جمهوری اسلامی ایران
وزارت کشور
مرکز مطالعات راهبردی و آموزش وزارت کشور

ریزگرد مخاطره‌ای فرامرزی؛ محصول منفعت‌طلبی

گزارش راهبردی | شماره ۲۲ | مرداد ۱۴۰۱ | گروه مطالعات عمران، توسعه و مدیریت شهری

بسم الله الرحمن الرحیم

مرکز مطالعات راهبردی و آموزش وزارت کشور

جمهوری اسلامی ایران
وزارت کشور

نویسنده‌ها: حامد حسنلو – امین زین‌العابدین

تهیه شده در: گروه مطالعات عمران، توسعه و مدیریت شهری

تاریخ انتشار: مرداد ۱۴۰۱

گزارش راهبردی

ریزگرد مخاطره‌ای فرامرزی؛ محصول منفعت‌طلبی

در این گزارش می‌خوانید

۱ آشنایی با مفهوم ریزگرد و بررسی عوامل پیدایش آن در منطقه منا

۲ ارزیابی اثرات زیست‌محیطی، بهداشتی، اقتصادی، اجتماعی، کشاورزی و صنعتی ریزگرد

۳ ارائه راهکارهای مؤثر و کارامد جهت پیشگیری و کنترل ریزگردها

جمهوری اسلامی ایران
وزارت کشور

چکیده

ریزگردها مواد جامد ریزی هستند که در اثر باد و طوفان در هوا معلق شده و همچون دیگر آلاینده‌ها، موجب اثرات منفی مختلف بر محیط‌زیست، بهداشت، اقتصاد، کشاورزی و جامعه می‌شوند. محدوده اثر این آلاینده محدود نبوده و می‌تواند مسافت‌های طولانی را طی کرده و موجب آلودگی در مکان‌های دوردست شود. این ذرات بسته به منشاء و کانون تولیدشان حاوی عناصر مختلف شیمیایی و آلی هستند که می‌توانند به عنوان یک آلوده‌کننده در سطح محلی و منطقه‌ای سلامت انسان را تحت تأثیر قرار دهند. طبق آمار، سالانه ۴۱ هزار نفر جان خود را در کشور ما به دلیل آلودگی هوا از دست می‌دهند. طبق آخرین گزارش بانک جهانی در سال ۲۰۱۸، هزینه‌های سلامت (مرگ و بیماری) آلاینده ذرات معلق در شهر تهران سالیانه، ۲/۶ میلیارد دلار است. بنابراین با توجه به اهمیت این موضوع، در این گزارش به بررسی راهکارهای پیشگیری و کنترل ریزگردها پرداخته شده است. مطالعه صورت گرفته در این حوزه نشان می‌دهد، عوامل پیدایش گرد و غبار در کشور ما به دو دسته داخلی و خارجی، با توجه به قرارگیری ایران در منطقه غرب آسیا و شمال آفریقا (منا)، تقسیم می‌شود. عواملی مانند تغییر در کاربری اراضی، احداث سد، عدم پوشش گیاهی مناسب و تخریب مناطق جنگلی، عدم تأمین حقابه‌های محیط‌زیستی و خشکسالی جزء عوامل داخلی و ناپایداری جوی در صحراهای عربستان، عراق، کویت و سوریه، تغییرات فشار هوا و وزش باد شدید از سمت بیابان‌های کشورهای عراق و عربستان، خشک‌شدن بیش از هشتاد درصد تالاب‌های هورالعظیم و هورالحویزه در مرز ایران و عراق به دلیل احداث سدهای مختلف بر روی دو رودخانه بزرگ دجله و فرات در ترکیه و عراق، جنگ و عدم همکاری کشورهای منطقه برای مهار ریزگردها جزء عوامل خارجی محسوب می‌شوند. بر اساس یافته‌های این مطالعه، برای کنترل ریزگرد، راهکارهای پیشنهادی مانند مقابله با بیابان‌زایی، مدیریت صحیح منابع آب و خاک، ایجاد کمربند فضای سبز اطراف شهرها، همکاری با کشورهای منطقه در راستای احترام به حقوق زیست‌محیطی و التزام عملی به کنوانسیون بین‌المللی مقابله با بیابان‌زایی، تدوین و اجرای برنامه اقدام ملی مقابله با بیابان‌زایی، افزایش آگاهی‌های عمومی، استفاده از فناوری‌های نو، استفاده از پوشش گیاهی زنده، بادشکن و مالچ‌پاشی توصیه می‌شود.

فهرست مطالب

یافته‌های کلیدی ۱
مقدمه ۲
ریزگرد ۳
دلایل پیدایش ۵
پراکنش و رسوب ۸
عوامل ایجاد ریزگردها در منطقه منا ۹
اثرات ریزگردها ۱۵
اثرات زیست‌محیطی ۱۵
اثرات بهداشتی و سلامت ۱۶
اثرات اجتماعی و اقتصادی ۱۷
اثرات بر زیست‌کره و اتمسفر ۱۸
اثرات بر کشاورزی و صنعت ۱۹
جمع‌بندی ۱۹
تجویز راهبردی ۲۰
منابع ۲۷

فهرست شکل‌ها

شکل ۱. فلوچارت مقابله با گرد و غبار (World Bank, 2019)..... ۲

شکل ۲. پهنه‌بندی پتانسیل ایجاد طوفان‌های گرد و غبار در جهان (World Bank, 2019)..... ۳

شکل ۳. تخمین فراوانی پدیده گرد و غبار در جهان (Shao et al., 2013)..... ۹

شکل ۴. توزیع جغرافیایی گرد و غبار صحرای بزرگ آفریقا (De Longueville et al., 2013)..... ۱۰

شکل ۵. توزیع جغرافیایی گرد و غبار صحرای بزرگ آفریقا (Cao et al., 2015)..... ۱۱

شکل ۶. استفاده از کشت دایره‌ای (WSJ, 2010)..... ۲۱

شکل ۷. استفاده از کشت نواری (Wikihow, 2022)..... ۲۲

شکل ۸. استفاده از بادشکن مصنوعی (Joyeyou, 2022)..... ۲۳

شکل ۹. استفاده از مالچ‌پاشی نفتی (برگرفته از سازمان محیط زیست)..... ۲۴

شکل ۱۰. تکنولوژی پایش گرد و غبار (Akhlaq et al., 2012)..... ۲۶

فهرست جداول

جدول ۱. عوامل فیزیکی مهم تأثیرگذار بر فرسایش بادی (Goudie & Middleton, 2006)..... ۷

جدول ۲. تیپ‌های مختلف ژئومورفیک و اثر آن‌ها در انتشار گرد و غبار (Bullard et al., 2011) ۷

جدول ۳. دستورالعمل‌های احتیاطی برای شرایطی که ذرات معلق PM2.5 و PM10 آلاینده مسئول هستند (EPA, 2009)..... ۱۶

جدول ۴. اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت اقتصادی پدیده گرد و غبار (Middleton & Goudie, 2006)..... ۱۷

جدول ۵. میزان متوسط گرد و غبار، مرگ و میر و هزینه‌ها و خسارات ناشی از طوفان‌های گرد و غبار در کشورهای منطقه منا (World Bank & IHME, 2016)..... ۱۷

جدول ۶. راهکارهای جلوگیری از فرسایش بادی (Middleton & Goudie, 2006). ۲۴

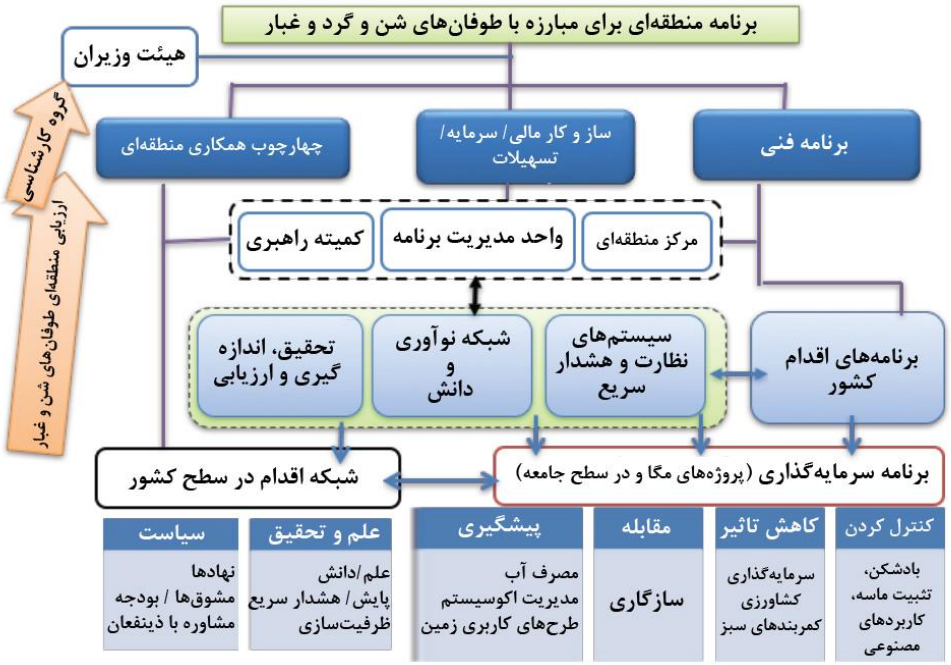
جدول ۷. راهکارهای کنترل جابه‌جایی گرد و غبار (World Bank, 2019)..... ۲۵

جدول ۸. روش‌های نظارت و پایش گرد و غبار (World Bank, 2019)..... ۲۶

یافته‌های کلیدی

- ریزگردها علاوه بر آلوده‌کردن منطقه منشاء می‌توانند مسافت‌های طولانی را طی کرده و مناطق دوردست را نیز تحت تأثیر قرار دهند. لذا مقابله با این پدیده نیاز به یک همکاری منطقه‌ای و بین‌المللی دارد.
- منشاء ریزگردها در اتمسفر زیستی (طی فرآیندهای طبیعی) یا بر اثر فعالیت‌های انسان است.
- ریزگردها بسته به منشاء و کانون تولیدشان حاوی عناصر مختلف شیمیایی و آلی هستند که می‌توانند به عنوان یک آلوده‌کننده سلامت زیست‌محیطی در سطح محلی و منطقه‌ای بخصوص سلامت انسان را تحت تأثیر قرار دهند.
- به علت نقش اندازه ذرات بر میزان تأثیر آن‌ها بر سلامتی انسان، این آلایندگی بر اساس استاندارد در دو سایز مختلف شامل همه ذرات با قطر کوچکتر از ۱۰ میکرون و همه ذرات با قطر کوچکتر از ۲/۵ میکرون اندازه‌گیری شده و به صورت واحد جرم در متر مکعب هوا گزارش می‌شوند.
- نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که ترکیب اکسیدهای اصلی گرد و غبار مناطق غربی و جنوب غربی کشور شبیه با ترکیب میانگین سایر نقاط جهان یعنی ترکیب لای- رسی است.
- به طور کلی ۹ منطقه در جهان نقش اصلی در تولید کل گرد و غبار بیابانی دنیا را دارند که از بین آن‌ها، منطقه منا[1] (MENA) که شامل غرب آسیا و شمال آفریقا است بزرگترین منشاء تولید گرد و غبار در جهان محسوب می‌شود.
- طی دو دهه اخیر بروز فعال این پدیده در گستره‌ای بیش از ۲۰ استان کشور مشکلات متعدد زیست-محیطی را بوجود آورده است. عدم هماهنگی بین سازمان‌ها در اجرا و نظارت به همراه عدم تخصیص صحیح و مقتضی بودجه از طرف دولت برای مقابله با پدیده ریزگردها از دیگر عوامل مهم اصلی به شمار می‌رود.
- در کشور ما علل وقوع پدیده گرد و غبار را می‌توان به دو دسته داخلی و خارجی طبقه‌بندی نمود.
- اثرات ریزگردها به ۵ دسته محیط زیست، سلامت و بهداشت، اجتماعی- اقتصادی، زیست‌بوم و کشاورزی تقسیم می‌شود.
- بدون همکاری با کشورهای منطقه در راستای احترام به حقوق زیست‌محیطی و التزام عملی به کنوانسیون بین‌المللی مقابله با بیابان‌زایی نمی‌توان با این پدیده مقابله نمود.
- چارچوب روش‌های مقابله با گرد و غبار در شکل ۱ نشان داده شده است.

