

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار
(مطالعه موردی: جنوب غربی ایران)

مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور

نگارش:

سید عبدالحسین آرامی، علی محمدیان بهبهانی، ابراهیم کریمی سنگچینی

عنوان پروژه منتج به نشریه فنی	کد مصوب
آنالیز و ردیابی الگوی زمانی-مکانی خطر، ریسک و تدوین برنامه مدیریت طوفان گردوغبار در نواحی جنوب غرب ایران	رساله دکتری



عنوان نشریه فنی: تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار (مطالعه موردی: جنوب غربی ایران)

نگارش:

سید عبدالحسین آرامی - استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی، اهواز، ایران.
علی محمدیان بهبهانی - استادیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

ابراهیم کریمی سنگچینی - استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی، اهواز، ایران.

مدیر داخلی: فاطمه عباسپور

ویرایش علمی: فاطمه درگاهیان تیزابی و طاهره انصافی مقدم

ویرایش ادبی: اصغر احمدی

تهیه شده در: مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور / اداره ترویج و انتقال یافته‌های تحقیقاتی / مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان

نشانی: اتوبان تهران-کرج، خروجی پیکانشهر، شهرک سرو آزاد، خیابان شهید علی گودرزی، بلوار باغ گیاه‌شناسی ملی ایران، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور صندوق پستی ۱۱۶-۱۳۱۸۵

تلفن: ۵-۴۴۷۸۷۲۸۲-۰۲۱ **وبسایت:** www.rifr-ac.ir

شمارگان: الکترونیکی

نوبت و سال انتشار: اول - ۱۴۰۱

این نشریه به شماره ۶۲۹۰۴ در تاریخ ۱۴۰۱/۱۱/۰۳ در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است.



9789644735073

مخاطبان:

وزارت کشور، وزارت جهاد کشاورزی، دانشگاهها، دانشجویان، ستاد بحران کشور و سازمانهای مردم نهاد فعال محیط زیست می باشند.

اهداف آموزشی:

- تدوین سیاستهای دارای پشتوانه عملیاتی در بخش مقابله با بحران گردوغبار
- خط مشیهای کلان حکمرانی خوب و مدیریت پایدار منابع این سرزمین
- هدایت مسئولین برای تحقق سیاستها و برنامههای مقابله با پدیده گردوغبار

فهرست

۱	چکیده
۲	۱- مقدمه و کلیات
۳	۱-۱- تعریف طوفان گردوغبار
۴	۱-۲- انواع طبقه‌بندی گردوغبار
۴	۱-۲-۱- تعریف سازمان هواشناسی جهانی
۵	۱-۲-۲- تعریف سازمان هواشناسی استرالیا
۶	۱-۲-۳- تعریف دفتر هواشناسی چین
۷	۱-۳- برخی شاخص‌های گردوغبار
۸	۱-۴- شرایط ایجاد گردوغبار
۸	۱-۵- اثرهای گردوغبار
۱۱	۱-۶- منشأ گردوغبار و عوامل مؤثر در تولید آن
۱۱	۱-۶-۱- مراکز تولید گردوغبار در مقیاس جهانی
۱۳	۱-۶-۲- مراکز تولید گردوغبار در منطقه خاورمیانه
۱۵	۱-۶-۳- مراکز تولید گردوغبار در داخل کشور
۱۶	۱-۶-۴- برخی عوامل مؤثر در تولید گردوغبار
۱۷	۱-۷- محتمل‌ترین مراکز تولید کننده گردوغبار
۱۷	۱-۸- مرور کلی بر ارزیابی ریسک گردوغبار
۲۱	۱-۹- برآورد ریسک خطر گردوغبار
۲۲	۲- مواد و روش‌ها
۲۲	۲-۱- موقعیت و شرایط منطقه
۲۳	۲-۲- روش تحقیق
۲۳	۲-۲-۱- انتخاب ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه
۲۶	۲-۲-۲- داده‌ها و منابع آنها
۲۸	۲-۲-۳- دید افقی
۲۹	۲-۳- ارزیابی ریسک طوفان گردوغبار
۳۲	۳- نتایج

۳-۱- نقشه تیپ عناصر در معرض خطر طوفان گردوغبار.....	۳۲
۳-۲- آسیب پذیری تیپ عناصر در معرض خطر.....	۳۴
۳-۳- ریسک طوفان گردوغبار منطقه مورد مطالعه.....	۳۹
۳-۴- ریسک کلی طوفان گردوغبار منطقه مورد مطالعه.....	۴۴
۳-۵- ریسک نهایی طوفان گردوغبار منطقه مورد مطالعه.....	۴۶
۴- بحث و نتیجه گیری	۴۷
فهرست منابع	۵۰

با توجه به اثرهای تغییر اقلیم و کاربری اراضی، در چند دهه اخیر خسارت بارترین و فراگیرترین بحران محیطی کشور، بروز طوفان گردوغبار به شمار می‌رود. این تحقیق در جنوب غربی ایران با هدف تهیه نقشه ریسک در راستای آمایش و توسعه پایدار کشور و مناطق حساس مرزی انجام شده است. بدین منظور تغییرات طوفان گردوغبار برای ۲۵ ایستگاه سینوپتیک شش استان جنوب غرب ایران شامل: خوزستان، ایلام، کرمانشاه، چهارمحال و بختیاری، لرستان و کهگیلویه و بویراحمد با مساحتی در حدود ۱۶۹۲۶۶ کیلومترمربع در دوره زمانی ۲۲ ساله (۱۹۹۵-۲۰۱۶) مورد تحلیل قرار گرفت. داده‌های مورد استفاده شامل: داده‌های ساعتی ایستگاه‌های زمینی (۸ نوبت در ۲۴ ساعت) می‌باشند. برای تغییرات مکانی مدل‌های مختلفی بر تغییرنماهای تجربی برازش داده شد و مدل با کمترین RMSE انتخاب شده است. سپس به کمک این مدل درون‌یابی با همسایگی‌های مختلف انجام شده است که حاصل آن تعداد زیادی نقشه است. این نقشه‌ها به شبکه سلولی در محیط ARC GIS تبدیل گردید. هرسلول به عنوان یک زون برای 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. در نهایت با محاسبه رابطه خطر، نقشه ریسک سلولی به دست آمد. معنی‌داری تفاوت مساحت‌ها با آزمون آماری کای اسکوئر انجام شد. نتایج حاصل از بررسی سالیانه پدیده طوفان گردوغبار نشان داد که درصد فراوانی طوفان‌های گردوغبار منطقه‌ای و فرامنطقه‌ای طی دوره آماری نشان داد که ۷۴/۹۴ درصد روزهای طوفان گردوغبار از منشأ فرامنطقه‌ای و ۲۵/۰۶ درصد از منشأ منطقه‌ای برخوردار بوده‌اند. با توجه به اینکه بیش از ۶۲ درصد منطقه از درجه ریسک بالای طوفان گردوغبار برخوردار است، امکان پیشنهاد برنامه‌های پیش‌گیری و کنترل و نیز برنامه‌های سازگاری توسعه‌ای منطقه هم‌راستا با اهداف آمایش کشور، حفاظت، احیاء و اصلاح منابع آب و خاک، توانمندسازی ساختار سازمانی و دستیابی به اهداف کنوانسیون UNCCD برای جلوگیری از توسعه بیابان‌زایی و تغییر اقلیم پیشنهاد شده است. این مطالعه به عنوان یک پژوهش کاربردی می‌تواند نسخه خوبی برای مسئولان، مدیران و دست‌اندرکاران بلایای طبیعی و توسعه کشور محسوب شود.

واژه‌های کلیدی: خطر، گردوغبار، جنوب غربی ایران

۱- مقدمه و کلیات

در حال حاضر مدیریت ریسک گردوغبار در مقیاس جهانی و به ویژه در منطقه خاورمیانه به یک چالش جدی تبدیل و ذرات معلق در هوا به یکی از مهمترین آلاینده های تهدید سلامت انسان و تخریب محیط زیست شناخته شده است. ارتباط تنگاتنگ اقلیم با سلامت و سایر جوانب زندگی انسان، بررسی و دیده بانی فعالیت های جوی و ترکیبات وارد شده به این محیط، تغییرات ایجاد شده در آن را ضروری می کند. گردوغبار یکی از پدیده های مخرب جوی است که در بسیاری از مناطق جهان حادث می شود. گاهی وقوع شدید این پدیده موجب کاهش میدان دید کمتر از ۱۰۰۰ متر می شود (سیواکومار، ۲۰۰۵). طوفان های گردوغبار یکی از پدیده های هواشناسی هستند که معمولاً در مناطق خشک و نیمه خشک با بارش سالیانه کمتر از ۲۰۰ تا ۲۵۰ میلیمتر در مواقع وزش تندبادهایی با سرعت بیش از حد آستانه رخ می دهند (شمشیری و همکاران، ۱۳۹۳) که می توانند مناطق را غیر قابل سکونت کنند و باعث آسیب مستقیم به سلامت انسان شوند (کائو^۱ و همکاران، ۲۰۱۵). بروز این پدیده، متأثر از هر دو سیستم زمین و اتمسفر می باشد. به طوری که دلایل اصلی وقوع آن سرعت باد بیش از آستانه، کمبود رطوبت و اراضی لخت بدون پوشش ذکر شده است (شمشیری و همکاران، ۱۳۹۳). طبق تعریف سازمان هواشناسی جهانی، روز همراه با طوفان گردوغبار به روزی اطلاق می شود که میزان دید در یک ایستگاه در اثر پدیده گردوغبار به زیر ۱۰۰۰ متر برسد (میدلتن^۲، ۱۹۸۶b). غرب ایران با توجه به محیط طبیعی و نزدیکی با مناطق منشأ گردوغبار در جنوب غرب آسیا، منطقه ای مستعد رخداد پدیده گردوغبار به طور مکرر و بحرانی است. به طوری که آژانس محیط زیست سازمان ملل (UNEP) در گزارشی وقوع خشکسالی در پهنه های رسوبی و ریزدانه حوضه های آبخیز مناطق جنوب غرب ایران و کشورهای همسایه مانند عراق را با کاهش رطوبت

¹ Cao

² Middleton

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۳

سطحی و زیرسطحی و همچنین از بین رفتن پوشش‌های گیاهی، مهمترین علل تشدید پدیده گردوغبار دانسته است (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۱). همچنین عوامل انسانی مانند احداث سدهای عظیم بر روی رودهای منتهی به حوضه آبخیز بین‌النهرین را می‌توان از عوامل تأثیرگذار بر این رویداد برشمرد (پارتو^۱، ۲۰۰۱).

با توجه به شرایط توپوگرافیکی-اقلیمی ایران و افزایش چشمگیر فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار در چند دهه اخیر در کشور، به‌ویژه در نواحی جنوب‌غرب که مهمترین بحران زیست محیطی آن بروز طوفان گردوغبار قلمداد شده است، بررسی و مطالعه این پدیده را به‌منظور مدیریت بهتر اثرهای زیانبار آن اجتناب‌ناپذیر کرده است. شناسایی و تهیه نقشه میزان شدت 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.

۱-۱- تعریف طوفان گردوغبار

طوفان گردوغبار در مناطق مختلف تعاریف گوناگونی دارد، زیرا این پدیده در مکان‌های گوناگون و در شرایط مختلفی بوجود می‌آید. بر اساس توافق سازمان هواشناسی جهانی، هرگاه در ایستگاهی سرعت باد از ۱۵ متر بر ثانیه تجاوز کند و دید افقی به علت گردوغبار، به کمتر از یک کیلومتر برسد، طوفان گردوغبار گزارش می‌شود. طوفان ماسه‌ای، به بادی اطلاق می‌شود که بتواند ذرات با قطر ۰/۱۵ تا ۰/۳۰ میلی‌متر را با سرعت ۱۵ متر بر ثانیه تا ارتفاع ۱۵ متر (۴۹ پا) جابجا کند، در این حالت طوفان ماسه‌ای است، اما در طوفان گردوغبار، ذرات معلق ریزتر است و جریان‌های رو به بالا می‌تواند این ذرات را به صورت معلق در هوا نگه دارد (دهقانپور، ۱۳۸۴).

¹ Partow

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۴

۱-۲- انواع طبقه‌بندی گردوغبار

۱-۲-۱- تعریف سازمان هواشناسی جهانی^۱

وقوع گردوغبار از نظر میزان دید افقی به چهار طبقه گردوغبار ضعیف با دید کمتر از ۱۰ کیلومتر، گردوغبار متوسط با دید بین ۱ تا ۱۰ کیلومتر، طوفان شدید با دید بین ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ متر و طوفان خیلی شدید با دید کمتر از ۲۰۰ متر تقسیم‌بندی می‌شود (کاسکاوتیس^۲، ۲۰۰۷).

طبق دستورالعمل سازمان هواشناسی جهانی، روز همراه با گردوغبار به روزی گفته می‌شود که حداقل در یکی از ۸ سینوپ (گزارش‌های سه ساعته همدیدی) گزارش شده از ایستگاه هواشناسی، یکی از کدهای مربوط به گردوغبار (شامل کدهای ۰۶، ۰۷، ۳۰ تا ۳۵ و ۹۸) در بخش هوای حال حاضر گزارش شده باشد (محمدی، ۱۳۹۴). بنابراین در وهله اول کدهای ذکرشده از سایر پدیده‌ها و کدهای هوای حاضر تفکیک و شمارش شده‌اند (جدول ۱).

^۱ World Meteorological Organization (WMO)

^۲ Kaskaoutis

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۵

جدول ۱ - کدهای هواشناسی مرتبط با پدیده گردوغبار و شرایط احراز آنها

(یارمرادی و همکاران، ۱۳۹۷)

کد پدیده	شرایط احراز
۰۶	گردوغبار فراگیر و گسترده معلق در هوا که به وسیله باد در ایستگاه یا نزدیکی آن بلند نشد است.
۰۷	گردوغبار یا شنی که در ساعت دیدبانی در اثر وزش باد در ایستگاه یا اطراف آن به هوا بلند شده باشد.
۳۰	طوفان ملایم یا متوسط گردوغبار یا شن که طی ساعت گذشته از شدت طوفان کاسته شده است.
۳۱	طوفان ملایم یا متوسط گردوغبار یا شن که طی ساعت گذشته شدت طوفان تغییری نکرده است.
۳۲	طوفان ملایم یا متوسط گردوغبار یا شن که طی ساعت گذشته بر شدت طوفان افزوده شده است.
۳۳	طوفان شدید گردوغبار یا شن که طی ساعت گذشته از شدت طوفان کاسته شده است.
۳۴	طوفان شدید گردوغبار یا شن که طی ساعت گذشته شدت طوفان تغییری نکرده است.
۳۵	طوفان شدید گردوغبار یا شن که طی ساعت گذشته بر شدت طوفان افزوده شده است.
۹۸	رعد و برق توأم با طوفان گردوغبار

۱-۲-۲- تعریف سازمان هواشناسی استرالیا

چهار تعریف از پدیده گردوغبار که توسط سازمان هواشناسی استرالیا منطبق بر تعاریف سازمان جهانی هواشناسی است، شامل موارد زیر می‌باشد (اسکواپرز^۱، ۲۰۰۱).

۱. طوفان‌های گردوغبار (کد سینوپ این پدیده: ۰۹) در نتیجه آشفتگی جریان‌های بادی بوجود می‌آیند و موجب انتقال مقدار زیادی گردوغبار به جو شده و دید افقی را به کمتر از ۱۰۰۰ متر کاهش می‌دهند.

۲. گردوغبار وزشی (کد سینوپ این پدیده: ۰۷) در اثر بادهایی است که در ارتفاع متوسط (۱/۸ متر) بالای سطح زمین ایجاد می‌شوند و باعث کاهش دید افقی شده، اما کمتر از ۱۰۰۰ متر نیست.

¹ Squires

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۶

۳. گردوغبار تیره (کد سینوپ این پدیده: ۰۶) توسط ذرات گردوغبار که به صورت معلق حمل می‌شوند به وجود می‌آید، این ذرات قبل از وقوع طوفان‌های گردوغبار از سطح زمین بلند می‌شوند.
۴. گردوغبار چرخشی (گردوغبار شیطان، کد سینوپ این پدیده: ۰۸) ستون‌های گردانی از گردوغبار هستند که با باد حرکت می‌کنند و ارتفاع آنها کمتر از ۳۰ متر است (اما ممکن است که به ۳۰۰ متر یا بیشتر برسد) و ابعاد آنها کم است.

۱-۲-۳- تعریف دفتر هواشناسی چین

در چین، زمانی که ذرات ماسه و گردوغبار در یک مکان به هوا بلند می‌شود و دید افقی را به کمتر از یک کیلومتر کاهش دهد، طوفان گردوغبار و یا طوفان ماسه گزارش می‌شود (والکر^۱ و همکاران، ۲۰۰۹). در سال ۱۹۷۹ اداره هواشناسی مرکزی چین (C.C.M.B^۲) چهار کلاس مختلف برای طوفان گردوغبار معرفی کرد که در جدول (۲) آمده است (امیدوار، ۱۳۹۰).

