

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و سوم، شماره هشت، آبان ماه ۱۴۰۰ (۲۲۲-۲۰۹)

## ارزیابی تأثیر تغییرات الگوهای کاربری اراضی و ساختار کالبدی شهر بر تغییرات مکانی آلاینده‌های هوای شهری (مطالعه موردی: شهر تهران)

وحید مشفق<sup>۱\*</sup>

[moshfeghivahid@gmail.com](mailto:moshfeghivahid@gmail.com)

سمیرا یوسفیان<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۸/۸/۲۱

تاریخ دریافت: ۹۸/۵/۲۸

### چکیده

**زمینه و هدف:** ساختار کالبدی اراضی نشان‌دهنده نحوه توزیع و ترکیب افقی کاربری‌های شهری است که نقش بسیار مهمی در پراکنش آلاینده‌های و کیفیت هوای شهری دارد. مکان‌گزینی منابع آلاینده (مانند کاربری‌های صنعتی، تجاری، اداری، مسکونی و ...) و اثرگذاری آن بر توزیع سفرهای شهری و ترافیک، به دنبال خود بر میزان و نحوه توزیع آلاینده‌های منتشر شده تأثیر می‌گذارد. هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی نقش الگوی کاربری اراضی و ساختار کالبدی در تغییرات مکانی آلاینده‌های شهر تهران در بازه زمانی ۱۳۹۰-۱۳۹۷ است. **روش بررسی:** جهت نیل به هدف تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای لندست و همچنین از داده‌های آلاینده‌گی مرکز کنترل کیفیت هوای تهران در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۷ استفاده شد، جهت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و مشخص نمودن نوع کاربری‌ها از روش شبکه عصبی مصنوعی در نرم‌افزار ENVI و همچنین جهت پهنه‌بندی غلظت آلاینده‌گی هوای شهر تهران از مدل Kriging در نرم‌افزار Arc GIS استفاده شد (تاریخ انجام تحقیق: سال ۱۳۹۸).

**یافته‌ها:** نتایج تحلیل خود همبستگی فضایی نشان داد که در طول مدت ۷ سال بین تغییرات ساختار فضایی و میزان آلودگی هوای تهران همبستگی معناداری وجود داشته است.

**بحث و نتیجه‌گیری:** نتایج بررسی تغییرات کاربری اراضی و شاخص‌های آلاینده‌گی هوا نشان می‌دهد که افزایش ساخت‌وساز در غرب و شمال تهران باعث افزایش تمرکز آلاینده‌ها در این جهات از شهر شده در صورتی که تغییر کاربری از زمین‌های بایر به فضاهای سبز شهری در شرق و جنوب شرقی شهر تهران باعث کاهش غلظت آلاینده‌های هوای شهری در این مناطق شده است.

**واژه‌های کلیدی:** تغییرات کاربری، پراکنش شهری، آلاینده‌های هوا، شهر تهران.

۱- گروه شهرسازی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران. \* (مسئول مکاتبات)

۲- دکتری شهرسازی، تربیت مدرس، تهران، ایران.

# **Assessment of Changes in the Patterns of Urban Structure of the City on Spatial Change of Urban Air Pollutants**

## **(Case Study: Tehran City)**

**Vahid Moshfeghi** <sup>1\*</sup>

[moshfehvahid@gmail.com](mailto:moshfehvahid@gmail.com)

**Samira Yousefian** <sup>2</sup>

Admission Date: November 12, 2019

Date Received: August 19, 2019

### **Abstract**

**Background and Objective:** The land use pattern represents the distribution and horizontal combination of urban applications, which plays a very important role in the distribution of pollutants and urban air quality. The impacts of these pollutants can be identified in the location of pollutants (industrial, commercial, office, residential, etc.), as well as its impact on the distribution of urban travel and subsequent emissions from urban traffic. The main objective of this study is to investigate the role of land use pattern and physical structure in spatial variations of pollutants in Tehran during the period of 2011-2018.

**Material and Methodology:** In order to achieve this goal, Landsat satellite images and also data from the Air Quality Control Center of Tehran in 2011 and 2018 were used. Kriging model was arranged using Arc GIS software to classify satellite images and specify types of applications using artificial neural network method in ENVI software and also to determine the concentration of air pollution in Tehran.

**Findings:** The results of spatial correlation analysis showed that there was a significant correlation between spatial structure changes and air pollution in Tehran during 7 years.

**Discussion and Conclusion:** The results of land use change and air pollution indices indicate that construction in the west and north of Tehran has increased the concentration of pollutants in these directions from the city. If the change from downstream land to urban green spaces in the east and south-east of Tehran reduces the concentration of pollutants urban air has been in these areas.

**Keywords:** User Variations, Urban Distribution, Air Pollutants, Tehran City, health-based companies, environmental orientation, marketing performance, green marketing.

---

1- Department of Urban Planning, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran. *\*(Corresponding Author)*

2- PhD in Urban planning and design, University of Tarbiat Modarres, Tehran, Iran.

## مقدمه

به اتومبیل این مقادیر ممکن است به طور مداوم افزایش یابد (۹). نتایج یک تحقیق علمی نشان داده است که در ده ناحیه متروپلیتن، به عنوان مثال آتلانتا، ماشین‌های جاده‌ای و کامیون‌ها عامل انتشار ۵۸ درصد اکسید نیتروژن و ۴۷ درصد هیدروکربن است، این برآوردها علاوه بر انتشار دیگر منابع مربوطه از جمله تأسیسات نگهدار سوخت و ایستگاه‌ها است. در ترکیبات مختلف این مواد آلاینده، مخصوصاً اکسید نیتروژن، هیدروکربن، ازون و مواد ریزدانه از دلایل اساسی قسمت اعظم هزینه‌های آلودگی هوا برای شهرهای آمریکایی است (۱۰). عبور و مرور اتومبیل از دلایل اصلی تغییرات اقلیمی کره زمین می‌باشد. در آمریکا ۲۵ درصد از گازهای منتشر شده، گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. در طول دهه ۱۹۹۰ میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ۱۸ درصد افزایش یافت که غالباً به دلیل افزایش سفر با اتومبیل بوده است (۱۱). تغییرات اقلیمی کره زمین در یک چرخه همراه با تهدید علیه سلامتی انسان از طرق مختلف، از جمله تأثیرات مستقیم گرما، تجمع ذرات آلاینده و رواج بیماری‌های واگیردار است (۱۲). تاکنون در ایران و سایر کشورهای جهان مطالعات مختلفی در خصوص تأثیر گسترش شهر صورت گرفته است:

