

DOI: [10.29252/ARIDBIOM.2024.20961.1979](https://doi.org/10.29252/ARIDBIOM.2024.20961.1979)

## تحلیل سهم گردوغبارهای داخلی و خارجی و تغییرات مکانی-زمانی آنها

## در استان کرمان

## (مقاله پژوهشی)

۱- ابوالفضل رنجبر فردویی، استاد گروه مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.

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

Zohreebrahimi2018@ujiroft.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۳

پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۲

## چکیده

ذرات گردوغبار برخاسته از منابع داخلی و خارجی اثرات نامطلوبی بر سلامت عموم و محیط‌زیست دارند. با توجه به نامشخص بودن سهم منابع ذکرشده در تولید گردوغبار، بررسی این موضوع در مناطق مختلف ایران حائز اهمیت زیادی است. علاوه بر این، تحلیل تغییرات مکانی و زمانی رویدادهای با منشأهای مختلف می‌تواند گام مؤثری در جهت شناسایی مناطق حساس‌تر به پدیده فرسایش بادی و کاهش خطرات ناشی از وقوع آن در مناطق تحت تأثیر باشد. مطالعه حاضر با در نظر گرفتن موضوعات ذکرشده به‌عنوان اهداف اصلی انجام شد. بدین منظور از آمار پدیده گردوغبار با منشأ داخلی (کدهای ۷ تا ۹، ۹۸ و ۳۰ تا ۳۵) و خارجی (کد ۰۶) ثبت‌شده در ۱۱ ایستگاه همدید استان کرمان در بازه زمانی مشترک ۲۰۰۲-۲۰۲۰ استفاده شد. پس از محاسبه فراوانی رویدادها، سهم منابع داخلی و خارجی تولید گردوغبار در مناطق مختلف استان کرمان مشخص شد. با استفاده از نقشه پهنه‌بندی شده فراوانی وقوع هر رویداد و آزمون من-کندال به‌ترتیب تغییرات مکانی و زمانی آن‌ها تحلیل شد. نتایج نشان داد که در سه شهرستان جیرفت، انار و سیرجان سهم رویدادهای با منشأ خارج ایستگاهی بیشتر از سایر مناطق استان و به ترتیب حدود ۸۰٪، ۵۳٪ و ۵۳٪ بوده است. سهم رویدادهای با منشأ داخلی در شهر بابک، رفسنجان، شهداد و بافت بیش از ۷۳٪ و در زرنده، کرمان، بم و کهنوج بیش از ۵۲٪ بوده است. به‌طور متوسط سهم رویدادهای داخلی و خارجی در استان کرمان به ترتیب ۶۰٪ و ۳۹٪ برآورد گردید. الگوی پراکنش مکانی گردوغبارها نشان داد که بم و جیرفت به‌عنوان حساس‌ترین مناطق به فرسایش بادی در سال‌های گذشته بوده‌اند. در دوره زمانی مورد مطالعه، روند تغییرات رویدادهای با منشأ داخل و خارج ایستگاه در شهداد و زرنده، افزایشی معنی‌دار بوده است. روند افزایشی معنی‌دار رویدادهای با منشأ داخلی در کهنوج، رفسنجان و انار و روند افزایشی گردوغبارهای با منشأ خارج ایستگاه در سیرجان نیز مشاهده شد ( $Z > +1.96$ ).

واژگان کلیدی: تخریب اراضی، فراوانی گردوغبار، فرسایش بادی، من-کندال، مناطق خشک.

## مقدمه

افقی به دلیل افزایش غلظت ذرات گردوغبار به کمتر از ۱۰۰۰ متر برسد، توفان گردوغبار گزارش می‌شود [۲۷]. نزدیکی ایران به مدار رأس‌السرطان و مجاورت با عرصه‌های وسیع خشک کشورهای حاشیه خلیج فارس همچون عراق، عربستان، سوریه و شمال صحرای آفریقا به‌عنوان منابع و سرچشمه‌های اصلی خارجی وقوع توفان‌های گردوغبار باعث شده که ایران به‌طور مکرر در معرض این مخاطره قرار گیرد [۱۲].

پدیده گردوغبار یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان به‌ویژه در خاورمیانه و ایران است که فراوانی وقوع آن در یک منطقه به عوامل مختلفی از جمله سرعت باد، پوشش خاک، رطوبت خاک، سیستم هوای محلی، خشکسالی، تغییرات در کاربری زمین و برخی فعالیت‌های انسانی بستگی دارد [۲۱، ۲۵، ۴۷]. براساس تعریف سازمان هواشناسی جهانی، هرگاه در ایستگاهی سرعت باد از ۱۵ متر بر ثانیه بیشتر شده و دید

بر اساس یافته‌های حاصل از بررسی ویژگی‌های رخداد گردوغبار در فلات تبت، فراوانی رویدادهای گردوغبار از دهه ۱۹۷۰ روند کاهشی معنی‌داری داشته که این کاهش به دلیل کاهش سرعت باد و افزایش پوشش گیاهی در این منطقه است [۲۰]. پژوهشی دیگر که به منظور تحلیل روند تغییرات عمق اپتیکی آئروسول‌ها در ایالت چار کند هند انجام شده، نشان از افزایش معنی‌دار عمق اپتیکی آئروسول‌ها در بخش وسیعی از این ایالت دارد [۲۹]. یافته‌های یک مطالعه بر روی تغییرات رخداد‌های گردوغبار در کانون‌های حساس به فرسایش بادی آسیای شرقی نیز حاکی از روند افزایشی و معنی‌دار این رخدادها در بیابان‌های گویبی و تاکلاماکان دارد [۳].

کشور ایران به دلیل واقع شدن بر روی کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان مکرراً در معرض رویدادهای گردوغبار قرار دارد [۳۹]. سهم منابع داخلی و خارجی در تولید گردوغبارهای ایران به ترتیب ۹۵٪ و ۵٪ است [۴۱]. گرچه در پژوهشی سهم منابع داخلی در خوزستان ۸/۴٪ و سهم منابع خارجی، ۹۱/۶٪ اعلام شده [۵] اما سهم آن‌ها به طور دقیق و علمی در اغلب مناطق ایران نامشخص است. علاوه بر این، روند تغییرات زمانی رویدادهای گردوغبار با منشأ‌های مختلف به طور جداگانه در بسیاری از مطالعات گذشته [۱۲، ۱۶، ۱۷، ۳۱، ۴۳] مورد توجه قرار نگرفته است. بر این اساس، در مطالعه حاضر سعی شده که ضمن تحلیل سهم منابع داخلی و خارجی در تولید گردوغبار استان کرمان، الگوی توزیع مکانی و روند تغییرات زمانی رویدادهای با هر دو منشأ به طور جداگانه مورد بررسی قرار گیرد. بر این اساس، اهداف اصلی تحقیق حاضر عبارت است از:

- ۱) تعیین سهم گردوغبارهای با منشأ داخلی و خارجی در مناطق مختلف استان کرمان؛
- ۲) تحلیل تغییرات مکانی فراوانی وقوع رویدادهای داخلی و خارجی در استان کرمان؛
- ۳) تحلیل تغییرات زمانی رویدادهای داخلی و خارجی در سه مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه در مناطق مختلف استان کرمان.

با وجودی که توفان‌های گردوغباری بیشتر در فصل بهار و تابستان رخ می‌دهند اما در فصل سرد نیز توفان‌های گردوغبار قابل توجهی در بعضی از مناطق کشور رخ می‌دهد [۴۵، ۶]. این توفان‌ها علاوه بر کاهش حاصلخیزی خاک [۳۴]، کاهش سطح سلامت [۴۲]، افزایش وقوع تصادفات [۱۹]، صدمه به زیرساخت‌ها و تبعات اقتصادی و اجتماعی زیادی را به دنبال دارند [۱۰ و ۴۶].

با توجه به اثرات نامطلوب گردوغبار بر زندگی بشر و محیط‌زیست، این موضوع در تحقیقات محققان علوم مختلف مورد توجه بوده و پژوهش‌های زیادی در این زمینه صورت گرفته است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. براساس پژوهشی که در زمینه تغییرات فراوانی رخداد‌های گردوغبار و ارتباط آن‌ها با تغییرات اقلیمی در استان خراسان رضوی انجام شده، روند تغییرات رویدادهای گردوغبار در شهرستان مشهد، کاهشی معنی‌دار و در شهرستان‌های سبزوار، سرخس و قوچان افزایشی معنادار بوده است [۳۱]. یافته‌های پژوهشی دیگر [۶] نشان می‌دهد روند تغییرات ماهانه رویدادهای با منشأ داخلی در استان کرمان، در ماه‌های شهریور و خرداد کاهشی معنی‌دار و در سایر ماه‌ها، کاهشی غیر معنی‌دار است.

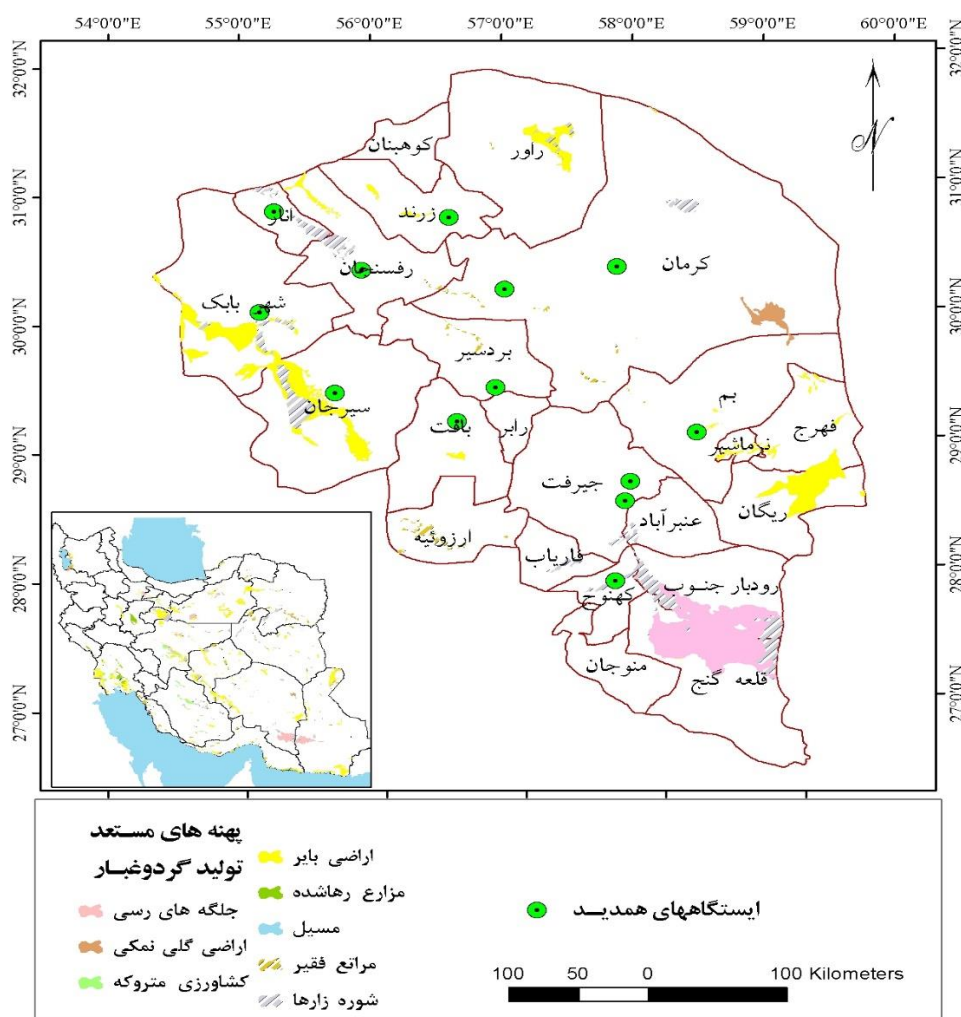
نتایج پژوهش [۱۱] نشان از روند افزایشی معنی‌دار رویداد گردوغبار در ۱۳٪ شهرهای ایران و تغییرات کاهشی معنی‌دار در ۱۰٪ شهرهای ایران دارد. یافته‌های پژوهش [۱۶] حاکی از وجود روند افزایشی معنی‌دار فراوانی روزهای همراه با گردوغبار شهر تبریز در تمامی فصول به‌استثنای فصل زمستان است. تحلیل تغییرات زمانی-فضایی غلظت هواویزه‌ها در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از آزمون من-کندال حاکی از وجود روند افزایشی معنی‌دار در مناطق جنوبی و روند کاهشی معنی‌دار در مناطق شمالی این استان است [۳۷]. نتایج تحلیل روند تغییرات فصلی و سالانه روزهای توأم با گردوغبار نشان از افزایش تعداد این روزها در فصول زمستان، بهار، تابستان، پاییز و در مقیاس سالانه در اقلیم نیمه‌خشک ایران به ترتیب به میزان ۲۳، ۲۱، ۹، ۱۲ و ۵۸ روز، در اقلیم خشک به میزان ۵۴، ۳۱، ۳۷، ۴۵ و ۱۸۷ روز و در اقلیم فراخشک به ترتیب به میزان ۶۸، ۶۹، ۶۸، ۵۵ و ۲۶۱ روز دارد [۱۵].

