علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و یک، شماره چهار، تیرماه ۹۸

پیش بینی نتایج اجرای راهبرد های کنترل آلودگی هوا با استفاده از مدل سازی مکانی شبکه عصبی برای کلان شهرتهران

مهران قدوسی[۱]
فریده عتابی[۲*]
far-atabi@jamejam.net
جعفر نوری[۳]
علیرضا قراگزلو[٤]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۱۲ **تاریخ پذیرش:۱۳۹۵/۱۰/۲۲**

چکیده

زمینه و هدف : پیش بینی نتایج حاصل از اجرای خط مشی های راهبردی کنترل آلودگی هوا به عنوان نخستین و مهم ترین چالش شهرداری تهران مطرح می باشد. هدف اصلی این تحقیق بررسی روشی خاص برای ارزیابی نتایج حاصل از خط مشی های راهبردی کنترل کننده آلودگی هوا در کلان شهر تهران با استفاده از ابزارهای پشتیبان تصمیم گیری چند بعدی بوده است .

روش بررسی : ابتدا مناسب ترین استراتژی های کنترل آلودگی هوا بر اساس شرایط و ساختارهای موجود در هر زون از سطح شهر انتخاب گردید و سپس طبق معیارهای برگزیده وزن دهی شدند . همچنین بر اساس پایش مکانی الگوهای شکل گیری آلودگی هوا در زمان گذشته و حال حاضر، و نیز تحلیل اثرات آن ها، نتایج حاصل از اجرای استراتژی های کنترل آلودگی هوا توسط مدل های شبکه عصبی مکانی شبیه سازی شدند . در گام بعدی متغیرهای سری های زمانی و عدم قطعیت جهت پیش بینی الگوهای قابل شکل گیری، میزان آلودگی هوا را شبیه سازی نموده و در نهایت نتایج استراتژی های کنترل آلودگی با استفاده از لایه های موضوعی مکانی مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته ها : تعریف خوشه های نهایی استراتژی های کنترل کیفیت هوا، وزن دهی و رتبه بندی خط مشی های منتخب بر اساس معیارهای تعریف شده از نخستین یافته های این تحقیق بوده است. همچنین استحصال پهنه بندی های سری های زمانی بر اساس داده های جمع آوری شده در طی یک دوره چهار ساله و نیز شبیه سازی مدل های سناریو مبنا و لایه های اطلاعات مکانی خروجی آن ها از جمله دست آوردهای این مطالعه بوده است. در نهایت مدلسازی متغیرهای پیش بینی و تدوین نرم افزار کنترل کیفیت هوا و پیش بینی نتایج حاصل

۱- دکترای مدیریت محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۲- دانشیار گروه مهندسی محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. *(مسوول مکاتبات)
۳- استاد دانشکده بهداشت و علوم پزشکی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۴- دانشیار گروه GIS، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

از اجرای استراتژی های کنترل آلودگی هوا ارائه گردید. نتایج نشان دهنده آن است که در صورت بهره گیری از مدل هـای شـبکه عصـبی مکانی، مدیران شهری قادر خواهند بود به صورت موثر نتایج حاصل از اجرای استراتژی های کنترلی را پیش بینی نمایند .

بحث و نتیجه گیری : نتایج این مطالعه نشان داد که تحلیهای مکان - زمان محور، پشتیبان فرایند ارزیابی و پیش بینـی اثـرات آلـودگی بوده و با استفاده از آن‌ها می توان بهترین استراتژی‌های کنترل آلودگی را برای پهنه های متاثر از آلودگی هوا تعریـف نمـود. نتـایج نهـایی مدل های شبکه عصبی مکانی نشان می دهد که در صورت اجرای استراتژی های منتخب بر اساس سناریوهای تعریـف شـده، در "سـناریو خوش بینانه" کیفیت هوا در تمامی پهنه های شهر تهران به صورت کامل و پایـدار، سـالم بـاقی مانـده در حـالی کـه در "سـناریو شـرایط متعارف" در صورت اجرای استراتژی های منتخب تا حدود ۷۰ در صد از سطح آلودگی هوا در فصول پاییز و زمستان نسبت به شرایط عدم اجرای برنامه های کنترلی کاسته خواهد شد. دیاگرام نهایی فرایند صحت سنجی مدل نیز موید آن بود که الگوی سطح آلودگی پیش بینی شده توسط مدل در هر یک از پهنه های شهری از روند و تطابق مناسبی در مقایسه با الگـوی میـزان آلـودگی حاصـل از نتـایج داده هـای میدانی برخوردار بود.

واژه‌های کلیدی: آلودگی هوا، استراتژی های کنترل آلودگی هوا، مدل شبکه عصبی مکانی، سیستمهای پشتیبان تصمیم‌گیری.

J. Env. Sci. Tech., Vol 21, No.4, June, 2019

Prediction of the results of implementation of air pollution control strategies using the Geo-Artificial Neural Network for Tehran metropolis

Mehran Ghoddousi [1]
Farideh Atabi [2 *]
far-atabi@jamejam.net
Jafar Nouri [3]
Alireza Gharagozlu [4]

Admission Date: January 11, 2017 Date Received: September 2, 2016

Abstract

Background and Objective: Predicting the results of the implementation of strategic air pollution control policies is the first and most important challenge for Tehran municipality. The main objective of this study was to define a specific method for assessing the result of urban air pollution controlling strategies in Tehran metropolis using a multi-dimensional decision support system.

Method: First, the most appropriate air pollution control strategies were selected based on existing conditions and structures in each zone of the city and then weighed according to selected criteria. Based on the spatial monitoring of air pollution formation patterns in the past and present time, as well as the analysis of their effects, the results of implementing air pollution control strategies were simulated using Geo-Artificial Neural Network models. In the next step, variables of time series and uncertainty variables were simulated for predicting the potential future air pollution patterns and finally, the results of the defined control strategies were evaluated based on spatial thematic layers.

Findings: Definition of final clusters of air quality control strategies, weighting and ranking of the selected policies based on defined criteria have been the first findings of this research. Also, extraction of time series zoning based on the data collected during a four-year period, as well as simulation of the baseline scenario models and spatial data layers of their output were among the achievements of this study. Finally, the modeling of the predictive variables, design of the air quality control software and the prediction of the results of the the implementation of air pollution control strategies were presented. The results showed that by applying the Geo-Artificial Neural Network models (GANN), the urban managers could effectively predict the results of implementing the air pollution control strategies.

1-PhD in Environmental Management, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2-Associate Professor, Department of Environmental Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. **(Corresponding Author)*

3- Professor, Faculty of Health and Medical Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran.

4- Associate Professor, Department of GIS, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Discussion and Conclusion: The results of this study showed that the spatio-temporal analysis supports the process of evaluation and prediction of the effects of pollution and can be used to determine the best pollution control strategies for the zones affected by air pollution. The final results of GANN models indicate that if the selected strategies are implemented based on the scenarios defined, in the "optimistic scenario", air quality in all areas of Tehran is completely stable and remains healthy, while in the "ordinary scenario" will reduce the level of air pollution up to 70 percent in the autumn and winter season if the selected strategies are implemented compared to the lack of implementation of control plans. The final model of the verification process model also confirmed that the pattern of pollution predicted by the model in each of the urban areas had a proper trend and adaptation compared to the pattern of contamination obtained from the actual results of the field data.

Keywords: Air pollution, Air pollution control strategy, Geo–Artificial Neural Network models, Scenario, Decision support system.

