Tarbiyat Modares University

The Journal of Spatial Planning

Autumn. 2023. Vol 27. Num 3

Research Paper

Explaining Residential Environmental Factors Effects on Air Pollutants and Its Special Pattern and Density over the Capital City of Tehran

Raheleh Saniei[1], Ali Zangiabadi[2*], Mohammad Sharifikia[3]

1. Assistant Professor in Geography and Urban Planning, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
2. Associate Professor in Geography and Urban Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran.
3. Associate Professor in Remote Sensing, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 2023/05/22
Accepted:2023/08/16

ABSTRACT

Tehran is one of the most polluted cities in the world. The air pollution is caused by different factors such as centralization, increased traffic and incorrect location of the spatial pattern, consumption of fossil fuels, lack of rules and regulations for limiting industrial areas and nonobservance to the environmental guidelines. Sometimes, these factors are intensified because of the climatic factors. The aim of this study is to identify the relationships between the residential urban factors and Tehran's air pollution and to determine the extent of their importance. The intended techniques found through radar data showed that the physical pattern and the consequences of the urban planning system are considered some of the effective structures in increasing the air pollution in Tehran. Hence, the correlation coefficient between the height environment of urban buildings and constructions (the third dimension of the city) and Tehran's air pollution was calculated to be 0.86. In other words, in the case of proper planning or with the possibility of modifying the structure of the height environment in city up to 86%, it is possible to adjust and control the air pollution. The results were in line with the spatial pattern of $PM_{2.5}$ particles and carbon monoxide regarding urban land use, industries, commercial centers, transportation, organizations and health centers and had the highest coefficient of determination with the spatial pattern of Tehran' air pollution. Considering the traffic, the index had the highest correlation with the spatial pattern of $PM_{2.5}$ particles. Meanwhile, in the dangerous and unhealthy parts of the spatial pattern, a large number of nodal points with little distances formed traffic channels. Thus, by identifying these channels and managing urban traffic, the air pollution can be controlled to a larger extent. It should be mentioned that because of the impossibility of decreasing or eliminating driving forces in the creation or intensification of the air pollution, the residential environment of Tehran can be directed toward an appropriate environmental pattern by changing or maintaining the structures and functions through a change in the patterns of macro-urban management and the urban planning models consistent with the human functions and spatial pattern.

Keywords:

Air Pollution; Residential Environment; Traffic; Land Use; Tehran.

***Corresponding Author:** Associate Professor in Geography and Urban Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran.
http://dor: 20.1001.1.16059689.1402.0.0.11.7

ORCID: 0000-0002-6167-2447

a.zangiabadi@geo.ui.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

The phenomenon of air pollution in the present century has been one of the main challenges facing many world's metropolises especially Tehran. Unfortunately, this city is subject to air pollution because of its special administrative and environmental conditions. Many experts believe that this city is moving from environmental danger toward an environmental crisis.

Methodology

Considering the aim of this study, firstly, the data was gathered through Tehran's air quality monitoring locations and environmental organizations, radar images, layers of GIS mapping and Tehran traffic control center and the data extraction method was done through software. Then, the data was divided into several databases as follow:

Tehran air pollution database: For creating the intended database, the statistical information of the air quality index was obtained. Then, unhealthy days were chosen. Finally, by utilizing different methods to determine the probability distribution, the best method was selected based on Anderson Darling's coefficient (AD) and (P.value) at 95% confidence level.

Radar database and stages of creating the layer of height environment or the third urban dimension: In this part, digital models were generated through the radar data and the related instruments. After analyses, these models were classified in five categories between minimum 5 meters up to maximum 25 meters.

Traffic database: For this, remote sensing techniques on ground-based platforms were used to collect the volume of traffic. The most important traffic node of the city was marked by using this method. Finally, Tehran's layers of land use were named.

The instruments used were based on radar and optical remote sensing data, as well as the specialized algorithms for processing images and the basic data on the third dimension of urban environment, the remote sensing techniques on ground-based platforms (smart traffic cameras), algebraic models, spatial analyses and the advanced statistical methods.

Results and discussion

Cities are affected by both natural and man-made factors. Every city has its own special identity because of the interaction between these two factors. Hence, it is necessary to take these two factors into consideration in urban planning at macro and micro levels. It should be mentioned that the policies and the decision in the field of urban planning can either increase or decrease air pollutants. In this study, the aim was to investigate the relationship between the environment of residential urban environment and the spatial pattern of air pollution in Tehran. First, the height environment of the city, i.e., buildings and constructions were selected. For this purpose, radar and optical remote sensing data, as well as specialized algorithms for processing images and the basic data were used. In this stage, the relationship of the height environment of the city with spatial analysis of the air pollution of Tehran was measured through the correlation coefficient. Then, simulation was done in order to use this topic in urban planning and the height of buildings was reduced to a desired extent. Then, the role of urban land use and its effect on the air pollution of Tehran was measured by regression and overlap analysis. Finally, considering the role of traffic and urban transportation, their correlations were determined based on the obtained data and indices.

Conclusion

The physical pattern and the consequences of urban planning system were identified as reasons for Tehran's air pollution. Hence, the correlation between the city's height environment pattern (third dimension) and the spatial pattern of air pollution was significant at 86% confidence interval. In other words, the air pollution could be control and adjusted up to 86% in the case of appropriate planning or the possibility of modifying the height environment of urban buildings and constructions. The findings were in line with the spatial pattern of $PM_{2.5}$ particles and carbon monoxide regarding urban land use, industries, commercial centers, transportation, organizations and health centers and had the highest coefficient of determination with the spatial pattern of Tehran' air pollution. Considering the traffic, the index nodes had the highest correlation with the spatial pattern of $PM_{2.5}$ particles. Meanwhile, in the dangerous and the unhealthy parts, a large number of nodal points with little distances existed which formed traffic channels. Thus, by identifying these channels and the management of urban traffic, the air pollution can be controlled to the larger extent.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

دوره ۲۷، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲

فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا
دانشگاه تربیت مدرس

تبیین اثرگذاری عوامل محیط مصنوع شهر در الگوی فضایی و تراکم آلاینده‌های هوای شهر تهران

راحله صنیعی[۱]، علی زنگی آبادی[۲*]، محمد شریفی کیا [۳]

۱. استادیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۲. دانشیارگروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران (نویسندهٔ مسئول).
۳. دانشیار گروه سنجش از دور، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۵

چکیده

تهران یکی از آلوده‌ترین شهرهای دنیا است. آلودگی هوا به دلایل مختلف، ازجمله تمرکزگرایی، افزایش ترافیک، مکان‌یابی ناصحیح الگوی فضایی کاربری‌ها، مصرف سوخت‌های فسیلی، عدم وجود مقررات و ضوابط به منظور محدود ساختن مناطق صنعتی و ناپیروی مقررات زیست‌محیطی به وجود آمده و بعضاً بر اثر بعضی عوامل اقلیمی شدت می‌یابند. در این پژوهش، هدف ارتباط‌سنجی عوامل مصنوع شهری با آلودگی هوای شهر تهران و یافتن درجه اهمیت هر یک از آن‌ها است. تکنیک‌های مورد نظر بر پایه داده‌های رادار نشان می‌دهد که الگوی فیزیکی و پیامدهای نظام برنامه‌ریزی شهری در آلایندگی هوای شهر تهران بسیار تاثیر گذار است. در این ارتباط ضریب همبستگی الگوی محیط ارتفاعی ساخت و سازها (بُعد سوم شهر) و آلودگی هوای تهران ۰/۸۶ محاسبه گردید. به بیان دیگر درصورت برنامه‌ریزی مناسب یا وجود امکان اصلاح ساختار بُعد سوم، می‌توان آلودگی هوای شهر تهران را به میزان زیادی کنترل و تعدیل کرد. مستند بر یافته‌های تحقیق از لحاظ کاربری‌های شهری، صنایع، تجاری، حمل و نقل، سازمان‌ها و ادارات و مراکز بهداشتی و درمانی با الگوی فضایی آلاینده‌های ذرات معلق ۲٫۵ میکرونی و مونواکسید کربن منطبق بوده و بیشترین ضریب تعیین را با الگوی فضایی آلودگی هوای شهر تهران داشته‌اند. در بحث ترافیک، شاخص گره‌گاه‌های ترافیک با الگوی فضایی آلاینده ذرات معلق ۲٫۵ میکرونی بیشترین انطباق را داشته اند؛ در محدوده خطرناک و خیلی ناسالم الگوی فضایی آلودگی هوای شهر تهران، تعداد زیادی گره‌گاه ترافیکی با مسافت کم نسبت به هم موجود می‌باشند که در نهایت این گره‌گاه‌ها در کنار هم در بعضی از نقاط شهر کانال‌های ترافیکی را شکل داده‌اند. نتایج مدل کرنل نشان می‌دهد که با شناسایی این کانال‌ها و مدیریت ترافیک شهری می‌توان تاحد زیادی آلودگی مرتبط را تعدیل کرد. به علت امکان‌پذیر نبودن تعدیل یا از بین بردن عوامل جبری ایجاد یا تشدید آلودگی هوا، می‌توان با تغییر در الگوی مدیریت کلان شهری و برنامه‌ریزی شهری، با حفظ یا تغییر در ساختارها –کارکردها، محیط مصنوع شهر تهران را به سمت الگوی زیست محیطی مناسب هدایت کرد.