## مواد و روش‌ها

## منطقه مطالعاتی

استان کرمان در جنوب شرقی ایران و در محدوده جغرافیایی  $36^{\circ} 54'$  تا  $58^{\circ} 58'$  طول شرقی و  $27^{\circ} 18'$  تا  $31^{\circ} 38'$  عرض شمالی واقع شده است. استان کرمان با دربرگرفتن بیش از ۱۱٪ از وسعت ایران با حدود ۱۸۳۱۹۳ کیلومترمربع، نخستین استان پهناور ایران است و در پهنه ارتفاعی ۱۳۸ تا ۴۳۱۷ متر از سطح دریا واقع شده است (شکل ۱).

بر اساس نقشه پهنه‌های مستعد تولید گردوغبار، وسعت این پهنه‌ها در استان کرمان حدود ۱۸۳۱۹۳ کیلومترمربع است [۳۶]. میانگین دما در سطح استان بین  $15/3$  درجه سانتی‌گراد در نواحی جنوبی متغیر است. متوسط بارندگی طولانی‌مدت از ۵۵ میلی‌متر در نواحی شرقی و شمالی استان تا ۲۵۰ میلی‌متر در مناطق غربی نوسان دارد. دامنه تغییرات سرعت باد در استان کرمان بین  $1/4$  تا  $3/7$  متر بر ثانیه متغیر است که در اغلب مناطق استان، متوسط سرعت باد بیشتر از  $2/5$  متر بر ثانیه است [۲۸].



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های همدید و پهنه‌های مستعد تولید گردوغبار در استان کرمان

## روش تحقیق

نمودار فرآیندی روش کار برای انجام این پژوهش در شکل ۲ و توضیحات مربوطه، در ادامه ارائه شده است.

در پژوهش حاضر از داده‌های سه‌ساعته مربوط به گردوغبارهای با منشأ داخل و یا نزدیک ایستگاه و همچنین با منشأ خارج ایستگاه ثبت شده در ایستگاه‌های همدید واقع در استان کرمان (شکل ۱) به منظور تعیین سهم آن‌ها

پدیده‌های ثبت‌شده با سایر کدها (۰۷-۰۹، ۰۷، ۹۸، ۳۵-۳۰) بر فراوانی کل رویدادها، سهم گردوغبارهای داخلی برای هر ایستگاه به‌طور جداگانه محاسبه شد. شایان‌ذکر است که در شهرستان‌های جیرفت و رفسنجان، دو ایستگاه همدید مستقر است که برای تکمیل آمار در بازه زمانی مورد مطالعه از آمار هر دو ایستگاه استفاده شده است.

در تولید گردوغبار مناطق مختلف استان کرمان استفاده شد. شایان‌ذکر است که گردوغبارهای با منشأ داخلی و یا نزدیک ایستگاهی با کدهای ۰۷ تا ۰۹، ۰۷، ۹۸ و ۳۰ تا ۳۵ و گردوغبارهای با منشأ خارج ایستگاه با کد ۰۶ توسط دیده‌بانان ایستگاه‌های همدید بافاصله زمانی سه‌ساعته ثبت می‌شوند [۳۳].

با تقسیم فراوانی پدیده‌های با کد ۰۶ بر فراوانی کل رویدادها سهم گردوغبارهای خارجی و با تقسیم فراوانی



شکل ۲- فرآیند انجام پژوهش

پراکنش مکانی فراوانی وقوع رویدادهای ذکرشده به روش IDW تهیه شد. این روش در بسیاری از مطالعات گذشته نیز به‌منظور تهیه الگوی توزیع مکانی رویدادهای گردوغبار به کار گرفته‌شده است [۱، ۷، ۸، ۱۷]. در نهایت، روند تغییرات زمانی گردوغبارهای داخلی و خارجی به‌طور جداگانه در سه مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه با بهره‌گیری از آزمون من-کندال بررسی و تجزیه و تحلیل شد.

آزمون من-کندال بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی بسط و توسعه داده‌شده است [۲۶]. این آزمون به‌عنوان یک روش ناپارامتری به‌طور گسترده‌ای در تحلیل روند تغییرات زمانی متغیرهای هواشناسی به کار گرفته

با توجه به آمار اخذشده، بازه زمانی مشترک این ایستگاه‌ها در استان کرمان ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ انتخاب شد تا بتوان از تعداد بیشتری ایستگاه به‌منظور تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی‌شده و تحلیل مکانی آن‌ها در سطح استان استفاده کرد. دو روش پرکاربرد جهت پهنه‌بندی متغیرهای مختلف، روش کریجینگ و وزن‌دهی فاصله معکوس (IDW) است [۴].

نظر به این که شرط استفاده از روش کریجینگ، نرمال بودن توزیع داده‌هاست [۳۵]، در پژوهش حاضر، به‌دلیل عدم توزیع نرمال فراوانی رویدادهای گردوغبار بر اساس آزمون شاپیرو-ویلک ( $p\text{-value} < 0.05$ )، نقشه

$$\left\{ \begin{array}{ll} Z = \frac{S-1}{(\text{var}(S))^{\frac{1}{2}}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{(\text{var}(S))^{\frac{1}{2}}} & \text{if } S < 0 \end{array} \right. \quad (3)$$

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

### نتایج

#### فراوانی ماهانه و فصلی گردوغبارهای داخلی و خارجی در مناطق مختلف استان کرمان

در این مطالعه، فراوانی رویدادهای با کد ۰۶ که بیانگر گردوغبارهای با منشأ خارج ایستگاه می‌باشند و همچنین فراوانی رویدادهای با کد ۰۷ تا ۰۹، ۰۹ و ۳۰ تا ۳۵ که بیانگر رویدادهای با منشأ داخل و یا نزدیک به ایستگاه هم‌دید می‌باشند، برای بازه زمانی مشترک مورد مطالعه (۲۰۲۰-۲۰۲۲) در مقیاس ماهانه محاسبه گردید که نتایج به‌دست‌آمده در شکل ۳ خلاصه‌شده است.

همان‌گونه که شکل ۳ نشان می‌دهد در دوره موردبررسی، مجموع فراوانی گردوغبارهای داخلی در شهرستان‌های بم، انار و رفسنجان و مجموع فراوانی گردوغبارهای خارجی در شهرستان‌های جیرفت و بم بیشتر از سایر شهرستان‌های استان بوده است.

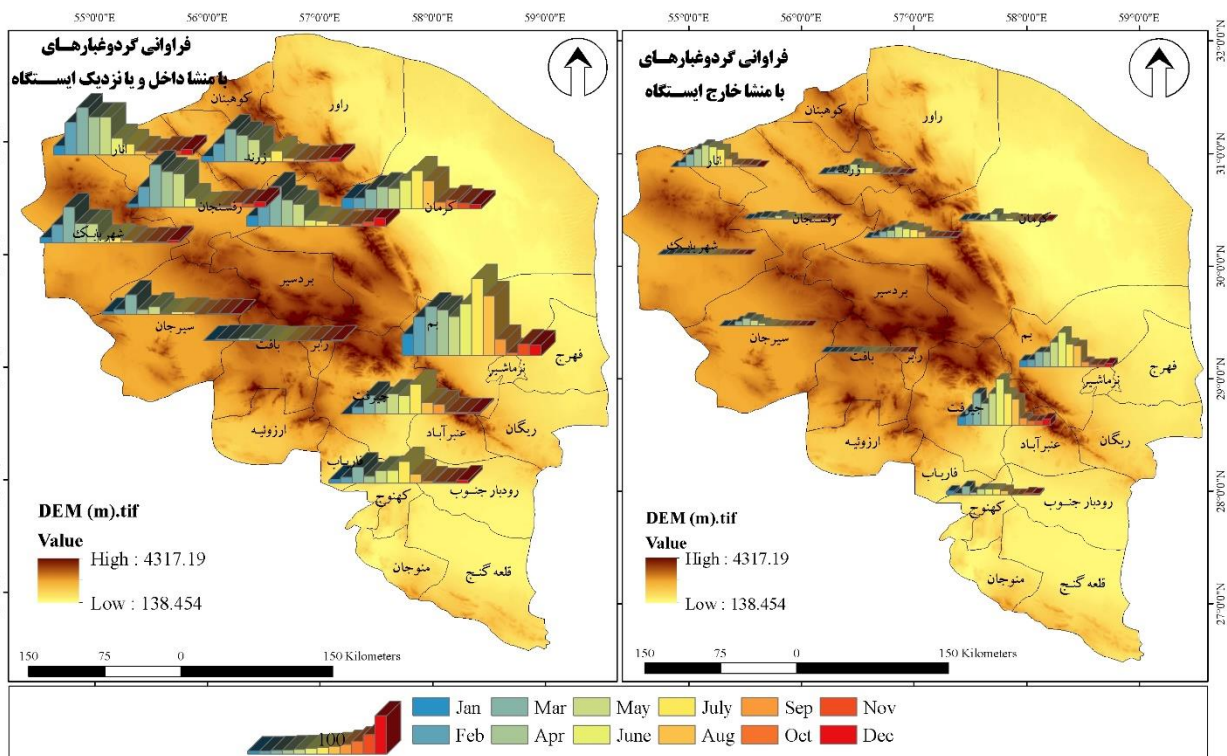
شود [۱۴ و ۲۲]. در این آزمون فرض صفر عدم وجود روند در سری زمانی داده‌ها بوده و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌هاست.

در روش من-کندال فرض بر این است که یک سری زمانی به‌صورت  $x_1, x_2, \dots, x_n$  وجود دارد. آماره آزمون من-کندال با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود که در این رابطه  $Z$  و  $k$  مرتبه مشاهدات هستند و تابع علامت  $\text{sgn}(x)$  به‌صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود.

