نشریه شمـاره ۱۵، بهار و تابستان ۱۳۹۹، صفحات ۱۲۱ تا ۱۳۸

نشریه مدیریت بیابـان

www.isadmc.ir

انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

بررسی توزیع عمودی رسوبات بادی توفان‌های گرد و غبار در منطقه سیستان

محسن رضائی ترشیزی[۱]، عباس میری[۲*]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ آب و خاک، دانشگاه زابل، ایران.

۲. استادیار، دانشکدهٔ آب و خاک، دانشگاه زابل، ایران.

* نویسنده مسئول: : miri.abbas@uoz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۲۱

چکیده

وقوع خشکسالی‌های پی‌درپی در منطقهٔ سیستان شرایط را برای تشدید فرسایش بادی و رخداد توفان‌هایگرد و غبار فراهم کرده است. به منظور مهار این پدیده‌ها بررسی آن ها از جنبه‌های مختلف ضروری است. بررسی توزیع عمودی رسوبات بادی برای ارزیابی مقدار انتقال رسوبات و اعتبارسنجی مدل‌های فرسایش بادی و همچنین شناخت سازوکار انتقال ذرات اهمیت دارد. در پژوهش حاضر شش رخداد توفان گرد و غبار در بازهٔ زمانی چهار ماهه سال ۱۳۹۷ در منطقهٔ سیستان بررسی شد و توزیع عمودی رسوبات بادی طی این رخدادها تحلیل شد. برای واکاوی هر رخداد، داده‌های لحظه‌ای سرعت باد، دید افقی و غلظت PM_{10} ثبت شده در ایستگاه هواشناسی زابل به طور هم‌زمان دریافت شد. در هر رخداد توزیع عمودی رسوبات بادی با نصب رسوب گیرهایی در ۷ ارتفاع از ۲۰cm تا ۷۰۰cm در منطقه نیاتک سیستان بررسی شد. نتایج نشان داد که رخدادهای مورد بررسی از شدت زیادی برخوردار بودند؛ به‌طوری که بادهای با سرعت ۱۶-۱۹ m/s بیشترین مدت زمان وزش را داشتند. دید افقی در بیشتر اوقات به کمتر از m ۱۰۰۰ و غلظت PM_{10} به بیشتر از ۲۰۰۰ $\mu g\ m^{-3}$ و در برخی موارد ۸۰۰۰ $\mu g\ m^{-3}$ رسید. بیشترین و کمترین مقدار رسوبات بادی به ترتیب در رخداد های ۳، ۴ و ۱ مشاهده شد. مقدار رسوبات با سرعت و مدت زمان وزش باد ارتباط داشته و بین غلظت PM_{10} ثبت شده در ایستگاه هواشناسی و مقدار رسوبات جمع آوری شده وابستگی نزدیک مشاهده شد. همچنین بین مقدار رسوبات و ارتفاع رابطه منفی و نمایی برقرار است.

واژگان کلیدی: فرسایش بادی؛ دید افقی؛ سرعت باد؛ نیاتک.

■ مقدمه

یکی از مهمترین پیامدهای بیابان‌زایی وقوع توفان‌های گرد و غبار است، که به‌صورت گسترده در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌ویژه در عرض‌های جنب استوایی شکل می‌گیرند (۱۲). این پدیده که در پی تشدید فرسایش بادی رخ می‌دهد در چنددهه اخیر به تهدیدی جدی برای بشر تبدیل شده است (۱۲). کشور ایران نیز به دلیل قرار گرفتن بر روی کمربند بیابان‌زایی و فرسایش بادی و قرار گرفتن بیش از ۳۰٪ مساحت آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک از شرایط مناسبی برای وقوع این توفان‌ها برخوردار است. وقوع خشکسالی‌های ممتد طی سال‌های اخیر شرایط را جهت وقوع و تشدید توفان‌های گرد و غبار فراهم نموده است بطوریکه شرق و غرب ایران درگیر این پدیده شده است (۱۶، ۲۱). منطقه سیستان نیز سال‌هاست که درگیر این پدیده است، به‌طوریکه هر رخداد خسارت‌های جبران‌ناپذیری را به‌دنبال دارد (۱۶). چون دامنهٔ تأثیر این پدیده گسترده است؛ نه‌تنها منطقه سیستان بلکه کشورهای افغانستان و پاکستان نیز در تأثیر قرار دارند و دارای تأثیرهای محیط زیستی و اقتصادی و اجتماعی گسترده‌ای می‌باشد (۱۶، ۱۹). مطالعه این پدیده از جنبه‌های مختلف ازجمله تشدید و فراوانی آنها، علل شکل‌گیری، دامنه تأثیر، میزان خسارات وارده از آنها، موردتوجه بسیاری از محققان قرارگرفته و از جنبه‌های مختلف این پدیده مورد بررسی قرار می‌گیرد. توفان‌های گرد و غبار منطقه سیستان نیز به‌طور گسترده از زوایای مختلف از جمله منشأ و فراوانی، علل موثر بر شکل‌گیری آنها، تغییر مکانی و زمانی و گستره زیر تأثیر به‌همراه تأثیرهای اقتصادی-اجتماعی آنها مورد بررسی قرار گرفته است (۱۶، ۱۹، ۲۰، ۳۰). با این‌حال بررسی و مطالعه بیشتر این توفان‌ها اطلاعات بیشتری را در اختیار محققان قرار می‌دهد. در پژوهش حاضر به ویژگی‌های رخداد توفان گرد و غبار که در سال ۱۳۹۷ در منطقه سیستان رخ داده‌اند پرداخته شد تا اطلاعات مفیدی در اختیار محققان قرار گیرد.

در هر رخداد توفان گرد و غبار حجم زیادی از رسوبات توسط باد حمل می‌گردد. توزیع عمودی رسوبات بادی که نشان‌دهنده حجم رسوبات حمل شده توسط باد در ارتفاعات مختلف می‌باشد پایه علمی سازوکار و مدل‌های حرکت و انتقال رسوبات بادی می‌باشد (۲۶). پژوهش‌های گسترده‌ای به بررسی توزیع عمودی رسوبات بادی در سطوح مختلف پرداخته‌اند (۴، ۵، ۷، ۱۴، ۲۹) و نشان داده‌اند که بررسی توزیع عمودی رسوبات بادی برای ارزیابی مقدار انتقال رسوبات و اعتبارسنجی مدل‌های فرسایش بادی و همچنین برای افزایش دانش سازوکار انتقال ذرات و روش‌های کنترل آن اهمیت دارد.

برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند که توزیع عمودی رسوبات بادی ازیک تابع توانی پیروی می‌کند (۴، ۵، ۸، ۱۰) و پاره ای دیگر از نتایج تابع نمایی (۶، ۱۷، ۲۹) گزارش کرده‌اند. توزیع عمودی رسوبات بادی درتأثیر اندازه رسوبات، ویژگی‌های جریان هوا و شرایط سطح خاک مانند وجود زبری در سطح خاک، پوشش گیاهی، رطوبت خاک وغیره قرار می‌گیرند (۱۱، ۱۹).

نتایج پژوهش با دستگاه تونل باد بر روی سطح صاف و بدون مانع، نشان‌داد که با افزایش ارتفاع، مقدار رسوبات بادی کاهش یافته و توزیع عمودی رسوبات از تابع نمایی پیروی می‌کند (۴). در حالیکه نتیجهٔ دیگر پژوهش با تونل باد نشان‌داد که توزیع عمودی رسوبات بادی در سطح عاری از پوشش گیاهی مقدار رسوبات با افزایش ارتفاع کاهش؛ درحلیکه داخل پوشش‌های گیاهی شکستگی‌هایی در توزیع رسوبات رخ داده است که نشان‌دهنده تأثیر گیاهان بر آن است (۱۵). در پژوهشی با نصب ۷ رسوبگیر BSNE در ارتفاعات ۲۴ cm، ۶۰ cm، ۱۰۸ cm، ۱۶۰ cm، ۲۰۰ cm، ۳۰۰ cm و ۴۰۰ cm به بررسی توزیع عمودی رسوبات بادی در منطقه شرق اصفهان پرداختند و مشاهده نمودند که مقدار رسوبات بادی با افزایش ارتفاع کاهش یافت. مقدار رسوبات جمع‌آوری شده در ارتفاع‌های مورد بررسی به‌ترتیب برابر ۱۲، ۳/۴۲، ۱/۹۹، ۱/۵۶، ۰/۷۵، ۰/۲۱ و ۰/۳۹ گرم بر سانتی‌متر مربع مشاهده شد (۱۱). در بررسی‌ای دیگری در منطقهٔ سیستان توزیع عمودی رسوبات بادی با رسوبگیرهای سیفونی معرفی شده توسط اختصاصی و همکاران (۱۳۸۵)، بررسی شد (۱۹). در این بررسی با اندازه‌گیری رسوبات در ۸ ارتفاع در نقطه A در فاصله ۲۰ کیلومتری از دریاچه هامون و در ۴ ارتفاع در نقطه B نزدیک به دریاچه توزیع عمودی رسوبات بادی

بررسی شد. نتایج نشان داد که رسوبات با ارتفاع در نقطه A افزایش و در نقطه B کاهش یافته و دلیل آنرا نزدیکی نقطه B به دریاچه ذکرکردند. در پژوهش حاضر ضمن بررسی ویژگی‌های ۶ توفان گرد و غبار در دورهٔ زمانی ۴ ماهه در منطقهٔ سیستان و مقایسه این رخدادها از نقطه‌نظر سرعت باد و رسوبات بادی ، به بررسی توزیع عمودی رسوبات آن‌ها پرداخته شده است تا علاوه بر در اختیار قرار-دادن اطلاعات مفیدی از ویژگی‌های توفان‌های گرد و غبار توزیع عمودی رسوبات در طی رخدادهایی با دیگر ویژگی‌های مورد بررسی قرار گرفت.

