

بررسی ارتباط دید افقی، فراوانی رخدادهای گردو خاک و غلظت PM10 در ایلام (۲۰۱۰-۲۰۲۰)

خدیجه پورش^۱، فریده عتابی^{۱*}، الهام مبارک حسن^۲

^۱ گروه مهندسی محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^۲ گروه محیط‌زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۱۶

چکیده

به منظور بررسی گردو خاک در ایلام که به دلیل مجاورت با کشور عراق و استان خوزستان در معرض توفان‌های گردو خاک فرامرزی و محلی است، داده‌های همدیدی و PM10 در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ تهیه شد. تعداد روزهای همراه با گردو خاک در بازه مورد نظر استخراج گردید. به منظور بررسی بیشتر تصاویر سنجنده MODIS، برون داد مدل HYSPLIT و داده‌های ERA5 نیز مورد استفاده قرار گرفتند.

نتایج نشان داد که کمترین دید افقی گزارش شده در ایلام با ۴۰۰ متر و بیشترین غلظت PM10 با ۲۹۴۵ میکروگرم بر مترمکعب در دوره سرد سال ثبت شده‌اند. در ایلام در سال ۲۰۱۸ بیشترین تعداد رویداد گردو خاک با بیشترین کاهش دید افقی رخ داده است. بیشترین فراوانی گردو خاک در ماه می و شدیدترین گردو خاک‌ها در ماه فوریه گزارش شده‌اند. ضریب همبستگی بین دید افقی و غلظت PM10 در رویدادهای گردو خاک از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰، ۰/۴۳- به دست آمد که بیان‌گر رابطه غیرخطی و تأثیر دیگر عوامل در رابطه بین آن دو را نشان می‌دهد. در سال‌های با فراوانی بیشتر گردو خاک مانند ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ بیشترین همبستگی بین غلظت PM10 و دید افقی به دست آمد در حالی که در سال‌های با تعداد رویداد گردو خاک کمتر این رابطه معنی‌دار نبود. در دوره سرد سال به‌ویژه در سال ۲۰۱۷ بادهای غرب و شمال غرب گردو خاک را از بیابان‌های عراق و بادهای جنوب و جنوب شرقی، گردو خاک‌های داخلی را از خوزستان به سوی ایلام انتقال داده‌اند.

کلمات کلیدی: گردو خاک، ایلام، دید افقی، PM10، مدل HYSPLIT

هواویزهای جوی در کیفیت هوا نقش مهمی دارند (علیزاده چوبری و همکاران، ۲۰۱۳؛ مانیسالییدی و همکاران، ۲۰۲۰). افزایش غلظت مجموع ذرات معلق^۱ منجر به افزایش آلودگی هوای می‌شود. آلودگی هوایی از مهم‌ترین شرایط محیطی است که تأثیر منفی مانند تغییرات شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی دارد.

تأثیر هواویزها بر کیفیت هوا و اثر آن بر سلامت انسان قابل توجه است زیرا باعث افزایش بیماری‌های قلبی-عروقی و تنفسی و افزایش مرگ‌ومیر می‌شود (چوئی و همکاران، ۲۰۱۱؛ تتر و همکاران، ۲۰۱۳؛ چراغی و همکاران، ۲۰۰۲؛ فرهادی پور و همکاران، ۲۰۱۷). از این رو بررسی وضعیت کیفیت هوا در مناطق شهری با جمعیت زیاد و یا شهرهای صنعتی ضروری است (کروکس فورد، ۱۹۹۶).

PM₁₀ بخشی از ترکیبات جو بوده و به‌عنوان یکی از انواع هواویزهای جوی شناخته می‌شود. ذرات معلق جوی با قطر آئرویدینامیکی کمتر از ۱۰ میکرومتر PM₁₀ نامیده می‌شود که یکی از مهم‌ترین شاخص‌های آلودگی هوا محسوب شده و نسبت به دیگر آلاینده‌های جوی بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد (وانگ و همکاران، ۲۰۱۰).

PM₁₀ به دلیل قطر آئرویدینامیکی کمتر از ۱۰ میکرومتر، از طریق دهان یا بینی وارد فرآیند تنفسی شده (وانگ و همکاران، ۲۰۱۰) و اثر نامطلوب آن بر سلامت انسان مانند مشکلات تنفسی و قلبی و عروقی مشاهده شده است (بنت و همکاران، ۲۰۱۹؛ چن و همکاران، ۲۰۱۹). تغییر مکانی و زمانی و همچنین نمایش و ارزیابی بلندمدت PM₁₀ در مدیریت ریسک سلامت عمومی نقش مهمی دارد (وانگ و کریستوفر، ۲۰۰۳).

منابع تولید کننده هواویزها و PM₁₀ طیف گسترده‌ای از پدیده‌های طبیعی و انسانی را شامل می‌شود (تتر و

همکاران، ۲۰۱۳). از جمله نمک دریا، انتشار حاصل از سوخت بنزین و گازوئیل در حمل‌ونقل، ساخت‌وساز، سوزاندن گیاه یا مزرعه، فعالیت‌های صنعتی، گردوغبار ناشی از حمل‌ونقل جاده‌ای، دود ناشی از آتش‌سوزی جنگل‌ها، مراتع، فعالیت‌های آتش‌فشانی، شن‌های روان و گردوخاک را می‌توان اشاره نمود (علیزاده چوبری و همکاران، ۲۰۱۶؛ اوزدمیر و همکاران، ۲۰۱۸؛ سرکار و همکاران، ۲۰۱۹). این ذرات می‌توانند تا فاصله‌های بسیار زیادی از منشأ شکل‌گیری حرکت نمایند، بنابراین حتی ممکن است منجر به افزایش غلظت PM₁₀ در مناطق روستایی شوند. از این رو در کشورهایی که در دهه‌های اخیر رشد صنعتی سریعی داشته‌اند، فرآیند صنعتی شدن، شهرنشینی و رشد جمعیت منجر به کاهش کیفیت هوا در آن مناطق یا در کشورهای مجاور شده است (مانیسالییدی و همکاران، ۲۰۲۰).

گردوخاک یکی از انواع هواویزها بوده و در افزایش غلظت PM₁₀ نقش مؤثری دارد (شاهسونی و همکاران، ۲۰۱۲). ذرات گردوخاک به دلیل پوشش گیاهی تنک، کمبود رطوبت خاک و افزایش سرعت باد از سطح مناطق خشک و بیابانی جهان به جو انتقال می‌یابند.

از آنجا که عوامل دیگری علاوه بر گردوخاک جز منابع تولید کننده PM₁₀ هستند، غلظت گردوخاک و PM₁₀ یکسان نیست. غلظت PM₁₀ توسط ایستگاه‌های زمینی سنجش کیفیت هوا اندازه‌گیری می‌شود، اما غلظت گردوخاک به‌طور مستقیم اندازه‌گیری نمی‌شود، بنابراین تغییرات غلظت PM₁₀ معرف تغییرات گردوخاک در جو است (آلمدیا، ۱۹۸۶؛ دایان و همکاران، ۲۰۰۸؛ محمد و همکاران، ۱۹۹۲).

کاهش دید افقی در ایستگاه‌های هواشناسی نیز معیاری برای بیان شدت گردوخاک است (عالی

¹ Total Suspended Particulates (TSP)

محمودی سراب و همکاران، ۱۳۹۷). افزایش غلظت و اندازه ذرات معلق در هوا موجب تضعیف بیشتر نور خورشید شده که منجر به کاهش دید افقی می‌شود. بنابراین، دید افقی و غلظت PM₁₀ باهم مرتبط بوده و رابطه غیرخطی دارند (کمینو و همکاران، ۲۰۱۵؛ جادگر و همکاران، ۲۰۱۴). این رابطه به‌ویژه زمانی قوی‌تر می‌شود که افزایش ذرات معلق گردو خاک منجر به افزایش غلظت PM₁₀ شوند (چانگ و همکاران، ۲۰۰۳). لازم به توضیح است که علاوه بر ذرات معلق در هوا، برخی از پدیده‌های جوی مانند مه و بارش نیز ممکن است دید افقی را کاهش دهند. بنابراین، تخمین غلظت PM₁₀ بر اساس دید افقی عموماً در جو خشک‌تر دقیق‌تر است، در حالی که در فصول مرطوب، به دلیل رطوبت نسبتاً بالا، تخمین غلظت PM₁₀ دقت کمتری دارد (چانگ و همکاران، ۲۰۰۳). بررسی رابطه بین متغیرهای آب و هوایی شامل دمای هوا (بیشینه، متوسط و کمینه)، رطوبت نسبی (بیشینه، متوسط و کمینه)، بارندگی روزانه، دید افقی، جهت و سرعت باد با PM₁₀ در اهواز نشان داد که PM₁₀ با ۰/۳۸- بیشترین ضریب همبستگی را با دید افقی دارد (عالی محمودی سراب و همکاران، ۱۳۹۷) به‌این ترتیب مهم‌ترین متغیر تأثیرگذار در برآورد میزان PM₁₀ دید افقی است.

شهر ایلام به دلیل مجاورت با کشور عراق و همچنین نزدیکی به بیابان‌های سوریه و عربستان تحت تأثیر گردو خاک‌های فرامرزی است (بلورانی و همکاران، ۲۰۱۴؛ گریوانی و همکاران، ۲۰۱۱؛ قاسمی و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین بخش‌های غرب و جنوب غرب استان چشمه‌های داخلی گردو خاک ایلام هستند (احمدی مولوردی و همکاران، ۲۰۲۲؛ رنجبر و همکاران، ۲۰۱۹). علاوه بر آن گردو خاک از چشمه‌های داخلی استان خوزستان از جنوب به سمت ایلام انتقال می‌یابد (احمدی مولوردی و همکاران، ۲۰۲۲؛ صحت کاشانی و همکاران، ۲۰۲۳).

در ارتباط با گردو خاک، PM₁₀ و آلودگی هوا در شهر ایلام مطالعاتی انجام شده است. از جمله می‌توان به بررسی غلظت PM₁₀ (عمارلویی و همکاران، ۱۳۹۳)، بررسی تعداد روزهای گردو خاک (امیدی پور و همکاران، ۱۳۹۵) و همچنین بررسی اثر گردو خاک بر سلامت (حیدری و همکاران، ۱۳۹۸) اشاره کرد. در مطالعه انجام شده توسط عمارلویی و همکاران (۱۳۹۳) در ایلام با اندازه‌گیری مقدار PM₁₀ های موجود در هوا از اسفند ۱۳۹۱ تا اسفند ۱۳۹۲، میانگین و بیشترین مقدار ساعتی PM₁₀، به ترتیب ۱۴۶، ۱۹۵۸/۹ میکروگرم بر مترمکعب به دست آمد. علاوه بر آن بیشترین مقدار PM₁₀ در خردادماه تعیین شد. مطالعه امیدی پور و همکاران (۱۳۹۵) نشان داد که از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ تعداد روزهای گردو خاک در ایلام افزایش یافته است. در طی دوره آماری ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵ شیب روند رخ داد گردو خاک در ایلام با ضریب ۰/۸ افزایشی بوده و رابطه معنی‌داری بین رخ داد گردو خاک و مراجعه کننده‌های بیماری‌های تنفسی به دست آمد (حیدری و همکاران، ۱۳۹۸).

