصل از سال مؤثر بوده‌اند. متوسط طولانی مدت (۲۰۱۶-۲۰۰۶) پارامترهای اقلیمی در استان قزوین به شرح زیر برآورد شده است: متوسط دما: ۱۴/۵ درجه سانتی‌گراد، میانگین بیشینه دما: ۲۶/۸ درجه سانتی‌گراد، میانگین کمینه دما: ۱/۲ درجه سانتی‌گراد، بارندگی: ۳۰۱/۸ میلی‌متر، درصد رطوبت نسبی: ۴۹/۸ درصد، تبخیر و تعرق پتانسیل: ۸۴۶/۴ میلی‌متر، سرعت متوسط بادهای سطحی: ۲/۷ متر بر ثانیه و درصد فراوانی سرعت بادهای بیشتر از ۱۲ نات: ۱۲/۶ درصد. در مقیاس سالیانه، بیشترین دماهای متوسط، حداقل و حداکثر و همچنین حداکثر میزان تبخیر و تعرق در سال ۲۰۱۰ به‌وقوع پیوسته است اما کمترین میزان بارندگی و کمترین درصد رطوبت نسبی متعلق به سال ۲۰۰۸ بوده است. میزان فعالیت بادهای فرسایش‌زا در سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۸ به اوج خود رسیده است درحالی‌که سرعت متوسط بادهای سطحی در سال ۲۰۰۹ و ۲۰۱۳ بیشتر از سایر سال‌های

(فصلی، سالیانه، کل بازه زمانی و بازه زمانی مشترک) با استفاده از تحلیل همبستگی پیرسون محاسبه گردید (جدول ۴). بر اساس نتایج، تغییرات دمای بیشینه زمستانه و سرعت متوسط باد بهاره اثر معنی‌داری بر تعداد روزهای غبارآلود محلی استان قزوین داشته‌اند. سایر پارامترهای اقلیمی همبستگی قوی و معنی‌داری با روزهای غبارآلود استان قزوین طی بازه زمانی مورد مطالعه نداشته است.

بحث و نتیجه گیری

تغییرات زمانی پارامترهای اقلیمی و تعداد روزهای غبارآلود: نتایج نشان داد که، تعداد روزهای توأم با گردوغبار محلی بین ۰/۰۴ تا ۰/۰۹ در ماه‌های فصل زمستان، بین ۰/۰۵ تا ۰/۱۱ در ماه‌های فصل بهار، بین ۰/۰۴ تا ۰/۱۱ در ماه‌های فصل تابستان و بین ۰ تا ۰/۱۱ در ماه‌های فصل پاییز متغیر بوده است. در مقیاس فصلی، بیشترین فراوانی و تعداد روزهای غبارآلود محلی و فرامحلی در فصل‌های بهار و تابستان به‌وقوع پیوسته است. میانگین روزهای غبارآلود بهاره با منشأ محلی و فرامحلی در دوره آماری ۱۱ ساله به‌ترتیب ۰/۳ و ۴/۳ روز بوده است. در مقیاس فصلی، بیشترین سرعت بادهای سطحی به‌ترتیب در فصل بهار، تابستان، زمستان و پاییز وزیده است در حالی‌که که زمان پیک فعالیت بادهای فرسایش‌زا در زمستان و بهار و سپس

آماری بوده است. اگرچه تعداد روزهای غبارآلود محلی، در سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۳ قابل توجه بوده است اما تعداد روزهای توأم با گردوغبار محلی در سال ۲۰۱۵ بیشتر از سایر سال‌های مطالعاتی و به‌طور متوسط، ۲ روز در سال بوده است. تعداد روزهای توأم با گردوغبارهای فرامحلی در سال ۲۰۱۲ و به‌طور متوسط ۱۳/۸ در سال برآورد شده است. نتایج بیانگر آن است که رخدادهای فرامحلی سهم بیشتری در افزایش غبارآلودگی هوای استان قزوین در سال‌های اخیر داشته اند.

