

تحلیل زمانی- مکانی شاخص کیفیت هوای شهر تهران در دوره ده‌ساله^۱

فائزه افریده - دانشجوی دکتری مدیریت محیطی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی دانشگاه اصفهان
محمدحسین رامشت^۲ - استاد، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان
گراهام مورتین - استاد، دپارتمان جغرافیا و مؤسسه ایکتا، دانشگاه اتوناما بارسلونا

دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۳۱ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۰

چکیده

آلودگی هوا، با توجه به پیامدهای زیان‌بار آن، به یکی از ملموس‌ترین معضلات زیست‌محیطی تهران تبدیل شده است و بررسی و مطالعه بر روی آلودگی هوای تهران به‌عنوان مسئله بسیار مهم در پژوهش‌های مختلف مدنظر قرار گرفته است. اندازه‌گیری آلودگی هوا با استفاده از شاخص کیفیت هوا و توسط ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا انجام می‌گیرد. هدف از این پژوهش بررسی تغییرات زمانی- مکانی آلودگی هوا در دو ماه آذر و دی در طی ده سال (۱۳۸۹-۱۳۹۸) با استفاده از میانگین داده‌های شاخص کیفیت هوا در سطح شهر تهران است. بدین منظور، داده‌های کیفیت هوا از ۲۱ ایستگاه کنترل کیفیت هوای شهر تهران استخراج و میانگین داده‌های کیفیت هوا در دو ماه موردنظر محاسبه شد و نقشه‌های درون‌یابی به روش IDW در محیط نرم‌افزار ArcGIS ترسیم شد. سپس، درصد وسعت پهنه‌های آلودگی هوا در سطح شهر تهران محاسبه شد و نقشه‌ها روی هم انداخته شد و تجزیه و تحلیل گردید. نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد در ماه‌های آذر و دی، طی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸، بیشترین وسعت شهر تهران به ترتیب در پهنه‌های نسبتاً سالم (۵۴ درصد)، ناسالم برای گروه‌های حساس (۲۳ درصد)، سالم (۲۰ درصد) و پاک (۱/۵ درصد)، و ناسالم (۰/۵ درصد) قرار دارد. به عبارتی، کمتر از ۲ درصد وسعت شهر تهران در پهنه پاک قرار گرفته است و حتی در برخی از سال‌ها در شهر تهران هوای پاک در این دو ماه وجود نداشته است. از نظر زمانی، سال ۱۳۸۹، با دارا بودن بیش از ۷۰ درصد پهنه ناسالم برای گروه‌های حساس، جزو آلوده‌ترین و سال ۱۳۹۳ جز پاک‌ترین سال‌های مورد بررسی محسوب می‌شود. همچنین، ایستگاه صنعتی شریف و شاداباد بدون داشتن پهنه پاک و با داشتن AQI ۷۵ به بالا جزو آلوده‌ترین ایستگاه‌ها در همه سال‌ها بوده‌اند. بنابراین، مسئله آلودگی هوای شهر تهران، علاوه بر بُعد مکانی (قرارگرفتن وسعت وسیعی از شهر در پهنه ناسالم)، مسئله‌ای زمانی (آلودگی زیاد در دوره زمانی طولانی‌مدت) نیز هست. در پایان دلایل مؤثر بر توزیع زمانی- مکانی اعم از طبیعی و انسانی (حمل و نقل و صنعت) بررسی و در مقیاس‌های ایستگاهی یا کلی تحلیل شده است.

واژگان کلیدی: آلودگی هوا، تحلیل زمانی- مکانی، شاخص کیفیت هوا، شهر تهران.

مقدمه

شهر سیستمی است در نهایت پیچیدگی که به واسطه شرایط اجتماعی، اقتصادی، محیطی، ارتباطات، و فرایندها شکل یافته است (فرگکو، ۲۰۰۹: ۲۶). شهرها، به دلیل تراکم جمعیت و فشردگی فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی، مهم‌ترین مراکز مصرف منابع انرژی و تولیدکننده مواد آلوده‌کننده جوی به‌شمار می‌روند (زینگ و همکاران، ۲۰۰۹: ۲۰۹). روند

۱. این مقاله مستخرج از رساله دکتری است. همچنین، تحت حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور انجام شده است.

m.h.ramesht@geo.ui.ac.ir

۲. نویسنده مسئول: ۰۹۱۳۱۱۶۰۲۴۵

افزایش جمعیت و صنعتی شدن باعث افزایش آلودگی هوا در کلان شهرهای کشورهای در حال توسعه شده است و امروزه آلودگی هوا یکی از مهم ترین مشکلات زیست محیطی کلان شهرها محسوب می شود. در این میان آلودگی هوای تهران به یکی از معضلات جدی شهری تبدیل شده است و به ویژه در فصل سرد سال باعث بروز بیماری های مختلف قلبی و عروقی، تنفسی، و آلرژی در شهروندان تهرانی می شود. سیر صعودی افزایش پدیده آلودگی جوی از نظر غلظت و نوع آلاینده از منظر سازمان ها به ویژه سازمان حفاظت محیط زیست به مرز هشداردهنده ای رسیده است (شفیع پور، ۱۳۸۷: ۴۰). سلامت افراد جامعه به صورت مستقیم تحت تأثیر کیفیت هوای منطقه ای که در آن زندگی می کنند یکی از پیش نیازهای ضروری جهت کنترل کیفیت هوا، تعیین میزان واقعی آلاینده ها، و توصیف کیفیت هوا در مقایسه با شرایط استاندارد است (گلباز و همکاران، ۱۳۸۷). بدین منظور می توان از شاخص هایی مانند شاخص کیفیت هوا، شاخص استاندارد آلودگی، و شاخص استاندارد آلودگی هوا استفاده کرد (ندافی و همکاران، ۲۰۱۲). شاخص کیفیت هوا (AQI) معمول ترین ابزار کلیدی برای آگاهی از کیفیت هوا و روش های محافظتی در برابر آلودگی هواست. کیفیت هوا می تواند روز به روز یا ساعت به ساعت تغییر یابد. این شاخص بیان می کند که هوا پاک یا آلوده است و میزان ارتباط آن با سطوح سلامتی انسان تا چه حد است. AQI میزان تأثیرات هوای آلوده بر سلامتی انسان را نشان می دهد. امروزه روش های مختلفی برای تخمین آلودگی هوا وجود دارد. یکی از این روش ها تلفیق اطلاعات ایستگاه های سنجش آلودگی و روش های درون یابی است. با استفاده از این روش می توان تغییرات زمانی - مکانی شاخص کیفیت هوا را در مکان ها و زمان های مختلف مشخص کرد.

اهمیت و ضرورت تحقیق از اینجا ناشی می شود که مرکز سیاسی کشور با جمعیت ده ها میلیون نفر امروزه بیش از ۲۰۰ روز آلودگی جوی دارد (صیدایی و همکاران، ۱۳۹۷). در این پژوهش به بررسی تغییرات زمانی - مکانی شاخص کیفیت هوا با روش درون یابی IDW در ماه های آذر و دی از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸ پرداخته می شود. با توجه به شدت این شاخص در طی این ده سال، نخست دو ماه آذر و دی به عنوان آلوده ترین ماه ها انتخاب شدند و سپس برای ادامه کار داده های کیفیت هوای ۲۱ ایستگاه سنجش آلودگی هوای شهرداری تهران محاسبه و نقشه های درون یابی ترسیم شدند.

پیشینه پژوهش

کلان شهر تهران به دلیل تمرکز شدید جمعیت، استقرار صنایع و کارخانه ها در داخل و حومه شهر، تردد بسیار زیاد وسایل نقلیه، و مصرف بالای سوخت های فسیلی یکی از آلوده ترین شهرهای جهان محسوب می شود (صفوی و علیجانی، ۱۳۸۵). تاکنون مطالعات زیادی در رابطه با سطح شاخص کیفیت هوا در شهرهای ایران انجام گرفته است.

عیسی لو و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعه ای با نام «آسیب پذیری فضایی و بحران آلودگی هوا در کلان شهر تهران» بیان می کنند: کلان شهر تهران با تمرکز بالای منابع آلاینده هوا (ثابت و متحرک) و توزیع نامتعادل آن در سطح شهر دارای نواحی مختلف با سطوح متفاوتی از کیفیت هواست. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که نواحی غرب و جنوب شهر تهران به سبب تراکم بالای جمعیت و همچنین منابع آلاینده آسیب پذیری بیشتری نسبت به سایر بخش های شهر از خود نشان می دهد که می تواند زنگ خطری برای سلامت شهروندان ساکن در این بخش از شهر باشد.

شهبازی (۱۳۹۱) به ارزیابی روش IDW در توزیع فضایی مقدار آلودگی شهر تبریز پرداخت و عوامل مختلف طبیعی و غیر طبیعی مؤثر در آلودگی ها را تجزیه و تحلیل کرد.

صفوی و همکاران (۱۳۹۳) در طی مقاله ای با نام «پهنه بندی فصلی و مکانی شاخص کیفیت هوا و آلاینده های هوای

محیطی شهر تبریز»- به کمک نرم‌افزار Arc Gis و بررسی مشکلات اجرایی موجود- کیفیت هوای شهر تبریز را بر اساس پارامترهای سنجش آلودگی هوا در فصول مختلف بررسی و ارزیابی کردند.

