

بررسی تغییرات فصلی و روزانه آلاینده‌های هوا و ارتباط آن با پارامترهای هواشناسی

زهرا شرعی‌پور

کارشناس هواشناسی، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران

(دریافت: ۸۶۷۷۱۷، پذیرش نهایی: ۸۷۱۱۱)

چکیده

در این مقاله تغییرات روزانه و فصلی آلاینده‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. سپس ارتباط پارامترهای هواشناسی با مقادیر غلظت آلاینده‌ها بررسی شده است. داده‌ها از ایستگاه هواشناسی مؤسسه ژئوفیزیک و ایستگاه‌های شرکت کنترل کیفیت هوای شهرداری تهیه شده و از داده‌های دوره زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۷ استفاده شده است.

نتیجه بررسی تغییرات فصلی آلاینده‌ها نشان داد که برای آلاینده‌های CO، NO₂ و PM-10 دو بیشینه وجود دارد که یکی در تابستان و دیگری در زمستان رخ می‌دهد. همچنین بیشینه SO₂ در زمستان و بیشینه O₃ نیز در بهار رخ داده است. وجود بیشینه در فصل سرد می‌تواند بر اثر افزایش مصرف اشتعال سوخت‌های ناشی از منابع حرارتی و وسایل نقلیه در کنار شرایط هواشناسی از قبیل افزایش فشار هوا، پایداری هوا و وارونگی دما رخ دهد. همچنین بیشینه فصل گرم نیز می‌تواند بر اثر عوامل متعددی از قبیل وارونگی دمای سطحی و کاهش بارش رخ دهد.

مقایسه الگوی روزانه آلاینده‌های گوناگون در فصل بهار نشان می‌دهد که همه آلاینده‌ها به‌جز O₃ دارای دو بیشینه‌اند که یکی در حدود اوایل صبح و دیگری در اواخر شب رخ می‌دهد. ولی الگوی O₃ متفاوت با سایر آلاینده‌ها است و بیشینه آن معمولاً در بعد از ظهر رخ می‌دهد. آلودگی وسایل نقلیه و وارونگی دمایی در اوایل صبح و شب در ایجاد این بیشینه‌ها مؤثرند. الگوی روزانه میانگین فصلی زمستانی و تابستانی CO نیز وجود بیشینه صبح و شب را نشان می‌دهد.

برای دوره ۶ ماهه اول (ژانویه تا ژوئن) ۲۰۰۷ بیشترین غلظت‌های میانگین برای آلاینده‌های CO، NO₂، PM-10 و O₃ همگی در دمای بیش‌تر از ۳۰°C رخ داده است ولی برای آلاینده SO₂ بیشترین غلظت مربوط به دماهای کمتر از ۱۰°C است. همچنین در این دوره، برای آلاینده‌های O₃، NO₂ و PM-10 بیشترین غلظت‌ها مربوط به رطوبت نسبی کمتر از ۴۰٪ است و برای آلاینده‌های SO₂ و CO نیز بالاترین غلظت‌ها مربوط به رطوبت‌های نسبی ۶۰-۴۱٪ است.

تحلیل آماری رگرسیون چندگانه بین غلظت آلاینده‌های ازون و NO₂ با پارامترهای هواشناسی دما و رطوبت نسبی برای دوره ۶ ماهه اول ۲۰۰۷ روشن ساخت که هر دو پارامتر بر غلظت آلاینده‌ها مؤثرند ولی دما عامل مؤثرتری بر ازون و رطوبت نسبی نیز عامل مؤثرتری بر NO₂ است.

واژه‌های کلیدی: غلظت آلاینده‌های هوا، الگوی فصلی، الگوی روزانه، پارامترهای هواشناسی

Seasonal and daily variation of air pollutants and their relation to meteorological parameters

Shariepour, Z.

Research Assistant, Space Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 9 Oct 2007, Accepted: 20 Jan 2009)

Abstract

In this paper, seasonal and diurnal variation of pollutants and the relation between meteorological parameters and the amount of pollutant concentrations is investigated. The

data used were obtained from the Air Quality Department of the Municipality and from the synoptic station of the Institute of Geophysics. In this survey, the data used are from 2004 to 2007.

The result of survey for seasonal variation of pollutants showed that for CO, NO₂ and PM-10, two maxima exist one of which occurs in summer and the other in winter, the maximum of SO₂ is in winter and the maximum of O₃ occurs in spring. The existence of maximum in winter may be from increasing consumption of fuels in thermal sources, besides meteorological conditions like increased air pressure, stability and temperature inversion. Maximum in summer may be from various factors like surface temperature inversion and decreased precipitation.

In October, often because of the reopening of schools and universities, and the consequent increased traffic, a temporary rise in the quantity of pollutants. The increased ozone production of photochemical reactions in spring and summer can be one of the effective factors for the existence of an ozone maximum in these seasons.

Increased dry air in summer can help to raise PM-10 concentration in this season.

The comparison of diurnal pattern of various pollutants in spring shows that all pollutants other than O₃ have two maxima, one of which occurs in the early morning and the other late at night. But the pattern of O₃ is different from other pollutants and its maximum occurs generally in the afternoon. Transport vehicles cause an increase in pollutants in early morning and at night. So, temperature inversion is effective in these maxima. Winter and summer CO diurnal pattern also shows morning and night maxima.

Photochemical reactions of ozone production, are effective in its maximum. In general, the height of mixing layer is decreased at nights and air pollutants are trapped under this layer, so that the concentration of pollutants is increased at nights. Also the katabatic wind has a tremendous effect on the increase of pollutants.

For the first six month period (from January till June) of 2007, the highest averages of concentrations of CO, NO₂, PM-10 and O₃ pollutants, occurred at temperatures of more than 30°C but for SO₂ the highest concentration was at less than 10°C. In this period, for O₃, NO₂ and PM-10 pollutants the highest concentration is at relative humidity less than 40% and for SO₂ and CO from 41% to 60%.

Multivariable regression statistical analysis between the concentration of ozone and NO₂ pollutants with meteorological parameters like temperature and relative humidity for the first six months of 2007 showed that both parameters had effects on pollutant concentrations but temperature was more effective on ozone and relative humidity was more important for NO₂ concentration.

In other words, although between O₃ and NO₂ pollutants and the temperature parameter, there is a positive correlation, between these pollutants and relative humidity there exists a negative relation.

The inversion of surface temperature (22 m height) in the early morning hours is one of the effective parameters in daily pollutant concentration and its effect is more important in summer months.

The investigation the effect of holidays on pollutant concentration, shows that in the stations like the Grand Bazaar Station where traffic is decreased on weekends and holidays in relation to other days, a decrease in CO pollutant is observed. In this case, the average decrease in CO pollutant is nearly 19 percent.

Key words: Air pollutant concentration, Seasonal pattern, Diurnal pattern, Meteorological parameters

۱ مقدمه

تشکیل می‌شود که به آن آلاینده ثانویه گویند. بنابراین ناشی از دود خودروها است.

در اثر افزایش مقدار غلظت آلاینده‌های هوا انواع امراض و بیماری‌های تنفسی، بیماری‌های قلبی و ریوی سلامت ساکنین شهرها را به خطر می‌اندازد. تحقیقی که در شهر تهران در فاصله سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۳ صورت گرفت، روشن ساخت که بین میانگین ماهانه NO_2 و هیدروکربن‌ها با شمار فوت‌شدگان قلبی، ارتباط معنی‌داری وجود دارد و به‌ویژه ارتباط بین NO_2 و فوت‌شدگان قلبی بیش از ۶۰ درصد است (محمدی، ۱۳۸۵).

عوامل متعددی بر تغییرات فصلی و روزانه آلاینده‌ها مؤثرند. از جمله این عوامل می‌توان به شرایط آب و هوایی و جغرافیایی، نوع و موقعیت منابع گسیل آلاینده‌ها و آهنگ گسیل آلاینده‌ها اشاره کرد. بنابراین الگوی فصلی و روزانه آلاینده‌ها در مناطق گوناگون یکسان نیست (برلیاند، ۱۹۹۱). در اینجا برای نمونه به نتایج برخی از تحقیقات در این زمینه اشاره می‌شود. تحقیقی که برای آلاینده‌های SO_2 و گرد و غبار در دوره ۱۹۶۱-۱۹۶۳ در لنینگراد و مسکو صورت گرفت، روشن ساخت که در لنینگراد بیشینه گرد و غبار در بهار و بیشینه SO_2 در ماه‌های فوریه و مارس رخ می‌دهد درحالی‌که در مسکو تغییرات فصلی گرد و غبار کم بوده و بیشینه غلظت SO_2 در بهار رخ داده است. وجود چنین بیشینه بهاری را به عوامل گوناگونی از جمله گسترش تلاطم و مصرف سوخت‌های تولید حرارتی نسبت داده‌اند (برلیاند، ۱۹۹۱).

تحقیق دیگری که در توکیو برای آلاینده‌های NO_x و SO_2 صورت گرفت روشن ساخت که بیشینه غلظت این آلاینده‌ها در اواخر تابستان رخ داده است و عوامل مؤثر را کاهش بارش و به‌طور متعاقب شست‌وشوی آلاینده‌ها در این زمان بیان کرده‌اند (کانو و همکاران، ۱۹۵۹). تحقیق

آلودگی هوای کلان‌شهرها از جمله تهران از موضوعات مطرح سال‌های اخیر است. بررسی عوامل مؤثر در آلودگی هوای شهر تهران حائز اهمیت و از جمله اهداف تحقیق حاضر است. منابع اصلی آلاینده‌های شهری معمولاً ناشی از مصرف سوخت وسایل نقلیه موتوری و منابع حرارتی‌اند.

عوامل متعددی در آلودگی شهر تهران مؤثرند که در بین آنها عوامل جغرافیایی و هواشناسی از اهمیت بیشتری برخوردارند. کوه‌های اطراف به‌خصوص کوه‌های البرز در شمال که تهران را احاطه کرده‌اند، مانند سد عمل می‌کنند و باعث تجمع آلاینده‌ها در سطح شهر می‌شوند. همچنین عوامل هواشناسی از جمله وارونگی‌های دمایی و استقرار مداوم سامانه‌های پرفشار همراه هوای پایدار به‌خصوص در دوره سرد سال، باعث افزایش آلاینده‌های هوا می‌شوند. بادهای محلی نیز در تجمع آلودگی هوا مؤثرند. برای نمونه در شب، نسیم کوه به دشت، آلاینده‌ها را به سوی مرکز شهر می‌آورد و شدت آلودگی را افزایش می‌دهد.

