

DOI: [10.29252/ARIDBIOM.2024.21433.2007](https://doi.org/10.29252/ARIDBIOM.2024.21433.2007)

## پهنه‌بندی الگوی زمانی-مکانی خطر و ریسک طوفان گردوغبار در استان خوزستان (مقاله پژوهشی)

- ۱- سیدحسین آرامی\*، استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.  
arami1854@areeo.ac.ir
- ۲- ابراهیم کریمی‌سنگچینی، استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران.
- ۳- سجاد عالی‌محمودی‌سراب، استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.
- ۴- مه‌ری دیناروند، دانشیار پژوهشی، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.
- ۵- بنفشه یثربی، استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.

دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۰

پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۴

### چکیده

این تحقیق در استان خوزستان با مساحتی در حدود ۶۴۰۵۷ کیلومتر مربع در یک دوره زمانی ۲۸ ساله (۲۰۲۲-۱۹۹۵) و با هدف ارزیابی الگوی زمانی-مکانی خطر و تهیه نقشه ریسک طوفان گردوغبار انجام شده است. داده‌های مورد استفاده شامل: داده‌های ساعتی ایستگاه‌های زمینی (۸ نوبت در ۲۴ ساعت) می‌باشند. برای الگوی مکانی مدل‌های مختلفی بر تغییرنماهای تجربی برازش داده شد و مدل با کمترین RMSE انتخاب شد. به کمک این مدل درون‌یابی انجام شده است که حاصل آن تعداد زیادی نقشه است. این نقشه‌ها به شبکه سلولی در محیط GIS تبدیل شدند. هر سلول به‌عنوان یک زون جهت تعیین محاسبات مربوط به نقشه ریسک در نظر گرفته شد. سپس اطلاعات مربوط به کلاس عناصر در معرض خطر، کلاس آسیب‌پذیری عناصر و کلاس خطر به صورت جداگانه در هر سلول اعمال گردید. سرانجام با استفاده از معادله ریسک، نقشه ریسک سلولی به دست آمد. معنی‌داری تفاوت مساحت‌ها با آزمون آماری کای اسکور انجام شد. نتایج حاصل از بررسی سالانه پدیده طوفان گردوغبار نشان داد که منطقه آبادان با میانگین فراوانی ۱۸ روز سال، بیشترین تعداد روزها را در کل منطقه مورد مطالعه دارد. ۶۱/۱۱ درصد از وقایع طوفان گردوغبار فرامحلی از ساعت ۹:۳۰ تا ۱۸:۳۰ به وقت محلی و ۸۱/۳۵ درصد از وقایع طوفان گردوغبار محلی در ساعت ۳:۳۰ به وقت محلی اتفاق می‌افتند. همچنین درصد فراوانی طوفان‌های گردوغبار محلی و فرامحلی طی دوره آماری نشان داد که ۷۸/۸۱ درصد روزهای طوفان گردوغبار از منشأ فرامحلی و ۲۱/۱۹ درصد از منشأ محلی برخوردار بوده‌اند. پراکنش الگوی فضایی نقشه خطر شدت طوفان گردوغبار دارای «خوشه‌ای متوسط» است و از نظم خاصی پیروی می‌کند. درصد مساحت طبقات ریسک نشان می‌دهد که بیش از ۸۸ درصد مساحت استان خوزستان در طبقات ریسک زیاد و خیلی زیاد قرار دارند که یکی از دلایل آن مربوط به جمعیت بیشتر در این مناطق است.

واژگان کلیدی: تحلیل فضایی و زمانی، خطر و ریسک، طوفان گردوغبار، خوزستان.

### مقدمه

است. گردوغبار به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بلاهای طبیعی و پدیده‌های جوی مورد توجه بسیاری از پژوهشگران در شاخه‌های مختلف از جمله علوم جوی است [۱۱].

در حال حاضر، مدیریت ریسک گردوغبارها در مقیاس جهانی و به‌ویژه در منطقه خاورمیانه به یک چالش جدی تبدیل و ذرات معلق در هوا به یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های تهدید سلامت انسان و تخریب محیط‌زیست، شناخته شده

گزارشی وقوع خشکسالی در پهنه‌های رسوبی و ریزدانه حوضه‌های آبخیز مناطق جنوب غرب ایران و کشورهای همسایه همچون عراق را با کاهش رطوبت سطحی و زیرسطحی و همچنین از بین رفتن پوشش‌های گیاهی، مهم‌ترین علل تشدید پدیده گردوغبار دانسته است [۶]. همچنین عوامل انسانی همچون احداث سدهای عظیم بر روی رودهای منتهی به حوضه آبخیز بین‌النهرین را می‌توان از عوامل تأثیرگذار بر این واقعه برشمرد [۲۸].

در تحقیقی به منظور ارائه چارچوب متناسب با ارزیابی ریسک گردوغبار، در ابتدا مبانی نظری آسیب‌پذیری، سازگاری و تاب‌آوری مورد بررسی قرار گرفت. سپس ابزارهای ارزیابی تاب‌آوری را اولویت‌بندی کردند. نتایج نشان داد که چارچوب CoBRA نسبت به سایر ابزارها براساس پنج معیار، قابلیت کمی و کیفی بودن مدل، دربرگرفتن پنج سرمایه پایه، دسترسی به داده پایه، مقیاس زمانی و مکانی مختلف و حد آستانه در اولویت بود. همچنین چارچوب مفهومی و نتایج ارائه شده در این تحقیق می‌تواند مبنایی برای ارزیابی ریسک گردوغبار در منطقه تحت تأثیر پدیده گردوغبار باشند [۱].

در تحقیقی با هدف آنالیز مکانی و زمانی طوفان‌های گردوغبار در شهر کرمانشاه طی بازه زمانی ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ با استفاده از مدل ردیابی HTSPLIT و پروداکت MCD19A2 سنجنده مادیس در سامانه گوگل ارث انجین پرداخته شد. بر اساس نتایج حاصل از پروداکت اشاره شده طی دوره زمانی مورد مطالعه، مناطق مرکزی و شرقی همواره بیشتر از دیگر مناطق شهر کرمانشاه درگیر طوفان گردوغبار گردیده و در این زمینه مناطق فوق به صورت متوسط، نسبت به دیگر مناطق شهر با آلودگی ناشی از گردوغبار بیشتر مواجه بوده‌اند [۲۵]. در ادامه همین مطالعات برخی پژوهشگران [۸، ۲۱] در مطالعه و ارزیابی‌های خود به ارزیابی پدیده گردوغبار در سامانه گوگل ارث انجین پرداختند.

با توجه به شرایط توپوگرافیکی-اقليمی ایران و افزایش چشمگیر فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار در چند دهه اخیر در کشور به‌ویژه در نواحی جنوب غرب که مهم‌ترین بحران محیط‌زیستی آن بروز طوفان گردوغبار قلمداد شده

گردوغبار یکی از پدیده‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده و وقتی نیروی باد شدید یا یک جبهه از مقدار آستانه تجاوز کند ماسه‌ها را فرسایش داده و از سطح خاک جدا می‌سازد [۱۹]. در یک منطقه، شدت وقوع و فراوانی تشکیل گردوغبار توسط مواد سطحی مستعد به فرسایش بادی، بادهای شدید و شرایط اتمسفری ناپایدار کنترل می‌شود [۳۱]. مهم‌ترین مناطق از جهان که بیشترین سهم را در ایجاد طوفان گردوغبار دارند بیابان تاکلامکان، گبی، صحرای بزرگ آفریقا و نواحی مرکزی استرالیا هستند [۳۲، ۳۰، ۱۲].

طی سال‌های اخیر وقوع خشکسالی‌های مکرر و پیامدهای احتمالی تغییرات اقلیمی در بیابان‌زایی، طوفان‌های گردوغبار را در کانون توجه بسیاری از محققان گذاشته است. این پدیده بر پخش تابش و دمای هوا از طریق جذب [۲۷]، کاهش رشد و بازدهی محصولات کشاورزی [۵]، سلامتی انسان‌ها و بهداشت [۲۰، ۱۵، ۷]، بیلان تابشی [۱۴]، کاهش کیفیت هوا [۱۳]، افت بازدهی سیستم‌های فتوولتائیک خورشیدی [۲۳]، و حمل‌ونقل [۲۲، ۱۸] تأثیرگذار می‌باشد.

گردوغبار یکی از ویژگی‌های توده‌های جوی هستند که در بسیاری از مناطق جهان رخ می‌دهند. گاهی وقوع شدید این پدیده موجب کاهش میدان دید به کمتر از ۱۰۰۰ متر می‌شود [۲۶]. طوفان‌های گردوغبار معمولاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک با بارش سالانه کمتر از ۲۰۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر رخ می‌دهند [۲۴] که می‌توانند باعث آسیب مستقیم به سلامت انسان شوند [۹]. بروز این پدیده، متأثر از هر دو سیستم زمین و اتمسفر می‌باشد. به‌طوری‌که دلایل اصلی وقوع آن سرعت باد بیش از آستانه، کمبود رطوبت و اراضی لخت بدون پوشش ذکر شده است [۲۴].

طبق تعریف سازمان هواشناسی جهانی، روز همراه با طوفان گردوغبار به روزی اطلاق می‌شود که میزان دید در یک ایستگاه در اثر پدیده گردوغبار به زیر ۱۰۰۰ متر برسد [۱۷]. غرب ایران با توجه به محیط طبیعی و نزدیکی با مناطق منشأ گردوغبار در جنوب غرب آسیا منطقه‌ای مستعد رخداد پدیده گردوغبار به صورت مکرر و بحرانی است؛ به‌طوری‌که آژانس محیط‌زیست سازمان ملل<sup>۱</sup> در

<sup>۱</sup>- United Nations Environment Programme (UNEP)

## مواد و روش‌ها

### موقعیت و شرایط منطقه

استان خوزستان در موقعیت جغرافیایی  $۲۹^{\circ}$  تا  $۳۳^{\circ}$  عرض شمالی و  $۴۷^{\circ}$  تا  $۵۰^{\circ}$  طول شرقی واقع شده و مساحتی حدود  $۶۴۰۵۷$  کیلومتر مربع را در بر گرفته است (شکل ۱). در این منطقه واحد مرتفع زاگرس، جلگه پست و کم ارتفاع خوزستان مهم‌ترین واحدهای توپوگرافی بشمار می‌روند. همچنین این منطقه از سمت غرب با کشور عراق هم مرز است.