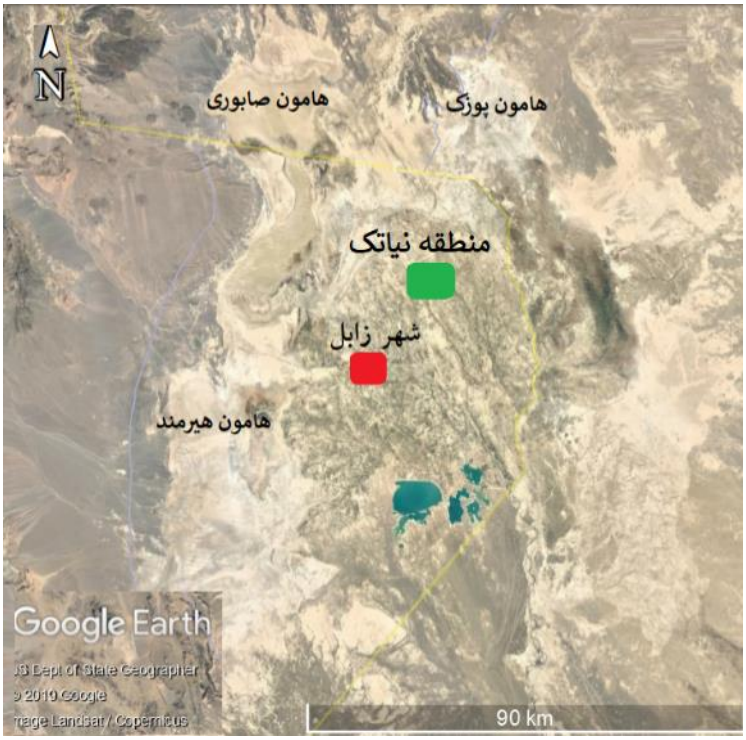
■ مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

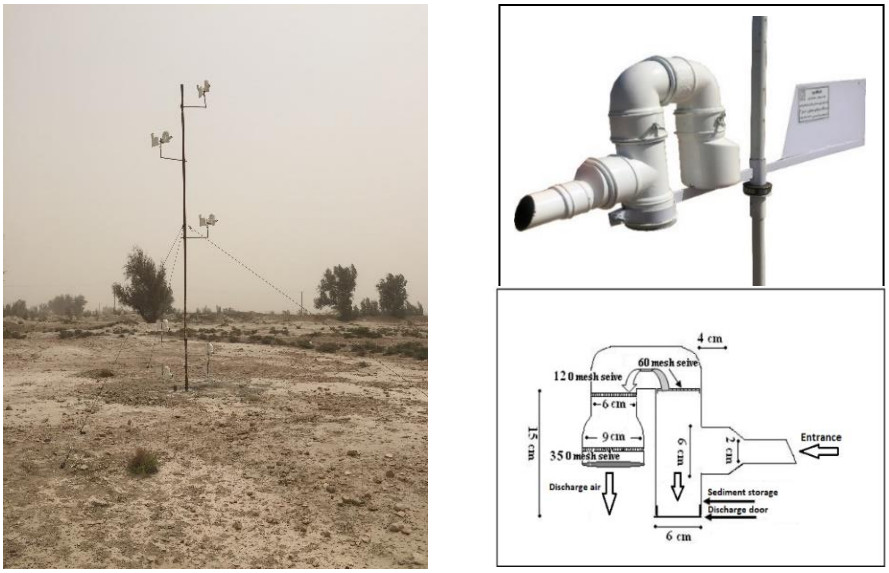
منطقه سیستان در جنوب‌شرق ایران یکی از مناطق بادخیز در کشور است و به دلیل بادخیزی در کنار مساعد بودن دیگر شرایط، درگیر توفان‌های گرد و غبار است. این منطقه دارای رژیم بارندگی مدیترانه‌ای با میانگین سالانه ۶۶/۶ mm، تبخیر سالانه حدود ۴۷۷۵ mm، بادهای غالب و فرساینده معروف به بادهای ۱۲۰ روزه می‌باشد. گرمترین ماه تیر با متوسط سالانه ۵۳ ^{o}c و سردترین ماه سال دی با ۲۰^{o}c- است. طبق طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن از اقلیم فراخشک و طبق روش آمبرژه از اقلیم بیابانی برخوردار است (۱۶). منطقه مورد مطالعه منطقهٔ نیاتک واقع در شرق سیستان است. این منطقه در موقعیت جغرافیایی بین"۵۲ ۶۰° تا "۵۲ ۶۱° طول‌شرقی و "۴۵ ۳۰° تا "۲۸ ۳۱° عرض شمالی واقع دارد (شکل ۱).

بررسی خصوصیات توفان‌های گرد و غبار داده های لحظه‌ای دید افقی و سرعت باد از ایستگاه هواشناسی زابل برای بازهٔ زمانی تیر تا مهر سال ۱۳۹۷ دریافت شد (۲۴). همچنین برای بررسی تغییرات لحظه‌ای غلظت PM_{10} از داده‌های ثبت شده در ایستگاه هواشناسی و مرکز ثبت غلظت مواد معلق در هوا توسط سازمان حفاظت محیط زیست استان سیستان و بلوچستان در بازه‌زمانی موردنظر استفاده شد.

به‌منظور اندازه‌گیری رسوبات بادی از هفت عدد رسوبگیر سیفونی نسل ۳ (۹) در ارتفاعات ۲۰cm، ۳۵cm، ۸۰cm، ۲۰۰cm، ۳۶۰cm، ۴۵۰cm، ۵۷۰cm و ۷۰۰cm استفاده شد (شکل ۲). بازوهایی نیز طراحی شد که از یک طرف به پایه‌ها متصل و از طرف دیگر رسوبگیرها بر روی آنها سوار می شدند.



شکل ۱. موقعیت منطقهٔ نیاتک در سیستان بر روی تصویر پایگاه Google Earth



الف ب

شکل ۲. رسوبگیر نسل ۳ (الف)، نصب رسوب‌گیرها در ارتفاعات مختلف (ب)

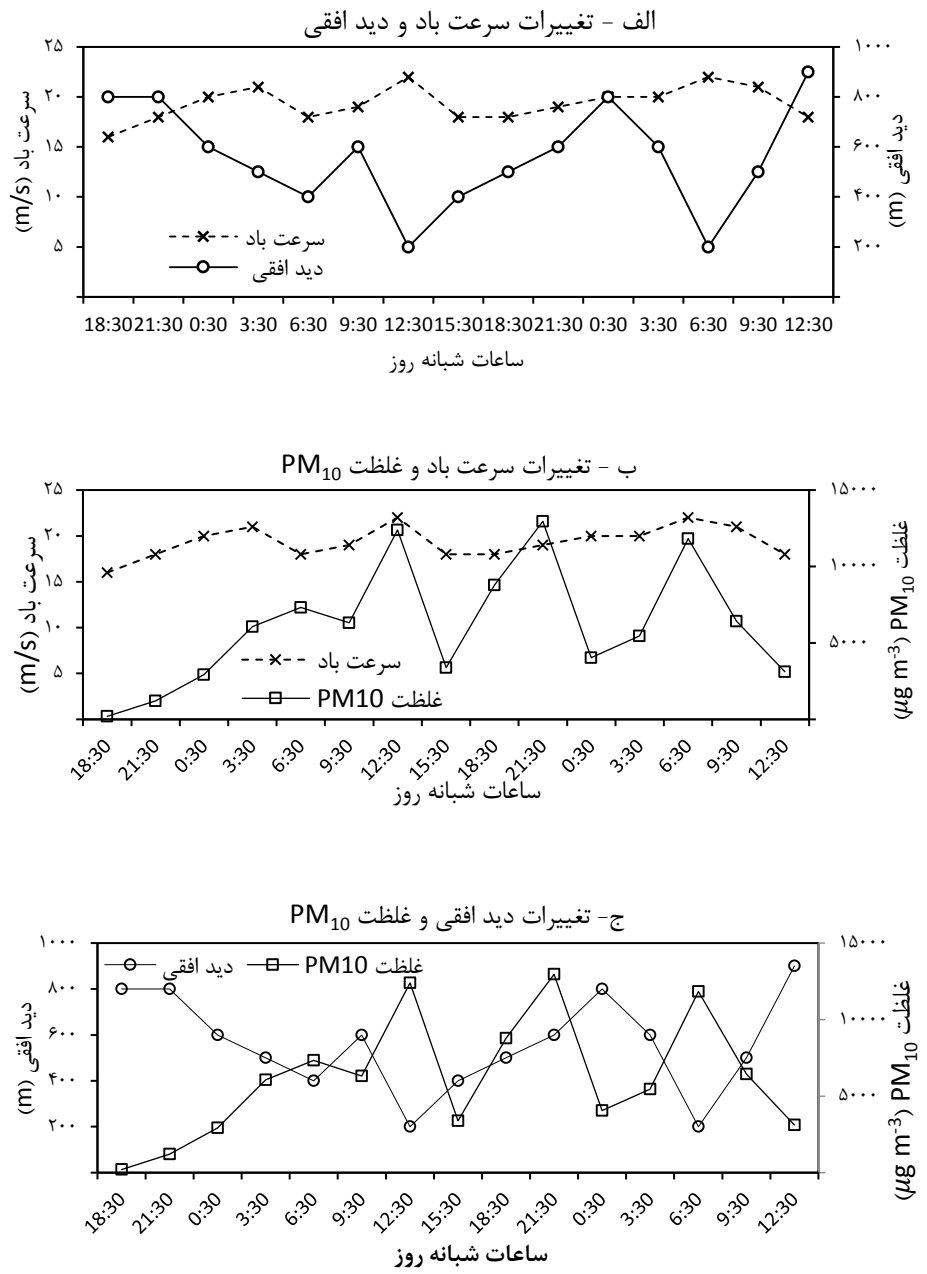
با توجه به وزش بادهای شدید در زمان نمونه‌برداری پایه ۷ m توسط سیم‌های مهاری محکم شدند تا از سرنگونی آن جلوگیری شود. قبل از هر رخداد توفان گرد و غبار رسوبگیرها نصب و پس از پایان یافتن رخداد و آرام شدن هوا جمع آوری می‌شدند و رسوبات داخل آنها به‌دقت داخل کیسه‌های نایلونی که از قبل کدگزاری شده بود، جمع‌آوری می‌شدند. در رخدادهای ۴، ۵ و ۶ رسوبات در تمام طول رخداد و در بقیه رخدادها در بخشی از رخداد رسوبات جمع آوری شد.رسوبات جمع‌آوری شده به آزمایشگاه منتقل و پس از الک شدن و جدا شدن خاشاک احتمالی، با ترازویی با دقت ۰/۰۰۰۱ $g\ cm^{-2}$ وزن و یادداشت می‌شد.

■ نتایج

ویژگی‌های شش رخداد توفان گرد و غبار

طی دورهٔ چهار ماهه مورد بررسی شش توفان گرد و غبار در منطقهٔ سیستان رخ داد. ویژگی‌های شش رخداد موردنظر از نقطه‌نظر تغییرات سرعت باد، دید افقی و غلظت PM10 به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفت.