سدهای کوهستانی شمال و شرق مانع خروج مواد زایدی می‌شوند که با بادهای غربی به داخل فضای شهر آورده شده و سبب می‌شوند که هوای شهر، به‌ویژه در نواحی مرکزی و شرقی آلوده شود. با توجه به اینکه بادهای غالب تهران از جهت غربی می‌وزند و بیشتر صنایع در غرب تهران مستقر هستند، می‌توان انتظار داشت که هوای شهر اغلب اوقات آلوده شود (صفوی و علیجانی، ۱۳۸۵).

به‌طور کلی مهم‌ترین منابع تولید آلاینده‌ها اشتعال سوخت‌های فسیلی است. در این میان، CO را می‌توان شاخص ترافیک بیان کرد و NO_2 نیز به شدت وابسته به ترافیک است. ولی بیشترین مقدار ازون سطحی مستقیماً بر اثر تابش خورشید بر مواد آلی فرار (VOC) در حضور NO_2

ایستگاه سینوپتیک ژئوفیزیک و برج رسالت شهرداری است. مشخصات جغرافیایی ایستگاه مؤسسه ژئوفیزیک عبارت‌اند از عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۴۱۹ متر از سطح دریا. چون ایستگاه سیار سنجش آلودگی در حدود ژانویه ۲۰۰۷ در ایستگاه ژئوفیزیک راه‌اندازی شد، برای تکمیل تحقیق از داده‌های ایستگاه فاطمی برای سال‌های ۲۰۰۴، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۶ نیز استفاده شد. همچنین داده‌های آلودگی و هواشناسی، داده‌های ساعتی بوده است.

۳ تغییرات فصلی و روزانه آلاینده‌ها

تغییرات مقادیر میانگین ماهانه آلاینده‌ها برای ایستگاه ژئوفیزیک در سال ۲۰۰۷ بررسی شد. برای مقایسه، داده‌های آلاینده‌های ایستگاه فاطمی در سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۶ نیز مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۱ تغییرات ماهانه آلاینده‌ها را در ایستگاه ژئوفیزیک نشان می‌دهد.

شکل ۲ مقادیر میانگین ماهانه داده‌های آلاینده‌های CO، NO₂ و PM-10 مربوط به سال‌های ۲۰۰۴، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۶ در ایستگاه فاطمی را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که داده‌های ایستگاه فاطمی فاقد اندازه‌گیری O₃ و SO₂ بود.

نتیجه بررسی تغییرات فصلی آلاینده‌ها نشان داد که برای آلاینده‌های CO، NO₂ و PM-10 دو بیشینه وجود دارد که یکی در تابستان و دیگری در زمستان رخ می‌دهد. همچنین بیشینه SO₂ در زمستان و بیشینه O₃ نیز در بهار و تابستان رخ داده است.

وجود بیشینه در فصل سرد می‌تواند بر اثر افزایش مصرف اشتعال سوخت‌های ناشی از منابع حرارتی و وسایل نقلیه در کنار شرایط هواشناسی از قبیل سرما، افزایش فشار هوا، پایداری هوا و وارونگی دما رخ دهد. همچنین وجود بیشینه در فصل گرم نیز می‌تواند بر

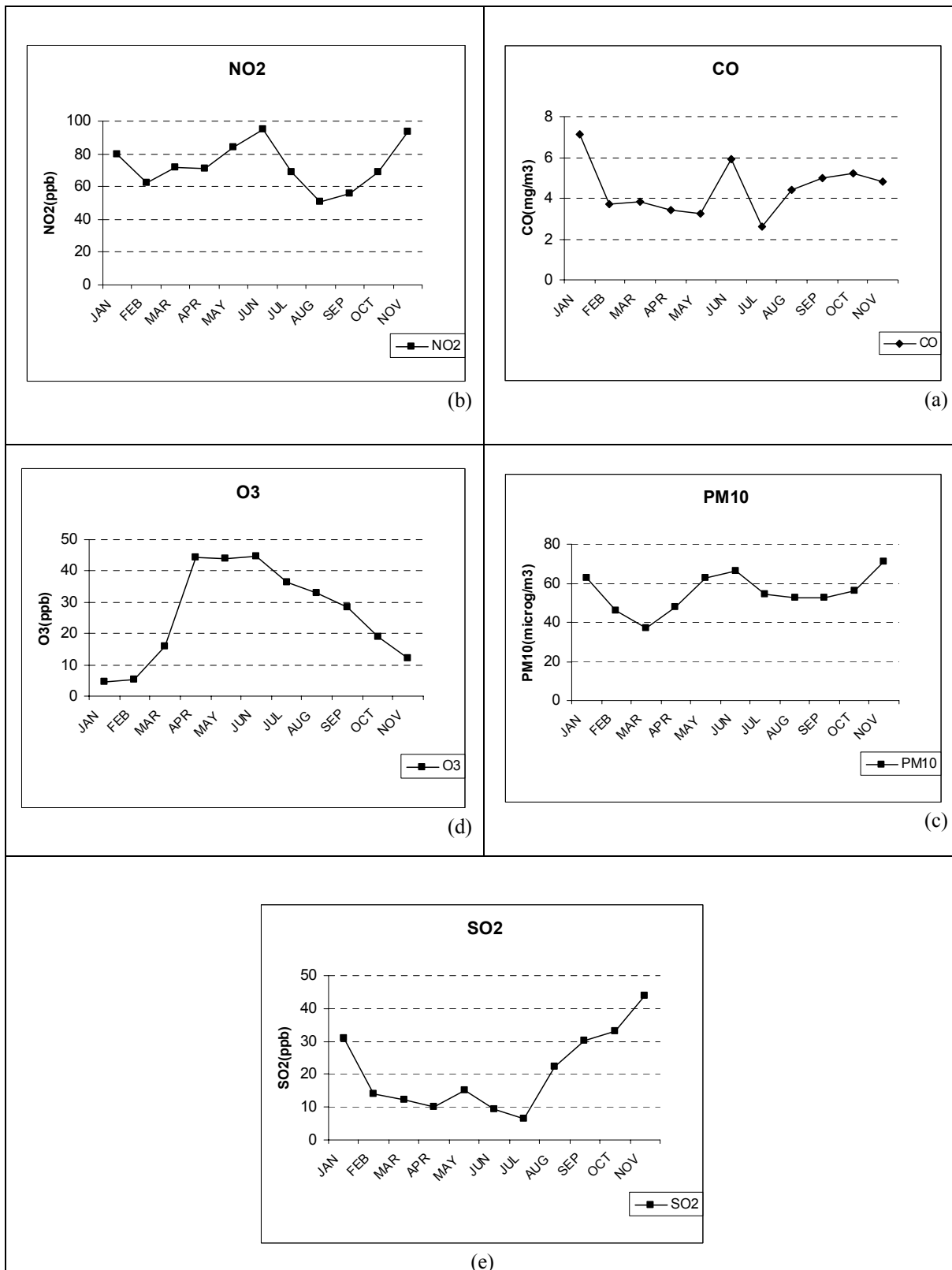
دیگری که در مورد غلظت SO₂ در دوره ۱۹۷۳-۱۹۷۴ در تابستان را نشان می‌دهد (زانتی و همکاران، ۱۹۷۷).

PM-10 در مناطقی که بارش مانسونی دارند در تابستان به علت افزایش رطوبت هوا کاهش می‌یابد. بنابراین در تحقیقی که در کلکته هند صورت گرفت، مقدار متوسط غلظت آلاینده PM-10 در زمستان بیشتر از تابستان به دست آمده است (کارار و گاپتا، ۲۰۰۶).

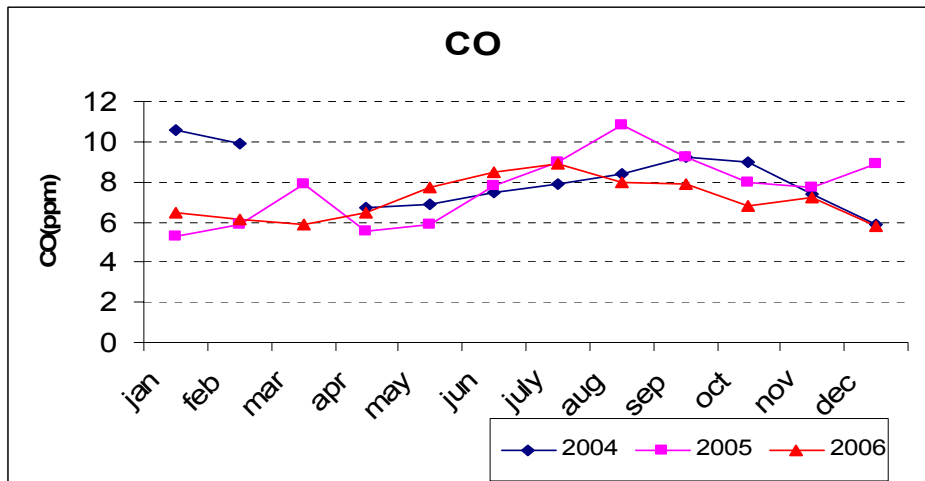
در این تحقیق، ابتدا در بخش ۲ نوع داده‌ها و مکان ایستگاه‌ها و دوره زمانی تحقیق معرفی می‌شود سپس در بخش ۳ الگوی ماهانه آلاینده‌ها و تغییرات فصلی و همچنین الگوی روزانه آلاینده‌ها و عوامل مؤثر بر آن نیز مورد بحث قرار می‌گیرد. در بخش ۴ نتایج تحقیق تأثیر تعطیلات آخر هفته بر کاهش آلودگی بیان می‌شود. در بخشی ۵، مقدار میانگین روزانه آلاینده‌ها با میانگین روزانه پارامترهای هواشناسی دما و رطوبت نسبی مقایسه می‌شود و میانگین روزانه پارامترهای هواشناسی در بازه‌های ترتیبی گروه‌بندی و سپس مقدار میانگین غلظت آلاینده هر گروه تعیین می‌شود تا مشخص شود بیشترین مقدار آلاینده‌ها در چه بازه دمایی و رطوبت نسبی رخ داده است. همچنین تأثیر وارونگی دمای سطحی بر آلاینده‌ها بررسی می‌شود. در بخش ۶، تحلیل مدل آماری رگرسیون چندگانه آلاینده ازون با پارامترهای هواشناسی دما و رطوبت نسبی ارائه شده است. در بخش ۷ نیز کیفیت هوا از نظر شاخص آلودگی مورد بحث قرار می‌گیرد و در پایان در بخش ۸ نتیجه‌گیری کلی صورت می‌گیرد.

