

بررسی pH، کل مواد جامد محلول، هدایت الکتریکی، قلیائیت کل وسختی کل آب بارش در شهر تهران

دینا عبدمنافی*^۱، امیرحسین مشکوتی^۲، سهراب حجام

۱- استادیار گروه فیزیک، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

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

۳- دانشیار سابق (بازنشسته) هواشناسی دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

این پژوهش در طی سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۴ و برای دو ایستگاه هواشناسی اقدسیه و مهرآباد شهر تهران انجام گرفته است. سختی کل، pH، قلیائیت کل، هدایت الکتریکی (EC) و کل مواد جامد محلول (TDS)، ۳۰ نمونه‌ی آب بارش، اندازه‌گیری شدند. در این مقاله از اندازه‌گیری غلظت‌گازها و ذرات معلق شرکت کنترل کیفیت هوای تهران و نیز مقادیر سرعت اصطکاک و باد در ارتفاع ۱۰ متری که از خروجی مدل عددی WRF بدست آمده اند نیز کمک گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهند که، بارش‌ها در فصل‌های پاییز و زمستان بدلیل افزایش غلظت گازهای SO₂ و NO_x و وقوع وارونگی در جو اسیدی و در اواخر فصل زمستان، فصل بهار و فصل تابستان بدلیل ازدیاد هواویزهای گرد و خاک در جو قلیایی بودند. پایین‌ترین pH در ایستگاه مهرآباد (۴/۶) بدست آمده است. نتایج سرعت اصطکاک، EC، TDS و قلیائیت کل نیز فرسایش خاک قبل از وقوع بارش‌ها در فصل بهار و تابستان را تصدیق می‌کنند. نوع سامانه، جهت‌گردش‌های بزرگ مقیاس، عمق لایه آمیخته، منابع آلاینده‌های محلی، وجود وارونگی دما، مقدار و جهت سرعت باد و خصوصیات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، از عوامل بسیار مهم و تاثیرگذار بر روی کیفیت آب بارش در شهر تهران به شمار می‌روند.

کلید واژه‌ها: pH، TDS، EC، قلیائیت کل، سختی کل.

مقدمه

در طی فرایند شکل گیری ابر و بارش (هسته بندی ناهمگن) و هم در خلال ریزش بارش (هواویزها و گازها در زیر پایه ابر توسط بارش جاروب می شوند)، انواع مختلف هواویزها و گازها وارد آن می شوند. بنابراین مطالعه آب بارش در هر منطقه، می تواند به نوعی بیانگر آلودگی های هواویزی و گازهای موجود در آن منطقه و نیز واکنشهای شیمیایی که در طی فرایند شکل گیری ابر و بارش رخ می دهند باشد (وارنیک^۱ ۲۰۰۰، هوآنگ^۲ و همکاران ۲۰۰۸، تانگ^۳ و همکاران ۲۰۰۹، کرسزنی^۴ و همکاران ۲۰۱۹). مقدار pH کم بارشها در قرن اخیر بخصوص بر روی مناطق صنعتی، یکی از مشکلات بزرگ می باشد که باعث تغییر اکوسیستم دریاچه ها، وارد آمدن خسارت بر روی اشیاء فرهنگی و تاریخی و نیز تخریب جنگل ها شده است (دسونی^۵ ۲۰۰۷). بارش اسیدی بر اساس تعریف های انجام شده، بارشی می باشد که pH کمتر از ۵ داشته باشد. بطور طبیعی کلیه بارشها به علت وجود مقدار کمی CO₂ که در هوا وجود دارد و در بارش حل می شود، کمی اسیدی می باشند. معمولاً حد نرمال pH بارندگی ها حدود ۵/۶ می باشد (گالوی^۶ ۱۹۷۶، پیتس^۷ ۱۹۸۴). عبارت باران اسیدی در سال ۱۸۵۶ میلادی بوسیله یک شیمیدان انگلیسی بنام انگوس اسمیت^۸ ابداع شد که نشان داد، گیاهانی که در جهت باد مناطق صنعتی قرار دارند حتی زمانی که فاصله زیادی از منبع دارند، آسیب های جدی دیده اند. بزرگترین بررسی ها و تحقیق ها بر روی بارش های اسیدی در طی دهه ۱۹۸۰ صورت گرفت. برف اسیدی که یکی از اشکال بارش های اسیدی است، مدت ها بر روی زمین باقی می ماند و با آمدن فصل بهار به یکباره ذوب شده و میزان زیادی اسید را به رودها و دریاچه های اطرافش می ریزد (دسونی ۲۰۰۷). مشکل بارش های اسیدی تنها محدود به شهرهای بزرگ و

صنعتی و مناطقی که آلاینده ها تولید می شوند، نیست بلکه جریان باد می تواند این گازها و ذرات را به مسافت های خیلی دورتر یعنی مناطق غیر صنعتی منتقل کند (چون^۹ و همکاران ۲۰۱۴). برخی مواد از جمله آهک دارای خاصیت ضربه گیری یا بافری می باشند که باعث خنثی شدن حالت اسیدی و حتی بالا رفتن میزان قلیابیت در آب بارش می شوند. در مناطقی که این مواد ضربه گیر بوفور در خاک و جو آنها وجود دارد اغلب، بارش های قلیایی بوقوع می پیوندند (دسونی ۲۰۰۷، تیواری^{۱۰} و همکاران ۲۰۰۷، کالشرستاو همکاران ۱۹۹۵). ریزش بارش های اسیدی و قلیایی سالهاست که در مکان ها و شهرهای مختلف از جمله شهر تهران به اثبات رسیده است (لیکنز^{۱۱} و همکاران ۱۹۸۴، اسماعیلی ساری ۱۳۷۱ و ۱۳۶۶a، کالشرستاو^{۱۲} و همکاران ۲۰۰۳b، پالما^{۱۳} و همکاران ۲۰۲۰، خیایان^{۱۴} و همکاران ۲۰۱۹). پژوهش ها در این خصوص، در نقاط مختلف دنیا بسیار انجام شده است. بدلیل ازدیاد تحقیقات انجام شده، در این جا به ذکر چند منبع اکتفا شده است (لیکنز و همکاران ۱۹۸۴، وارنیک^{۱۵} ۲۰۰۰، کالشرستاو همکاران ۲۰۰۳، هوآنگ^{۱۶} و همکاران ۲۰۰۸، تانگ^{۱۷} و همکاران ۲۰۰۹). 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. همچنین این شهر بیش از نیم قرن است که شهری صنعتی بوده و کارخانجات بسیاری در اطراف آن وجود دارند. شهر تهران بدلیل جمعیت بالا و صنعتی بودن اش دارای حجم بالایی از آلاینده های گازی و ذرات معلق انسان ساخت می باشد (گزارش فنی شرکت کنترل کیفیت هوا، شماره های QM92/03/03/(U)/01 و QM91/02/06(U)/01). از آنجایی که سه مطالعه قبل

1. Warneck
3. Tang
5. Desonic
7. Pitts
9. Chun
11. Likens
13. Palma
15. Warneck
17. Tang

2. Huang
4. kereztsesi
6. Galloway
8. Angus smith
10. Tiwari
12. Kulshrestha
14. Khayan
16. Huang

(اسماعیلی ساری ۱۳۷۱ و ۱۳۷۶)، پژوهش‌کننده هواشناسی (۱۳۸۷) تا زمان انجام این تحقیق (البته در دوتای آنها فقط اندازه گیری pH با مطالعه فعلی یکی بوده است)، مربوط به سال‌های ۱۳۷۱، ۱۳۷۶ و ۱۳۸۷ می‌باشند و با توجه به رشد شهرنشینی و گسترش شهر تهران در سالهای بعد از مطالعات، مطالعه و بررسی در این زمینه بسیار سودمند است.

