

تأثیر آلودگی‌های ذره‌ای هوای تهران بر روی مشخصه‌های ابر و بارش

دینا عبدمنافی^{۱*}

dinaabdemanafi@gmail.com

سهراب حجام^۲

امیر حسین مشکوتی^۳

مجید وظیفه دوست^۴

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۱۳

تاریخ دریافت: ۹۴/۴/۹

چکیده

زمینه و هدف: غلظت و نوع آلاینده‌های ذره‌ای در جو، از عوامل اصلی در تغییر خردفیزیک و کلان فیزیک ابرها و بتبع آن تغییر در مقدار و کیفیت آب بارش می باشد.

روش بررسی: در این مقاله بررسی موردی تأثیر آلودگی‌های ذره‌ای جو بر روی خردفیزیک ابر و کیفیت آب بارش در شهر تهران انجام گرفته است. رویداد مورد مطالعه در این مقاله (۱۳۹۱/۰۹/۱۶) بارشی است که قبل از وقوع آن بدلیل افزایش شاخص AQI^5 مربوط به ذرات معلق، شهر تهران دو روز تعطیل اعلام شده بود. این رویداد حاد آلودگی همراه با بارش‌های مشابه دیگر که در نزدیکی این رویداد بوقوع پیوسته ولی شاخص AQI آنها در روزهای قبل از وقوع بارش در شرایط سالم قرار داشتند، مطالعه و مقایسه شدند. غلظت یون‌های موجود در آب بارش به کمک دستگاه کروماتوگرافی یونی و کمیت‌های خردفیزیک ابر با استفاده از تصاویر مربوط به ابر سنجنده مادیس مطالعه شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان می دهند که غلظت یونها بخصوص یون‌های انسان ساخت (نیترات، نیتريت، کلراید و فلوراید) در نمونه آب باران مربوط به شاخص AQI آلوده نسبت به شرایط با شاخص AQI پاک، بالاتر می باشند. همچنین آلودگی ذره‌ای در رویدادهای مورد مطالعه در این تحقیق، باعث کاهش شعاع موثر قطرک ابرها قبل از وقوع بارش، افزایش ضخامت نوری، افزایش ارتفاع قله ابر، افزایش محتوای آب ابر و بارش بیشتر در زمان وقوع بارش شده است.

۱- دکترای هواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران* (مسوول مکاتبات).

۲- دانشیار گروه هواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران.

۳- دانشیار گروه هواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران.

۴- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه گیلان، ایران.

بحث و نتیجه‌گیری: یون‌های موجود در آب بارش و مشخصه‌های خردفیزیک ابر، ارتباط مستقیم با غلظت ذرات معلق موجود در جو دارند. همچنین نقش آلودگی‌های ذره‌ای محلی یکی دیگر از عوامل مهم در تغییرات خردفیزیک ابر بصورت منطقه‌ای می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ذرات معلق، ابر، بارش، مادیس.

The case study of impacts of Tehran ambient air pollution on the cloud and precipitation characteristics

Dina Abdemanafi ^{1*}

dinaabdemanafi@gmail.com

Sohrab Hajjam ²

Amir-Hussain Meshkatee³

Majid Vazifedoust ⁴

Admission Date: January 3, 2016

Date Received: May 30, 2015

Abstract

Background and Objective: Concentration and type of atmospheric aerosols are among of the most important factors affecting the macro and micro structure of clouds and their precipitation.

Method: In this article, the case study has been carried out to investigate the relationship between atmospheric air pollution, microphysics of cloud and their precipitation over Tehran city. The case study in this paper (2012/12/06) was performed before the the rainfall that increased AQI index for particulate matter which made Tehran to be closed for two days. This event was compared with two similar rainfalls shortly before or after it and it was found out that in the two similar rainfalls the AQI index had been healthy during the days before precipitation. Ion concentrations in the rainwater were measured by ion-chromatography and microphysics of clouds were studied by MODIS on board Aqua and Terra satellite.

Findings: The results showed that ions concentration, especially anthropogenic ions (nitrate, nitrite, chloride and fluoride), in rainwater samples in polluted air was higher than in clear air. Also particulate pollution reduced the effective radius droplet of the mixed-phase clouds before the rain, and increased the cloud optical thickness, cloud water path and cloud top pressure and temperature during the precipitation.

Discussion and Conclusion: The ions in rain water and the cloud microphysics characteristics related to the concentration of aerosols in the atmosphere. Also, local particle pollutions changed regional microphysics of cloud

Keywords: Aerosol, Cloud, Precipitation, MODIS.

1-phd of meteorology, Department of Meteorology, College of Basic Sciences, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. * (*Corresponding Author*)

2- Associate Professor, Department of Meteorology, College of Basic Sciences, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

3- Associate Professor, Department of Meteorology, College of Basic Sciences, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

4- Assistant Professor, Water Engineering Group, University of Guilan, Guilan, Iran.

مقدمه

حسینی ۱۳۸۰ (۱۲). شوستری و همکاران ۱۳۹۳ (۱۳) انجام شده است.