۲ مواد و روش‌ها

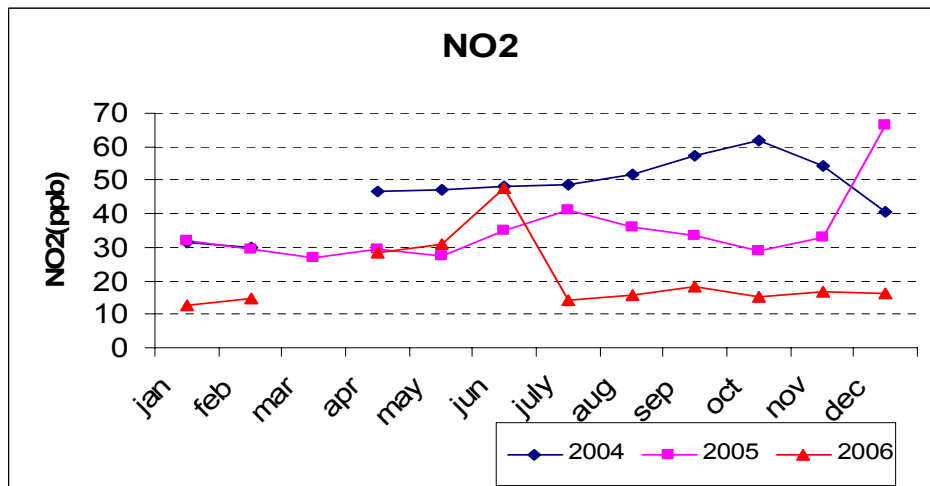
در این تحقیق از داده‌های ایستگاه‌های سنجش آلودگی کنترل کیفیت شهرداری تهران استفاده شد. داده‌های آلودگی اغلب از ایستگاه‌های ثابت فاطمی و ایستگاه سیار ژئوفیزیک اخذ شد. داده‌های هواشناسی نیز مربوط به



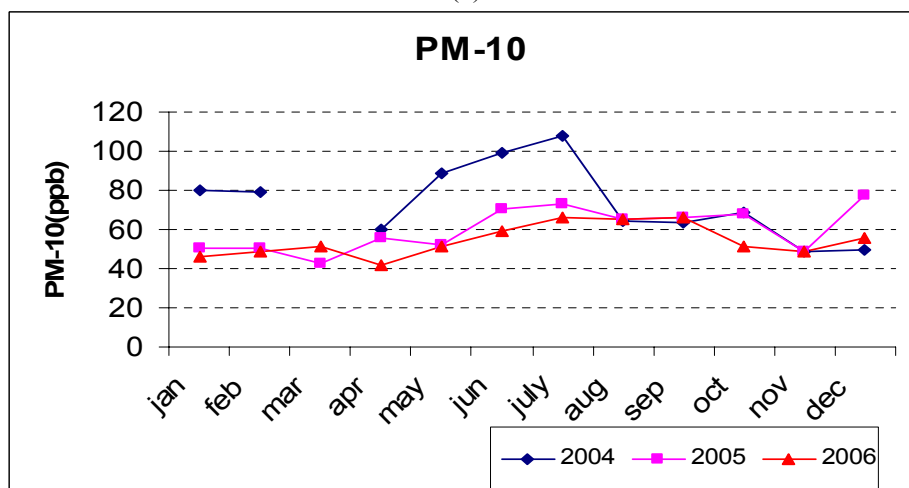
شکل ۱. میانگین ماهانه آلاینده‌ها در ایستگاه ژئوفیزیک در سال ۲۰۰۷ (a) آلاینده CO، (b) آلاینده NO₂، (c) آلاینده PM-10، (d) آلاینده O₃، (e) آلاینده SO₂.



(a)



(b)



(c)

شکل ۲. میانگین ماهانه آلاینده‌ها در ایستگاه فاطمی (a) آلاینده CO (b) آلاینده NO₂. (c) آلاینده PM-10.

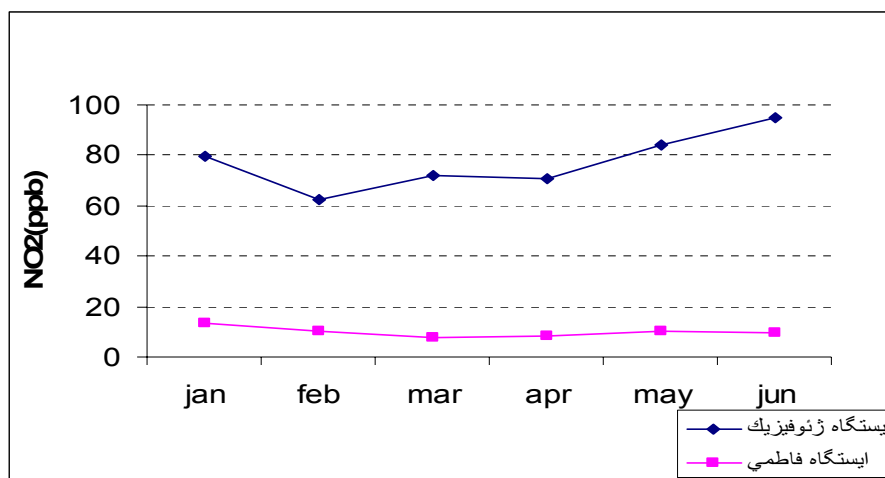
میانگین، نسبت غلظت آلاینده NO_2 ایستگاه ژئوفیزیک حدود ۸ برابر ایستگاه فاطمی است در حالی که این نسبت برای CO حدود ۰٫۶۴ است. این مقایسه در شکل ۳ نشان داده شده است. همچنین مقدار غلظت آلاینده ازون نیز در ایستگاه ژئوفیزیک در مقایسه با اغلب ایستگاه‌های دیگر، بیشتر است. مسلماً عوامل متعددی بر این مسئله مؤثرند. یکی از دلایل می‌تواند کمتر بودن ساختمان‌ها در محوطه ایستگاه ژئوفیزیک نسبت به ایستگاه فاطمی باشد. چون ازون و NO_2 در ارتباط با تابش خورشیدی افزایش می‌یابند، در جایی که محوطه باز و ساختمان‌ها کمتر باشد، متعاقباً سایه ناشی از آنها نیز کمتر است و آفتاب بیشتری وجود دارد، در نتیجه مقدار ازون و NO_2 افزایش می‌یابد. دلیل دیگر می‌تواند این باشد که چون ایستگاه ژئوفیزیک تا حدودی در حاشیه قرار گرفته و در معرض مستقیم عبور وسایل نقلیه نیست، ازون موجود توسط وسایل نقلیه کمتر مصرف می‌شود و مقدار آن افزایش می‌یابد، بنابراین مقدار NO_2 نیز که در ارتباط با ازون است افزایش می‌یابد. این در حالی است که ایستگاه فاطمی در معرض مستقیم عبور وسایل نقلیه است و تعداد ساختمان‌های اطراف نیز بیشتر است.

اثر وارونگی دمای سطحی و کاهش بارش و شست‌وشوی آلاینده‌ها صورت گیرد. در ماه اکتبر نیز اغلب به علت باز شدن مدارس و دانشگاه‌ها و متعاقباً کندی آلوده‌شد ایجاد شده، به‌طور مقطعی افزایش مقدار آلاینده‌ها مشاهده می‌شود.

یکی از عوامل اصلی افزایش ازون در فصل بهار و تابستان، افزایش واکنش‌های فوتوشیمیایی تولید ازون است. NO_2 نیز می‌تواند در تابستان به علت واکنش‌های شیمیایی ناشی از تابش خورشید و واکنش با ازون افزایش یابد. خشکی هوا در تابستان نیز می‌تواند یکی از عوامل مؤثر بر وجود بیشینه PM_{10} در این فصل باشد. نسبت مقادیر بیشینه به کمینه میانگین ماهانه آلاینده‌ها در ایستگاه فاطمی برای CO ، NO_2 ، PM_{10} به ترتیب برابر ۱٫۵، ۱٫۸ و ۱٫۷ است.

بررسی آلاینده‌ها در سال ۲۰۰۷ در ایستگاه ژئوفیزیک مطابق شکل ۱ نشان می‌دهد که تغییرات میانگین ماهانه برای CO ، $2-7(\text{mgm}^{-3})$ ، NO_2 (ppb)، $50-95$ ، SO_2 (ppb)، $6-44$ ، O_3 (ppb)، $4-44$ ، PM_{10} ، $37-71(\mu\text{gm}^{-3})$ است.

