

مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره نهم، شماره بیست و سوم، بهار ۱۳۹۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۱۹

تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۳۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۸/۱۴

صفحات: ۲۰۸ - ۱۸۷

شناسایی کانون‌های گرد و غبار و آنالیز فیزیکوشیمیایی ذرات آن در منطقه دزفول

برومند صلاحی^{۱*}، محمود بهروزی^۲

چکیده

به منظور شناسایی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و شرایط اتمسفری توفان‌های گرد و غبار در ایستگاه دزفول (به عنوان نماینده منطقه‌ی دزفول)، ابتدا فراوانی پدیده گرد و غبار در ایستگاه دزفول طی ۲۰ سال (۲۰۱۳-۱۹۹۴) بررسی شد. سپس طی روزهای ۲۴ ژوئن، ۲۱ و ۲۸ ژوئیه ۲۰۱۸، نمونه‌های گرد و غبار با تله‌های رسوب‌گیر جمع‌آوری و شرایط فیزیکی آن با دستگاه پراش اشعه ایکس و آنالیز شیمیایی عناصر محلول و فلزات سنگین آن با دستگاه جذب اتمی به روش شعله انجام شد و با شاخص آلودگی Igeo ارزیابی شد؛ هم‌چنین گردش اتمسفری در تراز میانی جو و سطح زمین که منجر به گرد و غبار شد با استفاده از داده‌های روزانه تحلیل مجدد مرکز پیش‌بینی اروپا (ECMWF ERA-Interim) و پراکندگی ذرات با عمق اپتیکی نور و خط سیر گرد و غبار با مدل HYSPLIT بررسی شد. نتایج بررسی فراوانی گرد و غبار در دزفول بیانگر روند افزایشی گرد و غبار است که منجر به کاهش دید افقی شده است. بیشینه گرد و غبار در فصل تابستان و جولای (تیرماه) و کمینه آن در پائیز و ژانویه (دی‌ماه) است. نتایج حاصل از میانگین توزیع اندازه ذرات غبار در دزفول نشان داد PM10 اندازه غالب ذراتی بود که از بافت سیلنتی تشکیل شده است. منگنز، روی، سرب و کادمیوم به ترتیب با میانگین ۴۹۱، ۳۱۱، ۳۲/۹ و ۱/۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم فلزات غالب در گرد و غباری بودند که بیانگر آلودگی متوسط تا شدید آن نسبت به حد استاندارد است. در بین عناصر محلول، کلسیم، پتاسیم، سدیم و منیزیم به ترتیب بیش‌ترین غلظت را داشتند که حضور این عناصر دلیلی بر بیابانی بودن ذرات غباری است که ردبایی و محاسبه مسیر برگشت آن نشان داد رسوبات آبرفتی دجله و فرات در عراق کانون اصلی آن است.

واژگان کلیدی: غبار بیابانی، جذب اتمی، پراش اشعه ایکس، بادهای شمال، دزفول.

salahi@uma.ac.ir

behrouzimahmoud@gmail.com

^۱- استاد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی (نویسنده مسئول)

^۲- دکتری اقلیم‌شناسی، پژوهشکده انگور و کشمش، گروه علوم محیطی دانشگاه ملایر

مقدمه

توفان‌های گرد و غبار یکی از مخاطرات محیطی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که اغلب در نیمه گرم سال اتفاق می‌افتد (مدرس و صادقی^۱، ۲۰۱۸) و جامعه انسانی و طبیعی مناطق نزدیک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (خان و استراند^۲، ۲۰۱۸) (دراک و وازکوس^۳، ۲۰۱۸). این توفان‌ها با ناپایداری هوا و توربولانس شدید باد همراه است که در صورت عدم وجود رطوبت برای انرژی ترمودینامیک و صعود آدیاباتیک هوا، عبور بادهای توفانی از سطح بیابان، ذرات خاک سطحی را از روی بیابان‌ها روئیده و با نشر آن تا ارتفاع حدود ۳۰۰۰ متری، به صورت توده عظیم گردو خاک به مسافت‌های طولانی از منشأ آن انتقال می‌دهد (ذوالجودی^۴ و همکاران، ۲۰۱۳) که متعاقب آن، دید افقی به کمتر از ۱۰۰۰ متر کاهش می‌یابد (کائو^۵ و همکاران، ۲۰۱۵). این پدیده همچون کمربند غبار از بیابان صحرا در آفریقا شروع شده و با عبور از شبه‌جزیره عربستان، ایران و آسیای مرکزی به چین می‌رسد (دیمیتریو و کاسومونوس^۶، ۲۰۱۸). در نیم‌کره جنوبی، بیابان مرکزی استرالیا یکی از کانون‌های عمده گرد و غبار است (وگنر^۷ و همکاران، ۲۰۰۸). کاهش بارندگی و خشک‌سالی‌های اخیر باعث گسسته شدن بافت نرم و سیلنتی رسوبات آبرفتی در عراق (ماشات و آواد^۸، ۲۰۱۰) و سیستان (هایکی و گودی^۹، ۲۰۰۷) شده که در کنار بیابان ربع‌الخالی در عربستان و بیابان صحرا در آفریقا بزرگ‌ترین کانون گرد و غبار در خاورمیانه را تشکیل می‌دهند (لابان^{۱۰}، ۲۰۱۶). ذرات غبار در سطوح مختلف جو با مدل‌های جوی ردیابی شده که در شناسایی کانون آن نقش مهمی دارد. در خاورمیانه مطالعات مهمی در این زمینه انجام شده و با مدل‌های اسپلیت^{۱۱} که ذرات خاک جوی را در ساعات قبل از ورود به منطقه موردنظر در ارتفاعات مختلف اتمسفر ردیابی می‌کند، بسیاری از توفان‌های گرد و غبار آشکار شده است. توفان‌های گرد و غبار به‌طور ناگهانی در سال ۲۰۰۸ به بیشترین وقوع در قرن ۲۱ رسید.

وانگ^{۱۲} و همکاران (۲۰۱۱) با مدل‌های اسپلیت توفان‌های به وقوع پیوسته در جهان را ردیابی کرده و بیابان شمال آفریقا، خاورمیانه، مغولستان و شمال غربی چین را به‌عنوان کانون عمده گرد و غبار در سال ۲۰۰۸ اعلام نمودند. نتایج مدل‌های اسپلیت نشان داد رسوبات آبرفتی حوزه رودخانه‌ای دجله و فرات در سوریه و عراق در بیش از ۷۰٪ توفان‌های گرد و غباری آسیای غربی نقش دارد (کائو^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۵). ردیابی ذرات غبار جوی جنوب غربی

1 - Modarres and Sadeghi

2 - Khan and Strand

3 - Drack and Vázquez

4 - Zoljoodi

5 - Cao

6 - Dimitriou and Kassomenos

7 - Wagener

8 - Mashat and Awad

9 - Hickey and Goudie

10 - Labban

11 - HYSPLIT

12 - Wang

13 - Cao

ایران با مدل‌های اسپلیت در ارتفاع ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ متر بیانگر این است که گرد و غبار عمدتاً از بیابان مرز عراق و سوریه و همچنین رسوبات آبرفتی دجله و فرات نشأت می‌گیرد (برومندی^۱، ۲۰۱۷)؛ اما در کویت که در مجاورت با جنوب غربی ایران است، کانون عمده گرد و غبار جوی آن بیابان صحرا در آفریقا و ربع‌الخالی در عربستان است (یاسین^۲ و همکاران، ۲۰۱۸)؛ بنابراین نزدیکی با مناطق خشک و بیابانی نمی‌تواند کانون عمده گرد و غبار آن منطقه باشد، احتمال این می‌رود که گرد و غبار از مناطق دور تحت شرایط اتمسفری و گردش‌های جوی در مقیاس سینوپتیک وارد یک منطقه شده است. با این شرایط، گردش سیستم‌های جوی نقش مهمی در وقوع توفان گرد و غباری در مناطق مختلف دارند که از داده‌های NCEP/NCAR برای بررسی وضعیت اتمسفر در زمان وقوع پدیده‌های اقلیمی استفاده می‌شود (جیش پراکاش^۳ و همکاران، ۲۰۱۴) (الیحیای و چارابی^۴، ۲۰۱۴). یکی از شرایط سینوپتیکی که دلیل عمده توفان‌های گرد و غبار در آسیای غربی است، بادهای شمال بوده که با وزش بادهای گرم و خشک از پرفشار آفریقا و شبه‌جزیره عربستان به سمت سیستم کم‌فشار سطحی در خلیج فارس ایجاد می‌شود (اوزدمیر کوکماز^۵ و همکاران، ۲۰۱۸) (دسوزا^۶ و همکاران، ۲۰۱۱). استقرار سامانه کم‌فشار موسمی در جنوب ایران و شبه‌جزیره عربستان در تابستان به همراه سیستم پرفشار شمال آفریقا، یکی از عوامل عمده سینوپتیکی در تشکیل سامانه‌های گرد و غباری جنوب غربی آسیا و به‌خصوص عربستان است (هرمیدا^۷ و همکاران، ۲۰۱۸). در شبه‌جزیره عربستان (یمن، امارات، قطر، بحرین و عربستان سعودی)، بادهای شمال و جبهه‌های سطحی دلیل عمده توفان گرد و غبار هستند (بگوم^۸ و همکاران، ۲۰۱۸).

ورود توده‌های گرد و غبار همراه با عناصر سمی و غیر سمی به منطقه میزبان، می‌تواند اثرات جدی بر جامعه انسانی و حتی گیاهی آن وارد کند. شناخت عناصر موجود و اندازه ذرات غبار معدنی که از بیابان‌ها نشأت می‌گیرد، در پیشگیری از عوارض ناشی از آن مؤثر است. عنصر غالب در ذرات غبار بیابانی، سیلیکا با ۵۹/۹ و اکسید آلومینیوم با ۱۴/۱۳ درصد است (گودی و میدلتون، ۱۳۹۱). بیابان شنی قره‌قوم با مساحتی حدود ۳۵۰ هزار کیلومتر مربع در کشور ترکمنستان در شرق دریای خزر قرار گرفته که ذرات غبار بیابانی آن با عناصر غالب آلومینیوم، آهن، کلسیت و ژیپس تحت تأثیر گردش چرخندی هوا در مرکز بیابان به سمت چین حرکت می‌کند (کروتز و شولکوویتز^۹، ۲۰۰۰). گرادیان فشار بین فرابار عربستان و فروبار دریای خزر منجر به تشدید بادهای سطحی شده و توده عظیم گردوغبار با

1 -Broomandi

2 -Yassin

3 -Jish Prakash

4 -Al-Yahyai and Charabi

5 -Özdemir, Korkmaz

6 -Desouza

7 -Hermida

8 -Beegum

9 -Kreutz and Sholkovitz

کربنات کلسیم و کوارتز از سمت عربستان و بیابان‌های مرکزی ایران وارد نیمه شمالی ایران و تهران شده است (دهقانی^۱ و همکاران، ۲۰۱۸).

کانی‌های عمده در ذرات گرد و غبار شهر اهواز و بندر ماهشهر کلسیت، کوارتز و فلدسپات و فلزات سنگین آن شامل کادمیوم، کرمیت، نیکل و سلنیوم است که غلظت آن‌ها در آذرمه به حداکثر می‌رسد (کریمیان و همکاران، ۱۳۹۵؛ غریب رضا و لک، ۱۳۹۴). اما در مسجدسلیمان ترکیب شیمیایی ریزگردهای بیابانی عمدتاً سیلیسیم و آلومینیوم و اندازه ذرات شامل ۱۰ درصد پی‌ام^۲ ۲/۵ و ۶۰ درصد پی‌ام ۱۰ است (برومندی و بختیارپور، ۱۳۹۵). فلزات سنگین موجود در توفان‌های گرد و غبار ایستگاه‌های سنندج، خرم‌آباد و اندیمشک مس است که بیش از آرسنیک و روی در گرد و غبار هر سه ایستگاه بود. عمده کانی‌های موجود در ذرات غبار بیابانی، کانی‌های سیلیکاته (کوارتز) و کربناته (کلسیت) بود (رجبی و صوری، ۱۳۹۴).

رسوب ذرات ریزگرد بر سطح برگ درختان در رویشگاه مله سیاه ایلام شامل سرب، کادمیوم و نیکل بود که سلامت درختان را تحت تأثیر قرار داد (نوری و همکاران، ۱۳۹۴). کانی غالب در ذرات ریزگرد استان کردستان عمدتاً کوارتز و کلسیت است و غلظت فلزات سنگین در آن بیش از حد مجاز بوده و بر سلامت انسان خطرناک است (بشیری خوزستانی و سوری، ۱۳۹۵). موسوی و پورخیز (۱۳۹۶) ذرات گرد و غبار شهرستان بیرجند را منشایی نموده و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنها را مورد بررسی قرار دادند.