علاوه بر هسته بندی ناهمگن، در خلال ریزش بارش و در زیر پایه ابر نیز انواع مختلف هواویز و آلاینده های گازی موجود در جو وارد آب بارش می شوند. هواویزها و گازها با آب بارش واکنش انجام داده و بصورت یون های مختلف در آب باران قابل اندازه گیری می باشند. بنابراین آنالیز شیمیایی آب بارش و تعیین آنیونها و کاتیون ها در هر منطقه، می تواند به نوعی بیانگر آلاینده های موجود در آن منطقه و نیز واکنشهای شیمیایی که در طی فرایند شکل گیری ابر و بارش رخ می دهند باشد. در شهر تهران تاکنون دو مطالعه در زمینه شیمی بارش، تا زمان انجام این تحقیق انجام شده است. اولین مطالعه توسط اسماعیلی ساری در سال ۱۳۷۱ انجام شده است که در آن، آنیون ها و کاتیون های موجود در آب بارش به مدت دو سال در ۱۲ نقطه مختلف در شهر تهران اندازه گیری شده است (۱۴). دومین مطالعه نیز توسط اسماعیلی ساری در سال ۱۳۷۶ انجام شده است. در این مطالعه تنها از ایستگاه اقدسیه تهران نمونه برداری انجام شده است (۱۵). نتایج هر دو مطالعه بطور خلاصه در جدول (۱) نوشته شده است.

با توجه به گزارش های سالانه کیفیت هوای تهران در سال های ۱۳۹۰ (۱۶) و ۱۳۹۱ (۱۷)، مهم ترین آلاینده هوای تهران در طی این سال ها، ذرات معلق کوچک تر از ۲/۵ و کوچک تر از ۱۰ میکرون بوده است (گزارش فنی شرکت کنترل کیفیت هوای تهران، شماره های QM92/03/03/U/01 و QM91/02/06(U)/01). بنابراین مطالعه مشخصه های ابر و کیفیت آب بارش در این سال ها به نوعی تأثیرات آلاینده های ذره ای بر روی تشکیل و تقویت ابرها و بارش را نشان می دهد. در این مقاله مطالعه موردی خردفیزیک ابر و کیفیت آب بارش برای یک رویداد حاد آلودگی ذره ای در شهر تهران انجام گرفته است.

ابرها و بارش (برف، باران، تگرگ...) نه تنها بخشی مهم از پدیده های زیر سامانه جو اقلیم زمینی را به خود اختصاص می دهند، بلکه این دو، همچنین، از اجزاء اصلی چرخه آب می باشند. عوامل بسیاری در ابرناکی و بارش موثر می باشند که در این میان، نقش هواویزها^۱ از جایگاه ویژه ای برخوردار می باشد. ابر و به تبع آن بارش به دو صورت هسته سازی همگن و هسته سازی غیر همگن تشکیل می شوند. اما در جو واقعی فرایند هسته سازی غیر همگن بوقوع می پیوندد. هواویزها نقش اصلی را در هسته سازی غیر همگن ایفا می کنند. اولین اثر غیر مستقیم هواویزها بر روی ابرها، یا اثر تومی^۲، مربوط به اندازه قطرک ابر و از اینرو قابلیت انعکاس برای یک مسیر آب مایع ثابت می باشد، به عبارت دیگر افزایش هواویزها باعث کاهش شعاع موثر قطرک های ابر و افزایش سپیدایی^۳ ابر خواهد شد (۱ و ۲). دومین اثر مربوط به گسترش ابر، دوره زندگی و میزان بارش آن می باشد (۳ و ۴). با بالا رفتن غلظت هواویزها، ابرهای گرم و بارش های آن بدلیل کاهش اندازه های قطرک ها و کاهش برخورد و بهم پیوستگی آن ها، کاهش خواهند یافت (۵-۸). برعکس در ابرهای سرد، بالا رفتن غلظت هواویزها باعث افزایش یخ زدن قطرک ها و آزاد شدن بیشتر گرمای نهان در بالای خط همدمای صفر درجه و در نهایت رشد تگرگ ها (۸)، افزایش بارش، افزایش ارتفاع قله ابرها و شکل-گیری سندان های بزرگ می شوند (۹ و ۱۰). با پیشرفت دائم و پیوسته ابزار و تکنولوژی، ابزارهای تحقیقاتی خیلی بهتری برای بدست آوردن بینش در زمینه برهم کنش هواویز-ابر-بارش فراهم گشته است. از جمله ماهواره، لیدار و رادارهای جدید ابزارهای بسیار خوبی برای بررسی های مشاهداتی می باشند. از جمله تحقیقات انجام شده در زمینه خردساختار ابرها به کمک تصاویر ماهواره، می توان به کارهای کورن و همکاران (۱۱)، لی و همکاران (۹) و غیره اشاره نمود. تنها مطالعات آزمایشگاهی درزمینه خردفیزیک ابرها در ایران توسط ارکیان و صادقی

جدول ۱- غلظت یون های اندازه گیری شده توسط اسماعیلی ساری در شهر تهران در سال های ۱۳۷۱ و ۱۳۷۶ (بر حسب ppm).