۲- داده‌ها و روش کار

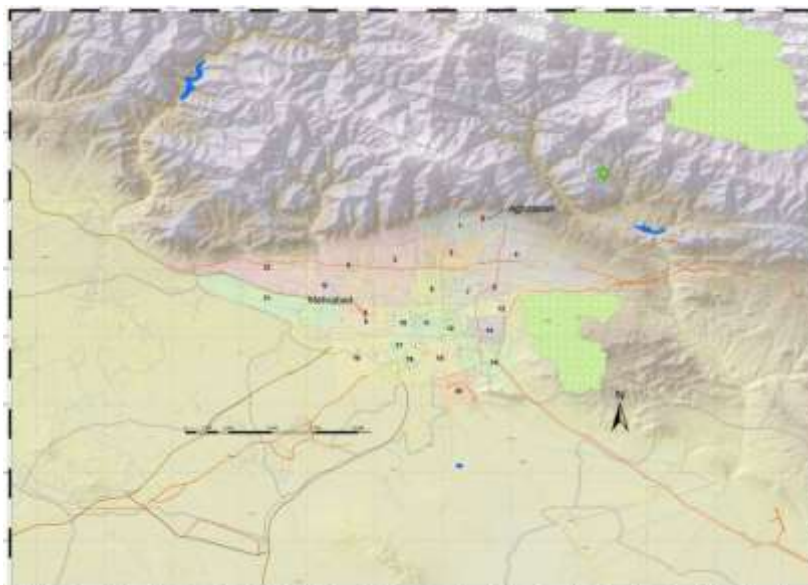
۲-۱ منطقه مورد بررسی

شهر تهران 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. شهر تهران در شمال کشور ایران و در دامنه‌های جنوبی رشته کوه‌های البرز قرار دارد. این شهر از شمال به کوهستان و از جنوب به نواحی کویری منتهی می‌شود بنابراین دارای ارتفاع‌های مختلف، آب و هوا و میزان بارش‌های متفاوت در نقاط مختلف اش می‌باشد. در شکل (۱) نقشه استان تهران آورده شده است. شهر تهران با توجه به سرشماری‌های انجام شده تا سال ۲۰۱۱ میلادی (قابل دسترس از سایت <http://www.amar.org.ir>)، دارای رشد شهرنشینی، افزایش ساختمان‌های مسکونی آپارتمانی و تردد بیشتر وسایل نقلیه شخصی و عمومی بوده است. کاهش و تخریب درختان در سطح شهر و از بین رفتن بیشتر باغ‌های واقع در مناطق شمال شرق، شمال و غرب شهر و تبدیل شدن آنها به تعداد زیادی منازل مسکونی آپارتمانی، معضل دیگری از همین افزایش شهرنشینی بشمار می‌رود. 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 قرار دارند. از طرفی چون رشته کوه‌های البرز در شمال، شمال شرق و شرق شهر گسترده شده‌اند، بنابراین برای آلاینده‌ها همانند سدی می‌باشند. همچنین از نظر جغرافیایی شهر تهران از سمت جنوب به نواحی بیابانی، شوره زار و دریاچه نمک قم منتهی شده است.

در این مطالعه برای نمونه‌برداری از آب بارش، بدلیل مشکلات و محدودیت‌های نمونه‌برداری از قبیل کمبود

دیدبان‌های آموزش دیده، هماهنگی با سازمان هواشناسی کشور جهت دسترسی به ایستگاه‌های همدیدی، ما دو ایستگاه از ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی سازمان هواشناسی کشور یعنی اقدسیه (شمال تهران) و مهرآباد را برای مطالعه انتخاب کرده‌ایم. ایستگاه اقدسیه تهران در منطقه شمال شرق شهر تهران و در ارتفاعات جنوبی رشته کوه‌های 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 می‌باشد. میانگین مجموع بارش سالیانه در این ایستگاه تقریباً ۴۲۰ میلیمتر می‌باشد (سالنامه‌های آماری سازمان هواشناسی ایران). 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، ترمینال‌های 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 میلیمتر می‌باشد. این دو ایستگاه هواشناسی از نظر مقدار آلاینده‌های گازی و ذرات معلق می‌توانند تقریباً دو نماینده خوب از کل شهر تهران باشند زیرا ایستگاه اقدسیه در مکانی با شاخص هوای پاک تر و ایستگاه مهرآباد در مکانی با شاخص هوای آلوده تر نسبت به بقیه نقاط شهر می‌باشند. شکل (۱) و جدول (۱) مشخصات مکانی و توپوگرافی شهر تهران و این دو ایستگاه همدیدی را نشان می‌دهند.

داده‌های آلاینده‌های گازی و ذرات معلق نیز، از ایستگاه‌های اقدسیه و دانشگاه صنعتی شریف شرکت کنترل کیفیت هوای تهران اخذ شده‌اند. ایستگاه اقدسیه (آلودگی) در همان محل ایستگاه هواشناسی همدیدی اقدسیه و ایستگاه دانشگاه صنعتی شریف در محل دانشگاه صنعتی شریف و مکان بسیار نزدیک (از نظر مکانی) به ایستگاه همدیدی مهرآباد می‌باشد.



شکل ۱- نقشه شهر تهران و مکان جغرافیایی ایستگاه‌های همدیدی شمال تهران (اقدسیه) و فرودگاه مهرآباد سازمان هواشناسی کشور

جدول ۱- مشخصات دو ایستگاه همدیدی سازمان هواشناسی کشور که در این مطالعه انتخاب شده است

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی (درجه-دقیقه)	طول جغرافیایی (درجه-دقیقه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	سال تاسیس (میلادی)
ایستگاه شمال تهران (اقدسیه)	۳۵ ۴۷	۵۱ ۳۷	۱۵۴۸/۲	۱۹۸۸
ایستگاه تهران مهرآباد	۳۵ ۴۱	۵۱ ۱۹	۱۱۹۰/۸	۱۹۵۱

۲-۲ نمونه برداری از بارش‌ها

در این مقاله، از تمام بارش‌هایی که در فصول پاییز و زمستان سال ۱۳۹۱، فصل بهار سال ۱۳۹۲ و فصول تابستان و پاییز سال ۱۳۹۴، بوقوع پیوستند نمونه برداری شده است. مجموعاً ۳۰ نمونه آب بارش، که در آنها مقدار بارش به اندازه‌ای که قابل نمونه برداری و آزمایش بودند، از هر دو ایستگاه جمع آوری و مورد آزمایش قرار گرفتند.

برای نمونه برداری و نگهداری نمونه‌های بارش بترتیب از ظروف پلی اتیلنی و شیشه‌ای استفاده شده است. مناسب ترین جنس ظروف جهت نمونه برداری و نگهداری، ظروف شیشه‌ای و ظروف پلاستیکی از جنس پلی اتیلن می باشند (گنجی دوست ۱۳۸۲). ظروف جمع آوری آب بارش در هر دو ایستگاه در محل پشت بام ایستگاه‌ها و در ارتفاع ۱/۵ متری از سطح پشت بام و در فاصله تقریباً بیش از ۱۰ متری از سطح زمین قرار داده شدند. برای شستشوی ظروف

نمونه برداری و حمل نمونه‌های آب بارش، آنها را ابتدا با ماده شوینده (مایع ظرفشویی) شسته و سپس با آب مقطر شش بار آب کشی کرده و در نهایت با آب بدون یون (دی یونیزه) با ضریب هدایت الکتریکی کمتر از ۱/۵ میکروزیمنس بر سانتی متر آبکشی نهایی شده اند. برای جلوگیری از ورود آلودگی‌ها و تجمع گرد و خاک در ظروف نمونه برداری، شستشوی ظروف در زمان نزدیک به بارندگی‌ها انجام شده است. همچنین از خشک کردن ظروف نمونه برداری با کاغذ و پارچه اجتناب شده است. جمع آوری نمونه از آب باران از ابتدای شروع بارش تا زمانی که مقدار آب باران به مقدار ۳۰ سی سی برسد، انجام شده است. سپس این نمونه‌ها را در ظروف شیشه‌ای ریخته و تا زمان انتقال به آزمایشگاه در دمای بین ۲-۴ درجه سانتی گراد نگهداری شده‌اند. لازم به ذکر است که در تمامی رویدادها سعی شده که نمونه‌ها را در کوتاهترین زمان ممکن بعد از اتمام بارش (کمتر از ۲۴ ساعت) به آزمایشگاه منتقل شده اند (گنجی دوست ۱۳۸۲،

