



Application of Artificial Neural Network and Linear Regression in Assessing Air Pollution in Tabriz Metropolis

Hasan Mahmoudzadeh^{1*} | Mohammad Samadi² | Majid Paydar³

1. Associate Professor of Geography and Urban Planning, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: mahmoudzadeh@tabrizu.ac.ir
2. MSC of Geography and Urban Planning, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
3. Phd Student of Geography and Urban Planning, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 17 May 2022

Received in revised form 11

July 2022

Accepted 26 July 2022

Published online 19 February

2024

Keywords:

Air Pollution, Artificial Neural Network, Linear regression, Tabriz Metropolis, MLP and GIS

ABSTRACT

The city of Tabriz, which has the fastest urban growth in the northwest of the country, is one of the largest cities in Iran in terms of population, economic activity, industry and transportation options. Public transportation and industry combustion and lack of proper filtration of these industries, such as thermal power plants, has led to increased air pollution in the city. For this purpose, the present study tries to use input variables (distance from industrial centers, humidity, temperature, population density, distance from commercial centers, distance from bus stations, distance from educational centers, vegetation changes, distance from free Roads, building density, wind direction, carbon dioxide and carbon monoxide) to assess air pollution using artificial neural networks in the metropolis of Tabriz. In the present study, the independent variables affecting the distribution of pollution probability in two models of multilayer perceptron neural network (MLP) and linear regression were tried to be defined by defining measures in urban management and influencing and planning the mentioned variables. Improve pollution control. The results show that the major pollutants are mostly suspended particles (PM10), gas (CO₂), (SO₂) and (NO_x). The dispersion of airborne particles is mostly due to vehicle traffic, industrial activities, fuel combustion of diesel engines and construction and the need to generate more electricity. The activities of thermal power plants, Tabriz refinery and domestic and commercial heating systems are also among the factors producing SO₂ and the highest CO₂ production is related to the fuel of gasoline-burning vehicles. The intensity of the increase in the amount of this pollutant in all selected stations in the autumn and winter seasons is much higher, so that in these seasons the pollutants reach more than twice the allowable level. The share of Tabriz air pollutants can be divided into three general categories, the most important of which is the thermal power plant and transportation.

Cite this article: Mahmoudzadeh, H; Samadi, M; Paydar, M. (2024). Application of Artificial Neural Network and Linear Regression in Assessing Air Pollution in Tabriz Metropolis. *Journal of Geography and Planning*, 27 (86), 1-20. <http://doi.org/10.22034/GP.2022.51620.3003>



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.22034/GP.2022.51620.3003>

Publisher: University of Tabriz.

Extended Abstract

Introduction

The city of Tabriz, which has the fastest urban growth in the northwest of the country, is one of the largest cities in Iran in terms of population, economy, industry and transportation options, which is increasingly developing to carry out basic planning of land use and erosion. Public transportation and the combustion sector of industries and the lack of proper filtration is what, for example, thermal air-conditioning increases the air industry in the city. Problems and problems, especially in cities, indicate the lack of rational planning or non-implementation of urban planning programs. Healthy air as the most important and basic factors of the city is no exception to this rule, because it has a special importance and place in life and its provision must be done in accordance with the principles and standards of the day. Unfortunately, in the cities of third world countries, including the cities of Iran, the principles of planning are not observed as they should be, because most industrial centers are located in the direction of prevailing winds, and as a result, the pollutants from these centers directly They enter the cities by the wind and mix with the pollutants from the fuel of the vehicles and endanger the health of the citizens.

Data and Method

The present study tries to use input variables (distance from industrial centers, humidity, temperature, population density, distance from commercial centers, distance from bus stations, distance from educational centers, vegetation changes, distance from freeway, Building density, wind direction, carbon dioxide and carbon monoxide) to assess air pollution in the metropolis of Tabriz using the network. In the present study, the independent variables affecting the distribution of pollution probability in two models of multilayer perceptron neural network (MLP) and linear regression were tried to be defined by defining measures in urban management and influencing and planning the mentioned variables. Improve pollution control.

Results and Discussion

The city of Tabriz is no exception to this rule because most of its heavy industries are located in the west and the prevailing winds of this city often blow from the west. Therefore, in order to improve the quality of the urban environment, the main sources of air pollution, which are found in the foundry, asphalt and power plants industries, can be achieved through solutions such as installing air filters, obtaining environmental standards and tracking the distribution of Euro 4 fuel. Euro 5 required industries to use a refining system as well as expand green space to help achieve this.

Conclusion

The results show that the major pollutants are mostly suspended particles (PM10), gas (CO₂), (SO₂) and (NO_x). The dispersion of airborne particles is mostly due to vehicle traffic, industrial activities, fuel combustion of diesel engines and construction and the need to generate more electricity. The activities of thermal power plants, Tabriz refinery and domestic and commercial heating systems are also among the factors producing SO₂ and the highest CO₂ production is related to the fuel of gasoline-burning vehicles. The intensity of the increase in the amount of this pollutant in all selected stations in the autumn and winter seasons is much higher, so that in these seasons the pollutants reach more than twice the allowable level. The share of Tabriz air pollutants can be divided into three general categories, the most important of which belongs to the power plant-thermal and transportation sector.

References

- Benedict, M. A., & McMahon, E. T. (2002). Green infrastructure: smart conservation for the 21st century. *Renewable resources journal*, 20(3), 12-17.
- Boznar.M.,Lesiak.M.,Mlaker.P.,(1993).A neural network based method for shortterm predictions of ambient SO₂ concentrations in highly polluted industrial areas of complex terrain.*Atmos.Environ.*27B(2),pp.221-230
- Brunekreef, B. & Holgate, S.T., 2002, Air Pollution and Health, *The Lancet* 360(9341), PP. 1233 1242.
- Bates, D. V. (1995). The effects of air pollution on children. *Environmental health perspectives*, 103(suppl 6), 49-53.
- Biancofiore, F., Verdecchia, M., Di Carlo, P., Tomassetti, B., Aruffo, E., Busilacchio, M., ... & Colangeli, C. (2015). Analysis of surface ozone using a recurrent neural network. *Science of the Total Environment*, 514, 379-387.

- Bhuiyan, R. (2021). Examination of air pollutant concentrations in Smart City Helsinki using data exploration and deep learning methods.
- Collett RS, Oduyemi K. 1997; Air quality modelling: a technical review of mathematical approaches. *Meteorological Applications*. 4(03):235-46.
- Dutta, A., & Jinsart, W. (2020). Application and comparison of MLR, ANN and CART models for predicting PM10 concentration level of Guwahati city (India).
- Garc a Nieto, P.J., Combarro, E.F., del Coz D az, J.J. & Monta és, E., 2013, A SVM-Based Regression Model to Study the Air Quality at Local Scale in Oviedo Urban Area (Northern Spain): A Case Study, *Applied Mathematics and Computation* 219(17), PP. 8923 8937.
- Hunke, K., & Prause, G. (2013). Management of green corridor performance. *Transport and Telecommunication*, 14(4), 292.
- Ibarra-Berastegi G, Elias A, Barona A, Saenz J, Ezcurra A, de Argandoña JD. 2008; From diagnosis to prognosis for forecasting air pollution using neural networks: Air pollution monitoring in Bilbao. *Environmental Modelling & Software*. 23(5):622-37.
- Liu, H. L., & Shen, Y. S. (2014). The impact of green space changes on air pollution and microclimates: A case study of the Taipei metropolitan area. *Sustainability*, 6(12), 8827-8855.
- Qiu, H., Yu, I., Wang, X., Tian, L., Tse, L.A., Wong, T.W., (2013). Differential effects of fine and coarse particles on daily emergency cardiovascular hospitalizations in Hong Kong. *Atmos. Environ.*, 64, (pp. 296 - 302)
- Sharma N, Chaudhry K, Rao CC. 2005; Vehicular pollution modeling using artificial neural network technique: A review. *Journal of Scientific and Industrial research*. 64(9):637.
- Slaughter, J.C., Lumley, T., Sheppard, L., Koenig, J.Q., and Shapiro, G.G., (2003). Effects of ambient air pollution on symptom severity and medication use in children with asthma, *Annals of Allergy, Asthma and Immunology*, vol. 91, no. 4, (pp. 346 –353)
- Shi.J.P.,Harrison,R.M.,(1997),Regression modeling of hourly NOX and NO2 concentration in urban air in London.,*Atmos.Environ.Modell&Softw.*,22,264-275.
- Sahoo, L., Praharaj, B. B., & Sahoo, M. K. (2021). Air Quality Prediction Using Artificial Neural Network. In *Soft Computing Techniques and Applications* (pp. 31-37). Springer, Singapore.
- Trizio, Livia, Di Gilio, Alessia Pey, Jorge, Pérez, Noemi, Cusack, Michael, Alastuey, Andrés, Querol, Xavier,2013, Neural network model for the prediction of PM10 daily concentrations in two sites in the Western Mediterranean, Elsevier
- U.S. EPA (2009). Technical Assistance Document for Reporting of Daily Air Quality -air Quality Index. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Caroli
- Zannetti, p. 1990; Air pollution modeling, theories, computational methods and software's, computational mechanics publication, WIT Press.



کاربرد شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی در ارزیابی آلودگی هوای کلانشهر تبریز

حسن محمودزاده^{۱*} | محمد صمدی^۲ | مجید پایدار^۳

۱. دانشیار جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: mahmoudzadeh@tabrizu.ac.ir

۲. کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۳. دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۴/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۰۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۱/۳۰

کلیدواژه‌ها:

آلودگی هوا، شبکه عصبی

مصنوعی، رگرسیون خطی،

کلانشهر تبریز، MLP و GIS

تبریز که سریع‌ترین رشد شهری را در شمال غرب کشور داراست، از بزرگترین شهرهای ایران از لحاظ جمعیتی، اقتصادی، صنعت و حمل‌ونقلی است که توسعه فزاینده به موازات عدم رعایت برنامه‌ریزی اصولی کاربری‌های اراضی و فرسودگی حمل‌ونقل عمومی و بخش احتراق صنایع و عدم فیلتراسیون مناسب این صنایع به عنوان مثال نیروگاه-حرارتی منجر به افزایش آلودگی هوا در سطح شهر شده است. بدین منظور پژوهش حاضر سعی دارد با استفاده از متغیرهای ورودی (فاصله از مراکز صنعتی، رطوبت، دما، تراکم جمعیت، فاصله از مراکز تجاری، فاصله از ایستگاه‌های اتوبوس، فاصله از مراکز آموزشی، تغییرات پوشش گیاهی، فاصله از آزاد راه‌ها، تراکم ساختمانی، جهت باد، دی‌اکسید کربن و مونوکسید کربن) به ارزیابی آلودگی هوا با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی در کلانشهر تبریز بپردازد. در پژوهش حاضر سعی گردید متغیرهای مستقل موثر در توزیع احتمال آلاینده‌ها در دو مدل شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (MLP) و رگرسیون خطی در ارتباط گذاشته شود تا بتوان با تعریف تمهیداتی در مدیریت شهری و اثرگذاری و برنامه‌ریزی در متغیرهای یاد شده کنترل آلودگی را بهبود بخشید. نتایج نشان می‌دهد که عمده‌ترین آلاینده‌ها بیشتر مربوط به ذرات معلق (PM₁₀)، گاز (CO₂)، (SO₂) و (NO_x) می‌باشد. پراکندگی ذرات معلق در هوا بیشتر بر اثر تردد وسایط نقلیه، فعالیت‌های صنعتی، احتراق سوخت موتورهای دیزل و ساخت‌وساز بی‌رویه و نیاز به تولید برق بیشتر می‌باشد. فعالیت‌های نیروگاه‌های حرارتی، پالایشگاه تبریز و سیستم‌های گرمایشی-خانگی و تجاری درون شهری نیز از جمله عوامل تولید کننده SO₂ بوده و بیشترین تولید CO₂ مربوط به سوخت خودروهای بنزین‌سوز می‌باشد. شدت افزایش مقدار این آلاینده در تمامی ایستگاه‌های منتخب در فصل‌های پاییز و زمستان به مراتب بیشتر بوده به طوری که در این فصول آلاینده‌ها به بیش از دوبرابر مجاز نیز می‌رسند. سهم آلاینده‌های هوای تبریز را می‌توان به سه دسته کلی تقسیم‌بندی نمود که بیشترین عامل متعلق به بخش نیروگاه‌های حرارتی و حمل‌ونقل می‌باشد.

