

میزان تاثیر بارش‌های فصل سرد بر غلظت آلاینده‌های جوی شهر تهران

زهرا شرعی پور^۱ و عباسعلی علی اکبری بیدختی^۲

^۱ کارشناس ارشد هواشناسی، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران، sharie@ut.ac.ir

^۲ استاد گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران، bidokhti@ut.ac.ir

چکیده

در این تحقیق، میزان تاثیر بارش‌ها بر کاهش غلظت آلاینده‌های جوی شهر تهران طی فصل سرد سال بررسی شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که معمولاً بارش، ذرات معلق جوی را بهتر از آلاینده‌های گازی پاکسازی می‌کند و در این میان، سایز ذرات معلق جوی، نقش مهمی در شستشوی بارشی آنها داشته و ذرات معلق درشت PM₁₀ نسبت به ریز PM_{2.5} پاکسازی بهتری می‌یابند. در بین آلاینده‌های گازی نیز، آلاینده SO₂ بر اثر بارش بهتر از سایر گازها پاکسازی می‌شود. بالاترین حد کاهش آلاینده‌ها نسبت به روز قبل بارش برای ذرات معلق و SO₂ حدود ۷۰ درصد و برای NO₂ و CO حدود ۵۰ درصد بدست آمده است، و در بارش‌های کمتر از ۵ mm تغییرپذیری درصد کاهش آلودگی زیاد بوده و پراکندگی بالاست. بارش‌های کمتر از ۵ mm می‌توانند در برخی موارد، تاثیر ضعیفی بر کاهش غلظت آلاینده‌ها داشته و در موارد دیگر، تاثیر زیادی داشته باشند. در بارش‌های بیش از ۵ mm معمولاً با افزایش مقدار بارش روزانه، درصد کاهش غلظت ذرات معلق افزایش می‌یابد ولی برای آلاینده‌های گازی جو، رابطه خاصی بین مقدار بارش روزانه و درصد کاهش آلودگی مشاهده نمی‌شود که می‌تواند مربوط به عواملی مثل گسیل بیشتر آلاینده‌ها تحت کارکرد ماشین‌ها در دمای پایین باشد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی هوا، بارش، شستشو، ذرات معلق جوی، آلاینده‌های گازی، تهران.

Effects of cold season precipitation on air pollutant concentrations for the city of Tehran

Sharipour, Z.¹ and Aliakbari Bidokhti, A. A.²

¹ MSc, Air pollution Dept., Institute of Geophysics, University of Tehran, sharie@ut.ac.ir

² Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, bidokhti@ut.ac.ir

Abstract

In this study the effects of precipitations on the reductions of air pollutants for the city of Tehran, for cold season has been investigated. The results show that that precipitation, usually greater than 5 mm daily, can substantially reduce PMs, especially PM₁₀ concentration and to some extent SO₂ levels (up to 70% reduction for both). For other gaseous pollutant as NO₂ and CO it can be as 50% reductions in which for precipitation less than 5 mm the scatters in levels of reductions are rather high. However, for precipitation larger than 5mm seem to be linear reducing trends in levels of PMs. At lower precipitations the scatters for the reduction of pollutant levels are large indicating that other factors, apart from pure wet washout there are other factors as type of emissions (e.g. under the cold conditions the cold start and driving can enhance pollutant emissions).

Keywords: Air pollution, precipitation, washout, cold season, PMs, Tehran.