[1] Middle East and North Africa (MENA)



شکل ۱. فلوچارت مقابله با گرد و غبار (World Bank, 2019).

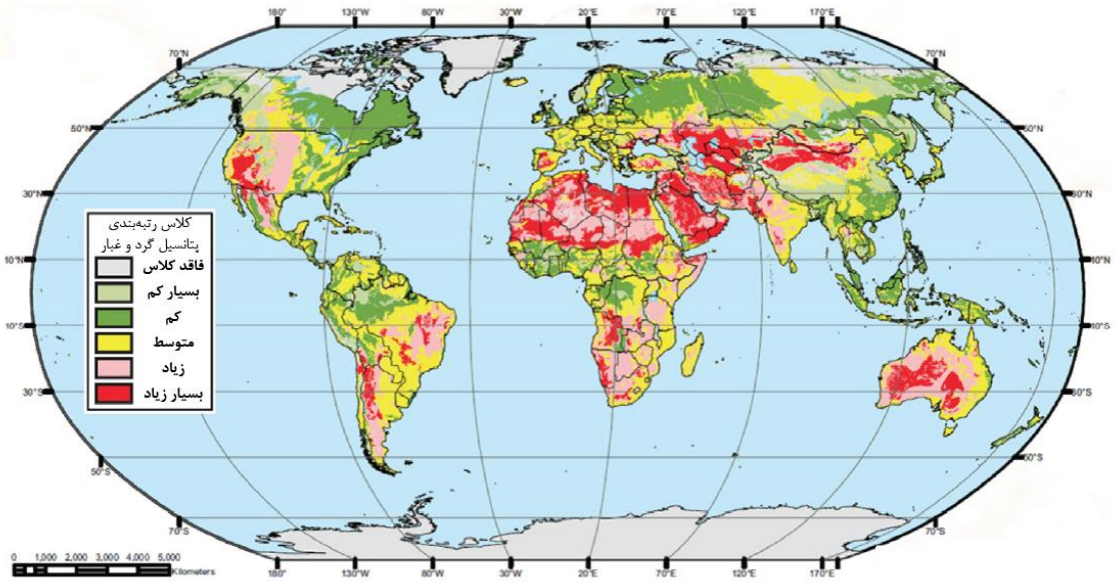
مقدمه

پدیده ریزگرد، اغلب پدیده‌ای طبیعی است که عموماً نزدیک به سطح زمین رخ می‌دهد و از فرسایش بادی که ذرات رسوب را از سطح زمین جابه‌جا می‌کند، ناشی می‌شود. اما ذرات گرد و غبار ممکن است کیلومترها در اتمسفر بالا روند، جایی که بادهای قوی آن‌ها را به مسافت‌های طولانی منتقل می‌کنند. از آنجایی که زمین‌های بایر بیشتر مستعد ورود رسوبات گرد و غبار هستند، این رویدادها معمولاً در مناطق نیمه‌خشک و خشک که پوشش گیاهی محدود است رخ می‌دهند. بر اساس تعریف سازمان هواشناسی جهانی[۲] (WMO) در صورتی که سرعت باد به بیش از ۱۵ متر بر ثانیه برسد و دید افقی به علت گرد و غبار به کمتر از یک کیلومتر کاهش یابد، طوفان گرد و غبار و پدیده ریزگرد گزارش می‌شود (Nickovic et al., 2015).

اثرات و دامنه انتشار این پدیده ممکن است تا فاصله ۴۰۰ کیلومتری از منبع اصلی تداوم داشته و سبب بروز اثرات نامطلوب زیست‌محیطی شود. پژوهش‌های انجام شده بر روی رسوبات بستر اقیانوس‌ها نشان از بروز طوفان‌های گرد و غبار از ۷۰ میلیون سال قبل از دوره کرتاسه دارد. همچنین مرور منابع نشان می‌دهد که متوسط ارتفاع طوفان‌های گرد و غبار بین ۹۰۰ و ۱۸۰۰ متر از سطح زمین است (ESCAP, 2021). همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، جمهوری اسلامی ایران بخصوص در بخش‌های غربی و جنوب غربی به

[2] World Meteorological Organization

دلیل قرار گرفتن در پهنه کمربند بیابانی جهان و همجوار بودن با بخش وسیعی از پهنه‌های خشک و نیمه‌خشک هر ساله تحت تأثیر نامطلوب این پدیده است (World Bank, 2019).



شکل ۲. پهنه‌بندی پتانسیل ایجاد طوفان‌های گرد و غبار در جهان (World Bank, 2019).

با توجه به اهمیت موضوع، پرسش‌های کلیدی که برای تصمیم‌گیری در رابطه با شناسایی و مقابله با این پدیده مهم است عبارتند از:

- ریزگرد چیست؟
- دلایل اصلی پیدایش ریزگرد کدام است؟
- عوامل ایجاد ریزگردها در منطقه چیست؟
- ریزگردها چه اثراتی دارند؟
- برای جلوگیری از آن‌ها و محافظت از خود در برابر تأثیر آن‌ها چه سیاست‌ها و راهکارهایی را باید در پیش گرفت؟

گزارش راهبردی پیش‌رو بر مبنای پاسخگویی به سوالات اساسی فوق شکل گرفته است.

ریزگرد

ریزگردها مواد جامد بسیار ریزی هستند که در اثر باد و طوفان در هوا معلق می‌شوند و همچون دیگر آلاینده‌ها (مه، دود، خاکستر، شن، خاک و آلاینده‌های شیمیایی) موجب تیرگی افق دید در آسمان می‌شوند. این مواد می‌توانند مسافت‌های طولانی را طی کنند و با کم شدن سرعت باد، براساس وزن مخصوص خود بتدریج رسوب نمایند و دید افقی را ۱ تا ۲ کیلومتر (در شرایط بحرانی حتی تا چند متر) محدود کنند. منابع ریزگردها به دو

دسته طبیعی و انسان‌ساخت تقسیم می‌شوند. این ذرات بسته به منشاء و کانون تولیدشان حاوی عناصر مختلف شیمیایی و آلی هستند که می‌توانند به عنوان یک آلوده‌کننده، سلامت زیست‌محیطی در سطح محلی و منطقه‌ای بخصوص سلامت انسان را تحت تأثیر قرار دهند (ESCAP, 2018).

این ذرات بسته به شرایط فیزیکی و شیمیایی آن‌ها و شرایط محیطی، در بازه‌های زمانی مختلف، از چند روز تا چندین ماه و سال، در اتمسفر معلق می‌مانند. بر اساس تقسیم‌بندی آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان[3] و سازمان بهداشت جهانی[4] ، ذرات معلق بر اساس اندازه آن‌ها به چهار دسته زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

- ذرات معلق قابل استنشاق، با قطر آیرودینامیکی بین ۲/۵ تا ۱۰ میکرومتر (PM10)
- ذرات معلق ریز، با قطر آیرودینامیکی کمتر از ۲/۵ میکرومتر (PM2.5)
- ذرات بسیار ریز معلق در مقیاس نانو، با قطر آیرودینامیکی کمتر از ۱۰۰ نانومتر
- ذرات معلق با اندازه بزرگ مانند دوده یا ذرات کربن ناخالص حاصل از احتراق ناقص هیدروکربن‌ها

اندازه ذرات بطور مستقیم با توانایی آن‌ها در بروز مشکلات بهداشتی- سلامتی ارتباط دارد. آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده[5] (EPA) چنین تعریف می‌کند که ذرات کمتر از ۱۰ میکرومتر بدلیل اینکه دارای قابلیت عبور از دستگاه تنفسی هستند و از طریق مجرای تنفسی وارد ریه می‌شوندمی‌توانند مشکلات جدی برای ریه و قلب انسان به وجود آورند (Soleimani et al., 2020). برخی از ذرات معلق به اندازه کافی بزرگ هستند که می‌توانند با چشم مشاهده شوند و بر قابلیت دید انسان اثر بگذارند. بدلیل منشاء متفاوت ثابت و متحرک ذرات معلق، ترکیبات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها نیز متفاوت خواهد بود. لذا به علت نقش اندازه ذرات بر میزان تأثیر آن‌ها بر سلامتی انسان، این آلایندگی بر اساس استاندارد در دو سایز مختلف شامل همه ذرات با قطر کوچکتر از ۱۰ میکرون و همه ذرات با قطر کوچکتر از ۲/۵ میکرون اندازه‌گیری شده و به صورت واحد جرم در متر مکعب هوا گزارش می‌شوند.

ترکیب و جنس ذرات معلق در اتمسفر بستگی به منشاء و منبع تولید آن‌ها دارد. برای مثال، طوفان‌های گرد و غبار اغلب حاوی اکسیدهای معدنی پوسته زمین (ترکیب لای- رسی) هستند. نمک‌های دریایی ناشی از آب دریا بیشتر حاوی کلرید سدیم، منیزیم، سولفات، کلسیم، پتاسیم و همچنین مواد آلی هستند. یکی از منابع طبیعی و محرک ذرات معلق، اکسیداسیون گازهای اولیه مانند گوگرد و نیتروژن است که منجر به تولید اسید سولفوریک مایع و اسید نیتریک گازی می‌شود. بنابراین، برخی از ذرات معلق اتمسفری دارای ترکیبات اسیدی (سولفوریک مایع و نیتریک گازی) هستند که سلامت انسان و سایر موجودات زنده را تحت تأثیر قرار می‌دهند. منشاء مواد آلی موجود در اتمسفر زیستی (طی فرآیندهای طبیعی) یا بر اثر فعالیت‌های انسان است. مواد آلی موجود در ذرات معلق بر جذب و پخش اتمسفری اثر می‌گذارند و از این طریق بر شرایط آب و هوایی تأثیر

[3] International Agency for Research on Cancer (IARC)
[4] World Health Organization (WHO)
[5] Environmental Protection Agency (EPA)

دارند. نوع دیگری از ترکیبات آلی ذرات معلق در ارتباط با عنصر کربن است. به بیان دیگر، مواد آلی و عنصر کربن بخشی از ترکیبات کربن‌دار ذرات معلق را تشکیل می‌دهند. ترکیب ذرات معلق شامل موارد زیر است:

- خاک و گرد و غبار (ترکیب لای- رسی)
- ترکیبات آلی
- اسید (سولفات و نیترات)
- عناصر شیمیایی و فلزات سنگین
- در برخی موارد آب

نتایج تحقیقات متعدد نشان می‌دهد که ترکیب اکسیدهای اصلی گرد و غبار مناطق غربی و جنوب غربی کشور شبیه با ترکیب میانگین سایر نقاط جهان یعنی ترکیب لای- رسی است (World Bank, 2019).

دلایل پیدایش

در مقیاس جهانی مهم‌ترین و بیشترین دلیل رخداد پدیده ریزگردها و تولید ذرات معلق اتمسفر، فرآیندهای طبیعی مانند فعالیت آتشفشان‌ها، فرسایش بادی سطح زمین و طوفان‌های گرد و غبار، آتش‌سوزی طبیعی علفزارها و جنگل‌ها، فعالیت‌های زیستی تجزیه مواد آلی و گرده گیاهان[۶]، ورود نمک آب اقیانوس‌ها و دریاها به اتمسفر[۷] و واکنش‌های شیمیایی گازهای اتمسفر هستند.