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

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & x > 0 \\ 0 & x = 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases} \quad (2)$$

بر اساس این آزمون در صورت وجود اختلاف معنی‌داری  $S$  با صفر، سری زمانی دارای روند صعودی و یا نزولی خواهد بود و در غیراینصورت سری زمانی بدون روند است. برای آزمون معنی‌دار بودن روند، از متغیر  $Z$  نرمال استاندارد طبق رابطه ۳ استفاده می‌شود [۱۱]:

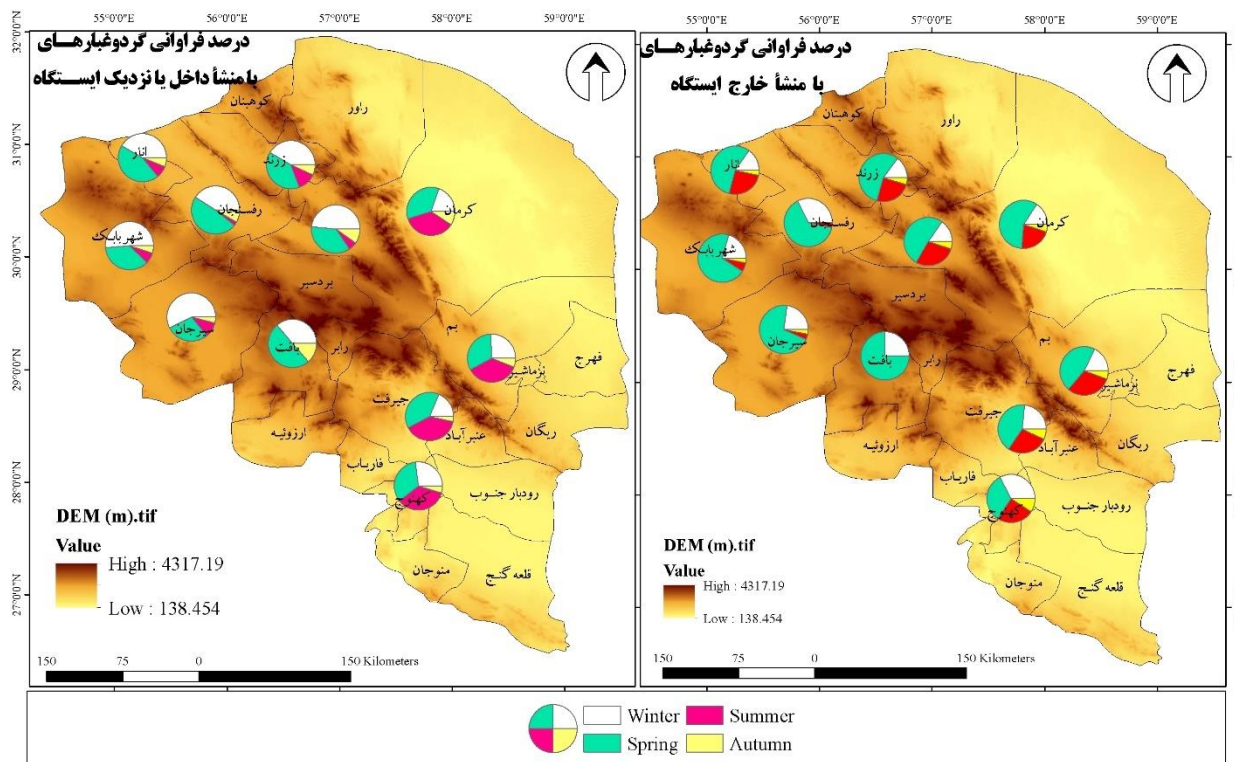


شکل ۳- تغییرات ماهانه گردوغبارهای داخلی و خارجی در مناطق مختلف استان کرمان طی بازه زمانی (۲۰۲۰-۲۰۲۲)



سهم را در تولید گردوغبار استان کرمان داشته‌اند. این در حالی است که در همه مناطق استان وقوع رویدادهای با منشأ خارجی در فصل بهار بیشتر از سایر فصول بوده و لذا می‌توان اذعان کرد بیشترین حجم ذرات گردوغبار با منشأ بیرونی در این فصل به شهرستان‌های مطالعاتی منتقل شده است.

بر اساس فراوانی ماهانه رویدادهای گردوغبار داخلی و خارجی، سهم هر رویداد در هر فصل مشخص شد که نتایج به‌دست‌آمده در شکل (۴) نشان داده شده است. یافته‌ها حاکی از آن است که توفان‌های گردوغبار با منشأ داخلی در فصول بهار و زمستان در نواحی شمالی استان و در فصول بهار و تابستان در نواحی جنوبی استان بیشترین



شکل ۴- درصد فراوانی فصلی گردوغبارهای با منشأهای داخلی و خارجی در مناطق مختلف استان کرمان طی بازه زمانی (۲۰۲۰-۲۰۰۲)

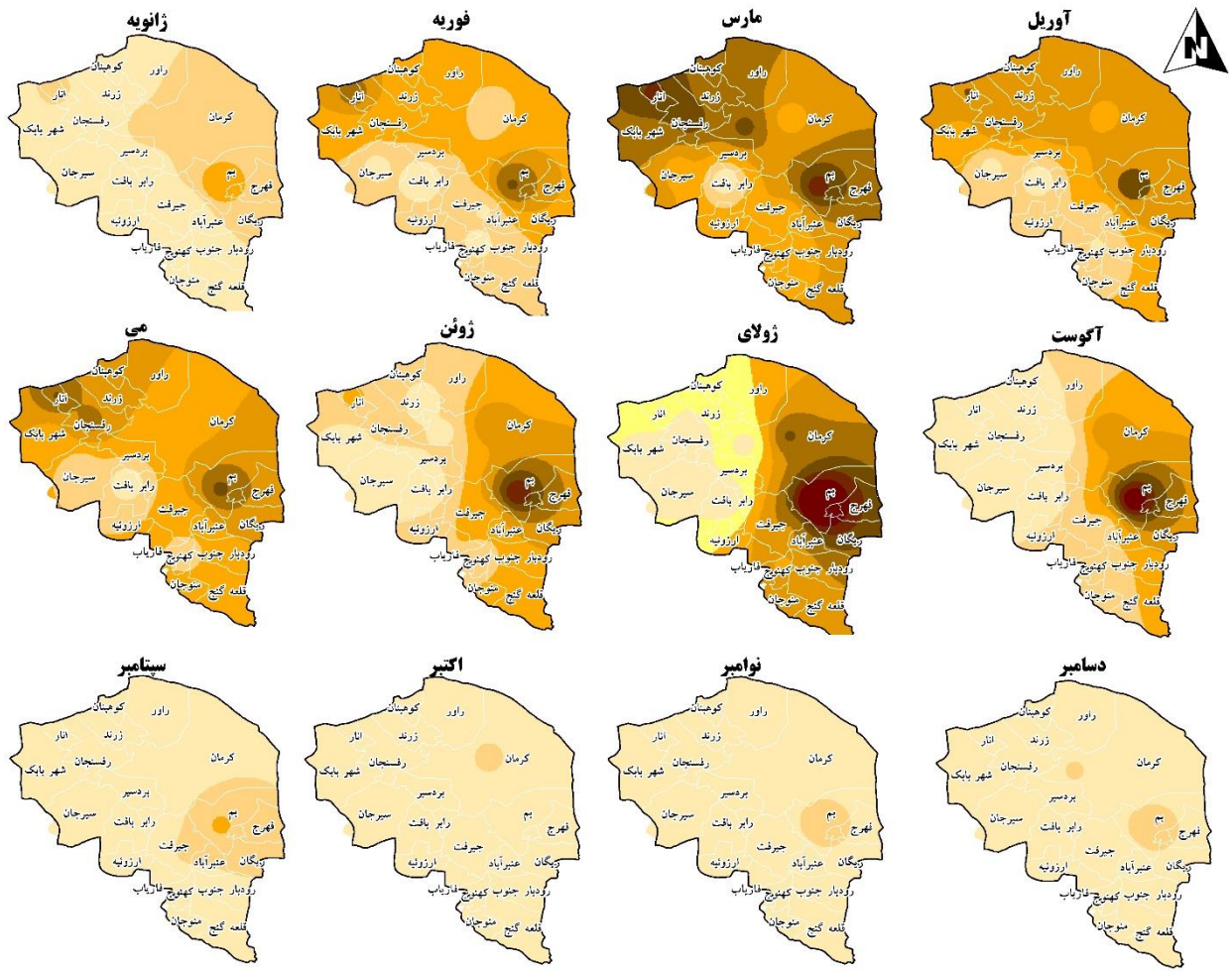
۷۳٪ و در شهرستان‌های زرنند، کرمان، بم و کهنوج به ترتیب ۶۲/۳٪، ۵۳/۷٪، ۵۲/۷٪ و ۵۰/۲٪ بوده است. به‌طور متوسط در دوره آماری ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ سهم رویدادهای با منشأ داخلی در استان کرمان ۶۰/۶٪ و سهم رویدادهای با منشأ خارجی ۳۹/۴٪ بوده است.

در نهایت، بر اساس مقادیر فراوانی ماهانه و فصلی رویدادهای گردوغبار داخلی و خارجی، نقشه پهنه‌بندی هر دو نوع رویداد تهیه و اقدام به تحلیل مکانی و همچنین تحلیل روند تغییرات زمانی آنها در مقیاس‌های زمانی مختلف گردید که در ادامه، به ارائه نتایج مربوطه پرداخته شده است.

در گام بعدی، سهم کل منابع داخلی و خارجی در تولید گردوغبارهای سالانه هر منطقه مشخص و نتایج در شکل ۵ ارائه گردید. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، در سه شهرستان جیرفت، انار و سیرجان، رویدادهای خارجی و در سایر شهرستان‌ها، سهم رویدادهای داخلی در تولید گردوغبار و کاهش کیفیت هوا بیشتر از سایر مناطق استان بوده است. در سه شهرستان جیرفت، انار و سیرجان سهم رویدادهای خارجی به ترتیب حدود ۸۰٪، ۵۳/۸٪ و ۵۳/۲٪ و سهم رویدادهای داخلی به ترتیب ۲۰٪، ۴۶/۲٪ و ۴۶/۸٪ بوده است.

از بین سایر شهرستان‌ها که رویدادهای با منشأ داخلی در آن‌ها غالب بوده است، سهم این رویدادها در شهرستان‌های شهرابک، رفسنجان، شهداد و بافت بیش از





شکل ۶- پهنه بندی فراوانی ماهانه گردوغبارهای با منشأ داخل یا نزدیک ایستگاه در استان کرمان طی بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۲۰

فراوانی گردوغبارهای داخلی

<20   
  20-40   
  40-60   
  60-80   
  80-100   
  100-120   
  120-140   
  >140

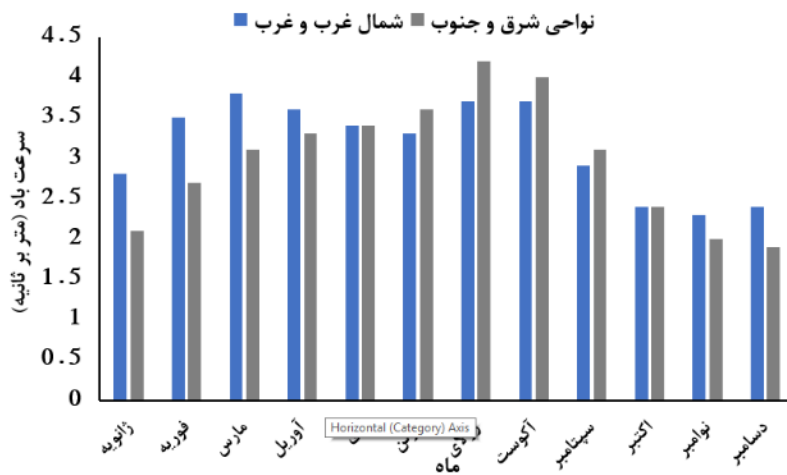
290 145 0 290 Kilometers

شکل ۶- پهنه بندی فراوانی ماهانه گردوغبارهای با منشأ داخل یا نزدیک ایستگاه در استان کرمان طی بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۲۰