جمشیدی و همکاران (۱۳۹۵)، با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی (GIS)، آلاینده‌های زیست‌محیطی حاصل از ایستگاه‌های اندازه‌گیری آلاینده‌ها در شهر اصفهان را به منظور بررسی پراکندگی مکانی آلاینده‌ها و همچنین استفاده از شاخص استاندارد آلودگی هوا جهت شناسایی مکان‌های آلوده و پاک، پراکندگی، نوع و میزان آلاینده‌ها شناسایی کردند.

محبوب‌فر و همکاران (۱۳۹۶) در مقاله‌ای با نام «بررسی روند تغییرات شاخص کیفیت هوا در راستای مدیریت بحران آلودگی هوای شهر اصفهان» به بررسی نقش مدیریت بحران در ارتباط با کاهش مخاطرات محیطی پرداختند و مشخص کردند که میانگین شاخص کیفی هوای شهر اصفهان در ماه آبان برابر ۱۶۷ با وضعیت هوای آلوده و ناسالم برای عموم بوده است. با افزایش غلظت آلاینده‌ها در همین ماه و ماه‌های آذر و دی و با ظهور پدیده وارونگی هوا، و میزان آلاینده‌های هوای اصفهان از مرز هشدار گذشته است.

رنجبر و باهک (۱۳۹۷) نیز به بررسی تغییرات زمانی و مکانی آلاینده‌های هوا در نیمه شمالی شهر تهران پرداختند. بر اساس مطالعه آن‌ها، غلظت سه آلاینده مونواکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن، و دی‌اکسید گوگرد در زمستان به حداکثر می‌رسد، اما غلظت ذرات معلق و ازن تروپوسفری در تابستان بیشتر است. همچنین، همه آلاینده‌ها با عناصر اقلیمی همبستگی معنادار نشان دادند. ضریب همبستگی مونواکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن، و دی‌اکسید گوگرد با باد منفی و با دما و فشار سطح زمین مثبت است. همبستگی ازن و ذرات معلق با دما و سرعت باد مثبت و با فشار و رطوبت منفی است.

بیتی یو کوا و کاسیموف (۲۰۱۲) در پژوهشی با نام «آلودگی جوی شهرهای روسیه؛ تخمین میزان انتشار آلاینده‌ها بر اساس اطلاعات آماری» اعلام کردند که در روسیه قریب به ۶۰ میلیون نفر در شهرهایی با میزان بالایی از آلودگی هوا زندگی می‌کنند. تحلیل آماری تطبیقی از انتشار یا عدم انتشار آلاینده‌های هوا در ۱۰۹۹ شهر کشور، نقش اقلیم و عوامل مرتبط با محیط زیست، ترکیب و نوع سوخت، و تأثیر تراکم و توپوگرافی شهری را بر روی نحوه توزیع آلاینده‌ها در اتمسفر شهرها نمایان می‌کند.

در مطالعه ورما و همکاران (۲۰۱۶)، که به ارزیابی شاخص کیفیت هوا در شهرهای بزرگ ایالت چاتیسگره کشور هند پرداختند، شاخص کیفیت هوا در شهرهای راپور، بیلاسپور، و رایگار به ترتیب ۳۸۰، ۳۰۸، و ۲۲۳ بوده است. بالا بودن شاخص‌ها در این شهرها به دلیل وجود تعداد زیادی از وسایل نقلیه همراه با افزایش جمعیت گزارش شده است. بر اساس نتایج بررسی کیفیت هوا در چیتاگونگ، مقادیر CO، SO₂، O₃، NO₂، و هیدروکربن‌ها در هوای این شهر در محدوده مجاز بوده است.

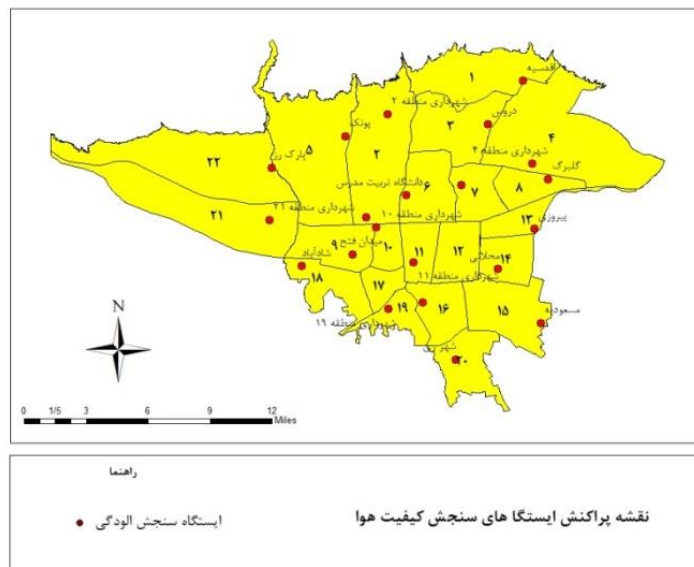
فری و لیدیا (۲۰۱۶) به تحلیل آلودگی هوای شهر والنسیا در اسپانیا پرداختند. در این مقاله به بررسی چهار عنصر آلاینده هوا در شش مکان مختلف توسط چند مدل رگرسیون پرداخته شده است و در نهایت مدل درونیابی مناسب با داده‌ها و جهت وزش باد پیشنهاد داده شده است.

مواد و روش‌ها

با توجه به هدف پژوهش، روش کلی تحقیق توصیفی-تحلیلی است. بنابراین، در جهت اجرای تحقیق، به بررسی آمار مربوط

به آلودگی هوا طی دو ماه آذر و دی، به عنوان آلوده‌ترین ماه‌ها از نظر شاخص کیفیت هوا (AQI)، طی ده سال (۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸) پرداخته شد. در این راستا، داده‌های کیفیت هوا از ۲۱ ایستگاه کنترل کیفیت هوای وابسته به شهرداری تهران استخراج شد. این ایستگاه‌ها عبارت‌اند از: ایستگاه محلاتی، اقدسیه، پارک رز، پونک، پیروزی (منطقه ۱۳)، تربیت مدرس، دوس، ستاد بحران، شادآباد، صنعتی شریف، شهر ری (منطقه ۲۰)، شهرداری منطقه ۲، شهرداری منطقه ۴، شهرداری منطقه ۱۰، شهرداری منطقه ۱۱، شهرداری منطقه ۱۶، شهرداری منطقه ۱۹، شهرداری منطقه ۲۱، گلبرگ، مسعودیه، و میدان فتح.

در شکل ۱ نقشه مناطق تهران و پراکنش ایستگاه‌های سنجش کیفیت در سطح شهر تهران نمایش داده شده است.



شکل ۱. نقشه پراکنش ایستگاه‌های سنجش کیفیت در سطح شهر تهران

در ادامه میانگین هر یک از ماه‌های آذر و دی در هر سال محاسبه شد. به منظور عدم تأثیرگذاری داده‌های میسینگ بر روی روند تحلیل، از میانگین توزیع نرمال برای محاسبه استفاده شد. بر اساس داده‌های محاسبه‌شده، نقشه‌های درون‌یابی به روش IDW ترسیم شد. انتخاب این روش با توجه به نوع داده‌های موجود صورت گرفت. روش IDW Original مناسب داده‌هایی است که اثر وزنی دارند. به بیان دیگر، پیکسل‌های نزدیک به نقاط نمونه آلودگی اثر بیشتری نسبت به پیکسل‌های دورتر از این نواحی می‌گیرند (شاد، ۲۰۰۷: ۱۰۱).

