



# Journal of Environmental Studies

Vol. 47, No. 2, Summer 2021

Journal Homepage: [www.Jes.ut.ac.ir](http://www.Jes.ut.ac.ir)

Print ISSN: 1025-8620 Online ISSN 2345-6922

## Investigation of the Relationship Between Air Pollution and Lightning During Thunderstorm Events of the Years 2009-2013 in Tehran

Maryam Gharaylou\*, Pegah Sadr Dadras, AbbasAli Aliakbaribidokhti, Alireza Mahmoudian

Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

DOI: [10.22059/JES.2021.327005.1008202](https://doi.org/10.22059/JES.2021.327005.1008202)

**Document Type**  
Research Paper

**Received**  
March 10, 2021

**Accepted**  
June 17, 2021

### Abstract

In the present study, the relationship between air pollution and the number of Cloud-to-Ground (CG) and Intra-Cloud (IC) lightning in Tehran during thunderstorm events from 2009 to 2013 has been investigated. Reports of thunderstorms in the Tehran region for the years of study were collected from the Iran Meteorological Organization (IRIMO) using the current weather data. After determining the days of thunderstorms with lightning, the number of IC and CG lightning events for the desired days was obtained from the observational data of the Lightning Imaging Sensor (LIS). In order to investigate the relationship between air pollution and lightning, PM<sub>10</sub> concentration data were also obtained from the Tehran Air Quality Control Center for some pollution stations in the Tehran area. The results showed that the mean daily concentration of there is a good correlation between PM<sub>10</sub> concentration and lightning in Tehran region. In other words, near-surface PM<sub>10</sub> significantly contributes to increasing the concentration of surface aerosols and therefore acts as the Cloud Condensation Nuclei (CCN) and affects high-frequency atmospheric phenomena such as lightning activity. Subsequently, the seasonal study of overall data from the stations of Shadabad, Sharif and Fatah showed an almost stronger correlation between the daily PM<sub>10</sub> concentration and the number of lightning flashes in the warm period of the studied years than the entire years.

**Keywords:** Lightning; Air pollution; PM<sub>10</sub>; LIS

---

\* Corresponding author:

Email: [gharaylo@ut.ac.ir](mailto:gharaylo@ut.ac.ir)

## Introduction

Atmospheric pollutants affect the various development and formation of local weather systems. It is not well known how the variation of atmospheric pollutants affects the different stages of weather conditions. Many studies have been conducted to explore the physical relationship between lightning occurrence and air pollution. The influence of atmospheric pollutants on cloud systems includes the direct effect on radiation budget and the indirect effect on the cloud dynamics and microphysical properties. Atmospheric pollutants modify weather and climate. Some research has reported the significant effect of aerosols on cloud microphysics on a global scale. Many studies have been dedicated to the effect of the urban area on the local weather systems with a focus on the effect of the urban heat island circulation and its possible role in air pollution.

Lightning clouds in intensely populated areas as large cities can have damaging effects in such urban areas. The main aim of this study is to consider the effect of the increase in the concentration of  $PM_{10}$  on lightning events in the Tehran area. Usually, higher atmospheric aerosol concentration contributes to more Cloud Condensation Nuclei (CCN) formation, reducing the mean cloud droplet size by decreasing the coalescence and droplet collision efficiency. Thus, more supercooled water is likely to exist at greater depths inside the cloud. The abundance of supercooled water may generate large cloud graupels, leading to an enhanced lightning activity over urban regions. Studies show that lightning activity is more vigorous at downwind of an urban area than in suburban areas, and there is a positive relationship between  $PM_{10}$  and  $SO_2$  concentration and lightning frequency. This issue verifies the crucial role of aerosols in increasing the liquid water content and ice particles in the phase change zone of clouds. Also, the results of a study over Kolkata show that following the outbreak of Covid-19 disease, the concentration of surface pollutants has decreased by more than 40% compared to the pre-lockdown period in this city. Hence, decreasing the concentration of surface pollutants has a more significant impact on lightning in the pre-monsoon period.

