

DOI: [10.29252/ARIDBIOM.2023.18595.1894](https://doi.org/10.29252/ARIDBIOM.2023.18595.1894)

## بررسی تأثیر خشکسالی بر رویداد گردوغبار استان کرمان با استفاده از داده‌های هواشناسی و تصاویر ماهواره‌ای (مقاله پژوهشی)

۱- زهره ابراهیمی خوسفی\*، دانشیار بیابان‌زدایی، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران.

zohreebrahimi2018@ujiroft.ac.ir

۲- محسن ابراهیمی خوسفی، استادیار سنجش از دور، گروه جغرافیا، پردیس علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

۳- مریم میراکبری، دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۴- مجتبی سلیمانی ساردو، دانشیار بیابان‌زدایی، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران.

دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۷

پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۳

### چکیده

در سال‌های اخیر، فراوانی رخداد‌های گردوغبار و شدت خشکسالی در بسیاری از مناطق خشک ایران افزایش یافته است. بنابراین، کشف ارتباط این دو پدیده در این مناطق اهمیت زیادی دارد. در پژوهش حاضر، وضعیت خشکسالی استان کرمان با استفاده از شاخص بارش-تبخیرتعرق استاندارد شده (SPEI) و فراوانی رخداد‌های گردوغبار با استفاده از کدهای ۰۷، ۰۸، ۰۹، ۳۵-۳۰ و ۹۸ ثبت شده در ایستگاه‌های سینوپتیک طی دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۸ مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر این، از دو محصول ماهواره‌ای شاخص شدت خشکسالی پالم (PDSI) و عمق اپتیکی آئروسول (AOD) نیز به منظور تأیید نتایج به دست آمده از داده‌های هواشناسی در دوره آماری مشترک با داده‌های هواشناسی (۲۰۱۸-۲۰۰۰) استفاده شد. روند تغییرات شاخص‌های خشکسالی، فراوانی رخداد‌های گردوغبار و AOD با استفاده از آزمون من-کندال و میزان همبستگی آنها با یکدیگر با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون بررسی شد. نتایج نشان داد استان کرمان با شدیدترین رخداد‌های خشکسالی در بازه زمانی ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۰ مواجه بوده است. طولانی‌ترین خشکسالی با تداوم ۲۱ سال و شدت ۱۱/۸۴ در شمال غربی استان اتفاق افتاده است. تحلیل زمانی رخداد‌های گردوغبار، تشدید فعالیت آن در فصول بهار و زمستان و به ویژه در ماه‌های مارس، آوریل و می را نشان داد. نتایج حاصل از تحلیل روند تغییرات شاخص SPEI نشان داد که خشکسالی در استان کرمان روندی افزایشی و معنی‌دار داشته در حالی که روند تغییرات فراوانی رخداد‌های گردوغبار، کاهشی و غیرمعنی‌دار بوده است. تحلیل روند تغییرات با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای نیز روند افزایشی معنی‌دار PDSI و روند کاهشی غیرمعنی‌دار AOD را در فصول گرم به اثبات رساند. تحلیل همبستگی بین SPEI و فراوانی وقوع گردوغبار نشان داد که تشدید شرایط خشکی در ماه نوامبر بر تشدید رویداد گردوغبار در استان کرمان اثر معنی‌داری داشته است ( $T=-0/46$ ;  $P\text{-value}<0.05$ )، این در حالی است که در سایر ماه‌ها اثر قابل توجهی بر تغییر فراوانی رخداد‌های گردوغبار نداشته است. نتایج بدست آمده از تحلیل PDSI و AOD نیز همبستگی ضعیف بین این دو پدیده را در استان کرمان تأیید کرد. نتایج پژوهش حاضر همچنین نشان داد که تأثیر تأخیرهای زمانی خشکسالی بر پدیده گردوغبار در این استان، ضعیف و غیرمعنی‌دار بوده است.

واژگان کلیدی: فراوانی گردوغبار، شاخص بارش-تبخیرتعرق استاندارد شده، روند تغییرات، مناطق خشک، سنجش از دور.

### مقدمه

طبیعی و انسانی باشند و اثر نامطلوبی بر اقلیم، سلامت انسان، اکوسیستم‌های محیطی و بسیاری از بخش‌های اجتماعی و اقتصادی بر جای گذارند [۱۴، ۲۲، ۲۵].

وقوع پدیده گردوغبار از جمله وقایع معمول در نواحی خشک و نیمه‌خشک جهان است. ذرات گردوغبار بسته به اندازه آنها می‌توانند یک خطر جدی برای محیط‌های

اگرچه رویدادهای گردوغبار در مقایسه با سایر بلائیای طبیعی مانند سیل و زلزله، اثر مخرب کمتری بر زیرساخت‌ها و تلفات جانی انسان‌ها دارند، اما به دلیل این که فراوانی وقوع این رخدادها نسبت به سایر مخاطرات طبیعی بیشتر است، پیامدهای آن می‌تواند تأثیرات قابل توجهی بر سلامت انسان و محیط زیست داشته باشد.

یکی از عوامل مؤثر بر تشدید فعالیت رخداددهای گردوغبار، پدیده خشکسالی است که بسته به شرایط محیطی و اقلیمی مناطق مختلف، زمان اثرپذیری واقعه گردوغبار از این پدیده متفاوت است. خشکسالی‌ها در سال‌های اخیر در نتیجه افزایش جمعیت و تغییر الگوی بارش ناشی از تغییرات اقلیمی افزایش یافته است. افزایش فراوانی، شدت و مدت خشکسالی در سراسر جهان و به ویژه در ایران در مطالعات متعدد گذشته به اثبات رسیده است [۸، ۱۰، ۱۶، ۲۰]. همچنین در برخی مطالعات، رابطه معنی‌دار میان خشکسالی و گردوغبار گزارش شده است [۱، ۹، ۲۹]. خشکسالی‌های طولانی مدت در کنار مدیریت نامناسب منابع طبیعی، از عوامل اصلی مؤثر بر وقوع پدیده گردوغبار ذکر شده است [۲۱].

درک چگونگی تأثیر خشکسالی بر رخداددهای گردوغبار نیازمند تحلیل داده‌های طولانی‌مدت مربوط به هر دو پدیده خشکسالی و توفان‌های گردوغبار است. یکی از معیارهای مهم برای ارزیابی میزان شدت یا ضعف رخداددهای مختلف گردوغبار که می‌تواند بیانگر افزایش یا کاهش روند بیابان‌زایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک نیز باشد، فراوانی رویدادهای گردوغبار است. در سال‌های اخیر افزایش فراوانی این وقایع در بسیاری از مناطق دنیا و از جمله در بسیاری از مناطق ایران به اثبات رسیده است [۱۹]. همچنین، شاخص‌های متعددی برای ارزیابی وضعیت خشکسالی مناطق اقلیمی مختلف به کار برده شده که از بین آنها شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) [۲۶] به دلیل تبعیت از دو عنصر اقلیمی مهم (بارندگی و دما) می‌تواند به نحو بهتری شرایط خشکسالی منطقه را نشان دهد [۱۵].

مطالعات متعددی در مناطق مختلف ایران در زمینه مسائل مرتبط با پدیده گردوغبار و خشکسالی انجام شده است که در ادامه به اختصار به آنها اشاره شده است.

رابطه بین خشکسالی و روند فراوانی توفان‌های گردوغبار در غرب و جنوب‌غرب ایران برای دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۴ مورد بررسی قرار گرفته است. در بسیاری از ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در این منطقه، همبستگی معنی‌داری بین شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و روند تغییرات فراوانی توفان‌های این منطقه از کشور وجود داشته است [۲]. تأثیر خشکسالی بر وقوع رخداددهای گردوغبار در استان خراسان رضوی طی دوره آماری ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۰ با استفاده از شاخص خشکسالی SPI و فراوانی وقایع گردوغبار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج این بررسی نشان داد که بیشترین فراوانی رخداددهای گردوغبار همزمان با شدیدترین خشکسالی در سال ۲۰۰۸ میلادی رخ داده است. در حالی که سال ۲۰۰۶ کمترین تعداد رخداد گردوغبار و شرایط ترسالی در سطح استان حاکم بوده است [۵].

ارتباط بین شاخص استاندارد شده توفان گردوغبار (SDSI) و SPI طی بازه زمانی ۵۰ ساله (۱۹۶۵-۲۰۱۴) با استفاده از روش همبستگی متقاطع برای مناطق خشک جنوب ایران بررسی شده است [۱۸]. بر اساس این مطالعه، حداکثر ضریب همبستگی معنی‌دار بین SPI و SDSI در سری‌های زمانی ۱۲ ماهه SPI و سری زمانی ۱۸ ماهه SDSI مشاهده شده که برابر با ۰/۲۲- بوده است. اثر خشکسالی هواشناسی بر توفان‌های گردوغبار جنوب‌غرب ایران بر اساس شاخص SPEI و عمق اپتیکی آئروسول‌ها (AOD) بررسی شده است. نتایج نشان داده که در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ میلادی، AOD همبستگی منفی قوی با شاخص خشکسالی ۶ ماهه ( $r = -0/62$ ) داشته است [۹].

در یک بررسی، میزان تأثیرپذیری توفان‌های گردوغبار ایران از نوسانات اقلیمی و SPEI با استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن و روند تغییرات آنها بر اساس آزمون من-کندال برای دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۴ تجزیه و تحلیل شده است. این محققان دریافتند که از ۳۷ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی در ایران، ۶ ایستگاه اردبیل، بیرجند، مشهد، سبزوار، یزد و سمنان دارای روند نزولی، ۵ ایستگاه دارای روند افزایشی معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵٪ و ۲۱ ایستگاه دارای روند افزایشی معنی‌دار در سطح

داده‌های هواشناسی (۲۰۱۸-۲۰۰۰)؛ و (۳) بررسی رابطه همبستگی میان خشکسالی با در نظر گرفتن تأخیرهای زمانی یک و دو سال با وقایع گردوغبار در مقیاس‌های زمانی سالانه، فصلی و ماهانه در استان کرمان.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مطالعاتی

استان کرمان واقع در جنوب شرقی فلات مرکزی بین ۵۳ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی و ۲۵ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۲ درجه عرض شمالی قرار دارد. مساحت محدوده مطالعاتی تقریباً ۱۸۱۷۱۶ کیلومترمربع می‌باشد که به عنوان یکی از پهناورترین استان‌های کشور شناخته می‌شود. این استان از شمال به استان‌های خراسان جنوبی و استان یزد، از شرق به استان سیستان و بلوچستان، از غرب به استان فارس و از جنوب به استان هرمزگان محدود می‌شود.