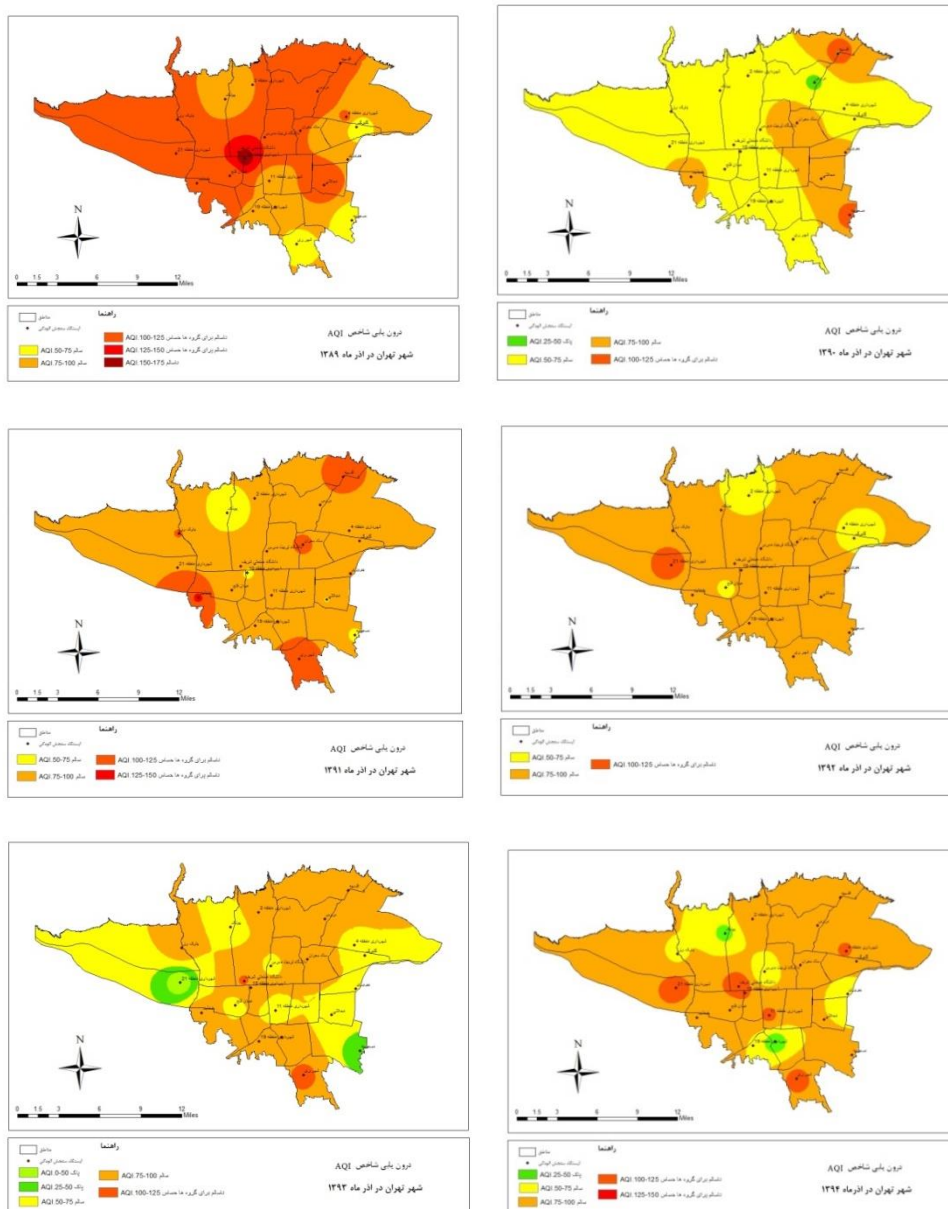
نقشه‌های ترسیم‌شده بر اساس شاخص آلودگی هوا طبقه‌بندی شد و به منظور نمایش دقیق‌تر تغییرات هر طبقه به دو دسته ۲۵ تایی تقسیم شد و درصد وسعت پهنه‌های آلودگی هوا در سطح شهر تهران محاسبه گردید. به منظور شناسایی تغییرات و پهنه آلودگی هوا در طی این دوره زمانی، نقشه‌های هر ماه جداگانه روی هم قرار داده شد و تجزیه و تحلیل شد و بدین ترتیب کیفیت هوا تحلیل زمانی - مکانی شد. هرچند تحلیل علمی عمیق، دلایل، و عوامل مؤثر بر توزیع زمانی - مکانی آلودگی هوا مسئله اصلی این پژوهش نبوده است، در بخش تجزیه و تحلیل، نقش عوامل مختلف طبیعی و انسانی بررسی شده است.

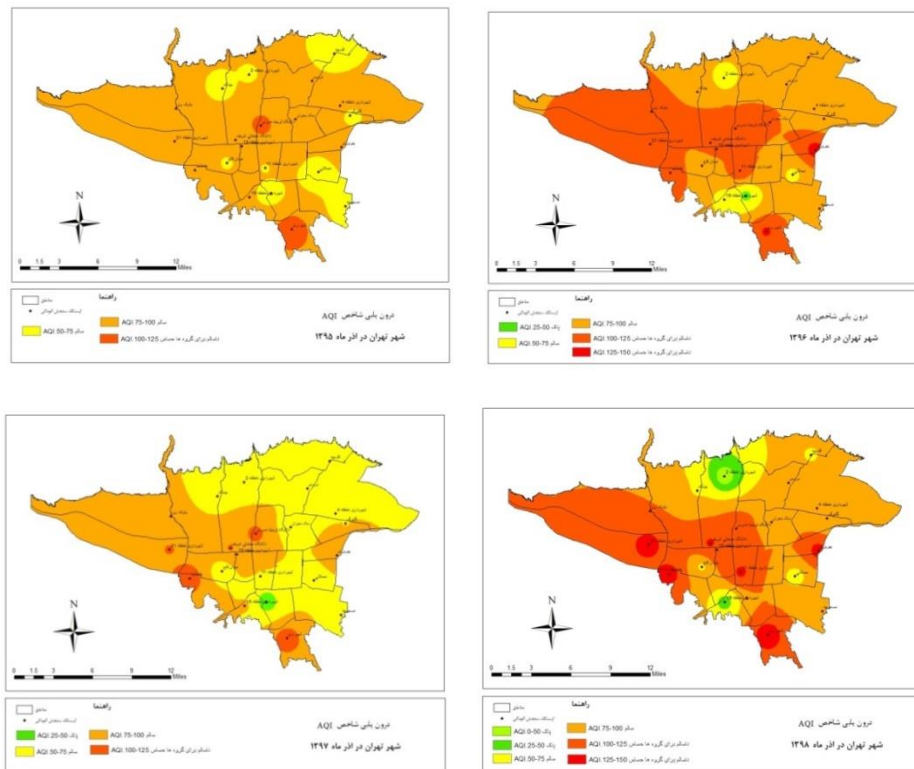
یافته‌های پژوهش و تجزیه و تحلیل

کلان‌شهر تهران به دلیل تمرکز شدید جمعیت، استقرار صنایع و کارخانه‌ها در داخل و حومه شهر، تردد بسیار وسایل

نقلیه، و مصرف بالای سوخت‌های فسیلی یکی از آلوده‌ترین شهرهای جهان محسوب می‌شود (صفوی و علیجانی، ۱۳۸۵). بررسی مناطق و میزان آلودگی و همچنین تغییرات آن‌ها یکی از انواع مطالعاتی است که در مورد آلودگی هوا صورت می‌گیرد.

در این پژوهش با توجه به آمارهای شاخص کیفیت هوای ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوای شهر تهران و ترسیم نقشه‌های درون‌یابی با استفاده از این شاخص‌ها به بررسی تغییرات زمانی - مکانی میانگین آلودگی هوا پرداخته شده است.





شکل ۲. نقشه‌های درون‌یابی شاخص کیفیت هوای شهر تهران در آذرماه سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۹۸

با توجه به شکل ۲، در نقشه سال ۱۳۸۹، نیمه شمالی و غربی تهران آلودگی زیادی داشته است. در سال ۱۳۹۰ بیشترین میزان آلودگی در شمال شرق و جنوب شرق تهران مشاهده شده است. نقشه سال ۱۳۹۱ نشان‌دهنده آلودگی شدید در قسمت جنوب شرق و جنوب غرب تهران است و به سمت شمال غرب از میزان آلودگی کاسته می‌شود. در سال ۱۳۹۲، آلودگی زیادی در قسمت جنوب شرق و جنوب غرب تهران قابل مشاهده است و به سمت نواحی شمالی آلودگی هوا کاهش می‌یابد. نقشه آذر ۱۳۹۳ نشان‌دهنده افزایش آلودگی به سمت جنوب و شمال شهر تهران است. نقشه آذر ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ و ۱۳۹۷ نشان‌دهنده وجود هوای سالم در بیشتر قسمت‌های شهر تهران است و در نقشه سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۶ به سمت مرکز و غرب آلودگی افزایش می‌یابد.

در جدول ۱، درصد وسعت پهنه‌های آلودگی هوا در سطح شهر تهران بر اساس نقشه‌های ترسیم‌شده برای آذرماه هر سال محاسبه شده است.

جدول ۱. درصد وسعت پهنه‌های آلودگی هوا در سطح شهر تهران در آذرماه سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۹۸

میانگین دهساله	۹۸	۹۷	۹۶	۹۵	۹۴	۹۳	۹۲	۹۱	۹۰	۸۹	آذر
۱,۲۳۵	۰,۵۵	۰	۰	۰	۰	۰,۹۶	۰	۰	۰	۰	کاملاً پاک
۱,۶۴۶	۲,۳۵	۰,۶۱	۰,۱۷	۰	۲,۲۴	۳,۸۶	۰	۰	۰,۴۲	۰	نسبتاً پاک
۲۲,۷۵۴	۸,۲۱	۵,۹۲	۴,۵۶	۱۵,۴۹	۱۴,۹۲	۳۸,۸۸	۹,۴	۴,۴۶	۷۵,۵	۵,۲	سالم
۵۸,۶۳۳	۴۷,۵۶	۴۵,۵	۵۲,۰۱	۸۱,۸۸	۷۹,۰۶	۵۵,۰۲	۸۸,۵	۸۴,۲۷	۲۲,۲۳	۳۰,۳	نسبتاً سالم
۱۶,۸۸	۳۷,۸۲	۲,۹۲	۴۲,۸	۲,۶۲	۴,۷	۱,۲۵	۲,۰۶	۱۱,۱۲	۱,۸	۶۱,۶	نسبتاً ناسالم برای گروه‌های حساس
۱,۲۴۹۲	۳,۴۸	۰	۰,۴۳	۰	۰,۰۰۶	۰	۰	۰,۱۳	۰	۲,۲	ناسالم برای گروه‌های حساس
۰,۴۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰,۴۷	ناسالم

