

# بررسی آلاینده‌های تاثیرگذار بر آلودگی هوای تهران و راهکارهای کنترل با توجه به شاخص کیفیت AQI

فریبا سلیمانی

دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ملایر، ملایر، ایران

عباس ملک حسینی<sup>۱</sup>

دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ملایر، ملایر، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۱۷

## چکیده

با توجه به رشد رو افزون جمعیت، وسایط نقلیه و کاربری‌های صنعتی در اطراف شهر تهران آلودگی هوا نیز بشدت افزایش یافته و نتایج نامطلوبی به همراه داشته است. هدف از این پژوهش تشخیص روند الگوی تغییر آلاینده‌ها و ماه‌های پر خطر و شناسایی شاخص آلاینده تأثیرگذار در طی دوره زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ در هوای شهر تهران است. بدین صورت که میزان روزانه آلاینده‌ها در طی سال‌های مورد مطالعه از طریق روش رگرسیون خطی بررسی و ارقام ارائه شده به صورت میانگین و نمودار سالانه بیان می‌گردد. نتایج حاصل از آن راه‌حلی برای کاهش آلودگی هوای تهران ارائه می‌کند. روش تحقیق از نوع آماری و تحلیلی است و از نظر هدف در گروه تحقیقات کاربردی قرار می‌گیرد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که وضعیت آلودگی هوای تهران در طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ بر اساس شاخص کیفیت هوای AQI در تمامی آلاینده‌ها به جز ذرات معلق روندی کاهش داشته است. کیفیت هوا به طور تقریبی در فصل گرم سال به دلیل وقوع پدیده گرد و غبار و استفاده از سیستم‌های سرمایشی و عدم جا به جایی هوا که عوامل افزایش روزهای فراتر از حد مجاز بوده نامطلوب دیده شده است. با شروع سرما نیز بر تعداد روزهای نامطلوب آلودگی افزوده شده در اواخر آذر تا اوایل دی شرایط نامطلوب در تعداد روزها به شکل متوالی اتفاق افتاده که این توالی طولانی، خود وخامت شرایط کیفیت هوا را حادث کرده است. استقرار جو پایدار و وقوع پدیده وارونگی و استفاده از سیستم‌های گرمایشی عمده‌ترین عامل افزایش تعداد روزهای فراتر از حد مجاز در روزهای سرد سال بوده که همه متأثر از افزایش آلاینده ذرات معلق بوده است. بنابر نتایج تجزیه آماری و از آنجایی که این روند متوالی در طی سال ۱۳۹۶ و بعد نیز ادامه خواهد داشت، گسترش حمل و نقل عمومی، خروج خودروهای فرسوده، افزایش مصرف گاز طبیعی و اجرای سخت‌گیرانه قوانین ترافیکی و صنعتی در ماه‌های خرداد، تیر، دی و روزهای ابتدایی هفته را مهم‌ترین عامل در جهت کاهش آلاینده ذرات معلق در کیفیت هوای روزهای بسیار آلوده یا خطرناک شهر تهران مؤثر شناخته است.

**واژگان کلیدی:** تهران، آلودگی هوا، آلاینده‌های هوا، رگرسیون خطی، تحلیل آماری.

## مقدمه

یکی از بزرگترین مشکلاتی که بشر در صد سال گذشته همواره با آن دست به گریبان بوده مسئله آلودگی محیط زیست است (Ganbari, 2003, 2). آلودگی هوا امروزه به صورت یکی از مشکلات زیست محیطی و اقتصادی در سراسر جهان مطرح شده است، و این مسئله به ویژه در شهرهای بزرگ صنعتی، به صورت مشکل حادتری دیده می‌شود (Tern, 1982). آلودگی هوا یکی از نشانه‌های رشد شهرنشینی، استفاده بیش از حد از منابع سوخت‌های فسیلی، عدم به کارگیری تکنولوژی‌های سازگار با محیط زیست و از همه مهم‌تر عدم وجود مدیریت صحیح زیست محیطی بوده است (Khorasanian, 2013, 2). در حقیقت سخن از آلودگی هوا سخنی است درباره بسیاری از مواد و ترکیبات که از منابع گوناگون طبیعی و به خصوص ساخت دست بشر وارد هوا شده و باعث دگرگونی خواص فیزیکی و شیمیایی جو می‌گردد. پیشرفت صنایع و فناوری، توسعه شهری، افزایش و تراکم جمعیت، افزایش وسایط نقلیه موتوری، ازدیاد مصرف فرآورده‌های نفتی و در بعضی موارد، شرایط خاص اقلیمی و جغرافیایی منطقه باعث افزایش آلودگی می‌گردد (Canepa et al., 2000, 281). بنابراین شناخت شاخصه‌ها و میزان عملکرد تأثیر گذاری این آلاینده‌ها از ضروریات می‌باشد که نتایج نامطلوب آن بر روی انسان و محیط از مهمترین چالش‌های کلان شهرها تبدیل شده است (Annual report on air quality in Tehran, 2013, Abstract). علاوه بر شناخت عوامل تغییر دهنده آلودگی، شناخت استانداردهای زیست محیطی و ارزیابی ریسک آلودگی نیز از مهمترین اهداف در کنترل آلودگی محیط زیست شناخته می‌شود (Vicent et al., 2012) در ایران به دلیل ارزان بودن انرژی، استفاده از ماشین آلات مستعمل، پایین بودن سطح فناوری‌ها، افزایش جمعیت و توسعه شهرنشینی و در نهایت تغییر الگوهای تولید و مصرف، میزان انرژی و به تبع آن میزان مواد حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی افزایش یافته است به همین دلیل آثار و پیامدهای آن به صورت انواع آلودگی‌ها به ویژه آلودگی هوا از جمله در کلان شهر تهران آشکار شده است. علاوه بر این هوای تهران به علت موقعیت جغرافیایی شهری یعنی احاطه شهر از سمت شمال توسط کوه‌ها، ضعیف بودن شدت باد در تهران و ارتفاع بلند سطح تهران از دریا، موجب احتراق ناقص سوخت و افزایش آلودگی هوا در شهر تهران شده است (Zamir and Ikani, 2001, 20). در واقع کیفیت هوا در مناطق شهری به عواملی چون جریان هوا، موقعیت توپوگرافی و میزان آلاینده‌های منتشره از منابع مختلف بستگی دارد (Hesami and Avishan, 2006). با وجود اینکه قوانین و مقرراتی برای کنترل کیفیت هوا در برخی کشورها بوجود آمده است. اما بیشتر شهرها به خصوص تهران بطور مداوم در حال آلوده شدن می‌باشند، و مهاجرت مردم از نواحی روستایی به شهرها، افزایش کنترل نشده تعداد، تعمیر و نگهداری نامناسب وسایل نقلیه، رشد صنعتی و فقدان سیاست‌های مناسب برای کنترل کیفیت هوا باعث آلودگی بیشتر شهر تهران شده است (Afandi Zadeh and Rahimi, 2008, a). تمرکز بیش از حد صنایع و کارخانجات در محدوده‌ی جغرافیایی شهر تهران، همراه با اوضاع جغرافیایی، توپوگرافی و اقلیمی خاص منطقه، تهران را به یکی از هفت شهر آلوده جهان تبدیل نموده است (Rahimi and Rahimi, 2010). بنابراین پدیده آلودگی هوا امروزه به یکی از معضلات شهر تهران مبدل شده است.

روش تحقیق این پژوهش (کمی - تحلیلی) می‌باشد. معیار انتخاب تهران بر مبنای پراکنش فضایی آلودگی روزانه هوا در طی دوره‌های (۱۳۹۰-۱۳۹۵) بوده است. داده‌های اندازه گیری شده از ایستگاه‌های پایش آلودگی هوا متعلق

به سازمان حفاظت محیط زیست و شهرداری تهران و سازمان کنترل کیفیت هوا بدست آمده است. ابتدا مبنای کار بر جمع آوری داده‌ها و اطلاعات استوار بوده که این داده‌ها بر مبنای، داده‌های مربوط به آلودگی هوا و عناصر آلاینده و رسم جداول و نمودارهای مربوطه بیان و سپس به تجزیه و تحلیل آماری اختصاص یافت و نتایج بیان و به ارائه راه کارها پرداخته شده است.

#### پیشینه

دود یکی از قدیمی‌ترین آلاینده‌های هوا است که از زمان ایجاد آتش با انسان همراه و برای سلامت بشر مضر به شمار می‌آمد. زمانی که دود ناشی از آتش حاصل از سوختن چوب توسط ساکنین اولیه غارها جای خود را به دود ناشی از کوره‌های زغال سوز در شهرهای پر جمعیت داد آلودگی هوا به اندازه‌ی قابل توجهی افزایش یافت. منشاء آلودگی هوا در اوایل انقلاب صنعتی عمدتاً صنایع و سوخت زغال سنگ و در قرن بیستم و بیست و یکم در شهرها با حمل و نقل درون شهری همراه شد (Bell, 1952, 12). در تعریف آلودگی هوا در ماده ۲ از قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوای کشور مصوب ۱۳۷۴ آمده است: «وجود یک یا چند آلوده کننده اعم از جامد، مایع، گاز (تشعشع پرتوزا و غیر پرتوزا) در هوای آزاد به مقدار و مدتی که کیفیت هوا را زیان آور برای انسان و یا سایر موجودات زنده و یا گیاهان و یا آثار و ابنیه کند»، را آلودگی هوا گویند (Saed and Tila, 2008, 464).