رخداد ۱ – ۲۱ تیرماه ۱۳۹۷: این رخداد با افزایش سرعت باد و کاهش دید افقی از بعد از ظهر حدود ساعت ۶ روز ۲۱ تیر آغاز و به مدت ۴۵ ساعت طول کشید (شکل۳) . سرعت باد در تمام طول این رخداد بیشتر از ۱۵ m/s و دید افقی کمتر از ۱۰۰۰m بود. اگر چه غلظت PM_{10} طی ساعت‌های اولیه افزایشی نشان نداد اما در ادامه رخداد به دلیل تداوم وزش باد شدید مقادیر بیشتری از رسوبات در هوا معلق و در نتیجه، غلظت PM10 افزایش یافت و در بیشتر مواقع، مقدار آن بیشتر از ۲۰۰۰$\mu g\ m^{-3}$ اندازه‌گیری شد. طی رخداد تغییر دید افقی در ارتباط با تغییرات غلظت PM_{10} در ارتباط با تغییر سرعت باد بود. در ساعت‌هایی که سرعت باد افزایش یافت غلظت PM_{10} افزایش و دید افقی کاهش نشان داد. بر اساس طبقه‌بندی توفان‌های گرد و غبار از لحاظ شدت، چون در این رخداد در پاره‌ای از اوقات سرعت باد به بیش از ۲۰m/s، غلظت PM_{10} به بیش از ۱۲۰۰۰ $\mu g\ m^{-3}$ و دید افقی به ۲۰۰m کاهش یافت، می‌توان در طبقه رخداد شدید قرار گیرد. میانگین و بیشینه سرعت باد مشاهده شده به‌ترتیب ۱۹m/s و ۲۲m/s بود. زیاد بودن سرعت باد (۳ برابر سرعت آستانه فرسایش بادی) موجب شد تا غلظت گرد و غبار در هوا به‌شدت زیاد و موجب کاهش شدید دید افقی شود. به‌طوریکه در ساعت‌هایی که سرعت باد زیاد بود دید افقی کاهش نشان داد.

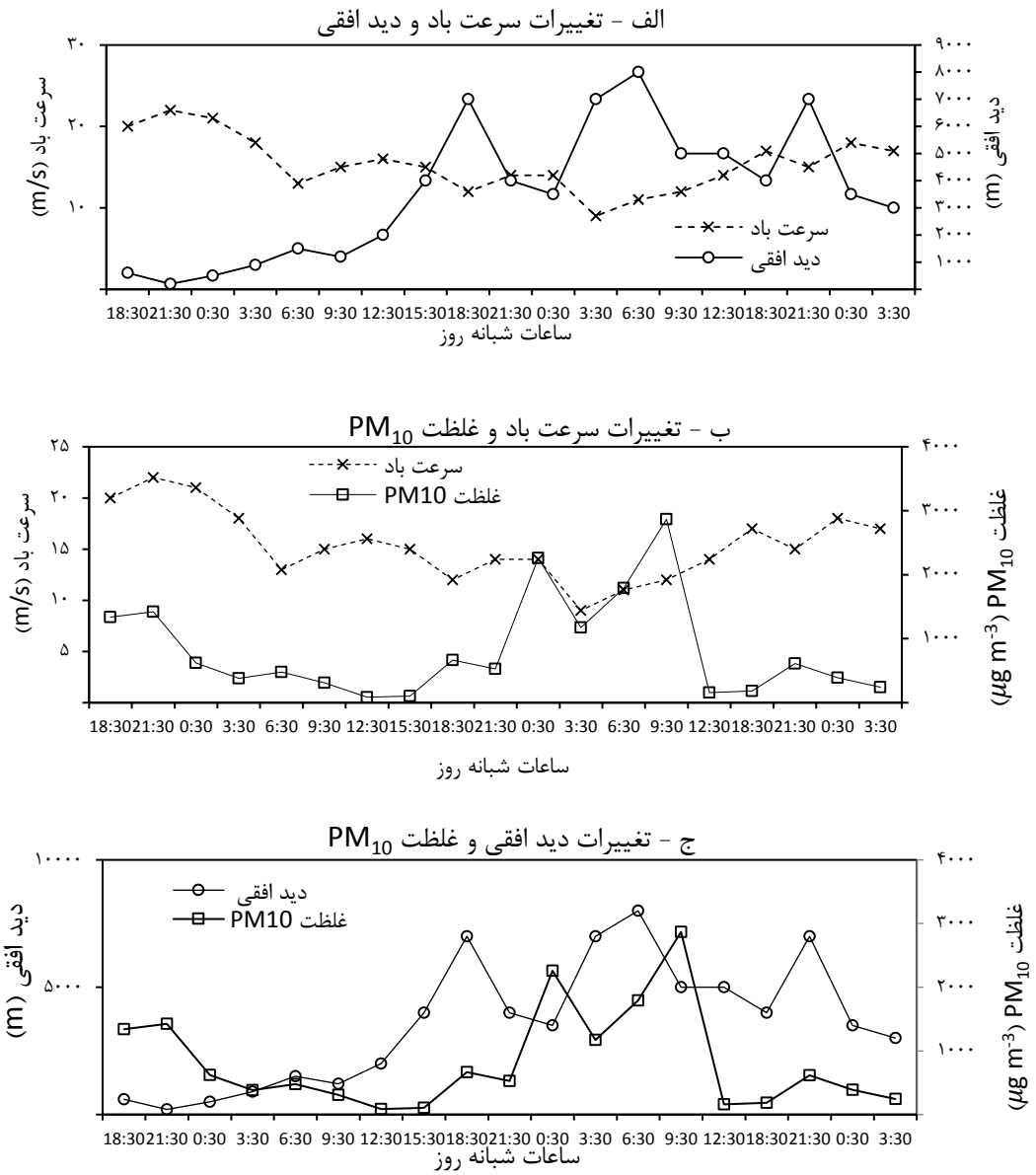


شکل ۳. (الف) تغییرات سرعت باد و دید افقی، (ب) تغییرات سرعت باد و غلظت PM_{10} و (ج) تغییرات دید افقی و غلظت PM_{10} در طی رخداد ۱

رخداد ۲ - ۲۳ تیرماه ۱۳۹۷: این رخداد ۵۷ ساعت طول کشید در آغاز بسیار شدید بود به‌طوریکه طی ساعت‌های اولیه سرعت باد بیشتر از ۲۰m/s ، غلظت PM_{10} بیش از ۱۰۰۰μg m^{-3} و دید افقی به کمتر از ۱۰۰۰m رسید (شکل۴).

در ادامه از شدت این رخداد کاسته شد به‌طوریکه سرعت باد بین ۹ m/s تا ۱۸ m/s متغیر بود. در تمام طول این رخداد سرعت باد بیشتر از ۱۰m/s و بیشتر از سرعت آستانهٔ فرسایش بادی بود که موجب افزایش غلظت غبار در هوا و کاهش دید افقی شد.

به مانند رخداد اول تغییرپذیری دید افقی در ارتباط با غلظت PM_{10} و غلظت PM_{10} در ارتباط با تغییرات سرعت باد بود. در ساعت‌هاییکه سرعت باد افزایش یافت غلظت PM_{10} افزایش یافته و دید افقی کاهش نشان داد.

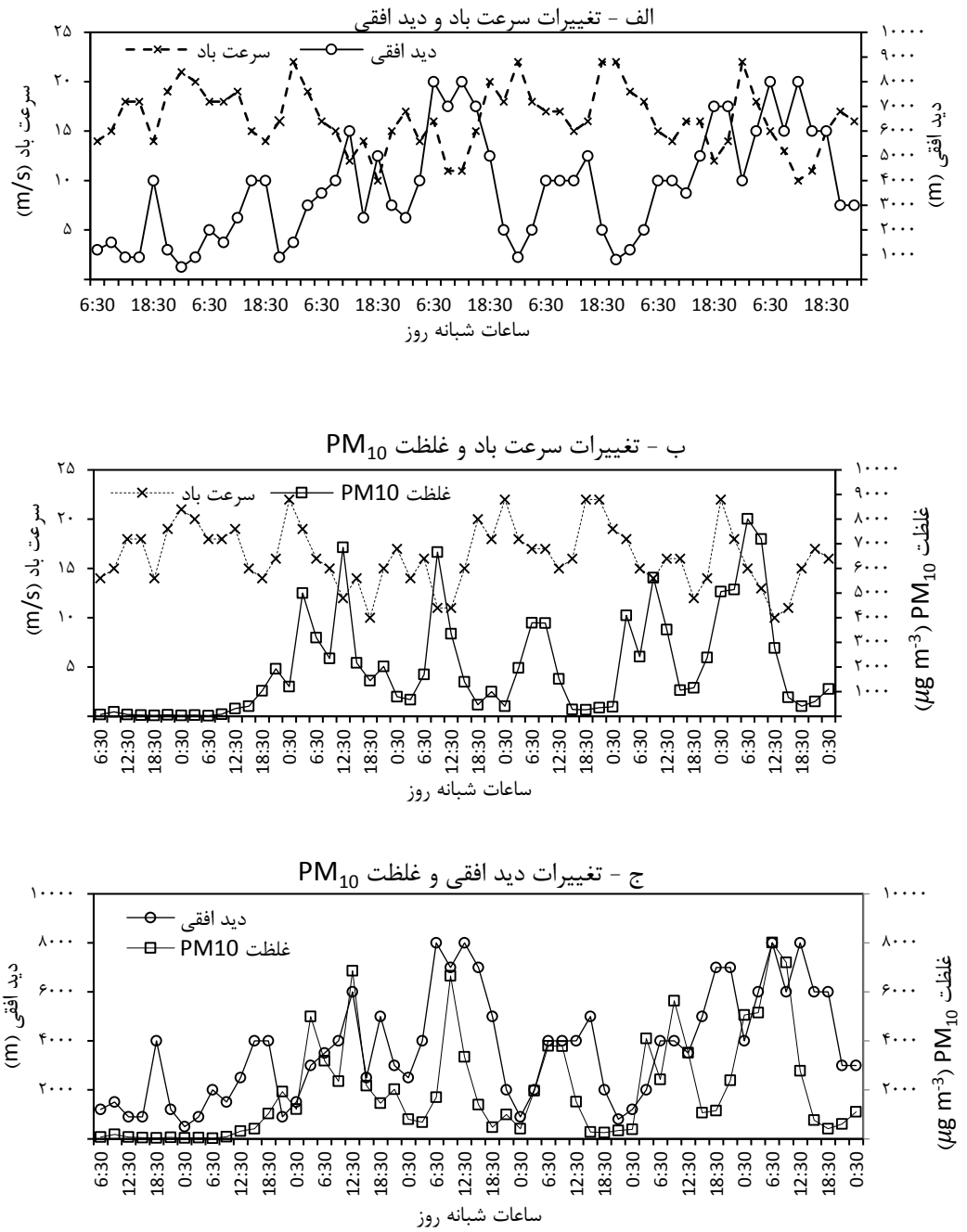


شکل ۴. (الف) تغییرات سرعت باد و دید افقی، (ب) تغییرات سرعت باد و غلظت PM_{10} و (ج) تغییرات دید افقی و غلظت PM_{10} در طی رخداد ۲

رخداد ۳ – ۲۸ تیرماه ۱۳۹۷: این رخداد طولانی‌ترین رخداد در بین شش رخداد مورد بررسی بود و حدود ۱۶۸ ساعت طول کشید (شکل ۵). طی این رخداد سرعت باد بیشتر از ۱۰m/s بود و گاهاً به بیش از ۲۲ متربرثانیه افزایش یافت. میانگین سرعت باد ثبت شده در این رخداد ۱۶ m/s بود و در ۲۱ ساعت از این رخداد سرعت باد به بیش از ۲۰m/s یعنی چند برابر سرعت آستانه فرسایش بادی رسید که موجب به افزایش غلظت PM_{10} به حدود ۸۰۰۰μg m^{-3} و کاهش دید به کمتر از ۱۰۰۰m گردید.