۱ مقدمه

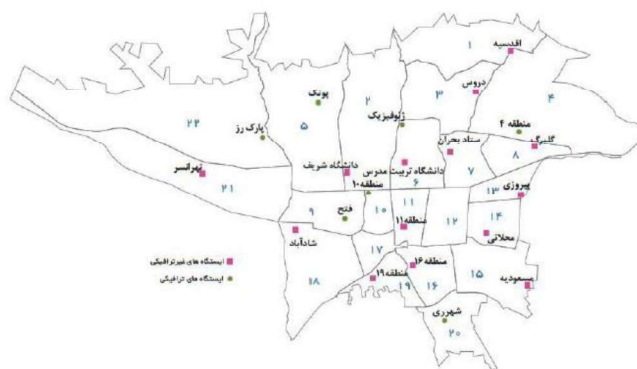
امروزه آلودگی هوا در کلان شهرها و تاثیر آن بر سلامت بشر و محیط زیست از مسایل مهم چالشی بخصوص در فصل سرد سال محسوب می‌شود. آلاینده‌های جوی مناطق شهری می‌توانند بر اثر منابع مختلف مصنوعی و طبیعی ایجاد شوند. از منابع اصلی این آلاینده‌ها می‌توان به ترافیک وسایل نقلیه موتوری، فعالیت‌های صنعتی و منابع حرارتی اشاره کرد. در این میان، بررسی عوامل هواشناسی مؤثر بر کاهش غلظت آلاینده‌های جوی شهری از قبیل بارش، وزش

باد، رطوبت نسبی حایز اهمیت است. تاکنون تحقیقات متعددی در این زمینه در جهان انجام شده که در اینجا به نتایج برخی از آنها اشاره می‌شود. لیو و همکاران (۲۰۲۰) تاثیر پارامترهای هواشناسی بارش و باد بر غلظت آلاینده‌های ذرات معلق PM_{10} و $PM_{2.5}$ جوی را در کین هوانگدائو چین طی سالهای ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ بررسی کرده اند. نتایج تحقیقات آنها نشان داده که بارش در آنجا تاثیر پاکسازی خوبی بر غلظت ذرات معلق داشته است. یو و همکاران (۲۰۱۴) اثر شستشوی بارش تابستانی بر غلظت آلاینده‌های جوی نزدیک سطح زمین را در جنوب کره طی سالهای ۲۰۰۲-۲۰۱۲ بررسی کرده اند. آنها نشان داده‌اند که همبستگی منفی بین غلظت آلاینده‌ها و شدت بارش برقرار بوده و حساس‌ترین آلاینده نسبت به بارش، ذرات معلق PM_{10} بوده است. تیان و همکاران (۲۰۲۱) تاثیر چند رویداد بارشی باران و برف را بر غلظت آلاینده‌ها و شاخص کیفیت هوا AQI در روزهای بارش و پس از آن در دوشهر جینان و کینگدائو چین بررسی کرده‌اند. آنها کاهش شاخص کیفیت هوا در روز بارش نسبت به روز قبل بارش را حدود ۲۳ درصد محاسبه کرده‌اند. زالاکویسیوت و همکاران (۲۰۱۸) تاثیر بارش و رطوبت نسبی جوی را بر غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ جوی در شهر مرتفعی در آمریکای جنوبی بررسی کرده‌اند. نتایج تحقیق آنها نشان داده که در مناطق پرتراфик شهری بارش‌های بیش از ۹ میلی‌متر بر روز بر کاهش غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ جوی مؤثرند درحالی‌که در مناطق صنعتی حومه شهر همه بارش‌ها می‌توانند تاثیر کاهشی داشته باشند. شرعی پور و علی اکبری بیدختی (۱۳۹۵) نیز تاثیر بارش و سرعت باد را بر کاهش غلظت آلاینده‌های جوی شهر تهران بررسی کرده اند.

در تحقیق حاضر، تاثیر نمونه‌هایی از بارش‌ها با مقادیر روزانه مختلف شهر تهران طی فصل سرد سال بر کاهش غلظت آلاینده‌های جوی شهر تهران مورد بحث قرار می‌گیرد و میزان متوسط کاهش غلظت هر یک از آلاینده‌های جوی در اثر این بارش نسبت به روز قبل آن در بارش‌های مختلف مقایسه و ارتباط این کاهش با مقدار بارش بررسی می‌شود.