اینکه این آلودگی از کجا ناشی شده است و چه عواملی در بوجود آوردن آن مؤثر بوده‌اند همواره مورد توجه، متخصصین قرار داشته است (Ghanbari, 2003, 2). در این رابطه در سطح جهان و در ایران پژوهش‌های بسیاری انجام گرفته که از آن جمله می‌توان به تحقیقات (Pong and Wang, 2010, 507) و (Dosio et al., 2005, 1175) اشاره داشت. در پژوهشی دیگر با عنوان بررسی آمار سه ساله غلظت ذرات معلق و منوکسید کربن در هوای شهر تهران که در فاصله سال‌های ۱۳۸۲ الی ۱۳۸۴ صورت گرفت، با بررسی شش منطقه شهری تهران "منوکسید کربن و ذرات معلق" را به عنوان دو آلاینده مهم عنوان کردند، بیشترین آلودگی در ماه‌های آذر و دی ذکر گردید و علت افزایش آلودگی در ماه‌های مذکور را پدیده اینورژن گزارش کردند. نتایج بررسی بر روی کاهش آلودگی هوای تهران اجرای دقیق و سخت گیرانه مقرات آلودگی هوا در صنایع خودرو سازی و همچنین نظارت دقیق بر صنایع مستقر در غرب تهران و نیز اجرای سریع تر طرح خارج کردن خودروهای فرسوده را به عنوان بهترین عوامل و در بهبود کیفیت هوا معرفی نمودند (Azhdapour and Asilian, 2007). همچنین در پژوهشی تحت عنوان مطالعه تغییرات غلظت  $SO_2$  در هوای شهر تهران - ایران، با اندازه گیری در هفت ایستگاه سنجش آلاینده تغییرات روزانه، فصلی و سالانه  $SO_2$  مورد مطالعه قرار گرفت، با بررسی اثر پارامترهای هواشناسی بر روی غلظت آلاینده‌ها چنین بیان داشتند که بالاترین غلظت  $SO_2$  در هوای شهر تهران از پالایشگاه نفت تهران و وسایل نقلیه سنگین گازوئیل سوز است و در طول بیست و چهار ساعت شبانه روز بیشترین غلظت در شب و در فصل زمستان زمانی که پدیده وارونگی هوا اتفاق می افتد، منتشر شده و با توجه به موقعیت ایستگاه‌ها، غرب تهران بیشترین غلظت  $SO_2$  را داشته، در نهایت با توجه به غلظت  $SO_2$  مشاهده شده در ساعات و فصول مختلف و بررسی شرایط هوا شناسی به این نتیجه رسیدند که با کاهش سرعت باد، دما و رطوبت روزانه، افزایش  $SO_2$  را خواهیم داشت (Asari and Ghole, 2007).

جدول شماره ۱- استانداردهای آلودگی هوا

آلاینده	حد استاندارد	بازده زمانی
مونوکسیدکربن (CO)	۹/۴ (ppm)	هشت ساعته
	۳۵ (ppm)	یک ساعته
دی اکسید نیتروژن ( $NO_2$ )	۱۰۰ (ppb)	روزانه ماکزیمم ساعتی
	۲۱ (ppb)	سالانه
ازن ( $O_3$ )	۱۲۴ (ppb)	روزانه ماکزیمم ساعتی
	۷۵ (ppb)	هشت ساعته
	$۳۵ (\mu g / m^3)$	روزانه
ذرات معلق (PM) ( $PM_{2.5}$ )	$۱۰ (\mu g / m^3)$	سالانه
	$۱۵۴ (\mu g / m^3)$	روزانه
	$۲۰ (\mu g / m^3)$	سالانه
دی اکسید گوگرد ( $SO_2$ )	۱۴۴ (ppb)	روزانه
	۷ (ppb)	سالانه

Source: Tehran Air Quality Report, 2016, 23

### کلیات آلودگی هوا

پدیده آلودگی هوا از ره آوردهای توسعه صنعتی است. آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA) شش آلاینده اصلی را به عنوان شاخص انتخاب نموده و آنها را به دو دسته اولیه و ثانویه تقسیم کرده است. آلاینده‌های اولیه موادی هستند که به طور مستقیم از منابع انتشار به هوای محیط وارد می‌شوند و شامل آلاینده مونوکسید کربن (CO)، دی اکسید نیتروژن ( $NO_2$ )، دی اکسید گوگرد ( $SO_2$ )، ذرات معلق ( $PM_{10}$ ،  $PM_{25}$ ) می‌باشند. آلاینده‌های ثانویه بر اثر فعل و انفعالات موجود در اتمسفر زمین بوجود می‌آیند و در این گروه می‌توان از ازن ( $O_3$ ) نام برد (Annual Tehran air quality report, 2011, 15).

جدول شماره ۲ - منابع انتشار آلاینده‌های معیار

آلاینده	منبع انتشار
ازن OS	این آلاینده ثانویه بر اثر واکنش شیمیایی ترکیبات آلی فرار و اکسیدهای نیتروژن در مجاورت با نور خورشید تولید و افزایش می‌یابند.
$PM_{2.5}$ $PM_{10}$ ذرات معلق	ذرات معلق بر اثر انتشار سیستم یا واکنش‌های شیمیایی ایجاد می‌شوند. عمده‌ترین منبع انتشار این آلاینده شامل احتراق سوخت (مانند سوزاندن زغال سنگ، چوب و سوخت دیزل)، فرآیندهای صنعتی، کشاورزی و انتشار از جاده، خودروها (اگزوز، لنت، لاستیک و ...) هستند.
$NO_2$ دی کسید نیتروژن	احتراق سوخت (از وسایل نقلیه، واحدهای تولید برق، صنایع، یولدها و همچنین سوزاندن چوب)
CO مونوکسید کربن	احتراق سوخت (در وسایل نقلیه موتوری)
$SO_2$ دی اکسید گوگرد	احتراق سوخت (به ویژه سوخت‌های با گوگرد بالا)، فرآیندهای تولید برق و صنایع منابع طبیعی مانند آتشفشان

Source: Annual Tehran Air Quality Report, 2015, 21

### استانداردهای آلودگی هوا

استانداردهای اولیه سطحی از غلظت آلاینده است که باعث محافظت تمامی افراد حتی حساس‌ترین افراد جامعه می‌شود. استاندارد ثانویه که نسبت به استاندارد اولیه دارای ابعاد وسیع‌تری می‌باشند به گونه‌ای وضع می‌شود که باعث حفاظت بهداشت افراد جامعه و منابع، آسایش عمومی نیز می‌گیرد. در شرایطی که دست یافتن به استاندارد اولیه دشوار است. استانداردهای ثانویه هیچ نقشی در سیاست‌گذاری‌های کنترل آلودگی هوا بازی نمی‌کنند (Annual Tehran Air Quality Report, 2011, 16).

## اهم دلایل آلودگی هوا

مهم‌ترین دلایل آلودگی هوا به طور عام عبارتند از:

الف - صنایع: وجود کارخانه‌ها در نزدیکی شهرها علاوه بر آلودگی هوا آلودگی‌های زیست محیطی را نیز به همراه خواهد داشت. دفع مواد زائد کارخانه‌ها باعث آلودگی زیستی و شیمیایی می‌شود، آلوده کردن هوا توسط کارخانه‌ها سبب مسمومیت هوا و به وجود آمدن وارونگی هوا، باران‌های اسیدی، مه دود فتو شیمیایی خواهد شد و بر اکوسیستم بشری بی تأثیر نخواهد بود (Khanzadeh, 2015, 3).

ب- عوامل طبیعی و مصنوعی: از این عوامل می‌توان به آشفشان‌ها و غبار و امواج دریایی و گرد و خاک ناشی از طوفان‌های صحرائی اشاره کرد و وجود هوای سرد که به ننگ داشتن بیشتر هوای آلوده کمک می‌کند و از جمله عوامل آلوده کننده مصنوعی می‌توان به بوی زباله بیمارستانی و خانگی دود سیگار دودهای ناشی از سوخت هواپیماها و موشک‌ها نیروگاه‌های بخار با سوخت فسیلی اشاره داشت (Same Source, 3).

ج - وسایط نقلیه موتوری: اکسید کربن نظیر اکسیدهای ازت بیش از هر چیز ناشی از وسایط نقلیه موتوری و عوامل تشدید کننده می‌باشد (Vernet, 1997, 30-28).

## آلاینده‌های هوا

### منوکسید کربن (CO)

منوکسید کربن با فرمول CO وزن مولکولی ۲۸/۰۱ نقطه ذوب ۲۰۷- درجه سانتیگراد و نقطه جوش ۱۹۲- درجه سانتیگراد است، که عمر متوسط آن در اتمسفر حدود ۲/۵ ماه می‌باشد. منوکسید کربن گازی بی‌رنگ، بی‌بو و بدون مزه که حاصل احتراق ناقص زغال سنگ و سوخت‌های فسیلی است. احتراق ناقص این گونه سوخت‌ها منجر به تولید منوکسید کربن به جای دی‌اکسید کربن می‌گردد. در مناطق شهری غلظت گاز منوکسید کربن به بار ترافیکی وابسته بوده و با شرایط آب و هوایی مختلف نیز تغییر می‌یابد. بیش از ۷۰ درصد از منوکسید کربن منتشر شده در هوا در جریان عملیات حمل و نقل و حرکت خودروها تولید می‌شود (Ismaili Sari, 2002, 156).

### اکسیدهای نیتروژن ( $NO_2$ )

از بین اکسیدهای مختلف نیتروژن آنچه در آلودگی هوا اهمیت دارد NO و  $NO_2$  می‌باشد. NO گازی است بی‌رنگ و بی‌بو در حالی که  $NO_2$  گازی است قرمز متمایل به نارنجی نزدیک به قهوه‌ای، سمی، دارای نقطه جوش ۲۱/۲ درجه سانتیگراد و فشار جزئی کم که آن را در حالت گازی ننگه می‌دارد. این گاز خورنده، اکسیدان قوی و از نظر فیزیولوژیکی محرک مجاری تنفسی است. منابع عمده برای اکسیدهای نیتروژن در خلال احتراق سوخت‌های فسیلی یکی، اکسیدهای نیتروژن حرارتی (NOX حرارتی) که در روند احتراق به همراه اکسیژن به اندازه کافی گرما می‌گیرد، در این حالت اکسیژن اکسید می‌شود و دیگری اکسیدهای نیتروژن سوختی (NOX سوختی) که در روند احتراق سوخت از ساختار شیمیایی سوخت جدا می‌شود (Dabiri, 2008).

