

بررسی ارتباط بین آلودگی هوا و آذرخش در طی رخدادهای توفان‌تندری سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ در شهر تهران

مریم قرایلو*^۱، پگاه صدر دادرسی^۲، عباسعلی علی‌اکبری بیدختی^۳، علیرضا محمودیان^۴

۱. استادیار گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران
۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد هواشناسی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران
۳. استاد گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران
۴. استادیار گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۳/۲۷

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۲۰

چکیده

در مطالعه حاضر، ارتباط بین آلودگی هوا و آذرخش کلی شامل آذرخش‌های درون‌ابری و ابر به زمین در شهر تهران در طی رخدادهای توفان‌تندری سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ بررسی شده است. پس از مشخص شدن روزهای رخداد توفان‌تندری همراه با آذرخش، تعداد درخش‌های آذرخش برای روزهای موردنظر از داده‌های مشاهداتی حسگر تصویربرداری آذرخش اخذ شدند. داده‌های غلظت آلاینده PM₁₀ (شامل میانگین‌های روزانه و سالانه) نیز از مرکز کنترل کیفیت هوای شهرداری تهران برای برخی از ایستگاه‌های سنجش آلودگی در شهر تهران اخذ شدند. سپس، تغییرات میانگین تعداد درخش‌های آذرخش با میانگین روزانه غلظت این آلاینده در طول سال‌های مطالعاتی بررسی شدند. نتایج نشان داد که میانگین روزانه غلظت PM₁₀ همبستگی مثبتی با تعداد درخش آذرخش در منطقه تهران دارد. به عبارت دیگر، PM₁₀ نزدیک سطح سهم قابل توجهی در افزایش غلظت هواویزهای سطحی داشته و از این رو به عنوان هسته میعان ابر عمل کرده و بر پدیده‌های جوئی با بسامد بالا مانند فعالیت آذرخش اثر می‌گذارد. در ادامه، بررسی فصلی با استفاده از داده‌های کل ایستگاه‌های شادآباد، شریف و فتح، نشان داد که ارتباط تقریباً قوی‌تری بین غلظت روزانه PM₁₀ و تعداد درخش آذرخش در دوره گرم سال‌های مورد مطالعه نسبت به کل سال‌ها وجود دارد.

کلیدواژه

آذرخش؛ آلودگی هوا؛ PM₁₀؛ LIS

سرآغاز

آلاینده‌های جوئی بر شرایط وضع هوا اثر می‌گذارد یا اینکه چگونه میزان غلظت آنها در مراحل مختلف شرایط وضع هوای حاکم تغییر می‌کند، هنوز تحت بررسی است. مطالعه هواشناسی آلودگی روی منطقه‌ای خاص برای دوره زمانی مشخص به دانشی از همبستگی بین پارامترهای مختلف هواشناسی و ذرات آلاینده نیاز دارد.

مطالعات زیادی پیرامون برهم‌کنش بین آذرخش و آلودگی در جهان صورت گرفته است. اثر هواویزها روی

در محیط‌های شهری، فعالیت‌های آذرخش می‌تواند اثرات و خسارات فراوانی را به محیط‌های شهری وارد کند. به نظر می‌رسد که آلاینده‌های جوئی، به ویژه از نوع ذره‌ای می‌تواند روی فعالیت توفان‌های تندری همراه با آذرخش تأثیرگذار باشد. اغلب آلاینده‌های جوئی در شکل‌گیری سامانه‌های وضع هوا و مراحل مختلف گسترش آنها تأثیر دارند (Bréon et al., 2002). اینکه چگونه تغییرات

آمیخته یخ و آب می‌شوند و یخسارش ابر تا رسیدن به دماهای سردتر به تعویق می‌افتد و فاز آمیخته ابر فعال‌تر شده و در نتیجه درخش آذرخش افزایش می‌یابد (Liou and Kar, 2010; Yuan et al., 2011).

Middey و Chaudhuri (۲۰۱۳) با تحلیل ارتباط بین آلودگی و فعالیت آذرخش در کلکته دریافتند که افزایش آلودگی سطحی در نزدیکی محیط یک توفان تندری منجر به افزایش آهنگ درخش‌های آذرخش می‌شود. در این زمینه، مطالعه‌ای که توسط Farias و همکاران (۲۰۱۴) انجام شده نیز نشان می‌دهد که آلودگی شهری منجر به افزایش فعالیت توفان‌ها و آذرخش می‌شود. Gharaylou و همکاران (۲۰۲۰) نیز با استفاده از داده‌های زمین‌پایه آذرخش ابر به زمین شبکه جهانی آشکارسازی آذرخش‌ها (WWLLN) نشان دادند که بین غلظت ذرات جامد معلق در هوا و تعداد درخش آذرخش در منطقه تهران همبستگی مثبت وجود دارد. همچنین نتایج به‌دست آمده از مطالعه صورت گرفته در شهر کلکته نشان می‌دهد که پس از قرنطینه شدید به دنبال شیوع بیماری کووید ۱۹، میزان آلاینده‌ها بیش از ۴۰ درصد نسبت به دوره قبل از قرنطینه در این شهر کاهش یافته است؛ به طوری که کاهش غلظت آلاینده‌های سطحی تأثیر بیشتری بر آذرخش در دوره پیش‌موسمی گذاشته است (Chowdhuri et al., 2020).

