

پایش پدیده گرد و خاک، علل وقوع و پیامدهای آن در استان اصفهان مطالعه موردی: دوره ۲۰۱۳-۲۰۱۴ میلادی

ویکتوریا عزتیان*

کارشناس، اداره کل هواشناسی استان اصفهان

(تاریخ دریافت: ۹۷/۰۳/۰۸، تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۱۱)

چکیده

با توجه به آثار سوء پدیده گرد و خاک بر محیط زیست و تحمیل هزینه‌های سنگین بر جامعه، پایش شرایط موجود و شناسایی عوامل مؤثر بر تشدید و ایجاد این پدیده حائز اهمیت زیادی است. در این پژوهش به منظور پایش پدیده گرد و خاک، شاخص تجربی توفان‌های گرد و خاک در دوره ۲۰۱۲-۲۰۱۵ میلادی محاسبه شد که بر اساس اندازه‌گیری میدان دید افقی توسط هواشناسی استرالیا طراحی شده است. نتایج حاکی از آن است که در چهار ایستگاه استان، توفان گرد و خاک بیش از دیگر ایستگاه‌ها و در شمال شرق اصفهان مقادیر شاخص بیشینه است. در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد و تیر بیشترین روزهای گرد و خاک در استان ثبت شده است. در سال ۱۳۹۲ خورشیدی، ۲۵۸ روز مقدار گرد و خاک بیشتر از حد مجاز بود، لذا این سال به طور ویژه مورد بررسی قرار گرفت. استقرار سامانه پرفشار، پروت هوا و حاکمیت شرایط پایدار از عوامل تشدید پدیده گرد و خاک در فصل سرد سال بوده است. نوسانات و میزان بارش بین دو ایستگاه در جنوب غرب و شمال شرق شهر اصفهان مقایسه شد. بررسی‌ها بیانگر کاهش باران ریزه و بارش سبک، در مقابل افزایش بارش‌های سنگین کوتاه مدت (رگباری) در شمال شرق اصفهان است. حضور گرد و خاک سبب کاهش ابرهای پوششی (منجر به بارش سبک و مداوم) و تقویت ابرهای همرفتی (منجر به بارش سنگین رگباری) و کاهش اندازه قطرک‌های ابر و تضعیف فرآیند تشکیل ابر بوده است.

کلمات کلیدی: ذرات گرد و خاک، شاخص DSI، سازوکار ابر، بارش سبک، بارش رگباری، استان اصفهان

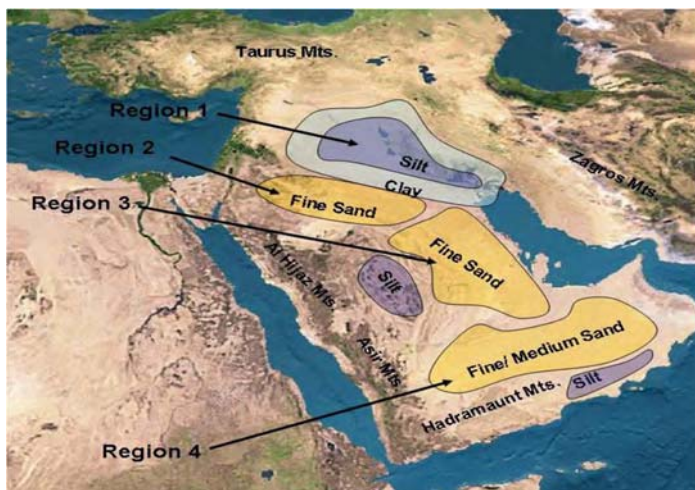
مقدمه

مستقیم یا تقویت اثر غیرمستقیم عمل می‌کنند. لذا ذرات گرد و خاک معلق در هوا می‌توانند از طریق تغییر رطوبت نسبی و پایداری جو (اثر نیمه مستقیم) و تبدیل نور مرئی به انرژی گرمایی در ابرها سبب شوند که ابرها با تولید گرمای بیشتر، اقلیم جهانی را گرم‌تر کنند. اثرات ناشی از پدیده گرد و خاک تا فاصله ۴۰۰۰ کیلومتری از منبع اصلی انتشار، خسارات فراوانی به فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی، حمل و نقل وارد می‌کند (زرأسوند، ۱۳۹۲، ص ۱). در اشکال ۱ و ۲ کشاورهای مجاور نشان داده شده است. در شکل ۲ دیده می‌شود که گرد و خاک از چهار منطقه اصلی برداشت شده و توسط جریان‌ات جوی به کشور ایران منتقل می‌شود. ذرات گرد و خاک معدنی ممکن است متشکل از اکسیدهای آهن، کربنات‌ها، کوارتز و خاک رس باشد (چاو، ۲۰۰۸؛ کوز، ۲۰۰۹؛ لافن، ۲۰۰۶ و تومی، ۲۰۰۹). افزایش توفان‌های گرد و خاک ناشی از گسترش بیابان‌زایی، وقایع تغذیه کننده از

توفان‌های گرد و خاک به عنوان یکی از رایج‌ترین مخاطرات طبیعی سه دهه اخیر دارای اثرات متعدد مثبت و منفی بر اکوسیستم‌ها هستند و با کاهش میزان تابش، رشد و عملکرد پوشش گیاهی را تحت تأثیر قرار داده و باعث شیوع بیماری‌های مختلف در جهان هستند (محمدی نژاد، ۹۰). اثرات این توفان‌ها را به دو گروه محیطی و انسانی تقسیم می‌کنند. از جمله اثرات محیطی می‌توان به اختلال در نیروی تابشی خورشید و تشدید امواج شرقی اشاره کرد. ذرات گرد و خاک معدنی بر تشکیل و ویژگی‌های ابر و مقدار بارش - های جوی اثرات متفاوتی دارند (کائو و همکاران، ۲۰۰۹). گرد و خاک شرق آسیا در مقایسه با ذرات گرد و خاک صحرا، تابش خورشیدی بیشتری را جذب می‌کند و نیروی تابشی مستقیم آن در بالای جو تقریباً مثبت یا صفر است. لذا ذرات گرد و خاک شرق آسیا قادر هستند به عنوان هسته میعان و هسته یخی در ابرها عمل کنند و ویژگی ابر را تحت تأثیر قرار دهند. این ذرات از طریق اثر غیرمستقیم و اثر

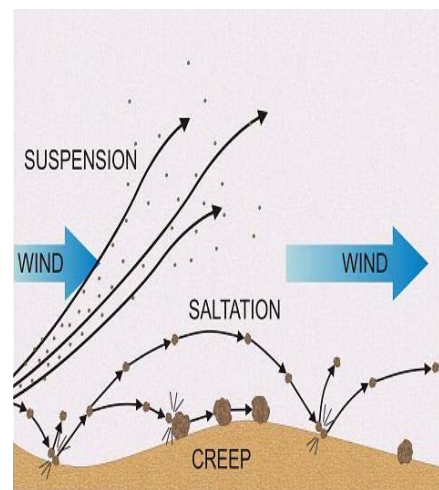
بیشتری دارد. انتشار گرد و خاک جهانی در حدود ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ تن در سال برآورد شده و این مقدار در بیابان صحرا (بزرگ‌ترین و فعال‌ترین مرکز انتشار گرد و خاک) در حدود ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ تن در سال است (اسکویرز، ۲۰۰۲). کانون‌های انتشار گرد و خاک به صورت کمربندی از سواحل شمال غربی آفریقا آغاز می‌شوند و با عبور از خاورمیانه، آسیای مرکزی و جنوبی به چین می‌رسند (زنگنه، ۱۳۹۳). بررسی‌ها نشان داده که منابع اصلی گرد و خاک ورودی به ایران، نواحی بیابانی سوریه، عراق و صحاری شمال شبه جزیره عربستان است (للی و همکاران، ۲۰۰۹، سجادی ۱۳۹۲).

گرد و خاک (مثل انواع بیماری و خشکسالی) را در مناطق نیمه‌خشک تشدید می‌کنند (هان، ۲۰۰۸؛ وانگ، ۲۰۰۸ و هانگ، ۲۰۱۰). مراکز تولید گرد و خاک معمولاً در مناطق خشک جهان قرار دارند که دارای بارندگی سالانه کمتر از ۲۰۰-۲۵۰ میلی‌متر بوده و معمولاً در مناطق کم ارتفاع جهان واقع هستند. پدیده گرد و خاک در دشت‌ها نسبت به کوهستان‌ها و در بیابان‌ها یا حاشیه‌ی آنها نسبت به سایر مناطق بیشتر اتفاق می‌افتد. بیابان صحرا (در شمال غرب آفریقا) در تولید گرد و خاک نسبت به سایر مناطق مثل خاورمیانه، جنوب غرب آسیا، مرکز استرالیا و آفریقای جنوبی نقش



شکل ۲- چشمه‌های خاک و مسیر انتقال آنها به ایران (اقتباس شده از اندرسون، ۲۰۰۴)؛

(WMO1121.2013, UCAR/COMET)



شکل ۱- طرح‌واره خیزش ذرات از سطح خاک

شوند. این ذرات شامل دود، دوده، گرد و خاک، نمک، اسید و فلزات هستند و زمانی شکل می‌گیرند که گازهای متصاعد شده از وسایل نقلیه موتوری و صنعت، تحت برهم کنش‌های شیمیایی در جو قرار گیرند (صفایی، ۹۲). این معضل در شهرها و مناطق غیر شهری و مناطق بکر مانند بیابان‌ها، جنگل‌ها و مراتع به وفور مشاهده می‌شود.