استان خوزستان به دلیل شرایط ژئومورفولوژی و هم‌جواری با بیابان‌های عراق و عربستان در معرض توفان‌های گرد و غباری قرار دارد و سامانه‌های اتمسفری که منجر به این توفان‌ها در منطقه می‌شود شناسایی شده است؛ به طوری که در روزهای سرد، سیستم‌های مهاجر بادهای غربی با ایجاد فرود عمیق بر روی بیابان‌های کشورهای هم‌جوار و رودباد جبهه قطبی همراه آن در تراز میانی جو با ایجاد ناپایداری در سطح زمین منجر به خیزش گردوغبار و انتقال آن به استان خوزستان می‌شود. در روزهای گرم سال، باد شمال دلیل اصلی شکل‌گیری پدیده گردوغبار در استان خوزستان است (طاووسی و همکاران، ۱۳۸۹). همچنین تصاویر ماهواره‌ای نیز بیانگر انتقال گرد و غبار از بیابان‌های جنوبی عراق، شمال عربستان، جنوب شرقی سوریه و تا اندازه‌ای شمال صحرای آفریقا می‌باشد. در استان خوزستان، روزهای گرد و غباری در دوره گرم سال بیش از دوره سرد سال است و اوج آن در فصل بهار و ماه ژوئیه است که از لحاظ پراکنش مکانی نیز از غرب به شرق استان، تعداد روزهای گردوغباری کاهش می‌یابد. روند سالانه این پدیده نیز افزایشی بوده و هر ساله بر فراوانی آن افزوده می‌شود (طاووسی و همکاران، ۱۳۹۰). در پژوهش‌های انجام شده گرد و غبار در استان خوزستان، هدف پژوهشگران بیشتر به تحلیل آماری-همدیدی گرد و غبار معطوف شده است. پژوهشگران دیگری نظیر عزیزی و همکاران (۱۳۹۱)، قربانیان و کردوانی (۱۳۹۳)، ناصرپور و همکاران (۱۳۹۴)، درگاهیان و همکاران (۱۳۹۶)، حیدریان و همکاران (۱۳۹۶) نیز با بررسی منشأ و آنالیز پدیده گرد و غبار در غرب و جنوب غرب ایران پرداختند. مطالعات محدودی در ارتباط با سنجش فلزات سنگین و مواد سمی در خاک‌های اطراف

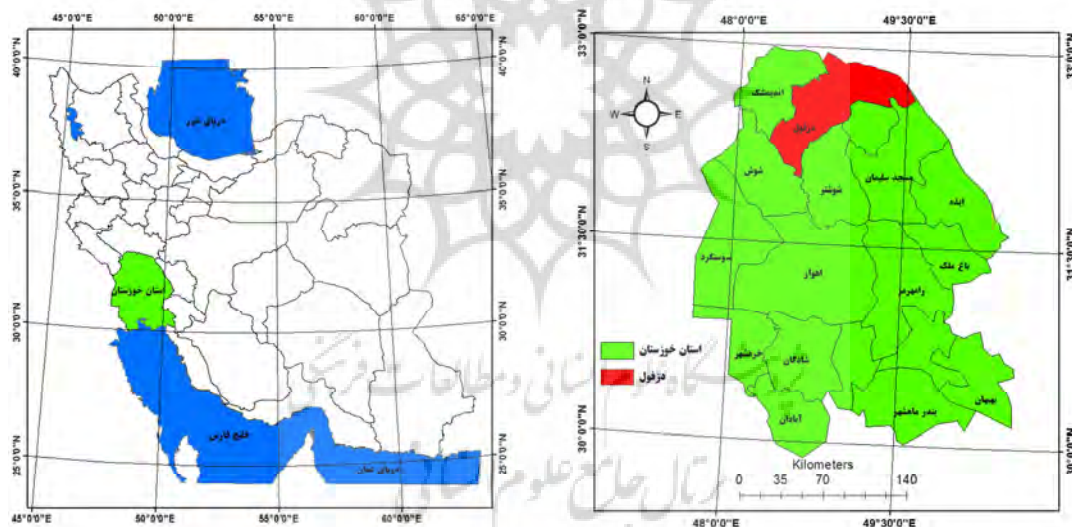
1 - Dehghani

2 - PM

مراکز صنعتی و پالایشگاه‌های نفت در نواحی جنوبی استان انجام شده است. اما ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ذرات غبار بیابانی در اتمسفر شمال استان ناشناخته مانده است که در این پژوهش به سنجش عناصر محلول و فلزات سنگین در توفان‌های گرد و غبار جوی در ایستگاه دزفول در ناحیه شمالی استان پرداخته شده است.

داده‌ها و روش‌ها

شهر دزفول با موقعیت جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی، ۳۲ درجه و ۲۲ دقیقه شمالی و ۱۴۳ متر ارتفاع از سطح دریا در استان خوزستان قرار دارد (شکل ۱) و مرز بین کوهستان و جلگه در شمال استان خوزستان از این منطقه آغاز می‌شود. شهر دزفول با میانگین دمای سالانه ۲۳ درجه سلسیوس و بارندگی ۵۹۰ میلی‌متر در سال و میزان رطوبت نسبی ۴۴/۵ درصد به‌عنوان پهنه اقلیمی معتدل در استان خوزستان به شمار می‌آید (موحدی و همکاران، ۱۳۹۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه. منبع: (نویسندگان)

در این پژوهش ابتدا کدهای هواشناسی مربوط به گرد و غبار (۰۶، ۰۷، ۰۸، ۰۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴، ۳۵ و ۹۸) در طول سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۳ استخراج و به‌صورت ماهانه، فصلی و سالانه بررسی شد. میانگین دید افقی در زمان وقوع گرد و غبار برای سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۳ به‌صورت نمودار نشان داده شد. در ادامه به‌منظور شناسایی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ذرات غبار بیابانی در جنوب غرب ایران، ذرات غبار از توفان‌های گرد و غباری که در ایستگاه دزفول (به‌عنوان نماینده‌ی منطقه‌ی دزفول) اتفاق افتاد، نمونه‌برداری و ویژگی‌های آن بررسی شد. در تاریخ ۲۴ ژوئن، ۲۱ و ۲۸ جولای ۲۰۱۸، توفان‌های گرد و غباری با غلظت بیش از ۱۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب (ug/m^3) در

شمال استان خوزستان اتفاق افتاد که معادل هشت برابر حد مجاز بود و دید افقی را به کمتر از ۵۰۰ متر کاهش داد. نمونه‌برداری ذرات غبار در این توفان‌ها با استفاده ۱۰ تله رسوب‌گیر در ارتفاع ۱۵ متری از سطح زمین بر پشت‌بام ساختمان در سه نقطه از شهر دزفول انجام شد. تله‌ها در اوایل ماه ژوئن ۲۰۱۸ نصب و پس از وقوع توفان گرد و غباری، ذرات غبار جمع شده در تله‌های هر ساختمان مخلوط و پس از تخلیه به آزمایشگاه دانشگاه ملایر انتقال داده شد؛ دوباره تله‌های تخلیه شده بر روی پشت‌بام نصب شد. این فرایند برای سه توفان گرد و غباری شدید در شهر دزفول تکرار و پس از هر توفان، ذرات غبار تخلیه و به آزمایشگاه انتقال داده شد. در آزمایشگاه، نمونه‌های غبار بیابانی جمع‌شده با تله‌های رسوب‌گیر در آون با دمای ۵۰ درجه سلسیوس خشک شده و مقدار واقعی آن به دست آمد. سپس برای شناسایی اندازه ذرات گرد و غبار، در ادامه، ۰/۵ گرم از ذرات غبار با ترازوی دقت یک‌صدم توزین و به مدت یک ساعت با ۵ میلی‌لیتر با هگزا متا فسفات سدیم ترکیب شد تا ذرات غبار از هم جدا شده و اندازه واقعی آن نمایان شود. الگوی پراکندگی اندازه و اکسیدهای ذرات غبار در هر بار نمونه‌برداری با دستگاه طیف‌سنج پراش پرتوایکس^۱ انجام شد. برای اندازه‌گیری عناصر موجود در ذرات غبار همچون سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم و فلزات سنگین سرب، روی، کادمیوم و منگنز، یک گرم از ذرات غبار به همراه اسید نیتریک و اسید کلریدریک (۱:۳) مخلوط و در لوله‌های هضم به مدت چهار ساعت در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس قرار گرفت. سپس محلول با کاغذ صافی واتمن ۴۲ میکرومتر صاف شده و با آب دی یونیزه شده به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانیده شد (سلگی و سلگی، ۱۳۹۴) و عصاره به‌دست‌آمده حاوی عناصر و فلزات سنگین بود که آنالیز آن با دستگاه HR-CS AAS ساخت شرکت analytikjena AG با استفاده از دستگاه جذب اتمی به روش شعله انجام شد. همچنین مقادیر فلزات سنگین در نمونه‌های گرد و غبار با شاخص^۲ I_{geo} ارزیابی شد که این شاخص بر طبق معادله ۱ آلودگی به فلزات سنگین را با توجه به نسبت غلظت هر فلز سنگین در نمونه موردبررسی به غلظت زمینه‌ای (زوان^۳ و همکاران، ۲۰۰۴) آن فلز در پوسته زمین محاسبه می‌کند:

$$I_{geo} = \text{Log}_2 (C_n / 1.5 \times B_n) \quad (1)$$

که در آن، C_n غلظت اندازه‌گیری شده فلز سنگین در نمونه و B_n غلظت زمینه‌ای همان فلز سنگین در پوسته زمین است. ضریب ۱/۵ نیز برای کمینه کردن تغییرات احتمالی در غلظت‌های زمینه‌ای ناشی از فعالیت‌های زمین‌شناسی اعمال می‌شود. این شاخص برای میانگین غلظت فلزات سنگین برای سه توفان گرد و غبار محاسبه و به‌صورت نمودار نشان داده شد.

به‌منظور شناسایی علت وقوع توفان‌های گرد و غباری در ژوئن و جولای ۲۰۱۸، شرایط اتمسفری منطقه بررسی شد و ذرات غبار از ۲۴ ساعت قبل از اینکه در ایستگاه دزفول توفان گرد و غبار گزارش شود با مدل‌های اسپلیت شناسایی شد. برای دستیابی به این رهیافت‌ها، داده‌های جوی تراز میانی جو (تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال) به همراه فشار سطح

1 - xrd- xmd-300 Unisantis Germany

2 - Geo-Accumulation Index

3 -Xuan

دریا از داده‌های روزانه تحلیل مجدد مرکز پیش‌بینی اروپا^۱ برای روزهای ۲۴ ژوئن، ۲۱ و ۲۸ جولای ۲۰۱۸ استخراج و نقشه‌های ترکیبی ارتفاع ژئوپتاسیل‌متر و جهت باد با برنامه‌نویسی در محیط گِردس ترسیم شد. برای محاسبه مسیرهای برگشت، ردیابی و شناسایی کانون ذرات گرد و غبار در روزهای مذکور از مدل‌های اسپلیت استفاده شد که مدلی دوگانه برای محاسبات خط سیر حرکت گردوخاک، پراکندگی و شبیه‌سازی ته‌نشینی آن با استفاده از رویکرد PUFF و ذرات است (دراکسلر^۲ و همکاران، ۲۰۱۴) مدل‌های اسپلیت در آزمایشگاه منابع هوا^۳ برای ردیابی و پیش‌بینی آلاینده‌های جوی، ردیابی ذرات و دوده‌های ناشی از آتش‌سوزی جنگل توسعه یافته است. روش محاسبه مدل ترکیبی از اولیری و لاگرانژی است که انتقال ذرات جوی از کانون گردوغبار (مبدأ) تا مکان نمونه‌گیری (مقصد) را ردیابی نموده و به‌صورت برگشت در زمان محاسبه می‌کند (دراکسلر و هس^۴، ۱۹۹۷). طیف وسیعی از محصولات آماده مربوط به اتمسفر، زمین و اقیانوس به همراه تصاویر خام به‌طور رایگان در دسترس عموم است^۵. یکی از محصولات اتمسفری سنجنده مودیس^۶ تصاویر عمق اپتیکی نور^۷ از زیرمجموعه محصولات آئروسول است و در پژوهش حاضر به دلیل پوشش غالب بیابانی منطقه از تصاویر عمق اپتیکی نور با الگوریتم دیپ بلو^۸ استفاده شد که برای استخراج عمق اپتیکی آئروسول از فراز مناطق بیابانی به دلیل بازتاب زیاد نور در طول موج‌های بلندتر طیف مرئی و فروسرخ مناسب است (بیلال^۹ و همکاران، ۲۰۱۶).