جدول ۲- طبقه‌بندی طوفان‌های گردوغبار (اداره هواشناسی مرکزی چین، ۱۹۷۹)

نام علمی پدیده	نام فارسی	دید افقی (متر)
Dust Haze	غبار	کمتر از ۱۰۰۰۰
Blowing Dust	گردوغبار وزشی	۱۰۰۰-۱۰۰۰۰
Dust Storm	طوفان گردوغبار	۵۰۰-۱۰۰۰
Dust Devil	گردباد	کمتر از ۵۰۰

^۱ Walker

^۲ China Central Meteorological Bureau

۱-۳- برخی شاخص‌های گردوغبار

سازمان حفاظت محیط‌زیست کشور شاخص‌هایی را برای گردوغبار در سال‌های اخیر به شرح زیر بیان کرده است.

میزان غلظت حداکثر: غلظت ذرات معلق بسیار بالا بوده و در بعضی موارد تا ۱۰۰۰ برابر استاندارد نیز گزارش شده است.

اندازه ذرات معلق در هوا: ذراتی با اندازه ۲/۵ میکرون و یا کمتر از آن به میزان بالایی وجود دارد. تداوم دوره زمانی: تداوم زمانی و ماندگاری از ۳ تا ۱۰ روز بوده است که نسبت به دوره‌های مشابه گذشته بیشتر شده است.

تعداد دفعات وقوع: معمولاً متوسط سالیانه رخداد حدود ۱۵ روز یا کمتر بود ولی در حال حاضر در حد ۱۰۰ روز و یا بیشتر هم گزارش می‌شود.

وسعت منطقه تحت تأثیر: از زمان شروع پدیده مذکور تاکنون بر وسعت منطقه تحت تأثیر افزوده شده است، به‌طوری‌که در سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۰ علاوه بر جنوب‌غرب، غرب و شمال‌غرب کشور، در مناطق مرکزی شامل استان‌های تهران، زنجان، اصفهان و ... نیز این پدیده گزارش شده است.

شاخص تجربی طوفان گردوغبار (DSI^1): شاخص مناسبی برای مطالعه فراوانی و شدت فرسایش بادی توسط داده‌های هواشناسی است (ولی و روستایی، ۲۰۱۸؛ وانگ^۲ و همکاران، ۲۰۱۶). این شاخص ترکیبی از روزهای با گردوغبار شدید، متوسط و محلی است. شاخص DSI بر اساس توان تولید رسوب، وزن داده می‌شود. شاخصی بدون بعد است و بدون محدودیت زمانی و مکانی می‌توان از آن استفاده کرد (اولانسی^۳ و همکاران، ۲۰۱۴).

¹ Dust Storm Index

² Wang

³ O'Loingsigh

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۸

شاخص تحرک تپه‌های ماسه‌ای لنکستر: این شاخص بر اساس دو فاکتور که تحرک تپه‌های ماسه‌ای را کاهش یا افزایش می‌دهند، شکل گرفته است. فاکتور اول مربوط به بادخیزی بوده (خوسفی^۱ و همکاران، ۲۰۲۰) که به صورت درصد سالانه روزهایی که سرعت باد بیشتر از سرعت آستانه حرکت ماسه می‌باشد، ارائه شده است. فاکتور دوم که رشد پوشش گیاهی به آن بستگی دارد، به صورت نسبت بین میانگین بارندگی سالانه (P) و قابلیت تبخیر و تعرق (PET) ارائه شده است (زندفر و همکاران، ۱۳۹۹). به این نسبت بارندگی مؤثر اطلاق شده است. پایه و اساس این مدل که تحت عنوان شاخص تحرک تپه‌های ماسه‌ای لنکستر (لنکستر^۲، ۱۹۸۵) شناخته می‌شود، بر اساس مدل توسعه یافته فرسایش بادی محاسبه شده است.

۴-۱- شرایط ایجاد گردوغبار

از مهمترین شرایط ایجاد گردوغبار وجود ذرات ریزدانه در حجم زیاد و همچنین وجود یا عدم وجود رطوبت است، به طوری که اگر هوای ناپایدار، رطوبت کافی داشته باشد، بارش و طوفان رعد و برق و اگر فاقد رطوبت باشد طوفان گردوغبار ایجاد می‌کند. فراوانی ذرات گردوغبار در جو علاوه بر شدت، سرعت باد و خشکی ذرات خاک، به قطر ذرات بستگی دارد. نوع و پوشش گیاهی نیز در شدت وقوع گردوغبار نقش مؤثری ایفا می‌کنند (ذوالفقاری و عابدزاده، ۱۳۸۴).

۵-۱- اثرهای گردوغبار

کاهش قدرت دید یکی از ویژگی‌های اصلی گردوغباری است که علاوه بر آثار ناخوشایند بهداشتی مانند مشکلات تنفسی و ریوی برای انسان و آلوده کردن محیط زندگی انسان‌ها، اختلالاتی را در

1 Khusfi

2 Lancaster

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۹

سیستم‌های حمل و نقل زمینی و هوایی بوجود می‌آورد. بادهای شدید گردوغبار مقدار زیادی خاک و ماسه را از روی زمین‌های خشک با خود بلند کرده و به حالت متحرک و معلق درآمده و هوا را تیره و تاریک می‌نمایند. این هوای اشباع شده از مواد خاکی، ابری را تشکیل می‌دهد که خورشید را پوشانده و یا آن را به صورت قرص گداخته و کم‌رنگ نشان می‌دهد (همتی، ۱۳۷۴).

گردوغبار در جو به عنوان یکی از آلاینده‌ها، پیامدهای منفی گوناگونی دارد که از بین آنها می‌توان به کاهش رشد و بازدهی محصولات کشاورزی، تشدید خسارتهای ناشی از بروز آفات و بیماری‌های گیاهی، افزایش تصادفات جاده‌ای و لغو پرواز هواپیماها و غیره اشاره کرد.

گردوغبار به عنوان پدیده‌ای بارز در مناطق بیابانی، سبب اختلال در فعالیت‌های انسانی، کشاورزی، زیرساخت‌های اجتماعی، حمل و نقل و صنایع می‌گردد. همچنین حجم فراوان ذرات حمل شده به جو، بیان انرژی را تحت تأثیر قرار می‌دهد که متعاقب آن شرایط اقلیمی نواحی نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد (تاکمی و سینو^۱، ۲۰۰۵).

یکی دیگر از مهمترین پیامدهای محیط‌زیستی رخداد گردوغبار در جو، اثر عمده آن بر اقلیم است. گردوغبار می‌تواند بر روی درجه حرارت، جذب و پخش تابش خورشید با تغییر در تابش موج کوتاه ارسالی به سطح زمین و تابش موج بلند از زمین اثر بگذارد. با این حال، توازن بین این دو گرایش که گردوغبار باعث گرم شدن و یا سرد شدن می‌شود به متغیرهای زیادی از جمله اندازه ذرات گردوغبار و ترکیبات شیمیایی آنها وابسته است (گودی و میدلتون^۲، ۲۰۰۱).

دکتر دیدید توماس^۳ (۲۰۱۵) از دانشگاه آکسفورد بر این باور است که مدل‌های اقلیمی فاقد شناسایی نقش دقیق گردوغبار هستند. همین موضوع می‌تواند میزان دقت را محدود کند. در واقع

¹ Takemi & Seino

² Goudie & Middleton

³ David Thomas

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۱۰

گردوغبار یکی از بخش‌های گمشده پازل در مدل‌سازی است (انصافی‌مقدم، ۱۳۹۶). وی افزود از یکسو وجود گردوغبار بیشتر در هوا به مفهوم کاهش پرتوهای خورشیدی جدید با موج کوتاه و گرمای کمتر است، از سوی دیگر پوشش ایجاد شده توسط گردوغبار در جو می‌تواند میزان از دست رفتن گرما را پایین آورد و در نتیجه با گرمای بیشتری روبه‌رو شویم. در حقیقت میزان بیشتر گردوغبار در جو به این معنی است که هوای گرم بیشتری به دام می‌افتد (توماس، ۲۰۱۵). ذرات گردوغبار از طریق انعکاس و جذب نور خورشید به طور مستقیم در تغییرات آب و هوایی مؤثر است (تاناکا^۱، ۲۰۰۶). رسوب ذرات گردوغبار بر سطوح یخ، مانع بازتابش نور و در نتیجه ذوب یخ‌ها شده که این مسئله اثرهای اکولوژیکی زیادی را به همراه خواهد داشت (وانگ و همکاران، ۲۰۰۵).

بارندگی مهمترین متغیری است که تغییرات آن به طور مستقیم در رطوبت خاک، جریان‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی بازتاب پیدا می‌کند. بنابراین نخستین پارامتری است که می‌تواند در مطالعه ترسالی و خشکسالی مورد توجه قرار گیرد. این پارامتر ارتباط مستقیمی با سامانه‌های بارشی ورودی به ایران و همچنین منابع رطوبتی که رطوبت را به درون سامانه‌ها تزریق می‌کند، دارد. بارش پدیده‌ای بسیار پیچیده و غیرخطی است که نسبت به زمان و مکان متغیر است. عوامل زیادی در تغییرات آن دخالت دارند که می‌توان آنها را به دو دسته کلی عوامل سینوپتیکی و جغرافیایی تقسیم کرد (انصافی‌مقدم، ۱۳۹۶). ذرات معلق، هوا و آب و هوا را به دو روش تحت تأثیر قرار می‌دهد: از طریق اثرهای مستقیم و از طریق اثرهای غیرمستقیم. گردوغبار یکی از اجزای مهم هواویز جو است که به عنوان یک متغیر ضروری آب و هوا شناخته شده است. اثر مستقیم به پراکندگی و جذب تابش توسط هواویز که بر موازنه تابشی سیستم جو زمین تأثیر می‌گذارد برمی‌گردد. اثر غیرمستقیم آن با توجه به هواویز موجود در هوا به تغییر

¹ Tanaka

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۱۱

خواص تابشی، مقدار و طول عمر ابرها توسط فرایندهای میکروفیزیکی اشاره دارد و از این رو به تغییر بازتاب ابر و موجودی تشعشع زمین برمی گردد (پنر^۱، ۲۰۰۱).

۱-۶- منشأ گردوغبار و عوامل مؤثر در تولید آن

منشأ ظهور پدیده گردوغبار در جهان به عنوان بخشی از آثار و عوارض فرسایش بادی، به طور کلی مختص مناطق خشک و نیمه خشک است، اگرچه دامنه اثرهای آن ممکن است به بخش‌های وسیع‌تر و حتی مناطق مرطوب و نیمه مرطوب هم گسترش یابد (غفاری و مصطفی‌زاده، ۱۳۹۴).

۱-۶-۱- مراکز تولید گردوغبار در مقیاس جهانی

فرایند تغییر اقلیم و پدیده بیابان‌زایی از جمله عوامل تعیین‌کننده در تولید گردوغبار در سطح جهان می‌باشد که از روند رو به رشدی در سطح زمین برخوردار است و خشکسالی از آن ناشی می‌شود (رضایی و عطایی، ۱۳۹۴). اثبات وقوع این پدیده به سهولت امکان‌پذیر نیست و نیازمند بررسی‌های آماری جامع و طولانی‌مدت پارامترهای جوی می‌باشد، هر چند روند افزایش دمای سطح زمین و افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و نیز روند رو به رشد تولید ذرات معلق و غبارها تقریباً قطعی است. نوسان‌های آب و هوایی که بیابان‌زایی را سبب می‌شوند، بیشتر به کاهش میزان بارندگی، کاهش میزان رطوبت، افزایش دما به‌ویژه در فصل تابستان، افزایش میزان خشکی، افزایش میزان تبخیر و تعرق، وزش بادهای گرم و سوزان و کاهش پوشش گیاهی (بر اثر وزش باد) ارتباط دارند.

باد و آب به عنوان دو عامل اقلیمی مهم که دارای تغییرات و نوسانهای نسبتاً زیادی هستند در شکل‌گیری مناطق خشک و بیابانی نقش بسزایی را ایفا می‌کنند. وقوع پدیده‌های فرسایش آبی و بادی،

¹ Penner

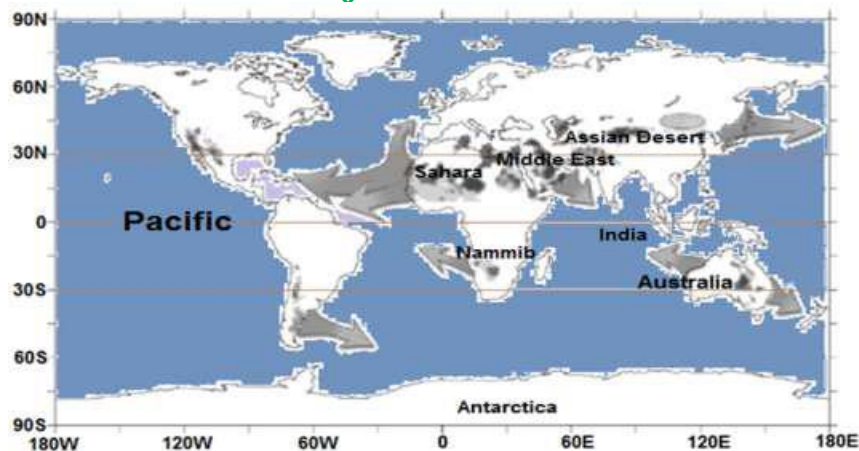
تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۱۲

در گسترش بیابان‌ها و از دست رفتن خاک زمین‌های حاصلخیز نقش عمده‌ای داشته و تبعات منفی خشکسالی را تشدید می‌کند.

مراکز تولید گردوغبار معمولاً مناطق خشکی هستند که دارای بارش سالیانه کمتر از ۲۰۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر بوده و به لحاظ توپوگرافی در منطقه‌ای پست واقع شده باشند. بیشتر مناطق اصلی تولید غبار، در گذشته به طور متناوب به زیر آب رفته‌اند و هم اکنون پس از گذشت زمان و رسوب‌گذاری‌های متناوب، تبدیل به مناطق آبرفتی عمیقی شده‌اند. بسیاری نیز مناطقی بوده‌اند که بشر به مدت زیادی در آنها سکونت کرده و آنها را مورد بهره‌برداری قرار داده است، مانند آبرفت‌های رودخانه دجله و فرات، جنوب غربی آمریکای شمالی و سرزمین‌های شمالی چین. باوجود این بزرگ‌ترین و فعال‌ترین مراکز تولید غبار آنهایی هستند که فعالیت بشری در آنها به چشم نمی‌خورد. همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است بزرگ‌ترین و پایدارترین منابع تولید غبار در نیمکره شمالی زمین قرار دارد. این مراکز مانند کمربندی از غبار، از سواحل شمال غربی آفریقا آغاز شده و ضمن عبور از خاورمیانه و آسیای مرکزی و جنوبی به چین می‌رسد. به جرأت می‌توان گفت که در خارج از این محدوده به سختی می‌توان منطقه‌ای را یافت که منشأ مهمی در تولید غبار است. به عبارت دیگر، نیمکره جنوبی را می‌توان عاری از هر گونه کانون غبار دانست (پراسپرو^۱ و همکاران، ۲۰۰۲).

¹ Prospero

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۱۳



شکل ۱- مراکز فعال تولید گردوغبار در جهان

این طوفان‌ها در چهار ناحیه مهم در جهان اتفاق می‌افتند: آسیا، شمال آمریکا، مرکز آفریقا، ساحل و استرالیا (انصافی مقدم، ۱۳۹۶).

۱-۶-۲- مراکز تولید گردوغبار در منطقه خاورمیانه

مناطق فعال و تأثیرگذار دچار فرسایش بادی در خاورمیانه، شامل فرات غربی، حوزه دجله و فرات و بیابان سوریه است. فلات غربی از مناطق مرتفع غربی که دارای ارتفاع ۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر هستند و در کنار دریای سرخ قرار دارند، به سرزمین‌های تخت شمال شرقی (۵۰ تا ۲۰۰ متر) در سواحل خلیج فارس منتهی می‌شوند که تقریباً شیب رو به پایین مستمر دارند. یکی از بزرگترین بیابان‌های ماسه‌ای دنیا، ربع‌الخالی با مساحت ۵۲۸۷۵۰ کیلومتر مربع است که بیشتر سرزمین جنوبی داخلی شبه‌جزیره عربستان را اشغال کرده است.

هشت منبع اصلی گردوغباری منطقه خاورمیانه به شرح زیر است:

- کانون شماره ۱: در جنوب عربستان قرار دارد و بخش وسیعی از مناطق جنوبی عربستان، عمان، یمن و دریای سرخ را تحت تأثیر قرار می‌دهد، در همه فصل‌ها با شدت خیلی زیاد فعال است.