تحلیل روند تغییرات پارامترهای اقلیمی و تعداد

روزهای غبارآلود: نتایج حاصل از بررسی روند تغییرات پارامترهای اقلیمی مورد بررسی در این پژوهش با استفاده از آزمون من-کندال نشان داد که متغیر بارندگی، در ماه‌های مارس، می، ژولای و اکتبر روند افزایشی غیرمعنی‌دار، در ماه‌های نوامبر و دسامبر بدون روند و در سایر ماه‌های سال روند کاهش و غیرمعنی‌داری داشته است. در مقیاس فصلی، روند تغییرات بارندگی پاییزه افزایشی و روند تغییرات این عنصر اقلیمی در سایر فصل‌ها، کاهش و غیرمعنی‌دار است. روند تغییرات بارندگی سالیانه نیز کاهش و غیرمعنی‌دار بوده است (۱/۴-). روند تغییرات دمای متوسط و میانگین حداقل دما در اغلب ماه‌ها از به جهت افزایش و یا کاهش بودن، یکسان بوده‌اند. آنچه روشن است روند افزایشی و معنی‌دار این پارامترهای اقلیمی در ماه ژانویه است. اگرچه در ماه‌های فوریه، آوریل، می و دسامبر نیز هر دو متغیر اقلیمی، تابع یک روند افزایشی بوده‌اند اما این تغییرات در بازه زمانی مورد بررسی (۲۰۱۶-۲۰۰۶) غیرمعنی‌دار بوده است. روند تغییرات آن‌ها در فصول بهار، تابستان و پاییز و همچنین در مقیاس سالیانه نیز مشابه و کاهش غیرمعنی‌دار بوده است. تغییرات بیشینه دمای متوسط هوا، در بیشتر ایام سال به‌جز ماه‌های مارس و نوامبر، افزایشی غیرمعنی‌دار و در مقیاس سالیانه افزایشی معنی‌دار نشان داده شده است (۱/۸۷+). با وجود تغییرات افزایشی دمای متوسط هوا در ماه ژانویه، روند تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل در ماه ژانویه در استان قزوین

کاهش و معنی‌دار بوده است. روند تغییرات مشابهی برای ماه‌های آوریل و اکتبر نیز نشان داده شده است درحالی که در سایر مقیاس‌های زمانی، روند تغییرات این پارامتر اقلیمی عمدتاً کاهش و غیرمعنی‌دار بوده است. روند تغییرات سرعت بادهای سطحی نشان داد که در ماه‌های ژانویه، فوریه، می، سپتامبر، اکتبر و دسامبر روند تغییرات این دو پارامتر مهم اقلیمی مثبت و معنی‌دار و روند تغییرات سرعت بادهای فرسایش‌زا منفی و معنی‌دار بوده است. در ماه‌های مارس و آوریل، سرعت بادهای سطحی روند کاهش غیرمعنی‌دار، درحالی که سرعت بادهای فرسایش‌زا، روندی کاهش و معنی‌دار داشته است. به‌طور کلی در مقیاس فصلی، در فصل زمستان و بهار پاییز روند تغییرات سرعت بادهای سطحی، افزایشی و غیرمعنی‌دار و در پاییز، کاهش و غیرمعنی‌دار بوده است. در حالی که سرعت بادهای فرسایش‌زا در هر چهار فصل و همچنین در مقیاس سالیانه، کاهش و معنی‌دار بوده است. تعداد روزهای توأم با گردوغبارهای محلی و فرامحلی در ماه ژانویه به‌ترتیب بدون روند و دارای روند کاهش غیرمعنی‌دار بوده‌اند. در ماه آوریل، روند تغییرات آن‌ها به‌ترتیب کاهش و افزایشی غیرمعنی‌دار بوده است. در بقیه ایام سال، روند تغییرات روزهای غبارآلود با هر دو منشأ داخلی و خارجی مثبت بوده است. به‌طوری‌که روند این تغییرات برای رخدادهای محلی در تابستان و برای رخدادهای فرامحلی در فصل بهار معنی‌دار نشان داده شده است. بررسی مطالعات قبلی نشان می‌دهد که در ماه ژولای روند کاهش شدید در وقوع پدیده فرسایش بادی و انتشار ذرات گردوغبار شهر قزوین، رخ داده است. در مقیاس فصلی به‌جز فصل زمستان که بدون روند گزارش شده است، در سایر فصول، از شدت وقوع این رویدادها به‌میزان قابل توجهی کاسته شده است. در مقیاس سالانه، کاهش ۲۲ درصدی تغییرات شاخص توفان گردوغبار در طولانی مدت (۲۰۱۶-۱۹۵۹) مشاهده شده است. Zandifar و همکاران (۲۰۲۰) مطالعه خود را تنها روی شهر قزوین و در بازه زمانی ۲۰۱۶-۱۹۵۹ ابه انجام داده‌اند؛ در حالی که در این پژوهش، سطح