یانگ<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۵) در مطالعه‌ای با استفاده از مدل اثرات فضای سبز شهری، تأثیرات آن بر کیفیت هوای شهری پکن را بررسی کردند. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که از ۲۰۴ میلیون درخت موجود در بخش مرکزی پکن حدود ۰/۲۹ از آن‌ها در حد شرایط بدی قرار دارند که به علت وجود ۱۲۶،۱۰۴ تن از آلوده‌کننده‌های هوا این درختان از بین رفته‌اند. البته همین میزان درخت موجب کاهش ذرات معلق  $PM_{10}$  در بیشترین حد خود شده است (۱۳). نیومن و نورثی (۱۹۸۹) در مطالعه‌ای جهت نشان دادن رابطه میان مصرف بنزین، تراکم شهری و آلودگی هوای شهری، ۳۲ شهر را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج بررسی‌ها نشان‌دهنده این بود که رابطه همبستگی منفی بین تراکم شهری و مصرف بنزین وجود دارد، یعنی هرچقدر تراکم

یکی از موضوعات حیاتی قرن ۲۱ دانشمندان شهری در ارتباط با پایداری شهر، فرم و شکل شهر و چگونگی رشد و توسعه شهر در فضا است (۱). شکل شهر به عنوان الگوی توسعه فضایی فعالیت‌های انسان در برهه خاصی از زمان تعریف می‌شود (۲) و به دو الگوی اصلی، پراکندگی شهری (به معنای تراکم کم یا گسترش افقی بی‌رویه شهر) یا فشردگی شهری (به معنای تراکم زیاد و افزایش و تشدید کاربری‌های شهری) تقسیم می‌گردد (۳). الگوی پراکنش افقی شهر، توسعه اتومبیل محور یا به اصطلاح وابسته به اتومبیل است. علت این مسئله این است که به خاطر طولانی بودن فاصله سفرهای شهری، امکان استفاده از روش‌های پایدارتر حمل‌ونقل مانند دوچرخه‌سواری و یا حتی پیاده‌روی وجود ندارد و به همین خاطر افراد و خانواده‌ها مجبور به استفاده از ماشین شخصی برای سفرهای کاری و خرید و گشت‌وگذار هستند (۴). علاوه بر این در شهرهای گسترده به علت پراکندگی و تفرق توسعه و وسعت فضایی بیش‌ازحد شهر، امکان اجرای سیستم حمل‌ونقل عمومی در شهر وجود ندارد یا این‌که بسیار پرهزینه است. به همین دلیل با استفاده از اتومبیل شخصی، مصرف بنزین بالاتر رفته و در نتیجه انواع گازهای آلاینده وارد اتمسفر شده و هوای شهرها را آلوده می‌کند. ارتباط بین گسترش افقی و آلودگی هوا به موضوع جدی تبدیل شده است (۵). آژانس زیست‌محیطی آمریکا بیان کرده که در سال ۲۰۱۷، وسایل نقلیه موتوری باعث پخش ۵۰ میلیون تن منو کسید کربن، ۷ میلیون تن اکسید نیترات، ۵ میلیون تن ترکیبات ارگانیک، ۳۲۰ تن دی‌اکسید سولفور و تقریباً ۱۵ میلیون تن گردوغبار جاده‌ای شده‌اند (۶). همچنین نتایج یافته‌های سان<sup>۱</sup> نشان داده که پراکنش یک فاکتور مهم در آلودگی هواست و توسعه پراکنده شهرها، منجر به افزایش آلودگی هوا به مقدار ۲۰ تا ۵۰ درصد بیشتر از شهرهای فشرده می‌شوند (۷). در سراسر ایران «عوامل حرکت» غالباً ماشین‌ها و کامیون‌ها است که باعث انتشار ۳۰ درصد اکسید نیتروژن و ۳۰ درصد هیدروکربن می‌شود (۸). به‌هرحال در نواحی متروپلیتن وابسته

## ۲- روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از لحاظ هدف‌گذاری، کاربردی بوده و از لحاظ شیوه گردآوری داده‌ها «توصیفی - تحلیلی» می‌باشد، بنابراین از نوع تحقیقات کمی به حساب می‌آید. روش گردآوری اطلاعات به صورت اسناد کتاب‌خانه‌ای بوده و جهت دستیابی به هدف نهایی پژوهش ابتدا تصاویر ماهواره‌ای لندست در بازه زمانی ۱۳۹۰-۱۳۹۷ از سایت زمین‌شناسی امریکا<sup>۲</sup> تهیه و در ادامه جهت طبقه‌بندی تصاویر و مشخص نمودن میزان تغییرات کاربری اراضی از الگوریتم شبکه عصبی در نرم‌افزار ENVI 5.3 استفاده شد. در مرحله بعدی انجام پژوهش، داده آلاینده‌های ۶ ایستگاه شهر تهران (اقدسیه، گلبرگ، شهرداری منطقه ۲۱، شادآباد، اتوبان محلاتی و شهر ری) که در ۵ جهت مرکز، غرب، شمال، شرق و جنوب شهر تهران گسترده شده‌اند، دریافت گردید. اطلاعات مربوط به شاخص‌های آلودگی هوای تهران به صورت میانگین ماهیانه برای سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۹۷ مورد بررسی قرار گرفته است. شاخص‌های آلاینده‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر ( $pm_{10}$ ,  $CO_2$ ,  $NO_2$ ) با استفاده از مدل کریجینگ<sup>۳</sup> در نرم‌افزار Arc GIS در سطح شهر تهران پهنه‌بندی شده است.

## ۲-۱- زمین آمار<sup>۴</sup>

در روش Geo statistical ارتفاع نقطه مجهول با استفاده از ترکیب خطی از نقاط مرجع (که در همسایگی آن قرار دارد) به دست می‌آید. تفاوت ماتریس وزنی که در این روش تهیه می‌شود با ماتریس وزنی که در روش IDW استفاده می‌شود، در این است که در ماتریس وزن IDW فقط فاصله مؤثر است ولی در این ماتریس علاوه بر فاصله، روند موجود در نقاط یا همان همبستگی مکانی بین داده‌ها را نیز در نظر می‌گیریم. بر روی داده‌های موجود دو روند کلی وجود دارد:

- روند ثابت: این روند توسط یک مقدار ثابت و یا یک چندجمله‌ای بیان می‌شود.