متوسط بارندگی در منطقه مطالعاتی ۱۴۳/۸ میلی‌متر، حداکثر دمای متوسط ماهانه ۲۸/۷، حداقل دمای متوسط ماهانه ۶/۹ و میانگین دمای متوسط سالانه ۱۵/۷ درجه سانتیگراد می‌باشد. لازم به ذکر است بخشی از تالاب جازموریان به عنوان یکی از تالاب‌های مهم کشور در استان کرمان واقع شده است که به عنوان یکی از منابع مهم تولید گردوغبار در این استان و مناطق مجاور شناسایی شده است [۶].

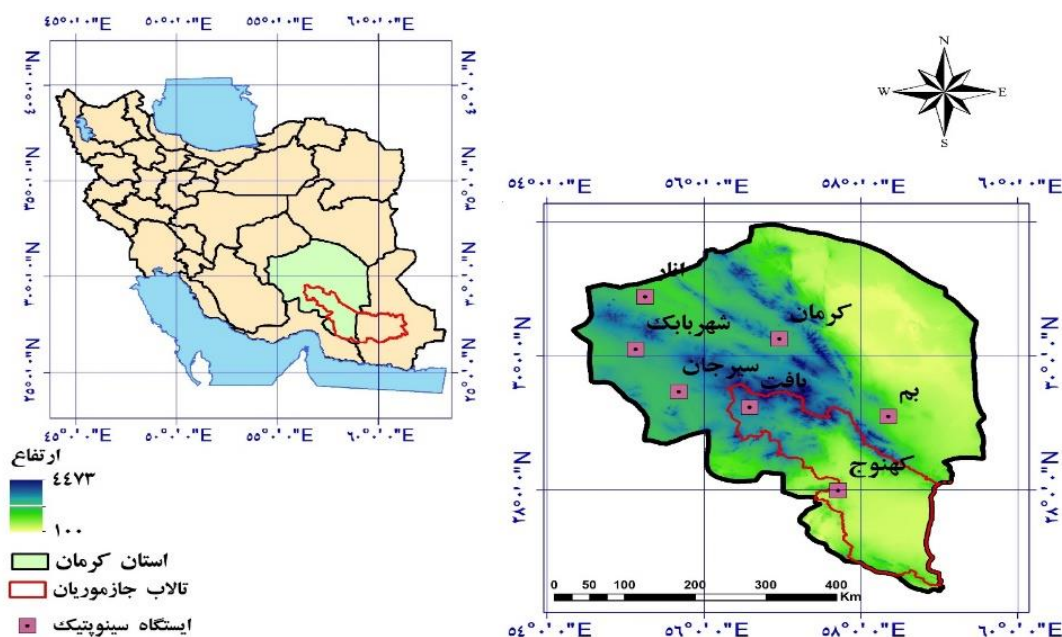
در این پژوهش از اطلاعات ۷ ایستگاه سینوپتیک موجود در سطح استان که دارای دوره آماری مشترک (۱۹۹۰-۲۰۱۸) بودند و پراکنش مناسبی در سطح استان داشتند، برای ارزیابی رابطه میان خشکسالی و گردوغبار استفاده گردید. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده در پژوهش حاضر را نشان می‌دهد.

اطمینان ۹۹٪ بوده‌اند. حداکثر میزان همبستگی بین فراوانی روزهای غبارآلود و SPEI برابر با ۰/۵۷- بوده است [۳].

تحلیل روند سالانه و فصلی تعداد روزهای غبارآلود و شاخص توفان گردوغبار برای غرب استان خراسان رضوی نشان داده که روند تغییرات این شاخص و روزهای با دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر در این منطقه افزایشی بوده است [۱۷]. تحلیل زمانی رخدادهای گردوغبار برای بازه زمانی ۲۰۱۶-۱۹۵۹ میلادی در شهرستان قزوین نشان داده که در ماه ژولای روند کاهشی شدیدی در وقوع پدیده فرسایش بادی و انتشار ذرات گردوغبار داخلی این شهرستان، رخ داده است. در مقیاس فصلی به استثنای فصل زمستان که بدون روند گزارش شده است، در سایر فصول، از شدت وقوع این رویدادها به میزان قابل توجهی کاسته شده است. در مقیاس سالانه، کاهش ۲۲ درصدی تغییرات شاخص توفان گردوغبار در طول دوره آماری مورد بررسی مشاهده شد [۲۷].

آگاهی از وضعیت رخدادهای گردوغبار و میزان تأثیرپذیری آن از پدیده خشکسالی در مناطق مختلف نیارمند پایش و بررسی مداوم است. با این وجود تاکنون مطالعه‌ای راجع به تحلیل فراوانی رخدادهای گردوغبار و میزان تأثیرپذیری آن از وضعیت خشکسالی هواشناسی با تأخیرهای زمانی مختلف در استان کرمان به عنوان یکی از وسیع‌ترین استان‌های بیابانی ایران مرکزی، انجام نشده است، در این پژوهش به این مهم پرداخته می‌شود. علاوه بر این، تحلیل نتایج به دست آمده از داده‌های هواشناسی برای دوره آماری مشترک با دو محصول ماهواره‌ای شاخص شدت خشکسالی پالم (PDSI) و عمق اپتیک آئروسول (AOD) سنجنده مودیس نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

در این راستا اهداف اصلی پژوهش حاضر عبارتند از: (۱) تحلیل وضعیت پدیده خشکسالی براساس شاخص SPEI و پدیده گردوغبار بر اساس فراوانی رخدادهای گردوغبار طی بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ میلادی در استان کرمان؛ (۲) تحلیل روند تغییرات خشکسالی و گردوغبار با استفاده از آزمون من-کندال بر اساس داده‌های هواشناسی و داده‌های ماهواره‌ای PDSI و AOD در دوره آماری مشترک با



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی و ایستگاه‌های مورد مطالعه

و گردوغبار در استان کرمان با استفاده از داده‌های هواشناسی و ماهواره‌ای که توضیحات مربوط به هر روش در ادامه ارائه شده است.

### ارزیابی فراوانی رخدادهای گرد و غبار

بر طبق تقسیم‌بندی سازمان جهانی هواشناسی از بین ۱۰۰ کد مربوط به پدیده‌های آب و هوایی، ۱۱ کد به پدیده گردوغبار اختصاص داده شده است که شامل کدهای ۰۶، ۰۷، ۰۸، ۰۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴، ۳۵ و ۹۸ می‌باشند. در این میان کد ۰۶ معرف گردوغبار معلق در هوا بوده که منشأ محلی ندارد و از مناطق مجاور نشأت گرفته است، در نتیجه نمی‌تواند معرف فرسایش خاک آن منطقه باشد.

معیارها و شاخص‌های متعددی برای مطالعه پدیده گردوغبار وجود دارد که یکی از این معیارها، فراوانی رخدادهای ساعتی گردوغبار بر طبق کدهای ثبت‌شده در ایستگاه‌های سینوپتیک می‌باشد. بدین منظور در این پژوهش فراوانی وقایع گردوغبار در مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه طی دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ در ایستگاه‌های سینوپتیک استان کرمان محاسبه و جهت ارزیابی وضعیت رخدادهای گردوغبار در ایستگاه‌های سینوپتیک و در سطح استان مورد استفاده قرار گرفت.

### داده‌های مورد استفاده

داده‌های استفاده شده در این مطالعه، داده‌های متوسط ماهانه بارندگی و دمای متوسط هوا، و همچنین داده‌های ساعتی کدهای پدیده گردوغبار ثبت شده در ایستگاه‌های سینوپتیک استان کرمان می‌باشند که برای بازه زمانی ۱۹۹۰-۲۰۱۸ از سازمان هواشناسی این استان اخذ شد. علاوه بر این، دو محصول ماهواره‌ای شاخص شدت خشکسالی پالم (PDSI)<sup>۱</sup> از محصولات TerraClimate دانشگاه آیداهو با قدرت تفکیک مکانی ۴۳۶۸ متر و محصول ماهواره‌ای عمق اپتیکی آئروسول (AOD)<sup>۲</sup> در بازه زمانی ۲۰۱۸-۲۰۰۰ از سامانه گوگل ارث انجین به صورت ماهانه اخذ شد.

### روش تحقیق

مراحل کلی انجام پژوهش حاضر عبارت است از:  
 (۱) محاسبه فراوانی رخدادهای گردوغبار در ایستگاه-های سینوپتیک و در کل استان کرمان؛ (۲) محاسبه شاخص خشکسالی SPEI برای ایستگاه‌های سینوپتیک و همچنین در استان کرمان؛ (۳) بررسی روند تغییرات خشکسالی و گردوغبار استان کرمان با استفاده از آزمون من-کندال؛ و (۴) تحلیل رابطه همبستگی میان خشکسالی

<sup>۱</sup> Palmer Drought Severity Index

<sup>۲</sup> Aerosol Optical Depth

$$\begin{cases} 0 < H(x) \leq 0.5 & t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} \\ 0.5 < H(x) \leq 1 & t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1.0 - H(x))^2}\right)} \end{cases} \quad (6)$$

$$H(x) = q + (1 - q)G(x)$$

در این روابط،  $q$  احتمال صفربودن بارندگی و  $G$  مقدار احتمال تجمعی تابع گاما و  $P$  احتمال بیشترشدن مقادیر تعیین شده  $D$  است. همچنین  $C_1=0.802853$ ,  $C_2=0.010328$ ,  $d_1=1.432788$ ,  $d_2=0.18929$ ,  $d_3=0.001308$  و  $C_0=2.515517$  می‌باشند.

### بررسی روند تغییرات خشکسالی و گرد و غبار

در پژوهش حاضر، روند تغییرات مقادیر شاخص SPEI و فراوانی رخداد‌های گردوغبار و همچنین مقادیر شاخص PDSI و AOD برای بازه زمانی مشترک (۲۰۱۸-۲۰۰۰) با استفاده از آزمون من-کنندال [۱] پیش‌سفیدشده<sup>۴</sup> بررسی شد. آماره آزمون من-کنندال برای یک سری زمانی  $x_1, x_2, \dots, x_n$  با استفاده از رابطه (۷) محاسبه می‌شود که در این رابطه  $j$  و  $k$  مرتبه مشاهدات هستند و  $sgn(x)$  تابع علامت می‌باشد.