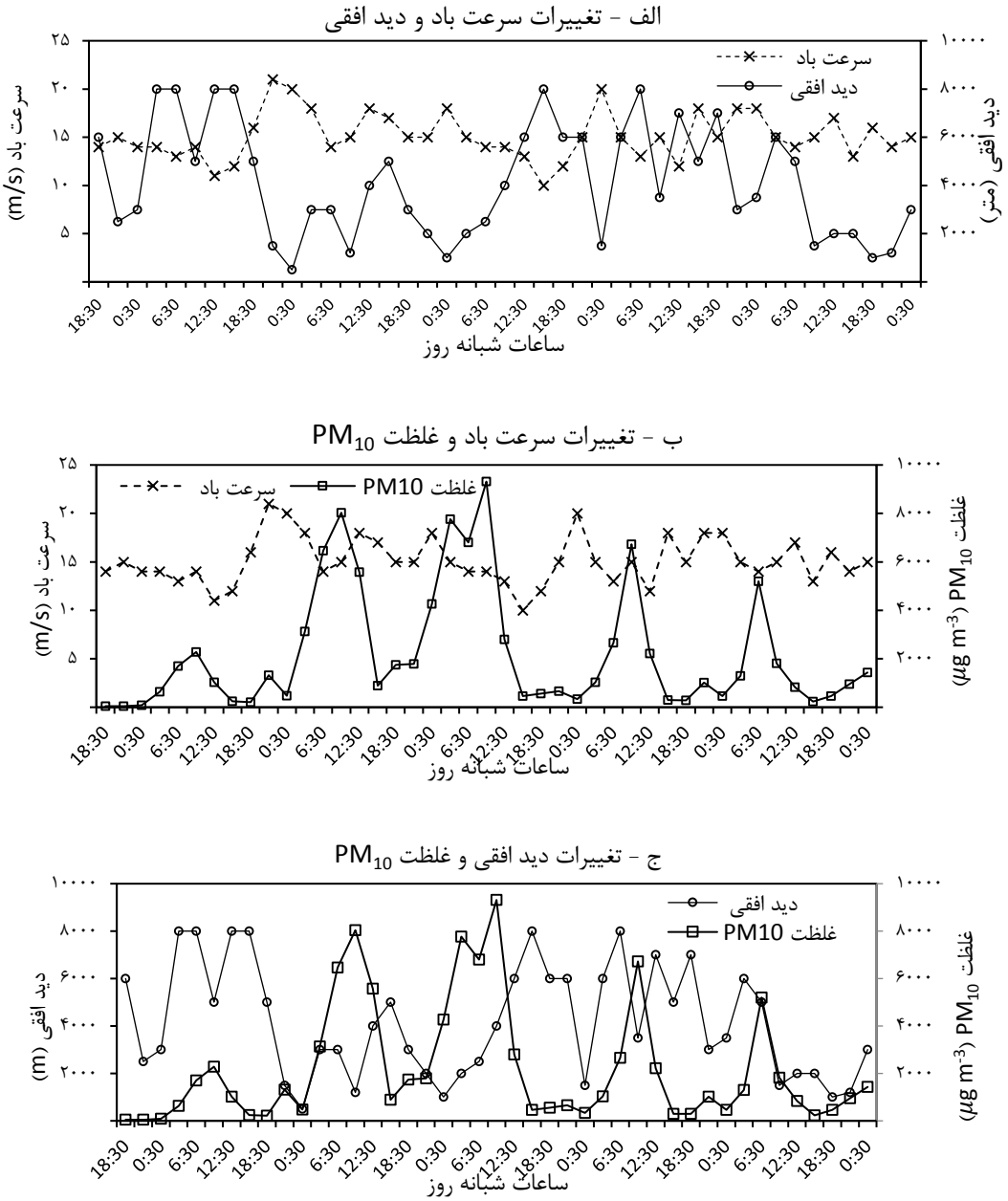
به‌دلیل طولانی بودن زمان این رخداد، بالا بودن سرعت باد و غلظت گرد و غبار در هوا، بیشترین مقدار رسوبات توسط رسوبگیرهای نصب شده جمع‌آوری گردید.

در بیشتر ساعت‌ها، این رخداد مقدار PM_{10} بیشتر از μg ۲۰۰۰ m^{-3} بود و تغییر آن تابع تغییرات سرعت باد بود. همچنین تغییرات دید افقی تابع تغییرات غلظت PM_{10} بوده و در ساعاتیکه غلظت PM_{10} بالا بود مقدار دید کاهش نشان داد و بر عکس.



شکل ۵. (الف) تغییرات سرعت باد و دید افقی، (ب) تغییرات سرعت باد و غلظت PM_{10} و (ج) تغییرات دید افقی و غلظت PM_{10} در طی رخداد ۳

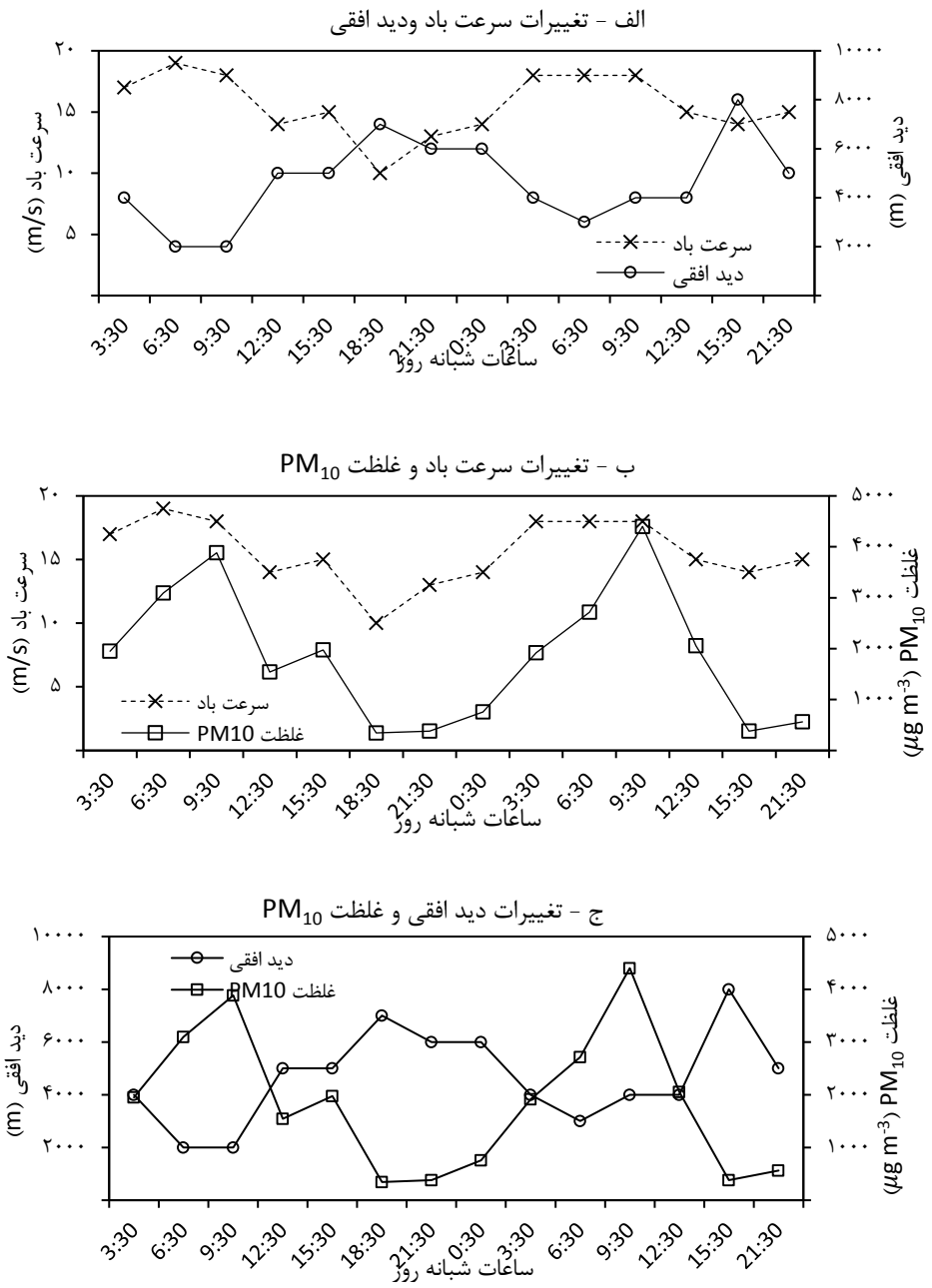
رخداد ۴ - ۶ شهریورماه ۱۳۹۷: این رخداد نیز یک رخداد طولانی بود به‌طوریکه حدود ۱۲۹ ساعت طول کشید (شکل ۶). میانگین سرعت باد در طی این رخداد حدود ۱۵ m/s بود. در ۳۹ ساعت این رخداد سرعت باد بالای ۱۶ متربرثانیه و در ۹ ساعت آن بالای ۲۰ متربر ثانیه مشاهده شد. زیاد بودن سرعت باد موجب افزایش غلظت PM_{10} به بیش از ۵۰۰۰μg m^{-3} در ۲۴ ساعت و کاهش دید افقی به کمتر از ۱۰۰۰m در طی ۱۲ساعت از این رخداد گردید. در این رخداد نیز تغییرات غلظت PM_{10} تابع تغییر سرعت باد بوده و تغییر دید افقی نیز تابع تغییرات غلظت PM_{10} بود. دید افقی در ساعاتی از رخداد کاهش یافت که غلظت PM_{10} افزایش نشان داد.