تراکم بالای جمعیت، استخراج گاز و نفت، زمینه‌های مختلف کشت محصولات کشاورزی، وجود منابع آب و جلگه خوزستان که از دیرباز به‌عنوان جلگه حاصلخیز دارای ارزش اقتصادی و سیاسی بوده، نشان‌دهنده اهمیت این منطقه می‌باشد. پدیده‌های خشکسالی، سیل و گردوغبار از مهم‌ترین مخاطرات اقلیمی این منطقه به‌شمار می‌روند.

است، بررسی و مطالعه این پدیده را به منظور مدیریت بهتر اثرات زیان‌بار آن اجتناب‌ناپذیر کرده است. شناسایی و تهیه نقشه میزان شدت خطر و ریسک گردوغبار، دستگاه‌های اجرایی را قادر می‌سازد که به‌وسیله نقشه پهنه‌بندی، نواحی مختلف را متناسب با میزان بحرانی بودن در اولویت قرار داده و اقدامات لازم را انجام دهند. همچنین انجام همزمان سه مرحله خطر، ریسک و ارائه برنامه مدیریتی گردوغبار در استان خوزستان در مدیریت جامع سرزمین و مدیریت خطرات محیطی کارایی زیادی دارد.

از این رو، این تحقیق در استان خوزستان و با هدف اصلی تهیه نقشه خسارت جهت تسکین و کنترل ریسک در راستای آمایش و توسعه پایدار کشور و مناطق حساس مرزی انجام می‌شود.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌ها در استان خوزستان

اطلاعات بارش و دما تهیه گردیده است. وضعیت اقلیمی منطقه مورد مطالعه به پنج نوع عمده فراهشک، خشک بیابانی، نیمه‌خشک، نیمه‌مرطوب تا بسیار مرطوب تقسیم‌بندی گردیده است.

## تئوری و محاسبات

برای بررسی اقلیم از آمار دراز مدت ایستگاه‌های سازمان هواشناسی کشور استفاده شده است. نقشه پهنه‌های اقلیمی منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش دومارتن براساس درون‌یابی ضرایب دومارتن محاسبه‌شده از

انتخاب ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه: برای انجام این تحقیق، به جهت انتخاب ایستگاه‌های مطالعه شده پس از بررسی آمار دریافت شده از سازمان هواشناسی کشور تعداد ۹ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک که دارای کامل‌ترین و طولانی‌ترین دوره آماری بوده‌اند و با توجه به موقعیت آنها برای یک دوره آماری مشترک ۲۸ ساله (۲۰۲۲-۱۹۹۵) برای انجام محاسبات و تهیه نمودارها و نقشه‌ها، انتخاب شدند.

برای تعیین روزهای طوفان گردوغبار از کدهای هواشناسی (۰۶، ۰۷، ۰۸، ۰۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴، ۳۵، ۹۸) استفاده شده است. با توجه به اهمیتی که قابلیت دید در تعیین شدت طوفان‌های گردوغبار دارد، به‌عنوان عامل اصلی در تعیین طوفان‌های گردوغبار به‌شمار می‌رود؛ بنابراین در این تحقیق از دو فاکتور پدیده جوی و قابلیت دید به‌عنوان دو عامل تعیین‌کننده روزهای همراه با طوفان گردوغبار استفاده شده است. در ادامه، از بین روزهای همراه با طوفان گردوغبار با توجه به میزان دید افقی در این پدیده‌های جوی، داده‌ها به سه دسته فاصله دید افقی ۲۰۰ و کمتر، دید بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ متر و دید بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر تقسیم‌بندی و مورد بررسی قرار گرفتند.

تحلیل ساعتی، شبانه روزی و ماهانه تعداد روزهای همراه با طوفان گردوغبار: وقتی که میزان رطوبت خاک کم، سرعت باد بیشتر از آستانه، وجود خاک سست و ریزدانه، عدم وجود پوشش گیاهی و یا مانع در سطح خاک باشد پتانسیل جابجایی گردوغبار به بیشترین مقدار خود می‌رسد. بنابراین طوفان‌های گردوغبار در ساعات معینی از روز رخ می‌دهند. میانگین وقوع طوفان‌های گردوغبار در ساعات‌های رخداد گردوغبار (گرینویچ) و میانگین ماهانه تعداد روزهای همراه با طوفان گردوغبار با استفاده از نرم‌افزار R نسخه (۴،۲،۳) برای دوره آماری مورد مطالعه محاسبه و نمودار آنها ترسیم گردید.

میانگین روزهای همراه با طوفان گردوغبار در ماه با بیشترین فراوانی رخداد: میانگین ماهانه روزهای همراه با طوفان گردوغبار طی دوره آماری مورد مطالعه محاسبه شده است.

بررسی روزهای همراه با طوفان گردوغبار: روزهای همراه با طوفان گردوغبار فرامحلی (کد: ۰۶) و محلی (کد:

۰۷) برای کلیه ایستگاه‌های مورد مطالعه در سه طبقه تعیین شده است. برای بررسی سالانه طوفان‌های گردوغبار فرامحلی و محلی، میانگین سالانه برای دوره آماری مورد مطالعه بررسی و نمودار آن ترسیم گردید. همچنین نسبت و درصد روزهای همراه با طوفان گردوغبار با منشأ محلی و فرامحلی نسبت به کل روزهای طوفانی محاسبه گردید.

برای بررسی روزهای همراه با طوفان گردوغبار در دوره گرم سال (ماه‌های میلادی آوریل، مه، ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر)، میانگین روزهای همراه با طوفان گردوغبار در این دوره محاسبه و نمودار آن ترسیم شد. برای بررسی روزهای همراه با طوفان گردوغبار در دوره سرد سال (ماه‌های میلادی ژانویه، فوریه، مارس، اکتبر، نوامبر و دسامبر)، میانگین روزهای همراه با طوفان گردوغبار نیز در این دوره محاسبه و نمودار آن ترسیم شد.

پس از استخراج آمار روزهای همراه با طوفان گردوغبار، تمام موج‌های گردوغباری به تفکیک ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه، بر اساس تداوم روزانه آنها در ایستگاه مربوطه، به دوره‌های تداوم ۱ الی ۶ روزه به تفکیک سال‌های آماری مورد مطالعه، شناسایی و ثبت گردیدند.

ارزیابی ریسک طوفان گردوغبار: تیپ عناصر ریسک مورد بررسی در این پژوهش شامل روستا، مناطق شهری، چاه، جنگل، مرتع، اراضی کشاورزی، جاده، ریل راه‌آهن، رودخانه، تالاب، پایگاه نظامی، کارخانجات می‌باشند. ریسک به محتوای ساختمان‌ها و ریسک به خودروها در راه‌ها می‌تواند یک بخش بزرگی از ریسک را شامل شوند. اما تخمین آنها مشکل است و همچنین فاقد داده‌های کافی هستند. علاوه‌براین، ریسک به جان انسان‌ها (ریسک جانی) قابل برآورد نیست. دیگر تیپ عناصر آسیب‌پذیر مانند شبکه‌های برق و تلفن نیز به‌عنوان هزینه‌های غیرمستقیم هستند و محاسبه میزان ریسک ناشی از آنها نیز مشکل است. در هر پیکسل از نقشه کلاس خطر، تیپ عناصر مورد نظر شناخته (جدول ۱) و نقشه تیپ عناصر در معرض خطر تهیه گردید [۴].

پس از مشخص شدن کلاس و شناسایی تیپ عناصر در هر پیکسل از نقشه خطر، کلاس‌های آسیب‌پذیری تیپ عناصر با توجه به این که در چه کلاسی از شدت خطر قرار دارند و با استفاده از امتیازات کارشناسی و بررسی شرایط

حوزه مورد مطالعه تعیین گردید (جدول ۲). برای محاسبه اهمیت می‌باشد. تیپ عناصری که در کلاس خطر بالاتری امتیاز آسیب پذیری تیپ عناصر، وجود خطر و شرایط هر یک از تیپ عناصر از لحاظ اقتصادی و اکولوژیکی حائز

اهمیت می‌باشند. تیپ عناصری که در کلاس خطر بالاتری قرار دارند از اهمیت و امتیاز آسیب پذیری بیشتری برخوردار می‌باشند (جدول ۳).