بر اساس این آزمون، در صورتی که مقدار  $S$  اختلاف معنی‌داری با صفر نداشته باشد، روند وجود ندارد و در غیر این صورت روند، صعودی و یا نزولی خواهد بود. برای آزمون معنی‌دار بودن روند، از متغیر  $Z$  نرمال استاندارد طبق روابط ۸ و ۹ استفاده می‌شود. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j + x_k) \quad (7)$$

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

### محاسبه شاخص خشکسالی SPEI

در پژوهش حاضر، دوره‌های خشکسالی بر اساس شاخص بارش-تبخیر تعرق استاندارد شده<sup>۱</sup> (SPEI) که یکی از متداول‌ترین شاخص‌های معرف خشکسالی هواشناسی است، استخراج گردید [۲۵]. این شاخص مبتنی بر محاسبه ترازمندی آب اقلیمی<sup>۲</sup> است و برای محاسبه به داده‌های ماهانه بارندگی و دمای هوا نیاز دارد. معادله ترازمندی آب اقلیمی به صورت زیر تعریف شده است:

$$D_i = P_i - PET_i \quad (1)$$

که  $P$  و  $PET$  به ترتیب بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل،  $D$  اختلاف آنها و  $i$  شماره ماه مورد نظر است. معادلات مختلفی برای محاسبه  $PET$  وجود دارد که در استفاده از هر یک از آنها محدودیتی برای SPEI وجود ندارد. در نسخه نخست SPEI از روش ساده تورنت‌وایت<sup>۳</sup> استفاده شده است [۲۴]. در روش تورنت‌وایت، تبخیر-تعرق پتانسیل برای هر یک از ماه‌های سال بر حسب میلیمتر از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$PET_i = 1.6 \times \left(\frac{10T_i}{I}\right)^a \quad (2)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} (0.2 \times T_i)^{1.514} \quad (3)$$

$$a = \left(\frac{6.75 \times 10^{-7}}{I^{-3}} - \frac{7.71 \times 10^{-5}}{I^{-2}} + \frac{1.79 \times 10^{-2}}{I}\right) + 0.49 \quad (4)$$

پس از محاسبه مقادیر  $D$ ، شاخص SPEI بر طبق رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$SPEI = \left[ w - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad (5)$$

$$w = (-\ln(P))^{0.5} \quad P \leq 0.5$$

1. Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index

2. Climatic Water Balance

3. Thornthwaite

4. Prewithening

محلی و فرامحلی برای دوره آماری مشترک بین ایستگاه-های سینوپتیک واقع در استان کرمان (۱۹۹۰-۲۰۱۸) نشان می‌دهد. نتایج ارائه شده در این جدول نشان می‌دهد که ایستگاه بم با مجموع ۳۷۰۲ واقعه گردوغبار (منشأ محلی و فرامحلی) طی دوره آماری ۲۹ ساله بیشترین فراوانی رخداد‌های گردوغبار را به خود اختصاص داده است. از این تعداد رخداد، ۱۴۷۷ واقعه با منشأ محلی و ۲۲۲۵ با منشأ فرامحلی در ایستگاه بم ثبت شده است که نشان‌دهنده تأثیر بیشتر رخداد‌های فرامحلی نسبت به محلی در این منطقه است.

بعد از ایستگاه بم، بیشترین فراوانی وقوع پدیده گردوغبار طی دوره آماری مورد مطالعه در ایستگاه‌های انار و سپس کهنوج با مجموع ۱۵۲۸ و ۱۴۳۹ رخداد بوده است. مجموع فراوانی وقایع گردوغبار به تفکیک منشأ در ایستگاه‌های مذکور نشان می‌دهد در ایستگاه کهنوج رخداد‌های گردوغبار با منشأ محلی با تعداد ۱۰۹۲ واقعه از فراوانی بالاتری نسبت به رخداد‌های فرامحلی (۳۷۴ واقعه) دارا می‌باشند که حاکی از نقش مهم‌تر منابع تولید گردوغبار داخلی نسبت به منابع خارجی در تولید گردوغبار این منطقه می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که ایستگاه بافت از کمترین تعداد وقایع گرد و غبار طی دوره آماری مورد مطالعه برخوردار بوده است.

بطور کلی ارزیابی پدیده گردوغبار در سطح استان کرمان حاکی از آن است که در ایستگاه‌های بافت، کهنوج، کرمان، شهربابک و سیرجان بیشترین فراوانی وقایع گردوغبار مربوط به رخداد‌های با منشأ محلی بوده است که در این میان، ایستگاه کهنوج بیشترین فراوانی وقایع گردوغبار را طی دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ میلادی تجربه کرده است. همچنین میانگین فراوانی گردوغبار در کل استان نشان داد که تقریباً ۷۰۹ رخداد محلی و ۵۸۹ رخداد فرامحلی طی دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ میلادی در سطح استان به وقوع پیوسته است (جدول ۱).

نتایج ارزیابی رخداد‌های گردوغبار در مقیاس فصلی نشان داد که فصل بهار با متوسط ۲۶۱/۸۵ واقعه از فراوانی بالاتری نسبت به دیگر فصول سال برخوردار بوده است (جدول ۲). بعد از فصل بهار، متوسط فراوانی وقایع گردوغبار در فصل زمستان، تابستان و پاییز

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{(\text{var}(S))^{\frac{1}{2}}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{(\text{var}(S))^{\frac{1}{2}}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (8)$$

$$\text{Var}(S) = \{n(n-1)(2n+5)\} \quad (9)$$

سرانجام، با در نظر گرفتن تأخیرهای زمانی یک تا دو ساله، تأثیر خشکسالی بر فراوانی رخداد‌های گردوغبار در استان کرمان با استفاده از تحلیل پیرسون نیز مورد بررسی قرار گرفت تا تأثیر تأخیرهای زمانی خشکسالی هواشناسی بر وقوع پدیده گردوغبار نیز مشخص گردد.

### تحلیل رابطه همبستگی میان خشکسالی و گردوغبار در استان کرمان

به منظور تعیین رابطه میان خشکسالی و گردوغبار در مقیاس‌های زمانی سالانه، ماهانه و فصلی از ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید (رابطه ۱۰). با بکارگیری این ضریب، علاوه بر شدت همبستگی دو متغیر، جهت همبستگی آنها نیز مشخص می‌گردد که بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{(n \sum x^2 - (\sum x)^2)(n \sum y^2 - (\sum y)^2)}} \quad (10)$$

در رابطه مذکور،  $n$  تعداد مشاهدات و  $X$  و  $Y$  به ترتیب متغیرهای مستقل و وابسته می‌باشند که در پژوهش حاضر، فراوانی وقایع گردوغبار و AOD به عنوان متغیرهای وابسته و شاخص‌های خشکسالی (SPEI) و PDSI به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده است.

### نتایج

#### ارزیابی وضعیت رخداد‌های گردوغبار در استان کرمان

جدول ۱، فراوانی سالانه رخداد‌های گردوغبار را در ایستگاه‌های سینوپتیک استان کرمان به تفکیک منشأ

فصلی گردوغبار در ایستگاه بم و در فصل بهار با تعداد ۴۸۵ رخداد، و کمترین فراوانی در ایستگاه بافت با تعداد ۱۰ واقعه و در فصل زمستان مشاهده می‌شود. جدول ۳ نیز فراوانی وقایع گردوغبار را در مقیاس ماهانه نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود به ترتیب ماه‌های مارس، آوریل و می با میانگین ۱۲۱/۲۸، ۹۹/۴۲ و ۹۶/۱۴ رخداد بیشترین فراوانی گردوغبار را در طول سال دارا می‌باشند. این در حالی است که ماه‌های نوامبر و دسامبر بترتیب با متوسط ۱۵ و ۲۱/۱۴ رخداد کمترین فراوانی را طی دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ میلادی دارند.

بترتیب ۲۲۸/۱۴، ۱۷۶ و ۴۳/۱۴ رخداد در کل استان بوده است. بالاتر بودن فراوانی گردوغبار در فصل زمستان نسبت به پاییز و تابستان بدلیل تشدید فعالیت این پدیده و افزایش فراوانی وقوع رخدادهای گردوغبار در ماه مارس بوده است.

فراوانی فصلی پدیده گرد و غبار در ایستگاه‌های مطالعاتی نشان داد که انار، بافت، بم و کهنوج در فصل بهار بیشتر تحت تأثیر پدیده گردوغبار بوده‌اند در حالی که در سه ایستگاه کرمان، شهربآبک و سیرجان رخدادهای گردوغبار زمستانه از فراوانی بالاتری نسبت به بهار برخوردار بوده است (جدول ۲). همچنین بیشترین فراوانی

جدول ۱- فراوانی سالانه وقایع گرد و غبار محلی و فرامحلی در ایستگاه‌های سینوپتیک استان کرمان طی دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ میلادی

ایستگاه	فراوانی رخدادهای محلی و فرامحلی	فراوانی رخدادهای محلی	فراوانی رخدادهای فرامحلی
انار	۱۵۲۸	۷۲۳	۸۰۵
بافت	۷۳	۵۱	۲۲
بم	۳۷۰۲	۱۴۷۷	۲۲۲۵
کهنوج	۱۴۳۹	۱۰۹۲	۳۷۴
کرمان	۱۱۵۲	۶۷۹	۴۷۳
شهربآبک	۷۳۳	۶۷۵	۵۸
سیرجان	۴۳۶	۲۶۷	۱۶۹
استان	۱۲۹۴/۷۱	۷۰۹/۱۴	۵۸۹/۴۲

جدول ۲- فراوانی فصلی وقایع گرد و غبار محلی در ایستگاه‌های سینوپتیک استان کرمان طی دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ میلادی

ایستگاه	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
انار	۳۱۹	۵۱	۴۵	۳۰۸
بافت	۳۷	۲	۲	۱۰
بم	۴۸۵	۵۴۲	۸۶	۳۶۴
کهنوج	۳۸۵	۴۴۲	۵۵	۲۱۰
کرمان	۲۷۹	۴۰	۶۲	۲۹۸
شهربآبک	۲۴۹	۱۰۸	۳۷	۲۸۱
سیرجان	۷۹	۴۷	۱۵	۱۲۶
استان	۲۶۱/۸۵	۱۷۶	۴۳/۱۴	۲۲۸/۱۴

بیشترین فعالیت را در اکثر ایستگاه‌های مطالعاتی داشته است. سپس از سال ۲۰۰۳ روند افزایشی پدیده گردوغبار در منطقه مطالعاتی شروع شده و تا سال ۲۰۰۸ ادامه یافته است.