### اوزن ( $O_3$ )

هنگامی که اکسیدهای نیتروژن، هیدروکربن‌های سوخته نشده و نور خورشید یک جا و در کنار هم جمع شوند، مواد

اولیه برای تشکیل و تولید آلاینده‌های ثانویه (اکسید کننده‌های فتوشیمیایی) فراهم می‌شود که از آن جمله می‌توان به ازن اشاره نمود. ازن یکی از فراوان‌ترین اکسید کننده‌های فتوشیمیایی است، که به دلیل اهمیتی که دارد استانداردهای کیفیت هوا براساس آن تنظیم شده است. این آلاینده اساساً توسط منبعی به محیط منتشر نمی‌شود، بلکه به وسیله واکنش‌های موجود بین آلاینده‌های اتمسفر تولید می‌شود و به همین علت این آلاینده را از نوع ثانویه می‌نامند (Hosoi et al., 2011).

#### ذرات معلق ( $PM_{10}$ ) و ( $PM_{2.5}$ )

ذرات معلق ممکن است (گرد گیاهان، هاگ‌ها، باکتری‌ها و ویروس‌ها، تک یاخته‌ای، قارچ‌ها، رشته‌های گیاهی، بقایای زنگ زدگی و غبار ناشی از فعالیت‌های آتشفشانی) و یا (دود ناشی از خاکستر، دود، دوده‌ها، اکسیدهای فلزی و نمک‌ها، قطرات روغنی یا قیری، قطرات اسید، سیلیکات‌ها، سایر غبارهای معدنی و دوده‌های غلیظ فلزی، احتراق سوخت ناشی از وسایل نقلیه موتوری، نیروگاه‌ها، فرایندهای صنعتی، ذرات درشت ناشی از عملیات صیقل کاری و خرد کردن اشیاء) باشد (Kim Oanh et al., 2005). به طور کلی به هر نوع ماده پراکنده اعم از جامد یا مایع که از یک مولکول بزرگ‌تر و از ۵۰۰ میکرون کوچکتر باشد ذره گفته می‌شود. اکثر ذرات معلق دارای قطر معادل بین ۰/۱ تا ۱۰ میکرون را ( $PM_{10}$ ) و کوچکتر از ۲/۵ میکرون را ( $PM_{2.5}$ ) می‌گویند (Annual Tehran Air Quality Report, 2011, 99-101).

#### اکسیدهای سولفور (SO) (دی اکسید گوگرد)

اکسیدی که به بیشترین مقدار در اتمسفر انتشار می‌یابد سولفور دی اکسید است، سولفور دی اکسید گازی بی رنگ و غیر قابل اشتعال، با نقطه ذوب و جوش به ترتیب ۷۵/۵- و ۱۰/۰- درجه سانتی گراد است و در غلظت‌های نزدیک به ۳ ppm بوی زننده و سوزش آوری دارد. سولفورتری اکسید گازی فوق العاده فعال و بی رنگ و به آسانی به صورت مایع متراکم می‌گردد و تحت شرایط معمولی در اتمسفر یافت نمی‌شود، چون سریعاً با رطوبت واکنش نشان می‌دهد و سولفوریک اسید به وجود می‌آورد (Dabirie, 2008, 399).

#### تعیین شاخص کیفیت هوا (AQI)

شاخص کیفیت هوا (AQI) شاخصی جهت پیش بینی روزانه کیفیت هوا است. شاخص کیفیت هوا برای پنج آلاینده اصلی هوا یعنی ذرات معلق، دی اکسید نیتروژن، ازن سطح زمین، منواکسید کربن و دی اکسید گوگرد محاسبه می‌شود (Annual Tehran Air Quality Report, 2016, Definitions). شاخص AQI به غیر از نمایش کیفیت هوا، کمک شایانی به تحلیل شرایط موجود و تدوین برنامه‌های آینده می‌نماید.

#### معرفی محدوده مطالعاتی

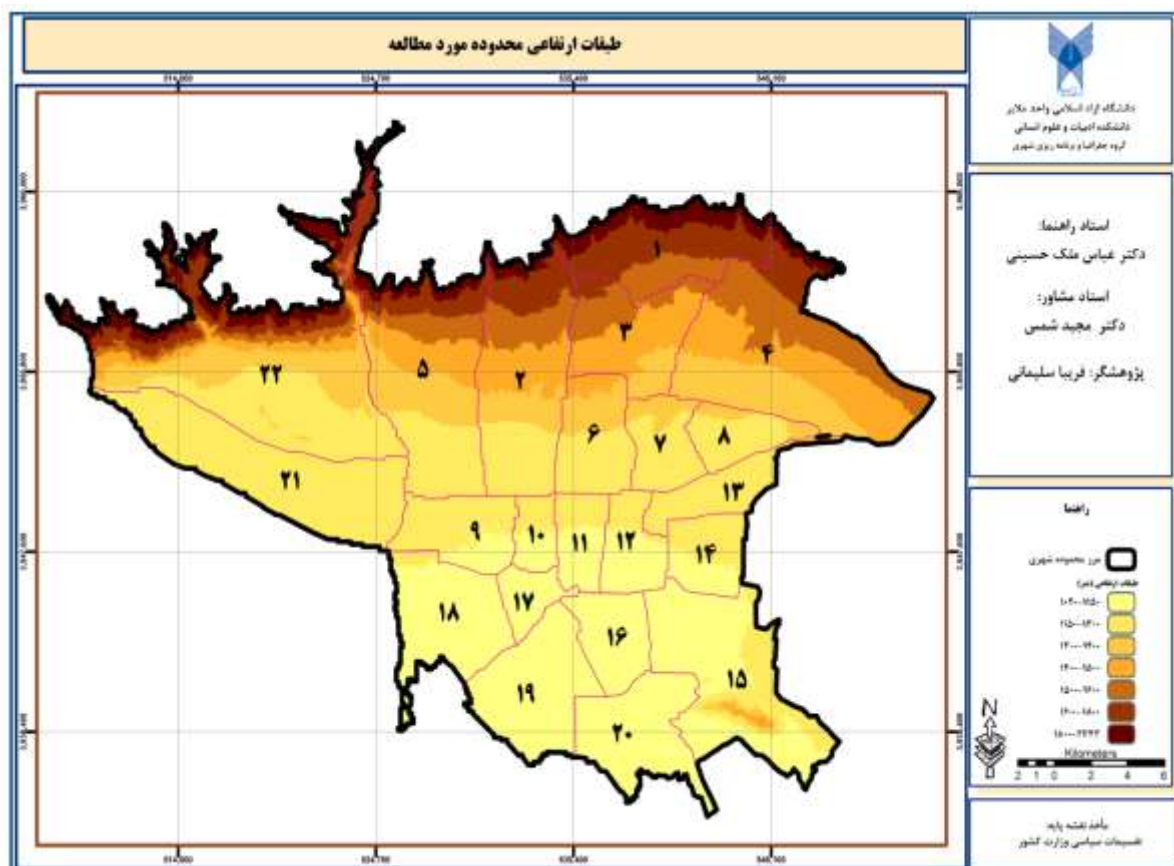
##### مشخصات جغرافیایی و جمعیتی شهر تهران

تهران از بزرگ‌ترین شهرهای غرب آسیا در کوه پایه‌های جنوب رشته کوه البرز و از نظر جغرافیایی در حد فاصل بین ۵۱°۲۳' شمالی و ۳۵°۳۵' الی ۳۵°۳۰' عرض شمالی واقع گردیده. گستردگی شهر از شمال به جنوب حدود ۲۷ کیلومتر و از شرق به غرب ۵۰ کیلومتر می‌باشد. احاطه شهر تهران از سمت شمال و شمال شرق با ارتفاعات مانع

از عبور بادهایی که از سمت غرب و جنوب می‌وزند شده و باعث انباشتگی آلاینده‌ها به سطح شهر می‌شود در نتیجه پتانسیل آلودگی هوا در مرکز شهر را افزایش می‌دهد (Annual Tehran air quality report, 2015, 118).

در بیشتر مطالعات جغرافیایی از جمله مطالعه مهمی همچون بررسی عوامل مؤثر بر آلودگی شهر تهران، شناسایی عوامل طبیعی همچون توپوگرافی به عنوان بسترهای توسعه با توجه به تأثیرگذاری آنها، از اهمیت زیادی برخوردار است. براین اساس، با هم پوشانی نقشه مناطق ۲۲ گانه شهر تهران بر روی نقشه ارتفاعات منطقه و شیب، نقشه این دو عامل مهم توپوگرافی تهیه و اطلاعات آماری آنها استخراج گردید.

در شکل شماره (۱) نقشه ارتفاعات محدوده مورد مطالعه نمایش داده شده است. نتایج مستخرج از این نقشه (جدول شماره ۳) نشان می‌دهد که کمترین میانگین ارتفاعات به ترتیب مربوط به مناطق ۲۰، ۱۹، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۵، ۱۲، ۱۱، ۱۰، ۱۴ و منطقه ۹ است؛ به طوری که میانگین ارتفاع در این مناطق بین ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ متر است؛ این مناطق در واقع پست‌ترین نواحی شهر تهران را تشکیل می‌دهند. در مرتبه بعدی مناطق ۲۱، ۱۳، ۷، ۸ و ۶ قرار دارند که در ارتفاعات ۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰ متر قرار دارند. پس از این مناطق، مناطق ۲، ۵، ۳ و ۴ در ارتفاعات نسبت بیشتری قرار گرفته‌اند. متوسط ارتفاع این مناطق بین ۱۴۰۰ تا ۱۵۰۰ متر است. در نهایت، دو منطقه ۲۲ و ۱ هر کدام با متوسط ارتفاع ۱۵۰۵ و ۱۷۳۸ متر، مرتفع‌ترین و کوهستانی‌ترین مناطق را در بین مناطق ۲۲ گانه شهری تهران به خود اختصاص داده‌اند. در مجموع، میانگین ارتفاع در کل مناطق ۲۲ گانه شهری تهران ۱۳۳۳ متر است.