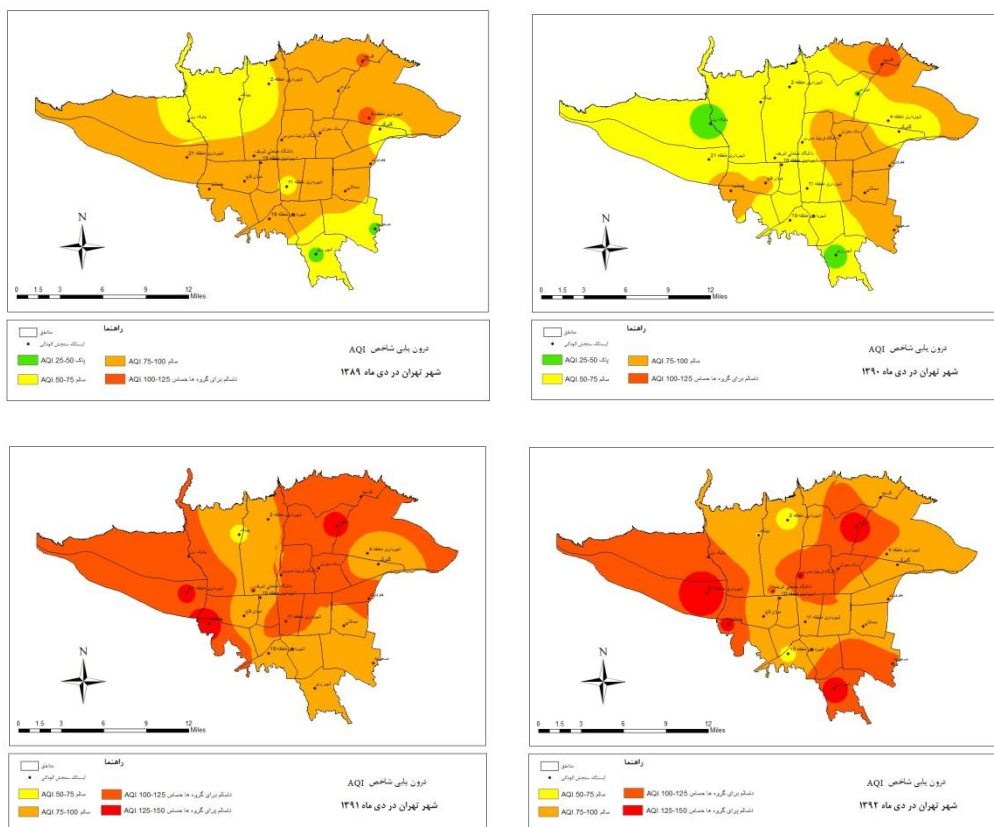
مأخذ: نگارندگان

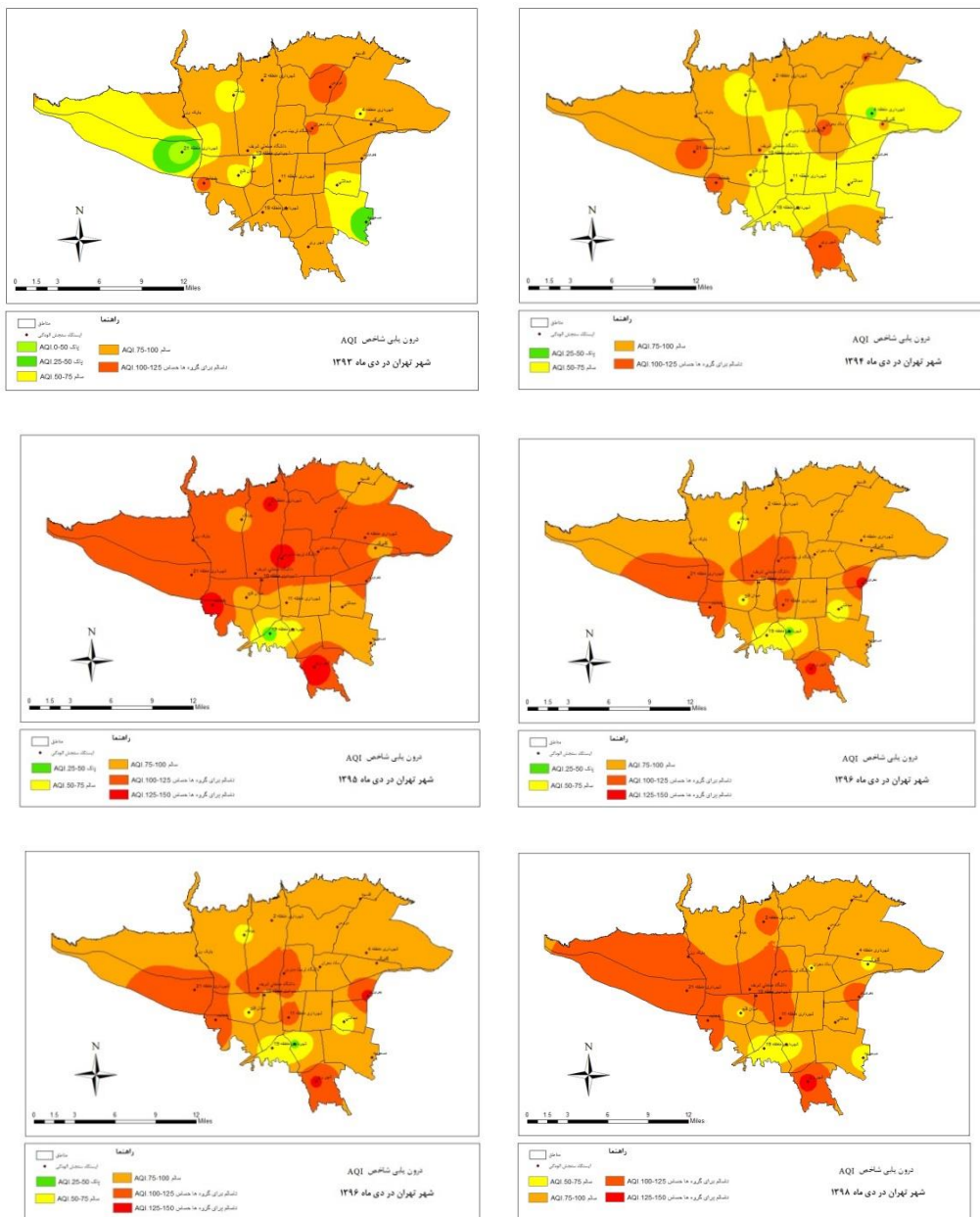
- بر اساس محاسبات انجام‌شده، که در جدول بالا قابل مشاهده است، به‌طور میانگین، حدود ۳ درصد وسعت شهر تهران در پهنه هوای پاک قرار داشته است که بیشترین مقدار آن در سال ۱۳۹۳ بوده است. در برخی سال‌ها، مانند سال‌های ۱۳۸۹، ۱۳۹۱، ۱۳۹۲، و ۱۳۹۵، هیچ نقطه‌ای از شهر تهران در پهنه هوای پاک قرار نگرفته است.

- در مدت مورد مطالعه به‌طور میانگین ۵۸ درصد وسعت شهر تهران در پهنه نسبتاً سالم قرار می‌گیرد. در برخی از سال‌ها، مانند سال ۱۳۹۲، این وسعت به ۸۸ درصد و در برخی دیگر مانند سال ۱۳۹۰ فقط ۲۰ درصد از وسعت شهر تهران را شامل می‌شود. وسعت بعدی آلودگی هوای تهران را می‌توان به پهنه سالم با میانگین ۲۲ درصد اختصاص داد که بیشترین وسعت این پهنه با میانگین ۷۵ درصد در سال ۱۳۹۰ قرار دارد.

- پهنه ناسالم برای گروه‌های حساس با مقدار AQI بالای ۱۰۰، به‌طور میانگین، ۱۸ درصد از وسعت شهر تهران را فراگرفته است. بیشترین وسعت این پهنه در سال ۱۳۸۹ با میانگین بیشتر از ۶۸ درصد قرار گرفته است.

- در سال ۱۳۸۹ از کل وسعت شهر تهران فقط ۰/۵ درصد در پهنه ناسالم با مقدار AQI بالاتر از ۱۵۰ قرار گرفته است.





شکل ۳. نقشه‌های درون‌یابی شاخص کیفیت هوای شهر تهران در دی‌ماه سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۹۸

بر اساس شکل ۳، نقشه سال ۱۳۹۰ نشان‌دهنده افزایش آلودگی به سمت شمال و شرق تهران است. در نقشه سال ۱۳۹۱ آلودگی در بیشتر بخش‌های تهران وجود دارد و در سال ۱۳۹۲ بیشترین آلودگی در بخش‌های مرکزی، جنوبی، و غربی و در سال ۱۳۹۳ در بخش شمالی تهران دیده می‌شود. در نقشه سال ۱۳۹۴ آلودگی در بخش‌های جنوبی و جنوب غربی و در سال ۱۳۹۵ در دو نیمه شمالی و جنوبی وجود دارد. در نقشه‌های دی‌ماه ۱۳۹۶ و ۱۳۹۸ آلودگی هوا به صورت پراکنده در سطح شهر تهران نشان داده شده است.