ادبیات موضوع پژوهش

پدیده فرسایش بادی در قالب فرایند توفان گرد و خاک^۱ و توفان شن^۲ ظاهر می‌شود. ذرات گرد و خاک با قطر

ذرات گرد و خاک در اثر وزش باد از سطح خاک جدا می‌شوند به سه صورت خزیدن، غلتیدن و تعلیق در مجاورت سطح زمین قرار می‌گیرند (شکل ۱). آستانه سرعت باد برای جدا کردن ذرات از سطح خاک متفاوت است، لیکن در سال‌های اخیر به دلیل تداوم خشک سالی‌ها به کمتر از ۵ متر بر ثانیه کاهش یافته است (خزایی، ۹۴). ذرات گرد و خاک معلق در هوا به دلیل نفوذ به عمیق‌ترین بخش‌های ریه، اهمیت زیادی در بهداشت عمومی دارند. این ذرات در اثر جریانات هوا و باد می‌توانند ساعت‌ها در هوا معلق بمانند، به سرعت رطوبت موجود در هوا را جذب کنند و به دلیل سنگینی به لایه‌های پایین‌تر سقوط و در نزدیکی سطح زمین تجمع کنند و سبب تشکیل مه‌دود و کاهش دید در نزدیکی سطح زمین

1- Dust Storm
2- Sand Storm

جدول ۱- برخی ویژگی‌های ذرات گرد و خاک (اسکوئیرز، ۲۰۱۶)

| اهمیت | فاصله از منبع انتشار | تأثیر ذرات گرد و خاک | میانگین سالانه آهنگ رسوب |
|------------------|----------------------|--|---------------------------------|
| قابل ملاحظه نیست | < ۲۰۰ متر | احتمال ضعیف وقوع اغتشاش و آسیب | < 350 mg/m ² /day |
| جزیی | ۱۰۰-۲۰۰ متر | احتمال وقوع اغتشاش و آسیب | 350-650 mg/m ² /day |
| متوسط | ۵۰۰-۱۰۰ متر | احتمال وقوع اغتشاش و آسیب | 600-950 mg/m ² /day |
| کلی | ۵۰-۲۰۰ متر | احتمال زیاد وقوع اغتشاش و آسیب | 950-1190 mg/m ² /day |
| بحرانی | < ۲۰ متر | پیامدهای جدی و خطر شدید برای گیاهان و سلامتی | > 1190 mg/m ² /day |

پیشینه پژوهش

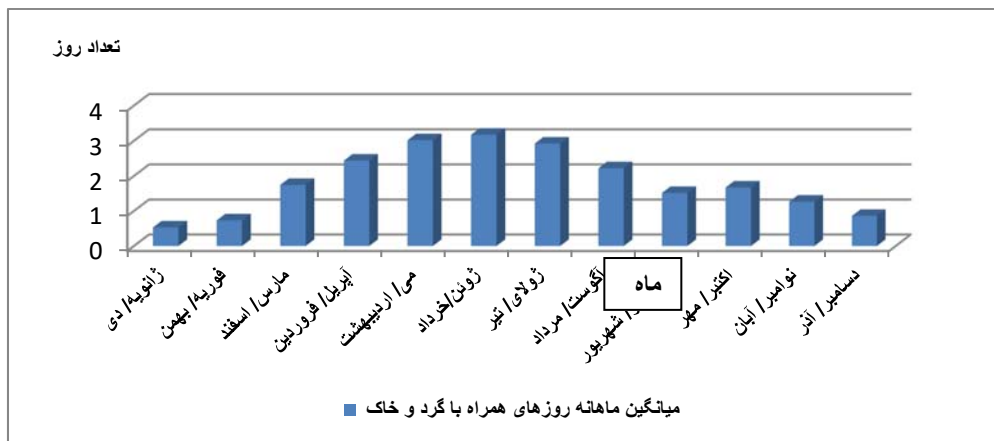
ذرات گرد و خاک از چهار منبع عمده زمینی یعنی بیابان، سوزاندن زیست توده، آلودگی هوای بیوژنیک و انسان‌ساز منتشر می‌شوند. ذرات گرد و خاک بیابان به روش مستقیم بر نیروی تابش خورشیدی، آب و هوا و اقلیم اثر قابل توجه دارند (سوکولیک و تون، ۱۹۹۶ و شیت، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵). ذرات گرد و خاک بر فرآیندهای ابر و بارش اثرات غیر مستقیم یا نیمه مستقیم دارند (ساسن، ۲۰۰۲ و هانگ، ۲۰۱۰). شرق آسیا یک سوم خشکی‌های کره زمین و منشأ اولیه انتشار ذرات گرد و خاک است. هر سال در حدود ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ تریلیون گرم ذرات گرد و خاک از مناطق خشک و نیمه خشک به درون جو تزریق می‌شود (تومی، ۱۹۸۴؛ هانگ، ۲۰۰۹ و شاو، ۲۰۱۱). شمال قاره آفریقا بیشترین سهم را در انتشار ذرات گرد و خاک دارد (در حدود ۷۰-۵۰ درصد) و صحراهای آسیا در حدود ۲۵-۱۰ درصد سهم دارند. در قاره آسیا در حدود ۸۰۰ تریلیون گرم بر سال ذرات گرد و خاک به درون جو تزریق می‌شود که در حدود ۳۰ درصد آن روی صحراها رسوب می‌کند، ۲۰ درصد آن به دیگر مناطق و ۵۰ درصد به روی اقیانوس آرام و اطرافش منتقل می‌شود، لذا

کمتر از ۲/۵ میکرومتر به صورت عمودی یا افقی در هوا منتشر می‌شوند ذرات درشت‌تر (ماسه) با حالت خزشی پیش می‌روند. با کاهش انرژی باد، ذرات ریز روی زمین رسوب می‌کند و ذرات درشت‌تر (ماسه)، تپه‌های ماسه‌ای یا ریگ-زارها را به وجود می‌آورد (شکل ۱). گرد و خاک ذرات حاصل از پدیده فرسایش بادی است که در مناطق خشک به وجود می‌آید و قطر ذرات آن کوچکتر از ۱۰۰ میکرون است. گرد و خاک در اثر آتش‌سوزی یا فعالیت‌های انسانی هم به وجود می‌آید. توفان‌های خاک، هوای غیر معمول غبارآلود، همراه با بادهای شدید هستند که کیلومترها طول و ارتفاع دارند و با شرایط اقلیمی محلی مثل بارندگی، دما، ویژگی‌های سطح زمین، پوشش گیاهی، پوشش برف و بافت خاک ارتباط نزدیکی دارند. انتشار گرد و خاک به صورت پراکنده با اندازه، زمان و غلظت متفاوت روی می‌دهد. در تمامی رویدادهای گرد و خاک، دید افقی به کمتر از ۱۰ کیلومتر می‌رسد. در گرد و خاک وزشی، گرد و خاک در شعاع دید ناظر قابل مشاهده است و قابلیت دید کمتر از ۱۰۰۰ متر نیست. در توفان گرد و خاک، دید افقی به کمتر از ۱۰۰۰ متر کاهش می‌یابد. گرد و خاک زودگذر از وسایل مکانیکی، تردد در جاده‌های خاکی یا عملیات استخراج معادن به وجود می‌آید. دیو خاک، بر اثر گردبادهای محلی به وجود می‌آید، دوام زیادی ندارد و به صورت ستون محلی است که فاصله زیادی را طی نمی‌کند (شاو، ۲۰۰۸؛ به نقل از گزارش فنی سازمان جهانی هواشناسی-۲۰۱۳). از مهم‌ترین شرایط ایجاد گرد و خاک در کنار هوای ناپایدار، وجود یا عدم وجود رطوبت است. در صورت وجود رطوبت، بارش و توفان تندری به وجود می‌آید، در صورت عدم وجود رطوبت، توفان گرد و خاک ایجاد می‌شود (خزایی، ۱۳۹۴). در جدول ۱ آثار قابل ملاحظه رسوب گرد و خاک پس از انتشار از منبع، آثار پیش‌بینی شده آن و مسافتی که به طور نوعی این ذرات طی می‌کنند، درج شده است.

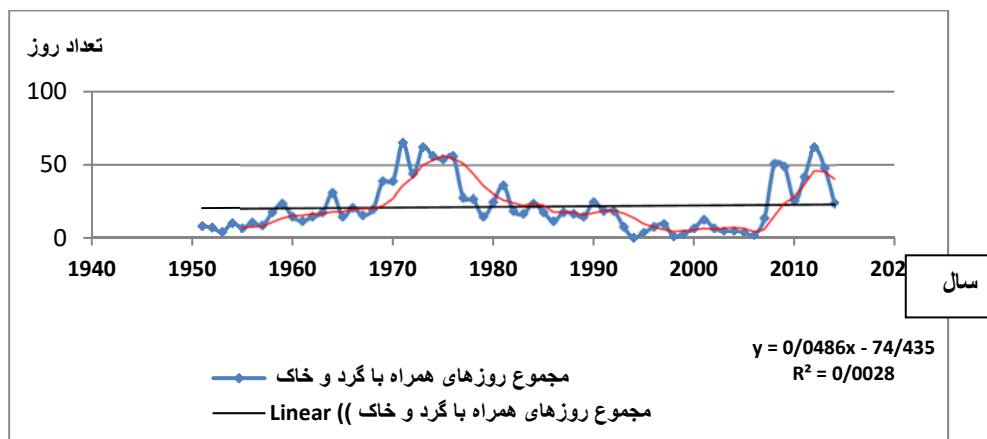
لاله سیاه (۱۳۹۲) شرایط پیدایش و منشأ همدیدی سامانه‌های گرد و خاک در ایران در بازه زمانی ۱۲ ساله را بررسی کرد. گوهر دوست (۱۳۹۲) با بررسی داده‌های آماری ده ایستگاه منتخب استان خوزستان در روزهای وقوع بیشترین توفان گرد و خاک، در دوره زمانی ده ساله، نتیجه گرفت که این توفان‌ها بیشتر در فصل تابستان و در تیرماه رخ داده است. در شکل ۴ دیده می‌شود که در سال‌های ۱۹۷۶-۱۹۷۱ و ۲۰۱۳-۲۰۰۸ میلادی، افزایش قابل توجهی در تعداد روزهای همراه با گرد و خاک روی داده است و در روند ۷۰ ساله وقوع پدیده گرد و خاک شیب افزایشی نسبتاً ضعیف است. در چهار ماه فروردین، اردیبهشت، خرداد و تیر بیشترین روزهای گرد و خاکی ثبت شده است (شکل ۳).

غبار آسایشی نه تنها نقش مهمی در بودجه انرژی و چرخه آب‌شناسی ایفا می‌کنند، بلکه در چرخه بیوشیمیایی جهانی نقش بسیار حساسی دارند (ژانگ، ۱۹۹۷؛ لیو، ۲۰۰۸؛ اونو، ۲۰۰۹ و لی، ۲۰۱۰).