با توجه به بررسی مطالعات پیشین، گرچه آلودگی هوا و گردو خاک در شهر ایلام از دیدگاه‌های متفاوتی مانند منشأ یابی، ساختار همدیدی، غلظت PM و اثر گردو خاک بر سلامت مورد بررسی قرار گرفته است (امیدی پور و همکاران، ۱۳۹۵؛ حیدری و همکاران، ۱۳۹۸؛ رنجبر و همکاران، ۲۰۱۹؛ صحت کاشانی و همکاران، ۲۰۲۳؛ عمارلویی و همکاران، ۱۳۹۳)، ولی ارتباط بین PM₁₀ و دید افقی در گردو خاک‌های این شهر تحقیق نشده است. علاوه بر آن سازوکار گردو خاک‌های شدید به‌خوبی شناخته نشده است. به همین دلیل در تحقیق حاضر به بررسی بلندمدت فراوانی گردو خاک، دید افقی و PM₁₀ پرداخته شده و رابطه بین آن‌ها تحقیق شده است. علاوه بر آن دو رویداد گردو خاک در دوره سرد سال انتخاب شده و سازوکار انتشار و انتقال گردو خاک به

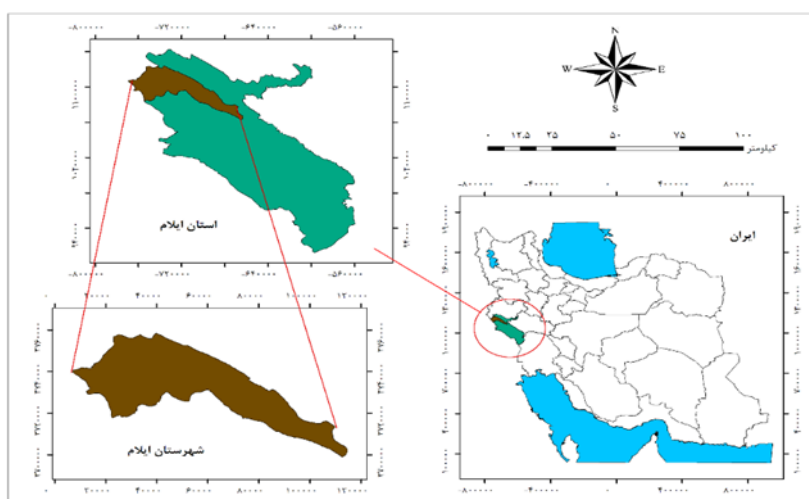
ایلام مورد بررسی قرار گرفت. همچنین تغییرات دید افقی و PM_{10} در این دو رویداد تحلیل شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهر ایلام به دلیل قرار گرفتن در نزدیکی چشمه‌های گردوخاک کشورهای همسایه، هر ساله دست‌خوش توفان‌های گردوخاک می‌شود. استان ایلام واقع در غرب ایران با کشور عراق مرز مشترک دارد (شکل). صنایع نفت و گاز، معدن کانی‌های غیرفلزی، دامداری و کشاورزی پایه‌های اقتصادی ایلام را تشکیل می‌دهد. شهر ایلام مرکز استان ایلام با جمعیت برابر با ۱۹۴,۰۳۰

نفر (سرشماری سال ۱۳۹۵) و با مساحت ۶۷/۲۱۲۸۰۴ هکتار در شمال غرب استان ایلام قرار دارد. شهر ایلام در حصار از کوه‌ها و ارتفاعات جنگلی واقع شده و از شمال به کوه‌های شنه‌چیر، از شرق به کوه‌های شلم، از غرب به کوه قلاقران و نهایتاً رشته کوه کبیرکوه در جنوب منتهی می‌شود. بلندترین نقطه استان قله کان صیفی در کبیرکوه با ارتفاع ۳۰۶۲ متر از سطح دریا در این شهرستان واقع شده است و کم ارتفاع‌ترین نقطه شهرستان ۱۹۶ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. مانشت، سیاه‌کوه و گچان از کوه‌های مهم این شهرستان به شمار می‌آیند. شکل موقعیت جغرافیایی شهر ایلام را نشان می‌دهد.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی شهر ایلام

داده‌ها

داده‌های دیدبانی و کنترل کیفی شده سمت و سرعت باد ده متری، دید افقی و کد پدیده برای ایستگاه همدیدی ایلام در دوره آماری ۲۰۲۰-۲۰۱۰ از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. داده‌های گزارش شده در ایستگاه‌های همدیدی، معیار اصلی شناسایی تاریخ وقوع گردوخاک هستند. داده‌های دیدبانی‌های دید افقی و کد پدیده در ایستگاه همدیدی ایلام که در این پژوهش مورداستفاده قرار گرفته، هر سه ساعت یک‌بار گزارش می‌شوند. در

هنگام رویداد گردوخاک، دید افقی کاهش می‌یابد. هرچه شدت گردوخاک بیشتر باشد، دید افقی کاهش بیشتری دارد. دو کد پدیده حاضر ۶ و ۷ معرف گردوخاک برخاسته در خارج و داخل ایستگاه هواشناسی بوده و به ترتیب نشان‌دهنده گردوخاک فرامرزی و محلی هستند.

در تحقیق حاضر داده‌های غلظت PM_{10} از ایستگاه سنجش آلودگی هوای سازمان حفاظت محیط‌زیست شهر ایلام برای دوره آماری ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ تهیه شد. این

انتخاب روزهای همراه با گردوخاک، هم‌زمان سه عامل کد پدیده، دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر و همچنین انتخاب یک گزارش در طول یک روز در نظر گرفته می‌شود (Zhang و همکاران، ۲۰۱۷).

با استفاده از سرعت و جهت باد ده متری، در زمان وقوع گردوخاک از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰، گل باد ترسیم شد تا بتوان سرعت و جهت باد غالب را در زمان وقوع پدیده گردوخاک بررسی نمود.

در گام بعدی پس از انتخاب روزهای همراه با گردوخاک، برای هر سال و هر ماه، میانگین ماهانه و سالانه محاسبه شد. درصد فراوانی ماهانه رخداد گردوخاک، از تقسیم تعداد گزارش‌های گردوخاک در هر ماه بر کل روزهای همراه با گردوخاک محاسبه شده و با ضرب در ۱۰۰ به‌عنوان فراوانی نسبی شناخته می‌شود (مبارک حسن و علیزاده، ۲۰۲۲). درصد فراوانی سالانه رخداد گردوخاک نیز از تقسیم تعداد روزهای همراه با گردوخاک در هر سال بر کل روزهای همراه با گردوخاک ضرب در ۱۰۰ به دست آمد.

در بخش دیگر فراوانی تکرار گردوخاک در آستانه‌های مختلف دید افقی تعیین شده و درصد فراوانی گروه‌های مختلف گردوخاک مشخص شد. بر اساس گزارش‌های سازمان جهانی هواشناسی^۲، پدیده گردوخاک بر اساس دید افقی به چهار گروه تقسیم می‌شود (کوواس آگولو، ۲۰۱۳) که در جدول (۱) به آن‌ها اشاره شده است.

داده‌ها در بازه زمانی یک‌ساعته در دسترس هستند. در بررسی‌های انجام شده مشخص شد که سری زمانی PM₁₀ کامل نبوده و بنا به دلایل متفاوت داده‌ها در بازه‌های زمانی مختلف اندازه‌گیری و یا ثبت نشده‌اند. تغییر غلظت داده‌های PM₁₀ تا حدودی می‌تواند بیان‌گر شدت گردوخاک باشد.

داده‌های ERA5

به‌منظور تحلیل هم‌پدیدی شدیدترین گردوخاک ایلام، الگوی فشار سطح دریای آزاد (هکتوپاسکال)، ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال (دکامتر da)، سمت و سرعت باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و واگرایی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، از داده‌های پنجمین باز تحلیل داده‌های جوی و اقلیمی جهانی^۱ تهیه شد. این داده‌ها در بازه زمانی یک‌ساعته، در تفکیک مکانی 0.25° افقی در ۳۷ تراز عمودی جو از تراز ۱۰۰۰ تا ۱ هکتوپاسکال از سال ۱۹۵۰ در دسترس هستند (<https://cds.climate.copernicus.eu>). نقشه‌ها توسط نرم‌افزار Grads ترسیم شده‌اند.

روش کار

معیار وقوع گردوخاک

معیار انتخاب گزارش پدیده گردوخاک کد هوای حاضر ۰۶ و ۰۷ همراه با کاهش دید افقی به کمتر از ۱۰۰۰ متر در ایستگاه هم‌پدیدی ایلام، به‌عنوان گزارش گردوخاک در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه کد پدیده و دید افقی هر سه ساعت یک‌بار گزارش می‌شود، در طول یک روز ۸ داده در دست است. بنابراین برای

2- World Meteorological Organization(WMO)

1- Fifth generation ECMWF reanalysis for the global climate and weather (ERA5)

جدول (۱): طبقه‌بندی گردو خاک بر اساس دید افقی (کوواس آگولو، ۲۰۱۳)

گردو خاک	شرح پدیده	دید افقی (Visibility) بر حسب متر
گردو خاک معلق Suspended dust	گردو خاک معلق در هوا که در نزدیکی ایستگاه و در زمان مشاهده بر نخواسته است.	Vis < ۱۰۰۰
گردو خاک وزشی Blowing Dust	گردو خاک یا شن که در زمان مشاهده بر خواسته و دید افقی را بین ۱ تا ۱۰ کیلومتر کاهش می‌دهد.	۱۰۰۰ < Vis < ۱۰۰۰۰
توفان گردو خاک Dust Storm	بادهای شدید که منجر به صعود ذرات بزرگ خاک شده و دید افقی را بین ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ متر کاهش می‌دهند.	۲۰۰ < Vis < ۱۰۰۰
گردو خاک خیلی شدید Severe Dust Storm	بادهای بسیار شدید که ذرات بسیار بزرگ خاک را به هوا انتقال داده و دید را به کمتر از ۲۰۰ متر کاهش می‌دهند.	Vis < ۲۰۰

ایلام انتخاب و تحلیل‌های همدیدی انجام شد. این دو رویداد در روزهای ۲ فوریه ۲۰۱۷ و ۳۰-۲۹ اکتبر ۲۰۱۷ رخ داده‌اند. در تاریخ ۲ فوریه ۲۰۱۷، کمترین دید افقی ۴۰۰ متر در ایلام گزارش شده و در ۲۹ و ۳۰ اکتبر ۲۰۱۷، بیشترین غلظت PM₁₀ ثبت شده است. به این ترتیب این دو رویداد با کمترین دید افقی و بیشترین غلظت PM₁₀ در پاییز و زمستان سال ۲۰۱۷ ایلام را تحت تأثیر قرار داده‌اند. با استفاده از داده‌های ERA5، الگوی فشار سطح دریای آزاد، ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال، میدان باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و میدان واگرایی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال توسط نرم‌افزار Grads ترسیم شده و سپس نقشه‌ها تحلیل شدند.