جدول شماره ۳: اطلاعات آماری طبقات ارتفاعی در مناطق ۲۲ گانه شهری تهران

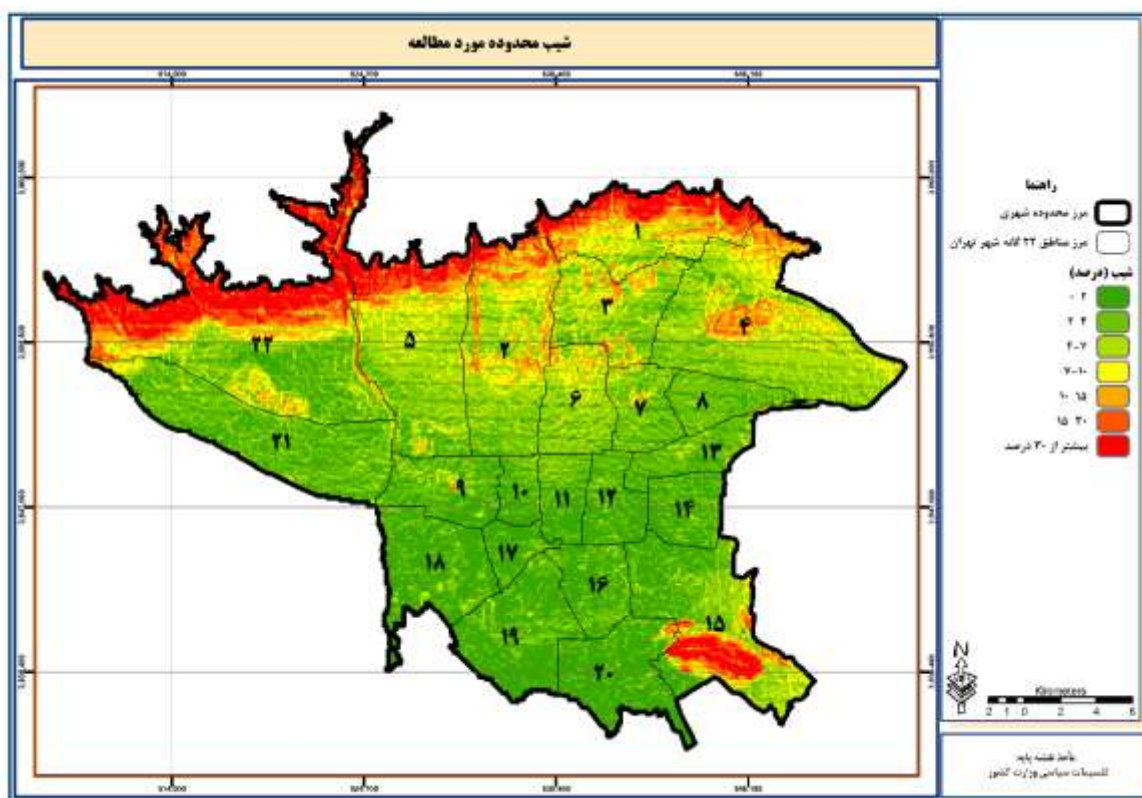
شماره منطقه	مساحت	درصد مساحت	حداقل ارتفاع	حداکثر ارتفاع	میانگین ارتفاع
۱	۳۹/۶۸	۵/۲۴	۱۴۹۳	۲۲۴۳	۱۷۳۸/۹۲
۲	۵۴/۹۳	۷/۲۵	۱۱۸۰	۲۱۳۴	۱۴۵۷/۹۰
۳	۳۹/۰۰	۴/۲۲	۱۳۳۳	۱۶۷۳	۱۴۷۳/۹۶
۴	۷۸/۵۷	۱۰/۳۷	۱۲۹۹	۲۰۲۳	۱۴۸۰/۸۲
۵	۶۴/۹۰	۸/۵۷	۱۱۷۶	۲۱۵۲	۱۴۵۶/۸۶
۶	۲۲/۹۴	۳/۰۳	۱۱۷۸	۱۴۶۲	۱۲۹۶/۰۷
۷	۱۶/۵۰	۲/۱۸	۱۱۹۳	۱۳۵۶	۱۲۶۴/۶۸
۸	۱۴/۴۵	۱/۹۱	۱۲۲۷	۱۳۴۳	۱۲۸۲/۹۳
۹	۲۱/۳۴	۲/۸۲	۱۱۱۳	۱۲۱۶	۱۱۶۵/۷
۱۰	۸/۴۴	۱/۱۱	۱۱۲۲	۱۲۰۴	۱۱۵۳/۰۲
۱۱	۱۲/۸۸	۱/۷۰	۱۱۰۷	۱۲۰۵	۱۱۴۶/۳۱
۱۲	۱۴/۹۰	۱/۹۷	۱۱۰۸	۱۱۹۸	۱۱۴۲/۹۶
۱۳	۱۶/۱۴	۲/۱۳	۱۱۵۲	۱۳۶۷	۱۲۱۶/۶۸
۱۴	۱۵/۹۴	۲/۱۰	۱۱۲۶	۱۱۹۶	۱۱۵۶/۰۹
۱۵	۵۶/۱۶	۷/۴۲	۱۰۳۱	۱۵۱۲	۱۱۴۱/۳۵
۱۶	۱۷/۴۹	۲/۳۱	۱۰۶۰	۱۱۱۹	۱۰۹۷/۰۶
۱۷	۸/۹۴	۱/۱۸	۱۰۹۷	۱۱۳۳	۱۱۱۶/۳۶
۱۸	۳۳/۴۶	۴/۴۲	۱۰۷۷	۱۱۷۰	۱۱۱۸/۹۶
۱۹	۳۴/۹۵	۴/۶۲	۱۰۴۶	۱۱۱۸	۱۰۸۱/۹۱
۲۰	۳۰/۵۲	۴/۰۳	۱۰۲۰	۱۱۵۰	۱۰۵۵/۰۶
۲۱	۵۴/۷۳	۷/۲۳	۱۱۴۴	۱۳۰۵	۱۲۱۵/۹۹
۲۲	۱۰۷/۵۰	۱۴/۱۹	۱۲۲۶	۲۳۴۳	۱۵۰۵/۱۳

Source: Research Findings

شیب عمومی شهر "تهران" جنوبی است در نتیجه سدهای کوهستانی شمال و شرق مانع خروج مواد زایدی می‌شوند که توسط بادهای غربی به داخل فضای شهر آورده شده و سبب می‌شوند که هوای شهر بویژه در نواحی مرکزی و شرقی آلوده شود. با توجه به اینکه بادهای غالب تهران جهت غربی و بیشتر صنایع در غرب تهران مستقر هستند می‌توان انتظار داشت که هوای شهر اغلب اوقات آلوده می‌شود. شیب عمومی شمال به جنوب تهران در وضعیت وارونگی‌های دمایی تهران اثر دارد. شدت آلودگی زمانی زیاد می‌شود که بادهای جنوبی هم بوزند (Rooshan et al., ۲۰۰۹).

در شکل شماره (۲) وضعیت شیب هر یک از مناطق ۲۲ گانه شهر تهران مشخص شده است؛ نتایج آماری مستخرج از این نقشه (جدول شماره ۴) نشان می‌دهد که کمترین میانگین شیب به ترتیب مربوط به مناطق ۱۷، ۱۹، ۱۸، ۲۰، ۱۶، ۱۴ و ۱۲ درصد است؛ شیب این مناطق کمتر از ۲ درصد بدست آمد. مناطق ۱۰، ۱۱، ۹، ۲۱، ۸، ۱۳، ۷، ۶، ۳ و ۴ درصد دارای میانگین شیب بین ۲ تا ۷ درصد هستند. سه منطقه ۲، ۱۵ و ۵ با متوسط شیب بین ۸ تا ۱۳ درصد، مناطق نسبتاً پرشیب در بین مناطق ۲۲ گانه به شمار می‌روند. در مرحله آخر، مناطق ۲۲ و ۱، با میانگین شیب نزدیک به ۲۰ درصد، پرشیب‌ترین مناطق را در بین همه مناطق تشکیل می‌دهند. در مجموع، میانگین شیب کل مناطق، ۸ درصد محاسبه گردید که نشان دهنده شیب کم محدوده شهری تهران است.





شکل شماره ۲: طبقات ارتفاعی محدوده مورد مطالعه

Source: Research Findings

جدول شماره ۴: اطلاعات آماری طبقات ارتفاعی در مناطق ۲۲ گانه شهری تهران

شماره منطقه	میانگین شیب
۱	۲۰/۱۷
۲	۸/۸۳
۳	۵/۸۹
۴	۶/۴۶
۵	۱۲/۵۵
۶	۵/۱۷
۷	۳/۵۳
۸	۲/۷۸
۹	۲/۴۵
۱۰	۲/۰۸
۱۱	۲/۱۹
۱۲	۱/۹۷
۱۳	۲/۸۷
۱۴	۱/۹۶
۱۵	۹/۴۴
۱۶	۱/۹۲
۱۷	۱/۵۵
۱۸	۱/۷۳
۱۹	۱/۶۷
۲۰	۱/۸۴
۲۱	۲/۷۷
۲۲	۲۰/۱۵

Source: Research Findings

از دیدگاه جمعیتی در طی سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ رشد روزافزون جمعیت شهر تهران را شاهدیم، این امر تقاضای سفر و تعداد خودروها، را به حداکثر رسانده است که خود باعث افزایش تقاضای انرژی (انرژی الکتریکی و گرمایی) (گردیده و مصرف را نیز بالا برده است. مصرف سوخت در حمل و نقل افزایش یافته و از آنجایی که تقریباً تمام سوخت مصرفی در تهران از منابع فسیلی بوده، مقدار ذرات و آلاینده‌های ورودی به جو را نیز افزایش داده است. (Rafiee & Ghaderi, ۲۰۱۵)

جدول شماره ۵- میزان حجم جمعیت شهر تهران (۱۳۹۰-۱۳۹۵)

۱۳۹۵	۱۳۹۰
8,693,706	۸,۱۵۴,۰۵۱

Source: Research Findings (2011-2016)

### وضعیت آب و هوایی شهر تهران

تهران در ارتفاعات دارای آب و هوای سرد و مرطوب و در مناطق دشتی نزدیک به دریاچه نمک و حوض سلطان دارای آب و هوای گرم و خشک است، سایر مناطق و از جمله کوه پایه‌ها تحت تأثیر هر دو اقلیم قرار دارند. گرم‌ترین ماه‌های سال تیر و مرداد و سردترین آن‌ها ماه‌های دی و بهمن، و مرطوب‌ترین ماه‌های سال آذر، دی و بهمن می‌باشند، خشک‌ترین ماه‌های سال نیز تیر و مرداد است. میانگین جهت و سرعت وزش باد در تهران نشان می‌دهد که جهت باد غالب ۲۷ درجه، با متوسط سرعت  $7/5m/s$  و فراوانی ۱۸٪ می‌باشد، که نشان دهنده پایین بودن شدید تهویه هوای شهر تهران است. میزان بارندگی سالیانه تهران ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلیمتر و میانگین مجموع سالیانه بارندگی ۲۵۲ میلیمتر است. کمترین مقدار ریزش مربوط به ماه شهریور با  $0/9$  میلیمتر و بیشترین مقدار بارندگی مربوط به دی ماه و به میزان  $37/2$  میلیمتر است (Taghavi, 2010).