مقایسه غلظت آلاینده‌های دو ایستگاه ژئوفیزیک و فاطمی در شش ماهه اول سال ۲۰۰۷ نشان داد که به‌طور

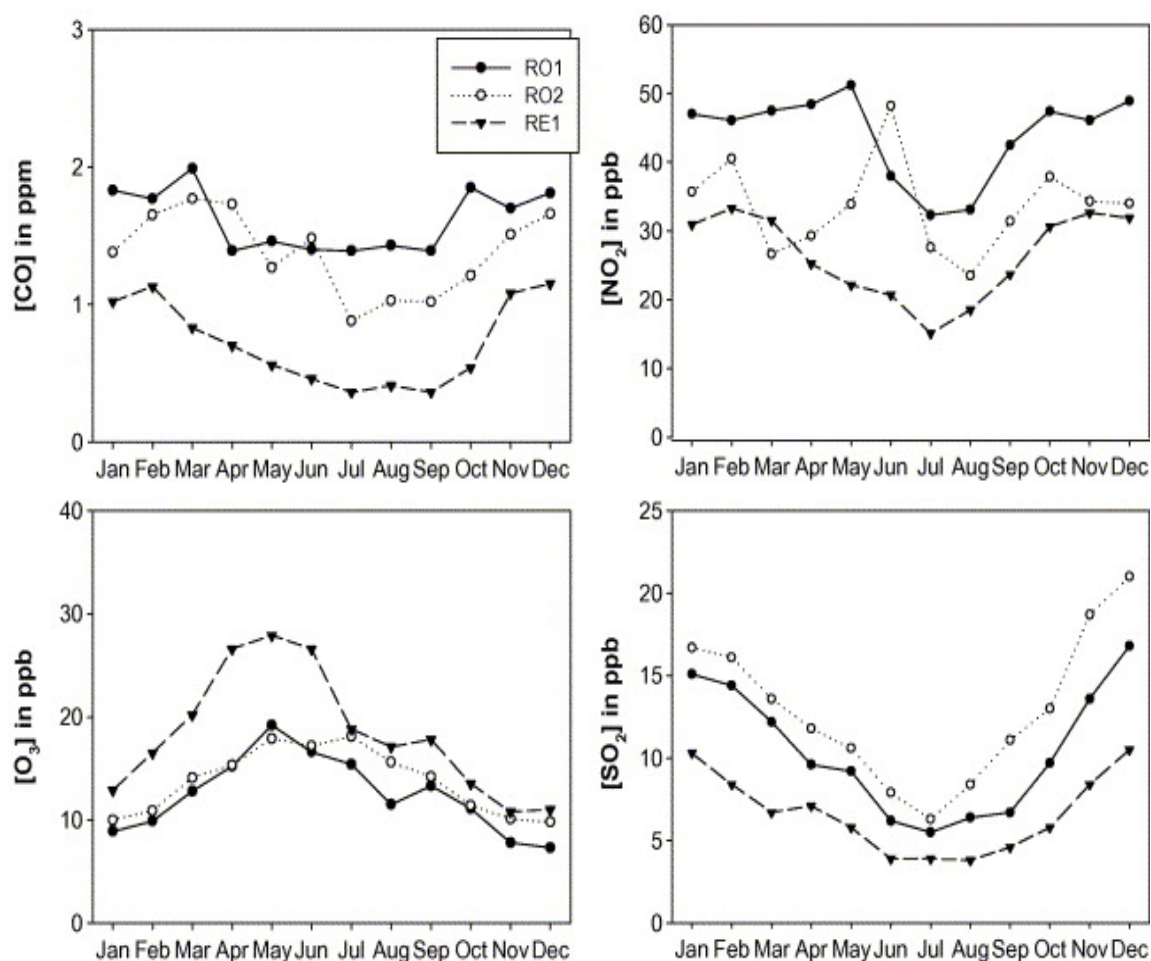


شکل ۳. مقایسه مقادیر میانگین ماهانه آلاینده NO_2 برای ایستگاه‌های ژئوفیزیک و فاطمی.

(جو و پارک، ۲۰۰۵).

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، در تحقیق کره نیز، به‌طور مشابه، برای آلاینده‌های CO و NO₂، دو بیشینه در فصل سرد و گرم و برای آلاینده O₃ یک بیشینه در فصل بهار و برای آلاینده SO₂ یک بیشینه در فصل سرد رخ می‌دهد.

در اینجا برای مقایسه، نمودارهای الگوی ماهانه به‌دست آمده از نتایج تحقیقی که در شهر دایگو (Daegu) در کشور کره صورت گرفته، آورده شده است. شکل ۴ الگوی ماهانه را برای آلاینده‌های CO، NO₂، SO₂ و O₃ در ایستگاه‌های کنار جاده‌ای و مسکونی در دوره ۵ تا ۶ ساله ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۲ نشان می‌دهد



شکل ۴. الگوی ماهانه آلاینده‌های O₃، SO₂، CO و NO₂ در ایستگاه‌های کنار جاده‌ای و ایستگاه مسکونی است که ۷۰۰ متر با جاده اصلی فاصله دارد و RO1 دارای ۱۰ لاین و RO2 دارای ۶ لاین است (جو و پارک، ۲۰۰۵).

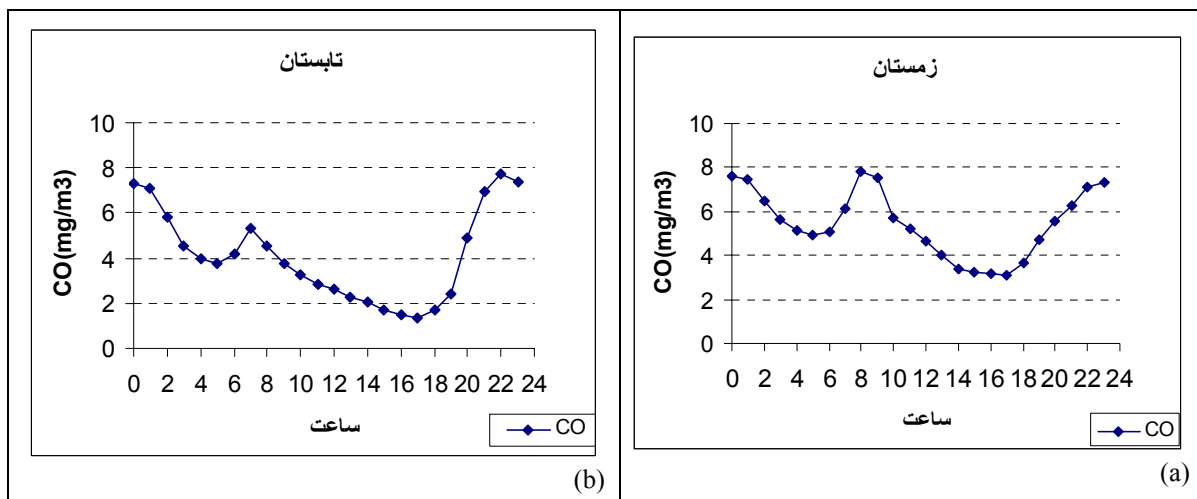
همچنین کمینه‌ها هم اغلب در بعد از ظهرها روی می‌دهند. ولی الگوی O_3 متفاوت با سایر آلاینده‌ها است و بیشینه آن معمولاً در ساعت ۳ بعد از ظهر و کمینه آن هم در ساعات شب رخ می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود پاک‌ترین هوا نسبت به اکثر آلاینده‌ها یعنی CO ، NO_2 ، SO_2 و $PM-10$ در ساعت‌های ۲ تا ۴ بعد از ظهر وجود دارد درحالی‌که در این زمان، بیشینه آلاینده ازون روی می‌دهد.

آمدو شد وسایل نقلیه در اوایل صبح و شب در تشکیل بیشینه آلاینده‌ها در این هنگام مؤثر است. همچنین وارونگی دمایی و سرعت ضعیف باد و تغییر جهت آن در ایجاد این بیشینه‌ها مؤثرند. به عبارت دیگر، ارتفاع لایه آمیخته در شب هنگام کاهش می‌یابد و آلاینده‌های هوا در زیر این لایه به دام می‌افتند. در نتیجه مقدار غلظت اکثر آلاینده‌ها افزایش پیدا می‌کند. نسیم کوه به دشت نیز می‌تواند آلاینده‌ها را به سوی مرکز شهر بیاورد و شدت آلودگی را افزایش دهد. واکنش‌های فوتوشیمیایی تولید ازون نیز در وجود بیشینه آن مؤثرند.

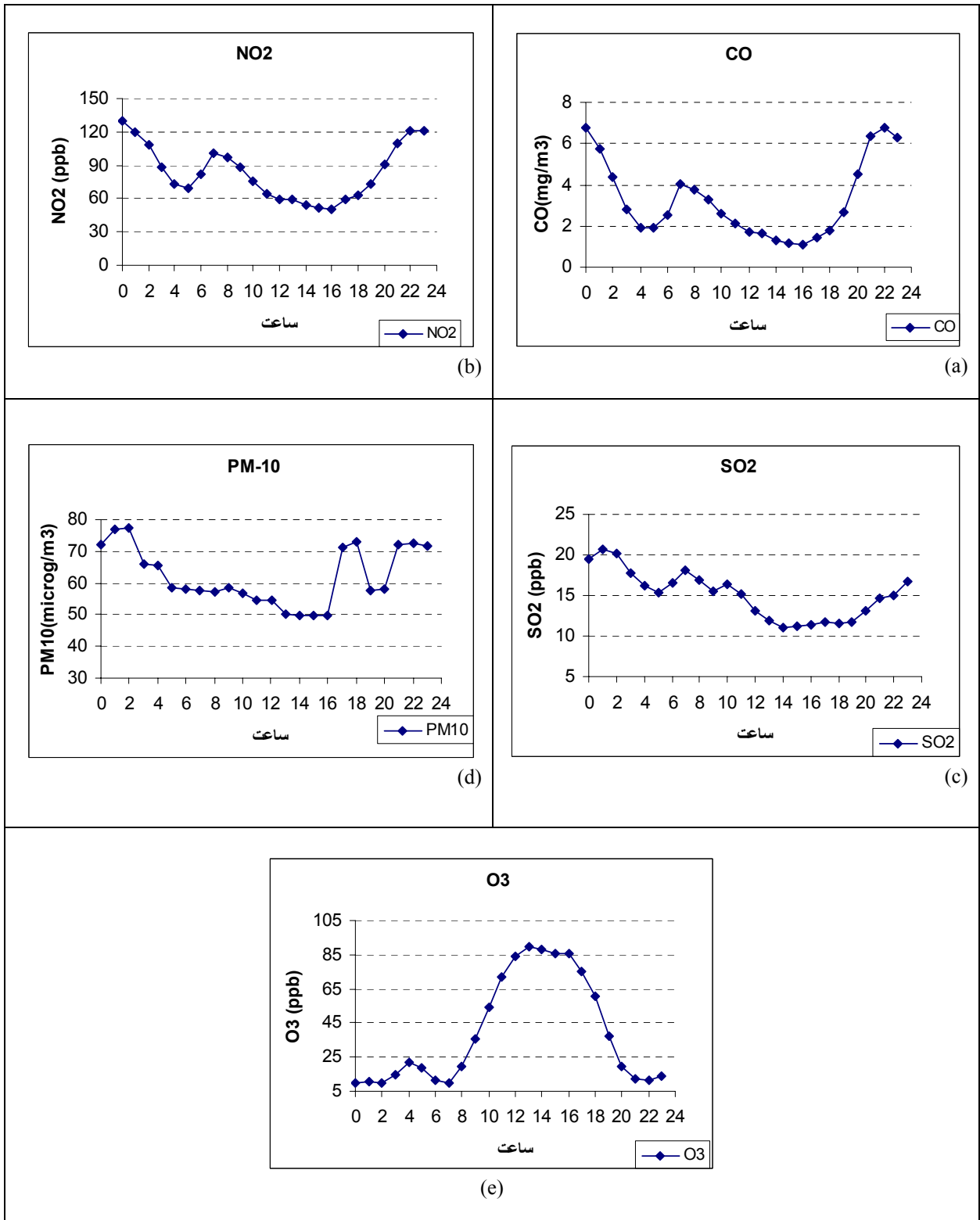
برای بررسی تغییرات ساعتی آلاینده‌ها از داده‌های ایستگاه ژئوفیزیک استفاده شد و الگوی روزانه آلاینده‌ها محاسبه شد. شکل ۵ الگوی روزانه آلاینده CO برای میانگین فصل‌های زمستان و تابستان سال ۲۰۰۷ را نشان می‌دهد. شکل ۶ الگوی روزانه آلاینده‌های گوناگون در ماه مه ۲۰۰۷ در ایستگاه ژئوفیزیک را نشان می‌دهد.