همچنین به منظور شناسایی کانون شکل‌گیری گردو خاک از تصاویر مرئی سنجنده مودیس^۵ استفاده شد. سنجنده مودیس بر روی ماهواره‌های ترا^۶ و آکوا^۷ نصب شده است. در تحقیق حاضر تصاویر ماهواره ترا برای روز ۲ فوریه ۲۰۱۷ و ۳۱ اکتبر ۲۰۱۷ تهیه شد. زمان عبور ماهواره ترا و آکوا از نزدیکی ایران به ترتیب در ساعت ۱۰:۳۰ صبح و در ۱۳:۳۰ بعد از ظهر است.

مدل HYSPLIT

یکی از مدل‌های پرکاربرد برای مطالعه انتشار و

در بخش بعدی به منظور بررسی رابطه دید افقی و PM₁₀ سری زمانی مشترک آن دو آماده شد. داده‌های PM₁₀ تهیه شده از سازمان حفاظت محیط‌زیست از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ کامل نبوده و در بازه‌های زمانی مختلفی هیچ داده‌ای ثبت نشده است. برای تعیین بازه مشترک، تاریخ‌های مدنظر قرار گرفت که گزارش گردو خاک و داده PM₁₀ در دسترس بودند که در مجموع ۳۰۸۲ داده به دست آمد. رابطه بین دید افقی و PM₁₀ به کمک ضریب همبستگی اسپیرمن در کل سری داده و هر سال به طور جداگانه محاسبه شد. از آن جا که ارتباط دید افقی و PM₁₀ تحت تأثیر عوامل دیگری به جز گردو خاک قرار دارد، رابطه بین آن دو توسط ضریب همبستگی اسپیرمن تحقیق شد.

$$r = 1 - 6 \sum \frac{d^2}{N(N^2-1)} \quad (1)$$

r معرف ضریب همبستگی و d معرف رتبه آماری^۴ هستند. مقدار ضریب همبستگی بیش از ۰/۵ معرف رابطه مثبت و قوی و مقدار کمتر از ۰/۵- بیانگر رابطه منفی و قوی بین دو متغیر است. محاسبه این بخش توسط نرم‌افزار OriginPro انجام شد.

در بخش سوم به منظور شناسایی سازو کار شکل‌گیری و منشأ انتشار گردو خاک، دو رویداد گردو خاک در

^۶-TERRA

^۷-AQUA

^۴ - Statistical rank

^۵ - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

دید افقی و درصد فراوانی رخداد گردو خاک در ایلام در دوره آماری ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ در شکل ارائه شده است. میانگین تغییرات دید افقی در حدود ۶ تا ۸ کیلومتر متغیر است. مقدار کمینه آن در سال ۲۰۱۰ با ۶۴۶۷ متر و بیشترین مقدار آن در سال ۲۰۱۹ با ۷۷۸۸ متر به دست آمد. روند تغییرات سالانه میانگین دید افقی تغییرات بارزی را از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ نشان نمی‌دهد. گرچه روند افزایشی ناچیزی دیده می‌شود، اما این روند معنادار نیست.

بیشترین درصد فراوانی رخداد گردو خاک در ایستگاه ایلام (شکل الف) در سال ۲۰۱۸ با ۱۸/۷۹ درصد و کمترین درصد رخداد گردو خاک در سال ۲۰۱۹ با ۲/۱۰ درصد بوده است. روند فراوانی گردو خاک از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ افزایشی بوده اما از سال ۲۰۱۸ به ۲۰۱۹ کاهش قابل توجهی داشته است. امیدی پور و همکاران (۱۳۹۵) به روند افزایشی گردو خاک در ایلام در طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ و (حیدری و همکاران، ۱۳۹۸) نیز به روند افزایشی گردو خاک در طی سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵ اشاره نموده‌اند. یکی از دلایل تفاوت نتیجه تحقیق حاضر با دو تحقیق یادشده، تفاوت دوره آماری انتخابی است.

نکته قابل توجه در سال ۲۰۱۸ آن است علاوه بر افزایش فراوانی گردو خاک، کمترین میانگین دید افقی نیز ثبت شده است که بیانگر افزایش تعداد و شدت گردو خاک است. در سال ۲۰۱۳ نیز افزایش تعداد و شدت گردو خاک دیده می‌شود. در سال ۲۰۲۰ گرچه فراوانی گردو خاک کمتر از ۵ درصد است؛ اما با کاهش میانگین دید افقی می‌توان نتیجه گرفت که شدت گردو خاک‌ها بیش از سال ۲۰۱۹ بوده است.

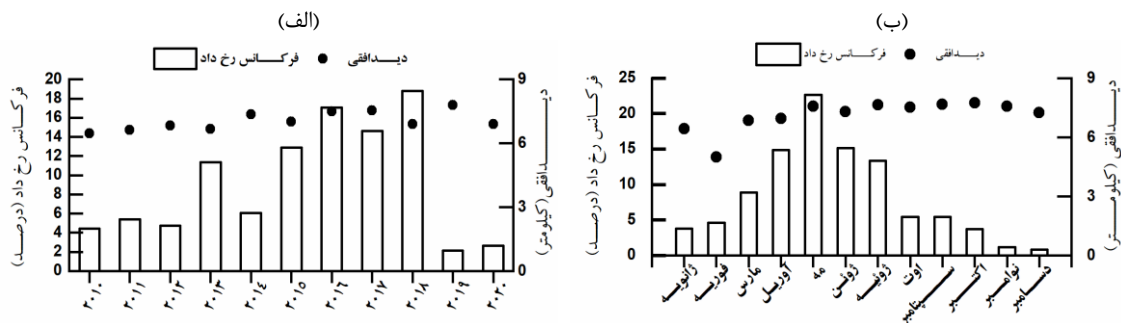
انتقال گردو خاک مدل HYSPLIT است. این مدل توسط مرکز تحقیقات جوی نوا^۸ (ARL) طراحی شده است. این مدل، سامانه تلفیق یافته‌ای است که برای محاسبه و شبیه‌سازی انتشار، مسیر حرکت و ته‌نشینی ذرات معلق جوی و به‌ویژه گردو خاک طراحی شده است. این مدل بر اساس مدل لاگرانژ (مکانیک سیالات) پی‌ریزی شده است و دربرگیرنده روابط و معادلات متعدد برای محاسبه پارامترهای مختلف مؤثر شبکه در شبیه‌سازی انتقال هواویزها است (شان و همکاران، ۲۰۰۹). بر اساس توصیف دراکسلر مدل HYSPLIT مدل دوگانه برای محاسبات خط سیر، پراکندگی و شبیه‌سازی نهشت با استفاده از رویکرد پاف^۹ و ذرات است. در این مدل محاسبه مسیر و غلظت آلاینده با استفاده از کمیت‌های هواشناسی انجام می‌شود. روش محاسبه مدل مذکور، ترکیب دیدگاه اوپلری (تعیین مجموع غلظت ذرات در هر شبکه در طول مسیر) و لاگرانژی (تعیین غلظت ذرات با استفاده از سازوکار پخش و انتقال) است و به همین دلیل HYSPLIT را مدلی دوگانه یا هیبرید می‌نامند (دراکسلر، ۱۹۹۹). مدل آنلاین HYSPLIT نیز برای مسیر پس‌گردی حرکت ذره منتهی به شهر ایلام در تراز ۱۰۰۰ متری اجرا شد. در اجرای مدل دو مسیر حرکت ذره، در بازه ۶ تا ۲۴ ساعته در نظر گرفته شد. به کمک نرم‌افزار GIS، مسیر HYSPLIT بر تصویر سنجنده مودیس منطبق شد.

بحث و نتایج

رخداد گردو خاک در بازه ۲۰۲۰-۲۰۱۰ میانگین دید افقی و درصد فراوانی دو ویژگی شدت و فراوانی گردو خاک را معرفی می‌نمایند. تغییرات سالانه

^۹- Puff

^۸- Air Resources Laboratory



شکل (۳): (الف) تغییرات میانگین سالانه دید افقی برحسب کیلومتر و درصد فراوانی گردو خاک، (ب) تغییرات میانگین ماهانه دید افقی برحسب کیلومتر و درصد فراوانی رخداده گردو خاک در شهر ایلام، در دوره آماری ۲۰۱۰-۲۰۲۰

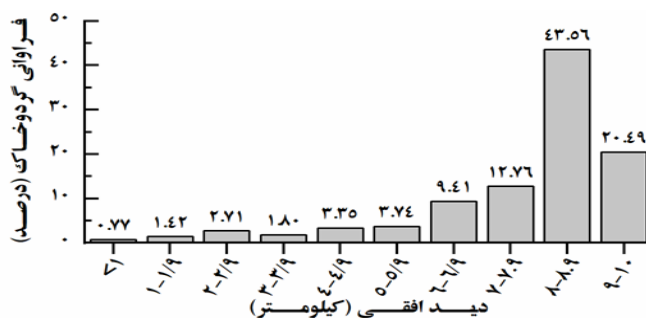
کمترین فراوانی وقوع گردو خاک با ۶ درصد و کمترین میانگین دید افقی به دست آمد که نشان می‌دهد؛ تعداد وقوع گردو خاک در ماه فوریه قابل توجه نبوده، اما شدت گردو خاک زیاد است.

فراوانی رخداده گردو خاک در آستانه‌های مختلف دید افقی در دوره آماری ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ در شهر ایلام در شکل ۴ نمایش داده شده است. بیشترین درصد رخداده گردو خاک با ۴۳/۵۶ در دید افقی با آستانه ۸ تا ۸/۹ کیلومتر به دست آمد. همچنین کمترین فراوانی رخداده گردو خاک با ۰/۷۷ درصد در دید افقی با آستانه کمتر از ۱ کیلومتر تعیین شد. دید افقی کمتر از ۱ کیلومتر معرف گردو خاک شدید است که در ایلام کمتر از یک درصد است به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که در ایلام گردو خاک‌های شدید بندرت رخ می‌دهند. با توجه به آستانه دید افقی (شکل ۴) و گروه بندی گردو خاک (جدول ۱) بیشترین تکرار گردو خاک در ایلام از نوع گردو خاک معلق هستند.

تغییرات ماهانه میانگین دید افقی و درصد فراوانی رخداده گردو خاک در ایلام در دوره آماری ۲۰۱۰-۲۰۲۰ در شکل ب دیده می‌شود. میانگین ماهانه دید افقی بین ۵ تا ۸ کیلومتر متغیر است. مقدار کمینه آن در ماه فوریه با ۴۹۸۳ متر و بیشترین مقدار آن در ماه اکتبر با ۷۷۵۱ متر دیده می‌شود. تغییرات فراوانی رخداده گردو خاک در طی ماه‌های سال روندی سینوسی داشته و از ماه ژانویه تا مه افزایش و پس از آن کاهش می‌یابد. بیشترین درصد فراوانی رخداده گردو خاک در ایلام در ماه مه با ۱۸/۱۳ درصد و کمترین درصد رخداده گردو خاک در ماه دسامبر با ۱/۰۴ درصد مشاهده می‌شود.