Table1. The mean concentration of different ions that were found in sampled rain waters in Tehran city by Ismail Sari in Tehran for 1991 and 1997 (ppm).

NH_4^+	K^+	Ca^{2+}	Na^+	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	
-	-	-	-	-	۹/۲۶	۲/۹۱	۵/۴۲	اسماعیلی ساری ۱۳۷۱
۰/۵۸	۱/۰۶۵	۸/۹۵	۰/۹۷	۰/۳۷۵	۵/۳۷	۱/۷۱	۱/۱۹	اسماعیلی ساری ۱۳۷۶

منطقه مورد مطالعه و روش بررسی

منطقه مورد مطالعه

شهر تهران، پایتخت کشور ایران و مرکز استان تهران می باشد که بین طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۶ دقیقه و بین عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه قرار دارد. این شهر از شمال به کوهستان و از جنوب به نواحی کویری منتهی می شود بنابراین دارای ارتفاعهای مختلف، آب و هوا و میزان بارش های متفاوت در نقاط مختلف اش می باشد. در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی شهر تهران نشان داده شده است. شهر تهران با توجه به سرشماری های انجام شده تا سال ۲۰۱۱ میلادی (قابل دسترس از سایت <http://www.amar.org.ir>)، دارای رشد شهر نشینی، افزایش ساختمان های مسکونی آپارتمانی و تردد بیشتر وسایل نقلیه شخصی و عمومی بوده است. این شهر بیش از نیم قرن است که شهری صنعتی بوده و کارخانجات بسیاری در اطراف آن بخصوص در قسمت غرب و جنوب غرب شهر که منطقه ورود تمامی سیستم های آب و هوایی و منطقه باد غالب

می باشد، قرار دارند. از نظر جغرافیایی شهر تهران از سمت جنوب به نواحی بیابانی، شوره زار و دریاچه نمک قم منتهی شده است. بدلیل کاهش یافتن مقدار نزولات جوی در برخی از سال ها و نیز استفاده بیشتر از منابع آبی حجم آب رودخانه های تهران که در نهایت به دریاچه نمک قم در بیابان های جنوب استان تهران سرازیر می شوند، نیز کاهش چشمگیری یافته است. بنابر این شوره زار های بیشتر و مناطق کویری خشکتر نسبت به سال های گذشته ایجاد شده است. با توجه به عوامل ذکر شده شهر تهران از نظر غلظت آلاینده های ذره ای و گازها دارای رتبه بالایی می باشد و از این رو این منطقه جهت مطالعه موردی انتخاب شده است.

برای نمونه برداری از آب بارش دو ایستگاه همدیدی اقدسیه و مهرآباد سازمان هواشناسی و برای مطالعه خردفیزیک ابر پنج منطقه اقدسیه، دانشگاه علوم و تحقیقات تهران، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، مهرآباد و دوشان تپه انتخاب شده اند. در جدول (۲) طول و عرض جغرافیایی مکانهای انتخاب شده نوشته شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهر تهران.
Figure 1. The Location of Tehran city.

جدول ۲- مشخصات جغرافیایی مناطق انتخاب شده جهت بررسی کمیت خردفیزیک ابر در این مقاله.

Table 2. The properties of selected areas for have investigated quantity of cloud microphysics in this article.

نام ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول جغرافیایی (درجه-دقیقه)	عرض جغرافیایی (درجه-دقیقه)
شمال تهران (اقدسیه)	۱۵۴۸/۲	۵۱ ۳۷	۳۵ ۴۷
مهرآباد	۱۱۹۰/۸	۵۱ ۱۹	۳۵ ۴۱
دوشان تپه	۱۲۰۹/۲	۵۱ ۳۰	۳۵ ۴۲
موسسه ژئوفیزیک	۱۴۱۸/۶	۵۱ ۲۳	۳۵ ۴۴
دانشگاه علوم تحقیقات	۱۵۵۰/۱	۵۱ ۱۹	۳۵ ۴۷

روش بررسی

میلی متر می باشد. منطقه اطراف ایستگاه اقدسیه تقریباً از پوشش گیاهی بیشتری نسبت به سایر نقاط شهر برخوردار می باشد. همچنین از حجم وسایل نقلیه و پوشش ساختمانی کمتری نسبت به ایستگاه مهرآباد برخوردار می باشد. ایستگاه هواشناسی مهرآباد تهران در منطقه جنوب غرب شهر تهران و در محل فرودگاه مهرآباد قرار گرفته است. در اطراف این ایستگاه، فرودگاه مهرآباد، ترمینال های مسافری، تراکم ساختمانی زیادتر، پوشش گیاهی بسیار کم و کارخانجات بسیاری وجود دارد. همچنین این ایستگاه در پست ترین نقطه شهر تهران قرار گرفته است. میانگین مجموع بارش سالیانه این ایستگاه تقریباً ۲۳۱ میلی متر می باشد. این دو ایستگاه هواشناسی از نظر مقدار آلاینده های گازی و ذرات معلق می - توانند تقریباً نماینده خوبی از کل شهر تهران باشند. بوسیله دستگاه کروماتوگرافی یونی غلظت یون های NO_2^- ، NH_4^+ ، SO_4^{2-} ، NO_3^- ، Ca^{2+} ، Br^- ، K^+ ، F^- ، Na^+ ، HCO_3^- ، Mg^{2+} ، Cl^- در ۳ مورد آب بارش اندازه گیری شدند. دو رویداد بارش در هوای پاک، از نظر زمانی در نزدیک رویداد بارش در شرایط حد آلودگی قرار داشتند تا سامانه های بارشی و تغذیه رطوبتی سامانه آب و هوایی به میزان زیادی مشابه با هم باشند.