۲ روش تحقیق

در این تحقیق، از داده‌های آلودگی هوای اندازه‌گیری شده توسط شرکت کنترل کیفیت هوای شهرداری تهران استفاده شده است. شکل (۱) توزیع مکانی این ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوای تهران را نشان می‌دهد. بازه زمانی تحقیق مربوط به فصل سرد سالهای ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۰ است. همچنین داده‌های بارش روزانه مربوط به سازمان هواشناسی است و برای بارش روزانه شهر تهران از داده‌های ایستگاه‌های مهرباد، ژئوفیزیک، شمیران و چیتگر استفاده شده است.



شکل ۱. نقشه توزیع ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوای شهر تهران.

۳ نتایج و نتیجه‌گیری

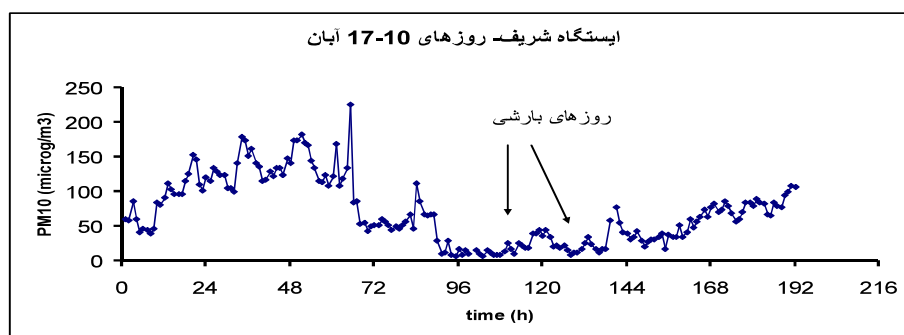
هدف این تحقیق، بررسی تاثیر بارش با مقادیر روزانه مختلف بر تغییر غلظت آلاینده‌های گازی و ذرات معلق جوی شهر تهران طی فصل سرد است. به این منظور نمونه‌هایی از بارش‌ها طی فصل سرد سالهای ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۰ انتخاب

شده اند. برای هریک از بارش‌های روزانه، درصد کاهش غلظت هریک از آلاینده‌های جوی نسبت به روز قبل از بارش در هریک از ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوای شهر تهران محاسبه شده و سپس از این مقادیر، میانگین گرفته شده است. جدول (۱) به نتایج کاهش غلظت آلاینده‌های جوی بر اثر نمونه‌هایی از بارش‌ها در تاریخ‌های مختلف اشاره دارد.

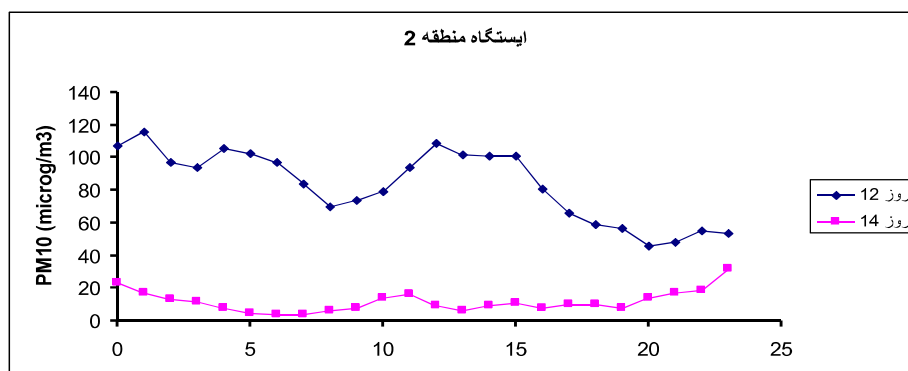
جدول ۱. مقادیر درصد کاهش روزانه هریک از آلاینده‌های جوی نسبت به روز قبل از بارش برای نمونه‌هایی از بارش‌ها طی فصل سرد سالهای ۱۳۹۱-۱۴۰۰ شهر تهران.

