

تاثیر آلودگی‌های ذره‌ای هوای تهران بر روی مشخصه‌های ابر و بارش

دینا عبدمنافی^{*۱}
dina_ai@yahoo.co.uk
سهراب حجام^۲
امیرحسین مشکوتی^۳

چکیده

زمینه و هدف: افزایش غلظت آلاینده‌های ذره‌ای در جو، از عوامل اصلی در تغییر خردفیزیک ابر و به تبع آن تغییر در مقدار و کیفیت آب بارش می‌باشد.

روش بررسی: در این مقاله بررسی موردی تاثیر 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 به دلیل افزایش شاخص AQI^4 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 می‌دهند که غلظت یون‌ها به‌خصوص 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 می‌باشند. 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.

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 به صورت منطقه‌ای می‌باشد.

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

مقدمه

ابرها و بارش (برف، باران، تگرگ،...) نه تنها بخشی مهم از پدیده‌های زیر سامانه جو اقلیم زمینی را به خود اختصاص می‌دهند، بلکه این دو، همچنین، از اجزاء اصلی چرخه آب می‌باشند. عوامل بسیاری در ابرناکی و بارش موثر می‌باشند که در این میان، نقش هواویزها^۵ از جایگاه ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. ابر و به تبع آن بارش به دو صورت هسته‌سازی همگن و هسته‌سازی غیرهمگن تشکیل می‌شوند. اما در جو واقعی فرایند هسته‌سازی غیرهمگن به وقوع می‌پیوندد. هواویزها نقش اصلی را در هسته‌سازی غیرهمگن ایفا می‌کنند. اولین اثر غیرمستقیم هواویزها بر روی ابرها، یا اثر تومی^۶، مربوط به اندازه قطرک ابر و از این رو قابلیت انعکاس برای یک مسیر آب مایع ثابت می‌باشد، به عبارت دیگر افزایش هواویزها باعث کاهش شعاع موثر قطرک‌های ابر و افزایش سپیدایی^۷ ابر خواهد شد (۲،۱). دومین اثر مربوط به گسترش ابر، دوره زندگی و میزان بارش آن می‌باشد (۴،۳). با بالا رفتن غلظت هواویزها، ابرهای گرم و بارش‌های آن به دلیل کاهش اندازه‌های قطرک‌ها و کاهش برخورد و بهم‌پیوستگی آن‌ها، کاهش خواهند یافت (۸،۷،۶،۵). برعکس در ابرهای سرد، بالا رفتن غلظت هواویزها باعث افزایش یخ زدن قطرک‌ها و آزاد شدن بیش تر گرمای نهان در بالای خط هم‌دمای صفر درجه و در نهایت رشد تگرگ‌ها (۸)، افزایش بارش، افزایش ارتفاع قله ابرها و شکل‌گیری سندان‌های بزرگ می‌شوند (۱۰،۹). با پیشرفت دامع و پیوسته ابزار و

۱- دکترای هواشناسی، تهران، ایران (نویسنده مسوول مکاتبات).

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

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

⁴ Air Quality Index

⁵ Aerosol

⁶ Twomey

⁷ albedo

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 در زمینه خردفیزیک ابره ۱ در ایران توسط ارکیان و صادقی حسینی ۱۳۸۰ (۱۲)، شوشتری 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 به صورت یون های مختلف در آب باران قابل اندازه گیری می باشند. بنابراین آنالیز شیمیایی آب بارش و تعیین آنیون ها و کاتیون ها در هر منطقه، می تواند به نوعی بیان گر آلاینده های موجود در آن منطقه و نیز واکنش های 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 به طور 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 QM91/02/06(U)/01 و QM92/03/03/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.

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

Table 1: 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).

۱								
اسماعیلی ساری ۱۳۷۱	۵/۴۲	۲/۹۱	۹/۲۶	-	-	-	-	-
اسماعیلی ساری ۱۳۷۶	۱/۱۹	۱/۷۱	۵/۳۷	۰/۳۷۵	۰/۹۷	۸/۹۵	۱/۰۶۵	۰/۵۸

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 ارتفاع های مختلف، آب و هوا و میزان بارش های متفاوت در نقاط مختلف آن 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 شهرنشینی، افزایش ساختمان های مسکونی آپارتمانی و تردد بیش تر وسایل نقلیه شخصی و عمومی بوده است. این شهر بیش از نیم قرن است که شهری صنعتی بوده و کارخانجات بسیاری در اطراف آن به خصوص 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. به دلیل کاهش یافتن مقدار نزولات جوی در برخی از سال ها و نیز استفاده بیش تر 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 چشم گیری یافته است. بنابر این شوره زارهای بیش تر و مناطق کویری خشک تر 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 هم دیدی 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