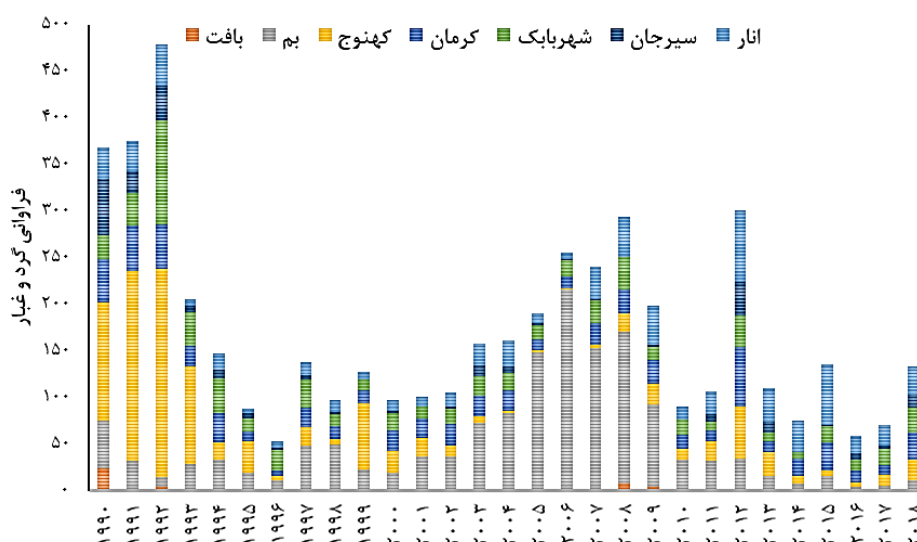
شکل ۲، مجموع فراوانی سالانه وقایع گردوغبار را در ایستگاه‌های مطالعاتی طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ میلادی نشان می‌دهد. بر اساس نتایج ارائه شده در این شکل، طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۲، پدیده گردوغبار

انتهای دوره آماری در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۸ فعالیت پدیده گردوغبار در منطقه مطالعاتی افزایش یافته است؛ درحالی که کمترین فعالیت گردوغبار در سال‌های ۱۹۹۶ و ۲۰۱۶ مشاهده می‌شود.

فراوانی گرد و غبار در فاصله زمانی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ روند کاهشی داشته و در سال ۲۰۱۲ تعداد رخدادهای گردوغبار به حداکثر رسیده است و از ۲۰۱۲ به بعد، پدیده گردوغبار از روند خاصی تبعیت نمی‌کند. همچنین در

جدول ۳- فراوانی ماهانه وقایع گرد و غبار محلی در ایستگاه‌های سینوپتیک استان کرمان طی دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ میلادی

ایستگاه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
انار	۳۴	۱۱۱	۱۶۳	۱۲۶	۱۴۳	۵۰	۲۸	۱۸	۵	۱۱	۱۴	۲۰
بافت	۱	۶	۴	۲۶	۸	۱	۱	۰	۰	۲		۲
بم	۶۴	۱۳۶	۱۶۴	۱۵۹	۱۴۲	۱۸۴	۲۷۷	۲۰۳	۶۲	۱۸	۳۵	۳۳
کهنوج	۲۹	۵۲	۱۲۹	۱۳۱	۱۱۴	۱۴۰	۲۳۰	۱۳۳	۷۹	۱۱	۱۱	۳۳
کرمان	۴۸	۸۸	۱۶۲	۱۱۷	۱۲۹	۳۳	۲۲	۱۳	۵	۱۱	۱۵	۳۶
شهربابک	۲۳	۱۰۹	۱۴۹	۱۰۹	۹۷	۴۳	۴۳	۵۱	۱۴	۱۱	۱۱	۱۵
سیرجان	۱۸	۳۰	۷۸	۲۸	۴۰	۱۱	۱۸	۱۸	۱۱	۲	۴	۹
استان	۳۱	۷۶	۱۲۱/۲۸	۹۹/۴۲	۹۶/۱۴	۶۶	۸۸/۴۲	۷۲/۶۶	۲۹/۳۳	۹/۴۲	۱۵	۲۱/۱۴



شکل ۲- تغییرات سالانه فراوانی گرد و غبار در ایستگاه‌های سینوپتیک استان کرمان طی دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۸ میلادی

سال ۲۰۱۶ بر شدت خشکسالی در منطقه مطالعاتی افزوده شده است.

بر اساس مقادیر میانگین شاخص خشکسالی طی دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ میلادی، در ایستگاه شهربابک شدیدترین خشکسالی‌ها با میانگین ۰/۱۹- طی این دوره وقوع یافته است، درحالی که ایستگاه کهنوج با میانگین ۰/۴۲ خشکسالی‌های با شدت کمتری را در مقایسه با دیگر ایستگاه‌های مطالعاتی طی دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۸ تجربه کرده است.

### ارزیابی دوره‌های خشکسالی توسط شاخص SPEI

جدول ۴ مقادیر میانگین شاخص SPEI را طی دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ میلادی در ایستگاه‌های مطالعاتی نشان می‌دهد. بر اساس جدول ۴، در بیشتر ایستگاه‌ها، خشکسالی از سال ۱۹۹۸ شروع شده و تا سال ۲۰۱۰ ادامه یافته است. طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۰ منطقه مطالعاتی شدیدترین خشکسالی‌ها را تجربه است. از سال ۲۰۱۱ روند افزایشی خشکسالی کاهش یافته و دوباره در



جدول ۴- میانگین سالانه شاخص SPEI طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ میلادی در ایستگاه‌های سینوپتیک استان کرمان

سال	انار	بافت	بم	کهنوج	کرمان	شهربابک	سیرجان
۱۹۹۰	۰/۳۸	۰/۳۳	۰/۲۶	۰/۰۸	-۰/۱۳	-۱/۴۶	-۰/۸
۱۹۹۱	۱/۱	۰/۸۸	۰/۷۶	۰/۸۴	۰/۶۱	-۰/۴۴	۰/۸
۱۹۹۲	۱/۱۹	۱/۲۱	۰/۸۹	۱/۰۱	۱/۱۴	۱/۱۷	۰/۸۲
۱۹۹۳	۱/۲	۱/۲۱	۰/۸۳	۰/۸۶	۰/۶۱	۰/۷۵	۰/۵۹
۱۹۹۴	۰/۵۷	۰/۲۱	۰/۷۱	۰/۰۵	-۰/۱۱	۰/۳۹	۰/۲۱
۱۹۹۵	۱/۱۶	۰/۲	۰/۶۹	۰/۵۳	۰/۴۲	۰/۸۱	۰/۶۶
۱۹۹۶	۰/۶۵	۰/۳۵	۰/۸۲	۱/۰۳	۰/۷۷	۰/۵۵	۰/۸۷
۱۹۹۷	۰/۰۱	۰/۵۲	۰/۶۹	۱/۱۹	۰/۴۸	۰/۵۱	۰/۶۹
۱۹۹۸	-۰/۹۹	۰/۳	۰/۰۷	۰/۳۹	-۰/۳۴	-۰/۰۸	-۰/۳۲
۱۹۹۹	-۰/۲۸	-۰/۴	۰/۳۳	۰/۳۵	-۰/۰۸	۰/۰۷	-۰/۰۷
۲۰۰۰	-۰/۲۶	۰/۲۹	-۰/۱	۰/۴۶	-۰/۰۸	۰/۳۹	-۰/۳۴
۲۰۰۱	-۰/۷۱	-۰/۴۳	-۰/۵۱	-۰/۳۷	-۰/۷	-۰/۳	-۰/۷۶
۲۰۰۲	-۰/۷۴	-۰/۸۵	۰/۰۵	۰/۱۴	-۰/۳۸	-۰/۰۴	-۰/۷۲
۲۰۰۳	-۰/۴۷	-۰/۴	۰/۱۱	-۰/۲۷	-۰/۳۴	۰/۰۵	-۰/۵۴
۲۰۰۴	-۰/۵	-۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۰۲	-۰/۰۶	۰/۳۴	-۰/۰۶
۲۰۰۵	-۰/۶۴	-۰/۲۷	۰/۰۱	۰/۷۴	-۰/۲۱	-۰/۰۲	-۰/۶
۲۰۰۶	-۰/۵۸	-۰/۳۲	-۰/۶۵	۰/۳	-۰/۱۷	۰/۰۳	-۰/۰۶
۲۰۰۷	-۰/۲۸	-۰/۴۷	-۰/۰۵	۰/۳۸	-۰/۰۸	-۰/۱۴	-۰/۱۵
۲۰۰۸	-۰/۱۶	-۰/۰۹	-۰/۳۸	۰/۲۷	-۰/۵۴	-۰/۲۵	-۰/۷۳
۲۰۰۹	-۰/۳۱	-۰/۷۷	۰/۱۳	۰/۴۱	-۰/۳۸	۰/۱	-۰/۴۵
۲۰۱۰	-۰/۸۶	-۰/۴۶	-۰/۲۳	۰/۳۲	-۰/۶۹	-۰/۵۵	-۰/۵۶
۲۰۱۱	-۰/۹۱	-۰/۷۴	۰/۳۳	۰/۷۳	-۰/۱۶	۰/۰۱	-۰/۸
۲۰۱۲	-۰/۰۳	-۰/۴۱	۰/۶۲	۰/۵۱	-۰/۶	۰/۵۵	۰/۰۹
۲۰۱۳	-۰/۷	۰/۰۸	۰/۱۷	۰/۷۱	-۰/۵۹	-۰/۰۳	۰/۰۳
۲۰۱۴	-۰/۶۹	-۰/۲	۰/۰۳	۰/۷۳	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۳۴
۲۰۱۵	-۰/۱۱	-۰/۰۸	۰/۳۴	۰/۳۲	۰/۱۴	۰/۳۳	۰/۱۹
۲۰۱۶	-۱/۰۵	-۰/۱۶	-۰/۴۸	۰/۲۵	-۰/۶۹	-۰/۲۳	-۰/۴۱
۲۰۱۷	-۰/۵	-۰/۷۲	-۰/۰۸	۰/۳	-۰/۱۶	۰/۳۸	۰/۱۳
۲۰۱۸	-۰/۵۸	-۰/۴۱	-۰/۲۴	۰/۱۱	-۰/۴۶	-۰/۲	-۰/۵۴
میانگین سالانه	-۰/۱۹	-۰/۰۶	۰/۱۷	۰/۴۲	-۰/۰۴	۰/۰۹	-۰/۰۵

تا ۲۰۱۸ میلادی اتفاق افتاده است. بعد از ایستگاه انار، شدیدترین خشکسالی‌ها با تداوم ۱۴ و ۱۲ سال و شدت ۵/۴ و ۵/۳۴ به ترتیب در ایستگاه‌های سیرجان و بافت طی بازه‌های زمانی ۲۰۱۲-۲۰۰۱ و ۲۰۱۱-۱۹۹۸ رخ داده است، درحالی که ایستگاه‌های کهنوج و شهربابک کوتاه‌ترین خشکسالی‌ها را با تداوم ۱ و ۲ سال و شدت ۰/۳۷ و ۱/۹ طی بازه زمانی ۲۰۰۱ و ۲۰۰۳ و ۱۹۹۰-

به‌منظور درک بهتر خشکسالی، مشخصه‌های شدت و مدت خشکسالی‌ها در مقیاس سالانه برای ایستگاه‌های مطالعاتی محاسبه شد. جدول ۵ مشخصات طولانی‌ترین خشکسالی‌ها طی دوره آماری ۲۰۱۸-۱۹۹۰ ارائه شده است.