تاریخ	بارش	PM10	PM2.5	NO2	SO2	CO
۱۳ آذر ۱۳۹۹	2.7	38.7	30.9	21.5	25.7	21.3
۲۴ دی ۱۴۰۰	4.5	46.2	41.4	35.7	57	52.3
۱۲ دی ۱۴۰۰	4.7	35.3	18.2	28	53.4	24.4
۶ دی ۱۳۹۱	5.5	67.1	59.3	35.8	49.7	46
۲۴ دی ۱۳۹۷	6.4	33.9	23.3	13.3	23.4	10.1
۲۷ آذر ۱۳۹۷	7.1	63.9	59.4	40.8	65.8	41.3
۲۴ آذر ۱۳۹۴	10.9	50.3	51.8	13.5	28.5	22.9
۱۷ آذر ۱۳۹۹	15.6	67	59.5	12.9	42.9	15.6
۱۴ آبان ۱۴۰۰	16.3	62.4	43.3	15	34.4	13.1
۹ آذر ۱۳۹۹	17.8	53	33.9	7.9	57.7	17.8
۳۰ آذر ۱۳۹۳	18.5	67.4	65.5	38.5	45.9	39.8
۸ دی ۱۳۹۵	33.8	69.2	67.5	18.3	44.3	29.8

شکل (۲) بطور نمونه، کاهش غلظت آلاینده ذرات معلق PM10 را بواسطه بارش روزهای ۱۴ و ۱۵ آبان ۱۴۰۰ با مقادیر بارش روزانه ۱۶ و ۱۵ mm در ایستگاه شریف نشان می‌دهد. این نمودار، تغییرات ساعتی PM10 را در روزهای ۱۰ تا ۱۷ آبان ۱۴۰۰ نشان می‌دهد. شکل (۳) نیز تغییرات ساعتی غلظت آلاینده PM10 را در روز بارش و ۲ روز قبل آن در ایستگاه‌های منطقه ۲ تهران مقایسه می‌کند، همانطور که مشاهده می‌شود، در روز بارش غلظت این آلاینده بطور قابل ملاحظه ای کاهش یافته است.



شکل ۲. تغییرات ساعتی غلظت ذرات معلق PM10 طی روزهای ۱۰ تا ۱۷ آبان ماه ۱۴۰۰ در ایستگاه شریف. روزهای بارشی ۱۴ و ۱۵ در نمودار نشان داده شده است.



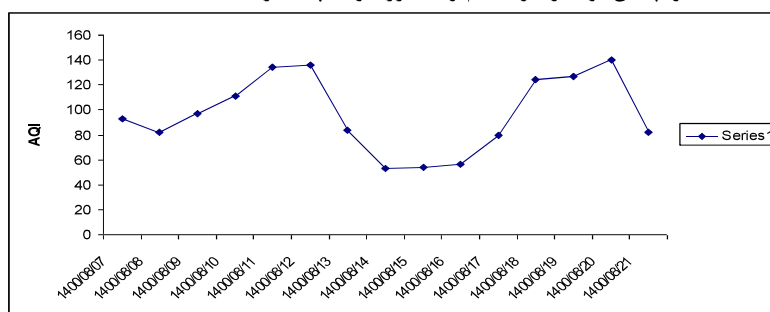
شکل ۳. مقایسه تغییرات ساعتی غلظت آلاینده ذرات معلق PM10 جوی روز بارشی ۱۴ آبان با ۲ روز قبل در ایستگاه منطقه ۲ تهران.