## Materials and Methods

In this study, firstly, thunderstorm reports are collected from the Iran Meteorological Organization (IRIMO) in the Tehran region from 2009 to 2013. Then the days of thunderstorms with lightning occurrence are obtained by checking the current weather code. The lightning events for the desired days are obtained from the Lightning Imaging Sensor (LIS). The LIS is a space-based tool which is used to detect the distribution and variability of total lightning including Cloud-to-Ground (CG) and Intra-Cloud (IC) lightning. It measures the amount, rate, and radiant energy of lightning during both day and night. Moreover, to investigate the relationship between lightning and surface aerosol concentrations in the Tehran region,  $PM_{10}$  concentration data (including daily and annual mean) are obtained from Tehran Air Quality Control Center (AQCC) for several pollution stations in the Tehran area, including Fatah, Sharif, Shadabad, and Aqdasiyeh stations. The air pollution stations are selected due to the completeness of the required data during the study period and the proximity to the meteorological stations under investigation (Mehrabad and Shemiran stations).

The analysis section is dedicated to investigating the mean annual number of lightning changes with the annual mean of  $PM_{10}$  concentration during the studied years. Moreover, the scatterplots of  $PM_{10}$  concentration and the number of lightning flashes (for the studied stations) during these years are presented and examined.

## Results and Discussion

From 2009 to 2013, Tehran experienced many thunderstorms caused by local convective storms that resulted in many lightning events. The relationship between cloud base (Lifted Condensation Level; LCL) height and the number of lightning flashes taken from LIS data at Mehrabad station in Tehran confirm previous observations. Specifically, this study shows that more supercooled water is expected to be present at higher altitudes in the clouds, leading to higher lightning activity.

The trend of  $PM_{10}$  changes is almost similar to the trends of changes in the mean annual number of lightning in the studied years for the Aqdasiyeh and Shadabad stations. The maximization of lightning clearly shows that the increase in  $PM_{10}$  concentration can enhance the lightning activity over the polluted area. This effect may be attributed to enhanced precipitation, which usually co-occurs with

and after atmospheric electrical activity. Such an effect is usually related to the general precipitation washing effect of the atmosphere.

The distribution of the mean-daily concentration of  $PM_{10}$  versus the number of lightning flashes shows that the daily  $PM_{10}$  concentration has a moderate positive correlation with the number of lightning (based on the correlation coefficient, which ranges from 0.36 to 0.85 for the studied pollution monitoring stations). The values of correlation coefficient greater than 0.7 indicate a strong positive correlation between the two correlated variables, even if their scatterplots are highly scattered. When correlation coefficient is obtained between 0.3 and 0.7, it indicates a moderately positive relationship between the two variables. Therefore, the pollution has intensified the storm and the lightning activity in these stations. Also, the seasonal study of overall data from the stations of Shadabad, Sharif and Fatah showed an almost stronger correlation between the daily concentration of  $PM_{10}$  and the number of lightning flashes in the warm period of the studied years compared to the whole years according to the obtained correlation coefficients.

### Conclusions

The Tehran urban area results show the trend of  $PM_{10}$  and mean annual number of lightning changes are almost similar in the studied years for the Aqdasiyeh and Shadabad stations. Moreover, there is a good correlation between daily-mean  $PM_{10}$  concentration and lightning occurrence in this region for the studied pollution monitoring stations during the precipitating storm activity. In other words, near-surface  $PM_{10}$  significantly contributes to the increasing concentration of atmospheric aerosols. It, therefore, can act as cloud CCN which can affect a high frequency of atmospheric lightning activity. The results are also consistent with other parameters, including the correlation of the increase in cloud base height and the number of lightning flashes. Subsequently, the seasonal study of overall data from the stations of Shadabad, Sharif and Fatah showed an almost stronger correlation between the daily  $PM_{10}$  concentration and the number of lightning flashes in the warm period of the studied years than the entire years.