آلودگی بلندمدت می‌تواند روی مراحل شکل‌گیری ابر و بارش و به تبع آن فعالیت آذرخش اثر بگذارد. برای مطالعه این اثر، با توجه به تحقیق‌های اندک درباره این اثرات در منطقه شهری تهران، در پژوهش حاضر ارتباط بین آلودگی هوا و فعالیت آذرخش در شهر تهران در طی رخدادهای توفان تندری سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ بررسی می‌شود. مطالب این مقاله در ادامه بدین صورت ارائه می‌شوند که در ابتدا در بخش دوم، داده‌ها و روش کار بیان می‌شود. در بخش سوم، نتایج و بحث و در خاتمه، جمع‌بندی نتایج ارائه خواهد شد.

سامانه‌های ابر، شامل تنظیم مستقیم ترازینه تابشی خورشید و تغییر غیرمستقیم دینامیک و ویژگی‌های خردفیزیکی ابر، مورد بحث تعدادی از محققین بوده است (Tie et al., 2003; Wang et al., 2011; Khain et al., 2005; Hobbs). همکاران (۱۹۷۴) دریافتند که به احتمال زیاد آلاینده‌هایی که روی ابرها مؤثر هستند، در وضع هوا و اقلیم تغییر ایجاد می‌کنند. اثر هواویزها بر خردفیزیک ابر قابل ملاحظه بوده و در مقیاس جهانی رخ می‌دهد (Bréon et al., 2002). مطالعات زیادی در سطح جهان به اثر منطقه شهری بر فعالیت‌های محلی وضع هوا پرداخته‌اند (Orville et al., 2001; Soriano and Pablo, 2002). بیشتر این مطالعات به اثر گردش جزیره گرمایی شهری و نقش احتمالی آن برای آلودگی هوا پرداخته‌اند. آلودگی با تغییر روی مراحل خردفیزیک ابر، روی ایجاد آذرخش تأثیر می‌گذارد.

ارتباط خطی خوبی بین ذرات جامد معلق در هوا و آهنگ درخش آذرخش وجود دارد. یعنی وقتی این ذرات افزایش می‌یابند، تعداد درخش آذرخش افزایش می‌یابد که این ارتباط با خردفیزیک ابر قابل توجیه است؛ غلظت بالاتر ذرات معلق با شکل‌گیری بیشتر هسته‌های میعان ابر (CCN) ارتباط دارد. وقتی تعداد هواویزها افزایش می‌یابد، رقابت بر سر محتوای آب مایع در دسترس یا رطوبت در دسترس زیاد شده و منجر به کاهش اندازه متوسط قطرات ابر شده و با کاهش مراحل هم‌آمیزی و برخورد مؤثر قطرات ابر همراه است. این امر سبب کاهش بارش و همچنین به تأخیر افتادن آن می‌شود. گرمای نهان آزاد شده در محیط ابری، سبب گرم شدن محیط و گسترش قائم ابر می‌شود. با عبور قله ابر از تراز انجماد، بلورهای یخ شکل می‌گیرند و از این به بعد، گرمای نهان انجماد آزاد می‌شود. بنابراین، گرمای نهان بیشتری آزاد شده و افزایش فراهنج‌ها منجر به تقویت همرفت می‌شود. در نتیجه، رشد قائم ابر نسبت به حالتی که هواویزها کمتر بودند بیشتر می‌شود و تفکیک بار الکتریکی تقویت می‌شود. این بدان دلیل است که با قوی‌تر شدن فراهنج‌ها، ذرات بیشتری وارد فاز

مواد و روش بررسی

موقعیت مطالعه حاضر، تهران با مشخصات جغرافیایی $35^{\circ}68'N$ و $51^{\circ}38'E$ است. گزارش‌های توفان تندی از سازمان هواشناسی ایران در طی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ جمع‌آوری شده است. ارتفاع تراز میعان فرازش^۲ (LCL) با داده‌های رادیوگمانه محاسبه می‌شوند که از وبگاه دانشگاه وایومینگ جمع‌آوری شده‌اند. داده‌های آلودگی از مرکز کنترل آلودگی شهر تهران برای برخی ایستگاه‌ها جمع‌آوری شده است که شامل غلظت ذرات جامد^۳ (PM₁₀) است. داده‌های آذرخش از پایگاه داده‌های حسگر تصویربرداری آذرخش^۴ (LIS) به دست آمده است. LIS ابزاری بر پایه ماهواره مأموریت اندازه‌گیری بارندگی حاره‌ای^۵ (TRMM) است و فعالیت‌های آذرخش‌های درون‌ابری^۶ (IC) و ابر به زمین^۷ (CG) را در وردسپهر نشان می‌دهد (Cecil et al., 2005). این حسگر، آهنگ کلی آذرخش را در مقیاس ابر آشکار کرده و موقعیت این آذرخش‌ها را ثبت می‌کند. لازم به ذکر است که این حسگر در آوریل سال ۲۰۱۵ خاموش شد. در ابتدا ۱۰ سال منتهی به سال ۲۰۱۵ (۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴) به منظور انتخاب رخدادهای توفان تندی در نظر گرفته شد ولی در ادامه این بازه به ۵ سال (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳) تقلیل یافت. دلیل کاهش دوره مطالعه، کامل بودن داده‌های برگرفته از ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در طی این دوره بود. پس از مشخص شدن روزهای رخداد توفان تندی همراه با آذرخش (با بررسی کُد هوای حاضر برگرفته از