در تحقیق (عمارلویی و همکاران (۱۳۹۳) بیشینه PM_{10} در ایلام در ماه خرداد تعیین شد. نتیجه به دست آمده از تحقیق عمارلویی بر اساس داده‌های یک سال بوده به دست آمده است، در حالی که بازه زمانی تحقیق حاضر ۱۱ سال است.

نکته قابل توجه شرایط ماه فوریه است. در این ماه

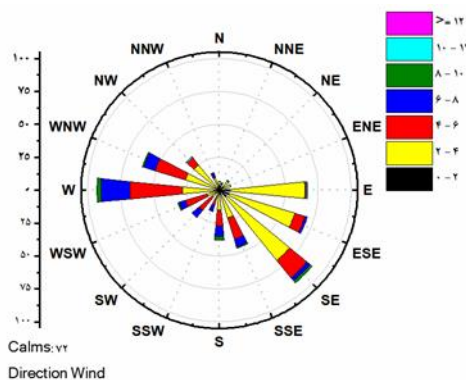


شکل (۴): درصد فراوانی رخداده گردو خاک در آستانه‌های مختلف دید افقی برحسب کیلومتر در شهر ایلام، در دوره آماری ۲۰۱۰-۲۰۲۰

گل باد در هنگام وقوع گردوخاک در ایستگاه ایلام از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ ترسیم شده است (شکل). باد غالب در دو جهت یکی از غرب و شمال غرب و دیگری از جهت شرق تا جنوب شرقی می‌وزد. جهت باد غالب نشان می‌دهد که گردوخاک ایلام تحت تأثیر بادهای غربی بوده و توده‌های گردوخاک فرامرزی از عراق و سوریه به سوی ایلام انتقال می‌یابند. عمارلویی و همکاران (۱۳۹۳) و (صحت کاشانی و همکاران، ۲۰۲۳) نیز بادهای غالب ایلام را غرب و شمال غرب برشمرده‌اند.

جهت شرق و جنوب شرق در گل باد، بیان‌گر تأثیر گردوخاک‌های انتقال‌یافته از مناطق جنوبی (استان

خوزستان) بوده (صحت کاشانی و همکاران، ۲۰۲۳) و یا به دلیل استقرار کوه‌های مرتفع در بخش شرقی استان، مسیر حرکت توده گردوخاک دستخوش تغییر جهت می‌شود. بیشترین فراوانی سرعت باد غالب در راستای شرق و جنوب شرق ۲-۴ متر بر ثانیه بوده و بیشترین فراوانی سرعت باد در راستای غرب و شمال غرب در محدوده ۴-۶ متر بر ثانیه است. بیشترین سرعت باد ۸-۱۰ متر بر ثانیه در راستای غربی می‌وزد. به این ترتیب گردوخاک‌های فرامرزی با سرعت باد بیشتر در راستای غرب و شمال غرب به سوی ایلام انتقال می‌یابند. درحالی‌که گردوخاک‌های داخلی با سرعت باد کمتری در جهت جنوب شرق و شرق به شهر ایلام می‌رسند.



شکل (۵): گل باد در هنگام وقوع گردوخاک در شهر ایلام ۲۰۱۰-۲۰۲۰

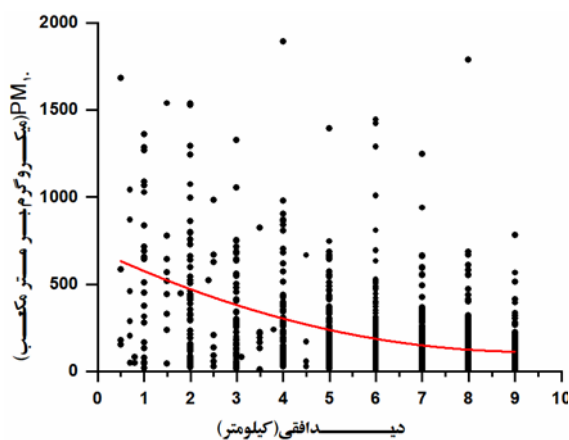
رابطه دید افقی و PM_{10} در زمان وقوع

گردوخاک

داده‌های دید افقی و PM_{10} از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ در زمان وقوع گردوخاک در شکل نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، رابطه بین آن دو خطی نیست. به این معنا که به ازای کاهش یک مقدار مشخص دید افقی، مقدار غلظت PM_{10} با مقدار یکسانی افزایش نمی‌یابد. به رابطه غیرخطی دید افقی و PM_{10} در شهر اهواز در تحقیق مبارک حسن و علیزاده (۲۰۲۲) اشاره شده است. به طوری‌که در دید افقی کمتر از ۳ کیلومتر افزایش مقدار غلظت PM_{10} به طور توانی تغییر نموده و در دید افقی کمتر از ۵۰۰ متر رابطه بین آن دو

نمایی بوده است.

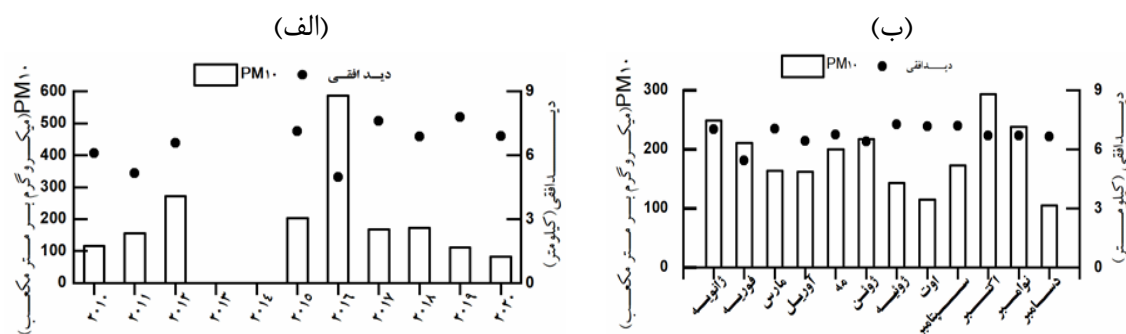
ضریب همبستگی بین دید افقی و PM_{10} در کل بازه زمانی مورد مطالعه، ۰/۴۳- به دست آمد. علامت منفی بیان‌گر رابطه معکوس بین دید افقی و PM_{10} است. ضریب همبستگی مقداری کمتر از ۰/۵- داشته و بیان‌گر رابطه ضعیف آن دو است. از جمله دلیل آن می‌توان به نقش عوامل دیگر در رابطه بین آن دو اشاره نمود زیرا علاوه بر گردوخاک، فعالیت‌های شهری و صنعتی بر مقدار PM_{10} تأثیر دارند. علاوه بر آن که ضریب همبستگی بین دید افقی و PM_{10} در ایلام با ۰/۴۳- نسبت به مقدار ۰/۳۸- به دست آمده در اهواز (عالی محمودی



شکل (۶): رابطه بین دید افقی برحسب کیلومتر و PM_{10} برحسب میکروگرم بر مترمکعب، در زمان وقوع گردوخاک در شهر ایلام در طی دوره ۲۰۱۰-۲۰۲۰

به دلیل فقدان داده نمی توان روند تغییرات مشخصی را برای PM_{10} تعیین نمود، اما از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۲ روندی افزایشی دیده می شود.

تغییرات سالانه میانگین دید افقی و غلظت PM_{10} در بازه زمانی مشترک در شکل الف ارائه شده است. در سال های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ به دلیل عدم ثبت داده PM_{10} ، شرایط گردوخاک نیز در نظر گرفته نشده است. گرچه



شکل (۷): الف) میانگین سالانه دید افقی برحسب کیلومتر و غلظت PM_{10} برحسب میکروگرم بر مترمکعب، ب) میانگین ماهانه دید افقی برحسب کیلومتر و غلظت PM_{10} برحسب میکروگرم بر مترمکعب در شهر ایلام در طی دوره ۲۰۱۰-۲۰۲۰

نشان نمی دهد (شکل ۷ الف). در سال ۲۰۱۶ کمترین دید افقی با بیشترین غلظت PM_{10} هماهنگ است که بیانگر رابطه خوب بین آن دو است.

در توزیع ماهانه میانگین PM_{10} خط روند مشخصی دیده نمی شود (شکل ۷ ب)، اما از ژانویه تا مارس و آوریل روند کاهشی و پس از آن تا ژوئن روند افزایشی است.

بیشترین مقدار میانگین PM_{10} در سال ۲۰۱۶ با ۶۰۰ میکروگرم بر مترمکعب به دست آمده (شکل ۷ الف) و پس از آن تا سال ۲۰۲۰ مقدار آن کاهش یافته است. به این ترتیب به نظر می رسد از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۶ مقدار PM_{10} افزایش یافته و پس از آن روند کاهش داشته است. تغییرات سالانه میانگین دید افقی نیز روند مشخصی را

نایابداری، بسته هوا به آسانی جابه جاشده و هوای آلوده به مناطق دیگر انتقال می یابد که به کاهش غلظت PM₁₀ منجر می شود.

در ادامه همبستگی بین PM₁₀ و دید افقی مشاهداتی در ایلام در هر سال به طور جداگانه محاسبه شد (

سال عامل مهمی در کاهش ضریب همبستگی است. به این ترتیب در سال هایی که فراوانی رخ داد گردو خاک افزایش می یابد، رابطه معناداری بین دید افقی و PM₁₀ به دست می آید. در حالی که در سال های با تعداد کمتر گردو خاک این ارتباط معنی دار نیست. کاهش فراوانی گردو خاک در برخی از سال ها را می توان یکی از دلیل های کاهش ضریب همبستگی بین دید افقی و غلظت PM₁₀ دانست.

جدول (۲): همبستگی بین غلظت PM₁₀ و دید افقی مشاهداتی در ایلام در سال های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰

سال	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۵	۲۰۱۶	۲۰۱۷	۲۰۱۸	۲۰۱۹	۲۰۲۰
ضریب همبستگی	-۰/۴۶	-۰/۳۹	-۰/۴۹	-۰/۵۴	-۰/۵۶	-۰/۴۶	-۰/۵۸	-۰/۳۴	-۰/۳۸

تاریخ وقوع کمترین دید افقی در

جدول آمده است. در دوره آماری ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ فقط ۱۰ مورد روز همراه با گردو خاک بادید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر در ایلام مشاهده شده است که یک مورد در ماه ژانویه، دو مورد در فوریه، یک مورد در مارس، دو مورد در آوریل، سه مورد در ژوئن و یک مورد در ژوئیه بوده است.