برای بررسی تغییرات احتمالی در خردفیزیک ابر و کیفیت آب بارش در شرایط حاد آلودگی نسبت به شرایط پاک، رویداد بارش تاریخ ۱۶ آذر ماه سال ۱۳۹۱ که در شهر تهران به وقوع پیوست انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفته است. رویداد مورد مطالعه در این تحقیق بارشی است که قبل از وقوع آن به دلیل افزایش شاخص AQI مربوط به ذرات معلق کوچک‌تر از $2/5$ میکرون، شهر تهران، دو روز تعطیل اعلام شده بود (به دلیل آلودگی بسیار زیاد). به منظور بررسی کیفیت آب بارش، آب باران رویداد حاد آلودگی و دو مورد بارش دیگر (۱۳۹۱/۰۹/۰۶ و ۱۳۹۱/۰۹/۲۴) که در نزدیکی این رویداد به وقوع 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) نمونه‌برداری شدند و غلظت یون‌های موجود در آن به کمک دستگاه کروماتوگرافی یونی (مدل ۸۵۰، ساخت کمپانی متروم^۱ کشور سوئیس با دقت $0/001$ ppm) تعیین شدند. برای نمونه برداری از آب بارش، دو ایستگاه هم دیدی 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 به دلیل موقعیت مکانی و رطوبت بیش‌تر، از نظر مقدار و فراوانی بارش نسبت به سایر نقاط شهر بیش‌ترین مقدار را دارا می‌باشد. میانگین مجموع بارش سالیانه در این ایستگاه تقریباً ۴۲۰ میلی‌متر می‌باشد. منطقه اطراف ایستگاه اقدسیه تقریباً از پوشش گیاهی بیش‌تری نسبت به سایر نقاط شهر برخوردار می‌باشد. همچنین از حجم وسایل نقلیه و پوشش ساختمانی کم‌تری نسبت به ایستگاه مهرآباد برخوردار می‌باشد. 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 مسافربری، تراکم ساختمانی زیادتر، پوشش گیاهی بسیار کم و کارخانجات

¹ Metrohm

بسیاری وجود دارد. همچنین این ایستگاه در پست ترین نقطه شهر تهران قرار گرفته است. میانگین مجموع بارش سالیانه این ایستگاه تقریباً ۲۳۱ میلی‌متر می‌باشد. این دو ایستگاه هواشناسی از نظر مقدار آلاینده های گازی و ذرات معلق می‌توانند تقریباً نماینده خوبی از کل شهر تهران باشند. بوسیله دستگاه کروماتوگرافی یونی غلظت یون‌های Ca^{2+} ، Br^{-} ، K^{+} ، F^{-} ، Na^{+} ، HCO_3^{-} ، Mg^{2+} ، Cl^{-} ، NO_2^{-} ، NH_4^{+} ، SO_4^{2-} ، NO_3^{-} ، در ۳ مورد آب بارش اندازه‌گیری شدند. دو رویداد بارش در هوای پاک، از نظر زمانی در نزدیک رویداد بارش در شرایط حد آلودگی قرار داشتند تا سامانه‌های بارشی و تغذیه رطوبتی سامانه آب و هوایی به میزان زیادی مشابه با هم باشند. برای بررسی تاثیرات ذرات معلق بر روی خردفیزیک ابر رویداد مورد مطالعه (۱۳۹۱/۰۹/۱۶)، تصاویر مربوط به ابر سنجنده های مادیس ماهواره‌های 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 هم‌دیدگی، 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 هم‌دیدگی به کمک نقشه های هم‌دیدگی 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 نقشه های 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 نرم‌افزارهای مربوطه استخراج و مورد مطالعه قرار گرفتند. تصاویر سنجنده‌های مادیس ماهواره های 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، به صورت 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، نیتريت 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 بیش تر اندازه‌گیری شده است. با بررسی و مقایسه این نتایج با اندازه‌گیری‌های غلظت آلاینده‌ها توسط شرکت کنترل کیفیت هوای تهران، دیده شد که شاخص‌های گازها از جمله SO_2 ، CO_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 آنجایی که 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 به صورت نقطه‌ای برای پنج منطقه اقدسیه، مهرآباد، دوشان تپه، ژئوفیزیک و دانشگاه علوم و تحقیقات شهر تهران استخراج کرده‌ایم در جداول (۳-الف، ب، ج، د، ه) نوشته شده‌اند. همان‌طور که از جداول دیده می‌شود، تمامی ابرها در دو رویداد و برای روز های 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 کم تر 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، به دلیل ارتفاع بیش تر این مناطق و حجم کم تر آلودگی‌های ذره‌ای، بیش تر بودند. در زمان وقوع بارش، به دلیل 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 بیش تر بدست آمده