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۱۴

- کانون شماره ۲: در شمال امارات، کشورهای امارات متحده عربی، عربستان، قطر، بحرین، دریای عمان و بندر مکران را متأثر می‌کند. این کانون، در شرایط خاص جوی و در فصل‌های بهار و زمستان مناطق جنوبی ایران شامل استان‌های هرمزگان، فارس و کرمان را تحت تأثیر قرار می‌دهد.
- کانون شماره ۳: در شمال عربستان واقع شده، در همه فصل‌ها با شدت زیاد فعال است. این کانون کشورهای عربستان، اردن، عراق، سوریه و کویت همچنین خلیج فارس و دریای سرخ را متأثر می‌کند. این کانون در فصل زمستان در شرایط خاص جوی می‌تواند مناطق جنوب غربی ایران شامل استان‌های خوزستان، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد و بوشهر را نیز تحت تأثیر قرار دهد.
- کانون شماره ۴: در جنوب غربی عراق، کشورهای عراق، قطر، بحرین، امارات متحده عربی، کویت و همچنین خلیج فارس را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این کانون در فصل بهار، تابستان و زمستان می‌تواند مناطق جنوب و جنوب غربی ایران را نیز تحت تأثیر قرار دهد.
- کانون شماره ۵: در شمال عراق، در فصل بهار و تابستان با شدت خیلی زیاد و در زمستان با شدت متوسط فعالیت می‌کند. این کانون کشورهای عراق، قطر، بحرین، امارات متحده عربی، کویت، خلیج فارس و نیمه غربی ایران شامل استان‌های کردستان، همدان، کرمانشاه، ایلام، لرستان، خوزستان، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد، بوشهر، اردبیل، آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و زنجان را می‌تواند در شرایط جوی مختلف تحت تأثیر قرار دهد.
- کانون شماره ۶: در کشور ترکمنستان واقع شده است، کشورهای ترکمنستان و افغانستان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مناطق شمال شرقی ایران و سواحل جنوبی دریای خزر شامل استان‌های خراسان شمالی، خراسان رضوی، گیلان، مازندران و گلستان است که در فصل بهار و تابستان ممکن است از کانون شماره ۶ متأثر شوند.
- کانون‌های شماره ۷ و ۸: در جنوب افغانستان قرار دارد و کشورهای افغانستان، پاکستان و بندر مکران را متأثر می‌کند. کانون شماره ۷ در فصل زمستان در شرایط جوی خاص می‌تواند استان سیستان و بلوچستان واقع در جنوب شرقی ایران را تحت تأثیر قرار دهد.

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۱۵

تناسب و نوسان فصلی گردوغبار در خاورمیانه، پیچیده و برای مناطق مختلف، متفاوت است. در بیشتر مناطق شبه جزیره عربستان گردوغبار در تمامی مواقع سال مشاهده می شود، ولی به طور نسبی در فصل زمستان شاهد روزهای گردوغباری کمتری هستیم، در شبه جزیره فعالیت گردوغباری در ماه های مارس و آوریل گسترش یافته، در ژون و جولای به اوج خود رسیده و در سپتامبر ضعیف می گردد. طوفان های ماسه سنگین معمولاً یک پدیده تابستانی هستند که همراه با باد شمال تولید می شوند، بیشتر گردوغبارها نیز همراه با این باد می آیند و اغلب آنها در دریای عربی و خلیج فارس نشست می کنند. در بعضی مناطق مانند اردن، عراق شمالی و قسمت شمال عربستان فصل پیک طوفان های گردوغباری، بهار است (ژان^۱ و همکاران، ۲۰۰۴).

۱-۶-۳- مراکز تولید گردوغبار در داخل کشور

ایران کشور پهناوری است که به علت موقعیت خاص و ویژگی های توپوگرافیک، از آب و هوای گوناگونی برخوردار است. میزان بارندگی متوسط سالیانه آن در حدود ۲۲۴ تا ۲۷۵ میلی متر ذکر شده است، بدین ترتیب حدود یک سوم متوسط بارندگی خشکی ها حدود ۸۰۰ میلی متر است که کمتر از یک سوم بارندگی متوسط کره زمین ۱۱۳۳ میلی متر (مجموع بارندگی دریاها و خشکی های سراسر کره زمین) می باشد (مرکباتی، ۱۳۸۷). به همین دلیل، قسمت زیادی از ایران در قلمرو آب و هوای خشک جهان قرار می گیرد. به طور کلی پراکندگی جغرافیایی مجموع درصد خشکسالی محاسبه شده در نواحی جنوبی کشور از گستردگی زیادتری برخوردار است و هرچه از بخش های جنوبی و مرکزی کشور فاصله گرفته می شود، از شدت و فراوانی خشکسالی ها نیز کاسته می شود.

¹ Xuan

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۱۶

دلیل این موضوع، تأثیر سیستم‌های پرفشار جنب حاره‌ای است که مقادیر بارندگی بخش‌های جنوبی کشور را نسبت به بخش‌های شمالی و غربی به‌طور محسوس کاهش داده و مانع از تأثیر سیستم‌های شمالی و غربی به این مناطق می‌شود. به‌طور کلی باید گفت که وقوع خشکسالی از ویژگی‌های اصلی آب و هوای ایران محسوب می‌شود که هم در قلمرو آب و هوای مرطوب و هم خشک قابل مشاهده است. این حالت در نتیجه وجود نوسانهای آب و هوایی شدید در مقیاس‌های مختلف زمانی حاصل می‌شود. ویژگی‌های خشکسالی ایران نشان می‌دهد که به‌طور کلی هیچ منطقه‌ای از کشور، از این پدیده در امان نیست و به نسبت موقعیت طبیعی خود اثرهای این پدیده مخرب را تجربه می‌نماید و بخش‌های جنوبی، جنوب‌غربی و شرقی و مرکزی کشور به علت نوسانهای بیشتر در مقادیر بارندگی، آسیب‌پذیری بیشتری دارند (افراخته، ۱۳۹۴).

۱-۶-۴- برخی عوامل مؤثر در تولید گردوغبار

امروزه برای یافتن تمام عوامل مؤثر در تولید گردوغبار، تحقیقات و پژوهش‌های فراوانی در حال انجام است. برخی از مهمترین این عوامل عبارت است از:

الف: تندبادها (بادهایی که سرعت آنها از سرعت آستانه، سرعتی که در آن فرایند فرسایش توسط باد آغاز می‌گردد، بیشتر باشد)؛

ب: کمبود پوشش سطح زمین که اندازه حرکت ناشی از نیروی وزش باد به ذرات را کاهش دهد، پوشش‌های گیاهی (چمنزار و صخره‌ها از بهترین لایه‌های محافظ خاک در مقابل فرسایش می‌باشد)، موانع طبیعی مانند تخته سنگ‌ها و موانع مصنوعی مانند سنگ‌فرش‌ها و هر ترکیب مشابهی که اثر ناشی از نیروی وزش باد به ذرات را کاهش دهد. هرگاه سیستمی از ذرات با قطرهایی در محدوده ۸۰ تا ۱۲۰ میکرون تشکیل شده باشد، فرایند فرسایش توسط باد در سرعت‌های کمتری به وقوع خواهد پیوست، به عبارت دیگر، سرعت آستانه فرسایش باد کاهش خواهد یافت؛

ج: کاهش چسبندگی بین ذرات خاک که خود به میزان رطوبت خاک بستگی دارد.

۱-۷- محتمل ترین مراکز تولید کننده گردوغبار

از نظر ژیلت (۱۹۹۹) محتمل ترین مراکز تولید کننده گردوغبار عبارت است از:

الف: نقاطی که فاقد هر گونه پوشش گیاهی و سنگی هستند، یا به دلایلی از این گونه پوشش ها به طور پراکنده برخوردار می باشند؛

ب: رسوبات های شنی که با جریان های زودگذر رودخانه های فصلی به روی یکدیگر انباشته شده اند. این رسوبات به دلیل داشتن اندازه کوچک و سطحی صاف، فاقد دانه بندی مقاوم در برابر فرسایش هستند و به دلیل داشتن حداقل سرعت آستانه، به راحتی توسط باد فرسوده می شوند. در صورت شنی نبودن رسوبات، خاک هایی از جنس سیلت و رس نیز با مشکل مشابهی رو به رو خواهند شد؛

ج: صافی و هموار بودن، که اگر از حدی کمتر باشد، منجر به کاهش سرعت اصطکاک آستانه و نیز کمتر شدن اثر در دام افتادن دانه ها در یکدیگر خواهد شد. نبودن همواری در سطح، از ضریب دراگ کاسته و در افزایش سرعت باد مفید خواهد بود؛

د: بسترهای رسوبی آشفته و فاقد پیوستگی و انسجام مناسب؛

ه: بسترهای رسوبی ضخیم؛

و: مناطقی که لحاظ توپوگرافی در نقاطی واقع شده اند که محل عبور بسیاری از تندبادها هستند؛

ز: دریاچه های خشک شده، هامون ها و دریاچه های نمک که رطوبت خاک در آنها بسیار پایین می باشد؛

ح: طوفان های شدید.

۱-۸- مرور کلی بر ارزیابی ریسک گردوغبار

گردوغبار یکی از پدیده های هواشناسی است که در مناطق خشک و نیمه خشک رخداد بیشتری دارد و در بسیاری از مناطق به عنوان یک پدیده مخرب اقلیمی شناخته می شود. این پدیده تحت تأثیر شرایط خاص جوی رخ می دهد و برای شناخت چگونگی ایجاد و انتشار آن نیاز به پردازش داده های آب و هواشناسی است. در صورت شناخت فرایند تکوین آن می توان آسیب های آن را کاهش و یا با آن مقابله کرد. در سطح جهان تحقیقاتی درباره چگونگی ایجاد گردوغبار با استفاده از روش های آماری-

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۱۸

سینوپتیکی و سنجش از دوری استفاده شده است. خلاصه‌ای از مرور منابع علمی در زمینه ریسک گردوغبار در داخل و خارج از کشور در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳- خلاصه‌ای از مرور منابع علمی در زمینه ارزیابی ریسک گردوغبار

نام محقق	سال	زمینه کاربرد	نتایج
جوهری	۱۳۹۳	بررسی و مدل‌سازی تغییرات زمانی و مکانی گردوغبار منطقه جنوب غرب ایران با توجه به روش‌های زمین آمار	مدل تابع انتقال برازش مناسب و موفقیت‌آمیزی در پیش‌بینی حداقل مطلق دید افقی داشته است و پراکنش الگوی فضایی نقشه خطر شدت گردوغبار دارای خوشه‌ای متوسط است و از نظم خاصی پیروی می‌کند
غلامی و همکاران	۱۴۰۰	بررسی خشکسالی با استفاده از شاخص SPEI و ارتباط آن با وقوع گردوغبار	ارتباط مستقیم و معنی‌دار میان خشکسالی هواشناسی و تعداد روزهای غبارآلود در استان داد. به‌نحوی که بیشترین همبستگی مربوط به ماه‌های فوریه، جولای، ژوئن، آگوست و می می‌باشد. بیشترین سطح معناداری نیز به فصل زمستان و تابستان و بعد بهار اختصاص دارد. همچنین همبستگی متقاطع نیز حکایت از آن دارد که رویداد گردوغبار همزمان و یک ماه پس از آن بیشترین تأثیر را از خشکسالی می‌پذیرد.
درگاهیان و رضوی‌زاده	۱۴۰۱	مدل‌سازی سهم اهمیت شاخص‌های اقلیمی و نمایه‌های تغییر اقلیم مؤثر بر گردوغبار	عامل متوسط حداقل رطوبت، بارش مؤثر و فراوانی رخداد باد و دو روز مرطوب متوالی به ترتیب بیشترین سهم اهمیت را در رخداد گردوغبارهای خارجی داشته‌اند. در رخداد گردوغبارهای داخلی و یا با منشأ اطراف ایستگاه، متوسط رطوبت و سرعت باد ۶ متر بر ثانیه، خشکسالی SPEI و باد با سرعت ۱۵ متر بر ثانیه به ترتیب اهمیت قرار دارد. آگاهی از میزان اهمیت عوامل اقلیمی در رخداد گردوغبار می‌تواند تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان را برای ارائه راهکارهای مقابله مناسب‌تر با این پدیده یاری کند.
گائو ^۱ و همکاران	۲۰۱۲	تأثیرات ناهنجاری‌های آب و هوایی در طوفان‌های گردوغبار	هرچند از سال ۱۹۶۱ تا سال ۲۰۰۸ از فراوانی کلی طوفان‌های گردوغبار در این منطقه کاسته شده ولی

¹ Gao

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۱۹

نام محقق	سال	زمینه کاربرد	نتایج
		بر روی افزایش زمین‌های شنی در شمال شرق چین طی سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۰۱ افزایش یافته است	زمین‌های شنی طی فعالیت‌های گردوغبار به‌ویژه بین سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۰۱ افزایش یافته است
اکبری و فرحبخشی	۲۰۱۵	آنالیز و ردیابی خطر گردوغبار در سال‌های اخیر در استان کرمانشاه	وجود سیستم‌های کم فشار در مناطق مرکزی و جنوبی ایران می‌توانند منجر به همگرایی و مکش هوا در نزدیکی سطح زمین و حرکت گردابی مثبت قوی شوند که در حرکت‌های چرخندی در مناطق غربی ایران از جمله کرمانشاه ایجاد می‌شود
خانی‌آبادی و همکاران	۲۰۱۷	تأثیر طوفان‌های گردوغبار خاورمیانه بر سلامت انسان در ایلام در طول یک دوره یکساله	در معرض آلاینده‌های هوا قرار گرفتن، به‌ویژه هنگام رخداد گردوغبار خاورمیانه، منجر به افزایش بیش از حد بستری شدن در بیمارستان برای بیماری مزمن انسدادی ریه و افزایش مرگ و میر تنفسی می‌شود
گودرزی و همکاران	۲۰۱۷	بررسی اثرهای ذرات جامد (PM)، برابر یا کمتر از ۱۰ میکرومتر در قطر آبرودینامیکی (PM ₁₀)، از وقایع گردوغبار خاورمیانه بر روی سلامت عمومی در کرمانشاه	تعداد موارد پیش‌بینی شده اضافی برای مرگ و میر تنفسی، پذیرش بیمارستان برای بیماری مزمن انسدادی ریه، بیماری‌های تنفسی و بیماری‌های قلبی عروقی از ۲۱ مارس ۲۰۱۴ تا ۲۰ مارس ۲۰۱۵ به ترتیب ۳۷، ۳۹، ۴۷۶ و ۱۸۴ نفر است
دایاز ^۱ و همکاران (۲۰۱۷)	۲۰۱۷	بررسی نفوذ گردوغبار صحرای آفریقا در مرگ و میر روزانه در مناطق مختلف اسپانیا	ماده تیتانیوم (PM) در روزهایی با نفوذ، با مرگ و میر روزانه مرتبط است، چیزی که در روزهای بدون نفوذ رخ نمی‌دهد، نشان می‌دهد که گردوغبار ممکن است عامل خطر برای مرگ و میر روزانه باشد
چن ^۲ و همکاران	۲۰۱۸	بررسی و مدل‌سازی گردوغبار در شرق آسیا با استفاده از مدل WRF-Chem ^۳	گردوغبار تابستانی در شرق آسیا تأثیر مهمی در میزان تابش در سیستم اتمسفر زمین دارد. گردوغبار جو را با حداکثر میزان گرمایی ۰/۱۴ k در روز گرم می‌کند و به‌طور مؤثر

¹ Díaz

² Chen

³ Weather Research and Forecasting model coupled with Chemistry

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۲۰



نام محقق	سال	زمینه کاربرد	نتایج
		و آنالیز داده‌های ماهواره‌ای	پایداری جو را تحت تأثیر قرار می‌دهد.
مدهاوان ^۱ و همکاران	۲۰۱۸	شناسایی گردوغبار در صحرای آفریقا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای	شناسایی گردوغبار با به‌کارگیری کانال‌های اضافی مادون قرمز بهبود یافت. به‌طوری‌که پیکسل‌های گردوغبار از سایر آئروسول‌ها مانند سولفات و کربنیک قابل تفکیک بودند.
مونتیرو ^۲ و همکاران	۲۰۲۲	ارزیابی تأثیر چندبخشی یک رویداد گردوغبار شدید آفریقا در شرق مدیترانه در مارس ۲۰۱۸	هزینه اثرهای مستقیم و غیرمستقیم دوره گردوغبار با در نظر گرفتن بیشترین آسیب‌پذیری بخش‌های اجتماعی-اقتصادی (مانند حفاظت مدنی، هوانوردی، سلامت و تولید انرژی خورشیدی)، بین ۳/۴ تا ۳/۸ میلیون یورو برآورد شده است. از آنجایی که چنین اپیزودهای انتقال گردوغبار بیابانی طبیعی، مبتنی بر هواشناسی است، بنابراین تا حد زیادی اجتناب‌ناپذیر هستند، استدلال شده است که کارایی اقدامات برای کاهش اثرهای گردوغبار به دقت پیش‌بینی عملیاتی گردوغبار و اجرای سیستم‌های هشدار اولیه مربوطه برای آگاهی اجتماعی بستگی دارد.
بارنابا ^۳ و همکاران	۲۰۲۲	ارزیابی چندساله تأثیر گردوغبار بیابان بر کیفیت هوا در ایتالیا با ترکیب داده‌های PM10 با مدل‌های مبتنی بر فیزیک و زمین‌آمار	تأثیر گردوغبار بر میانگین سالانه PM10 دارای یک گرادینان عرضی واضح است (از کمتر از ۱ تا بیشتر از ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب از شمال به جنوب ایتالیا) که این ویژگی عمدتاً ناشی از افزایش تعداد دوره‌های گردوغبار است. بعکس، میانگین روزانه PM10 ($\cong 12 \mu\text{g}/\text{m}^3$) گردوغبار در سراسر کشور همگن‌تر است و عمدتاً تحت تأثیر نوع سایت است.