نتایج نشان داد طولانی‌ترین خشکسالی با تداوم ۲۱ سال و شدت ۱۱/۸۴ در ایستگاه انار طی بازه زمانی ۱۹۹۸-

۱۹۹۱ تجربه کرده‌اند. میانگین خشکسالی‌ها در طولانی‌ترین خشکسالی به مدت ۱۱ سال با شدت ۲/۶۸ در سطح استان به وقوع پیوسته است. ایستگاه‌های مطالعاتی نشان داد به طور متوسط

جدول ۵- مشخصات طولانی‌ترین خشکسالی‌ها در ایستگاه‌های سینوپتیک استان کرمان طی دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۸ میلادی

ایستگاه	تداوم	شدت	طولانی‌ترین بازه زمانی خشکسالی
انار	۲۱	-۱۱/۸۴	۱۹۹۸-۲۰۱۸
بافت	۱۲	-۵/۳۴	۲۰۰۱-۲۰۱۲
بم	۳	-۱/۰۷	۲۰۰۶-۲۰۰۹
کهنوج	۱	-۰/۳۷	۲۰۰۱، ۲۰۰۳
کرمان	۹	-۲/۳۶	۱۹۹۸-۲۰۰۶
شهربابک	۲	-۱/۹۰	۱۹۹۰-۱۹۹۱
سیرجان	۱۴	-۵/۱۴	۱۹۹۸-۲۰۱۱
استان	۱۱	-۲/۶۸	۲۰۰۱-۲۰۱۱

در ایستگاه بم شدت خشکسالی و گردوغبار طی دوره مورد مطالعه سیر صعودی داشته است، بطوری که به شدت گردوغبار با نرخ ۰/۱۰۱ و خشکسالی با نرخ ۰/۰۲۹ افزوده شده است. در این منطقه سیر صعودی فعالیت گردوغبار طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۸ تشدید شده است که در این زمان شاخص SPEI شرایط خشکسالی را نشان می‌دهد. همچنین مقادیر فراوانی گردوغبار و شاخص SPEI نشان داد که در سال ۲۰۰۶ شدیدترین خشکسالی در ایستگاه بم به وقوع پیوسته است که در این زمان گردوغبار در منطقه بیشترین فعالیت را در کل دوره آماری داشته است.

در ایستگاه کرمان، تشدید شرایط خشکسالی توأم با تغییرات کاهش فعالیت گردوغبار بوده است. بطوری که در این منطقه پدیده خشکسالی با شیب ۰/۰۲۸ تشدید شده است در حالی که از فعالیت گردوغبار با شیب ۰/۳۸ طی دوره آماری ۲۰۱۸-۱۹۹۰ کاسته شده است. در ایستگاه کهنوج نیز تشدید پدیده خشکسالی توأم با کاهش فعالیت گردوغبار بوده است. در این منطقه فعالیت گردوغبار با بیشترین شیب (۳/۷۹) نسبت به دیگر ایستگاه‌های مطالعاتی کاهش یافته است. در حالی که شیب تغییرات خشکسالی در ایستگاه کهنوج بیانگر افزایش ناچیز شدت خشکسالی در این منطقه می‌باشد (۰/۰۰۹-).

تغییرات افزایشی خشکسالی و کاهش گردوغبار نیز در ایستگاه‌های سیرجان و شهربابک مشاهده می‌شود. نتایج

## تحلیل تغییرات دو پدیده خشکسالی و گردوغبار در استان کرمان

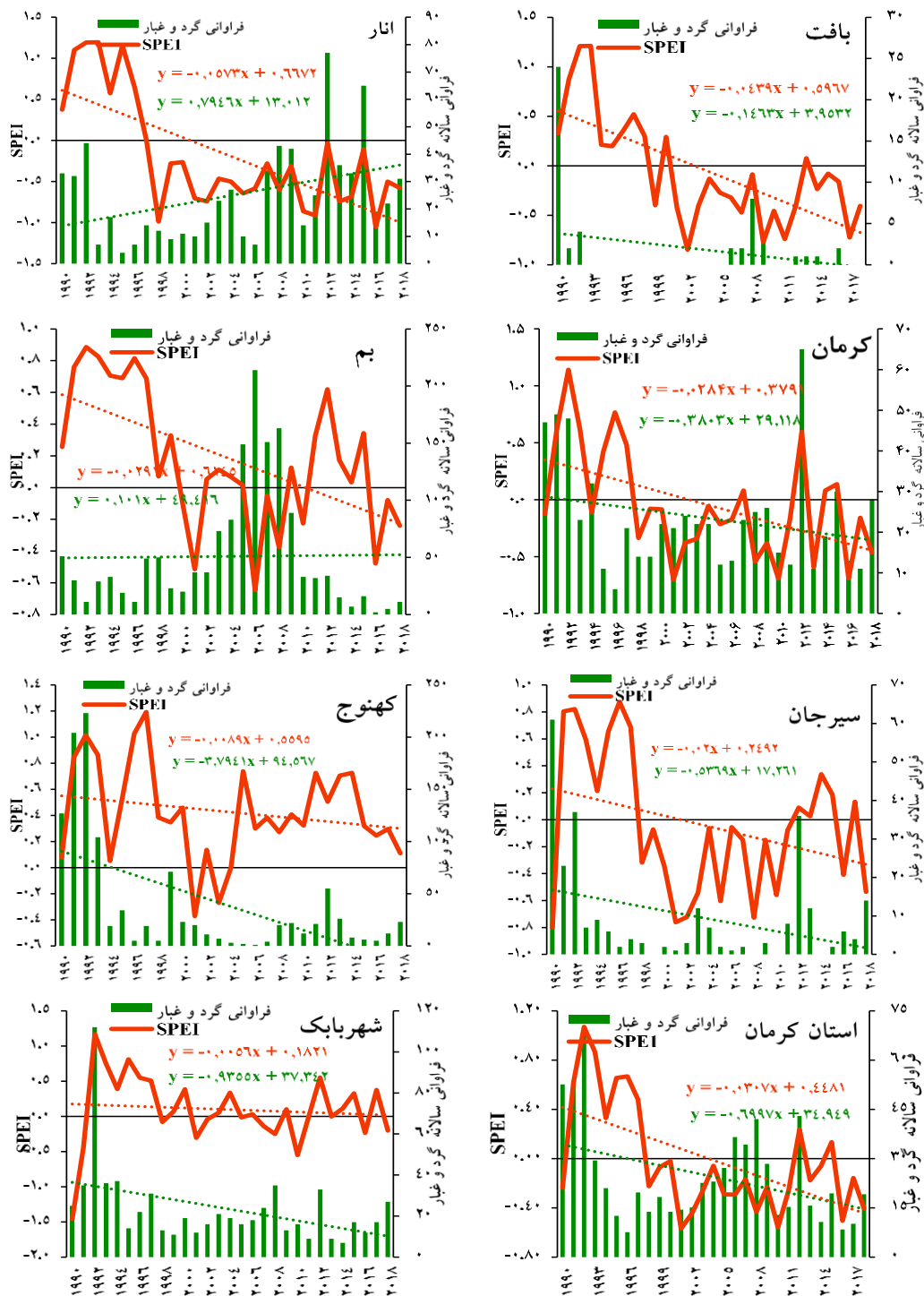
شکل ۳ تغییرات سالانه دو پدیده خشکسالی و فراوانی گردوغبار را در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ در استان کرمان نشان می‌دهد. بر اساس نتایج بدست آمده، تغییرات خشکسالی در تمامی ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب و همچنین در سطح استان کرمان، شیب منفی داشته که بیانگر تشدید شرایط خشکسالی در مناطق مطالعاتی می‌باشد، در حالی که پدیده گردوغبار دارای تغییرات افزایشی و کاهش طی دوره آماری مطالعاتی بوده است. در ایستگاه انار، خشکسالی و گردوغبار به ترتیب دارای شیب کاهش با نرخ ۰/۰۵۷- و افزایشی با نرخ ۰/۷۹ طی دوره آماری مورد مطالعه بوده است.

نتایج ارزیابی تغییرات گردوغبار در ایستگاه بافت نشان داد در این منطقه پدیده گردوغبار طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ با شیب ۰/۱۴- کاهش یافته است؛ و خشکسالی طی این بازه زمانی با شیب ۰/۰۴- تشدید شده است. نتایج نشان داد شدیدترین وقایع گردوغبار در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۸ به وقوع پیوسته که در این سال‌ها، شهرستان بافت از نظر خشکسالی در وضعیت نرمال قرار داشته است. همچنین شدیدترین خشکسالی در ایستگاه بافت در سال ۲۰۰۲ رخ داده است که در این سال فعالیت پدیده گردوغبار صفر بوده است.

۰/۰۳ در طول بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ رخ داده است. در بین سال‌های مطالعاتی، سال‌های ابتدایی بازه زمانی بیشترین وقایع رخدادهای گردوغبار و سال‌های ۱۹۹۶ و ۱۹۹۸ کمترین فعالیت این رخدادها به وقوع پیوسته است.

نشان داد خشکسالی با نرخ ۰/۰۲ و ۰/۰۵۶، به ترتیب در سیرجان و شهرابک تشدید شده است، در حالی که تغییرات گردوغبار به ترتیب با نرخ ۰/۵۳ و ۰/۹۳ کاهش یافته است.

به طور کلی در استان کرمان، تشدید خشکسالی با شیب ۰/۷ و کاهش فعالیت رخدادهای گردوغبار با شیب



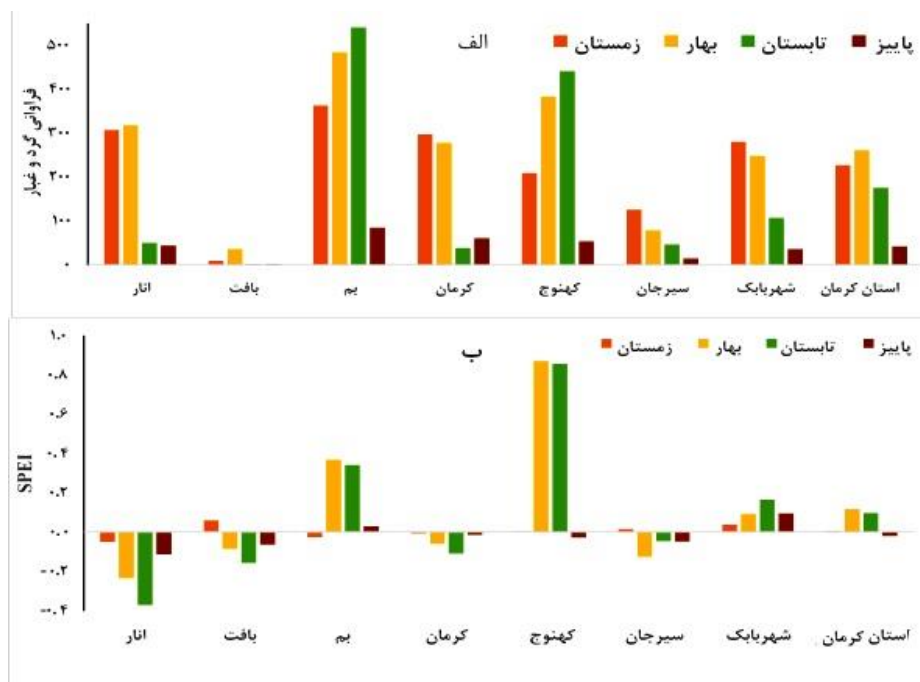
شکل ۳- مقادیر سالانه فراوانی گرد و غبار و SPEI در ایستگاه‌های سینوپتیک استان کرمان در دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۸ میلادی

بالاتر بودن فراوانی گردوغبار در فصول زمستان و بهار در ایستگاه‌های کرمان، سیرجان و شهرابک مشاهده می‌شود، در حالی که شدت خشکی در فصل تابستان، بهار و زمستان به ترتیب در این ایستگاه‌ها بیشتر بوده است.