مقایسه الگوی روزانه زمستانی و تابستانی آلاینده CO در سال ۲۰۰۷ روشن می‌سازد که در هر دو فصل دو بیشینه وجود دارد که یکی در صبح و دیگری در شب رخ می‌دهد. در تابستان، مقدار بیشینه هنگام شب بیشتر از بیشینه صبح است ولی در زمستان مقدار دو بیشینه صبح و شب تقریباً مشابه است. به بیانی دیگر بیشینه صبحگاهی در زمستان افزایش یافته است.

مقایسه الگوی روزانه آلاینده‌های گوناگون در ماه مه نشان می‌دهد که همه آلاینده‌ها به جز O_3 دارای دو بیشینه‌اند که یکی در حدود ساعت ۷ یا ۸ صبح و دیگری در ساعت‌های آخر شب رخ می‌دهد. برای آلاینده‌های CO و NO_2 مقدار بیشینه شب، بیشتر از بیشینه صبح است.



شکل ۵. الگوی روزانه آلاینده CO در ایستگاه ژئوفیزیک برای (a) زمستان (b) تابستان.



شکل ۶. الگوی روزانه آلاینده‌ها در ماه مه در ایستگاه ژئوفیزیک (a) آلاینده CO، (b) آلاینده NO₂، (c) آلاینده SO₂، (d) آلاینده PM-10، (e) آلاینده O₃.

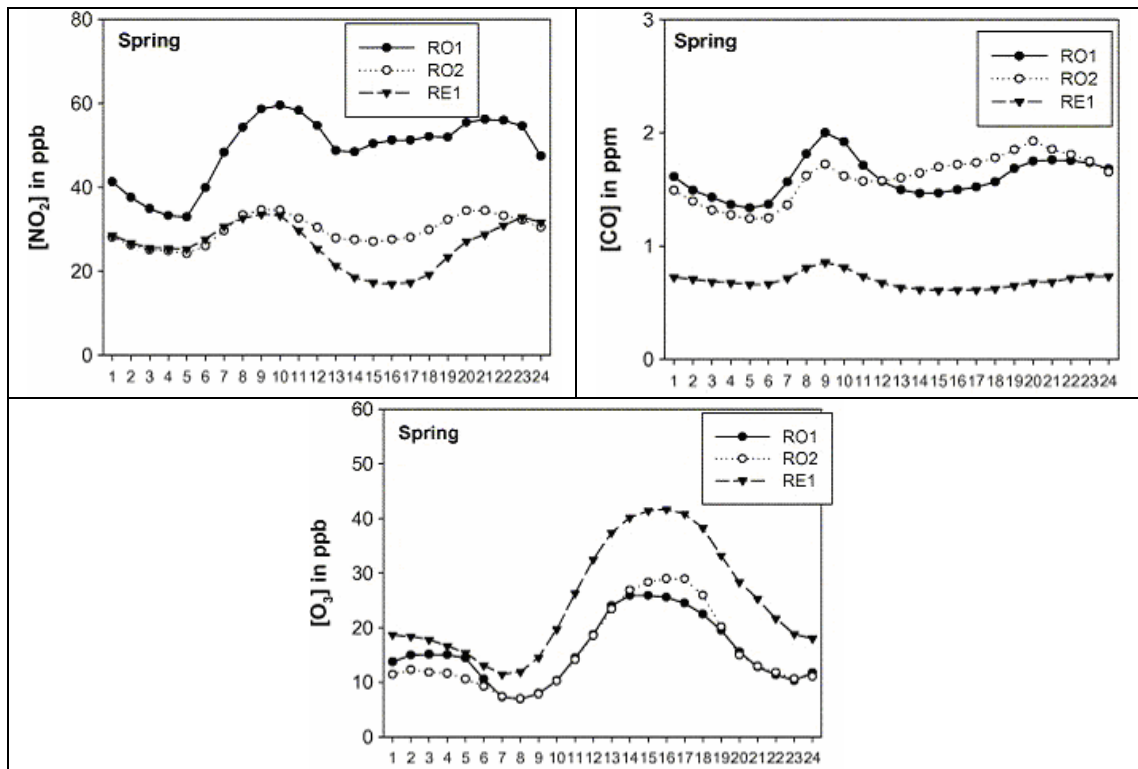
۸۹٫۶ ppb

یکی از نتایج مهم به دست آمده از مقایسه الگوی ماهانه و روزانه آلاینده‌ها نشان می‌دهد که برای آلاینده‌های خاص، افزایش میانگین ماهانه با افزایش مقادیر الگوی روزانه همراه است.

در اینجا برای مقایسه، نمودارهای الگوی روزانه به دست آمده از نتایج تحقیقی که در کشور کره صورت گرفته و بخش‌های قبلی نیز معرفی شد، آورده شده است (جو و پارک، ۲۰۰۵). شکل ۷ الگوهای روزانه را برای فصل بهار نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، در تحقیق کره نیز به‌طور مشابه، برای آلاینده‌های CO و NO₂ بیشینه‌ها در صبح و شب و برای آلاینده O₃ بیشینه در بعد از ظهر روی داده است.

نتایج بررسی الگوی روزانه ایستگاه‌های گوناگون نشان می‌دهد که زمان دقیق وقوع بیشینه در اوایل صبح و اواخر شب ممکن است از یک ایستگاه به ایستگاه دیگر و یا از یک ماه به ماه دیگر تا حدودی متفاوت باشد، مثلاً در ایستگاه ژئوفیزیک در ساعت ۷ و در ایستگاه فاطمی در ساعت ۹ رخ دهد.

بر طبق الگوی روزانه نسبت مقادیر بیشینه به کمینه آلاینده‌ها در ماه مه برای CO، NO₂، SO₂، PM-10 و O₃ به ترتیب برابر ۶٫۱، ۲٫۶، ۱٫۹، ۱٫۶ و ۹٫۴ است. بنابراین بیشترین نسبت متعلق به ازون و کم‌ترین آن مربوط به PM-10 است. همچنین مقادیر بیشینه برای آلاینده‌های CO، NO₂، SO₂، PM-10 و O₃ به ترتیب عبارت‌اند از: ۷۷٫۳ μgm⁻³، ۲۰٫۷ ppb، ۱۲۹٫۸ ppb، ۶٫۷ mgm⁻³



شکل ۷. الگوی روزانه آلاینده‌ها برای فصل بهار. RO1 و RO2 ایستگاه‌های کنار جاده‌ای و RE1 ایستگاه مسکونی است (جو و پارک، ۲۰۰۵).

۴ مقایسه آلاینده‌های اواخر هفته با اواسط آن

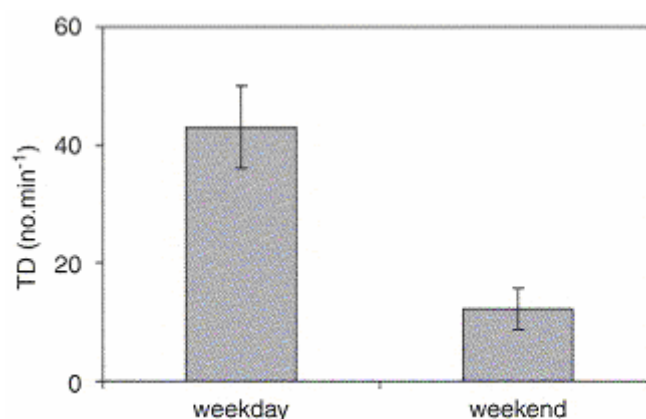
در اکثر مناطق جهان مقادیر غلظت آلاینده‌ها در تعطیلات آخر هفته کمتر از اواسط هفته است که این امر به علت کاهش رفت و آمد در روزهای تعطیل و همچنین رفتن شهروندان به مناطق خارج از شهر است که در اثر آن آلوده‌شد خودروها و آلودگی ناشی از آن کاهش می‌یابد. تحقیقی که در کره صورت گرفته نشان داده است که آلاینده‌های CO، NO₂ و SO₂ در اواخر هفته نسبت به اوایل هفته کاهش داشته‌اند و علت آن را کاهش فعالیت‌های صنعتی و همچنین آلوده‌شد وسایل نقلیه موتوری در اواخر هفته بیان کرده‌اند (جو و پارک، ۲۰۰۵).