واژگان کلیدی:

آلودگی هوا، محیط مصنوع، ترافیک، کاربری اراضی، تهران.

*نویسنده مسئول a.zangiabadi@geo.ui.ac.ir

این مقاله مستخرج از رساله دکتری خانم دکتر راحله صنیعی (در دانشگاه اصفهان) است.

۱. مقدمه

شهرها از نظر نوع و تعداد طبقات ساختمان‌ها، ساختارهای فضای شهر، تأثیرات متفاوتی در توزیع و توازن انرژی دارند. فضای شهری در مقایسه با حومه به سبب فقدان پوشش گیاهی قابل‌توجه و از نظر لطافت و پاکیزگی هوا نیاز به برنامه‌ریزی‌های خاصی دارد. ساختمان‌های چندطبقه در برابر بادها مقاومت نموده و بر روی توربلانس هوا و جریان طبیعی آن اثر می‌گذارند (حجازی زاده و مقیمی، ۱۳۸٦: ۱٦۳). آلودگی هوا به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر محیط‌زیست شهری به‌ویژه در شهرهای بزرگ سبب بروز ناهنجاری‌ها، مشکلات و خسارات بسیاری برای ساکنین شهرها شده است. به‌طوری‌که برآوردهای کارشناسان محیط‌زیست نشان می‌دهد ۵/۷٪ از مرگ‌ومیرها در تهران به‌واسطه آلودگی هوا اتفاق می‌افتد و با توجه به این‌که هزینه حفظ حیات بر اساس استانداردهای جهانی ۳۲ هزار دلار تعیین شده، بنابراین، درمجموع هزینه‌های مرگ‌ومیر ناشی از آلودگی‌های هوای تهران در سال ۸٤، معادل ۱۷٦ میلیارد دلار برآورد شده است. به گفته همین کارشناسان هزینه بیماری‌های سرپایی شهروندان تهران به‌واسطه این آلودگی و هزینه‌های بهداشتی ازجمله خسارات دیگری است که از بعد سلامت و بهداشت، هم به اقتصاد جامعه و هم به شهروندان تحمیل می‌شود (فنی و مولودی، ۱۳۸۸: ۵۲).

۲. مبانی نظری

از عوامل موثر بر کیفیت هوای شهر، فرم شهر است. فرم شهر، کلیهٔ مظاهر جسمی و رؤیت‌پذیر شهر است که در واقع موجودیت مادی و فیزیکی شهر، افراد و روابط بین آن¬هاست. به عبارتی برآیند کلیهٔ نیروهای موجود در شهر است و تحت تأثیر عوامل بسیاری از قبیل عوامل اقتصادی، اجتماعی، مذهبی، سیاسی، قومی، فرهنگی، جمعیتی، فیزیکی و تکنولوژیکی قرار دارد.

اجزاء و عناصر تشکیل دهنده فرم شهر به دو دسته عوامل طبیعی محیط و عوامل محیط مصنوع (محیط انسان سخت) تقسیم می‌شوند (حبیب، ۱۳۷۱: ۱٤). محیط مصنوع یا الگوی فیزیکی و پیامد نظام‌های برنامه‌ریزی شهری از طریق سه عامل، کیفیت هوای شهر را تحت تاثیر خود قرار می دهند:

۲-۱- مورفولوژی شهری

مورفولوژی شهری حوزه‌ای از تفکر است که فرآیند ساخت شهر محصولات و نتایج آن را بررسی می‌کند (جمالی، ۱۳۹٤: ۸٦). بلند مرتبه سازی یا بُعد سوم شهری ایده‌ای است که نخست به منظور بهره‌برداری از زمین‌های مرکز شهر و در پی توجه به اقتصاد شهر مطرح گردید (بابایی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱). این نکته حایز اهمیت است که عواملی همانند فرم شهری که بر جریان هوا تأثیرگذار هستند، می‌توانند بر کیفیت هوا هم تأثیر داشته باشند. در مقیاس خرد، مورفولوژی شهر تأثیر تعیین کننده‌ای بر جریان هوا و باد دارد (بهتاش وهمکاران، ۱۳۹۲: ٤۳). تولید نقشه‌های تغییرات شهری به‌ویژه سنجش تغییرات ارتفاعی (عمودی) یکی از اصلی‌ترین اهدف برنامه‌ریزان و مدیران شهری بشمار رفته و تکنیک بکار

گرفته در تولید آن محوری‌ترین چالش متخصصین سنجش از دور در این زمینه محسوب می‌شود. هرچند داده‌های اپتیکی در بسیاری از زمینه‌ها توان ارائه تغییرات محیط‌های شهری به‌خصوص در بُعد افقی را دارا است؛ ولی روش‌های خاص قادر به نمایش تغییرات ارتفاعی می‌باشند (خدایاری ورجوی، ۱۳۹٤: ۱).

۲-۲- کاربری اراضی

کاربری اراضی شهری به دو طریق می‌تواند بر منابع آلاینده هوا تأثیرگذار باشد:

- مکان‌یابی منابع آلاینده در شهر: در صورتی که در فرآیند برنامه‌ریزی شهری و مکان‌یابی کاربری اراضی شهری به موضوع آلاینده‌های هوا به خوبی دقت نشود، مکان‌یابی منابع آلاینده هوا می‌تواند با قرارگیری در مسیر بادهای نفوذ کننده در فضای شهری، باعث افزایش سطح ذرات و آلاینده‌های موجود در هوای شهر شده و به شدت از کیفیت هوای شهر بکاهد. به همین دلیل در فرآیند مکان‌یابی کاربری اراضی، باید به سطح تولید مواد آلاینده این کاربری توجه خاصی شود(بهتاش و همکاران، ۱۳۹۲: ۳۲).
- منطقه بندی کاربری‌های شهری و کیفیت هوا: الگوهای کاربری زمین و ویژگی‌های کالبدی آن در یک ناحیه که تحت عنوان شکل شهری شناخته می‌شوند، می‌توانند با تأثیرگذاری بر میزان سفر و نوع حرکت بین فعالیت‌های مکان، بر کیفیت هوا مؤثر باشند (EPA: 2001:15). موضوع تأثیرالگوهای کاربری زمین بر کیفیت هوا، به‌ویژه در مورد رشد لگام گسیخته شهر در زمین‌های پیرامونی، به دلیل تغییر کاربری‌ها از زمین‌های سبز و طبیعی به کاربری‌های مسکونی، تجاری، صنعتی و خدماتی و غیره، موضوعی بسیار جدی و تأثیرگذار است. در کنار تأثیر تغییر کاربری اراضی سبز و طبیعی بر افزایش آلودگی‌های هوا، تخصیص زمین‌های شهری به پهنه‌های سبز و طبیعی تأثیر تعیین کننده‌ای بر کاهش آلاینده‌های هوا دارد که از جمله مهمترین این تخصیص کاربری‌ها، جنگلداری شهری و توسعه کریدورهای سبز است (بهتاش و همکاران، ۱۳۹۲: ۳۳).