منطقه صحرای بزرگ آفریقا[۸] بزرگترین کانون تولیدکننده گرد و غبار در جهان به‌شمار می‌رود که سالانه حدود ۷۰۰ میلیون تن گرد و غبار را وارد اتمسفر می‌کند. حدود ۳۰ درصد از گرد و غبار ایجاد شده از این مناطق در نزدیکی منبع رسوب می‌کنند و ۲۰ درصد در مقیاس محلی دوباره انتشار می‌یابند. بیش از نیمی از گرد و غبار تولید شده در مناطق صحرای آفریقا به جنوب غربی آمریکا (تگزاس و آریزونا) و برخی از مواقع به کرانه شرقی و جنوب شرقی انگلستان تحت عنوان طوفان زرد گسترش می‌یابد.

تولید ذرات معلق و رخداد برخی از ریزگردها منشاء انسانی دارد که اغلب در مقیاس محلی و منطقه‌ای معضلات زیست‌محیطی متعددی را ایجاد می‌کنند. از مهم‌ترین منابع انسان‌ساخت تولید ذرات معلق و وقوع پدیده ریزگردها می‌توان به فعالیت‌های صنعتی (کارخانجات، صنایع ذوب فلزات، معدن‌کاری)، کشاورزی (شخم اراضی، آتش‌سوزی بقایای محصولات کشاورزی)، حمل و نقل، احتراق سوخت‌های فسیلی در وسایل نقلیه موتوری و نیروگاه‌های تولید انرژی، احتراق در زباله‌سوزها، مواد زائد جامد و زباله‌های شهری، تخریب و ساخت و ساز ساختمان و عدم برنامه‌ریزی و سوء مدیریت سرزمین (آب و زمین) اشاره کرد.

[6] Pollen
[7] Salt spray
[8] Saharan Africa

عوامل ایجاد گرد و غبار را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی نمود:

- بادهای شدید و طوفان گرد و غبار (منابع مختلف گرد و غبار): فرسایش خاک، جاده‌ها و راه‌های خاکی، ذخیره مصالح ساختمانی و گرد و غبار ناشی از حرکت وسایل نقلیه (چرخ‌ها و ترمز)، تخریب و ساختمان‌سازی
- صنایع و کارخانجات
- آتش‌سوزی علفزارها و بوته‌زارها: شامل ترکیبی از انواع گازها و ذرات بسیار ریز معلق بر اثر سوختن چوب و انواع ترکیبات آلی
- آتش‌زدن ضایعات محصولات کشاورزی مانند: پنبه، برنج، مزارع نیشکر، غلات، دانه‌های روغنی و حبوبات
- شرایط جغرافیایی منطقه از نظر آب و هوا (دما، بارندگی و رطوبت)، خاک (نوع، رطوبت و بافت خاک)، پوشش گیاهی (مرتع، جنگل، اراضی کشاورزی)، توپوگرافی (وجود ارتفاعات و مناطق دشتی)، شرایط اقلیمی حاکم (سرعت و جهت بادهای غالب، ضخامت لایه مرزی اتمسفر، وزش بادها و طوفان‌های شدید، خشکسالی و آشفتگی عمودی اتمسفر)
- پوشش و کاربری سرزمین: تخریب جنگل و مرتع، تغییر کاربری و توسعه اراضی کشاورزی، گسترش بیابان و بیابان‌زایی
- بیابان‌ها و مناطق تحت تأثیر بیابانی، تغییرات اقلیمی، سوء مدیریت منابع آبی و سرزمین، تغییر رژیم هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز و خشک‌شدن تالاب‌ها

همان‌طور که اشاره شد باد عامل اصلی طوفان‌های شن و انتشار گرد و غبار در محیط طبیعی در همه جهان است. فاکتورهای فیزیکی مهم در فرسایش بادی در جدول ۱ ارائه شده است.

به طور کلی، هفت نوع ژئومورفیک در مناطق خشک و نیمه‌خشک شناسایی شده که از نظر ویژگی‌های سطحی که بر حساسیت آن‌ها نسبت به فرسایش بادی تأثیر می‌گذارد، متفاوت هستند و می‌توانند به راحتی با استفاده از اطلاعات سنجش از دور شناسایی شوند (Bullard et al., 2011). این دسته‌بندی در جدول ۲ آورده شده است (Goudie & Middleton, 2006).

جدول ۱. عوامل فیزیکی مهم تأثیرگذار بر فرسایش بادی (Goudie & Middleton, 2006)

اقلیم	رسوب یا خاک	پوشش گیاهی	شکل زمین
سرعت باد (+)	نوع خاک/رسوب	گونه	زبری سطح (+/-)
جهت باد (+)	ترکیب ذرات	پوشش (-)	شیب (-)
تلاطم (+)	ساختار خاک/رسوب	تراکم	خط الرأس
بارش (-)	مواد آلی (-)	توزیع (+/-)	
تبخیر (+)	کربنات‌ها (-)		
دمای هوا (-/+)	چگالی ظاهری		
فشار هوا (+)	درجه تجمیع (-)		
عمل انجماد-ذوب (-/+)	رطوبت سطح (-)		

جدول ۲. تیپ‌های مختلف ژئومورفیک و اثر آن‌ها در انتشار گرد و غبار (Bullard et al., 2011)

نوع ژئومورفیک	بافت معمولی	اهمیت انتشار گرد و غبار
دریاچه‌ها		
خیس	شن، لای، رس	کم
زودگذر (یک‌روزه)	لای، رس	بالا (در صورت سندبلاست) - متوسط
خشک، تحکیم یافته	لای، رس	کم
خشک، تحکیم نیافته	لای، رس	بالا (در صورت سندبلاست) - متوسط
رسوبات آبرفتی دانه درشت		
مسلح بریده شده	سنگریزه درشت، ماسه، شن	کم
مسلح بریده نشده	سنگریزه درشت، ماسه، شن	کم
غیر مسلح بریده شده	ماسه، شن، لای، رس	متوسط
غیر مسلح بریده نشده	شن، لای، رس	متوسط-زیاد
رسوبات آبرفتی دانه ریز		
مسلح بریده شده	ماسه، شن	کم
مسلح بریده نشده	ماسه، شن، لای، رس	متوسط
غیر مسلح بریده شده	شن، لای، رس	کم
غیر مسلح بریده نشده	شن، لای، رس	متوسط
سطوح سنگی	ماسه، شن، لای، رس	کم
رسوبات ماسه‌ای		
لایه‌های ماسه‌ای	ماسه	کم تا متوسط
تلماسه های بادی	ماسه	کم تا زیاد
لس (نوعی خاک)	لای، رس	کم-متوسط
سطوح با بازتاب کم: صخره - یخ	سنگریزه درشت، ماسه، شن، لای، رس	کم

پراکنش و رسوب

ذرات کوچک‌تر و سبک‌تر زمان بیشتری را در اتمسفر می‌مانند و ذرات بزرگتر (با قطر بزرگتر از ۱۰ میکرومتر) در ظرف چند ساعت رسوب می‌کنند. مطالعات انجام شده نشان می‌دهند که ذرات بسیار کوچک (با قطر کمتر از یک میکرومتر) هفته‌ها در اتمسفر باقی می‌مانند و تنها توسط بارندگی تحت عنوان رسوب تر[9] از آن حذف می‌شوند. پارامترهای متعددی در پراکنش و رسوب ذرات معلق مؤثر هستند مانند: نوع ذرات معلق، شرایط اتمسفری، ارتفاع و نوع پوشش گیاهی، ناهمواری و عوارض سطح زمین و فاصله از منابع اصلی.

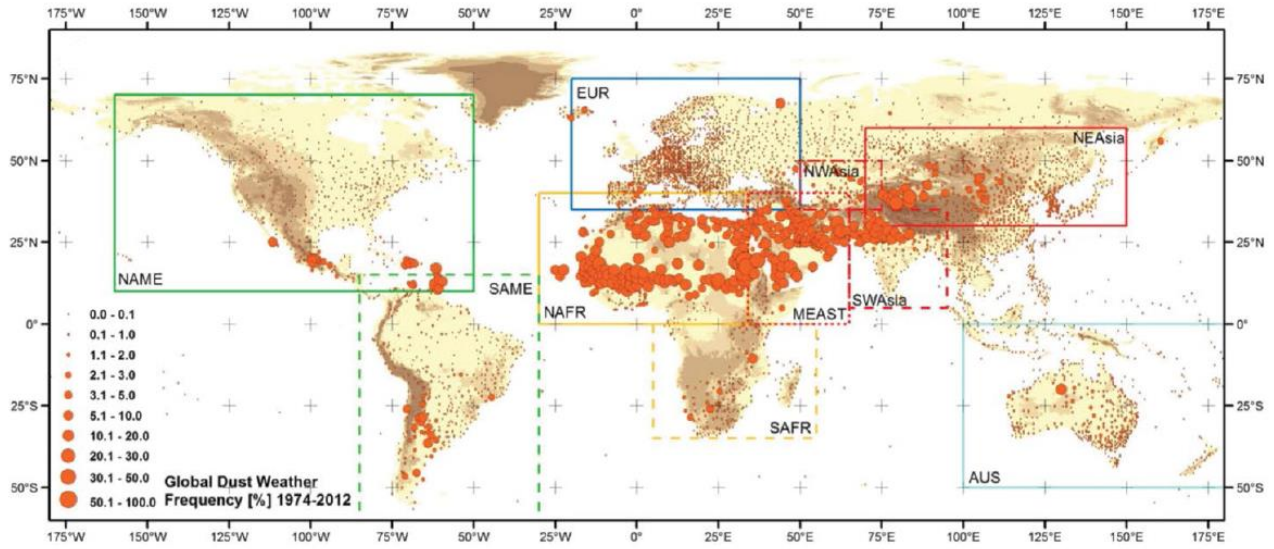
انتشار عمودی ذرات معلق بسته به شرایط مختلف فصلی متغیر است. برای مثال، در فصل تابستان به دلیل آشفتگی عمودی/حرارتی اتمسفر ناشی از بازتاب انرژی با طول موج‌های بلند، انتشار عمودی ذرات معلق بیشتر از زمستان است. به بیان دیگر، پایداری اتمسفر در شرایط هوای سرد منجر به انباشت ذرات معلق و افزایش غلظت برخی از عناصر در لایه‌های پایین و نزدیک سطح زمین می‌شود. این بدان معنی است که ذرات معلق در فصل تابستان و در هوای گرم قابلیت بالایی در انتشار عمودی دارند. این موضوع منجر به افزایش زمان ماند ذرات معلق در اتمسفر و در نتیجه افزایش احتمال انتشار افقی آن‌ها تا چندصد کیلومتر خواهد بود.

بیشترین و کمترین نرخ رسوب گرد و غبار متناسب با جهت و سرعت بادهای غالب و توپوگرافی منطقه است. در این راستا، همبستگی معنی‌دار منفی میان نرخ رسوب گرد و غبار با میزان بارش و رطوبت نسبی دارد، در حالی‌که با دمای هوا و سرعت باد همبستگی مثبت دارد. در ماه‌های خشک سال، ذرات معلق کوچکتر مسافت بیشتری را طی می‌کنند، اما در ماه‌های مرطوب به دلیل چسبندگی ذرات خاک و کاهش قدرت حمل باد به علت ابعاد بزرگتر ذرات مسافت کمتری را طی می‌کنند. همچنین، نرخ رسوب گرد و غبار با شدت‌گرفتن طوفان‌های تابستانی افزایش و با ازدیاد میزان رطوبت در زمستان کاهش می‌یابد و در مناطق مرتفع، خشکی موجب افزایش شدت انتشار گرد و غبار خواهد شد. تغییر پوشش گیاهی از گیاهان چند ساله به گیاهان یک ساله نیز به علت حساسیت این گیاهان به خشکی در طول دوره جوانه‌زنی، موجب افزایش نرخ رسوب گرد و غبار خواهد شد. با افزایش بارندگی و رطوبت نسبی، چسبندگی ذرات در مناطق کانونی گرد و غبار افزایش یافته و منجر به کاهش تولید گرد و غبار در منطقه منبع و در نهایت کاهش آن در کل منطقه می‌شود. از طرف دیگر، بارندگی روی مقدار رطوبت خاک و پوشش گیاهی به عنوان دو فاکتور مهم کنترل‌کننده گرد و غبار تأثیر می‌گذارد و میزان تولید آن را کاهش می‌دهد. مطالعات متعددی گزارش نمودند که بارندگی و حضور پوشش گیاهی به خاطر تأثیری که بر سرعت باد و اندازه ذرات خواهند داشت، مقدار گرد و غبار اتمسفر را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهند.