صفایی (۱۳۹۲) در بررسی ارتباط بین سرعت اصطکاک فرسایش و میزان انتشار گرد و خاک در بیابان‌های طبیعی و دست نخورده، مکان‌های توسعه یافته یا اصلاح شده به وسیله فعالیت‌های رودخانه‌ای، مناطق مسکونی و اراضی سربار معادن، نتیجه گرفت که ارتباط و ایازی خاصی بین اینها برقرار نیست. شاهسونی (۱۳۹۲) با هدف تحلیل روند گرد و خاک ورودی به ایران به بررسی اثرات زیان‌آور توفان‌های گرد و خاک بر سلامت و اقتصاد جامعه و تغییر اقلیم در بازه زمانی ۱۳۸۵-۱۳۹۰ خورشیدی در استان خوزستان پرداخت.



شکل ۳- میانگین ماهانه تعداد روزهای همراه با گرد و خاک در بازه زمانی ۲۰۱۵ - ۱۹۴۰ میلادی شهر اصفهان



شکل ۴- مجموع روزهای همراه با گرد و خاک در شهر اصفهان در بازه زمانی ۲۰۱۵ - ۱۹۴۰ میلادی

(از بانک اطلاعات هواشناسی استان اصفهان)

داده‌ها و روش‌ها

این میدان دید برای کد ۰۷ در مدت طولانی به دست آمده که معادل غلظت ۰/۰۵۵ میکروگرم بر متر مکعب است و یک بیستم (یا ۰/۰۵) گرد و خاک متوسط است (مکتانیش، ۲۰۱۱). در جدول ۲ کدهای سازمان جهانی هواشناسی مرتبط با پدیده توفان‌های گرد و خاک درج شده است. نخست بر اساس گزارش سینوپ هوای حاضر ایستگاه‌ها، کدهای همدید جدول ۲ از بین دیگر گزارش‌ها تفکیک و سپس این گزارش‌ها در سه گروه SDS و MDS و LDE طبقه‌بندی شد. مقادیر این سه نمایه بر اساس کدهای گزارش شده از ایستگاه‌های همدید بر اساس تعاریف زیر استخراج و محاسبه شده است:

SDS : روزهای توفانی با گرد و خاک شدید، مجموع مشاهدات کدهای گرد و خاک بیشینه روزانه؛ ۳۱-۳۵
MDS : روزهای توفانی با گرد و خاک متوسط، مجموع مشاهدات کدهای گرد و خاک بیشینه روزانه؛ ۳۰، ۳۲، ۳۰، ۹۳
LDE : روزهای با گرد و خاک محلی، مجموع مشاهدات کدهای گرد و خاک بیشینه روزانه؛ ۰۷ و ۰۹

در نهایت برای محاسبه شاخص DSI از رابطه ۱ استفاده شد:

$$DSI = \sum [(5 \times SDS) + MDS + (0.05 \times LDE)] \quad (1)$$

که در آن n تعداد ایستگاه‌هایی است که در آنها رویداد گرد و خاک در بازه زمانی مشخصی، ثبت و گزارش شده باشد. دوره‌ی نرمال شاخص توفان گرد و خاک (DSI)، یک سال است اما می‌تواند چند ماه در یک سال هم باشد. این شاخص برای ۲۱ ایستگاه استان در دوره زمانی (۲۰۱۵-۲۰۱۲ میلادی) به صورت روزانه (۱۴۶۱ روز)، به صورت ماهانه، سالانه و چند ساله محاسبه شد (جدول ۳).

در این پژوهش به منظور بررسی فراوانی و شدت پدیده گرد و خاک از روش شاخص توفان‌های گرد و خاک^۱ استفاده شد. این شاخص در نیمه‌ی دوم سال ۱۹۹۲ میلادی توسط سازمان هواشناسی استرالیا طراحی و برای تعیین شدت و فرکانس توفان گرد و خاک به کار گرفته شد (لمب، ۲۰۰۹ و اولوتسیف، ۲۰۱۴).

لازم به ذکر است که این شاخص روشی مناسب برای پایش فرسایش بادی در مقیاس وسیع با استفاده از مشاهدات هواشناسی است. این شاخص ترکیبی از سه نمایه روزهای توفانی با گرد و خاک محلی^۲ LDE، روزهای توفانی با گرد و خاک متوسط MDS^۳، روزهای توفانی با گرد و خاک شدید SDS^۴ می‌باشد. این داده‌ها طی دوره آماری ۲۰۱۲-۲۰۱۵ میلادی از بانک اطلاعات اداره کل هواشناسی استان اصفهان استخراج شد. کدهای پدیده گرد و خاک در ایستگاه‌های همدید بر اساس کاهش "میدان دید" محاسبه می‌شوند. مشاهده پدیده‌های هواشناسی به فاصله‌ی هر ساعت یک بار در طی روز صورت گرفته که در مجموع ۲۴ بار در شبانه‌روز ثبت شده است. کد پدیده‌ها که به صورت ساعتی ثبت شده، به داده‌های ماهانه تبدیل شده است. برای تبدیل داده نقطه‌ای به داده پهنه‌ای در نرم‌افزار ARCGIS از روش وزنی فاصله معکوس^۵ استفاده شد (اصغری و همکاران، ۹۴). میدان دید برای توفان‌های گرد و خاک متوسط، کمتر از ۱۰۰۰ متر و برای توفان‌های شدید، کمتر از ۲۰۰ متر در نظر گرفته می‌شود. برای توفان گرد و خاک محلی دید کمتر از ۱۰۰۰۰ متر در نظر گرفته شد. بررسی‌ها نشان داده که به طور متوسط غلظت گرد و خاک در توفان گرد و خاک شدید، ۵۶۳۵ میکروگرم بر متر مکعب است که این مقدار ۵ برابر مقدار محاسبه شده برای توفان‌های گرد و خاک متوسط (۱۱۱۶ میکروگرم بر متر مکعب) است (توز، ۱۹۹۶). غلظت گرد و خاک محلی نیز با میدان دید ۲۰ کیلومتری برابر است.

1- Dust Storm Index= DSI

2- Local dust events

3- Moderate dust storm

4- Sever dust storm

5- Inverse Distance Weighting

جدول ۲- کدهای سازمان جهانی هواشناسی مرتبط با پدیده توفان گرد و خاک (اولونسیف، ۲۰۱۴)

| کد | توضیحات |
|----|---|
| ۰۵ | گرد و خاک معلق |
| ۰۶ | مه ناشی از گرد و خاک |
| ۰۷ | توفان گرد و خاک |
| ۰۸ | توفان گرد و خاک |
| ۰۹ | توفان گرد و خاک اتفاق افتاده در گذشته (یک ساعت قبل از دیدبانی) |
| ۳۰ | گرد و خاک خفیف یا متوسط شن و ماسه همراه با کاهش میدان دید در محدوده ۱۰۰۰-۲۰۰ متر |
| ۳۱ | گرد و خاک پایدار یا متوسط شن و ماسه همراه با کاهش میدان دید در محدوده ۱۰۰۰-۲۰۰ متر |
| ۳۲ | شروع یا افزایش گرد و خاک خفیف یا متوسط شن و ماسه همراه با کاهش میدان دید در محدوده ۱۰۰۰-۲۰۰ متر |
| ۳۳ | توفان گرد و خاک شدید همراه با کاهش دید کمتر از ۲۰۰ متر |
| ۳۴ | توفان گرد و خاک پایدار شدید همراه با کاهش دید کمتر از ۲۰۰ متر |
| ۳۵ | شروع یا افزایش توفان گرد و خاک شدید همراه با کاهش دید کمتر از ۲۰۰ متر |
| ۹۳ | رعد و برق با گرد و خاک یا توفان شن و ماسه |

جدول ۳- ویژگی‌های آماری شاخص توفان گرد و خاک برای ۲۱ ایستگاه هواشناسی استان اصفهان

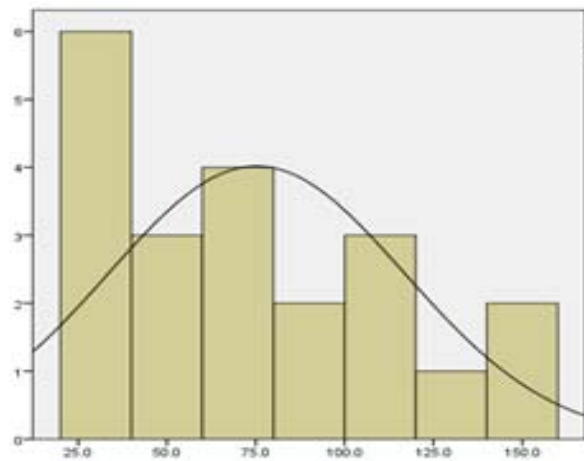
| تعداد داده | میانگین | انحراف میانگین | میان |
|------------|------------------|----------------|--------|
| ۲۱ | ۷۵/۲ | ۱۰ | ۶۹/۹ |
| مد | انحراف استاندارد | واریانس | چولگی |
| ۱۱۸/۶ | ۴۱/۷ | ۱۷۳۸/۱ | ۰/۴۸ |
| کشیدگی | دامنه | کمینه | بیشینه |
| ۰/۹۴ | ۱۳۰/۸ | ۲۳/۵ | ۱۵۴/۲ |

برخی کاربری‌های شهری از جمله وجود کارخانه‌های تولید گچ و آجر به روش سنتی از جمله عوامل ایجاد این پدیده است (گزارش مسئله‌شناسی راهبردی توسعه استان اصفهان، ۱۳۹۳). شاخص (DSI) در بازه زمانی ۲۰۱۲-۲۰۱۵ میلادی، در ایستگاه کبوترآباد ۱۵۴/۲، داران ۱۴۷/۸، نظنز ۱۲۷/۶ و اصفهان ۱۱۸/۶ محاسبه شده است. اگر شاخص (DSI) به تفکیک سالانه محاسبه شود، دیده می‌شود که ایستگاه شرق اصفهان در سال‌های ۲۰۱۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ بزرگ‌ترین مقادیر DSI به ترتیب ۸۰/۷ و ۳۲/۹ و ۹۶/۴ را داشت و در سال ۲۰۱۵ میلادی نیز گلپایگان بیشینه مقدار DSI معادل ۴۲/۶ را داشته است (شکل ۸). در طی این سال‌ها شهرهای اصفهان،