سازمان هواشناسی کشور مطابق جدول ۱)، تعداد رخدادهای آذرخش برای روزهای موردنظر از داده‌های مشاهداتی حسگر LIS اخذ می‌شوند. بر اساس کُد هوای حاضر ارائه شده در جدول ۱ روزهای همراه با آذرخش در این مطالعه برای دو ایستگاه هواشناسی شمیران و مهرآباد در جدول ۲ ارائه شده است. همچنین برای بررسی ارتباط آذرخش با غلظت آلاینده‌های سطحی در منطقه تهران، داده‌های غلظت آلاینده PM₁₀ (شامل میانگین‌های روزانه و سالانه) نیز از مرکز کنترل کیفیت هوای شهرداری تهران برای برخی از ایستگاه‌های سنجش آلودگی در سطح شهر تهران اخذ می‌شوند. سپس، تغییرات میانگین سالانه تعداد درخش‌های آذرخش با میانگین سالانه غلظت PM₁₀ در طول سال‌های مورد بررسی مطالعه می‌شود. همچنین، نمودارهای پراکنش‌نگاشت غلظت این آلاینده و تعداد درخش‌های آذرخش (برای ایستگاه‌های مورد بررسی) در طول این سال‌ها همراه با ضرایب همبستگی ارائه و مطالعه می‌شوند. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی مهرآباد، شمیران به همراه موقعیت ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا شامل ایستگاه‌های فتح، شریف، شادآباد و اقدسیه بر حسب طول و عرض جغرافیایی مشخص شده است. دلیل انتخاب این ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا، علاوه بر کامل بودن داده‌های مورد بررسی در طی دوره مورد مطالعه (نسبت به ایستگاه‌های موجود دیگر)، قرار گرفتن در مجاورت ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه بوده است.

جدول ۱. کُد هوای حاضر شامل گزارش آذرخش در داده‌های همدیدی

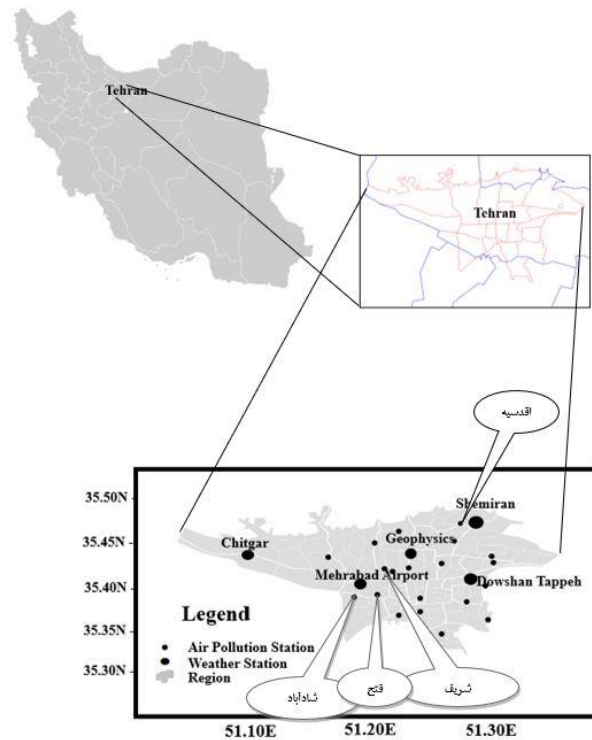
شدت	شرح پدیده	کُد هوای حاضر (WW)
-	آذرخش مشاهده شده، اما تندی دیده نشده	۱۳
-	آذرخش، بدون بارندگی در ساعت دیدبانی	۱۷
-	تندوزه (squall) موقت	۱۸
-	آذرخش، با بارندگی و یا بدون بارندگی، طی یک ساعت گذشته	۲۹
ملایم	باران همراه با آذرخش در یک ساعت گذشته	۹۱
متوسط و یا شدید	باران همراه با آذرخش در یک ساعت گذشته	۹۲