### جمع آوری داده‌های مورد نیاز

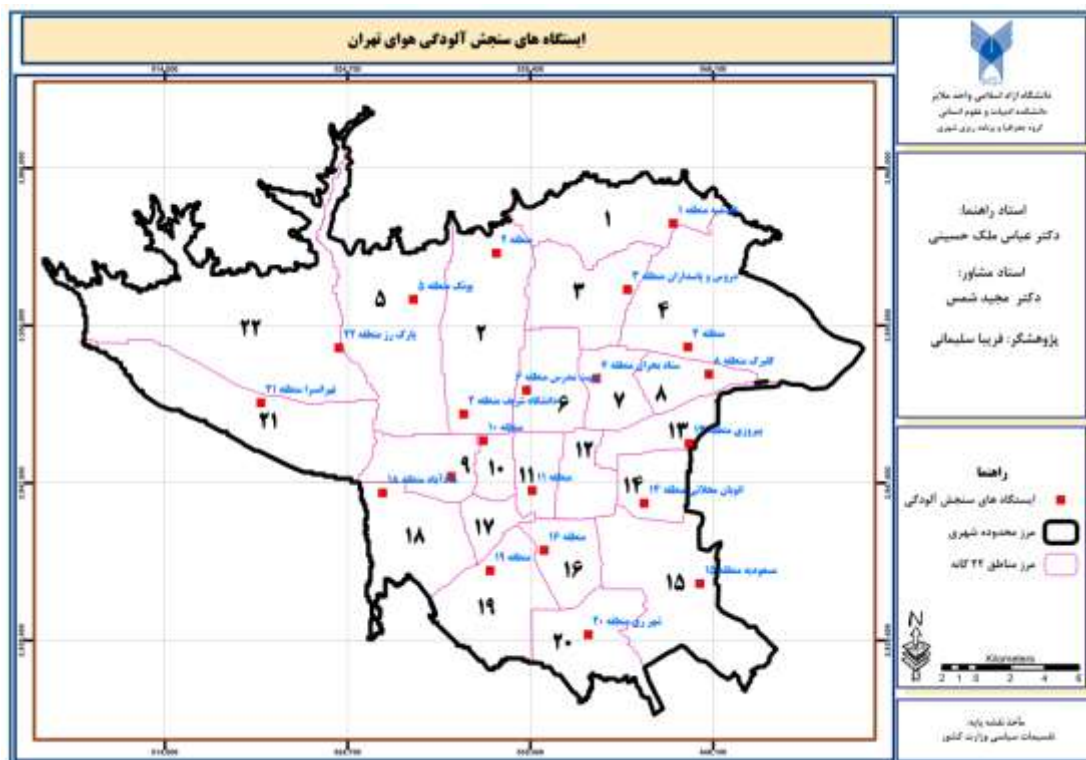
جهت پایش و اندازه‌گیری میزان آلودگی هوا از اطلاعات ایستگاه‌های فعال در سطح شهر تهران استفاده شده است. در این ایستگاه‌ها غلظت آلاینده‌های اصلی هوا شامل منواکسید کربن (CO)، ازن ( $O_3$ )، اکسیدهای ازت ( $No, No_2$ )، دی اکسید گوگرد ( $So_2$ )، ذرات معلق با قطر  $(PM_{10})$  و  $(PM_{2.5})$  به صورت پیوسته اندازه‌گیری و استفاده شده است. داده‌های مربوطه به غلظت آلاینده‌های هوا در بازه زمانی (۱۳۹۰-۱۳۹۵) از ایستگاه‌های (اقدسیه - پارک رز - پیروزی - پونک - دروس - دانشگاه تربیت مدرس - دانشگاه شریف - ستاد بحران - شادآباد - شهرری - شهرداری مناطق (۲،۴،۱۰،۱۱،۱۶،۱۹) - گلبرگ - مسعودیه - میدان فتح - محلاتی - تهرانسر) تحت نظر سازمان حفاظت محیط زیست و در مقیاس روزانه جمع‌آوری شده است.

### فرآوری داده‌ها

به منظور تجزیه داده‌های مربوط به آلاینده‌های هوا در ایستگاه‌های تحت کنترل سازمان حفاظت محیط زیست، از داده‌های اخذ شده که در مقیاس روزانه بودند میانگین ماهانه، و سالانه گرفته شد، داده‌ها وارد نرم افزار Excel گردید و معادله شیب خط (معادله خط رگرسیون) هر نمودار به روش تجزیه رگرسیون محاسبه گردید. سپس معنی دار بودن شیب خط برازش شده در نرم افزار برنامه نویسی ریاضی Mathematica مورد بررسی قرار گرفت و الگوی تغییرات آلاینده‌ها در سطح شهر تهران به طور ماهانه، سالانه طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۹۵ رسم گردید. در نهایت

میانگین داده‌های سالانه از غلظت آلاینده توسط نرم افزار آماری مورد تحلیل آماری قرار گرفته و نتایج حاصل از آن بیان گردیده است.

همان گونه که جدول و آمارها بیان می‌دارند در طی سال ۱۳۹۰ (۲۱۵ روز) در شرایط ناسالم و ۳ روز در شرایط بسیار ناسالم ۲۵ فروردین و ۱۴ و ۲۳ خرداد داشته است که مربوط به آلاینده ( $PM_{10}$ ) بوده و بیشترین روزهای آلوده در تیر ماه و کمترین روزهای آلوده در آبان ماه مشاهده گردید. دلیل افزایش تعداد روزهای آلوده اندازه‌گیری آلاینده ( $PM_{2.5}$ ) از اواسط سال ۱۳۹۰ بوده است (Annual Tehran air quality report, 2011, 68).



شکل شماره ۳- موقعیت ایستگاه‌های سنجش آلاینده‌ها در شهر تهران

Source: Based on the annual report of Tehran's air quality, 2016, 37

جدول شماره ۶: کیفیت هوا از نظر شاخص کیفیت هوا AQI طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ از نظر تعداد روزها

سال	پاک	ناسالم	ناسالم برای گروه‌های حساس	ناسالم	بسیار ناسالم	خطرناک
۱۳۹۰	۳	۱۴۴	۲۰۸	۷	۳	۰
۱۳۹۱	۳	۲۱۶	۱۳۴	۱۲	۱	۰
۱۳۹۲	۳	۲۰۲	۱۴۸	۱۲	۰	۰
۱۳۹۳	۱۶	۲۳۳	۱۱۲	۴	۰	۰
۱۳۹۴	۲۱	۲۳۳	۱۰۵	۵	۱	۰
۱۳۹۵	۱۷	۲۶۰	۸۰	۹	۰	۰

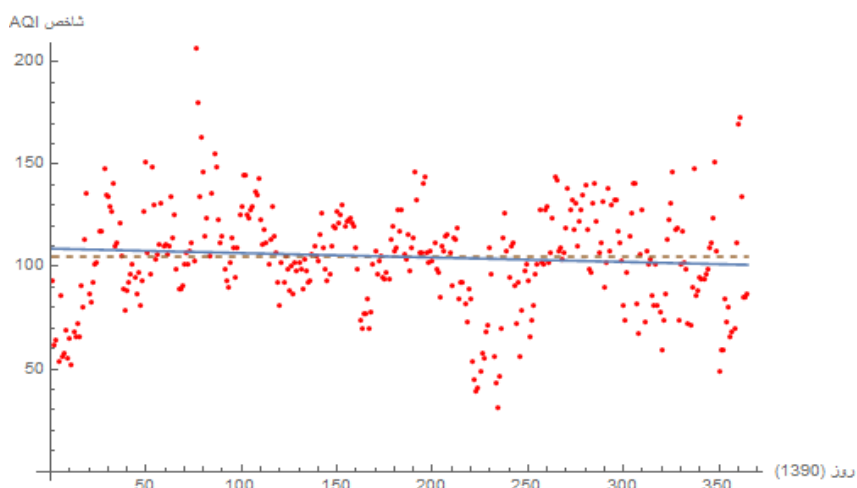
Source: Annual Tehran air quality report, 2016, 79

در سال ۱۳۹۱ نیز تعداد روزهای آلوده نسبت به سال ۱۳۹۰ کاهش یافته (۱۴۶ روز ناسالم و ۱ روز بسیار ناسالم) بیشترین روزهای آلوده در دی ماه (۲۴ روز) و کم‌ترین روزهای آلوده در شهریور ماه (۳) روز مشاهده می‌گردد و ۱ روز بسیار ناسالم (۶ خرداد) مربوط به افزایش آلاینده ( $PM_{10}$ ) بوده است (Annual Tehran air quality report, 2016, 102).

از سال ۱۳۹۲ نیز آلاینده ذرات معلق به عنوان آلاینده شاخص شهر تهران مطرح بوده است. سال ۱۳۹۲، (۱۰ روز آلوده از آلاینده  $(PM_{10})$  و ۱۶۰ روز آلوده از آلاینده  $(PM_{2.5})$ ) را در شهر تهران را شاهدیم. هوای تهران نسبت به سال‌های قبل در شرایط مطلوب‌تری قرار دارد. بیشترین روزهای آلوده در دی ماه (۲۹ روز) مربوط به افزایش آلاینده  $(PM_{2.5})$  بوده است و کمترین روزهای آلوده در اردیبهشت ماه (۱ روز) رخ داده است (Annual Tehran air quality report, 2016, 110-143).