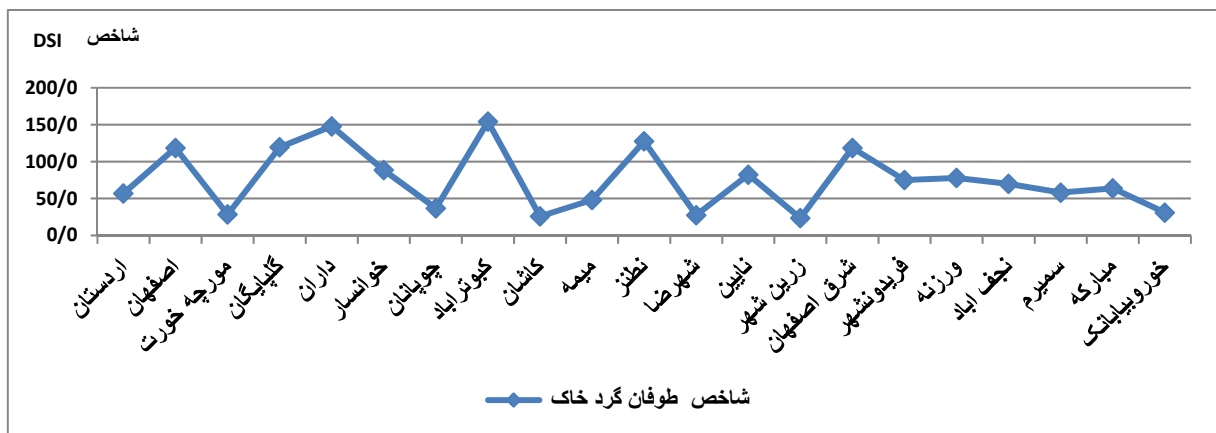
ویژگی‌های آماری شاخص توفان گرد و خاک برای ۲۱ ایستگاه هواشناسی استان اصفهان در جدول ۳ درج شده است. در ۱۴۶۱ روز مورد بررسی، بیشترین تعداد روزهای همراه با گرد و خاک محلی را، ایستگاه‌های نجف آباد، شرق اصفهان و اصفهان و کبوترآباد با ۶۷۸، ۶۷۲، ۶۷۲، ۶۴۴ روز خاکی، داشته‌اند (شکل ۶). کبوترآباد، فریدونشهر، گلپایگان و داران به ترتیب ۵۲، ۴۱، ۴۱ و ۳۹ روز توفانی با گرد و خاک متوسط داشته‌اند. داران ۱۸ روز، نظنز ۱۷ روز و اصفهان، شرق اصفهان و گلپایگان ۱۳ روز توفانی با گرد و خاک شدید را تجربه کرده‌اند. شرق استان اصفهان بیشتر درگیر گرد و خاک محلی است که وجود مناطق بیابانی،

می‌شود که در سال ۲۰۱۴ میلادی، میانگین سالانه شاخص توفان گرد و خاک استان اصفهان ۹۶/۴ بوده که بزرگ‌ترین مقدار در طول دوره آماری است.

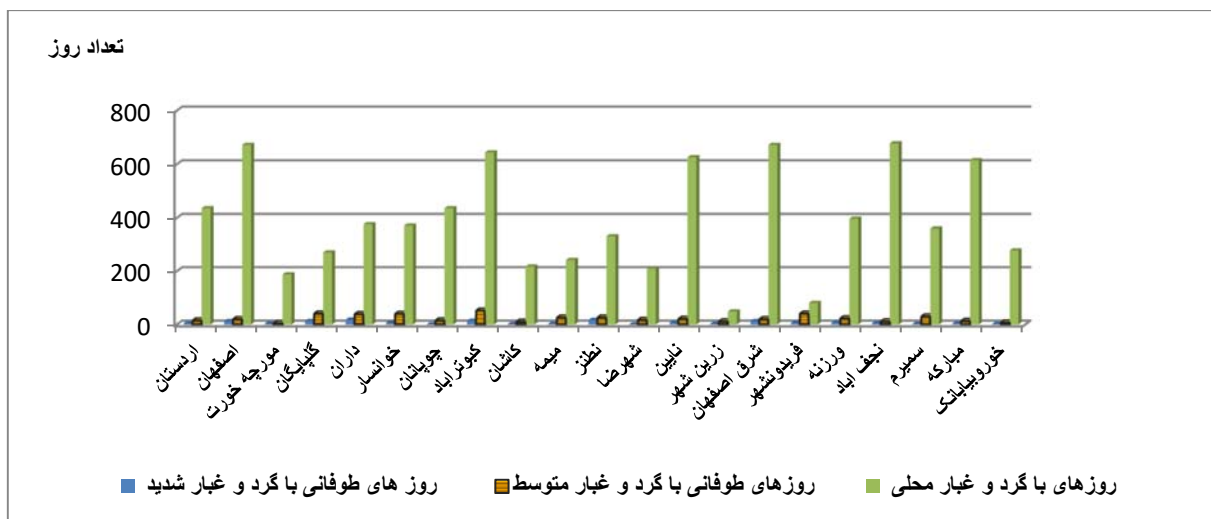
نطنز، داران و کبوترآباد نیز شاخص‌های بزرگی را گزارش کرده‌اند که حاکی از وقوع توفان‌های گرد و خاک به مقدار قابل ملاحظه در این مناطق است (شکل ۸). در شکل ۱۰ دیده



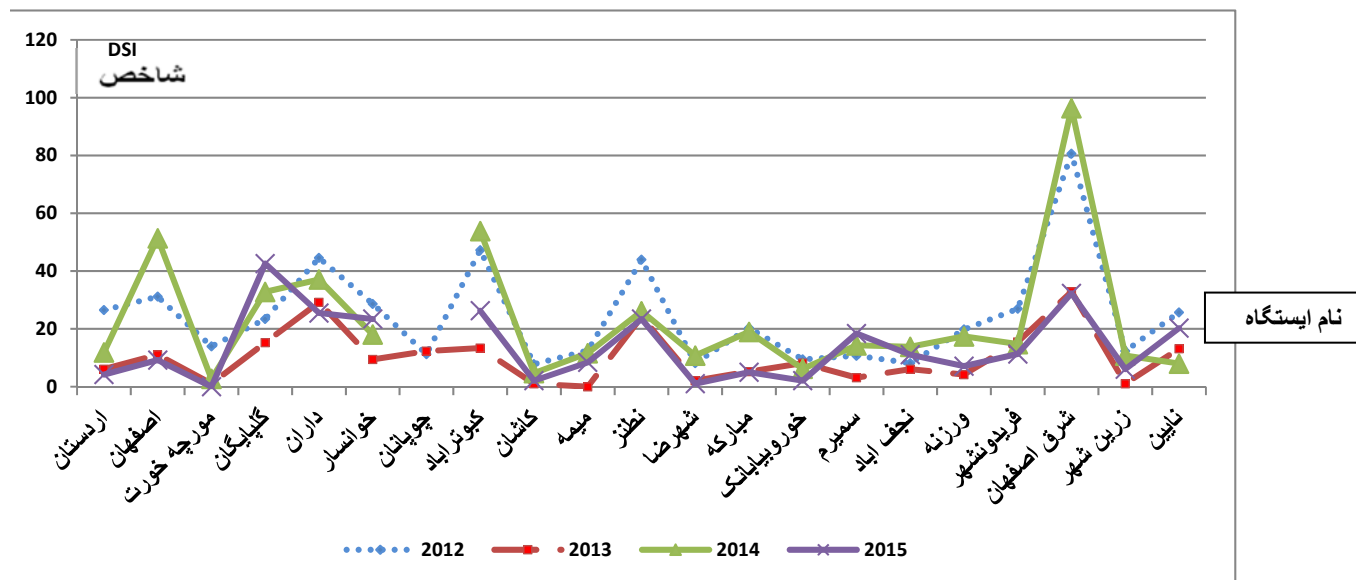
شکل ۵- بافت نگار داده‌های DSI و شرایط آنها نسبت به منحنی نرمال



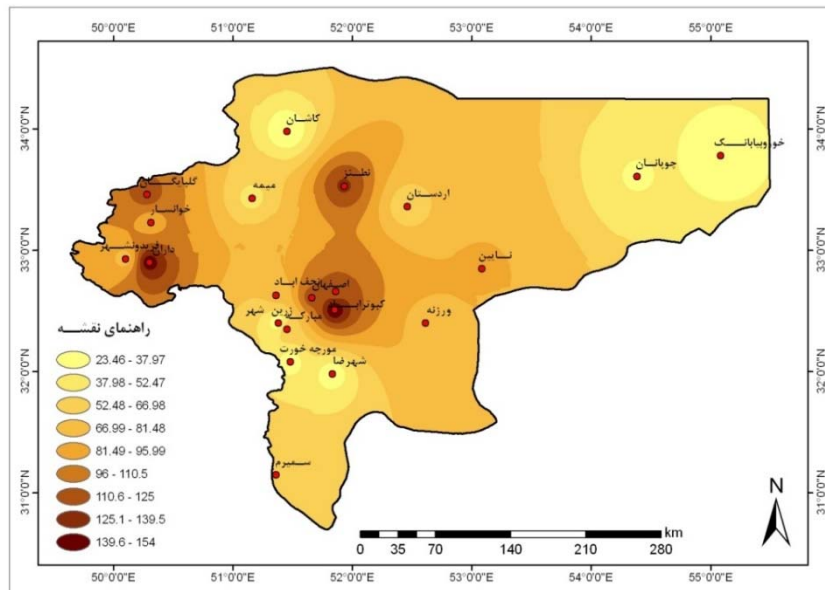
شکل ۶- محاسبه SDS و MDS و LDE در نقاط مختلف استان اصفهان در طول دوره آماری



شکل ۷- میانگین شاخص DSI در نقاط مختلف استان اصفهان در طول دوره آماری ۲۰۱۲-۲۰۱۵ میلادی



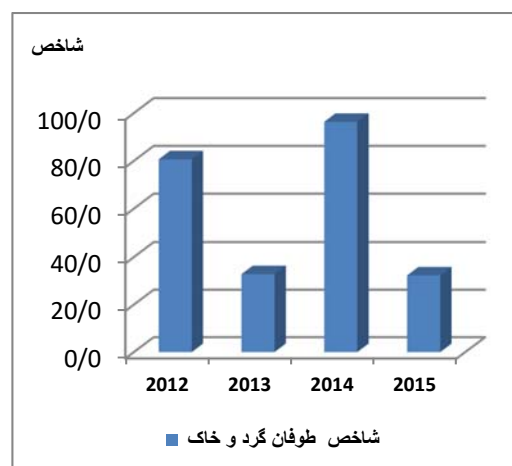
شکل ۸- میانگین سالانه شاخص توفان گرد و خاک در نقاط مختلف استان اصفهان (به تفکیک شهر) در طول دوره آماری



شکل ۹- پهنه‌بندی شاخص توفان گرد و خاک در استان اصفهان - دوره آماری ۲۰۱۲-۲۰۱۵ میلادی

انتقال می‌یابد. در مرکز استان که ایستگاه‌های اصفهان و کبوترآباد و نجف‌آباد را شامل می‌شود، نوع کاربری‌های شهری در افزایش گرد و خاک مؤثر است. در مورچه خورت، شهرضا، کاشان، خور و بیابانک و چوپانان کمترین شاخص توفان گرد و خاک دیده می‌شود که این امر ناشی از تأثیر عوامل محلی در کاهش دید و ایجاد پدیده گرد و خاک است (شکل ۹)، گزارش مسئله‌شناسی راهبردی توسعه استان اصفهان، ۱۳۹۵).