جدول ۱- کلاس‌های تیپ عناصر در معرض خطر طوفان گردوغبار

ردیف	تیپ عناصر	طبقات کیفی	تعداد عنصر
۱	I	خیلی کم	≤ ۳
۲	II	کم	۴
۳	III	متوسط	۵
۴	IV	زیاد	۶
۵	V	خیلی زیاد	≥ ۷

جدول ۲- امتیاز صفات تیپ عناصر در معرض خطر طوفان گردوغبار [۲]

عناصر	عامل	عدد آسیب
روستا	با افزایش کلاس خطر با ضریب ۲ افزایش پیدا می‌کند.	۲-۱۰
مناطق شهری	با افزایش کلاس خطر با ضریب ۳ افزایش پیدا می‌کند.	۳-۱۵
چاه	با افزایش کلاس خطر با ضریب ۲ افزایش پیدا می‌کند.	۲-۱۰
جنگل	با بالا رفتن ارزش درختان جنگلی و افزایش شدت خطر با ضریب ۲ افزایش پیدا می‌کند.	۲-۱۰
مرتع	با بالا رفتن ارزش گیاهان مرتعی و افزایش شدت خطر با ضریب ۲ افزایش پیدا می‌کند.	۲-۱۰
کشاورزی	هرچه گیاه آسیب پذیرتر و شدت خطر افزایش پیدا کند با ضریب ۳ افزایش پیدا می‌کند.	۳-۱۵
جاده	جاده‌ها با افزایش کلاس خطر با ضریب ۲ افزایش پیدا می‌کنند.	۲-۱۰
ریل راه‌آهن	جاده‌ها با افزایش کلاس خطر با ضریب ۲ افزایش پیدا می‌کنند.	۲-۱۰
رودخانه	جاده‌ها با افزایش کلاس خطر با ضریب ۲ افزایش پیدا می‌کنند.	۲-۱۰
تالاب	جاده‌ها با افزایش کلاس خطر با ضریب ۳ افزایش پیدا می‌کنند.	۳-۱۵
پایگاه نظامی	جاده‌ها با افزایش کلاس خطر با ضریب ۳ افزایش پیدا می‌کنند.	۳-۱۵
کارخانجات	با افزایش کلاس خطر با ضریب ۳ افزایش پیدا می‌کند.	۳-۱۵

جدول ۳- استاندارد کلاس و عدد آسیب‌پذیری تیپ عناصر در معرض خطر طوفان گردوغبار

کلاس آسیب‌پذیری	طبقات کیفی	عدد آسیب‌پذیری
I	خیلی کم	< ۳۰
II	کم	۳۰-۶۰
III	متوسط	۶۰-۱۰۰
IV	زیاد	۱۰۰-۱۵۰
V	خیلی زیاد	≥ ۱۵۰

در این رابطه Risk، ریسک یا خسارت احتمالی است،  $P(T/HS)$  احتمال زمانی یک سناریو کلاس خطر خاص (HS)،  $P(S/HS)$  احتمال مکانی این که یک پیکسل خاص در یک منطقه حساس تحت تأثیر سناریو خطر خاص قرار داشته باشد،  $A(ER/HS)$  کمیت تیپ عناصر در معرض

ریسک کلاس (شدت) خطر طوفان گردوغبار بر اساس شناسائی تیپ عناصر در معرض خطر و تعیین درجه آسیب‌پذیری و با استفاده از معادله ریسک [۲۹]، مبنای ارزیابی قرار می‌گیرد (رابطه ۱).

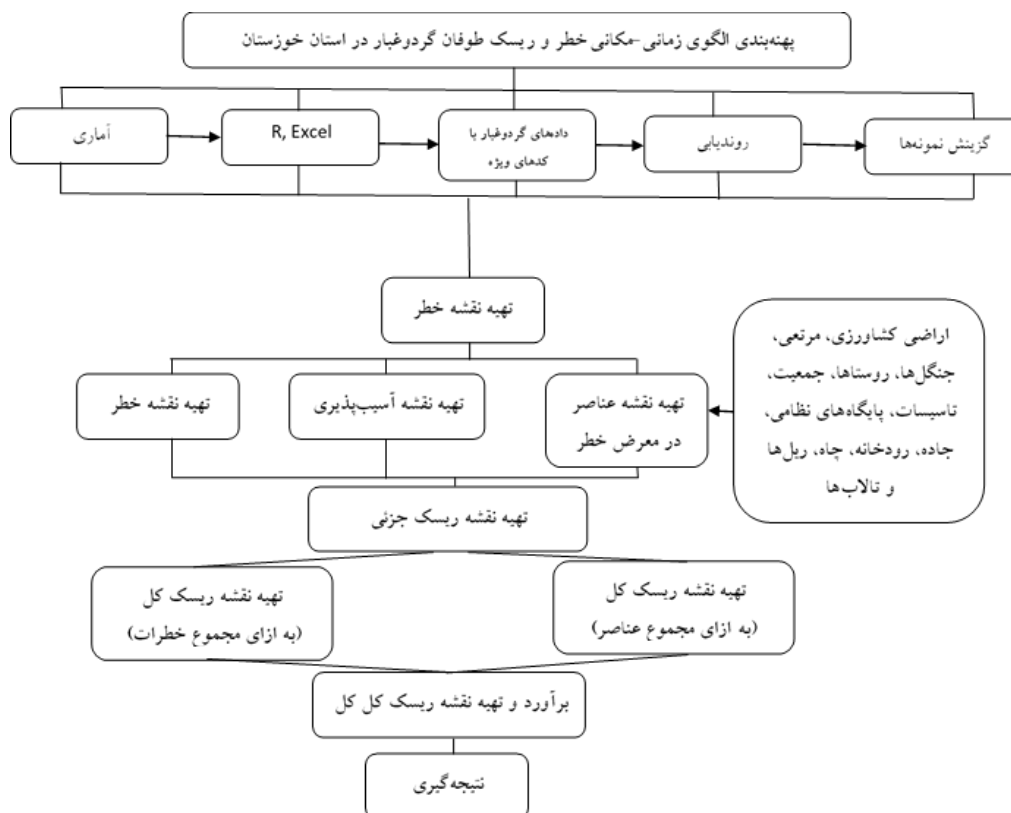
کای اسکوتر تفاوت آماری مساحت کلاس‌ها مشخص گردید (جدول ۴). نمودار جریان‌ی مراحل انجام کار در شکل ۲ نشان داده شده است.

خطر ریسک با توجه به سناریو یک خطر خاص،  $V_{(ER/HS)}$  آسیب‌پذیری درجه تضرر یک سیستم، زیرسیستم یا اجزای سیستم نسبت به اعمال خطر، آشفستگی، تنش یا استرس تیپ عناصر در معرض ریسک با توجه به شدت خطر تحت تأثیر یک سناریو خطر خاص می‌باشد. با استفاده از آزمون

$$Risk = \sum_{All\ hazard} \left( \int_{P_T=0}^{P_T=1} P(T|HS) * \left( P(S|HS) * \sum \left( A(ER|HS) * V(ER|HS) \right) \right) \right) \quad (1)$$

جدول ۴- استاندارد کلاس و عدد ریسک طوفان گردوغبار در منطقه مورد مطالعه

کلاس ریسک	طبقات کیفی	عدد ریسک
۱	کم	$\leq 10$
۲	متوسط	۱۱ - ۳۰
۳	زیاد	۳۱ - ۶۰
۴	خیلی زیاد	$> 61$



شکل ۲- نمودار جریان‌ی مراحل انجام کار

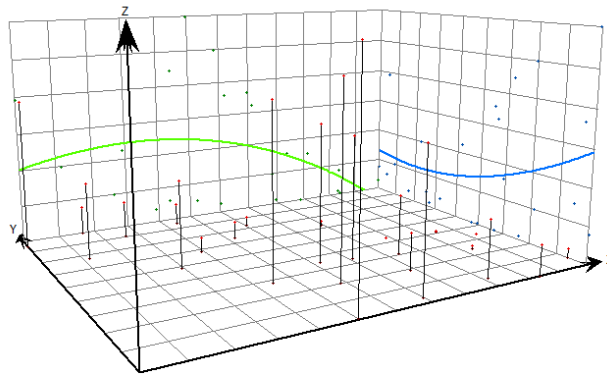
موجود در منطقه در دوره آماری ۲۸ ساله (۱۹۹۵-۲۰۲۲) تهیه گردید. بیشترین درصد مساحت مربوط به تیپ اقلیمی خشک (۳۹/۷۸ درصد) و کم‌ترین نیز مربوط به اقلیم بسیار مرطوب با ۱/۲۸ درصد می‌باشد.

## نتایج

پهنه‌بندی اقلیمی منطقه مورد مطالعه: در منطقه مورد مطالعه پهنه‌های اقلیمی تهیه شده با روش دومارتن (ضریب دومارتن) شامل ۵ تیپ اقلیمی است که با استفاده از درون‌یابی زمین‌آمار و اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی

طوفان گردوغبار به منطقه مورد مطالعه ثابت می‌باشد. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، طوفان گردوغبار از شمال به جنوب (خط آبی) افزایش و از غرب به شرق (خط سبز) نیز ابتدا افزایش و دوباره کاهش می‌یابد.

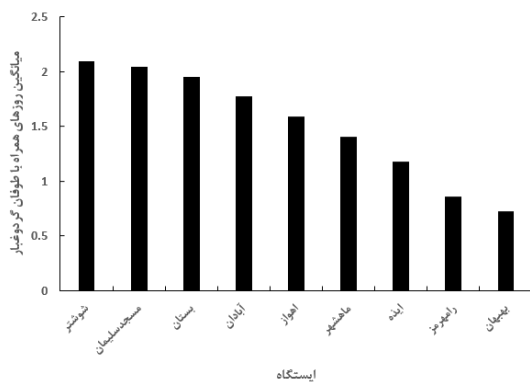
الگوی فضایی طوفان گردوغبار در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از فراوانی و میانگین طوفان گردوغبار به صورت سالانه و ماهانه بررسی شد که به علت تشابه نمودارها، تنها میانگین سالانه ایستگاه‌ها آورده شده است. با توجه به ثابت بودن الگوی فضایی در داده‌ها (ماهانه، فصلی و سالانه) می‌توان نتیجه گرفت که منابع ورود



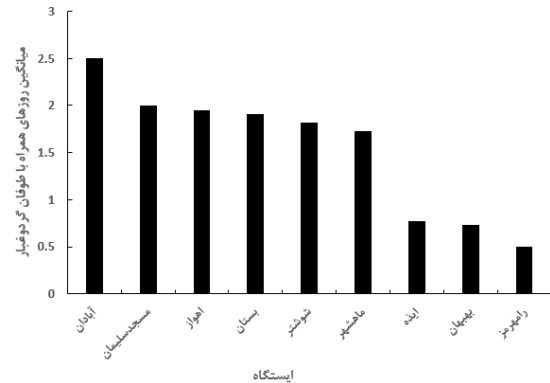
شکل ۳- الگوی فضایی طوفان‌های گردوغبار در امتداد طول و عرض جغرافیایی

ماه‌ها در طی دوره آماری برای کلیه ایستگاه‌ها در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. در ماه ژوئن از میان ایستگاه‌های مورد بررسی، ایستگاه آبادان با میانگین ۲/۵ روز بیشترین و در ماه ژوئیه ایستگاه شوشتر با میانگین ۲ روز بیشترین روز همراه با طوفان گردوغبار بوده است.