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

مریم قرایلو\*، پگاه صدر دادرس، عباسعلی علی‌اکبری بیدختی، علیرضا محمودیان

گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۲۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۳/۲۷

### چکیده

در مطالعه حاضر، ارتباط بین آلودگی هوا و آذرخش کلی شامل آذرخش‌های درون‌ابری و ابر به زمین در شهر تهران در طی رخدادهای توفان تندری سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ بررسی شده است. پس از مشخص شدن روزهای رخداد توفان تندری همراه با آذرخش، تعداد درخش‌های آذرخش برای روزهای موردنظر از داده‌های مشاهداتی حسگر تصویربرداری آذرخش اخذ شدند. داده‌های غلظت آلاینده PM<sub>10</sub> (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 PM<sub>10</sub> همبستگی مثبتی با تعداد درخش آذرخش در منطقه تهران دارد. به عبارت دیگر، PM<sub>10</sub> 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 جوی 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 PM<sub>10</sub> و تعداد درخش آذرخش در دوره گرم سال‌های مورد مطالعه نسبت به کل سال‌ها وجود دارد.

### کلید واژه

آذرخش؛ آلودگی هوا؛ PM<sub>10</sub>؛ LIS

### سر آغاز

آلاینده‌های جوی 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 جوی، به ویژه از نوع ذره‌ای می‌تواند روی فعالیت توفان‌های تندری همراه با آذرخش تأثیرگذار باشد. اغلب آلاینده‌های جوی 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

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  $PM_{10}$  (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  $PM_{10}$  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.

## 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<sup>۲</sup> (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<sup>۳</sup> ( $PM_{10}$ ) است. داده‌های آذرخش از پایگاه داده‌های حسگر تصویربرداری آذرخش<sup>۴</sup> (LIS) به دست آمده است. LIS ابزاری بر پایه ماهواره مأموریت اندازه‌گیری بارندگی حاره‌ای<sup>۵</sup> (TRMM) است و فعالیت‌های آذرخش‌های درون‌ابری<sup>۶</sup> (IC) و ابر به زمین<sup>۷</sup> (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

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

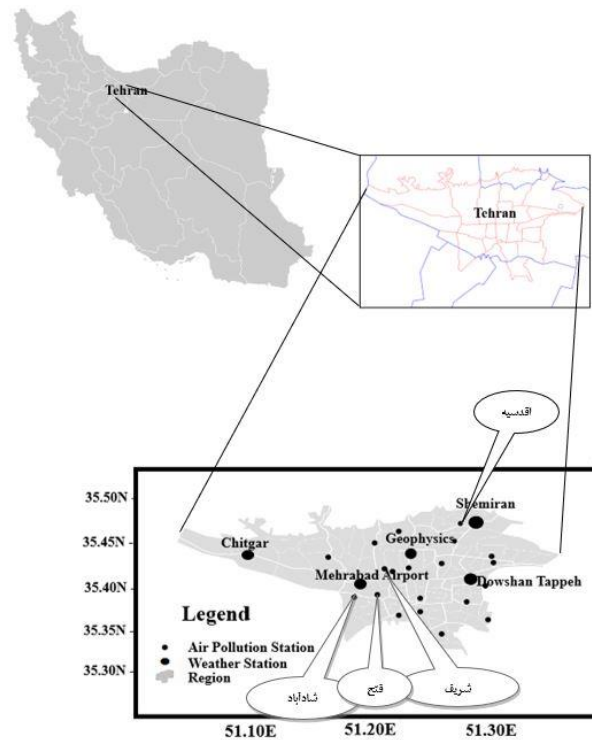
شدت	شرح پدیده	کُد هوای حاضر (WW)
-	آذرخش مشاهده شده، اما تندی دیده نشده	۱۳
-	آذرخش، بدون بارندگی در ساعت دیدبانی	۱۷
-	تندوزه (squall) موقت	۱۸
-	آذرخش، با بارندگی و یا بدون بارندگی، طی یک ساعت گذشته	۲۹
ملایم	باران همراه با آذرخش در یک ساعت گذشته	۹۱
متوسط و یا شدید	باران همراه با آذرخش در یک ساعت گذشته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

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

شدت	شرح پدیده	کُد 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 کُد 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**

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

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

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

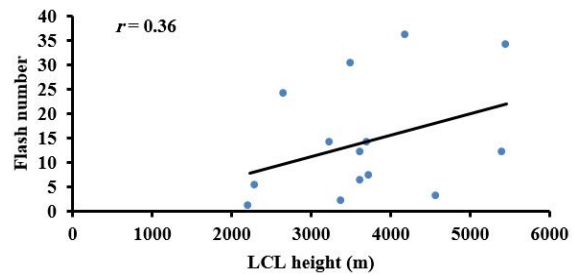
در رابطه (۱)،  $P$  و  $T$  به ترتیب فشار بر حسب پاسکال و دمای LCL بر حسب درجه سانتیگراد و  $P_0$  فشار تراز دریا است. لازم به ذکر است که داده‌های دما و فشار LCL در داده‌های رادیوگمانه برگرفته از دانشگاه ایومینگ برای روزهای رخداد آذرخش موجود هستند.