شکل ۶. (الف) تغییرات سرعت باد و دید افقی، (ب) تغییرات سرعت باد و غلظت PM_{10} و (ج) تغییرات دید افقی و غلظت PM_{10} در طی رخداد ۴

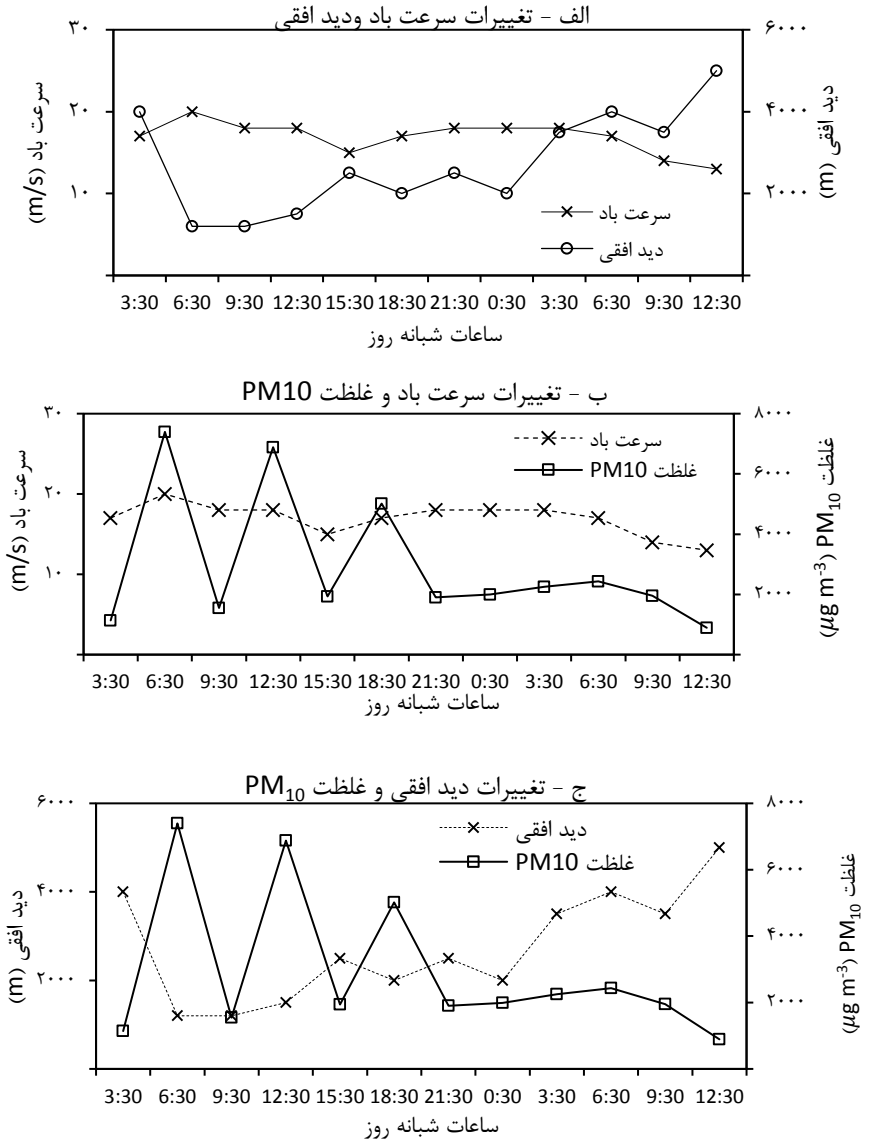
رخداد ۵ – ۲۲ شهریورماه ۱۳۹۷: این رخداد از نظر زمانی یک رخداد کوتاه بود بطوریکه تنها ۴۲ ساعت به‌طول انجامید (شکل ۷).

سرعت باد در این رخداد بیشتر از ۱۰m/s بود و در ۲۷ ساعت از این رخداد به بیش از ۱۵m/s رسید. در طی این رخداد غلظت PM_{10} در اکثر مواقع کمتر از ۴۰۰۰ $\mu g\ m^{-3}$ مشاهده شد و دید افقی به کمتر از ۱۰۰۰m تنزل نیافت.



شکل ۷. (الف) تغییرات سرعت باد و دید افقی، (ب) تغییرات سرعت باد و غلظت PM_{10} و (ج) تغییرات دید افقی و غلظت PM_{10} در طی رخداد۵

رخداد ۶ – ۱۵ مهر ماه ۱۳۹۷: این رخداد کوتاه‌ترین رخداد در بین شش رخداد مورد بررسی بود به‌طوریکه ۳۶ ساعت طول کشید (شکل ۸). تقریباً در تمام طول رخداد سرعت باد بالای ۱۵ m/s و گاهاً از ۲۰ m/s فراتر رفت. در ۲۷ ساعت این رخداد سرعت باد بالای ۱۶ m/s و در ۳ ساعت به بیشتر از ۲۰ m/s رسید. به دلیل زیاد بودن سرعت باد غلظت گرد و غبار بالا بوده بطوریکه غلظت PM_{10} در ۱۲ ساعت این رخداد بیشتر از ۵۰۰۰μg m^{-3} شد و در شش ساعت از این رخداد دید افقی به کمتر از ۱۰۰۰m کاهش یافت. طی این رخداد نیز تغییرات غلظت PM_{10} تابع تغییر سرعت باد و تغییر دید افقی نیز تابع تغییرات غلظت PM_{10} بود. دید افقی در ساعاتی از رخداد کاهش یافت که غلظت PM_{10} افزایش نشان داد.



شکل ۸. (الف) تغییرات سرعت باد و دید افقی، (ب) تغییرات سرعت باد و غلظت PM10 و (ج) تغییرات دید افقی و غلظت PM10 در طی رخداد ۶

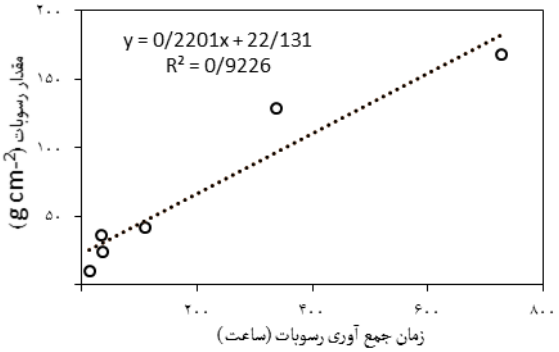
طبقه‌بندی سرعت باد طی رخدادها در ۴ طبقه کم، متوسط، شدید و خیلی شدید (جدول ۱) نشان داد که در تمامی رخدادها مدت زمان وزش بادهای با سرعت‌های متوسط یا بادهای با سرعت بیشتر از ۱۰m/s بیشتر از مدت زمان وزش بادهای با سرعت کم یا سرعت کمتر از ۱۰m/s بوده و بادهای با سرعت کم تنها در چند ساعت رخ دادند. در تمامی رخدادها بادهای با سرعت ۱۶m/s-۱۹m/s بیشترین مدت زمان وزش را به خود اختصاص داد. این نتایج نشان می‌دهد که شش رخداد توفان گرد و غبار در دورهٔ مورد بررسی از سرعت باد زیاد برخوردار بودند، به‌طوریکه موجب انتقال حجم زیادی از رسوبات در منطقه مورد مطالعه شده است.

همچنین نتایج بالا (جدول ۱) نشان می‌دهد که زمان وزش باد و مدت زمان جمع‌آوری رسوبات نقش مهمی بر مقدار رسوبات دارند. ارتباط معنی‌دار و قوی بین مقدار رسوبات و مدت زمان جمع‌آوری آنها (شکل ۹) نیز نشان می‌دهد که در رخدادهای با زمان طولانی‌تر مقدار رسوبات بیشتری توسط رسوبگیرها جمع‌آوری شده است.

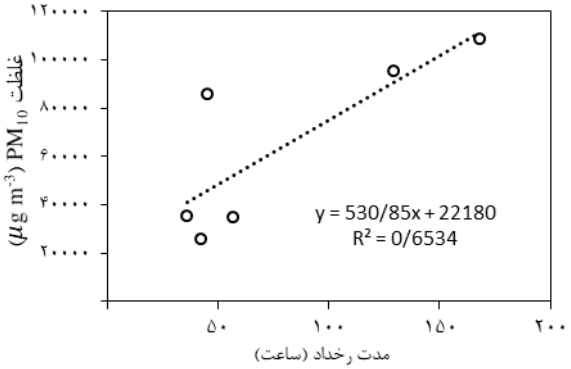
همچنین بین مقدار کل PM_{10} ثبت شده و طول هر رخداد نیز ارتباط مستقیم وجود داشت (شکل ۱۰).

جدول ۱. خلاصه ویژگی‌های رخدادهای مرود بررسی، کلاس‌های سرعت باد، میزان رسوبات و مدت زمان جمع‌آوری رسوبات در هر رخداد

رخداد	کم	متوسط	شدید	خیلی شدید	طول رخداد	مدت زمان جمع‌آوری	مقدار رسوبات	میانگین PM_{10} طی
	۹ – ۶m/s	۱۴ -۱۰m/s	۱۹ -۱۵m/s	بیشتر از ۲۰ m/s	(hour)	رسوبات بادی (hour)	($g\ cm^{-2}$)	هر رخداد ($\mu g\ m^{-3}$)
رخداد ۱	۰	۰	۲۴	۲۱	۴۵	۱۰	۱۲/۹۴	۶۱۶۳
رخداد ۲	۳	۳۰	۱۵	۹	۵۷	۲۴	۳۴/۸۲	۸۲۲
رخداد ۳	۶	۶۶	۷۲	۲۴	۱۶۸	۹۶	۷۲۸/۰۴	۱۹۷۹
رخداد ۴	۰	۹۰	۳۰	۹	۱۲۹	۱۲۹	۳۳۵/۹۷	۲۲۲۱
رخداد ۵	۳	۲۱	۱۸	۱۰	۴۲	۴۲	۱۰۸/۶۴	۱۸۵۴
رخداد ۶	۰	۹	۲۴	۳	۳۶	۳۶	۳۴/۷۲	۳۵۳۳



شکل ۹. رابطه بین میزان رسوبات و مدت زمان جمع‌آوری رسوبات در طی رخدادهای مورد بررسی



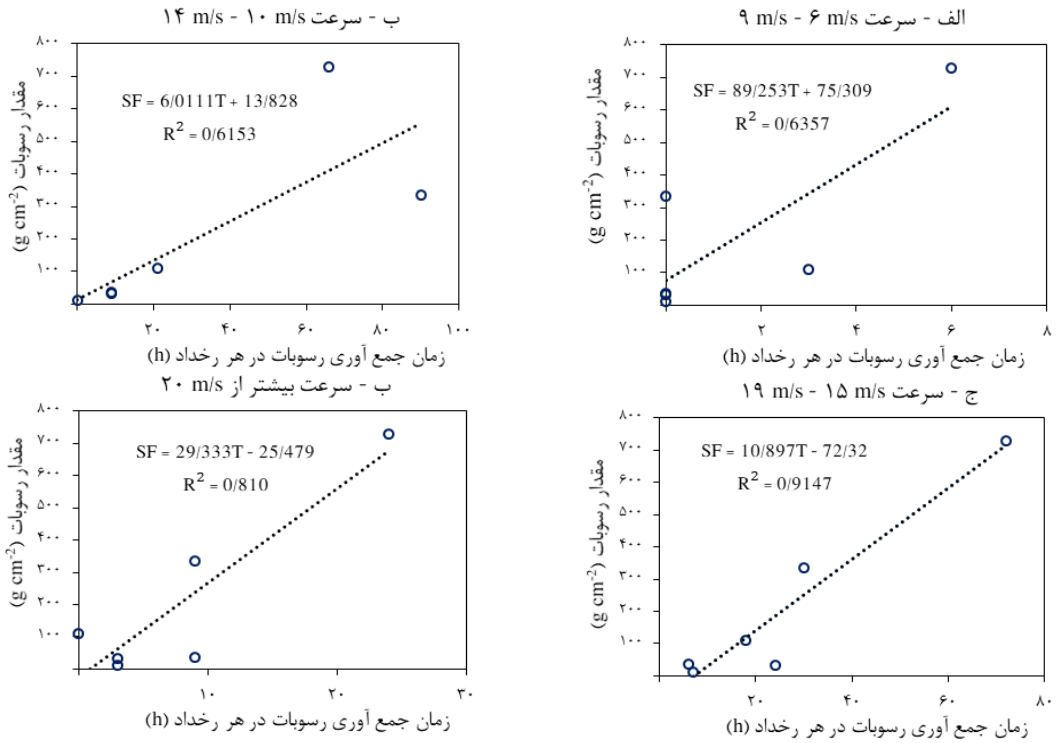
شکل۱۰. رابطه بین غلظت PM_{10} و مدت هر رخداد توفان گرد و غبار