مقدمه

برای تبدیل شهرها به اماکن اکولوژیک پایدار بایستی فرایند مدیریت صحیح و کاهش اثرات مخرب به صورت موثر "*باز تعریف*" شده که در این بین کاهش آلودگی هوا و مدیریت آن در کلان شهرها از سهم با اهمیتی برخوردار است (۱).

ناگزیری انسان در مصرف منابع و تولید آلودگی امری بدیهی است، اما مدیریت تامین نیازهای بشر همراه با کاهش اثرات مخرب فعالیت ها، نیازمند دانشی وسیع و دست یابی به سهم عمده ای از اطلاعات و ضوابط و الگوهای کاربردی است. جمع آوری این دسته از اطلاعات و مدل سازی آن ها در نهایت به شکل گیری سیستم های پشتیبان تصمیم گیری منجر شده که الگوی توسعه " برد _ برد _ برد" را برای کلیه شاخص‌های" اجتماعی، اقتصادی و محیط زیستی" به‌همراه خواهد آورد (۲و-۳). براساس مطالعات انجام شده توسط احمدی و همکاران (۲۰۱۵)، تدوین معیارها و پیش بینی سطح آلودگی ها متاثر از متغیرهایی هم چون تراکم جمعیت، میزان فعالیت، تردد و در نهایت ساختار فضای شهری و الگوهای حاکم برکاربری ها و شرایط اقلیمی بوده که می توان در قالب شاخص های ارزیابی و پیش بینی تراکم آلودگی از آن ها استفاده نمود (۴).

تهران با هفتصد و پنجاه کیلومتر مربع وسعت و نه میلیون نفر جمعیت ثابت و حدود سه میلیون نفر جمعیت شناور(۵) با مرحله جدیدی از تکامل خود روبرو است. مدل سازی آلودگی هوا مستلزم استفاده از فرایندهای بسیار پیچیده ای است که وابسته به عوامل اثر گذار بسیاری می باشد. بخش عمده متغیرهای موثر در این فرایندها از الگوهای بر هم اثر گذار در قالب روابط دینامیک غیر خطی برخوردار بوده و ضروری است تاثیرات آن را در شکل گیری پراکندگی و انتشار آلودگی در جو مشخص نمود (۶).

هر چقدر مدل شبیه سازی آلودگی هوا و پهنه بندی های ارزیابی و پیش بینی دقیق تر بوده باشند، به همان نسبت امکان تصمیم گیری مناسب و پایدارتر برای مدیریت آلودگی هوا و اتخاذ استراتژی های موثرتر نیز بیش تر فراهم خواهد شد (۷).

بر اساس مطالعات هاجیک و همکاران (۲۰۱۱)، وجود فرایند یادگیری در شبکه های عصبی موجب بوجود آمدن روش های گوناگون تصمیم گیری و قابلیت انعطاف پذیری و تقابل با تناقضات و چالش های عوامل تصادفی در بحث آلودگی هوا خواهد شد که لازمه مرحله تصمیم گیری قطعی در شرایط غیر قطعی و ناپایدار است (۸).

طبق نتایج برگرفته از تحقیقات البر و همکاران (۲۰۱۰)، استفاده از الگوریتم های شبکه عصبی موجب بهره گیری از قابلیت هایی هم چون حافظه، یادگیری و یا بهره گیری از تجارب گذشته در اتخاذ استراتژی های مدیریتی گردیده و سیستم های اطلاعات جغرافیایی امکان بصری سازی و نمایش نتایج تحلیل را جهت تسریع و تدقیق فرایند برنامه ریزی در موضوع کنترل کیفیت هوای شهری را فراهم می سازد (۹). در مدل های شبکه عصبی بر هم کنش و وابستگی متغیرها به صورت شبکه ای کاملا مرتبط و متصل به هم بوده که در آن سری های زمانی و سایر متغیرها در قالب پهنه بندی به صورت الگوهای وضع موجود، الگوهای آموزشی و الگوهای پیش بینی ارایه و بررسی خواهند شد. عمل تجزیه و تحلیل روندها و فرایندها در داده ها و قوانین پیش بینی وضعیت های احتمالی در آینده از اهمیت موضوعی خاصی در بررسی الگوهای آلودگی هوا و شکل گیری آن برخوردار است که کاملا اجرای آن با مدل های شبکه عصبی امکان پذیر است (۱۰).

طبق نتایج حاصل از مطالعات نژادکورک و همکاران (۲۰۱۲) اعمال قوانین مربوط به الگوهای ادواری و سری های زمانی و قواعدی چون همبستگی و همسایگی در تعریف آنالیزهای پیش بینی موثر بوده و می توان پهنه بندی سری های زمانی را به عنوان مبنایی برای تعیین روند شکل گیری و گسترش آلودگی در آینده مشخص ساخت (۱۱).

بر اساس مطالعات ووتاوا و همکاران (۲۰۱۰)، بررسی نحوه ترکیب متغیرهای مختلف و مستقل و خلق شرایط معین و الگوسازی آن ها برای پیش بینی نتایج آتی از فرایندهایی است که در مکانیسم های آموزشی و یادگیری شبکه های عصبی

استفاده شده و امکان پشتیبانی تصمیم گیری را در محیط زیست فراهم می کند (۱۲). تلفیق زمان با قواعد همبستگی و تعیین چگونگی تغییر شرایط بر اثر وقوع عوامل تصادفی بایستی برای تعریف الگوهای تسلسلی بصری سازی پهنه ها اجرا گردد (۱۳و ۱۴).

بر اساس نتایج مطالعات یونسی و همکاران (۲۰۱۰) و همچنین خیمینز و همکاران (۲۰۱۵)، در مدلسازی های پیچیده ای هم چون الگوریتم های شبکه عصبی، نحوه ارایه و تفهیم نتایج حاصل از اجرای قوانین تصمیم گیری بایستی به گونه ای باشد که امکان مدیریت و برنامه ریزی در شرایط متفاوت برای کاربران فراهم باشد. لذا روش های بصری سازی نتایج حاصل از تحلیل های اجرا شده در شبکه های عصبی، در قالب پهنه بندی های زمانی- مکانی به عنوان یک روش مقبول و موثر مطرح می شود (۱۵ و ۱۶).

از آنجایی که برای مدیریت موضوعی هم چون آلودگی هوا، تنها یک تصمیم واحد نمی تواند جواب گوی حل مشکل باشد، لذا این سری تصمیمات متوالی هستند که تعیین کننده سطح توفیق و تحقق ارزش های مورد انتظار در سطح مطلوبیت دست یابی به اهداف می باشند. برای نمایش این گروه از تصمیمات با توجه به این که هر یک از تصمیمات متکی و وابسته به تصمیمات ماقبل خود بوده و ماهیت های مجزا دارند، بهترین فضای الگو سازی و نمایش را می توان مدل های شبکه عصبی مکانی معرفی نمود (۱۷ و ۱۸).