ادامه جدول ۱. کد هوای حاضر شامل گزارش آذرخش در داده‌های همدیدی

شدت	شرح پدیده	کد هوای حاضر (WW)
ملايم	برف يا مخلوط برف و باران و يا تگرگ همراه با آذرخش در يك ساعت گذشته	۹۳
متوسط و يا شديد	برف يا مخلوط برف و باران و يا تگرگ همراه با آذرخش در يك ساعت گذشته	۹۴
ملايم يا متوسط	آذرخش همراه با باران يا برف يا مخلوط باران برف و باران (بدون تگرگ)	۹۵
ملايم يا متوسط	آذرخش همراه با تگرگ	۹۶
شديد	آذرخش همراه با باران يا برف و يا مخلوط باران و برف (بدون تگرگ)	۹۷
-	آذرخش همراه با توفان خاک و يا توفان شن	۹۸
شديد	آذرخش همراه با تگرگ	۹۹

جدول ۲. روزهای همراه با آذرخش بر اساس کد هوای حاضر برای ایستگاه‌های هواشناسی شمیران و مهرآباد در طی سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۹۲ (۲۰۰۹-۲۰۱۳)

مهرآباد	شمیران
۱۳۸۸/۳/۱۳	۱۳۸۸/۳/۱۳
۱۳۸۸/۳/۲۰	-
۱۳۸۸/۳/۲۹	-
۱۳۸۸/۶/۲۶	-
۱۳۸۸/۶/۲۸	-
۱۳۸۸/۷/۱۲	-
۱۳۸۹/۱/۲۰	-
۱۳۸۹/۷/۶	-
۱۳۸۹/۸/۴	۱۳۸۹/۸/۴
۱۳۸۹/۱۲/۲۱	-
۱۳۹۰/۱/۳	۱۳۹۰/۱/۳
۱۳۹۰/۱/۱۷	۱۳۹۰/۱/۱۷
۱۳۹۰/۱/۲۰	۱۳۹۰/۱/۲۰
۱۳۹۰/۴/۲	-
۱۳۹۰/۶/۴	۱۳۹۰/۶/۴
۱۳۹۰/۸/۹	-
۱۳۹۰/۸/۱۰	-
۱۳۹۰/۸/۲۵	۱۳۹۰/۸/۲۵
۱۳۹۱/۱/۲۷	۱۳۹۱/۱/۲۷
۱۳۹۱/۱/۲۹	۱۳۹۱/۱/۲۹
۱۳۹۱/۳/۲	۱۳۹۱/۳/۲
۱۳۹۱/۴/۱۰	۱۳۹۱/۴/۱۰
۱۳۹۱/۴/۲۵	-
۱۳۹۱/۷/۷	۱۳۹۱/۷/۷
۱۳۹۱/۷/۲۱	-
۱۳۹۱/۹/۷	-
۱۳۹۱/۱۲/۱۵	-
۱۳۹۲/۲/۱	-
۱۳۹۲/۲/۲۲	-
۱۳۹۲/۲/۳۱	۱۳۹۲/۲/۳۱
۱۳۹۲/۸/۵	-



شکل ۱. نقشه منطقه مورد مطالعه (شهر تهران، ایران) که روی آن موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی و سنجش آلودگی هوا در شهر تهران بر حسب طول و عرض جغرافیایی مشخص شده‌اند.

نتایج و بحث

آذرخش برای این ایستگاه با استفاده از داده‌های فضایی حسگر LIS به دست آمده است. برای محاسبه ارتفاع LCL بر حسب متر از رابطه (۱) استفاده شده است.

$$h = \frac{\left(\left(\frac{P_0}{P}\right)^{\frac{1}{5.257}} - 1\right) \times (T + 273.15)}{0.0065} \quad (1)$$

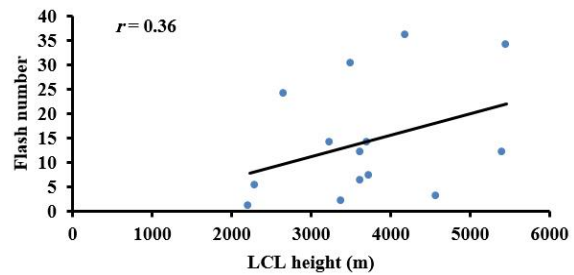
در رابطه (۱)، P و T به ترتیب فشار بر حسب پاسکال و دمای LCL بر حسب درجه سانتیگراد و P_0 فشار تراز دریا است. لازم به ذکر است که داده‌های دما و فشار LCL در داده‌های رادیوگمانه برگرفته از دانشگاه ایومینگ برای روزهای رخداد آذرخش موجود هستند.