نتایج تحقیق دیگری که در شهر رم در مورد تأثیر آلوده‌شد بر CO₂ در دوره زمانی ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۴ صورت گرفته است، نشان داده که چگالی آلوده‌شد در پایان هفته ۷۲٪ کمتر از آلوده‌شد خودروها اواسط هفته است و همچنین غلظت CO₂ در پایان هفته کاهش یافته است. شکل ۸ نمودار چگالی آلوده‌شد خودروها را در اواخر هفته نسبت به اوایل هفته نشان می‌دهد

(گراتانی و وارون، ۲۰۰۵).

ولی باید توجه داشت که در این مورد، موقعیت ایستگاه مورد بررسی حائز اهمیت است. نتایج بررسی آلاینده‌ها در ایستگاه ژئوفیزیک در برخی هفته‌ها کاهش و در برخی دیگر افزایش نشان می‌دهد. به بیانی دیگر در برخی موارد حتی مقادیر غلظت آلاینده‌ها در تعطیلات آخر هفته نسبت به اواسط هفته افزایش می‌یابد. علت این امر می‌تواند واقع شدن ایستگاه ژئوفیزیک در نزدیکی بزرگراه‌های چمران و رسالت باشد. به بیانی دیگر این بزرگراه‌ها پل ارتباطی مناطق شمالی شهر و سایر مناطق تهران‌اند. عامل دیگر ممکن است افزایش کلی تعداد خودروهای در حال رفت و آمد در این روزها باشد.

مقایسه مورد نظر در ایستگاه بازار که معمولاً در تعطیلات آخر هفته دارای آلوده‌شد خودروها کمتر است، برای آلاینده CO که به نوعی شاخص آلوده‌شد است، صورت گرفت. در ایستگاه بازار، میزان کاهش آلاینده CO در تعطیلات آخر هفته (جمعه) نسبت به اواسط هفته (شنبه تا چهارشنبه) برای دوره ۶ ماهه اول سال ۲۰۰۷ یعنی از آغاز ماه ژانویه تا پایان ماه ژوئن یعنی حدود ۲۶ هفته



شکل ۸ مقایسه چگالی آلوده‌شد خودروها در اواسط هفته نسبت به اواخر هفته. نمودار میله‌ای انحراف استاندارد را نشان می‌دهد. TD، چگالی آلوده‌شد خودروها و TD تعداد خودرو را نشان می‌دهد (گراتانی و وارون، ۲۰۰۵).

روزها براساس بازه‌های دمایی به ترتیب، ۵-۱۰، ۱۰-۱۵، ۱۶-۲۰، ۲۱-۳۰ و بزرگ‌تر از ۳۰ درجه سلسیوس گروه‌بندی شدند و مقدار میانگین غلظت آلاینده هر گروه تعیین شد. نتایج این مقایسه در جدول ۱ نشان داده شده است.

نتایج مطابق جدول ۱ روشن ساخت که بیشترین غلظت‌های میانگین برای آلاینده‌های CO ، NO_2 ، PM_{10} و O_3 همگی در دمای بیش از $30^{\circ}C$ رخ داده است ولی برای آلاینده SO_2 بیشترین غلظت مربوط به دمای کمتر از $10^{\circ}C$ است. به عبارت دیگر همه آلاینده‌ها به جز SO_2 در دماهای زیاد، بیشترین غلظت را داشته‌اند. در تحقیقی که در قاهره صورت گرفت نتایج در مورد آلاینده‌های O_3 و NO_2 مشابه و بالاترین غلظت مربوط به گروه دمایی بزرگ‌تر از $30^{\circ}C$ است (المینیر، ۲۰۰۵).

با افزایش تابش خورشیدی و دما، تولید فوتوشیمیایی ازون و همچنین واکنش‌های شیمیایی مربوط به NO_2 نیز افزایش می‌یابد.

برای بررسی تأثیر رطوبت نسبی هوا بر مقدار غلظت آلاینده‌ها، روزها براساس بازه‌های رطوبت نسبی کمتر از ۴۰٪، ۴۰٪ تا ۶۰٪، ۶۰٪ تا ۸۰٪ و بیشتر از ۸۰٪ گروه‌بندی شدند. سپس میانگین غلظت آلاینده هر گروه تعیین شد. نتایج این مقایسه در جدول ۲ آمده است.

محاسبه شد. نتایج محاسبات نشان داد که در حدود ۸۰٪ موارد (تعداد هفته‌ها)، کاهش وجود داشته است. همچنین در ۸۰٪ موارد که کاهش داشته‌ایم، میزان متوسط کاهش آلاینده CO حدود ۱۹٪ بوده است.

بررسی همبستگی بین مقدار کاهش یا افزایش آلاینده‌ها در آخر هفته نسبت به اواسط هفته بین آلاینده‌های گوناگون روشن ساخت که تغییرات همه آلاینده‌ها به جز ازون با یکدیگر همبستگی معنی‌داری داشته‌اند طوری که بیشترین همبستگی بین تغییرات SO_2 و PM_{10} سپس بین PM_{10} و NO_2 و بین NO_2 و SO_2 وجود داشته است. ولی روند تغییرات ازون با سایر آلاینده‌ها هماهنگ نیست. ازون آلاینده‌ای ثانویه است که در اثر واکنش‌های فوتوشیمیایی بر VOC در حضور NO_2 حاصل می‌شود و عوامل متعددی بر مقدار غلظت آن مؤثر است. بنابراین تغییرات آن، مستقیماً هماهنگ با تغییرات سایر آلاینده‌ها نیست.

۵ تأثیر شاخص‌های هواشناسی بر آلاینده‌ها

در این تحقیق، تأثیر شاخص‌های هواشناسی از قبیل دما، رطوبت نسبی و وارونگی دمای سطحی بر مقدار غلظت آلاینده‌ها بررسی شد. برای مقایسه، دمای میانگین روزانه و مقدار میانگین غلظت آلاینده روزانه در مورد داده‌های ۶ ماهه اول سال ۲۰۰۷ ایستگاه ژئوفیزیک محاسبه شد و

جدول ۱. گروه‌بندی آلاینده‌ها از نظر دمایی.

	PM-10	CO	SO ₂	NO ₂	O ₃
T= <10 °C	54.2	5.8	23.6	72.4	4.3
T=10-15 °C	42.7	3.5	12.1	68.5	25.6
T=16-20 °C	53.5	3.7	10.6	72.7	42.7
T=21-30 °C	63	3.3	11.6	82.7	44
T > 30 °C	70.1	8.9	11.6	111.0	44.1

جدول ۲. گروه‌بندی آلاینده‌ها از نظر رطوبت نسبی.

	PM-10	CO	SO ₂	NO ₂	O ₃
R.H ≤ 40 %	60.8	4.5	13.4	82	37.7
R.H= 41-60 %	54.1	5.1	20.6	77.8	20.2
R.H= 61-80 %	33	3.5	10.9	63.5	12
R.H > 80 %	34.3	3.2	7.0	62.3	9.9

نتایج تحقیق روشن ساخت که بیشتر وارونگی‌های دمای سطح ۲۲ متری در ساعت‌های اولیه صبح (ساعت‌های ۴ تا ۶) رخ می‌دهد. بنابراین ΔT این ساعت‌های با میانگین روزانه آلاینده CO برای ایستگاه فاطمی در همه روزهای سال ۲۰۰۶ مقایسه شد. نتایج بررسی نشان داد که در بیشتر ماه‌ها ضریب همبستگی مثبتی بین این دو شاخص برقرار بوده و این ضریب از نظر آماری معنی‌دار است. این بررسی روشن ساخت که وارونگی دمای سطحی ۲۲ متری در فصل تابستان شدیدتر بوده و بیشتر رخ داده است. بنابراین، وارونگی دمای سطحی می‌تواند یکی از عوامل افزایش غلظت آلاینده‌ها در تابستان باشد. همچنین مقادیر میانگین ماهانه این دو برای هر ماه محاسبه و با یکدیگر مقایسه شد. نتایج این بررسی در جدول ۳ آمده است. در ضمن بررسی همبستگی بین میانگین ماهانه این دو شاخص روشن ساخت که ضریب همبستگی مثبت معنی‌داری بین آن دو برقرار است. این ضریب عبارت است از:

$$R = 0.87, N=12 \quad (1)$$

ضریب همبستگی R در سطح یک درصد معنی‌دار است. به بیانی دیگر، در این حالت، یک درصد خطا وجود دارد.

نتایج این مقایسه نشان داد که برای آلاینده‌های O₃، NO₂ و PM-10 بیشترین غلظت‌ها مربوط به رطوبت نسبی کمتر از ۴۰٪ است و برای آلاینده‌های SO₂ و CO نیز بیشترین غلظت‌ها مربوط به رطوبت‌های نسبی ۶۰٪ تا ۴۱٪ است. به عبارت دیگر بیشترین غلظت آلاینده‌ها در رطوبت نسبی کم رخ داده است. به بیانی دیگر افزایش خشکی هوا همراه با افزایش مقدار آلاینده‌ها بوده است. همچنین کمینه آلاینده‌ها در رطوبت نسبی زیاد رخ داده است. در مورد O₃ و NO₂ نتایج مشابه تحقیقی است که در قاهره صورت گرفته. همچنین رابطه به دست آمده بین رطوبت نسبی و آلاینده‌ها مطابقت خوبی با تغییرات دوره فصلی به دست آمده که در بخش‌های قبلی بیان شد دارد.

افزایش رطوبت نسبی هوا اگر همراه با پدیده بارش باشد، عمل شست‌وشو می‌تواند باعث کاهش آلاینده‌های هوا شود. بنابراین این موضوع یکی از عوامل کاهش مقدار آلاینده‌ها در رطوبت‌های نسبی زیاد است.

برای بررسی وارونگی دمای سطحی، تفاوت دمای ارتفاع ۲۲ متری و سطح زمین (ΔT) در نظر گرفته شد و با مقدار غلظت آلودگی CO مورد مقایسه قرار گرفت.