یافته‌های تحقیق

دید افقی در زمان وقوع گرد و غبار در سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۳ کاهش یافته است (شکل ۲)؛ به‌طوری‌که از ۴۱۰۲ متر در ده سال اول (۱۹۹۴-۲۰۰۳) به ۳۱۰۱ متر در ده سال دوم (۲۰۰۴-۲۰۱۳) رسید. تأثیر عواملی که منجر به خشکی سطح زمین و اتمسفر در آسیای غربی شده است را در کاهش دید افقی ایستگاه دزفول می‌توان مشاهده نمود. فراوانی وقوع گرد و غبار طی بازه زمانی مربوطه افزایش یافته و تناوب بین سال‌ها متفاوت بوده که الگوی زمانی مشخصی برای آن وجود ندارد و فرکانس کدهای مربوط به گرد و غبار از سالی به سال دیگر متغیر بود (شکل ۳، الف). در سال ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ بین ۴۳۵ تا ۴۵۰ بار کدهای دیده‌بانی مربوط به گرد و غبار گزارش شد که نسبت به دیگر سال‌های آماری، بیش‌ترین تکرار گرد و غبار را داشت، اما در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳ کمتر از ۱۵۰ بار این کد گزارش شد که ایستگاه دزفول در این سال‌ها کمترین وقوع گرد و غبار را تجربه کرد. وقوع توفان‌های گرد و غبار در ایستگاه دزفول موازی با مناطق خشک و بیابانی خاورمیانه رو به افزایش است. کاهش بارندگی و رطوبت سطحی

1 - ECMWF ERA-Interim

2 - Draxler

3 - ARL NOAA

4 - Draxler and Hess

5 - <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct>

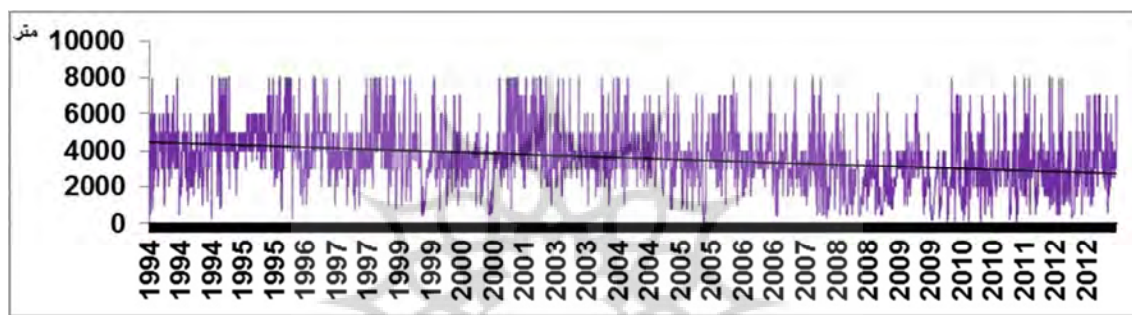
6 - MODIS

7 - AOD

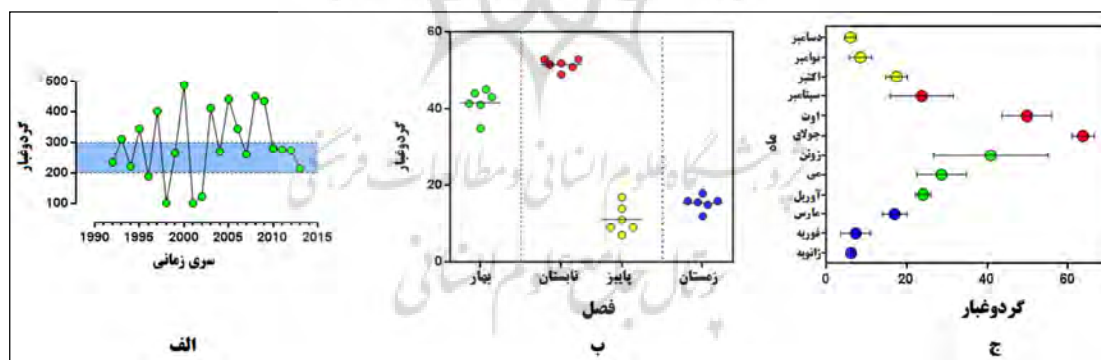
8 - Deep Blue

9 - Bilal

خاک به همراه خروج سامانه‌های بارشی از عرض‌های جغرافیایی جنب‌حاره در نیمه گرم سال و شرایط جوی مناسب همچون کم‌فشار حرارتی در دریای خلیج فارس برای تشدید بادهای سطحی در مناطق بیابانی خاورمیانه در نیمه گرم سال، زمانی مناسب برای وقوع توفان‌های گرد و غبار در جنوب غرب ایران است که شکل (۳، ب) بیانگر همین موضوع است و حداکثر وقوع گرد و غبار در فصول تابستان (۵۴ وقوع گرد و غبار) و بهار (۴۲ وقوع گرد و غبار) و نمودار ماهانه (شکل ۳، ج) بیانگر فراوانی پدیده گرد و غبار در ماه جولای، اوت و ژوئن است که با سرد شدن اتمسفر منطقه در پاییز و ورود بادهای غربی و موج‌های کوتاه و بلند مدیترانه و سامانه‌های بارشی نیمه سرد سال به منطقه موجب کاهش توفان‌های گرد و غباری از ماه سپتامبر تا اواخر فصل زمستان (فوریه) می‌شود.



شکل ۲: میزان دید افقی ایستگاه دزفول در زمان وقوع توفان گرد و غباری (۲۰۱۳-۱۹۹۴)

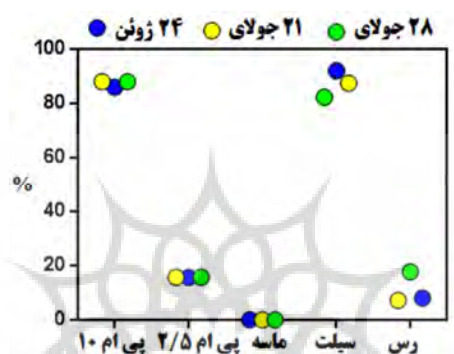


شکل ۳: الف) نمودار سالانه، ب) فصلی و ج) ماهانه کدهای روزانه هواشناسی مربوط به گرد و غبار در ایستگاه دزفول طی سال‌های ۲۰۱۳-۱۹۹۲. (باند آبی مشخص‌کننده محدوده میانگین متحرک است)

اندازه ذرات غبار و عناصر محلول در آن

نتایج حاصل از اندازه‌گیری بافت و اندازه ذرات غبار با استفاده از دستگاه پراش اشعه ایکس در طول سه بار نمونه‌برداری از توفان گرد و غبار در ۲۴ ژوئن، ۲۱ و ۲۸ جولای ۲۰۱۸ به صورت نمودار در شکل ۴ ارائه شد. میانگین اندازه ذرات در طول سه بار نمونه‌برداری نشان داد بیش از ۸۰ درصد از ذرات پی‌ام ۱۰ و کمتر از ۱۵ درصد جزء پی‌ام ۲/۵ بود. اکسیدهای اصلی غالب در نمونه‌های گرد و غبار سیلیس و سولفات سدیم بود. غالب ذرات اندازه‌ای بین ۲ تا

۲۰ میکرومتر داشته که به‌عنوان ذرات سیلت شناخته شد؛ اما درصد اندکی از ذرات اندازه‌های بزرگ‌تر از ۲۰ میکرومتر بود (ذرات شن یا ماسه) که دلیل اصلی آن طی مسیر طولانی ذرات از بیابان عراق بوده که ذرات درشت ماسه با کاهش سرعت باد در طول مسیر رسیدن به استان خوزستان رسوب کرده و ذرات ریز شامل سیلت و رس وارد اتمسفر شهرهای شمالی خوزستان شد. ذرات رس که قطری کمتری از ۲ میکرومتر دارد نیز کمتر از ۲۰ درصد ذرات غبار را تشکیل داد. با این شرایط ذرات غبار در توفان‌های گرد و غباری شهر دزفول دارای بافت سیلتی است.



شکل ۴: میانگین ذرات پی‌ام ۱۰ و ۲/۵ و اجزای ذرات و بافت رسوبات فرونشسته در سه توفان گرد و غباری شهر دزفول در سال ۲۰۱۸

میزان غلظت عناصر محلول و فلزات سنگین در نمونه‌های گرد و غبار در جدول ۱ ارائه شد که بر اساس آن، بیشترین ضریب تغییرات در کادمیوم، منگنز و روی مشاهده شد که تغییرات آن‌ها بیش از ۱۰ درصد بود. در بین عناصر محلول در ذرات غبار، کلسیم و در بین فلزات سنگین منگنز بیشترین غلظت را داشت و کمترین عنصر محلول، منیزیوم و کمترین فلز سنگین، کادمیوم بود. میانگین غلظت عناصر نشان داد که به ترتیب منگنز، روی، سرب، کلسیم، پتاسیم، سدیم، منیزیوم و کادمیوم بیشترین غلظت ذرات غبار در دزفول را تشکیل دادند.

جدول ۱: مقادیر عناصر محلول و فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های گرد و غبار ایستگاه دزفول

ایستگاه	عناصر محلول							فلزات سنگین		
	سدیم	پتاسیم	کلسیم	منیزیوم	روی	سرب	کادمیوم	منگنز		
۲۴ ژوئن ۲۰۱۸	۷/۲	۱۲/۴	۲۸/۸	۴/۴	۳۴۵	۳۱/۲	۱/۴۱	۵۱۲		
۲۱ جولای ۲۰۱۸	۶/۸	۱۱/۸	۲۶/۳	۴/۲	۲۶۷	۳۳	۱/۱۴	۴۲۲		
۲۸ جولای ۲۰۱۸	۶/۳	۱۳/۲	۳۲/۷	۳/۹	۳۲۱	۳۴/۶	۱/۶۸	۵۳۹		
میانگین	۶/۷	۱۲/۴	۲۹/۳	۴/۱	۳۱۱	۳۲/۹	۱/۴۱	۴۹۱		
ضریب تغییرات (%)	۵/۴	۴/۶	۹	۵	۱۰/۵	۴/۲	۱۵/۶	۱۰/۲		

نتایج حاصل از مقادیر کمی شاخص I_{geo} محاسبه‌شده برای فلزات سنگین روی، سرب و کادمیوم در طول نمونه-برداری از سه توفان گرد و غباری سال ۲۰۱۸ در جدول ۲ نشان داده شد که بر اساس آن، فلز کادمیوم با شاخص ۲/۲ دارای آلودگی متوسط تا شدید بود و همچنین فلز روی با شاخص ۱/۵ دارای آلودگی متوسط بود؛ اما میزان

شاخص فلز سرب کمتر از یک بود که میزان آلودگی آن قابل چشم‌پوشی است؛ بنابراین وجود فلزات سمی روی و کادمیوم با آلودگی متوسط و شدید در ذرات غبار نمونه‌برداری شده از توفان‌های گرد و غبار بیانگر آلودگی اتمسفر شهر دزفول در زمان وقوع توفان است.

جدول ۲: مقادیر شاخص I_{geo} برای فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در ایستگاه دزفول

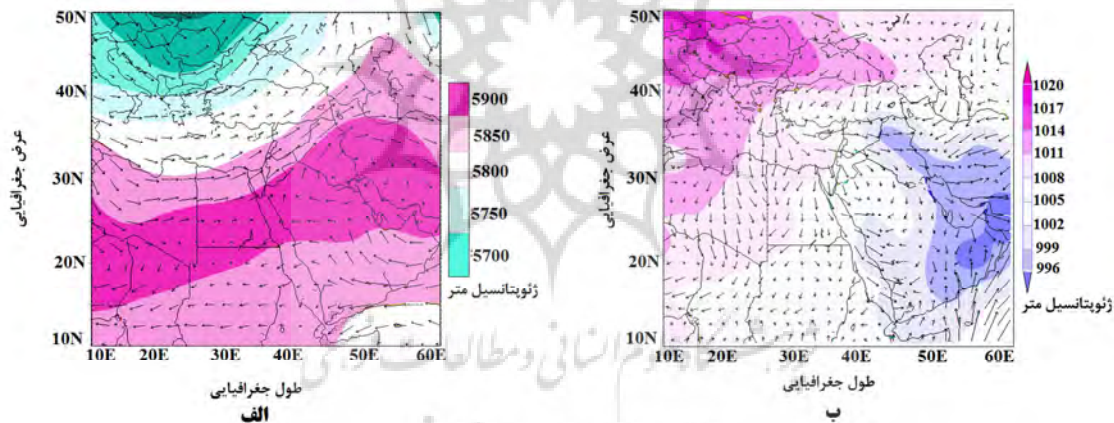
فلز سنگین	شاخص I_{geo}	آلودگی
روی	۱/۱	آلودگی متوسط
سرب	۰/۵	غیر آلوده تا آلودگی متوسط
کادمیوم	۲/۲	آلودگی متوسط تا شدید

توفان گرد و غباری ۲۴ ژوئن ۲۰۱۸

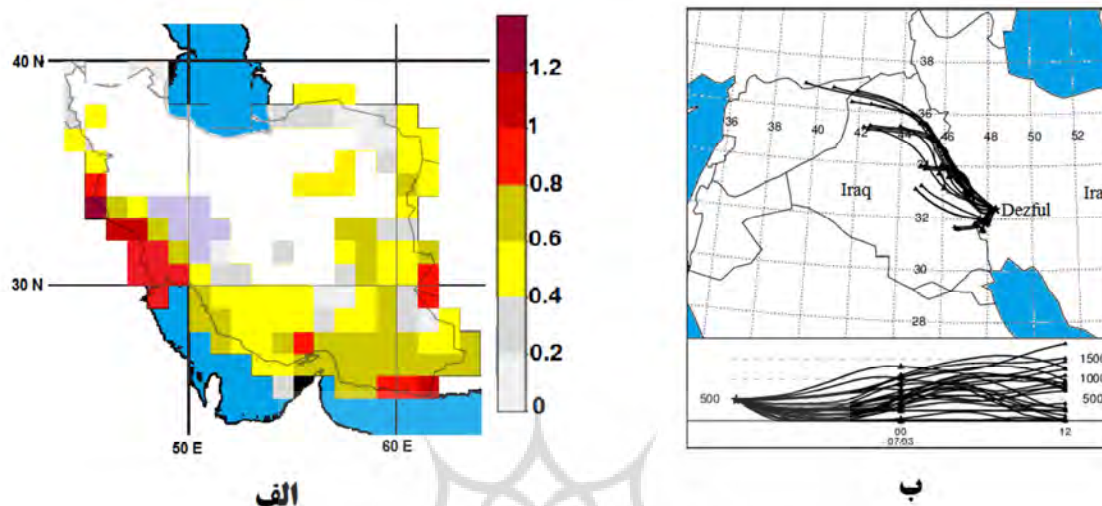
تقویت پرفشار آזור و گرمایش اتمسفر جنب حاره در تابستان باعث عقب‌نشینی بادهای غربی به سمت عرض‌های جغرافیایی بالاتر و افزایش فشار در شمال آفریقا و مدیترانه در عرض‌های ۱۵ تا ۳۰ درجه عرض جغرافیایی و تشکیل پشته با ارتفاع ۵۹۰۰ هکتوپاسکال در خاورمیانه و به‌ویژه ایران شد (شکل ۵، الف) که هوای سرد به‌صورت واچرخندی به ارتفاعات زیرین نزول کرد و به‌صورت افتاهنگ آدیاباتیکی دمای آن افزایش یافته و به‌صورت باد گرم و خشک جریان یافت. اما بالاتر از عرض جغرافیایی ۳۰ درجه، بادهای غربی منجر به تشکیل فرود بلند مدیترانه شد و در جلوی فرود، توده هوا به صورت همگرایی در تراز میانی جو منجر به ناپایداری سطوح زیرین آن شده و با عبور از بیابان‌های سوریه و عراق، به دلیل عدم رطوبت کافی برای صعود هوا تضعیف شده و به صورت بادهای خشک همراه با گرد و غبار به سمت شمال غربی ایران حرکت کرده است.