در ایستگاه کهنوج نیز ارتباط مستقیم فصلی میان SPEI و گردوغبار مشاهده نمی‌شود. بطوری که بیشترین فراوانی رخدادهای گردوغبار در بهار و تابستان در حالی که بدترین شرایط خشکی در پاییز بر این منطقه حاکم بوده است. به طور کلی، در استان کرمان در بهار و زمستان میزان فعالیت رخدادهای گردوغبار بیشتر از تابستان و پاییز بوده است این در حالی است که خشک‌ترین شرایط در فصل پاییز بر استان حاکم بوده است.

مقادیر میانگین فصلی شاخص SPEI و فراوانی گردوغبار در دوره آماری ۲۰۱۸-۱۹۹۰ در شکل ۴ نشان داده شده است. بر اساس مقایسه فصلی گردوغبار و SPEI در ایستگاه انار، بیشترین فعالیت فصلی گردوغبار در بهار و زمستان مشاهده می‌شود، در حالی که شرایط خشکی در فصول تابستان و بهار با شدت بالاتری بر این منطقه حاکم بوده است.

در ایستگاه بافت فعالیت گردوغبار در فصل بهار قابل ملاحظه بوده است در حالی که این منطقه در تابستان و سپس بهار شرایط خشک‌تری را تجربه کرده است. در ایستگاه بم، طی فصول تابستان و بهار بیشترین فراوانی گردوغبار به وقوع پیوسته است، در حالی که شدت خشکی در فصل زمستان نسبت به دیگر فصول بالاتر بوده است.



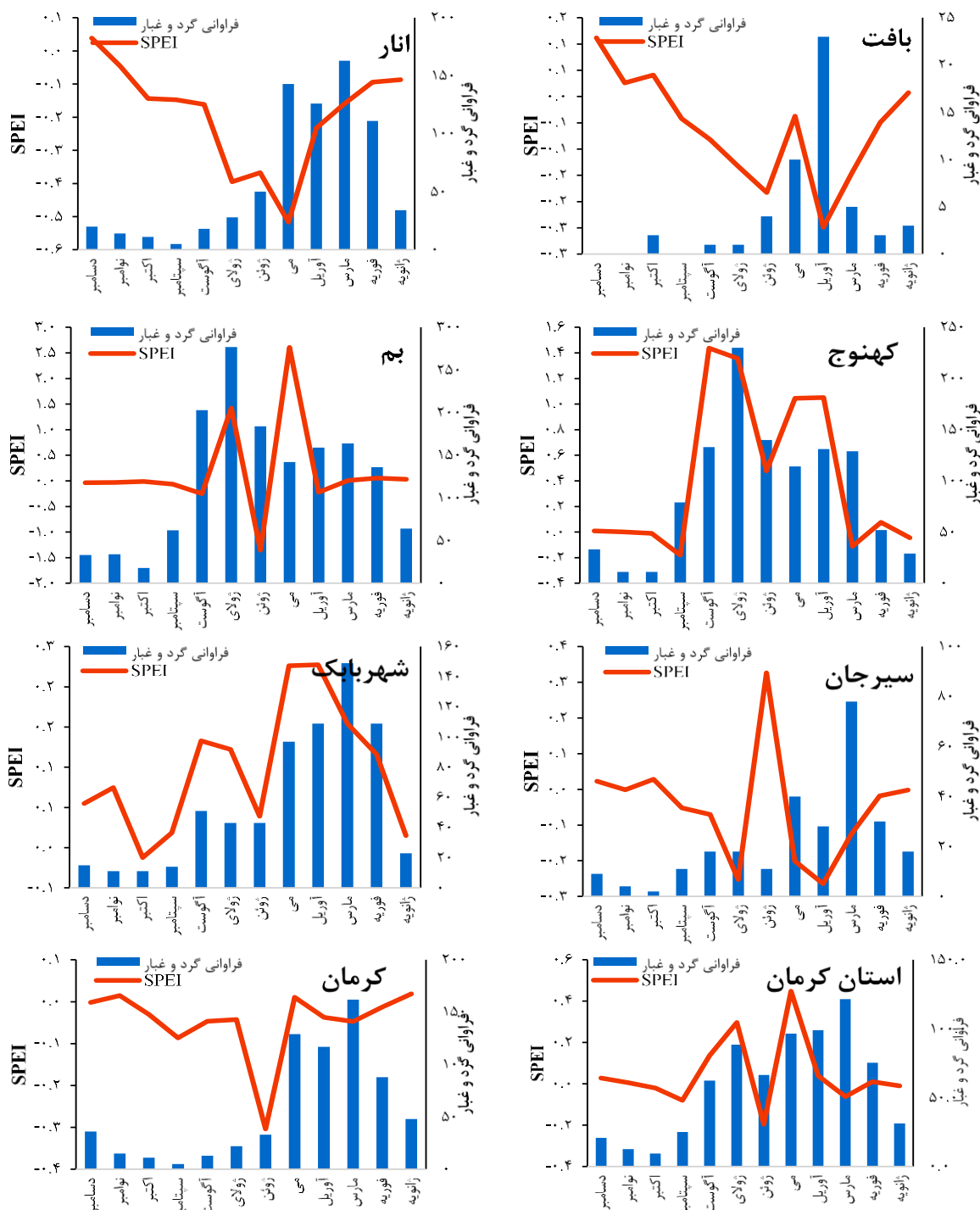
شکل ۴- مقادیر فصلی فراوانی رخدادهای گرد و غبار (الف) و SPEI (ب) در ایستگاه‌های سینوپتیک استان کرمان در دوره آماری ۲۰۱۸-۱۹۹۰

در ایستگاه‌های بم و کرمان، ماه ژوئن، به عنوان خشک‌ترین ماه در دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ بوده است، در حالی که بیشترین فراوانی رخدادهای گردوغبار در این ایستگاه در ماه‌های ژولای و آگوست بوده است. در ایستگاه کهنوج، ماه ژولای بالاترین فراوانی گردوغبار را دارا بوده که در این ماه میانگین SPEI حاکی از شرایط ترسالی در منطقه می‌باشد.

بر اساس میانگین ماهانه شاخص SPEI و فراوانی رخدادهای گردوغبار در ایستگاه انار، ماه می به عنوان خشک‌ترین ماه سال شناسایی شد که همراه با فعالیت قابل توجه گردوغبار در این ماه و همچنین ماه‌های مارس و آوریل بوده است (شکل ۵). در ایستگاه بافت، ماه آوریل به عنوان خشک‌ترین ماه شناسایی شد که با افزایش فعالیت گردوغبار نیز مواجه بوده است.

ژولای بر این منطقه حاکم بوده است (شکل ۵). به طور کلی، ماه ژوئن به عنوان خشک‌ترین ماه و ماه‌های مارس، آوریل و می با حدود ۱۰۰ رخداد گردوغبار به عنوان غبارآلودترین ماه‌ها در دوره مطالعاتی (۲۰۱۸-۱۹۹۰) در استان کرمان بوده‌اند.

در ایستگاه شهرباک، کمترین مقدار SPEI برای ماه‌های اکتبر و ژوئن محاسبه شده که در این زمان فعالیت توفان‌های گردوغبار چندان قابل توجه نبوده است. در ایستگاه سیرجان بیشترین فعالیت گردوغبار در ماه مارس اتفاق افتاده درحالی که خشک‌ترین شرایط در آوریل و



شکل ۵- مقادیر میانگین ماهانه فراوانی گرد و غبار و SPEI در ایستگاه‌های سینوپتیک استان کرمان در دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۸ میلادی

در گام بعدی پژوهش حاضر، علاوه بر تحلیل روند تغییرات دو پدیده خشکسالی و گردوغبار بر اساس داده‌های هواشناسی، روند تغییرات آنها با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای PDSI و AOD طی دوره آماری مشترک (۲۰۱۸-۲۰۰۰) در سه مقیاس زمانی ماهانه، فصلی و سالانه در سطح استان کرمان با استفاده از آزمون من-کندال مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (جدول ۶).

جدول ۶- مقادیر آماره آزمون من-کندال دو پدیده خشکسالی و گردوغبار بر اساس داده‌های هواشناسی و ماهواره‌ای

در استان کرمان (۲۰۱۸-۲۰۰۰)

داده‌های ماهواره‌ای		داده‌های هواشناسی		مقیاس زمانی
AOD	PDSI	فراوانی گردوغبار	SPEI	
۱/۲۱	-۰/۱۴	-۰/۲۱	-۲/۱۷*	ژانویه
-۰/۰۸	۰/۴۲	۰/۰۰	۰/۹۸	فوریه
-۰/۴۹	۱/۰۵	-۰/۹۸	۰/۷۰	مارس
۱/۴۰	۱/۱۲	۰/۸۱	۰/۷۷	آوریل
-۰/۷۷	۱/۹۶	-۰/۶۶	۲/۱۰*	می
-۱/۰۵	۱/۵۴	-۲/۵۲*	-۱/۶۸	ژوئن
-۱/۱۹	۱/۸۹	-۰/۱۷	۰/۲۱	ژولای
-۰/۷۷	۱/۸۲	-۱/۲۳	۱/۶۱	آگوست
۰/۶۳	۲/۰۳*	-۲/۱۱*	۰/۰۷	سپتامبر
۱/۱۹	۲/۵۹**	۱/۲۶	۰/۱۴	اکتبر
-۱/۰۵	۲/۳۱	-۱/۸۹	۱/۷۵	نوامبر
-۰/۰۷	۱/۱۹	-۰/۶۳	-۱/۹۶	دسامبر
-۰/۲۸	۱/۴۷	-۰/۷۷	۰/۹۱	بهار
-۰/۷۷	۱/۹۶	-۰/۸۷	۰/۶۳	تابستان
۰/۰۷	۲/۳۱*	-۱/۱۹	۰/۲۱	پائیز
۰/۳۵	۰/۱۴	-۰/۲۱	۰/۰۰	زمستان
۰/۲۱	۱/۷۵	-۰/۴۱	۰/۷۰	سالانه

\* و \*\* به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

شد که خشکسالی در ماه‌های سپتامبر و اکتبر و در فصل پاییز، روند افزایشی معنی‌دار و در سایر مقیاس‌های زمانی، عمدتاً افزایشی غیرمعنی‌دار بوده است. همچنین نتایج نشان داد که برای داده‌های AOD، هیچگونه روند معنی‌داری در دوره آماری مطالعاتی وجود نداشته است (جدول ۶).