برای بررسی تاثیرات ذرات معلق بر روی خرد فیزیک ابر رویداد مورد مطالعه (۱۳۹۱/۰۹/۱۶)، تصاویر مربوط به ابر سنجنده های مادیس ماهواره های آکوا و ترا (MOD06-L2 و MYD06-L2) برای این رویداد استخراج و مطالعه شدند. این تصاویر برای یک مورد بارش دیگر (۱۳۸۵/۱۰/۱۶) که الگوی

برای بررسی تغییرات احتمالی در خردفیزیک ابر و کیفیت آب بارش در شرایط حد آلودگی نسبت به شرایط پاک، رویداد بارش تاریخ ۱۶ آذر ماه سال ۱۳۹۱ که در شهر تهران بوقوع پیوست انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفته است. رویداد مورد مطالعه در این تحقیق بارشی است که قبل از وقوع آن بدلیل افزایش شاخص AQI مربوط به ذرات معلق کوچک تر از ۲.۵ میکرون، شهر تهران، دو روز تعطیل اعلام شده بود (بدلیل آلودگی بسیار زیاد). بمنظور بررسی کیفیت آب بارش، آب باران رویداد حد آلودگی و دو مورد بارش دیگر (۱۳۹۱/۰۹/۰۶) و (۱۳۹۱/۰۹/۲۴) که در نزدیکی این رویداد بوقوع پیوسته ولی شاخص AQI آنها در روزهای قبل و وقوع بارش در شرایط سالم قرار داشتند، انتخاب شدند. هر سه رویداد بارش مطابق استاندارد (۱۸) نمونه برداری شدند و غلظت یون های موجود در آن به کمک دستگاه کروماتوگرافی یونی (مدل ۸۵۰، ساخت کمپانی متروم^۱ کشور سوئیس با دقت ۰/۰۰۱ ppm) تعیین شدند. برای نمونه برداری از آب بارش، دو ایستگاه همدیدگی اقدسیه (شمال تهران) و مهرآباد سازمان هواشناسی کشور به عنوان نماینده از کل شهر تهران انتخاب شدند. ایستگاه اقدسیه تهران در منطقه شمال شرق شهر تهران و در ارتفاعات جنوبی رشته کوه های البرز قرار گرفته است. منطقه شمال شرق تهران بدلیل موقعیت مکانی و رطوبت بیشتر، از نظر مقدار و فراوانی بارش نسبت به سایر نقاط شهر بیشترین مقدار را دارا می باشد. میانگین مجموع بارش سالیانه در این ایستگاه تقریباً ۴۲۰

1 -Metrohm

غلظت آلاینده‌ها توسط شرکت کنترل کیفیت هوای تهران، دیده شد که شاخصهای گازها از جمله CO_2 ، SO_2 و ذرات معلق در روز قبل از وقوع بارش در دو مورد هوای پاک، پایین می‌باشند. دلیل این تناقض، احتمالاً بالا بودن غلظت آلاینده‌ها در ارتفاعات بالاتر لایه مرزی و جاروب شدن آنها توسط بارش می‌باشد. از آنجاییکه اندازه‌گیری‌های شرکت کنترل کیفیت هوا مربوط به سطح زمین می‌باشند و آلودگی‌ها در سطوح بالا را نمی‌توانند اندازه‌گیری کنند، بنابراین شاخص AQI پایین دلیل کافی بر پایین بودن غلظت کلیه یونها در نمونه‌های آب بارش نمی‌تواند باشد.