در اینجا، LCL به صورت یک پایه ابر فرضی در نظر گرفته شده است (Craven et al., 2002) و تغییرات تعداد درخش آذرخش با تغییر در LCL مشخص می‌شود. یعنی وقتی مقدار ارتفاع LCL افزایش می‌یابد، تعداد درخش آذرخش نیز در ایستگاه مهرآباد تهران افزایش می‌یابد (شکل ۲). این رابطه بین LCL و تعداد درخش آذرخش کاملاً

در طی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳، تهران تعداد زیادی ابر تندی را تجربه کرده است که از توفان‌های همرفتی محلی به وجود آمده و باعث ایجاد تعداد زیادی درخش آذرخش شده‌اند. رابطه بین ارتفاع LCL و تعداد درخش آذرخش برگرفته از داده‌های LIS در ایستگاه مهرآباد تهران (شکل ۲)، مشاهدات Williams و Stanfill (۲۰۰۲) را تأیید می‌کند. از ضریب همبستگی پیرسون (r) برای نشان دادن این ارتباط استفاده شده است. Mindrila و Balentyne (۲۰۱۷) نشان دادند که مقادیر r بزرگتر از ۰/۷ نشان‌دهنده ارتباط مثبت قوی بین دو متغیر هم‌بسته است، حتی اگر نمودار پراکنش آنها پراکنندگی زیادی داشته باشند. وقتی r بین ۰/۳ تا ۰/۷ به دست آید، نشان‌دهنده این است که ارتباط مثبت متوسطی بین دو متغیر وجود دارد. این ایستگاه به این دلیل برای این بررسی انتخاب شده است که تنها ایستگاه جو بالا در منطقه مورد مطالعه است و امکان محاسبه LCL برای این ایستگاه وجود داشته است. تعداد رخدادهای

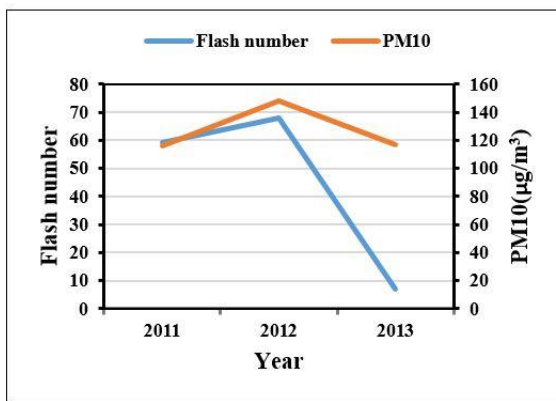
برای کل مدت مطالعه (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳) در شکل ۳ برای ایستگاه‌های اقدسیه و شادآباد ترسیم شده است. لازم به توضیح است که برای ایستگاه اقدسیه در سال ۲۰۱۱ و برای ایستگاه شادآباد در سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ داده‌ای گزارش نشده است. دلیل این عدم گزارش برای ایستگاه شادآباد، تاریخ تأسیس این ایستگاه است که سال ۲۰۱۱ بوده است. شکل نشان می‌دهد که برای هر دو ایستگاه، روند تغییرات PM_{10} تقریباً مشابه با روند تغییرات میانگین سالانه تعداد درخت آذرخش در سال‌های مورد بررسی است. افزایش غلظت PM_{10} و رسیدن به مقداری بیشینه با بیشینه شدن درخت آذرخش به طور واضح نشان داده شده است. روند همراه با افت و خیز غلظت PM_{10} که به‌ویژه در شکل ۳، برای ایستگاه شادآباد قابل مشاهده است. این اثر ممکن است به اثر بارش نسبت داده شود که معمولاً هم‌زمان و همین‌طور پس از آن با فعالیت‌های الکتریکی جوی رخ می‌دهد. چنین اثری معمولاً به اثر شستشوی بارش کلی جوی مربوط است (Kar and Liou, 2014).

واضح است زیرا ارتفاع بالاتر پایه ابر، منجر به گسترش زیاد فراهنج‌ها می‌شود، در نتیجه برخورد ذرات بیشتر شده، بار انتقال یافته به آن‌ها نیز افزایش می‌یابد و رقیق‌سازی به‌وسیله اختلاط، کاهش پیدا می‌کند (Williams and Stanfill, 2002) و چون انتظار می‌رود که آب آبرسد بیشتری در ارتفاع‌های بالاتر در ابرها وجود داشته باشد، پس به نوبه خود باعث افزایش فعالیت آذرخش می‌شود.

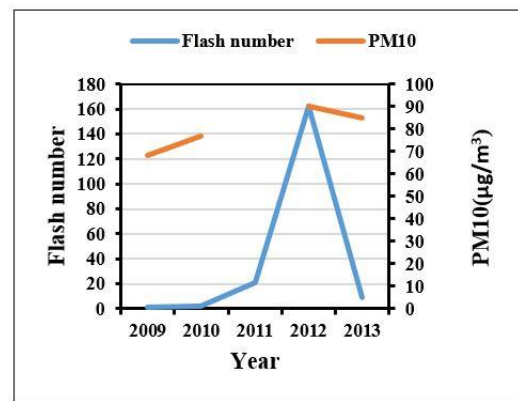


شکل ۲. تغییرات تعداد درخت آذرخش با ارتفاع LCL در ایستگاه مهرآباد تهران در طی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ با استفاده از داده‌های LIS