¹ Madhavan

² Monteiro

³ Barnaba

۱-۹- برآورد ریسک خطر گردوغبار

خطر به معنی شرح شدت پدیده گردوغبار است (اونق، ۱۳۸۸). خسارت^۱ احتمالی و یا خطر، امروزه دارای معانی گسترده و ابعاد چندگانه‌ای است که به موضوعات ایمنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی وابسته است. معنی متفاوتی که عموماً ناشی از کاربردهای مختلف مراجع تصمیم‌گیرنده است، باعث شده که نتوان تعریف مشخصی را برای این واژه ارائه کرد. یکی از مشکلات تعریف فنی خطر، وسعت کاربرد آن در علوم مختلف است. شاید بهترین تعریف برای ریسک بیان رابطه (۱) بین پارامتر (عنصر) و واژه خطر باشد (مسنر و مایر^۲، ۲۰۰۵). مهمترین تعریف برای ریسک عبارت است از:

رابطه (۱)

درجه آسیب‌پذیری تیپ عناصر × تیپ عناصر در معرض خطر × شدت خطر = ریسک

ریسک کلی^۳ (عمومی)، شامل احتمال خسارت همه تیپ عناصر آسیب‌پذیر در منطقه خطر از جان، مال و ریسک جزئی^۴ (ویژه)، در این حالت به تیپ عناصر خاص و مورد نظر نیز آسیب می‌رسد (منازل، تأسیسات و ...). برای بررسی میزان ریسک تغییرات آب و هوایی توسط IPCC^۵، فرمول زیر به شکل رابطه (۲) آمده است.

رابطه (۲)

درجه آسیب‌پذیری × بزرگی × احتمال خطر = ریسک

به‌طورکلی در هر علمی که عدم قطعیت و احتمال وجود داشته باشد، ریسک نیز یک پارامتر مهم تلقی می‌شود. نکته قابل تأمل در مهندسی ریسک که باید به آن توجه شود، تفاوت بین دو واژه ارزش و

^۱ Risk

^۲ Messner & Meyer

^۳ Total Risk

^۴ Partial Risk

^۵ Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC

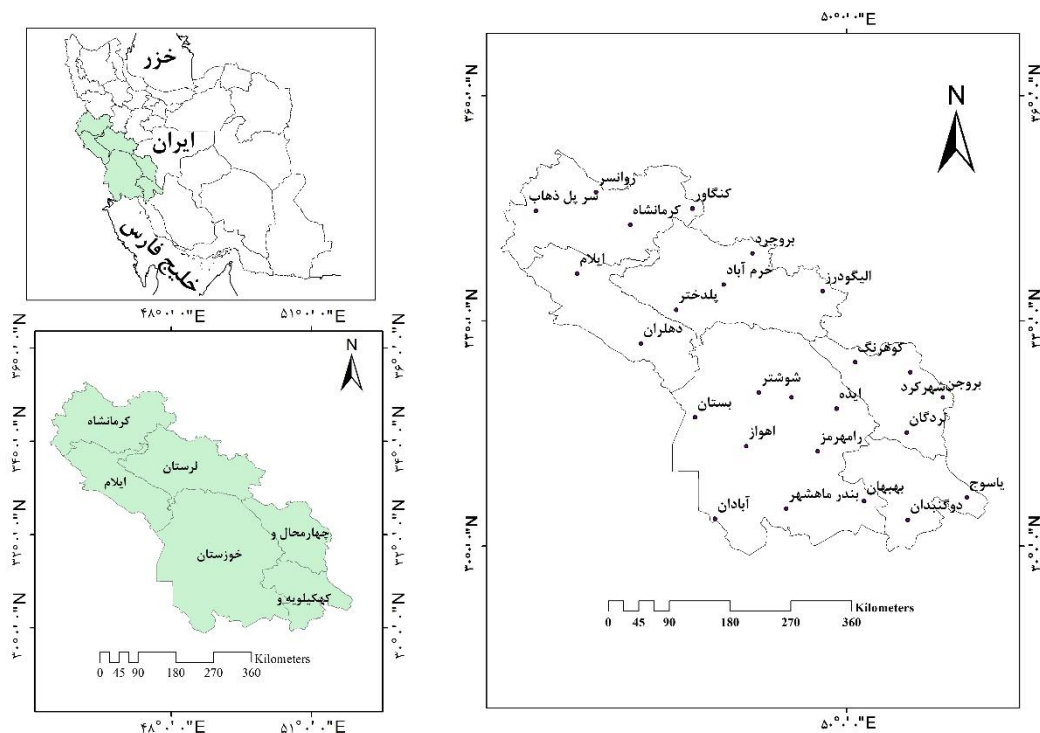
هزینه یا قیمت هر جزء است. همیشه باید توجه کرد که ارزش اجزاء بیش از هزینه‌ای است که برای آن در نظر گرفته می‌شود (آرامی، ۱۳۹۳).

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت و شرایط منطقه

منطقه مورد مطالعه این تحقیق نواحی جنوب غرب ایران شامل استان‌های خوزستان، ایلام، کرمانشاه، لرستان، چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد است. این منطقه در موقعیت جغرافیایی 29° تا 35° عرض شمالی و $45^{\circ} 21' 9''$ تا $51^{\circ} 57' 18''$ طول شرقی و مساحتی حدود 168480 کیلومتر مربع (برابر ۱۰ درصد کل کشور) را دربرگرفته است. این منطقه از شمال با استان‌های کردستان، همدان و مرکزی، از جنوب با استان بوشهر و خلیج فارس، از شرق با استان‌های اصفهان و فارس و از غرب با کشور عراق هم‌مرز است (شکل ۲). در این منطقه واحد مرتفع زاگرس، جلگه پست و کم ارتفاع خوزستان مهمترین واحدهای توپوگرافی بشمار می‌روند. قرارگرفتن ارتفاعات زاگرس با امتداد شمال غربی-جنوب شرقی که خود همانند سدی جلوی عبور گردوغبارهای وارده به این نواحی که در حدفاصل دشت و زاگرس قرار دارند را گرفته و خروج این پدیده نیز به زمان بیشتری نسبت به بقیه مناطق استان دارد. همچنین این منطقه از سمت غرب با بیابان‌های عراق و عربستان هم‌مرز است. تراکم بالای جمعیت، استخراج گاز و نفت، انواع مختلف کشت محصولات کشاورزی، وجود منابع آب و جلگه خوزستان که از دیرباز بعنوان جلگه حاصلخیز دارای ارزش اقتصادی و سیاسی بوده و همچنین موقعیت مرزی استان‌های کرمانشاه و ایلام، نشان‌دهنده اهمیت این منطقه می‌باشد. پدیده‌های خشکسالی، سیل و گردوغبار از مهمترین مخاطرات اقلیمی این منطقه به‌شمار می‌روند.

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۲۳



شکل ۲- نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران

۲-۲- روش تحقیق

در این قسمت به شرح مراحل داده سازی و تحلیل تحقیق پرداخته می شود. برای بررسی موضوع، یافتن مستندات علمی و تحقیق درباره پیشینه پژوهش های انجام شده در این زمینه و مرتبط به آن از مقالات، پایان نامه ها، سایت های علمی مرتبط با موضوع گردوغبار، گزارش ها و طرح های انجام شده توسط سازمان های مربوطه استفاده شده است.

۲-۲-۱- انتخاب ایستگاه های هواشناسی مورد مطالعه

برای انجام این تحقیق، به دلیل انتخاب ایستگاه های مطالعه شده پس از بررسی آمار دریافت شده از سازمان هواشناسی کشور تعداد ۲۵ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک که دارای کامل ترین و طولانی ترین دوره آماری بوده اند با توجه به موقعیت آنها برای یک دوره آماری مشترک ۲۲ ساله (۱۹۹۵-۲۰۱۶) برای

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۲۴

انجام محاسبات و تهیه نمودارها انتخاب شدند (شکل ۳). چندین ایستگاه به دلیل کوتاه بودن طول آمار ثبت شده حذف شدند و در نهایت نه ایستگاه سینوپتیک از استان خوزستان، دو ایستگاه سینوپتیک از استان ایلام، چهار ایستگاه سینوپتیک از استان لرستان، چهار ایستگاه سینوپتیک از استان کرمانشاه، چهار ایستگاه سینوپتیک از استان چهارمحال و بختیاری و دو ایستگاه سینوپتیک از استان کهگیلویه انتخاب شده است (جدول ۴).

جدول ۴- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه طی دوره آماری ۱۹۹۵-۲۰۱۶

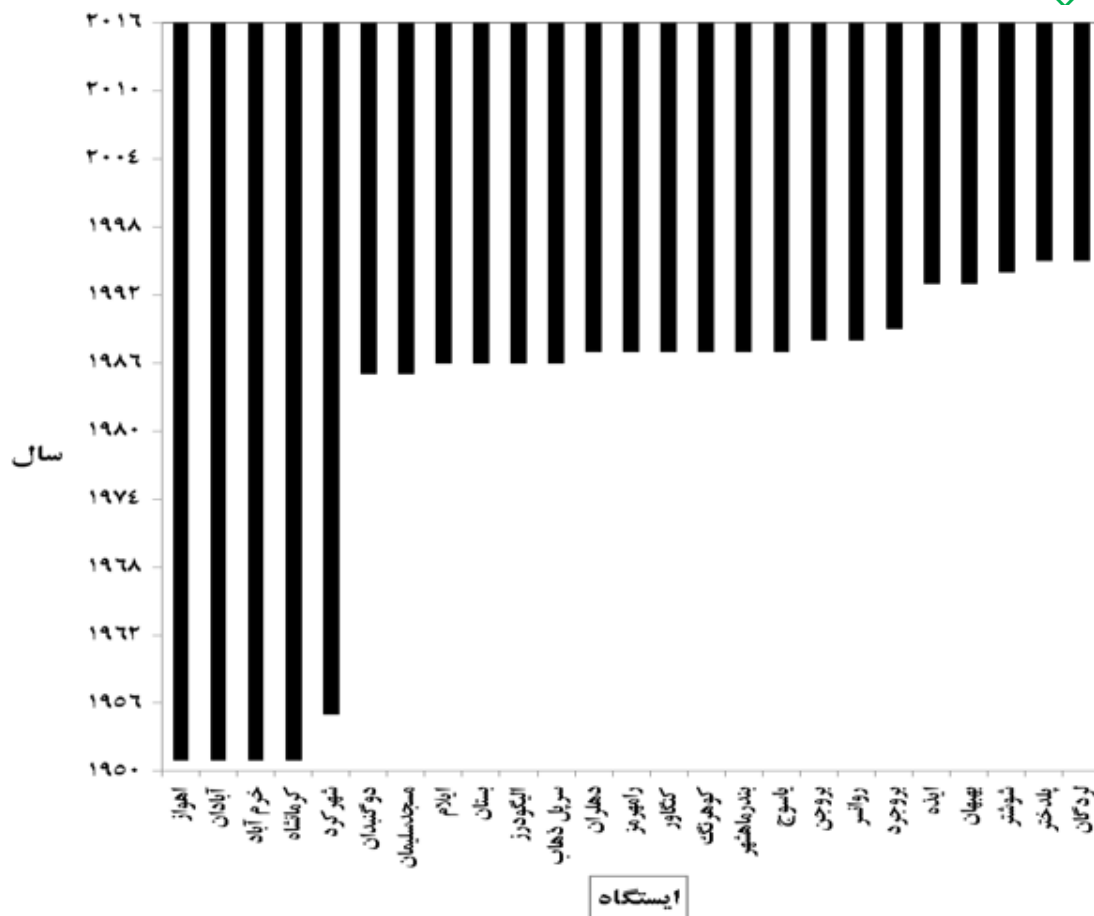
ردیف	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	ضریب دومارتن	دما (درجه سانتی‌گراد)	بارندگی (میلی‌متر)	رطوبت نسبی (درصد)
۱	اهواز	۳۱° ۲۰'	۴۸° ۴۰'	۲۲/۵	۵/۶۵	۲۶/۳۷	۲۰۵/۵۸	۴۱/۳۷
۲	ایذه	۳۱° ۵۱'	۴۹° ۵۲'	۷۶۷	۱۸/۱۱	۲۳/۶۱	۶۰۸/۶۲	۳۷/۷۲
۳	آبادان	۳۰° ۲۲'	۴۸° ۱۵'	۶/۶	۴/۰۸	۲۶/۱۴	۱۴۷/۳۸	۴۲/۴۶
۴	بستان	۳۱° ۴۳'	۴۸° ۰۰'	۷/۸	۵/۵۳	۲۴/۹۵	۱۹۳/۱۷	۴۳/۹۲
۵	ماهشهر	۳۰° ۳۳'	۴۹° ۰۹'	۶/۲	۵/۲۲	۲۵/۹	۱۸۷/۴۶	۴۵/۹۱
۶	بهبهان	۳۰° ۳۶'	۵۰° ۱۴'	۳۱۳	۹/۲۹	۲۴/۹۹	۳۲۵/۱۵	۴۱/۵۳
۷	رامهرمز	۳۱° ۱۶'	۴۹° ۳۶'	۱۵۰/۵	۷/۵۲	۲۷/۹۰	۲۸۴/۹۰	۳۵/۱۳
۸	شوشتر	۳۲° ۳'	۴۸° ۵۰'	۶۷	۷/۷۶	۲۸/۰۳	۲۹۵/۴۰	۳۶/۷۲
۹	مسجدسلیمان	۳۱° ۵۶'	۴۹° ۱۷'	۳۲۰/۵	۱۰/۷۶	۲۵/۷۱	۳۸۴/۱۷	۳۸/۷۲
۱۰	روانسر	۳۴° ۴۳'	۴۶° ۳۹'	۱۳۷۹/۷	۱۹/۱۱	۱۵/۴۰	۴۸۵/۴۶	۴۳/۸۰
۱۱	سرپل ذهاب	۳۴° ۲۷'	۴۵° ۵۲'	۵۴۵	۱۲/۶۹	۲۰/۴۰	۳۸۵/۷۸	۴۶/۶۳
۱۲	کرمانشاه	۳۴° ۲۱'	۴۷° ۰۹'	۱۳۱۸/۶	۱۴/۸۳	۱۵/۸۸	۳۸۱/۱۰	۴۲/۴۱
۱۳	کنگاور	۳۴° ۳۰'	۴۷° ۵۹'	۱۴۶۸	۱۵/۷۶	۱۳/۴۱	۳۶۸/۹۱	۵۱/۶۹
۱۴	ایلام	۳۳° ۳۸'	۴۶° ۲۶'	۱۳۳۷	۱۹/۳۲	۱۶/۹۹	۵۲۱/۴۷	۴۰/۴۸
۱۵	دهلران	۳۲° ۴۱'	۴۷° ۱۶'	۲۳۲	۷/۱۹	۲۶/۸۵	۲۶۴/۸۰	۳۶/۹۱
۱۶	الیگودرز	۳۴° ۲۴'	۴۹° ۴۲'	۲۰۲۲	۱۶/۸۷	۱۲/۹۹	۳۸۷/۸۱	۴۱/۱۹
۱۷	بروجرد	۳۳° ۵۵'	۴۸° ۴۵'	۱۶۲۹	۱۷/۶۶	۱۵/۰۸	۴۴۲/۹۴	۴۱/۵۵
۱۸	پلدختر	۳۳° ۹'	۴۷° ۴۳'	۷۱۳/۵	۱۰/۵۴	۲۳/۳۶	۳۵۰/۴۸	۳۵/۲۰
۱۹	خرم‌آباد	۳۳° ۲۶'	۴۸° ۱۷'	۱۱۴۷/۸	۱۶/۵۳	۱۷/۲۲	۴۴۹/۹۵	۴۳/۵۷
۲۰	بروجن	۳۱° ۵۹'	۵۱° ۱۸'	۲۲۶۰	۱۱/۳۱	۱۲/۲۴	۲۵۱/۶۱	۳۶/۸۰
۲۱	شهرکرد	۳۲° ۱۷'	۵۰° ۵۱'	۲۰۴۸/۹	۱۴/۷۰	۱۱/۶۸	۳۱۸/۶۲	۴۵/۵۳
۲۲	کوهرنگ	۳۲° ۲۶'	۵۰° ۷'	۲۲۸۵	۶۳/۷۱	۱۰/۰۵	۱۲۷۷/۳۴	۴۴/۲۱
۲۳	لردگان	۳۱° ۳۱'	۵۰° ۴۹'	۱۵۸۰	۲۰/۸۷	۱۶/۱۸	۵۴۳/۷۴	۴۲/۳۵
۲۴	دوگنبدان	۳۰° ۲۰'	۵۰° ۴۹'	۷۲۶	۱۳/۳۲	۲۳/۱۳	۴۴۱/۱۸	۳۹/۱۵
۲۵	یاسوج	۳۱° ۴۱'	۵۱° ۳۳'	۱۸۱۶/۳	۳۱/۳۲	۱۵/۰۸	۷۸۵/۶۳	۴۲/۳۸

ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در استان خوزستان عبارت است از: آبادان، اهواز، ایذه، بستان، بندرماهشهر، بهبهان، رامهرمز، شوشتر و مسجد سلیمان، در استان ایلام شامل ایلان و دهلران، در استان کرمانشاه شامل روانسر، سرپل ذهاب، کرمانشاه و کنگاور، در استان لرستان شامل الیگودرز، بروجرد،

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۲۵

پلدختر و خرم‌آباد، در استان چهارمحال و بختیاری شامل بروجن، شهرکرد، کوهرنگ و شهرکرد و در استان کهگیلویه و بویراحمد شامل دوگنبدان و یاسوج.