در این بخش داده‌های نقطه‌ای محاسبه شده برای ایستگاه‌ها به روش وزنی فاصله معکوس به داده پهنه‌ای تبدیل و در نرم‌افزار ArcGIS ترسیم شد. در چهار ایستگاه از ایستگاه‌های مورد بررسی بیشترین شاخص توفان گرد و خاک محاسبه شد که شامل ایستگاه‌های کبوترآباد، داران، گلپایگان و نطنز است. بزرگ بودن شاخص گرد و خاک در این مناطق دلایل مختلفی دارد. در غرب استان از جمله داران و گلپایگان گرد و خاک توسط سامانه‌های جوی به منطقه



شکل ۱۰- میانگین سالانه شاخص توفان گرد و خاک استان اصفهان در دوره آماری

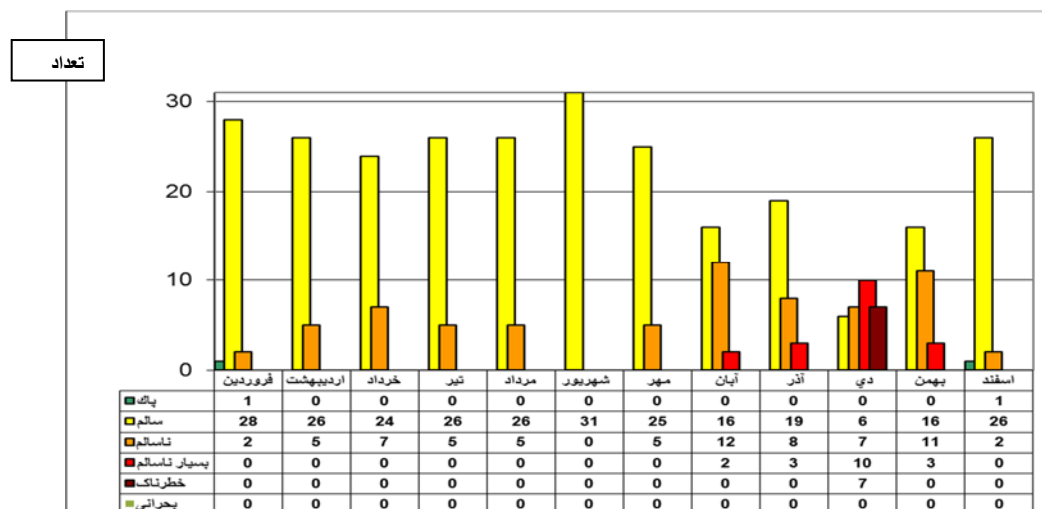
اصفهان و فراوانی وقوع توفان‌های گرد و خاک مورد بررسی دقیق قرار گرفت. در این سال با شرایطی بی‌سابقه در کیفیت هوای شهر اصفهان مواجه بودیم به طوری که از ۳۶۵ روز

بررسی موردی یک رویداد حدی

از ۲۱ مارس ۲۰۱۳ میلادی تا ۲۰ مارس ۲۰۱۴ میلادی (سال ۱۳۹۲ خورشیدی) به دلیل کیفیت نامطلوب هوا در شهر

مورد استفاده قرار گرفت. در دوره آماری مورد مطالعه مقدار دید افقی در شمال شرق اصفهان بسیار کمتر از جنوب غرب شهر اصفهان بوده و روند درون سالی (فصلی) خاصی در داده‌ها مشاهده نمی‌شود. از اول تا آخر سال روند خطی کاهشی بوده و ضریب هم‌بستگی خطی بسیار ضعیف است. روزهایی که دید افقی در شرق اصفهان کمتر از ده کیلومتر بوده کاملاً منطبق با روزهایی است که مقدار $PM_{2.5}$ در شهر اصفهان بیشتر از حد مجاز ($35/4$ میکروگرم بر متر مکعب) گزارش شده است.

مورد پایش ۲۵۸ روز مقدار گرد و خاک بیشتر از حد مجاز $35/4$ میکروگرم بر متر مربع بود. لازم به ذکر است که در استان اصفهان پایش مقادیر گرد و خاک توسط ایستگاه‌های زمینی اداره کل محیط زیست صورت می‌گیرد. داده‌های ذرات گرد و خاک با قطر $2/5$ میکرومتر گردآوری و توسط نرم‌افزار ویژه، شاخص کیفیت هوا محاسبه شد. نتایج محاسبات این شاخص برای سال ۱۳۹۲ در شهر اصفهان در شکل ۱۱ دیده می‌شود. از طرفی مقدار دید افقی که معیاری برای وقوع پدیده گرد و خاک است، در ایستگاه‌های هواشناسی اندازه‌گیری می‌شود که در این پژوهش داده‌های دو ایستگاه هواشناسی در جنوب غرب و شمال شرق اصفهان



شکل ۱۱- میانگین شاخص کیفیت هوای شهر اصفهان در سال ۱۳۹۲ خورشیدی به تفکیک ماه (از اداره کل محیط زیست استان اصفهان)

دیده می‌شود که میانگین ماهانه گرد و خاک با قطر $2/5$ میکرومتر در همه ماه‌ها در سال ۱۳۹۲ خورشیدی، بیشتر از حد مجاز $35/4$ میکروگرم بر متر مربع و به ویژه در ماه دی این مقدار قابل توجه بوده است. بررسی آمارهای روزانه نشان می‌دهد که در دی ماه بیشترین مقادیر گرد و خاک با قطر $2/5$ میکرومتر ثبت شده است. بر اساس استاندارد سازمان هواشناسی جهانی دید مطلوب ۱۰ کیلومتر (10000 متر) است (گزارش فنی سازمان جهانی هواشناسی ۲۰۱۳). در جدول ۳ دیده می‌شود که میانگین ماهانه دید افقی در همه ماه‌ها بسیار کمتر از حد مطلوب بوده و این رقم به ویژه در دی ماه قابل توجه است. برودت هوا به ویژه در ماه‌های آذر، دی و بهمن سبب سکون هوا در سطح زمین و کاهش حجم هوا می‌شود که همین امر تمرکز گرد و خاک در لایه مجاور سطح زمین

در شکل ۱۱ میانگین شاخص کیفیت هوای شهر اصفهان که بر مبنای مقادیر $PM_{2.5}$ (ذرات معلق با قطر $2/5$ میکرومتر) محاسبه شده، درج شده است. دیده می‌شود که به جز شهریور ماه در بقیه ماه‌ها بین ۲ تا ۱۲ روز کیفیت هوا ناسالم بوده است. در دی ماه ۱۰ روز کیفیت هوا بسیار ناسالم و ۷ روز خطرناک بوده است. این شرایط در مقایسه با سال‌های قبل و بعدی سابقه بوده است. در سال ۱۳۹۲ خورشیدی تعداد روزهای با کیفیت هوای سالم (۲۹۷ روز) است که نسبت به سال‌های قبل و بعد کاهش قابل توجهی دارد و تعداد روزهای با کیفیت هوای ناسالم (۶۰ روز) افزایش قابل توجهی داشته است.

در جدول ۳ خلاصه گزارش شرایط جوی و کیفیت هوا در سال ۱۳۹۲ خورشیدی درج شده است. از این جدول

سامانه‌های پرفشار در سطح زمین همراه با حرکات نزولی جو است که این امر نقش زیادی در افزایش غلظت گرد و خاک در سطح زمین دارد (عزتیان، ۱۳۸۶)، (جدول ۴). در دی ماه فشار هوا (میانگین ۱۰۲۸ میلی‌بار) بیش از دیگر ماه‌ها است و در مجموع کلیه عوامل آب و هوایی در دی ماه در تمرکز و تجمع گرد و خاک در سطح زمین و ایجاد شرایط بحرانی نقش قابل توجهی داشته‌اند.

را تشدید می‌کند. وقوع وارونگی دما در این ماه نیز سبب افزایش غلظت گرد و خاک در لایه مجاور زمین می‌شود (عزتیان، ۱۳۸۶). بارش از جمله عوامل پالایش جو است که در دی ماه مقدار قابل توجهی (۱۵/۹ میلی‌متر) ندارد. باد با سرعت کمتر از ۳ متر بر ثانیه باد آرام محسوب شده و در پراکنش گرد و خاک نقش مؤثری ندارد و میانگین سرعت باد در همه ماه‌ها بین ۲ تا ۳ متر بر ثانیه بوده است. استقرار