هو و همکاران ۲۰۰۳a، سفایو همکاران ۲۰۰۴a، هو و همکاران ۲۰۱۳b)

۲-۳ pH، هدایت الکتریکی (EC)، قلیائیت کل، کل مواد جامد محلول (TDS)، سختی کل

برای سنجش میزان اسیدی یا قلیایی بودن محیط از pH استفاده می‌شود. pH برابر با ۷ بیانگر حالت خنثی، بین ۰ تا ۷ حالت اسیدی و بین ۷ تا ۱۴ حالت قلیایی می‌باشد (تقوایی پور ۱۳۸۰). هدایت الکتریکی آب (EC) معرف قدرت یونی یک محلول برای انتقال جریان برق است. در واقع زمانی که املاح در آب حل شوند بصورت یون در خواهند آمد و آب با داشتن همین یون‌های باردار است که هادی جریان الکتریسته می‌باشد. برای اندازه‌گیری میزان pH و EC از دستگاه multi-HQ 40d ساخت کشور آلمان استفاده شده است. محدوده قابل اندازه‌گیری این دستگاه برای سنجش pH بین ۰ تا ۱۴ و برای اندازه‌گیری EC بین ۰/۱ تا ۴۰۰ $\mu\text{S}/\text{cm}$ (میکروزیمنس بر سانتیمتر) می‌باشد.

قلیائیت در آب مربوط به وجود یون‌های هیدروکسید، کربنات، بی‌کربنات و به مقدار خیلی کمتر مربوط به بورات‌ها، سیلیکات‌ها و فسفات‌ها می‌باشد. به عبارت دیگر قلیائیت، میزان توانایی آب برای خنثی کردن اسیدها است. قلیائیت کل یا قلیائیت نسبت به متیل اورانژ بوسیله فرمول زیر محاسبه شده است (تقوایی پور ۱۳۸۰):

$$\text{قلیائیت (ppm)} = \frac{B \times N \times 5000}{V} \quad (1)$$

که در آن M قلیائیت کل، B مقدار کل اسید مصرفی جهت قلیائیت کل، N نرمالیه اسید مصرفی و V حجم مورد استفاده می‌باشد.

سختی کل^۳، عبارت است از املاح خاصی که در آب بارش حل شده است. این املاح شامل کاتیون‌هایی از قبیل کلسیم، منیزیم، استرانسیوم، آهن، آلومینیوم، منگنز، روی به علاوه آنیون‌هایی از قبیل بی‌کربنات، سولفات، کلراید، سیلیکات و نترات هستند (پیکری و ارجمند ۱۳۸۳). برای محاسبه سختی کل، مجموع غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم که بوسیله دستگاه کروماتوگرافی یونی بدست آمدند را با هم

جمع و بر حسب واحد ppm بیان کرده‌ایم (سبحانی و خیردوش ۱۳۸۴).

مقدار کل مواد غیر فرار حل شده در آب را که شامل یون‌های مختلف می‌باشد بنام کل مواد جامد محلول در آب یا TDS^۴ می‌نامند. اگر غلظت یونها بر حسب معادل کربناتی باشند، غلظت یون‌های مختلف را می‌توان با هم جمع کرد و مجموع را به عنوان TDS بیان کرد (پیکری و ارجمند، ۱۳۸۳). مقدار TDS براساس فرمول زیر محاسبه شده است:

$$TDS(\text{ppm}) = \frac{1000 \times (\text{میلی گرم وزن نهایی مواد باقیمانده})}{\text{اولیه نمونه حجم بر حسب میلیلیتر}} \quad (2)$$

۲-۴ سرعت اصطکاکی و باد در ارتفاع ۱۰ متری

سرعت باد مرجع در مجاورت سطح زمین که متناسب با تنش رینولدز بر واحد جرم می‌باشد سرعت اصطکاکی نام دارد. سرعت اصطکاکی بصورت زیر محاسبه می‌شود (بریتز و هانا ۲۰۰۳ و اژنامه هواشناسی ۲۰۱۲):

$$u_* = \left(\frac{1}{4} \left[(\overline{u'w'})^2 + (\overline{v'w'})^2 \right] \right)^{\frac{1}{4}} \quad (3)$$

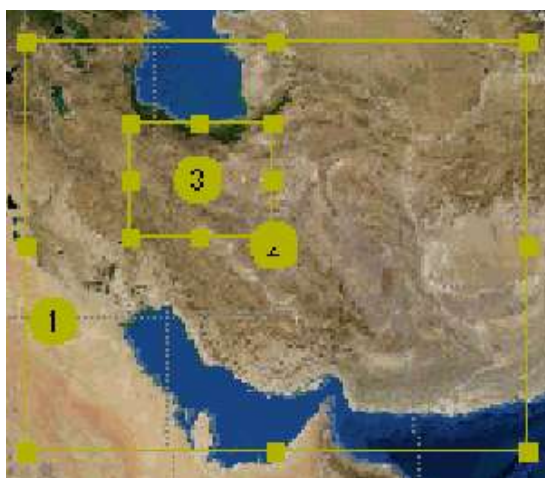
در فرمول فوق u_* سرعت اصطکاکی و $\overline{u'w'}$ و $\overline{v'w'}$ شارهای تکانه سطحی (نشان‌دهنده تنش سطحی جنبشی) هستند. سرعت اصطکاکی یکی از پارامترهای مهم برای مطالعه لایه مرزی و نیز تخمین فرسایش خاک می‌باشد. اگر در هر منطقه مقدار سرعت اصطکاکی از مقدار آستانه آن بالاتر برود فرسایش خاک و پدیده گرد و خاک اتفاق خواهد افتاد.

برای محاسبه سرعت اصطکاکی و باد در ارتفاع ۱۰ متری، از خروجی‌های مدل عددی WRF ورژن ۳،۴،۱ استفاده شده است. برای اجرای مدل از ۳ شبکه تو در تو بترتیب با تفکیک‌های ۴۵، ۱۵ و ۵ کیلومتر استفاده شده است (شکل ۲). برای شرایط اولیه و شرایط مرزی مدل WRF نیز، از داده‌های جهانی FNL استفاده شده است (قابل دسترس از سایت <http://rda.ucar.edu>). مدل برای ۱ روز قبل و اولین روز هر رویداد بارش اجرا شده است. همچنین برای اعتبارسنجی نتایج بدست آمده، مدل برای دو مورد بدون پدیده (بارش و باد)، یکی در زمستان و یکی در تابستان نیز اجرا شده است. بدلیل طولانی بودن زمان اجرای

1. Electrical Conductivity
3. Total Hardness
5. Friction velocity

2. Total Alkalinity
4. Total Dissolved Solid

مدل برای هر مورد (تقریباً ۳ روز) ما ۸ رویداد بارشی از کل موارد نمونه برداری شده را برای این بخش انتخاب و بررسی کرده‌ایم.



شکل ۲- شبکه‌های انتخاب شده (۴۵، ۱۵ و ۵ کیلومتر) جهت اجرای مدل WRF.

بیشترین میانگین آن در فصل بهار بوده‌اند. کمترین و بیشترین مقادیر pH مربوط به نمونه‌های ایستگاه مهرآباد تهران می‌باشند. همچنین میانگین وزنی حجمی pH بترتیب در ایستگاه‌های مهرآباد و اقدسیه، اسیدی و قلیایی بدست آمده است. با توجه به آمار و داده‌های شرکت کنترل کیفیت هوای تهران، غلظت آلاینده‌های ذره‌ای و گازی در تمامی فصول، در اطراف ایستگاه مهرآباد به مراتب بیشتر از ایستگاه اقدسیه می‌باشند. نتایج میانگین ها، کمینه و بیشینه pH در دو ایستگاه کاملاً این مطلب را نشان می‌دهند.