ارتفاع ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه از سطح دریا به علت توپوگرافی متفاوت در استان خوزستان از حداقل ۶/۲ متر مربوط به ایستگاه بندرماهشهر و حداکثر ۷۶۷ متر مربوط به ایستگاه ایزه، در استان ایلام از حداقل ۲۳۲ متر مربوط به ایستگاه دهلران و حداکثر ۱۳۳۷ متر مربوط به ایستگاه ایلام، در استان کرمانشاه از حداقل ۵۴۵ متر مربوط به ایستگاه سرپل‌ذهاب و حداکثر ۱۴۶۸ متر مربوط به ایستگاه کنگاور، در استان لرستان از حداقل ۷۱۳/۵ متر مربوط به ایستگاه پلدختر و حداکثر ۲۰۲۲ متر مربوط به ایستگاه الیگودرز، در استان چهارمحال و بختیاری از حداقل ۱۵۸۰ متر مربوط به ایستگاه لردگان و حداکثر ۲۲۸۵ متر مربوط به ایستگاه کوهرنگ و در استان کهگیلویه و بویراحمد از حداقل ۷۲۶ متر مربوط به ایستگاه دوگنبدان و حداکثر ۱۸۱۶/۳ متر مربوط به ایستگاه یاسوج متغیر است.

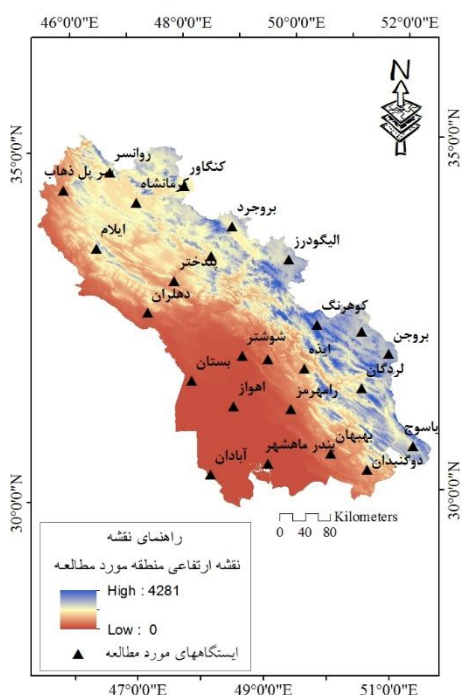


شکل ۳- نمودار طول دوره آماری مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

۲-۲-۲- داده‌ها و منابع آنها

در این مطالعه از داده‌های هواشناسی برای شناسایی اولیه طوفان‌های گردوغبار رخ داده در نواحی جنوب غرب ایران استفاده شده است. برای این منظور داده‌های آماری گردوغبار از ۲۵ ایستگاه سینوپتیکی به صورت روزانه طی هشت دیده‌بانی سه ساعته در قالب کدهای ویژه‌ای در دوره ۲۲ ساله (۱۹۹۵-۲۰۱۶)، در نواحی جنوب غرب ایران از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید و با استفاده از روش‌های آماری پردازش و تحلیل شدند. به علت حجم زیاد داده‌ها از بین تمام ایستگاه‌ها تعداد ۲۵ ایستگاه با لحاظ پراکنش مناسب در کل محدوده مطالعاتی انتخاب و مورد بررسی آماری قرار گرفتند (شکل ۴).

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۲۷



شکل ۴- موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه

برای شناسایی اولیه طوفان گردوغبار وارد شده به نواحی جنوب غرب ایران، به این ترتیب عمل شد که در هر ایستگاهی که طی یک شبانه روز حداقل یکبار طوفان گردوغبار با دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر و سرعت باد بیش از ۱۵ متر بر ثانیه گزارش شده باشد، به عنوان یک ایستگاه دارای گردوغبار انتخاب شد. در این تحقیق بعد از خارج کردن داده‌ها از فرمت scdata و ورود آنها به داخل Excel با استفاده از برنامه‌نویسی در نرم‌افزار R3.4.2 روزهای گردوغبار از روزهای غیر گردوغباری جدا شد.

دید افقی حداکثر مسافتی است که دیده بان می تواند اشیاء را با نور معمولی بخوبی تشخیص دهد. دید افقی بر اثر پدیده های مختلف از قبیل مه، گردوغبار، انواع طوفان و انواع ریزش ها متغیر است و کم و زیاد می شود. مشاهده دید افقی یکی از روش هایی است که با استفاده از آن افزایش آلودگی ذرات معلق هوا بدون استفاده از ابزار اندازه گیری قابل تشخیص است، بنابراین دید افقی به منزله شاخصی از کیفیت هوا به شمار می رود. غبار، پدیده کاهش دید است که در اثر وجود هواویزهای جو بر اثر تراکم رطوبت که باعث بزرگتر شدن آنها و در نتیجه افزایش سطح مقطع پراکندگی شان می شود، ایجاد شده و باعث کاهش وضوح آسمان می شود. پارامترهای متفاوت هواشناسی از قبیل سرعت و جهت باد، رطوبت نسبی و ارتفاع لایه آمیخته، نقش مهمی در تغییرات دید ایفا می کنند. معمولاً دید به صورت منطقه ای و فصلی تغییر می کند (شرعی پور، ۱۳۹۲). با توجه به اهمیتی که قابلیت دید در تعیین شدت طوفان های گردوغبار دارد، به عنوان عامل اصلی در تعیین طوفان های گردوغبار به شمار می رود. به عبارت دیگر، زمانی که قابلیت دید کمتر از ۱۰۰۰ متر باشد، طوفان گردوغبار رخ داده است. بنابراین در این تحقیق از دو فاکتور "پدیده و قابلیت دید" به عنوان دو عامل تعیین کننده روزهای گردوغباری استفاده شده است. در ادامه از بین روزهای طوفان گردوغبار با توجه به میزان دید در این پدیده داده ها به سه دسته ۲۰۰ و کمتر، دید بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ متر و دید بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر تقسیم بندی و بررسی شدند. در نهایت برای انتخاب نمونه های مورد مطالعه چند معیار مد نظر قرار گرفت.

معیار اول: گسترش مکانی گردوغبار حداقل در ۵۰ درصد ایستگاه ها، به طوری که در روزهای انتخابی مجموع رخداد طوفانهای خسارت بار از پراکنش مناسبی در نواحی جنوب غرب ایران برخوردار باشد.

معیار دوم: تداوم دو روز و بیشتر از آن

معیار سوم: دید ۲۰۰ متر و کمتر از آن در ایستگاه های نزدیک به منشأ گردوغبار، زیرا در ایستگاه های دورتر از ایستگاه های مرزی ممکن است بر اثر فاصله گرفتن از مناطق منشأ در صورت وجود گردوغبار دید به بالای ۱۰۰۰ متر نیز برسد.

۲-۳- ارزیابی ریسک طوفان گردوغبار

تیپ عناصر ریسک مورد بررسی در این پژوهش شامل روستا، مناطق شهری، چاه، جنگل، مرتع، اراضی کشاورزی، جاده، ریل راه آهن، رودخانه، تالاب، پایگاه نظامی و کارخانجات هستند. ریسک به محتوای ساختمانها و ریسک به خودروها در راهها می تواند بخش بزرگی از ریسک را شامل شود. اما تخمین آنها مشکل است، همچنین فاقد داده های کافی هستند. علاوه بر این، ریسک به جان انسانها (ریسک جانی) قابل برآورد نیست. دیگر تیپ عناصر آسیب پذیر مانند شبکه های برق و تلفن نیز به عنوان هزینه های غیرمستقیم هستند و محاسبه میزان ریسک ناشی از آنها نیز مشکل است (زیزری^۱، ۲۰۰۸). در هر پیکسل از نقشه کلاس خطر، تیپ عناصر مورد نظر شناخته (جدول ۵) و نقشه تیپ عناصر در معرض خطر تهیه شد (آرامی^۲، ۲۰۱۷).

جدول ۵- کلاس های تیپ عناصر در معرض خطر طوفان گردوغبار

ردیف	تیپ عناصر	طبقات کیفی	تعداد عنصر
۱	I	خیلی کم	≤ 3
۲	II	کم	۴
۳	III	متوسط	۵
۴	IV	زیاد	۶
۵	V	خیلی زیاد	≥ 7

پس از مشخص شدن کلاس و شناسایی تیپ عناصر در هر پیکسل از نقشه خطر، کلاس های آسیب پذیری تیپ عناصر با توجه به اینکه در چه کلاسی از شدت خطر قرار دارند و با استفاده از امتیازات کارشناسی و بررسی شرایط منطقه مورد مطالعه تعیین شد (جدول ۶). برای محاسبه امتیاز آسیب پذیری

¹ Zezere

² Arami

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۳۰

تیپ عناصر، وجود خطر و شرایط هر یک از تیپ عناصر از لحاظ اقتصادی و اکولوژیکی حائز اهمیت است. تیپ عناصری که در کلاس خطر بالاتری قرار دارند از اهمیت و امتیاز آسیب پذیری بیشتری برخوردار هستند (جدول ۷).

جدول ۶- امتیاز صفات تیپ عناصر در معرض خطر طوفان گردوغبار

عناصر	عامل	عدد آسیب
روستا	با افزایش کلاس خطر با ضریب ۲ افزایش پیدا می کند.	۲-۱۰
مناطق شهری	با افزایش کلاس خطر با ضریب ۳ افزایش پیدا می کند.	۳-۱۵
چاه	با افزایش کلاس خطر با ضریب ۲ افزایش پیدا می کند.	۲-۱۰
جنگل	با بالا رفتن ارزش درختان جنگلی و افزایش شدت خطر با ضریب ۲ افزایش پیدا می کند.	۲-۱۰
مرتع	با بالا رفتن ارزش گیاهان مرتعی و افزایش شدت خطر با ضریب ۲ افزایش پیدا می کند.	۲-۱۰
کشاورزی	هر چه گیاه آسیب پذیرتر و شدت خطر افزایش پیدا کند با ضریب ۳ افزایش پیدا می کند.	۳-۱۵
جاده	جاده ها با افزایش کلاس خطر با ضریب ۲ افزایش پیدا می کنند.	۲-۱۰
ریل راه آهن	جاده ها با افزایش کلاس خطر با ضریب ۲ افزایش پیدا می کنند.	۲-۱۰
رودخانه	جاده ها با افزایش کلاس خطر با ضریب ۲ افزایش پیدا می کنند.	۲-۱۰
تالاب	جاده ها با افزایش کلاس خطر با ضریب ۳ افزایش پیدا می کنند.	۳-۱۵
پایگاه نظامی	جاده ها با افزایش کلاس خطر با ضریب ۳ افزایش پیدا می کنند.	۳-۱۵
کارخانجات	با افزایش کلاس خطر با ضریب ۳ افزایش پیدا می کند.	۳-۱۵

آرامی (۱۳۹۲)

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۳۱

جدول ۷- استاندارد کلاس و عدد آسیب پذیری تیپ عناصر در معرض خطر طوفان گردوغبار

کلاس آسیب پذیری	طبقات کیفی	عدد آسیب پذیری
I	خیلی کم	< 30
II	کم	$30 - 60$
III	متوسط	$60 - 100$
IV	زیاد	$100 - 150$
V	خیلی زیاد	≥ 150

آرامی (۲۰۱۳)

ریسک کلاس (شدت) خطر طوفان گردوغبار بر اساس شناسایی تیپ عناصر در معرض خطر و تعیین درجه آسیب پذیری با استفاده از رابطه ریسک (ون وستن^۱ و همکاران، ۲۰۱۴)، مبنای ارزیابی قرار می گیرد (رابطه ۳).

(رابطه ۳)

$$Risk = \sum_{All\ hazard} \left(\int_{P_T=0}^{P_T=1} P_{(T|HS)} * (P_{(S|HS)} * \sum (A_{(ER|HS)} * V_{(ER|HS)})) \right)$$

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 اینکه یک پیکسل خاص در یک منطقه حساس تحت تأثیر سناریو خطر خاص قرار داشته باشد، $A_{(ER|HS)}$ کمیت تیپ عناصر در معرض خطر با توجه به سناریو یک خطر خاص، $V_{(ER|HS)}$ آسیب پذیری درجه زیان یک سیستم، زیرسیستم یا اجزای سیستم نسبت به اعمال خطر، آشفتگی، تنش یا استرس تیپ عناصر در معرض ریسک با توجه به شدت خطر تحت تأثیر یک

¹ Van Westen

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۳۲

سناریو خطر خاص می باشد. با استفاده از آزمون کای اسکوئر تفاوت آماری مساحت کلاس ها مشخص شد (جدول ۸).

جدول ۸- استاندارد کلاس و عدد ریسک طوفان گردوغبار در منطقه مورد مطالعه

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

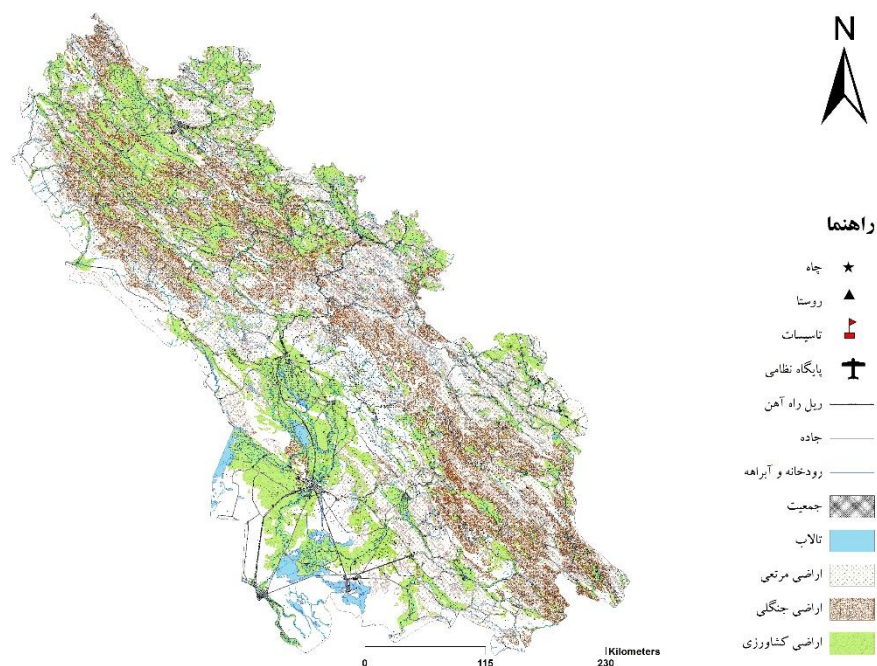
۳- نتایج

برای پهنه بندی نقشه های ریسک، ابتدا به شناسایی و طبقه بندی تیپ عناصر در معرض خطر اقدام گردید و بعد با اعمال درجه آسیب پذیری هر عنصر با در نظر گرفتن نقشه شدت خطر، کلاس ریسک خطر طوفان گردوغبار از رابطه (۳) با ۴ کلاس نقشه بندی شد.

۳-۱- نقشه تیپ عناصر در معرض خطر طوفان گردوغبار

با استفاده از نقشه های کاربری اراضی و توپوگرافی (سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور، ۱۳۹۶) و با فهرست برداری از تیپ عناصر در معرض خطر (اراضی کشاورزی، مرتعی، جنگل ها، روستاها، جمعیت، تأسیسات، پایگاه های نظامی، جاده، رودخانه، چاه، ریل ها و تالاب ها) 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 در بخش دوم طبقه بندی گردید (شکل ۵). جدول (۹) درصد توزیع فراوانی و شکل (۵) نقشه تیپ عناصر در معرض خطر را در منطقه نشان می دهد.

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۳۳

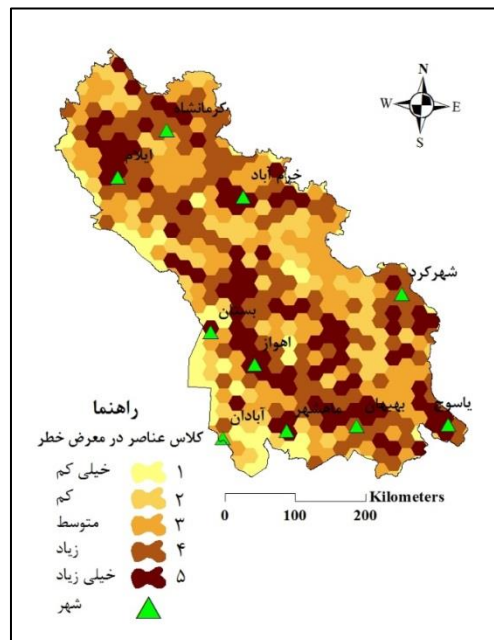


شکل ۵- نقشه تیپ عناصر در معرض ریسک طوفان گردوغبار

جدول ۹- درصد توزیع فراوانی کلاس‌های تیپ عناصر در معرض خطر

کلاس عناصر	طبقات کیفی	تعداد عنصر	مساحت (هکتار)	درصد فراوانی
۱	خیلی کم	≤ 3	۱۴۳۹۳۴۶/۹	۸/۵
۲	کم	۴	۲۷۳۷۳۷۷/۶	۱۶/۱۷
۳	متوسط	۵	۴۳۰۰۲۹۳/۳	۲۵/۴۱
۴	زیاد	۶	۴۷۰۶۶۲۰/۲	۲۷/۸۱
۵	خیلی زیاد	≥ 7	۳۷۴۲۹۵۴/۹	۲۲/۱۱
مجموع			۱۶۹۲۶۵۹۳	۱۰۰
کای اسکوئر			۲۰۴۳۳۹۸/۱	*۰/۰۱

*: تفاوت مساحت کلاس‌ها در سطح اطمینان ۱ درصد ($P \text{ value} < 0/01$) معنی‌دار است.



شکل ۶- نقشه کلاس عناصر در معرض خطر

بر اساس مقادیر جدول (۹) و شکل (۶)، 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 را ایجاد کند.