مقادیر شعاع موثر قطرک ابر^۱، ضخامت نوری ابر^۲، مسیر آب ابر^۳، فشار و دمای قله ابر^۴ و نوع فاز ابرها^۵ که بصورت نقطه‌ای برای پنج منطقه اقدسیه، مهرآباد، دوشان تپه، ژئوفیزیک و دانشگاه علوم و تحقیقات شهر تهران استخراج کرده ایم در جداول (۳-الف، ب، ج، د، ه) نوشته شده‌اند. همانطور که از جداول دیده می‌شود، تمامی ابرها در دو رویداد و برای روزهای قبل، خود رویداد و ادامه بارش همگی از نوع سرد (مختلط و یخی) می‌باشند. شعاع موثر قطرک‌های ابر در زمان همراه با آلودگی ذره‌ای، قبل از وقوع بارش در تمامی مناطق شهر نسبت به مورد مربوط به هوای پاک، بسیار کمتر می‌باشند، که دلیل آن فراباروری^۶ ابرها می‌باشد. البته مقادیر شعاع موثر قطرک ابر در مناطق شمالی شهر (اقدسیه و علوم تحقیقات) نسبت به مناطق مرکز و جنوبی شهر، بدلیل ارتفاع بیشتر این مناطق و حجم کمتر آلودگی‌های ذره‌ای، بیشتر بودند. در زمان وقوع بارش، بدلیل جاروب شدن آلاینده‌ها توسط بارش از جو، هسته‌های میعان کاهش یافته و شعاع موثر قطرکها افزایش بسیاری یافته است. حتی شعاع نسبت به مورد هوای پاک، در تمامی ۵ منطقه، بسیار بیشتر بدست آمده است. ضخامت نوری ابر و مسیر آب ابر نیز در شرایط همراه با آلودگی

همدیدی، زمان وقوع، سمت و مقدار باد، آب قابل بارش و رطوبت نسبی در سطح ۸۵۰ میلی باری مشابه با آن رویداد آلوده داشت ولی شاخص AQI آن در شرایط سالم قرار داشت، استخراج شدند. الگوهای همدیدی به کمک نقشه‌های همدیدی سازمان هواشناسی، آب قابل بارش به کمک تصاویر $MOD05-L2$ و $MYD05-L2$ سنجنده‌های مادیس (ماهواره‌های آکوا و ترا) و رطوبت نسبی در سطح ۸۵۰ میلی باری توسط نقشه‌های بازتحلیل $NCEP/NCAR$ بررسی شدند. این دو رویداد از نظر کمیت‌های خردفیزیک ابر با هم مقایسه شدند. تصاویر سنجنده مادیس ماهواره‌های آکوا و ترا از یک روز قبل از بارش، روز شروع بارش و ادامه بارش بررسی شدند. پارامترهای شعاع موثر قطرک ابر (CER)، ضخامت نوری ابر (COT)، دمای بالای ابر (CTT)، فشار بالای ابر (CTP)، مسیر آب ابر (CWP)، میزان ابرناکی (CF) و فاز ابر از روی تصاویر سنجنده مادیس و به کمک نرم افزارهای مربوطه استخراج و مورد مطالعه قرار گرفتند. تصاویر سنجنده‌های مادیس ماهواره‌های آکوا و ترا که در این مقاله استفاده شده‌اند دارای قدرت تفکیک مکانی ۱ در ۱ کیلومتر و قدرت تفکیک مکانی روزانه می‌باشند.

یافته‌ها

نتایج اندازه‌گیری غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های موجود در ۳ نمونه آب بارش (بر حسب ppm) در دو ایستگاه اقدسیه و مهرآباد تهران، بصورت نمودار در شکل (۲-الف و ۲-ب) ترسیم شده است. همانطور که از دو نمودار دیده می‌شود، در هر دو ایستگاه در نمونه بارش مربوط به رویداد آلوده، غلظت یون‌های فلوراید، کلراید، نیترات، نیتریت و منیزیم نسبت به نمونه‌های با شاخص پاک بالاتر بودند. همچنین ترتیب غلظت یونها در دو ایستگاه و برای هر سه نمونه آب بارش کاملاً مشابه می‌باشند. در نمونه آب بارش مربوط به رویداد پاک اول، غلظتهای سولفات، سدیم، پتاسیم، آمونیوم و کلسیم بالاتری نسبت به رویداد آلوده مشاهده می‌شود. همچنین در رویداد پاک دوم غلظت بی‌کربنات نسبت به رویداد آلوده بیشتر اندازه‌گیری شده است. با بررسی و مقایسه این نتایج با اندازه‌گیری‌های

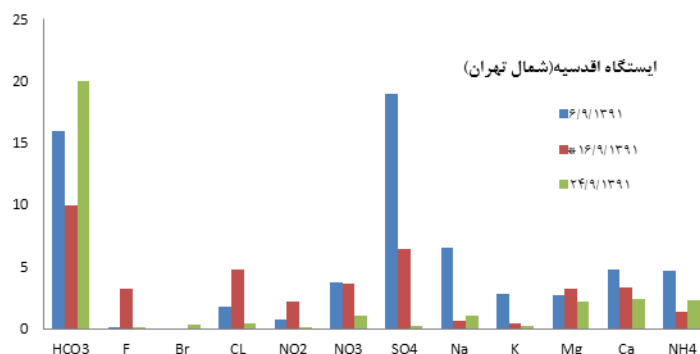
- 1- Cloud Effective Radius
- 2- Cloud Optical Thickness
- 3- Cloud Water Path
- 4- Cloud Top Temperature and Pressure
- 5- Cloud phase
- 6- Over seeding

آمیخته ابر و افزایش ارتفاع ابرها را در شرایط آلودگی نسبت به شرایط پاک نشان می دهند.