استقرار پرفشار آזור در تراز میانی و بالائی جو باعث پایداری هوای سطوح زیرین جو می‌شود. در این روز به دلیل پایداری هوا و افزایش درجه حرارت سطح زمین، کم‌فشار حرارتی با فشار کمتر از ۱۰۰۰ میلی‌بار در خلیج‌فارس تشکیل شد که شارش بادهای سطحی از سیستم پرفشار جنوب اروپا را جذب نمود و به‌عنوان بادهای شمال شناخته شد (شکل ۵، ب). ناپایداری هوای سطح زمین در ایران باعث مکش هوای بیابان‌های شبه‌جزیره عربستان شد. اگرچه فروبار حرارتی در سطح زمین تشکیل شد، اما به دلیل استقرار پرفشار دینامیکی آזור در تراز میانی و بالائی جو و عدم حضور موج کوتاه در تراز میانی جو، توده هوای سطحی ناپایداری تا ارتفاع معینی صعود کرده و مجدداً حالت پایدار گرفته است. به‌هرحال، گرادیان فشار بین فروبار حرارتی خلیج‌فارس و فرابار جنوب اروپا منجر به افزایش شدت باد شده و عبور بادهای شمال از سطح بیابان‌های سوریه و عراق باعث نشر و انتقال گرد و غبار در جنوب غرب ایران شد؛ بادهای خروجی از پرفشار اروپا با عبور از رسوبات آبرفتی دجله و فرات، ذرات خاک سطحی را رویداده و به سمت جنوب غرب ایران جریان یافت که ایستگاه‌های ایلام و دزفول در شمال استان خوزستان، اولین گیرنده غبار بیابانی بودند که از ساعت ۰۴:۰۰ بامداد تا ۱۳:۰۰ بعدازظهر پدیده غالب در ایستگاه دزفول بود و با غلظت ۱۱۰۰ میکروگرم بر مترمکعب منجر به کاهش دید افقی تا ۱۵۰ متر شد. شدت این توفان گرد و غباری را می‌توان با عمق اپتیکی نور بیان کرد که میزان آن به بیش از ۱/۲ رسید و بیانگر غلظت بالای آئروسول‌های جوی بوده و الگوریتم دیپ بلو که برای

مناطق خشکی طراحی شده به‌وضوح وجود ذرات غبار را بازگو می‌کند (شکل ۶، الف). مسیر برگشتی ذرات غبار حاصل از خروجی مدل های‌اسپلیت نشان داد مکان همگرایی مسیره‌های غبار در ارتفاعات ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ متر در مرز غربی ایران با عراق بود که بیان‌گر وجود مکان چشمه گرد و غبار در پشت این منطقه هم‌گرایی در بیابان‌های شرقی عراق است (شکل ۶، ب). نتایج مدل های‌اسپلیت به‌گونه‌ای است که برای مسیریابی ذرات هوا از ترکیب مدل لاگرانژی و اویلری استفاده می‌کند و باتوجه به مسیر حرکت باد در منطقه، ذرات معلق موجود در جو را ردیابی می‌کند. در جایی که مسیره‌های مدل بهم نزدیک شوند، بیانگر گرادیان شدید باد و همگرایی توده هوا است و اگر این همگرایی مسیره‌ها بر روی بیابان باشد، بیانگر برداشت ذرات غبار سطحی و تعلیق ذرات غبار در توده هوای جوی است. نتایج این پژوهش نیز نشان داد در روز ۲۴ ژوئن ۲۰۱۸، توده هوای ورودی به ایستگاه دزفول از سمت سوریه و عراق حرکت کرده و خطوط مسیر شبیه‌سازی مدل های‌اسپلیت در بیابان شرق عراق در مرز با جنوب غربی ایران بهم نزدیک شده و باعث ناپایداری هوای سطحی و وقوع توفان گرد و غبار در دزفول شده است.



شکل ۵: نقشه‌های جوی در روز ۲۴ ژوئن ۲۰۱۸ الف: نقشه ارتفاعی و جهت باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، ب: نقشه فشار سطح دریا و جهت باد

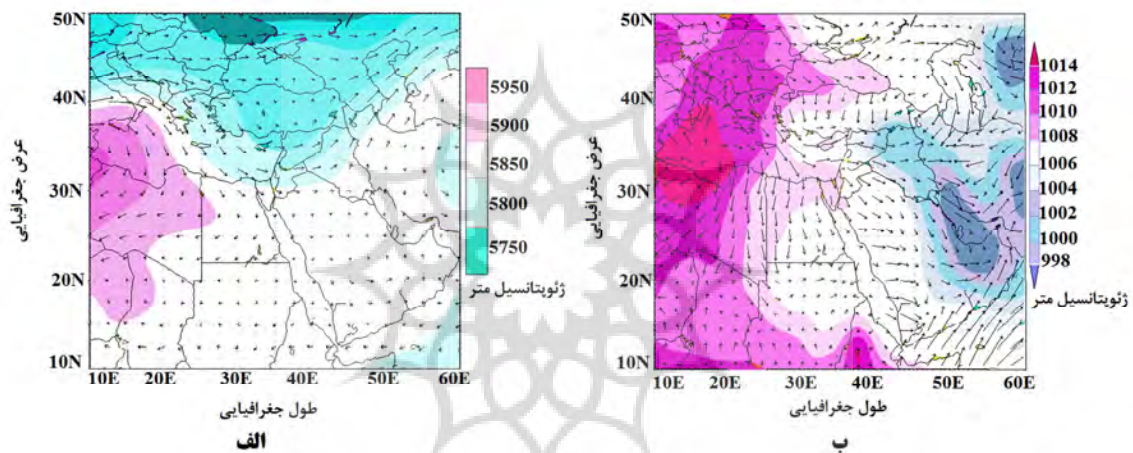


شکل ۶: الف: نقشه میزان عمق اپتیکی نور (AOD) و ب: خروجی مدل های اسپلیت در روز ۲۴ ژوئن ۲۰۱۸

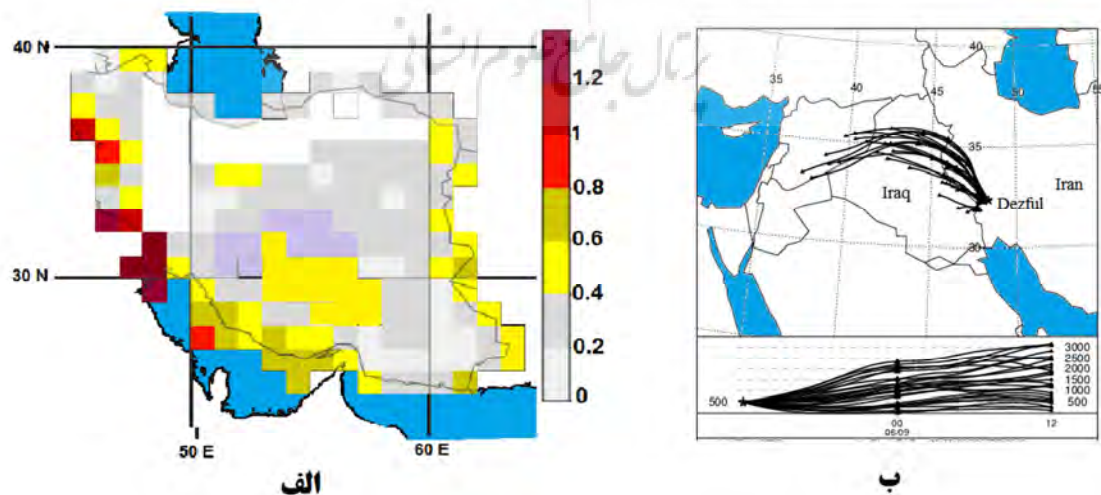
توفان گرد و غبار ۲۱ جولای ۲۰۱۸

در این روز از ماه جولای که اوج گرمایش اتمسفر منطقه خاورمیانه می باشد و گسترش سیستم پرفشار آזור منجر به خروج بادهای غربی از عرض های پائین جغرافیائی و کشیده شدن آن به عرض های بالای ۴۰ درجه شده است، عمق ناوه اروپای شرقی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال تا شمال صحرای سینا گسترش یافت و با حرکت چرخندی به سمت عرض های بالاتر حرکت کرد و سیستم پرفشار آזור نیز بر روی شمال آفریقا مستقر بود (شکل ۷، الف). در تراز زیرین جو، سیستم آنتی سیکلون دینامیکی قوی در شمال آفریقا تحت تأثیر پرفشار آזור تشکیل شد که زبانه های آن تا شرق اروپا و از سمت جنوب شرق تا عربستان گسترش یافت. اما در ایران، پایداری و سکون هوا منجر به گرمایش اتمسفر زیرین آن شد و تقویت کم فشار حرارتی با رطوبت دریای خلیج فارس باعث ناپایداری همرفتی اتمسفر منطقه شد. گرادیان فشار بین آنتی سیکلون شمال آفریقا و کم فشار خلیج فارس (شکل ۷، ب) منجر به وزش بادهای غربی در سطح خشکی بین آفریقا و ایران شد که عبور این بادهای بیابان های مرکز و جنوب عراق، باعث انتقال ذرات خاک خشک و گسسته سطحی این بیابان ها به توده هوا شده و به سمت ایران جریان یافت. بادهای شمال ناشی از گرادیان فشار بین پرفشار نیمه دائمی در عربستان و کم فشار خلیج فارس شناخته می شود، اما نتایج این پژوهش اختلاف فشار بین پرفشار شمال شرق آفریقا که زبانه آن تا شبه جزیره عربستان گسترش یافته و کم فشار خلیج فارس را که باعث وزش بادهای غربی سطح زمین در عراق و ایران می شود را نیز به عنوان بادهای شمال معرفی نمود. از طرف دیگر، وزش بادهای شرقی از ایران مرکزی به سمت غرب ایران، در برخورد با بادهای غربی باعث تشکیل جبهه سطحی و تغییر جهت وزش و تشدید بادهای در غرب ایران شد و با برداشت ذرات خاک محلی، غلظت توفان گرد و غباری در غرب ایران را افزایش داد. در این روز به دلیل وجود ذرات غبار بیابانی در اتمسفر جنوب غربی ایران و غلظت ۱۲۰۰ میکروگرم بر مترمکعب، دید افقی به ۴۰۰ متر کاهش یافت. شاخص عمق اپتیکی نور بیانگر تراکم بالای ذرات غبار در

اتمسفر استان خوزستان است که شاخص ۱/۲ وضعیت خطرناک و غلظت زیاد آئروسول‌ها را نشان می‌دهد (شکل ۸، الف). گرادیان شدید فشار در بیابان‌های عراق و سوریه باعث تشدید بادهای سطحی شده و عبور بادهای گرم و خشک از بیابان مرز بین ایران و عراق، باعث انتقال ذرات خاک به سمت جنوب غرب ایران شد که ردیابی ذرات غبار با مدل‌های اسپلیت و محاسبه مسیر برگشتی آن نشان داد مکان همگرایی مسیره‌های غبار در ارتفاعات ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ متر در خاک ایران بود که بیانگر وجود مکان چشمه گرد و غبار در پشت این منطقه هم‌گرایی در بیابان‌های مرزی با عراق است (شکل ۸، ب).