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



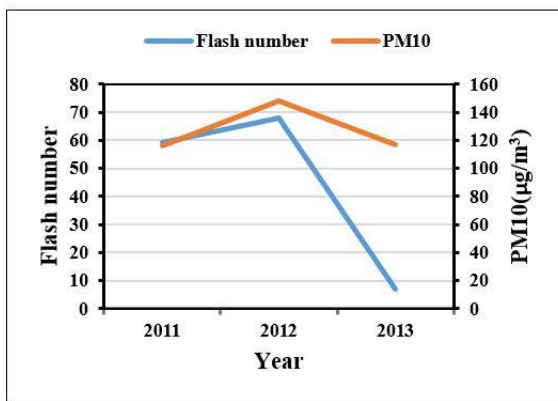
برای کلّ مدّت مطالعه (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳) در شکل ۳ برای ایستگاه‌های اقدسیه و شادآباد ترسیم شده است. لازم به توضیح است که برای ایستگاه اقدسیه در سال ۲۰۱۱ و برای ایستگاه شادآباد در سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ داده‌ای گزارش نشده است. دلیل این عدم گزارش برای ایستگاه شادآباد، تاریخ تأسیس این ایستگاه است که سال ۲۰۱۱ بوده 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 اُفت 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 جوّی رخ می‌دهد. چنین اثری معمولاً به اثر شستشوی بارش کلیّی جوّی 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 ابر سرد بیشتری در ارتفاع‌های بالاتر در ابرها وجود داشته باشد، پس به نوبه خود باعث افزایش فعالیت آذرخش می‌شود.

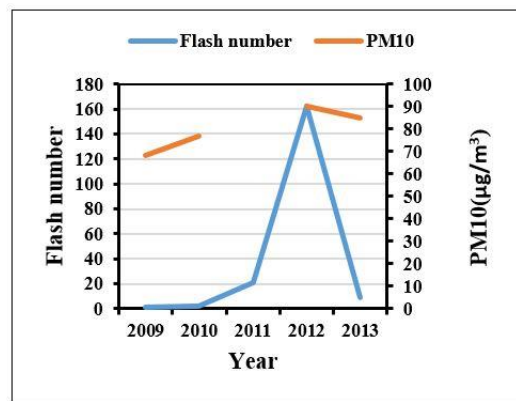


شکل ۲. تغییرات تعداد درخت آذرخش با ارتفاع LCL در ایستگاه مهرآباد تهران در طی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ با استفاده از داده‌های LIS

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



(ب)



(الف)

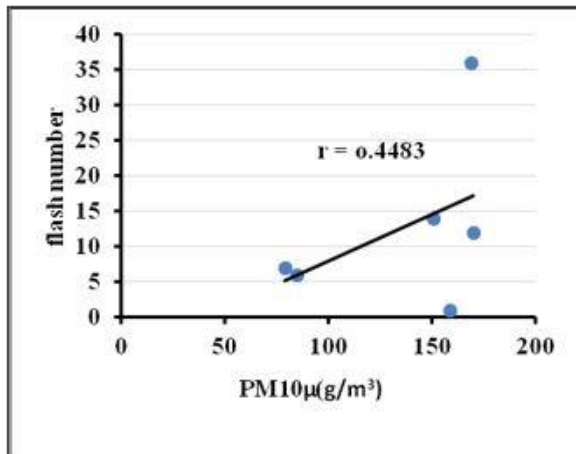
شکل ۳. تغییرات میانگین سالانه تعداد درخت‌های آذرخش CG با میانگین سالانه غلظت  $PM_{10}$  برای کلّ مدّت مطالعه (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳) برای (الف) ایستگاه اقدسیه و (ب) ایستگاه شادآباد با استفاده از داده‌های LIS