استناد: محمودزاده، حسن؛ صمدی، محمد؛ پایدار، مجید (۱۴۰۲). کاربرد شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی در ارزیابی آلودگی هوای کلانشهر تبریز. جغرافیا و

برنامه‌ریزی، ۲۷ (۸۶)، ۲۰-۱.



<http://doi.org/10.22034/GP.2022.51620.3003>

© نویسنده‌گان.

ناشر: دانشگاه تبریز.

مقدمه

امروزه آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین مشکلات جوامع بشری است. توسعه شهرنشینی، گسترش صنایع و افزایش بی‌رویه استفاده از وسایل نقلیه بی‌توجهی به مسائل زیست محیطی، افزایش شهرنشینی و ... به گسترش آلودگی هوا، به ویژه در شهرهای بزرگ و صنعتی، شده است. که یکی از اصلی‌ترین دغدغه‌های جهان امروز بوده و بی‌توجهی به آن مانع بزرگ برای توسعه پایدار محسوب می‌شوند (برونکریف و هولگیت^۱؛ ۲۰۰۲. کامبارو و همکاران^۲؛ ۲۰۱۳. سلوتر^۳ و همکاران^۴؛ ۲۰۰۳. کیو و همکاران^۴؛ ۲۰۱۳. USEPA^۵؛ ۲۰۰۹). آلودگی هوا از جمله یکی از مهم‌ترین مقوله‌هایی است که نه تنها سلامت انسان را تهدید می‌کند، بلکه بر کلیه عوامل محیط زیست اعم از گیاه و حیوان تأثیر بسیار نامناسب برجای می‌گذارد. اثرهای آلودگی‌های هوا بر محیط‌های بیولوژیکی ختم نمی‌شود، بلکه بناهای تاریخی، لوازم و تجهیزات خانگی، ماشینها و تجهیزات صنعتی و ساختمانی نیز در معرض اثرهای نامساعد ناشی از آلودگی هوا قرار دارند (غیاث‌الدین: ۱۳۸۵). تمام آلاینده‌های هوا که از منابع نقطه‌ای و سطحی منتشر می‌شوند توسط شرایط جوی و توپوگرافی منتقل، پراکنده یا متمرکز می‌شوند. سیکل انتقال توسط هوا با انتشار آلاینده‌ها آغاز و بدنبال آن، انتقال و پخش آنها در سرتاسر اتمسفر صورت می‌گیرد. این سیکل وقتی تکمیل می‌شود که آلاینده‌ها به فضا رها شوند یا از اتمسفر توسط شستشوی^۶ حاصل از باران، بر روی سطوح گیاهان، حیوانات، خاک و آب و دیگر اشیاء ترتیب یابند. در بعضی موارد این آلاینده‌ها ممکن است توسط باد دوباره وارد اتمسفر شوند (شی و هاریسون، ۱۹۹۷)^۷. یکی از راهکارهای کنترل آلودگی هوا پیش‌بینی آن است، مدل‌ها، الگوریتم‌ها و روش‌های متعددی به منظور پیش‌بینی آلودگی هوا بسط داده‌اند و هر کدام دارای نقاط قوت و ضعف مخصوص به خود می‌باشند (زانتی، ۱۹۹۰)^۸ (شارما و همکاران، ۲۰۰۵)^۹ (کولت و ادویمی، ۱۹۹۷)^{۱۰}. در این میان یکی از روش‌هایی که به منظور پیش‌بینی آلودگی هوا مورد تأکید محققان بوده است، استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌باشد. در هوایی که ما تنفس می‌کنیم ترکیبات گازی خاصی وجود دارد که تغییر در این ترکیبات گازی شامل نیتروژن، اکسیژن، دی‌اکسید کربن و باقی گازها می‌باشد (حسین‌پور و همکاران، ۱۳۹۲) برای کاستن از آلودگی هوای شهرها، طرح‌های زمین در مناطق شهری، باید هماهنگ با هدف بهبود کیفیت هوا از راه کنترل شکل توسعه و توزیع پوشش گیاهی تهیه شود، گیاهان از طریق تولید اکسیژن باعث رقیق شدن هوا و کاهش غلظت مواد آلاینده می‌شوند ولی برخی از آنها از طریق جذب مواد آلاینده به پاکیزگی هوا کمک می‌کنند؛ بنابراین پوشش گیاهی این نوع حصارها در درجه اول باید مقاوم به آلودگی و در درجه دوم جاذب آن باشند (الوند و همکاران، ۱۳۹۶). آلودگی هوا مخلوط پیچیده‌ای از گازها و ذرات است که هم از فعالیت‌های انسانی (حمل و نقل، صنعت و غیره) و هم از منابع طبیعی (گرد و غبار باد، اسپری نمک دریا و انتشارات ترکیبات آلی فرار از گیاهان) به دست می‌آید. (مادوی و همکاران، ۲۰۲۰)^{۱۱}. آلودگی هوا یکی از ابعاد آلودگی زیست محیطی می‌باشد، که موجب افزایش بیماری‌های تنفسی و قلبی در انسان‌ها، باعث ایجاد خسارت در گیاهان و حیوانات و همچنین در سطح جهانی باعث افزایش دما در کره زمین، باران‌های اسیدی و افت از ن لایه استراتوسفری شده است (قربانی، ۱۳۸۸). با این حال اگر چه در کشورهای توسعه یافته راهکار و ایده‌های با سرمایه‌گذاری هنگفت و فناوری‌های نوین در خصوص رفع و کنترل آلودگی‌ها من جمله آلودگی هوای شهری انجام شده است، اما کشورهای در حال توسعه در رابطه با آلودگی هوا و کنترل آن با چالش‌های جدی مواجه هستند. آلودگی هوا یکی از مشکلاتی به‌شمار می‌رود که اکثر کلانشهرها با آن مواجه هستند. در ایران میزان

1. Brunekreef and Holgate
2. Combarro
3. slaughter et al
4. Qio et al
5. United States Environmental Protection Agency
6. Washout
7. Shi & Harrison
8. Zannetti
9. Sharma
10. Collett & oduyemi
11. Mudway

انتشار آلاینده‌های هوا در بسیاری از شهرها از جمله تهران، مشهد، اصفهان، تبریز، شیراز، کرج و اهواز به سطح خطرناکی رسیده است. در بخش‌های مختلف آلوده کننده هوا در ایران، بخش‌های حمل و نقل و صنعت به ترتیب مهم‌ترین بخش‌های آلوده کننده هوا هستند، به گونه‌ای که بخش حمل و نقل به تنهایی با تولید ۶۴/۳ درصد از کل انتشار اکسیدهای نیتروژن، ۲۹/۳ درصد دی‌اکسید گوگرد و ۲۷/۵ درصد دی‌اکسید کربن، ۹۸/۶ درصد مونوکسید کربن دارای بیشترین مقدار انتشار انواع گازها در میان سایر بخش‌های انرژی کشور است (موسوی، ۱۳۸۱). براساس برآورد سازمان جهانی بهداشت^۱ سالیانه ۵۰۰۰۰۰ نفر بر اثر مواجهه با ذرات معلق در هوای آزاد دچار مرگ زودرس می‌شوند. همچنین براساس برآورد این سازمان تلفات ناشی از آلودگی هوا معادل ۶ درصد از کل مرگ و میرهاست (کریزانوفسکی، ۲۰۰۸)^۲. از این رو در حال حاضر مسئله مقابله و کنترل آلودگی هوا در زمره نگرانی‌های اصلی کشورها و دولت‌ها مخصوص کشورهای جهان سوم می‌باشد. منابع مختلف انتشار می‌توانند کیفیت هوا را کاهش دهند. منابع آلاینده هوا می‌تواند منابع آلاینده اولیه و ثانویه باشد. آلاینده‌های اولیه از منبع طبیعی یا مصنوعی به طور مستقیم به جو منتشر می‌شوند. منابع طبیعی می‌تواند مانند طوفان‌های شن، فوران‌های آتشفشانی، آتش‌سوزی‌های جنگلی، و فروپاشی بیولوژیکی باشد که در آن منابع ساخته شده توسط انسان می‌تواند انتشارات صنعتی، انتشار وسایل نقلیه، سوزاندن چوب یا زغال سنگ، نیروگاه، و غیره باشد، آلاینده‌های ثانویه هوا ناشی از مواد شیمیایی یا فیزیکی هستند، فعل و انفعالات بین آلاینده‌های اولیه مانند اکسیدان‌های فتوشیمیایی و ذرات معلق (رابیل بوئیان، ۲۰۲۱)^۳.

پیش‌بینی آلودگی هوا تا ۴۸ ساعت قبل از وقوع، می‌تواند منجر به اتخاذ تدابیر متقابل مؤثرتری برای حفظ سلامت شهروندان به ارمغان بیاورد. آلاینده‌های هوا با طیف گسترده‌ای از اثرات نامطلوب سلامتی در کودکان مرتبط هستند. این اثرات عبارتند از: افزایش خطر مرگ و میر پری نوزادی (محدودیت رشد جنین داخل رحمی) در مناطق با آلودگی بالاتر و افزایش نرخ کلی مرگ و میر در کودکان، افزایش عوارض بیماری حاد تنفسی، تشدید آسم، افزایش شیوع علائم تنفسی در کودکان و دوره‌های عفونی طولانی‌تر، کاهش عملکرد ریه در کودکان با افزایش آلاینده‌ها، اثرات نامطلوب سرب استنشاقی از آگزوز خودرو، این تأثیرات به ویژه زمانی شدید می‌شوند که سطوح بالای آلودگی در فضای باز، با سطوح بالای آلودگی داخل ساختمان ترکیب شود (بییتس، دی.وی، ۱۹۹۵)^۴. همچنین سالمندان گروه‌های آسیب‌پذیر جامعه محسوب می‌شوند که به دلیل کهولت سن و ضعف سیستم ایمنی بیشتر از افراد عادی در معرض خطر آلاینده‌های موجود در هوا هستند. در افراد مسن به علت عدم وجود مکانیسم دفاعی کارآمد در ریه، خطر عفونت‌های تنفسی افزایش می‌یابد (جعفریان و همکاران، ۱۳۹۶). تحقیقات انجام شده در رابطه با موضوع پژوهش به شرح ذیل می‌باشد: شبکه عصبی از اوایل دهه ۱۹۹۰ در زمینه پیش‌بینی آلاینده‌های هوا مورد استفاده قرار گرفت و اولین بار بزنازه و همکاران (۱۹۹۳) برای پیش‌بینی غلظت دی‌اکسید گوگرد (SO_2)، با بهره‌گیری از شبکه عصبی در نواحی صنعتی آلوده کشور اسلوانی از آن استفاده کردند (بزنازه و همکاران، ۱۹۹۳). در تحقیقی ایبارا-براستگی^۵ و همکاران در سال ۲۰۰۸ به منظور پیش‌بینی کوتاه مدت آلودگی هوا در کشور اسپانیا انجام دادند. از داده‌های آلودگی، ترافیک و داده‌های هواشناسی به منظور ورودی شبکه عصبی مصنوعی استفاده نمودند. مقایسه مقادیر به دست آمده از مدل شبیه‌سازی شده با مقادیر واقعی نشان داد که مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی ابزاری قدرتمند به منظور شبیه‌سازی پارامترهای آلودگی هوا بوده و ارزش‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل از توافق بالایی با مقادیر مشاهده شده برخوردارند (ایبارا-براستگی و همکاران، ۲۰۰۸). و دیوید وی. بییتس^۶ در سال ۱۹۹۵ در پژوهشی تحت عنوان اثرات آلودگی هوا بر کودکان به این نتیجه رسیده‌اند که در کشورهای توسعه یافته، جایی که سطوح آلودگی داخلی کمتر است، افزایش تراکم ترافیک و افزایش سطح NO_2 با آلودگی فتوشیمیایی ثانویه و ذرات ریز، به نظر می‌رسد مشکل اصلی معاصر باشد. به دلیل فعالیت بدنی بیرون از در، زمانی که سطح آلودگی ممکن است بالا باشد،