مواد و روش ها

در این مطالعه ابتدا خوشه بندی استراتژی های کنترل آلودگی هوا بر اساس معیارها و فرایند وزن دهی تعیین و جداول ارزیابی هر برنامه راهبردی در پهنه های تعریف شده شهری مشخص گردید (۱۹). سپس بر اساس روابط و قوانین تعریف شده در قالب ماتریس های پیش بینی شبکه عصبی، سطح آلودگی مورد انتظار در هر پهنه مدل سازی گردید (۲۰) . همچنین مدل های پیش بینی سری های زمانی برگرفته از نتایج حاصل از هم پوشانی سلول های شبکه ای مکان مرجع شامل اطلاعات تراکم آلودگی در هر یک از سلول ها در دوره چهار ساله (۲۰۱۱ – ۲۰۱۴) پهنه بندی گردید. در مرحله بعد اطلاعات سطح تراکم آلودگی هوا ناشی از منابع خطی، سطحی و نقطه-ای و داده های دیگری هم چون اطلاعات دموگرافیک،کاربری های شهری و سطح طبقه بندی شده آن ها در مدل آلایندگی زایی مورد ارزیابی قرار گرفت و سپس زیر ساخت های شهری موجود در هر شبکه از لحاظ تاثیر گذاری در افزایش یا کاهش سطح آلودگی و در نهایت کمی سازی الگوهای رفتاری و فعالیت ها در قالب شبکه های سلولی وزن دار، به عنوان الگوی پیش بینی سطح آلودگی مورد انتظار در ماتریس های شبکه عصبی مدل سازی و بر روی شبکه های سلولی مکان مرجع شبیه سازی گردیدند. در مرحله آخر نیز ضمن اجرای فرایند صحت سنجی مدل، کلیه نتایج حاصل از اجرای برنامه های راهبردی کنترل آلودگی ها در قالب سه سناریوی"*بهترین شرایط(خوش بینانه)*"، "*بدترین شرایط*" و "*شرایط متعارف*"، به صورت یک سیستم پشتیبان تصمیم گیری ارایه شد .

خوشه بندی استراتژی های منتخب

با استفاده از ماتریس های ارزیابی، ابتدا جدول طبقه بندی ارزش معیارها تدوین شده و سپس اعداد مستخرج بر روی لایه های اطلاعات تحلیل گر مکانی انطباق داده می شوند، در این فرایند استراتژی ها در قالب خوشه بندی های مکانی و با توجه به معیارهای هدف طبقه بندی گردیدند. استراتژی های منتخب شامل موارد ذیل بوده که در شکل (۱) ماتریس ارزیابی آن نشان داده شده است:

T.S.I[1]: اثر گذاری شاخص های سیستم های تردد شهری ۱) سیستم های حمل و نقل پر ظرفیت ۲) سیستم های ترددی بدون موتور ۳) پیاده رو محوری

L.U.I[2]: اثر گذاری شاخص‌های کالبدی و کاربری شهری ۱) مکان یابی و استقرار هسته های خدمات محلی ۲) استقرار نظام شهرهای فشرده

N.S.I[3]: اثر گذاری شاخص های فضایی و طبیعی شهری

1-Transportation System Index
2- Land Use Index
3- Natural System Index

۱) توسعه دیواره ها و کمربندهای سبز شهری ۲) توسعه سبز راه ها و کریدورهای سبز شهری ۳) توسعه قطعات مقابله کننده با جزایر حرارتی

S.F.I[1]: اثرگذاری شاخص‌های مکان‌یابی نقاط مبداء و مقصد

۱)مکان یابی ایستگاه های پارک و سوار ۲) اجرای نظام الگوهای سفر ترکیبی ۳) مکان یابی ایستگاه‌های ترکیبی

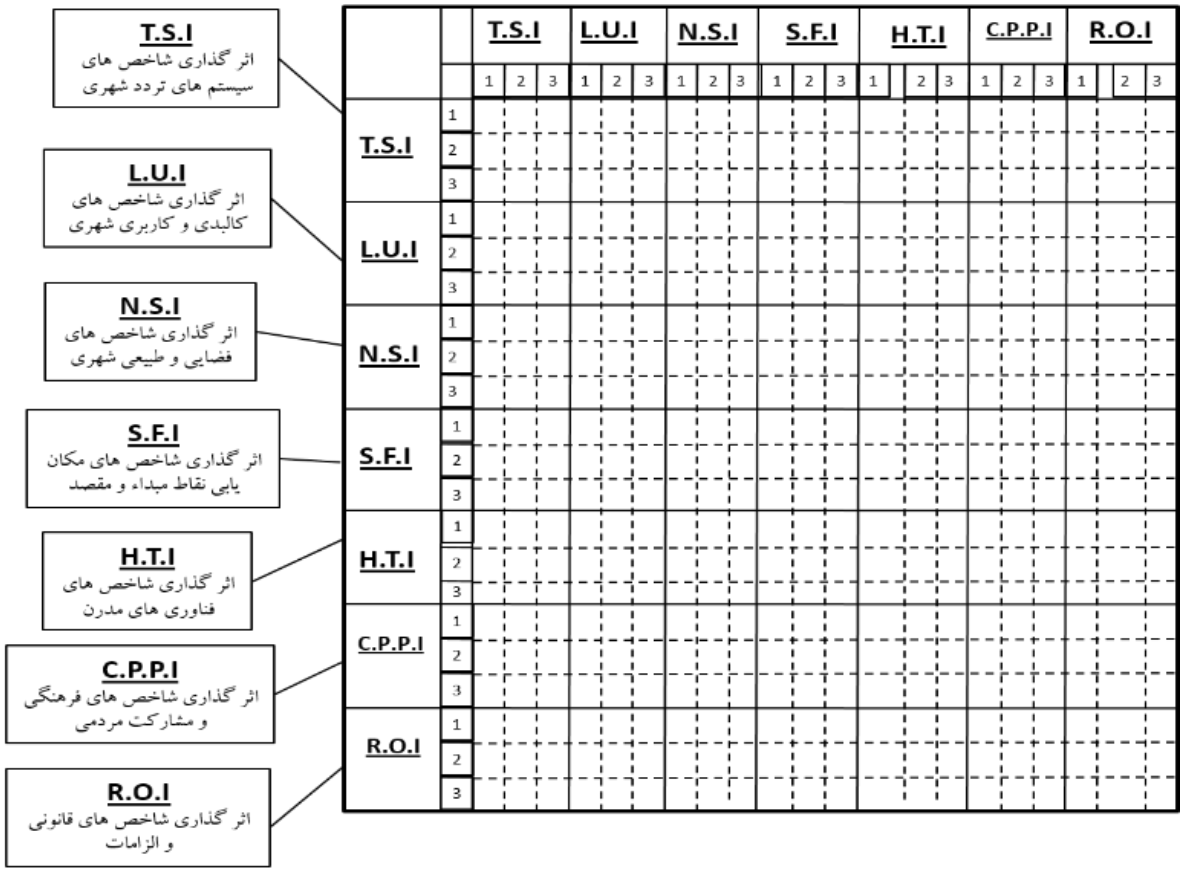
H.T.I[2]: اثر گذاری شاخص‌های فناوری‌های مدرن

۱) استقرار زیر ساخت های نظام دور کاری ۲) استقرار زیر ساخت های خدمات مجازی شهری ۳) استقرار صنایع فناوری پیشرفته

R.O.I[3]: اثر گذاری شاخص های قانونی و الزامات

۱) اجرای برنامه های محدود کننده تردد خودروهای کم سرنشین ۲) اجرای برنامه های محدود کننده صنایع آلاینده و کم بازده در مجاورت شهرها ۳) اجرای برنامه های توسعه‌دهنده سیستم های حمل و نقل پر ظرفیت

1- Site Selected Facility Index
2- High Technology Index
3- Rules & Obligation Index