۲-۳- منطقه بندی ترافیک (حمل و نقل)

مهمترین تأثیری که منطقه‌بندی عملکردی بر کیفیت هوا دارد، تولید سفرهای متعدد بین کاربری‌های مختلف است. این موضوع به خودی خود می‌تواند بر سطح آلاینده‌های هوا از طریق افزایش تعداد منابع آلاینده هوا تأثیر داشته و سبب کاهش کیفیت هوا در شهر شود. اما مفهومی که در مقابل مفهوم منطقه‌بندی عملکردی قرار می‌گیرد، مفهوم توسعه کارکردی مختلط است. این گونه توسعه می‌تواند سبب کاهش نیاز به خودرو شخصی برای شهروندان و استفاد کنندگان از این کاربری‌ها شود (بهتاش و همکاران، ۱۳۹۲: ۳۲).

در ادامه به بررسی برخی از پژوهش‌هایی که نزدیکی بیشتری با هدف پژوهش دارند پرداخته می‌شود.

زبردست و همکاران (۱۳۹٤)، به ارتباط کمّی محیط ساخته شده شهری و آلودگی هوا به وسیله عوامل میانجی حمل و نقل، ریه‌های تنفسی و جزایر گرمایی پرداخته اند. براساس تحلیل فضایی مرکز-پیرامون غلظت آلاینده ها، غلظت آن‌ها در نواحی مرکزی و غیرمرکزی شهر متفاوت است. این ارتباط در زمینه دو آلاینده O3 و PM10 به خوبی مشخص است، به طوری که با فاصله از مرکز شهر، آلاینده ثانویه O3 افزایش یافته و آلاینده اولیه PM10 کاهش می‌یابند. عباسپور

و همکاران[1] (۲۰۰۹)، در مطالعه خود به این نتیجه رسید که، تعدیل مناسب ساعت‌های آغاز کار در تهران باعث خواهد شد که آلودگی هوای شهر تا ۲۰٪ در روز کاهش یابد. آتش[2] (۲۰۰۷)، در مقاله «زوال محیط‌زیست شهرها در کشورهای درحال توسعه، با استفاده از نمونه تهران» بیان کرده بحران آلودگی هوا در شهرهای بزرگ کشورهای درحال توسعه وجود دارد. نتایج نشان داد، طرح جامع ۱۰ ساله آلودگی هوای تهران با تأخیر انجام شده است و در آن وقفه‌هایی صورت گرفته است. بورگو و همکاران[3] (۲۰۰۶) برای بررسی کیفیت هوای شهرها در فرم‌های مختلف، سه شهر خیالی بر اساس استراتژی‌های برنامه‌ریزی شهری، با در نظر گرفتن الگوهای کاربری مختلف ایجاد کردند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که شهرهای فشرده‌تر با کاربری مختلط، کیفیت هوای شهری بهتری را در مقایسه با شهرهای پراکنده و خطی ارائه می‌کنند. (عباسپور و همکاران ۲۰۰٤) ، در «طراحی مدل ارزیابی زیست‌محیطی، بر پراکندگی وسایل نقلیه تهران بزرگ و تاثیر آن بر روی آلودگی هوا»، به بررسی و تخمین تناژ، غلظت و اثرات آلاینده‌های هوا، همراه با کنترل اقدامات، به‌منظور کاهش اثر آلاینده‌های منتشر شده توسط ناوگان حمل و نقل در تهران می‌پردازند. نظریان و همکاران (۱۳۸۸) در مقاله‌ای تحت «عنوان بررسی نقش مکان و مورفولوژی در کیفیت هوای شهر تهران با استفاده از GIS و داده های ماهواره‌ای (RS)»، به مطالعه عوامل مورفولوژیکی شهر بر کیفیت هوای شهر پرداخته‌اند. در این مطالعه با استفاده از داده‌های آماری سال ۲۰۰۲ و داده‌های سنجش از دور نحوه پراکندگی بعضی از پارامترهای کیفیت هوای شهر تهران مورد بررسی قرارگرفته و با استفاده از داده‌های سازمان محیط‌زیست برای یک دوره یک‌ساله متوسط غلظت آلاینده‌ها در ساعات مختلف شبانه‌روز استخراج و به‌صورت نمودار و جدول نمایش داده شده است.

نظام برنامه‌ریزی شهری و سیاست‌گذاری‌هایی که در مورد نحوه استفاده زمین در شهرها برای پاسخگویی به نیاز شهروندان اتخاذ می‌شود مانند شمشیر دو لبه‌ای است که می‌تواند با تدوین استراتژی‌های متفاوت در ایجاد، شدت یا کاهش آلودگی هوا نقش‌آفرین باشد. این پژوهش برای سنجش ارتباط الگوی فضایی آلودگی هوای شهر تهران با محیط مصنوع بر آن است در گام نخست به تجزیه و تحلیل ارتباط سه عامل محیط ارتفاعی ساخت و سازهای شهری (بُعد سوم شهر)، کاربری اراضی و ترافیک شهری با آلودگی هوای شهر تهران پرداخته تا نقش هرکدام را در راستای اصلاح مدیریت شهری پدیدار کند.

۳. داده‌ها و روش‌ها

محدودهٔ موردمطالعه، شهر تهران و موضوع مورد بررسی، آلودگی هوای شهر تهران بوده و جامعه آماری مناطق ۲۲ گانه شهر تهران است. در این پژوهش جمع‌آوری اطلاعات از طریق مراکز کنترل کیفی هوای شهر تهران و سازمان محیط‌زیست، تصاویر

[1] Abbaspour, et, al
[2] Atash
[3] Borrego, et, al

رادار، لایه‌های کاربری زمین و مرکز کنترل ترافیک شهر تهران بوده و روش استخراج آن به‌صورت نرم‌افزاری است. در شکل ۱ مراحل پژوهش بیان شده است.

شکل۱- نمودار مراحل تحقیق

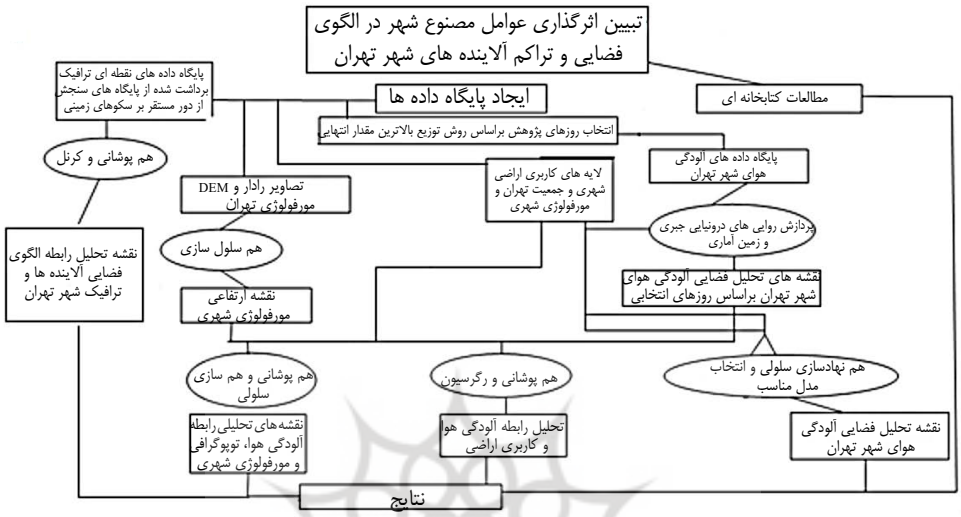

Figure 1. Flowchart of research steps

۱-۳- داده‌ها

با توجه به داده‌های مورد نیاز برای دستیابی به هدف مورد نظر، چندین پایگاه داده تشکیل شد:

۱-۱-۳- پایگاه داده‌های آلاینده‌های هوای شهر تهران؛ برای ایجاد پایگاه داده‌های مورد استفاده برای تحلیل مکانی

تمام اطلاعات آماری شاخص کیفیت هوا از سال ۱۳۸٤ تا ۱۳۹۱ از سازمان محیط زیست اخذ گردید. برای این منظور، با توجه به استانداردهای سازمان محیط زیست جهت طبقه‌بندی شاخص کیفیت هوا، روزهای ناسالم انتخاب شد. سپس با استفاده از روش‌های مختلف تعیین توزیع احتمال وقوع، بهترین روش توزیع با توجه به ضریب اندرسون دارلینگ (AD) و (P.value) در سطح اطمینان ۹۵٪ انتخاب گردید. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که توزیع احتمال آماری داده‌های شاخص کیفیت هوا با مقادیر بیش از ۲۰۰ در تهران با روش توزیع بالاترین مقدار انتهایی۱ بهترین برازش را دارد. بر مبنای توزیع احتمال بالاترین مقدار فرین، روزهای بالای احتمال وقوع ۹۹ درصد که دارای مقادیر AQI=۲۰۰ و بیشتر

[1] largest extreme value

بوده‌اند یعنی روزهای بسیار ناسالم و خطرناک برای مطالعه انتخاب گردید. در شکل ۲ برازش روش توزیع بالاترین مقدار انتهایی و داده‌ها را نشان می‌دهد. در ۰/۰۱ انتهایی محدودهٔ انتخاب‌شده علامت‌گذاری شده است.