به‌منظور نشان دادن ارتباط بین زمان وزش بادهای با سرعت‌های متفاوت و مقدار رسوبات جمع‌آوری شده توسط رسوبگیرها، بین زمان وزش بادها در هر طبقه سرعت باد یعنی طبقه‌های کم، متوسط، شدید و خیلی شدید و مقدار رسوبات جمع‌آوری شده در هر رخداد ارتباط برقرار شد (شکل ۱۱). نتایج نشان داد که اگرچه بین مقدار رسوبات و زمان وزش بادها ارتباط معنی‌دار برقرار است، بین مدت زمان وزش بادهای شدید با سرعت ۱۵-۱۹m/s و بادهای خیلی‌شدید با سرعت بیشتر از ۲۰m/s و مقدار رسوبات ارتباط معنی‌دار قویتری، R^2>۸۰ برقرار است. این نتایج نشان‌دهندهٔ آن است که مقدار رسوبات بادی با سرعت باد و مدت زمان وزش این بادها ارتباط دارد و در بادهای شدید و با زمان بیشتر مقدار رسوبات بادی بیشتر است.

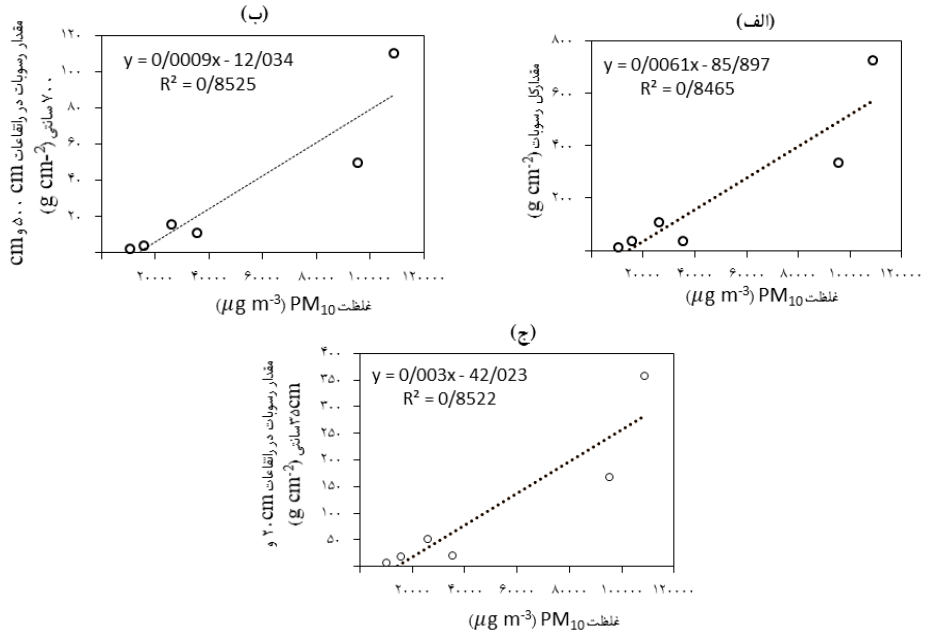
مقدار رسوبات بادی جمع‌آوری شده توسط رسوبگیرها و غلظت PM_{10}

بین مقادیر کل PM_{10} ثبت شده در ایستگاه هواشناسی و مقدار کل رسوبات جمع‌آوری شده توسط رسوبگیرهای نصب شده در کلیه ارتفاعات (الف)، مقدار رسوبات جمع‌آوری شده در دو ارتفاع ۵۰۰cm و ۷۰۰cm (ب) و مقدار رسوبات

جمع‌آوری شده در دو ارتفاع ۲۰cm و ۳۵ cm نزدیک سطح زمین (ب) در هر رخداد ارتباط برقرار شد (شکل ۱۲). نتایج نشان داد که بین غلظت PM_{10} و مقدار کل رسوبات جمع‌آوری شده در کلیه ارتفاع‌ها و بین غلظت PM_{10} و رسوبات جمع‌آوری شده در بالاترین ارتفاع ها یعنی ۵۰۰cm و ۷۰۰cm و پایین‌ترین ارتفاعات یعنی ۲۰cm و ۳۵ cm همبستگی وجود داشت.



شکل ۱۱. رابطه بین مدت زمان وزش بادهای با سرعت‌های متفاوت و مقدار رسوبات در رخدادهای مورد بررسی (SF نمایانگر رسوبات و T نشان‌دهنده زمان جمع‌آوری رسوبات است)



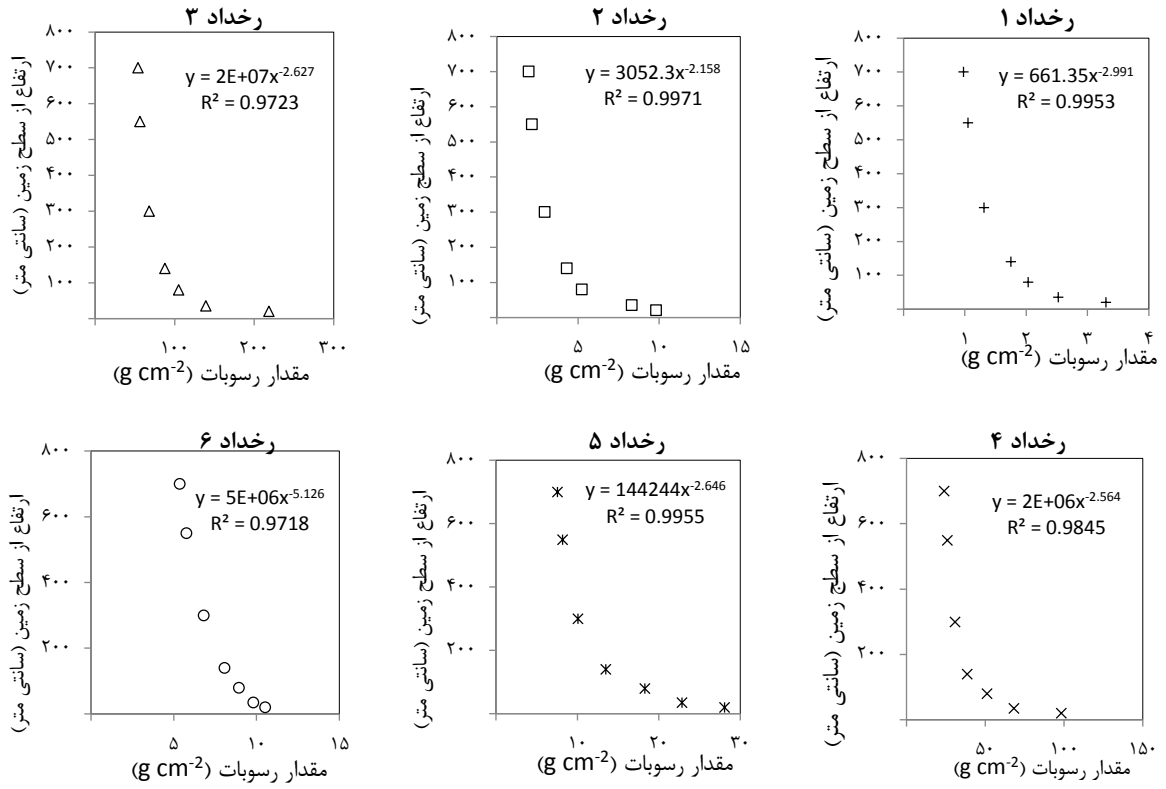
شکل ۱۲. ارتباط بین مقادیر کل PM10 در طی هر رخداد و مقدار کل رسوبات جمع‌آوری شده در کلیه ارتفاعات (الف)، مقدار رسوبات جمع‌آوری شده در دو ارتفاع ۵۰۰ cm و ۷۰۰ cm (ب) و مقدار رسوبات جمع‌آوری شده در دو ارتفاع ۲۰ cm و ۳۵ cm (نزدیک سطح زمین) (ب) در هر رخداد

توزیع عمودی رسوبات بادی در رخدادهای مورد بررسی

نتایج حاصل از بررسی توزیع عمودی رسوبات بادی (شکل ۱۳) نشان داد که در تمامی رخدادها بین مقدار رسوبات و ارتفاع رابطه منفی برقرار است. این رابطه که بصورت توانی است موید کاهش مقدار رسوبات با افزایش ارتفاع می‌باشد. مقدار کاهش رسوبات از ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر تا ارتفاع ۷۰۰cm تقریبا در تمامی رخدادها یکسان بوده بطوریکه در رخداد ۱حدود ۷۰/۳٪ رسوبات، در رخداد ۲ حدود ۷۹/۸٪ رسوبات، در رخداد ۳ حدود $75/3\ \mu g\ m^{-3}$ رسوبات، در رخداد ۴ حدود $75/7\ \mu g\ m^{-3}$ رسوبات، در رخداد ۵ حدود ۷۳/۱٪ رسوبات و در رخداد ۶ حدود ۴۹٪ رسوبات کاهش نشان داد. این نتایج مؤید آن است که در ارتفاعات بالا مقدار رسوبات بادی انتقال یافته کمتر از ارتفاعات پایین و نزدیک سطح زمین است.

■ بحث و نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که در سال ۱۳۹۷ شرایط غبارناکی شدیدی بر منطقه سیستان حاکم بوده چرا که در یک بازهٔ زمانی کوتاه ۴ ماهه ۶ توفان گرد و غبار رخ داد. سرعت بالای باد و خشک بودن دریاچه هامون و نبود پوشش گیاهی مناسب در سطح منطقه از مهمترین عوامل شکل‌گیری این توفان‌ها می‌باشد. میری و همکاران (۱۳۹۹) در بازهٔ زمانی ۲۷ ساله از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۷ شرایط غبارناکی منطقهٔ سیستان را با استفاده از دو شاخص DDI با تعریف روزهایی- که سرعت باد بیشتر از ۱۵ m/s و دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ m می‌باشد و DSI یا شاخص غبارناکی بررسی نمودند و دریافتند که غبارناکی منطقه سیستان در مقایسه با دیگر مناطق ایران از وضعیت بحرانی‌تری برخوردار بوده. علت این یافته به شدت و فراوانی توفان‌ها در این منطقه نسبت به سایر مناطق بیشتر بوده و علت آن را وزش بادهای شدید، خشکیدگی دریاچه هامون و کاهش پوشش گیاهی عنوان نمودند. آنها ارتباط معنی‌داری بین تغییرات سرعت باد و دید افقی، بین سرعت باد و غلظت PM_{10} و بین دید افقی و غلظت PM_{10} دریافتند و نتیجه گرفتند که مقدار دید افقی و مقدار PM_{10} به سرعت باد وابسته می‌باشد (۱۳).