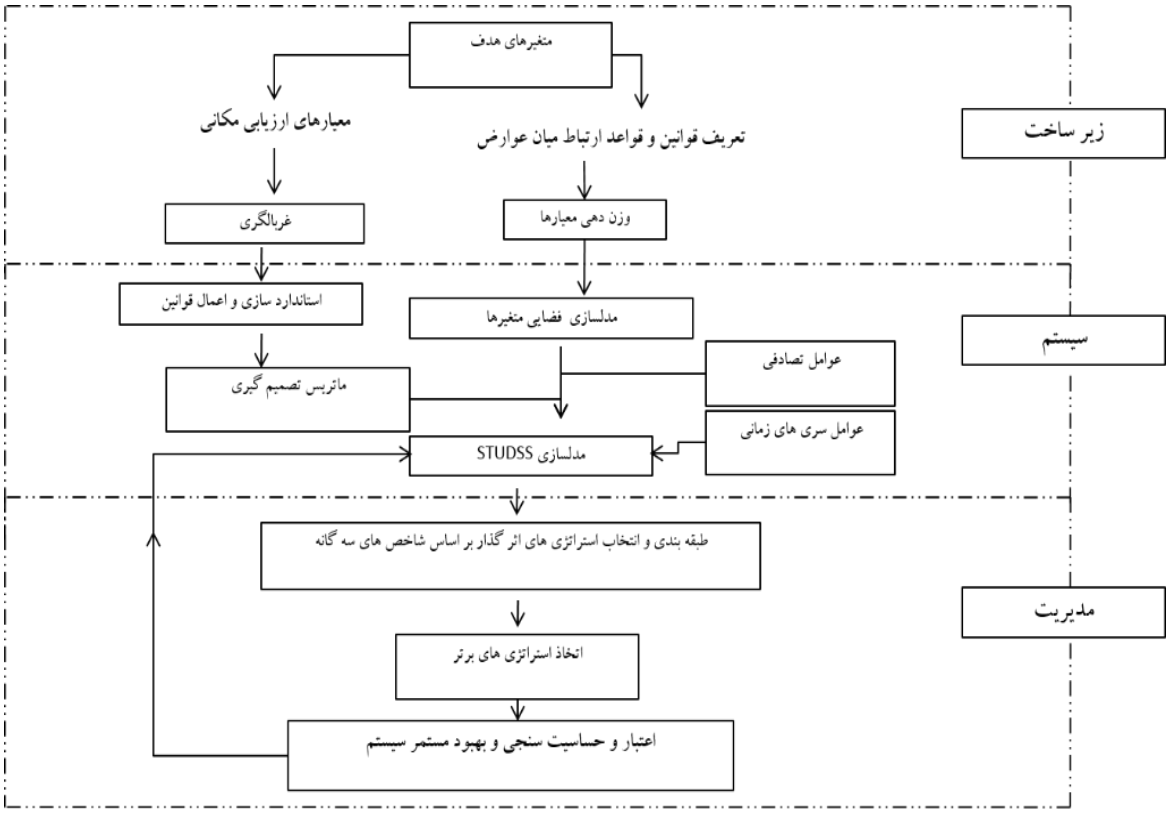


شکل ۱- برای ماتریس ارزیابی چند معیاره رتبه بندی سطح اثر گذاری استراتژی های کنترل کننده آلودگی

Figure 1- Multi-criteria evaluation matrix for ranking the level of effectiveness of air pollution control strategies

پهنه بندی و طراحی مدل

اجرای الگوهای شناور رفتارهای جمعیتی و اثر گذاری عوامل اقلیمی، فرایند های دینامیک آلوده سازی خطی، سطحی، نقطه ای و عوامل تصادفی با استفاده از تکنیک‌های بصری سازی پهنه بندی های *فضایی _ زمانی* محیط از مراحل بعدی تشکیل مدل بوده است. شناخت الگوهای ریخت شناسی و کاربری‌های چیره در هر پهنه و همچنین پهنه بندی شهری در قالب ۲۶ زون همگن که دارای ساختارها و تیپولوژی غالب شناسایی شده در هر پهنه می باشند، به عنوان زیر ساخت مدل تحلیل گر تعریف شد . در شبیه سازی آلودگی هوا میزان غلظت آلودگی در دو حالت سطح آلودگی "پیش از برنامه ریزی" و " پس از اجرای استراتژی های مدیریتی" نمایش داده شدند. مدل طراحی شده برگرفته از تلفیق امکانات تحلیل شبکه عصبی و ابزارهای تحلیل گر اطلاعات مکان مرجع به نحوی تعریف شد که علاوه بر قابلیت بصری سازی پهنه بندی های آلودگی هوا در سال های اخیر، بر اساس پارامترهای طراحی شده، امکان پیش بینی اتفاقات در آینده و از همه مهم تر پیش آگاهی ناشی از عوامل زیان آور و تصمیمات اشتباه مدیریتی در عرصه های گوناگون محیط زیست شهری را داشته باشد. در شکل (۲) فرایند تعریف مدل مفهومی و فلوچارت طراحی سیستم ارایه شده است.



شکل ۲- طراحی سیستم کمک تصمیم گیری شبکه عصبی مکانی کنترل آلودگی هوا

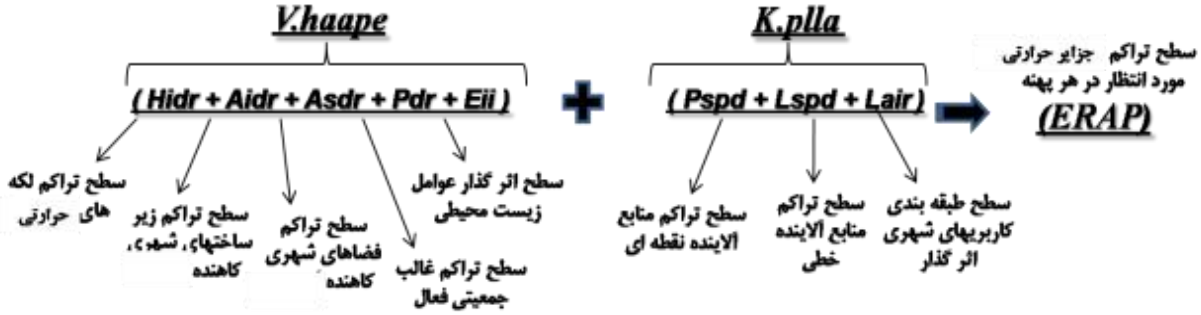
Figure 2-The design of Geo neural network decision-making support system for air pollution control

در فرایند اجرای سیستم، مدل های طراحی شده با استفاده از متغیرهای منتخب و با در نظر گرفتن عوامل تصادفی، نتایج حاصل از اجرای هر کدام از استراتژی های مدیریتی شبیه‌سازی شده، سپس با نمره دهی به نتایج حاصل از اجرای هر استراتژی، میزان کار آمدی و سطح اثر گذاری هر یک از خط مشی های اتخاذ شده در ماتریس های شبکه عصبی طبقه بندی شد و بهترین الگوهای مدیریتی جهت کاهش حداکثر غلظت آلودگی ها در هر پهنه ارایه گردید. در مرحله بعد، روش های ترکیبی و اتخاذ سیاست های گوناگون و تلفیق خط مشی های متنوع به صورت پهنه بندی مکانی ارایه گردیده و با ارزیابی میزان مطلوبیت و سطح اثر گذاری و پایداری نتایج هر تصمیم بهترین الگوهای مدیریت آلودگی هوا تعریف شدند. در شکل (۳) فرایند پیش بینی نتایج مربوط به سطح آلودگی هوای مورد انتظار در یک دوره چهار ساله نمایش داده شده که کلیه متغیرها و روابط آن در قالب مطالعه صورت گرفته تعریف و اجرا شدند.