میانگین روزهای همراه با طوفان گردوغبار در ماه‌های ژوئن و ژوئیه: با توجه به فراوانی حداکثری طوفان گردوغبار ماه ژوئن و ژوئیه در محدوده مورد مطالعه، نمودار میانگین روزهای همراه با طوفان گردوغبار برای این



شکل ۵- نمودار میانگین روزهای همراه با طوفان گردوغبار ماه ژوئیه در ایستگاه‌های مورد مطالعه طی دوره آماری



شکل ۴- نمودار میانگین روزهای همراه با طوفان گردوغبار ماه ژوئن در ایستگاه‌های مورد مطالعه طی دوره آماری

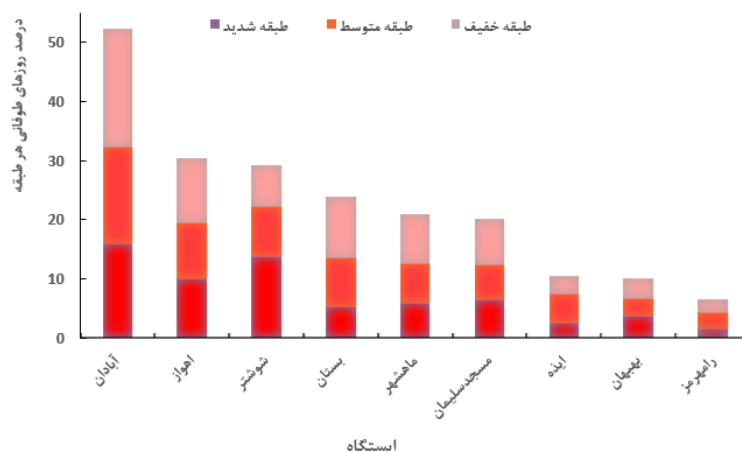
بررسی شدند. طبقه شدید دید افقی ۲۰۰ متر و کمتر، طبقه متوسط دید افقی ۲۰۰-۵۰۰ متر و طبقه خفیف دید افقی ۵۰۰-۱۰۰۰ متر را شامل می‌شود (شکل ۶).

بررسی طوفان‌های گردوغبار فرامحلی (کد ۰۶) و محلی (۰۷) در سه طبقه تعریف شده: تعداد روزهای همراه با طوفان گردوغبار (کدهای ۰۶ و ۰۷) به تفکیک سه طبقه تعریف شده برای کلیه ایستگاه‌های مورد مطالعه

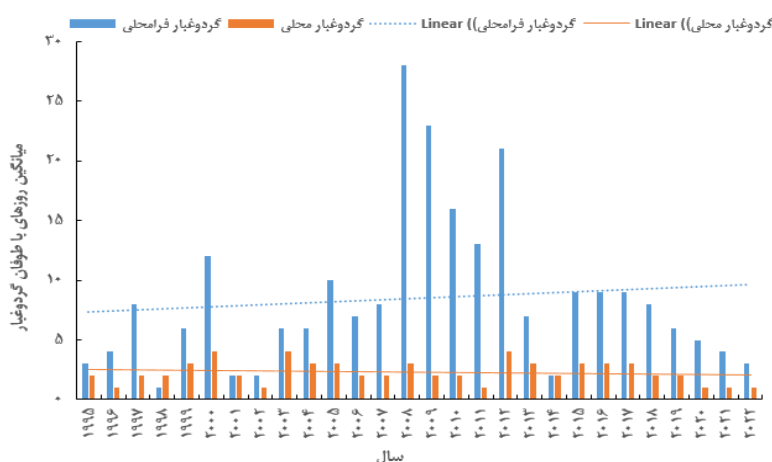
## بررسی سالانه طوفان‌های گردوغبار فرامحلی و

محلی: بررسی میانگین سالانه روزهای همراه با طوفان گردوغبار فرامحلی نشان می‌دهد که در طی دوره آماری مورد مطالعه سال‌های ۲۰۰۸ و ۱۹۹۸ به ترتیب با میانگین ۱۸ و یک روز همراه با طوفان گردوغبار بیشترین و کمترین

روز همراه با طوفان گردوغبار با منشا فرامحلی را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین به لحاظ تعداد روزهای همراه با طوفان گردوغبار با منشا محلی سال‌های ۲۰۱۲ و ۱۹۹۶ به ترتیب با میانگین ۴ و یک روز، بیشترین و کمترین روزهای همراه با طوفان گردوغبار با منشا فرامحلی را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۷).



شکل ۶- نمودار مقایسه تعداد روزهای همراه با طوفان گردوغبار در ۳ طبقه شدید، متوسط و ملایم در ایستگاه‌های مورد مطالعه



شکل ۷- نمودار میانگین روزهای همراه با طوفان گردوغبار با منشا فرامحلی (کد ۰۶) و محلی (کد ۰۷) در دوره آماری مورد بررسی

## دوره تداوم موج‌های طوفان گردوغبار: دوره تداوم

موج‌های طوفان گردوغبار ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که اکثریت موج‌های طوفان گردوغبار دارای تداوم ۱ تا ۲ روزه بوده‌اند. همان‌طور که در شکل (۹) نشان می‌دهند هر چه از سمت موج‌های طوفان گردوغبار با تداوم روزانه کمتر به سمت موج‌های طوفان گردوغبار با تداوم بیشتر پیش می‌رویم تعداد موج‌های طوفان گردوغباری کاهش می‌یابند.

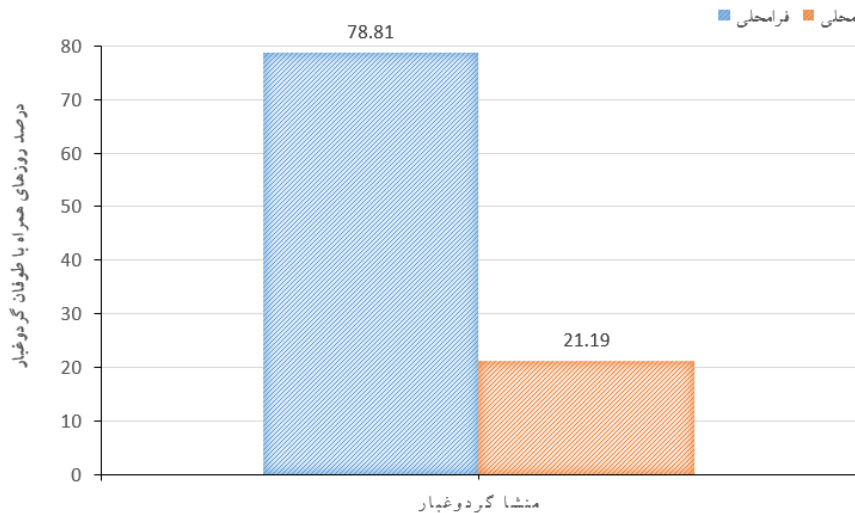
## نسبت طوفان‌های گردوغبار محلی و فرامحلی به

کل روزهای همراه با طوفان گردوغبار طی دوره آماری مورد مطالعه: درصد فراوانی طوفان‌های گردوغبار محلی و فرامحلی در شکل (۸) نشان داده شده است. طی دوره آماری ۲۸ ساله مورد مطالعه (۱۹۹۵-۲۰۲۲) در ۹ ایستگاه انتخابی ۷۸/۸۱ درصد روزهای همراه با طوفان گردوغبار از منشا فرامحلی و ۲۱/۱۹ درصد از منشا محلی برخوردار بوده‌اند.

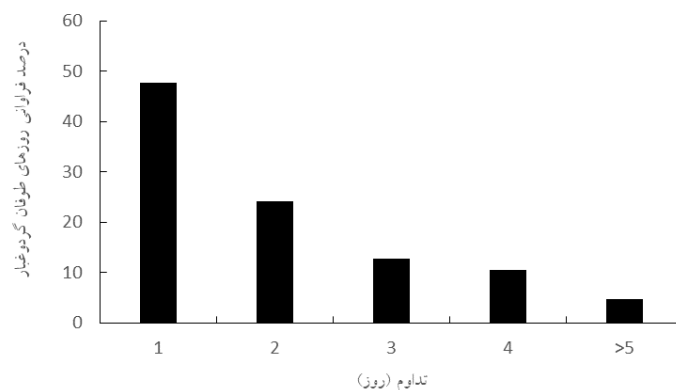


درصد با تداوم ۲ روز، ۱۲/۷۲ درصد با تداوم ۳ روز و ۱۰/۵۱ درصد با تداوم ۴ روز قرار دارند. فقط ۴/۷۸ درصد از روزهای همراه با طوفان گردوغبار با تداوم ۶-۵ روز می‌باشند.

همچنین نمودار درصد روزهای همراه با طوفان گردوغبار و تداوم آنها در شکل (۹) نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل دیده می‌شود ۴۷/۷۸ درصد از روزهای همراه با طوفان گردوغبار با تداوم ۱ روز، ۲۴/۲۱



شکل ۸- درصد روزهای همراه با طوفان گردوغبار با منشا محلی و فرامحلی به کل روزهای همراه با طوفان گردوغبار



شکل ۹- نمودار درصد فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار در تداوم‌های ۱ تا ۶ روز

می‌باشد. توزیع فراوانی کلاس در جدول ۶ آمده و تفاوت فراوانی آنها در سطح ۰/۰۱ درصد معنی‌دار است.