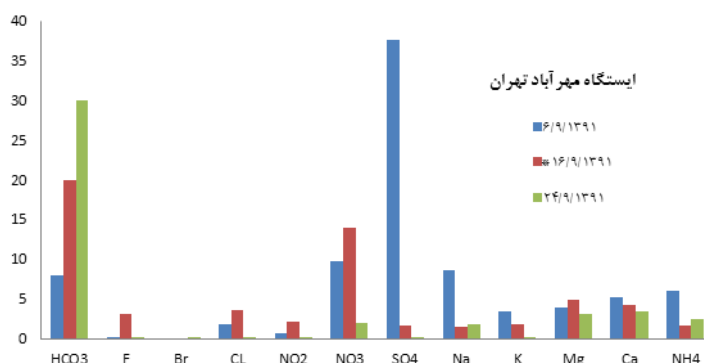
به عبارتی با مقایسه انجام شده برای دو سامانه بارشی مشابه در این تحقیق، می توان نتیجه گرفت که افزایش آلودگی ذره ای باعث تقویت ابر و افزایش شدت و مقدار بارش ناشی از آنها، شده است. همچنین شدت ابر، ارتفاع قله ابر و مقدار بارش در یک سامانه مشابه در مناطق شمالی شهر تهران بیشتر از مرکز و جنوب شهر می باشد. بنابراین نقش آلودگی های محلی یکی از عوامل مهم در تغییرات خردفیزیک ابر بصورت منطقه ای می باشند.

ذره ای در روز وقوع بارش و در تمامی ۵ منطقه شهر، بسیار بیشتر از بارشی که در شرایط پاک بوقوع پیوسته می باشند. این نتیجه نیز، بدلیل افزایش در تعداد هسته های میعان ابر و بتبع آن افزایش تعداد قطرک های ابر می باشد. این مطلب حاکی از تقویت ابرها در شرایط آلودگی ذره ای نسبت به شرایط پاک می باشند. ضخامت نوری و مسیر آب ابر نیز در مناطق اقدسیه و دانشگاه علوم و تحقیقات تهران نسبت به سه منطقه در جنوب شهر در هر دو مورد آلوده و پاک، قبل و روز بارش بیشتر بدست آمدند. مقادیر دما و فشار قله ابر، افزایش ضخامت منطقه فاز

(الف)



(ب)



شکل ۲- غلظت یون های موجود در ۳ نمونه آب بارش بر حسب ppm، که بوسیله دستگاه کروماتوگرافی یونی برای دو ایستگاه اقدسیه و مهرآباد شهر تهران بدست آمده اند.

Figure 2. Ions concentrations have obtained for three samples of rainwater (ppm) by ion chromatography system for Aghdasieh and Mehrabad stations in Tehran.

جدول ۳- مقادیر شعاع موثر قطرک ابر، ضخامت نوری ابر، مسیر آب ابر، دما و فشار در بالای ابر و نیز نوع فاز ابر در پنج منطقه اقدسیه، دانشگاه علوم تحقیقات، دوشان تپه، ژئوفیزیک، مهرآباد شهر تهران که بوسیله تصاویر سنجنده مادیس بدست آمده اند.

Table 3. Values of cloud effective radius, cloud optical thickness, cloud water path, cloud top temperature and pressure as well as cloud phase in five regions, Aghdasieh, Azad University(Science and Research Branch of Tehran), Dushan tappeh, geophysic and Mehrabad Airport in Tehran have obtained by MODIS images.

بارش	وقوع بارش	قبل بارش	نوع شاخص هوا	(الف) اقدسیه
یخ	یخ	آمیخته	آلوده	فاز ابر
آمیخته	آمیخته	آمیخته	پاک	
۲۷	۲۴	۶/۸	آلوده	شعاع موثر قطرک ابر (میکرون)
۱۰/۱۸	۲۳/۱۱	۳۳	پاک	
۰/۸۷	۱۰۰	۱۲/۳۴	آلوده	ضخامت نوری ابر
۲۷	۲۶	۶	پاک	
۲۵۳/۴۴	۲۳۳/۹	۲۵۶/۶۲	آلوده	دمای قله ابر (کلوین)
۲۵۶/۰۷	۲۶۰/۹۴	۲۵۵/۱۸	پاک	
۴۶۰	۳۶۰	۵۵۵	آلوده	فشار قله ابر (هکتوپاسکال)
۵۹۵	۶۲۰	۴۰۵	پاک	
۲۰	۱۵۲۳	۵۰	آلوده	مسیر آب ابر
۵۹	۴۸۷	۸۸	پاک	