شهری کاهش یابد میزان مصرف بنزین افزایش یافته و در نتیجه آلودگی هوا بیشتر خواهد شد (۱۴). لین رابینسون<sup>۱</sup> (۲۰۰۲)، نتیجه می‌گیرد که الگوی پراکندگی شهری در سیاتل سبب قطعه‌قطعه شدن زیستگاه‌ها شده و حیات وحش و محیط را در معرض خطر قرار داده است (۱۵). عباس پور و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی با عنوان تأثیر بوستان‌های شهری بر میزان انتشار ذرات معلق  $PM_{10}$  نشان دادند که ایستگاه‌های درون پارک غلظت آلاینده‌های کمتر نسبت به ایستگاه‌های محیط اطراف دارند. همچنین با افزایش فاصله از مبدأ و با کاهش تراکم فضای سبز نسبت به آن، بر میزان انتشار و پخش ذرات معلق افزوده می‌شود (۱۶). نورپور و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از روش‌های درون‌یابی نسبت به تولید نقشه‌های کیفیت هوای حاصل از آلاینده‌های ذرات معلق، دی‌اکسید گوگرد و دی‌اکسید نیتروژن اقدام کردند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر تغییرات مکانی آلاینده‌ها، حجم ترافیک و امکان صنعتی است (۱۷). فتحعلی بیگی (۱۳۹۰)، به ارزیابی تغییرات کاربری اراضی از نقطه‌نظر زیست‌محیطی پرداخته است. نتایج تحقیق نشان داده است که کاربری‌ها، به‌خصوص اراضی کشاورزی پیرامون منطقه مورد مطالعه و همچنین باغات به‌عنوان مناطق بحرانی از نظر کاربری مشخص شده است (۱۸). درنهایت با توجه به طرح مسئله صورت گرفته می‌توان گفت علیرغم این که ساختار کالبدی شهرها یکی از عناصر اصلی به‌جهت ایجاد آلودگی شهری و مخصوصاً در کلان‌شهرها بوده است، ولی به دلیل ماهیت پویا و متغیر کالبد شهرها، تاکنون کمتر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در این راستا می‌توان گفت که پژوهش حاضر با هدف اصلی یافتن پاسخ علمی به این سؤالات است که تأثیر تغییرات ساختار کالبدی شهری بر تغییرات مکانی آلاینده‌های هوای شهر تهران به چه صورت است؟ و آیا بین عناصر مختلف کاربری اراضی با شدت آلودگی هوا ارتباط فضایی وجود دارد؟ و درنهایت راهکارهای پیشنهادی برای رفع آلودگی هوای شهر تهران در وضعیت فعلی ساختار کالبدی چیست؟

2- [www.earthexplore.usgs.org](http://www.earthexplore.usgs.org)

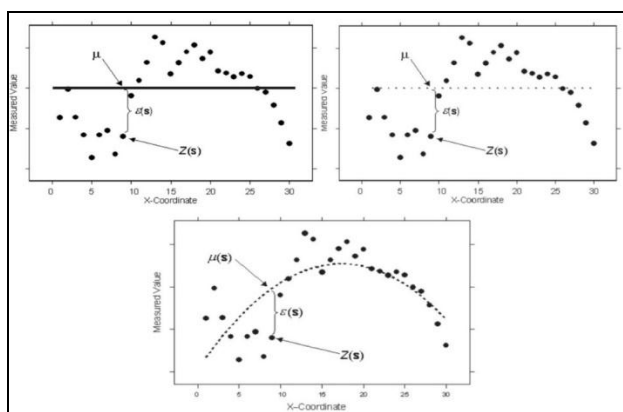
3- Kriging

4- Kriging – Geo statistical

1- Lin Robinson

- اگر  $\mu$  ثابت و مقدار آن مشخص باشد به آن اصطلاحاً Simple kriging می‌گویند
  - اگر  $\mu$  ثابت ولی مقدار آن ثابت نباشد به آن اصطلاحاً Ordinary kriging می‌گویند
- اگر  $\mu$  متغیر و توسط یک چند جمله‌ای بیان شود به آن اصطلاحاً universal kriging گفته می‌شود (نوری، ۱۳۹۳: ۲۴). در شکل ۱ به صورت شماتیک اشکال، انواع kriging آورده شده است.

- روند متغیر: که این در واقع همان باقی‌مانده‌ها هستند که از تفاضل داده‌های اصلی و روند ثابت به دست می‌آید و در Geo statistical بر روی این روند کار کرده و در انتها به روند ثابت اضافه می‌شود. طبق مطالب بالا ارتفاع هر نقطه به صورت زیر تعریف می‌شود:
- $$(Z) S = ((\mu)s + (e)s$$
- که  $\mu$  مان مقدار ثابت و  $e$  مقدار متغیر است که با توجه به موقعیت نقطه تغییر می‌کنند (www.esri.com). فرمول بالا فرم کلی معادلات Kriging را تشکیل می‌دهد که با توجه به مدلی که برای  $\mu$  انتخاب می‌شود به سه نوع زیر تقسیم می‌گردد:



شکل ۱- نحوه عملکرد انواع kriging در نرم‌افزار Arc GIS

Figure 1. Kriging functions in Arc GIS software

اعمال شده و مقادیر محاسبه شده به لایه‌ی خروجی فرستاده می‌شوند. در این مرحله، خروج شبکه، با مقدار مطلوبی که از شبکه انتظار می‌رود مقایسه شده و مقدار خطای موجود، از روش‌های مختلف، با تغییر در وزن‌های ارتباط‌دهنده‌ی نرون‌ها در شبکه تعدیل می‌شود. این کار تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که مقدار خطای شبکه به ازای تمامی نمونه‌های آموزشی به یک مقدار حداقل که برای شبکه از قبل تعیین شده برسد؛ بنابراین شبکه عصبی، بر اساس نمونه‌های آموزشی و خروجی‌های مطلوب پیکربندی می‌شود (۱۹).

### ۲-۳- محدوده مورد مطالعه

کلان‌شهر تهران، پایتخت ۲۲۰ ساله ایران در کوهپایه‌های جنوبی رشته کوه البرز در حدفاصل طول ۵۱ درجه و ۵

### ۲-۲- طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از

#### الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی

از موضوعات مهم تحقیقات اخیر، استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در طبقه‌بندی تصویر است. چنین دستگاه‌هایی به خود تعلیمی موسوم‌اند که موجب ارتباط بین طرح‌های معین داده‌های ورودی و خروجی‌های خاص می‌گردند. شبکه‌های عصبی در اجرای طبقه‌بندی سنتی تصویر و در عملیات پیچیده‌تری از قبیل آنالیز ترکیب طیفی کاربرد گسترده‌ای دارند. در این ساختار، برای آموزش شبکه، نمونه‌های آموزشی از طریق لایه‌ی ورودی وارد شبکه شده و بعد از ضرب شدن در وزن‌های ارتباط‌دهنده نرون‌ها، وارد لایه میانی می‌شود. در هر نرون از لایه میانی، یک تابع فعالیت، بر روی ورودی‌های

صورت خطرناک عمل می‌نماید که تغییرات بسیار چشمگیری محیطی و اقلیمی را در آن موجب گردیده است (۲۰).

### ۳- یافته‌های پژوهش

در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، پیکسل‌هایی که ارزش عددی یکسان دارند در یک گروه قرار می‌گیرند. طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای به شکل نظارت شده و نظارت نشده انجام می‌گیرد. در طبقه‌بندی نظارت شده برای رده‌بندی پیکسل‌ها از نمونه‌های آموزشی استفاده می‌گردد، بدین معنی که با تعریف پیکسل‌های مشخصی از تصویر برای هر کدام از کلاس‌ها عمل طبقه‌بندی در قالب کلاس‌های در نظر گرفته شده انجام می‌شود. بعد از پردازش‌های اولیه و با استفاده از تصاویر رنگی کاذب و تصویر حاصل از گوگل ارث و همچنین بازبندی‌های میدانی، انواع پوشش‌های مختلف به شرح جدول ۱ شناسایی گردید. به منظور طبقه‌بندی تصویر، نمونه‌های تعلیمی به عنوان الگوی مشخصات طیفی طبقات بر اساس عملیات میدانی، تصاویر رنگی و تصاویر گوگل ارث انتخاب شدند. در نهایت برای طبقه‌بندی تصاویر از روش شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه استفاده شد.