1. World Health Organization
2. Krzyzanowski
3. Rabbil Bhuiyan
4. Bates, D.V
5. Boznar
6. Ibarra-Berastegi
7. David V. Bates

کودکان ممکن است بیشتر از بزرگسالان در معرض تماس قرار بگیرند. اگر کودکان مبتلا به آسم به مراقبت‌های معمول پزشکی دسترسی نداشته باشند، احتمالاً آلودگی هوا تأثیر بیشتری بر کودکان مبتلا به آسم خواهد داشت. همچنین در سال ۲۰۱۳ در جناروا^۱ به بررسی و پیش‌بینی غلظت PM₁₀ در مدیریتانه غربی براساس مدل شبکه عصبی پرداختند و دریافتند که این روش ابزاری قدرتمند برای بدست آوردن اطلاعات زمانی در بررسی کیفیت هوا می‌باشد (د جنارو، ۲۰۱۳). شمس و همکاران در سال ۲۰۲۱ در پژوهشی تحت عنوان ارزیابی دقت هوش مصنوعی در پیش‌بینی غلظت NO₂ هوای کلانشهرها با استفاده از شبکه‌های رگرسیون چند خطی (MLR) و پرسپترون چندلایه (MLP) نتایج نشان می‌دهد که مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی منجر به پیش‌بینی‌های دقیق‌تری نسبت به تحلیل (MLR) می‌شود. با توجه به نتایج تحلیل حساسیت مدل، مقدار مساحت پارک، میانگین مساحت فضای سبز و تأخیر زمانی یک روزه، آرام‌سنج‌های مهمی هستند که بر غلظت NO₂ هوا تأثیر می‌گذارند. مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی می‌توانند ابزاری قدرتمند، مؤثر و مناسب برای تحلیل و مدل‌سازی روابط پیچیده و غیرخطی متغیرهای محیطی مانند توانایی در پیش‌بینی آلودگی هوا باشند. ایجاد فضای سبز حتی بیش از حجم تردد در کاهش NO₂ نقش بسزایی دارد. دوتا و جین‌سارت^۲ در سال ۲۰۲۰ در پژوهشی با عنوان کاربرد و مقایسه مدل‌های ANN، MLR و CART برای پیش‌بینی سطح غلظت PM₁₀ در شهر گواهای هند، با میانگین داده‌های اقلیمی سال ۲۰۱۶-۲۰۱۸ با مدل‌های ذکر شده، آلاینده‌های گازی و PM₁₀ را مورد آزمایش قرار داد. نتایج حاصل از تحقیق بیانگر این می‌باشد که الگوریتم غیر خطی MLP با توپولوژی پس انتشار پیش‌خور از کلاس ANN (شبکه عصبی مصنوعی)، بهترین مقدار پیش‌بینی را در مقایسه با مدل خطی MLR و CART غیر خطی دارد. بنابراین، رویکرد ANN (MLP) برای بدست آوردن سطح غلظت PM₁₀ یک روزه آینده مفید می‌باشد. در ایران، به سال ۱۳۸۹ صدر موسوی و رحیمی به پیش‌بینی و مقایسه روش‌های شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه با رگرسیون چندگانه در مورد غلظت ازن شهر تبریز پرداختند که نتایج به دست آمده نشان داد که مدل شبکه عصبی توانایی بیشتری نسبت به روش‌های خطی (رگرسیون چندگانه) دارد. سلطانی و همکاران در سال ۱۳۹۲ با بررسی عناصر اقلیمی بر آلودگی هوای شهر مشهد با استفاده از مدل شبکه عصبی به این نتیجه رسیدند که روش رگرسیون هیچ برآورد درستی از روزهای آلوده ندارد. اما روش عصبی در ۲۵ درصد موارد برآورد درست‌تری از روزهای آلوده دارد. همچنین دریافتند که علاوه بر عامل اقلیم عوامل مهم دیگری مانند تعداد وسایل نقلیه و تردد آن‌ها در آلودگی هوای مشهد مؤثرند. در پیش‌بینی مدل‌های ترکیبی، قائمی و همکاران در سال ۱۳۹۶ در پژوهشی با عنوان پیش‌بینی آلودگی هوای شهر تهران با استفاده از ترکیب شبکه عصبی فازی-تطبیقی و آنالیز مولفه اصلی به این نتیجه دست یافتند که مقایسه روش ترکیبی PCA-ANFIS با روش ANFIS دقت و سرعت بالاتر مدل ترکیبی طراحی شده را، به نسبت روش ANFIS در پیش‌بینی آلودگی هوا طی ۲۴ ساعت آینده بیان می‌کند. همچنین مدل، در فصل زمستان، بالاترین دقت کلی را حاصل می‌کند.

جدول شماره (۱): تحقیقات انجام شده در رابطه با متغیرهای پژوهش

| نویسندگان | عنوان | روش‌شناسی و نتیجه |
|--|---|---|
| سahoo و همکاران ^۳ (2021) | پیش‌بینی کیفیت هوا با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در شهر آنگول تالچر هند | با ترکیب پارامترهای شاخص کیفیت هوا مانند مواد معلق (SPM)، مواد معلق قابل تنفس (RCPM)، مونواکسید کربن (CO) و دی‌اکسید نیتروژن (NO ₂)، دی‌اکسید گوگرد (SO ₂)، اسید نیتریک (NO) با پارامترهای مؤثر محیطی مانند دما، رطوبت نسبی و سرعت هوا به عنوان متغیرهای ورودی مدل ANN نتیجه: مدل شبکه عصبی زمانی که برای بسیاری از مشکلات مهندسی محیط زیست برای تحلیل و مدیریت محیطی اعمال می‌شوند نتیجه بهتری نشان می‌دهند. |
| بـالـگـن و همکاران ^۴ (2021) | مروری بر همبستگی بین تغییر اقلیم، آلودگی هوا و پایداری شهری با استفاده از الگوریتم‌های جدید | ورودی متغیرهای آب و هوای اقلیم (درجه حرارت، رسوبات، رطوبت، سرعت باد، فشار جوی) با الگوریتم‌های یادگیری ماشینی مانند جنگل تصادفی، ماشین تقویت گرادیان و درختان طبقه‌بندی و رگرسیون (CRT) بطور دقیق خطر آلودگی هوا را هنگام ادغام با مدل‌های فضایی پیش‌بینی می‌کند. |

1. De gennaro
2. Dutta & Jinsart
3. Sahoo et all
4. Balogun et al

| | |
|---|--|
| کند و فناوری‌های نوظهور هوش مکانی و نوآوری‌های دیجیتال به‌ویژه هوش مصنوعی می‌توانند مکانیسم‌های هشدار اولیه را بهبود بخشند. | یادگیری ماشین در علم اطلاعات مکانی |
| استفاده از شبکه عصبی (ANN) با متغیرها و پارامترهای هواشناسی (رسوبات، فشار هوا، رطوبت نسبی، مدت زمان تابش آفتاب، حداکثر دما و سرعت باد) جهت پیش‌بینی غلظت ازن در شهر جینیان چین، نتیجه اینکه مدل ANN می‌تواند به درستی سطح ازن محیط را پیش‌بینی کند. | مدل شبکه عصبی مصنوعی برای تخمین غلظت ازن و تحلیل مونت-کارلو |
| با روش شبکه عصبی پیش‌خور و به‌کارگیری متغیرهای مونوکسید کربن (CO)، دی‌اکسید نیتروژن (NO ₂)، متان (CH ₄)، ازن (O ₃)، دی‌اکسید گوگرد (SO ₂)، هیدروکربن غیر متان (NmHC)، کل هیدروکربن (THC)، ذرات معلق زیر ۱۰ میکرون (PM ₁₀)، جهت باد، سرعت باد، دما و رطوبت محیط، به این نتیجه رسیده‌اند که روش ANN می‌تواند با موفقیت به عنوان ابزاری برای تصمیم‌گیری و حل مسئله برای مدیریت بهتر جو به کار رود. | مدل شبکه عصبی مصنوعی پیش-خور برای پیش‌بینی شاخص آلاینده هوا در منطقه جنوبی شبه جزیره مالزی |
| در این پژوهش از هشت شاخص تراکم ساختمانی، تراکم جمعیتی، تراکم تقاطع‌هاف تراکم ایستگاه-های اتوبوس، تراکم صنایع، تراکم فضای سبز فاصله صنایع و ارتفاع به عنوان متغیر مستقل و شاخص غلظت دی‌اکسید نیتروژن به عنوان متغیر وابسته و همچنین جریان باد به عنوان یک عامل انتشار دهنده استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از دو روش رگرسیون حداقل مربعات و رگرسیون وزنی جغرافیایی استفاده گردید. نتایج تحقیق حاصل روش حداقل مربعات نشان دهنده معنادار بودن رابطه بین متغیرهای مستقل و وابسته است. | تحلیل فضایی مؤلفه‌های تاثیر گذار بر آلودگی هوای شهر تبریز |
| با استفاده از دوازده پارامتر موثر در آلودگی هوای شهری شامل مراکز تجاری، اداری، مسکونی، فرهنگی، پارکینگ، ورزشی، راه‌های شریانی درجه یک، راه‌های دسترسی محلی، مراکز درمانی، مراکز حمل و نقل و فضای سبز با مدل LUR با ضریب R ₂ ۰.۷۸۹۹ که عملکرد مطلوب این مدل را نشان می‌دهد را مورد تحلیل قرار داده که نتایج نشانگر این است که پارامترهای مراکز تجاری اداری و راه‌های دسترسی اصلی و فرعی بیشترین تاثیر را در افزایش آلاینده CO را دارد، و وجود اماکن و فضای سبز، ورزشی و نیز درمانی در مناطق شهری مکان‌های با غلظت پایین‌ترین آلاینده CO به وجود می‌آورند. | بررسی تغییرپذیری ساعتی رابطه بین پارامترهای کاربری اراضی و آلاینده CO، با استفاده از مدل رگرسیون کاربری اراضی (LUR) در شهر تهران |
| عوامل موثر در افزایش آلودگی در شهر تبریز را با لایه‌های اطلاعاتی شامل بارش، ارتفاع، فاصله از فضای سبز، فاصله از مراکز صنعتی، فاصله از راه‌های ارتباطی، ازدحام جمعیت و کاربری اراضی را با مدل AHP و ANP مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. با توجه به یافته نهایی در مدل ANP مناطق با آلودگی بسیار زیاد شامل مناطق شمالی و شمال غربی، و نتایج مدل AHP آلودگی بسیار زیاد در کل مناطق مرکزی و مناطق شمال غرب می‌باشد. باید اذعان داشت از بین عوامل ایجاد آلودگی به ترتیب عامل راه‌های ارتباطی، ازدحام جمعیت و کاربری اراضی مهم‌ترین عامل در ایجاد آلودگی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. | ارزیابی و پهنه بندی آلودگی هوا با استفاده از روش AHP و ANP در شهر تبریز |
| این روش از الگوهای ترافیک، حمل و نقل و کاربری اراضی به عنوان پیش‌بینی کننده تغییرات آلودگی استفاده می‌کنند. نقشه‌ها و داده‌ها با استفاده از GIS و مدل رگرسیون کاربری اراضی تهیه و تحلیل شدند که نتایج مدل نشانگر این می‌باشد که از بین انواع گوناگون کاربری اراضی، مناطق مسکونی و صنعتی بیشترین تاثیر در آلودگی را دارند. | کاربرد روش رگرسیون کاربری اراضی LUR در مدل‌سازی فضایی آلاینده‌های هوا در شهر اصفهان |