شکل۲- نمودار برازش روش توزیع بالاترین مقدار انتهایی

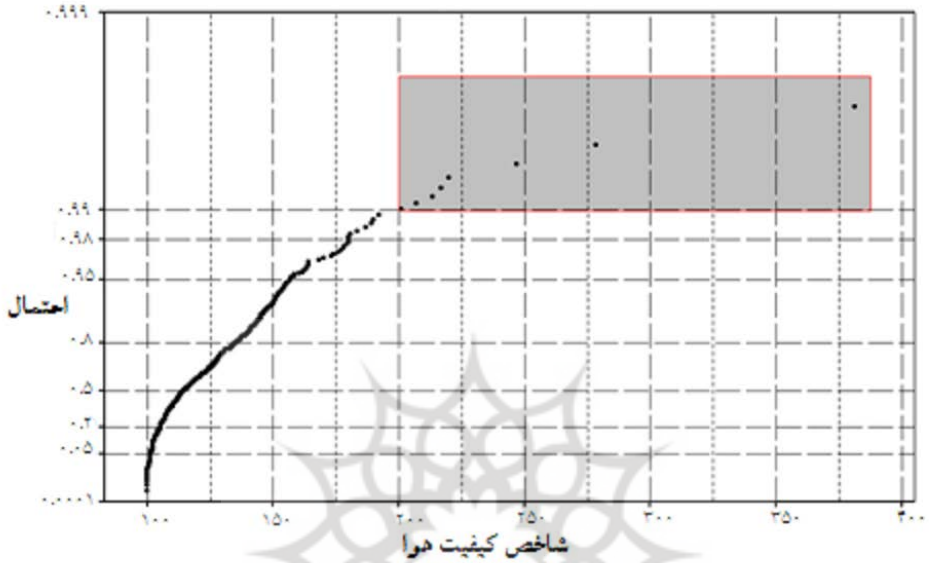

Figure 2. The fitting diagram of the largest extreme value method

۲-۱-۳- پایگاه داده‌های رادار و مراحل ایجاد لایه محیط ارتفاعی ساخت و سازهای شهر (بُعد سوم شهر)

ابتدا یک DEM[1] از داده های برداری مربوط به لایه کاربری اراضی که به ازای هر پلی‌گون مستحدثاتی ارتفاع را معرفی میکرد، ساخته شد. بدین منظور داده‌های پلی‌گونی مبتنی بر مشخصه ارتفاع، تبدیل به وکتورهای نقطه‌ای شده سپس به کمک ابزارهای تولید مدل رقومی به عنوان مبنای ارتفاعی معرف ارتفاع ژئومتری (ارتفاع از سطح بیضوی) برای یکایک واحدهای مستحدثاتی گردید. هدف در اینجا این بود که از DEM لایه ارتفاع سطح DSM[2] به دست آورده شود و از DSM مقادیر ارتفاعی واقع بر روی بیضوی مبنا کسر شود تا مستحدثاتی بر روی سطح که دارای ارتفاع بزرگ‌تر از ارتفاع سطح هستند شناسایی شوند. برای این منظور یک مدل رقومی DSM از طریق داده‌های رادار تهیه و پس از هم سلول‌سازی با DEM فوق‌الذکر اقدام به کسر مقادیر ارتفاع ژئومتری از DEM مستحدثاتی شد. رقم باقی‌مانده به‌عنوان شاخص ارتفاعی مستحدثاتی شهری نشان شده، سپس در ۵ کلاس طبقه‌بندی شد.

[1] Digital Elevation Model
[2] Digital Surface Model

۳-۱-۳- پایگاه داده‌های ترافیک

در این پژوهش از تکنیک‌های سنجش از دور مستقر بر سکوهای زمینی (دوربین‌های هوشمند ترافیک) برای برداشت میدانی حجم ترافیک خودروها استفاده شده است. با استفاده از این روش مهم‌ترین گره‌گاه‌های ترافیکی شهر علامت-گذاری شد.

۴-۱-۳- لایه های کاربری اراضی شهر تهران

ابزارهای مورد استفاده مبتنی بر داده‌های سنجش ازدور راداری و اپتیکی و همچنین الگوریتم‌های اختصاصی پردازش تصاویر رادار و داده‌های پایه‌ای در بعد سوم محیط شهری، تکنیک‌های سنجش از دور مستقر بر سکوهای زمینی (دوربین‌های هوشمند ترافیکی)، مدل‌های جبری و زمین آمار تحلیل فضایی و روش‌های آماری است.

۴. یافته‌های پژوهش

با توجه به هدف پژوهش تجزیه و تحلیل های مربوطه به دو بخش تقسیم می‌شود:

۱- الگوی فضایی آلودگی هوای شهر تهران

۲- ارتباط سنجی بین محیط مصنوع شهر تهران و الگوی فضایی آلودگی هوای شهر تهران.

۱-۴- الگوی فضایی آلودگی هوای شهر تهران

برای تجزیه و تحلیل‌های مربوطه ابتدا باید الگوی فضایی آلاینده‌های مزبور و الگوی فضایی آلودگی هوای شهر تهران برآورد شود. برای این کار سه گام برداشته شد:

در گام اول، به مقایسه مدل‌های جبری و زمین آمار برای هر روز، جهت میانه‌یابی آلودگی پرداخته شد. یعنی برای هر روز، ۴۲ مدل محاسبه گردیده و بر اساس روش RMSE بهترین مدل انتخاب شد. در گام دوم، نقشه خروجی از نرم افزار آورده و بعد از آن جهت یکسان‌سازی نقشه‌ها برای مقایسه، از استانداردهای سازمان محیط‌زیست استفاده شده است. گام سوم، ترسیم نقشه الگوی فضایی آلودگی هوای شهر تهران است. بدین منظور نقشه‌های الگوی فضایی آلاینده‌ها در نرم افزار مربوطه نقشه پایه قرار گرفت و در نهایت مدل الگوی فضایی آلودگی هوای شهر تهران ترسیم گردید (شکل۳).

شکل۳- نقشه الگوی فضایی آلودگی هوای شهر تهران

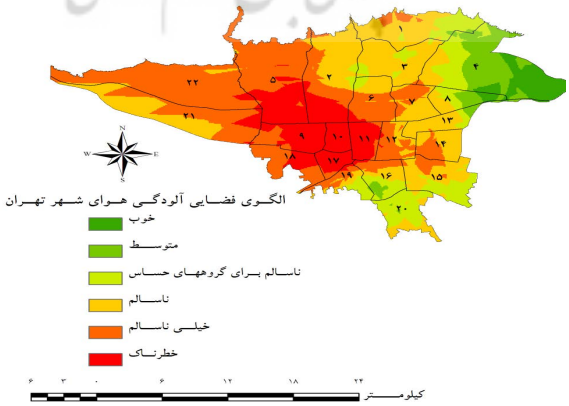

Figure 3. Tehran air pollution spatial pattern

۴-۲- ارتباط سنجی بین محیط مصنوع شهر تهران و الگوی فضایی آلودگی هوای شهر تهران

در این بخش برای بررسی نقش برنامه‌ریزی شهری در تعدیل و یا افزایش آلودگی هوای شهر تهران، ارتباط سه عامل الگوی فضایی ارتفاع ساختمان‌ها یا محیط ارتفاعی شهر، کاربری اراضی و ترافیک شهر تهران با الگوی فضایی آلودگی هوای شهر تهران و الگوی فضایی آلاینده‌ها به صورت جداگانه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

۴-۲-۱- رابطه محیط ارتفاعی ساختمان‌ها با الگوی فضایی آلودگی هوا

ارتفاع ساختمان‌ها موضوع بحث‌برانگیزی است که بر کیفیت هوای شهر تأثیر می‌گذارد. در این بخش هدف این است که برای نخستین بار ارتباط بُعد سوم شهر یا همان محیط ارتفاعی شهر با آلودگی هوا بررسی شود. آنچه شکل ٤ نمایش می‌دهد الگوی فضایی ارتفاع ساختمان‌های (محیط ارتفاعی یا بُعد سوم) شهر تهران است. این نقشه از تصاویر رادار استخراج گردیده است.