اجرای سناریوهای پیش بینی

در مدل تحلیل گر شبکه عصبی کلیه استراتژی های مدیریتی در قالب خوشه های وزن دار به همراه اطلاعات محیطی و نتایج حاصل از تحلیل های سری های زمانی به صورت مجزا مورد تحلیل قرار گرفته و بر اساس سناریوهای سه گانه عدم قطعیت یعنی در " بهترین ، بدترین و حالت متعارف "، نتایج حاصل از اجرای استراتژی های مدیریتی شبیه سازی گردید. شرایط محیطی و لزوم کاهش آلودگی هوا به همراه تامین رضایت اجتماعی و منافع اقتصادی کلان شهر تهران با سه معیار قابل اجرا بودن طرح، پایداری و اثر گذاری هر یک از استراتژی ها، به صورت متفاوت در مدل، وزن دهی گردیده و نتایج حاصل از هر یک از شرایط ممکن در دو وضعیت "پیش از اجرای برنامه-های کاهش آلودگی" و "پس از اجرای آن ها " نمایش داده شدند. برای نمایش وضعیت های متفاوت حاصل از تصمیمات مدیریتی در حالات محیطی و کالبدی گوناگون، نرم افزار کمک تصمیم گیری چند بعدی ویژه‌ای طراحی گردید تا در حالات

متفاوت مدیران قادر باشند به پیش بینی تعداد استراتژی های مورد نیاز برای اجرا و ارزیابی نتایج نهایی حاصل از اجرای برنامه های مورد نظر خویش در کاهش سطح آلودگی بپردازند . از آن جایی که مدیریت آلودگی هوا متکی بر پیش بینی‌ها و احتمالات می باشد، از این رو شبیه‌سازی نتایج حاصل از ماتریس‌های ارزیابی در قالب نقشه های پهنه‌بندی شده فضایی- زمانی، به عنوان تضمینی مورد نیاز در اجرای موفق استراتژی های اتخاذ شده ارایه گردید . به منظور پیش بینی نتایج حاصل از اجرای استراتژی‌های کنترل آلودگی هوا، متغیرهای قطعی و غیر قطعی بر اساس ماتریس های ارزیابی شبکه عصبی مطابق روابط (۱) الی (۳) مدل سازی شد (۲۰)؛



خروجی قطعی برای شبیه سازی نتایج حاصل از سطح آلودگی هوا ناشی از منابع آلاینده

$$I.\ Kplla = K\ [(\sum_i^N Pspd) + (\sum_i^N Lspd) + (\sum_i^N LAir)] \quad (1)$$

خروجی غیر قطعی برای شبیه سازی نتایج حاصل از سطح آلودگی هوا ناشی از عوامل محیطی، ساختاری، فعالیتی، دموگرافیکی و حرارتی

$$II.Vhaape = V[(\sum_i^N Hidr) + (\sum_i^N Asdr) + (\sum_i^N Aidr) + (\sum_i^N Pdr) + (\sum_i^N Eii)] \quad (2)$$

سطح تراکم آلودگی مورد انتظار بر اساس عوامل مکانی و پهنه بندی سری های زمانی (قطعی) و مدل های سناریو های سه گانه (غیر قطعی)

$$III.ERAP = \sum_i^N [\ K(plla) + V(haape)] \quad (3)$$

اجرای مدل های پهنه بندی سریهای زمانی

در این مرحله ، مدل های سری های زمانی برای پهنه بندی آلودگی هوا به منظور ارزیابی و پیش بینی تغییرات و شرایط وضع موجود و آینده برای یک دوره زمانی ۴ ساله (۲۰۱۱-۲۰۱۴) شبیه سازی گردید و نتایج حاصل از مدل سازی تحلیل دوره ای و استخراج الگوهای مشابه در دوره های زمانی معین به عنوان شاخص اصلی در ماتریس پیش بینی آلودگی هوای مورد انتظار استفاده شد. در مدل سازی آلودگی هوا و تکنیک های تحلیل شبکه عصبی بحث سری های زمانی به منزله لایه پنهان سیستم قلمداد گردید، به طوری که وضعیت گذشته و حال به عنوان ورودی های سیستم و خروجی آن نتایج حاصل از اتخاذ سیاست های مدیریتی بوده و در این میان، الگوهای تحلیل شده و شاخص های وزنی در لایه های پنهان به تکمیل، استنتاج و تحلیل پهنه بندی های خروجی پرداخته است.

اجرای فرایند بصری سازی مکانی خروجی های ماتریس ارزیابی

کوچک ترین مبنای اندازه گیری، محاسبات، طبقه بندی ماتریس های ارزیابی و مدل سازی به صورت شبکه های سلولی مکان مرجع تعریف شده به نحوی که هر شبکه حاوی ارزش عددی ویژه و مشخص بوده و از آن، چه در فرایند شبیه سازی سری های زمانی و چه در زمان تحلیل سناریوهای عدم قطعیت استفاده گردید. در مدل شبکه سلولی، هر سلول در سه مقطع زمانی مختلف، به عنوان نماینده ارزش های وزنی بیان کننده سطح آلودگی هوا ارایه شده که شامل؛ درجه وزنی معرف سطح آلودگی ها در سری های زمانی " گذشته" ، دوم اعداد بیان گر سطح آلودگی در "وضع موجود " و درنهایت ارزش های وزنی

حاصل از " اجرای استراتژی های کاهنده سطح آلودگی "، در هر یک از پهنه های شهری یا به عبارتی شبیه سازی پیش بینی "سطح موفقیت مورد انتظار" حاصل از اجرای برنامه ها در جهت کاهش آلودگی هوا در تمامی پهنه های کلان شهر تهران می باشند.

یافته ها و بحث

نتایج اجرای نو استراتژی های ترکیبی و پهنه بندی ها

با استفاده از مدل های شبکه عصبی مکانی و فرایند پهنه بندی فضایی- زمانی مواردی هم چون؛ طبقه بندی تیپولوژی پهنه ها از نقطه نظر آسیب پذیری و حساسیت محیطی در مرحله اول ارایه شد. تبدیل نظام فرایند خوشه بندی سلسله مراتبی متغیرها (MCCHP[1]) به نظام فرایند طبقه بندی موضوعی اطلاعات زمان - مکان مرجع (TCST/GIP[2])، نحوه اثر گذاری " نو استراتژی های ترکیبی" به صورت پهنه بندی فضایی- زمانی، شبیه سازی موارد عدم قطعیت در پیش بینی شرایط آینده و تعیین درصد صحت و احتمال وقوع پیش بینی های مورد انتظار و انطباق نتایج با اهداف تعیین شده از طریق اجرای پهنه بندی های کلیه محلات کلان شهر تهران"، انجام شدند.