تغییرات میانگین سالانه تعداد درخت‌های آذرخش با استفاده از داده‌های LIS با میانگین سالانه غلظت PM_{10}



(ب)



(الف)

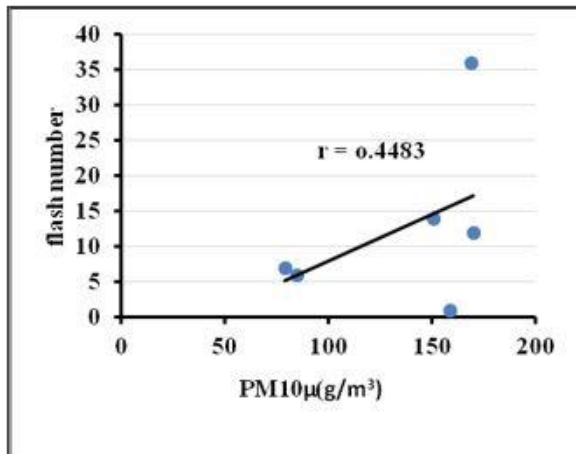
شکل ۳. تغییرات میانگین سالانه تعداد درخت‌های آذرخش CG با میانگین سالانه غلظت PM_{10} برای کل مدت مطالعه (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳) برای (الف) ایستگاه اقدسیه و (ب) ایستگاه شادآباد با استفاده از داده‌های LIS

اساس ضریب همبستگی به دست آمده برای هر ایستگاه که در هر زیرشکل ارائه شده (بازه تغییرات از ۰/۳۶ تا ۰/۸۵)، غلظت روزانه PM_{10} ارتباط مثبت متوسطی با تعداد درخت آذرخش دارد. به عبارت دیگر، آلودگی منجر به تشدید

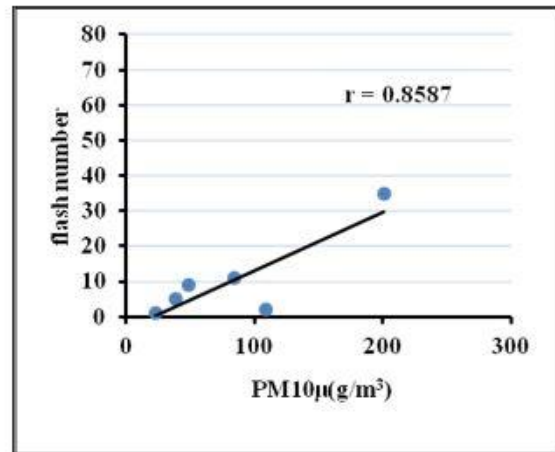
پراکنش‌نگاشت میانگین روزانه غلظت PM_{10} در مقابل تعداد درخت آذرخش برگرفته از LIS برای ایستگاه‌های سنجش آلودگی اقدسیه، شادآباد، شریف و فتح در شکل ۴ ارائه شده است. این پراکنش‌نگاشت‌ها نشان می‌دهند که بر

در مقایسه با شرایط هوای پاک هستند. تولید آذرخش CG با افزایش محتوای آب ابر در منطقه فاز آمیخته افزایش می‌یابد که با افزایش تفکیک بار الکتریکی همراه است (Orville et al., 2001).

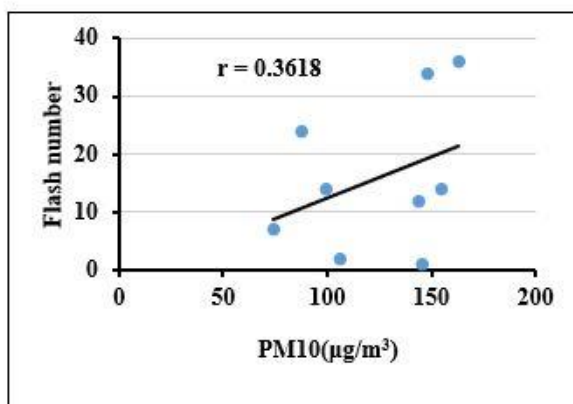
توفان و فعالیت آذرخش در این ایستگاه‌ها شده است. این نتیجه با نتایج مطالعات قبلی از جمله Farias و همکاران (۲۰۱۴) و Liou و Kar (۲۰۱۴ و ۲۰۱۹) همخوانی دارد که نشان‌دهنده افزایش فعالیت آذرخش در شرایط آلوده جوی