در جدول ۲، درصد وسعت پهنه‌های آلودگی هوا در سطح شهر تهران بر اساس نقشه‌های ترسیم‌شده برای دی‌ماه هر سال محاسبه شده است.

جدول ۲. درصد وسعت پهنه‌های آلودگی هوا در سطح شهر تهران در دی ماه ۱۳۸۹-۱۳۹۸

دی	۸۹	۹۰	۹۱	۹۲	۹۳	۹۴	۹۵	۹۶	۹۷	۹۸	میانگین ده‌ساله
کاملاً پاک	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۹۴
نسبتاً پاک	۰/۵۷	۳/۲۵	۰	۰	۳/۳۴	۰/۲۱	۰/۳۵	۰/۱۳	۰/۱۰	۰	۱/۱۳
سالم	۲۵/۵۳	۶۶/۶۷	۰/۵۶	۱/۳	۲۲/۴۱	۳۵/۸۵	۲/۴۳	۴/۹۸	۴۱/۴	۴/۴۵	۲۰/۵۵۸
نسبتاً سالم	۷۳/۰۴	۲۸/۲۸	۳۸/۲۴	۴۹/۰۲	۷۰/۰۳	۵۸/۴۱	۲۳/۲۲	۷۳/۸۳	۵۴/۵۷	۵۷/۲۷	۵۲/۵۹۱
ناسالم برای گروه‌های حساس	۰/۸۴	۱/۷۸	۵۸/۲۹	۴۳/۲	۳/۲۷	۵/۵۲	۶۹/۹۱	۲۰/۶	۳/۹	۳۷/۷	۲۴/۵۰۱
کاملاً ناسالم برای گروه‌های حساس	۰	۰	۲/۸۹	۶/۴۷	۰	۰	۴/۰۵	۰/۴۳	۰	۰/۵۷	۲/۸۸۲
ناسالم	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

مأخذ: نگارندگان

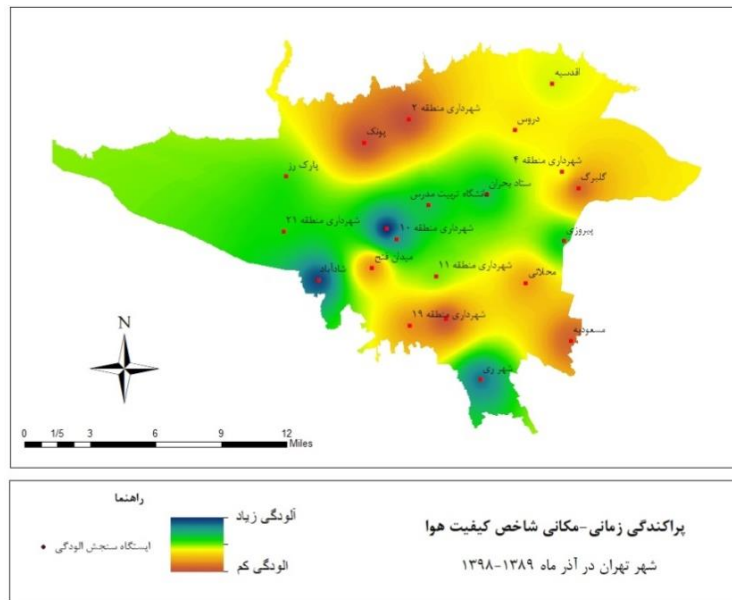
- نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد، به‌طور میانگین، فقط ۲ درصد وسعت شهر تهران در پهنه هوای پاک قرار داشته است که بیشترین مقدار آن در سال ۱۳۹۳ بوده است. در برخی سال‌ها، مانند سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۲، ۱۳۹۷، ۱۳۹۸، هیچ نقطه‌ای از شهر تهران در پهنه هوای پاک قرار نداشته است.
- پهنه سالم نیز به‌طور میانگین فقط ۲۰/۵ درصد وسعت شهر تهران را شامل می‌شود.
- بیشترین وسعت شهر تهران با میانگین ۵۲/۵ درصد در پهنه نسبتاً سالم قرار می‌گیرد. در سال‌های ۱۳۸۹، ۱۳۹۳، و ۱۳۹۶ بیش از ۷۳ درصد و در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ فقط حدود ۲۰ درصد وسعت شهر در پهنه نسبتاً سالم قرار داشته است.
- پس از پهنه نسبتاً سالم پهنه ناسالم با حدود ۲۷ درصد وسعت شهر در جایگاه دوم قرار گرفته است. در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۵ بیش از ۶۹ درصد وسعت شهر در پهنه ناسالم برای گروه‌های حساس قرار می‌گیرد.

مطابق با نتایج به‌دست‌آمده از نقشه‌های ترسیم‌شده و تشخیص و محاسبه پهنه‌های مختلف آلودگی هوا در ده سال مورد بررسی، می‌توان سال ۱۳۸۹ را آلوده‌ترین سال در نظر گرفت. با آمارهای موجود در آذرماه این سال، ۱۱ روز آلودگی هوا با شاخص بالاتر از ۱۵۰ ثبت شده است. بر اساس بررسی‌های انجام‌شده، علت این آلودگی افزایش اینورژن در روزهای آلوده مورد نظر بوده است که مانع صعود قائم هوا به سمت بالا می‌شود و این امر آلودگی هوا را تشدید می‌کند. وجود آلودگی شدید در سال‌های ۱۳۹۶ به بعد می‌تواند به‌علت افزایش وسایل حمل و نقل شخصی و افزایش تردهای بین‌شهری و درون‌شهری باشد. به‌عنوان مثال، مقایسه میزان تردهای انجام‌شده طی سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ در محور آزادراه تهران- کرج نشان می‌دهد که تعداد کل تردها در سال ۱۳۹۰ حدود ۶۴ میلیون و ۴۹۴ هزار تردد بوده است؛ در حالی که این رقم در سال ۱۳۹۵ به ۷۶ میلیون و ۴۲ هزار تردد افزایش یافته است (داده‌های خام تردد شماری سازمان راهداری حمل و نقل جاده‌ای ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵).

با توجه به آمار میانگین مصرف ماهانه بنزین، افزایش این مقدار در سال‌های مورد نظر قابل مشاهده است. به‌طور مثال، در آذرماه سال ۱۳۹۰ این میزان در حدود ۳۴۸۷۲۶ هزار لیتر و در دی‌ماه ۳۴۳۳۳۶ هزار لیتر بوده است که در سال ۱۳۹۷ این میزان به حدود ۳۷۹۴۰۷ و در دی‌ماه ۳۷۴۵۱۸ هزار لیتر افزایش یافته است (سالنامه آماری شهر تهران، شهرداری تهران).

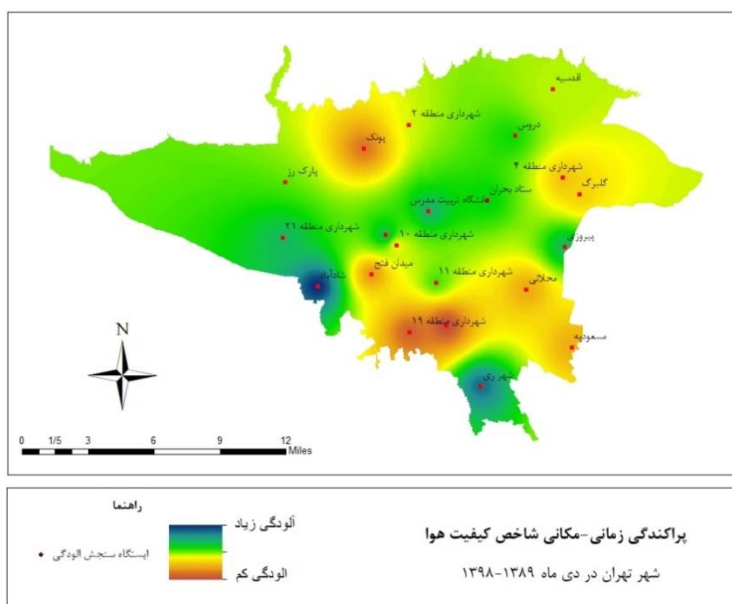
شایان ذکر است، برای بررسی جامع‌تر موضوع، به آمارهای مربوط به میانگین حداکثر سرعت وزش باد در بازه زمانی مورد مطالعه مراجعه شد و ارتباط چندانی بین این دو متغیر یافت نشد. هرچند برای بررسی تفصیلی این موضوع نیاز به آمارهای دقیق‌تر و مطالعات جامع‌تر دارد.

به منظور تعیین گستره میزان آلودگی هوا، با توجه به شاخص AQI، نقشه‌های ده سال دی‌ماه و آذرماه روی هم قرار گرفت و نقشه نهایی زمانی- مکانی آلودگی هوای هر دو ماه ترسیم شد. این نقشه مناطقی با آلودگی‌های متفاوت را در دوره دهساله نمایش می‌دهد.