دقیقه‌ی شرقی تا ۵۱ درجه و ۵۳ دقیقه‌ی شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه‌ی شمالی تا ۳۵ درجه و ۵۹ دقیقه‌ی شمالی با حدود ۷۰۰ کیلومترمربع مساحت گسترده شده است. این شهر از شمال به سلسله جبال البرز، از شرق به لواسانات و از غرب به کرج و از جنوب به ورامین محدود می‌شود. ارتفاع شهر در بلندترین نقاط شمال به ۲۰۰۰ متر و در جنوبی‌ترین نقاط به ۱۰۵۰ متر از سطح دریا می‌رسد (شکل ۳). شهر تهران با جمعیتی قریب به ۱۲ میلیون نفر (به همراه شهرهای اقماری خود) ۱۲ درصد جمعیت کل کشور را به خود اختصاص داده است. با توجه به این‌که شهر تهران دارای موقعیت خاص جغرافیایی است (اختلاف ارتفاع زیاد در شمال و جنوب آن) از شرایط نامناسب بافت شهری برخوردار است و وسایط نقلیه زیادی در طول شبانه‌روز در آن به فعالیت مشغول‌اند. بادهای غربی در تمام طول سال دود کارخانه‌های و سایر عوامل آلاینده را به سطح شهر تهران وارد می‌سازند، در مجموع شهر دارای شرایط نامساعد زیست‌محیطی بوده و آلودگی هوای آن در سال‌های اخیر با محتوای گازهای سمی به

### جدول ۱- مشخصات پوشش اراضی مناطق مورد مطالعه

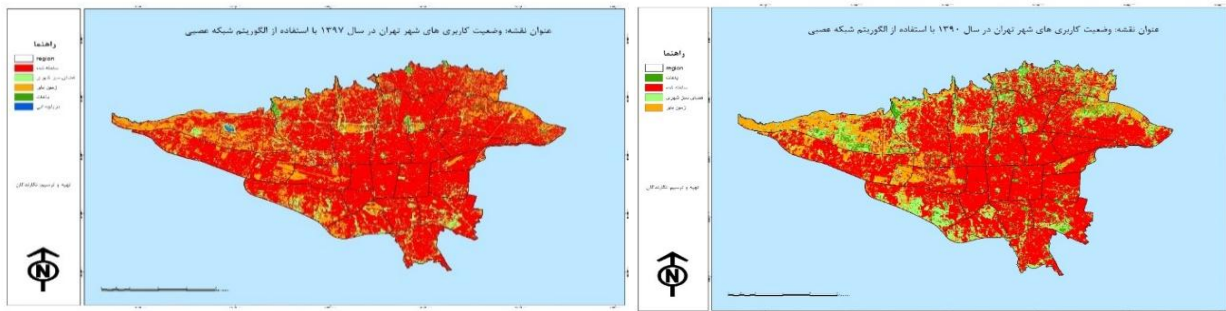
Table 1. Land cover statistics of the studied areas

ویژگی	کلاس پوشش اراضی	کد
مناطق آبدار	آب	۱
چمن‌های سبز شهری، پارک‌های حاشیه‌ای، زمین‌های کشاورزی	فضای سبز	۲
باغات حاشیه شهر، پارک‌های درخت‌دار	باغات	۳
اراضی با دارای پوشش گیاهی کمتر از ۲۰ درصد و زمین‌های برهنه	اراضی بایر	۴
سایر زمین‌های ساخته شده (مسکونی، تجاری، اداری، راه و...)	ساخته شده	۵

خطا است. در این روش وزن شبکه به شیوه‌ی گرادیان تنظیم می‌شود، بدین صورت که پس از این‌که مقدار خروجی مطلوب با خروجی واقعی شبکه مقایسه شد، شبکه به جستجوی بیشترین شیب نزولی پرداخته و در تکرارهای بعدی پارامترهای شبکه با راهنمای شیب نزولی خطا تنظیم می‌شود و در این فرآیند تنظیم پارامترها آن‌قدر تکرار می‌شود تا مقدار خطای شبکه به مقدار قابل قبولی برسد. بر همین اساس تصاویر حاصل از

همان‌طور که در بالا ذکر شد با استفاده از روش شبکه مصنوعی پرسپترون چند لایه اقدام به طبقه‌بندی تصاویر در دو بازه زمانی (۱۳۹۰، ۱۳۹۷) شد. شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه، اولین شبکه کاربردی در تاریخ شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. شبکه عصبی پرسپترون پیش‌خور با ناظر، شامل یک لایه ورودی، حداقل یک لایه مخفی و یک لایه خروجی می‌باشد. روش یادگیری در الگوریتم با ناظر، روش پس انتشار

طبقه‌بندی به روش مذکور به صورت زیرنمایان گردید (شکل ۳).



شکل ۳- وضعیت طبقه‌بندی کاربری‌های شهر تهران در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۰

Figure 3. land use classification of Tehran (right: 2011-left: 2018)

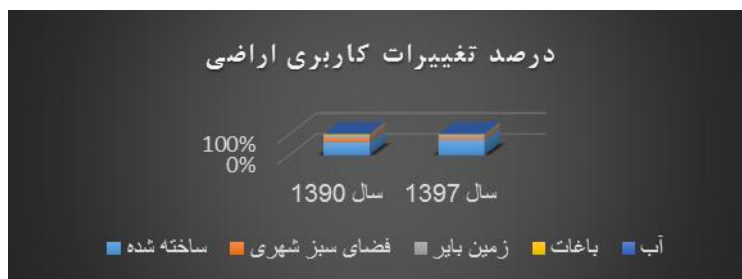
در ادامه به منظور ارزیابی صحت نقشه‌های طبقه‌بندی شده از ماتریس کل و ضریب کاپا استفاده شد. این ضرایب میزان دقت بر اساس تمامی پیکسل‌هایی که درست و غلط طبقه‌بندی شده‌اند را محاسبه می‌نمایند (جدول ۲).