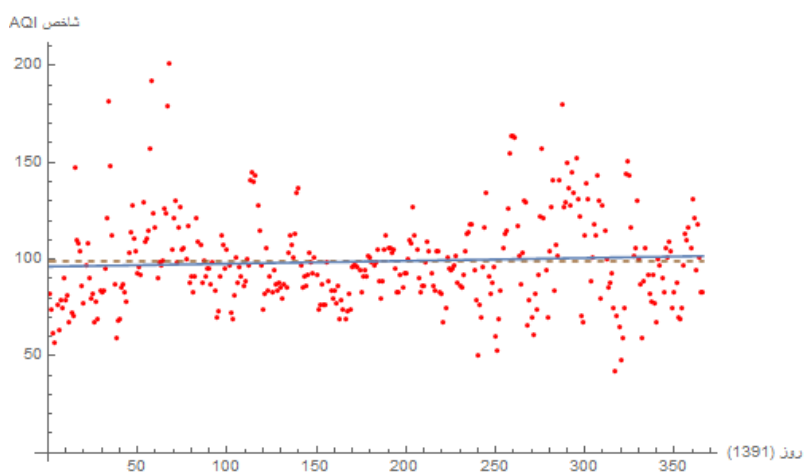
در سال ۱۳۹۳ نیز تعداد روزهای آلوده بالا بوده (۱۱۶ روز) ولی در مقایسه با سال‌های (۹۰-۹۲-۹۱) کاهش محسوس داشته، تعداد روزهای پاک از سال ۱۳۹۰ شروع اندازه‌گیری آلاینده ذرات معلق به ۱۶ روز افزایش یافته و نسبت به سایر سال‌های مورد بررسی در وضعیت مطلوب قرار داشته است کیفیت هوا در روزهای فصل بهار در مقایسه با فصول دیگر بسیار مطلوب بوده است و تنها در اواخر خرداد ماه شاهد روزهای آلوده هستیم، این در حالی است که در فصل زمستان بیشترین روزهای آلوده بالاتر از حد استاندارد مشاهده می‌شود. ۶۸ درصد از روزهای سال ۱۳۹۳ در شرایط مجاز و ۳۲ درصد در شرایط ناسالم قرار داشته‌اند. پاک‌ترین روز سال یازدهم فروردین با شاخص ۴۰ بوده است و آلوده‌ترین روز از منظر شاخص کیفیت هوا در سال ۱۳۹۳ دهم تیر ماه است با شاخص ۱۹۰ که مربوط به افزایش آلاینده  $(PM_{10})$  می‌باشد (Annual Tehran air quality report, 2016: 94-106). در سال ۱۳۹۴ نیز تعداد روزهای آلوده (۱۱۱ روز) بوده که یک روز نیز در شرایط بسیار ناسالم قرار داشته است. با وجود این تعداد روزهای آلوده نسبت به سال‌های قبل کاهش یافته است تعداد روزهای پاک به ۲۱ روز در سال ۱۳۹۴ افزایش یافته و بیشترین تعداد روزها در شرایط مطلوب در سالیان اخیر (۲۵۴ روز) در سال ۱۳۹۴ رخ داده است. در سال ۱۳۹۴، ۷۰ درصد روزها در شرایط مطلوب و ۳ درصد روزها در وضعیت نامطلوب بوده است. آلوده‌ترین روز از منظر شاخص کیفیت هوا در سال ۱۳۹۴ مربوط به دهم شهریور مربوط به افزایش آلاینده  $(PM_{10})$  با شاخص ۲۵۲ و پاک‌ترین روز سال فروردین با شاخص ۲۹ بوده است (Annual Tehran air quality report, 2016, 66-85) و در سال پایانی مورد مطالعه ۱۳۹۵ مشاهده می‌گردد تعداد روزهای آلوده در مقایسه با سال‌های گذشته کاهش محسوسی داشته و در مجموع به ۸۹ روز رسیده است هر چند تعداد روزهای پاک این سال ۱۷ روز بوده و نسبت به سال ۹۴، ۴ روز کمتر داشته ولی مجموع روزهای پاک و سالم از سال ۱۳۹۰ به ۲۷۷ روز رسیده و بیشترین تعداد روزهای در شرایط مطلوب را در این سال شاهدیم. آلوده‌ترین روز از منظر شاخص AQI در سال ۱۳۹۵، ۲۰ دی ماه با شاخص (۱۵۹) و پاک‌ترین روزهای سال روز اول و یازدهم فروردین با شاخص (۳۵) بوده است (Same source, 81). ماه‌های (آبان، آذر، دی) ناسالم‌ترین ماه‌های سال ۱۳۹۵ بوده‌اند و مربوط به افزایش آلاینده  $(PM_{2.5})$  می‌باشد و در نمودار ۸ مقایسه درصد روزها با شرایط مطلوب و شرایط نامطلوب طی سال‌های ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۵ نشان داده شده است.

در نمودارهای ذیل رگرسیون خط آبی رنگ بیان گر پیش بینی و میزان افزایش یا کاهش آلاینده در طی سال یا دوره‌ی کل مطالعاتی است و خط نقطه چین قهوه‌ای رنگ میانگین AQI در سال مورد نظر را بیان می‌دارد و نقاط قرمز رنگ بیانگر مقادیر آلودگی هوا شاخص AQI متناظر با روزهای مختلف می‌باشند



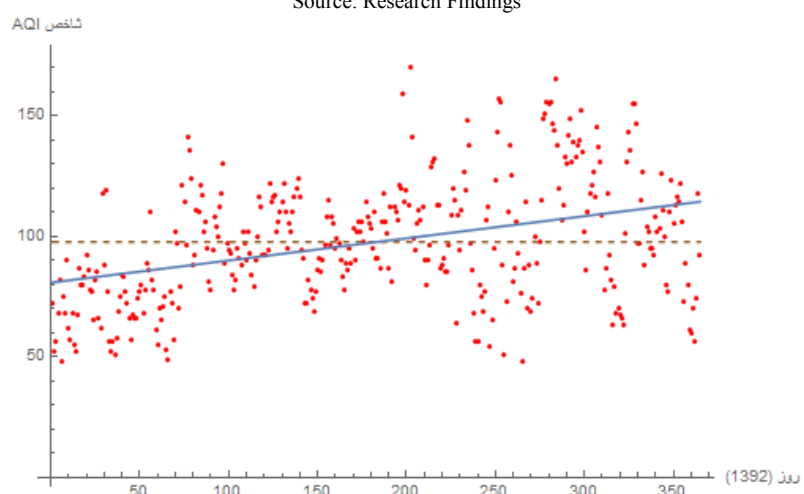
شکل شماره ۴: بررسی و نمایش شاخص آلودگی هوا در سال ۱۳۹۰.

Source: Research Findings



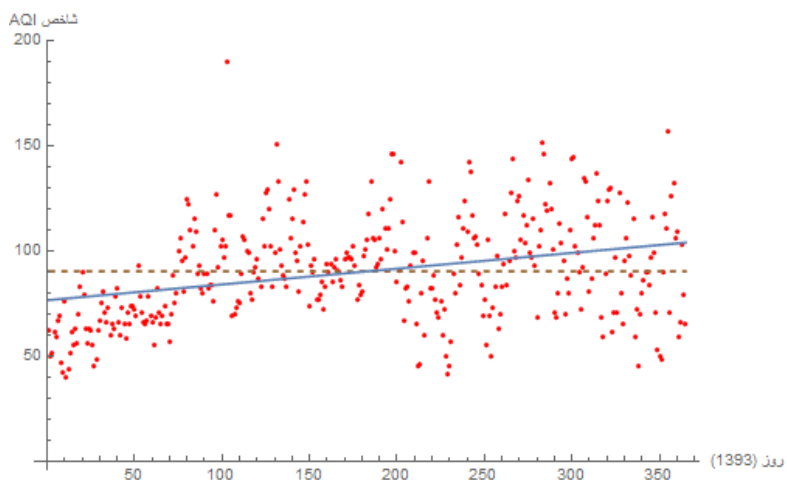
شکل شماره ۵: بررسی و نمایش شاخص آلودگی هوا در سال ۱۳۹۱.

Source: Research Findings

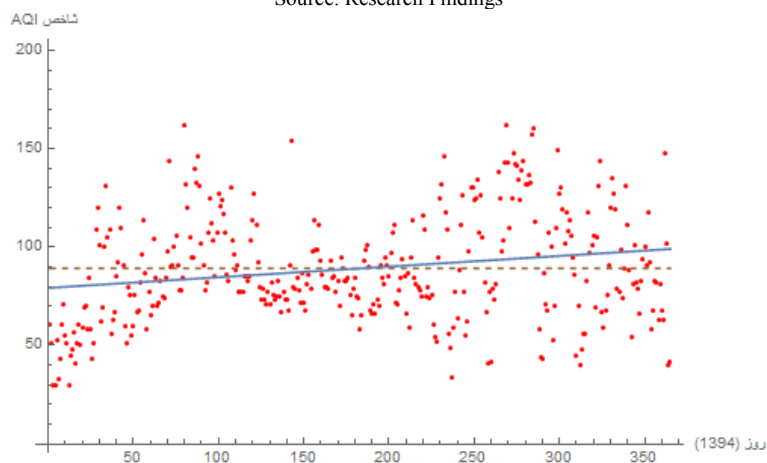


شکل شماره ۶: بررسی و نمایش شاخص آلودگی هوا در سال ۱۳۹۲.