### ریسک جزئی و کلی خطر طوفان گردوغبار

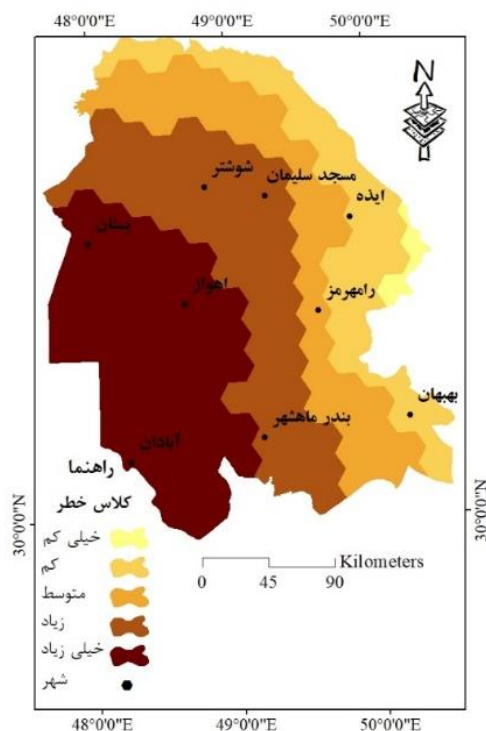
به‌منظور پهنه‌بندی نقشه‌های ریسک جزئی و کلی، ابتدا به شناسایی و طبقه‌بندی تیپ عناصر در معرض خطر اقدام و سپس با اعمال درجه آسیب‌پذیری هر عنصر و با در نظر گرفتن نقشه شدت خطر، کلاس ریسک خطر طوفان گردوغبار از رابطه (۱) و با ۴ کلاس نقشه‌بندی گردید.

### پهنه‌بندی شدت خطر طوفان گردوغبار

مقادیر معیارهای ریشه دوم میانگین مربع خطا ( $MSE^1$ ) و میانگین خطای مطلق ( $RMSE^2$ ) به روش کریجینگ معمولی و مدل گوسی نشان داده شده است (جدول ۵). نقشه نهایی شدت خطر طوفان گردوغبار در شکل ۱۰، با ۵ کلاس نشان داده شده است. بیشترین درصد مساحت مربوط به طبقه پنجم (۳۲/۹۷ درصد) و کمترین درصد مساحت مربوط به طبقه اول (۱/۳۵ درصد)

<sup>2</sup> Mean Squared Error (MSE)

<sup>1</sup> Root Mean Squared Error (RMSE)



شکل ۱۰- نقشه شدت خطر طوفان گردوغبار منطقه مورد مطالعه

جدول ۵- نتایج برازش مدل به تغییرنگارهای تجربی داده‌ها

پارامتر	مدل	آستانه	دامنه	اثر قطعه‌ای	ME	RMSE	RMSSE
خطر گردوغبار گوسی	۰/۴۵	۱/۹۷	۰	۰	۵۲/۴۴	۱۵۸/۲	۰/۹۹

جدول ۶- توزیع فراوانی مساحت شدت خطر طوفان گردوغبار منطقه مورد مطالعه

کلاس	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
۱	۸۶۷۱۸	۱/۳۵
۲	۱۰۹۲۸۳۷/۱	۱۷/۰۶
۳	۱۳۰۱۳۹۷/۲۳	۲۰/۳۲
۴	۱۸۱۲۸۰۶/۱۳	۲۸/۳۰
۵	۲۱۱۱۹۴۱/۵۳	۳۲/۹۷
جمع	۶۴۰۵۷۰۰	۱۰۰
کای اسکوتر	۷۰۸۲۹۱/۹	۰/۰۱*

\* تفاوت مساحت کلاس‌ها در سطح ۱ درصد ( $P > 0.01$ ) معنی‌دار است.

### نقشه تیپ عناصر در معرض خطر طوفان گردوغبار

با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی و توپوگرافی و با فهرست‌برداری از تیپ عناصر در معرض خطر در هر سلول از نقشه کلاس خطر، تیپ عناصر مورد نظر شناخته و نقشه تیپ عناصر در معرض خطر طبق جدول تیپ عناصر در معرض خطر طبقه‌بندی گردید. جدول ۷، درصد توزیع

### فراوانی و شکل ۱۱، نقشه تیپ عناصر در معرض خطر را

در منطقه نشان می‌دهد.

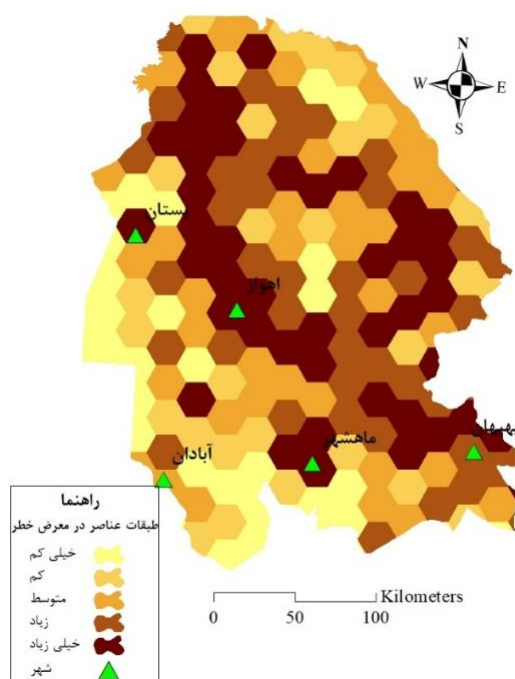
بر اساس مقادیر جدول ۸ و شکل ۱۱، بیشترین تیپ عناصر مهم اکولوژیکی، زیستی، فیزیکی و اقتصادی اجتماعی در معرض خطر طوفان گردوغبار در بخش‌های مرکزی، غرب و جنوب غرب منطقه (مناطق گسترده

مناطق مسکونی-جمعیتی، اراضی زراعی، راه‌های ارتباطی و تأسیسات) است. مناطقی که آثار زیان‌بار خطر طوفان گردوغبار، در صورت توسعه به دلیل شدت خشکسالی و مدیریت نامناسب اراضی (کشاورزی و تالاب‌ها و...)، می‌تواند خسارت قابل ملاحظه‌ای ایجاد نماید.

جدول ۷- درصد توزیع فراوانی کلاس‌های تیپ عناصر در معرض خطر

کلاس عناصر	طبقات کیفی	تعداد عنصر	مساحت(هکتار)	درصد فراوانی
۱	خیلی کم	$\leq 3$	۸۹۱۵۶۲/۳۷	۱۳/۹۲
۲	کم	۴	۱۰۲۷۹۳۳/۶۲	۱۶/۰۵
۳	متوسط	۵	۱۳۴۸۸۰۶/۹۶	۲۱/۰۶
۴	زیاد	۶	۱۴۹۷۲۴۲/۸۴	۲۳/۳۷
۵	خیلی زیاد	$\geq 7$	۱۶۴۰۱۵۴/۲۰	۲۵/۶۰
مجموع				
۱۰۰		۶۴۰۵۷۰۰		
کای اسکوتر				
*۰/۰۱		۲۰۴۳۳۹۷/۰۹		

\* تفاوت مساحت کلاس‌ها در سطح اطمینان ۱ درصد ( $P > 0.01$ ) معنی‌دار است.



شکل ۱۱- نقشه کلاس عناصر در معرض خطر

تیپ عناصری که در کلاس خطر بالاتری قرار دارند از اهمیت و امتیاز آسیب‌پذیری بیشتری برخوردار می‌باشند. جدول ۸ درصد توزیع فراوانی کلاس‌های آسیب‌پذیری و شکل ۱۲ نقشه آسیب‌پذیری تیپ عناصر در معرض هر یک از خطرهای طوفان گردوغبار را نشان می‌دهند.