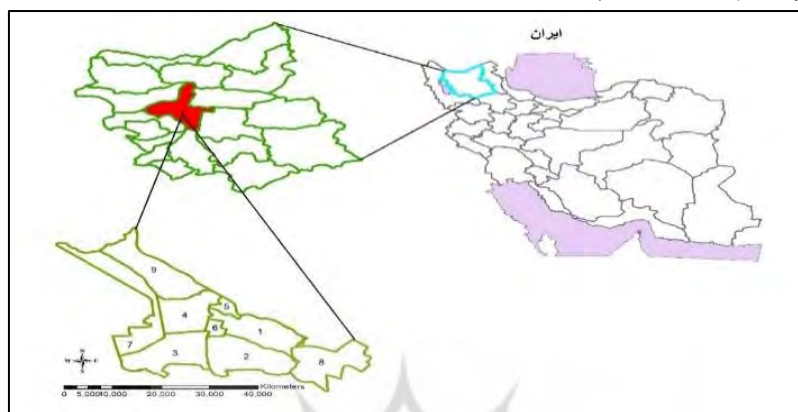
مأخذ: یافته‌های پژوهش

روش پژوهش

۱-۲- معرفی منطقه مورد مطالعه

کلان‌شهر تبریز با وسعتی حدود ۲۴۴۵۱ هکتار در ۳۸ درجه و ۱ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۵ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی واقع شده است. متوسط ارتفاع شهر حدود ۱۴۶۰ متر از سطح دریاهای آزاد برآورد شده است و براساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، جمعیت شهر تبریز ۱،۵۵۸،۶۹۳ نفر بوده است. (مهندسان مشاور

نقش محیط، (۱۳۹۱). شهر تبریز با دارا بودن مراکز صنعتی مهمی نظیر نیروگاه حرارتی، مجتمع پتروشیمی، پالایشگاه، ماشین‌سازی و تراکتورسازی و دهها کوره آجرپزی و... به عنوان یکی از شهرهای آلوده کشور به شمار می‌رود. بیش از ۵۰ درصد شهرک‌های صنعتی و ۶۰ درصد صنایع استان در حومه کلانشهر تبریز و در محدوده شعاع ۳۰ کیلومتری این شهر مستقر می‌باشند که سهم آلاینده‌های صنعتی شهر را عهده‌دار هستند. استقرار کوره‌های آجرپزی سنتی و آسفالت‌پزی و شن و ماسه در فواصل ۱۰ تا ۲۵ کیلومتری غرب و جنوب شهر تبریز، از عوامل مهم در انتقال آلاینده‌های هوا به کلانشهر تبریز می‌باشند. (مرکز پایش و کنترل آلودگی هوای شهر تبریز، ۱۳۹۰)



شکل (۱): نقشه محدوده مورد مطالعه. منبع: یافته‌های پژوهش

۲-۲- روش شناسی تحقیق

تحقیق حاضر با هدف ارزیابی آلودگی هوا در سطح کلانشهر تبریز با استفاده از دو مدل رگرسیون خطی و شبکه عصبی MLP صورت گرفته است. به همین منظور از داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در سطح کلانشهر تبریز در دوره زمانی ۱۵ سال (۱۴۰۰-۱۳۸۵)، استفاده شده است. در این تحقیق از ۱۳ متغیر از جمله: تراکم جمعیت، تغییرات تراکم پوشش گیاهی، جهت باد غالب، حرارت سطح زمین، رطوبت، فاصله از ایستگاه‌های اتوبوس، فاصله از پالایشگاه، فاصله از فضای سبز، فاصله از مراکز آموزشی، فاصله از مراکز تجاری، فاصله از مراکز صنعتی، فاصله از نیروگاه حرارتی و میزان تابش خورشید جهت ارزیابی میزان آلودگی سطح کلانشهر تبریز از لحاظ میزان مونواکسید کربن و دی اکسید کربن در واحدی ppm استفاده شده است. متغیرهای تحقیق بر اساس پیشینه تحقیق و اشتراک بین متغیرهای ذکر شده در جدول ۱ انتخاب و بر اساس رابطه آماری نمره Z استاندارد $Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$ یعنی تفریق ارزش متغیرها از میانگین داده‌ها تقسیم بر انحراف معیار داده‌ها بدست آمده است. تفاوت کار حاضر با موارد مشابه قبلی استفاده ترکیبی از دو مدل و انتخاب شاخص‌ها در تطبیق با شرایط اقلیمی و شهرسازی تبریز می‌باشد. جهت نیل به هدف مطالعه حاضر، ابتدا متغیرهای مؤثر بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای مطابق آنچه ذکر گردید، شناسایی گردید و در ادامه این معیارها در محیط نرم افزار Arc GIS آماده شدند و در ادامه لایه‌های آماده شده جهت ادامه فرایند تحقیق به محیط نرم افزار Terrset منتقل شده و در آنجا مدل‌های شبکه عصبی MLP و روش رگرسیون خطی اعمال گردید و نتایج حاصل جهت انجام کارتوگرافی مناسب و تهیه نقشه‌های نهایی ارزیابی آلودگی در محیط GIS خروجی گرفته شدند. رگرسیون خطی: در پژوهش حاضر جهت بررسی ارتباط میان پارامترهای هواشناسی و غلظت آلاینده‌ها از مدل رگرسیون خطی استفاده گردید. روش مذکور برای ارتباط خطی میان یک متغیر وابسته و یک یا چند متغیر مستقل استفاده می‌شود که به طور عمومی به قرار زیر می‌باشد.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \dots + \beta_k x_{ki} + \epsilon$$

رابطه (۱)

در این فرمول β ضریب رگرسیون بوده و X_i K_i متغیرها هستند، در حالی که ϵ خطای رگرسیون می‌باشد (به نقل از فرهادی و مکاران: بیانکوفیوره^۱ و همکاران، ۲۰۱۵).

شبکه عصبی MLP: یکی از روش‌هایی که به منظور پیش‌بینی آلودگی هوا مورد تاکید محققان بوده است، استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌باشد. در این راستا، شبکه عصبی به عنوان زیر مجموعه‌ای از هوش مصنوعی از زمانی که Boznar و همکاران آن را برای پیش‌بینی آلاینده‌های هوا به خدمت گرفته‌اند تا به امروز در بیشتر موارد حقانیت خود را در پیش‌بینی آلودگی هوا به اثبات رسانده است (آل شیخ و همکاران: ۱۳۹۱). یک شبکه عصبی مصنوعی (ANN)^۲ ایده‌ای است برای پردازش اطلاعات که از سیستم عصبی زیستی الهام گرفته شده است و مانند مغز انسان به پردازش اطلاعات می‌پردازد. شبکه‌های عصبی مصنوعی همانند سیستم عصبی مغز انسان با کمک مثال‌ها آموزش می‌بینند و با پردازش روی داده‌های تجربی دانش یا قانون نهفته در ورای داده‌ها را به ساختار شبکه منتقل می‌کنند. به همین دلیل به این سیستم‌ها هوشمند گفته می‌شود (پی رحمان^۳ و همکاران، ۲۰۱۷). روند کلی کارکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در قالب روابط (۲ و ۱) قابل مشاهده است.

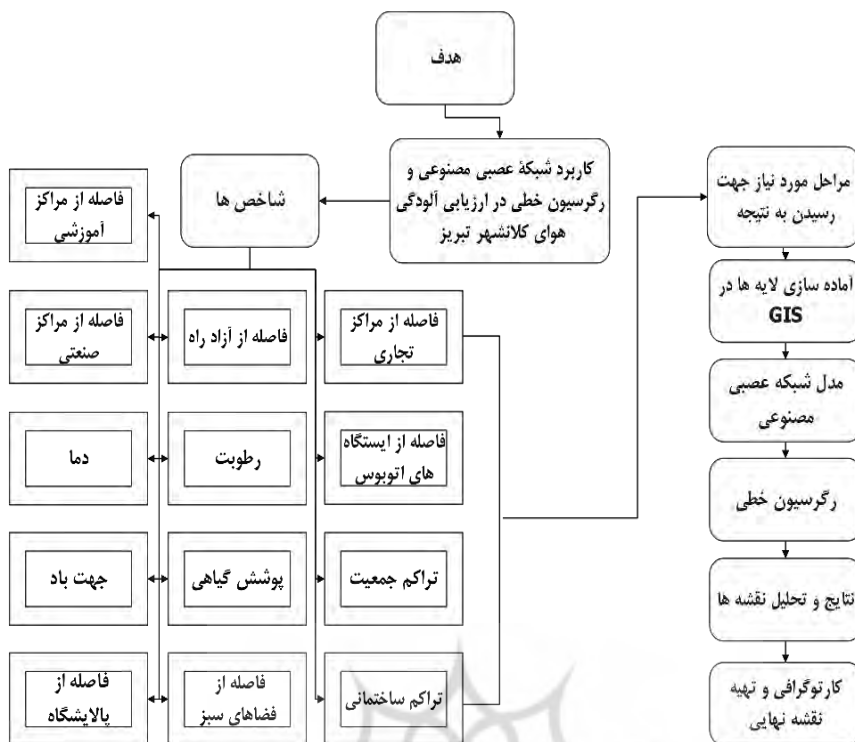
$$y_i^m = f(v_i^m) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$v_i^m = \sum_{j=1}^l w_{ji}^m y_j^{m-1} + b_i^m \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن y_i^m ورودی‌های مدل، v_i^m خروجی لایه m ام، f معرف تابع انتقال، l تعداد رابطها با لایه‌های قبلی، w_{ji}^m معادل وزن هر رابط، b_i^m معرف بایاس یعنی جز ثابت تابع انتقال می‌باشد.