با توجه به شکل (۳) و جدول (۲)، میانگین مقادیر EC در هر دو ایستگاه در فصول پاییز و زمستان نسبت به فصول تابستان و مخصوصاً بهار کمتر می‌باشند. کمترین میانگین EC در فصل زمستان و بیشترین میانگین آن در فصل بهار بوده‌اند. همانطور که از جدول (۲) دیده می‌شود بیشینه و کمینه EC، در ایستگاه مهرآباد به ثبت رسیده است. بالاتر بودن میانگین EC در ایستگاه مهرآباد تهران نسبت به ایستگاه اقدسیه، نشان دهنده بالاتر بودن غلظت یونها در آب بارش این ایستگاه نسبت به ایستگاه اقدسیه می‌باشد.

با توجه به نتایج محاسبه شده سختی کل در جدول (۲) و شکل (۳) دیده می‌شود که، مقادیر کمینه و بیشینه در ۳۰ نمونه، مربوط به ایستگاه مهرآباد می‌باشد. همچنین میانگین و میانگین وزنی-حجمی سختی کل ایستگاه مهرآباد بیشتر از

۳- نتایج و بحث

۳-۱- pH، هدایت الکتریکی (EC)، قلیابیت کل، کل مواد جامد محلول (TDS)، سختی کل

در جدول (۲) میانگین، میانگین وزنی-حجمی، انحراف معیار وزنی-حجمی، کمینه و بیشینه pH، EC، TDS، قلیابیت کل و سختی کل برای دو ایستگاه مهرآباد و اقدسیه (شمال تهران) محاسبه و نوشته شده است. برای محاسبه میانگین وزنی-حجمی (سفیرا و لای ۱۹۹۸) و همچنین انحراف معیار وزنی-حجمی (جین و همکاران ۲۰۰۰) از رابطه‌های زیر استفاده شده است:

$$\overline{VWM} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (1)$$

$$VWSD = \left(\frac{N \sum_{i=1}^n P_i^2 X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i P_i)^2}{(\sum_{i=1}^n P_i)^2 (N-1)} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

که در آن X_i و P_i و N بترتیب مقدار بارش در نمونه آم، غلظت گونه و تعداد نمونه‌ها می‌باشند. در شکل (۳)، تغییرات میانگین فصلی pH، EC، TDS، قلیابیت کل و سختی کل که از ۳۰ نمونه آب بارش در دو ایستگاه مهرآباد و اقدسیه اندازه‌گیری شده‌اند، بصورت نمودار ستونی ترسیم شده است. نتایج جدول (۲) و شکل (۳) نشان می‌دهند که میانگین مقادیر pH در هر دو ایستگاه در فصول پاییز و زمستان نسبت به فصول تابستان و مخصوصاً بهار بسیار کمتر می‌باشند. کمترین میانگین pH در فصل زمستان و

۱۳۹۹

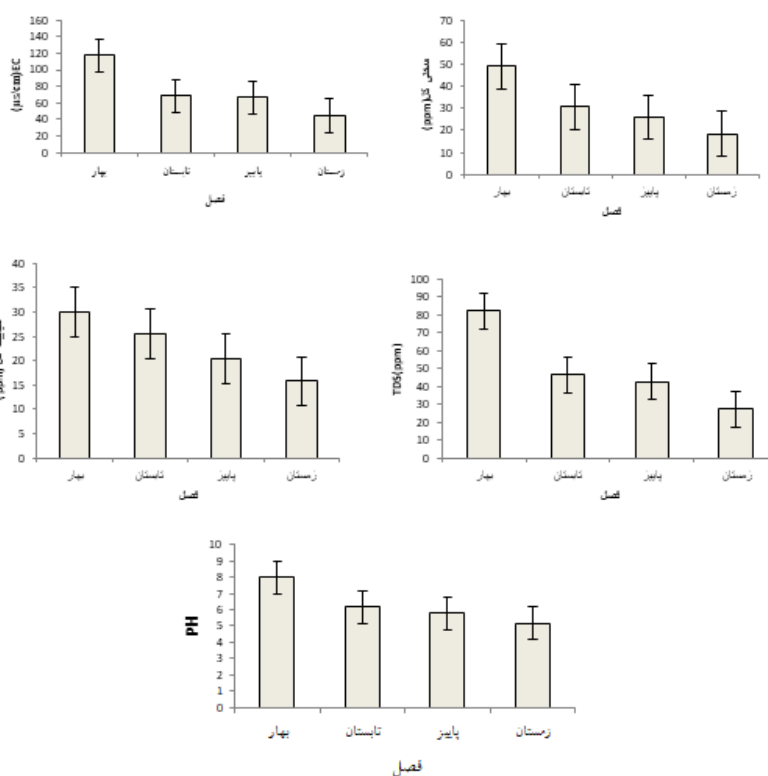
ایستگاه اقدسیه می‌باشد. مقادیر سختی در هر دو ایستگاه در فصول پاییز و زمستان نسبت به فصول بهار و تابستان کمتر بدست آمده‌اند. بیشترین مقادیر سختی کل از نمونه‌های فصل بهار بدست آمده‌اند. از آنجاییکه منبع اصلی یونهای منیزیم و کلسیم در خاک می‌باشد بنابراین بالا بودن غلظت این دو یون در فصل بهار را می‌توان بدلیل وجود هواویزهای گرد و خاک در نمونه‌ها بیان نمود. کاتیون کلسیم بصورت ترکیب در سنگ گچ و سنگ آهک یافت می‌شود. از آنجایی که خاک‌های شهر تهران، گچ ($CaSO_4$) و آهک ($CaCO_3$) زیادی دارند (وجود معادن بسیار سیمان، گچ و آهک از جمله معادن سازان، اسب چران و ... در اطراف شهر تهران (قابل دسترس از سایت سازمان نظام مهندسی معدن استان تهران <http://www.ime.org.ir> دلیل بر این امر می‌باشد) به نوعی دیگر وجود هواویزهای گرد و خاک در نمونه‌های آب بارش در فصل بهار را توجیه می‌کنند. البته لازم به ذکر است که بدلیل ساختمان‌سازی‌های بسیار در شهر تهران، مطالعه بر روی جنس خاک آن در سال‌های اخیر انجام نشده است برای همین دلایل، نتایج با گمانه زنی همراه هستند. نتایج مربوط به قلیائیت کل سی نمونه آب بارش در شهر تهران در شکل (۳) و جدول (۲) ترسیم و محاسبه شده‌اند. در اینجا نیز همانند موارد پیشین، بیشترین قلیائیت در نمونه‌های فصل بهار و کمترین آن در فصل زمستان بوقوع پیوسته‌اند. با توجه به نتایج جدول (۲)، کمینه و بیشینه قلیائیت کل همانند موارد پیشین، در ایستگاه مهرآباد اتفاق افتاده است. همچنین مقدار میانگین و میانگین وزنی -حجمی قلیائیت کل در ایستگاه مهرآباد از ایستگاه اقدسیه بیشتر می‌باشند. بالا رفتن مقدار قلیائیت کل نسبت مستقیم با pH دارد بگونه‌ای که با کاهش (افزایش) pH، قلیائیت کل نیز کاهش (افزایش) می‌یابد. بالا رفتن مقدار قلیائیت کل بطور کلی مربوط به بالا رفتن غلظت یون‌های کربنات و بی کربنات در نمونه‌ها می‌باشد. منابع اصلی یونهای کربنات و بی کربنات در خاک‌ها می‌باشند و زمانی که آنها در آب بارش حل می‌شوند هر دو بصورت یون بی کربنات در نمونه‌ها اندازه گیری می‌شوند. یون کربنات در آب واکنش

شیمیایی انجام می‌دهد و به یون بی کربنات تبدیل می‌شود. بنابراین بالا رفتن قلیائیت کل در فصل بهار، باز دلیل دیگری بر وجود هواویزهای گرد و خاک در جو می‌باشند. البته بالا رفتن یون بی کربنات به علت بالا رفتن هواویزهای انسان ساخت کربن دار نیز می‌باشد. بنابراین احتمالاً، هر دو منبع طبیعی و انسان ساخت، باعث بالا رفتن این آنیون در جو و بتبع آن نمونه‌های بارشی شده است.