جدول ۳- شرایط جوی و کیفیت هوای شهر اصفهان در سال ۱۳۹۲ خورشیدی (از بانک اطلاعات هواشناسی اصفهان)

| ماه | مقادیر بالای حد مجاز | میانگین ماهانه PM _{2.5} | میانگین دید افقی | کمینه دما | بیشینه دما | جمع بارش | فشار هوا | سمت و سرعت باد | شاخص گرد و خاک ماهواره ای |
|----------|----------------------|----------------------------------|------------------|-----------|------------|----------|----------|--------------------|---------------------------|
| یکتا | تعداد روز | میکروگرم بر متر مربع | متر | سلسیوس | سلسیوس | میلی‌متر | میلی‌بار | درجه، متر بر ثانیه | EUMETSAT |
| فروردین | ۲۰ | ۴۱/۹ | ۵۰۰۰ | ۴/۹ | ۲۲/۷ | ۲۲/۸ | ۱۰۱۱ | ۲/۱۸۰ | ۱-۱/۵ |
| اردیبهشت | ۲۳ | ۴۶/۳ | ۴۲۰۰ | ۷/۵ | ۲۵/۱ | ۲۸/۸ | ۱۰۰۹ | ۲/۱۸۰ | ۰/۵ |
| خرداد | ۲۷ | ۴۷/۲ | ۴۵۰۰ | ۱۳/۳ | ۳۴/۲ | ۰ | ۱۰۰۰ | ۳/۲۵۰ | ۱-۱/۵ |
| تیر | ۳۱ | ۵۹/۶ | ۴۰۰۰ | ۱۷/۵ | ۳۸/۵ | ۰ | ۹۹۵/۹ | ۳/۲۳۵ | ۱-۱/۵ |
| مرداد | ۲۳ | ۴۶/۹ | ۴۷۰۰ | ۱۸/۷ | ۳۸/۴ | ۰ | ۹۹۵/۶ | ۲/۱۹۳ | ۰/۵ |
| شهریور | ۲۸ | ۵۰/۳ | ۳۸۰۰ | ۱۲/۸ | ۳۴/۹ | ۰ | ۱۰۰۴ | ۲/۲۴۰ | ۰/۵ |
| مهر | ۱۶ | ۴۷/۸ | ۴۲۰۰ | ۶/۷ | ۲۸/۳ | ۰ | ۱۰۱۱ | ۲/۲۲۰ | ۰/۵ |
| آبان | ۱۷ | ۵۶/۷ | ۲۶۵۰ | ۱/۸ | ۱۹ | ۲۱ | ۱۰۱۹ | ۲/۲۰۰ | ۰/۵ |
| آذر | ۱۹ | ۵۳/۹ | ۴۳۰۰ | -۱/۴ | ۱۳/۹ | ۳ | ۱۰۲۰ | ۳/۱۶۰ | ۰/۵ |
| دی | ۲۷ | ۱۱۵/۱ | ۱۷۳۰ | -۷/۱ | ۵/۴ | ۱۵/۹ | ۱۰۲۸ | ۲/۱۹۰ | ۰/۵ |
| بهمن | ۲۰ | ۶۰/۵ | ۳۰۰۰ | -۴/۹ | ۱۰ | ۱۰/۵ | ۱۰۲۰ | ۲/۱۶۰ | ۰/۵ |
| اسفند | ۸ | ۳۶/۸ | ۳۵۰۰ | ۱/۲ | ۱۶/۹ | ۷۶ | ۱۰۱۶ | ۲/۱۷۰ | ۰/۵ |

جدول ۴- شرایط جوی و مقادیر PM_{2.5} شهر اصفهان در روزهای بحرانی دی ماه سال ۱۳۹۲ (از بانک اطلاعات هواشناسی اصفهان)

| تاریخ خورشیدی | تاریخ میلادی | PM _{2.5} | دید افقی | کمینه دما | بیشینه دما | جمع بارش | فشار هوا | سمت و سرعت باد |
|---------------|--------------|-------------------|----------|-----------|------------|----------|----------|-------------------|
| ۱۳۹۲/۱۰/۴ | ۲۰۱۳/۱۲/۲۵ | ۲۰۸ | ۴۰۰۰ | -۱/۴ | ۹ | ۰ | ۱۰۳۶ | درجه/متر بر ثانیه |
| ۱۳۹۲/۱۰/۵ | ۲۰۱۳/۱۲/۲۶ | ۲۰۵ | ۵۰۰۰ | -۱۱ | ۱۰/۴ | ۰ | ۱۰۳۴ | میلی‌بار |
| ۱۳۹۲/۱۰/۶ | ۲۰۱۳/۱۲/۲۷ | ۱۸۴ | ۴۰۰۰ | -۱۱ | ۱۰/۴ | ۰ | ۱۰۳۲ | میلی‌متر |
| ۱۳۹۲/۱۰/۷ | ۲۰۱۳/۱۲/۲۸ | ۲۳۸/۳ | ۲۰۰۰ | -۱۰/۴ | ۱۲/۶ | ۰ | ۱۰۳۱ | میلی‌متر |
| ۱۳۹۲/۱۰/۸ | ۲۰۱۳/۱۲/۲۹ | ۱۴۰/۳ | ۵۰۰۰ | -۱۱/۴ | ۹/۲ | ۰ | ۱۰۳۳ | میلی‌متر |

پایداری جو سبب تراکم این ذرات در لایه مرزی (جو) نزدیک سطح زمین) می‌شود و بادهای آرام با سرعت کمتر از ۳ متر بر ثانیه قدرت جابه‌جایی این ذرات در جهت افقی و

در روزهای ۴-۸ دی ماه برودت شدید هوا سبب مصرف زیاد سوخت در منازل می‌شود که همین امر انتشار زیاد ذرات در جو را سبب می‌شود. استقرار سامانه جوی پرفشار و

از سطح خاک شد؛ به گونه‌ای که حتی با وزش بادهایی با سرعت کم، ذرات از سطح خاک جدا شده و در مجاورت سطح زمین معلق می‌مانند یا توسط جریانات جوی به مناطق نزدیک منتقل می‌شوند. در این شاخص، علاوه بر داده‌های بارش، داده‌های تبخیر و تعرق که نقش مؤثری در تغییر شدت خشکسالی دارند نیز در نظر گرفته می‌شوند. در نتیجه شاخص واقعی‌تری از شدت خشکسالی ارائه می‌دهد.

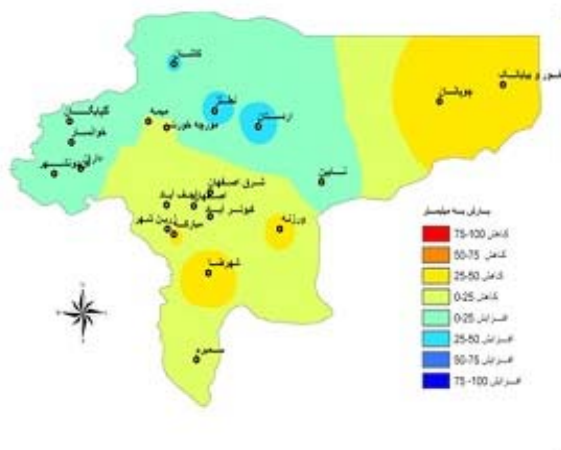
گزارش شرایط بارش در سال ۱۳۹۲ خورشیدی

بارش سال زراعی از اول مهر سال ۱۳۹۲ آغاز شده و تا ۳۱ شهریور ۱۳۹۳ ادامه دارد و این بازه زمانی مجموع بارش ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی را در برمی‌گیرد. شهر اصفهان و شهرهای اطراف آن در این محدوده زمانی بین ۱۶۰ تا ۱۳۱ میلی‌متر بارش دریافت کرده‌اند (شکل ۱۲). مقدار افزایش یا کاهش بارش در سال زراعی ۹۳-۹۲ خورشیدی نسبت به سال زراعی قبل (سال زراعی ۹۲-۹۱ خورشیدی) در استان اصفهان را نشان می‌دهد. دیده می‌شود که شهر اصفهان و شهرهای اطراف آن (مرکز تا جنوب استان) در این محدوده زمانی تا ۲۵ درصد کاهش بارش داشته‌اند که البته ورزنه و شهرضا و مبارکه تا ۵۰ درصد کاهش بارش هم گزارش کرده‌اند (شکل ۱۳).

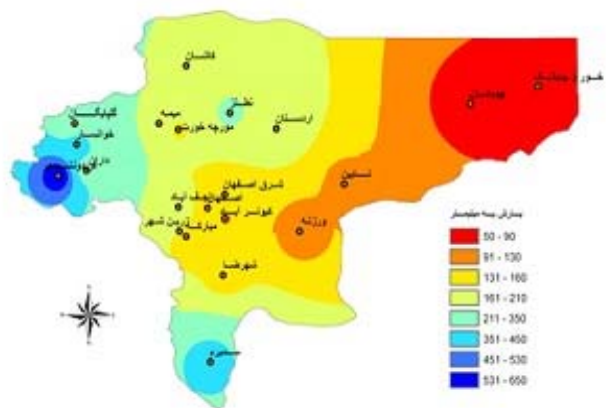
عمودی و تهویه طبیعی جو را ندارند. از طرفی برودت هوا سبب کاهش تحرک مولکول‌های هوا و انقباض مولکول‌های جو در مجاورت سطح زمین است (جدول ۴)، (عزتیان، ۱۳۸۶).

تأثیر خشکسالی بر مقادیر ذرات در استان اصفهان در سال ۱۳۹۲ خورشیدی

روند شکل‌گیری خشکسالی به گونه‌ای است که در آغاز با تغییر متغیرهای جوی از جمله کاهش بارش، افزایش دما، افزایش تبخیر و تعرق همراه است. در این مرحله از خشکسالی به علت عدم تأمین آب مورد نیاز گیاه، تنش‌های آبی باعث کاهش بیوماس و عملکرد مؤلفه‌های کشاورزی شده و در نهایت به صورت اثرات محیطی ظاهر می‌شود که افزایش گرد و خاک معلق در هوا و توفان‌های خاک یکی از تبعات آن است (نظام زاده، ۱۳۹۱). بر اساس این شاخص، از سال ۱۳۸۰ خورشیدی به بعد کل کشور در طی ۱۵ سال با خشکسالی مواجه بوده و به ویژه در طی سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۹۱ خشکسالی در حد بالا و بسیار بالا بوده است (مرکز خشکسالی و مدیریت بحران، ۱۳۹۴). این نکته سبب تبخیر آب‌های سطحی و خشک شدن لایه‌های سطحی خاک شد که به نوبه خود سبب کاهش سرعت آستانه خیزش ذرات



شکل ۱۳- درصد افزایش یا کاهش بارش سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ نسبت به سال گذشته (از هواشناسی استان اصفهان)



شکل ۱۲- پهنه‌بندی استان اصفهان بر اساس بارش سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ خورشیدی (از هواشناسی استان اصفهان)

فرودگاه، دید افقی را در بسیاری روزها کاهش داده که مقایسه ارقام مندرج در جدول ۵ بیانگر این امر است. در شکل ۱۴ دیده می‌شود که افزایش غلظت گرد و خاک در جو سبب کاهش بخار آب و کاهش سازوکار تشکیل ابر پایین است. از طرفی ارتفاع ابر افزایش یافته و ابرهای بالا تشکیل می‌شوند که قابلیت بارش کمتری دارند.