نتایج الگوهای پهنه بندی سری های زمانی

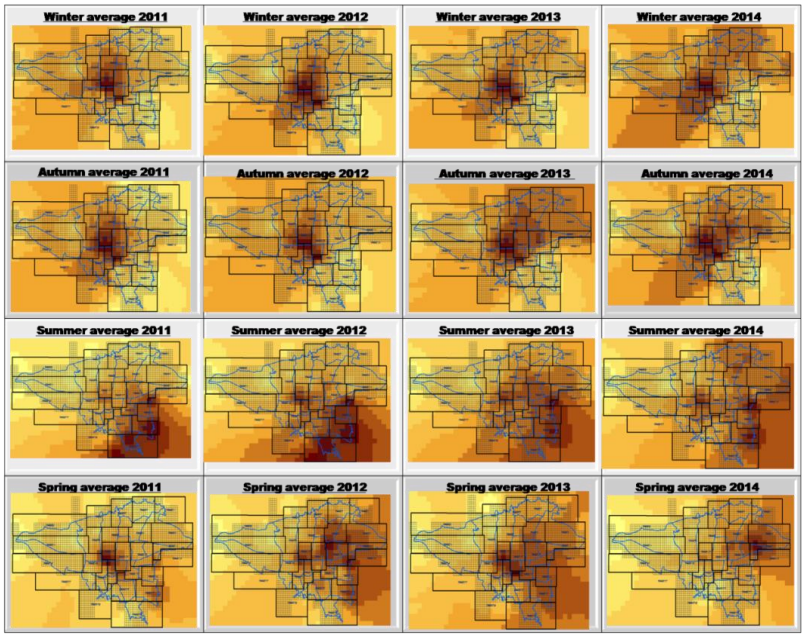
نمایش زمان محور توسعه آلودگی هوا بر اساس روی هم گذاری تصاویر آلودگی یا Snapshot Model انجام شده و تفسیر روند افزایش و یا کاهش آلودگی ها درفرایند پشتیبان تصمیم گیری بر اساس الگوهای تحلیل در مدل های شبکه عصبی مکانی ارایه گردید. خروجی های ماتریس های پهنه بندی سری های زمانی بر اساس داده های جمع آوری شده از ایستگاه های سنجش آلودگی هوا در سطح شهر به صورت متوسط ماهانه، فصول و سالانه در قالب سلول های شبکه ای مکان مرجع ریز پهنه بندی و سپس در قالب ۲۶ پهنه بزرگ مقیاس و همگن شبیه سازی و نتایج آن هم به صورت نمودارهای مقایسه ای و هم به صورت نقشه های پهنه بندی شده جهت استفاده در الگوهای پیش بینی مدل های شبکه عصبی استفاده شد.

نتایج سناریوهای سه گانه پیش بینی

برای مدل سازی سطح آلودگی هوا در هر پهنه و پیش بینی سطح تاثیر گذاری استراتژی های کنترل آلودگی هوا، از متغیرها و عوامل اثر گذار بسیاری استفاده گردید. عمده متغیرهای موثر در این فرایندها برخوردار از الگوهای بر هم اثر-گذار در قالب روابط دینامیک غیر خطی بوده که تاثیرات آن را در شکل گیری پراکندگی و انتشار آلودگی در جو در ماتریس-های ارزیابی هوشمند شبکه عصبی و پهنه بندی چند بعدی سیستمی مدل سازی شد. عوامل تصادفی و متغیرهای غیر قطعی[3]چون عوامل اقلیمی و جوی موجب تغییر در شرایط و در نتیجه تغییر در فرایند برنامه ریزی و تصمیم گیری می شوند، به همین دلیل با استفاده از سناریوهای سه گانه کلیه شرایط محتمل در " بهترین، بدترین و شرایط متعارف " شبیه-سازی شده و هر یک از سلول های شبکه بندی شده مکانی در سطح پهنه های شهری بر اساس" وضع شرایط موجود و سطح اثر گذاری غالب " در آن شبکه ارایه گردید.

1- Multi Clustering Criteria Hierarchical Process
2- Thematic Classification Spatial Temporal Geo Referenced Information Process

3- Stochastic Variable

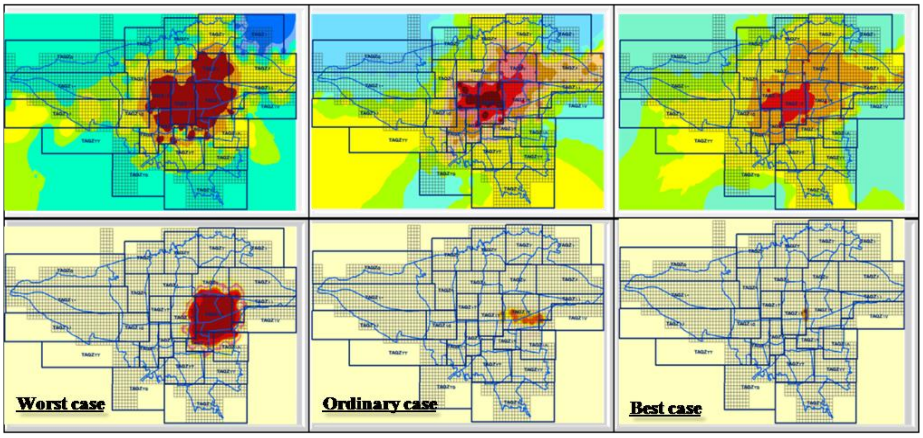


شکل ۳-مدل پهنه بندی سریهای زمانی نمایشگر مقادیر غلظت متوسط فصلی آلاینده های هوا برای چهار سال(۲۰۱۴-۲۰۱۱)

Figure3- Time series zoning model displays seasonal average concentrations of air pollutants for four years (2011-2014)

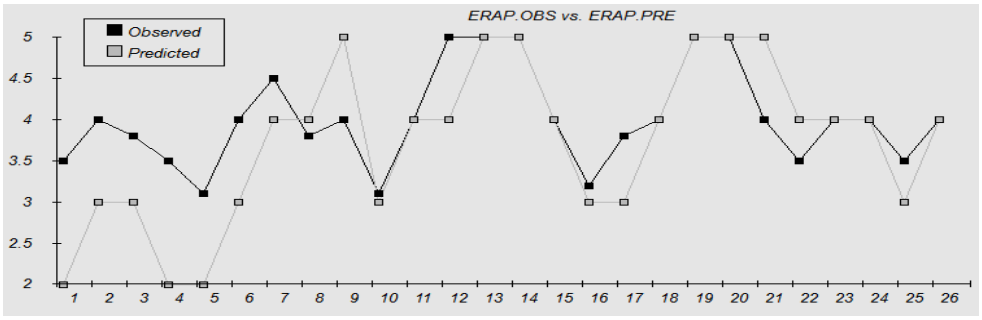
مدل سازی تمامی عوارض شکل دهنده شهر از الگوهای رفتاری گرفته تا کالبد شهر و تعریف سطح اثر گذاری هر یک از اجزاء شکل شهر و کاربری های موجود سبب شد تا هر یک از شبکه های سلولی ارایه شده، رفتاری کاملا مشابه با سلول متناظر خویش بر روی زمین داشته و از این رهگذر نتایج حاصل از اجرای برنامه های مدیریتی کنترل آلودگی هوا به شکلی واقعی شبیه سازی و پیش بینی شوند. هر آن چه که بایستی در تحلیل ها و تعریف قوانین تصمیم گیری تعریف شود، در مدل-های تحلیلگرشبکه عصبی مکانی، نخست تبدیل به اعداد و سپس برای تسهیل ارزیابی و امکان اجرای فرایند هم پوشانی تبدیل به رنگ ها شدند.