با توجه به نتایج جدول (۲) و شکل (۳)، بیشترین و کمترین مقادیر TDS بترتیب در فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان اندازه گیری شده‌اند. همانند نتایج بدست آمده در بندهای قبل، بالاترین و کمترین مقادیر TDS مربوط به ایستگاه مهرآباد تهران می‌باشند و مقادیر میانگین و میانگین وزنی -حجمی TDS این ایستگاه نسبت به ایستگاه اقدسیه (شمال تهران) خیلی بیشتر هستند. با توجه به تمامی نتایج بدست آمده بالا بودن مقدار TDS دلیل بر بالا رفتن مواد جامد نا محلول در آب می‌باشد. بنابراین هواویزهایی که در فصول بهار و تابستان وارد آب بارش شده‌اند نسبت به فصول پاییز و زمستان قابلیت انحلال کمتری در آب دارند. با توجه به نتایج مربوط به pH، EC، TDS، قلیائیت کل، سختی کل در دو ایستگاه در چهار فصل سال، می‌توان نتیجه گرفت که غلظت آلاینده‌های گازی و ذرات معلق در تمام فصول سال در ایستگاه مهرآباد بسیار بیشتر از ایستگاه اقدسیه می‌باشد. در فصول سرد سال ذرات معلق انسان ساخت و آلاینده‌های گازی غلظت بیشتری دارند و در فصول گرم سال هواویزهای گرد و خاک غلظت بیشتری در شهر تهران داشته‌اند.

جدول ۲- میانگین، میانگین وزنی-حجمی، انحراف معیار وزنی-حجمی، کمینه و بیشینه pH، EC، TDS، قلیابیت کل، سختی کل در دو ایستگاه مهرآباد و اقدسیه (شمال تهران).

نام ایستگاه	کمیت اندازه گیری شده	میانگین	میانگین وزنی-حجمی	انحراف معیار وزنی-حجمی	کمینه (وزنی-حجمی)	بیشینه (وزنی-حجمی)
شمال تهران (اقدسیه)	pH	۶/۶۵	۶/۲۸	۱/۸۴	۴/۷۲	۷/۹۵
	($\mu\text{s}/\text{cm}$)EC	۶۹/۳	۵۳/۴۱۲	۱۲/۷۳۶	۳۵	۱۳۵
	TDS(ppm)	۴۷	۵۰/۱۵۱	۱۰/۸۵۵	۲۱	۱۱۰
	قلیابیت کل (ppm)	۱۸/۶۲	۱۸/۴۴۸	۶/۳۳۴۸	۱۰	۳۰
مهرآباد	(ppm)سختی کل	۲۷/۶۸	۲۰/۷۹۷	۴/۲۷۴	۱۳/۸۳	۵۷/۹۵
	pH	۶/۳۳	۴/۸۶	۶/۵۵	۴/۶۱	۸/۱۲
	($\mu\text{s}/\text{cm}$)EC	۹۱/۴۸	۶۲/۴۱۲	۲۴/۸۴۹	۳۰	۱۹۵
	TDS(ppm)	۶۰/۸۷	۴۷/۲۸۵	۱۰/۰۰۶	۱۹	۱۳۰
	قلیابیت کل (ppm)	۲۴/۲۵	۲۱/۳۴	۵/۹۷۳	۸	۴۰
	(ppm)سختی کل	۳۶/۴۲	۲۹/۴۵۹	۳۰/۶۲۷	۹/۷	۷۶/۰۱



شکل ۳- مقادیر میانگین فصلی pH، EC، TDS، قلیابیت کل و سختی کل در سالهای ۱۳۹۱، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۴ هجری شمسی که از نمونه برداری های دو ایستگاه مهرآباد و اقدسیه (شمال تهران) بدست آمده‌اند.

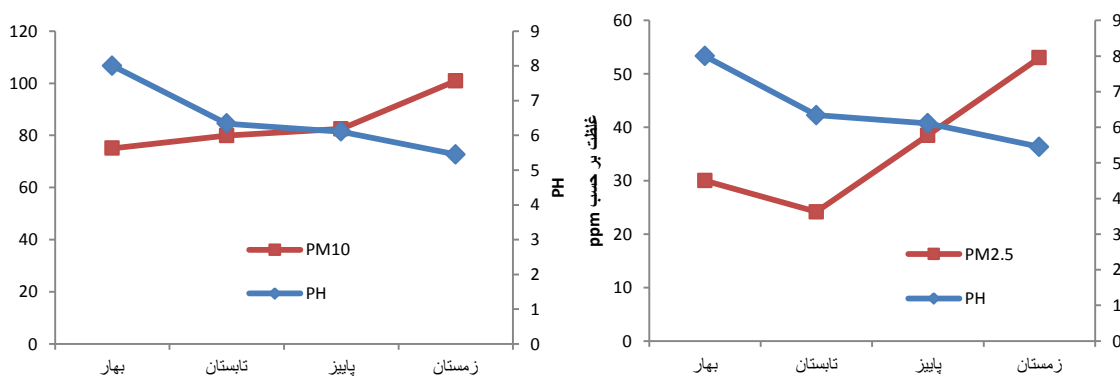
میانگین فصلی pH (کلیه مقادیر از میانگین داده‌های هر دو ایستگاه اقدسیه و مهرآباد بدست آمده‌اند) با مقادیر میانگین فصلی ذرات معلق با شعاع کمتر از ۲/۵ و ۱۰ میکرون و نیز با گازهای SO₂ و NO₂ در شکل‌های (۴) و (۵) رسم و

۳-۲- رابطه بین اسیدیته آب باران با اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌ها در سطح زمین

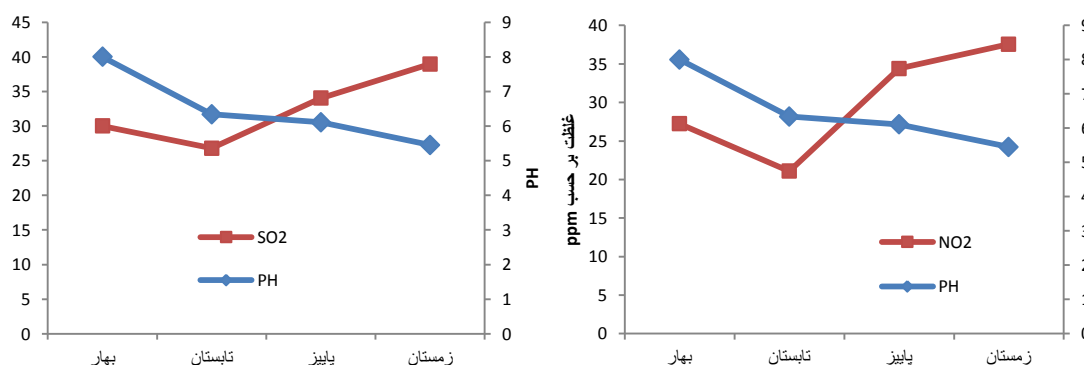
از آنجایی که بارش فرآیندی مهم و موثر در جاروب کردن ذرات هواویز و گازها، از جو می‌باشد، از این رو رابطه

اواخر فصل پاییز و فصل زمستان بسیار بیشتر از فصول گرم سال می‌باشند. همین امر باعث پایین آمدن میزان pH آب بارش شده است. بر عکس در فصول بهار و تابستان عمق لایه مرزی جو بیشتر می‌شود و ناپایداری‌هایی که در نتیجه همرفت در جو رخ می‌دهند، تولید سرعت‌های باد بالاتری نسبت به فصل زمستان می‌کنند. در نتیجه غلظت‌های آلاینده‌های گازی و ذرات معلق از جمله هواویزهای گرد و خاک را در جو شهر تهران افزایش می‌دهند. خاک‌ها منبع بزرگی از عناصر قلیایی از جمله کربنات‌ها و بی‌کربنات‌ها می‌باشند. به همین دلیل مقادیر بالای pH اندازه‌گیری شده در نمونه‌های فصل بهار و تابستان، به احتمال بسیار زیاد بدلیل وجود خاک در نمونه‌های آب بارش و نیز غلظت کمتر آلاینده‌ها می‌باشد.