جدول ۳. مقایسه میانگین ماهانه غلظت آلاینده CO و میانگین ماهانه تفاوت دمای ارتفاع ۲۲ متری و سطح زمین (ΔT) ایستگاه فاطمی در سال ۲۰۰۶.

Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
CO(ppm)	6.4	6.1	5.9	6.5	7.6	8.5	8.9	8.0	7.9	6.8	7.2	5.8
Diff temp 22 (deg.C) ΔT	-0.01	0.02	0.18	0.28	0.40	0.84	0.68	0.88	0.80	0.49	0.22	0.06

۶ تحلیل آماری رگرسیون چندگانه

برای بررسی ارتباط بین مقدار غلظت آلاینده‌های هوا و شاخص‌های هواشناسی، ضریب همبستگی پیرسون بین آنها در ایستگاه ژئوفیزیک برای هر ماه به‌طور جداگانه برای دوره ۶ ماهه اول (ژانویه تا ژوئن) ۲۰۰۷ محاسبه شد. نتایج نشان داد که بیشتر در ماه‌های سرد سال این ضرایب از نظر آماری معنی‌دار هستند و در میان آلاینده‌ها O_3 و NO_2 این ارتباط را بیشتر نشان می‌دهند. بنابراین برای این دو آلاینده روش آماری همبستگی چندگانه هم‌زمان به کار برده شد.

برای هر دو آلاینده همبستگی بین آلاینده‌ها و پارامترهای هواشناسی دما و رطوبت نسبی در ماه‌های سرد سال، ژانویه و فوریه بررسی شد. در این تحلیل، از میانگین روزانه آلاینده‌ها و پارامترهای هواشناسی استفاده شد و روش آماری همبستگی چندگانه هم‌زمان در محیط نرم‌افزار SPSS اجرا شد.

برای آلاینده O_3 برای تعداد $N=51$ ، ضریب همبستگی جزئی برای دما $r = 0.47$ و برای رطوبت نسبی $r = -0.38$ محاسبه شد. به بیانی دیگر، همبستگی بین این آلاینده و دما بیشتر بوده است. همچنین همبستگی بین آزون و دما مثبت بوده در صورتی که همبستگی بین آزون و رطوبت نسبی منفی است. نتایج تحلیل نشان داد که $F = 9.323$ است، یعنی F در سطح ۱٪ معنی‌دار است. همبستگی مطلق $R = 0.53$ به‌دست آمد. بنا برای دما $\beta = 0.390$ و برای رطوبت نسبی $\beta = -0.255$ محاسبه شد. به عبارت دیگر هر دو عامل مؤثرند ولی دما تأثیر بیشتری روی آلاینده O_3 دارد و عامل مهم‌تری به‌شمار می‌آید. معادله همبستگی چندگانه برای آزون عبارت است از:

$$Y = 0.247 T - 0.036 RH + 5.169 \quad (2)$$

در این معادله، T نشان‌دهنده متغیر مستقل دما و RH نشان‌دهنده متغیر مستقل رطوبت نسبی است و متغیر وابسته Y مقدار غلظت آلاینده آزون را نشان می‌دهد.

همبستگی مثبت آلاینده آزون با دما و همبستگی منفی آزون با رطوبت نسبی مطابق با نتایج به‌دست آمده در گروه‌بندی ترتیبی آلاینده‌ها در بخش‌های قبل است. مطابق تحقیقی که در امریکا در مورد تأثیر شاخص‌های هواشناسی بر آزون صورت گرفته، دمای هوا و ارتفاع لایه آمیخته، مهم‌ترین عوامل هواشناسی تعیین شده‌اند (وایس و کومری، ۲۰۰۵).

همچنین در تحقیقی که در شهر دایگو کره صورت گرفت، تحلیل رگرسیون چندگانه روشن ساخت که دما و تابش خورشیدی، مهم‌ترین عوامل هواشناسی‌اند (جو و پارک، ۲۰۰۵). بنابراین بیشتر تحقیقات به‌طور مشترک دما را عامل مهم و مؤثر بر آزون می‌دانند.

برای آلاینده NO_2 برای تعداد $N=54$ ، ضریب همبستگی جزئی برای دما $r = 0.22$ و برای رطوبت نسبی $r = -0.33$ محاسبه شد. به بیانی دیگر، همبستگی بین این آلاینده و رطوبت نسبی بیشتر بوده است. نتایج تحلیل نشان داد که $F = 3.801$ می‌باشد، یعنی F در سطح ۵٪ معنی‌دار است. همبستگی مطلق $R = 0.36$ به‌دست آمد. بنا برای دما $\beta = 0.139$ و برای رطوبت نسبی $\beta = -0.299$ محاسبه شد. به عبارت دیگر، هر دو عامل مؤثرند ولی رطوبت نسبی تأثیر بیشتری روی آلاینده NO_2 دارد و عامل مهم‌تری بوده است. معادله همبستگی چندگانه برای NO_2 عبارت است از:

$$Y = 0.911 T - 0.448 RH + 89.914 \quad (3)$$

در این معادله، T نشان‌دهنده متغیر مستقل دما و RH نشان‌دهنده متغیر مستقل رطوبت نسبی است و متغیر وابسته Y مقدار غلظت آلاینده NO_2 را نشان می‌دهد. در اینجا هم نتایج همبستگی به‌دست آمده، مشابه نتایج گروه‌بندی ترتیبی آلاینده‌ها در بخش‌های قبل است.

۷ بررسی کیفیت هوا از نظر شاخص آلودگی

مقادیر آلاینده‌های هوا در ایستگاه ژئوفیزیک در دوره ۶

PM-10 بوده است. شکل ۹ وضعیت کیفیت هوا نسبت به آلاینده CO را نشان می‌دهد.

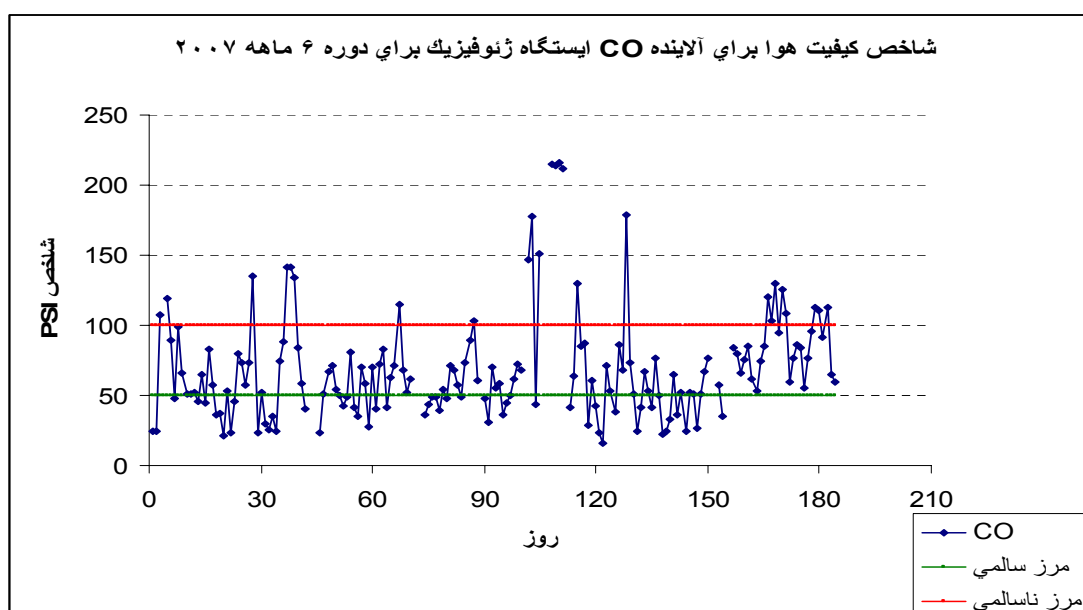
۸ نتیجه‌گیری

در این تحقیق تغییرات روزانه و فصلی آلاینده‌ها مورد بررسی قرار گرفت و سپس ارتباط شاخص‌های هواشناسی با مقادیر غلظت آلاینده‌ها به چند روش بررسی شد. همچنین کیفیت هوا از نظر شاخص آلودگی هوا مورد تحقیق قرار گرفت. داده‌ها از ایستگاه هواشناسی مؤسسه ژئوفیزیک و ایستگاه‌های کنترل کیفیت هوای شهرداری تهیه شده است. در این تحقیق از داده‌های سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۷ استفاده شده است.

نتیجه بررسی تغییرات فصلی آلاینده‌ها روشن ساخت که برای آلاینده‌های CO، NO₂ و PM-10 دو بیشینه وجود دارد که یکی در تابستان و دیگری در زمستان رخ می‌دهد. همچنین بیشینه SO₂ در زمستان و بیشینه O₃ نیز در بهار و تابستان رخ داده است.

ماهه (ماه‌های مارس تا اوت ۲۰۰۷) از نظر شاخص آلودگی بررسی شد. نتایج محاسبه‌ها نشان داد که در این دوره از نظر آلاینده CO، ۲۸٪ روزها در وضعیت پاک، ۴۹٪ روزها در وضعیت سالم و ۱۳٪ روزها در وضعیت ناسالم بوده‌اند. از نظر آلاینده O₃، ۲۳٪ روزها در وضعیت پاک، ۵۵٪ روزها در وضعیت سالم و ۱۱٪ روزها در وضعیت ناسالم بوده‌اند. از نظر آلاینده NO₂، ۶۰٪ روزها در وضعیت پاک، ۲۸٪ روزها در وضعیت سالم و ۱٪ روزها در وضعیت ناسالم بوده‌اند. از نظر آلاینده SO₂، ۷۸٪ روزها در وضعیت پاک، ۴٪ روزها در وضعیت سالم بوده و وضعیت ناسالم وجود نداشته است. از نظر آلاینده PM-10، ۷۹٪ روزها در وضعیت پاک، ۱۲٪ روزها در وضعیت سالم بوده و وضعیت ناسالم وجود نداشته است.

بیشترین درصد روزهای ناسالم مربوط به آلاینده CO بوده و بیشتر آن در ماه‌های ژوئن و اوت رخ داده است. همچنین بیشترین درصد روزهای پاک مربوط به آلاینده



شکل ۹. بررسی کیفیت هوا نسبت به آلاینده CO.