[9] Wet Deposition

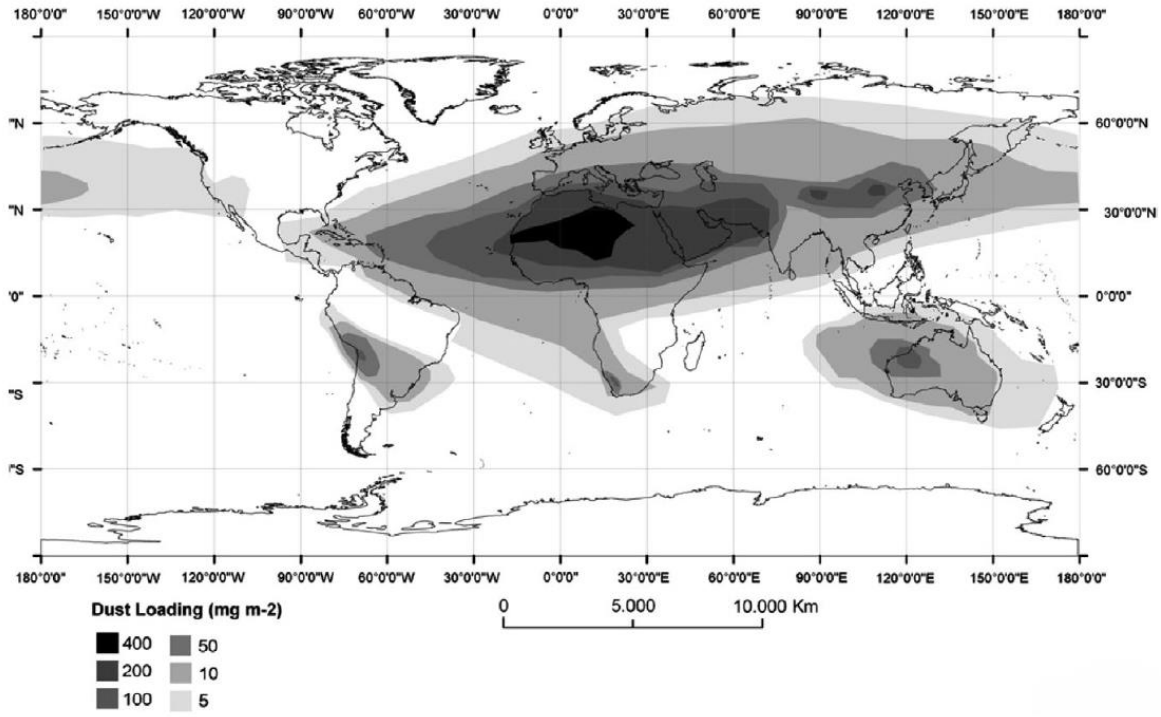
عوامل ایجاد ریزگردها در منطقه منا

۹ منطقه در جهان نقش اصلی در تولید کل گرد و غبار بیابانی دنیا را دارند که عبارتند از: آفریقای شمالی، آفریقای جنوبی، شبه جزیره عربستان، آسیای مرکزی، چین غربی، چین شرقی، آمریکای شمالی، آمریکای جنوبی و استرالیا. آفریقای شمالی، غرب آسیا، آسیای جنوب غربی و شمال شرق آسیا مناطقی هستند که بیشترین فراوانی گرد و غبار را دارند (شکل ۳)(Shao et al., 2013).



شکل ۳. تخمین فراوانی پدیده گرد و غبار در جهان (Shao et al., 2013).

در میان ۹ منطقه ذکر شده، منطقه منا (MENA) که شامل غرب آسیا و شمال آفریقا است بزرگترین منشاء تولید گرد و غبار در جهان محسوب می‌شود. در این منطقه، صحرای بزرگ آفریقا قرار دارد که بزرگترین منبع گرد و غبار است به طوری که انتشار گرد و غبار آن حدود چهار برابر بیابان‌های عربستان است. توزیع جغرافیایی گرد و غبار صحرای بزرگ آفریقا بر اساس برآوردهای انجام شده توسط (De Longuville et al., 2013) در شکل ۴ نشان داده شده است. بر اساس این شکل، گرد و غبار شمال آفریقا تا دریای کارائیب، جنگل آمازون، آمریکای شمالی، اروپا و چین نیز منتقل می‌شود.

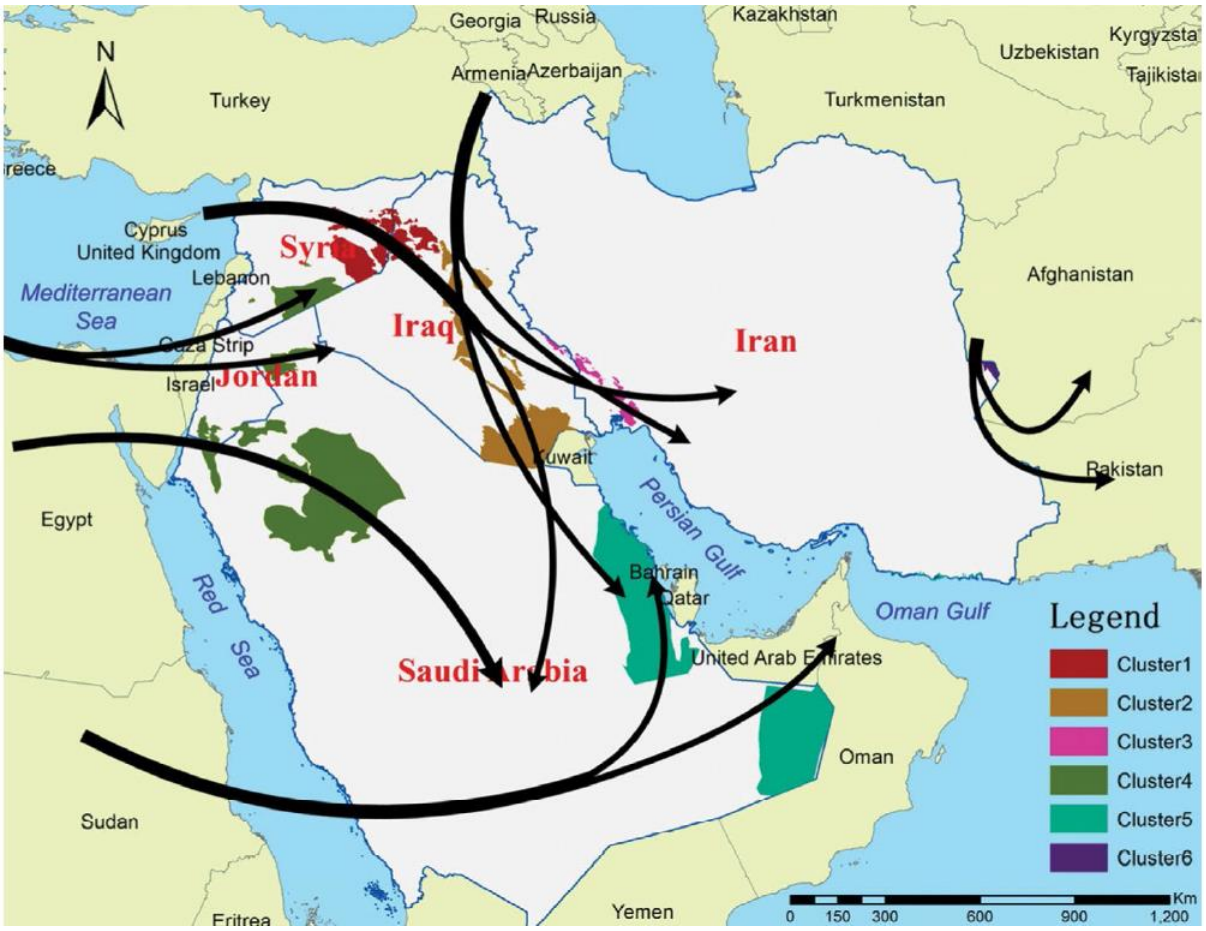


شکل ۴. توزیع جغرافیایی گرد و غبار صحرای بزرگ آفریقا (De Longueville et al., 2013).

فراوانی وقوع طوفان‌های گرد و غبار در کشورهای غرب آسیا بسته به زمان سال، متفاوت است. سودان، عراق، عربستان سعودی و کشورهای حاشیه خلیج فارس بیشترین تعداد طوفان‌های گرد و غبار را گزارش می‌کنند. در طول ماه‌های تابستان که طوفان‌های گرد و غبار در منطقه اغلب با بادهای شمال همراه است ایران، عراق، سوریه، کشورهای حاشیه خلیج فارس و جنوب شبه جزیره عربستان بیشترین طوفان‌های گرد و غبار را تجربه می‌کنند. در غرب عراق و سوریه، اردن، لبنان، شمال فلسطین اشغالی، شمال شبه جزیره عربستان و جنوب مصر عمدتاً در بهار طوفان‌های گرد و غبار را تجربه می‌کنند. در حالی که در جنوب فلسطین اشغالی و در بخش‌های مدیترانه‌ای شمال مصر، در زمستان و بهار این طوفان‌ها رخ می‌دهند.

طوفان‌های شن و گرد و غبار در منطقه منا توسط مسیرهای آب و هوایی متعدد هدایت می‌شوند. شش مسیر اصلی طوفان شن و گرد و غبار وجود دارد که در شکل ۵ نشان داده شده است (Cao et al., 2015). مسیر اول از دریای مدیترانه سرچشمه می‌گیرد و از روی قبرس گذشته و وارد سوریه می‌شود. مسیر دوم تحت کنترل یک سیستم پرفشار بر روی شرق اروپا است. مسیر سوم از جنوب دریای مدیترانه یا سواحل شمال آفریقا می‌آید و همیشه به جنوب سوریه یا مرز شمالی اردن و عربستان سعودی وارد می‌شود. راه چهارم از شمال آفریقا است که معمولاً از مصر و شمال دریای سرخ می‌گذرد و به سمت جنوب شرقی عربستان می‌وزد. مسیر پنجم نیز در فرورفتگی‌های شمال آفریقا قرار دارد. آخرین مسیر از دشت سیستان در مرز ایران و افغانستان

سرچشمه می‌گیرد که توسط پاد سیکلون بر فراز آسیای مرکزی کنترل می‌شود. توده‌های هوای دریای مدیترانه عوامل مهمی برای تولید طوفان‌های شن و غبار هستند که حدود ۷۰ درصد رویدادهای طوفان گرد و غبار را پوشش می‌دهند.



شکل ۵. توزیع جغرافیایی گرد و غبار صحرای بزرگ آفریقا (Cao et al., 2015).

کانون‌های تولید گرد و غبار و منشاء پدیده ریزگردهای تأثیرگذار بر ایران در منطقه غرب آسیا یعنی عراق، سوریه، اردن، کویت، عربستان و بخش‌هایی از مناطق ترکیه و ایران است که بیشتر بر مناطق غربی و جنوب غربی تأثیر دارد. در این میان اراضی بایر و خشک و نیمه‌خشک بین‌النهرین از مهم‌ترین کانون‌های مشارکت‌کننده در تولید گرد و غبار هستند. حوضه آبریز بین‌النهرین بیشتر از ارتفاعات ترکیه و بخشی از ارتفاعات سوریه و ایران تغذیه می‌شود که به دلیل توسعه اراضی کشاورزی و ساخت سدهای بزرگ و متعدد به مهم‌ترین کانون تولیدکننده گرد و غبار در غرب آسیا تبدیل شده است.