بارش	وقوع بارش	قبل بارش	نوع شاخص هوا	(ب) مهرآباد
یخ	یخ	آمیخته	آلوده	فاز ابر
آمیخته	آمیخته	یخ	پاک	
۲۵/۷۸	۲۷/۱۷	۵/۴۸	آلوده	شعاع موثر قطرک ابر (میکرون)
۲۹/۵۳	۹	۲۵/۳	پاک	
۵/۵۸	۲۸/۵۲	۷/۳۵	آلوده	ضخامت نوری ابر
۹/۸	۰/۳	۸/۳۳	پاک	
۲۵۸/۵۹	۲۳۵/۶۳	۲۶۸/۹۲	آلوده	دمای قله ابر (کلوین)
۲۴۳/۵	۲۶۱/۲۷	۲۲۳/۵۷	پاک	
۵۵۵	۳۷۵	۶۸۵	آلوده	فشار قله ابر (هکتوپاسکال)
۴۸۰	۸۲۵	۲۶۰	پاک	
۸۹	۴۸۰	۱۸	آلوده	مسیر آب ابر
۹۶	۱۱۴	۱۳۰	پاک	

بارش	وقوع بارش	قبل بارش	نوع شاخص هوا	(ج) دوشان تپه
یخ	یخ	آمیخته	آلوده	فاز ابر

پاک	آلوده	آمیخته	آمیخته	آمیخته
پاک	آلوده	آمیخته	آمیخته	آمیخته
پاک	آلوده	آمیخته	آمیخته	آمیخته
پاک	آلوده	آمیخته	آمیخته	آمیخته
پاک	آلوده	آمیخته	آمیخته	آمیخته
پاک	آلوده	آمیخته	آمیخته	آمیخته
پاک	آلوده	آمیخته	آمیخته	آمیخته
پاک	آلوده	آمیخته	آمیخته	آمیخته
پاک	آلوده	آمیخته	آمیخته	آمیخته
پاک	آلوده	آمیخته	آمیخته	آمیخته

نوع شاخص هوا	قبل بارش	وقوع بارش	بارش	(د) ژئوفیزیک
پاک	آمیخته	یخ	یخ	فاز ابر
پاک	آمیخته	آمیخته	آمیخته	فاز ابر
پاک	آمیخته	آمیخته	آمیخته	شعاع موثر قطرک ابر (میکرون)
پاک	آمیخته	آمیخته	آمیخته	شعاع موثر قطرک ابر (میکرون)
پاک	آمیخته	آمیخته	آمیخته	ضخامت نوری ابر
پاک	آمیخته	آمیخته	آمیخته	ضخامت نوری ابر
پاک	آمیخته	آمیخته	آمیخته	دمای قله ابر (کلوین)
پاک	آمیخته	آمیخته	آمیخته	دمای قله ابر (کلوین)
پاک	آمیخته	آمیخته	آمیخته	فشار قله ابر (هکتوپاسکال)
پاک	آمیخته	آمیخته	آمیخته	فشار قله ابر (هکتوپاسکال)
پاک	آمیخته	آمیخته	آمیخته	مسیر آب ابر
پاک	آمیخته	آمیخته	آمیخته	مسیر آب ابر

نوع شاخص هوا	قبل بارش	وقوع بارش	بارش	(ه) دانشگاه علوم و تحقیقات تهران
پاک	آمیخته	یخ	یخ	فاز ابر
پاک	آمیخته	آمیخته	آمیخته	فاز ابر
پاک	آمیخته	آمیخته	آمیخته	شعاع موثر قطرک ابر (میکرون)
پاک	آمیخته	آمیخته	آمیخته	شعاع موثر قطرک ابر (میکرون)
پاک	آمیخته	آمیخته	آمیخته	ضخامت نوری ابر
پاک	آمیخته	آمیخته	آمیخته	ضخامت نوری ابر
پاک	آمیخته	آمیخته	آمیخته	دمای قله ابر (کلوین)
پاک	آمیخته	آمیخته	آمیخته	دمای قله ابر (کلوین)
پاک	آمیخته	آمیخته	آمیخته	فشار قله ابر (هکتوپاسکال)
پاک	آمیخته	آمیخته	آمیخته	فشار قله ابر (هکتوپاسکال)

۴۲۵	۵۵۵	۳۷۵	پاک	مسیر آب ابر
۸۷	۱۴۱	۷۰	آلوده	
۳۸	۹۴	۲۵	پاک	

Reference

1. Twomey, S., 1977. The influence of pollution on the shortwave albedo of clouds, *J. Atmos. Sci.*, Vol.34, PP.1149–1152.
2. Twomey, S., Piepgrass, M., Wolfe, T. L., 1984. An assessment of the impact of pollution on global cloud albedo, *Tellus, Ser. B*, Vol. 36, PP.356–366.
3. Albrecht, B. A., 1989. Aerosols, cloud microphysics and fractional cloudiness. *Science*, Vol. 245, PP. 1227–1230.
4. Ackerman, A. S., Toon, O. B., Stevens, D. E., Heymsfield, A. J., Ramanathan, V., Welton, E. J., 2000. Reduction of tropical cloudiness by soot. *Science*, Vol. 288, PP. 1042–1047.
5. Squires, P., Twomey, S., 1966. A comparison of cloud nucleus measurements over central North America and Caribbean Sea. *J. Atmos. Sci.*, Vol. 23, PP. 401–404.
6. Warner, J., Twomey, S., 1967. The production of cloud nuclei by cane fires and the effects on cloud droplet concentration. *J. Atmos. Sci.*, Vol. 24, PP. 704–706.
7. Warner, J., 1968. A reduction in rainfall associated with smoke from sugar-cane fires: An inadvertent weather modification. *J. Appl. Meteorol.*, Vol. 7, PP. 247–251.
8. Rosenfeld, D., Woodley, W. L., 2000. Convective clouds with sustained highly super cooled liquid water