شکل ۴. نقشه پراکندگی زمانی- مکانی شاخص کیفیت هوای شهر تهران در آذرماه ۱۳۸۹-۱۳۹۸

همان‌طور که در نقشه ۴ مشهود است، مناطق اطراف ایستگاه‌های شهر ری، دانشگاه صنعتی شریف، و شادآباد دارای بیشترین میزان آلودگی و ایستگاه‌های شهرداری منطقه ۲ و پونک دارای کمترین میزان آلودگی‌اند. این نقشه نیز نتایج جدول راه، که حدود ۱۹ درصد وسعت شهر تهران در پهنه ناسالم برای گروه‌های حساس‌اند، تأیید می‌کند. به‌طور کلی، در نقشه ترسیم‌شده مناطق جنوبی، مرکزی، و جنوب غربی آلودگی بیشتری دارند.



شکل ۵. نقشه پراکندگی زمانی- مکانی شاخص کیفیت هوای شهر تهران در دی‌ماه ۱۳۸۹-۱۳۹۸

مطابق با شکل ۵، بیشترین میزان آلودگی در مناطق اطراف ایستگاه شادآباد و شهر ری قابل مشاهده است و اطراف ایستگاه شهرداری منطقه ۱۹ دارای کمترین آلودگی است. نقشه ترسیم‌شده نتایج جدول را، که حدود ۲۸ درصد وسعت شهر تهران در پهنه ناسالم برای گروه‌های حساس‌اند، تأیید می‌کند.

نتایج نقشه‌های ترسیم‌شده تحلیل زمانی - مکانی شاخص کیفیت هوای هر دو ماه مورد بررسی بسیار شبیه به هم‌اند و اختلاف چندانی بین ماه‌های آذر و دی از نظر توزیع زمانی - مکانی آلودگی هوا وجود ندارد. فقط اختلاف ناچیزی در برخی ایستگاه‌ها مانند ایستگاه دانشگاه صنعتی شریف است که در آذرماه آلودگی بیشتری نسبت به دی‌ماه ثبت شده است. می‌توان به این نکته اشاره کرد که ایستگاه صنعتی شریف و شادآباد و شهر ری، بدون داشتن پهنه پاک و با داشتن AQI ۷۵ به بالا در ده سال مورد مطالعه جزو آلوده‌ترین ایستگاه‌ها می‌باشند.

در تحلیل نقش عوامل مختلف در توزیع زمانی - مکانی آلودگی هوا دو عامل طبیعی و انسانی، عوامل مؤثر در آلودگی هوای شهر تهران‌اند و در میان عوامل طبیعی دو عامل اقلیم و توپوگرافی در آلودگی کلی شهر تهران تأثیر گذارند. به‌طور کلی، شرایط توپوگرافی تهران در وضعیت اقلیمی آن تأثیر بسزایی دارد. توپوگرافی تهران متشکل از سه بخش کوهستانی، کوهپایه، و دشت است. ارتفاعات البرز، بخش شمالی و کوه‌های بی‌شهربانو قسمت شرقی تهران را دربر گرفته‌اند. از سمت جنوب به شمال ارتفاع زمین افزایش می‌یابد؛ به‌طوری‌که اختلاف ارتفاع بین قسمت‌های شمالی و جنوبی تهران به حدود ۹۰۰ متر می‌رسد. شیب عمومی تهران نیز جنوبی است. در نتیجه، سدهای کوهستانی شمال و شرق مانع خروج مواد زایدی می‌شوند که توسط بادهای غربی به داخل فضای شهر آورده شده‌اند و سبب می‌شوند که هوای شهر آلوده شوند. با توجه به اینکه بادهای غالب تهران جهت غربی دارند و بیشتر صنایع در غرب تهران مستقرند، می‌توان انتظار داشت که هوای شهر اغلب اوقات آلوده می‌شود. از سوی دیگر، پدیده اینورژن عامل اقلیمی مؤثری در آلودگی هوای شهر تهران است. وقوع این پدیده به دلیل تشعشع شبانه و وجود برف بر روی ارتفاعات شمالی بسیار معمول است.

شرایط انسانی مؤثر در آلودگی هوای شهر تهران می‌تواند تأثیر زیادی در توزیع مکانی آلودگی در سطح شهر داشته باشد. مهم‌ترین این عوامل انسانی آلوده‌کننده هوا شامل حمل و نقل و صنعت‌اند. در این میان، حمل و نقل آلوده‌کننده‌ترین عامل انسانی هوای تهران محسوب می‌شود. در بسیاری از مطالعات موجود، مانند طرح مجموعه شهری (۱۳۸۱)، طرح جامع شهر تهران (۱۳۸۵)، گزارش سیاهه انتشار آلودگی هوای تهران (۱۳۹۲)، و گزارش کیفیت هوای تهران (۱۳۹۰ تا ۱۳۹۸) گزارش شده است که بین ۷۰ تا ۸۵ درصد آلودگی هوای این شهر ناشی از منابع متحرک مانند اتوبوس، تاکسی، موتورسیکلت، و خودروهای سواری است. بنابراین، وجود شبکه راه‌ها، مانند بزرگراه‌ها و خیابان‌های اصلی، وجود خطوط حمل و نقل عمومی، شکل‌گیری کاربری‌های بزرگ‌مقیاس با حجم تولید سفر زیاد و در ادامه وجود مراکز عمده صنعتی همگی در پراکندگی مکانی آلودگی هوا در تهران بسیار مؤثر است. در این مورد می‌توان به ایستگاه‌های اقدسیه، شهر ری، صنعتی شریف، شهرداری منطقه ۱۰، و ایستگاه شادآباد اشاره کرد. به‌طور مثال، ایستگاه اقدسیه به علت نبود خطوط حمل و نقل عمومی مانند خط مترو، وجود بزرگراه‌های ارتش در شمال منطقه، صیاد در شرق، و بزرگراه صدر در جنوب به‌عنوان یکی از ایستگاه‌های نسبتاً آلوده شهر مورد توجه قرار گرفته است. اما پس از افتتاح خط مترو در سال ۱۳۹۴ و در محدوده این ایستگاه کاهش قابل محسوس آلاینده‌ها از آن سال به بعد مشاهده می‌شود. ایستگاه شهر ری، شادآباد، و صنعتی شریف جزو ایستگاه‌هایی با آلودگی بالا در دو ماه آذر و دی در طی ده سال مورد مطالعه است. ایستگاه شهر ری با وجود دارابودن خط مترو در زمره ایستگاه‌هایی با آلودگی بالا محسوب می‌شود که در جست‌وجوی دلایل این پدیده می‌توان به موارد مختلفی اشاره کرد. این منطقه با قرارگرفتن در میان رشته‌کوه‌های

بی‌شهربانو فاقد تهویه طبیعی است. این کوه‌ها مانند سدی در اطراف این منطقه قرار گرفته‌اند و با وزش بادهای غربی مانع خروج آلودگی و تهیه هوا می‌شوند. وجود مراکز صنعتی در غرب و جنوب غرب تهران و در نزدیکی این منطقه عامل دیگر در آلودگی این ناحیه محسوب می‌شود. وجود اتوبان آزادگان به‌عنوان بزرگراهی فراشهری و منطقه‌ای با حجم رفت و آمد و تردد روزانه فراوان عامل دیگری در تشدید آلودگی این منطقه است. از سویی دیگر، شهر ری منطقه‌ای جاذب جمعیت تلقی می‌شود؛ گردشگری مذهبی، تراکم بالای جمعیت، و استفاده زیاد از وسایل نقلیه موتوری از دیگر ویژگی‌های تأثیرگذار بر آلودگی هوا این ناحیه به‌شمار می‌رود.

یکی دیگر از ایستگاه‌هایی که همیشه در زمره ایستگاه‌های آلوده شهر تهران قرار گرفته است شادآباد است. نزدیکی به فرودگاه مهرآباد، بزرگراه‌های آزادگان و تهران - کرج به‌عنوان دو شریان اصلی و پُرتراکم شهری با حجم تردد بسیار زیاد و همچنین نزدیکی به صنایع غربی تهران می‌تواند از دلایل اصلی آلودگی این ایستگاه باشد.

ایستگاه صنعتی شریف و ایستگاه شهرداری منطقه ۱۰ با قراردادن در یکی از مسیرهای پُرتردد شهر تهران (خیابان آزادی) و نزدیکی به میدان آزادی و پایانه‌های برون‌شهری و درون‌شهری با حجم ترافیک بسیار بالا در این قسمت از شهر جزو ایستگاه‌هایی با آلودگی بالا مد نظر قرار می‌گیرند.

دلایلی که در اینجا برشمرده شد برخی از عوامل مؤثر بر پراکنش زمانی - مکانی آلودگی هوای تهران در ایستگاه‌هایی با بیشترین آلودگی است. پرواضح است که درک عمیق‌تر عوامل مختلف آلاینده و تعیین سهم آن‌ها نیاز به مطالعات جامع‌تری دارد.