در مرحله نهایی، فرایند مدل سازی نتایج بدست آمده از اجرای استراتژی های مدیریتی حاکی از این نکته بود که در صورت اجرای سناریوهای شرایط متعارف تنها در فصول پر خطر یعنی پاییز و زمستان شاهد وجود آلودگی در پهنه های مرکزی شهر حتی در صورت اجرای برنامه های کنترل آلودگی خواهیم بود که در این شرایط نیز نتایج حاصل از مدل پیش بینی موید کاهش سطح آلودگی تا بیش از ۷۰٪ نسبت به شرایط عدم اجرای استراتژی های ترکیبی بود. در حالت اجرای سناریوهای بدبینانه یا اعمال حداکثر شرایط نامطلوب برای ارزیابی نتایج ، شاهد حدود ۶۰٪ کاهش سطح آلودگی هوا در فصول سرد نسبت به شرایط عدم اجرای برنامه های کنترل کننده منتخب بوده که این پهنه ها شامل پهنه های مرکزی و شمال شرقی شهر خواهد بود. در نهایت در صورت اجرای سناریو خوش بینانه یعنی اعمال قوانین و اوزان تعریف کننده شرایط ایده آل و بهترین حالت های موجود در وضعیت اقلیمی – فعالیتی و ساختاری می توان شاهد دست یابی به هوای پاک پایدار در تمامی فصول و کلیه پهنه های شهر تهران بود (شکل۴) . همان گونه که در شکل (۵) مشاهده می شود؛ نتایج نهایی حاصل از مقایسه خروجی های مدل های پیش بینی با خروجی های حاصل از برداشت های میدانی و واقعیت های موجود نشان دهنده بیش از ۸۰٪ تطابق میان نتایج الگوهای پیش بینی و واقعیت موجود بوده و هر دو نمودار حاصل از خط سیر مشابه تبعیت می نمایند.



شکل ۴- نتایج حاصل از اجرای استراتژیهای کنترل آلودگی هوا در سه سناریوی بهترین حالات ، بدترین حالات و حالات معمولی بر اساس پیش بینی مدلهای شبکه عصبی مکانی

Figure 4. The results of the implementation of air pollution control strategies in three scenarios as; "best case, worst case and ordinary case scenarios" based on Geo neural network models

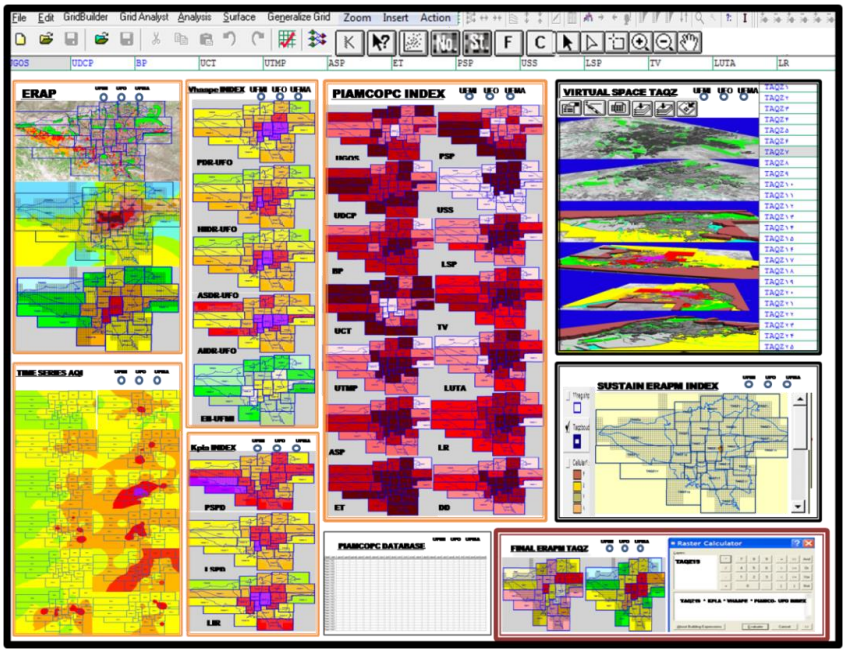


شکل ۵- صحت سنجی عملکردمدل از طریق مقایسه نتایج مقادیر پیش بینی شده با مقادیر حقیقی آلودگی هوا

Figure 5. Verifying the model performance by comparing the results of the predicted values with the actual values of air pollution

سیستم پشتیبان تصمیم گیری مدیریت آلودگی هوا بر اساس مدل های شبکه عصبی مکانی

نکته مهم در مدل سازی این پهنه ها ایجاد تفاوت میان ارزیابی‌ها مربوط به شرایط اضطراری قابل پیش بینی بر اساس تحلیل روندها و سری های زمانی است و در مقابل ارزیابی مربوط به شرایط اضطراری غیر قابل پیش بینی و کاملا تصادفی است. به همین دلیل ارایه نقشه های تحلیل خطر و تعیین رتبه بندی حساسیت ها و آسیب پذیری ها در پهنه های شهری و تدوین سناریوهای پیش بینی، پیش یابی و پیش آگاهی از اهمیت به سزایی جهت مقابله با این شرایط برخوردار است. نرم افزار طراحی شده برگرفته از قابلیت های تحلیل مکانی و الگوریتم های پیش بینی شبکه عصبی این امکان را برای تصمیم گیران شهری فراهم نموده تا با توجه به شرایط پیش آمده و هرگونه اتفاق متعارف و یا غیر قابل پیش بینی بتوانند استراتژی های ترکیبی جدیدی را متناسب با شرایط حاکم انتخاب و اجرا نمایند. روش به کار گرفته شده سبب می شود تا علاوه بر جلوگیری از اتلاف منابع و هزینه های غیر ضروری و همچنین برخورداری از رضایت عمومی و مشارکت مردمی به سریع ترین و موثرترین روش های ممکن به کنترل و حفظ هوای پاک پایدار برداخته شود. همان گونه که در شکل (۶) مشاهده می شود سیستم نرم افزاری کمک تصمیم گیرنده بر اساس قابلیت های مدل های شبکه عصبی مکانی، تمامی شرایط پیش بینی و ارزیابی نتایج حاصل از اتخاذ استراتژی های گوناگون کنترل آلودگی هوا را برای مدیران شهری در تمامی حالت های ممکن فراهم می کند.



شکل ۶- نرم افزار سفارشی سیستم پشتیبان تصمیم گیرنده مدیریت آلودگی هوا بر اساس مدلهای شبکه عصبی مکانی

Figure 6- Customized software for air pollution management decision support system based on Geo neural network models