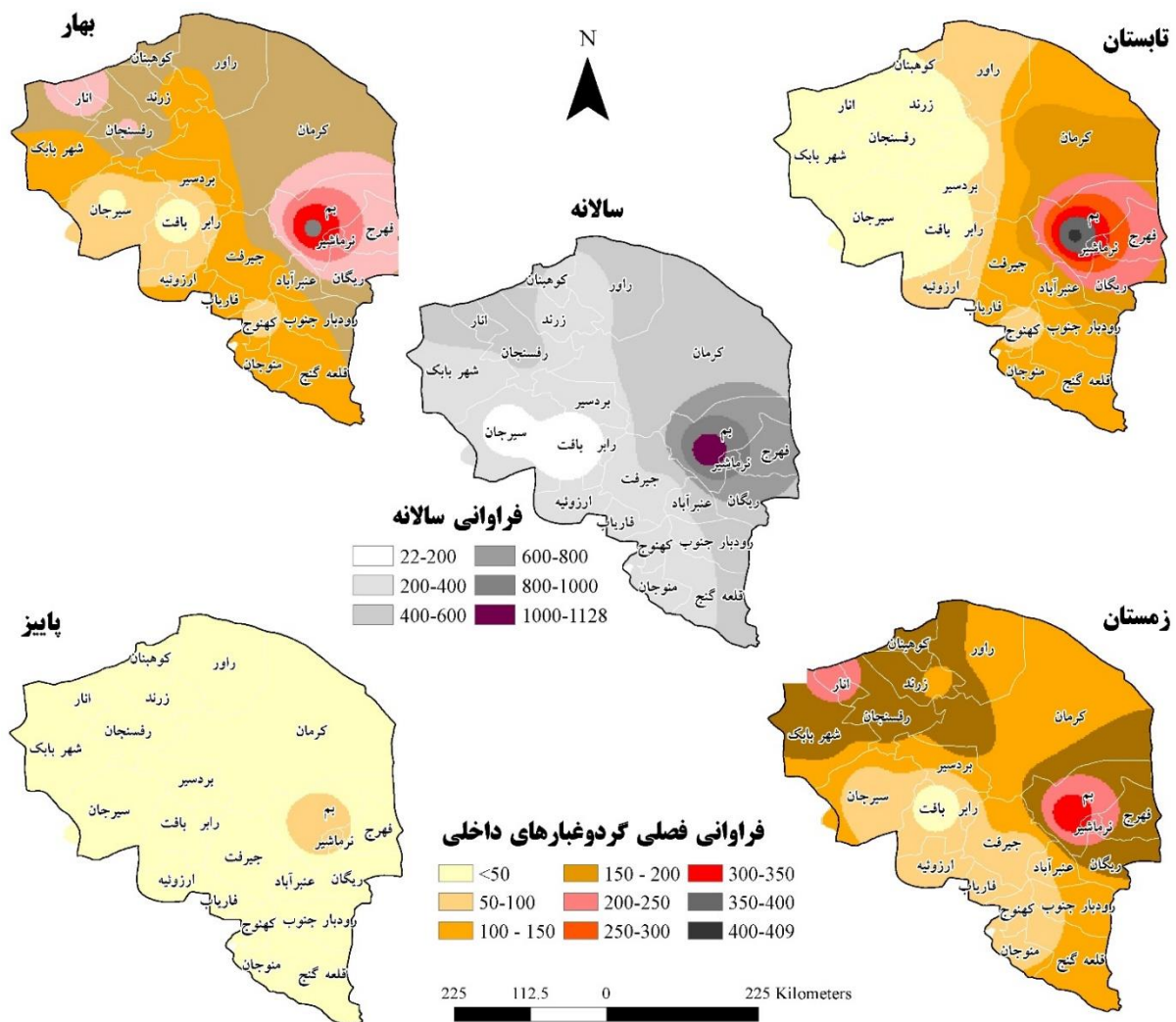
جدول ۱- متوسط سرعت باد در ایستگاه‌های همدید استان کرمان در بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۲۰

ماه	انار	بافت	بیم	جیرفت	کهنوج	کرمان	رفسنجان	شهداد	شهراباک	سیرجان	زرنده
ژانویه	۲/۸	۲/۷	۲/۷	۰/۹	۲/۳	۲/۵	۳/۴	۲/۱	۲/۳	۲/۶	۳
فوریه	۳/۹	۳/۳	۳/۲	۱/۳	۳/۳	۳/۱	۴/۲	۲/۷	۳	۳/۱	۳/۷
مارس	۴/۳	۳/۵	۳/۳	۱/۵	۴	۳/۶	۴/۶	۳	۳/۱	۳/۱	۴/۲
آوریل	۴	۳/۴	۳/۵	۱/۹	۴/۵	۳/۵	۴/۵	۳/۳	۲/۹	۳	۳/۹
می	۳/۳	۳/۵	۳/۵	۱/۹	۴/۴	۳/۳	۴	۳/۸	۲/۹	۲/۸	۳/۸
ژوئن	۲/۹	۳/۳	۳/۶	۲/۱	۵/۱	۳/۲	۳/۸	۴/۲	۳/۱	۲/۷	۳/۹
جولای	۳/۱	۳/۸	۳/۷	۲/۴	۵/۷	۳/۴	۳/۷	۵/۷	۴	۳/۳	۴/۳
آگوست	۲/۸	۴	۳/۸	۲/۳	۵/۱	۳/۳	۳/۶	۵/۶	۴/۲	۳/۴	۴/۳
سپتامبر	۱/۹	۳/۴	۳/۴	۱/۷	۴/۱	۲/۷	۳/۳	۳/۷	۲/۹	۲/۵	۳/۷
اکتبر	۱/۵	۲/۷	۳/۱	۱/۲	۲/۸	۲/۳	۳/۱	۲/۵	۲	۱/۹	۳
نوامبر	۱/۹	۲/۴	۲/۷	۰/۹	۲/۴	۲/۱	۳/۱	۲/۲	۱/۹	۱/۹	۲/۶
دسامبر	۲	۲/۵	۲/۶	۰/۷	۱/۹	۲/۱	۳/۲	۲	۲	۲/۱	۲/۷





شکل ۷- متوسط ماهانه سرعت باد در نواحی مختلف استان کرمان در بازه زمانی ۲۰۰۲-۲۰۲۰



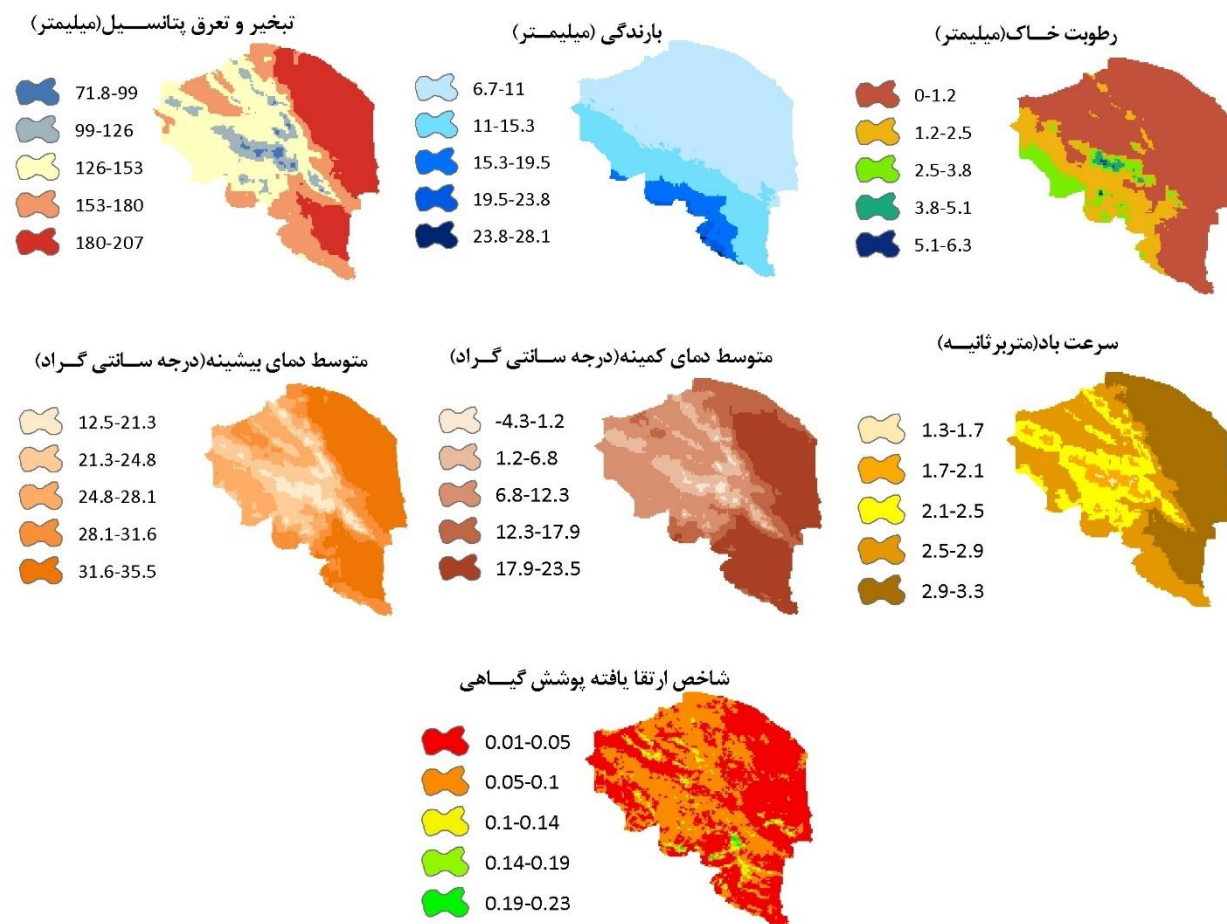
شکل ۸- فراوانی فصلی و سالانه گردوغبارهای با منشأ داخل یا نزدیک ایستگاه در استان کرمان طی بازه زمانی ۲۰۰۲-۲۰۲۰

رطوبت خاک و پوشش گیاهی از طریق برنامه‌نویسی در محیط گوگل ارث انجین برای استان کرمان محاسبه و نقشه‌های مربوطه تهیه گردید (شکل ۹).

نظر به این که در مطالعات متعدد تأثیر عوامل اقلیمی و زمینی بر تغییرات وقایع گردوغبار به اثبات رسیده است [۲۱، ۲۴، ۲۵ و ۴۷]، در پژوهش حاضر مقادیر متوسط بلندمدت بارندگی، دما، سرعت باد، تبخیر و تعرق پتانسیل،

رطوبت و پوشش سطح خاک به همراه افزایش دما و تبخیر منجر به کاهش سرعت آستانه فرسایش بادی و افزایش وقوع توفان‌های گردوغبار می‌شود [۲۳]، می‌توان این عوامل را از علل اصلی تشدید فعالیت رخدادهای داخلی گردوغبار در نواحی شرقی استان کرمان برشمرد.

بر اساس نتایج ارائه‌شده در این شکل، در نواحی شرقی استان کرمان، عمدتاً مقدار متوسط بلندمدت رطوبت خاک و پوشش گیاهی کمتر از سایر نواحی استان این در حالی است که مقادیر متوسط بلندمدت دماهای بیشینه و کمینه، سرعت باد و تبخیر و تعرق پتانسیل در مقایسه با سایر مناطق استان بیشتر است. با توجه به این که کاهش



شکل ۹- مقادیر متوسط بلندمدت پارامترهای اقلیمی و زمینی در استان کرمان

سپتامبر، روند افزایشی معنی‌دار ( $Z > +1.96$ ) گردوغبارهای داخلی را تجربه کرده‌اند.

به‌طور کلی بر اساس تحلیل مکانی-زمانی گردوغبارهای داخلی مشخص شد که از نظر مکانی فراوانی وقوع این رویدادها در ایستگاه بم بیشتر از سایر ایستگاه‌ها بوده این در حالی است که روند تغییرات زمانی در این ایستگاه کاهش یافته بوده؛ لذا به دلیل این که حساس‌ترین منطقه از نظر وقوع رویدادهای گردوغبار داخلی در بازه زمانی مورد بررسی بوده است، بر اساس یافته‌های مطالعه حاضر به‌عنوان منطقه پرخطر معرفی می‌شود.