شکل ٤- نقشه الگوی فضایی ارتفاع ساختمان‌های شهر تهران (بُعد ارتفاعی یا بعد سوم شهری)

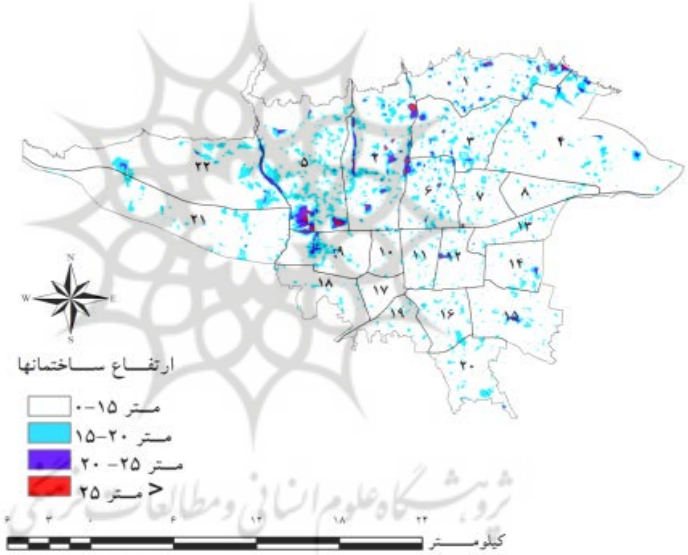

Figure 4. The spatial pattern of the height of Tehran buildings (Height dimension or third dimension)

در گام بعدی با استفاده از روش هم‌پوشانی و هم سایز سازی سلولی الگوی فضایی آلاینده‌ها با الگوی فضایی ارتفاع ساختمان‌ها در شهر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج در این مرحله نشان داد، بیشترین ارتباط را الگوی فضایی محیط ارتفاعی شهری (بُعد سوم) به ترتیب با آلاینده‌های ذرات معلق ۱۰ ، ۲,۵ میکرونی و منواکسید کربن و کمترین ارتباط را با اوزن داشته است. شکل ۵ نمونه‌ای از بررسی این رابطه است.

شکل ۵- نقشه هم‌پوشانی الگوی فضایی ارتفاع ساختمان‌های شهر تهران و الگوی فضایی ذرات معلق ۱۰ میکرون

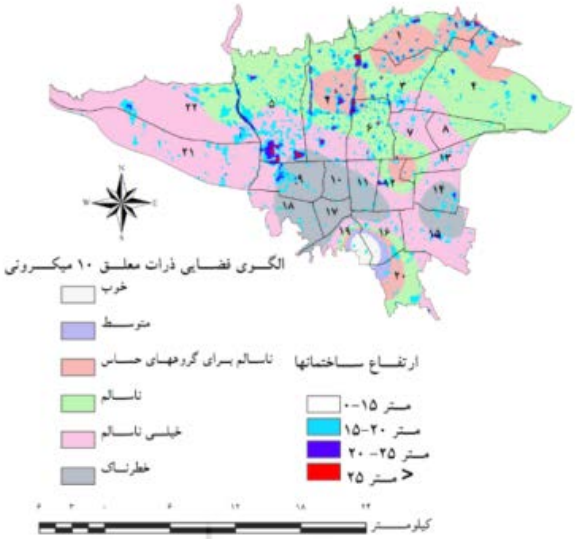

Figure 5. The spatial overlap pattern of the buildings height and the particles matter of 10 microns in Tehran

در مرحله آخر برای رسیدن به یک اجماع، الگوی فضایی آلودگی هوای شهر تهران با الگوی فضایی محیط ارتفاعی (بُعد سوم) شهر هم سایز سازی سلولی گردیده و با استفاده از روش همبستگی ارتباط آن‌ها سنجیده شد.

شکل٦- نقشه هم‌پوشانی الگوی فضایی ارتفاع ساختمان های شهر تهران و الگوی فضایی آلودگی هوای شهر تهران

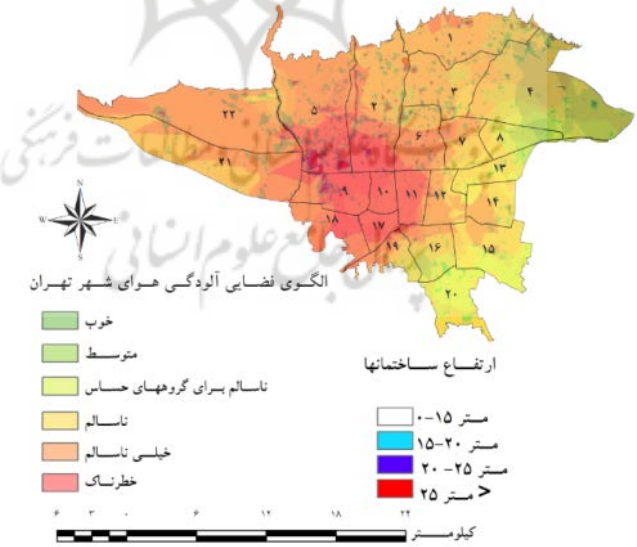

Figure 6. Overlapping the spatial pattern of the buildings height and the air pollution in Tehran

با توجه به شکل ٦ می‌توان بیان کرد که در قسمت خیلی ناسالم و خطرناک بیشترین ساختمان‌های بلند بالای ۲۰ متر دیده می‌شود. همان‌گونه که نقشه نشان می‌دهد، در غلظت‌های زیاد که برای سلامتی انسان مضر هستند؛ ساختمان‌های بلند بسیاری دیده می‌شود. برای اینکه میزان این رابطه آشکار گردد مقدار همبستگی بین این دو بررسی گردید و نتایج آن به شرح زیر است.

جدول ۱- همبستگی بین مورفولوژی شهر و ارتفاع ساختمان های شهر تهران

	الگوی فضایی آلودگی هوای شهر تهران	الگوی فضایی محیط ارتفاعی شهر تهران
الگوی فضایی محیط ارتفاعی شهر تهران	۰/۸٦	۱
الگوی فضایی آلودگی هوای شهر تهران	۱	۰/۸٦

Table1. Correlation between the morphology of the city and the height of buildings in Tehran

همان‌گونه که جدول ۱ نشان می‌دهد بین الگوی فضایی محیط ارتفاعی شهر تهران و الگوی فضایی آلودگی هوای شهر تهران به میزان ۰/۸٦ ارتباط مستقیم برقرار است. یعنی هرچه ساختمان‌ها بلندتر باشند غلظت آلاینده‌ها نیز بیشتر خواهد بود. بدین سبب می‌توان با اصلاح ساخت و سازهای شهری، آلودگی شهر را کاهش داد. برای نشان دادن اهمیت این موضوع شبیه‌سازی انجام گرفت؛ بدین صورت که ۸٦٪ از ارتفاع ساختمان‌های شهر تهران کاسته شد. سپس نقشه خروجی آلودگی هوای شهر به‌صورت شکل ۷ در آمد.