#### تحلیل رابطه همبستگی میان خشکسالی و گردوغبار در استان کرمان

به منظور بررسی رابطه خشکسالی و گردوغبار در استان کرمان، ضریب همبستگی پیرسون میان دو شاخص SPEI و فراوانی وقایع گردوغبار و همچنین بین PDSI و AOD

مقادیر آماره من-کندال به دست آمده بر اساس داده‌های هواشناسی نشان داد که در استان کرمان، SPEI در ماه ژانویه، روند کاهشی معنی‌دار (-۲/۱۷) و در ماه می، روند افزایشی معنی‌دار (+۲/۱۰) داشته است. در سایر ماه‌ها روند تغییرات غالباً افزایشی و غیرمعنی‌دار بوده است. این در حالی است که نتایج آزمون من-کندال برای فراوانی رخدادهای گردوغبار حاکی از وجود روند کاهشی غیرمعنی‌دار این رخدادها در اغلب ماه‌ها و روند معنی‌دار آنها در دو ماه ژوئن (-۲/۵۲) و سپتامبر (-۲/۱۱) بوده است.

در مقیاس سالانه و فصلی، روند معنی‌داری برای دو پدیده خشکسالی و فراوانی رخدادهای گردوغبار مشاهده نشد. بر اساس آماره من-کندال مربوط به PDSI مشخص

همبستگی ضعیفی بین دو پدیده خشکسالی و گردوغبار در استان کرمان طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۱۸ وجود داشته است.

نظر به این که ممکن است آثار پدیده خشکسالی بر وقایع گردوغبار با تأخیر زمانی همراه باشد؛ تأثیر تأخیرهای زمانی یک و دوساله خشکسالی بر اساس داده‌های هواشناسی و ماهواره‌ای نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اثر تأخیرهای زمانی خشکسالی بر پدیده گردوغبار در سطح استان، ضعیف و غیرمعنی‌دار بوده است.

محاسبه شد (جدول ۷). نتایج تحلیل پیرسون نشان داد که در استان کرمان تنها در ماه نوامبر ارتباط معکوس معنی‌دار بین SPEI و فراوانی رخداد‌های گردوغبار وجود داشته است؛ این درحالی است که در سایر ماه‌ها و مقیاس‌های زمانی مورد مطالعه، ارتباط معنی‌داری بین این دو پدیده مشاهده نشد.

نوع ارتباط بین خشکسالی و گردوغبار بر اساس ضریب همبستگی بین دو محصول ماهواره‌ای PDSI و AOD برای ماه‌های فوریه، ژولای، اگوست و نوامبر و فصول تابستان، پاییز و زمستان تأیید شد. به طور کلی، بر اساس داده‌های هواشناسی و ماهواره‌ای مشخص گردید که

جدول ۷- ضرایب همبستگی میان دو پدیده خشکسالی و گردوغبار بر اساس داده‌های هواشناسی و ماهواره‌ای

در استان کرمان (۲۰۰۰-۲۰۱۸)

ضریب همبستگی پیرسون		مقیاس زمانی
AOD و PDSI	SPEI و فراوانی رخداد‌های گردوغبار	
-۰/۳۷	۰/۰۰۲	ژانویه
-۰/۰۶	-۰/۳۰	فوریه
۰/۰۸	-۰/۰۲۳	مارس
-۰/۰۷	۰/۱۷	آوریل
-۰/۲۸	۰/۲۹	می
-۰/۳۸	۰/۰۲	ژوئن
-۰/۲۸	-۰/۳۳	ژولای
-۰/۲۴	-۰/۰۰۵	اگوست
-۰/۲۸	۰/۳۸	سپتامبر
-۰/۱۵	۰/۰۶۵	اکتبر
-۰/۲۶	-۰/۴۶*	نوامبر
-۰/۲۹	۰/۲۲	دسامبر
-۰/۳۸	۰/۱۹	بهار
-۰/۳۸	-۰/۰۲۵	تابستان
-۰/۱۳	-۰/۲۴	پاییز
۰/۰۳	۰/۰۴۲	زمستان
-۰/۳۹	۰/۲۵	سالانه
-۰/۱۶	-۰/۱۱	تأخیر یکساله
۰/۲۳	-۰/۰۶	تأخیر دوساله

### بحث و نتیجه‌گیری

در استان کرمان بررسی شد. خشکسالی هواشناسی نیز توسط شاخص SPEI در مقیاس سالانه، فصلی و ماهانه ارزیابی شد. به‌منظور بررسی ارتباط میان خشکسالی و

در این مطالعه پدیده گردوغبار بر اساس معیار فراوانی رخداد‌های گردوغبار در مقیاس‌های سالانه، فصلی و ماهانه

تغییرات فراوانی رخدادهای گردوغبار و AOD نشان داد که در ماه‌های گرم سال، روند تغییرات این دو شاخص هم‌جهت بوده در حالی که در ماه‌های سرد سال، جهت روند تغییرات مشابه یکدیگر نبوده است. به عبارت دیگر، نتایج حاصل از تحلیل روند تغییرات PDSI مؤید روند تغییرات SPEI در اغلب مقیاس‌های زمانی مورد مطالعه بود؛ در حالی که نتایج حاصل از تحلیل روند تغییرات AOD در بیشتر ماه‌های گرم با روند تغییرات فراوانی رخدادهای گردوغبار یکسان بوده و در سایر ماه‌ها، تغییرات مشابهی مشاهده نگردید. نامنظم بودن روند تغییرات فراوانی وقایع گردوغبار در برخی از مطالعات گذشته نیز به اثبات رسیده است [۳، ۱۷ و ۲۷] که تقریباً با نتایج گزارش شده در پژوهش حاضر همخوانی دارد.

بر اساس ضرایب همبستگی پیرسون بین دو پدیده خشکسالی و گردوغبار مشخص شد که رابطه همبستگی منفی قوی بین این دو پدیده در ماه نوامبر در سطح استان وجود داشته و در سایر مقیاس‌های زمانی، ارتباط معنی‌دار قوی مشاهده نگردید. وجود رابطه منفی میان خشکسالی و گردوغبار در جنوب غرب ایران نیز به اثبات رسیده است [۹]؛ این در حالی است که عدم وجود رابطه معنی‌دار بین پدیده‌های مذکور در مطالعه دیگری گزارش شده است [۱۳] که تا حدودی می‌تواند مؤید نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر باشد.

اگرچه اثرات قابل توجه پدیده خشکسالی با تأخیرهای زمانی مختلف بر تشدید فعالیت توفان‌های گردوغبار برای برخی مناطق دیگر به اثبات رسیده است [۱۸] اما در سطح استان کرمان، ارتباط معنی‌داری بین خشکسالی با تأخیر زمانی یک تا دو ساله و رخدادهای گردوغبار مشاهده نشد. متفاوت بودن شرایط اقلیمی، زمینی و جغرافیایی مناطق مختلف و همچنین متفاوت بودن طول دوره‌های زمانی مورد مطالعه می‌تواند یکی از علل عدم مطابقت نتایج به دست آمده در پژوهش‌های مختلف باشد.

بطور کلی، خشکسالی از طریق تأثیر بر محتوای رطوبتی خاک منجر به کاهش سرعت آستانه فرسایش بادی، تشدید فعالیت توفان‌های گردوغبار و افزایش برداشت ذرات خاک می‌شود. نتایج پژوهش حاضر نشان داد تشدید خشکسالی در استان کرمان اثر معناداری بر تغییرات پدیده

پدیده گردوغبار تغییرات این دو پدیده در سه مقیاس زمانی در ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در استان کرمان با دوره آماری ۲۰۱۸-۱۹۹۰ ارزیابی گردید. همچنین از ضریب همبستگی پیرسون برای ارزیابی نوع رابطه میان خشکسالی و گردوغبار در مقیاس‌های زمانی مختلف استفاده شد.

نتایج تحلیل پدیده گردوغبار نشان داد بیشترین فراوانی رخدادهای محلی و فرامحلی گردوغبار طی دوره آماری مورد مطالعه در ایستگاه بم اتفاق افتاده است. مجموع رخدادهای گردوغبار در مقیاس فصلی نشان داد بطور کلی فصل بهار با متوسط ۲۶۱/۸۵ واقعه از فراوانی بالاتری نسبت به دیگر فصول سال برخوردار بوده است. همچنین بررسی رخدادهای گرد و غبار در مقیاس ماهانه نشان داد بیشترین فعالیت گردوغبار در ماه‌های مارس، آوریل و می بوده است.

نتایج ارزیابی فصلی و ماهانه گردوغبار با برخی مطالعات گذشته مطابقت دارد [۱۲، ۱۹، و ۲۳]. مجموع سالانه رخدادهای گردوغبار در ایستگاه‌های سینوپتیک استان کرمان نشان داد که روند تغییرات این وقایع در سطح مناطق مطالعاتی به صورت منظم نبوده است. به طوری که بیشترین فعالیت توفان‌های گردوغبار در بازه‌های زمانی ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۲، ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۸ و ۲۰۱۲ و کمترین فعالیت آنها در سال‌های ۱۹۹۶، ۱۹۹۷، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ به وقوع پیوسته است. تغییرات افزایشی و کاهش فعالیت گردوغبار به ترتیب در خراسان رضوی و اردستان [۴] و [۲۸] نیز گزارش شده است.

بر اساس میانگین شاخص SPEI مشخص شد که شدیدترین خشکسالی‌ها در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۰ در منطقه مطالعاتی حاکم بوده، در حالی که بیشترین فعالیت گردوغبار در سال‌های ۱۹۹۲، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۲ رخ داده است. تشدید خشکسالی‌ها و به تبع آن افزایش فعالیت گردوغبار در سال ۲۰۰۸ نیز در سطح کشور گزارش شده است [۶] و [۱۳].