کمترین دید افقی در فوریه سال ۲۰۱۷ با ۴۰۰ متر در ایلام گزارش شده است. همان طور که در شکل دیده شد، شدیدترین گردو خاک ها در ماه فوریه رخ می دهند. اما بیشترین تعداد تکرار دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر در ماه ژوئن (بهار) ثبت شده است. در سال های ۲۰۱۳، ۲۰۱۴، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ در شرایط گردو خاک با کمترین دید افقی

زیر ۱۰۰۰ متر، غلظت PM₁₀ ثبت نشده است. بیشترین مقدار PM₁₀ با ۲۹۴۵ میکروگرم بر مترمکعب در اکتبر ۲۰۱۷ ثبت شده است که گزارش دید افقی ۴۰۰۰ متر را نشان می دهد (جدول ۳). علت تفاوت بین آن دو را می توان شرایط پایداری هوا، اشتباه گزارش دید افقی توسط دیدبان، وجود پدیده های دیگر از جمله ابرناکی و تأثیر فعالیت شهری در افزایش PM₁₀ دانست. عمارلویی و همکاران (۱۳۹۳) بیشینه PM₁₀ را از اسفند ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۲، با مقدار ۱۹۵۸/۹ میکروگرم بر مترمکعب تعیین کردند. بیشینه اندازه گیری شده توسط عمارلویی و همکاران (۱۳۹۳) در طی یک سال و در شرایط جوی مختلف اندازه گیری شده است. در حالی که بیشینه

به دست آمده در مطالعه حاضر در اکتبر ۲۰۱۷ و در هنگام وقوع گردوخاک بوده است. مقادیر PM_{10} بیش از ۱۰۰۰ و ژانویه و فوریه ثبت شده‌اند.

جدول (۳): ماه و سال‌های همراه با پدیده گردوخاک با کمترین دید افقی و بیشترین غلظت PM_{10} در ایلام، ۲۰۱۰-۲۰۲۰

بیشترین غلظت PM_{10}				کمترین دید افقی				
PM_{10}	دید افقی (متر)	ماه	سال	PM_{10}	دید افقی (متر)	ماه	سال	ردیف
۷۹۷	۲۰۰۰	۶	۲۰۱۰	۳۷۷	۱۰۰۰	۵	۲۰۱۰	۱
۱۰۲۷	۱۰۰۰	۶	۲۰۱۱	۱۷۸	۵۰۰	۶	۲۰۱۱	۲
۲۴۴۶	۱۰۰۰	۴	۲۰۱۲	۱۵۳	۵۰۰	۴	۲۰۱۲	۳
			۲۰۱۳	ثبت نشده	۵۰۰	۱	۲۰۱۳	۴
			۲۰۱۴	ثبت نشده	۵۰۰	۷	۲۰۱۴	۵
۱۳۹۲	۵۰۰۰	۹	۲۰۱۵	۱۲۹۶-۶۴۳	۱۰۰۰	۹	۲۰۱۵	۶
۲۱۲۵	۱۰۰۰	۳	۲۰۱۶	۲۱۲۵-۵۸۴	۵۰۰	۳	۲۰۱۶	۷
				ثبت نشده	۸۰۰	۶		۸
۲۹۴۵	۴۰۰۰	۱۰	۲۰۱۷	ثبت نشده	۴۰۰	۲	۲۰۱۷	۹
۲۲۰۱	۱۰۰۰	۱	۲۰۱۸	۱۰۴۰-۴۵۷	۷۰۰	۴	۲۰۱۸	۱۰
				۲۸۸-۲۰۳	۷۰۰	۶		۱۱
۳۳۱	۶۰۰۰	۱	۲۰۱۹	۸۱	۳۱۰۰	۱	۲۰۱۹	۱۲
۱۶۸۱	۵۰۰	۲	۲۰۲۰	۱۶۸۱	۵۰۰	۲	۲۰۲۰	۱۳

کمترین دید افقی به دلیل پدیده گردوخاک در ایستگاه ایلام گزارش شده است (

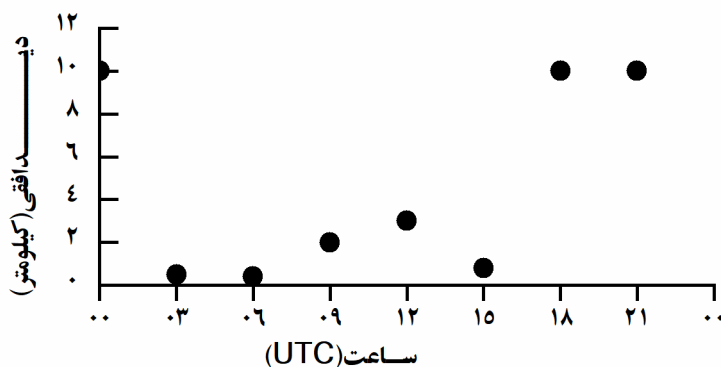
گردوخاک در ایستگاه ایلام در روز ۲ فوریه ۲۰۱۷ از ساعت ۰۳ UTC (۶:۳۰ محلی) ثبت شده و تا ساعت ۲۱ UTC ادامه داشته است، اگرچه با گذشت ساعت روز شدت آن کاهش می‌یابد. در این رویداد مقدار PM_{10} ثبت نشده است.

مطالعه موردی ۲ فوریه ۲۰۱۷

همان‌طور که پیش‌تر بیان گردید در فوریه ۲۰۱۷،

جدول (۸) که جزئیات آن در شکل (۸): نمایش

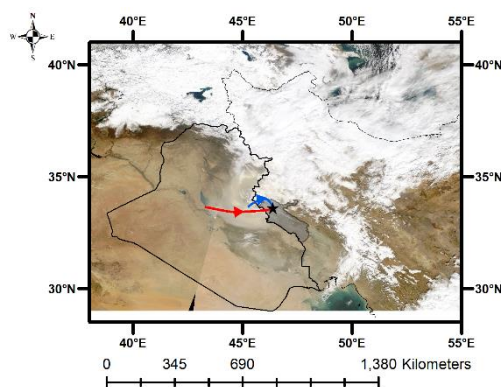
داده شده است. از این رو در ادامه به شرح بیشتری از این رویداد گردوخاک پرداخته می‌شود. در روز ۲ فوریه ۲۰۱۷، کمترین دید افقی ۴۰۰ و ۵۰۰ متر در ساعت‌های ۰۳ و ۰۶ UTC در ایستگاه ایلام ثبت شده است (شکل ۸).



شکل (۸): تغییرات دید افقی (کیلومتر) در ایستگاه ایلام در ساعت‌های مختلف روز ۲ فوریه ۲۰۱۷

مانع آشکارسازی توده گردوخاک می‌شود. مسیر پس گردی ذره منتهی به ساعت ۱۸ UTC روز ۲ فوریه ۲۰۱۷ در ایلام، که توسط مدل HYSPLIT شبیه‌سازی شده، انتقال توده گردوخاک را از بخش‌های مرکزی و شرقی عراق نشان می‌دهد. به این ترتیب منشأ گردوخاک ایلام در تاریخ یادشده مناطق مرکزی و شرقی عراق می‌باشند. به دلیل نزدیکی منشأ شکل‌گیری به استان ایلام، شدت گردوخاک در منطقه قابل توجه بوده و منجر به کاهش دید افقی تا ۴۰۰ متر در ایلام شده است.

تصویر مرئی ماهواره ترا، سنجنده مادیس در روز ۲ فوریه ۲۰۱۷ توده گردوخاک را در شرق عراق نشان می‌دهد (شکل). سرتاسر شمال غرب تا جنوب غرب و همچنین شمال ایران، دریای خزر و بخش‌های عمده‌ای از ترکیه با ابر پوشانده شده‌اند. پوشش ابری گسترده در منطقه و در ماه فوریه بیان‌گر فعالیت سامانه همدیدی در دوره سردسال است که علاوه بر شکل‌گیری گردوخاک به دلیل خشک بودن سطح زمین منجر به انتشار گردوخاک در بخش‌های شرقی عراق و جنوب غرب ایران شده است. لازم به یادآوری است که پوشش ابر



شکل (۹): تصویر مرئی ماهواره ترا، سنجنده مادیس و مسیر پس گردی مدل HYSPLIT منتهی به ساعت ۱۸ UTC روز ۲ فوریه در ایلام، ۲ مسیر در فاصله زمانی ۶ ساعته و برای ۱۸ ساعت اجرای مدل

ایلام دیده می‌شود. افزایش سرعت باد در این مناطق منجر به انتشار گردوخاک شده است. بادهای غربی در این محدوده توده گردوخاک را به استان ایلام انتقال داده و منجر به کاهش دید افقی در روز ۱ فوریه ۲۰۱۷ در این ناحیه شده‌اند (شکل (۸)). مسیر باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال با مسیر پس گردی حرکت ذره به دست آمده از مدل HYSPLIT (شکل) هماهنگی دارد. هسته همگرایی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در شرق عراق و در نزدیکی ایلام دیده می‌شود (شکل ۱۰-پ) که می‌تواند ذرات گردوخاک را به ارتفاع‌های بالاتر جو انتقال دهد.

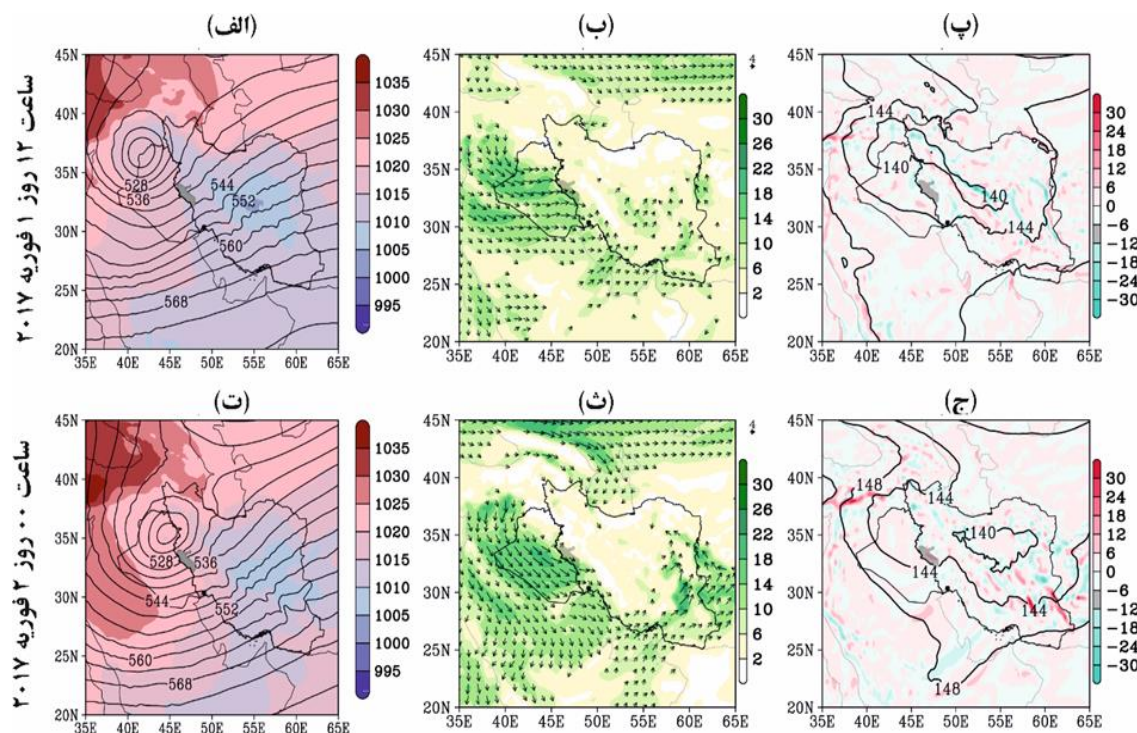
در طی ۱۲ ساعت بعدی، کم‌فشار سطحی همراه با