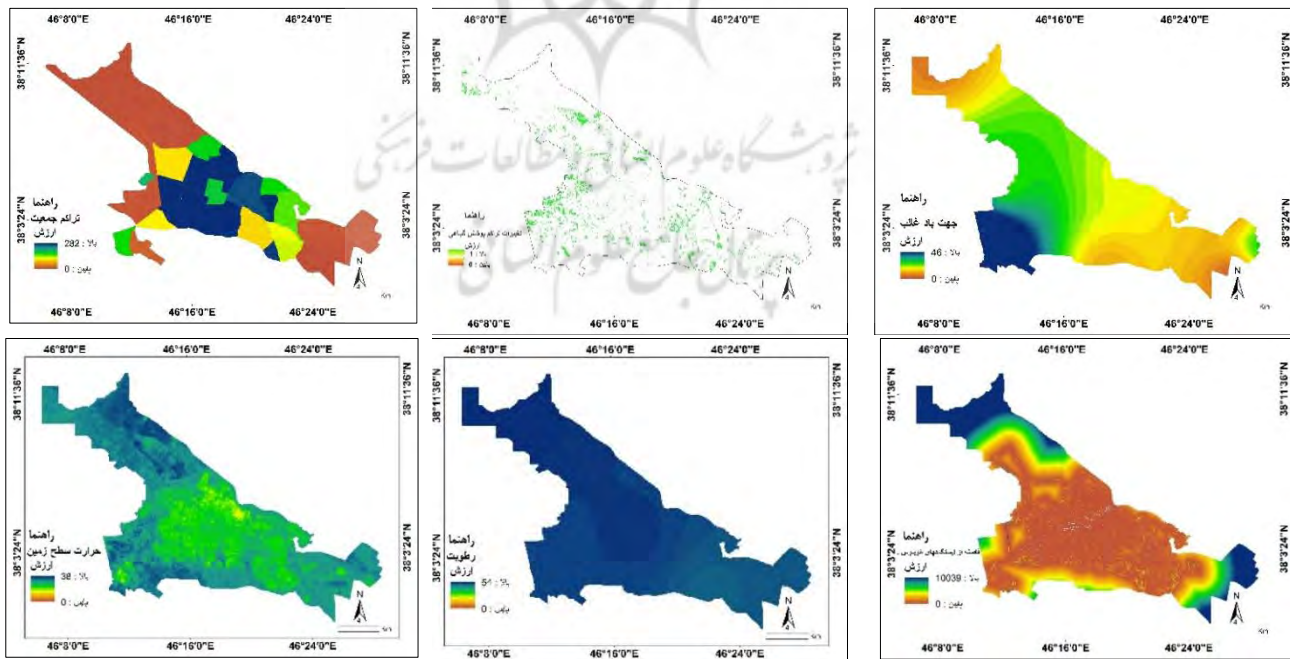
امروزه کاربردهای زیادی برای شبکه‌های عصبی به وجود آمده است و با توجه به نوع کاربرد ساختار و قوانین یادگیری در شبکه می‌تواند متفاوت باشد. بطور خلاصه مهم‌ترین شبکه‌های عصبی را می‌توان بصورت زیر تقسیم بندی نمود. پرسپترون چند لایه (MLP)^۴، شبکه خود سازمان‌ده (SOM)^۵ یادگیرنده رقمی ساز بردار (LVQ)^۶، هاپفیلد، شبکه شعاعی پایه (RBF)^۷، شبکه‌های عصبی بازگشتی (RNN)^۸ از بین شبکه‌های مذکور شبکه شکل (۲): مدل پایه‌ای از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (MLP) بیشترین کاربرد را در پیش‌بینی آلودگی‌های هوا دارد. شبکه (MLP) از چند لایه ورودی، خروجی و لایه یا لایه‌های مخفی که خروجی لایه اول، بردار ورودی لایه دوم به حساب می‌آید. به همین ترتیب خروجی لایه دوم، بردار ورودی لایه سوم را تشکیل می‌دهد. خروجی‌های لایه دوم پاسخ واقعی شبکه را نشان می‌دهند (چالانی^۹ و همکاران ۲۰۰۲). نحوه عمل پرسپترون چند لایه به این صورت است که الگو، به شبکه عرضه می‌شود و خروجی آن محاسبه می‌گردد. مقایسه خروجی واقعی و خروجی مطلوب، باعث می‌شود که ضریب وزنی شبکه تغییر یابد به طوری که در دفعات بعد خروجی، درست‌تر حاصل می‌شود. قاعده فراگیری میزان کردن، ضرایب وزنی شبکه را بیان می‌کند (رحیمی، ۱۳۸۵).

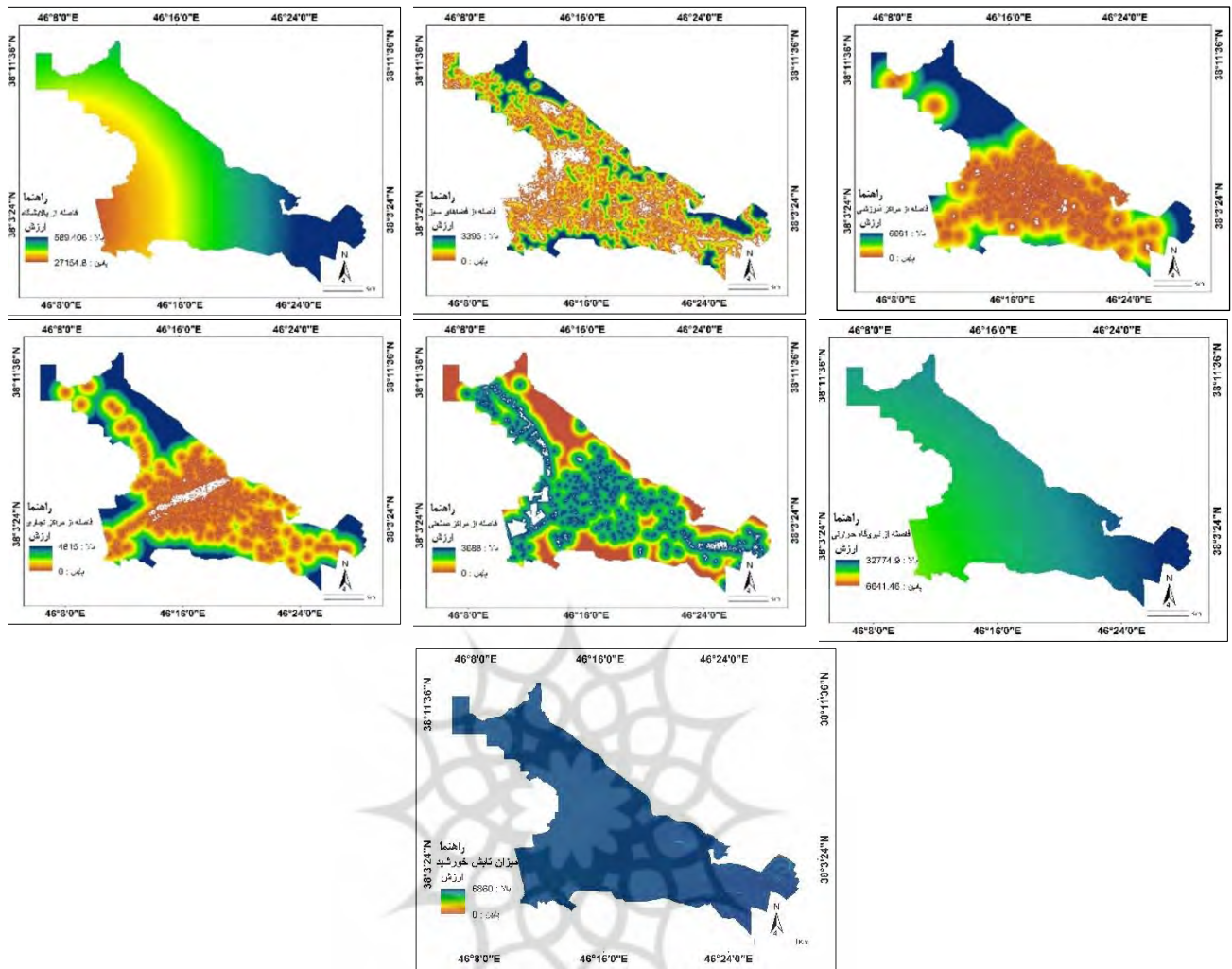
1. Biancofire
2. Artificial Neural Networks
3. P A Rahman
4. Multi Layer Perceptron
5. Self-organizing map
6. Learning Vector Quantization
7. Radial Basis Network
8. Recurrent Neural Networks
9. Chelani



شکل (۲): روند کلی پژوهش. منبع: یافته‌های پژوهش

یافته‌های پژوهش

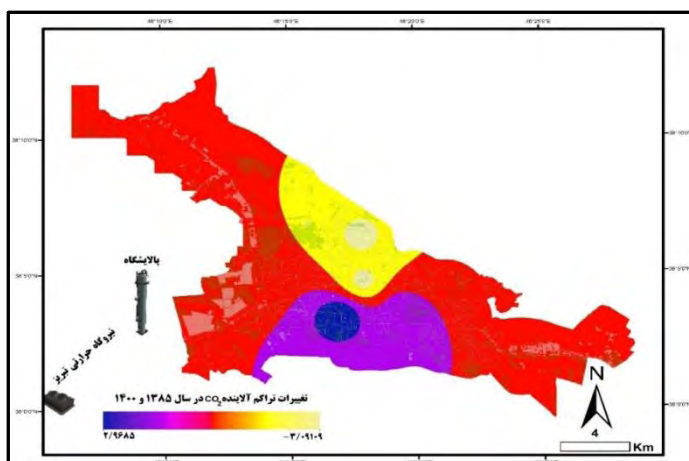




شکل (۳): نقشه متغیرهای پژوهش. منبع: یافته های پژوهش.

۲-۳- رگرسیون خطی

برای اجرای رگرسیون خطی، درصد تغییرات رخ داده برای رگرسیون خطی به عنوان متغیر اسمی در بازه ۰ تا ۱ قرار به عنوان متغیر وابسته و برای مشخص شدن اثرات متغیرها در مدل تمام متغیرهای مستقل را به عدد Z استاندارد تبدیل کردیم تا اثر هر کدام از متغیرهای مستقل در تبیین پراکنش آلاینده ها مشخص شود. برای بدست آوردن متغیر وابسته میزان تراکم گاز دی اکسید کربن را در دو بازه زمانی ۱۳۸۵ و ۱۴۰۰ از همدیگر کم کرده و نتیجه را با درصد تغییر حادث شده به صورت اسمی و Integer وارد مدل کردیم.



شکل (۴): متغیر وابسته تغییرات تراکم آلاینده دی اکسید کربن بر اساس مدل رگرسیون خطی از سال ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۰. منبع: یافته‌های پژوهش.

در تحلیل رگرسیون خطی متغیرهای مستقل نامتعامل به متغیرهایی گفته می‌شود که بایستی از روند تحلیل حذف شود. در این تحقیق برای بررسی همبستگی بین متغیرهای مستقل از محاسبه کوواریانس بین متغیرها استفاده شد. کوواریانس دو متغیر، میزان تغییر آنها را نسبت به هم بیان می‌کند. محدوده کوواریانس بین ۰-۱ متغیر است که هر چه این میزان به یک نزدیکتر باشد همبستگی بین متغیرها بیشتر خواهد بود. زوج متغیرهایی که دارای ارزش بالای کوواریانس باشند متغیرهای همبسته معرفی می‌شوند و یکی از آنها از مدل حذف می‌شود. پس از استخراج نقشه‌ها و محاسبه کوواریانس متغیرهای مستقل، لایه‌های دارای ضریب همبستگی بالا حذف می‌شوند که در این تحقیق متغیرهای فاصله از مراکز تجاری، فاصله از مراکز آموزشی، فاصله از مراکز صنعتی دارای همبستگی بالای ۰.۷ بودند بنابراین متغیرهای فاصله از ایستگاه‌های اتوبوس و فاصله از مراکز آموزشی از تحلیل نهایی حذف شدند.