شکل ۱۳. توزیع عمودی رسوبات بادی طی رخدادهای ۱-۶

در رخدادهای مورد بررسی در پژوهش حاضر نیز دید افقی و غلظت PM_{10} وابستگی با سرعت باد نشان دادند بطوریکه این دو پارامتر در ارتباط با سرعت باد تغییر نمودند. از طرفی تغییرات غلظت PM_{10} مخالف با تغییرات دید افقی مشاهده شد که منطبق با یافته‌های قبلی است (۴، ۱۸). در پژوهشی در منطقهٔ میلدورای استرالیا به ارتباط بین کل مواد معلق در هوا و دید افقی در یک رخداد توفان گرد و غبار در سال ۲۰۰۵ پرداخته شد و نتیج نشان داد که در ساعاتی از شبانه روز که غلظت PM_{10} افزایش یافته است دید افقی کاهش یافته است (۱). بر اساس طبقه‌بندی توفان‌های گرد و غبار (۲۲) رخدادهای مورد بررسی در پژوهش حاضر در طبقه توفان‌های گرد و غبار شدید قرار گرفتند به‌طوریکه بادهای با سرعت بیش از ۱۵ m/s بیشترین مدت زمان وزش را داشته و دید افقی در ساعاتی از رخداد به کمتر از ۱۰۰۰m تنزل یافت. غلظت PM_{10} در بیشتر اوقات بیشتر از ۲۰۰۰ و در برخی موارد ۸۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب بود که حدود ۱۳ برابر مقدار استاندارد سازمان بهداشت جهانی یعنی میانگین روزانه برابر ۱۵۰ $\mu g\ m^{-3}$ بوده و باعث آلودگی شدید هوا گردیدند (۲۵). این رخدادها از لحاظ شدت و مدت قابل مقایسه با توفان های گرد و غبار در سایر نقاط ایران و جهان است. طولانی‌ترین توفان گرد و غبار رخ داده در شهر اهواز یکی از غبارناکترین شهرهای ایران در بازه زمانی فروردین تا مهر ۱۳۸۹ در ماه تیر گزارش شده است. این رخداد حدود ۵ روز یا ۱۲۰ ساعت طول کشید و حداکثر غلظت PM_{10} ثبت شده در این ماه ۲۰۲۸ $\mu g\ m^{-3}$ گزارش شد. همچنین آلوده‌ترین رخداد در این بازه زمانی در ماه تیر گزارش گردید که این رخداد ۴۸ ساعت طول کشیده و بیشترین غلظت PM_{10} ثبت شده در این ماه ۵۳۳۷/۶ $\mu g\ m^{-3}$ بود (۲۱).

این رخدادها قابل مقایسه با رخدادهای ۳ و ۴ در این مطالعه می باشد که به‌ترتیب ۱۶۸ و ۱۲۹ ساعت طول کشیدند و بیشترین غلظت PM_{10} ثبت شده در این رخدادها به‌ترتیب ۸۰۰۰$\mu g\ m^{-3}$ و ۵۰۰۰ $\mu g\ m^{-3}$ ثبت شده است. بررسی رخدادهای گرد و غبار در منطقهٔ هگزی چین در بازه زمانی ۱۹۵۴-۲۰۰۰ نشان داد که حدود ۶۰٪ توفان‌های گرد و غبار بین صفر تا ۱۲۰ ساعت طول کشیده‌اند و در مقایسه با رخدادهای مورد مطالعه در پژوهش حاضر از مدت زمان کمتری برخوردار بودند. توفانهای گرد و غباری که در پاتاگونیای آرژانتین در سال ۲۰۱۲ رخ داد از مدت زمانی حدود ۴-۲۰ ساعت و شدت کمتری با میانگین سرعت باد بیشتر از ۷ m/s نسبت به رخدادهای مورد بررسی با مدت ۱۶۸-۳۶ ساعت و میانگین سرعت بیشتر از ۱۳ m/s در پژوهش حاضر برخوردار بودند (۲۲).

اگر چه بین مدت زمان هر رخداد و مقادیر کل غلظت PM_{10} ثبت شده در هر رخداد ارتباط مستقیم برقرار شد (شکل ۱۰) اما مقدارهای متفاوت میانگین غلظت PM_{10} در رخدادها، رخداد ۱ برابر با ۶۱۶۳ $\mu g\ m^{-3}$ ، رخداد ۲ برابر با ۸۲۱ $\mu g\ m^{-3}$، رخداد ۳ برابر با ۱۹۷۹ $\mu g\ m^{-3}$، رخداد ۴ برابر با ۲۲۲۱ $\mu g\ m^{-3}$، رخداد ۵ برابر با ۱۸۵۴ $\mu g\ m^{-3}$ و رخداد ۶ برابر با ۳۵۳۳ $\mu g\ m^{-3}$ نشان داد که غلظت PM_{10} طی رخداهای مختلف متفاوت بوده‌است. بررسی غلظت PM_{10} در ۴ شهر پکن، هوهات، شیان و لانزو در چین طی رخداهای مختلف توفان گرد و غبار شامل گرد و غبار وزشی[1]، گرد و غبار معلق[2] و توفان گرد و غبار[3] نشان داد که غلظت PM_{10} طی این رخدادها متفاوت بوده و نتیجه گرفته شد که توفان‌های گرد و غبار مختلف اثرات متفاوتی بر غلظت PM_{10} دارند (۲۸). طی رخدادهای مورد بررسی در طی ساعات صبح سرعت باد و غلظت PM_{10} به بیشترین مقدار طی شبانه روز افزایش یافتند و دید افقی به کمینه رسید و طی بعدازظهر سرعت باد و غلظت PM_{10} به کمترین مقدار تنزل یافت و دید افقی افزایش نشان داد. این الگوی تغییرات مطابق با الگوی تغییرات دیگر نقاط کشور نیست که دلیل این اختلاف شرایط تشکیل و تکوین بادهای سیستان می باشد (۱۳). بیشترین مقدار رسوبات بادی جمع‌آوری شده توسط رسوبگیرها در رخدادهای ۳ و ۴ و کمترین مقدار در طی رخداد ۱ ثبت شد. دلیل زیاد بودن مقدار رسوبات بادی طی رخدادهای ۳ و ۴، وزش بادهای شدید در مدت زمان بیشتری نسبت به بادهای با شدت کمتر و طولانی‌تر بودن زمان جمع‌آوری رسوبات در این رخدادها در مقایسه با دیگر رخدادها بیان کرد.

[1] Blowing dust
[2] Floating dust
[3] Dust storms

در رخداد سوم که مقدار رسوبات بادی بیشترین مقدار یعنی ۷۲۸/۰۴ $g\ cm^{-2}$ و تقریبا دو برابر مقادیر رسوبات دیگر رخدادها بود، بادهای شدید با سرعت m/s ۱۹-۱۵ از بیشترین مدت زمانی در بین رخدادهای مورد بررسی برخوردار بودند. در این رخداد مدت زمان ۷۲ ساعت برای طبقه باد شدید ثبت گردیده که نسبت به رخدادهای دیگر قابل ملاحظه بود. البته مدت زمان وزش بادهای با سرعت متوسط وخیلی شدید در این رخداد نسبت به سایر رخدادها نیز قابل‌ملاحظه بود. همچنین مدت زمان جمع‌آوری رسوبات در این رخداد بیشتر از سایر رخدادها بجز رخداد ۴ مشاهده گردید. بالا بودن زمان جمع‌آوری رسوبات و زمان وزش بادهای شدید مهمترین دلایل بالاتربودن رسوبات بادی در این رخداد نسبت به سایر رخدادها بود. زیاد بودن مقدار رسوبات بادی در رخداد ۴ برابر با ۳۳۵/۹۷ $g\ cm^{-2}$ به مدت زمان بیشتر وزش بادهای شدید یعنی ۳۰ ساعت و جمع‌آوری رسوبات یعنی ۱۲۹ ساعت در این رخداد در مقایسه با سایر رخدادها مرتبط بود. در این رخداد بادهای شدید از مدت زمانی بیشتری نسبت به رخدادهای ۱، ۲، ۵ و ۶ برخوردار بودند. در این رخداد علاوه بر اینکه مدت جمع‌آوری رسوبات خیلی بیشتر از سایر رخدادها بود، باد خیلی شدید در زمانی حدود ۹ ساعت وزیده که می‌تواند مهمترین علل بالا بودن مقدار رسوبات بادی در مقایسه با رخدادهای ۱، ۲، ۵ و ۶ باشد.

اگرچه طی رخداد ۱ باد خیلی شدید با سرعت ۲۰m/s از مدت زمان بیشتری در مقایسه با دیگر رخدادها برخوردار بود اما مقدار رسوبات در این رخداد نسبت به سایر رخدادها کمتر مشاهده گردید. دلیل این امر مدت کوتا جمع‌آوری رسوبات نسبت به دیگرموارد می باشد. اگرچه مدت زمان وزش بادهای شدید و خیلی شدید طی رخداد ۲ کمتر از رخداد ۱ بود اما مدت زمان جمع‌آوری رسوبات طی رخداد ۲ حدود ۱۲ ساعت بیشتر از رخداد ۱ بوده که این می‌تواند دلیل بیشتر بودن مقدار رسوبات در رخداد ۲ نسبت به رخداد ۱ باشد. این مشاهدات مبین آن است که زمان جمع‌آوری رسوبات نیز نقش مهمی در مقدار رسوبات دارد (۱۷). یکسان بودن مقدار رسوبات بادی در طی رخدادهای ۲ و ۶ نیز به مدت زمان وزش باد و جمع‌آوری رسوبات بادی در طی این رخدادها مرتبط است.

اگرچه مدت زمان جمع‌آوری رسوبات در رخداد ۶ حدود ۱۲ ساعت بیشتر از رخداد ۲ بود و همچنین بادهای شدید با سرعت ۱۹m/s-۱۵m/s حدود ۹ ساعت بیشتر نسبت به رخداد ۱ وزیدند، اما بادهای متوسط و خیلی شدید در رخداد ۲ در مدت بیشتری نسبت به رخداد ۶ وزیدند. زیاد بودن مقدار رسوبات در رخداد ۵ به مدت زمان جمع‌آوری رسوبات و زمان وزش بادهای شدید مرتبط می‌باشد. در این رخداد زمان جمع‌آوری رسوبات بیشتر از رخدادهای ۱، ۲ و ۶ بود. در این رخداد حدود ۲۸ ساعت بادهای شدید با سرعت بیشتر از ۱۵m/s و ۲۱m/s ساعت بادهای با سرعت متوسط با ۱۴m/s-۱۰m/s وزیدند.