شکل۷- نقشه الگوی فضایی آلودگی هوای شهر تهران پس از کاهش ارتفاع ساختمان‌های شهر تهران

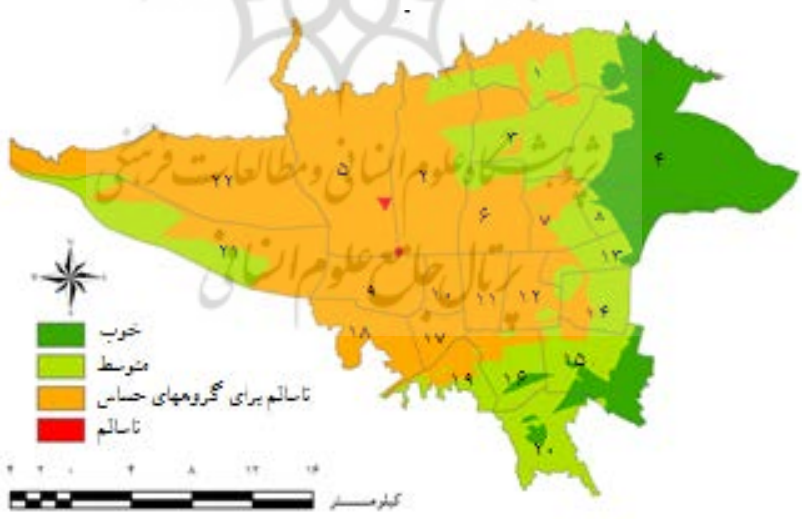

Figure 7. The spatial pattern of air pollution in Tehran after reducing the height of buildings in Tehran

شکل۷ نشان می‌دهد که با کاهش ارتفاع ساختمان‌ها از آلودگی هوای شهر نیز به طرز محسوسی کاسته می‌شود. همان‌گونه که شکل ۷ نشان می‌دهد دو طبقه خطرناک و خیلی ناسالم از شکل حذف شده و وضعیت ناسالم نیز به دو نقطه کوچک تنزل پیدا کرده است.

۲-۲-۴- رابطه کاربری اراضی با آلودگی هوا

یکی از عوامل مداخله‌گر در ایجاد یا افزایش آلودگی هوا، کاربری اراضی در شهرها است. برای این هدف، در ابتدا به بررسی نقشه‌های هم‌پوشانی الگوی فضایی کاربری‌ها با الگوی فضایی آلاینده‌های هوای شهر تهران پرداخته شد. نتایج انطباق هر کاربری با آلاینده‌ها در جدول شماره ۲ درج گردیده است. سپس با استفاده از روش رگرسیون ارتباط الگوی فضایی آلودگی هوای شهر با کاربری‌ها سنجیده شد. همانگونه که جدول۲ نتایج نشان می‌دهد بیشترین R^2 متعلق به کاربری صنایع، حمل و نقل، تجهیزات شهری و بهداشتی درمانی است. این بدان معنی است که با تغییر کوچک در این کاربری‌ها می‌توان قدم مهمی در بهبود وضعیت آلودگی هوای شهر تهران برداشت.

جدول ۲- ارتباط الگوی مکانی کاربری ها و الگوی مکانی آلاینده‌ها هوای شهر تهران

نوع کاربری	الگوی فضایی آلاینده ای که بیشترین انطباق مکانی با کاربری مورد نظر را دارد	R^2
صنایع	منو اکسید کربن، دی اکسید نیتروژن، ذرات معلق ۲,۵ میکرونی	٪۸۹
حمل و نقل	منو اکسید کربن، دی اکسید نیتروژن، ذرات معلق ۲,۵ میکرونی	٪۸۹
تجهیزات شهری	منو اکسید کربن، دی اکسید نیتروژن، ذرات معلق ۲,۵ میکرونی	٪۸۵
تجاری	دی اکسید نیتروژن، ذرات معلق ۲,۵ میکرونی	٪۸۲
بهداشتی و درمانی	دی اکسید نیتروژن، ذرات معلق ۲,۵ میکرونی	٪۷۶
فضای سبز	ذرات معلق ۱۰ میکرونی	-
تفریحی	منو اکسید کربن، دی اکسید نیتروژن	٪۷۴
آموزشی	الگوی پخش	٪۷۴
فرهنگی	الگوی پخش	٪۶۶
مذهبی	الگوی پخش	٪۵۵
سازمان ها و ادارات	دی اکسید نیتروژن، ذرات معلق ۲,۵ میکرونی	٪۵۳

Table 2. The relationship between the spatial pattern of land use and the air pollutants in Tehran

۳-۲-۴- رابطه ترافیک با الگوی فضایی آلودگی هوا

برای نشان دادن اهمیت ترافیک و میزان تأثیر آن در آلودگی هوای شهر تهران، در این بخش به نقاط پُر تردد شهر یا به عبارتی دیگر به گره‌گاه‌های ترافیکی تهران پرداخته می‌شود. سپس ارتباط این نقاط با نقشه‌های آلودگی هوای شهر تهران از طریق روش‌های هم‌پوشانی و مدل کرنل به نمایش گذاشته می‌شود. لازم به ذکر است ابزار مورد استفاده در این روش تکنیک‌های سنجش از دور مستقر بر سکوهای زمینی (دوربین‌های هوشمند ترافیکی) است.

شکل ۸ نقشه گره‌گاه‌های ترافیک شهر تهران

Figure 8. Map of Tehran traffic nodes

شکل ۸ گره‌گاه‌های ترافیکی شهر تهران را نشان می‌دهد. یعنی نقاطی که در آن چگالی خودروها در بیشترین میزان آن بوده و شرکت کنترل ترافیک و حمل و نقل شهر تهران آن را به رسمیت می‌شناسد.

در این بخش برای رسیدن به هدف مورد نظر از روش هم‌پوشانی گره‌گاه‌های ترافیکی با الگوی فضایی هر یک از آلاینده‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد؛ بیشترین انطباق الگوی فضایی گره‌گاه‌های ترافیکی با الگوی فضایی ذرات معلق ۲,۵ میکرونی بوده است (شکل۹).

شکل ۹- نقشه هم پوشانی گره گاه‌های ترافیکی و الگوی فضایی آلاینده ذرات معلق ۲,۵ میکرونی

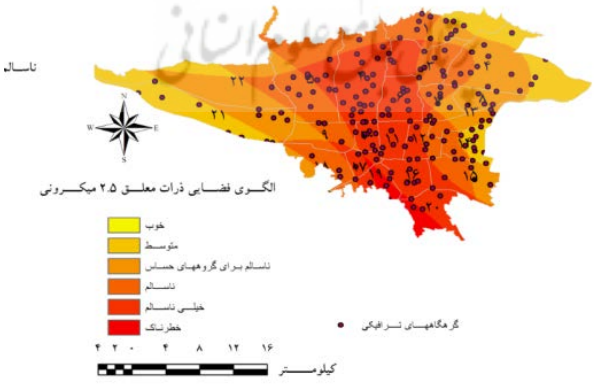

Figure 9. Overlapping map of traffic nodes and spatial pattern of 2.5 micron suspended particles pollutant

جهت نیل به یک اجماع کلی در راستای ارتباط آلودگی هوا و بحث ترافیک در گام اول، از نقشه هم‌پوشانی این گره‌گاه‌ها با الگوی فضایی آلودگی هوای شهر تهران استفاده شد. همانگونه که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود در بخش‌های خیلی ناسالم و خطرناک شهر تعداد زیادی از این گره‌گاه‌های ترافیکی دیده می‌شود.

شکل ۱۰- نقشه همپوشانی الگوی فضایی آلودگی هوای شهر تهران و گره‌گاه‌های ترافیک

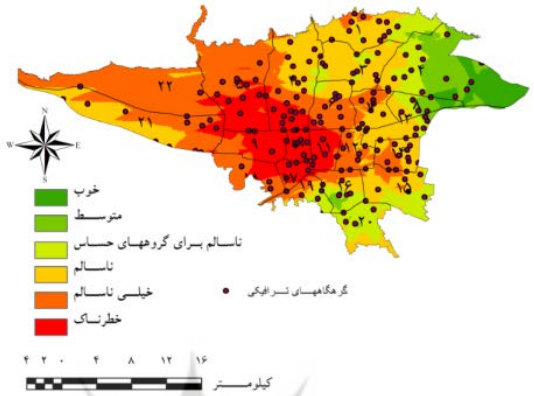

Figure 10. Overlapping map of the spatial pattern of air pollution and traffic junctions in Tehran

در گام دوم با استفاده از متوسط چگالی خودروها در گره‌گاه‌های ترافیکی به واسطه مدل کرنل محدوده‌ی گره‌گاه‌های ترافیکی ترسیم شد (شکل ۱۱). با توجه به شکل مربوطه در قسمت‌هایی که آلودگی در حد خیلی ناسالم و خطرناک است، محدوده‌ی این گره‌گاه‌ها با هم هم‌پوشانی دارند. برای نشان دادن اهمیت موضوع، محدوده‌ی نقاطی که با هم تداخل داشته‌اند و کانال‌های ترافیکی ایجاد کرده‌اند؛ در شکل ۱۲ با رنگ صورتی نشان داده شد.