تحلیل همدیدی: با توسعه کم ارتفاع ۵۲۴ دکامتر در شمال عراق، کم‌فشار با ۱۰۰۵ هکتوپاسکال در مناطق مرکزی ایران توسعه یافته است (شکل الف). گسترش امواج تراز بالا و میانی جو به عرض‌های جنوبی‌تر تا شمال عراق و شرق ترکیه، منجر به توسعه کم‌فشار سطحی در منطقه شده است. به این ترتیب در ساعت ۱۲ UTC، روز ۱ فوریه ۲۰۱۷ سامانه همدیدی دینامیکی قوی در منطقه شکل گرفته است. بادهای غرب و شمال غرب تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال همراه با گسترش پشته فشاری و از شرق سوریه تا مناطق مرکزی عراق دیده می‌شود (شکل ۱۰-ب). بیشینه سرعت باد در شمال غرب عراق قرار دارد. بیشینه سرعت باد دیگری نیز در شرق عراق و در نزدیکی استان

در این مناطق می‌شود. افزایش سرعت باد شمال غرب و غربی توده گردو خاک را به سوی ایلام انتقال می‌دهد. گرچه در دوره سرد سال با توجه به شرایط سطحی و بارش‌های جوی شکل‌گیری گردو خاک دور از انتظار است، اما در طی سال‌های اخیر انتشار گردو خاک به دلیل کمبود بارش، کاهش رطوبت در مناطق مستعد افزایش یافته است (مطیعی و همکاران، ۲۰۲۲). در تحقیق‌های پیشین نیز اشاره شده است که کاهش طولانی مدت در میزان بارندگی باعث کاهش رطوبت خاک و پوشش گیاهی گردیده که در نهایت منجر به انتشار شدیدتر گردو خاک می‌شود (نامداری و همکاران، ۲۰۱۸؛ طائی سمیرمی و همکاران، ۱۳۹۲). علاوه بر آن گردو خاک در استان ایلام نشان از کاهش رطوبت در منطقه دارد (شعاعی و همکاران، ۱۳۹۴). در شرایطی که رطوبت خاک کاهش یابد، افزایش سرعت باد به دلیل حضور سامانه‌های قوی دینامیکی، تعداد و شدت گردو خاک در دوره سرد سال قابل توجه خواهد بود.

ناوه ارتفاعی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در منطقه حضور دارد، گرچه اندکی تضعیف شده است. کم ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۰۰ UTC روز ۲ فوریه ۲۰۱۷ در مناطق غربی ایران مستقر شده (شکل ت) و کم فشار سطحی در شرق آن قرار دارد. جریان چرخندی شکل گرفته همراه با ناهه ارتفاعی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال منجر به تداوم حضور گردو خاک در مناطق غربی ایران شده است (شکل ث وج).

به این ترتیب در دوره سرد سال (ماه فوریه) به دلیل افزایش فعالیت‌های امواج راسبی، ناهه و مراکز کم ارتفاع شدیدی در منطقه مورد مطالعه شکل می‌گیرد که به توسعه کم فشارهای دینامیکی کمک می‌نماید. (ملکی و همکاران، ۱۳۹۷) به توسعه ناهه ارتفاعی بر روی مدیترانه و تأثیر آن در شکل‌گیری گردو خاک‌های ایلام اشاره نموده‌اند. افزایش سرعت باد در راستای شمال غرب و غرب بر روی عراق و سوریه منجر به انتشار گردو خاک



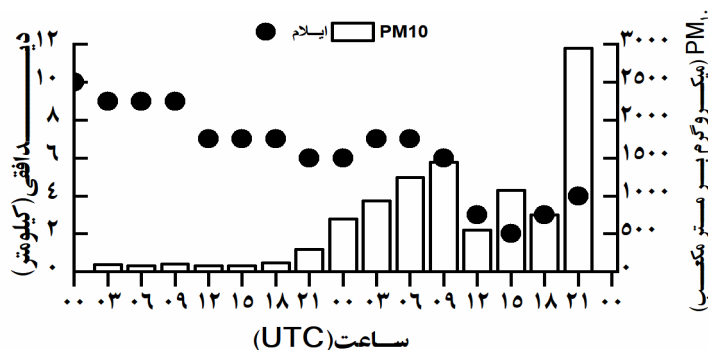
شکل (۱۰): الف) فشار سطح دریای آزاد (هاشور) بر حسب هکتوپاسکال، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (مشکی) بر حسب دکامتر ساعت ۱۲ UTC روز ۱ فوریه ۲۰۱۷، ب) سرعت و جهت باد بر حسب متر بر ثانیه در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در ساعت ۱۲ UTC روز ۱ فوریه ۲۰۱۷، پ) واگرایی بر حسب 10^5 بر ثانیه (هاشور) و ارتفاع ژئوپتانسیل بر حسب دکامتر در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در ساعت ۱۲ UTC روز ۱ فوریه ۲۰۱۷، ت) فشار

سطح دریای آزاد (هاشور) برحسب هکتوپاسکال، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (مشکی) برحسب دکامتر ساعت UTC ۰۰ روز ۲ فوریه ۲۰۱۷، سرعت و جهت باد برحسب متر بر ثانیه در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در ساعت UTC ۰۰ روز ۲ فوریه ۲۰۱۷، ج) واگرایی برحسب ۱۰^۵ بر ثانیه (هاشور) و ارتفاع ژئوپتانسیل برحسب دکامتر در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در ساعت UTC ۰۰ روز ۲ فوریه ۲۰۱۷

مطالعه موردی: ۳۰ و ۳۱ اکتبر ۲۰۱۷

افزایش یافته است. در طی این ساعت دید افقی کاهش یافته اما به کمتر از ۶ کیلومتر نرسیده است (شکل ۱۱). بر مبنای دید افقی، شدت گردو خاک در روز ۳۱ اکتبر و در ساعت ۱۵ UTC به بیشترین مقدار خود می‌رسد، اما مقدار PM₁₀ در این ساعت در حدود ۱۲۰۰ میکروگرم بر مترمکعب است. گردو خاک در ایلام تا ساعت ۲۱ UTC روز ۳۱ اکتبر ادامه داشته و بیشترین مقدار PM₁₀ به ۲۹۴۵ میکروگرم بر مترمکعب می‌رسد. در طی این دو روز تأخیر زمانی بین گزارش کاهش دید افقی و افزایش غلظت PM₁₀ مشاهده می‌شود.

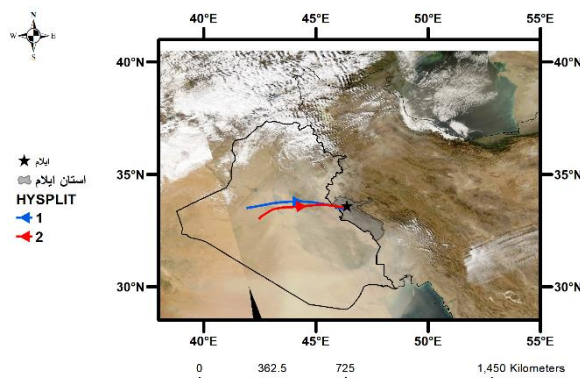
تغییرات دید افقی و PM₁₀ در روزهای ۳۰ و ۳۱ اکتبر ۲۰۱۷ در ایلام نمایش داده شده است (شکل ۱۱). از ساعت ۰۳ UTC روز ۳۰ اکتبر گردو خاک به ایلام رسیده و گزارش کاهش دید افقی ثبت شده است. در ساعت‌های بعد همچنان مقدار دید افقی کمتر از ۱۰ و بیشتر از ۸ کیلومتر گزارش شده است. از ساعت ۱۲ UTC به بعد دید افقی به حدود ۷ کیلومتر رسیده است. مقدار PM₁₀ در طی نیمه اول روز ۳۰ اکتبر افزایش قابل توجهی ندارد. اما از ساعت ۲۱ UTC روند افزایشی دارد. به طوری که تا ساعت ۰۹ UTC روز ۳۱ اکتبر تا ۱۵۰۰ میکروگرم بر مترمکعب



شکل (۱۱): تغییرات دید افقی برحسب کیلومتر و PM₁₀ برحسب میکروگرم بر مترمکعب، در ایستگاه ایلام از ساعت ۰۰ UTC روز ۳۰ اکتبر تا ساعت ۲۱ روز ۳۱ اکتبر ۲۰۱۷

۲۴ ساعت گذشته انتقال گردو خاک را از مناطق مرکزی عراق به سوی ایلام نشان می‌دهد. به این ترتیب منشأ و کانون گردو خاک ۳۰ و ۳۱ اکتبر در ایلام مناطق مرکزی و شرق عراق می‌باشد. شدت، تداوم و منشأ گردو خاک در ۳۰ و ۳۱ اکتبر با ۲ فوریه تفاوت دارد.

تصویر ماهواره در روز ۳۱ اکتبر توده گردو خاکی را در مناطق مرکزی، شرق و جنوب عراق نشان می‌دهد (شکل ۱۲). پوشش ابری ضعیفی در شمال عراق، ایران و بخش‌هایی از ترکیه دیده می‌شود. محل استقرار ابرها در عرض‌های بالاتر قرار داشته و مانع آشکارسازی گردو خاک نمی‌شوند. مسیر پس گردی ذره نیز در طی



شکل (۱۲): تصویر مرئی ماهواره ترا، سنجنده مودیس و مسیر پس گردی مدل HYSPLIT منتهی به ساعت ۱۲ UTC روز ۳۱ اکتبر ۲۰۱۷ در ایلام، ۲ مسیر در فاصله زمانی ۶ ساعته و برای ۲۴ ساعت اجرای مدل

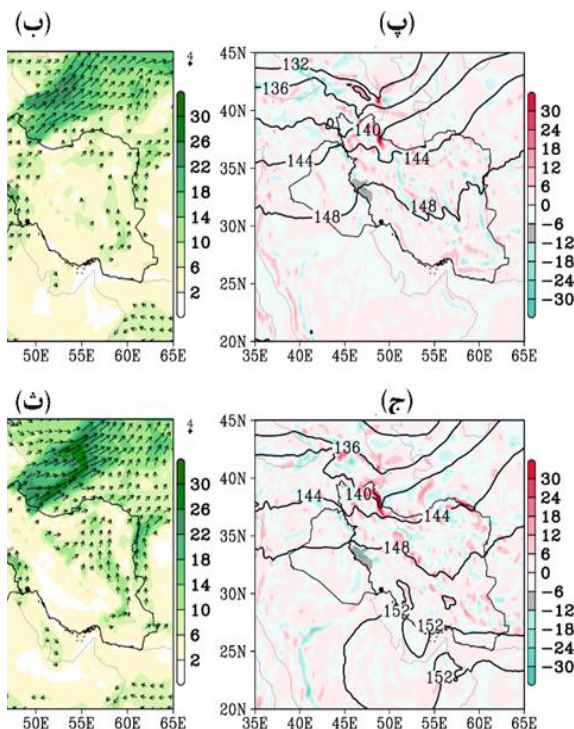
شرقی عراق دیده می‌شود (شکل ۱پ).