جدول ۵- مقایسه دید افقی در شمال شرق و جنوب غرب شهر اصفهان

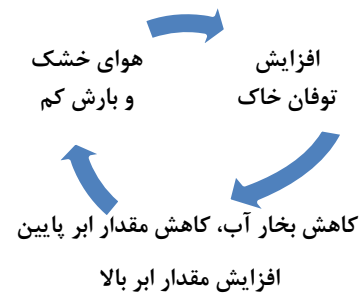
۲۰۱۲-۲۰۰۶

| ایستگاه ازن سنجی | ایستگاه فرودگاه | دید افقی |
|---------------------|-----------------|------------------|
| ۷۵ تعداد روز | ۱۷۶ تعداد روز | زیر ۱ کیلومتر |
| ۱۴۷ | ۸۸۰ | زیر ۳ کیلومتر |
| ۲۸۵ | ۷۰۴ | زیر ۵ کیلومتر |
| ۶۴۲ | ۴۱۳ | زیر ۸ کیلومتر |
| ۲۳۸۶ | ۳۴۰ | بالای ۱۰ کیلومتر |

گونه‌ای است که می‌تواند به عنوان هسته میعان مه، باران و برف عمل کند. البته در خصوص رعد و برق و رگبار این فراوانی مشاهده نمی‌شود در حالی که تعداد روزهای ابری در ایستگاه ازن‌سنجی بسیار بالاتر از ایستگاه فرودگاه بوده است. لذا می‌توان نتیجه‌گیری کرد که ماهیت ذرات گرد و خاک موجود در جنوب غرب اصفهان به گونه‌ای است که قادر است به عنوان هسته میعان ابر عمل کند و رشد و نمو ابر را افزایش دهد. در جدول ۶ مقایسه فرایندهای جوی سال ۱۳۹۲ خورشیدی ایستگاه فرودگاه با میانگین بلند مدت به عمل آمده است. دیده می‌شود که در سال ۱۳۹۲ خورشیدی تعداد روزهای بارشی (در ماه‌های دی، بهمن، اسفند، فروردین، اردیبهشت و آبان) و تعداد روزهای یخبندان (در ماه‌های دی و بهمن) افزایش داشته و افزایش مقدار بارش نیز در ماه‌های اسفند، فروردین، اردیبهشت و آبان قابل توجه است.

بررسی اثرگذاری گرد و خاک بر پدیده‌های جوی

در این پژوهش به منظور بررسی اثرگذاری گرد و خاک بر پدیده‌های جوی نخست مقایسه کاهش دید ناشی از وجود گرد و خاک در هوای شهر اصفهان در دو ایستگاه ازن‌سنجی (واقع در جنوب غرب) و فرودگاه (واقع در شمال شرق) به عمل آمد. در این بازه زمانی وجود گرد و خاک در پیرامون

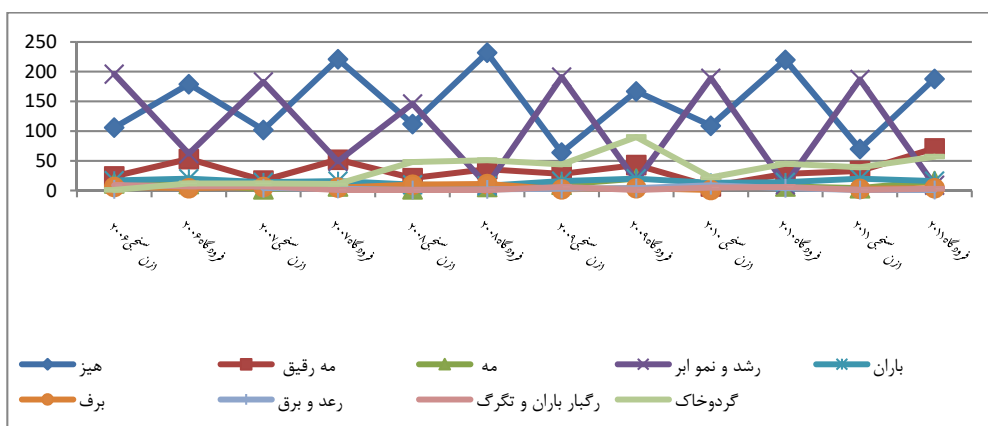


شکل ۱۴- روند افزایش گرد و خاک و کاهش بارش

در این بخش تأثیر این مقدار قابل توجه گرد و خاک بر تشکیل ابر و نوسانات بارش بررسی می‌شود. ذرات گرد و خاک به عنوان هسته میعان در تشکیل قطرات مه، باران، برف و ابر مشارکت دارند (شکل ۱۴). دو ایستگاه ازن‌سنجی و فرودگاه در دو نقطه جداگانه از شهر اصفهان واقع شده‌اند که در مقیاس همدیدی یک سامانه جوی آنها را پوشش می‌دهد، لیکن از نظر توپوگرافی، پوشش خاک و گیاه، نوع کاربری زمین تفاوت زیادی دارند. ایستگاه فرودگاه در مجاورت کویر سگری واقع شده و همواره مقدار گرد و خاک آن بیشتر از ایستگاه ازن‌سنجی است. در سال‌های مختلف که ایستگاه فرودگاه پدیده توفان خاک و غبارمه فراوانی وقوع بسیار بیشتری نسبت به ایستگاه ازن‌سنجی داشته است، فراوانی وقوع مه رقیق، مه، روزهای بارشی و برفی نیز بسیار بیشتر از ازن‌سنجی بوده است. بنابراین این فرضیه ایجاد می‌شود که ماهیت ذرات گرد و خاک موجود در شرق اصفهان به

جدول ۶- مقایسه فرایندهای جوی سال ۱۳۹۲ خورشیدی در ایستگاه فرودگاه اصفهان با میانگین بلند مدت

| سال ۱۳۹۲- ایستگاه فرودگاه | | | | میانگین بلند مدت - ایستگاه فرودگاه | | | |
|---------------------------|-------------------|-----------------|-----------|------------------------------------|-----------------|-----------|-------------|
| فراسنج جوی (ماه) | دید افقی (متر) | بارش (میلی متر) | روز بارشی | روز یخبندان | بارش (میلی متر) | روز بارشی | روز یخبندان |
| ژانویه/ دی | ۱۷۳۰ | ۱۵/۹ | ۸ | ۳۰ | ۱۵/۵ | ۶ | ۲۷ |
| فوریه/ بهمن | ۳۰۰۰ | ۱۰/۵ | ۵ | ۲۸ | ۱۱/۹ | ۲ | ۲۳ |
| مارس/ اسفند | ۳۵۰۰ | ۷/۶ | ۷ | ۱۱ | ۲۱/۵ | ۲ | ۱۳ |
| آوریل/ فروردین | ۵۰۰۰ | ۲۲/۸ | ۵ | ۱ | ۱۴/۹ | ۲ | ۰ |
| می/ اردیبهشت | ۴۲۰۰ | ۲۸/۸ | ۸ | ۰ | ۶/۶ | ۰ | ۰ |
| ژوئن/ خرداد | ۴۵۰۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱/۱ | ۰ | ۰ |
| ژوئیه/ تیر | ۴۰۰۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱/۲ | ۰ | ۰ |
| اوت/ مرداد | ۴۷۰۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰/۵۱ | ۰ | ۰ |
| سپتامبر/ شهریور | ۳۸۰۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰/۲۵ | ۰ | ۰ |
| اکتبر/ مهر | ۴۲۰۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۳/۴ | ۲ | ۱ |
| نوامبر/ آبان | ۲۶۵۰ | ۲/۱ | ۸ | ۱۰ | ۱۲/۷ | ۲ | ۱۴ |
| دسامبر/ آذر | ۴۳۰۰ | ۳ | ۳ | ۱۷ | ۱۸/۶ | ۳ | ۲۵ |



شکل ۱۵- اثرگذاری گرد و خاک بر فراوانی وقوع پدیده‌های جوی در طول دوره آماری - مقایسه ایستگاه فرودگاه اصفهان و ازنسنجی

بحث و نتیجه گیری

بررسی‌ها نشان می‌دهد که گرد و خاک ورودی به استان اصفهان گرچه از نظر تعدد وقوع به مراتب کمتر از گرد و خاک‌های داخلی است اما به واسطه حجم زیاد انتقال گرد و خاک در ارتفاع بالاتر از سطح زمین، بخش عمده‌ای از کشور را تحت تأثیر قرار می‌دهند. به عبارت دیگر در این بازه زمانی توفان‌های محلی کاهش یافته و توفان‌های فرامرزی افزایش یافته است. از طرفی وقوع توفان گرد و خاک متأثر از

با این فرض که حضور گرد و خاک می‌تواند بر فرآیندهای تشکیل مه، مه رقیق، رشد و نمو ابر، باران، برف، رعد و برق، رگبار باران و برف اثرگذار باشد مقایسه فراوانی وقوع این پدیده‌ها در طی دوره آماری ۲۰۰۶-۲۰۱۲ میلادی بین ایستگاه فرودگاه و ازنسنجی به عمل آمد. در شکل ۱۵ دیده می‌شود که افزایش مقدار گرد و خاک در جو سبب فراوانی وقوع مه، باران و برف شده در صورتی که رشد و نمو ابر را کاهش داده است.

ذرات گرد و خاک به مقدار زیاد در جو سبب کاهش اندازه قطرک‌های ابر و تضعیف فرآیند تشکیل ابر است. ماهیت گرد و خاک موجود در هوای شمال شرق اصفهان در ممانعت از تشکیل ابر و افزایش وقوع مه، بارش‌های رگباری و برف تأثیر داشته است.

پیشنهادها

نبود راهبرد مناسب برای مقابله با بیابان‌زایی و رهاسازی زمین‌های کشاورزی از دیگر عوامل تشدید گردو خاک است. توسعه سکونت گاهی، توسعه صنعت، بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آبی، جابه‌جایی منابع آب و طرح‌های انتقال آب استان نیز سبب تشدید پدیده گرد و خاک بوده است.

پایش منظم پدیده گرد و خاک، اطلاعات صحیحی در خصوص روند تغییرات این پدیده فراهم می‌کند و این امکان را برای سیاست‌گذاران فراهم می‌آورد که تأثیر عوامل مختلف بر آن را به حداقل برسانند. لذا استقرار ایستگاه‌های سنجش و تحلیل گردو غبار با پراکنش مناسب در کلیه نقاط استان ضروری است.