جدول ۲- ماتریس خطای ناشی از طبقه‌بندی تصاویر

Table 2. Image classification error matrix

۱۳۹۷	۱۳۹۰	دسته
۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	ساخته شده
۰/۸۴	۰/۸۳	فضای سبز
۰/۹۴	۰/۹۶	باغات
۰/۹۶	۰/۱۰۰	زمین بایر
۰/۱۰۰	۰/۰۰	آب
۹۵/۸	۹۶/۷۳	ضریب کلی
۰/۹۴۲	۰/۹۵۳	ضریب کاپا

بر اساس جدول ۲ نتایج ارزیابی طبقه‌بندی نقشه‌های ساختار کالبدی اراضی نشان می‌دهد که دقت طبقه‌بندی به روش مذکور بالاتر از ۰/۹۰ بوده و قابل قبول می‌باشد. نتایج طبقه‌بندی تصاویر در بازه زمانی (۱۳۹۷-۱۳۹۰) حاکی از افزایش سرانه ساخت‌وساز شهری و کاهش میزان فضای سبز، زمین‌های بایر، باغات شهری نسبت در سال ۹۷ نسبت به سال پایه مطالعاتی می‌باشد (شکل ۴)



شکل ۴- درصد تغییرات کاربری اراضی شهر تهران

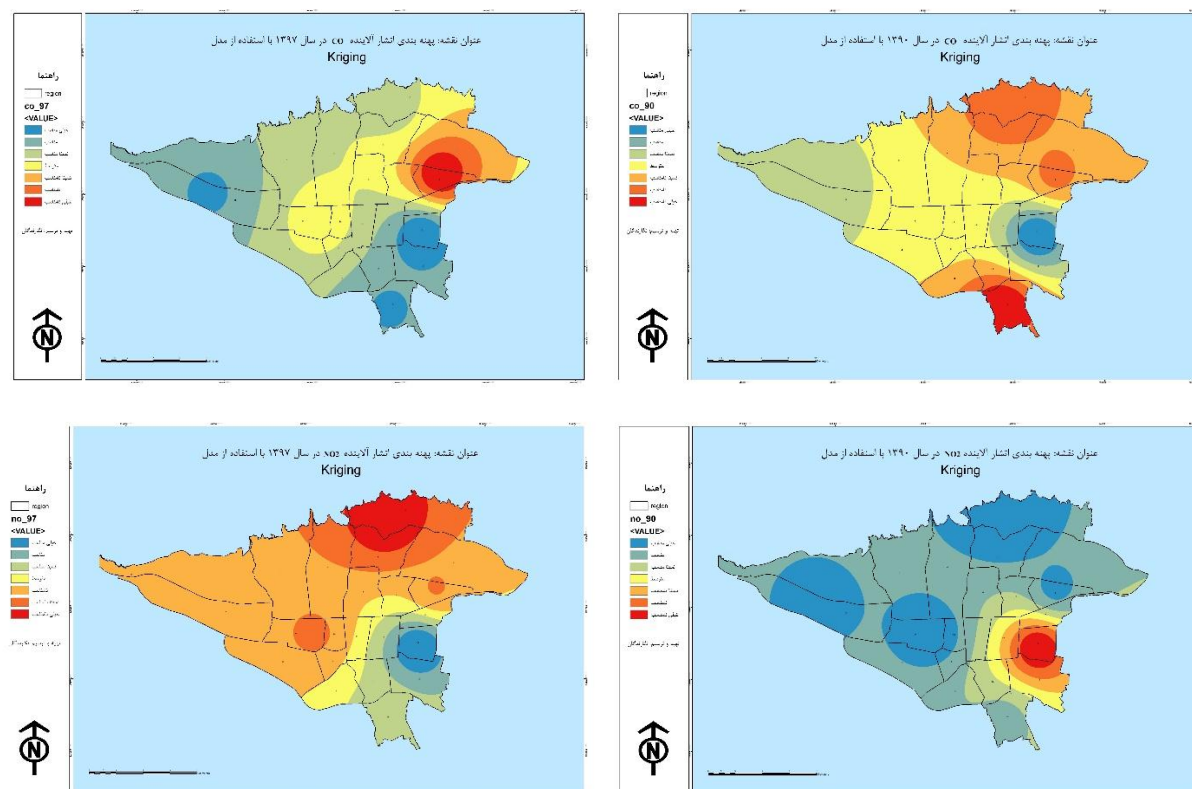
Figure 4. The Percentage of land use changes in Tehran

نیترژن  $NO_2$  و ذرات غبار کمتر از ۱۰ میلی‌متر  $PM_{10}$  انتخاب شدند. ایستگاه‌های مورد مطالعه جهت پایش آلاینده‌گی شامل ۶ ایستگاه (اقدسیه = شمال، شهرک استقلال = غرب، میدان فتح = مرکز، گلبرگ و اتوبان محلاتی = شرق، شهر ری = جنوب) می‌باشند.

داده‌های سه شاخص آلاینده هوای شهری در ۶ ایستگاه مورد نظر کنترل و بررسی شده و در نهایت با استفاده از مدل زمین آماری kriging در قالب نرم‌افزار Arc Gis پهنه‌بندی شد (شکل ۵).

بر اساس شکل ۴ در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۷، مساحت فضاهای شهری ساخته شده حدود ۱۰ درصد افزایش یافته است در حالی مساحت کاربری‌های (فضای سبز شهری = ۰/۰۶) (زمین بایر = ۰/۰۵) (باغات = ۰/۰۴) کاهش یافته است. لذا می‌توان چنین نتیجه گرفت که با افزایش میزان ساخت‌وسازهای شهری، باغات و فضای سبز شهری بیشتری در معرض نابودی قرار گرفته‌اند.

در مرحله بعدی پژوهش با استفاده از داده منتج از ایستگاه کنترل کیفیت هوای تهران، اقدام به سنجش میزان تغییرات آلاینده‌های هوای شهری در بازی زمانی ۱۳۹۰-۱۳۹۷ شد. جهت نیل به هدف مطرح‌شده سه شاخص مهم و تأثیرگذار در آلودگی هوا و سلامت انسان (مونوکسید کربن  $CO$ ، دی‌اکسید