۳-۲- آسیب‌پذیری تیپ عناصر در معرض خطر

کلاس‌های آسیب‌پذیری تیپ عناصر با توجه به اینکه در چه کلاسی از شدت خطر قرار دارند با استفاده از امتیازات کارشناسی و بررسی شرایط منطقه مورد مطالعه تعیین شد. برای محاسبه امتیاز آسیب‌پذیری تیپ عناصر، وجود خطر و شرایط هر یک از تیپ عناصر از لحاظ اقتصادی و اکولوژیکی حائز اهمیت است. تیپ عناصری که در کلاس خطر بالاتری قرار دارند از اهمیت و امتیاز آسیب‌پذیری بیشتری برخوردار هستند. جدول (۱۰) درصد توزیع فراوانی کلاس‌های آسیب‌پذیری و شکل (۷) نقشه آسیب‌پذیری تیپ عناصر در معرض هر یک از خطرهای طوفان گردوغبار را نشان می‌دهند.

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۳۵

جدول ۱۰- درصد توزیع فراوانی مساحت کلاس‌های آسیب‌پذیری تیپ عناصر در معرض خطر

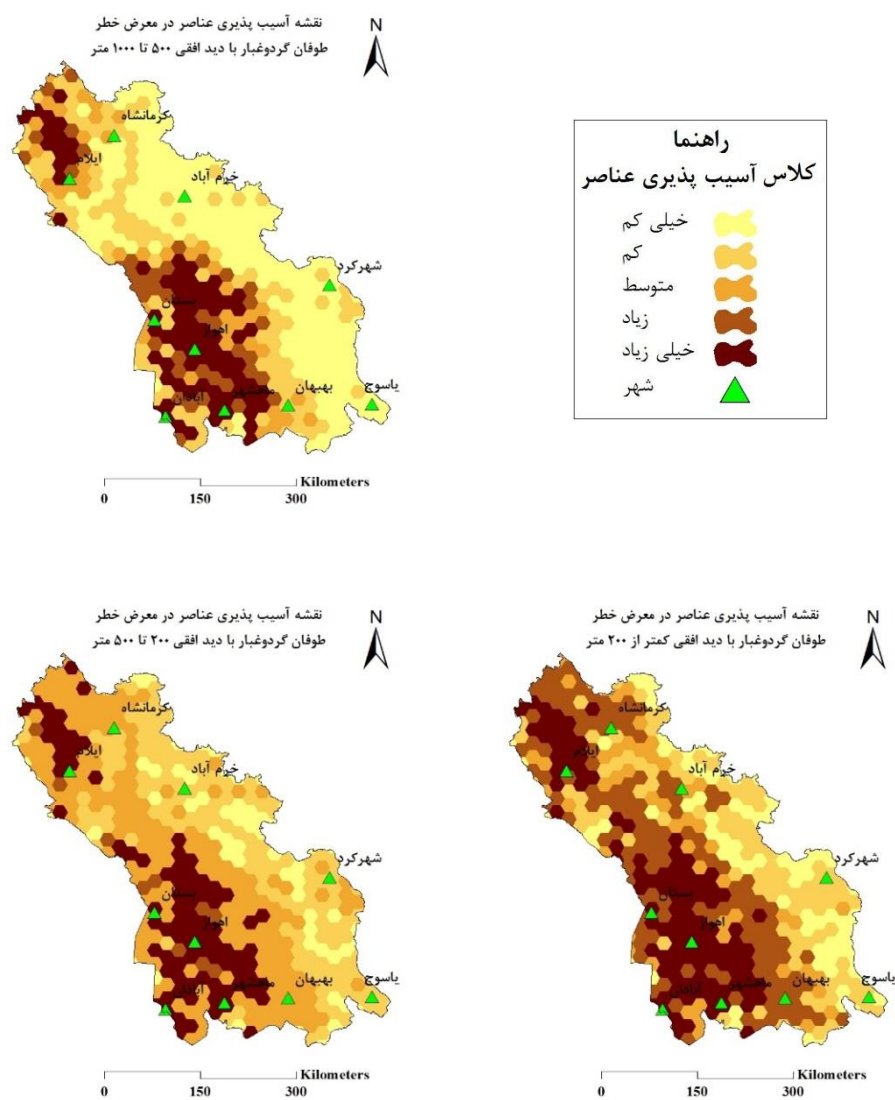
عدد خطر	تیپ و کلاس خطر	طبقات کیفی	عدد آسیب پذیری	مساحت (هکتار)	درصد فراوانی
۱	آسیب‌پذیری تیپ عناصر در معرض خطر طوفان گردوغبار با دید افقی ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر	خیلی کم	< 30	۶۷۸۴۲۹۸/۷۶	۴۰/۰۸
		کم	۳۰ - ۶۰	۳۹۵۲۹۲۵/۱۶	۲۳/۳۵
		متوسط	۶۰ - ۱۰۰	۱۶۰۱۰۱۳/۷۸	۹/۴۶
		زیاد	۱۰۰ - ۱۵۰	۱۵۴۸۴۹۶/۰۴	۹/۱۵
		خیلی زیاد	≥ 150	۳۰۳۹۸۵۹/۱۹	۱۷/۹۶
		کای اسکوتر			۰/۰۱*
۲	آسیب‌پذیری تیپ عناصر در معرض خطر طوفان گردوغبار با دید افقی ۲۰۰ تا ۵۰۰ متر	خیلی کم	< 30	۱۷۵۴۱۹۷/۵	۱۰/۳۶
		کم	۳۰ - ۶۰	۴۸۰۶۴۴۹/۶۹	۲۸/۴۰
		متوسط	۶۰ - ۱۰۰	۶۶۱۶۴۳۳/۷۵	۳۹/۰۹
		زیاد	۱۰۰ - ۱۵۰	۳۹۶۷۷۷/۱۴	۲/۳۴
		خیلی زیاد	≥ 150	۳۳۵۲۷۳۴/۸۶	۱۹/۸۱
		کای اسکوتر			۰/۰۱*
۳	آسیب‌پذیری تیپ عناصر در معرض خطر طوفان گردوغبار با دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر	خیلی کم	< 30	۲۴۵۶۰۴۸/۲۲	۱۴/۵۱
		کم	۳۰ - ۶۰	۳۵۸۲۶۵۶/۱۱	۲۱/۱۷
		متوسط	۶۰ - ۱۰۰	۱۸۳۵۰۲۵/۹۲	۱۰/۸۴
		زیاد	۱۰۰ - ۱۵۰	۵۰۵۹۳۹۵/۸۳	۲۹/۸۹
		خیلی زیاد	≥ 150	۳۹۹۳۴۶۶/۸۵	۲۳/۵۹
		کای اسکوتر			۰/۰۱*
۴	آسیب‌پذیری تیپ عناصر در معرض خطر طوفان گردوغبار دوره گرم	خیلی کم	< 30	۱۳۰۵۰۱۲/۹۸	۷/۷۱
		کم	۳۰ - ۶۰	۱۰۹۷۵۵۳/۷۳	۶/۴۸
		متوسط	۶۰ - ۱۰۰	۴۸۴۸۰۴۵/۰۷	۲۸/۶۴
		زیاد	۱۰۰ - ۱۵۰	۶۲۷۴۶۳۰/۶۱	۳۷/۰۷
		خیلی زیاد	≥ 150	۳۴۰۱۳۵۰/۵۴	۲۰/۰۹
		کای اسکوتر			۰/۰۱*
۵	آسیب‌پذیری تیپ عناصر در معرض خطر طوفان گردوغبار دوره سرد	خیلی کم	< 30	۷۴۸۷۹۰۵/۱۲	۴۴/۲۴
		کم	۳۰ - ۶۰	۴۰۳۴۹۶۷/۸۰	۲۳/۸۴
		متوسط	۶۰ - ۱۰۰	۲۶۴۶۰۴۴/۸۴	۱۵/۶۳
		زیاد	۱۰۰ - ۱۵۰	۲۴۳۷۶۷۵/۱۷	۱۴/۴۰
		خیلی زیاد	≥ 150	۳۲۰۰۰۰	۱/۸۹
		کای اسکوتر			۰/۰۱*

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۳۶

عدد خطر	تیپ و کلاس خطر	طبقات کیفی	عدد آسیب پذیری	مساحت (هکتار)	درصد فراوانی
۶	آسیب‌پذیری تیپ عناصر در معرض خطر طوفان گردوغبار منطقه‌ای	خیلی کم	< ۳۰	۵۱۳۰۷۴۴/۷۳	۳۰/۳۱
		کم	۳۰ - ۶۰	۶۴۶۵۸۱۲/۷۱	۳۸/۲۰
		متوسط	۶۰ - ۱۰۰	۲۶۰۶۶۹۵/۲۶	۱۵/۴۰
		زیاد	۱۰۰ - ۱۵۰	۱۹۴۰۸۸۸/۷۶	۱۱/۴۷
		خیلی زیاد	≥ ۱۵۰	۷۸۲۴۵۱/۴۷	۴/۶۲
کای اسکوتر			۶۴۹۹۶۸۵/۳۱۶	۰/۰۱*	
۷	آسیب‌پذیری تیپ عناصر در معرض خطر طوفان گردوغبار فرامنطقه‌ای	خیلی کم	< ۳۰	۲۵۸۴۸۲۵	۱۵/۲۷
		کم	۳۰ - ۶۰	۶۱۱۵۱۹۸/۳۴	۳۶/۱۳
		متوسط	۶۰ - ۱۰۰	۴۴۵۲۱۳۷/۰۶	۲۶/۳۰
		زیاد	۱۰۰ - ۱۵۰	۲۹۰۰۰۹۷/۵۸	۱۷/۱۳
		خیلی زیاد	≥ ۱۵۰	۸۷۴۳۳۴/۹۴	۵/۱۷
کای اسکوتر			۴۶۵۸۸۲۶/۹۳	۰/۰۱*	
۸	آسیب‌پذیری تیپ عناصر در معرض خطر میانگین سالیانه طوفان گردوغبار دوره آماری	خیلی کم	< ۳۰	۳۴۸۲۴۸۷/۶۱	۲۰/۵۷
		کم	۳۰ - ۶۰	۵۶۲۰۴۸۶/۳۳	۳۳/۲۱
		متوسط	۶۰ - ۱۰۰	۴۰۳۴۰۸۳/۳۸	۲۳/۸۳
		زیاد	۱۰۰ - ۱۵۰	۲۰۸۹۵۰۳/۸۱	۱۲/۳۴
		خیلی زیاد	≥ ۱۵۰	۱۷۰۰۰۳۱/۷۹	۱۰/۰۴
کای اسکوتر			۲۹۳۷۸۷۴/۱۴	۰/۰۱*	

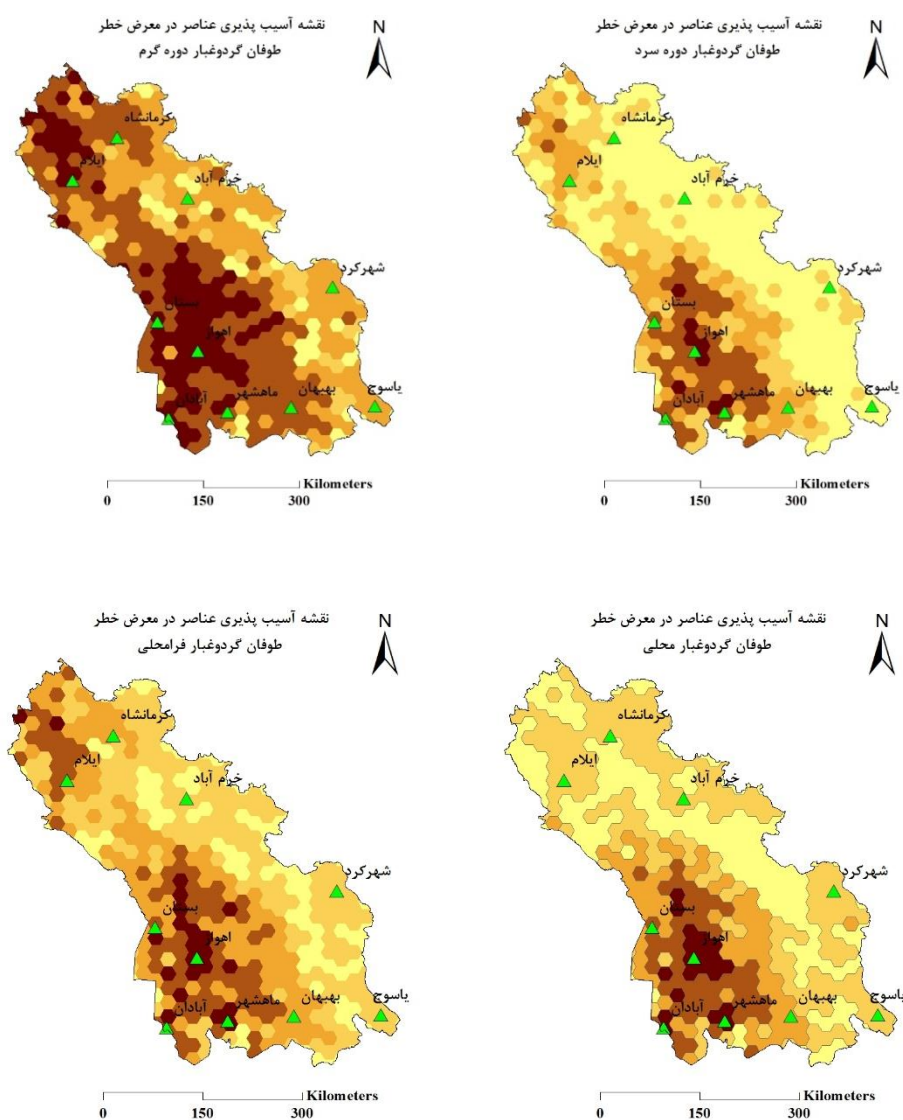
آزمون تفاوت مساحت‌ها (در سطح اطمینان ۱ درصد، $P \text{ value} < 0/01$) معنی‌دار است.

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۳۷



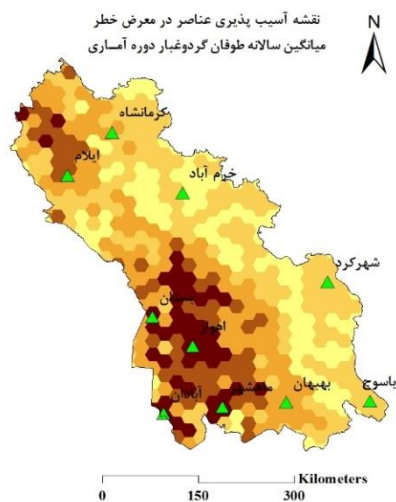
شکل ۷- نقشه آسیب پذیری تیپ عناصر در معرض هر یک از شدت طوفان گردوغبار

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۳۸



ادامه شکل ۷- نقشه آسیب پذیری تیپ عناصر در معرض هر یک از شدت خطر طوفان گردوغبار

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۳۹



ادامه شکل ۷- نقشه آسیب پذیری تیپ
عناصر در معرض هر یک از شدت خطر
طوفان گردوغبار

طبق جدول (۱۰) کلاس‌های با آسیب‌پذیری کم و متوسط، تقریباً بیشترین مقادیر درصد فراوانی را به خود اختصاص داده است. با توجه به شکل (۷) 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.