بحث و نتیجه گیری

با توجه به مطالعه موردی خردفیزیک ابر و شیمی بارش مورخ ۱۳۹۱/۰۹/۱۶، که در شرایط بسیار حاد آلودگی ذره ای هوا بوقوع پیوست، نتایج زیر حاصل شده است:

غلظت یون های انسان ساخت نیترات، نیتريت، فلوراید، کلراید و سولفات موجود در نمونه آب بارش مربوط به حالت آلوده بسیار بیشتر از موارد پاک بودند. البته کیفیت آب بارش در شرایط پاک جوی نیز دارای غلظت های بالای یون های انسان ساخت بودند. بنابراین شاخص AQI سالم نمی تواند دلیل بر پایین بودن غلظت کلیه یون ها در نمونه های آب بارش باشند. شرایط مختلف از جمله مقدار بارش، جهت و مقدار باد قبل از وقوع سامانه، نوع سامانه و شرایط جغرافیایی محل نمونه برداری نیز از عوامل مهم و تاثیر گذار در مقدار غلظت یونها می باشند.

نتایج بررسی ها در زمینه خردفیزیک ابر رویداد حاد آلودگی نشان می دهد که، افزایش آلاینده های ذره ای در جو عاملی تاثیر گذار در تغییر خواص خردفیزیکی ابرها می باشد. در رویداد حاد آلودگی ذره ای، شعاع موثر قطرک های ابر قبل از وقوع بارش نسبت به مورد مربوط به هوای پاک، کاهش بسیار زیادی داشت. در زمان وقوع بارش به علت جاروب شدن آلاینده ها توسط بارش، شعاع موثر قطرک ها در هر دو مورد پاک و آلوده تقریبا مساوی بودند. همچنین ضخامت نوری ابر و مسیر آب ابر در شرایط حاد آلودگی بسیار بیشتر از شرایط پاک بدست آمده اند. بنابر این آلودگی ذره ای در رویداد مورد مطالعه، باعث تقویت و افزایش ارتفاع ابرها نسبت به شرایط پاک شده است. همچنین نقش آلودگی های ذره ای محلی یکی دیگر از عوامل مهم در تغییرات خردفیزیک ابر به صورت منطقه ای می باشد.

البته موضوع مورد بررسی در این مقاله توسط نویسندگان، برای تمامی رویدادهای ابر و بارش در طی سال های اخیر مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است.

- J. Earth and space physics, Vol 39, PP. 123-134 (In Persian).
14. Esmaili Sari, A., 1991. Atmospheric parameters and air pollution over Tehran. Ir. of Iran Meteorological Organization (In Persian).
 15. Esmaili Sari, A., 1997. Impact of the Kuwait war over ecosystems of Iran, especially Khozestan. Ir. Of Iran Meteorological organization (In Persian).
 16. Ahadi, S., Najafi, M.A., Roshani, M., 2011, Annual report on air quality in Tehran in 1390, Technical Report on Air Quality Control, Monitoring and Research Unit, QM91/02/06(U)/01.
 17. Ahadi, S., Najafi, M.A., Roshani, M., 2012, Annual report on air quality in Tehran in 1390, Technical Report on Air Quality Control, Monitoring and Research Unit, Q M92/03/03/(U)/01.
 18. Ganji dost, H., 2003. Preparation and compilation of a rainwater analytical executive instruction. Ir. Of Iran Meteorological organization (In Persian).
 9. Li, Z., Niu, F., Fan, J., Liu, Y., Rosenfeld, D., Ding Y., 2011. The long-term impacts of aerosols on the vertical development of clouds and precipitation. Nat. Geosci., Vol. 4, 888-894.
 10. Andreae, M. O., Rosenfeld, D., Artaxo, P., Costa, A. A., Frank, G. P., Longo, K. M., Silva-Dias M. A. F., 2004. Smoking rain clouds over the Amazon. Science, Vol. 303, PP. 1337-1342.
 11. Koren, I., Kaufan, Y.J., Remer, L. A., Martins J. V., 2004. Measurements of the effect of smoke aerosol on inhibition of cloud formation, science, Vol. 303, PP. 1342-1345.
 12. Arkian, F., Sadeghe Hosainee, A.R., 2001. Laboratory experiment of warm clouds seeding. J. Earth and space physics, Vol 27, PP. 15-23 (In Persian).
 13. Shoshtari, M.H., Naji, F., Bidokhti, A.A., 2013. Laboratory experiment of the role of ions in cloud formation. down to 37 °C, Nature, Vol. 405, 440-442.