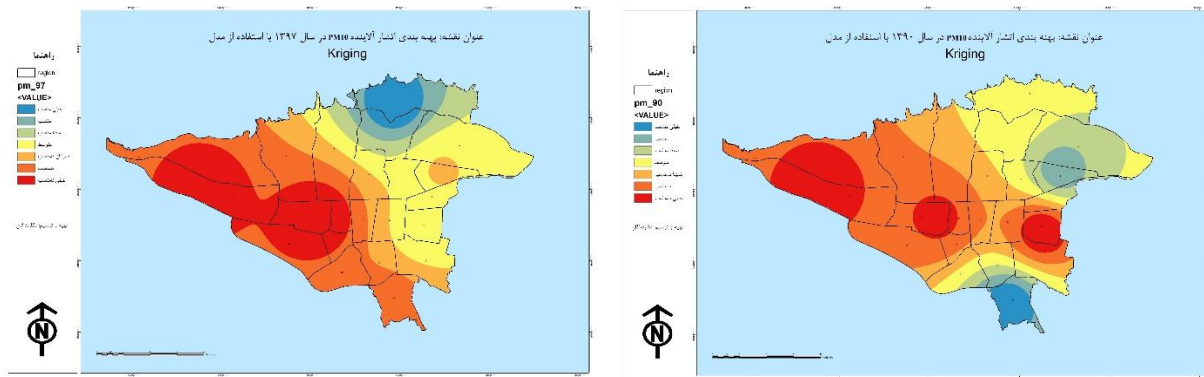
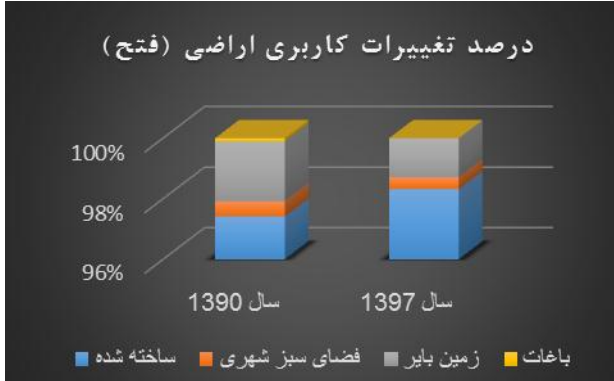
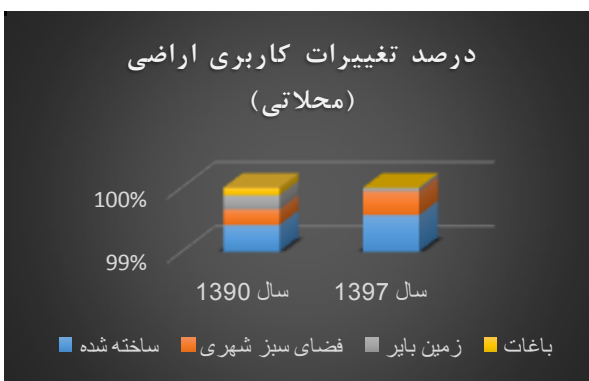
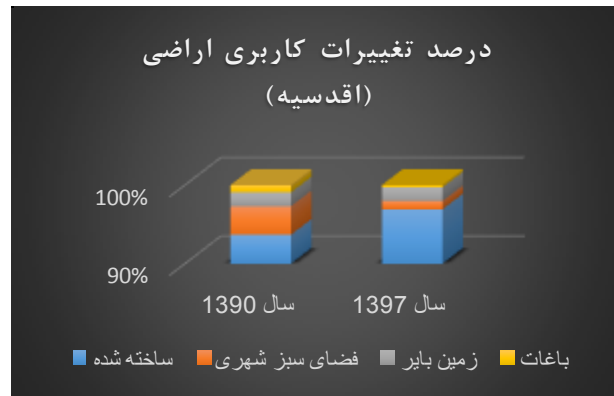
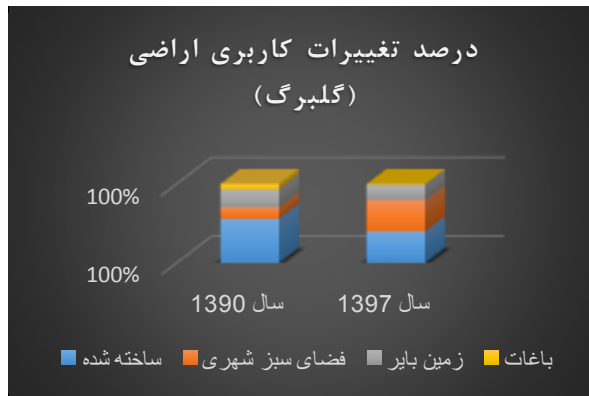
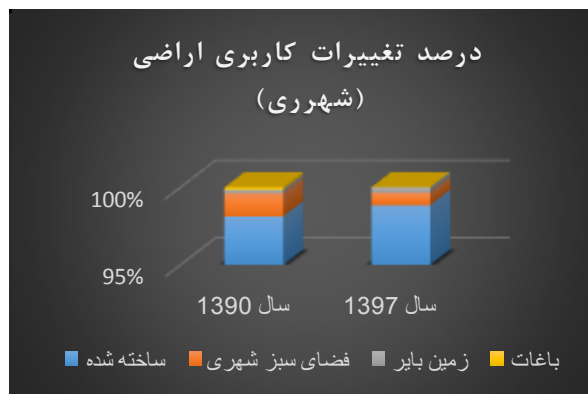
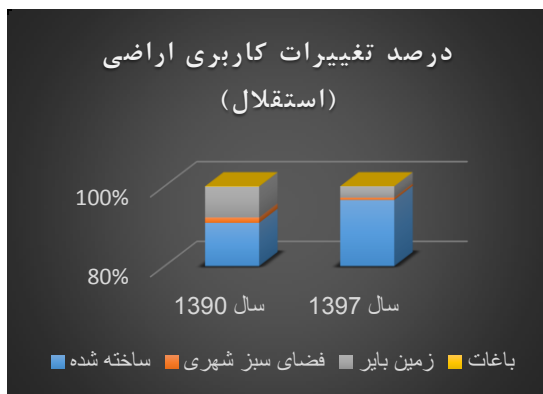


Figure 5. The pattern of Changes in CO, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> pollutants in 2011 and 2018 through Kriging method

نتایج پهنه‌بندی تغییرات آلاینده‌های هوای شهری در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۰ نشان می‌دهد که بیشترین غلظت آلاینده مونوکسید کربن در سال ۱۳۹۰ در جنوب و شمال شهر تهران بوده است که در سال ۱۳۹۷ به سمت شمال و شمال شرق شهر تهران انتقال داده شده است. آلاینده دی‌اکسید نیتروژن در سال ۱۳۹۰ دارای بیشترین غلظت در جهت شرق تهران بوده که به

سمت شمال شهر در سال ۱۳۹۷ تغییر یافته است و در نهایت آلاینده ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون، بیشترین غلظت را در جهت غرب شهر تهران در بازه زمانی ۱۳۹۰ و ۱۳۹۷ داشته است. در ادامه جهت مشخص نمودن میزان ارتباط غلظت آلاینده‌ها با تغییرات کاربری اراضی، درصد تغییرات کاربری اراضی در ایستگاه‌های مورد مطالعه سنجیده شد (شکل ۶).





شکل ۶- درصد تغییرات کاربری اراضی (اقدسیه، گلبرگ، میدان فتح، محلاتی، شهر ری، شهرک استقلال)

Figure 6. The Percentage of land use changes

به زیر ساخت و ساز شهری رفته و بر مساحت این کاربری افزوده است.

در نهایت نتایج همبستگی شاخص‌های پنج‌گانه با آلودگی هوای شهر تهران در سال ۱۳۹۰ نشان داد که مناطق دارای پوشش گیاهی و فضاهای سبز بیشتر سبب کاهش آلودگی هوای این شهر شده است. در حالی که مناطق مسکونی سبب افزایش دمای سطح زمین منجر به افزایش آلودگی هوا شده است ( $r=0.418$ ). علاوه بر این، نتایج آزمون در خصوص دو متغیر آب سطح زمین نشان داد که به علت نبود منابع آبی در سطح شهر تهران، این عامل نقش چندانی در کنترل آلودگی هوا ندارد. همچنین بر اساس نتایج آزمون، شاخص برهنگی سطح زمین دارای ارتباط نزدیکی با شاخص آب داشته و به علت نبود منابع آب، سطح زمین از پوشش گیاهی برهنه شده و بر میزان آلودگی هوای تهران می‌افزاید (جدول ۳).