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

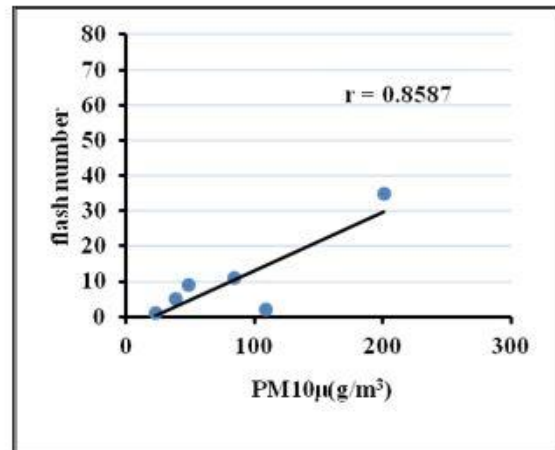
پراکنش‌نگاشت میانگین روزانه غلظت  $PM_{10}$  در مقابل تعداد درخت آذرخش برگرفته از LIS برای ایستگاه‌های سنجش آلودگی اقدسیه، شادآباد، شریف و فتح در شکل ۴ ارائه شده است. این پراکنش‌نگاشت‌ها نشان می‌دهند که بر

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).

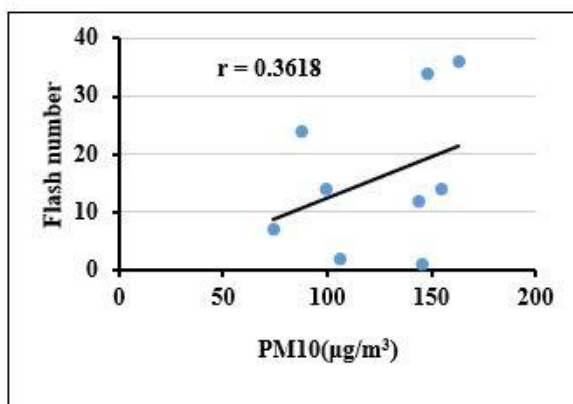
توفان و فعالیت آذرخش در این ایستگاه‌ها شده است. این نتیجه با نتایج مطالعات قبلی از جمله Farias و همکاران (۲۰۱۴) و Liou و Kar (۲۰۱۴ و ۲۰۱۹) همخوانی دارد که نشان‌دهنده افزایش فعالیت آذرخش در شرایط آلوده جوی



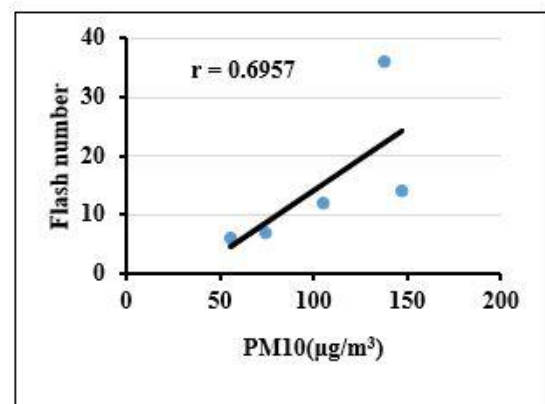
(ب)



(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

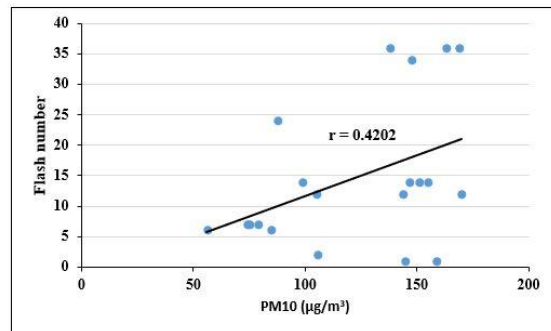
با توجه به اینکه ایستگاه‌های سنجش آلودگی شادآباد، شریف و فتح که داده‌های درخش آذرخش آنها از ایستگاه مهرآباد تهران به‌دست آمده است در مجاورت هم قرار گرفته‌اند، پراکنش نگاشت میانگین روزانه غلظت PM10 و تعداد درخش آذرخش برای کل این ایستگاه‌ها در شکل ۵ ارائه شده است. این شکل نیز نشان‌دهنده این است که آلودگی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