نتیجه‌گیری

روند افزایش جمعیت و صنعتی‌شدن باعث افزایش آلودگی هوا در کلان‌شهرهای در حال توسعه شده است و امروزه آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی کلان‌شهرها محسوب می‌شود. در این میان آلودگی هوای تهران به یکی از معضلات جدی شهری تبدیل شده است. یکی از شاخص‌های مربوط به آلودگی هوا شاخص کیفیت هوا (AQI) است. با توجه به میانگین این شاخص در دو ماه آذر و دی در طی دوره‌ای ده‌ساله، نقشه‌های درون‌یابی هر دو ماه برای هر سال ترسیم شد. بدین ترتیب، تغییرات زمانی - مکانی آلودگی هوا در زمان‌های مختلف قابل مشاهده‌اند. در ادامه، درصد وسعت پهنه‌های آلودگی هوا در سطح شهر تهران بر اساس نقشه‌های ترسیم‌شده برای هر دو ماه در هر ده سال محاسبه شد. بر اساس نقشه‌های ترسیم‌شده، می‌توان گفت هیچ ایستگاهی در شهر تهران در دو ماه آذر و دی و طی این دوره مطالعه شده کاملاً پاک نبوده است و در طی زمان‌های مختلف هر کدام از مناطق تهران مقدار آلودگی متفاوتی داشتند. به‌طور کلی، آلوده‌ترین مکان‌ها در جنوبی‌ترین بخش تهران قرار دارد. همچنین، این آلودگی از بخش جنوب غربی به سمت مرکز تهران گسترش پیدا کرده است. بر اساس جدول‌های محاسبه‌شده، می‌توان به این نتایج اشاره کرد که در طی ماه‌های آذر و دی پهنه بسیار کمی از شهر تهران در پهنه پاک قرار گرفته است و حتی در سال‌هایی در تهران هوای پاک در این دو ماه وجود نداشته است. آذرماه سال ۱۳۸۹ جزو آلوده‌ترین سال‌های مورد بررسی بوده است. بیشترین وسعت شهر تهران به‌طور میانگین در پهنه نسبتاً سالم قرار می‌گیرد. بر اساس وسعت پهنه ناسالم برای گروه‌های حساس، می‌توان این مسئله را در نظر گرفت که دی‌ماه با وسعت بیشتر این پهنه در طی روند ده‌ساله مورد مطالعه آلوده‌تر از آذرماه است. بر اساس نقشه‌های نهایی تحلیل فضایی و مکانی آلودگی، نیمه شمالی تهران به نسبت نیمه جنوبی دارای آلودگی

کمتری است. همچنین، نیمه غربی تهران نسبت به نیمه شرقی دارای آلودگی بیشتری است. ولی به طور کلی تفاوت کمی میان این دو نیمه در مقدار آلودگی وجود دارد.

عوامل بسیاری در آلودگی‌های تهران و پراکنش زمانی- مکانی آلودگی مؤثرند. توپوگرافی خاص تهران، که در مبحث تجزیه و تحلیل به آن اشاره شد و همچنین عوامل اقلیمی مانند وزش باد، شدت و جهت آن، و وقوع پدیده اینورژن عوامل طبیعی مؤثر در آلودگی کلی هوای تهران‌اند. در این میان، عوامل انسانی شامل حمل و نقل و وجود مراکز صنعتی تأثیر زیادی در گسترش زمانی- مکانی این آلودگی در سطح شهر تهران دارند. وجود بزرگراه‌ها، آزادراه‌ها، و معابر مهم و پُرتردد شهری، کاربری‌های جاذب جمعیت که باعث افزایش تردد و رفت‌وآمد می‌شود و به دنبال آن مصرف بیشتر سوخت‌های فسیلی را موجب می‌شود، وجود مراکز صنعتی و کارخانه‌ها در بخش غربی تهران، نبود خطوط و وسایل حمل و نقل عمومی در برخی مناطق شهر تهران، همگی، از جمله دلایل تأثیرات این عوامل در پراکنش آلودگی در بخش‌های مختلف شهر تهران است. در نهایت، باید به این نکته اشاره کرد که مطالعات انجام‌شده فقط با استفاده از آمار ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوای شهر تهران و فقط در طی ماه آذر و دی و در دوره ده‌ساله انجام گرفته است. پیشنهاد می‌شود برای تحقیقات آتی همه ماه‌های سال، دوره‌های زمانی طولانی‌تر، و بررسی علل و عوامل مؤثر بر تغییرات زمانی- مکانی آلودگی هوا انجام شود.

منابع

- احمدی مقدم، مهدی و محمودی، پرویز (۱۳۹۲). تحلیل داده‌های آلودگی هوای تهران در دهه اخیر، مجله سلامت و محیط (فصلنامه علمی - پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران)، دوره ششم، شماره اول، صص ۳۳-۴۴.
- اسماعیل‌نژاد، مرتضی؛ اسکندری ثانی، محمد و بارزمان، سپیده (۱۳۹۴). ارزیابی و پهنه‌بندی آلودگی هوای کلان‌شهر تبریز، فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال پنجم، شماره ۱۹.
- پورعزت، علی‌اصغر؛ صالحی شهبازی، نرگس و عظیمی، محدثه (۱۳۹۱). چالش‌های مدیریت بحران آلودگی هوای کلان‌شهر تهران، اولین کنفرانس مدیریت آلودگی هوا و صدا، دانشگاه صنعتی شریف.
- جمشیدی، سمیرا؛ محمدزاده، محمد و غفرانی، مهرانوش (۱۳۹۵). مکان‌یابی و تحلیل آلودگی و منابع آلاینده‌های هوا در کلان‌شهر اصفهان با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی (GIS)، مؤسسه آموزش عالی دانش‌پژوهان پیشرو اصفهان، دوره ۷.
- رنجبر، محسن و باهک، بتول (۱۳۹۷). تغییرات زمانی- مکانی آلاینده‌های هوا با استفاده از GIS (مورد مطالعه: نیمه شمالی شهر تهران)، جغرافیا، سال هفدهم، شماره ۶۰.
- زیاری، کرامت‌اله؛ واحدیان بیگی، لیلا و پرنون، زیبا (۱۳۹۱). تحلیلی بر بحران زیست‌محیطی و توزیع مکانی فضای سبز شهر تهران، فصلنامه مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، سال چهارم، شماره چهاردهم.
- سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای (۱۳۹۵). داده‌های تردد شماری جاده‌های استان تهران و البرز، تهران.
- سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران (از سال ۱۳۸۹ تا سال ۱۳۹۸). سال‌نامه آماری شهر تهران، تهران.
- سینگری، مریم و بدری بنام، نسیم (۱۳۹۱). امکان‌سنجی بهره‌گیری از سامانه‌های بام سبز در میان مناطق مختلف شهرداری تبریز، مجموعه مقالات همایش جریان و آلودگی هوا، دانشگاه تهران.

شرکت تحقیقاتی نظارت و کنترل کیفیت هوا (۲۰۱۰ - ۲۰۲۰). گزارش سالانه کیفیت هوای تهران.

شفیع پور، م. (۱۳۸۷). مهندسی آلودگی هوا، مؤسسه نشر شهر غلی ایران.

شهبازی، ابراهیم (۱۳۹۱). مطالعه توزیع آلودگی های شهری با استفاده از روش های درون یابی، مطالعه موردی: شهر تبریز، پایان نامه کارشناسی ارشد اقلیم شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر.

صاحبی، سعیده و همکاران (۱۳۹۲). بررسی کیفیت هوای شهری با درون یابی آلاینده ها در محیط GIS با روش های درون یابی، مطالعه موردی شهر تبریز، شانزدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی - درمانی تبریز.

صفوی سیدیچی، علیجانی بهلول (۱۳۸۵) بررسی عوامل جغرافیایی در آلودگی هوای تهران. مجله پژوهش های جغرافیایی، دوره ۳۸، شماره ۵۸، صفحه ۹۹-۱۱۲.

صفوی، نوید و همکاران (۱۳۹۳). پهنه بندی فصلی و مکانی شاخص کیفیت هوا و آلاینده های هوای محیطی شهر تبریز به کمک نرم افزار GIS و بررسی مشکلات اجرایی موجود، مجله سلامت و بهداشت، سال هفتم، شماره دوم، صص ۱۵۸-۱۷۷.

صیدیایی، سیداسکندر؛ حسینی، سیده سمیه و یزدان بخش، بنت الهدی (۱۳۹۷). ارزیابی پایداری زیست محیطی شهر اصفهان با تأکید بر آلودگی هوا، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، شماره ۱.

عطایی، هوشمند و سادات هاشمی نسب (۱۳۹۰). شناسایی و تجزیه و تحلیل الگوهای تراز میانی جو مؤثر در آلودگی هوا، با به کارگیری داده های شاخص استاندارد آلودگی هوا (PSI)، مطالعه موردی شهر اصفهان، مجله پژوهش و برنامه ریزی شهری، سال دوم، شماره ۴، صص ۹۷-۱۱۳.

علیجانی، بهلول و صفوی، سیدیچی (۱۳۸۵). بررسی عوامل جغرافیایی در آلودگی هوای تهران، پژوهش های جغرافیایی، صص ۳۷-۵۸.

عیسی لو، علی اصغر؛ شاهمرادی، بهزاد؛ بهرامی، سیروان؛ آقامیری، معصومه سادات و محمدیان مصمم، حسن (۱۳۹۰). آسیب پذیری فضایی و بحران آلودگی هوا در کلان شهر تهران، سومین کنفرانس ملی عمران شهری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنج.