شکل ۷: نقشه‌های جوی در روز ۲۱ جولای ۲۰۱۸. الف: نقشه ارتفاعی و جهت باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، ب: نقشه فشار سطح دریا و جهت باد

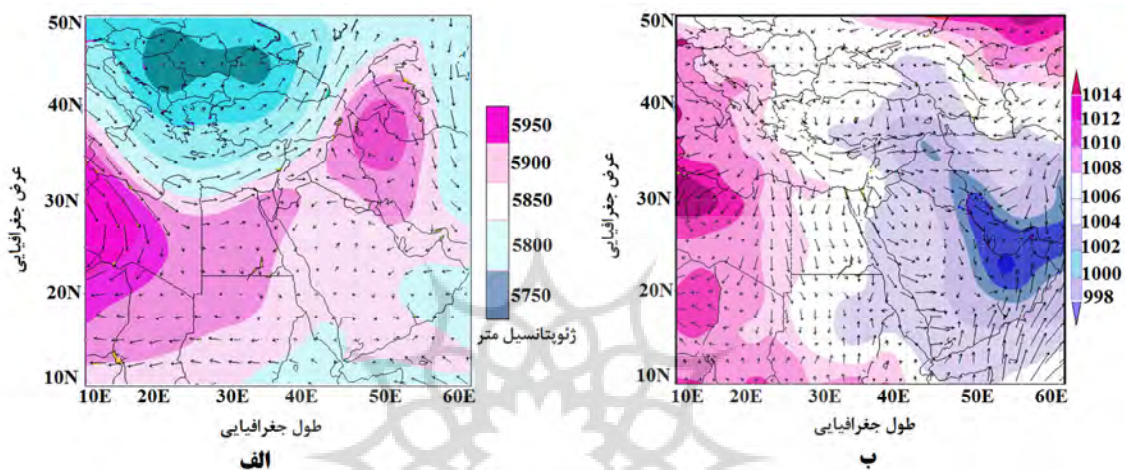


شکل ۸: الف: نقشه میزان عمق اپتیکی نور (AOD) و ب: خروجی مدل‌های اسپلیت در روز ۲۱ جولای ۲۰۱۸

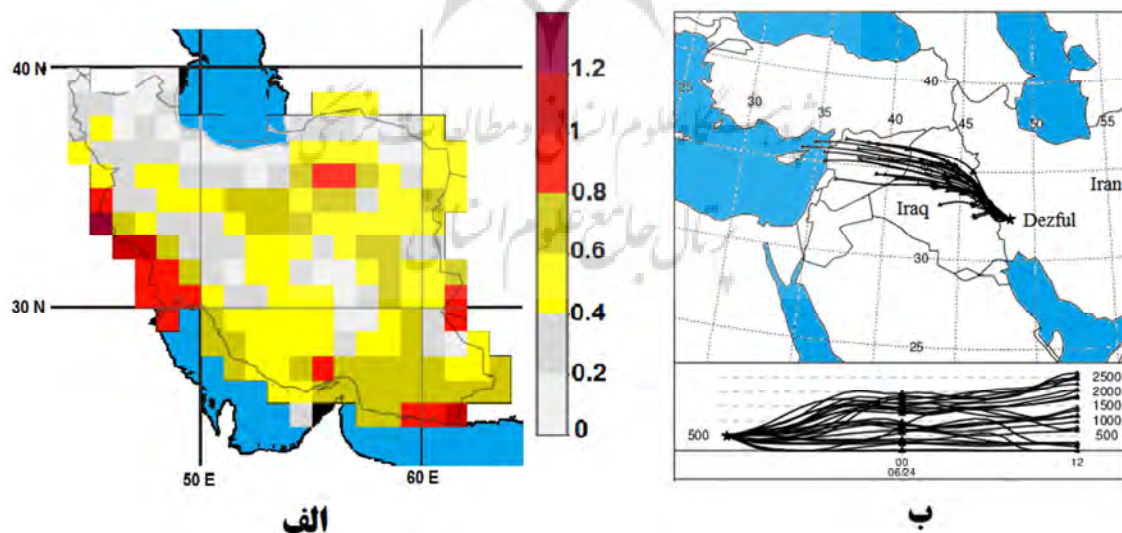
توفان گرد و غباری ۲۸ جولای ۲۰۱۸

در ماه جولای ۲۰۱۸ دو توفان گرد و غبار با غلظت بیش از ۱۲۰۰ میکروگرم بر مترمکعب در شمال استان خوزستان اتفاق افتاد که دید افقی را به کمتر از ۴۰۰ متر کاهش داد. هفت روز پس از وقوع توفان گرد و غباری ۲۱ جولای ۲۰۱۸، در روزهای آخر این ماه، پدیده نادر اتمسفری بلوکینگ به شکل سامانه بریده پرفشار در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر فراز ایران تشکیل شد که هسته مرکزی آن بیش از ۵۹۵۰ هکتوپاسکال بود و بیانگر گرمایش اتمسفر در این زمان از سال است (شکل ۹، الف). این پدیده که در ایالت متحده به عنوان حلقه آتش جریان شکن معروف است، در فصل تابستان اتفاق افتاده و روزهای متوالی استمرار می‌یابد که در کلاهک لبه‌های این سامانه، بعدازظهرها پدیده همرفت اتفاق می‌افتد که با توفان تندری همراه است؛ اما در این روز بر فراز خاورمیانه، این پدیده ارتباط خود را با پرفشار آזור حفظ کرده و سامانه بریده کم‌فشار در جنوب اروپا بین این دو بریده پرفشار قرار گرفت. در سطح زمین دو سیستم فشاری مختلف به صورت جبهه روبروی هم قرار گرفت که پرفشار آזור در تراز میانی جو باعث تشکیل آنتی سیکلون دینامیکی با شرایط پایدار در آفریقا شد؛ اما بریده پرفشار در ایران باعث ناپایداری حرارتی سطوح زیرین و سیستم کم‌فشار حرارتی قوی با هسته مرکزی کمتر از ۹۹۸ میلی‌بار در خلیج فارس شد که زبانه‌های آن آسیای غربی را پوشش داد (شکل ۹، ب). بادهای خرجی از آنتی سیکلون، بیابان‌های سوریه و عراق را درنوردیده و به سوی کم‌فشار خلیج فارس جریان یافت که گرمای بیابان‌ها به همراه ناپایداری اتمسفر منطقه به دلیل وجود فشار کم منطقه باعث انتقال عمودی گرد و غبار بیابان سوریه و عراق به درون اتمسفر شده و همراه با بادهای شدید به صورت توده عظیم گرد و غبار به سمت هسته کم‌فشار حرکت کرده و به صورت توفان گرد و غبار مناطق شمالی استان خوزستان را تحت تأثیر قرار داد. از طرف دیگر، نزول هوا از بریده پرفشار به ارتفاعات زیرین اتمسفر در ایران مرکزی باعث وزش بادهای شدید از مناطق خشک در دشت کویر و بیابان لوت به سمت غرب ایران شد که عبور آن از ماسه‌زارها باعث وقوع توفان گرد و خاک در غرب ایران شد؛ بنابراین دو توده‌هوای گرد و غباری از جهات مخالف، اتمسفر استان خوزستان را آلوده به ذرات غبار نمود که نتایج آن در میزان عمق اپتیکی نور در ایران مشهود. بیشترین غلظت و تراکم گرد و غبار در استان خوزستان، ایلام و دشت کویر در ایران مرکزی مشاهده شد که ایستگاه دزفول در شمال استان خوزستان غلظت بالایی از گرد و غبار را تجربه کرد (شکل ۱۰، الف). ردیابی و محاسبه مسیر برگشت ذرات غبار از ۲۴ قبل مؤید شرایط جوی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و سطح زمین است که دلیل اصلی توفان گرد و غباری در استان خوزستان را بریده پرفشار ایران در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و سیستم کم‌فشار حرارتی خلیج فارس معرفی کرد. از آنجاییکه مدل‌های اسپلینت از شبیه‌سازی لاگرانژی و اویلری بسته هوا برای مسیریابی ذرات غبار در اتمسفر استفاده می‌کند. در خروجی مدل‌های اسپلینت، خطوط بیانگر مسیر حرکت بسته هوا است و در شبیه‌سازی مسیر برگشت این مدل (Backward Trajectory)، زمانی که خطوط بهم نزدیک می‌شوند، بیانگر تشدید ناپایداری هوا و روبش ذرات غبار از سطوح بیابانی است. خروجی مدل‌های اسپلینت از شبیه‌سازی لاگرانژی و اویلری بسته هوا برای مسیریابی ذرات غبار نشان داد توده هوا از دریای مدیترانه، سوریه و عراق به سمت ایران جریان یافته و با همگرایی خطوط مسیر توده هوا در شرق عراق، ناپایداری شدیدی در سطوح زیرین اتمسفر عراق به وجود آمده و منجر به وزش باد شدید از سطح بیابانی جنوبی و دشت آبرفتی فرات شده و منجر به تشکیل توده عظیم گرد و غبار

شده و به سمت جنوب غربی ایران و شهر دزفول حرکت کرد و گرد و غبار در ارتفاع ۱۰۰۰ متری از سمت دشت کویر و در ارتفاعات پایین‌تر از سمت عراق وارد استان خوزستان شد (شکل ۱۰، ب).



شکل ۹: نقشه‌های جوی در روز ۲۸ جولای ۲۰۱۸ الف: نقشه ارتفاعی و جهت باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، ب: نقشه فشار سطح دریا و جهت باد.



شکل ۱۰: الف: نقشه میزان عمق اپتیکی نور (AOD) و ب: خروجی مدل‌های اسپلینت در روز ۲۸ جولای ۲۰۱۸

بیشترین فراوانی توفان‌های گرد و غبار در ایران، گرد و غبار معلق در هواست که دارای منشأ خارجی بوده (کد ۰۶) و از نقاط دور وارد ایستگاه می‌شود و بیشترین فراوانی آن در تیرماه (ژوئن) و کمترین آن در ماه‌های آذر و دی‌ماه است. ایستگاه دزفول با میانگین ۹۵ روز توفان گرد و غبار پس از ایستگاه‌های جنوب و جنوب شرقی ایران، در طبقه دوم از فراوانی گرد و غبار قرار دارد که به دلیل موقعیت جغرافیایی، ویژگی‌های طبیعی و نزدیکی با بیابان‌های کشورهای مجاور مانند عراق، سوریه و عربستان در معرض سامانه‌های گرد و غباری با منشأ خارجی (کد ۰۶) در نیمه گرم سال قرار دارد (زنگنه، ۱۳۹۳). پراکندگی بیابان‌ها و ماسه‌زارهای استان خوزستان از سمت شمال غربی، ادامه رسوبات آبرفتی نواحی بیابانی مرکز عراق است و بخش اعظم دشت آزادگان و مارون را شامل شده و نهایتاً به امیدیه و آغاچاری ختم می‌شود که نقش مهمی در تغلیظ توفان‌ها دارند (آرامی و همکاران، ۱۳۹۷). باد شمال به‌عنوان مهم‌ترین دلیل وقوع توفان گرد و غباری در آسیای غربی است (الجمیلی و ابراهیم^۱ و همکاران، ۲۰۱۳) که پرفشار شمال آفریقا و عربستان منجر به جریان بادهای سطحی شده و استقرار سیستم کم‌فشار حرارتی در خلیج فارس گرادیان فشار و دما را در عراق افزایش داده که این اختلاف فشار بین دو سیستم سطحی باعث وزش بادهای شدید در عربستان، عراق، سوریه و ایران می‌شود و باوجود خشک بودن سطوح بیابانی در سوریه و عراق، بادهای برداشت گرد و غبار از رسوبات آبرفتی بخش‌های مرکزی و جنوبی عراق، حجم عظیمی از گرد و غبار را به اتمسفر جنوب غربی ایران تزریق می‌کند (ابوبکر و شاناس^۲ و همکاران، ۲۰۱۸؛ طاووسی و همکاران، ۱۳۸۹) که نتایج این پژوهش نیز بیانگر وقوع توفان‌های گرد و غبار در ایستگاه دزفول تحت تأثیر بادهای شمال بود. ردیابی ذرات غبار با مدل‌های- اسپلیت بیانگر ورود توده گرد و غبار از بیابان‌های عربستان، آفریقا، اردن، سوریه، عراق و بیابان‌های داخلی از قبیل هورالعظیم به سمت اهواز است (گودرزی^۳ و همکاران، ۲۰۱۸). بیابان عراق و عربستان از منابع عمده گرد و غبار در دزفول است که بادهای شدید حاصل از ناپایداری هوا باعث انتقال ذرات غبار همراه با فلزات سنگین از رسوبات آبرفتی و مناطق بیابانی به دزفول می‌شود (نوروزی‌راد^۴ و همکاران، ۲۰۱۸). نتایج این پژوهش نشان داد ذرات غبار به‌واسطه بادهای شمال از بیابان مرکزی و جنوبی عراق به اتمسفر دزفول تزریق می‌شود که نتایج احمدی و داداشی- رودباری^۵ (۲۰۱۷) نیز بیانگر ورود توده عظیم گرد و غبار از بیابان جنوبی عراق و شمال شرقی عربستان به سمت استان خوزستان است. بافت سیلتی و رسی بیابان‌های مرکزی و جنوبی عراق (لابان^۶، ۲۰۱۶) تحت تأثیر بادهای شمال به‌صورت ذرات غبار معلق در جو شده و به شکل توده‌ای به سمت استان خوزستان حرکت می‌کند (آرکیان و نیکولسون^۷، ۲۰۱۸). ذرات سیلت که قطری کمتر از ۲۰ میکرومتر دارند، با بادهای با سرعت بیش از ۱۰ متر در ثانیه از سطح بیابان جدا شده و با طی مسیری ۴۰۰ کیلومتری به مرز ایران در خوزستان رسیده که با کاهش سرعت باد،