¹ Cloud Effective Radius

² Cloud Optical Thickness

³ Cloud Water Path

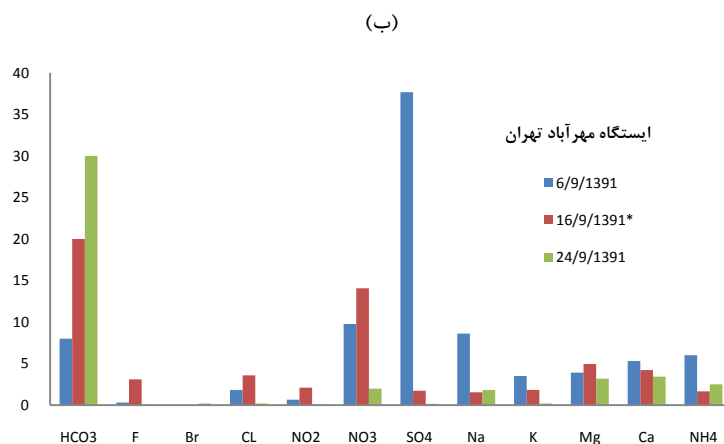
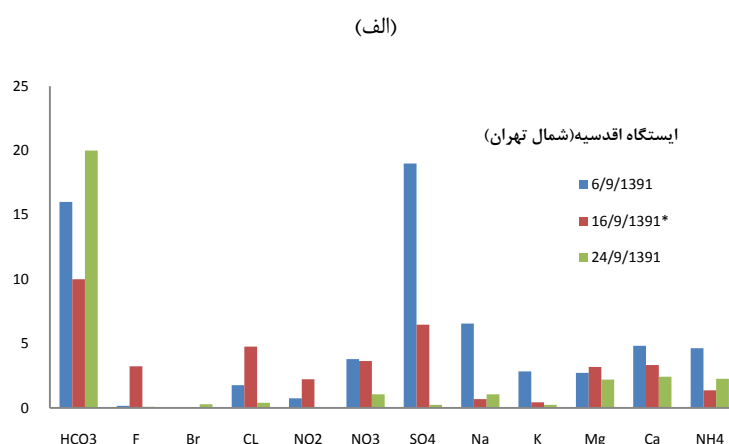
⁴ Cloud Top Temperature and Pressure

⁵ Cloud phase

⁶ Over seeding

است. ضخامت نوری ابر و مسیر آب ابر نیز در شرایط همراه با آلودگی ذره‌ای در روز وقوع بارش و در تمامی ۵ منطقه شهر، بسیار بیش‌تر از بارشی که در شرایط پاک به وقوع پیوسته می‌باشند. این نتیجه نیز، به دلیل افزایش در تعداد هسته‌های میعان ابر و به تبع آن افزایش تعداد قطره‌های ابر می‌باشد. این مطلب حاکی از تقویت ابرها در شرایط آلودگی ذره‌ای نسبت به شرایط پاک می‌باشند. 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 آمیخته ابر و افزایش ارتفاع ابرها را در شرایط آلودگی نسبت به شرایط پاک نشان می‌دهند.

به عبارتی با مقایسه انجام شده برای دو سامانه بارشی مشابه در این تحقیق، می‌توان نتیجه گرفت که افزایش آلودگی ذره‌ای 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 می‌باشد. بنابراین نقش آلودگی‌های محلی یکی از عوامل مهم در تغییرات خردفیزیک ابر به صورت منطقه‌ای می‌باشند.



شکل (۲): غلظت یون‌های موجود در ۳ نمونه آب بارش بر حسب ppm، که به وسیله دستگاه کروماتوگرافی یونی برای دو ایستگاه اقدسیه و مهرآباد شهر تهران بدست آمده‌اند.

Figure 2: Ions concentration 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 به وسیله تصاویر سنجنده مادیس بدست آمده‌اند.