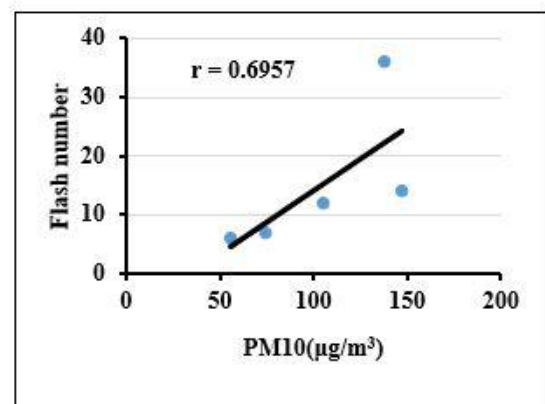
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۴- پراکنش نگاشت میانگین روزانه غلظت PM10 در مقایسه با تعداد درخش‌های آذرخش CG برای کل مدت مطالعه (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳) برای (الف) ایستگاه اقدسیه، (ب) ایستگاه شادآباد (ج) ایستگاه شریف و (د) ایستگاه فتح با استفاده از داده‌های LIS

ایستگاه‌ها (منطقه تهران) شده است (ضریب همبستگی به‌دست آمده برابر با ۰/۴۲ است).

Khansalari و همکاران (۲۰۲۰) در طی مطالعه‌ای که به منظور طبقه‌بندی آماری الگوهای وضع هوای همدیدی مرتبط با آلودگی هوای تهران برای سال ۲۰۰۵ انجام دادند نشان دادند که غلظت PM10 در تابستان و پاییز بیشتر است و غلظت این آلاینده در بهار و زمستان به دلیل افزایش

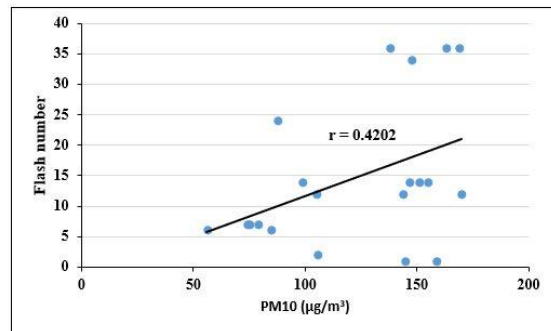
با توجه به اینکه ایستگاه‌های سنجش آلودگی شادآباد، شریف و فتح که داده‌های درخش آذرخش آنها از ایستگاه مهرآباد تهران به‌دست آمده است در مجاورت هم قرار گرفته‌اند، پراکنش نگاشت میانگین روزانه غلظت PM10 و تعداد درخش آذرخش برای کل این ایستگاه‌ها در شکل ۵ ارائه شده است. این شکل نیز نشان‌دهنده این است که آلودگی هوا منجر به افزایش فعالیت آذرخش در این

اقدسیه، شادآباد، شریف و فتح) دارد. به این معنی که آلودگی منجر به تشدید توفان و فعالیت آذرخش در این ایستگاه‌ها شده است. PM_{10} نزدیک سطح، سهم قابل توجهی در افزایش غلظت هواویزهای سطحی دارد و از این رو به عنوان CCN عمل کرده و بر فعالیت آذرخش اثر می‌گذارد. این نتایج تأیید می‌کنند که آلودگی نقش کلیدی در پدیده‌های جوی با بسامد بالا مانند فعالیت آذرخش در منطقه تهران دارد که با یافته‌های مطالعات پیشین از جمله Liou و Kar (۲۰۱۴ و ۲۰۱۹) همخوانی دارد؛ آنها نشان دادند که چگالی درخش CG تحت تأثیر منطقه شهری تایپه قرار می‌گیرد.

همچنین در بررسی فصلی با استفاده از داده‌های کل ایستگاه‌های شادآباد، شریف و فتح، ضرایب همبستگی به دست آمده نشان می‌دهد که ارتباط تقریباً قوی‌تری بین غلظت روزانه PM_{10} و تعداد درخش آذرخش در دوره گرم سال‌های مورد مطالعه نسبت به کل سال‌ها وجود دارد. این نتیجه با نتایج تحقیق Khansalari و همکاران (۲۰۲۰) که افزایش آلاینده PM_{10} در تابستان سال ۲۰۰۵ در منطقه تهران را نشان دادند، در توافق است.

یادداشت‌ها

1. Cloud Condensation Nuclei
2. Lifted Condensation Level
3. Particulate Matter
4. Lightning Imaging Sensor
5. The Tropical Rainfall Measuring Mission
6. Intra-Cloud
7. Cloud-to-Ground



شکل ۵. پراکنش‌نگاشت میانگین روزانه غلظت PM_{10} در مقایسه با تعداد درخش‌های آذرخش CG برای کل مدت مطالعه (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳) برای کل ایستگاه‌های شادآباد، شریف و فتح

متوسط بارندگی کاهش می‌یابد. از این رو در مطالعه حاضر برای داده‌های شکل ۶ (داده‌های برگرفته از کل ایستگاه‌های شادآباد، شریف و فتح) بررسی فصلی صورت گرفت. این بررسی نشان داد که ضریب همبستگی به دست آمده برای این ایستگاه برای دوره گرم سال ۰/۶۵ و برای دوره سرد سال ۰/۰۴- به دست می‌آید. بنابراین، ارتباط قوی‌تری بین غلظت روزانه PM_{10} و تعداد درخش آذرخش در دوره گرم سال‌های مورد مطالعه نسبت به کل سال‌ها وجود دارد.