تداخل توده هوای بزرگ شکل گرفته در ارتفاعات ترکیه و ایران با توده هوای تشکیل شده در ارتفاعات عربستان منجر به اختلاف فشار اتمسفر در مناطق خشک و نیمه‌خشک عراق با بخش‌های غربی و جنوب غربی ایران شده که در نهایت منجر به بروز بادهای غالب غربی و جنوب غربی تا سواحل خلیج فارس می‌شود. ایجاد این بادها می‌تواند توده‌های بزرگ و سنگین گرد و غبار مناطق خشک و نیمه‌خشک بین‌النهرین را در کمتر از ۲۴ ساعت در تابستان و کمتر از ۷۲ ساعت در زمستان به مناطق غربی و جنوب غربی ایران و حتی فلات مرکزی منتقل کند. بواسطه اجرای پروژه گاپ در ترکیه، احداث سدهای متعدد و عظیم بر روی دجله و فرات و توسعه حدود ۱/۷ میلیون هکتار اراضی کشاورزی در این کشور، بدون در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی (نیاز زیست‌محیطی پایین‌دست از نظر اکولوژیکی و اقتصادی- اجتماعی) و حقابه پایین‌دست، اغلب مراتع کشورهای عراق و سوریه دچار تخریب شده و بدین صورت منشاءای برای بروز پدیده ریزگردها در منطقه و ایران تبدیل شدند.

طی سال‌های دهه ۹۰ میلادی و اوایل قرن ۲۱ بدلیل تحریم‌های بین‌المللی علیه عراق و همچنین ایجاد کانال سراسری عراق جهت کشت و توسعه اراضی کشاورزی، این اراضی به شوره‌زار تبدیل شده و بر مشکلات منطقه افزوده است. به بیان دیگر، آبی که به عراق از طریق رودخانه‌های دجله و فرات وارد می‌شده بر اثر پروژه‌های سدسازی ترکیه به کمتر از نصف رسیده و عراق به کشوری خشک و اراضی کشاورزی آن به شوره‌زار تبدیل شده است. بیابان‌های عربستان نیز به عنوان یکی دیگر از مناطق مهم در تولید گرد و غبار جهان شناخته می‌شود. همچنین شن‌های منطقه وابی کشور عمان از مناطق تولیدکننده گرد و غبار منطقه غرب آسیا است. بیشترین فعالیت گرد و غبار در منطقه غرب آسیا در اواخر بهار و اوایل تابستان همراه با افزایش فعالیت‌های گرد و غبار مناطق صحرای آفریقا شکل می‌گیرد.

بستر خشک تالاب هورالعظیم (مصب رودخانه کرخه)، تالاب شادگان (مصب رودخانه جراحی) و بخش‌های خشک‌شده بزرگی از دریاچه ارومیه در ایران و تالاب‌های بین‌النهرین (مجموعه تالاب‌های هورالحمر، هور مرکزی و هورالعظیم) در جنوب غربی عراق از مهم‌ترین منابع گرد و غبار و پدیده ریزگردها هستند. حیات و بقای تالاب هورالعظیم در ایران به رودخانه‌های دویرج و کرخه وابسته است که هر کدام در تنظیم جریان طبیعی آن نقش بسزایی داشته و تغییرات ایجاد شده در آن‌ها بر روی شرایط موجود طبیعی تأثیر داشته است. به بیان دیگر، کاهش آبدهی رودخانه‌های کرخه و دویرج و ممانعت از استمرار جریان طبیعی رودخانه کرخه به هورالعظیم بواسطه آبگیری طولانی مدت سد کرخه نیز به تشدید این پدیده کمک کرده است.

رودخانه سیلابی کرخه با آبدهی قابل توجه پس از مشروب نمودن دشت‌های مختلف ایران و گاهی پخش در سیلاب-دشت‌ها، در نهایت به تالاب هورالعظیم منتهی می‌شود. احداث سد مخزنی کرخه با هدف اصلی تأمین و تضمین آب اراضی کشاورزی و همچنین احداث سد مخزنی سیمره در سال‌های اخیر در بالادست سد کرخه

و در استان ایلام عاملی مهم در کاهش آورد رودخانه کرخه در پایین‌دست این سدها شده است. سدهای ساخته شده بر روی رودخانه کارون و طرح‌های انتقال از سرشاخه‌های این رودخانه بزرگ و همچنین سدهای ساخته شده در حوضه رودخانه‌های مارون و جراحی باعث کم آب شدن تالاب شادگان و تبدیل آن به منبع تولید گرد و غبار و پدیده ریزگرد شده است.

منابع آب سطحی و زیرزمینی تالاب‌های حمار، هورالعظیم و هور مرکزی وابسته به نوسانات آب رودخانه‌های حوضه آبریز دجله و فرات است. طرح‌های مدیریت منابع آب در ترکیه و عراق با احداث سد و سامانه‌های انتقال آب و تغییرات عمده در بین‌النهرین بواسطه توسعه اراضی کشاورزی و شبکه‌های آبیاری و زهکشی (تغییر کاربری از اراضی تالابی به کشاورزی) در اطراف دجله و فرات و پایین‌دست هورالعظیم از عوامل بیابان‌زایی و منشاء اصلی ریزگردهای منطقه‌ای است. قطع ارتباط یکی از شاخه‌های بزرگ دجله با هورالعظیم با احداث کانال سراسری عراق برای توسعه زمین‌های کشاورزی و شبکه‌های آبیاری و زهکشی و احداث و آبگیری سد کرخه بین سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۰۰ میلای از مهم‌ترین عوامل تغییر در ساختار و کارکرد اکوسیستم‌های پیچیده، خشک شدن تالاب‌های منطقه و منشاء پدیده ریزگردها و آلودگی هوا هستند.

پس از کاهش سطح تالاب‌ها و خشک شدن آن‌ها، تخمیر تدریجی ساقه‌های زیرزمینی گیاهان تالابی در شرایط بی‌هوازی در اثر تشدید خشکی بواسطه تغیرات اقلیمی و کاهش بارندگی، منجر به تولید الکل متیلیک و در نهایت احتراق آرام و بدون شعله کل تالاب طی زمان کوتاهی می‌شود. خاکستر ناشی از این احتراق خاموش در سطحی وسیعی که عمق آن در برخی نواحی به ۱/۵ متر می‌رسد با کم سرعت‌ترین جریان‌های هوایی قابل انتقال به مناطق دوردست به صورت گرد و غبار است. از طرف دیگر در حال حاضر بخشی از اراضی کشاورزی به دلیل عدم تناسب الگوی کشت با شرایط منطقه به کانون پدیده ریزگردها تبدیل شده است. برای مثال، تغییر الگوی کشت از تاکستان به باغات سیب منجر به افزایش تقاضای آب کشاورزی در استان‌های آذربایجان شرقی و غربی شده است که این به عنوان یکی از عوامل کاهش سطح آب و خشک‌شدن دریاچه و تالاب‌های ارومیه و منشاء بروز پدیده ریزگردها در سطح منطقه شده است. به بیان دیگر، راندمان کشاورزی با توجه به بهره‌وری فیزیکی از آب کمتر از ۳۵ درصد است.

عدم تخصیص مناسب و مقتضی نیاز زیست‌محیطی پایین‌دست رودخانه‌ها در مدیریت منابع آب کشور، توسعه ناموزون اراضی کشاورزی، تغییر کاربری و تخریب مراتع در کنار سایر مشکلات تحمیل شده خارجی و خشکسالی‌های اخیر منجر به بروز یک هم‌بیشی[10] در ایجاد پدیده ریزگردها شده است، تا جایی که طی دو دهه اخیر بروز فعال این پدیده در گستره‌ای بیش از ۲۰ استان کشور مشکلات متعدد زیست‌محیطی را بوجود آورده است. عدم هماهنگی بین سازمان‌ها در اجرا و نظارت (عدم شفافیت وظایف مراجع ذی‌صلاح) به همراه

[10] Synergy

تخصیص ناصحیح و مقتضی بودجه از طرف دولت برای مقابله با پدیده ریزگردها از دیگر عوامل مهم اصلی به شمار می‌رود.

تناسب نداشتن فعالیت‌های مدیریت منابع آب و مدیریت حوضه آبریز با شرایط زیست‌محیطی جاری (با در نظر گرفتن روند تغییرات زیست‌محیطی و اقلیمی) از دیگر عوامل مهم اصلی در این رابطه است. به بیان دیگر، عدم موفقیت در کنترل و پیش‌گیری پدیده ریزگردها نشان از عدم تناسب فعالیت‌های مدیریتی مراجع ذی‌صلاح با شرایط اکولوژیکی و اقتصادی- اجتماعی جاری در سطوح محلی و منطقه‌ای است.

لذا در کشور ما علل وقوع پدیده گرد و غبار را می‌توان به دو دسته داخلی و خارجی طبقه‌بندی نمود. اگرچه دلایل متعدد مثل گرمایش جهانی و خشکسالی‌های اخیر در عرصه جهانی عامل اصلی ریزگرد شناخته می‌شود اما عمده‌ترین علل وقوع پدیده گرد و غبار به ویژه در منطقه غرب آسیا و شمال آفریقا به شرح ذیل است.

عوامل داخلی:

- تغییر در کاربری اراضی، تغییر در مدیریت منابع آب سطحی و زیرزمینی خصوصاً در مناطق مرزی
- مدیریت ناکارآمد منابع آب مانند احداث سد، انحراف مسیر رودخانه و برداشت بی‌رویه آب و عدم تأمین حقابه‌های محیط‌زیستی پایین‌دست
- شرایط جوی و اقلیمی از جمله خشکسالی، وزش بادهای شدید روی بیابان، حرکت صعودی هوا و وجود جریان‌های فوقانی.
- کاهش بارندگی و به تبع آن کاهش میزان رطوبت خاک که باعث می‌شود ذرات خاک پیوستگی و انسجام خود را از دست داده و در نتیجه زمینه‌های مساعد وزش بادهای شدید روی بیابان، حرکت صعودی هوا و وجود جریان‌های فوقانی ایجاد می‌شود.

عوامل خارجی:

- ناپایداری جوی در صحراهای عربستان، عراق، کویت و سوریه
- خشکسالی‌های متوالی با شدت و وسعت بالا در منطقه
- کاهش بارندگی و میزان رطوبت هوا و خاک
- عدم پوشش گیاهی مناسب و کاهش سریع آن و تخریب مناطق جنگلی و مرتعی
- تغییرات فشار هوا و وزش باد شدید از سمت بیابان‌های کشورهای عراق و عربستان
- خشک‌شدن بیش از هشتاد درصد تالاب‌های هورالعظیم و هورالحویزه در مرز ایران و عراق به دلیل احداث بیش از ۳۲ سد بزرگ بر روی دو رودخانه بزرگ دجله و فرات در ترکیه و عراق در ۴۰ سال گذشته

- جنگ، ایجاد ناامنی و تغییر در فرهنگ کار و زندگی مردم کشورهای منطقه که موجب بی‌توجهی به مسائل محیط زیست شده است.
- همکاری نکردن کشورهای منطقه برای مهار ریزگردها و کنترل گرد و غبار.

اثرات ریزگردها

اثرات ریزگردها را می‌توان در ۵ دسته مختلف بررسی نمود که در ادامه به تفکیک ارائه شده‌اند.