به‌منظور درک روند تغییرات زمانی رویدادهای گردوغبار داخلی در مقیاس‌های زمانی مختلف از آزمون من-کندال استفاده شد که نتایج به‌دست‌آمده در جدول (۲) خلاصه‌شده است. نتایج ارائه‌شده در این جدول نشان می‌دهد ایستگاه بم در بیشتر ایام سال و ایستگاه‌های کرمان و شهربابک در ژوئن با روند کاهشی معنی‌دار ( $Z < -1.96$ ) رویدادهای با منشأ داخلی مواجه بوده‌اند؛ این در حالی است که ایستگاه‌های انار، کهنوج و شهداد در ماه ژانویه، زرنند در آوریل و اکتبر و ایستگاه رفسنجان در

جمله مناطق با خطر آلودگی بیشتر در استان می‌باشند که باید تدابیر ویژه‌ای برای شناسایی منشأ برداشت و کاهش خطرات ناشی از وقوع پدیده فرسایش بادی در این مناطق به کار گرفته شود.

از طرفی می‌توان مناطقی که با روند تغییرات افزایشی این وقایع مواجه بوده‌اند را نیز به‌عنوان مناطق در معرض خطر بیشتر معرفی کرد که بر این اساس می‌توان گفت شهرستان‌های شهداد و کهنوج و همچنین انار و زرنند نیز از

جدول ۲- روند تغییرات زمانی گردوغبارهای داخلی در مناطق مختلف استان کرمان بر اساس آماره من-کندال

مقیاس زمانی	انار	بافت	بم	جیرفت	کهنوج	کرمان	رفسنجان	شهداد	شهربابک	سیرجان	زرنند
ژانویه	۲/۳۲	۱/۵۵	-۲/۰۱	۱/۵۵	۲/۰۸	۰/۴۹	۱/۵۵	۲/۴۵	-۰/۴۲	۰/۷۴	۱/۵۱
فوریه	۱/۳۲	-۰/۶۶	-۲/۰۵	-۰/۱۶	۰/۲۷	۰/۵۸	۰/۵۴	۰/۸۱	-۱/۸۱	۱/۹۵	-۰/۲۹
مارس	-۰/۶۷	۰/۸	-۳/۱۸	-۱/۳۲	۰/۰۷	-۱/۵۵	-۰/۵۷	۲/۵۳	-۱/۳۵	-۰/۵۸	۰/۲۸
آوریل	۰/۵	-۰/۷۴	-۳/۰۷	-۱/۵۸	۰/۶۱	-۰/۷۶	۱/۳۸	۱/۱۷	۰/۰۴	۰/۰۸	۱/۹۸
می	-۰/۸۹	-۰/۶۶	-۳/۶۷	-۰/۱۸	۱/۲۷	-۱/۲۹	-۱/۶۲	۱/۲۹	-۱/۱۱	-۰/۲۴	-۱/۲۸
ژوئن	۰/۰۴	-۰/۸۲	-۲/۶۳	۰/۴۷	۰	-۲/۶۴	-۱/۱۸	۰/۰۴	-۲/۵۱	-۰/۸	۰
جولای	۱/۶۸	۱/۵۵	-۳/۱۴	۰/۳۵	۱/۳۸	۰/۱۶	-۱/۸۶	۰/۶۱	-۱/۴۷	۱/۵۱	۰/۵۱
اوت	۰	۱/۵۵	-۳	-۰/۸۱	۰/۳۱	۰/۵	۱/۲۸	۰/۱۲	-۰/۶۶	۰/۸	۰/۳۷
سپتامبر	-۰/۷۲	۱/۵۵	-۱/۷۲	-۱/۸۷	-۰/۲۵	۰/۶۴	۰/۲۸	۰/۶۴	-۱/۱۹	۱/۵۵	۰/۱۵
اکتبر	۱/۸۵	۱/۴۶	-۲/۲۴	-۰/۲۳	۱/۱۳	۰/۶۹	۲/۳۸	۱/۰۳	۰/۶۱	-۰/۷۳	۱/۹۹
نوامبر	-۰/۵	۱/۵۵	-۲/۹۱	۰/۶۶	-۰/۷۳	۰	-۰/۳۷	-۰/۴۷	-۰/۳۹	۱/۳۹	۰/۳
دسامبر	-۰/۲۷	-۰/۶۴	-۳/۸۱	-۰/۱۷	۰/۱۷	-۱/۳۹	-۰/۷۷	-۰/۰۴	-۱/۴۲	۱	-۰/۱۴
زمستان	۱/۰۶	۰/۷۲	-۳/۰۲	-۱/۳۷	۰/۸۹	-۰/۳۹	۰	۳/۱۴	-۱/۵۵	۰/۶۸	۰/۰۷
بهار	-۰/۰۴	-۰/۸۴	-۳/۶۳	-۰/۴۲	۰/۹۳	-۱/۸	-۰/۳۹	۱/۰۶	-۱/۲۷	-۰/۳۴	۰/۲۵
تابستان	۱/۰۸	۱/۵۵	-۳/۲	-۰/۸۵	۰/۹۶	۰/۹	-۰/۰۴	۰/۷۱	-۱/۷۷	۱/۵۴	-۰/۱۸
پاییز	۰/۱۴	-۰/۱۲	-۳/۹۴	-۰/۰۸	۰/۱۷	-۰/۵۵	۰/۶۲	۰/۶۲	-۰/۹۶	۰/۸	۰/۹۲
سالانه	۰/۱۸	۰	-۳/۵۷	-۰/۹۱	۰/۹۸	-۰/۸۴	-۰/۲۵	۱/۳	-۱/۷۹	۰/۶۷	۰/۲۵

\*مقادیر مشخص شده بیانگر معنی‌دار بودن آماره من-کندال است.

نواحی شمال و شمال غرب استان نیز با افزایش وقوع گردوغبارهای با منشأ خارجی مواجه بوده‌اند.

در مقیاس فصلی، استان کرمان بهترین شرایط را از نظر وقوع رویدادهای خارجی، در فصل پاییز داشته و فراوانی آنها کمتر از ۱۰۰ بوده است. در فصل زمستان کمترین فراوانی وقوع این رویدادها متعلق به نیمه شمالی استان و بیشترین رویدادها در نیمه جنوبی استان و به‌ویژه جیرفت و عنبرآباد بوده است. در فصول بهار و تابستان، حداکثر فراوانی متعلق به ایستگاه جیرفت و به ترتیب ۴۰۸ و ۶۲۱ رویداد در بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۲ بوده است. در این دو فصل، شهرستان‌های انار، جیرفت و بم، بدترین شرایط را تجربه کرده‌اند.

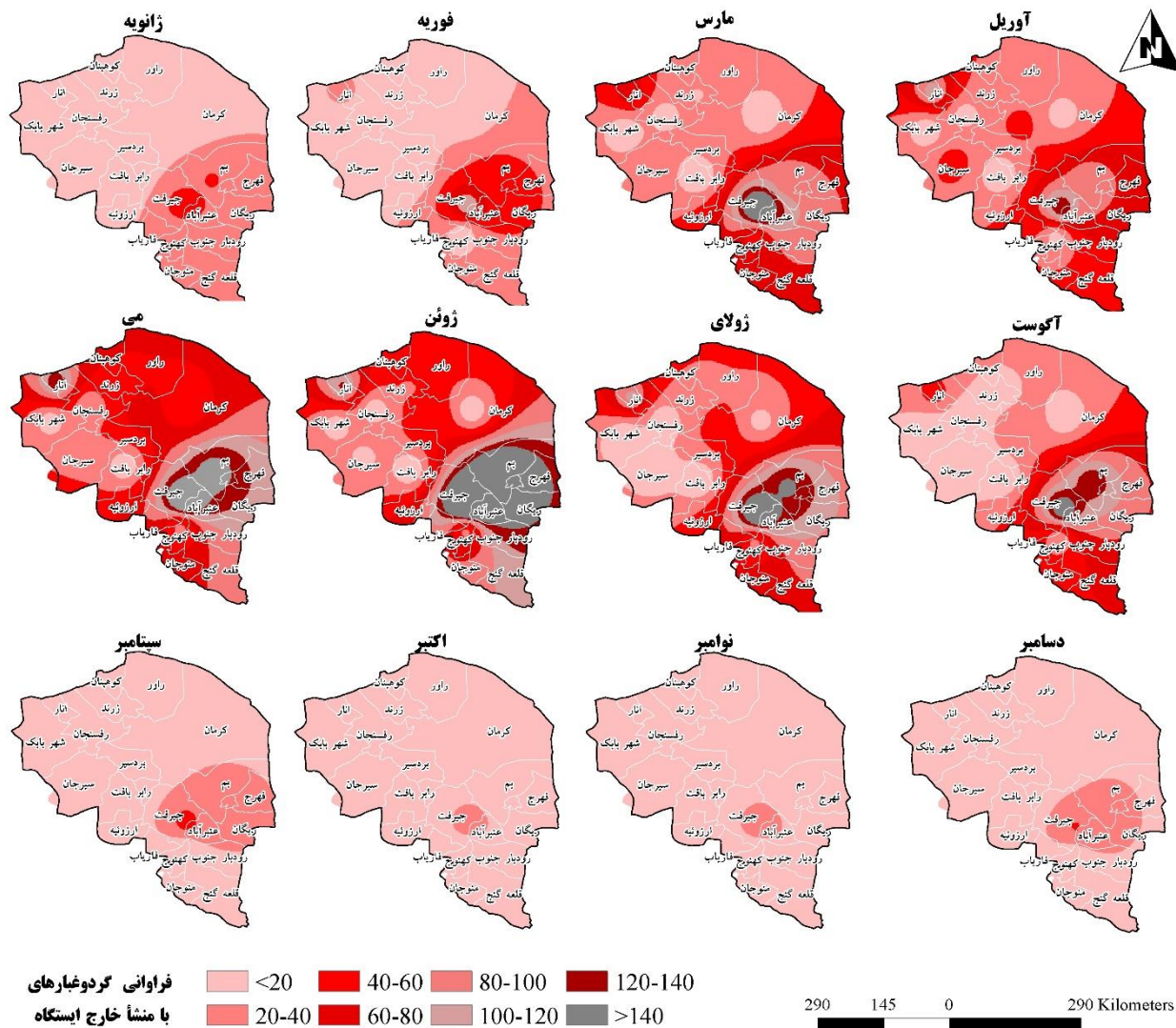
## تغییرات زمانی-مکانی رویدادهای گردوغبار با منشأ خارجی در استان کرمان

نتایج حاصل از پهنه‌بندی رویدادهای خارجی استان کرمان در بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۲ (شکل ۱۰) بیانگر آن است که همانند رویدادهای داخلی، کمترین فراوانی وقوع این رویدادها در این استان متعلق به سپتامبر تا دسامبر بوده است. با این تفاوت که بیشترین رویدادها در جیرفت و پس‌از آن در بم رخ داده است.

در ماه‌های ژانویه تا آوریل و ماه اوت، نواحی جنوب شرق استان شاهد بیشترین گردوغبارها با منشأ خارجی بوده است. این در حالی است که از می تا جولای، علاوه بر این نواحی که تعداد رویدادهای بیشتری را تجربه کرده‌اند،

مورد مطالعه بین ۸ رویداد در نواحی غربی استان تا ۱۱۲۸ رویداد در جیرفت متغیر بوده است (شکل ۱۱).