بررسی شده‌اند. همچنین ضریب همبستگی پیرسون بین NO_2 ، SO_2 ، PM_{10} ، $\text{PM}_{2.5}$ ، pH در جدول (۳) نوشته شده است. به خوبی SPSS محاسبه و در جدول (۳) نوشته شده است. به خوبی از این چهار نمودار و ضرایب همبستگی پیرسون دیده می‌شود که بین مقدار NO_2 ، SO_2 ، PM_{10} ، $\text{PM}_{2.5}$ و pH همبستگی منفی وجود دارد. به این معنی که با افزایش (کاهش) یافته‌اند. در اواخر فصل پاییز و تمامی فصل زمستان که ماه‌های سرد شهر تهران هستند، عمق لایه آمیخته کمتر از فصول گرم سال می‌باشد و در بیشتر مواقع پدیده وارونگی دما در جو رخ می‌دهد (ثابت قدم، ۱۳۸۸). همچنین جو در بیشتر مواقع پایدار و سرعت باد در این فصول کمتر از فصول گذر سال می‌باشد. بنابراین بالا رفتن غلظت آلاینده‌های گازی و ذرات معلق انسان ساخت در



شکل ۴- همبستگی ذرات معلق کوچکتر از ۲/۵ و کوچکتر از ۱۰ میکرون با مقدار pH.



شکل ۵- همبستگی گازهای SO_2 ، NO_2 با مقدار pH.

جدول ۳- ماتریس ضرایب همبستگی رتبه‌ای پیرسون برای ذرات معلق کوچکتر از ۲/۵ و ۱۰ میکرون، SO₂، NO₂ و pH

	PM2.5	PM10	SO2	NO2	pH
PM2.5	۱				
PM10	۰/۹	۱			
SO2	۰/۹۹	۰/۸۵	۱		
NO2	۰/۹۴	۰/۷۲	۰/۹۷	۱	
pH	-۰/۶۳	-۰/۸۱	-۰/۵۹	-۰/۵۱	۱

در سطح شهر بشوند. البته بدلیل خشک تر شدن بستر خاک‌های اطراف تهران، مقدار سرعت اصطکاکی آستانه این خاک‌ها نیز بسیار پایین‌تر آمده‌اند. همانطور که پیشتر گفته شد، مناطق مستعد برای تولید خاک در شهر تهران، با توجه به باد غالب شهر، مناطق جنوب و جنوب غربی تهران می‌باشند، و خاک این مناطق نیز از نوع رسوبی و دارای بافت ریز هستند (برگرفته از نقشه‌های با مقیاس ۱:۳۰۰,۰۰۰، سازمان زمین شناسی کشور). بنابراین سرعت اصطکاکی آستانه برای این نوع از خاک‌ها پایین می‌باشد (گیلت و همکاران ۱۹۸۲، پری و وانگ ۱۹۹۵، ایشیزوکا و همکاران ۲۰۰۹). البته پیدا کردن مقادیر سرعت اصطکاکی آستانه برای انواع مختلف خاک، نیاز به مطالعات دقیق از جنس خاک و دستگاه‌های مخصوص مانند دستگاه تونل باد، دارد که در زمان نوشتن این رساله چنین داده‌هایی برای شهر تهران و حومه آن در دسترس نبودند.

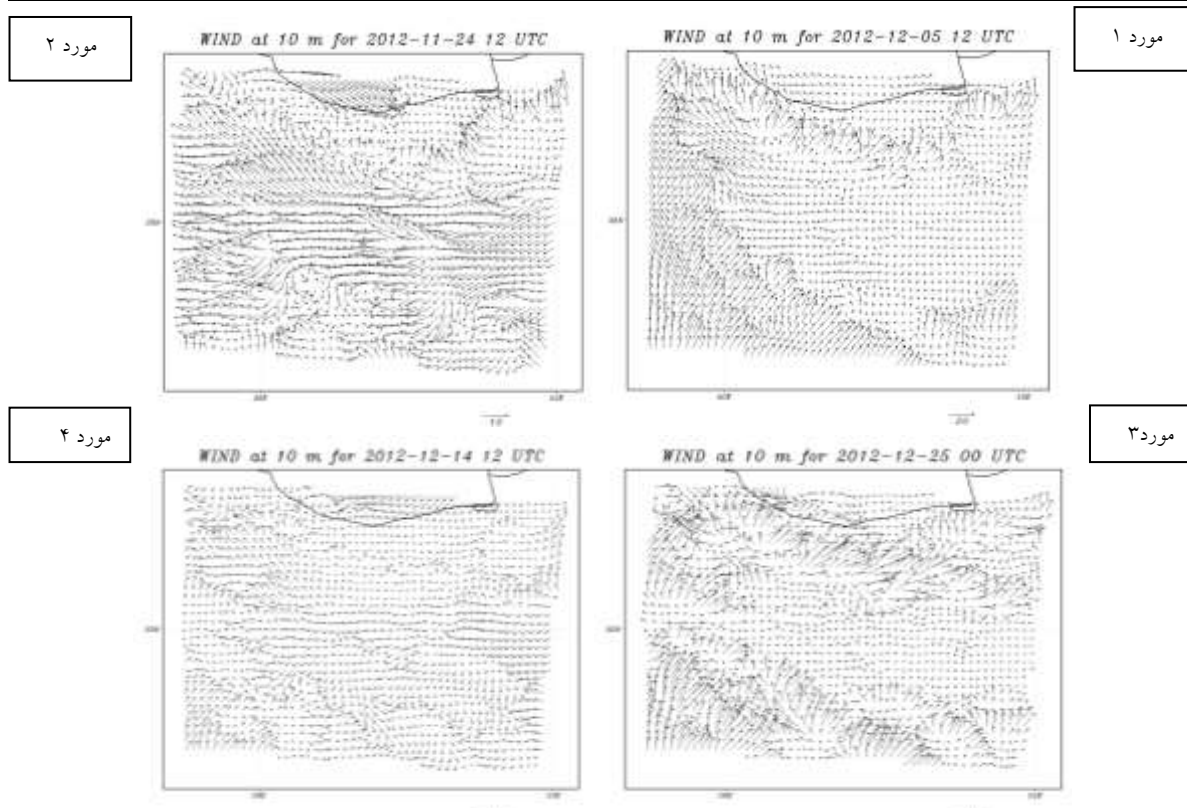
برای بررسی دقیق‌تر در زمینه امکان تاثیر هواویزهای گرد و خاک بر شکل‌گیری ابر و بارش، باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین نیز از خروجی مدل WRF (سومین شبکه تعریف شده برای مدل با قدرت تفکیک مکانی ۵ کیلومتر) به کمک نرم افزار گردز استخراج شده است. تمامی نقشه‌ها جهت بررسی استخراج شده‌اند ولی بدلیل حجم بالا فقط نزدیک ترین نقشه به زمان شروع بارش در شکل (۶) ارائه شده‌اند. همانطور که از شکل (۶) دیده می‌شود، در زمان نزدیک شدن سامانه‌های بارشی به شهر تهران، جهت باد در جنوب و غرب شهر، جنوب غربی و جنوبی شده است. همچنین مقدار باد نیز در نواحی بیابانی جنوب تهران بیشتر شده است. در مورد بدون پدیده تابستان و زمستان، جهت بادها بیشتر شرقی و شمالی می‌باشند.