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر، اثر آلودگی هوا بر فعالیت آذرخش در شهر تهران در طی رخداد‌های توفان‌تندری سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ بررسی شد. نتایج نشان داد که غلظت PM_{10} ارتباط مثبت متوسطی با تعداد درخش آذرخش برگرفته از داده‌های مشاهداتی LIS (برای ایستگاه‌های سنسور آلودگی

فهرست منابع

- Bréon, F.M., Tanré, D. and Generoso, S., (2002). Aerosol effect on cloud droplet size monitored from satellite. *Science*, 295(5556), pp.834-838.
- Cecil, D.J., Goodman, S.J., Boccippio, D.J., Zipser, E.J. and Nesbitt, S.W., (2005). Three years of TRMM precipitation features. Part I: Radar, radiometric, and lightning characteristics. *Monthly Weather Review*, 133(3), pp.543-566.
- Chowdhuri, I., Pal, S. C., Saha, A., Chakraborty, R., Ghosh, M., & Roy, P. (2020). Significant decrease of lightning activities during COVID-19 lockdown period over Kolkata megacity in India. *Science of the Total Environment*, 747, 141321.

- Craven, J. P., Jewell, R. E., & Brooks, H. E. (2002). Comparison between observed convective cloud-base heights and lifting condensation level for two different lifted parcels. *Weather and Forecasting*, 17(4), 885-890.
- Farias, W.R.G., Pinto Jr, O., Pinto, I.R.C.A. and Naccarato, K.P., (2014). The influence of urban effect on lightning activity: Evidence of weekly cycle. *Atmospheric research*, 135, pp.370-373.
- Gharaylou, M., Mahmoudian, A., Bidokhti, A. A., & Dadras, P. S. (2020). Mutual relationship between surface atmospheric pollutants and CG lightning in Tehran area. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(12), 1-12.
- Hobbs, P.V., Harrison, H. and Robinson, E., (1974). Atmospheric effects of pollutants: pollutants which affect clouds are most likely to produce modifications in weather and climate. *Science*, 183(4128), pp.909-915.
- Kar, S.K. and Liou, Y.A., (2014). Enhancement of cloud-to-ground lightning activity over Taipei, Taiwan in relation to urbanization. *Atmospheric research*, 147, pp.111-120.
- Kar, S. K., & Liou, Y. A. (2019). Influence of land use and land cover change on the formation of local lightning. *Remote Sensing*, 11(4), 407.
- Khain, A., Rosenfeld, D. and Pokrovsky, A., (2005). Aerosol impact on the dynamics and microphysics of deep convective clouds. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 131(611), pp.2639-2663.
- Khansalari, S., Ghobadi, N., Bidokhti, A., & Fazel-Rastgar, F. (2020). Statistical classification of synoptic weather patterns associated with Tehran air pollution. *Journal of Air Pollution and Health*, 5(1), 43-62.
- Liou, Y. A., & Kar, S. K. (2010). Study of cloud-to-ground lightning and precipitation and their seasonal and geographical characteristics over Taiwan. *Atmospheric Research*, 95(2-3), 115-122.
- Mindrila, D., & Balentyne, P. (2017). Scatterplots and correlation. Retrieved from. http://www.westga.edu/assetsCOE/virtualresearch/scatterplots_and_correlation_notes.pdf.
- Middey, A. and Chaudhuri, S., (2013). The reciprocal relation between lightning and pollution and their impact over Kolkata, India. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(5), pp.3133-3139.
- Orville, R.E., Huffines, G., Nielsen-Gammon, J., Zhang, R., Ely, B., Steiger, S., Phillips, S., Allen, S. and Read, W., (2001). Enhancement of cloud-to-ground lightning over Houston, Texas. *Geophysical Research Letters*, 28(13), pp.2597-2600.
- Soriano, L.R. and de Pablo, F., (2002). Effect of small urban areas in central Spain on the enhancement of cloud-to-ground lightning activity. *Atmospheric Environment*, 36(17), pp.2809-2816.
- Tie, X., Madronich, S., Walters, S., Zhang, R., Rasch, P. and Collins, W., (2003). Effect of clouds on photolysis and oxidants in the troposphere. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D20).
- Wang, Y., Wan, Q., Meng, W., Liao, F., Tan, H. and Zhang, R., (2011). Long-term impacts of aerosols on precipitation and lightning over the Pearl River Delta megacity area in China. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(23), pp.12421-12436.
- Williams, E., & Stanfill, S. (2002). The physical origin of the land-ocean contrast in lightning activity. *Comptes Rendus Physique*, 3(10), 1277-1292.
- Yuan, T., Remer, L.A., Pickering, K.E. and Yu, H., (2011). Observational evidence of aerosol enhancement of lightning activity and convective invigoration. *Geophysical Research Letters*, 38(4).
- <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>. Accessed on 01 January 2020.