وارونگی دمایی و سرعت ضعیف باد و تغییر جهت آن در ایجاد این بیشینه‌ها حائز اهمیت است. واکنش‌های فوتوشیمیایی تولید ازون نیز در وجود بیشینه آن مؤثرند. به‌طور کلی ارتفاع لایه آمیخته در شب‌هنگام کاهش می‌یابد و آلاینده‌های هوا در زیر این لایه به دام می‌افتند، در نتیجه غلظت اکثر آلاینده‌ها در شب افزایش می‌یابد و همچنین نسیم کوه به دشت نیز در افزایش آلاینده‌ها تأثیر بسزایی دارد.

در اغلب موارد، نتایج به‌دست آمده از الگوی روزانه و ماهانه و مقطع زمانی بیشینه‌ها مشابه تحقیق صورت گرفته در کره است (جو و پارک، ۲۰۰۵).

بررسی تأثیر روزهای تعطیل بر مقدار غلظت آلاینده‌ها نشان داد که در ایستگاه‌هایی که معمولاً آلوده‌شد وسایل نقلیه در تعطیلات آخر هفته نسبت به اواسط هفته کاهش می‌یابد، مثل ایستگاه بازار، کاهش آلاینده CO وجود دارد. این کاهش در مورد ایستگاه بازار، حدود ۸۰٪ موارد، وجود داشته است. همچنین در این موارد کاهش، میزان متوسط کاهش آلاینده CO حدود ۱۹٪ بوده است.

مقایسه میانگین غلظت آلاینده‌ها و شاخص‌های دما و رطوبت نسبی در ایستگاه ژئوفیزیک برای دوره ۶ ماهه اول (ژانویه تا ژوئن) ۲۰۰۷ صورت گرفت. در این دوره، بیشترین غلظت‌های میانگین برای آلاینده‌های CO، NO₂، PM-10 و O₃ همگی در دمای بزرگ‌تر از ۳۰°C رخ داده است ولی برای آلاینده SO₂ بیشترین غلظت مربوط به دماهای کمتر از ۱۰°C است. با افزایش تابش خورشیدی و دما تولید فوتوشیمیایی ازون و همچنین واکنش‌های شیمیایی مربوط به NO₂ نیز افزایش می‌یابد. در تحقیقی که در قاهره صورت گرفت، نتایج در مورد آلاینده‌های O₃ و NO₂ نیز به همین صورت است (المینیر، ۲۰۰۵).

همچنین در دوره پیش‌گفته برای آلاینده‌های O₃، NO₂ و PM-10 بیشترین غلظت‌ها مربوط به رطوبت نسبی

وجود بیشینه در فصل سرد می‌تواند بر اثر افزایش مصرف اشتعال سوخت‌های ناشی از منابع حرارتی و وسایل نقلیه در کنار شرایط هواشناسی از قبیل سرما، افزایش فشار هوا، پایداری هوا و وارونگی دما رخ دهد. همچنین وجود بیشینه در فصل گرم نیز می‌تواند بر اثر عوامل متعددی از جمله وارونگی دمای سطحی و کاهش بارش و شست‌وشوی آلاینده‌ها صورت گیرد. در ماه اکتبر نیز اغلب به علت باز شدن مدارس و دانشگاه‌ها و افزایش آلوده‌شد ایجاد شده، به‌طور مقطعی افزایش مقدار آلاینده‌ها مشاهده می‌شود.

افزایش واکنش‌های فوتوشیمیایی تولید ازون در فصل بهار و تابستان می‌تواند یکی از عوامل مؤثر در وجود بیشینه ازون در این فصل‌ها باشد. عامل افزایش خشکی هوا در تابستان نیز به افزایش غلظت PM-10 در این فصل کمک می‌کند.

مقایسه الگوی روزانه آلاینده‌های گوناگون در فصل بهار نشان می‌دهد که همه آلاینده‌ها به‌جز O₃ دارای دو بیشینه‌اند که یکی در حدود اوایل صبح و دیگری در اواخر شب رخ می‌دهد. ولی الگوی O₃ متفاوت با سایر آلاینده‌ها است و بیشینه آن معمولاً در ساعت‌های بعد از ظهر و کمینه آن هم در ساعت‌های شب رخ می‌دهد. بیشترین تفاوت بیشینه و کمینه روزانه مربوط به آلاینده ازون است.

همچنین الگوی روزانه میانگین فصلی زمستانی و تابستانی CO نیز وجود دو بیشینه صبح و شب را نشان می‌دهد. مقایسه الگوی روزانه زمستانی و تابستانی آلاینده CO نشان می‌دهد که در تابستان مقدار بیشینه شب‌هنگام بیشتر از بیشینه صبح است ولی در زمستان مقدار هر دو بیشینه صبح و شب تقریباً مشابه‌اند. به بیانی دیگر بیشینه صبحگاهی در زمستان افزایش یافته است.

آلوده‌شد وسایل نقلیه در اوایل صبح و شب در تشکیل بیشینه آلاینده‌ها در این هنگام مؤثر است. همچنین

کمتراز ۴۰٪ و برای آلاینده‌های SO₂ و CO نیز بیشترین غلظت‌ها مربوط به رطوبت‌های نسبی ۶۰٪ تا ۴۱٪ است. به عبارت دیگر بیشترین غلظت آلاینده‌ها در رطوبت نسبی کم رخ داده است. به بیانی دیگر افزایش خشکی هوا با افزایش مقدار آلاینده‌ها همراه بوده است. در مورد O₃ و NO₂ نتایج مشابه تحقیقی که در قاهره صورت گرفته است. افزایش رطوبت نسبی هوا اگر همراه با پدیده بارش باشد، عمل شست‌وشو می‌تواند باعث کاهش آلاینده‌های هوا شود. در نتیجه این موضوع یکی از عوامل کاهش مقدار آلاینده‌ها در رطوبت‌های نسبی زیاد است.

برای بررسی تأثیر وارونگی دمای سطحی بر غلظت آلاینده‌ها، تفاوت دمای ارتفاع ۲۲ متری و سطح زمین (ΔT) با غلظت آلاینده CO در ایستگاه فاطمی مقایسه شد. نتایج نشان داد که اکثر وارونگی‌های دمایی معمولاً در ساعات‌های اولیه صبح (۴ تا ۶ صبح) رخ می‌دهد و در اکثر ماه‌های سال همبستگی مثبت معنی‌داری بین آن دو برقرار است. همچنین این وارونگی دمای سطحی در فصل تابستان شدیدتر است و بیشتر رخ می‌دهد، بنابراین می‌تواند یکی از عوامل افزایش آلودگی در تابستان باشد.

تحلیل آماری رگرسیون چندگانه برای دوره ۶ ماهه اول (ژانویه تا ژوئن) ۲۰۰۷ بین آلاینده‌های O₃ و NO₂ و پارامترهای هواشناسی دما و رطوبت نسبی صورت گرفت. در این دوره، تحلیل آماری رگرسیون چندگانه بین متغیر وابسته ازون و متغیرهای مستقل دما و رطوبت نسبی نشان داد که هر دو شاخص، مؤثر بوده ولی دما تأثیر بیشتری روی آلاینده O₃ دارد و عامل مهم‌تری بوده است. همچنین رگرسیون چندگانه بین متغیر وابسته NO₂ و متغیرهای مستقل دما و رطوبت نسبی نشان داد که هر دو پارامتر مؤثر بوده‌اند ولی رطوبت نسبی تأثیر بیشتری روی آلاینده NO₂ داشته و عامل مهم‌تری بوده است. براساس نتایج به دست آمده از تحقیقی در امریکا (وایس و کومری، ۲۰۰۵) و کره (جو و پارک، ۲۰۰۵) نیز دما،

عامل مؤثر بر ازون است.

بررسی کیفیت هوا از نظر شاخص آلودگی در ایستگاه ژئوفیزیک در دوره ۶ ماهه (ماه‌های مارس تا اوت ۲۰۰۷) نشان داد که بیشترین درصد روزهای ناسالم مربوط به آلاینده CO بوده است.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از حمایت مالی قطب علمی مخاطرات محیطی گروه اقلیم‌شناسی دانشگاه تربیت معلم از این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

صفوی، س. ی. و علیجانی، ب.، ۱۳۸۵، بررسی عوامل جغرافیایی در آلودگی هوای تهران، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۸، صفحه ۹۹-۱۱۲.

محمدی، ح.، ۱۳۸۵، ارتباط عناصر اقلیمی و آلاینده‌های هوای تهران با مرگ و میرهای ناشی از بیماری‌های قلبی، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۸، صفحه ۶۶-۴۷.

- Berlyand, M. E., 1991, Prediction and Regulation of Air pollution, Kluwer Academic Publishers, 312 PP.
- Elminir, H. K., 2005, Dependence of urban air pollutants on meteorology, Sci. Total Environ., **350**, 225-237.
- Gratani, L., and Varone, L., 2005, Daily and seasonal variation of CO₂ in the city of Rome in relationship with the traffic volume, Atmos. Environ., **39**, 2619-2624.
- Jo, W. K., and Park, J. H., 2005, Characteristics of roadside air pollution in Korean metropolitan city (Daegu) over last 5 to 6 years: Temporal variations, standard exceedances, and dependence on meteorological conditions, Chemosphere, **59**, 1557-1573.
- Kanno, S., Fukui, S., Ikeda, H., and Ono, Y., 1959, Atmospheric SO₂ concentrations observed in Keichin industrial center, Int. J. Air Water Poll., **1**, 234-240.
- Karar, K., and Gupta, A. K., 2006, Seasonal

- variations and chemical characterization of ambient PM₁₀ at residential and industrial sites of an urban region of Kolkata (Calcutta), India, *Atmos. Res.*, **81**, 36-53.
- Wise, E. K., and Comrie, A. C., 2005, Meteorologically adjusted urban air quality trends in the Southwestern United States, *Atmos. Environ.*, **39**, 2969-2980.
- Zanetti, P., Melli, P., and Runca, E., 1977, Meteorological factors affecting SO₂ pollution levels in Venic, *Atmos. Environ.*, **11**(7) 605-616.