۳-۳- ریسک طوفان گردوغبار منطقه مورد مطالعه

با استفاده از رابطه (۳) عدد ریسک محاسبه و براساس نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی پیکسل‌ها در ۴ کلاس، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شده است. جدول (۱۱) توزیع فراوانی کلاس‌های ریسک و شکل (۸) نقشه‌های ریسک جزئی طوفان گردوغبار منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۱۱- توزیع فراوانی کلاس‌های ریسک جزئی خطر طوفان گردوغبار منطقه

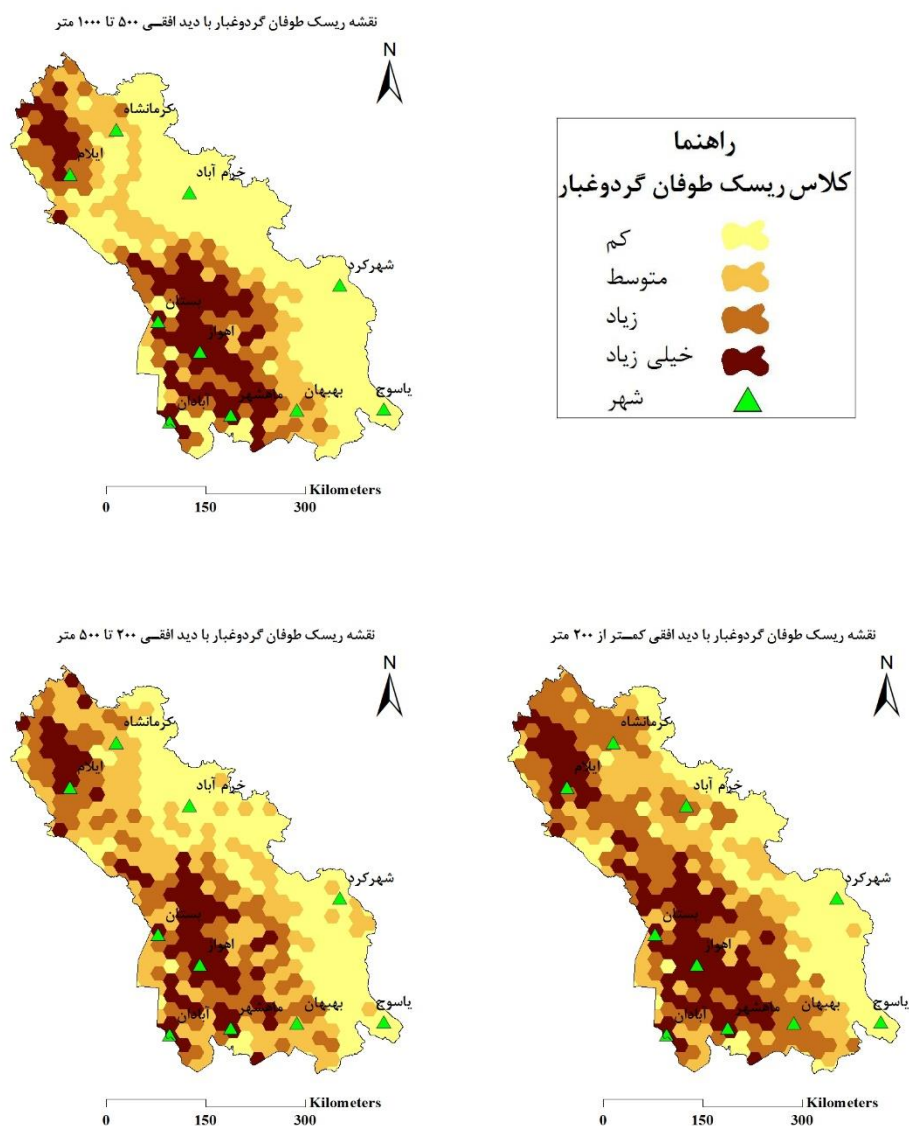
عدد خطر	تیپ و کلاس خطر	طبقات کیفی	عدد ریسک	مساحت (هکتار)	درصد فراوانی
۱	ریسک طوفان گردوغبار با دید افقی ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر	کم	≤ 10	۸۰۵۵۲۲۸/۱۹	۴۷/۵۹
		متوسط	۱۱-۳۰	۲۹۹۰۸۸۱/۶۸	۱۷/۶۷
		زیاد	۳۱-۶۰	۲۷۹۸۱۲۰/۹۷	۱۶/۵۳
		خیلی زیاد	> 61	۳۰۸۲۳۶۲/۰۹	۱۸/۲۱
		کای اسکوئر		۴۶۱۶۴۳۳/۹	۰/۰۱*
۲	ریسک طوفان گردوغبار با دید افقی ۲۰۰ تا ۵۰۰ متر	کم	≤ 10	۵۴۷۳۳۰۸/۱۹	۳۲/۳۴
		متوسط	۱۱-۳۰	۵۴۱۲۶۷۴/۰۱	۳۱/۹۸
		زیاد	۳۱-۶۰	۳۳۵۳۲۷۶/۴۱	۱۹/۸۱
		خیلی زیاد	> 61	۲۶۸۷۳۳۴/۳۲	۱۵/۸۸
		کای اسکوئر		۱۴۳۹۸۶۰/۶۷	۰/۰۱*
۳	ریسک طوفان گردوغبار با دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر	کم	≤ 10	۴۳۸۴۴۳۵/۵۲	۲۵/۹
		متوسط	۱۱-۳۰	۳۷۴۹۶۳۰/۴	۲۲/۱۵
		زیاد	۳۱-۶۰	۵۲۷۳۳۸۷/۷۸	۳۱/۱۵
		خیلی زیاد	> 61	۳۵۱۹۱۳۹/۲۳	۲۰/۷۹
		کای اسکوئر		۴۳۶۸۴۵/۲۷	۰/۰۱*
۴	ریسک طوفان گردوغبار دوره گرم	کم	≤ 10	۲۷۱۳۲۸۲/۶۴	۱۶/۰۳
		متوسط	۱۱-۳۰	۵۸۵۱۳۹۷/۴۲	۳۴/۵۷
		زیاد	۳۱-۶۰	۵۴۷۷۳۹۲/۸۵	۳۲/۳۶
		خیلی زیاد	> 61	۲۸۸۴۵۲۰/۰۱	۱۷/۰۴
		کای اسکوئر		۱۹۶۰۳۸۴/۰۳	۰/۰۱*
۵	ریسک طوفان گردوغبار دوره سرد	کم	≤ 10	۸۸۴۸۰۰۵/۸۱	۵۲/۲۷
		متوسط	۱۱-۳۰	۳۲۹۰۹۲۷/۰۵	۱۹/۴۴
		زیاد	۳۱-۶۰	۳۷۰۷۷۳۲/۲	۲۱/۹
		خیلی زیاد	> 61	۱۰۷۹۹۲۷/۸۷	۶/۳۸
		کای اسکوئر		۷۶۵۷۴۲۸/۲۹	۰/۰۱*
۶	ریسک طوفان گردوغبار منطقه‌ای	کم	≤ 10	۱۱۱۱۹۸۰۷/۴۴	۶۵/۶۹
		متوسط	۱۱-۳۰	۲۲۸۳۴۴۵/۲۷	۱۳/۴۹
		زیاد	۳۱-۶۰	۲۵۴۰۹۶۰/۸۹	۱۵/۰۱
		خیلی زیاد	> 61	۹۸۲۳۷۹/۳۳	۵/۸
		کای اسکوئر			۰/۰۱*
	ریسک طوفان	کم	≤ 10	۶۴۱۳۹۳۲/۸۶	۳۷/۸۹

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۴۱

عدد خطر	تیپ و کلاس خطر	طبقات کیفی	عدد ریسک	مساحت (هکتار)	درصد فراوانی
۷	گردوغبار فرامنطقه‌ای	متوسط	۱۱ - ۳۰	۴۵۴۴۱۰۶/۵۷	۲۶/۸۵
		زیاد	۳۱ - ۶۰	۴۴۵۴۲۹۰/۶۹	۲۶/۳۲
		خیلی زیاد	> ۶۱	۱۵۱۴۲۶۲/۸۱	۸/۹۵
		کای اسکوئر		۱۵۲۷۹۷۲۰	۰/۰۱*
۸	ریسک میانگین سالیانه طوفان گردوغبار دوره آماري	کم	≤ ۱۰	۶۹۶۵۵۱۳/۹۹	۴۱/۱۵
		متوسط	۱۱ - ۳۰	۴۰۵۴۹۴۰/۶۷	۲۳/۹۶
		زیاد	۳۱ - ۶۰	۴۲۴۳۶۰۳/۵۷	۲۵/۰۷
		خیلی زیاد	> ۶۱	۱۶۶۲۵۳۴/۶۹	۹/۸۲
		کای اسکوئر		۳۳۳۳۳۹۰/۲۳	۰/۰۱*

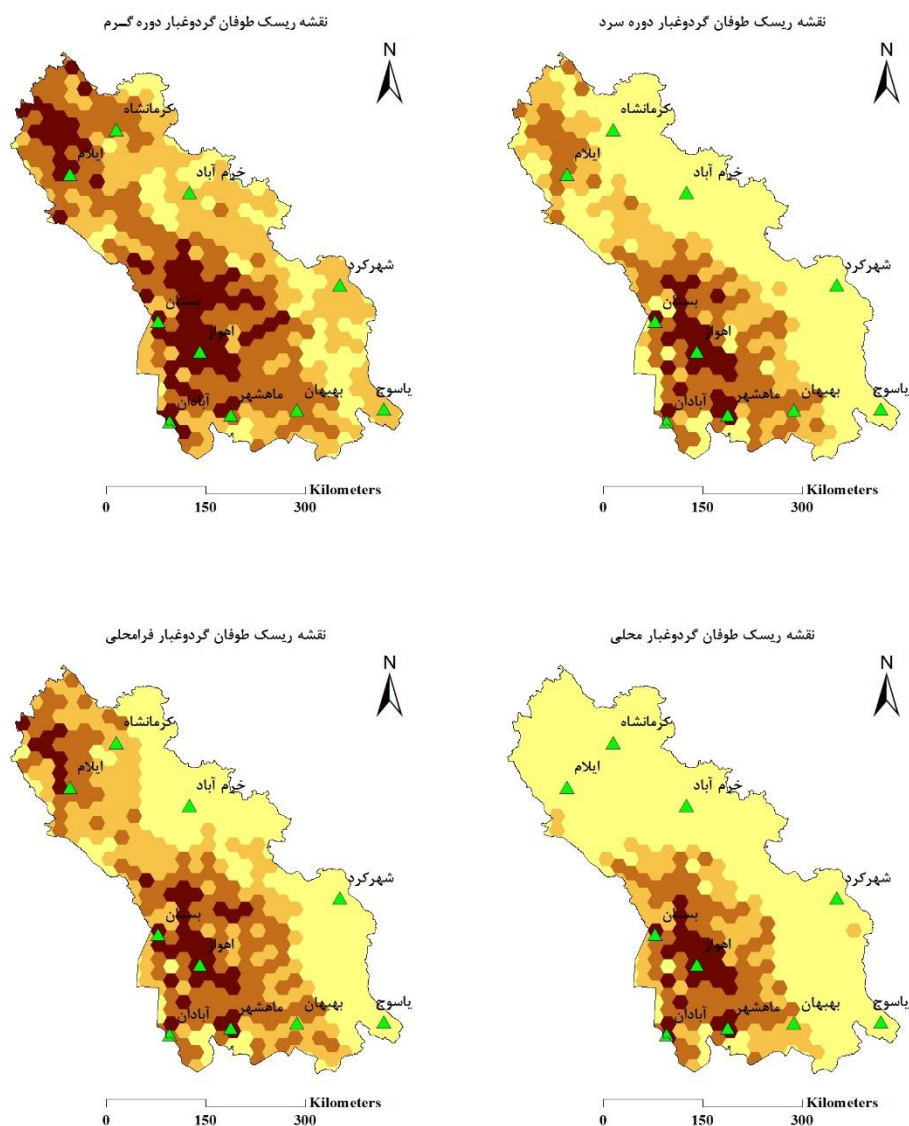
آزمون تفاوت مساحت‌ها (در سطح اطمینان ۱ درصد، $P \text{ value} < ۰/۰۱$) معنی‌دار است.

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۴۲



شکل ۸- نقشه‌های کروپلت ریسک جزئی طوفان گردوغبار منطقه مورد مطالعه

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۴۳



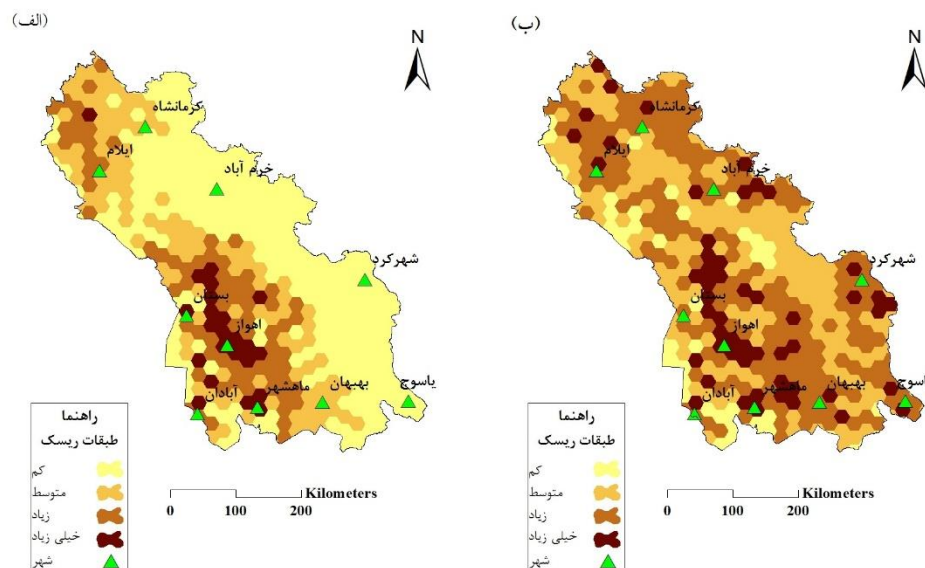
ادامه شکل ۸- نقشه‌های کروپلت ریسک جزئی طوفان گردوغبار منطقه مورد مطالعه

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۴۵

جدول ۱۲- توزیع فراوانی کلاس‌های ریسک کلی طوفان گردوغبار

نوع ریسک کلی	طبقات کیفی	عدد ریسک	مساحت (هکتار)	درصد فراوانی
مجموع خطرات طوفان گردوغبار	کم	≤ 10	۸۹۸۰۳۲۹/۶۱	۵۳/۰۵
	متوسط	۱۱-۳۰	۴۱۸۱۲۰۳/۸۳	۲۴/۷
	زیاد	۳۱-۶۰	۲۸۴۵۱۳۱/۶۲	۱۶/۸۱
	خیلی زیاد	> 61	۹۱۹۹۲۷/۸۷	۵/۴۳
کای اسکوتر				
مجموع تیپ عناصر در معرض خطر	کم	≤ 10	۱۵۰۳۱۰۸/۵۵	۸/۸۸
	متوسط	۱۱-۳۰	۶۰۶۶۹۴۲/۵۳	۳۵/۸۴
	زیاد	۳۱-۶۰	۷۲۴۳۳۸۳/۱۱	۴۲/۷۹
	خیلی زیاد	> 61	۲۱۱۳۱۵۸/۷۴	۱۲/۴۸
کای اسکوتر				
۰/۰۱*				
۵۷۵۹۴۰۵/۶۳				

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



طبق شکل (۹)، بیشتر بخش‌های منطقه در نقشه کروپلت با مجموع تیپ عناصر در معرض خطر مربوط به شهرهای با جمعیت زیاد است و بخش جنوب غرب منطقه که شهرهای اهواز تا ماهشهر و آبادان و خرمشهر را شمال می‌شود در نقشه ریسک کلی با مجموع خطرهای در کلاس خیلی زیاد ریسک قرار دارند.

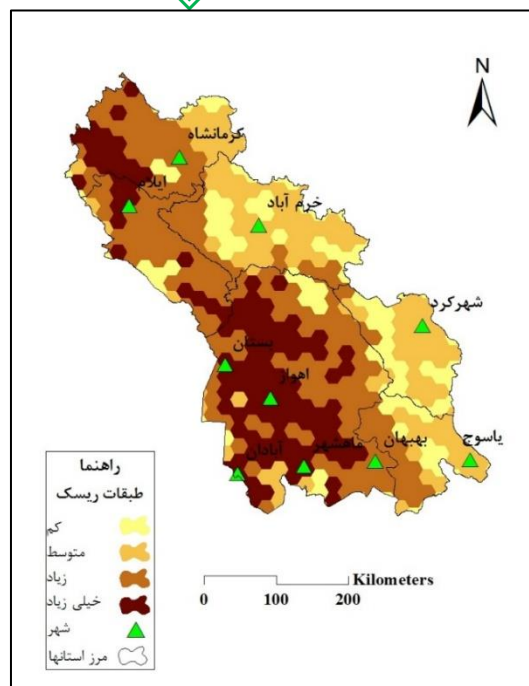
۳-۵- ریسک نهایی طوفان گردوغبار منطقه مورد مطالعه

ریسک نهایی طوفان گردوغبار نشان می‌دهد که ۶۲/۱۱ درصد مساحت منطقه در کلاس ریسک زیاد و خیلی زیاد قرار دارد (جدول ۱۲). نقشه کروپلت ریسک نهایی طوفان گردوغبار نشان می‌دهد که بخش‌های غربی و جنوب غربی منطقه مانند آبادان، خرمشهر، اهواز، بندر ماهشهر، بستان، ایلام و دهلران بیشترین درصد ریسک وقوع طوفان گردوغبار را تجربه می‌کنند، در حالی که شرق منطقه مورد مطالعه مانند شهرهای کوهرنگ، بروجن، شهرکرد، کنگاور، کرمانشاه، روانسر، خرم‌آباد و یاسوج کمترین میزان ریسک طوفان گردوغبار را دارند (شکل ۱۰).

جدول ۱۳- توزیع فراوانی کلاس‌های ریسک نهایی طوفان گردوغبار

کلاس	طبقات کیفی	عدد ریسک	مساحت (هکتار)	درصد فراوانی
۱	کم	≤ 10	۲۴۷۹۹۴۳/۳۶	۱۴/۶۵
۲	متوسط	۱۱ - ۳۰	۳۹۳۳۹۸۹/۵	۲۳/۲۴
۳	زیاد	۳۱ - ۶۰	۶۴۵۸۲۲۷/۵۵	۳۸/۱۵
۴	خیلی زیاد	> 61	۴۰۴۴۳۲/۵۲	۲۳/۹۵
کای اسکوتر			۱۹۲۴۲۶۹/۶۶	۰/۰۱*

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



شکل ۱۰- نقشه کروپلت ریسک نهایی طوفان گردوغبار منطقه مورد مطالعه

۴- بحث و نتیجه گیری

در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه، بیشتر روزهای طوفان گردوغبار مربوط به دوره گرم سال بوده است و درصد روزهای طوفان گردوغبار دوره سرد سال حدود ۳۰ درصد و دوره گرم سال حدود ۷۰ درصد می‌باشد. در فصل سرد سال که هسته کم ارتفاع و امواج غربی بر روی اروپا و دریای مدیترانه شکل می‌گیرد به علت سنگینی هوای سرد در این ایام، اجازه نفوذ به عرض‌های پایین را به خوبی پیدا می‌کنند و تراف^۱ (ناوه) آنها بر روی بیابان‌های خاورمیانه شکل می‌گیرد. با توجه به شرایط گرمایی و حرارتی این

¹ Trough

منطقه قسمت جلو تراف‌ها که به سمت شرق گرایش دارند به صورت فراز^۱ درآمد و اختلالات هوا را ایجاد می‌کنند، چون این بیابان‌ها خشک هستند شرایط توربولانسی، باد و گردوغبار ایجاد شده که به سمت غرب و جنوب غربی ایران کشیده می‌شود. در فصل گرم سال که کم‌فشارهای حرارتی به سمت عرض‌های بالاتر کشیده می‌شوند در اثر برخورد با کم‌فشارها و پرفشارهای فوقانی اختلاف فشار حاصل شده است و خشکی شدید منطقه نیز مزید بر علت شده است و پدیده گردوغبار در منطقه شدت می‌یابد. وقوع طوفان‌ها در تابستان به دلیل لخت بودن زمین، شفافیت جو، خشکی هوا و دشت‌های وسیع است که در صورت افزایش شدید دمای هوا سبب شکل‌گیری ناپایداری منطقه‌ای می‌شود.