منابع

- ۱- محمدی‌نژاد، ش.، ۱۳۹۰، ارزیابی روش‌های سنجش از دور در تجزیه و تحلیل مکانی- زمانی پدیده ریزگرد و ریسک آن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی.
- ۲- زراسوندی. ع.، ۱۳۹۲، ترکیب و منشأ زمین‌شیمیایی توفان‌های گرد و خاک در استان خوزستان: تأکیدی بر شاخص‌های زمین‌زیست محیطی.
- ۳- زنگنه. م.، ۱۳۹۳، آب و هواشناسی توفان‌های گرد و خاک در ایران، دو فصلنامه آب و هواشناسی کاربردی، شماره ۱، پاییز و زمستان، صص. ۱۲-۱.
- ۴- خزائی. م.، ۱۳۹۴، شرایط خشکسالی و گرد و خاک در فصل بهار، فصل‌نامه زمستان زاگرس، هواشناسی استان کرمانشاه، شماره ۳۳، صص. ۱۲.
- ۵- صفایی قهنویه و همکاران، ۱۳۹۲، مکانیزم انتشار گرد و خاک، اولین کنگره بین‌المللی پدیده گرد و خاک و مقابله با آثار زیانبار آن، صص. ۱۲۹۸-۱۲۸۹.

عوامل طبیعی و انسان ساخت است که بخش انسانی آن نوعی واکنش به تغییر پوشش و کاربری اراضی است؛ در شرق اصفهان افزایش توفان‌های محلی از تبعات این امر است. در سال‌های اخیر فراوانی وقوع توفان گرد و خاک در استان اصفهان معضلات محیط زیستی بسیاری را به همراه داشته است. افزایش گرد و خاک در مناطق شهری و روستایی استان ناشی از سه عامل است: قرارگیری منطقه در شرایط خشک و نیمه بیابانی و همسایگی با مناطق وسیع بیابانی، کاهش پوشش گیاهی، کاهش رطوبت سطحی خاک. فصل بحرانی گرد و خاک در استان از اواسط بهار تا اواخر تابستان است (حسین‌آبادی، ۱۳۹۳). در حاشیه بیابان‌ها و کویرها استان اصفهان به دلیل از دست رفتن رطوبت خاک، تضعیف پوشش گیاهی و تخریب ساختار سطحی خاک، احتمال خیزش خاک از لایه سطحی زمین با وزش بادی با آستانه کمتر از ۵ متر بر ثانیه وجود دارد. خشک شدن تالاب‌ها در کشور عراق، خشکسالی‌های ۱۵ سال اخیر و تداوم آن، وقوع جنگ‌های متوالی در منطقه، مدیریت نامناسب منابع کشور عراق، احداث سدهای زیاد در منطقه و توسعه ساختارهایی که نیازهای آبی زیاد دارند، از جمله عوامل تشدید گرد و خاک در استان است. در استان اصفهان، کانون‌های عمده گرد و خاک در بخش‌های غربی تالاب گاوخونی واقع شده‌اند که افزایش تبخیر از بستر تالاب به دلیل گرم شدن هوا سبب شور شدن اراضی منطقه و بیابان زایی شده است. شرق شهر اصفهان بیشتر درگیر گرد و خاک محلی است که وجود عرصه‌های بیابانی، برخی کاربری‌های شهری از جمله وجود کارخانه‌های تولید گچ و آجر به روش سنتی از جمله عوامل ایجاد این پدیده است (گزارش مسئله‌شناسی راهبردی توسعه استان اصفهان، ۱۳۹۵).

نتایج پژوهش

بررسی‌ها بیانگر کاهش باران ریزه و بارش سبک، در مقابل افزایش وقوع بارش‌های سنگین در شهر اصفهان است. حضور ذرات گرد و خاک سبب کاهش تشکیل ابرهای پوشنی (منجر به بارش سبک و مداوم) و تقویت ابرهای همرفتی (منجر به بارش سنگین رگباری) هستند. حضور

- 16- Guo, Z., Z. Li, J. Farquhar, A. J. Kaufman, N. Wu, C. Li, R. R. Dickerson & P. Wang, 2010, Identification of sources and formation processes of atmospheric sulfate by sulfur isotope and scanning electron microscope measurements, *J. Geophys. Res.*, 115, D00K07, doi:10.1029/2009JD012893.
- 17- Han, Y., X. Dai, X. Fang, Y. Chen & F. Kang, 2008, Dust aerosols: A possible accelerant for an increasingly arid climate in North China, *J. Arid Crystals, Atmos. Res.*, 41(1), pp. 81-88.
- 18- Hsu, S. C., S. Liu, R. Arimoto, T. Liu, Y. Huang, F. Tsai, F. Lin & S. Kao, 2009, Dust deposition to the East China Sea and its biogeochemical implications, *J. Geophys. Res.*, 114, D15304, doi:10.1029/2008JD011223.
- 19- Huang, J. F., C. Zhang & J. M. Prospero, 2009b, Large-scale variability of aerosol and precipitation in the West African Monsoon, *Environ. Res. Lett.*, 4, 015,006, doi:10.1088/1748-9326/4/1/015006.
- 20- Huang, J. P., B. Lin, P. Minnis, T. Wang, X. Wang, Y. Hu, Y. Yi & J. K. Ayers, 2006b, Satellite-based assessment of possible dust aerosols semi-direct effect on cloud water path over East Asia, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L19802, doi:10.1029/2006GL026561.
- 21- Huang, J. P., Y. Wang, T. Wang & Y. Yi, 2006c, Dusty cloud radiative forcing derived from satellite data for middle latitude region of East Asia, *Prog. Nat. Sci.*, 10, pp. 1084-1089.
- 22- Huang, K., G. Zhuang, J. Li, Q. Wang, Y. Sun, Y. Lin & J. S. Fu, 2010, Mixing of Asian dust with pollution aerosol and the transformation of aerosol components during the dust storm over China in spring 2007, *J. Geophys. Res.*, 115, D00K13, doi:10.1029/2009JD013145.
- 23- Huang, Z., J. Huang, J. Bi, G. Wang, W. Wang, Q. Fu, Z. Li, S. C. Tsay & J. Shi, 2010, Dust aerosol vertical structure measurements using three MPL lidars during 2008 China-U.S. joint dust field experiment, *J. Geophys. Res.*, 115, D00K15,
- 24- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007, The Physical Science Basis, in Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by S. Solomon et al., Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K. and New York.
- 25- O' Loingsigh, T., Mc Tainsh, 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 Research* 12(2014), pp. 29-40.
- ۶- لاله سیاه پیرانی، م. و م. سوری، ۱۳۹۲، تحلیل سینوپتیکی پدیده گرد و خاک در غرب و جنوب غرب ایران، اولین کنگره بین‌المللی پدیده گرد و خاک و مقابله با آثار زیانبار آن، صص. ۷۱۹-۷۲۸.
- ۷- گوهردوست و همکاران، ۱۳۹۲، بررسی و تحلیل نقشه‌های سینوپتیکی اوج روزهای گرد و خاکی استان خوزستان، اولین کنگره بین‌المللی پدیده گرد و خاک و مقابله با آثار زیانبار آن، صص. ۷۱۸-۷۰۹.
- ۸- اصغری پوده، ز. و همکاران، ۱۳۹۴، ارزیابی و پهنه‌بندی تغییرات مکانی- زمانی توفان‌های گرد و خاک خوزستان با استفاده از شاخص DSI، دومین همایش ملی تغییرات اقلیمی، مهندسی، توسعه پایدار کشاورزی و منابع طبیعی.
- ۹- عزتیان، و.، ۱۳۸۶، بررسی اثرات پارامترهای هواشناسی بر شاخص کیفیت هوا در شهر اصفهان، رساله دکتری دانشگاه اصفهان، صص. ۱۴۰-۱۳۷.
- ۱۰- سجادی، ا.، ۱۳۹۲، اثرات زیست محیطی آلودگی‌ها، اولین کنفرانس ملی علوم مهندسی و محیط زیست و توسعه پایدار.
- ۱۱- نظام زاده، م.، ۱۳۹۱، شناسایی عوامل تأثیرگذار در توسعه شیوه‌های نوین آبیاری در بخش کشاورزی بخش جلگه شهرستان اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، ص ۱۴.
- ۱۲- حسین‌آبادی، م.، ۱۳۹۳، بررسی اثرات فراسنج‌های آب و هوایی بر مقادیر ازن و تابش فرابنفش در استان اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، ص ۴۱.
- ۱۳- گزارش مسئله‌شناسی راهبردی توسعه استان اصفهان، ۱۳۹۵، مرکز بررسی استراتژیک ریاست جمهوری، ص ۲۰.
- 14- Technical Report, 2013, WMO, NO. 1121, Establishing a WMO Sand and Dust Storm Warning Advisory and Assessment System Regional Node for West Asia: Current Capabilities and Needs.
- 15- Guan, X., J. Huang, N. Guo, J. Bi & G. Wang, 2009, Variability of soil moisture and its relationship with surface albedo and soil thermal parameters over the Loess Plateau, *Adv. Atmos. Sci.*, 26(9): 692-700.

- Geophys. Res., [Atmos.] 114, D09106. <http://dx.doi.org/10.1029/2008JD011184>.
- 30- Tews, E. K., 1996, Wind Erosion Rates from Meteorological Records in Eastern Australia 1960–92, Unpublished Honours Dissertation, Griffith University, Queensland, Australia.
- 31- McTainsh, G. H, J. F. Leys, T. O’Loingsigh & C. L. Strong, 2011c, Wind erosion and land management in Australia during 1940–1949 and 2000–2009, Report prepared for the Australian Government Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities on behalf of the State of the Environment, 2011 Committee, Canberra: DSEWPac, pp. 45.
- 32- <http://www.esfahanmet.ir/>
- 33- <http://ndwmc.irimo.ir/>
26. Squires, V. R., 2002b, Mitigating and preventing sand-dust storms: problems and prospects. In Yang Youlin, Victor Squires & Lu Qi (Eds.), *Global Alarm: Dust and Sandstorms from the World's Drylands*, (pp. 15-73). New York: United Nations
- 27- Squires, V. R., 2016a, Dust Particles and Aerosols: Impact on Biota “A Review” (Part I), *Journal of Rangeland Science*, 6(1): 82-91.
- 28- Leli, M., K. Naddafi, R. Nabizadeh, M. Yonesiyan & M. Mesdaghinia, 2009, Concentration of suspended particles and the (AQI) Central area of Tehran. *Journal School of Public Health and Institute of Health Research*, 7(1): 57-67.
- 29- Lamb, P. J., L. M. Leslie, R. Timmer & M. S. Speer, 2009, Multidecadal variability of Eastern Australian dust and Northern New Zealand sunshine: associations with Pacific climate system, J.