همبستگی بین غلظت PM10 و مقدار کل رسوبات جمع‌آوری شده در کلیه ارتفاعات و بین غلظت PM_{10} و رسوبات جمع‌آوری شده در بالاترین ارتفاع‌ها یعنی ۵۰۰cm و ۷۰۰cm و پایین‌ترین ارتفاعات یعنی ۲۰cm و ۳۵cm (شکل ۱۱) نشان داد که مقدارهای PM_{10} به همان نسبت تغییر در رسوبات تغییر کردند. بعبارت دیگر مقادیر ذراتیکه قطر آنها کمتر از μ ۱۰۰ می باشند و در ارتفاعات بالا بصورت معلق حرکت می کنند به همان نسبت ذراتی که بصورت جهشی در نزدیکی سطح زمین حرکت می‌کنند تغییر می نمایند. سرعت باد یکی از پارامترهای مهم در شکل گیری توفان‌های گرد و غبار و انتقال رسوبات بادی می‌باشد (۲). با افزایش سرعت باد به بیش از سرعت آستانه، ذرات خاک به-راحتی منتقل می‌گردند و هرچه سرعت باد افزایش یابد و از آستانه فاصله بگیرد بر مقدار رسوبات منتقله افزوده می‌گردد. به‌طور کلی مقدار رسوبات حمل شده با توان سوم سرعت باد ارتباط مستقیم دارد (۲). بنابراین در رخدادهای مورد بررسی مقدار رسوبات در رخدادهایی بیشتر مشاهده گردید که سرعت باد در دامنهٔ بیشتری تغییرکرد. کاهش مقدار رسوبات با افزایش ارتفاع و تبعیت تغییر رسوبات با ارتفاع از یک تابع توانی منطبق با بررسی‌های قبلی بود (۳، ۸، ۱۰). اگر چه در برخی از پژوهش‌ها این تغییر از تابع نمایی تبعیت می‌کند (۶، ۱۵، ۱۷، ۲۹). این نوع تغییرات رسوبات بادی با ارتفاع در سطوح عاری از هر گونه زبری (پوشش گیاهی، کلوخه و غیره) دیده می‌شود. در سطوح پوشیده از زبری به دلیل تأثیر زبری

بر جریان هوا و رسوبات تغییرات رسوبات با ارتفاع از توابع ذکر شده تبعیت نمی‌کند (۱۵).

سپاسگزاری

پژوهش حاضر با حمایت مالی دانشگاه زابل با شماره پژوهانه ۴۶-۹۶۱۸ UOZ-GR انجام گرفت.

■ References

1. Baddock, M.C., Strong, C.L., Leys, J.F., Heidenreich, S.K., Tews, E.K. and McTainsh, G.H. (2014). A visibility and total suspended dust relationship. *Atmospheric Environment*, *89*, 329-336.
2. Bagnold, R.A. (1941). The physics of wind-blown sand and desert dunes. Methuen, London, pp. 265.
3. Burri, K., Gromke, C., Lehning, M. & Graf, F. (2011). Aeolian sediment transport over vegetation canopies: A wind tunnel study with live plants. *Aeolian Research*, *3* (2), 205-213.
4. Deng, X., Tie, X., Wu, D., Zhou, X., Bi, X., Tan, H., Li, F. & Jiang, C. (2008). Long-term trend of visibility and its characterizations in the Pearl River Delta (PRD) region, China. *Atmospheric Environment, 42* (7), 1424-35.
5. Dong, Z., Liu, X., Wang, H. & Wang, X. (2003). Aeolian sand transport: a wind tunnel model. *Sedimentary Geology*, *161*(1-2) 71-83.
6. Dong, Z., Lv, P., Zhang, Z., Qian, G. & Luo, W. (2012). Aeolian transport in the field: A comparison of the effects of different surface treatments. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *16*, 117(D9).
7. Dong, Z., Qian, G. (2007). Characterizing the height profile of the flux of wind-eroded sediment. *Environmental Geology*, *51* (5), 835-845.
8. Dong, Z., Man, D., Luo, W., Qian, G., Wang, J., Zhao, M., Liu, S., Zhu, G. & Zhu, S. (2010). Horizontal aeolian sediment flux in the Minqin area, a major source of Chinese dust storms. *Geomorphology*, *116* (1-2), 58-66.
9. Ekhtesasi, MR., Saremi Naeini, M.A., Jaganbakhshi, F. & Mirnejad, O. (2017). Introduction and Comparison of adsorption and maintenance effect of sediment trap by erosion model of Siphon Model III. *Fourth national conference of wind erosion and dust storms*. Yazd. Iran. (in Farsi).
10. Fryrear, D., Saleh, A., Bilbro, J., Schomberg, H., Stout, J. & Zobeck, T. (1998). Revised wind erosion equation (RWEQ). Wind erosion and Water Conservation Research Unit, USDA-ARS, Southern plains area cropping systems research laboratory. Technical Bulletin 1.
11. Karimzadeh, H. R. & Jalalian, A. (2002) Application of BSNE sampler to evaluate vertical distribution of wind eroded sediment in eastern Isfahan. *Water and Soil Science*, *6* (3), 121-139
12. Middleton, N.J. (2017). Desert dust hazards: a global review. *Aeolian Research*. *24*, 53–63.
13. Miri. A. (2020). Dust storms analysis in the Sistan region using DDI and DSI indices and wind speed, visibility and PM_{10} parameters. Accepted for publication in *Soil and Water Conservation* (in Farsi).
14. Miri, A., Dragovich, D. & Dong, Z. (2017). Vegetation morphologic and aerodynamic characteristics reduce aeolian erosion. *Scientific Reports*. *7*(1), 12831.
15. Miri, A., Dragovich, D. & Dong, Z. (2019). Wind-borne sand mass flux in vegetated surfaces–Wind tunnel experiments with live plants. *Catena*, *172*, 421-434.
16. Miri, A., Ahmadi, H., Ekhtesasi, MR., Panjehkeh, N., & Ghanbari, A. (2009). Environmental and socio-economic impacts of dust storms in Sistan region, Iran. *Environmental Studies*. *66* (3), 343-55.
17. Namikas, S.L. (2003). Field measurement and numerical modelling of aeolian mass flux distributions on a sandy beach. *Sedimentology*, *50*(2), 303-326.

18. Rashki, A, Rautenbach, CJdeW, Eriksson PG, Kaskaoutis, DG., & Gupta, P. (2013). Temporal changes of particulate concentration in the ambient air over the city of Zahedan, Iran. *Air Quality Atmospheric Health*, *6* (1), 123–35.

19. Rashki, A., Kaskaoutis, D.G., Rautenbach, C.D., Eriksson, P.G., Qiang, M. & Gupta, P. (2012). Dust storms and their horizontal dust loading in the Sistan region, Iran. *Aeolian Research*, *5*, 51-62.

20. Rashki, A., Kaskaoutis, D.G., Goudie, A.S., & Kahn, R.A. (2013). Dryness of ephemeral lakes and consequences for dust activity: The case of the Hamoun drainage basin, southeastern Iran. *Science of Total Environment*, *463*, 552-64.38.

21. Shahsavani, A., Naddafi, K., Haghighifard, N.J., Mesdaghinia, A., Yunesian, M., Nabizadeh, R., Arahami, M., Sowlat, M.H., Yarahmadi, M., Saki, H. & Alimohamadi, M. (2012). The evaluation of PM10, PM2. 5, and PM1 concentrations during the Middle Eastern Dust (MED) events in Ahvaz, Iran, from april through september 2010. *Arid environments*, *77*, 72-83.

22. Sterk, G., Parigiani, J., Cittadini, E., Peters, P., Scholberg, J. & Peri, P. (2012). Aeolian sediment mass fluxes on a sandy soil in Central Patagonia. *Catena*, *95*, 112-123.

23. Sistan and Balouchistan meteorological administrative. https://sbmet.ir/

24. Williams, P. and Young, M., 1999. Costing Dust: How much does wind erosion cost the people of South Australia. Policy and Economic Research Unit, CSIRO Land and Water: Canberra.

25. WHO, (2006). Air Quality Guidelines: Global Update 2005. World Health Organization, Copenhagen

26. Wu, Z. (1987). Aeolian geomorphology. Beijing: Science Press. (in Chinese).

27. Wang, S., Wang, J., Zhou, Z. & Shang, K. (2005). Regional characteristics of three kinds of dust storm events in China. *Atmospheric Environment*, *39*, 509-520

28. Wang, S., Yuan, W. & Shang, K. (2006). The impacts of different kinds of dust events on PM10 pollution in northern China. *Atmospheric Environment*, *40* (40), 7975-7982.

29. Yang, X., He, Q., Ali, M., Huo, W. & Liu, X. (2013). Near-surface sand-dust horizontal flux in Tazhong-the hinterland of the Taklimakan Desert. *Arid Land*, *5* (2), 199-206.

30. Yarmoradi, Z., Nasiri, B., Karampour, M. & Mohammadi, G. H. (2018). Analysis and clustering of dust storms in estern of Iran. *Desert Management*, *12*, 75-88. (in Farsi).

31. Zingg, A. & Chepil, W. (1950). Aerodynamics of wind erosion. *Agricultural Engineering*, *31* (6), 279-282.

No. 15, Spring & Summer, 2020, pp 121-138

Desert Management
www.isadmc.ir

Iranian Scientific Association of Desert Management and Control

Investigation of Vertical Distribution of Dust Storms Sediment Flux in Sistan Region

M. Rezaei Torshizi[1], A. Miri[2*]

1. MSc student, Department of Watershed and Range Management, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran.
2. Assistant professor, Department of Watershed and Range Management, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran.

* Corresponding Author: miri.abbas@uoz.ac.ir

Received date: 30/03/2020 **Accepted date: 10/06/2020**

Abstract

Prolonged drought has resulted in severe wind erosion and dust storms in Sistan region. Investigating wind erosion and dust storms is essential to control these Phenomena. Investigating the vertical distribution of aeolian sediment flux is important for assessing sediment transport, validating wind erosion models, and understanding the mechanism of particle movement. In this study, six dust storm events and vertical distribution of sediment flux within these events were studied during a period of four months of 2018 in Sistan. Recorded diurnal wind speed, visibility, and PM_{10} data at Zabol meteorological station were obtained for the study period. To obtain a vertical distribution of sediment flux, seven sediment samplers were installed at seven heights from 20- to 700 cm in the Niatak area of Sistan. Results indicated that the six dust storm events have been recognized to be severe, because wind speeds of 16-19 m/s have blown in a long period of the events, visibility was <1000 m most of the time, and PM_{10} increased >2000 µg m^{-3} and sometimes >8000| µg m^{-3}. The greatest sediment flux was observed in events 3 and 4 and least in event 3. Sediment flux was attributed to wind speed and durian of blowing wind speed. Sediment flux is greater in higher wind speeds and long events. There was a close relationship between recorded PM_{10} at Zabol station and collected sediment. There was a negative and power correlation between sediment flux and height.

Keywords: Wind erosion; Visibility; Wind speed; Niatak