اثرات زیست‌محیطی

اثرات و پیامدهای زیست‌محیطی گرد و غبار را می‌توان در موارد زیر دسته‌بندی کرد:

- منابع طبیعی (منابع آب، جنگل‌ها و مراتع)
- حیات وحش
- بیابان‌زایی
- تغییر اکوسیستم (مثلاً تبدیل تالاب به کانون ریزگرد)
- تشدید فرسایش خاک، بروز طوفان‌های گرد و غبار، سیل‌خیزی، افت کمی و کیفی اندوخته‌های آبی
- ورود مواد معدنی بیش از اندازه به خاک (مانند فسفر) و آلودگی خاک
- تأثیر بر چرخه فیتوپلانکتون‌ها در اقیانوس‌ها و تسریع در ذوب یخچال‌های طبیعی

بر اساس یک فرضیه علمی یک رابطه غیر مستقیم بین افزایش گازهای گلخانه‌ای، رقیق‌شدن لایه ازن و بروز پدیده خشکسالی و ریزگردها وجود دارد. حدود سه چهارم سطح زمین را اقیانوس‌ها و دریاها پوشش می‌دهند. بنابراین بیشترین و مهم‌ترین مصرف‌کننده گاز دی‌اکسیدکربن فیتوپلانکتون‌های اقیانوس‌ها و دریاها بواسطه فرآیند فتوسنتز هستند. در صورت رقیق‌شدن لایه ازن، بیشترین تأثیر بر روی این موجودات (بزرگترین مصرف‌کننده گازی دی‌اکسیدکربن سطح زمین) خواهد بود که بر اثر کاهش جمعیت این موجودات، میزان گاز دی‌اکسیدکربن بشدت افزایش می‌یابد. بر اثر افزایش شدید این گاز، دمای کره زمین نیز یک‌باره افزایش یافته که این امر منجر به ذوب شدن یخچال‌ها و یخ درون خاک‌های یخزده قطبی می‌شود. بر اثر آب شدن آن‌ها متان محبوس شده در آن آزاد می‌شود که چندین برابر دی‌اکسیدکربن توانایی گاز گلخانه‌ای در به دام انداختن گرمای سطح زمین را دارد. در صورت بروز این حادثه گرمای سطح زمین به شدت بالا رفته و با تغییر و ایجاد نوسان در چرخه‌های هیدرولوژی منجر به افزایش و تشدید خشکسالی و در نتیجه پدیده ریزگردها می‌شود.

- کاهش عملکرد فتوسنتز گیاهان
- تأثیر بر تشعشع خورشیدی

ذرات معلق با رنگ روشن انرژی خورشید را در هوای بدون ابر بازتاب می‌کنند، در حالی‌که ذرات تیره رنگ انرژی الکترومغناطیسی خورشید را جذب می‌کنند. بنابراین، ذرات معلق می‌توانند با تعدیل و اصلاح انرژی، الگوی چرخه‌های اتمسفری را تغییر دهند. بنابراین ذرات معلق با تأثیر بر تابش خورشید و امواج بلند (حرارتی) بازتاب شده از سطح زمین بر روی فرآیندهای اقلیمی و هیدرولوژی زمین اثر می‌گذارند.

اثرات بهداشتی و سلامت

اثرات سلامتی انسان به دلیل خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی گرد و غبار موجود در هوا است. مقادیر قابل توجهی از غبارهای معدنی موجود در هوا در محدوده اندازه آیرودینامیکی که توسط آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده تعریف شده است، قابل تنفس هستند. استنشاق ذرات مساوی یا کمتر از قطر ۲/۵ میکرون (PM2.5) و ذرات درشت بین ۲/۵ تا ۱۰ میکرون (PM10) یک خطر جدی برای سلامتی است. بدین منظور حد استاندارد ذرات معلق برای سلامت انسان بر اساس مطالعات و تحقیقات دانشمندان ارائه شده که در جدول ۳ آورده شده است (WHO, 2018).

جدول ۳. دستورالعمل‌های احتیاطی برای شرایطی که ذرات معلق PM2.5 و PM10 آلاینده مسئول هستند (EPA, 2009)

مقدار شاخص	سطوح مرتبط با سلامتی	دستورالعمل احتیاطی	رنگ‌ها
۰-۵۰	خوب	ندارد	سبز
۵۱-۱۰۰	متوسط	افراد خیلی حساس در صورت امکان فعالیت‌های طولانی یا سنگین را کاهش دهند.	زرد
۱۰۱-۱۵۰	ناسالم برای گروه‌های حساس	افراد مبتلا به بیماری‌های قلبی یا ریوی، سالمندان و کودکان باید فعالیت‌های طولانی یا سنگین خارج از منزل را کاهش دهند.	نارنجی
۱۵۱-۲۰۰	ناسالم	افراد مبتلا به بیماری‌های قلبی یا ریوی، سالمندان و کودکان باید از فعالیت‌های طولانی یا سنگین خارج از منزل اجتناب ورزند. افراد دیگر باید فعالیت‌های طولانی یا سنگین خارج از منزل را کاهش دهند.	قرمز
۲۰۱-۳۰۰	خیلی ناسالم	افراد مبتلا به بیماری‌های قلبی یا ریوی، سالمندان و کودکان باید از هرگونه فعالیت فیزیکی خارج از منزل اجتناب کنند. افراد دیگر باید از فعالیت‌های طولانی یا سنگین خارج از منزل اجتناب کنند.	بنفش
بالاتر از ۳۰۰	خطرناک	افراد مبتلا به بیماری‌های قلبی یا ریوی، سالمندان و کودکان نباید از منزل خارج شوند و فعالیت‌های خود را به حداقل برسانند. افراد دیگر باید از فعالیت‌های طولانی و یا سنگین در خارج از منزل اجتناب نمایند.	خرمایی

اثرات و پیامدهای منفی گرد و غبار و آثار آن بر سلامتی و بهداشت را می‌توان به موارد زیر تقسیم نمود.

- تشدید بیماری‌های مختلف، آلرژی‌ها و غیره.

شناخت ماهیت، منشاء و اثرات این پدیده در تعیین روش‌های کنترل آن نقش بسزایی دارد. یافته‌ها نشان می‌دهد استنشاق هوای آلوده به ذرات گرد و غبار باعث نفوذ این هوا به کیسه‌های هوایی،

بی‌نظمی ضربان قلب (آریتمی)، حملات قلبی، مشکلات تنفسی و غیره شده است. مطالعات نشان می‌دهد انتشار گرد و غبار معدنی از زمین‌های خشک باعث تشدید بسیاری از بیماری‌های تنفسی و قلبی عروقی می‌شود. آسم، برونشیت، آسپرژیلوزیس، بیماری‌های قارچی مرتبط با گرد و غبار موجود در هوا مانند تب دره و مننژیت مغزی نخاعی از جمله بیماری‌های مرتبط با ریزگردها هستند که می‌توانند باعث اپیدمی‌های بزرگ با میزان مرگ و میر بالا شوند.

- تأثیر بر رشد جسمی و ضریب هوشی کودکان
- اثر بر سلامت روان افراد
- اثر بر سلامت جسمانی افراد

اثرات اجتماعی و اقتصادی

در سطح جهانی، خسارات رفاهی ناشی از گرد و غبار تقریباً ۳/۶ تریلیون دلار است که حدود ۱۵۰ میلیارد دلار و بیش از ۲/۵ درصد از تولید ناخالص داخلی (GDP) به طور متوسط در منطقه منا است. جدول ۴ اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت اقتصادی پدیده گرد و غبار را نشان می‌دهد.

جدول ۴. اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت اقتصادی پدیده گرد و غبار (Middleton & Goudie, 2006).

عوارض کوتاه مدت	عوارض بلندمدت
مشکلات فوری سلامت انسان (به عنوان مثال، مشکلات تنفسی) و مرگ و میر	مشکلات تجمعی سلامت انسان (مانند برونشیت، اختلالات قلبی عروقی)
مرگ و میر دام	فرسایش خاک و کاهش کیفیت خاک
آسیب‌های زیرساختی (به عنوان مثال، ساختمان‌ها، سازه‌های برق و تلفن، تأسیسات برق، مزارع خورشیدی، ماشین آلات، گلخانه‌ها)	آلودگی خاک از طریق رسوب مواد بیولوژیکی سمی (قارچ‌ها، باکتری‌ها)، فلزات سنگین یا نمک‌ها
هزینه‌های پاکسازی شن و غبار از زیرساخت‌ها (مانند جاده‌ها، فرودگاه‌ها، سدها، کانال‌های آبیاری، سازه‌های کنترل سیل، خندق‌ها، تأسیسات برق)	اختلال در مقررات آب و هوای جهانی (از طریق بازخوردهای مربوط به گرمایش جهانی، بهره‌وری اقیانوس‌ها و تولید CO_2، تغییرات بارش، حجم یخ جهانی، سطح دریا، چرخه هیدرولوژیکی و پوشش گیاهی)
وقفه در حمل و نقل (هوایی، جاده‌ای، ریلی) و ارتباطات؛ حوادث ترافیکی هوایی و جاده‌ای	مهاجرت
کاهش بهره‌وری نیروی کار؛ تعطیلی دفتر و کسب و کار	کاهش درآمد خانوار
خسارت سالانه و چند ساله محصول	

جدول ۵ میزان متوسط گرد و غبار، مرگ و میر و هزینه‌ها و خسارات ناشی از طوفان‌های گرد و غبار در کشورهای منطقه منا را نشان می‌دهد (World Bank & IHME, 2016).

جدول ۵. میزان متوسط گرد و غبار، مرگ و میر و هزینه‌ها و خسارات ناشی از طوفان‌های گرد و غبار در کشورهای منطقه منا (World Bank & IHME, 2016).

کشور	مینگین سالانه ذرات PM2.5 (میکروگرم بر مترمکعب)	کل مرگ و میر	زیان به میلیون دلار ایالات متحده (تعدیل PPP)	٪ از تولید ناخالص داخلی معادل (٪)
الجزایر	۱۹/۲۶	۷۸۴۵	۹۱۸۶	۱/۸۴
بحرین	۴۳/۶۳	۱۸۸	۸۳۶	۱/۴۷
مصر	۳۶/۴۱	۳۹۱۱۸	۳۳۹۱۲	۳/۸۵
ج. ا. ایران	۳۱/۸۹	۲۱۶۸۰	۳۲۰۷۰	۲/۶
عراق	۳۲/۵۷	۱۰۳۷۲	۱۴۷۹۳	۲/۸۹
رژیم اشغالگر قدس	۲۵/۷۸	۲۲۰۱	۷۶۳۹	۳/۰۳
اردن	۲۵/۶۴	۱۰۵۵	۱۰۸۳	۱/۴۷
کویت	۴۹/۱۳	۵۴۷	۳۸۲۰	۱/۴۴
لبنان	۲۳/۵۶	۱۸۱۶	۲۸۰۸	۳/۷۸
مراکش	۱۷/۳۶	۷۰۳۴	۴۱۵۸	۱/۷۳
عمان	۳۰/۳۵	۶۵۵	۲۷۲۵	۱/۸
پاکستان	۴۶/۱۸	۱۵۶۱۹۱	۵۴۲۹۵	۶/۶۹
قطر	۳۸/۳۶	۱۱۰	۱۲۲۲	۰/۴۴
عربستان سعودی	۵۴/۱۲	۶۲۸۵	۳۲۰۳۸	۲/۱۷
تونس	۱۶/۳۵	۳۷۹۲	۳۵۱۴	۳/۰۱
امارات متحده عربی	۴۰/۹۵	۹۰۰	۵۷۶۱	۱/۰۲
کرانه باختری و غزه	۲۶/۳۶	۱۰۰۶	۳۰۹	۱/۶۵
یمن	۳۶/۱۹	۱۳۴۴۲	۳۲۲۹	۳/۴۵

اثرات و پیامدهای اجتماعی و اقتصادی گرد و غبار عبارتند از:

- تشدید روند مهاجرت از مناطق در معرض گرد و غبار بویژه در اقشار متخصص و نخبگان
- بیکاری و یا کاهش درآمد در مشاغل مختلف شهری و روستایی
- صنعت توریسم و گردشگری
- امنیت پرواز (حمل و نقل هوایی)
- کاهش کارایی فردی و اجتماعی ناشی از شرایط و محدودیت‌های حاصل از گرد و غبار
- تعطیلی مراکز آموزشی و تفریحی

اثرات بر زیست‌کره و اتمسفر

اثرات ریزگردها بر اتمسفر و زیست‌کره عبارتند از:

- تغییر در درجه حرارت هوا به علت اثرگذاری در جذب و پراکنش تابش خورشیدی
- تأثیر بر اقلیم به علت اثرگذاری بر تولیدات اقیانوسی

- تأثیر بر تشکیل ابر، بارش و خشکسالی به دلیل اثرگذاری بر درجه حرارت و غلظت
- تغییر در پوشش زمین به دلیل دخالت در درجه حرارت و بارش
- افزایش تعداد پلانکتون‌ها در اقیانوس‌ها، ورود مواد غذایی به اقیانوس‌ها

بخشی از ریزگردهایی که در حال عبور از اقیانوس‌ها هستند به داخل اقیانوس رسوب‌گذاری می‌کنند. این پدیده، مواد معدنی اقیانوس‌ها را افزایش می‌دهد و باعث رشد فیتوپلانکتون‌ها و در نهایت تغییر در زنجیره غذایی می‌شوند.