1 - Al-jumaily and Ibrahim

2 - Aboobacker and Shanas

3 - Goudarzi

4 - Norouzirad

5 - Ahmadi and DadashiRoudbari

6 - Labban

7 - Arkian and Nicholson

ذرات درشت در مناطق مرزی رسوب کرده، اما ذرات پی‌ام ۲/۵-۱۰ همچنان به صورت معلق وارد مناطق داخلی استان خوزستان شده که تپه‌های بادی در شمال غرب خوزستان نیز به غلظت ذرات غبار افزوده و هوای شهر دزفول را آلوده می‌کند. هسته توفان‌های گرد و غبار بین مناطق اهواز و دزفول است که در شرق استان از تعداد آن کاسته می‌شود که دلیل عمده آن دور شدن از منابع گرد و غباری است (یاراحمدی و خوش کیش، ۱۳۹۲). توزیع اندازه ذرات غبار شاخص مناسبی در ارزیابی منشأ این ذرات و فاصله انتقال آن تا ایستگاه گیرنده است (مک تانیش^۱ و همکاران، ۲۰۱۸). در این مطالعه بیش از ۸۰ درصد از قطر ذرات پی‌ام ۱۰ و عمدتاً شامل ذرات سیلت بود که بیانگر انتقال ذرات غبار از مسیرهای طولانی به ایستگاه دزفول است و ذرات شن یا ماسه در آن دیده نشد که دلیل اصلی آن پوشش گیاهی و کشت محصولات صیفی و زراعی در اطراف دزفول است که مانع برداشت ذرات شن از سطح زمین محلی می‌شوند؛ بنابراین اندازه ذرات کمتر از ۲۰ میکرومتر دلیلی بر فرامحلی بودن توفان‌های گرد و غبار در دزفول است که نتایج ردیابی مدل‌های اسپلیت و شرایط اتمسفری در زمان وقوع توفان نیز مؤید آن بود. مطالعات نشان داده‌اند که ذرات سیلت فراوان‌ترین کلاس اندازه ذرات در نمونه‌های گرد و غبار است (گودی^۲، ۲۰۱۸) (منندز^۳ و همکاران، ۲۰۰۷) (گیلد^۴ و همکاران، ۲۰۱۸). در آسیای مرکزی ذرات غبار از کانی کوارتز در اندازه سیلت هستند که از سواحل بیابانی دریاچه آرال نشأت می‌گیرند (لی و سوکولیک^۵، ۲۰۱۸). بادهای شدید با عبور از سطوح خشک مناطق مرکزی آریزونا، ذرات سطحی با اندازه کمتر از ۴۰ میکرومتر را روبیده و به صورت توفان گرد و غباری به سمت مناطق پرجمعیت جریان یافته که میانگین قطر ذرات ۱۱ میکرومتر بوده که اندازه آن‌ها در کلاس سیلت قرار گرفت (کیم^۶ و همکاران، ۲۰۱۷). در استان خوزستان و نزدیکی تالاب هورالعظیم نیز ذرات سیلت و کانی‌های کوارتز و کلسیت در آن غالب بود (بیت لفته و همکاران، ۱۳۹۴). الگوی توزیع اندازه ذرات ترسیب یافته در دزفول با خاک‌های محلی اطراف آن هماهنگی ندارد و جهت باد در زمان وقوع توفان گرد و غبار در ژوئن و جولای ۲۰۱۸ در دزفول بیانگر انتقال گرد و غبار از بیابان مرکزی و جنوبی عراق به دزفول است. شهر دزفول به دلیل قرارگیری در مسیر بادهای شمال غربی از عراق، دارای بیشترین غلظت گرد و غبار در روزهای توفانی است که این توده عظیم گرد و غبار دارای عناصر محلول و فلزات سنگین همچون سرب، روی، کادمیوم و منگنز است. میزان کادمیوم و روی در ذرات غبار بیش از حد استاندارد بوده و شاخص I_{geo} بیانگر آلودگی متوسط تا شدید این فلزات در توفان‌های گرد و غبار دزفول است. در ذرات گرد و غبار باریده بر شهر سنج، عنصر قلیایی غالب کلسیم است (بشیری خوزستانی و سوری، ۱۳۹۵) که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد؛ همچنین آن‌ها فلزات آهن و منیزیوم در ذرات غبار را اندازه‌گیری کرده و غلظت بالای آهن را نشان دادند. وجود فلزات کلسیم، پتاسیم، منیزیوم و سدیم در ذرات غبار دلیلی بر

1 -McTainsh

2 -Goudie

3 -Menéndez

4 -Gild

5 -Li and Sokolik

6 -Kim

بیابانی بودن آن است (وانگ^۱ و همکاران، ۲۰۱۰) که در این پژوهش نیز این فلزات از فراوانی بالایی برخوردار بودند. غلظت فلزات سنگین همچون سرب، روی و کادمیوم در گرد و غبارهای کنار جاده‌ای در کنیا (قاره آفریقا) بیش از استاندارد آن بود که دلیل عمده آن ذرات معلق ناشی از ترافیک و تردد خودروها بود (ماین^۲ و همکاران، ۲۰۱۸)؛ اما در پژوهش حاضر دو عنصر روی و کادمیوم بیش از حد استاندارد که ناشی از توفان گرد و غبار بود. در اصفهان غلظت فلزات سنگین کادمیوم، آرسنیک، نیکل، مس و کرم در ذرات غبار شهری بیش از حد استاندارد بود که ترافیک شهری و توفان‌های گرد و غبار دلیل عمده آن است (سلیمانی^۳ و همکاران، ۲۰۱۸). میزان سرب در توفان‌های گرد و غبار زاهدان حدود ۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (عبداللهی^۴ و همکاران، ۲۰۱۸) که حدود سه برابر غلظت این فلز در توفان گرد و غباری دزفول بود؛ اما در اهواز (کریمیان و همکاران، ۱۳۹۵) فلزات سنگین سرب، روی و کادمیوم تقریباً غلظت یکسانی با نتایج این پژوهش داشت.

نتیجه‌گیری

علاوه بر منابع احتراقی انتشار ذرات معلق، گرد و غبار بیابانی نیز یکی از عوامل آلودگی هوا در استان خوزستان است که وجود فلزات سنگین در آن می‌تواند بر سلامت اکوسیستم‌های محیطی آسیب برساند. فلزات سرب، روی، کادمیوم و منگنز در ذرات غبار ناشی از توفان‌های گرد و غباری در دزفول ناشی از رسوبات سیلنتی در آبرفت‌های دجله و فرات، می‌تواند بر جامعه زیستی مناطق شمالی استان خوزستان تأثیر بگذارد. میزان این فلزات بیش از استاندارد بوده که بر اساس شاخص‌های ارزیابی آلودگی، شرایط آلودگی متوسط تا شدید را نشان داد. عناصر قلیایی محلول در غبار همچون سدیم، کلسیم، پتاسیم و منیزیم دلیلی بر بیابانی بودن ذرات غبار ایستگاه دزفول است که در توفان‌های گرد و غبار ژوئن و جولای ۲۰۱۸ اندازه‌گیری شد. اندازه ذرات در سه توفان گرد و غباری در دزفول کمتر از ۲۰ میکرومتر بود که ۸۰ درصد آن به‌عنوان ذرات پی‌ام ۱۰ شناخته شد و حاوی غلظت بالای فلزات سنگین بود و این ذرات ریز می‌تواند به‌صورت مستقیم وارد سیستم تنفسی انسان شده و موجب تشدید بیماری‌های ریوی شود؛ بنابراین نتایج حاصل از شناخت غلظت و وجود فلزات سنگین در توفان‌های گرد و غباری می‌تواند برای پیش‌گیری از عوارض آن در اختیار متخصصین بهداشت محیط قرار بگیرد. محاسبه مسیر بازگشت بسته‌هوا با مدل‌های اسپلینت مسیر ورود غبار و چشمه توفان را مناسب ارزیابی نمود و رسوبات آبرفتی در عراق کانون عمده گرد و غبار ایستگاه دزفول بود که بادهای شمال با عبور از سطح آن ذرات سیلت را جدا نموده و به‌صورت توده عظیم گرد و غبار در ضخامت ۳۰۰۰ متر به اتمسفر شهر دزفول تزریق نمود و عمق اپتیکی نور، حجم بالای گرد و غبار در استان خوزستان را نشان داد. الگوهای غبار نشان داد رسوبات آبرفتی دجله و فرات پتانسیل بالایی برای فرسایش در زمان وزش بادهای شمال دارند

1 - Wang

2 - Maina

3 - Soleimani

4 - Abdollahi

و ذرات سیلت با خیزش از سطح آن به صورت توفان گرد و غباری در شمال استان خوزستان نمایان می‌شود. شناخت چشمه ذرات بیابانی، در برنامه‌ریزی محیطی مناسب علیه بیابان‌زایی کمک فراوانی می‌کند.

تقدیر و تشکر

از مدیر محترم گروه رشته‌های منابع طبیعی و خاک-شناسی و مسئول آزمایشگاه خاک-شناسی دانشگاه ملایر که در آزمایش-ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ذرات گرد و غبار با اینجانبان همکاری نمودند تقدیر و تشکر می‌نماییم.

منابع

- آرامی سیدعبدالحسین؛ اونق مجید؛ محمدیان بهبهانی علی؛ اکبری مهری؛ زراسوندی علیرضا (۱۳۹۷). تحلیل مخاطره گرد و غبار در جنوب غرب ایران در دوره ۲۲ ساله (۲۰۱۷-۱۹۹۶)، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال پنجم، شماره ۱، صص ۳۹-۶۶.
- برومندی پریا؛ بختیارپور اسماء (۱۳۹۵). منشایابی ذرات گرد و غبار با بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها و مدل‌سازی عددی در شهرستان مسجدسلیمان، مجله سلامت و محیط‌زیست، دوره ۹، شماره ۴، صص ۵۱۷-۵۲۶.
- بشیری خوزستانی رضا؛ سوری بابک (۱۳۹۵). بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی ذرات معلق بزرگتر از ۱۰ میکرومتر در استان کردستان، غرب ایران، مجله علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره ۱۸، شماره ۳، صص ۷۹-۷۰.
- بیت لفته رضا؛ لندی احمد؛ حجتی سعید؛ صیاد غلامعباس (۱۳۹۴). نرخ ترسیب، کانی شناسی و الگوی توزیع اندازه ذرات گرد و غبار در اطراف تالاب هورالعظیم در استان خوزستان، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۹، شماره ۳، صص ۷۰۷-۶۹۵.
- حیدریان پیمان؛ ازدری علی؛ جودکی محمد؛ درویشی خاتونی جواد؛ شهبازی رضا (۱۳۹۶). شناسایی منشأهای داخلی توفان‌های گرد و غبار با استفاده از سنجش از دور، GIS و زمین‌شناسی (مطالعه موردی: استان خوزستان)، فصلنامه علمی-پژوهشی علوم زمین، دوره ۲۷، شماره ۱۰۵، صص ۳۳-۴۶.
- درگاهیان فاطمه؛ لطفی نسب اصل سکینه؛ خسروشاهی محمد؛ گوهردوست آزاده (۱۳۹۶). تعیین سهم منابع داخلی و خارجی گرد و غبار در خوزستان، طبیعت ایران، جلد ۲، شماره ۵، صص ۳۶-۴۱.
- رجبی، مهدی؛ سوری بابک (۱۳۹۴). ارزیابی مقادیر فلزات سنگین در ذرات گرد و غبار باریده بر شهرهای سنجند، خرم‌آباد و اندیمشک در غرب ایران ۱۳۹۲-۱۳۹۱، مجله سلامت و محیط، دوره ۸، شماره ۱، صص ۲۲-۱۱.
- زنگنه معصومه (۱۳۹۳). آب و هواشناسی توفان‌های گرد و غبار در ایران، دو فصلنامه آب و هواشناسی کاربردی، دوره ۱، شماره ۱، صص ۱۲-۱.
- طاووسی، تقی؛ خسروی، محمود؛ رئیس‌پور، کوهزاد (۱۳۸۹). تحلیل هم‌دیدگی سامانه‌های گرد و غباری در استان خوزستان، نشریه جغرافیا و توسعه، شماره ۲۰، صص ۹۷-۱۱۸.
- طاووسی، تقی؛ خسروی، محمود؛ رئیس‌پور، کوهزاد (۱۳۹۰). تحلیل آماری پدیده گرد و غباری در استان خوزستان طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۶، مجله علمی و فنی نیوار، شماره‌های ۷۴ و ۷۵، صص ۲۶-۱۷.
- عزیزی قاسم؛ میری مرتضی؛ نبوی سید امید (۱۳۹۱). ردیابی پدیده گرد و غبار در نیمه غربی ایران، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، شماره ۲، صص ۶۳-۸۱.
- غریب‌رضا محمدرضا؛ لک راضیه (۱۳۹۴). برخواستگاه و ژئوشیمی ریزگردهای استان خوزستان (مطالعه موردی: طوفان ریزگرد بهمن ۱۳۹۳)، سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، تهران، ایران.