با توجه به نقشه‌های تهیه شده، استنباط می‌شود که هر چه از غرب منطقه به سمت شرق آن حرکت کنیم از تعداد روزهای طوفان گردوغبار کاسته می‌شود. اساساً هر چه یک موج طوفان گردوغبار از منشأ و یا کانون اولیه خود فاصله می‌گیرد از شدت و تداوم آن کاسته می‌شود. بنابراین می‌توان گفت چون منبع اولیه بیشتر پدیده‌های طوفان گردوغباری منطقه مورد مطالعه، مناطقی مانند بیابان‌های عراق، عربستان، سوریه و شمال آفریقا می‌باشد. به تبعیت از همجواری نواحی غربی منطقه مورد مطالعه با این مناطق، شدت و تداوم موج طوفان گردوغبار در این نواحی نسبت به نواحی شرقی بیشتر می‌شود و هر چه از این نواحی به سمت شرق حرکت می‌کنیم از شدت و تداوم این پدیده کاسته می‌شود. بنابراین رابطه بین شدت و تداوم موج‌های طوفان گردوغبار با مسافت طی شده از منبع اولیه یک رابطه معکوس است. با توجه به کلیه نقشه‌های ریسک طوفان گردوغبار، شهرهای آبادان، ماهشهر، اهواز و بستان در ریسک گردوغبار خیلی شدید قرار دارند. البته هر چه از غرب منطقه به سمت شرق و از شمال به جنوب منطقه حرکت کنیم از تعداد روزهای همراه با موج طوفان گردوغبار کاسته می‌شود. با توجه به قرار گرفتن ۶۲/۱ درصد از منطقه در کلاس ریسک بحرانی (۳۸/۱۵ درصد در کلاس زیاد و ۲۳/۹۵ درصد در کلاس خیلی

¹ Ridge

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۴۹

زیاد) و اینکه نتایج آزمون کای اسکوئر بین کلاس‌های مختلف ریسک در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری دارد، این نتیجه عاید می‌شود که گردوغبار در نواحی جنوب غرب ایران خسارت بحرانی دارد. به هر حال، هرگونه فعالیت مؤثر در کاهش ریسک طوفان گردوغبار بهتر است بر یک چارچوب منطقه‌ای استوار گردد. برای حصول نتایج بهینه در طرح‌های اجرایی باید از متخصصان و کارشناسان بومی منطقه استفاده شود. عمده‌ترین خسارتهای ناشی از فرسایش بادی و طوفان‌های گردوغبار را می‌توان در تخریب بخش کشاورزی، حمل‌ونقل، محو روستاها و جاده‌ها و آسیب به سلامت جسمی و روانی ساکنان این مناطق دانست. از این رو، برای پیش‌برد سریع برنامه‌ها و فعالیت‌های مؤثر در کاهش ریسک طوفان گردوغبار، مردم و ذینفعان نیز بایستی مشارکتی فعال داشته باشند. در صورت اجرای هرگونه طرحی باید ذینفعان منطقه‌ای اعم از ساکنان منطقه به‌ویژه کشاورزان و دامداران منطقه مورد توجه و آموزش‌های ویژه قرار گیرند.

- افراخته، ه. ۱۳۹۴. بررسی تغییرات مکانی-زمانی گردوغبار بر پایه شاخص غبارناکی DSI (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). پایاننامه کارشناسی ارشد همزیستی با بیابان، توسعه و عمران طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان، دانشگاه تهران، ۱۲۴ ص.
- امیدوار، ک. ۱۳۹۰. مخاطرات طبیعی. انتشارات دانشگاه یزد، ۳۱۶ ص.
- انصافی مقدم، ط. ۱۳۹۶. واکاوی تاثیر رخداد گردوغبار بر تغییرات بارش در جنوب غربی ایران. رساله دکتری رشته جغرافیای طبیعی گرایش اقلیم شناسی، دانشگاه تهران. ۲۴۲ ص.
- اونق، م. ۱۳۸۸. پهنه‌بندی خطر و خسارت زمین لغزش آبخیز زیارت گرگان. طرح پژوهشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- آرامی عبدالحسین، اونق مجید، شیخ واحدبردی. ۱۳۹۲. برنامه مدیریت خطر بیابان‌زایی منطقه آق‌بند استان گلستان. مجله جغرافیای مناطق خشک. دانشگاه حکیم سبزواری. ۴(۱۴): ۱۱۸-۱۰۳.
- آرامی عبدالحسین، اونق مجید، شیخ واحدبردی. ۱۳۹۳. ارزیابی خطر بیابان‌زایی با مدل ۹ معیاری IMDPA در منطقه نیمه خشک آق‌بند، استان گلستان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۲۱(۲): ۱۷۲-۱۵۳.
- جوهری، ف. ۱۳۹۳. بررسی و مدل سازی تغییرات زمانی و مکانی گردوغبار منطقه جنوب غرب ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۱۴۲ ص.
- درگاهیان، ف؛ رضوی زاده، س. ۱۴۰۱. مدلسازی سهم اهمیت شاخصهای اقلیمی و نمایه‌های تغییر اقلیم مؤثر بر گرد و غبار یزد. کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی، ۱۰(۱): ۱۸۷-۱۶۹.
- دهقانپور، ع. ۱۳۸۴. تحلیل آماری و سینوپتیکی طوفان‌های خاک در فلات مرکزی ایران میان سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۹۰. رساله دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه خوارزمی.
- ذوالفقاری، ح.، عابدزاده، ح. ۱۳۸۴. تحلیل سینوپتیک سیستم‌های گردوغبار در غرب ایران. مجله جغرافیا و توسعه، ۳(۶): ۱۸۸-۱۷۳.
- رضایی، م.، عطایی، ه. ۱۳۹۴. ارتباط نوسانات اقلیمی تالاب هورالعظیم بر رخداد گرد و غبار خوزستان. اولین همایش بین‌المللی و چهارمین همایش ملی پژوهش‌های محیط زیست و کشاورزی، همدان، ۱۱ ص.
- زندى فر، س؛ خسروشاهی، م؛ ابراهیمی خوسفی، ز؛ نعیمی، م. ۱۳۹۹. بهره‌گیری از شاخص لنکستر برای واکاوی فعالیت تپه‌های ماسه‌ای در مناطق خشک و تحلیل حساسیت عوامل مؤثر بر آن (بررسی موردی: منطقه بوئین زهرا، قزوین). مدیریت بیابان، ۸(۱۶): ۱۶-۱.
- سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور. دفتر امور بیابان. ۱۳۹۶.

تجزیه و تحلیل ریسک طوفان گردوغبار / ۵۱

شرعی پور، ز.، بیدختی، ع.ا. ۱۳۹۲. تغییرات دید جوی و عوامل مؤثر بر آن در ایستگاه ژئوفیزیک تهران طی دوره ۱۰ ساله (۲۰۰۱-۲۰۱۰). مجله ژئوفیزیک ایران، ۷(۲): ۱۴۱-۱۲۸.

شمشیری، س.، جعفری، ر.، سلطانی، س.، رضانی، ن. ۱۳۹۳. آشکارسازی و پهنه بندی گردوغبارهای استان کرمانشاه با استفاده از تصاویر ماهواره ای MODIS. بوم شناسی کاربردی، سال سوم، شماره هشتم، ۱۳ ص. طائی سمیرمی، س.، مرادی، ح.، خداقلی، م.، احمدی آخوومه، م. ۱۳۹۲. شناخت و بررسی عوامل مؤثر بر پدیده گردوغبار در غرب ایران. انسان و محیط زیست، ۱۱(۴): ۱-۱۰.

عزیزی، ق.، میری، م.، نبوی، س. ا. ۱۳۹۱. ردیابی پدیده گردوغبار در نیمه غربی ایران. فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال دوم، شماره هفتم، بهار ۱۹. ۱ ص.

غفاری، د.، مصطفی زاده، ر. ۱۳۹۴. بررسی منشاء، اثرات و راهکارهای پدیده گردوغبار در ایران. نشریه حفاظت و بهره برداری از منابع طبیعی، ۴(۲): ۱۰۷-۱۲۵.

غلامی، ف.؛ مصباح زاده، ط.؛ زهتابیان، غ. ۱۴۰۰. بررسی خشکسالی با استفاده از شاخص SPEI و ارتباط آن با وقوع گردوغبار (مطالعه موردی: استان خوزستان). تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۸(۱): ۲۰-۱۱. محمدی، غ. ح. ۱۳۹۴. تحلیل سازوکارهای جوی انتقال ریزگردها به غرب کشور. رساله دکتری، دانشگاه تبریز، ۱۴۲ ص.

مرکباتی، ا. ۱۳۸۷. خشکسالی، تهدید یا فرصت؟ نشریه علمی محیط و توسعه، سال دوم، شماره سوم، زمستان. ۷ ص.

همتی، ن. ۱۳۷۴. بررسی فراوانی طوفان های خاک در نواحی مرکزی و جنوب غرب کشور. پایان نامه کارشناسی ارشد گرایش سینوپتیک، دانشکده ژئوفیزیک، دانشگاه تهران.

یارمرادی، ز.؛ نصیری، ب.؛ کرمپور، م.؛ محمدی، غ. ح. ۱۳۹۷. تحلیل روند فراوانی روزهای گردوغباری در نیمه شرقی ایران در ارتباط با نوسانات اقلیمی. نشریه مهندسی اکوسیستم بیابان؛ ۷(۱۸): ۱۴-۱.

Akbary, M. Farahbakhshi, M. 2015. Analyzing and Tracing of Dust Hazard in Recent Years in Kermanshah Province. Int. J. Environ. Res., 9(2):673-682.

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.

Arami, S. A., Ownegh, M. 2017. Assessment of desertification hazard, risk and development of management plans. Desert, 22(1), 51-67.

Barnaba, F., Romero, N. A., Bolignano, A., Basart, S., Renzi, M., & Stafoggia, M. 2022. Multiannual assessment of the desert dust impact on air quality in Italy combining PM10 data with physics-based and geostatistical models. Environment International, 163, 107204.

Cao, H. Amiraslani, F. Liu, J. and Zhou, N. 2015. Identification of dust storm source areas in West Asia

- Chen, S., Yuan, T., Zhang, X., Zhang, G., Feng, T., Zhao, D., Zang, Z., Liao, S., Ma, X., Jiang, N. and Zhang, J., 2018. Dust modeling over East Asia during the summer of 2010 using the WRF-Chem model. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 213, pp.1-12.
- Díaz, J., Linares, C., Carmona, R., Russo, A., Ortiz, C., Salvador, P. and Trigo, R.M., 2017. Saharan dust intrusions in Spain: health impacts and associated synoptic conditions. *Environmental research*, 156, pp.455-467.
- Gao, T., Han, J., Wang, Y., Pei, H., & Lu, S. 2012. Impacts of climate abnormality on remarkable dust storm increase of the Hunshdak Sandy Lands in northern China during 2001–2008. *Meteorological Applications*, 19(3): 265-278.
- Goudarzi, G., Daryanoosh, S.M., Godini, H., Hopke, P.K., Sicard, P., De Marco, A., Rad, H.D., Harbizadeh, A., Jahedi, F., Mohammadi, M.J. and Savari, J., 2017. Health risk assessment of exposure to the Middle-Eastern Dust storms in the Iranian megacity of Kermanshah. *Public health*, 148, pp.109-116.
- Goudie, A.S. Middleton, N.J. 2001. Saharan dust storms: nature and consequences. *Earth-Science Reviews*, 56:1-4, 179-204.
- Kaskaoutis, D.G., Kosmopoulos, P., Kambezidis, H.D., Nastos, P.T., 2007. Aerosol climatology and discrimination of different types over Athens, Greece based on MODIS data. *Atmos. Environ.* 41, 7315–7329.
- Khaniabadi, Y.O., Daryanoosh, S.M., Amrane, A., Polosa, R., Hopke, P.K., Goudarzi, G., Mohammadi, M.J., Sicard, P. and Armin, H., 2017. Impact of Middle Eastern Dust storms on human health. *Atmospheric pollution research*, 8(4), pp.606-613.
- Khusfi, Z.E., Khosroshahi, M., Roustaei, F. and Mirakbari, M. 2020. Spatial and seasonal variations of sand-dust events and their relation to atmospheric conditions and vegetation cover in semi-arid regions of central Iran. *Geoderma*, 365, 114225-114241.
- Lancaster, N. 1985. Variations in wind velocity and sand transport on the windward flanks of desert sand dunes. *Sedimentology*. 32, 581–593.
- Madhavan, S., Qu, J.J. and Hao, X., 2017. Saharan dust detection using multi-sensor satellite measurements. *Heliyon*, 3(2), p.e00241.
- Messner, F. and Mayer, V. 2005. Flood damage, vulnerability and risk perception challenges for flood damage research. *UFZ, Leipzig*. 19 pp.
- Middleton, N.J. 1986(b). A Geography of dust storms in South west Asia, *Int. J. Climatol.* 6: 183–196.
- Monteiro, A., Basart, S., Kazadzis, S., Gkikas, A., Vandenbussche, S., Tobias, A. & Meinander, O. 2022. Multi-sectoral impact assessment of an extreme African dust episode in the Eastern Mediterranean in March 2018. *Science of the Total Environment*, 156861.
- O’loingsigh, T. Mctainsh, G. H. Tews, E. K. Strong, C. L. Leys, J. F. Shinkfield, P. Tapper, N. J. 2014. The Dust Storm Index (DSI): A method for monitoring broad scale wind erosion using meteorological records. *Aeolian Res.* 12, 29-40.

- Partow, H. 2001. The Mesopotamian Marshlands: Demise of an Ecosystem. DEWA/GRID-Geneva in cooperation with GRID-Sioux Falls and the Regional Office for West Asia (ROWA), United Nations Environment Programme (UNEP).
- Penner J E.; Andreae M.; Annegarn H.; Barrie L.; Feichter J.; Hegg D.; Jayaraman A.; Leaitch R.; Murphy D.; Nganga J.; Pitari G.; 2001: Aerosols, their direct and indirect effects; Climate Change, The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)], chapter 5, Cambridge University Press; 2001.
- Prospero, J.M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S.E., Gill, T.E., 2002, Environmental Characterization of Global Sources of Atmospheric Soil Dust Identified with the NIMBUS 7 Total Ozone Mapping.
- Sivakumar, V.K., 2005. Impacts of sand storms/dust storms on Agriculture. Natural Disasters and Extreme Events in Agriculture. Vol 7, 159-177.
- Squires, V.R., 2001. Dust and sand storms from the worlds dry lands. International dry land consultant Adelida University, Australia.
- Takemi, T., Seino, N. 2005. Dust storms and cyclone tracks over the arid regions in East Asia in spring. Journal of Geophysical Research. 110, D18S11, doi:10.1029/2004JD004698.
- Tanaka, T.Y., Chiba, M. 2006. A numerical study of the contributions of dust source regions to the global dust budget. Global Planet Change 52, 88 - 104.
- Thomas, David. 2015. The canary in the coal mine: Tony Harrison and the poetics of coal, climate, and capital, Textual Practice, 30:5, 915-932, DOI: 10.1080/0950236X.2015.1084369.
- UNEP, WMO, UNCCD (2016). Global Assessment of Sand and Dust Storms. United Nations Environment Programme, Nairobi.
- UNEP. 2004. The UNEP's Strategy on Land Use Management and Soil Conservation was prepared by the UNEP Division of Policy Development and Law.
- Vali, A. Roustaei, F. 2018. Investigation of the wind erosion trend in central Iran using dust storm index in the last fifty years. JWSS-Isfahan Univ. Technol, 21 (4), 189-200.
- Van Westen, C., Kappes, M. S., Luna, B. Q., Frigerio, S., Glade, T., & Malet, J. P. 2014. Medium-scale multi-hazard risk assessment of gravitational processes. In Mountain risks: from prediction to management and governance (pp. 201-231). Springer Netherlands.
- Wang, Y. Wang, R. Ming, J. Liu, G. Chen, T. Liu, X. Liu, H. Zhen, Y. Cheng, G. 2016. Effects of dust storm events on weekly clinic visits related to pulmonary tuberculosis disease in Minqin, China Atmos. Environ, 127, 205-212.
- Xuan J, Sokolik IN, Hao J, Guo F, Mao H, Yang G, 2004. Identification and characterization of source of atmospheric mineral dust in East Asia, Atmospheric Environment, 38; (36): 6239-6252.