- تغییر در چرخه مواد غذایی و چرخه بیوشیمیایی زیست‌بوم خشکی و دریاها
- انتقال سموم، مواد رادیواکتیو جنگی، هاگ‌های بیماری‌زا

اثرات بر کشاورزی و صنعت

اثرات و پیامدهای پدیده گرد و غبار در کشاورزی و صنعت عبارتند از:

- کاهش تولیدات و عملکرد در کلیه محصولات زراعی و باغی و صنایع تبدیلی

زمان ایجاد طوفان‌های گرد و غباری، مواد مغذی و مواد آلی خاک از بین رفته که باعث پایین آمدن بهره‌وری کشاورزی می‌شود. همچنین گیاه برای تولید گل، میوه و دانه به نور مستقیم خورشید نیاز دارد اما ریزگردها مانع از رسیدن نور مستقیم به گیاه می‌شوند.

نشستن ریزگردها روی برگ‌ها که به انسداد روزنه‌های تنفسی منجر می‌شود از دیگر آثار مخرب گرد و غبار است که سبب می‌شود تا تبادلات گازی گیاه متوقف شود و در نتیجه اثر نامطلوبی روی عمل فتوسنتز بگذارد. بنابراین باعث بر هم خوردن توازن گازها می‌شود.

- کاهش کیفیت محصولات کشاورزی و دامی
- اثرات منفی گرد و غبار بر صنایع کلیدی نفت، پتروشیمی، تولید نیرو، حمل و نقل و غیره
- تأثیر گرد و غبار بر افزایش مصارف آب و انرژی (برق و سوخت‌های فسیلی) در بخش‌های مختلف مصرف (صنایع، کشاورزی، جوامع شهری و روستایی)
- مشکلات و محدودیت‌های حاصل از گرد و غبار برای تأسیسات و خطوط تأمین و انتقال برق

جمع‌بندی

با توجه به مطالب بیان شده، روی هم رفته ضعف برنامه‌ریزی و مدیریت سرزمین شامل برنامه‌ریزی بخشی و عدم توجه به برنامه‌ریزی بلندمدت و یکپارچه در سطح منطقه‌ای موجب عدم موفقیت در پایش، پیش‌گیری و کنترل این پدیده شده است. بنابراین، پایش، پیش‌گیری و کنترل پدیده ریزگردها نیازمند یک برنامه جامع

بلندمدت و میان‌مدت از نظر اجرا و سازماندهی است که وجود برنامه‌های کوتاه مدت در آن، رسیدن به اهداف اصلی را هدایت و تضمین می‌کند.

تجویز راهبردی

مقابله و مدیریت پدیده گرد و غبار هم مشابه دیگر مخاطرات زیست‌محیطی، شامل مدیریت ریسک و مدیریت بحران است. در چرخه مدیریت بحران‌ساز بروز حادثه، راهکارهای امداد و نجات، بازسازی و جبران خسارات صورت گرفته و به عبارت دیگر تلاشی برای کاهش میزان آسیب‌پذیری و درجه خطرپذیری مردم انجام نمی‌گیرد. در صورتی‌که در چرخه مدیریت ریسک، توجه و تاکید اصلی بر اقداماتی است که قبل از رخداد می‌توان انجام داد و در نتیجه آن، میزان آمادگی مردم افزایش یافته، ضریب آسیب‌پذیری کاهش و در نتیجه درجه خطرپذیری کم خواهد شد. البته به هیچ عنوان نمی‌توان مانع بروز رخداد شد ولی در چرخه مدیریت ریسک اگر حادثه‌ای رخ دهد، اتلاف سرمایه انسانی و مالی بسیار کمتر خواهد بود و در صورت لزوم اقدامات مورد نیاز برای بازسازی و کمک به مردم نیز اجرا خواهد شد.

استراتژی‌های راهبردی برای پیش‌گیری و مقابله با پدیده ریزگردها عبارتند از:

- مقابله با بیابان‌زایی
- مدیریت صحیح منابع آب و خاک (گام اول توقف سدسازی و حفظ حقابه مناطق پایین‌دست از سرچشمه آب)
- کنترل فعالیت‌های عمرانی و منابع ساکن تولید گرد و غبار (جلوگیری از گسترش شهرها)
- ایجاد کمربند فضای سبز اطراف شهرها، حفظ و گسترش فضای سبز درون شهری
- همکاری با کشورهای منطقه در راستای احترام به حقوق زیست‌محیطی و التزام عملی به کنوانسیون بین‌المللی مقابله با بیابان‌زایی
- تدوین و اجرای برنامه اقدام ملی مقابله با بیابان‌زایی و کاهش اثرات خشکسالی.
- افزایش آگاهی‌های عمومی بر اساس دستورات دینی و قانون اساسی
- استفاده از فناوری‌های نو در مهار گرد و غبار و توسعه و تجهیز مراکز درمانی و پزشکی
- ایجاد کارگروه‌های مختلف در سطح ملی و یا استانی جهت آسیب‌شناسی و ارائه راهکارهای فنی و هماهنگی ارگان‌های درگیر با پدیده ریزگرد
- افزایش بودجه و تخصیص منابع مالی کافی جهت اجرای سیاست‌های پیش‌گیری و مقابله
- حمایت از شرکت‌های دانش‌بنیان جهت تولید فناوری‌های مدرن مقابله با پدیده ریزگرد

همراستا با توصیه‌های راهبردی و مدیریتی، برخی استراتژی‌های فنی برای پیش‌گیری و مقابله با پدیده ریزگردها عبارتند از:

- افزایش زبری سطح خاک که باعث کاهش سرعت باد در سطح خاک و در نتیجه کاهش فرسایش بادی می‌شود.
- استفاده از پوشش گیاهی زنده یا بقایای محصولات کشاورزی برای کاهش تنش برشی باد
- افزایش پوشش گیاهی. وقتی که پوشش گیاهی به حد کافی بلند و متراکم است، سرعت آستانه برای انتقال ذرات زیاد شده و خاک فرسایش نمی‌یابد. ریشه‌ها از راه کمک به استحکام مکانیکی خاک، از فرسایش آن جلوگیری می‌کنند.
- استفاده از کشت دایره‌ای در مناطق خشک

یکی دیگر از راه‌های بسیار کارآمد و دارای مزایای فراوان، استفاده از کشت دایره‌ای است. استفاده از این روش در برخی کشورها از جمله ایالات متحده و عربستان تجربه شده و آزمایش‌ها حاکی از اثرگذاری بالای آن است. ابتدا غلطکی با پره‌های گوه مانند، فرورفتگی در زمین ایجاد می‌کند. با این عمل، ضمن کوبیده شدن لایه رویی خاک، محیطی برای کشت دایره‌ای شکل می‌گیرد که همچنین می‌تواند برای ذخیره آب نیز استفاده شود. (شکل ۶).

شکل ۶. استفاده از کشت دایره‌ای (WSJ, 2010).

- استقرار و پایداری یک پوشش گیاهی خوب به طوری‌که بیشتر زمان سال زمین دارای پوشش است.

- استفاده از کشت متناوب بخصوص در مورد کشت‌های نواری به گونه‌ای که بخش‌های بدون پوشش دارای پوشش شوند. عمود قرار دادن نوارها نسبت به جهت باد غالب نیز به این امر کمک می‌کند (شکل ۷).

شکل ۷. استفاده از کشت نواری (Wikihow, 2022).

- بادشکن‌ها

بادشکن‌ها موانعی هستند که معمولاً عمود بر جهت باد غالب در منطقه فرسایشی احداث می‌شوند تا با کاهش سرعت باد فرسایش را محدود سازند. یک بادشکن وقتی نقش خود را خوب ایفا می‌کند که بطور صحیح طراحی شده و دایماً در حالت بهینه نگهداری شود (شکل ۸). بادشکن‌ها را با توجه به موادی که از آن ساخته می‌شوند می‌توان به دو نوع زنده (درختی یا بیولوژیکی) و غیر زنده (مصنوعی یا مکانیکی) تقسیم کرد. نحوه عمل بادشکن‌ها به این صورت است که سرعت باد قبل از برخورد به بادشکن و در فاصله‌ای از آن شروع به کم شدن می‌کند و پس از عبور از آن به تدریج افزایش می‌یابد و در فاصله‌ای از آن به سرعت اولیه خود می‌رسد. شاید یکی از دلایل افزایش پدیده گرد و غبار در ایران از بین رفتن نخلستان‌های جنوب کشور عراق در جنگ عراق است که قبلاً به عنوان کمربند سبز و بادشکن در منطقه عمل می‌کردند. بادشکن‌های مصنوعی شامل دیوارهای سنگی، فلزی، چوبی، پلاستیکی، حصیری یا دیواره‌های تهیه شده از شاخه‌های بریده شده از درختان موجود در منطقه هستند.

شکل ۸. استفاده از بادشکن مصنوعی (Joyeyou, 2022).

- مالچ‌پاشی (سنگریزه‌ای، رسی، نفتی)

یکی از روش‌های تثبیت گرد و غبار استفاده از مالچ سنگریزه‌ای است. در این روش، باید ریگ طبیعی یا دست‌ساز را به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر بر روی خاستگاه‌های ریزگرد بریزند و هرجا که به بوته و درختچه‌ای می‌رسند، دورش را با ریگ بپوشانند تا آسیب نبیند. زمین‌هایی که بوسیله مالچ سنگریزه‌ای پوشیده شده‌اند، نسبت به سطوح بدون پوشش مالچ سنگریزه‌ای اثر قابل ملاحظه‌ای روی تجمع و تثبیت گرد و غبار دارند. مالچ رسی در برابر جریان باد مقاوم است، اما زمانی که تحت تأثیر ریزش ذرات شن قرار می‌گیرد فرسایش می‌یابد. مقاومت مالچ نیز با توجه به ترکیب مالچ متفاوت است. مقاومت مالچ حاوی کاه به دلیل افزایش استحکام ساختاری از بقیه انواع مالچ‌ها بیشتر است. هرچه تمرکز رس در مالچ رسی زیادتر شود، به دلیل فولیکوله شدن ذرات شن توسط ذرات ریز رس پایداری مالچ در مقابل عمل سایش بیشتر می‌شود. امروزه مالچ رسی- آهکی هم به عنوان تثبیت‌کننده شن‌های روان مورد استفاده قرار گرفته شده است. منظور از مالچ‌های نفتی، مواد یا فراورده‌های سنگین نفتی حاصل از پالایشگاه‌های نفت هستند. این نوع مالچ پس از پالایش نفت بدست می‌آید و ظاهری شبیه به قیر رقیق شده دارد. این ماده پس از گوگردزدایی و حذف مواد معطر آن قابل استفاده می‌شود که بیشتر به منظور جلوگیری از فرسایش خاک، تثبیت شن‌های روان و افزایش کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی مصرف می‌شوند. مالچ نفتی در ایران قدمتی ۴۰ ساله دارد که سال‌ها پیش برای تثبیت شن‌های روان استفاده شده و نتایج مثبتی داشته است (شکل ۹). مالچ‌های نفتی با چسباندن ذرات شن به هم باعث ایجاد یک لایه سخت و مقاوم نسبت به باد می‌شوند که می‌توانند بادهای تا

سرعت ۱۱۰ کیلومتر در ساعت را تحمل کنند و مانع حرکت ذرات شن شوند. مالچ‌های نفتی مانع تبخیر آب از زمین شده و در نتیجه فرصت کافی برای استقرار پوشش گیاه را در زمین فراهم می‌سازند، اما امروزه این مالچ‌ها به دلیل سیاه کردن سطح، موجب بالا رفتن درجه حرارت در منطقه مورد نظر می‌شوند و از طرفی با وجود هزینه زیاد و روش‌های جدید چندان مورد استفاده قرار نمی‌گیرند.