- قربانیان جبرائیل؛ کردوانی پرویز (۱۳۹۳). آنالیز بافت ریزگردهای شهر اهواز به روش پرتوایکس و رابطه تشدید این طوفان‌ها با تخریب تالاب هورالعظیم، نشریه علمی اکو بیولوژی تالاب، جلد ۶ شماره ۲ صص ۹۳-۱۰۲.
- کریمیان بهناز؛ لندی احمد؛ حجتی سعید؛ احدیان جواد (۱۳۹۵). بررسی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و کانی شناسی گرد و غبار شهر اهواز، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۷، شماره ۱، صص ۱۷۳-۱۵۹.
- گودی آس؛ میدلتون ان جی (۱۳۹۱). ریزگرد بیابانی در سیستم جهانی، (ترجمه: آذرنیوند حمید؛ غلامی حسن؛ خسروی حسین)، تهران: انتشارات دانشگاه تهران (۲۰۰۶).
- موحدی سعید؛ حیدری ناصرآباد بهروز؛ هاشمی عنا سیدکرامت؛ رنجبر فیروز (۱۳۹۱). پهنه‌بندی نواحی اقلیمی استان خوزستان، فصلنامه فضای جغرافیایی، دوره ۱۲، شماره ۴۰، صص ۷۳-۶۴.
- موسوی حوریه سادات؛ پورخباز علیرضا (۱۳۹۶). منشأی ذرات گرد و غبار با بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنها در شهرستان بیرجند، فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی محیط زیست، سال یازدهم، شماره ۸۳، صص ۹-۱.
- ناصرپور سمیه؛ علیجانی بهلول؛ ضیائی پرویز (۱۳۹۴). منشأی توفان‌های گرد و غبار در جنوب غرب ایران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های هوا، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۷، شماره ۱، صص ۲۶-۲.
- نوری الهام؛ متینی‌زاده محمد؛ مشکی علیرضا؛ انصافی‌مقدم طاهره؛ رحیمی محمد (۱۳۹۴). ارزیابی برخی فلزات سنگین در ریزگردها و روند جذب آن‌ها توسط پرودار (مطالعه موردی: رویشگاه مله‌سیاه ایلام)، فصلنامه تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، دوره ۲۳، شماره ۴، صص ۶۱۶-۶۰۵.
- یاراحمدی داریوش؛ خوش کیش اسداله (۱۳۹۲). پهنه‌بندی پدیده گرد و غبار در نیمه غربی ایران در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۹، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره ۱۳، شماره ۳۱، صص ۲۱۱-۲۲۵.
- Abdollahi, S., Madadi, M., Ali-Askari, K.O., Singh, V.P., (2018). Lead Concentration in Dust Fall in Zahedan, Sistan and Baluchistan Province, Iran. *Journal of Geography and Cartography*, 1(2):1-6. DOI:10.24294/jgc.v1i2.601.
- Aboobacker, V., Shanas, P., (2018). The climatology of shamals in the Arabian Sea—Part 1: Surface winds. *International Journal of Climatology*, 38(12): Pp. 4405-4416.
- Ahmadi, M., DadashiRoudbari, A., (2017). Regional modeling of dust storm of February 8, 2015, in the southwest of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(21): 459.
- Al-Jumaily, K. J. Ibrahim, M.K., (2013). Analysis of synoptic situation for dust storms in Iraq. *Int. J. Energ. Environ*, 4(5): 851-858.
- Al-Yahyai, S. Charabi, Y., (2014). Trajectory calculation as a forecasting support tool for dust storms. *Advances in Meteorology*, 2014, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/698359>.
- Arkian, F. Nicholson, S., (2018). Long-term variations of Aerosol optical depth and Aerosol radiative forcing over Iran based on satellite and AERONET data. *Environmental monitoring and assessment* 190(1): 1, DOI: 10.1007/s10661-017-6336-1.
- Beegum, S. N., Gherboudj, I., Chaouch, N., Temimi, M., Hosni Ghedira, H., (2018). Simulation and analysis of synoptic-scale dust storms over the Arabian Peninsula. *Atmospheric Research*, 199: 62-81.
- Bilal, M., Janet E. Nichol, J.E., Nazeer, M., (2016). Validation of Aqua-MODIS C051 and C006 operational aerosol products using AERONET measurements over Pakistan. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(5): 2074-2080.
- Broomandi, P., Dabir, B., Bonakdarpour, B., Rashidi, Y., (2017). Identification of the sources of dust storms in the City of Ahvaz by HYSPLIT. *Pollution*, 3(2): 341-348.
- Cao, H., Amiraslanid, F., Liub, J., Zhouec, N., (2015). Identification of dust storm source areas in West Asia using multiple environmental datasets. *Science of the Total Environment*, 502: 224-235.
- Dehghani, S., Moore, F., Vasiluk, L., A.Hale, B.A., (2018). The geochemical fingerprinting of geogenic particles in road deposited dust from Tehran metropolis, Iran: Implications for provenance tracking. *Journal of Geochemical Exploration*, 190: 411-423.
- Desouza, N. D., Simon, B., Qureshi, M.S., (2011). Evolutionary characteristics of a dust storm over Oman on 2 February 2008. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 114(3-4): 107.
- Dimitriou, K., Kassomenos, P., (2018). Day by day evolution of a vigorous two-wave Saharan dust storm - Thermal and air quality impacts. *Atmósfera*, 31(2): 105-124.

- Drack, J.M.E., Vázquez, D.P., (2018). Morphological response of a cactus to cement dust pollution. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148: 571-577.
- Draxler, R., Stunder, B., Rolph, G., Stein, A., Taylor, A., (2014). HYSPLIT4 User's Guide Version 4.9, 254p.
- Draxler, R.R., Hess, G., (1997). Description of the HYSPLIT4 modeling system, 27p.
- Gild, C., Geitner, C., Sanders, D., (2018). Discovery of a landscape-wide drape of late-glacial aeolian silt in the western Northern Calcareous Alps (Austria): First results and implications. *Geomorphology*, 301: 39-52.
- Goudarzi, G., (2018). Ambient particulate matter concentration levels of Ahvaz, Iran in 2017. *Environmental Geochemistry and health: 1-9*. DOI:10.1007/s10653-018-0182-0.
- Goudie, A., (2018). Dust storms and ephemeral lakes. *Desert*, 23(1): 153-164.
- Hermida, L., A.Merino, A., Sánchez, J.L., Fernández-González, S., García-Ortega, E., López, L., (2018). Characterization of synoptic patterns causing dust outbreaks that affect the Arabian Peninsula. *Atmospheric Research*, 199: 29-39.
- Hickey, B. Goudie, A., (2007). The use of TOMS and MODIS to identify dust storm source areas: the Tokar delta (Sudan) and the Seistan basin (southwest Asia). *Geomorphological variations*, Pp. 37-57.
- Jish Prakash, P., Stenchikov, G., Kalenderski, S., Osipov, S., Bangalath, H., (2015). The impact of dust storms on the Arabian Peninsula and the Red Sea. *Atmospheric Chemistry and Physics, Atmos. Chem. Phys*, 15: 199-222.
- Khan, R. K. Strand, M. A., (2018). Road dust and its effect on human health: a literature review. DOI: 10.4178/epih.e2018013
- Kim, D., Chin, M., Kemp, E.M., Tao, Z., Peters-Lidard, C.D., Ginoux, P., (2017). Development of high-resolution dynamic dust source function-A case study with a strong dust storm in a regional model. *Atmospheric Environment*, 159: 11-25. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.03.045>
- Kreutz, K.J., Sholkovitz, E.R., (2000). Major element, rare earth element, and sulfur isotopic composition of a high elevation firn core: Sources and transport of mineral dust in central Asia." *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 1(11). <https://doi.org/10.1029/2000GC000082>.
- Labban, A., (2016). Dust storms over Saudi Arabia: temporal and spatial characteristics, climatology, and synoptic case studies. A thesis submitted in fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, RMIT University.
- Li, L., Sokolik, I.N., (2018). The Dust Direct Radiative Impact and Its Sensitivity to the Land Surface State and Key Minerals in the WRFChemDuMo Model: A Case Study of Dust Storms in Central Asia. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(9): 4564-4582.
- Maina, E.G., Gachanja, AN., Gatari, MJ., Price, H., (2018). Demonstrating PM 2.5 and road-side dust pollution by heavy metals along Thika superhighway in Kenya, sub-Saharan Africa. *Environmental monitoring and assessment*, 190(4): 251. DOI:10.1007/s10661-018-6629-z
- Mashat, A., Awad, A., (2010). Classification of the dusty areas over the Middle-East." *Bull Fac Sci Cairo Univ*, 78(A): 1-19.
- McTainsh, G.H., Nickling, W.G., Lynch, A.W., (1997). Dust deposition and particle size in Mali, West Africa. *CATENA* 29(3-4): 307-322.
- Menéndez, I., Díaz-Hernández, J.L., Mangas, J., Alonso, I., Sánchez-Soto, P.J., (2007). Airborne dust accumulation and soil development in the North-East sector of Gran Canaria (Canary Islands, Spain). *Journal of Arid Environments*, 71(1): Pp. 57-81. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2007.03.011>.
- Modarres, R., Sadeghi, S., (2018). Spatial and temporal trends of dust storms across desert regions of Iran. *Natural Hazards*, 90(1): Pp. 101-114.
- Norouzirad, R., González-Montaña, JR., Martínez-Pastor, F., Hosseini, H., Shahrouzian, A., Khabazkhoob, M., Ali Malayeri, F., Moallem Bandani, H., Paknejad, M., Foroughi-Nia, B., Fooladi Moghaddam, A., (2018). Lead and cadmium levels in raw bovine milk and dietary risk assessment in areas near petroleum extraction industries. *Science of the Total Environment*, 635: 308-314.
- Özdemir, E.T., Fatih M. Korkmaz, F.M., Veli Yavuz, V., (2018). Synoptic analysis of dust storm over the Arabian Peninsula: a case study on February 28, 2009. *Natural Hazards*, 92(2): 805-827.
- Soleimani, M., Amini, N., Sadeghian, B., Wang, D., Fang, L., (2018). Heavy metals and their source identification in particulate matter (PM_{2.5}) in Isfahan City, Iran. *Journal of Environmental Sciences*. 72: 166-175. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.01.002>
- Wagener, T., Guieu, C. Losno, R. Bonnet, S., Mahowald, N., (2008), Revisiting atmospheric dust export to the Southern Hemisphere ocean: Biogeochemical implications, *Global Biogeochem. Cycles*, 22, GB2006, DOI:10.1029/2007GB002984.

Wang, X., Huang, N., Dong, Z., Zhang, C., (2010). Mineral and trace element analysis in dustfall collected in the Hexi Corridor and its significance as an indicator of environmental changes. *Environmental Earth Sciences*, 1: Pp. 1-10.

Wang, Y., Stein, A.F., Draxler, R.R., de la Rosa, J.D., Zhang, X., (2011). Global sand and dust storms in 2008: Observation and HYSPLIT model verification. *Atmospheric Environment*, 45(35): 6368-6381. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.08.035>

Xuan, J., Sokolik, I.N., Hao, J., Guo, F., Mao, H., Yang, G., (2004). Identification and characterization of sources of atmospheric mineral dust in East Asia. *Atmospheric Environment*, 38(36): 6239-6252. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.06.042>

Yassin, M. F., Almutairi, S.K., Al-Hemoud, A., (2018). Dust storms backward Trajectories' and source identification over Kuwait. *Atmospheric Research*. 212: 158-171. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.05.020>

Zoljoodi, M., Didevarasl, A., Saadatabadi, A., (2013). Dust Events in the Western Parts of Iran and the Relationship with Drought Expansion over the Dust-Source Areas in Iraq and Syria, *Atmospheric and Climate Sciences*, 3(3): Pp. 321-336. DOI: 10.4236/acs.2013.33034.



Research Article

Detection of dust canons and Physico-chemical analysis of its particles in Dezful area

Bromand Salahi^{*1}, Mahmoud Behrouzi²

Received: 10-07-2019

Revised: 22-10-2019

Accepted: 05-11-2019

Abstract

To identify the physicochemical and atmospheric conditions of a dust storm at the Dezful station (As Dezful Regional Representative), at first the frequency of the dust storm phenomena was investigated at the Dezful station in Twenty years (1994 -2013). During three events on June 24, July 21, and July 28, 2018, dust samples were collected with sediment traps and physical condition was performed with X-ray diffraction device and chemical analysis of the elements and heavy metals detected by flame atomic absorption and dust particles were evaluated with the Igeo index. Also, the atmospheric circulation in the middle level of the atmosphere and sea level surface that led to a dust storm was identified by using ECMWF ERA-Interim meteorological data. The distribution of dust particles was detected with aerosol optic depth (AOD), and the pathway of dust particles was examined by the HYSPLIT model. The results represented that frequency of dust storm is an increasing trend which has led to a decrease in horizontal visibility in Dezful. The maximum of dust storm phenomena is in summer time and July; The minimum in the autumn time and January. The mean distribution of dust particles in Dezful showed that PM10 was dominant in the size of the silicate tissue. The elements of dominant were Mn, Zn, Pb, and Cd was 491, 311, 32.9, and 1.41 mg/kg respectively, which indicates moderate to severe contamination compared to the standard level. Among the soluble elements, Ca, K, Na, and Mg had the highest concentrations; the presence of these elements is evidence of their desert dust particles. Tracing and calculation of their backward pathway showed that the alluvial deposits of the Tigris and Euphrates in Iraq were its main focus.

Keywords: Desert dust, Atomic absorption, X-ray diffraction, Shamal wind, Dezful.