نتایج بررسی تاثیر بارش‌ها با مقادیر مختلف بر غلظت آلاینده‌های جوی مطابق جدول (۱) نشان می‌دهد که معمولاً در روز بارش، غلظت کل آلاینده‌های جوی PM10، PM2.5، NO2، SO2 و CO شهر تهران نسبت به روز قبل بارش کاهش یافته‌اند و درعین حال، بارش، آلاینده‌های ذرات معلق را بیش از آلاینده‌های گازی کاهش داده است. درصد کاهش غلظت آلاینده‌های جوی بر اثر بارش را می‌توان بصورت کاهش CO و کاهش NO2 > کاهش SO2 > کاهش PM2.5 > کاهش PM10 نشان داد. به بیان دیگر، بارش، تاثیر بیشترین پاکسازی را بر آلاینده PM10 و کمترین پاکسازی را بر آلاینده‌های CO و NO2 داشته است. بارش با شستشوی ذرات معلق جوی آنها را به سمت سطح زمین آورده و باعث کاهش قابل ملاحظه غلظت آنها می‌شود و در این میان، بعد و سایز ذرات نیز در کاهش آنها تاثیر بسزایی داشته طوریکه ذرات درشت‌تر PM10 نسبت به ذرات معلق ریز PM2.5 پاکسازی بیشتری یافته‌اند. بطور نمونه، در روز بارش ۱۴ آبان ۱۴۰۰ مقادیر میانگین غلظت آلاینده‌های جوی شهر تهران در جدول (۲) محاسبه شده است.

جدول ۲. میانگین غلظت آلاینده‌های جوی شهر تهران در روز بارش ۱۴ آبان (۱۴۰۰).

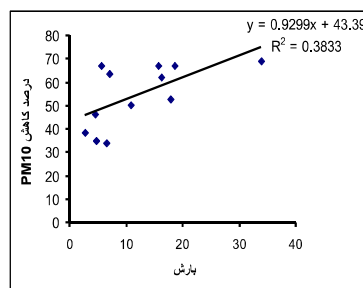
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO2 (ppb)	SO2 (ppb)	CO (ppm)
۱۹/۷	۱۱/۵	۳۵/۱	۳/۴	۱/۳

معمولاً در اغلب بارش‌ها مقدار شاخص کیفیت هوای AQI کاهش یافته و هوا سالم می‌شود. شکل (۴) تغییرات روز به روز شاخص کیفیت هوای AQI شهر تهران را برای نمونه بارش روزهای ۱۴ و ۱۵ آبان ۱۴۰۰ از یک هفته قبل از بارش تا یک هفته پس از آن مقایسه می‌کند. همانطور که مشاهده می‌شود در روزهای بارشی ۱۴ و ۱۵ و یک روز پس از بارش نیز شاخص کیفیت هوا پایین بوده و هوا سالم و به مرز هوای پاک نزدیک است.

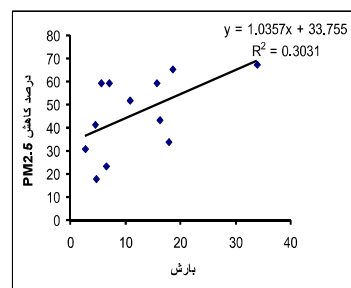


شکل ۴. تغییرات روز به روز شاخص کیفیت هوای شهر تهران طی روزهای ۷ آبان تا ۲۱ آبان ۱۴۰۰.

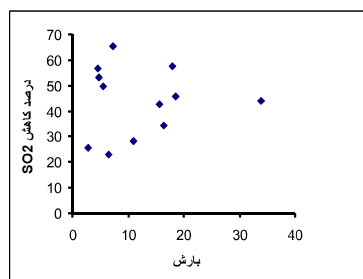
بمنظور بررسی ارتباط بین مقادیر بارش روزانه و کاهش غلظت آلاینده‌های جوی، نمودار پراکندگی درصد کاهش روزانه آلاینده‌های جوی بر حسب بارش برای هریک از آلاینده‌ها رسم شد (مطابق شکل ۵).



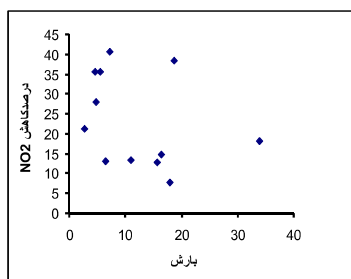
(ب)



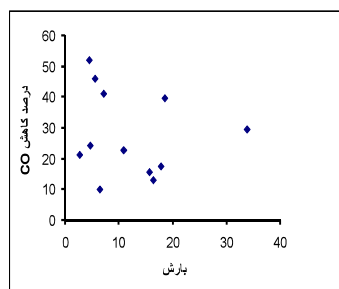
(الف)