یافته‌های این مطالعه همخوانی دارد. به طور کلی روند تغییرات تعداد روزهای غبارآلود استان قزوین طی دوره مطالعاتی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۶ افزایشی بوده است که بر اساس تحلیل همبستگی پیرسون، علت اصلی این تغییرات به‌ویژه در فصل‌های زمستان و بهار، تغییرات حداکثر دما و سرعت متوسط بادهای سطحی در منطقه مطالعاتی پژوهش حاضر بوده است. این یافته‌ها می‌تواند در تصمیم‌گیری بهتر برای انجام اقدامات مدیریتی و اجرایی مناسب در راستای کاهش خطرات ناشی از آلودگی هوای ایجادشده توسط توفان‌های گردوغبار در این منطقه از ایران مفید باشد.

در پایان، پیشنهاد می‌شود که تأثیر تغییرات زمانی و مکانی ویژگی‌های فیزیکی سطح زمین، به‌ویژه تغییر در شرایط پوشش گیاهی و رطوبت خاک که از مهم‌ترین عوامل موثر در کنترل سرعت آستانه فرسایش بادی در مناطق خشک و نیمه‌خشک هستند، بر رخدادهای گردوغبار در تحقیقات آتی مورد توجه و بررسی پژوهشگران قرار گیرد. استفاده از محصول ماهواره‌ای شاخص عمق اپتیکی آئروسول‌ها به‌ویژه برای مناطقی که دوره آماری کوتاه‌مدت داشته و یا نواقص آماری زیادی دارند، نیز می‌تواند جایگزین مناسبی برای سنجش فعالیت توفان‌های شن و گردوغبار در نواحی بیابانی باشد. بنابراین استفاده از این محصولات و ارزیابی عملکرد آن‌ها برای این مناطق از دیگر پیشنهادات برای مطالعات آتی می‌باشد.

مطالعاتی، استانی و بازه زمانی، بازه زمانی مشترک بین ایستگاه‌ها (۲۰۱۶-۲۰۰۶) می‌باشد. بنابراین، علت اختلاف در یافته‌ها، به دلیل متفاوت بودن طول دوره آماری مورد بررسی پژوهش حاضر و همچنین متفاوت بودن مقیاس مکانی مطالعه شده می‌باشد.

تحلیل ارتباط بین پارامترهای اقلیمی و رخدادهای گردوغبار در استان قزوین: به‌طور کلی در استان قزوین طی بازه زمانی مشترک آماری (۲۰۱۶-۲۰۰۶)، روزهای توأم با گردوغبار محلی با شیب ۰/۰۸ و روزهای توأم با گردوغبار فرامحلی با شیب بیشتری (۰/۶۸) افزایش یافته است (شکل ۷). تحلیل همبستگی پیرسون نشان داد که ارتباط قوی و معنی‌داری بین افزایش دمای متوسط بیشینه با تعداد روزهای توأم با گردوغبار محلی در فصل زمستان (۰/۶۷) در سطح اطمینان ۹۵٪ و همچنین بین سرعت متوسط بادهای سطحی بهار با تعداد روزهای غبارآلود (۰/۶۷) در سطح اطمینان ۹۹٪ برقرار شده است (جدول ۴). به نظر می‌رسد که اگر چنین روندی در آینده ادامه داشته باشد، بتوان مدل‌های دقیق‌تری جهت تبیین نقش عوامل اقلیمی بر رخدادهای گردوغبار در این منطقه از کشور را ارائه کرد. در مطالعه انجام شده توسط Moghanlo و همکاران (۲۰۲۱)، در زمینه تأثیر پارامترهای اقلیمی بر پدیده گردوغبار استان زنجان که در مجاورت منطقه مطالعاتی این پژوهش واقع شده، بیشینه و کمینه دما و سرعت باد از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تغییرات غلظت گردوغبار گزارش شده است که با

References

- AlKheder, S., AlKandari, A., 2020. The impact of dust on Kuwait International Airport operations: a case study. *International Journal of Environmental Science & Technology (IJEST)* 17(7).
- Agricultural and Natural Resources Research Center of Qazvin Province. (2015). Identification of vegetation in Qazvin province. 105 p.
- Baghbanan, P., Ghavidel, Y., Farajzadeh, M., 2020. Spatial analysis of spring dust storms