در ۶ ساعت بعد ساختار موردنظر با اندکی تضعیف به سمت شرق حرکت نموده و انتشار و انتقال گردو خاک به سوی ایلام ادامه می‌یابد (شکل ۱ت و ث). علاوه بر بادهای غربی، با انتقال کم فشار به غرب ایران، بادهای جنوبی نیز در جنوب غرب ایران توسعه یافته‌اند که می‌توانند منجر به انتشار گردو خاک داخلی شده و گردو خاک را از استان خوزستان به ایلام انتقال دهند. حضور همگرایی سطحی در مناطق شرقی عراق صعود گردو خاک را به لایه‌های بالاتر جو به دنبال دارد (شکل ۱ج). گرچه در روز ۳۱ اکتبر با توسعه پرفشار همراه با واگرایی در مناطق غربی ایران (نشان داده نشد)، شدت گردو خاک افزایش یافته و دید افقی با ۲ کیلومتر کاهش می‌یابد.

تحلیل هم‌دیدي: در روز ۳۰ اکتبر ساعت ۱۲

UTC ناوه ارتفاعی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به شرق عراق و شمال غرب ایران گسترش یافته است که با کاهش فشار سطح دریای آزاد بر روی عراق تا ۱۰۱۱ هکتوپاسکال همراه است (شکل ۱الف). سازوکار یادشده منجر به افزایش سرعت باد غربی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در شمال غرب و جنوب عراق می‌شود (شکل ۱ب). افزایش سرعت باد منجر به انتشار گردو خاک در مناطق یادشده می‌شود. مناطق بیشینه سرعت باد (شکل ۱ب) و مناطق تشکیل توده گردو خاک (شکل ۱) بر روی عراق هماهنگ هستند. جهت باد غربی، گردو خاک را به سوی شرق (ایلام) انتقال می‌دهد. همگرایی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در بخش‌های شرقی و همراه با بخش شرقی ناوه فشاری و در شرق ناوه ارتفاعی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در بخش‌های شرقی و جنوب

هکتوپاسکال (مشکی) برحسب دکامتر ساعت UTC ۱۲ روز ۳۰ اکتبر ۲۰۱۷، (ب) سرعت و جهت باد برحسب متر بر ثانیه در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در ساعت ۱۲ UTC روز ۳۰ اکتبر ۲۰۱۷، (پ) واگرایی برحسب 10^5 بر ثانیه (هاشور) و ارتفاع ژئوپتانسیل برحسب دکامتر در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در ساعت ۱۲ UTC روز ۳۰ اکتبر ۲۰۱۷، (ت) فشار سطح دریای آزاد (هاشور) برحسب هکتوپاسکال، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (مشکی) برحسب دکامتر ساعت ۱۸ UTC روز ۳۰ اکتبر ۲۰۱۷، (ث) سرعت و جهت باد برحسب متر بر ثانیه در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در ساعت ۱۸ UTC روز ۳۰ اکتبر ۲۰۱۷، (ج) واگرایی برحسب 10^5 بر ثانیه (هاشور) و ارتفاع ژئوپتانسیل برحسب دکامتر در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در ساعت ۱۸ UTC روز ۳۰ اکتبر ۲۰۱۷



شکل ۱ الف) فشار سطح دریای آزاد (هاشور) برحسب هکتوپاسکال، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ در تحقیق حاضر دید افقی، تعداد روز گردو خاک و غلظت PM_{10} در دوره ۱۱ سال از ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ در شهر ایلام مورد بررسی قرار گرفت. به منظور شناخت بیشتر، تحلیل همدیدی دو سامانه گردو خاک با بیشترین کاهش دید افقی و بیشترین غلظت PM_{10} نیز انجام شد. کمترین دید افقی گزارش شده در ایلام ۴۰۰ متر و بیشترین غلظت PM_{10} ، ۲۹۴۵ میکروگرم بر متر مکعب تعیین شد.

داده‌های هواشناسی در دوره آماری ۲۰۱۰-۲۰۲۰ در شهر ایلام مورد بررسی قرار گرفت. تنوع بین سالانه نسبتاً بالایی در فراوانی رویدادهای گردو خاک در ایلام مشاهده شد که نشان‌دهنده نقش سامانه‌های آب و هوایی و تغییرپذیری آن‌ها است. در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۳ کاهش میانگین دید افقی و افزایش درصد فراوانی گردو خاک بیان‌گر افزایش تعداد و شدت گردو خاک در این دو سال است.

یک الگوی ماهانه و فصلی مشخص در فراوانی پدیده‌های گردو خاک مشاهده شد به طوری که بیشترین

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

کمترین فراوانی به ترتیب در ماه‌های مه با ۱۸/۱۳ درصد و دسامبر با ۱/۰۴ درصد به دست آمد. در ماه فوریه گرچه با ۶ درصد کمترین فراوانی گردو خاک رخ داده است، اما کمترین دید افقی ۴۰۰ متر، معرف وقوع شدیدترین رویداد گردو خاک در این ماه بود. گرچه شهر ایلام تحت تأثیر توده گردو خاک است اما تعداد وقوع گردو خاک‌های شدید کمتر از ۱ درصد بوده و بیشترین فراوانی مربوط به گردو خاک‌های وزشی است. از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ گردو خاک بسیار شدید (دید کمتر از ۲۰۰ متر) در ایلام گزارش نشده است.

نتایج ضریب همبستگی $0/43$ - بین دید افقی و غلظت PM_{10} در رویدادهای گردو خاک از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ نشان داد که بیان‌گر رابطه معکوس بین آن دو است. از جمله دلایل‌های ضریب همبستگی ضعیف می‌توان به نقش عواملی هم چون فعالیت‌های شهری، فعالیت‌های صنعتی و وجود میدان‌های نفتی در غلظت PM_{10} اشاره نمود. از همین رو ارتباط دید افقی و غلظت PM_{10} در

ایلام خطی نبوده و شدت افزایش غلظت PM_{10} به ویژه در دید افقی کمتر از ۳۰۰۰ متر یکنواخت نیست. در سال‌های با گردوخاک بیشتر شامل ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ بیشترین همبستگی بین غلظت PM_{10} و دید افقی به دست آمد درحالی که در سال‌های با تعداد رویداد گردوخاک کم این رابطه معنی دار نبود.

گل باد نیز جهت باد غالب غرب و شمال غرب و شرق و جنوب شرق را نشان می‌دهد که بیانگر تأثیر چشمه‌های فرامرزی و داخلی و همچنین نقش ساختار کوهساری در افزایش غلظت گردوخاک در استان ایلام است.

تقویت امواج راسی، در عرض‌های میانی و در دوره سرد سال، با توسعه کم ارتفاع در تراز میانی و بالای جو همراه بوده، منجر به شکل‌گیری کم‌فشار سطحی در محدوده مورد مطالعه می‌شود. استقرار کم‌فشار در خاورمیانه و تقویت شرایط ناپایداری در سطح بیابان‌ها برای انتشار گردوخاک توسط ریوندی و همکاران (۱۳۹۲) اشاره شده است.

وزش بادهای در راستای شمال غرب و غرب که به واسطه حرکت چرخندی توسعه می‌یابند، در مناطق بیابانی عراق و سوریه گردوخاک را منتشر می‌نمایند. همگرایی ترازهای زیرین جو، ذرات گردوخاک را به ارتفاع‌های بالاتر جو انتقال داده و گسترش بادهای غربی بر روی عراق، توده گردوخاک را به سوی غرب ایران و به ویژه ایلام انتقال می‌دهد. در مطالعه طائی سمیرمی و همکاران (۱۳۹۲) نیز به افزایش بسامد عبور امواج کوتاه و سریع با مؤلفه باد مداری قوی به عنوان سازوکار اصلی وقوع توفان‌های گردوخاک خاورمیانه اشاره شده است.

منابع

۱. امید پور، رضا، فعال فیض آبادی، محسن، ابراهیمی، عطاله و طهماسبی، پژمان. (۱۳۹۵). بررسی و مقایسه میزان وقوع ریزگرد

و روند آن در شهرهای ایلام و دهلران اولین همایش ملی منابع طبیعی و توسعه پایدار در زاگرس مرکزی، <https://civilica.com/doc/606441>

۲. چراغی، مهرداد،... خراسانی، نعمت، ندافی، کاظم و کرمی، محمود. (۲۰۰۲). بررسی و مقایسه کیفیت هوا در شهرهای تهران و اصفهان در سال ۱۳۷۸ و ارائه راهکارهایی برای بهبود آن. مجله منابع طبیعی ایران (منتشر نمی‌شود)، ۵۵(۴).

۳. حیدری، مهدی، خالدی، شهریار و اکبری ازیرانی، طیه. (۱۳۹۸). تحلیل روند فراوانی روزهای گردوغبار در استان ایلام و تأثیر آن بر سلامت عمومی. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۱(۱)، ۱۲۳-۱۳۴.

<https://doi.org/10.22059/jphgr.2019.269358.1007298>

۴. رنجبر، هاجر، بازگیر، مسعود، نامدار خجسته، داود و رستمی نیا، محمود. (۲۰۱۹). شناسایی مناطق و کانون‌های مولد گردوغبار در استان ایلام. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۶(۳)، ۶۷۵-۶۸۸.

<https://doi.org/10.22092/ijdr.2019.120016>

۵. ریوندی، امیر، میررکنی، مجید و محمدیها، امیر. (۱۳۹۲). بررسی تشکیل و انتشار طوفان‌های گرد و خاک ورودی به غرب و جنوب غرب ایران با استفاده از مدل پخش لاگرانژی ذرات HYSPLIT. پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۱۳-۱۴(۴)، ۱-۱۶.

<https://www.noormags.ir/view/fa/articlepage/1420> ۶۰۵

۶. شعاعی، ضیال‌الدین، مددی، غزاله، نوروزی، علی اکبر و عبده کلاهچی، عبدالنبی. (۱۳۹۴). بررسی رطوبت خاک در مناطق تولید گرد و غبار (مطالعه موردی استان ایلام) اولین کنفرانس بین المللی گرد و غبار، <https://civilica.com/doc/539614>

۷. صحت کاشانی، ساویر، رهتما، مهدی، کرمی، سارا، رنجبر سعادت آبادی، عباس و خدام، نوشین. (۲۰۲۳). شناسایی چشمه های بحرانی گرد و خاک داخلی در استان ایلام. فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۴(۱۲۱)، ۴۰۳-۴۲۷.

<https://www.magiran.com/paper/2520569>

۸. طائی سمیرمی، سیاوش، مرادی، حمید رضا، خداقلی، مرتضی و احمدی آخورمه، مریم. (۱۳۹۲). شناخت و بررسی عوامل موثر بر پدیده گرد و غبار در غرب ایران.

۹. عالی محمودی سراب، سجاده، معیری، محمد هادی، شتایی جویباری، شعبان و راشکی، علیرضا. (۱۳۹۷). برآورد غلظت ریزگردها با استفاده از متغیرهای آب و هوایی (مطالعه موردی: شهرستان اهواز). نشریه محیط‌زیست طبیعی، ۷۱(۳)، ۳۸۵-۳۹۷.