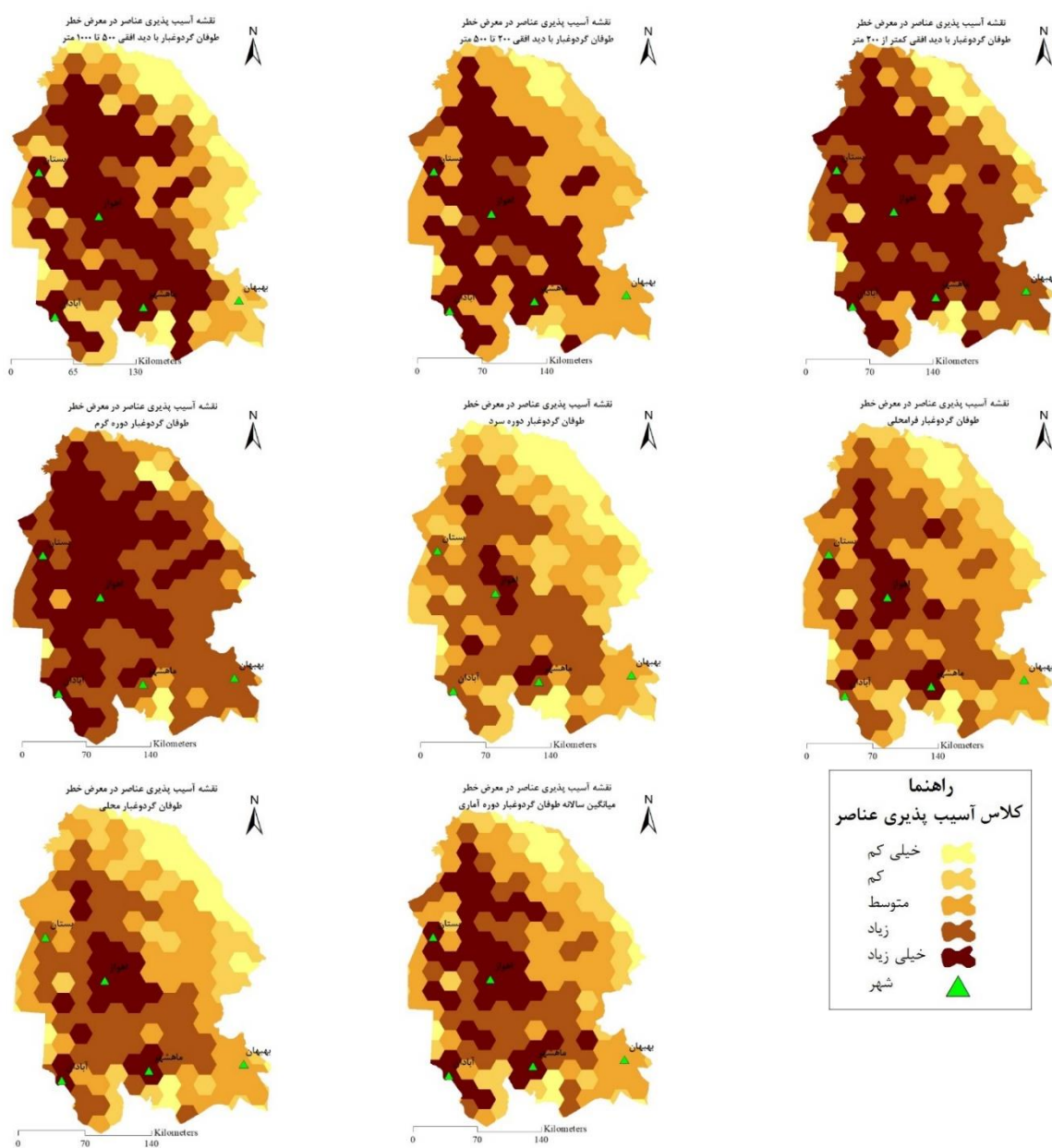
### آسیب‌پذیری تیپ عناصر در معرض خطر

کلاس‌های آسیب‌پذیری تیپ عناصر با توجه به این که در چه کلاسی از شدت خطر قرار دارند و با استفاده از امتیازات کارشناسی و بررسی شرایط منطقه، مورد مطالعه تعیین گردید. برای محاسبه امتیاز آسیب‌پذیری تیپ عناصر، وجود خطر و شرایط هر یک از تیپ عناصر از لحاظ اقتصادی و اکولوژیکی حائز اهمیت می‌باشد.

جدول ۸- درصد توزیع فراوانی مساحت کلاس‌های آسیب‌پذیری تیپ عناصر در معرض خطر

درصد فراوانی	مساحت (هکتار)	عدد آسیب پذیری	طبقات کیفی	تیپ و کلاس خطر
۶/۳۲	۴۰۴۹۴۸/۷۳	< ۳۰	خیلی کم	آسیب‌پذیری تیپ عناصر در معرض خطر میانگین سالیانه طوفان گردوغبار دوره آماری
۱۴/۴۳	۹۲۴۲۷۴/۲۳	۳۰ - ۶۰	کم	
۳۱/۱۳	۱۹۹۴۳۳۵/۱۶	۶۰ - ۱۰۰	متوسط	
۲۳/۲۱	۱۴۸۶۸۷۷/۲۳	۱۰۰ - ۱۵۰	زیاد	
۲۴/۹۰	۱۵۹۵۲۶۴/۶۴	$\geq 150$	خیلی زیاد	
۱۰۰	۶۴۰۵۷۰۰		مجموع	
۰/۰۱*	۲۹۳۷۸۷۴/۱۴		کای اسکوئر	

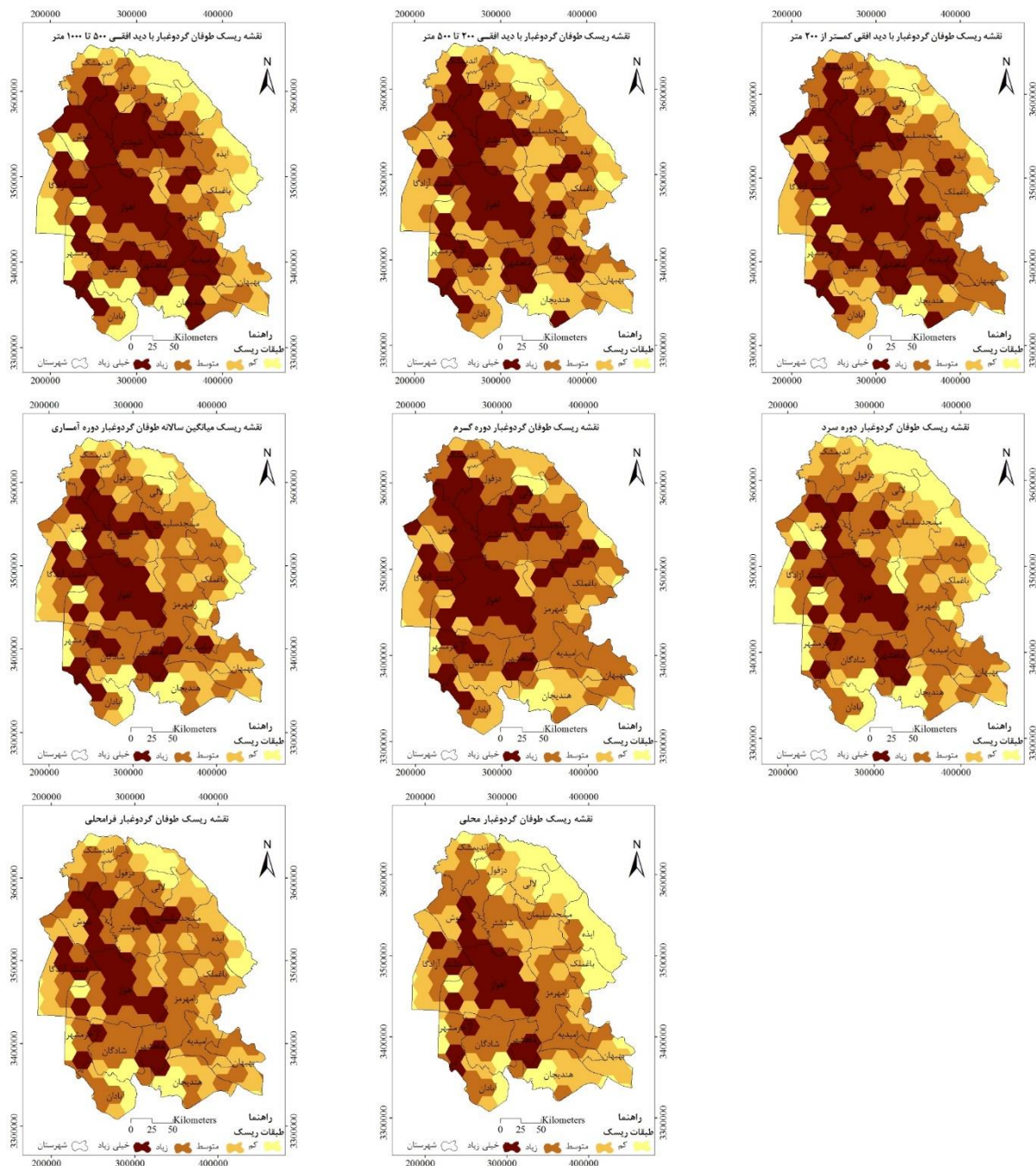
آزمون تفاوت مساحت‌ها (در سطح اطمینان ۱ درصد،  $P \text{ value} < 0/01$ ) معنی‌دار است.



شکل ۱۲- نقشه آسیب‌پذیری تیپ عناصر در معرض هر یک از شدت خطر طوفان گردوغبار

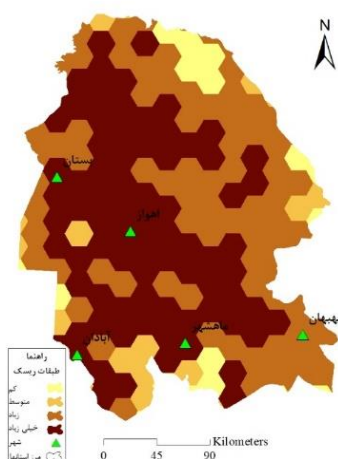
ریسک فرامحلی (کد ۰۶) در طبقه زیاد با ۴۳/۷۱ درصد و شامل محدوده‌هایی از شهرستان اهواز، دشت آزادگان، شوش، ماهشهر، آبادان، خرمشهر، مسجد سلیمان، شوشتر، دزفول و اندیمشک و بیشترین درصد مساحت در طبقه کم ریسک طوفان گردوغبار مربوط به ریسک دوره سرد سال با ۲۱/۲۲ درصد می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که بخش‌های شرق و جنوب شرق استان در محدوده شدت کم و متوسط ریسک طوفان گردوغبار قرار دارند (شکل ۱۴).