(د)



(ج)



(ه)

شکل ۵. نمودار پراکندگی درصد کاهش آلاینده بر حسب بارش روزانه برای هریک از آلاینده‌های جوی (الف PM2.5، ب PM10، ج NO2، د SO2 و ه CO)

بررسی این نمودارهای پراکندگی نشان می‌دهد که در بارش‌های کمتر از ۵ mm تغییرپذیری درصد کاهش آلودگی زیاد بوده و پراکندگی بالاست. به بیان دیگر، بارش‌ها با مقدار کم می‌توانند در برخی موارد تاثیر ضعیفی بر پاکسازی آلاینده‌ها داشته و در موارد دیگر، تاثیر زیادی داشته باشند. در مورد ذرات معلق جوی با افزایش مقدار بارش، تا حدودی درصد کاهش غلظت آلاینده‌ها نیز افزایش می‌یابد و تقریباً همبستگی مثبتی بین آنها برقرار است (ضریب همبستگی نزدیک به معنی داری آماری است) ولی در مورد آلاینده‌های گازی رابطه خاصی بین آنها مشاهده نمی‌شود. پراکندگی بالای کاهش غلظت آلاینده‌ها در بارش‌های کم می‌توانند عوامل متعددی داشته باشند. از جمله در دماهای هوای سرد در برخی موارد، در اوایل روشن شدن موتور خودروها آلودگی بیشتر از حد نرمال تولید می‌شود و این آلودگی وارد جو

شده و تاثیر پاکسازی آلاینده‌ها بر اثر بارش را کاهش می‌دهد. بطور کلی شرایط هواشناسی بارش از جمله سرعت باد و شدت بارش و نوع باران یا برف بودن بارش می‌تواند در مقدار پاکسازی جو مؤثر باشد. همچنین بررسی این نمودارهای پراکندگی نشان می‌دهد که بالاترین حد کاهش آلاینده‌ها نسبت به روز قبل بارش برای ذرات معلق و SO_2 حدود ۷۰ درصد و برای NO_2 و CO حدود ۵۰ درصد است. بهتر است مواد شیمیایی نمونه آب‌های بارشی نیز در بارش‌های مختلف، تجزیه و بررسی شود.

منابع

- شرعی پور، ز. و علی اکبری بیدختی، ع.، ۱۳۹۵، تأثیر نسبی بارش و سرعت باد بر کاهش غلظت آلاینده‌های جوی شهر تهران، هفدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، ۲۱-۲۳ اردیبهشت ۱۳۹۵.
- Liu, Z., Shen, L., Yan, C., Du, J., Li, Y. and Zhao, H., 2020, Analysis of the Influence of Precipitation and Wind on $PM_{2.5}$ and PM_{10} in the Atmosphere: Advances in Meteorology, 2020, Article ID 5039613, 13 pages. <https://doi.org/10.1155/2020/5039613>
- Tian, X., Cui, K., Sheu, H. L., Hsieh, Y. K. and Yu, F., 2021, Effects of Rain and Snow on the Air Quality Index, $PM_{2.5}$ Levels, and Dry Deposition Flux of PCDD/Fs: Aerosol and Air Quality Research, 21, 8, 26 pages. <https://doi.org/10.4209/aaqr.210158>
- Yoo, J. M., Lee, Y. R., Kim, D., Jeong, M. J., Stockwell, W. R., Kundu, P. K., Oh, S. M., Shin, D. B., Lee, S. J., 2014, New indices for wet scavenging of air pollutants (O_3 , CO , NO_2 , SO_2 , and PM_{10}) by summertime rain: Atmospheric Environment, 82, 226-237.
- <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.10.022>
- Zalakeviciute, R., Villada, J. L. and Rybarczyk, Y., 2018, Contrasted Effects of Relative Humidity and Precipitation on Urban $PM_{2.5}$ Pollution in High Elevation Urban Areas: Sustainability, 10, 2064, 21 pages.