شکل ۱۱- الگوی فضایی چگالی خودروها

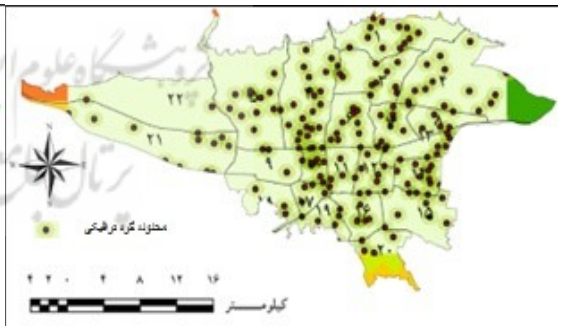

Figure 11. The spatial pattern of car density

شکل ۱۲- الگوی فضایی آلودگی هوا و کانال‌های ترافیکی شهر تهران

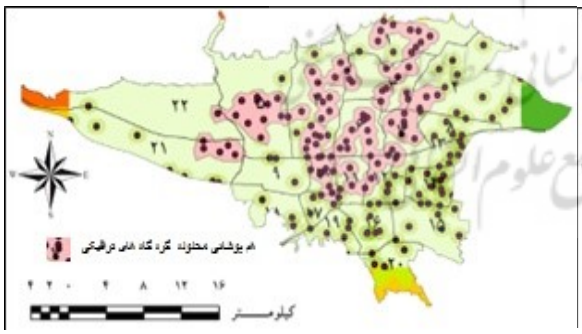

Figure 12. The spatial pattern of air pollution and traffic channels in Tehran

مستند بر شکل ۱۳، کانال‌های ترافیکی زیادی در نواحی خیلی ناسالم و خطرناک که بعضاً در برخی نقاط به هم متصل شده‌اند دیده می‌شود. با توجه به مطالب پیش گفته می‌توان اذعان نمود؛ با مدیریت بهینه کلان‌شهری در این گره‌گاه‌ها و اتخاذ سیاست‌های صحیح برنامه‌ریزی شهری در زمینه ترافیک، می‌توان تا حد زیادی از آلودگی هوای شهر تهران کاست.

شکل۱۳- الگوی فضایی آلودگی هوا بعد از حذف کانال‌های ترافیک

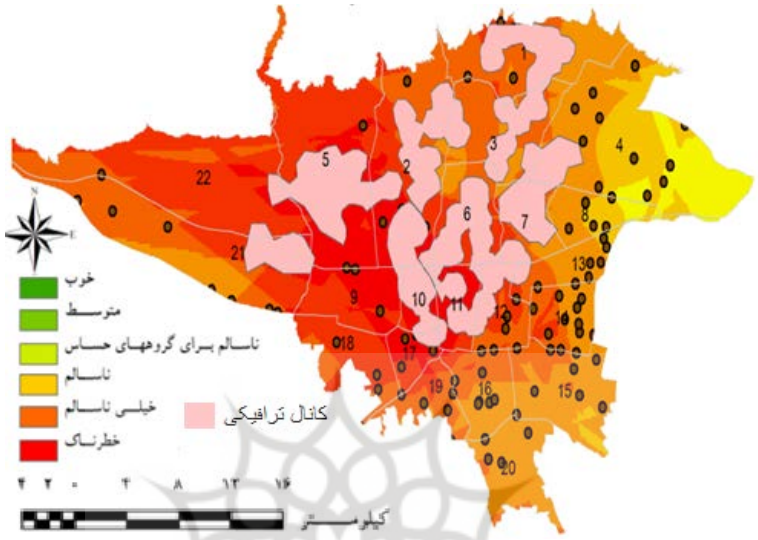

Figure 13. The spatial pattern of air pollution after removing the traffic channels

۵- بحث

شهرها معلول دوعامل طبیعی و انسان ساخت هستند. هر شهر به‌دلیل واکنش این دو عامل با یکدیگر، دارای هویت خاصی است. لازم است در برنامه‌ریزی شهری در سطح کلان و خرد این دو عامل در نظر گرفته شود.

در سال‌های اخیر برنامه‌ریزان شهری سعی در برقراری ارتباط قوی‌تر بین برنامه‌ریزی شهری و سلامت عمومی جوامع داشته‌اند. در این زمینه، مشکلاتی نظیر بیماری‌های گونا گون، انتشار آلاینده‌های مضر و نگرانی‌هایی در زمینه بهداشت روانی، به شکلی فزاینده روندی روبه رشد از خود نشان داده است. به همین جهت گرایش‌هایی در راستای بهبود شرایط به‌وسیله ایجاد تغییرات در محیط مصنوع شهر مطرح شده است. علی‌رغم اینکه تحلیل ساخت شهر و موضوع سلامت عمومی از سالیان دور مطرح بوده است، یک بخش مهم و حیرت انگیز از پازل شهری، یعنی محیط انسان ساخت یا محیط مصنوع شهر، فارغ از محافل آکادمیک و سیاسی، در سطح مفهومی انتزاعی باقی مانده است. یکی از مهم‌ترین چالش‌های محیط زیستی پیش روی کلان‌شهرها، پدیده آلودگی هواست. آلودگی هوا از رهاوردهای توسعه صنعتی است که با افزایش جمعیت و گسترش شهرنشینی، توسعه حمل و نقل موتوری و میزان مصرف سوخت، روز به روز بر شدت آن افزوده می‌شود، بطوری‌که این پدیده امروزه به یکی از معضلات کلان‌شهرهایی نظیر تهران مبدل شده است (زبردست و همکاران، ۱۳۹٤: ٥٦).

باید اذعان کرد که سیاست‌ها و تصمیماتی که در زمینه برنامه‌ریزی شهری گرفته می‌شود؛ هم می‌تواند باعث ایجاد یا ازدیاد آلاینده‌ها یا سبب کاهش آلاینده‌ها در شهرها گردد. از آن جمله می‌توان، تصمیماتی که در زمینه اشکال مختلف توزیع کاربری‌ها و نحوه همسایگی آن‌ها، ساخت و سازها و توسعه شهر در یک ناحیه جغرافیایی اتخاذ می‌شود؛ نام برد که هر کدام از آن‌ها گونه خاصی از شهرها را با الگوهای توزیع فضایی جمعیت و حمل و نقل به وجود می‌آورند.

در این پژوهش سعی شده است ارتباط محیط مصنوع شهر با الگوی فضایی آلودگی هوای شهر تهران بررسی شود. در قدم اول، محیط ارتفاعی شهر، یعنی ساخت و سازهای شهری در بُعد سوم انتخاب گردید. برای این امر از داده‌ها و ابزارهای سنجش از دور راداری و اپتیکی و همچنین الگوریتم‌های اختصاصی پردازش تصاویر رادار استفاده شد. سنجش ارتباط الگوی فضایی آلودگی هوای شهر تهران و الگوی فضایی محیط ارتفاعی شهر تهران، حاکی از ۰/۸۶همبستگی است. در جهت کاربردی شدن این مبحث در برنامه‌ریزی شهری شبیه‌سازی انجام گرفت و به میزان مورد نظر از ارتفاع ساختمان‌ها کاسته شد.

در مرحله بعد به نقش کاربری های زمین شهری و تاثیر آن بر آلودگی هوای شهر تهران با استفاده از روش‌های رگرسیون و هم پوشانی پرداخته شد. در پایان نیز با توجه به اهمیت نقش ترافیک و حمل ونقل شهری و تاثیر آن در آلوگی هوا، بر پایه داده‌های مورد نظر بین آن‌ها و شاخص‌های مورد نظر از طریق مدل کرنل و هم پوشانی، ارتباط سنجی انجام شد.

۶- نتیجه گیری

سنجش ارتباط الگوی فضایی آلودگی هوای شهر تهران و الگوی فضایی محیط ارتفاعی شهر (بُعد سوم شهر) حاکی از ۰/۸۶همبستگی است. در این راستا برای بهتر نشان دادن اهمیت این موضوع در برنامه‌ریزی شهری شبیه‌سازی انجام گرفت که در آن ۸۶٪ از میزان ساختمان‌ها کاسته شد. نتایج نشان می‌دهد آلودگی هوا در دو سطح خیلی ناسالم و خطرناک محو و آلودگی در سطح ناسالم بسیار کوچک گردید.