طبق جدول ۹، کلاس با آسیب‌پذیری متوسط، تقریباً بیشترین مقادیر درصد فراوانی را به خود اختصاص داده است. با توجه به شکل ۱۲ و پراکنش تیپ عناصر در معرض خطر در بخش‌های مرکزی و غربی منطقه، توزیع فضایی درجه آسیب‌پذیری محیطی تیپ عناصر زیستی، امکانات زیربنایی و فیزیکی نیز در همان مناطق، از گستردگی بیشتری نسبت به سایر بخش‌ها، برخوردار است. با توجه به شکل ۱۳ مشاهده می‌شود که در دوره آماری ۲۸ ساله بیشترین درصد مساحت استان مربوط به



شکل ۱۳- نقشه‌های کروپلت ریسک جزئی طوفان گردوغبار استان خوزستان



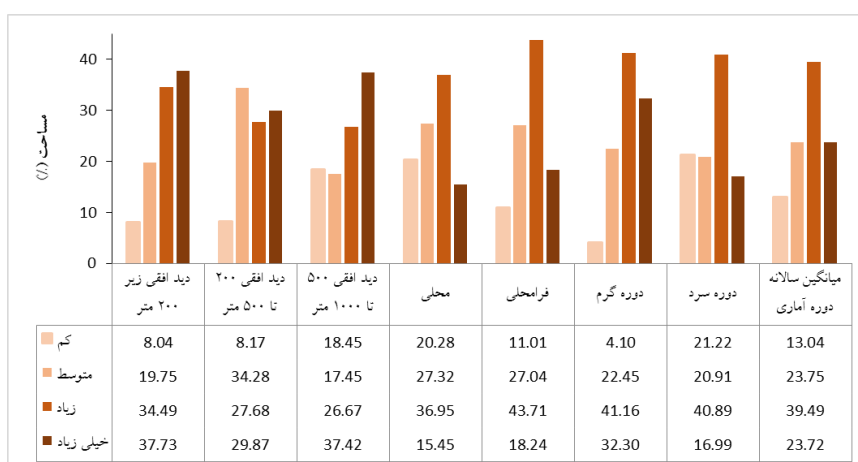


شکل ۱۴- نقشه کروپلت ریسک نهایی طوفان گردوغبار منطقه مورد مطالعه

### ریسک نهایی طوفان گردوغبار

نتایج نشان می‌دهد که میزان ریسک طوفان گردوغبار در منطقه مورد مطالعه تابعی از اقلیم و نشان‌گرهای آسیب‌پذیری استان مورد مطالعه می‌باشد. پس از تهیه نقشه ریسک نهایی (شکل ۱۴)، درصد مساحت هریک از

طبقات ریسک در بازه زمانی ۲۸ ساله محاسبه و به صورت نمودار (شکل ۱۵) ارائه گردید. درصد مساحت طبقات ریسک نشان می‌دهد که بیش از ۸۸ درصد مساحت استان خوزستان در طبقات ریسک زیاد و خیلی زیاد قرار دارند (جدول ۹) که یکی از دلایل آن مربوط به جمعیت بیشتر در این مناطق می‌باشد.



شکل ۱۵- نمودار درصد مساحت طبقات ریسک جزئی طوفان گردوغبار استان خوزستان

### جدول ۹- توزیع فراوانی کلاس‌های ریسک نهایی استان خوزستان

طبقات کیفی	عدد ریسک	مساحت (هکتار)	درصد فراوانی
کم	$\leq 10$	۳۵۰۱۷۹/۶۵	۵/۳۲
متوسط	۱۱-۳۰	۳۷۳۶۳۳/۸۶	۵/۶۹
زیاد	۳۱-۶۰	۲۶۲۶۹۱۴/۸۲	۴۱/۱۳
خیلی زیاد	$> 61$	۳۰۵۴۹۷۱/۶۷	۴۷/۸۶
مجموع		۶۴۰۵۷۰۰	۱۰۰
کای اسکوئر		۳۹۲۴۲۷۳/۳۱	۰/۰۱*

## بحث و نتیجه‌گیری

قرارگیری ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک کره زمین و مجاورت با بیابان‌های جنب‌حاره مانند عربستان، عراق و سوریه باعث به‌وجود آمدن مداوم پدیده گردوغبار در جنوب غرب ایران گردیده است. در این راستا، استان خوزستان در جنوب غرب ایران به دلیل نزدیکی به بیابان‌های کشورهای مجاور مدام در معرض رویدادهای گردوغباری متعدد است. نتایج حاصل از بررسی سالانه پدیده گردوغبار نشان می‌دهد که منطقه آبادان با میانگین فراوانی ۱۸ روز سال، بیشترین تعداد روزها را در کل منطقه مورد مطالعه دارد و پس از آن منطقه بستان، سرپل‌ذهاب و اهواز بیشترین فراوانی‌ها را به خود اختصاص می‌دهند. با توجه به نتایج به‌دست آمده، ۶۱/۱۱ درصد از وقایع طوفان گردوغبار فرامحلی از ساعت ۹:۳۰ تا ۱۸:۳۰ به وقت محلی و ۸۱/۳۵ درصد از وقایع طوفان گردوغبار محلی در ساعت ۳:۳۰ به وقت محلی اتفاق می‌افتند که با نتایج میدلتون [۱۶]، مبنی بر افزایش طوفان‌های ریزگرد در طول روشنایی روز، مطابقت دارد.

بیشترین فراوانی طوفان گردوغبار در ماه‌های ژوئن و ژوئیه و کمترین فراوانی در ماه نوامبر و دسامبر می‌باشد که با نتایج گودی و میدلتون [۱۰] که زمان آغاز این طوفان‌ها را ماه‌های آوریل و می و بیشینه میزان وقوع را ماه‌های ژوئن و ژوئیه دانسته‌اند، مطابقت دارد. میانگین فراوانی طوفان گردوغبار در دوره گرم سال در منطقه مورد مطالعه ۳۶ روز بوده و در دوره سرد سال، ۲۲ روز می‌باشد.

در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه اکثر روزهای گردوغباری مربوط به دوره گرم سال بوده است. در فصل سرد سال که هسته کم ارتفاع و امواج غربی بر روی اروپا و دریای مدیترانه شکل می‌گیرند، به علت سنگینی هوای سرد در این ایام، اجازه نفوذ به عرض‌های پایین را به خوبی پیدا می‌کنند و تراف<sup>۱</sup> (ناوه) آنها بر روی بیابان‌های خاورمیانه شکل می‌گیرد و با توجه به شرایط گرمایی و دمایی این منطقه قسمت جلو تراف‌ها (ناوه) که به سمت شرق گرایش دارند به صورت فراز<sup>۲</sup> در آمده و اختلافات هوا را ایجاد می‌کنند و چون این بیابان‌ها خشک هستند شرایط

توربولانسی و باد و گردوغبار ایجاد شده که به سمت غرب و جنوب‌غربی کشور کشیده می‌شود. در فصل گرم سال که کم فشارهای دمایی به سمت عرض‌های بالاتر کشیده می‌شوند، در اثر برخورد با کم‌فشارها و پرفشارهای فوقانی اختلاف فشار حاصل شده و خشکی شدید منطقه نیز مزید بر علت شده که نتیجه آن شدت یافتن پدیده گردوغبار بوده است.

هرچه از غرب استان خوزستان به سمت شرق آن حرکت کنیم از تعداد روزهای همراه با طوفان گردوغبار کاسته می‌شود. اساساً هرچه یک موج گردوغباری از منشأ و یا کانون اولیه خود فاصله می‌گیرد از شدت و تداوم آن کاسته می‌شود. بنابراین می‌توان گفت چون منبع اولیه اکثریت پدیده‌های گردوغباری منطقه مورد مطالعه، مناطقی همچون بیابان‌های عراق، عربستان، سوریه و شمال آفریقا است به تبعیت از همجواری نواحی غربی با این مناطق، شدت و تداوم موج‌های طوفان گردوغباری در این نواحی نسبت به نواحی شرقی بیشتر می‌شود و هرچه از این نواحی به سمت شرق حرکت می‌کنیم از شدت و تداوم این پدیده کاسته می‌شود.

بررسی الگوی فضایی نشان داد که طوفان‌های گردوغبار در امتداد شمال به جنوب منطقه مورد مطالعه به صورت خطی افزایش می‌یابند در حالی که در امتداد غرب به شرق از تابع چند جمله‌ای درجه ۲ (منحنی با یک قوس) تبعیت می‌کنند که این امر نشان‌دهنده افزایش فراوانی طوفان گردوغبار در راستای حرکت از غرب به شرق و سپس کاهش فراوانی طوفان گردوغبار به سمت شرق منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

قرارگیری ارتفاعات زاگرس با امتداد شمال‌غربی- جنوب‌شرقی که خود همانند سدی جلوی عبور طوفان‌های گردوغبار وارده به این نواحی را گرفته و خروج این پدیده نیز به زمان بیشتری نسبت به بقیه مناطق را دارد. پیشنهاد می‌شود در ادامه چنین تحقیقاتی به ایجاد یک سیستم برخطی<sup>۳</sup> برای پیش‌بینی طوفان گردوغبار با استفاده از همبسته‌سازی مدل‌های WRF و HYSPLIT، به کارگیری شبکه‌بندی ریزتر و تفکیک‌پذیری بالاتر در دامنه‌های

<sup>3</sup> Online<sup>1</sup> Trough<sup>2</sup> Ridge

استفاده از کاشت سریع گونه‌های گیاهی مقاوم به کم آبی و سریع‌الرشد، استفاده از تکنیک‌های استحصال آب و ایجاد ریزحوضه‌های جمع‌آوری و نگهداری آب و خاک در ارتفاعات، شناسایی سریع کانون‌های بالفعل و بالقوه شروع گردوغبار و مهار فوری حاشیه‌های آن از طریق مالچ‌پاشی و جنگل‌کاری مصنوعی توسط نیروهای مردمی بومی توجه شود.