۳-۳ سرعت اصطکاکی و باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین

میانگین مقادیر ۳ ساعته سرعت اصطکاکی (برحسب متر بر ثانیه) در مناطق بیابانی جنوب شهر تهران، برای یک روز قبل از وقوع بارش و خود رویداد بارش، در جدول (۴) نوشته شده‌اند. این نتایج از سومین شبکه تعریف شده برای مدل با قدرت تفکیک مکانی ۵ کیلومتر استخراج شده‌اند. همانطور که از نتایج دیده می‌شود، مقادیر سرعت اصطکاکی در طول روز نسبت به شب بیشتر و بیشینه آن درحوالی ساعت UTC ۱۲ (۱۵:۳۰ محلی) بوقوع پیوسته است. این نتیجه ناشی از گرم شدن زمین بوسیله تابش خورشید می‌باشد و صحیح می‌باشد. مقادیر سرعت اصطکاکی در تمامی ساعات رویدادهای ۱) (۲۰۱۲/۱۱/۲۵)، ۲) (۲۰۱۲/۱۲/۲۵)، ۳) (۲۰۱۲/۱۲/۱۴)، ۴) (۲۰۱۲/۱۲/۲۵)، ۵) (۲۰۱۳/۱/۲۸)، و مورد بدون پدیده در زمستان ۶) (۲۰۱۳/۱/۱۶)، نسبت به مقادیر رویدادهای ۷) (۲۰۱۳/۵/۱۳)، ۸) (۲۰۱۳/۵/۲۱) و مورد بدون پدیده در تابستان ۹) (۲۰۱۳/۷/۱۷) بسیار کمتر می‌باشند. همه این نتایج کاملاً با نتایج تئوری مطابقت دارند و می‌توان به صراحت بیان کرد که مدل بخوبی مقادیر سرعت اصطکاکی را محاسبه کرده است. مقادیر سرعت اصطکاکی در فصول گرم نسبت به فصول سرد سال بسیار بیشتر می‌باشند. بالا بودن مقادیر سرعت اصطکاکی در رویدادهای ۶ و ۷ نسبت به رویدادهای ۱ و ۲ و ۳ و ۴ تا حدودی بدلیل موقعیت زمانی وقوع آنها می‌باشد. ولی باز هم اگر با مورد بدون پدیده در تابستان (از نظر زمانی در گرمترین روز های سال در تهران انتخاب شده است) مقایسه شود، مقادیر سرعت اصطکاکی در شهر تهران و مناطق بیابانی جنوب تهران، به اندازه‌ای است که می‌توانند باعث وقوع پدیده گرد و خاک

جدول ۴- مقادیر سه ساعته سرعت اصطکاکی در مناطق بیابانی جنوب شهر تهران (میانگین بر روی کل منطقه). این مقادیر برای یک روز قبل و روز مورد مطالعه می باشند. مقادیر دو مورد بدون پدیده در زمستان و تابستان نیز در این جدول نوشته شده اند.

مورد ۸	مورد ۷	مورد ۶	مورد ۵	مورد ۴	مورد ۳	مورد ۲	مورد ۱	زمستان	تابستان	زمان (UTC)
۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۲۸	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۳۴	۰/۱	۰/۳۶	۰۰
۰/۱۵	۰/۲۴	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۳۵	۰/۱	۰/۳۲	۰۳
۰/۴۳	۰/۴۸	۰/۶۴	۰/۱	۰/۱۱	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۳۲	۰/۱۱	۰/۵۱	۰۶
۰/۶۷	۰/۶۳	۰/۵۵	۰/۳۳	۰/۲	۰/۲	۰/۲۵	۰/۴۹	۰/۱۳	۰/۵۵	۰۹
۰/۵۹	۰/۷۲	۰/۳۳	۰/۳۵	۰/۱۶	۰/۱۹	۰/۲۵	۰/۵۶	۰/۱	۰/۵۵	۱۲
۰/۵	۰/۴۲	۰/۱۱	۰/۱۹	۰/۱	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۲۳	۰/۱	۰/۴۲	۱۵
۰/۲۸	۰/۱۲	۰/۱	۰/۱	۰/۱۳	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۲۴	۱۸
۰/۲	۰/۷۲	۰/۱	۰/۱	۰/۳۸	۰/۱	۰/۱	۰/۲۵	۰/۱	۰/۳۲	۲۱
۰/۱۷	۰/۱	۰/۱	۰/۱۶	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱۲	۰/۱	۰/۲۱	۰۰
۰/۲۲	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱	۰/۱۲	۰/۱	۰/۱۸	۰/۱۱	۰/۱	۰/۲۵	۰۳
۰/۴۸	۰/۳۶	۰/۳۲	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۲۶	۰/۱۲	۰/۴۹	۰۶
۰/۴۲	۰/۴۸	۰/۳۶	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۲	۰/۳۵	۰/۴۲	۰/۱۳	۰/۵۸	۰۹
۰/۵۱	۰/۶۵	۰/۳۵	۰/۲۶	۰/۱۶	۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۲۸	۰/۱	۰/۵۵	۱۲
۰/۱۶	۰/۷۲	۰/۲۸	۰/۱	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۲۲	۰/۱	۰/۴۸	۱۵
۰/۴۷	۰/۱۶	۰/۲۹	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۱	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۱	۰/۲۲	۱۸
۰/۴۳	۰/۸۱	۰/۱۲	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۱	۰/۲۵	۰/۳۶	۰/۱	۰/۲۲	۲۱



شکل ۶- نقشه‌های باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین، که از سومین شبکه تعریف شده برای مدل WRF، برای ۸ رویداد بارشی و دو مورد بدون پدیده در زمستان و تابستان استخراج شده‌اند.

۴- نتیجه گیری

با توجه به تحقیق انجام شده بر روی تغییرات pH، EC، TDS، قلیائیت کل و سختی کل برای ۳۰ نمونه آب بارش در طی تقریباً ۳ سال در شهر تهران نتایج زیر بدست آمده‌اند:

بارش می‌تواند باعث جاروب شدن هواویزها و گازها از جو بشود. سختی کل، EC، TDS، pH و قلیائیت کل با مقدار هواویزها و آلاینده‌های گازی رابطه مستقیم دارد. البته این کمیت‌ها به عوامل مختلف از جمله نوع سامانه بارشی، سمت و مقدار باد، ارتفاع ایستگاه، منابع آلاینده محلی موجود در محل نمونه برداری و توپوگرافی محل نیز بستگی دارند. در رویدادهای بارش فصول زمستان و پاییز، با توجه به الگوهای همدیدی، کمتر بودن مقدار باد (باد در ارتفاع ۱۰ متری) و سرعت اصطکاکی آستانه، کمتر بودن ارتفاع لایه مرزی، افزایش تعداد وقوع پدیده وارونگی در وردسپهر و پایین بودن دما، باعث پایین آمدن مقادیر pH (بارش‌های اسیدی) بارش‌ها شده است. برعکس در رویدادهای فصل بهار و تابستان با توجه به الگوهای همدیدی، بیشتر شدن ارتفاع لایه مرزی، بالاتر بودن دما، کاهش بسیار در تعداد وقوع پدیده وارونگی در وردسپهر، افزایش مقدار باد (باد در ارتفاع ۱۰ متری) و سرعت اصطکاکی آستانه، مقادیر pH افزایش یافته‌اند (بارش‌های قلیایی). از آنجاییکه جهت بادهای در زمان ورود اکثریت سامانه‌های همدیدی به شهر تهران، جنوب غربی می‌باشد و با توجه به موقعیت جغرافیایی این شهر یعنی وجود باغات، بیابان و شوره زار در جنوب شهر تهران، در زمان افزایش سرعت باد، مقدار هواویزهای گرد و خاک نیز در شهر افزایش بسیاری خواهند یافت. این مطلب به رشد شهرنشینی و استفاده بیشتر از منابع آبی و کمتر شدن بارش‌ها در برخی از سال‌ها مرتبط می‌باشد. افزایش مقادیر سختی کل، قلیائیت کل، EC، TDS و pH در نمونه‌های فصول بهار و تابستان نسبت به فصول پاییز و زمستان دلیل دیگری برای افزایش هواویزهای گرد و خاک قبل از ریزش باران می‌باشند. مقدار EC، سختی کل، قلیائیت کل، pH و TDS در نمونه‌های ایستگاه مهرآباد نسبت به نمونه‌های ایستگاه اقدسیه بیشتر بدست آمده‌اند ولی از نظر ترتیب غلظت مقادیر، نتایج هر دو ایستگاه مشابه