- hazard in Iran. *Theoretical and Applied Climatology* 139(3), 1447-1457.
- Chen, C.-Y., Chen, H.W., Sun, C.-T., Chuang, Y. H., Nguyen, K.L.P., Lin, Y.T., 2021. Impact assessment of river dust on regional air quality through integrated remote sensing and air quality modeling. *Science of the Total Environment* 755, 142621.
- Ebrahimi-Khusfi, Z., Nafarzadegan, A.R., Dargahian, F., 2021. Predicting the number of dusty days around the desert wetlands in southeastern Iran using feature selection

- and machine learning techniques. *Ecological Indicators* 125, 107499.
- Faraji, z., Kaviani, A., Shakiba, A., 2017. Evaluation of Evapotranspiration, Precipitation and Air Temperature from Global Land Data Assimilation System (GLDAS) by Lysimeter Data in Qazvin. *Journal of Water and Soil Conservation* 24(3), 283-297.
- Ghavidel Rahimi, Y., Farajzadeh, M., Lashani Zand, E., 2019. The Temporal Analysis of Dust Storms In Khoramabad Synoptic Station. *Journal of Geographical Sciences* 18(51 #G00415).
- Hachicha, A.A., Al-Sawafta, I., Said, Z., 2019. Impact of dust on the performance of solar photovoltaic (PV) systems under United Arab Emirates weather conditions. *Renewable Energy* 141, 287-297.
- Kendall, M. 1975. Rank correlation methods (4th edn.) Charles Griffin. San Francisco, CA, 8.
- Khusfi, Z. E., Khosroshahi, M., Roustaei, F., 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, 114225.
- Lavi Bekin, O., Crouvi, O., Blumberg, D.G., 2020. Areal Extent of Dust Emission Events and Source Geomorphology in Northern Africa from MSG-SEVIRI Data. *Remote Sensing* 12(17), 2775.
- Mann, H.B. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society* 245-259.
- Marinho-Reis, A.P., Costa, C., Rocha, F., Cave, M., Wragg, J., Valente, T., Noack, Y., 2020. Biogeochemistry of household dust samples collected from private homes of a Portuguese industrial city. *Geosciences* 10(10), 392.
- Middleton, N., 2019. Variability and trends in dust storm frequency on decadal timescales: Climatic drivers and human impacts. *Geosciences* 9(6), 261.
- Ministry of Energy-Water Resources Planning Office, 2013. Studies on the modernization of the country's comprehensive water plan in the watersheds of the Salt Lake, Gavkhoni, Siahkoh Rig Zarin and Kavir markazi. Geological report and soil resource studies. 250 p.
- Moghanlo, S., Alavinejad, M., Oskoei, V., Saleh, H.N., Mohammadi, A.A., Mohammadi, H., DerakhshanNejad, Z., 2021. Using artificial neural networks to model the impacts of climate change on dust phenomenon in the Zanjan region, north-west Iran. *Urban Climate* 35, 100750.
- Mondal, S., Singh, G., 2021. Pollution evaluation, human health effect and tracing source of trace elements on road dust of Dhanbad, a highly polluted industrial coal belt of India. *Environmental Geochemistry and Health* 43(5), 2081-2103.
- Nafarzadegan, A.R., Ebrahimi-Khusfi, Z., Kazemi, M., 2021. Spatial characterization of dust emission prone arid regions using feature extraction and predictive algorithms. *Applied Geography* 133, 102495.
- Ramírez-Romero, C., Jaramillo, A., Córdoba, M.F., Raga, G.B., Miranda, J., Alvarez-Ospina, H., Yakobi-Hancock, J., 2021. African dust particles over the western Caribbean—Part I: Impact on air quality over the Yucatán Peninsula. *Atmospheric Chemistry and Physics* 21(1), 239-253.
- Thorntwaite, C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review* 38(1), 55-94.
- Yarmoradi, Z., Nasiri, B., Mohammadi, G.H., Karampour, M., 2020. Long-term characteristics of the observed dusty days and its relationship with climatic parameters in East Iran. *Arabian Journal of Geosciences* 13(6), 1-11.
- Zandifar, S., Ebrahimikhusfi, Z., Naeimi, M., 2020. Analysis of the Effect of Climatic Parameters and Meteorological Droughts on the Variation of Internal Dust Events (A Case Study: Qazvin City). *JWSS-Isfahan University of Technology* 24(3), 239-256.
- 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.