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
بارش	بارش	قبل بارش	نوع شاخص هوا	فاز ابر
یخ	یخ	آمیخته	آلوده	شعاع موثر قطرک ابر (میکرون)
آمیخته	آمیخته	آمیخته	پاک	
۲۷	۲۴	۶/۸	آلوده	ضخامت نوری ابر
۱۰/۱۸	۲۳/۱۱	۳۳	پاک	
۰/۸۷	۱۰۰	۱۲/۳۴	آلوده	دمای قله ابر (کلوین)
۲۷	۲۶	۶	پاک	
۲۵۳/۴۴	۲۳۳/۹	۲۵۶/۶۲	آلوده	فشار قله ابر (هکتوپاسکال)
۲۵۶/۰۷	۲۶۰/۹۴	۲۵۵/۱۸	پاک	
۴۶۰	۳۶۰	۵۵۵	آلوده	مسیر آب ابر
۵۹۵	۶۲۰	۴۰۵	پاک	
۲۰	۱۵۳۳	۵۰	آلوده	
۵۹	۴۸۷	۸۸	پاک	

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

بارش	وقوع بارش	قبل بارش	نوع شاخص هوا	(ج) دوشان تپه
بارش	بارش	قبل بارش	نوع شاخص هوا	فاز ابر
یخ	یخ	آمیخته	آلوده	شعاع موثر قطرک ابر (میکرون)
آمیخته	آمیخته	آمیخته	پاک	
۲۵/۰۶	۲۵/۱۸	۴/۶	آلوده	ضخامت نوری ابر
۳۷/۴۵	۲۴/۲۶	۱۳/۶۷	پاک	
۰/۱۳	۱۴/۴۶	۳/۹۶	آلوده	دمای قله ابر (کلوین)
۴/۰۲	۱/۲۴	۰/۷۵	پاک	
۲۷۷/۵۶	۲۳۶/۴۴	۲۷۶/۶۶	آلوده	فشار قله ابر (هکتوپاسکال)
۲۵۳/۵	۲۶۸/۸۶	۲۴۹/۷	پاک	
۸۰۰	۳۷۵	۸۰۰	آلوده	مسیر آب ابر
۵۷۵	۷۵۵	۴۴۰	پاک	
۲۶	۲۲۵	۲۰	آلوده	
۶۸	۲۱	۶۹	پاک	

بارش	وقوع بارش	قبل بارش	نوع شاخص هوا	(د) ژئوفیزیک
بارش	بارش	قبل بارش	نوع شاخص هوا	فاز ابر
یخ	یخ	آمیخته	آلوده	شعاع موثر قطرک ابر (میکرون)
آمیخته	آمیخته	آمیخته	پاک	
۱۵/۳۷	۱/۲۶	۵/۹	آلوده	
۱۸/۱۲	۲۱/۹۱	۲۶/۲۵	پاک	

۰/۶۲	۱۰۰	۱/۵	آلوده	ضخامت نوری ابر
۱۲/۷۲	۲۲	۰/۱۵	پاک	
۲۷۵/۹۶	۲۲۵	۱۷۶/۶۶	آلوده	دمای قله ابر (کلوین)
۲۴۷/۹۹	۲۵۹/۳۸	۲۴۷/۹۲	پاک	
۸۰۰	۳۷۵	۸۰۰	آلوده	فشار قله ابر (هکتوپاسکال)
۵۱۵	۶۲۰	۴۲۷	پاک	
۲۶	۱۳۵۷	۳۹	آلوده	مسیر آب ابر
۱۴۵	۳۲	۸۰	پاک	

بارش	وقوع بارش	قبل بارش	نوع شاخص هوا	(ه) دانشگاه علوم و تحقیقات تهران
بخ	بخ	آمیخته	آلوده	فاز ابر
آمیخته	آمیخته	آمیخته	پاک	
۳۲/۳۱	۲۲/۶۵	۱۵/۳	آلوده	شعاع موثر قطرک ابر (میکرون)
۹/۲۸	۱۲/۴	۱۰/۰۶	پاک	
۰/۴۳	۱۶/۷۴	۸/۱۱	آلوده	ضخامت نوری ابر
۱۷/۰۱	۱/۱۲	۱/۱۴	پاک	
۲۷۵/۹۶	۲۳۸/۰۱	۲۷۶/۶۶	آلوده	دمای قله ابر (کلوین)
۲۳۷/۱۸	۲۵۵/۲۶	۲۴۲	پاک	
۸۰۰	۳۹۰	۸۰۰	آلوده	فشار قله ابر (هکتوپاسکال)
۴۲۵	۵۵۵	۳۷۵	پاک	
۸۷	۱۴۱	۷۰	آلوده	مسیر آب ابر
۳۸	۹۴	۲۵	پاک	

بحث و نتیجه‌گیری

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

غلظت یون‌های انسان ساخت نیترات، نیتريت، فلوراید، کلراید و سولفات موجود در نمونه آب بارش مربوط به حالت آلوده بسیار بیش تر 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 نمی‌تواند دلیل بر پایین بودن غلظت کلیه یون‌ها در نمونه های آب بارش باشد. 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 می‌باشند.