گلپاز، س.؛ فرزاد کیا، م. و کرمانی، م. (۱۳۸۷). تعیین کیفیت هوای تهران با تأکید بر شاخص کیفیت هوا (AQI)، مجله بهداشت شغلی ایران، دوره ۶، شماره ۴، صص ۵۹-۶۵.

محبوب فر، محمدرضا؛ رامشت، محمدحسین؛ یزدان پناه، حجت الله و اذانی، مهری (۱۳۹۶). بررسی روند تغییرات شاخص کیفیت هوا در راستای مدیریت بحران آلودگی هوای شهر اصفهان، فصل نامه مدیریت شهری، شماره ۵۰، صص ۳۲۳-۳۳۶.

میرموسوی، سیدحسین (۱۳۹۰). کاربرد روش های زمین آمار در برآورد و توزیع مکانی بارش بر اساس روش های درون یابی، مطالعه موردی استان کرمان، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، سال ۱۶، شماره ۳۸.

Ahmadi Moghadam, Mehdi and Mahmoudi, Parviz (2013). Analysis of Tehran air pollution data in the last decade. *Journal of Health and Environment, Quarterly Journal of Iranian*

- Environmental Health Scientific Association. Vol. 6, No. 1, pp. 33-44. in Persian.
- Alijani, Behloul and Safavi, Seyed Yahya (2006). Study of geographical factors in air pollution in Tehran, *Geographical Research*, PP. 37-58. in Persian.
- Amarsaikhan, D.; Battsengel, V.; Nergui, B.; Ganzorig1, M. and Bolor, G. (2014). A Study on Air Pollution in Ulaanbaatar City, Mongolia, *Journal of Geoscience and Environment Protection*, Vol. 2, PP. 123-128.
- Annual Tehran Air Quality Report. (2010-2020), *Monitoring and Air Quality Control Research Co.*, in Persian.
- Atai, Hooshmand and Sadat Hashemi Nasab (2011). Identification and analysis of effective atmospheric level patterns of air pollution, using standard air pollution index (PSI) data, a case study of Isfahan. *Journal of Urban Research and Planning*, Second Year, No. 4, Marvdasht. PP. 97-113. in Persian.
- Bitjukova, V. and Kasimov, N. (2012). Atmospheric pollution of Russia's cities: Assessment of emissions and immissions based on statistical data, *The Journal of Geofizika*, Vol. 29, PP. 53- 67.
- Dehghani, R.; Takhtfiroozeh, SM.; Hosseindoost, GH.; Mossayebi, M. and Arabfard, M. (2014). Investigation the Air Quality of Kashan during 2012 Based on the Air Quality Index. Armaghane – danesh, *Yasuj University of Medical Sciences Journal*, 19(4): 314-324. in Persian.
- Fargkou, Maria Christina (2009). *Evaluation of Urban sustainability through a metabolic perspective*, PH.D. Thesis, Environmental Sciences, Universitat Autònoma de Barcelona.
- Fathtabar, S.; Alesheikh, A.A.; Rangzan, K. and Chinipardaz, R. (2011). Zoning of airpollutants using of statistical models and GIS techniques, case study: Tehran, *5th conference of Environment engineering*.
- Golbaz, S. and Farzadkia, M. (2010). Kermani M. Determination of Tehran air quality with emphasis on air quality index (AQI); 2008-2009. *Iran Occunational Health*, 6(4): 59-65. in Persian.
- Golbaz, S.; Farzadkia, M. and Kermani, M. (2010). Determination of Tehran air quality with emphasis on air quality index (AQI); 2008-2009. *Iran Occunational Health*. 6(4): 59-65. in Persian.
- Hossen, MA. and Hoque, A. (2016). *Variation of Ambient Air Quality Scenario in Chittagong City*, A Case Study of Air Pollution.
- IsaLu, Ali Asghar; Shahmoradi, Behzad; Bahrami, Sirvan; Aghamiri, Masoumeh Sadat and Mohammadian Motasem, Hassan (2011). Spatial Vulnerability and Air Pollution Crisis in Tehran. *Third National Conference on Urban Development*, Islamic Azad University, Sanandaj Branch. in Persian
- Ismail Nejad, Morteza; Eskandari Thani, Mohammad and Barzaman, Sepideh (2015). Evaluation and zoning of air pollution in Tabriz metropolis. *Regional Planning Quarterly*, Fifth Year, Issue 19, in Persian.
- Jamshidi, Samira; Mohammadzadeh, Mohammad and Ghofrani, Mehrnoosh (2016). Location and analysis of pollution and air pollutant sources in Isfahan metropolis using spatial information system (GIS). *Isfahan Institute of Leading Scholars Higher Education*. Vol. 7. in Persian.

- Kermani, M.; Bahrami Asl, F.; Aghaei, M.; Arfaeinia, H.; Karimzadeh, S. and Shahsavani, A. (2014). Comparative Investigation of Air Quality Index (AQI) For Six Industrial Cities Of Iran. *The Journal of Urmia University of Medical Sciences*, 25(9): 810-818. in Persian.
- Mahboob Far, Mohammad Reza; Ramesht, Mohammad Hussein; Yazdan Panah, Hojjatullah and Azani, Mehri (2017). Study of the trend of changes in air quality index in order to manage the air pollution crisis in Isfahan. *Urban Management Quarterly*, No. 50, Spring, 323-336. in Persian.
- Mir Mousavi, Seyed Hossein (2012). Application of geostatistical methods in estimating and spatial distribution of precipitation based on interpolation methods, a case study of Kerman province. *Journal of Geography and Planning*, Year 16, No. 38, in Persian.
- Naddafi, K.; Hassanvand, MS.; Yunesian, M.; Momeniha, F.; Nabizadeh, R.; Faridi S. et al. (2012). Health impact assessment of air pollution in megacity of Tehran, Iran. *Iranian J Environ Health Sci Eng*, 9: 28.
- Purezzat, Ali Asghar; Salehi Shahrabi, Narges and Azimi, Mohadeseh (2012). Challenges of air pollution crisis management in Tehran metropolis. *The first conference on air and noise pollution management*, Sharif University of Technology. in Persian.
- Ranjbar, Mohsen and Bahak, Batool (2020). Temporal and spatial changes of air pollutants using GIS (Case study: northern half of Tehran). *Geography*, Seventeenth year, No. 60, in Persian.
- Rendon, A.; Juan, F. and Palaclo, C. (2014). Temperature Inversion Breakup with Impacts on Air Quality in Urban Valleys Influenced by Topographic Shading, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol. 54, P. 302 -321
- Rfaeinia, H.; Kermani, M.; Aghaei, M.; Bahrami Asl, F. and Karimzadeh, S. (2014). Comparative Investigation of Health Quality of Air Tehran, *Isfahan and Shiraz Metropolises in 2011- 2012*. 1(4): 37-44.
- Roads and Transportation Organization (2016). *Traffic data of Tehran and Alborz provinces*. Tehran.
- Safavid, Navid et al. (2014). Seasonal and spatial zoning of air quality index and environmental air pollutants in Tabriz with the help of GIS software and review of existing operational problems. *Journal of Health*. Seventh Year, Second Issue, PP. 158-177. in Persian.
- Sahebi, Saeedeh et al. (2013). Study of urban air quality by introducing pollutants in GIS environment with interpolation methods, a case study of Tabriz. *16th National Conference on Environmental Health of Iran*, Tabriz University of Medical Sciences and Health Services. in Persian.
- Sedayi, Seyed Eskandar; Hosseini, Seyedeh Somayeh and Yazdanbakhsh, Bint Al-Huda (2019). Evaluation of environmental sustainability in Isfahan with emphasis on air pollution. *Geography and environmental planning*. No. 1. in Persian.
- Shad, Roozbeh, ; Ashoori, H and Afshari, N. (2007). Evaluation Of Optimum Methods For Predicting Pollution Concentration In Gis Environment, Faculty of Geodesy and Geomatics Eng. K.N.Toosi University of Technology.
- Shafipour, M. (2008). Air Pollution Engineering, *First edition of Gholli Publishing Institute of Iran*. 6(4): 59-65. in Persian.
- Shahbazi, Ebrahim (2012). *Study of urban pollution distribution using interpolation methods*,

- case study: Tabriz*. Master Thesis in Climatology, Islamic Azad University, Ahar Branch. in Persian.
- Singari, Maryam and Badri, Nasibeh (2012). *Feasibility study of using green roof systems among different areas of Tabriz Municipality*. Proceedings of the Conference on Air Flow and Pollution, University of Tehran. in Persian.
- Tehran Municipality Information and Communication Technology Organization (from 2010 to 2020). *Statistical Yearbook of Tehran*. Tehran. In Persian.
- Verma, MK.; Patel, A.; Sahariah, BP. and Choudhari, JK. (2016). Computation of Air Quality Index for Major Cities of Chhattisgarh State. *Environmental Claims Journal*, 28(3): 195-205.
- Xing, Y. and et al. (2009). A Framework Model for Assessing Sustainability Impacts of Urban Development, *Accounting Forum*, Vol. 33, PP. 209-224.
- Ziari, Keramatollah; Vahedian Beigi, Leila and Ziba Pernon (2012). An Analysis of the Environmental Crisis and Spatial Distribution of Green Space in Tehran. *Quarterly Journal of Urban and Regional Studies and Research*, Fourth Year, No. 14, in Persian.