مقایسه روند تغییرات دو شاخص PDSI و SPEI در سطح استان کرمان، صرف نظر از سطح معنی‌داری تغییرات، هم‌جهت بودن روندها در تمام مقیاس‌های زمانی به جز ژوئن و سپتامبر را نشان داد. همچنین مقایسه روند



فعالیت توفان‌های گردوغبار در منطقه مطالعاتی باشد. پیشنهاد می‌شود ارتباط این عوامل با وقایع گردوغبار، به‌طور ویژه برای مناطقی از استان که بیشترین فراوانی رخدادهای گردوغبار را در سال‌های گذشته، تجربه کرده‌اند، مورد بررسی قرار بگیرد.

### سپاسگزاری

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی به شماره ۲-۰۰-۴۸۱۲ و با بهره‌مندی از اعتبارات پژوهشی دانشگاه جیرفت به انجام رسیده است. بدین وسیله نویسندگان از معاونت آموزشی و پژوهشی این دانشگاه کمال تشکر و قدردانی را دارند.

### References

- [1]. Al Ameri, I. D., Briant, R. M., & Engels, S. (2019). Drought severity and increased dust storm frequency in the Middle East: a case study from the Tigris–Euphrates alluvial plain, central Iraq. *Weather*, 74(12), 416-426.
- [2]. Ansari, G. M., Pourgholam, A. M., & Araghinejad, S. (2021). Investigating the Relationship between Drought and Trend of the Frequency of Dust Storms in the West and Southwest of Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(11): 2839-2852 (in Farsi).
- [3]. Araghinejad, S., Ansari Ghoghhar, 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 Farsi).
- [4]. Boroghani, M., & Pourhashemi, S. (2019). Susceptibility Zoning of Dust Source Areas by Data Mining Methods over Khorasan Razavi Province. *Environmental Erosion Research Journal*, 9(3), 1-22.
- [5]. Boroghani, M., Moradi, H., Zangane Asadi, M., & Pourhashemi, S. (2019). Evaluation of the role of drought in frequency of dust in Khorasan Razavi province. *Journal of Environmental Science and Technology*, 21(5), 109-121.
- [6]. Ebrahimi-Khusfi, Z., Mirakbari, M., & Khosroshahi, M. (2020). Vegetation response to changes in temperature, rainfall, and dust in arid environments. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(11), 1-21.
- [7]. Ebrahimi, K. Z., Roustaei, F., & Soleimani, S. M. (2019). Analysis of Temporal Vegetation Changes in Western Rangelands of Kerman Province Using MODIS Level 3 Data and its Relation to Climate Factors. *Arid Region Geographic Studies*, 10(37): 40-52 (in Farsi).
- [8]. Franke, J. (2022). Changing drought risks. *Nature Climate Change*, 12(2), 118-118.
- [9]. Javadian, M., Behrangi, A., & Sorooshian, A. (2019). Impact of drought on dust storms: case study over Southwest Iran. *Environmental Research Letters*, 14(12), 124029.
- [10]. Kamali, B., Houshmand Kouchi, D., Yang, H., & Abbaspour, K. C. (2017). Multilevel drought hazard assessment under climate change scenarios in semi-arid regions- A case study of the Karkheh river basin in Iran. *Water*, 9(4), 241.
- [11]. Kendall, M. (2022). Rank correlation methods (4th edn.) charles griffin (1975). *Scientific Reports*, 12, 8724.

گردوغبار در اکثر مناطق استان به جز شهرستان بم، نداشته است. وضعیت پوشش گیاهی غرب استان کرمان بر اساس شاخص NDVI طی دوره ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷ نسبت به دوره قبل (۲۰۱۲-۲۰۰۰) افزایش یافته است. بطوری که مقدار متوسط شاخص NDVI در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲ برابر با ۰/۳۷ بوده است در حالی که طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷ به مقدار ۰/۶۳ رسیده است [۶].

بر این اساس، به نظر می‌رسد بهبود شرایط پوشش گیاهی در این استان بر کاهش وقوع رخدادهای گردوغبار مؤثر بوده که توصیه می‌شود در مطالعات آتی، این موضوع به دقت و به طور جداگانه برای مناطق مختلف استان مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار بگیرد. علاوه بر این، تغییر در سایر متغیرهای اقلیمی از قبیل سرعت بادهای فرساینده، دما و فشار هوا نیز می‌تواند از عوامل مؤثر بر تغییر میزان

- [12]. Mehrabi, S., Soltani, S., & Jafari, R. (2015). Analyzing the relationship between dust storm occurrence and climatic parameters. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 19(71), 69-81.
- [13]. Mesbahzadeh, T., & Alipour, N. (2018). Evaluation of drought impact on Frequency of dust phenomenon occurrence by SPI, PNI and ZSI indexes. *Journal of Range and Watershed Management*, 71(2), 505-515 (in Farsi).
- [14]. Middleton, N., Kashani, S. S., Attarchi, S., Rahnema, M., & Mosalman, S. T. (2021). Synoptic causes and socio-economic consequences of a severe dust storm in the Middle East. *Atmosphere*, 12(11), 1435.
- [15]. Mirakbari, M., Mortezaie, F. G., & MOHSENI, S. M. (2018). Investigation of the Effect of Meteorological Drought on Surface and Ground Water Resources by Indices SPI, SPEI, SDI and GRI. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 12(42): 70-80 (in Farsi).
- [16]. Mirakbari, M., & Ebrahimi-Khusfi, Z. (2021). Evaluation of the climate change effects on the future drought characteristics of Iranian wetlands. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(21), 1-24.
- [17]. Naeimi, M., Yousefi, M. J., Khosroshahi, M., Zandifar, S., & Ebrahimikhusfi, Z. (2020). Climatic factors affecting dune mobility in the west of Khorasan Razavi Province, Iran. *The Journal of Geographical Research on Desert Areas*, 7(2), 25-45.
- [18]. Roustaei, F., Ebrahimi Khusfi, Z., Kousari, M., & Mokhtari, M. (2021). Investigating Lagged Cross-correlation between Wind Erosion and Drought in Southern Iran's arid regions Investigating Lagged Cross-correlation between Wind Erosion and Drought in Southern Iran's arid regions. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 3(2), 29-42.
- [19]. Rostami, D., & Hosseini, S. A. (2018). Analysis and tracking dust phenomenon in south and southeast of Iran by using HYSPLIT model and the principles of remote sensing. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazard*, 5(3), 103-109 (in Farsi).
- [20]. Sahana, V., & Mondal, A. (2022). Evolution of multivariate drought hazard, vulnerability and risk in India under climate change. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 1-19.
- [21]. Shepherd, G., Terradellas, E., Baklanov, A., Kang, U., Sprigg, W., Nickovic, S., & Joowan, C. (2016). Global assessment of sand and dust storms.
- [22]. Shahsavani, A., Yarahmadi, M., Mesdaghinia, A., Younesian, M., Naimabadi, A., Salesi, M., & Naddafi, K. (2012). Analysis of dust storms entering Iran with emphasis on Khuzestan Province. *Hakim Research Journal*, 15(3), 192-202 (In Farsi).
- [23]. Sohrabi, T., Fordoei, A. R., Vali, A., & Mousavi, H. (2019). Statistical modeling of dust storms using Poisson regression model in Isfahan Province. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 26(3) (in Farsi).
- [24]. Thornthwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical review*, 38(1), 55-94.
- [25]. Van Pelt, R. S., Tatarko, J., Gill, T. E., Chang, C., Li, J., Eibedingil, I. G., & Mendez, M. (2020). Dust emission source characterization for visibility hazard assessment on Lordsburg Playa in Southwestern New Mexico, USA. *Geoenvironmental Disasters*, 7(1), 1-12.
- [26]. Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of climate*, 23(7), 1696-1718.
- [27]. 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.
- [28]. Zehtabian, G., Jafari, M., Ahamadi, H., Mesbahzadeh, T., & Noroozi, A. A. (2019). Analyzing the Synoptic Systems and Study the Change Trend in Dust (Case Study: Ardestan). *Environmental Researches*, 10(19), 281-292.
- [29]. Zoljoodi, M., Didevarasl, A., & Saadatabadi, A. R. (2013). Dust events in the western parts of Iran and the relationship

with drought expansion over the dust-source areas in Iraq and Syria. *Atmospheric and Climate Sciences*, 3, 321-336.

## Investigating the impact of drought on dust events in Kerman province using meteorological and satellite data (Research Paper)

- 1- Zohre Ebrahimi-Khusfi\*, Associate professor in Combating desertification, Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Jiroft, Iran.  
zohreebrahimi2018@ujiroft.ac.ir
- 2- Mohsen Ebrahimi-Khusfi, Assistant professor in Remote Sensing, Department of Geography, Faculty of humanities and social sciences, Yazd University, Yazd, Iran.
- 3- Maryam Mirakbari, Ph.D. in Combating desertification, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran.
- 4- Mojtaba Soleimani-Sardoo, Associate professor in Combating desertification, Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Jiroft, Iran.

Received: 08 Nov. 2021

Accepted: 14 Mar. 2022

### Abstract

In recent years, the dust events frequency and the drought severity have increased in many arid regions of Iran, so it is very important to discover the relationship between these two phenomena in these regions. In the present study, the drought situation of Kerman province using the standardized precipitation-evaporation index (SPEI) and the frequency of dust events using codes 07, 08, 09, 35-30 and 98 recorded in synoptic stations during 1990-2018 has been investigated. In addition, Palmer Drought Severity Index (PDSI) and Aerosol Optical Depth (AOD) were also used to confirm the results obtained from meteorological data. The trends of changes in drought indices, dust occurrences and AOD were analyzed using the Mann-Kendall test and their correlation with each other was analyzed using the Pearson correlation coefficient. The results showed that Kerman faced the most severe drought events in the period from 1998 to 2010, and the longest drought with a duration of 21 years and an intensity of 11.84 occurred in the northwest of the province. The temporal analysis of dust events showed that intensification of their activity in the spring and winter seasons, especially in the months of March, April and May. The results of the analysis of SPEI changes showed that the drought in Kerman had an increasing and significant trend, while the trend of changes in the frequency of dust occurrences had a decreasing and insignificant trend. Analysis of changes using satellite data also proved the significant increasing trend of PDSI and non-significant decreasing trend of AOD, especially in hot seasons. Correlation analysis between SPEI and dust events showed that the intensification of dry conditions in November had a significant effect on the intensification of dust events in Kerman province ( $r = -0.46$ ;  $P\text{-value} < 0.05$ ), while in other months, it has no significant effect on the dust events frequency. The results of PDSI and AOD confirmed the weak correlation between these two phenomena in Kerman province. The results also showed that the effect of drought time delays on the dust phenomenon in this province was weak and insignificant.

**Keywords:** Dust frequency, Standardized precipitation-evapotranspiration index, Change trend, Arid regions, Remote sensing.