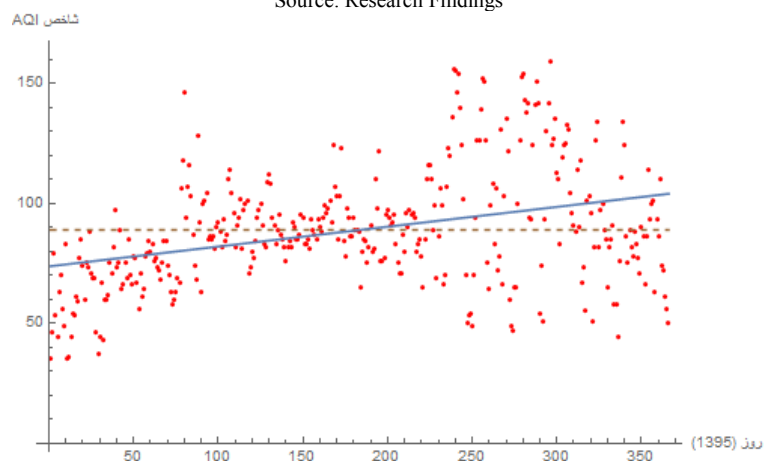
Source: Research Findings



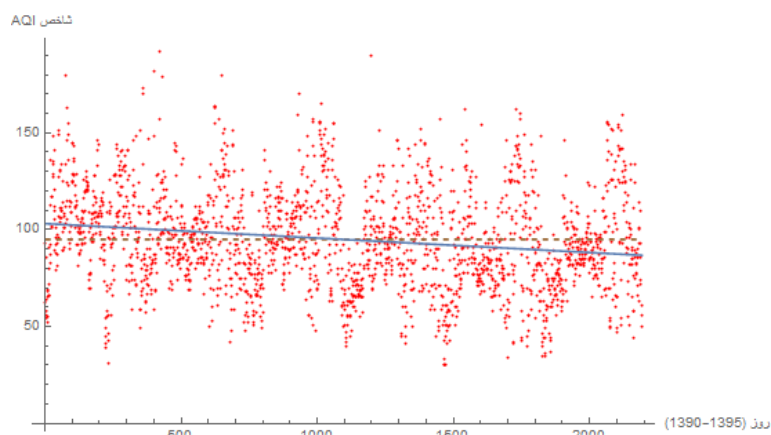
شکل شماره ۷: بررسی و نمایش شاخص آلودگی هوا در سال ۱۳۹۳.  
Source: Research Findings



شکل شماره ۸: بررسی و نمایش شاخص آلودگی هوا در سال ۱۳۹۴.  
Source: Research Findings



شکل شماره ۹: بررسی و نمایش شاخص آلودگی هوا در سال ۱۳۹۵.  
Source: Research Findings



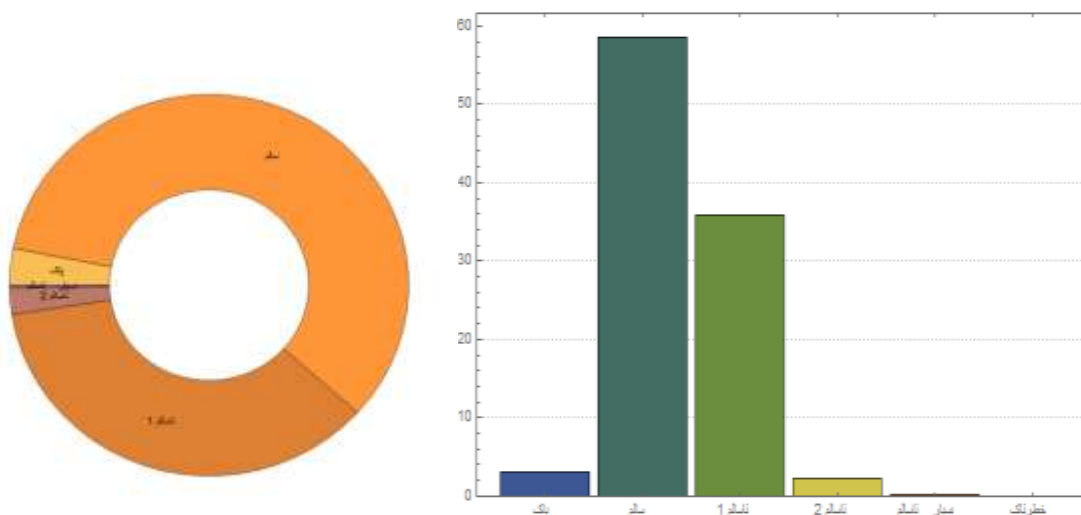
شکل شماره ۱۰: بررسی، نمایش و مقایسه شاخص آلودگی هوا در سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵.

Source: Research Findings

### تجزیه‌های آماری

روند تغییرات AQI نشان می‌دهد کیفیت هوا در تمام روزهای دو ماه ابتدایی سال‌های مورد مطالعه به طور تقریبی در شرایط مطلوب قرار داشته و از ماه خرداد با شدت گرفتن گرما و وقوع پدیده گرد و غبار به تدریج بر تعداد روزهای آلوده افزوده شده است. با شروع سرما و استقرار جو پایدار و وقوع وارونگی هوا بر تعداد روزهای آلوده فراتر از حد مجاز افزوده شده است.

شاخص آلاینده CO طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ در شرایط مطلوبی قرار داشته و مهم‌ترین دلیل آن کاهش خودروهای کاربراتوری، ارتقاء تکنولوژی ساخت خودرو، ارتقاء کیفیت سوخت، تغییرات در سیستم گرمایشی منازل طی چند سال اخیر بوده است و در صورت اجرای روش‌های صحیح کاهش آلودگی هوا امکان‌پذیر خواهد بود.



شکل شماره ۱۱: درصد گروه‌های آلودگی مختلف (چپ) و نمودار دایره‌ای تعداد روزهای هر گروه (راست) در کل طول دوره مطالعه

Source: Research Findings

آلاینده  $(PM_{10})$  و  $(PM_{2.5})$  طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ آلوده کننده ترین آلاینده شاخص شهر تهران شناخته شده است بیشترین درصد آلودگی هوا در سال ۹۰ تا ۹۴ انتشار ذرات معلق در هوای شهر بوده ماه‌های فروردین - اردیبهشت و آبان کمترین روزهای آلوده را در طی سال‌های مورد مطالعه به خود اختصاص داده است. در سال

۱۳۹۵ علت اصلی بالا بودن تعداد روزهای ناسالم وجود این آلاینده بوده است. سال ۱۳۹۰ نسبت به سایر سال‌های مورد مطالعه در وضعیت نامناسب‌تری قرار دارد.

شاخص آلاینده دی اکسید نیتروژن ( $NO_2$ ) طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ در تمامی سال‌های مورد مطالعه با معیار استاندارد روزانه، در وضعیت مطلوبی قرار دارد افزایش تعداد روزهای سالم نسبت به روزهای پاک را در طی ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ شاهدیم که دلیل آن سختگیرانه شدن استاندارد این آلاینده بوده است. شاخص آلاینده ازن ( $O_3$ )، طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ بیان می‌دارد که سال ۱۳۹۳ به علت دارا بودن بیشترین تعداد روزهای پاک در شرایط مطلوب‌تری نسبت به سال‌های قبل و بعد از خود قرار داده است در سال ۱۳۹۵ تمام روزها نسبت به آلاینده ازن در شرایط مطلوب بوده با توجه به اینکه ازن در حضور نور خورشید تولید می‌شود در ماه‌های گرم تعداد روزهای ناسالم افزوده می‌شود و بیشترین مقادیر AQI این آلاینده در روزهای گرم سال دیده می‌شود.

کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده دی اکسید گوگرد ( $SO_2$ )، طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ در تمامی روزهای سال از نظر استاندارد مورد مطالعه، در وضعیت مطلوب قرار داشته است و در سال ۱۳۹۵ تمامی روزهای سال به لحاظ استاندارد روزانه این آلاینده در شرایط پاک بوده است (Annual Tehran Air Quality Report, 2016, 106-)

(118)

#### نتیجه‌گیری و دستاورد علمی پژوهش

با توجه به اطلاعات کسب شده از این پژوهش مشخص می‌گردد که در کلیه فصول سال‌های مورد مطالعه آلاینده ( $PM_{10}$ ) و ( $PM_{2.5}$ ) بیشترین روزهای فراتر از حد استاندارد، مجاز کیفیت هوا را به خود اختصاص داده و مهم‌ترین آلاینده محسوب می‌شوند. اشکال شماره ۴ تا ۱۰ بررسی، نمایش و مقایسه شاخص آلودگی هوا در سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ را نشان می‌دهد که بیانگر سال ۱۳۹۰ به عنوان آلوده‌ترین و سال ۱۳۹۵ به عنوان سالم‌ترین از دیدگاه آلودگی هوا می‌باشد. تحلیل خط برازش میانگین آلودگی هوا نشان از کاهش آلودگی هوا در طی سال‌های مورد مطالعه دارد.

نقاط قرمز رنگ که بیانگر روزهای آلوده می‌باشند نشان می‌دهد که ماه‌های (خرداد، تیر، دی) آلوده‌ترین ماه‌های سال‌های مورد مطالعه می‌باشند به دلیل آنکه تهران در زمستان تحت تأثیر سامانه پرفشار شمالی سیبری قرار گرفته که باعث وارونگی هوا شده و افزایش میزان آلودگی جوی را به دنبال دارد.

در تابستان نیز شاهد سیستم کم‌فشار حرارتی کویر مرکزی هستیم که سبب گرمای هوا و افزایش آلودگی می‌گردد (فروردین، اردیبهشت، شهریور) کمترین روزهای آلوده را دارا بوده‌اند. زیرا، در این ماه‌ها با اعتدال بهاری در آغاز فروردین ماه و دیگری اعتدال پاییزی تقریباً اول مهرماه روبرو می‌شویم که به طرز قابل توجهی آلودگی جوی کاهش می‌یابد. علت اصلی این پدیده استفاده نشدن از سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی و نزدیک شدن به شرایط آسایش حرارتی است. در دوره ۶ سال مورد بررسی آلاینده‌های (منو اکسید کربن، ازن، دی اکسید گوگرد، دی اکسید نیتروژن) از منظر استاندارد در وضعیت مطلوب قرار داشته‌اند که این وضعیت کم و بیش در تمامی سال‌ها تکرار شده همچنین نمودار درصد گروه‌های مختل و نمودار دایره‌ای تعداد روزهای هر گروه میزان آلودگی در کل طول دوره‌ی مطالعه نیز نشان می‌دهد که آلودگی روندی نزولی دارد و از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ بر تعداد روزهای سالم



افزوده شده است. بنابراین، نتایج بررسی الگوی میانگین غلظت ماهانه و سالانه آلاینده‌ها طی سال‌های مزبور به غیر از "آلاینده ذرات معلق" روندی کاهشی را نشان می‌دهد که به نظر می‌رسد این سیر توالی آلودگی هوا در سال‌های ۱۳۹۶ به بعد تکرار گردد.

نتایج با تحقیقات (Azhdapour and Asilian, 2007) و (Asari and Ghole, 2007) همسو می‌باشد.