همچنین نتایج تحلیل خود همبستگی فضایی در سال ۱۳۹۷ نشان داد که زمین‌های ساخته شده با مقدار ۰/۴۵۶، با میزان آلودگی هوای کلان‌شهر تهران ارتباط داشته است. همچنین متغیرهای فضای سبز با ۰/۵۴۰، باغات ۰/۶۸۰، زمین بایر ۱۳۰ و آب با مقدار ۰/۶۳۰- با میزان آلودگی هوای تهران در ارتباط بودند (جدول ۴). علاوه بر این مقایسه نتایج همبستگی در حدفصل بین ۷ سال نشان می‌دهد که در طول این مدت تغییرات ساختار کالبدی منجر به افزایش میزان آلودگی شده است.

بر اساس محاسبات انجام شده تغییرات کاربری اراضی ۱۳۹۷ - ۱۳۹۰: در ایستگاه اقدسیه (منطقه ۱) بیشترین تغییرات در کاربری ساخت و ساز شهری رخ داده بدین صورت که مساحت فضای سبز شهری کاهش یافته و بر مساحت ساخت و سازهای شهری اضافه شده است. در ایستگاه گلبرگ (منطقه ۸) بیشترین تغییرات در کاربری فضای سبز شهری رخ داده به صورتی که از مساحت زمین‌های بایر و باغات شهری کاسته و بر مساحت فضای سبز شهری اضافه شده است. ایستگاه میدان فتح (منطقه ۹) بیشترین تغییرات کاربری اراضی را در دو کاربری ساخته شده و زمین بایر به خود دیده است، به طوری که از مساحت زمین‌های بایر کاسته و بر مساحت ساخت و سازهای شهری اضافه شده است. ایستگاه اتوبان محلاتی (منطقه ۱۴) شاهد بیشترین تغییرات کاربری اراضی در کاربری زمین‌های بایر و فضای سبز شهری بوده است، به طوری که از مساحت کاربری زمین‌های بایر کاسته و بر مساحت کاربری فضای سبز شهری افزوده شده است. ایستگاه شهر ری (منطقه ۲۰) شاهد بیشترین میزان تغییرات کاربری اراضی در کاربری‌های فضای سبز شهری و کاربری ساخته شده بوده است، به طوری که از مساحت کاربری فضای سبز شهری کاسته و بر مساحت کاربری ساخت و ساز شهری افزوده شده است و در نهایت بیشترین تغییرات کاربری اراضی در ایستگاه شهرک استقلال (منطقه ۲۱) در دو کاربری ساخته شده و زمین‌های بایر اتفاق افتاده است، به طوری که مساحت قابل توجهی از زمین‌های بایر

جدول ۳- همبستگی بین شاخص‌های ساختار کالبدی شهری با میزان آلودگی هوای شهر تهران در سال ۱۳۹۰

Table 3. The Correlation between the indicators of the physical structure of the city with the amount of air pollution in Tehran in 2011

شاخص‌ها	شاخص‌های آماری	زمین ساخته شده	فضای سبز	باغات	زمین بایر	آب
زمین ساخته شده	مقدار همبستگی	۱/۰۰				
	سطح همبستگی	۰/۰۰۰				
فضای سبز	مقدار همبستگی	۰/۴۳۷	۱/۰۰			
	سطح همبستگی	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰			
باغات	مقدار همبستگی	۰/۵۱۱	-۰/۵۲۲	۱/۰۰		
	سطح همبستگی	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰		
زمین بایر	مقدار همبستگی	۰/۱۰۱	-۰/۱۹۵	۰/۴۲۳	۱/۰۰	
	سطح همبستگی	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	
آب	مقدار همبستگی	-۰/۵۰۳	۰/۷۱۰	-۱/۰۰	-۰/۴۷۱	۱/۰۰
	سطح همبستگی	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

جدول ۴- همبستگی بین شاخص‌های ساختار کالبدی شهری با میزان آلودگی هوای شهر تهران در سال ۱۳۹۷

Table 4. The Correlation between the indicators of the physical structure of the city with the amount of air pollution in Tehran in 2018

شاخص‌ها	شاخص‌های آماری	زمین ساخته شده	فضای سبز	باغات	زمین بایر	آب
زمین ساخته شده	مقدار همبستگی	۱/۰۰				
	سطح همبستگی	۰/۰۰۰				
فضای سبز	مقدار همبستگی	-۰/۵۴	۱/۰۰			
	سطح همبستگی	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰			
باغات	مقدار همبستگی	۰/۶۸	-۰/۸۲	۱/۰۰		
	سطح همبستگی	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰		
زمین بایر	مقدار همبستگی	۰/۱۳	-۰/۲۰	۰/۵۶	۱/۰۰	
	سطح همبستگی	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	
آب	مقدار همبستگی	-۰/۶۳	۰/۸۲	-۱/۰۰	-۰/۵۶	۱/۰۰
	سطح همبستگی	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

داده‌ها در خصوص آلودگی ثبت شده از سطح زمین از تصاویر ماهواره‌ای لندست در تاریخ مورد نظر، با دمای ثبت شده توسط ایستگاه هواشناسی مهرآباد تهران در آن روز، نموده است. نتایج

به منظور کسب اطمینان از درست بودن پردازش تصاویر ماهواره‌ای در اثبات وجود همبستگی فضایی (معناداری) بین شاخص‌های پنج‌گانه با درجه حرارت، اقدام به ارزیابی صحت

اکسید نیتروژن معرفی می‌کند. یکی دیگر از نکات قابل توجه جهت عکس جریان آلاینده دی اکسید نیتروژن در منطقه ۱۴ شهر تهران می‌باشد که در سال ۱۳۹۰ آلوده‌ترین منطقه شهری بوده که در سال ۱۳۹۷ به عنوان پاک‌ترین منطقه شهری پهنه‌بندی شده است و این فرآیند ناشی از تغییر مساحت زیادی از کاربری زمین‌های بایر به سمت کاربری‌های فضای سبز شهری و باغات می‌باشد. از لحاظ آلاینده  $PM_{10}$  منطقه ۲۱ شهر تهران در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۷ به عنوان آلوده‌ترین منطقه شهری محسوب می‌شود که شاید مهم‌ترین علت این امر وجود کارخانه‌ها و تردد بسیار زیاد وسیله‌های نقلیه عمومی در جهت غرب شهر به‌خصوص در کرج می‌باشد که منبع تولید آلاینده‌های  $PM_{10}$  در جهت غرب شهر محسوب می‌شود. درنهایت می‌توان چنین نتیجه گرفت که روند رشد و گسترش فضایی شهر تهران در دوره‌های گذشته نه تنها کاهش نیافته بلکه پیوسته روند آن افزایشی و صعودی بوده است.