می‌باشند. PH پایین در فصول سرد سال به کمک همبستگی معکوس بین اندازه‌گیری‌های PH و غلظت گازهای SO₂ و NO₂ و همچنین ذرات معلق کوچکتر از ۲/۵ و ۱۰ میکرون بخوبی نشان داده شده است.

منابع

- Ahadi, S., Najafi, M.A., Roshani, M., 2011, Annual report on air quality in Tehran in1390, Technical Report on Air Quality Control, Monitoring and Research Unit, QM91/02/06(U)/01.
- Ahadi, S., Najafi, M.A., Roshani, M., 2012, Annual report on air quality in Tehran in1390, Technical Report on Air Quality Control, Monitoring and Research Unit, QM92/03/03/(U)/01.
- Britter, R., Hanna, S, 2003, Flow and dispersion in urban areas. Annu Rev Fluid Mech., 35,469-496.
- Chune, S., Xueliang, D., Yuanjian, Y., Xiangrong, H., Biwen, W., 2014. Precipitation Chemistry and corresponding Transport Patterns of Influencing Air Masses at Huangshan Mountain in East China. ADV. IN ATMOS. SCI. 31, 1157–1166.
- Desonie, d., 2007. Atmosphere air pollution and its effects. Chelsea house. Printed in the United States of America. P. 208.
- Esmaili Srail, A., 1991. Atmospheric parameters and air pollution over Tehran. Ir. of Iran Meteorological Organization.
- Esmaili Srail, A., 1997. Impact of the Kuwait war over ecosystems of Iran, especially Khozestan. Ir. of Iran Meteorological Organization.

17. Investigation of acidity and electrical conductivity in Tehran precipitations (2008), Atmospheric Science and Meteorological Research Center, Meteorological Department of Tehran Province.
18. Ishizuka, M., Mikami, M., Yamada, Y., Zeng, F., 2009. Threshold Friction Velocities of Saltation Sand Particles for Different Soil Moisture Conditions in the Taklimakan Desert. SOLA, 2009, Vol. 5, 184-187, doi:10.2151/sola.2009-047.
19. Jain, M., Kulshrestha, U., Sarkar, A., Parashar, D., 2000. Influence of crustal aerosols on wet deposition at urban and rural sites in India. Atmospheric Environment 34, 5129-5137.
20. Keresztesi, A., et al, 2019. Assessing the neutralization, wet deposition and source contributions of the precipitation chemistry over Europe during 2000-2017. Environmental Sciences Europe, 31, 2-15.
21. Khayan, Kh. et al, 2019. Rainwater as a source of drinking water: health impacts and rainwater treatment. Journal of environmental and public health, hindawi, 1-10.
22. Kulshrestha, U.C., Kulshrestha, M.J., Sekar, R., Sastry, G.S.R., Vairamani, M., 2003b. Chemical characteristics of rainwater at an urban site of southcentral India. Atmos. Environ. 37, 3019-3026.
23. Kulshrestha, U.C., Sarkar, A.K., Srivastava, S.S., Parashar, D.C., 1995a. Wet-only and bulk deposition studies at New Delhi (India). Water, Air and Soil Pollution 85, 2137-2142.
8. Fersinius, W. (2001). Water analysis. Translated by Taghvaeipour, A., Arak University Press.
9. Galloway, J.N., Likens G.E., Edgerton, E.S., 1976. Acid precipitation in thenortheastern United States; pH and acidity. Science 194, 722-724.
10. Ganji Doost, H., (2003). Preparation and compilation of executive instructions for rainwater analysis. Tehran Meteorological Organization of Iran.
11. Gillete, D., Dams, J., Muhs, D., Kihl, R., 1982. Threshold Friction Velocities and Rupture Moduli for Crusted Desert Soils for the Input of Soil Particles into the Air. Journal of Geophysical Reserch, Vol. 87, NO. C11, Pages 9003-9015, October 20, 1982.
12. Glossary of meteorology, 2012. (<http://glossary.ametsoc.org/>).
13. Hu, G.P., Balasubramanian, R., Wu, C.D., 2003a. Chemical characterization of rainwater at Singapore. Chemosphere 51, 747-755.
14. Hu, Z., Wang, J., Chen, Y., Chen, Z., Xu, S., 2013b. Concentrations and source apportionment of particulate matter in different functional areas of Shanghai, China. Atmospheric Pollution Research, 5, 138- 144.
15. Huang, K., Zhuang, G., Xu, Ch., Wang, Y., Tang, A., 2008. The chemistry of the severe acidic precipitation in Shanghai, China. Atmos. Res. 89, 149-160.
16. In precipitation chemistry at Hubbard Brook, New Hampshire. Atmos. Environ. 18, 2641-2647.

33. Tang, A., Zhuang, G., Wang, Y., Yuan, H., Sun, Y., 2009. The chemistry of precipitation and its relation to aerosol in Beijing. *Atmos. Environ.* 39, 3397–3406.
34. Tiwari, s., Kulshrestha, U.C., Padmanabhamurty, B., 2007. Monsoon rain chemistry and source apportionment using receptor modeling in and around National Capital Region (NCR) of Delhi, India. *Atmos. Environ.* 41, 5595–5604.
35. Warneck, p., 2000. *Chemistry of the Natural Atmosphere*. Second Edition, Academic press. P. 947.
24. Likens, G. E., F. H. Bormann, R. S. Pierce, J. S. Eaton, and R. E. Munn, 1984. Long-term trends
25. Palma, o., Kristijan, v., Irena, C., Dario, O., Mathieu, D., Ivan, S., 2020. Physico-chemical characterization of urban Rainwater. *Atmosphere*, 11, 2, 144.
26. Perrie, W., Wang, L., 1995. On the overdetermination of friction velocity. *American meteorological society*. Sep 1995.
27. Peykari, M., Mehrabani, A., (2004). *Basics of water purification*. Arkan Publications.
28. Pitts, J. N., Jr., H. W. Biermann, A. M. Winer, and E. C. Tuazon, 1984. Spectroscopic identification and measurement of gaseous nitrous acid in dilute auto exhaust. *Atmos. Environ.* 18, 847-854.
29. Sabet ghadam, S., Ahmadi Givi, F., AliAkbariBidokhti, A., (2009). Studying the fluctuation of mixed layer height of Tehran, using MM5 modeling system. *Journal of Earth and Space Physics*, No. 2, pp. 105-117.
30. Safai, P.D., Rao, P.S.P., Momin, G.A., Ali, K., Chate, D.M., Praveen, P.S., 2004. Chemical composition of precipitation during 1984–2002 at Pune, India. *Atmos. Environ.* 38, 1705–1714.
31. Seqheira, R., Lai, C., 1998. Small-scale spatial variability in therepresentative composition of rainwater within urban HongKong. *Atmospheric Environment* 32, 133–144.
32. Sobhani, Sh., Keirdosh, F., (2006). *Laboratory principles of water and wastewater*. Razi University and TaghBostan press.