علاوه بر این نتایج، این مطالعه نشان داد که در مقیاس سالانه، فراوانی وقوع رویدادهای خارجی در بازه زمانی

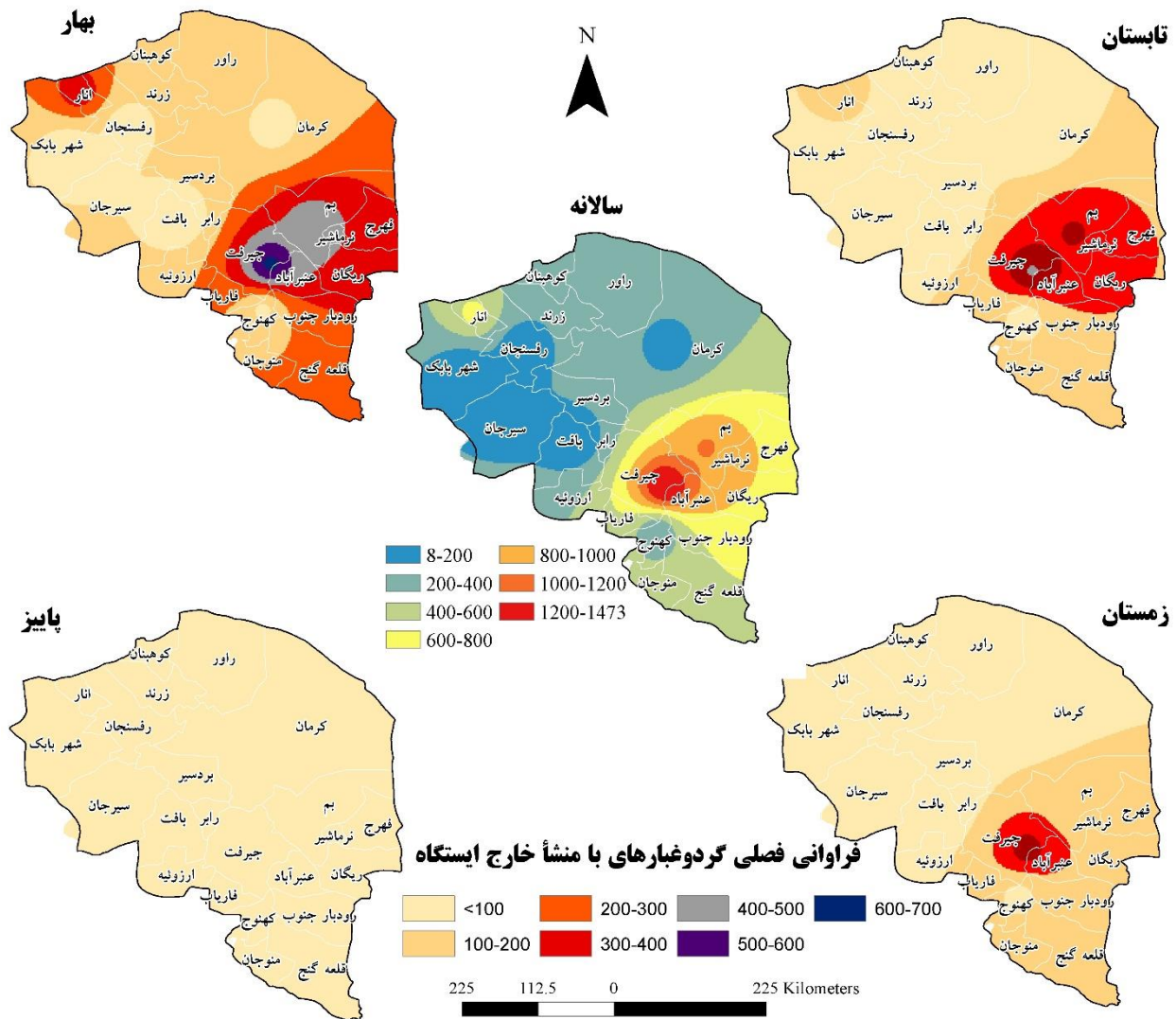


شکل ۱۰- فراوانی ماهانه گردوغبارهای با منشأ خارج ایستگاه در استان کرمان طی بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۲۰

تحلیل ارتباط بین تغییرات زمانی و مکانی رویدادهای مذکور بر اساس شرایط محیطی مناطق برداشت نیازمند اطلاعات بیشتری است که در راستای اهداف پژوهش حاضر نمی‌باشد، لذا کشف دقیق علت و چرایی این گونه تغییرات و تحلیل آن‌ها بر اساس تغییر در شرایط اقلیمی و زمینی مناطق برداشت در این مطالعه امکان‌پذیر نمی‌باشد و توصیه می‌شود در مطالعات آتی به این موضوع پرداخته شود.

گرچه بر اساس گل‌بارهای خارجی تهیه‌شده برای شهرستان‌های بم و جیرفت (شکل ۱۲) که به‌عنوان مناطق پرخطر استان شناسایی شدند، شهرستان جیرفت در کریدور گردوغبارهای نشأت گرفته از عرصه‌های حساس به فرسایش بادی واقع در شمال شرق این شهرستان و شهرستان بم در کریدور عبوری گردوغبارهای نشأت گرفته از ماسه‌زارهای واقع در محدوده بین نواحی جنوبی بم و شهرستان نماشیر قرار دارد؛ اما با عنایت به این موضوع که شناسایی دقیق منشأ رویدادهای خارجی و سپس





شکل ۱۱- فراوانی فصلی گردوغبارهای با منشأ خارج ایستگاه در استان کرمان طی بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۲

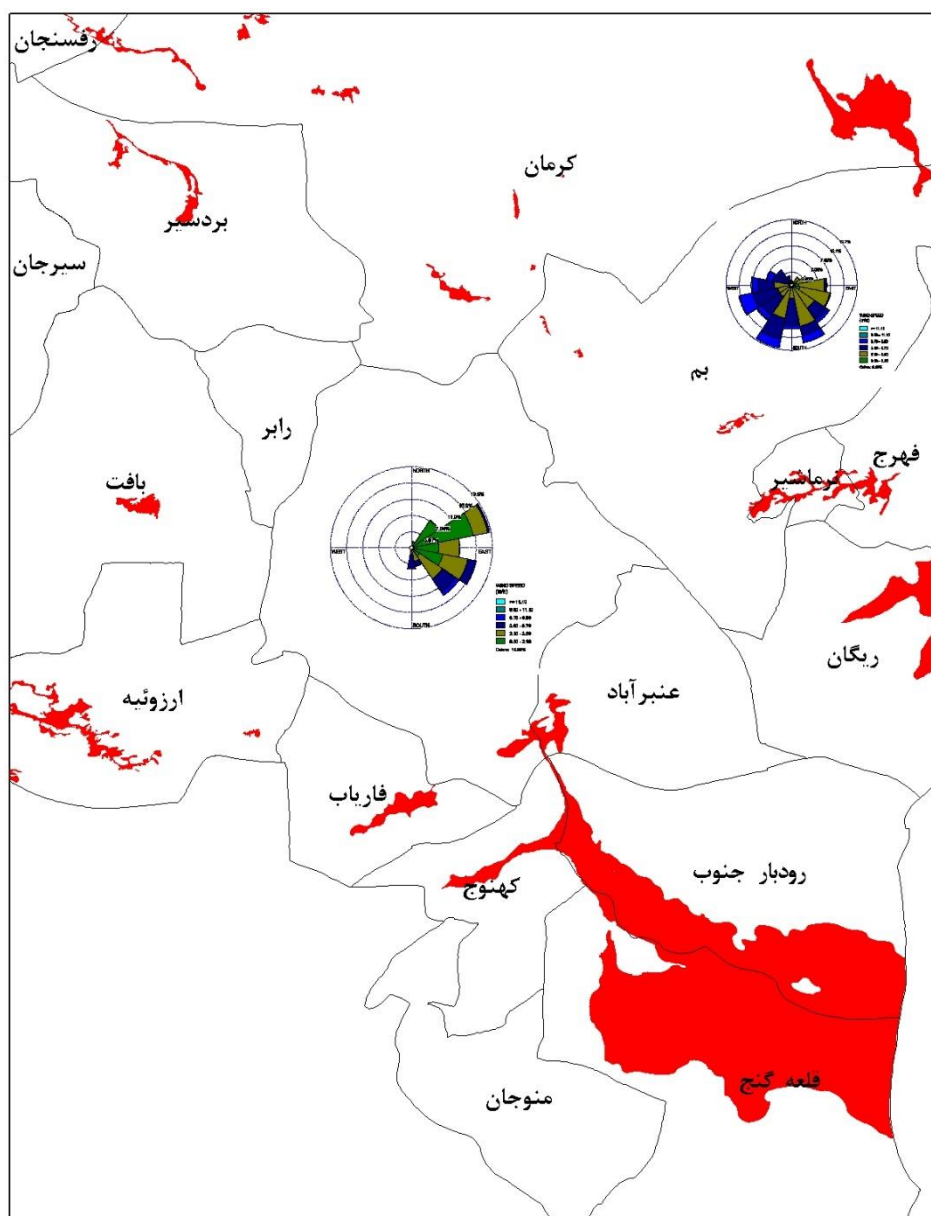
در مقابل، روند تغییرات وقوع رویدادهای خارجی در سه شهرستان شهداد، سیرجان و زرنند افزایشی معنی دار بوده است و لذا توجه به کاهش رویدادهای گردوغبار در این مناطق امری ضروری است.

با توجه به این که در سه شهرستان مذکور، روند تغییرات فراوانی گردوغبارهای با منشأ خارج از ایستگاه، افزایشی و معنی دار بوده است می توان نتیجه گرفت که بیشترین ذرات گردوغبار از کاربری های حساس به فرسایش بادی مناطق اطراف به این شهرستان ها منتقل شده اند که اطلاع از جهت جریان های غبارآلود ورودی به این مناطق می تواند گام مؤثری در کنترل و کاهش خطرات ناشی از آلودگی هوا و پیامدهای نامطلوب آن در این مناطق باشد.

به منظور درک روند تغییرات زمانی رویدادهای گردوغبار خارجی در مقیاس های زمانی مختلف نیز از آزمون من-کندال استفاده شد که نتایج به دست آمده در جدول (۳) خلاصه شده است. نتایج این مرحله نیز نشان داد که علی رغم بالاتر بودن فراوانی وقوع توفان های خارجی در شهرستان جیرفت در مقایسه با سایر مناطق استان، روند تغییرات زمانی این رویدادها روندی کاهشی بوده است.

به عبارت دیگر، بر اساس تحلیل مکانی، فراوانی وقوع رویدادهای خارجی در این شهرستان بیشتر از سایر مناطق بوده این در حالی است که روند تغییرات زمانی، کاهشی بوده است. علاوه بر این، یافته های پژوهش حاضر نشان داد که شهرستان های بم و رفسنجان نیز شرایط مطلوب تری نسبت به گذشته تجربه کرده اند ( $Z < -1.96$ ).





شکل ۱۲- گلغبارهای خارجی مناطق پرخطر استان کرمان

### بحث و نتیجه‌گیری

ذرات گردوغبار برخاسته از کانون‌های حساس به فرسایش بادی داخلی و خارجی پیامدهای نامطلوبی به دنبال دارد. با توجه به نامشخص بودن سهم منابع ذکرشده در تولید گردوغبار، بررسی این موضوع در مناطق مختلف ایران به‌ویژه مناطق خشک حائز اهمیت زیادی است.

استان کرمان یکی از وسیع‌ترین استان‌های خشک واقع در جنوب شرق ایران است که در پژوهش حاضر تلاش شده است علاوه بر شناسایی مناطق پرخطر، سهم منابع با منشأهای داخلی و خارجی در تولید ذرات گردوغبار مناطق مختلف آن موردبررسی قرار گیرد.

گرچه مطالعات متعددی در زمینه مسائل مختلف و مرتبط با توفان‌های گردوغبار در جنوب شرق ایران انجام‌شده به‌عنوان مثال، در یک مطالعه، با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای ثابت‌شده که قسمت وسیعی از شهرستان‌های واقع در جنوب شرق استان دارای کانون‌های حساس به فرسایش بادی زیادی هستند [۱۸]، در مطالعه دیگری تالاب خشکیده جازموریان به‌عنوان یکی از کانون‌های اصلی تولید گردوغبار در جنوب شرق ایران معرفی‌شده [۳۸] و در مطالعه [۶] ارتباط رویدادهای گردوغبار با خشکسالی هواشناسی در ۷ ایستگاه همدید استان کرمان موردبررسی قرار گرفته اما در مطالعات ذکرشده سهم منابع داخلی و خارجی و روند تغییرات هر

گام مؤثرتری در شناسایی مناطق در معرض خطر و ارائه راهکارهای مناسب جهت کنترل فرسایش بادی در این مناطق باشد.