جدول (۲): برای استخراج متغیرهای مستقل لایه‌های موثر در توزیع آلاینده دی اکسید کربن بر اساس پیشینه از منابع مختلف تهیه و وارد مدل شد

| نام متغیر | ماهیت متغیر | منبع و روش |
|----------------------------|-------------|---|
| جهت باد | پیوسته | استفاده از گلابد سالانه ایستگاههای سینوپتیک |
| حرارت سطح زمین | پیوسته | استفاده از تصویر ماهواره‌های لندست ۸ LST-MW |
| رطوبت | پیوسته | استفاده از میانگین سالانه ایستگاههای سینوپتیک |
| فاصله از ایستگاههای اتوبوس | پیوسته | نقشه اتوبوسرانی تبریز و تابع Distance |
| تغییرات تراکم پوشش گیاهی | پیوسته | استفاده از تصاویر ماهواره‌های لندست ۵ و ۸ NDVI |
| تراکم جمعیت | پیوسته | نقشه بلوک های آماری تبریز- نفر در هکتار |
| فاصله از فضاهای سبز | پیوسته | استفاده از نقشه کاربری اراضی و تابع Distance |
| فاصله از پالایشگاه | پیوسته | استفاده از نقشه کاربری اراضی و تابع Distance |
| فاصله از مراکز آموزشی | پیوسته | استفاده از نقشه کاربری اراضی و تابع Distance |
| فاصله از مراکز تجاری | پیوسته | استفاده از نقشه کاربری اراضی و تابع Distance |
| فاصله از مراکز صنعتی | پیوسته | استفاده از نقشه کاربری اراضی و تابع Distance |
| میزان تابش خورشید | پیوسته | استفاده از تصاویر ماهواره‌های لندست ۸ و تابع Area Solar Radiation |
| فاصله از نیروگاه حرارتی | پیوسته | استفاده از نقشه کاربری اراضی و تابع Distance |

معادله رگرسیونی حاصل از اجرای مدل به صورت زیر است:

$$\text{Logit (Cat 1 v.s. Cat 0)} = 127.1753 - 0.6040 (\text{CHNDVI}) - 0.0056 (\text{DISCOMMER}) - 0.0036 (\text{DISGREENSPACE}) + 0.0010 (\text{DISINDUST}) + 0.0053 (\text{DISOILREFIN}) - 0.0076 (\text{DISPWERPLANT}) + 3.5994 (\text{HUMIDITY}) - 0.1285 (\text{LST}) + 0.0123 (\text{POPDENSITY}) + 0.0035 (\text{SOLARENERGY}) - 0.8577 (\text{WINDDIRECTION})$$

بررسی معادله لاجیت نشان می‌دهد که متغیرهای انتخاب شده به جز موارد با همبستگی بالای مکانی در تبیین توزیع احتمال پراکنش آلاینده‌گی نقش موثری بازی می‌کنند. شاخص $-2\log(\text{likelihood})$ نشان می‌دهد با شرکت ۱۱ متغیر برآزش مدل ۴۳.۱۹ درصد بهبود یافته است که توسط $\text{Pseudo } R_2$ 0.5681 تایید شده است. الگوی احتمالی توزیع آلاینده‌گی نشان می‌دهد در نقشه احتمال بدست آمده متغیرهای مستقل انتخاب شده برای تبیین احتمال پراکنش آلاینده‌ها به خوبی انتخاب شده‌اند چرا که با نقشه توزیع آلاینده‌گی از نظر شدت و جهت تطبیق دارد. هسته‌های با احتمال بالای آلاینده‌گی عمدتاً از غرب شهر به طرف مرکز شهر کشیده شده و با شیب ملایم به سمت شرق ادامه می‌یابد و با تراکم آلاینده‌گی طی سالهای ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۰ هماهنگی دارد. این مساله از انتخاب لایه‌های موثر و نقش آنها نشأت گرفته است.

در بر آورد نقشه احتمال رخداد تصادف: MLP-۳-۳ - توسعه مدل)

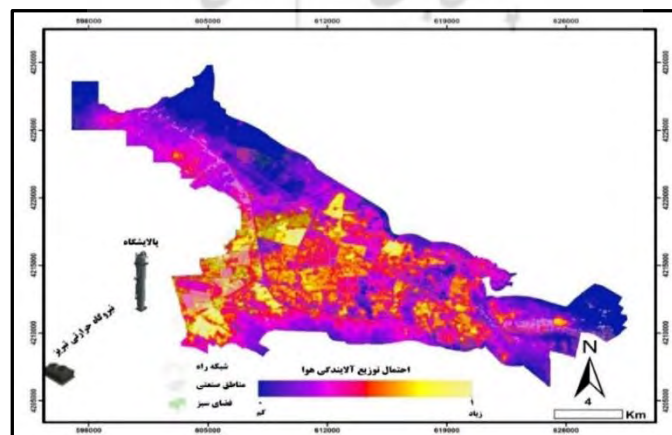
مدل MLP مبتنی بر شبکه عصبی روند محاسبه احتمال پراکنش ذرات آلاینده را بر اساس ارتباط بین متغیرهای مستقل با یک متغیر وابسته بر اساس محاسبات یادگیری تدریجی سیستم با مجموعه قوانین خاصی دنبال می‌کند که روش MLP از تعداد لایه ورودی و پنهانی مساوی و یک عدد متغیر وابسته و یک عدد خروجی تبعیت می‌کند و در روش اجرایی پیش بینی بایستی از نوع رگرسیونی اجرا شود.

۳-۴- ایجاد شبکه

مدل MLP با فرض برابر بودن تعداد نودهای لایه مخفی و ورودی، مدل سازی را انجام می‌دهد. بنابراین با لایه‌های ذکر شده در مرحله رگرسیون خطی اقدام به ایجاد شبکه‌ای با ۱۱ نود ورودی، نود مخفی و ۱ نود خروجی شد. (شکل ۵).

۳-۵- آموزش شبکه

هدف از آموزش شبکه، برقراری ارتباط بین کلاس‌ها با ایجاد الگوهایی در سطح شبکه می‌باشد. در این مرحله شبکه با ۵۰ درصد از داده‌ها، مورد آموزش قرار می‌گیرد و میزان خطا در پایان آموزش ۱۰۰۰۰ چرخه گزارش داده می‌شود.



شکل(۵): نقشه خروجی احتمال پراکنش آلاینده‌گی را با استفاده از مدل رگرسیون خطی و مبتنی بر شرکت تمام متغیرها نشان می‌دهد.

منبع: یافته‌های پژوهش

در مرحله تست شبکه برای حساسیت سنجی نقش متغیرها تمام داده‌ها یکبار در مدل MLP اجرا شد و در مراحل بعدی با حذف یکی از متغیرها مدل اجرا و خطای آموزش، تست و R_2 مورد ارزیابی قرار گرفت. یک شبکه عصبی مصنوعی دارای چند لایه است که هر لایه از شماری نرون تشکیل شده و ارتباط میان این نرون‌ها به واسطه تنظیم وزن‌ها در طی فرایند آموزش (Training) برقرار می‌شود. یک شبکه عصبی مصنوعی چند لایه پیش‌خور (Feed forward) که از یک لایه ورودی، یک یا چند لایه مخفی و یک لایه خروجی تشکیل شده که به آن به طور معمول شبکه عصبی چند لایه Multi-Layer Perceptron گفته می‌شود. در این شبکه ارتباط میان پرسپترون نرون‌ها و تنظیم وزن‌ها در آن از قانون‌های یادگیری (Training rules) پیروی می‌کند. روش‌هایی که جهت تنظیم وزن‌ها و بایاس‌ها برای دستیابی به مقدار معلوم اعمال می‌شوند قانون‌های یادگیری نام دارند. هر شبکه برای به وجود آمدن به دو بسته داده نیازمند است، بسته آموزش و بسته آزمون. در حدود ۸۰ درصد از داده‌ها صرف آموزش و مابقی صرف آزمون شبکه می‌شود. یکی از متداول‌ترین الگوریتم‌های یادگیری شبکه‌های عصبی الگوریتم پس انتشار خطا می‌باشد که بویژه در بررسی‌های مسائل شهری کاربرد زیادی دارد. در این روش ابتدا وزن‌های تصادفی به هر نرون داده شده و بر پایه آنها خروجی محاسبه می‌شود. سپس بر پایه اختلاف میان خروجی بدست آمده و خروجی واقعی، وزن‌ها به سمت عقب (از خروجی به سمت ورودی) تنظیم می‌شوند. در این الگوریتم ارتباط میان نرون‌ها با ماتریس برقرار می‌شود. ورودی خالص هر نرون تابعی از (W_i) وزن‌ها می‌باشد و (x_i) ماتریس وزن‌ها و اطلاعات رسیده به آن نرون از رابطه (۴) به دست می‌آید.

$$nn = \sum_{i=1}^n W_i x_i + \theta \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن: θ وزن بایاس، nn خروجی هر نرون است که با استفاده از تابع تبدیل سیگموئید که رایج‌ترین تابع تبدیل در الگوریتم آموزش پس انتشار می‌باشد از رابطه (۵) بدست می‌آید.

$$f(nn) = \frac{1}{1 + \exp(-nn)} \quad \text{رابطه (۵)}$$

عمل تنظیم وزن‌ها طی فرایند یادگیری آنقدر تکرار می‌شود تا یکی از عامل‌های محدود کننده چرخه به دست آید.

۳-۶- معیارهای ارزیابی

به منظور ارزیابی نتایج مدل شبکه عصبی و مقایسه آن با برآوردهای رگرسیونی، از معیارهای میانگین مربعات خطا RMS و R_2 استفاده می‌شود

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{si} - \bar{Q}_s)^2} \quad \text{رابطه (۶)}$$

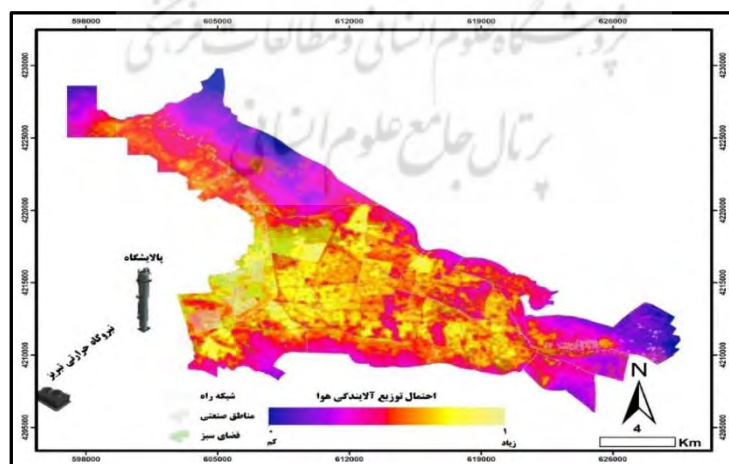
$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{si} - \bar{Q}_s)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{si} - \bar{Q}_s)^2} \quad \text{رابطه (۷)}$$

که در آنها i : مقدار آلاینده مشاهده شده، Q_s محل آلاینده برآورد شده، \bar{Q}_s میانگین آلاینده مشاهده شده و \bar{Q}_s میانگین آلاینده برآورد شده می‌باشد.