شکل ۹. استفاده از مالچ‌پاشی نفتی (برگرفته از سازمان محیط زیست).

- پلیمر تثبیت‌کننده شن‌های روان با فناوری نانو

برای جلوگیری از فرسایش بادی نیز راهکارهای مختلفی ارائه شده که برخی از آن‌ها در جدول ۶ جمع‌آوری شده است (Middleton & Goudie, 2006). همچنین راهکارهای کنترل جابه‌جایی گرد و غبار در جدول ۷ ارائه شده است (World Bank, 2019).

جدول ۶. راهکارهای جلوگیری از فرسایش بادی (Middleton & Goudie, 2006).

هدف	تدابیر کنترلی
مدیریت پوشش گیاهی در مراتع	• کاهش سوزاندن چمن‌ها و بستر گیاهان • نگهداری از علف‌های چندساله • اجتناب از چرای بیش از حد و یا استفاده از چرای چرخشی • خودداری از بهره‌برداری بیش از حد از درختان و درختچه‌ها • اجتناب/کاهش اختلال در پوسته‌های طبیعی (جلبک‌ها، گلسنگ‌ها)
حفاظت از پوشش گیاهی در مناطق طبیعی استپی و بیابانی	• حفظ پوشش گیاهی متنوع • کاهش خطر آتش‌سوزی • اجتناب/کاهش اختلال در پوسته‌های طبیعی
ترمیم تپه‌های شنی	• کاشت نرده‌های مرده، چمن و درختچه
کاهش دوره‌هایی که خاک بدون پوشش یا کم پوشش است	• تنظیم زمان کاشت • برش رله • تناوب زراعی

	• کاهش کاشت یا بدون کشت
کاهش سطوحی که پوشش خاکی کمی دارد یا اصلاً خاکی وجود ندارد	• بین کشت • کشت پوششی/ محصولات پرستاری • کشت مخلوط • برش نواری • مالچ پاشی سطحی • کاهش کشت یا بدون کشت • سیستم‌های چند لایه • مدیریت خوب محصول
افزایش مقاومت خاک در برابر فرسایش بادی	• افزایش ورودی بقایای آلی از طریق افزایش محصول بهره‌وری مالچ‌های آلی، کودهای دامی • کاهش میزان آشفتگی از طریق کاهش یا عدم کشت
کاهش سرعت باد در داخل و بین مزارع	• مرزبندی و شیاردار کردن • برش نواری • تناوب زراعی • پرچین‌ها • حصار مرده (بقایای محصول یا درخت) • کاشت خطی درختان • کاشت پراکنده درختان
کاهش جابه‌جایی خاک	• استفاده از روش‌های کشت که زبری سطح را افزایش می‌دهد

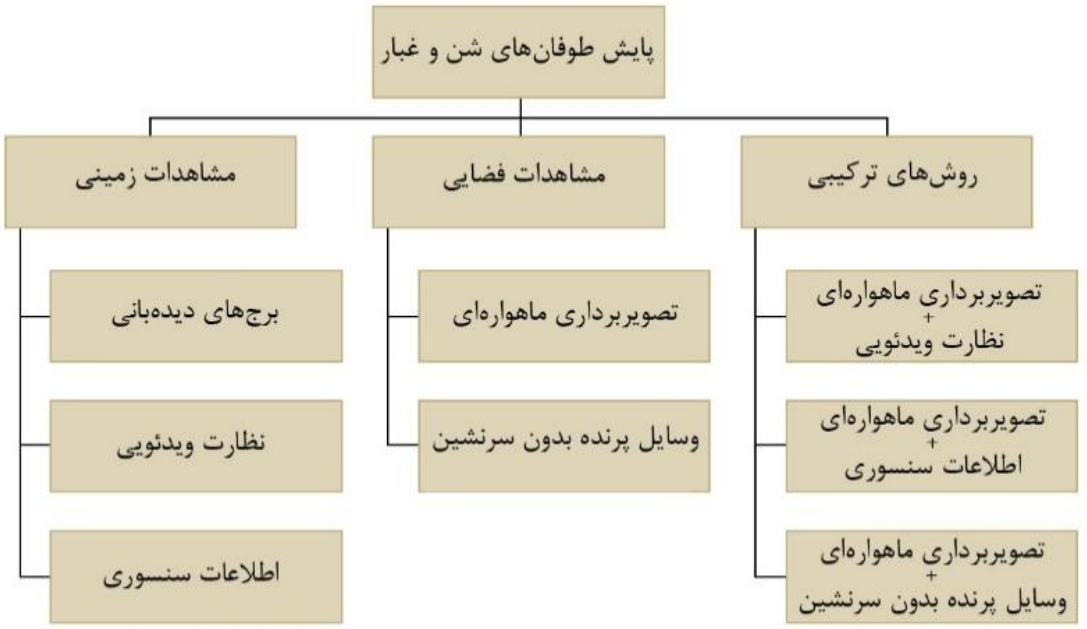
جدول ۷. راهکارهای کنترل جابه‌جایی گرد و غبار (World Bank, 2019).

تدابیر کنترلی	مثال‌ها
شن و ماسه در حرکت توسط نیروی باد	
افزایش رسوب‌گذاری	خندق، حصار، کمربند درختی
افزایش جابه‌جایی	تکنیک‌های ساده‌سازی ایجاد یک بافت صاف بر روی سطح زمین نصب پانل‌ها برای انحراف جریان هوا
کاهش در معرض بودن شن و ماسه در مقابل باد	تکنیک‌های تثبیت سطح نرده‌ها پوشش گیاهی
انحراف شن و ماسه‌های روان	نرده‌ها، کمربند درختی
تپه‌های شنی متحرک	
حذف مکانیکی	استفاده از بولدوزر
پراکندگی	تغییر شکل؛ ترانشه‌برداری؛ تکنیک‌های تثبیت سطح
تثبیت از طریق تغییر شکل آیرودینامیکی	تکنیک‌های تثبیت سطح؛ نرده‌ها

در کنار روش‌های کنترل و مقابله، روش‌هایی برای نظارت و پایش گرد و غبار نیز مورد نیاز است که در جدول ۸ ارائه شده است. شکل ۱۰ ابزارها و تکنولوژی پایش گرد و غبار را نشان می‌دهد که باید مورد استفاده قرار گیرد (Akhlaq et al., 2012).

جدول ۸. روش‌های نظارت و پایش گرد و غبار (World Bank, 2019).

سیستم رصد	محصولات
اندازه‌گیری‌های درجا (یعنی ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا)	غلظت جرمی آئروسل (PM10، PM2.5)
ایستگاه‌های هواشناسی	قابلیت دید، آب و هوای فعلی
خورشید-فتومتر (یعنی شبکه‌های AERONET و CARSNET)	خواص نوری و میکروفیزیکی آئروسل کل ستون
فناوری زمینی لایدار (Lidar)	پروفایل‌های عمودی خواص نوری و میکروفیزیکی آئروسل
ماهواره‌های هواشناسی	• تصاویر ترکیبی که در آن مناطق گرد و غبار برجسته شده است (به عنوان مثال Eumetsat RGB Dust) • شاخص آئروسل (بازیابی نیمه کمی) • خواص نوری و میکروفیزیکی آئروسل کل ستون (بازیابی‌های کمی)
لایدار ماهواره‌ای	پروفایل‌های عمودی خواص نوری و میکروفیزیکی آئروسل



شکل ۱۰. تکنولوژی پایش گرد و غبار (Akhlaq et al., 2012).

منابع

Akhlaq, M., Sheltami, T. R., & Mouftah, H. T. (2012). A review of techniques and technologies for sand and dust storm detection. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 11(3), 305-322.

Bullard, J.E., Harrison, S.P., Baddock, M.C., Drake, N., Gill, T.E., McTainsh, G. and Sun, Y. (2011). Preferential dust sources: a geomorphological classification designed for use in global dust-cycle models. Journal of Geophysical Research. Earth Surface, 116.4 doi:http://dx.doi.org.ezproxy.cul.columbia.edu/10.1029/2011JF002061

Cao, Hui, Farshad Amiraslani, Jian Liu, and Na Zhou. “Identification of Dust Storm Source Areas in West Asia Using Multiple Environmental Datasets.” Science of the Total Environment, 502 (2015): 224–235.

De Longueville, F., Hountondji, Y. C., Henry, S., & Ozer, P. (2010). What do we know about effects of desert dust on air quality and human health in West Africa compared to other regions?. Science of the total environment, 409(1), 1-8.

EPA, (2009). AQI: A Guide to Air Quality and Your Health

ESCAP, U. (2018). Sand and dust storms in Asia and the Pacific: opportunities for regional cooperation and action.

ESCAP, U. (2021). Sand and dust storms risk assessment in Asia and the Pacific.

Goudie, A. S., & Middleton, N. J. (2006). Desert dust in the global system. Springer Science & Business Media.

Joyeyou. (2022). Agricultural Protection Windbreak Netting

Nickovic, S., Cuevas Agulló, E., Baldasano, J. M., Terradellas, E., Nakazawa, T., & Baklanov, A. (2015). Sand and Dust Storm Warning Advisory and Assessment System (SDS-WAS) Science and Implementation Plan: 2015-2020.

Shao, Y., Klose, M., & Wyrwoll, K. H. (2013). Recent global dust trend and connections to climate forcing. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 118(19), 11-107.

Shepherd, G., Terradellas, E., Baklanov, A., Kang, U., Sprigg, W., Nickovic, S., ... & Joowan, C. (2016). Global assessment of sand and dust storms.

Soleimani, Z., Teymouri, P., Boloorani, A. D., Mesdaghinia, A., Middleton, N., & Griffin, D. W. (2020). An overview of bioaerosol load and health impacts associated with dust storms: A focus on the Middle East. Atmospheric Environment, 223, 117187.

Wikihow. (2022). https://www.wikihow.com/Prevent-Soil-Erosion?amp=1

World Health Organization. (2018). Environmental Burden of Disease: Country Profiles. https://www.who.int/quantifying_ehimpacts/national/countryprofile/intro/en/

World Bank. (2019). Sand and Dust Storms in the Middle East and North Africa Region: Sources, Costs, and Solutions.

World Bank and Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME). (2016). The Cost of Air Pollution: Strengthening the Economic Case for Action. Washington: World Bank Group.

WSJ. (2010). A Desert Kingdom's Quest for Food Security

گزارش راهبردی

ریزگرد مخاطره‌ای فرامرزی؛ محصول منفعت‌طلبی

تاریخ انتشار: مرداد ۱۴۰۱

شناسه یکتا:TG-SR-۱۷۸

جمهوری اسلامی ایران
وزارت کشور

مرکز مطالعات راهبردی و آموزش وزارت کشور