رویداد به‌طور جداگانه در مناطق مختلف استان کرمان مورد بررسی قرار نگرفته و این موضوع، وجه تمایز پژوهش حاضر با پژوهش‌های پیشین در این استان است.

تعیین سهم هرکدام از این منابع و افزایش آگاهی نسبت به منابع اصلی تولید گردوغبار در هر منطقه می‌تواند

جدول ۳- روند تغییرات زمانی گردوغبارهای خارجی در مناطق مختلف استان کرمان بر اساس آماره من-کندال

مقیاس زمانی	انار	بافت	بم	جیرفت	کهنوج	کرمان	رفسنجان	شهداد	شهربابک	سیرجان	زرنند
ژانویه	۱/۵۵	۱/۵۵	-۰/۶۵	-۰/۱۳	۰	۰/۲۷	۱/۵۵	۱	۱/۵۵	۰/۶۴	۱/۱۹
فوریه	۱/۴۶	-۰/۲۷	-۱/۱۵	-۱/۱۴	۱/۴۶	۰/۷۷	-۱/۶۸	۲/۰۱	۱/۵۵	۰/۵۳	۱/۲۴
مارس	-۰/۶۵	۱/۵۵	-۲/۰۴	-۱/۱۵	-۰/۴۶	-۰/۸۴	-۱/۵۶	-۰/۶۴	-۱/۱۹	۰/۸	۰
آوریل	۰	-۰/۶۴	-۱/۷۹	-۱/۹۴	۱/۱۴	۱/۲۲	-۱/۷۸	۰/۲۲	-۰/۲۸	۲/۶۵	۰/۴۳
می	۰/۳۵	۱/۱۹	-۲/۶۱	-۱/۹۸	-۰/۶۸	-۰/۱۴	-۲/۶۹	-۰/۲	۰/۸۴	۱/۱۴	۱/۰۶
ژوئن	۰/۵۵	۱/۵۵	-۰/۸۵	-۱/۹۵	-۰/۹۴	۰/۹	-۰/۲۹	۰/۱۲	۰/۲۵	۱/۵۸	۰/۹
جولای	۱/۲۹	۱/۵۵	-۰/۵	-۱/۲۹	-۰/۹۱	۰/۵۲	۱/۵۵	۰/۸۴	۱/۵۵	۰/۵۲	۱/۵۲
اوت	-۱/۲۷	۱/۵۵	-۰/۸۸	-۱/۶۷	-۱	۰/۶۴	-۰/۸۶	۲/۱۹	-۰/۶	۱	۰/۲
سپتامبر	۰/۷۲	۱/۵۵	۰/۲۶	-۲/۳۲	-۱/۱۹	۱/۰۶	۱/۵۵	-۰/۰۹	۱/۵۵	۱/۵۵	۱/۱۹
اکتبر	۱/۱۱	۱/۵۵	۰/۱۴	-۰/۷۲	-۰/۸۴	۱/۱۹	۱/۵۵	۱/۱۹	۱/۱۹	۱/۱۹	۱/۵۶
نوامبر	۰/۲۷	۱/۵۵	-۲/۲۲	-۰/۵۶	-۰/۴	۰	۱/۵۵	۱/۵۵	۱/۵۵	۱/۵۵	-۱/۱۹
دسامبر	۰/۸۲	۱/۵۵	-۲/۵۲	-۱/۶۲	-۰/۸۷	-۱/۰۶	۱/۵۵	۰/۴۶	۱/۵۵	۱	-۰/۰۹
زمستان	۰/۱۱	-۰/۲۷	-۱/۴۸	-۱/۷۲	۰/۲۶	۰	-۲/۴۴	۱/۶۲	-۱/۱۹	۱/۱۱	۱/۲۸
بهار	۰/۱۴	۰/۴	-۲/۲۸	-۲/۰۵	-۰/۲۶	۰/۵۲	-۲/۱۲	۰/۲	-۰/۰۴	۲/۵۶	۱/۲۹
تابستان	۰/۵۲	۱/۵۵	-۰/۲۹	-۱/۸۲	-۱/۳۴	۰/۷۲	-۰/۸۶	۱/۲۷	-۰/۶	۱/۰۶	۲/۰۵
پاییز	۱/۲۲	۱/۵۵	-۱/۶۸	-۱/۷۳	-۰/۹۹	-۰/۴	۱/۵۵	۱/۲۲	۱/۱۹	۱/۶۶	۰/۷۳
سالانه	۰/۶۳	۰/۱۷	-۱/۶۱	-۲/۳۵	-۰/۳۵	۰/۹۵	-۲/۴۲	۱/۴۸	-۰/۴۵	۲/۶۳	۲/۵۶

\*مقادیر مشخص شده بیانگر معنی‌دار بودن آماره من-کندال در سطح آماری بزرگ‌تر مساوی ۰/۰۵ است.

قرار داشتن این شهرستان‌ها در کریدور بادهای غالب غبارآلودی که از سمت نواحی حساس به فرسایش می‌وزند نیز دلیل دیگری است که منجر به افزایش غبارآلودگی هوای نواحی جنوب شرقی استان شده است. نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه [۶] در خصوص روند کاهش‌ی رویدادهای گردوغبار در شهرستان بم با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارد و نتایج حاصله را تأیید می‌کند. به‌طور کلی و با توجه به این که تاکنون مطالعه‌ای در زمینه تعیین سهم رویدادهای گردوغبار با منشأ داخلی و خارجی در استان کرمان انجام نشده است امکان مقایسه دقیق‌تر یافته‌های این مرحله از پژوهش حاضر با یافته‌های دیگر محققان وجود ندارد.

بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر، در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ سهم گردوغبارهای با منشأ داخل و یا نزدیک ایستگاهی در غبارآلودگی هوای استان کرمان بیشتر از گردوغبارهای با منشأ خارجی بوده است. علاوه بر این مشخص شد که از حیث رویدادهای داخلی، شهرستان بم و از حیث رویدادهای خارجی، شهرستان جیرفت بیشتر از سایر شهرستان‌ها در معرض خطرات ناشی از غبارآلودگی هوا قرار داشتند. علت این امر علاوه بر نامساعدتر بودن شرایط اقلیمی این نواحی به دلیل بالاتر بودن دما، تبخیر و ترق و سرعت وزش باد و همچنین به دلیل پایین‌تر بودن رطوبت سطح زمین و گسترش بیشتر عرصه‌های بیابانی و حساس به فرسایش بادی در جنوب شرق استان است.

نوسانات در تغییرات زمانی این پدیده امری طبیعی و منطقی است.

اراضی بایر مهم‌ترین نواحی مستعد تولید گردوغبار در شهرستان زرنند و شوره‌زارها مهم‌ترین نواحی مستعد تولید گردوغبار در شهرستان‌های انار، رفسنجان، کهنوج، شهداد می‌باشند (شکل ۱) که با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر و روند افزایشی و معنی‌دار توفان‌های گزارش‌شده در ایستگاه‌های همدید نزدیک عرصه‌های مذکور، به نظر می‌رسد تشدید توفان‌های گردوغبار به دلیل افزایش وقوع پدیده مخرب فرسایش بادی در این عرصه‌ها طی سال‌های موردبررسی بوده است.

نظر به این که منشأیابی و شناسایی نواحی اصلی برداشت ذرات گردوغبار در راستای اهداف پژوهش نمی‌باشد، پیشنهاد می‌شود ضمن شناسایی دقیق نواحی اصلی برداشت ذرات گردوغبار، علل و عوامل اصلی حساس‌تر بودن این نواحی در پژوهش‌های آتی موردبررسی قرار گیرد تا بتوان اقدامات و راهکارهای مناسب جهت کاهش و کنترل آلودگی هوا در این مناطق را ارائه و انجام داد.

## References

- [1]. Akbari Azirani, T., Yahyavi Dizaj, A., & Keykhosravi, G. (2023). The trend analysis of dust phenomenon changes in the western region of Iran during 1979-2018. *Journal of Climate Research*, 53, 147-162. [in Farsi]
- [2]. Asadi, M., & Karami, M. (2019). Spatial and temporal distribution of dust in Iran. *Environmental Researches*, 10(19), 293-300. [in Farsi]
- [3]. Bao, T., Xi, G., Deng, B., Chang, I.-S., Wu, J., & Jin, E. (2023). Long-term variations in spatiotemporal clustering characteristics of dust events in potential dust sources in East Asia. *Catena*, 232, 107397. doi: 10.1016/j.catena.2023.107397
- [4]. Chen, J., Han, C., Peng, Y., Wang, M., & Zhao, Y. (2023). Improved three-dimensional mapping of soil chromium pollution with sparse borehole data: Incorporating multisource auxiliary data into IDW-based interpolation. *Soil Use and Management*, 39(2), 933-947. doi: 10.1111/sum.12899

با توجه به پیشینه تحقیق، تنها مطالعه انجام‌شده در این زمینه مربوط به استان خوزستان است که سهم منابع خارجی (حدود ۹۲٪) به میزان قابل‌توجهی بیشتر از منابع داخلی (حدود ۸٪) گزارش‌شده است [۵]. این در حالی است که بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر، در استان کرمان سهم رویدادهای داخلی بیشتر از رویدادهای خارجی بوده است.

صرف‌نظر از اختلاف در بازه زمانی موردبررسی، عدم‌انطباق نتایج حاصله به دلیل متفاوت‌بودن شرایط اقلیمی و زمینی حاکم بر این دو استان، الگوی توزیع مکانی کانون‌های مولد گردوغبار و همچنین نحوه قرارگیری در مسیر توفان‌های با منشأ داخلی و خارجی است.

نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل روند تغییرات رویدادهای گردوغبار داخلی و خارجی نیز تا حدود زیادی با نامنظم‌بودن روند تغییرات در مناطق مختلف ایران و در مقیاس‌های زمانی مختلف (ماهانه، فصلی و سالانه) که در برخی مطالعات گذشته بدان اشاره‌شده [۱۱، ۱۵ و ۳۱] مطابقت دارد؛ زیرا شرایط اقلیمی و محیطی حاکم بر مناطق مختلف در بازه‌های زمانی مختلف متفاوت است و

- [5]. Dargahian, F., Lotfinasab Asl, S., Khosroshahi, M., & Gohardoust, A. (2017). Determining the share of internal and external resources of dust in Khuzestan province. *Iran Nature*, 2(5), 36-41. doi: 10.22092/irn.2017.113621 [in Farsi]
- [6]. Ebrahimi-Khusfi, Z., Ebrahimi-Khusfi, M., Mirakbari, M., & Soleimani-Sardoo, M. (2022). Investigating the impact of drought on dust events in Kerman province using meteorological and satellite data. *Journal of Arid Biome*, 11(2), 133-151. doi: 10.29252/ARIDBIOM.2023.18595.1894 [in Farsi]
- [7]. Ebrahimi-Khusfi, Z., Mirakbari, M., Ebrahimi-Khusfi, M., & Taghizadeh-Mehrjardi, R. (2020). Impacts of vegetation anomalies and agricultural drought on wind erosion over Iran from 2000 to 2018. *Applied Geography*, 125, 102330. doi: 10.1016/j.apgeog.2020.102330
- [8]. Ebrahimi Khusfi, Z., Roustaei, F., Ebrahimi Khusfi, M., & Naghavi, S. (2020). Investigation of the relationship between dust