^{1*}- Professor of Climatology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

²- PhD in Climatology, Research Institute for Grapes and Raisin, Malayer University, Malayer, Iran

References

References (in Persian)

- Arami, S.A.H., Onagh, M., Mohammadian Behbahani, A., Akbari, M., Zarasvandi, A.R., (2018). The analysis of dust hazard studies in the southwest region of Iran in 22 years (1996-2017), *Spatial Analysis of Environmental hazard*, 5 (1): Pp. 66-39. [In Persian]
- Azizi, Q., Miri, M., Nabavi S.M., (2012). Detection of Dust Phenomena in West of Iran, *Geographical Studies of Dry Areas*, 2: 63-81. [In Persian]
- Bashiri Khouzeestani, R., Souri, B., (2016). Physicochemical properties of suspended particles larger than 10 µm in Kurdistan province, west of Iran. *Journal of Environmental Science and Technology*, 18 (3): 79-70. [In Persian]
- Bit Lute, R., Landi, A., Hojati, S., Sayyad, Gh., (2015). Deposition Rate, Mineralogy, and Size Distribution Pattern of Dust Particles Collected Around the Hooralazim Marshland, Khuzestan Province. *Journal of Water and Soil*, 29(3): 695-707. [In Persian]
- Broomandi, P., Bakhtiar Pour, A., (2017). Dust source identification using physical-chemical characterization and numerical modeling in Masjed Soleyman. *Iranian Journal of Health and Environment*. 9(4):517-526. [In Persian]
- Dargahian, F., Lotfinasab Asl, S., Khosroshahi, M., Gohardoust, A., (2017). Determining the share of internal and external resources of dust in Khuzestan province, *Nature of Iran*, 2(5): 36-41. [In Persian]
- Gharib Reza, M.R., Lak, R., (2015). Origin and Geochemistry of Khuzestan Province (Case study: Dust storm on February 3, 2015), Thirty-fourth conference and second international congress of geosciences, Tehran, Iran. [In Persian]
- Ghorbanian, G., Kardavani, P., (2014). Study of Ahvaz dust textures with of X-ray analyzing method and the relationship between storms exacerbated by the destruction of Hoorolazim wetlands. *Wetland Exobiology*. 6(2): 93-102. [In Persian]
- Goody, A.A., Middleton, A.J., (2012). Desert dust in the global system. (Translated by Aznarivand, H., Gholami, H., and Khosravi, H.). Tehran: Tehran University Press. [In Persian]
- Heidarian, P., Azhdari, A., Jodaki, M., Darvishi Khatooni, J., Shahbazi, R., (2017). Identifying interior sources of dust storms using remote sensing, GIS, and geology (case study: Khuzestan province), *Journal of Earth Sciences*, 27(105): 33-46. [In Persian]
- Karimian, B., Landi, A., Hojati, S., Ahadiyan, J., (2016). Investigating the physical, chemical, and mineralogical characteristics of dust in Ahvaz city. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 47 (1): 173-159. [In Persian]
- Mosavi, H.S., Pourkhabaz, A.R., (2017). Dust Source Identification Using Physical-Chemical Characterization in Birjand, *Journal of Environmental Geology*, 11(83): 1-9. [In Persian]
- Movahedi S., Heidari Naserabad, B., Hashemi Ane, S.K. Rancher, f., (2012). Zoning of climatic zones of Khuzestan province. *Geographic Space Quarterly*, 12 (40): Pp. 73-64. [In Persian]
- Naserpour, S., Alijani, B., Ziaian, P., (2015). Source of dust storms in southwestern Iran using satellite images and air maps, *Physical Geography Research*, 47(1): 2-36. [In Persian]
- Nouri, A., Matinizadeh, M., Mshaki, A.R., Ensafi-Moghadam, T., Rahimi, M., (2015). Evaluating the number of heavy metals in dust and their absorption by Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) (Case study: Meleh Siah, Ilam), *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 23 (4): 616-605. [In Persian]
- Rajabi, M., Suri, B., (2015). Evaluation of heavy metals among dustfall particles of Sanandaj, Khorramabad, and Andimeshk cities in western Iran 2012-2013. *Iran. J. Health & Environ.*, 8(1): 11-22. [In Persian]
- Tavousi, T., Khosravi, M., Raeispour, K., (2010). Synoptic Analysis of Dust Management Systems in Khuzestan Province, *Journal of Geography and Development*, 20: Pp. 97-97. [In Persian]
- Tavousi, T., Khosravi, M., Raeispour, K., (2011). Statistical Analysis of Dust Occurrence in Khuzestan Province during the Period 1996-1995, *NIVAR*, 74 & 75: 17-26. [In Persian]
- Yarahmadi, D., Khoshkish, A., (2013). Zoning the dusty phenomenon in the western half of Iran during the period 1990 to 2009. *Applied Geosciences Research Journal*, 13 (31), 211-225. [In Persian]
- Zanganeh, M., (2014). Climatology of storms in Iran. *Applied Climatic Quarterly*, 1(1), 1-12. [In Persian]

References (in English)

- Abdollahi, S., Madadi, M., Ali-Askari, K.O., Singh, V.P., (2018). Lead Concentration in Dust Fall in Zahedan, Sistan and Baluchistan Province, Iran. *Journal of Geography and Cartography*, 1(2):1-6. DOI:10.24294/jgc.v1i2.601.
- Aboobacker, V., Shanas, P., (2018). The climatology of shamals in the Arabian Sea—Part 1: Surface winds. *International Journal of Climatology*, 38(12): Pp. 4405-4416.
- Ahmadi, M., DadashiRoudbari, A., (2017). Regional modeling of dust storm of February 8, 2015, in the southwest of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(21): 459.
- Al-Jumaily, K. J. Ibrahim, M.K., (2013). Analysis of synoptic situation for dust storms in Iraq. *Int. J. Energ. Environ.* 4(5): 851-858.
- Al-Yahyai, S. Charabi, Y., (2014). Trajectory calculation as a forecasting support tool for dust storms. *Advances in Meteorology*, 2014, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/698359>.
- Arkian, F. Nicholson, S., (2018). Long-term variations of Aerosol optical depth and Aerosol radiative forcing over Iran based on satellite and AERONET data. *Environmental monitoring and assessment* 190(1): 1, DOI: 10.1007/s10661-017-6336-1.

- Beegum, S. N., Gherboudj, I., Chaouch, N., Temimi, M., Hosni Ghedira, H., (2018). Simulation and analysis of synoptic-scale dust storms over the Arabian Peninsula. *Atmospheric Research*, 199: 62-81.
- Bilal, M., Janet E. Nichol, J.E., Nazeer, M., (2016). Validation of Aqua-MODIS C051 and C006 operational aerosol products using AERONET measurements over Pakistan. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(5): 2074-2080.
- Broomandi, P., Dabir, B., Bonakdarpour, B., Rashidi, Y., (2017). Identification of the sources of dust storms in the City of Ahvaz by HYSPLIT. *Pollution*, 3(2): 341-348.
- Cao, H., Amiraslanid, F., Liub, J., Zhouec, N., (2015). Identification of dust storm source areas in West Asia using multiple environmental datasets. *Science of the Total Environment*, 502: 224-235.
- Dehghani, S., Moore, F., Vasiluk, L., A.Hale, B.A., (2018). The geochemical fingerprinting of geogenic particles in road deposited dust from Tehran metropolis, Iran: Implications for provenance tracking. *Journal of Geochemical Exploration*, 190: 411-423.
- Desouza, N. D., Simon, B., Qureshi, M.S., (2011). Evolutionary characteristics of a dust storm over Oman on 2 February 2008. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 114(3-4): 107.
- Dimitriou, K., Kassomenos, P., (2018). Day by day evolution of a vigorous two-wave Saharan dust storm - Thermal and air quality impacts. *Atmósfera*, 31(2): 105-124.
- Drack, J.M.E., Vázquez, D.P., (2018). Morphological response of a cactus to cement dust pollution. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148: 571-577.
- Draxler, R., Stunder, B., Rolph, G., Stein, A., Taylor, A., (2014). HYSPLIT4 User's Guide Version 4.9, 254p.
- Draxler, R.R., Hess, G., (1997). Description of the HYSPLIT4 modeling system, 27p.
- Gild, C., Geitner, C., Sanders, D., (2018). Discovery of a landscape-wide drape of late-glacial aeolian silt in the western Northern Calcareous Alps (Austria): First results and implications. *Geomorphology*, 301: 39-52.
- Goudarzi, G., (2018). Ambient particulate matter concentration levels of Ahvaz, Iran in 2017. *Environmental Geochemistry and health*: 1-9. DOI:10.1007/s10653-018-0182-0.
- Goudie, A., (2018). Dust storms and ephemeral lakes. *Desert*, 23(1): 153-164.
- Hermida, L., A.Merino, A., Sánchez, J.L., Fernández-González, S., García-Ortega, E., López, L., (2018). Characterization of synoptic patterns causing dust outbreaks that affect the Arabian Peninsula. *Atmospheric Research*, 199: 29-39.
- Hickey, B. Goudie, A., (2007). The use of TOMS and MODIS to identify dust storm source areas: the Tokar delta (Sudan) and the Seistan basin (southwest Asia). *Geomorphological variations*, Pp. 37-57.
- Jish Prakash, P., Stenichkov, G., Kalenderski, S., Osipov, S., Bangalath, H., (2015). The impact of dust storms on the Arabian Peninsula and the Red Sea. *Atmospheric Chemistry and Physics*, Atmos. Chem. Phys., 15: 199-222.
- Khan, R. K. Strand, M. A., (2018). Road dust and its effect on human health: a literature review. DOI: 10.4178/epih.e2018013
- Kim, D., Chin, M., Kemp, E.M., Tao, Z., Peters-Lidardd, C.D., Ginoux, P., (2017). Development of high-resolution dynamic dust source function-A case study with a strong dust storm in a regional model. *Atmospheric Environment*, 159: 11-25. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.03.045>
- Kreutz, K.J., Sholkovitz, E.R., (2000). Major element, rare earth element, and sulfur isotopic composition of a high elevation firn core: Sources and transport of mineral dust in central Asia." *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 1(11). <https://doi.org/10.1029/2000GC000082>.
- Labban, A., (2016). Dust storms over Saudi Arabia: temporal and spatial characteristics, climatology, and synoptic case studies. A thesis submitted in fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, RMIT University.
- Li, L., Sokolik, I.N., (2018). The Dust Direct Radiative Impact and Its Sensitivity to the Land Surface State and Key Minerals in the WRFChemDuMo Model: A Case Study of Dust Storms in Central Asia. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(9): 4564-4582.
- Maina, E.G., Gachanja, AN., Gatari, MJ., Price, H., (2018). Demonstrating PM 2.5 and road-side dust pollution by heavy metals along Thika superhighway in Kenya, sub-Saharan Africa. *Environmental monitoring and assessment*, 190(4): 251. DOI:10.1007/s10661-018-6629-z
- Mashat, A., Awad, A., (2010). Classification of the dusty areas over the Middle-East." *Bull Fac Sci Cairo Univ*, 78(A): 1-19.
- McTainsh, G.H., Nickling, W.G., Lynch, A.W., (1997). Dust deposition and particle size in Mali, West Africa. *CATENA* 29(3-4): 307-322.
- Menéndez, I., Díaz-Hernández, J.L., Mangas, J., Alonso, I., Sánchez-Soto, P.J., (2007). Airborne dust accumulation and soil development in the North-East sector of Gran Canaria (Canary Islands, Spain). *Journal of Arid Environments*, 71(1): Pp. 57-81. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2007.03.011>.
- Modarres, R., Sadeghi, S., (2018). Spatial and temporal trends of dust storms across desert regions of Iran. *Natural Hazards*, 90(1): Pp. 101-114.

- Norouzirad, R., González-Montaña, JR., Martínez-Pastor, F., Hosseini, H., Shahrouzian, A., Khabazkhoob, M., Ali Malayeri, F., Moallem Bandani, H., Paknejad, M., Foroughi-Nia, B., Fooladi Moghaddam, A., (2018). Lead and cadmium levels in raw bovine milk and dietary risk assessment in areas near petroleum extraction industries. *Science of the Total Environment*, 635: 308-314.
- Özdemir, E.T., Fatih M. Korkmaz, F.M., Veli Yavuz, V., (2018). Synoptic analysis of dust storm over the Arabian Peninsula: a case study on February 28, 2009. *Natural Hazards*, 92(2): 805-827.
- Soleimani, M., Amini, N., Sadeghian, B., Wang, D., Fang, L., (2018). Heavy metals and their source identification in particulate matter (PM_{2.5}) in Isfahan City, Iran. *Journal of Environmental Sciences*. 72: 166-175. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.01.002>
- Wagener, T., Guieu, C. Losno, R. Bonnet, S., Mahowald, N., (2008). Revisiting atmospheric dust export to the Southern Hemisphere ocean: Biogeochemical implications, *Global Biogeochem. Cycles*, 22, GB2006, DOI:10.1029/2007GB002984.
- Wang, X., Huang, N., Dong, Z., Zhang, C., (2010). Mineral and trace element analysis in dustfall collected in the Hexi Corridor and its significance as an indicator of environmental changes. *Environmental Earth Sciences*, 1: Pp. 1-10.
- Wang, Y., Stein, A.F., Draxler, R.R., de la Rosa, J.D., Zhang, X., (2011). Global sand and dust storms in 2008: Observation and HYSPLIT model verification. *Atmospheric Environment*, 45(35): 6368-6381. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.08.035>
- Xuan, J., Sokolik, I.N., Hao, J., Guo, F., Mao, H., Yang, G., (2004). Identification and characterization of sources of atmospheric mineral dust in East Asia. *Atmospheric Environment*, 38(36): 6239-6252. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.06.042>
- Yassin, M. F., Almutairi, S.K., Al-Hemoud, A., (2018). Dust storms backward Trajectories' and source identification over Kuwait. *Atmospheric Research*. 212: 158-171. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.05.020>
- Zoljoodi, M., Didevarasl, A., Saadatabadi, A., (2013). Dust Events in the Western Parts of Iran and the Relationship with Drought Expansion over the Dust-Source Areas in Iraq and Syria, *Atmospheric and Climate Sciences*, 3(3): Pp. 321-336. DOI: 10.4236/acs.2013.33034.