جدول (۳): میزان خطای RMS را در هر بار اجرای مدل با تمام و حذف یک متغیر برای حساسیت سنجی و تعیین میزان تاثیر متغیرهای مستقل در برآورد نقشه احتمال نشان می‌دهد.

| Testing RMS | Training RMS | R Square-LR | R Square-MLP | لایه |
|-------------|--------------|-------------|--------------|---------------|
| 0.2644 | 0.2420 | 0.2573 | 0.1943 | All layers |
| 0.2661 | 0.2300 | 0.2689 | 0.1543 | CHNDVI |
| 0.2739 | 0.2173 | 0.2561 | 0.1575 | DISCOMMER |
| 0.2578 | 0.2500 | 0.2609 | 0.02721 | DISGREENSPACE |
| 0.2691 | 0.2557 | 0.2656 | 0.1491 | DISINDUST |
| 0.2707 | 0.2587 | 0.2597 | 0.0531 | DISOILREFIN |
| 0.2300 | 0.2500 | 0.2606 | 0.2065 | DISPWERPLANT |
| 0.2977 | 0.2324 | 0.2584 | 0.0150 | HUMIDITY |
| 0.2954 | 0.2158 | 0.2503 | 0.0745 | LST |
| 0.2543 | 0.2607 | 0.2510 | 0.1115 | POPDENSITY |
| 0.2800 | 0.2459 | 0.2765 | 0.1093 | SOLARENERGY |
| 0.2720 | 0.2594 | 0.2632 | 0.0880 | WINDDIRECTION |

مقایسه خطای مرحله آموزش با تست نشان می‌دهد که در هر بار اجرای مدل MLP مدل در تخمین مقدار آلاینده‌گی با افزایش خطای حداقلی عمل کرده است که این خطا با حذف یک متغیر در بهبود خطای مدل مشهود نیست ولی با رجوع به خطای R Square مشخص می‌شود با حذف متغیر رطوبت دقت مدل بهبود نسبی پیدا می‌کند. در کل مقایسه R Square و R Square-MLP و همپوشانی با نقشه آلاینده‌گی مشخص شد که مدل رگرسیون خطی از کارایی بالاتری نسبت به مدل شبکه عصبی برخوردار است. ارزیابی خطای بدست آمده در هر بار اجرا نشان می‌دهد که با توجه به بیشینه شدن خطای R_2 با حذف متغیر فاصله از نیروگاه حرارتی تبریز DISPWERPLANT می‌شود نتیجه گرفت که بیشترین تاثیر را در برآورد نقشه احتمال آلاینده‌گی در مدل شبکه عصبی بازی می‌کند. با همپوشانی لایه نقشه احتمال آلاینده‌گی با واقعیت مشخص می‌شود مدل برآورد مناسبی از واقعیت ارائه داده است و از غرب به مرکز شهر میزان احتمال آلاینده‌گی افزایش می‌یابد که با متغیر تراکم جمعیت و فاصله از پوشش گیاهی رابطه مستقیمی نشان می‌دهد. همپوشانی نقشه احتمال آلاینده‌گی استخراج شده با روش شبکه عصبی با نقشه احتمال حاصل از رگرسیون خطی نشان دهنده توافق هر دو نقشه بر میزان احتمال آلاینده‌گی هست، با این تفاوت که در روش رگرسیون خطی محل‌های مشترک با احتمال بالا دارای شدت بیشتری از ارزش هستند. با توجه به توافق مکانی دو نقشه، نقشه احتمال حاصل از روش رگرسیون خطی به واقعیت نزدیکی بیشتری دارد.



شکل (۶): نقشه خروجی احتمال پراکنش آلاینده‌گی را با استفاده از مدل MLP و مبتنی بر شرکت تمام متغیرها نشان می‌دهد. منبع: یافته‌های پژوهش

نتیجه‌گیری

از بعد آب و هوایی با بررسی نقشه‌های تراکم آلاینده‌ها و نگاهی به وضعیت اراضی باغی شهر تبریز به مثابه ریه‌های تنفسی و تصفیه‌کننده هوا مشخص می‌شود طی دهه‌های گذشته با گسترش شهر تبریز، صنعتی شدن و افزایش خودرو و تخریب اراضی باغی شهر به رویکرد غیراکولوژیک توسعه شهری مشخص می‌شود. بررسی ویژگی‌های آلودگی هوای شهر تبریز نشان می‌دهد که عمده‌ترین آلاینده‌های هوای شهر بیشتر مربوط به ذرات معلق (PM_{10})، گاز دی‌اکسیدکربن (CO_2) و دی‌اکسیدگوگرد (SO_2) و اکسیدهای نیتروژن (NOx) می‌باشد. پراکندگی ذرات معلق در هوای شهر بیشتر بر اثر تردد وسایط نقلیه، فعالیت‌های صنعتی، احتراق سوخت موتورهای دیزل و ساخت و ساز بی‌رویه و نیاز به تولید برق بیشتر می‌باشد. فعالیت‌های نیروگاه‌های حرارتی، پالایشگاه تبریز و سیستم‌های گرمایشی خانگی و تجاری درون شهری نیز از جمله عوامل تولید‌کننده SO_2 بوده و بیشترین تولید CO_2 یا دی‌اکسیدکربن مربوط به سوخت خودروهای بنزین سوز می‌باشد. شدت افزایش مقدار این آلاینده در تمامی ایستگاه‌های منتخب در فصل‌های پاییز و زمستان به مراتب بیشتر بوده به طوری که در این فصول آلاینده‌ها به بیش از دو برابر مجاز نیز می‌رسند. سهم آلاینده‌های هوای شهر تبریز را می‌توان به سه دسته کلی تقسیم بندی نمود که بیشترین عامل متعلق به بخش نیروگاه حرارتی و حمل و نقل می‌باشد. در این مقاله سعی گردید متغیرهای مستقل موثر در توزیع احتمال آلودگی در دو مدل شبکه عصبی و رگرسیون خطی در ارتباط گذاشته شود تا بتوان با تعریف تمهیداتی در مدیریت شهری کلانشهر تبریز و اثرگذاری و برنامه‌ریزی در متغیرهای یاد شده کنترل آلودگی را بهبود بخشید.

پیشنهادات

۱- لزوم انجام آزمون صحت کاتالیست کانورتور و کربن کنیستر در صدور معاینه فنی خودروها: سابقه نسب کاتالیست در صنعت خودرو ایران به سال ۸۲ برمی‌گردد، تمام فایده نصب این قطعه در کاهش آلودگی‌های زیست محیطی خلاصه می‌شود. قطعه‌ای حیاتی که به دلیل استفاده از سه فلز گرانبه‌ای پلاتین، پالادیم و رودیم از قیمت بالایی برخوردار است و همین موضوع منجر به این می‌شود که مالکان خودروها تمایلی برای تعویض آن نداشته باشند و به اجاره ساعتی کاتالیست جهت دور زدن مراکز فنی خودرو روی می‌آورند که ارگان‌های زیربنا برای جلوگیری از این امر باید جاره‌ای بیاندیشند.

۲- افزایش سهم حمل و نقل عمومی (هر سال ۵ درصد): تعداد اتوبوس‌های فعال شرکت واحد ۷۲۱ دستگاه بوده که در افق ۵ ساله به ۹۲۰ دستگاه، تعداد اتوبوس‌های فعال از ۶۴۰ دستگاه به ۸۱۶ دستگاه و تعداد تاکسی‌ها از ۱۱۰۰۰ دستگاه به ۱۴۰۳۹ دستگاه افزایش پیدا کند. پیشرفت ۵۹ درصدی پروژه فاز اول خط یک قطار شهری و افزایش میزان سهم حمل و نقل عمومی ریلی ضروری می‌باشد. در صورت استفاده از حمل و نقل ریلی در کلان شهرها از جمله تبریز در هر سفر حدوداً ۳۰ دقیقه در وقت مسافران صرفه جویی می‌شود و از مواد آلاینده هوای شهر کاسته خواهد شد. توسعه خطوط ویژه دوچرخه سواری از رقم ناچیز ۳۷۴۰۰ متر و تشویق مردم به استفاده از آن در مسیرهای کوتاه می‌تواند نقش مؤثری در کاهش سفرهای درون شهری کوتاه مدت باشد.

۳- ایجاد مراکز معاینه فنی خودرو: در صورتی احتراق ناقص و عدم توجه به تنظیم و تست موتور، میزان گازهای آلاینده به ۷۰ الی ۸۰ درصد شرایط احتراق کامل سوخت خودرو افزایش می‌یابد. مشخصات هفت مرکز معاینه فنی در زیر آمده که برای کلانشهر تبریز کافی نبوده و بایستی مراکز نام برده شده افزایش یابند.

۱- (مرکز شماره یک - خیابان دامپزشکی، سبزه میدان)، ۲- (مرکز شماره دو - خیابان راه آهن، روبروی سیلو)، ۳- (مرکز شماره سه - روبروی هتل مرمر، جنب هلال احمر)، ۴- (مرکز شماره چهار - جاده مایان)، ۵- (مرکز شماره پنج - اتوبان شهید کسایی)، ۶- (مرکز شماره ۶ مرزداران)، ۷- (معاینه شهرداری - شهرک امام).

۴- نصب دوربین‌های نظارت تصویری دیجیتالی جهت کنترل کامل مبادی ورودی طرح ترافیک و نصب تابلو الکترونیکی مسیر یاب شهری: یکی از دلایل افزایش آلاینده‌های خروجی از آگزوز اتومبیل‌ها، وجود ترافیک در سطح شهر و تغییر سیکل‌های

حرکت موتور است. که به شدت میزان CO و اکسیدهای ازت NO را افزایش می‌دهد. در این راستا به منظور اشرافیت بر معابر و تقاطع‌ها در سطح شهر، کنترل ترافیک و هدایت خودروها به سمت مسیرهای خلوت‌تر، ایجاد مرکز کنترل هوشمند ترافیک، لازم و ضروری است. در حال حاضر شهر تبریز، دارای ۴۵ تقاطع ترافیکی عمده می‌باشد، که ۲۵ تقاطع دارای ترافیک سنگین و مابقی از بارترافیکی کمتری برخوردارند. اجرای طرح محدوده ترافیک در نیمه سرد سال می‌تواند در کاهش آلودگی در این فصول موثر باشد.

۵- تبدیل جایگاههای تک منظوره به دومنظوره سوخت: در سال ۱۴۰۰ تعداد جایگاههای گاز ۳۷ مورد و تعداد جایگاههای بنزین ۳۵ مورد بوده است. برای استفاده کامل از ظرفیت خودروهای گازسوز به علت احتراق کامل، تعداد جایگاههای بنزین موجود یعنی ۳۵ واحد باید دو منظوره شوند.

۶- افزایش سالانه یک متر مربع به سرانه فضای سبز شهری: میزان سرانه فضای سبز مشجر حدود ۱۱ متر مربع بوده است. سرانه فضای سبز در پایان برنامه باید به ۲۰ متر مربع ارتقاء پیدا کند. میزان فضای سبز موجود شهر در حدود ۲۳۰۰ هکتار می‌باشد. ایجاد کمربند سبز در شمال اتوبان پاسداران و جنوب کسائی در جهت کاهش آلودگی و ریزگردها می‌تواند نقش مهمی بازی کند.