نتایج بررسی‌ها در زمینه خردفیزیک ابر رویداد حاد آلودگی نشان می‌دهد که، افزایش آلاینده‌های ذره‌ای در جو عاملی تاثیرگذار در تغییر خواص خردفیزیکی ابرها می‌باشد. در رویداد حاد آلودگی ذره‌ای، 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 آلاینده‌ها توسط بارش، شعاع موثر قطرک‌ها در هر دو مورد پاک و آلوده تقریباً مساوی بودند. همچنین ضخامت نوری ابر و مسیر آب ابر در شرایط حاد آلودگی بسیار بیش تر از شرایط پاک بدست آمده‌اند. بنابر این آلودگی ذره‌ای در رویداد مورد مطالعه، باعث تقویت و افزایش ارتفاع ابرها نسبت به شرایط پاک شده است. همچنین نقش آلودگی‌های ذره‌ای محلی یکی دیگر از عوامل مهم در تغییرات خردفیزیک ابر به صورت منطقه‌ای می‌باشد. البته موضوع مورد بررسی در این مقاله توسط نویسندگان، برای تمامی رویدادهای ابر و بارش در طی سال‌های اخیر مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است.

مراجع:

- 1-Twomey, S.,1977. The influence of pollution on the short wave 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 down to 37^{0c}. Nature, Vol. 405, PP. 440–442.
- 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, PP. 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.
- ۱۲- ارکیان، فروزان. صادقی حسینی، علی رضا. بررسی آزمایشگاهی بارورسازی ابرهای گرم، مجله فیزیک زمین و فضا، ۱۳۸۰، جلد ۲۷، شماره ۲، صفحه ۱۵–۲۳.
- ۱۳- شوشتری، محمد حسین. ناجی، فائزه. علی اکبری بیدختی، عباسعلی. بررسی آزمایشگاهی نقش یون ها در تشکیل ابر گرم. مجله فیزیک زمین و فضا، ۱۳۹۲، دوره ۳۹، شماره ۴، صفحه ۱۲۳–۱۳۴.
- ۱۴- اسماعیلی ساری، عباس. پارامترهای جوی و آلودگی هوای تهران، مرکز علوم جوی و اقیانوسی، پروژه سازمان هواشناسی کشور. ۱۳۷۱، کتابخانه سازمان هواشناسی کشور.
- ۱۵- اسماعیلی ساری، عباس. اثرات زیست محیطی جنگ کویت بر اکوسیستم های ایران بویژه خوزستان، پروژه مشترک سازمان هواشناسی کشور و دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۶، کتابخانه سازمان هواشناسی کشور.
- ۱۶- احدی، سولماز، نجفی، محمد علی، روشنی، محسن. گزارش سالانه کیفیت هوای تهران در سال ۱۳۹۰، گزارش فنی شرکت کنترل کیفیت هوا، واحد پایش و پژوهش، سال ۱۳۹۰، شماره QM91/02/06(U)/01.
- ۱۷- احدی، سولماز، نجفی، محمد علی، روشنی، محسن. گزارش سالانه کیفیت هوای تهران در سال ۱۳۹۱، گزارش فنی شرکت کنترل کیفیت هوا، واحد پایش و پژوهش، سال ۱۳۹۱، شماره QM92/03/03/(U)/01.
- ۱۸- گنجی دوست، حسین. تهیه و تدوین دستور العمل اجرایی آنالیز آب باران. کارگاه آموزشی سازمان هواشناسی کشور، کتابخانه سازمان هواشناسی کشور، سال ۱۳۸۲.

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

Dina Abdemanafi¹ (corresponding author)

dina_ai@yahoo.co.uk

Sohrab Hajjam²

Amir-Hussain Meshkatee³

Abstract

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

Material and Methods: In this article, the case study had done the relationship between atmospheric air pollution, microphysics of cloud and their precipitation over Tehran city. The case study in this paper (16.09.1391) before started the rainfall that had been increased AQI index for particulate matter and Tehran city had shutdown for two days. This event and two similar rainfall near the event desired, but AQI index had been healthy in the days before the precipitation conditions. Ion concentrations in the rainwater were found with ion chromatography and microphysics of clouds were studied by MODIS on board Aqua and Terra satellite.

Results and Discussion: The results had been shown that ions concentration, especially anthropogenic ions (nitrate, nitrite, chloride and fluoride) in rainwater samples in pollution air higher than clear air. Also Particulate pollution had reduced the effective radius droplet of the mixed-phase clouds before started the rain, increased the cloud optical thickness, cloud water path and cloud top pressure and temperature in the start of precipitation.

Keyword: aerosol; cloud, precipitation, MODIS

1- Ph.D. of Meteorology, 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.