مطالعات و بررسی‌های انجام شده در راستای برنامه‌ریزی کاربری اراضی نشان می دهد که کاربری‌های صنایع، حمل و نقل، تجهیزات شهری، تجاری و بهداشتی بیشترین تأثیر را در آلودگی هوا داشته‌اند. با توجه به ضریب تعیین به دست آمده، با اندک تغییرات برنامه‌ریزی شده در رابطه با کاربری اراضی می‌توان تاحد زیادی از آلودگی هوا کاست. الگوی فضایی آلاینده‌های منواکسیدکربن، ذرات معلق ۲٫۵ میکرونی و دی‌اکسیدنیتروژن بیشترین انطباق را با کاربری‌ها داشته‌اند.

شهر تهران با توجه به مرکزیت آن در کشور و همین‌طور تمرکز جمعیت به یک مرکز بزرگ خدماتی تبدیل گشته است. مسلم است شهری با این وسعت هر روزه حجم بسیار زیادی از رفت و آمدهای درون شهری و حومه را در خود جای داده است. برای نشان دادن اهمیت این امر از تکنیک‌های سنجش از دور مستقر بر سکوهای زمینی استفاده گردید. با استفاده از این روش گره‌گاه‌های ترافیکی براساس چگالی خودورها در مناطق مختلف شهر استخراج شد. نتایج مبتنی بر تجزیه و تحلیل این اطلاعات و الگوی فضایی آلودگی هوای شهر تهران نشان داد که این گره‌گاه‌ها بواسطه مدل کرنل در بعضی مناطق برروی هم، هم‌پوشانی داشته و کانال‌های ترافیکی ایجاد می‌کند. این کانال‌های ترافیکی بیشتر در

بخش‌هایی که آلودگی در حد خطرناک و خیلی ناسالم است دیده می‌شود. پس با حذف این کانال‌ها از طریق مدیریت بهینه شهری در راستای مدیریت بحران آلودگی هوای شهر تهران می‌توان آلودگی هوای شهر تهران را تحت کنترل در آورد.

نتایج این پژوهش نشان داد تصمیمات برنامه‌ریزان شهری در شکل‌گیری شهرها تا چه اندازه می‌تواند در کاهش یا افزایش آلودگی هوا موثر باشد. به لحاظ راهبردهای کارآمد جهت کاهش آلودگی هوای شهر تهران، به سبب امکان‌پذیر نبودن تعدیل یا از بین بردن عوامل جبری ایجاد یا تشدید آلودگی هوا، با تغییر در الگوی مدیریت کلان شهری و برنامه‌ریزی شهری منطبق بر کارکردهای انسانی و الگوی فضایی، می توان با حفظ یا تغییر ساختارها –کارکردها و جمعیت، محیط مصنوع شهر تهران را به سمت الگوی زیست‌محیطی مناسب هدایت نمود.

منابع

- بابایی، ج.، داوری، ن.، پور تبریزی نژاد، آ (۱۳۹۵). بررسی تاریخچه بلند مرتبه سازی در جهان و ایران مورد شناسی: آسیب شناسی ساختمان های بلند مرتبه در ایران، *دومین کنفرانس بین المللی یافته های نوین پژوهش در علوم، مهندسی، فناوری*، ترکیه، ۱-۱۳.
- بهتاش، ف.، مرادی، م.، و نگین تاجی، ص. (۱۳۹۲). بررسی ابعاد تأثیرگذار فرم شهر بر کیفیت هوا (نمونه موردی: شهر تهران)، *گزارش شماره ۲۱۲ مرکز مطالعات و برنامه ریزی شهر تهران*.
- جمالی، س. (۱۳۹٤). *بررسی جایگاه ریخت شناسی شهری در طرح های توسعه کالبدی ایران مطالعه موردی کلانشهر تبریز، نشریه جغرافیایی مناطق خشک*، ۱۹، ۱۰۲ -۸۵.
- حبیب، ف. (۱۳۷۱). نقش فرم شهر در کاهش خطرات ناشی از زلزله، *مسکن و محیط روستا*، ٤٥ ،١٦-١٣.
- حجازی زاده، ز.، مقیمی، ش. (۱۳۸٦). *کاربرد اقلیم در برنامه ریزی شهری و منطقه‌ای*، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.
- خدایاری ورجوی، ا. (۱۳۹٤). ارزیابی کارائی خروجی تصاویر راداری و اپتیکی در شناسائی تغییرات عوارض شهری شهر تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- زبردست، ا.، ریاضی، ح.(۱۳۹٤). شاخص‌های محیط انسان ساخت و تاثیرات آن بر آلودگی هوا، *نشریه‌های هنرهای زیبا و معماری*، ۱، ٥٥-٦٦. https://doi.org/10.22059/jfaup.2015.56371
- فنی، ز.، مولودی، ج. (۱۳۸۸). ارزیابی محیط زیست شهری در قالب قوانین و ضوابط (با تأکید بر آلودگی هوا)، *دو فصلنامه مدیریت شهری*، ۲٤، ٦٤-٥١.
- نظریان، ا.، ضیاییان، پ.، و جنگی، ع. (۱۳۸٦). بررسی نقش مکان و مورفولوژی در کیفیت هوای شهر تهران با استفاده از GIS و داده های ماهواره‌ای (RS) ، *پژوهش های جغرافیایی*، ٦١، ۳۰-۱۷.

- Abbaspour, M., & Soltaninejad A. (2004). Design of an environmental assessment model on the effect of vehicle emission in greater Tehran on air pollution with economic sensitivity, *Int. J. Environ. Sci. Tech*, *1*(1): 27-38.
- Abbaspour M., Dana, T., Shaiepour, M., & Mahmoudi, M. (2009). Design of a mathematical model to minimize air pollution caused by Job trips in mega cities, transaction B: *Mechanical Engineering*, *16* (2): 177-88.
- Atash, F. (2007). The deterioration of urban environments in developing countries: mitigating the air pollution crisis in Tehran, Iran, *Cities*, *24* (6): 399–409. https://doi.org/10.1016/j.cities.2007.04.001
- Babaiee, G., & Davary, N. (2016). Investigating the history of high-rise construction in the world and Iran, a case study: The pathology of high-rise buildings in Iran, *The second international conference on new research findings in science, engineering, technology*, Turkey, 1-13. (In Persian).
- Behtash, F., Moradi, M., & Negintagi, S. (2013). Investigating the influencing dimensions of the city form on air quality (case example: Tehran city), *Report No. 212 of Tehran Study and Planning Center.* (In Persian)
- Borrego, C., Martins, H., Tchepel, O., Salmim, L., Monteiro; A., & Miranda, A.I. (2006). How urban structure can affect city sustainability from an air quality perspective, *Environmental Modelling & Software*, 5, 461-467.doi.org/10.1016/j.envsoft.2004.07.009
- Environmental Protection Agency (EPA). (2001). EPA Guidance: *Improving Air Quality Through Land Use Activities*, EPA: USA. EPA420-R-01-001
- Fani, Z., & Molodi, G. (2009). The assessment of urban environment on regulations & norms, *urban management*, 24, 51-64. (In Persian)
- Habib, F. (1992). The role of city form in reducing earthquake hazards, *Housing and rural environment*, 45, 13-16. (In Persian)
- Hejazy zadeh, Z., & Moghimi, sh. (2007). *Application of climatology in urban and regional planning*, Payam Noor University Publications, Tehran. (In Persian)
- Jamali, S., Evaluating. (2015). The Place of typo morphological approaches in urban development plans In Iran, case of Tabriz metropolis", *Arid regions geographic studies*, 19, 85-102. (In Persian)
- Khodayarivarjovi, a. (2016), Assessment of radar and optical data performance for detecting Tehran s urban features change, MSc Thesis, Tarbiat Modares University.
- Nazarian, A., Ziaian Firouzabad, P., & Gangi, A. (2006). Investigating the role of location and morphology in the air quality of Tehran using GIS and satellite data (RS), *Geographical Research Quarterly*, 61, 17-30. (In Persian)
- Zebardast, S., Riazi, H. (2015), Built environment features and its impact on air pollution (case study: surrounding areas of fourteen air quality monitoring stations in Tehran), *Journal of fine arts: architecture and urban planning*, 1, 55-66. doi.org/10.22059/jfaup.2015.56371. (In Persian)