دستاوردهای این پژوهش در راستای پایش کیفیت هوای شهر تهران عبارتند از:

نخست: دستیابی به وضعیت دقیق آلودگی هوای شهر تهران طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۹۵ با بکارگیری محاسبه شاخص کیفیت AQI در چهارچوب فرایند برنامه‌ریزی شهری پایدار با هدف کاهش آلودگی هوا.

سپس: دستیابی به شناخت دقیقتر ماه‌ها و سال‌های بیشتر آلوده و آلاینده شاخص جهت برنامه‌ریزی بلند مدت. نتایج و دستاوردهای این پژوهش می‌تواند راهبردی مشخص برای مدیران و برنامه‌ریزان شهری جهت تعیین قوانین، ضرورت‌ها و الزامات شهر تهران برای کاهش آلودگی هوا باشد.

از آنجایی که آلاینده ذرات معلق بیشترین سهم را در آلودگی هوای تهران در طی سال‌های مورد مطالعه داشته است در بخش پیشنهادات نتایج سایر آلاینده‌ها را ثابت نگه داشته و به پیشنهاد و ارائه راه کار برای کاهش آلاینده مزبور و راه کارهایی جهت کاهش آلودگی هوای شهر تهران بیان می‌داریم.

#### پیشنهادها

در صورت کاهش غلظت آلاینده ذرات معلق تعداد روزهای آلوده شهر تهران نیز کاهش خواهد یافت. بنابر این در این رابطه می‌توان به نکات ذیل اشاره داشت:

۱- تنظیم مقررات سخت گیرانه در استفاده از وسایط نقلیه موتوری- کارخانجات و نیروگاه های آلوده کننده در ماه‌های خرداد و تیر در فصل تابستان و دی در فصل زمستان، این کار می‌تواند از طریق سازمان‌های هماهنگ کننده که وظیفه نظارت بر محیط زیست و هوا را به عهده دارند انجام گردد.

۲- خروج و اسقاط خودروهای فرسوده از ناوگان حمل و نقلی شهر تهران باعث کاهش غلظت ذرات معلق و ازن خواهد شد.

۳- ادامه یافتن روند افزایش مصرف گاز طبیعی به جای سوخت‌های فسیلی در صنایع که در طی سال‌های ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۵ باعث کاهش غلظت دی اکسید گوگرد، منوکسید کربن، اکسیدهای ازت شده است.

۴- گسترش حمل و نقل عمومی (گسترش خطوط مترو، اتوبوس‌های گاز سوز و افزایش خطوط ویژه اتوبوس‌های تندرو) در سفرهای روزانه درون شهری.

۵- محدودیت فعالیت‌های آلوده کننده در جنوب و جنوب شرق شهر تهران.

۶- سرویس و استفاده از سیستم سرمایش و گرمایش متمرکز که به برنامه‌ریزان شهری جهت بوجود آوردن شهر سالم‌تر کمک خواهد کرد. انتشار گازهای گل‌خانه‌ای را کاهش خواهد داد و نتیجه آن کاهش قابل توجه اکسید نیتروژن و اکسید گوگرد و جلوگیری از باران‌های اسیدی و آلودگی هوا است.

۷- حذف دودکش و لوله‌کشی برج خنک‌کننده بر روی بام موجب بهبود چشم‌انداز شهری شده و همزمان فضاهای صرفه‌جویی شده می‌تواند برای پروژه‌های معماری سبز استفاده گردد.

- ۸- سرمایه گذاری و سیاست‌های درست حمل و نقل شهری مانند احترام و اجرای مقرراتی که برپایه دستاوردهای علمی برای مقابله با آلودگی هوا تنظیم شده‌اند.
- ۹- ایجاد مسیرهایی گذر پیاده و سواره (دوچرخه) از میان پارک‌ها و باغ‌های عمومی شهر تهران.
- ۱۰- افزایش سرانه فضای سبز شهر تهران و بررسی گونه‌های گیاهی مؤثر در جذب ریزگردها و آلودگی هوا.
- ۱۱- تقویت جریان هوا، ممانعت و پیشگیری از محصور شدن آن در فضا در مناطق آلوده و متراکم شهر تهران با بهبود نفوذ باد و نسیم خصوصاً در ماه‌های آلوده.
- ۱۲- جا نمایی صحیح بزرگراه‌ها و آزاد راه‌ها در جهت حرکت مطلوب باد، جهت عبور غبار و آلودگی از میان شهر تهران و ایجاد رابطه منطقی بین ارتفاع مساکن و مسیرهای حرکتی در مناطق پر تراکم و اطراف شهر تهران.

## References

- Annual Tehran Air Quality Report. (2011), Monitoring and Air Quality Control Research Co., p. 1-133. (In Persian)
- Annual Tehran Air Quality Report. (2012), Air Quality Monitoring and Monitoring Co., p. 19-19. (in Persian)
- Annual Tehran Air Quality Report. (2013), Monitoring and Quality Control of Air Quality Research, p. 15-15. (In Persian)
- Annual Tehran Air Quality Report. (2014), Air Quality Monitoring and Monitoring Company, p. 1-195. (In Persian)
- Annual Tehran Air Quality Report. (2015), Air Quality Monitoring and Monitoring Company, p. 1-192. (In Persian)
- Annual Tehran Air Quality Report (2016), Monitoring and Air Quality Control Research Co., p. 1-24. (In Persian)
- Asari, E., Ghole, V.S., Sen, P. (2001), Study on the status of SO<sub>2</sub> in the Tehran-Iran. *Jornal Science Environment Mgt.* 2 (10), 75-82. (In Persian)
- Azhdapour, A, Asilian, H. (2007). A Study on the Three Years Concentration of Teeth Drop and Carbon Monoxide in Tehran, First Conference on Environmental Engineering, Tehran,. P.125-117. (In Persian)
- Bell, T., M.L., Davis, D.L., (2001), Reassessment of the lethal London fog of 1952, novel indicator of acute and chronic consequent of acute exposure to air pollution, *Environmental Health Perspectives*, 109, 389-394.
- Canepa, E., Modesti, F., Rato, C.F., (2000), Evaluation of the SAFE-AIR code against Air pollution field and laboratory experiments atmospheric environment. 34, 4805-4818.
- Dabiri M. (2008), Pollution of the air. Tehran: Union p. 399. (In Persian)
- Dosio, A., de Arellano, J.V.G., Holtslag, A.A.M., Builtjes, P.J.H., (2005), Relating Eulerian and Lagrangian statistics for the turbulent dispersion in the atmospheric convective boundary layer, *Meteorology and Air Quality Section*, April. 1175-1191.
- Efendi Zadeh, Sh., Rahimi, (2008), Evaluation of the Effects of Air Pollution Caused by the Transportation System in Tehran. Fourth National Congress on Civil Engineering, University of Tehran. NCCE04\_351. P. 56-47. (In Persian)
- Ghanbari, H., (2003), The Role of Natural Factors in Tehran Air Pollution, Master Thesis, Faculty of Geosciences, Shahid Beheshti University. (In Persian)
- Hessami, Z., Avishan, M., (2006), Challenges for Sustainable Development in Air Pollution in Tehran or Emphasis on Transportation. Second Conference of Air Pollution and its Effect on Health. p. 32-25. (In Persian)
- Hosoi, S., Yoshikado, H., Gaidajis, G., Sakamoto, K., (2011), Study of the relationship between elevated concentration of photochemical oxidants and prevailing meteorological conditions in the North Kanto area, Japan, *Water, Air, & Soil Pollution*, 215, 105-116.

- Ismaili Sari, AS. 2002. Environmental pollutants and standards. Tehran: The role of Mehr, ISBN: 964-6145-52-3. p. 798. (In Persian)
- Khazadeh H., (2015), Air pollution in Tehran, reasons and strategies for controlling and preventing it, Faculty of Law, Tehran University p. 1-5. (In Persian)
- Khorasanian, Z., (2013), Evaluation of the Effectiveness of Air Pollution Control Programs in Tehran Using Qualitative Analysis of the Dissertation. Master's thesis, Natural Sciences Research Institute of Shahid Beheshti University, p. 114. (In Persian)
- Kim Oanh, N.T., Chutimon, P., Ekbordin, W., Supat, W., (2005), Meteorological pattern classification and application for forecasting air pollution episode potential in a mountain - valley area, Atmospheric Environment, 39, 1211-1225.
- Rafiee, E., Ghaderi, f., Sen, P. (2015), Dynamic Dynamic System Modeling Impact of Population Growth and Air Pollution on Rainfall In metropolises, a case study of Tehran. Third National Conference on Air Pollution and Sound Management  
Tehran - International Broadcasting Center No. 1167, ۱-۷. (In Persian)
- Rahimi, J., Rahimi, A.S., (2010), Study of the effects of urban spatial development on air pollution in Tehran metropolis, Fourth Tehran Geo-Technical Geological Conference. P. 124-115. (In Persian)
- Rooshan, GH., KHoosh AKhlagh, F., Negahban, S., Mir katooli, J., (2009) The Effect of Air Pollution on Tehran's Climate Fluctuations, Journal of Environmental Science, Vol7, No1, p. 173-192. (In Persian)
- Saed, N., Tilla, P., (2008), Collection of laws and regulations for protecting the environment of Iran. Tehran, P. 464. (In Persian)
- Taghavi, F. (2010), Relationship between climate change and extreme events, Journal of Physics of Earth and Space, Volume 36, Number 2., P. 43-33. (in Persian)
- Tern, A.C., (1982), History of Air Pollution legislation in the United States, Journal of the Air Pollution control Association. 32(1), 236-245.
- Vernet, J., (1997), Environment, Science and Culture, First Printing, p. 30-28.
- Vicent, A.B –San Feliu, T., Jordan, M.M., (2012), Assessment of PM10, As, Cd, Ni and Pb, Journal of Environmental Management, 108(12), 92-101.
- Wang P., Mu H., (2010), Random walk model simulation of air pollutant dispersion atmospheric boundary layer in China, Environmental Monitoring and Assessment, 172, 507-515.
- Zamir, R., Iikani, M., (2001), Pollution of Tehran Third Iranian National Energy Conference. Tehran. p. 26-18. (In Persian)