شبیه‌سازی شده، انجام مطالعات بیشتر برای استفاده از طرح‌واره‌های فیزیکی مناسب، به‌کارگیری تفکیک‌پذیری بالاتر برای منابع انتشار گردوغبار بیابانی اقدام شود. همچنین به راهکارهای اجرایی از جمله تأمین بودجه لازم برای ایجاد کمربند سبز حاشیه شهرها، افزایش حقوق و کاهش تعرفه آب و برق ساکنان مناطق درگیر بحران با توجه به افزایش شدید هزینه‌های مرتبط با این بحران، کنترل کانون‌های بحران و مراکز انتشار گردوغبارها با

## References

- [1]. Abdolshahnejad, M., Khosravi, H., Nazari Samani, A., Zehtabian, G., & Alambaigi, A. (2020). Determining the Conceptual Framework of Dust Risk Based on Evaluating Resilience (Case Study: Southwest of Iran). *Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 5(1), 33-44. doi: 10.22047/SRJASNR.2020.113050 [in Farsi]
- [2]. Arami, A., ownegh, M., & sheikh, V. (2022). Management plan of desertification hazard in Agh-Band region, Golestan province. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 4(14), 103-118. [in Farsi]
- [3]. Arami, A., Ownegh, M., & Sheikh, V. (2013). Assessment of desertification risk in semi-arid Agh-Band Region, Golestan Province, Iran. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5(17), 1901.
- [4]. Arami, S., & Ownagh, M. (2017). Assessment of desertification hazard, risk and development of management plans. *Desert*, 22(1), 51-67. doi: 10.22059/JDESERT.2017.62284
- [5]. Armbrust, D. V. (1984). Wind and Sandblast Injury to Field Crops: Effect of Plant Age. *Agronomy Journal*, 76(6), 991-993. doi: 10.2134/agronj1984.0002196200760006002 8x
- [6]. Azizi, G., Miri, M., & Nabavi, S. (2012). Tracking of Dust phenomena in half-west of Iran. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 3(7), 63-81. [in Farsi]
- [7]. Bennion, P., Hubbard, R., O'Hara, S., Wiggs, G., Wegerdt, J., Lewis, S., (2007). The impact of airborne dust on respiratory health in children living in the Aral Sea region. *International journal of epidemiology*, 36(5), 1103-1110. doi: 10.1093/ije/dym195
- [8]. Boloorani, A. D., Samany, N. N., Papi, R., & Soleimani, M. (2021). Dust source susceptibility mapping in Tigris and Euphrates basin using remotely sensed imagery. *CATENA*, 209, 105795. doi: 10.1016/j.catena.2021.105795
- [9]. Cao, H., Amiraslani, F., Liu, J., & Zhou, N. (2015). Identification of dust storm source areas in West Asia using multiple environmental datasets. *Science of the Total Environment*, 502, 224-235. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.09.025
- [10]. Goudie, A. S., & Middleton, N. J. (2000). Dust storms in south west Asia. *Acta Universitatis Carolinae, Supplementum*, 73-83.
- [11]. 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]
- [12]. Kellogg, C. A., & Griffin, D. W. (2006). Aerobiology and the global transport of desert dust. *Trends in ecology & evolution*, 21(11), 638-644. doi:10.1016/j.tree.2006.07.004
- [13]. Liu, C. M., Young, C. Y., & Lee, Y. C. (2006). Influence of Asian dust storms on air quality in Taiwan. *Science of the Total Environment*, 368(2-3), 884-897. doi: 10.1016/j.scitotenv.2006.03.039
- [14]. Maghrabi, A., Alharbi, B., & Tapper, N. (2011). Impact of the March 2009 dust event



- in Saudi Arabia on aerosol optical properties, meteorological parameters, sky temperature and emissivity. *Atmospheric Environment*, 45(13), 2164-2173. doi: 10.1016/j.atmosenv.2011.01.071
- [15]. Meng, Z., & Lu, B. (2007). Dust events as a risk factor for daily hospitalization for respiratory and cardiovascular diseases in Minqin, China. *Atmospheric environment*, 41(33), 7048-7058. doi: 10.1016/j.atmosenv.2007.05.006
- [16]. Middleton, N. J. (1986a). Dust storms in the Middle East. *Journal of arid environments*, 10(2), 83-96. doi: 10.1016/S0140-1963(18)31249-7
- [17]. Middleton, N. J. (1986b). A geography of dust storms in South-west Asia. *Journal of Climatology*, 6(2), 183-196. doi: 10.1002/joc.3370060207
- [18]. Miri, A. & Middleton, N. (2022). Long-term impacts of dust storms on transport systems in south-eastern Iran. *Natural Hazards*, 114(1), 291-312. doi: 10.1007/s11069-022-05390-z
- [19]. Nickovic, S., & Sprigg, W. A. (2011, December). WMO Sand and Dust Storm Warning Advisory and Assessment System (SDS-WAS): Regional Cooperation Initiative for Americas. In AGU Fall Meeting Abstracts (Vol. 2011, pp. U14A-01).
- [20]. Prospero, J. M., Blades, E., Naidu, R., Mathison, G., Thani, H., & Lavoie, M. C. (2008). Relationship between African dusts carried in the Atlantic trade winds and surges in pediatric asthma attendances in the Caribbean. *International Journal of Biometeorology*, 52, 823-832. doi: 10.1007/s00484-008-0176-1
- [21]. Ranjan, A. K., Patra, A.K., & Gorai, A.K. (2020). Effect of lockdown due to SARS COVID-19 on aerosol optical depth (AOD) over urban and mining regions in India. *Science of the Total Environment*, 745, 141024. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141024
- [22]. Rashki, A., Middleton, N. J., & Goudie, A. S. (2021). Dust storms in Iran—Distribution, causes, frequencies and impacts. *Aeolian Research*, 48, 100655. doi: 10.1016/j.aeolia.2020.100655
- [23]. Sarver, T., Al-Qaraghuli, A., & Kazmerski, L. L. (2013). A comprehensive review of the impact of dust on the use of solar energy: History, investigations, results, literature, and mitigation approaches. *Renewable and sustainable energy Reviews*, 22, 698-733. doi: 10.1016/j.rser.2012.12.065
- [24]. Shamshiri, S., Jafari, R., Soltani, S., & Ramezani, N. (2014). Dust detection and mapping in Kermanshah province using MODIS satellite imagery. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 3(8), 29-42. [in Farsi]
- [25]. Sheikh ghaderi, S. H., Alizadeh, T., Ziaeiian Firoozabadi, P., & Sharifi, R. (2023). Temporal and spatial analysis of dust storms in Kermanshah. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 10(1), 71-90. [in Farsi]
- [26]. Sivakumar, M.V. (2005). Impacts of Sand Storms/Dust Storms on Agriculture. In: Sivakumar, M.V., Motha, R.P., Das, H.P. (eds) Natural Disasters and Extreme Events in Agriculture. Springer, Berlin, Heidelberg. doi: 10.1007/3-540-28307-2\_10
- [27]. Toon, O. B. (2003). African dust in Florida clouds. *Nature*, 424(6949), 623-624. doi: 10.1038/424623a
- [28]. United Nations Environment Programm, Environment News Emergencies, and Available from: URL:<http://www.unep.org/depi/programmes/emergencies.html>, (Accessed: 2005).
- [29]. van Westen, C., Kappes, M.S., Luna, B.Q., Frigerio, S., Glade, T., Malet, JP. (2014). Medium-Scale Multi-hazard Risk Assessment of Gravitational Processes. In: Van Asch, T., Corominas, J., Greiving, S., Malet, JP., Sterlacchini, S. (eds) Mountain Risks: From Prediction to Management and Governance. Advances in Natural and Technological Hazards Research, vol 34. Springer, Dordrecht. doi: 10.1007/978-94-007-6769-0\_7
- [30]. Squires, V. R. (2007). Dust and sandstorms: an early warning of impending disaster, P 15-25. *Global Alarm: Dust and Sand Storms from the World's Drylands*. United Nations.
- [31]. Xu, J. (2006). Sand-dust storms in and around the Ordos Plateau of China as influenced by land use change and desertification. *Catena*, 65(3), 279-284. doi: 10.1016/j.catena.2005.12.006

[32]. Yaalon, D. H. (1997). Comments on the source, transport and deposition scenario of Saharan dust to southern Europe. *Journal of*

*Arid Environments*, 36(1), 193-196. doi: 10.1006/jare.1996.0231

## Mapping spatial and temporal pattern of risk and hazard of dust storms in Khuzestan province (Research Paper)

- 1- Seyed Hossein Arami\*, Assistant Professor, Forests and Rangelands Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran.  
arami1854@areeo.ac.ir, arami1854@gmail.com
- 2- Ebrahim Karimi Sangchini, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Khorramabad, Iran.
- 3- Sajad Alimahmoodi Sarab, Assistant Professor, Forests and Rangelands Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran.
- 4- Mehri Dinarvand, Associate Professor, Forests and Rangelands Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran.
- 5- Banafsheh Yasrebi, Assistant Professor, Forests and Rangelands Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran.

Received: 27 Apr. 2024

Accepted: 16 Jun. 2024

### Abstract

This research has been conducted in Khuzestan Province covering an area of approximately 64057 square kilometers, over a 28 year time (1995- 2022) period and with the aim of evaluating the spatiotemporal pattern of risk and generating a risk map for dust storms. The utilized data includes hourly measurements from the ground stations (8 time slots within 24 hours). Different models were fitted to the empirical change patterns for spatial variations, and the model with minimum RMSE was selected. Subsequently, using this selected model, interpolation was performed with various neighborhood approaches, resulting in a large number of maps. These maps were converted into a cellular grid network within a GIS environment. Each cell was considered as a zone for calculating the computations related to the risk map. Then the information related to the class of exposed elements, the vulnerability class of elements, and the hazard class were separately applied in each cell. Finally, by calculating the risk equation, a cell-based risk map was obtained. The significant difference in areas was tested using the Chi-squared test. The results of the annual study on the phenomenon of dust storms have shown that the Abadan region has the highest average frequency of 18 days per year, this is the highest number of days observed in the entire study area. 61.11% of regional dust events occur between 9:30 am and 6:30 pm local time, and 81.35% of localized dust storm events occur at 3:30 am. Furthermore, the percentage distribution of regional and extra-regional dust storms during the statistical period indicates that 78.81% of dust storm days originated from extra-regional sources, while 21.19% originated from regional sources. The spatial distribution pattern of the dust storm intensity hazard map exhibits a “moderate clustering” and follows a specific order. The area percentage of risk classes shows that more than 88% of the area in Khuzestan province is in high and very high risk classes, which is one of the reasons related to the larger population in these areas.

**Keywords:** Spatial and temporal analysis, Hazard and risk, Dust storm, Khuzestan.