- storm index, climatic parameters, and normalized difference vegetation index using the ridge regression method in arid regions of Central Iran. *Arid land research and management*, 34(3), 239-263. doi: 10.1080/15324982.2019.1694087
- [9]. Farajzadeh, M., & Razi, M. (2011). The study of temporal and spatial distribution of storms and severe winds in Iran. *Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi)*, 91, 32-22. [in Farsi]
- [10]. Feng, I., Tong, D., Gill, T. E., Van Pelt, R. S., & Webb, N. (2022, December). The Economic Costs of Wind Erosion in the United States. In AGU Fall Meeting Abstracts (Vol. 2022, pp. NH44B-05).
- [11]. Ghamkhar, M., Roustaei, F., & Ebrahimi-Khusfi, Z. (2023). Spatiotemporal variations of internal dust events in urban environments of Iran, Southwest Asia. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(11), 29476-29493. doi: 10.1007/s11356-022-24091-5
- [12]. Ghavidel Rahimi, Y., Farajzadeh, M., & Lashni Zand, I. (2018). Analysis of temporal changes of dust storms in Khorramabad. *Applied Research in Geographical Sciences*, 18(51), 87-102. doi: 10.29252/jgs.18.51.87 [in Farsi]
- [13]. Hahnenberger, M., & Nicoll, K. (2012). Meteorological characteristics of dust storm events in the eastern Great Basin of Utah, USA. *Atmospheric Environment*, 60, 601-612. doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.06.029
- [14]. Hamidi, M., & Roshani, A. (2023). Investigation of climate change effects on Iraq dust activity using LSTM. *Atmospheric Pollution Research*, 14(10), 101874. doi: 10.1016/j.apr.2023.101874.
- [15]. Helali, J., Asadi Oskouei, E., Hosseinzadeh, T., Kouhi, M., & Mohammadi, S. M. (2023). Spatio-temporal analysis of seasonal and annual trends of dust storm days in arid climates of Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54(3), 513-531. doi: 10.22059/ijswr.2023.355469.669454 [in Farsi]
- [16]. Hoseine Sadr, A., Mohammadi, G. H., & Hoseine Sadr, M. (2014). Trend analysis of dust Tabriz. *Nivar*, 38(85-84), 3-10. [in Farsi]
- [17]. Jaafar, B. I., & Kadhum, S. A. (2023, November). Bioaccessibility and Distribution of Heavy Metals in Particles from a Dust Storm in Iraq. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1259, No. 1, p. 012040). IOP Publishing.
- [18]. Jafari, R., & Sanati, H. (2021). Identification of Dust Sources and Storms in the South of Kerman Province Using Remote Sensing Data. *Journal of Water and Soil Science*, 25(3), 145-158. doi: 10.47176/jwss.25.3.13894 [in Farsi]
- [19]. Joshi, J. R. (2021). Quantifying the impact of cropland wind erosion on air quality: A high-resolution modeling case study of an Arizona dust storm. *Atmospheric Environment*, 263, 118658. doi: 10.1016/j.atmosenv.2021.118658
- [20]. Kang, L., Huang, J., Chen, S., & Wang, X. (2016). Long-term trends of dust events over Tibetan Plateau during 1961–2010. *Atmospheric Environment*, 125, 188-198. doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.10.085
- [21]. 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. doi: 10.1016/j.geoderma.2020.114225
- [22]. Kim, J., Dorjsuren, M., Zucca, C., & Purevjav, G. (2023). Mapping land degradation and sand and dust generation hotspots by spatiotemporal data fusion analysis: A case- study in the southern Gobi (Mongolia). *Land Degradation & Development*, 34(6), 1629-1647. doi: 10.1002/ldr.4558
- [23]. Lackoová, L., Lieskovský, J., Nikseresht, F., Halabuk, A., Hilbert, H., Halászová, K., & Bahreini, F. (2023). Unlocking the Potential of Remote Sensing in Wind Erosion Studies: A Review and Outlook for Future Directions. *Remote Sensing*, 15(13), 3316.
- [24]. Leys, J., Heidenreich, S., White, S., Guerschman, J., & Strong, C. (2023). Dust-storm frequencies, community attitudes, government policy and land management practices during three major droughts in New South Wales, Australia. *The Rangeland Journal*, 44(5-6), 343-355. doi: 10.1071/RJ22059.
- [25]. Liu, J., Ding, J., Li, X., Zhang, J., & Liu, B. (2023). Identification of dust aerosols,

- their sources, and the effect of soil moisture in Central Asia. *Science of the total environment*, 868, 161575. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.161575.
- [26]. Mann, H. (1945). Non-parametric tests against trend. *Econometria. MathSci Net*, 13, 245-259. doi: 10.2307/1907187
- [27]. Middleton, N., & Goudie, A. (2006). Desert dust in the global system. *Springer. Middleton, NJ (1986). A geography of dust storms in South-west Asia. Journal of Climatology*, 6(2), 183-196.
- [28]. Mijani, S., Parsa Motlagh, B., & Ebrahimi Khusfi, Z. (2023). Evaluation of the effect of climatic factors and meteorological drought on the production of some crops in Kerman province. *Journal of Agricultural Meteorology, Available Online from 02 September 2023*. doi:10.22125/agmj.2023.391272.1147 [in Farsi]
- [29]. Mohammad, L., Mondal, I., Bandyopadhyay, J., Pham, Q. B., Nguyen, X. C., Dinh, C. D., & Al-Quraishi, A. M. F. (2022). Assessment of spatio-temporal trends of satellite-based aerosol optical depth using Mann–Kendall test and Sen’s slope estimator model. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 13(1), 1270-1298. doi: 10.1080/19475705.2022.2070552.
- [30]. Morales-Acuña, E. D. J., Aguiñiga-García, S., Cervantes-Duarte, R., & Linero-Cueto, J. (2023). Estimation of the desert dust balance and its relationship with environmental factors in the southern Baja California Peninsula. *Earth Science Informatics*, 16(3), 2595-2613. doi:1007/s12145-023-01047-y.
- [31]. Naeimi, M., Mirakbari, M., Khosroshahi, M., Zandifar, S., & Ghasemi Aryan, Y. (2022). Analyzing the effects of climate change on dust events, a case study: Khorasan Razavi province. *Desert Ecosystem Engineering*, 10(33), 65-78. doi: 10.22052/DEEJ.2021.10.33.41 [in Farsi]
- [32]. Namdari, S., Valizade, K., Rasuly, A., & Sari Sarraf, B. (2016). Spatio-temporal analysis of MODIS AOD over western part of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 9, 1-11. doi: 10.1007/s12517-015-2029-7.
- [33]. O’Loingsigh, T., McTainsh, G., Tews, E., Strong, C., Leys, J., Shinkfield, P., & Tapper, N. (2014). The Dust Storm Index (DSI): a method for monitoring broadscale wind erosion using meteorological records. *Aeolian Research*, 12, 29-40. doi: 10.1016/j.aeolia.2013.10.004.
- [34]. Pierre, C., Rajot, J., Faye, I., Dorego, G., Bouet, C., Marticorena, B., . . . Tall, A. (2023). A contrasting seasonality of wind erosivity and wind erosion between Central and Western Sahel. *Aeolian Research*, 62, 100879. doi: 10.1016/j.aeolia.2023.100879
- [35]. Pourghasemi, H. R. (2022). *GIS, Remote Sensing, and Spatial Modeling in R* (Vol. 1), Shiraz University press. [in Farsi]
- [36]. Program and Budget Organization of Iran (2020), National spatial planning Document, Atlas of Geological Hazards Maps, 1-62. [in Farsi]
- [37]. Rahi Zehi, H., Khosravi, M., & Hamidian Pour, M. (2021). The Spatio-Temporal Variations of Aerosol Concentration Using Remote Sensing in Sistan and Baluchestan Province (2018 - 2000). *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 8(1), 79-92. doi: 10.52547/jsaeh.8.1.79 [in Farsi]
- [38]. Rashki, A., Arjmand, M., & Kaskaoutis, D. (2017). Assessment of dust activity and dust-plume pathways over Jazmurian Basin, southeast Iran. *Aeolian Research*, 24, 145-160. doi:10.1016/j.aeolia.2017.01.002
- [39]. Rashki, A., Kaskaoutis, D., Goudie, A. S., & Kahn, R. (2013). Dryness of ephemeral lakes and consequences for dust activity: the case of the Hamoun drainage basin, southeastern Iran. *Science of the total environment*, 463, 552-564. doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.06.045
- [40]. 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 hazards*, 5(3), 103-119. doi: 10.29252/jsaeh.5.3.103 [in Farsi]
- [41]. Shoaee, Z. (January, 2016). The intensification of dust storms as an important environmental challenge of the last decade in West Asia and Iran. *The first international conference of Iran's natural hazards and environmental crises, solutions and challenges*, Ardabil. <https://civilica.com/doc/549209> [in Farsi]



- [42]. Singh, R. (2023). *Wind erosion*. In *Soil and water conservation structures design* (pp. 297-322). Singapore: Springer Nature Singapore. doi: 10.1007/978-981-19-8665-9\_11.
- [43]. Sobhani, B., Jafarzadeh Aliabad, L., & Mohamadi, G. H. (2024). Investigating the horizontal visibility characteristics in the southern coasts of the Caspian Sea using the extinction coefficient. *Journal of Environmental Science Studies*, 9(2), 8466-8451. doi: 10.22034/jess.2023.405245.2073 [in Farsi]
- [44]. Vali, A., & Roustaei, F. (2018). Investigation of the Wind Erosion Trend in Central Iran using Dust Storm Index in the Last Fifty Years. *Journal of Water and Soil Science*, 21(4), 189-200. doi: 10.29252/jstnar.21.4.189 [in Farsi]
- [45]. Velayatzadeh, M. (2020). Introducing the causes, origins and effects of dust in Iran. *Journal of Air Pollution and Health*, 5(1), 63-70. doi: 10.18502/japh.v5i1.2860
- [46]. Zhao, H., Zhang, F., Yu, Z., & Li, J. (2022). Spatiotemporal variation in soil degradation and economic damage caused by wind erosion in Northwest China. *Journal of Environmental Management*, 314, 115121. doi: 10.1016/j.jenvman.2022.115121
- [47]. Zucca, C., Fleiner, R., Bonaiuti, E., & Kang, U. (2022). Land degradation drivers of anthropogenic sand and dust storms. *Catena*, 219, 106575. doi: 10.1016/j.catena.2022.106575

## **Analysis of internal and external dust contributions and their spatial-temporal changes in Kerman province (Research Paper)**

1- Abolfazl Ranjbar, Professor, Department of Desert Management and its control, Faculty of Natural Resources and Geo-science, University of Kashan, Iran.

2- Zohre Ebrahimi-Khusfi\*, Associate professor in De-desertification, Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Jiroft, Iran.

Zohreebrahimi2018@ujiroft.ac.ir

Received: 01 Nov. 2023

Accepted: 05 Mar. 2024

### **Abstract**

Dust particles originating from internal and external sources have adverse effects on public health and the environment. Considering the unknown contribution of the mentioned resources to dust production, it is very important to investigate this issue in different regions of Iran. In addition, the analysis of spatial and temporal changes of events with different origins can be an effective step toward identifying areas more sensitive to the phenomenon of wind erosion and reducing the risks caused by its occurrence in the affected areas. The present study was conducted considering the mentioned topics as the main objectives. For this purpose, internal (codes 07-09, 98 and 30-35) and external (code 06) dust phenomenon statistics recorded in 11 synoptic stations of Kerman province in the common time frame of 2002-2020 were used. After calculating the frequency of events, the contribution of internal and external dust sources in different regions of Kerman province was determined. Using the classified map of the dust events occurrence frequency and Mann-Kendall test were respectively analyzed their spatial and temporal changes. The results showed that in the three cities of Jiroft, Anar, and Sirjan, the contribution of external events was higher than other regions of the province, about 80%, 53.8%, and 53.2%, respectively. The contribution of internal events in Shahrabak, Rafsanjan, Shahdad, and Baft was more than 73% and in Zarand, Kerman, Bam and Kohnuj more than 52%. On average, the share of internal and external events in Kerman province was estimated to be 60.6% and 39.4%, respectively. The spatial distribution pattern of internal and external dusts showed that Bam and Jiroft were the most sensitive areas to wind erosion in the study period. In the study period, the events originating inside and outside the station in Shahdad and Zarand had a significantly increasing trend. A significant increasing trend of events with internal origin was observed in Kohnouj, Rafsanjan and Anar, and an increasing trend of dust originating outside the station was also observed in Sirjan ( $Z > +1.96$ ).

**Keywords:** Land Degradation, Dust Events Frequency, Wind Erosion, Mann-Kendall, Arid Regions.