## References

1. Zheng, H. W., G. Q. Shen, H. Wang and J. Hong (2015). "Simulating land use change in urban renewal areas: A case study in Hong Kong." *Habitat International* 46: 23-34.
2. Anderson, W.P., Kanaroglou, P.S. and Miller, E.J., (1996), "Urban form, energy and the environment: a review of issues, evidence and policy". *Urban studies*, 33(1), pp. 7-35
3. Masnavi, Mohammad Reza (2003), *Sustainable Development and New Paradigms of Urban Development, Intensive City and Extensive City*, *Journal of Environmental Studies*, No. 31. (In Persian)
4. Mosammam, H. M., J. T. Nia, H. Khani, A. Teymouri and M. Kazemi (2017). "Monitoring land use change and measuring urban sprawl based on its spatial forms: The case of Qom city." *The Egyptian Journal of Remote*

نشان داد تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده به جهت مطابقت با نتایج ایستگاه هواشناسی مهرآباد، قابلیت اطمینان دارند. در این مرحله تفاوت دمایی تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاه هواشناسی مهرآباد برابر با  $3/41$  درجه کلون به دست آمد، این امر نشان می‌دهد که دمای بازبایی شده سطح زمین توسط ماهواره بیشتر از دمای درجای سطح زمین است که ناشی از اثرگذاری عناصر جوی (اتمسفیری) بر امواج بازگشتی از زمین است.

## نتیجه‌گیری

یکی از اثرات مخرب رشد شهری تهران، بالا رفتن درصد آلودگی هوای این شهر نسبت به میانگین کلان‌شهری کشور می‌باشد. لذا هدف تحقیق حاضر بررسی ارتباط به تغییرات کالبدی شهر و میزان آلودگی هوای شهری بوده است. نتایج بررسی‌ها نشان داد که در بازه زمانی ۷ ساله (۱۳۹۰-۱۳۹۷) نسبت کاربری ساخته شده (فضاهای مسکونی، تجاری، اداری، مسیرهای حمل و نقل و...) حدود ۱۰ درصد افزایش داشته است که این میزان به‌خصوص در جهت غربی شهر بسیار قابل توجه می‌باشد که این امر می‌تواند ناشی از جهت وزش باد باشد که در تهران سمت غالب جهش باد از سمت غرب هست. بررسی میزان غلظت آلاینده‌ها در ۶ ایستگاه (منطقه ۱، منطقه ۸، منطقه ۹، منطقه ۱۴، منطقه ۲۰ و منطقه ۲۱) حاکی از جابه‌جایی متفاوت شاخص‌های آلاینده هوا می‌باشد. به بیان دقیق‌تر در سال ۱۳۹۰، شمال تهران (منطقه ۱) از لحاظ آلاینده  $CO$ ، بیشترین غلظت آلاینده‌گی را دارد که این امر در سال ۱۳۹۷ نیز با توجه به افزایش میزان ساخت‌وسازهای شهر به‌خصوص در جهت شمال شرقی شهر، تشدید یافته است. از لحاظ آلاینده  $NO_2$  نیز در سال ۱۳۹۰، منطقه (۱ و ۲۱) با در اختیار داشتن نسبت مساحت بالایی به فضای سبز شهری و باغات کمترین میزان آلاینده‌گی را دارند که در سال ۱۳۹۷ به علت تغییر در نوع کاربری‌ها و به زیر ساخت‌وساز رفتن مساحت بالایی از زمین‌های کشاورزی، فضاهای سبز شهری در شمال و شمال غرب شهر، این روند جریان عکس به خود گرفته و شمال تهران را به عنوان آلوده‌ترین منطقه شهری از لحاظ آلاینده دی

12. Toutakhane, A. M. and M. Mofareh (2017). "Investigation and evaluation of spatial patterns in Tabriz parks using landscape metrics." *Journal of Urban and Environmental Engineering (JUEE)* **10**(2): 263-269.
13. Yang, J., McBridea, J., Zhou, J., Sun, Z., 2005. The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction, *Urban Forestry & Urban Greening*, 3, pp. 65-78.
14. Newman, P., Kenworthy, J.,(1989). *Cities and Automobile Dependence: An International Sourcebook*. Avebury Technical, Great Britain
15. Lin Robinson. (2002), twenty and five years of Dispersion experience in the Seattle region: reactions growth management and protection concepts. *Urban Studies*, 33(1): 7-35.
16. Abbaspour Majid, Javid Amirhossein and Sahar Saeedi (2014) The effect of urban parks on PM10 emissions using GIS software, *Environmental Technology Quarterly*, Volume 16, Number 1, pp. 1-11
17. Nourpour Alireza and Seyed Mohammad Ali Feyz (2014) Determining the spatial and temporal changes of sulfur dioxide, nitrogen dioxide and suspended particles using GIS technique in Tehran, *Quarterly Journal of Environmental Studies*, No. 3, pp. 723-738. (In Persian)
18. Fath Ali Beigi, Ali (2011), *Environmental Impact Assessment of Horizontal Expansion of the City with Emphasis on Agricultural Fields A Case Study: Zanjan*, Thesis for Master of Science in Geography and Urban Planning, Zanjan University. (In Persian)
5. Wang, Q., J. Zheng, H. Xu, B. Xu and R. Chen (2018). "Roadside magnetic sensor system for vehicle detection in urban environments." *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 19(5): 1365-1374.
6. Nozzi, D. (2019), *Road to ruin: an introduction to sprawl and how to cure it*, pager, Westport Connecticut.
7. Sun, C., Y. Luo and J. Li (2018). "Urban traffic infrastructure investment and air pollution: Evidence from the 83 cities in China." *Journal of cleaner production* 172: 488-496.
8. Noorpour, Alireza; Sadri Jahanshahi, Arash (2013). Assessing and assessing the risk of heavy metal pollution in the air of Tehran (Case study: Enghelab St.), *Environmental Studies*, 39 (4), 192-181. (In Persian)
9. Lelieveld, J., J. S. Evans, M. Fnais, D. Giannadaki and A. Pozzer (2015). "The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale." *Nature* 525(7569): 367.<http://www.Esri.com/>
10. Guarneri, M. and J. R. Balmes (2014). "Outdoor air pollution and asthma." *The Lancet* 383(9928): 1581-1592.
11. Andersen, Z. J., A. De Nazelle, M. A. Mendez, J. Garcia-Aymerich, O. Hertel, A. Tjønneland, K. Overvad, O. Raaschou-Nielsen and M. J. Nieuwenhuijsen (2015). "A study of the combined effects of physical activity and air pollution on mortality in elderly urban residents: the Danish Diet, Cancer, and Health Cohort." *Environmental health perspectives* 123(6): 557-563.

Suspended Particle Pollution Zoning Using Local Statistical Models in GIS Case Study: Tehran, Quarterly Journal of Surveying Science and Technology, Volume 5, Number 3, pp. 165-173. (In Persian)

19. Aplin P. Atkinson P. M. and Curran,P.J.(1997).Fine spatial resolution satellite sensors for the next decade. International Journal of Remote Sensing Remote Sensing of Environment 68 (3), 206-216
20. Bahari Rouhalamin, Abbaspour Rahim Ali and Parham Pahlavani (2015)