۷- ممنوعیت ایجاد صنایع در خارج از شهرک‌های صنعتی تا محدوده ۳۰ کیلومتری.

۸- انجام فرایندهای احتراقی تمام کارخانه‌ها و کارگاه‌ها و واحدهای تولیدی مستقر در محدوده و حریم با انرژی‌های تجدیدپذیر یا گاز بیش از ۹۰ درصد واحدهای صنعتی مستقر در محدوده و حریم شهر گازسوز شده‌اند. علی‌رغم توفیق وزارتین نفت و نیرو جهت تامین گاز نیروگاه حرارتی تبریز به مدت ۸ ماه هنوز به طور کامل اجرائی نشده و حداقل نصب سیستم فیلتراسیون نیروگاه‌ها توسط وزارت نیرو بایستی عملیاتی شود.

۹- تجهیز تمام واحدهای صنعتی آلاینده موجود در محدوده و حریم شهرها به سیستم‌های کنترل آلودگی و پایش بر خط حدود ۸۰٪ صنایع در محدوده و حریم شهر، دارای سیستم کنترل آلودگی می‌باشد.

۱۰- تبدیل صنایع آلوده به صنایع پاک: کلیه صنایع مصرف کننده آبست (۵ واحد بزرگ و عمده) از مواد جایگزین آبست استفاده می‌کنند یا تغییر خط تولید داده‌اند.

۱۱- انتقال واحدهای صنعتی باقیمانده در حریم شهرها: در این خصوص اقدام خاصی صورت نگرفته که بایستی با تشکیل کارگروهی، صنایع و مشاغل مزاحم و آلاینده شهری از قبیل واحدهای مستقر در جاده مایان - کجباد - کوی توحید و زرگری‌ها صافکاری‌های درون شهری شناسایی و انتقال یابند.

۱۲- تجهیز موتورخانه‌های ساختمان‌های اداری و تجاری و نصب پنجره‌های نسل جدید (دوجداره): با توجه به ارزان بودن انرژی در ایران اقدام مرحله به مرحله پیشنهاد فوق‌الذکر باعث ذخیره سازی انرژی به دلیل کار نکردن نیروگاهها با تمام ظرفیت خود خواهد بود.

۱۳- ارتقاء سامانه‌های پایش، پیش‌بینی و هشدار: در حال حاضر ۷ ایستگاه سنجش آلودگی هوا و تابلوهای نمایشگر در کلانشهر تبریز وجود دارد که آن‌هم با مشکلات عدیده‌ای مواجه بوده و نیازمند توجه کافی به این امر بوده و باید ردیف بودجه‌ای خاصی در این خصوص بدلیل تداوم آن در اعتبارات سازمان محیط زیست گنجانده شود. به دلیل پراکنش نامناسب و تراکم کم ایستگاه‌ها، احداث ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در سطح شهر تبریز که در معرض احتمال خطر خیزش ریزگردهای حاصل از نمک دریاچه ارومیه ضروری است.

منابع

- الوند، روفیده. محمدزاده، مرجان. رضایی، حمیدرضا، میرکریمی، سید حامد. (۱۳۹۶). نقش و کارکردهای اکولوژیکی فضاهای سبز شهری در توسعه پایدار شهرها. زیست سپهر، جلد ۱۲، شماره ۱، صص ۳۹-۴۵.
- آل شیخ، علی اصغر. قراگوزلو، علیرضا و سجادیان مهیار. (۱۳۹۱). بهره‌گیری از شبکه عصبی به منظور استفاده در فرآیند مدیریت ریسک زیست محیطی ناشی از آلودگی هوای منتج از ترافیک در کلانشهر تهران. فصل‌نامه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری چشم‌انداز زاگرس. سال چهارم. شماره ۱۳. صص ۲۶-۳۸.
- جعفریان، سمیه. زهرا، آقارلی و نجار مرضیه. (۱۳۹۶). آگاهی و نگرش کنترل آلودگی هوای شهر تهران از منظر سالمندان و زنان باردار. مجله ارتقای ایمنی و پیشگیری از مصدومیت‌ها، دوره ششم. شماره ۲. صص ۷۳-۸۰.
- حسین‌پور، سید علی. گل زردی، سمانه. حکیم، زاده ساناز. (۱۳۹۲). تحلیلی بر تأثیرات زیست محیطی بر گسترش کالبدی شهر زنجان. مجله معماری و شهرسازی و توسعه پایدار با محوریت از معماری بومی تا شهر پایدار. ص ۹.
- رحیمی، اکبر. (۱۳۸۵). تحلیل آلودگی‌های هوایی ناشی از مکان‌یابی نامناسب مراکز صنعتی در شهر تبریز با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.
- سرور هوشنگ، اسمعیل‌پور مرضیه، خیری‌زاده منصور، امرایی مهتاب: تحلیل فضایی مؤلفه‌های تأثیرگذار بر آلودگی هوای شهر تبریز، مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره نهم، شماره بیست و چهارم، تابستان ۱۳۹۹، صص ۱۵۱-۱۷۲.
- سلطانی، طاهره. گندمکار، امیر. عطایی، هوشمند. مفیدی، عباس و باقری محسن. (۱۳۹۷). بررسی تأثیر اقلیمی بر آلودگی هوای شهر مشهد با استفاده از مدل شبکه عصبی. فصلنامه علمی-پژوهشی جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای). سال هشتم. شماره ۳. صص ۷۳-۸۲.
- شریفی سده مریم، احمدی ندوشن مژگان: کاربرد روش رگرسیون اراضی (LUR) در مدل‌سازی فضایی آلاینده‌های هوا در شهر اصفهان؛ فصلنامه علوم محیطی، دوره شانزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، صص ۲۱۶-۲۰۳.
- غیاث‌الدین، منصور. (۱۳۸۵). آلودگی هوا (منابع، اثرات و کنترل). تهران. چاپ اول. انتشارات دانشگاه تهران.
- قائم‌ی، زینب. طالعی، محمد. فرنقی، مهدی و جوادی، قاسم. (۱۳۹۶). پیش‌بینی آلودگی هوای شهر تهران با استفاده از ترکیب شبکه عصبی فازی-تطبیقی و آنالیز مولفه اصلی. سنجش از دور و GIS ایران، سال نهم (۳). صص ۴۵-۷۰.
- قربانی، محمد و فیروز زارع علی (۱۳۸۸). ارزش‌گذاری و ویژگی‌های مختلف آلودگی هوا در مشهد. مجله تحقیقات اقتصادی، شماره ۸۸، صص ۱۱۵-۲۴۱.
- فرهادی، راضیه. هادی‌فر، مجتبی. معین‌الدینی، مظاهر. امین‌توسی، محمد. (۱۳۹۹). پیش‌بینی غلظت آلاینده‌های هوای تهران بر اساس متغیرهای هواشناسی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی در فصول گرم و سرد. محیط زیست طبیعی. منابع طبیعی ایران. دوره ۷۳. شماره ۱. صص ۱۱۵ تا ۱۲۷.
- وحدت‌امیرحسین، علی محمدی عباس: بررسی تغییرپذیری ساعتی رابطه بین پارامترهای کاربری اراضی و آلاینده CO، با استفاده از مدل رگرسیون کاربری اراضی (LUR) در شهر تهران؛ سنجش از دور و GIS ایران سال دوازدهم، شماره اول، بهار ۱۳۹۹، صص ۱-۱۸.

- Azid, A., Juahir, H., Latif, M. T., Zain, S. M., & Osman, M. R. (2013). Feed-forward artificial neural network model for air pollutant index prediction in the southern region of Peninsular Malaysia. *Journal of Environmental Protection*, 2013.
- Balogun, A. L., Tella, A., Baloo, L., & Adebisi, N. (2021). A review of the inter-correlation of climate change, air pollution and urban sustainability using novel machine learning algorithms and spatial information science. *Urban Climate*, 40, 100989.
- Boznar.M.,Lesiak.M.,Mlaker.P.,(1993).A neural network based method for shortterm predictions of ambient SO₂ concentrations in highly polluted industrial areas of complex terrain.*Atmos.Environ.*27B(2),pp.221-230
- Brunekreef, B. & Holgate, S.T., 2002, *Air Pollution and Health*, The Lancet 360(9341), PP. 1233-1242.
- Bates, D. V. (1995). The effects of air pollution on children. *Environmental health perspectives*, 103(suppl 6), 49-53.
- Biancofiore, F., Verdecchia, M., Di Carlo, P., Tomassetti, B., Aruffo, E., Busilacchio, M., ... & Colangeli, C. (2015). Analysis of surface ozone using a recurrent neural network. *Science of the Total Environment*, 514, 379-387.
- Bhuiyan, R. (2021). Examination of air pollutant concentrations in Smart City Helsinki using data exploration and deep learning methods.
- Collett RS, Oduyemi K. 1997; Air quality modelling: a technical review of mathematical approaches. *Meteorological Applications*. 4(03):235-46.
- Gao, M., Yin, L., & Ning, J. (2018). Artificial neural network model for ozone concentration estimation and Monte Carlo analysis. *Atmospheric Environment*, 184, 129-139.
- Garc a Nieto, P.J., Combarro, E.F., del Coz D az, J.J. & Monta és, E., 2013, A SVM-Based Regression Model to Study the Air Quality at Local Scale in Oviedo Urban Area (Northern Spain): A Case Study, *Applied Mathematics and Computation* 219(17), PP. 8923-8937.
- Dutta, A., & Jinsart, W. (2020). Application and comparison of MLR, ANN and CART models for predicting PM10 concentration level of Guwahati city (India).
- Ibarra-Berastegi G, Elias A, Barona A, Saenz J, Ezcurra A, de Argandoña JD. 2008; From diagnosis to prognosis for forecasting air pollution using neural networks: Air pollution monitoring in Bilbao. *Environmental Modelling & Software*. 23(5):622-37.
- Krzyzanowski, M. (2008). WHO air quality guidelines for Europe. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 71(1), 47-50.
- Mudway, I. S., Kelly, F. J., & Holgate, S. T. (2020). Oxidative stress in air pollution research. *Free radical biology & medicine*, 151, 2.
- Qiu, H., Yu, I., Wang, X., Tian, L., Tse, L.A., Wong, T.W., (2013). Differential effects of fine and coarse particles on daily emergency cardiovascular hospitalizations in Hong Kong. *Atmos. Environ.*, 64, (pp. 296-302)
- Sharma N, Chaudhry K, Rao CC. 2005; Vehicular pollution modeling using artificial neural network technique: A review. *Journal of Scientific and Industrial research*. 64(9):637.
- Slaughter, J.C., Lumley, T., Sheppard, L., Koenig, J.Q., and Shapiro, G.G., (2003). Effects of ambient air pollution on symptom severity and medication use in children with asthma, *Annals of Allergy, Asthma and Immunology*, vol. 91, no. 4, (pp. 346-353)
- Shi.J.P.,Harrison,R.M.,(1997),Regression modeling of hourly NO_x and NO₂ concentration in urban air in London.,*Atmos.Environ.Modell&Softw.*,22,264-275.

- Sahoo, L., Praharaj, B. B., & Sahoo, M. K. (2021). Air Quality Prediction Using Artificial Neural Network. In *Soft Computing Techniques and Applications* (pp. 31-37). Springer, Singapore.
- U.S. EPA (2009). Technical Assistance Document for Reporting of Daily Air Quality -air Quality Index. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Caroli
- Zannetti, p. 1990; Air pollution modeling, theories, computational methods and software's, computational mechanics publication, WIT Press.