<https://doi.org/10.22059/jne.2018.221268.1280>

- Northern Africa. *Aeolian Research*, 16, 55-68.
19. Chen, Chih-Cheng, Chen, Pei-Shih and Yang, Chun-Yuh. (2019). Relationship between fine particulate air pollution exposure and human adult life expectancy in Taiwan. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 82(14), 826-832.
 20. Choi, Hyun-Shin, Dong Wook, Kim, Wonnyon, Doh, Seong-Jae, Lee, Soo Hwan and Noh, Minsoo. (2011). Asian dust storm particles induce a broad toxicological transcriptional program in human epidermal keratinocytes. *Toxicology letters*, 200(1-2), 92-99.
 21. Chung, YS, Kim, HS, Park, KH, Jhun, JG and Chen, SJ. (2003). Atmospheric loadings, concentrations and visibility associated with sandstorms: Satellite and meteorological analysis. *Water, Air and Soil Pollution: Focus*, 3, ۴۰-۲۱.
 22. Croxford, Ben, Penn, Alan and Hillier, Bill. (1996). Spatial distribution of urban pollution: civilizing urban traffic. *Science of the total environment*, 189, 3-9.
 23. Cuevas Agulló, Emilio. (2013). Establishing a WMO sand and dust storm warning advisory and assessment system regional node for West Asia: current capabilities and needs: technical report.
 24. d'Almeida, Guillaume A. (1986). A model for Saharan dust transport. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 25(7), 903-916.
 25. Dayan, Uri, Ziv, Baruch, Shoob, Tova and Enzel, Yehouda. (2008). Suspended dust over southeastern Mediterranean and its relation to atmospheric circulations. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 28(7), 915-924.
 26. Draxler, Roland R. (1999). *HYSPLIT4 users's guide*.
 27. Gerivani, Hadi, Lashkaripour, Gholam Reza, Ghafoori, Mohammad and Jalali, Nader. (2011). The source of dust storm in Iran: a case study based on geological information and rainfall data. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 6.
 28. Ghasem, Nayef, Al-Marzouqi, Mohamed and Duidar, Ali. (2012). Effect of PVDF concentration on the morphology and performance of hollow fiber membrane employed as gas-liquid membrane contactor for CO₂ absorption. *Separation and purification technology*, 98, 174-185.
 29. Jugder, Dulam, Shinoda, Masato, Kimura, Reiji, Batbold, Altangerel and Amarjargal, Danzansambuu. (2014). Quantitative analysis on windblown dust concentrations of PM₁₀ (PM_{2.5}) during dust events in Mongolia. *Aeolian Research*, 14, 3-13.
 30. Leys, John F, Heidenreich, Stephan K, Strong, Craig L, McTainsh, Grant H and Quigley, Suzanne. (2011). PM₁₀ concentrations and mass transport during "Red Dawn"-Sydney 23 September 2009. *Aeolian Research*, 3(3), 327-342.
 ۱۰. عمارلویی، علی، جنیدی جعفری، احمد، حسن، اصیلان مهابادی و خیراله، اسداللهی. (۱۳۹۳). ارزیابی غلظت PM₁₀ طی طوفان های گردوغبار در شهر ایلام. *مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی ایلام*، ۲۲، ۲۴۰-۲۵۹.
 ۱۱. فرهادی پور، سعید، آزادی، مجید، علی اکبری بیدختی، عباسعلی، علیزاده چوبری، امید و سیاری، حبیب الله. (۲۰۱۷). طوفان های خاک در منطقه غرب و جنوب غرب ایران و تأثیر آنها بر شارهای تابشی: مطالعه موردی. *مجله ژئوفیزیک ایران*، ۱۱(۳)، ۷۵-۸۹.
https://www.ijgeophysics.ir/article_54701_e17fb_b43dc8dfcf1a8a1c29ec0b83783.pdf
 ۱۲. مطیعی، همایون، عبده کلاه چی، عبدالنبی و امینان، رضوان. (۲۰۲۲). ارزیابی رطوبت خاک با استفاده از داده های سنجش از راه دور پایگاه داده های ECV و همبستگی آن با رویدادهای گرد و غبار - جنوب و غرب ایران. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۳(۷)، ۱۵۴۴-۱۵۳۱.
<https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.336415.669178>
 ۱۳. ملکی، ناصر، کریمی، حاجی و احمدیان، لیلی. (۱۳۹۷). بررسی مکانیسم تشکیل طوفان های گردوغبار از دیدگاه هواشناسی در استان ایلام دومین همایش بین المللی گرد و غبار،
<https://civilica.com/doc/935964>
 14. Ahmadi-Molaverdi, Majid, Jabbari, Iraj and Fathnia, Amanollah. (2022). Geomorphological and spatial analysis of dust sources in Ilam Province, Iran. *Sedimentary Geology*, 436, 106168.
 15. Alizadeh Choobari, Omid, Zavar-Reza, Peyman and Sturman, Andrew. (2013). Simulation of the spatial distribution of mineral dust and its direct radiative forcing over Australia. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 65(1), 19856.
 16. Bennett, James E, Tamura-Wicks, Helen, Parks, Robbie M, Burnett, Richard T, Pope III, C Arden, Bechle, Matthew J, Marshall, Julian D, Danaei, Goodarz and Ezzati, Majid. (2019). Particulate matter air pollution and national and county life expectancy loss in the USA: A spatiotemporal analysis. *PLoS medicine*, 16(7), e1002856.
 17. Bloorani, Ali D, Nabavi, Seyed O, Bahrami, Hosain A, Mirzapour, Fardin, Kavosi, Musa, Abasi, Esmail and Azizi, Rasoul. (2014). Investigation of dust storms entering Western Iran using remotely sensed data and synoptic analysis. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 1, ۱-۱۲.
 18. Camino, Carlos, Cuevas, Emilio, Basart, Sara, Alonso-Pérez, Silvia, Baldasano, José María, Terradellas, Enric, Marticorena, Beatrice, Rodríguez, S and Berjón, Alberto. (2015). An empirical equation to estimate mineral dust concentrations from visibility observations in

42. Zhang, X. X., Sharratt, B., Chen, X., Wang, Z., F., Liu, L. Y., Guo, Y. H., Li, J., Chen, H. S. and Yang, W. Y. (2017). Dust deposition and ambient PM10 concentration in northwest China: spatial and temporal variability. *Atmos. Chem. Phys.*, 17(3), 1699-1711. <https://doi.org/10.5194/acp-17-1699-2017>.
31. Manisalidis, Ioannis, Stavropoulou, Elisavet, Stavropoulos, Agathangelos and Bezirtzoglou, Eugenia. (2020). Environmental and health impacts of air pollution: a review. *Frontiers in public health*, 8, 14.
32. Mobarak Hassan, Elham and Alizadeh, Omid. (2022). Dust events in southwestern Iran: Estimation of PM10 concentration based on horizontal visibility during dust events. *International Journal of Climatology*, 42(10), 5159-5172.
33. Mohamed, A Ben, Frangi, JP, Fontan, J and Druilhet, A. (1992). Spatial and temporal variations of atmospheric turbidity and related parameters in Niger. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 31(11), 1286-1294.
34. Namdari, Soodabeh, Karimi, Neamat, Sorooshian, Armin, Mohammadi, Gholam Hasan and Sehatkashani, Saviz. (2018). Impacts of climate and synoptic fluctuations on dust storm activity over the Middle East. *Atmospheric environment*, 173, 265-276.
35. Özdemir, E Tuncay, Korkmaz, Fatih M and Yavuz, Veli. (2018). Synoptic analysis of dust storm over Arabian Peninsula: a case study on February 28, 2009. *Natural hazards*, 92, 805-827.
36. Sarkar, Sudipta, Chauhan, Akshansa, Kumar, Rajesh and Singh, Ramesh P. (2019). Impact of deadly dust storms (May 2018) on air quality, meteorological, and atmospheric parameters over the northern parts of India. *GeoHealth*, 3(3), 67-80.
37. Shahsavani, Abbas, Naddafi, Kazem, Jaafarzadeh Haghighifard, Nematollah, Mesdaghinia, Alireza, Yunesian, Masud, Nabizadeh, Ramin, Arhami, Mohamad, Yarahmadi, Maryam, Sowlat, Mohammad Hossein and Ghani, Maryam. (2012). Characterization of ionic composition of TSP and PM 10 during the Middle Eastern Dust (MED) storms in Ahvaz, Iran. *Environmental monitoring and assessment*, 184, 6683-6692.
38. Shan, W., Yin, Y., Lu, H. and Liang, S. (2009). A meteorological analysis of ozone episodes using HYSPLIT model and surface data. *Atmospheric Research*, 93(4), 767-776. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2009.03.007>
39. Teather, Kevin, Hogan, Natacha, Critchley, Kim, Gibson, Mark, Craig, Susanne and Hill, Janet. (2013). Examining the links between air quality, climate change and respiratory health in Qatar. *Avicenna*, 2013(1), 9.
40. Wang, F., Chen, DS, Cheng, SY, Li, JB, Li, MJ and Ren, ZH. (2010). Identification of regional atmospheric PM10 transport pathways using HYSPLIT, MM5-CMAQ and synoptic pressure pattern analysis. *Environmental Modelling & Software*, 25(8), 927-934.
41. Wang, Jun and Christopher, Sundar A. (2003). Intercomparison between satellite-derived aerosol optical thickness and PM2.5 mass: Implications for air quality studies. *Geophysical research letters*, 30(21).

Investigate the relationship between horizontal visibility, frequency of dust storm events, and PM10 concentration in Ilam during 2010 to 2020

Khadijeh Poresh¹, Farideh Atabi^{1*}, Elham Mobarak Hassan²

¹ Department of Environmental Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

² Department of Environment, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

*Corresponding Author Email: farideh.atabi@gmail.com

Received: 05 February 2024, Accepted: 04 April 2024

ABSTRACT

To investigate dust storms in Ilam, which is exposed to cross-border and internal dust due to its proximity to Iraq and Khuzestan province, synoptic and PM10 concentrations data were collected from 2010 to 2020. The number of dust days was extracted during this period. Additionally, MODIS satellite imagery, HYSPLIT model output, and ERA5 data were utilized for further analysis.

The results indicate that the minimum horizontal visibility in Ilam was 400 m, while the maximum PM10 concentration reached $2945 \mu\text{g}/\text{m}^3$, during the cold season. In 2018, Ilam experienced the highest number of dust events, accompanied by significant reductions in horizontal visibility. Dust events were most frequent in May, and the most severe occurrences were observed in February.

The correlation coefficient between horizontal visibility and PM10 concentration during dust events from 2010 to 2020 was -0.43, suggesting a nonlinear relationship and influenced by other factors. Notably, in years with higher dust frequency (such as 2016 and 2018), the strongest correlation between PM10 concentration and horizontal visibility was observed. Conversely, in years with fewer dust events, this relationship was less significant.

During the cold season, especially in 2017, westerly and northwesterly winds transported dust from the deserts of Iraq, while southerly and southeast winds carried internal dust from Khuzestan to Ilam.

Keywords: Dust event, Ilam, Visibility, PM10, HYSPLIT model

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Poresh, K.; Atabi, F.; Mobarak Hassan, E. (2024). Investigate the relationship between horizontal visibility, frequency of dust storm events, and PM10 concentration in Ilam during 2010 to 2020. *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 6(2): 145-165

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