نتیجه گیری نهایی

استفاده از مدل‌های مکانی، سری‌های زمانی و سناریوهای پیش بینی سبب شده تا ابعادی هم چون فضا، زمان و عدم قطعیت به صورت لایه‌های مجزا در سیستم کمک تصمیم گیری تحلیل و ارزیابی شوند که در مقایسه با مطالعات مشابه صورت گرفته اخیر ، مطالعه موجود نخستین تحقیقی است که به موضوع عدم قطعیت به عنوان یک" بعد" در کنار سایر " ابعاد " اندازه‌گیری محیط نظیر" زمان" و" مکان " پرداخته است. حاصل نهایی ماتریس های تحلیل‌گر شبکه های عصبی و رویهم پوشانی شبکه های مکانی سلولی به صورت نتایج نهایی سطح موفقیت استراتژی های ترکیبی برای هر یک از پهنه های شهری به نمایش در آمده و تلفیق دو الگوریتم ،"توابع شبکه عصبی ارزیابی" و "توابع شبکه عصبی پیش بینی" را به عنوان الگویی در تکوین سیستم مدیریتی آلودگی هوای کلان شهرها مطرح نموده است. در این مطالعه ضمن تشکیل درخت خوشه-های تصمیم برای وزن دهی و رتبه بندی استراتژی ها بر طبق پرسش نامه ها و روشهای رتبه بندی چند معیاره، نسبت به الصاق کلیه اوزان به دست آمده به نقشه های مکان مرجع ریز پهنه‌بندی شده نیز اقدام شد. در مراحل بعدی با احتساب نتایج حاصل از مدلهای سری های زمانی و اجرای مدل های سناریو مبنا، به پیش بینی سطح آلودگی در شرایط قطعی و شرایط غیر قطعی مبادرت گردید. در انتها ضمن ارایه نقشه‌های پیش بینی سطح آلودگی هوا بر طبق قوانین و روابط تعریف شده در مدل های شبکه عصبی، نسبت به بصری سازی پهنه‌ها در قالب الگوهای ارزیابی و پیش بینی پرداخته که نتیجه آن دسترسی به نرم افزار پیش گو جهت پیش بینی سطح آلودگی و همچنین پیش بینی نتایج حاصل از اجرای استراتژی های کنترل آلودگی در هر پهنه بود، به نحوی که ضمن جلب رضایت و آسایش عمومی با حداقل صرف منابع و هزینه ، موثرترین و پایدارترین برنامه های کنترل آلودگی هوا در هر پهنه به صورت مجزا و متناسب با تیپولوژِی غالب آن پهنه اجرا شود. مدل تعریف شده برای پیش بینی شرایط آلودگی سه ویژگی مشخص داشته؛ نخست ورودی ها به صورت دقیق و براساس فرایند غربالگری، طبقه بندی و وزن دهی در مدل های درخت تصمیم تعریف شده، سپس اهمیت هر خوشه از داده ها و اولویت و گروه هر یک به صورت هدف دار در نرم افزار تحلیل‌گر شبکه عصبی تعیین شده و پس از آموزش شبکه و

تکمیل مراحل اعتبار سنجی و صحت سنجی نتایج مدل، نتـایج ناشی از ارزیابی ها و پیش بینی ها به صورت شبیه سازی شـده در قالب سلول های مکان مرجع مجازی در مرحله آخر نمـایش داده شدند.

" مدل های سناریو مبنای پیش بینی سطح آلودگی" بر اسـاس لایه های سری های زمانی تحلیل شده با ابزار شـبکه عصـبی و ماتریس های ارزیابی برای هر یـک از اسـتراتژی‌هـای منتخـب نشان دهنده سطح آلودگی هـای کـاهش یافتـه در هـر یـک از پهنه‌های شهری در سه حالت؛ بدبینانه، خوش بینانه و شـرایط معمولی،خواهد بود . نتایج نهایی حاصل از اجرای هر یک از سه حالت سناریوهای پیش بینی نشان دهنده این نکته بود کـه در سناریوهای خوش بینانه به صورت کامل و در دو حالت متعارف و بدبینانه با حداکثر کاهش آلودگی هوا روبرو خواهیم بـود و در صورت اجرای استراتژی های منتخب در هر پهنه مجزا متناسب با تیپولوژی و مشکلات غالب در آن، با کاهش ۷۰٪ آلودگی هوا، نسبت به حالت پیش از اجرای برنامه ها، روبرو بوده و می تـوان به اجرای برنامه های مجزا برای هر پهنه اقدام نمود کـه ضـمن کارایی و قابلیت اجـرا، امکـان جلـب رضـایت عمـومی و صـرفه جویی در هزینه های شهر را نیز داشته باشد. بر اساس نرم افزار طراحی شده کلیه ارزیابان و مدیران تصمیم گیر محـیط‌زیسـت شهری قادر خواهند بود از حالت برنامه ریزی بـر اسـاس پـیش آمدها و عکس العمل در برابر آلودگی هوا به سمت پیش آگاهی سیستمی و اتخاذ استراتژی‌های پایدار و پابرجا حرکت کنند.

Reference

1. Cofała, J., Amann, M., Asman, W., Bertok, I., Heyes, C., Hoeglund, I.L., Schoepp, W. & Wagner, F., 2010. Integrated assessment of air pollution and greenhouse gases mitigation in Europe. Environmental Protection, Vol. 36, No.1, pp. 29-39.
2. Zhu, Y.G., 2012, Environmental impacts of rapid urbanization in China: a showcase of recent research developments. Environment Science and Pollution Research, Vol. 19, pp.41-51.
3. Kobus D., Kostrzewa J., 2015. The use of spatial data processing tools for air quality assessments – practical examples, Air Quality Monitoring Department, Institute of Environmental Protection – National Research Institute (IOS-PIB), Information Systems in Management, Vol. 4, pp. 251-263.
4. Ahmadi A., Abbaspour M., Arjmandi R., Abedi Z., 2015. Air Quality Risk Index (AQRI) and its application for a megacity, *International Journal of Environmental Science and Technology*, pp. 1-14.
5. Atlas of Tehran Metropolis, 2012. Tehran Municipality, ICT organization, Tehran, Iran.
6. Syp A., Faber A., Borzęcka-Walker M., Osuch D., 2015. Assessment of Greenhouse Gas Emissions in Winter Wheat Farms Using Data Envelopment Analysis Approach, Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 24, No. 5, pp. 2197-2203.
7. Peckham, S., Grell, G., McKeen, S., Fast, J., Gustafson, W., Ghan, S., et al., 2010. Characterization of urban air quality using GIS as a management system. Environmental pollution, Vol.122, No.1, pp.15-17.
8. Hajek, P., Olej. V., 2011. Air Quality Modelling by Kohonen's Self-organizing Feature Maps and LVQ Neural Networks, System Engineering and Informatics coference, Czech.
9. Elbir, T., Mangir N., Kara M., Simsir S., Eren T., Ozdemir S., 2010. Development of a GIS-based decision support system for urban air quality

management in the city of Istanbul. Atmospheric Environment, Vol. 44, No.4, pp. 441- 454.

10. Nyerges T., Roderick M., Prager S., Bennett D., Lam N., 2014. Foundations of sustainability information representation theory: spatial–temporal dynamics of sustainable systems, International Journal of Geographical Information Science, 28:5, pp. 1165-1185.
11. Nejadkoork F., Nicholson K., 2012. Integrating passive sampling and interpolation techniques to assess the spatio-temporal variability of urban pollutants using limited data sets, Environmental Engineering and Management Journal, Vol.11, No. 9, pp. 1649-1655.
12. Wotawa F., Rodriguez-Roda I., Comas J., 2010. Environmental decision support systems based on models and model-based reasoning, Environmental Engineering and Management Journal, Vol. 9, No.2, pp. 189-195.
13. Wallenius, J. D., Dyer, J.S., Fishburn, P.C., Steuer, R.E., Zionts, S., Deb, K., 2008. Multiple criteria decision making, multi attribute utility theory: Recent accomplishments and what lies ahead. Management Science, Vol. 54, No.7, pp. 1336–1349.
14. Elbir, T., N. Mangir, M. Kara, S. Simsir, T. Eren, S. Ozdemir, 2010. Development of a GIS-based decision support system for urban air quality management in the city of Istanbul. Atmospheric Environment, 44(4), pp. 441- 346.
15. Younsi Z., Hamdadou D., Bouamrane K., 2010. Integration of GIS and Artificial Neural Networks Faculty of Sciences, International Federation of Surveyors (FIG), DK-1780, Copenhagen, Denmark.
16. Jiménez E., Tapiador F. J., Sáez-Martínez F., 2015. Atmospheric pollutants in a changing environment, Environment Science and Pollution Research, Vol, 22. pp: 4789–4792.
17. Kanevski. Mikhail, 2011. Advanced Mapping of Environmental Data, Geo statistics, Machine Learning and Bayesian Maximum Entropy, UK.
18. Jank R., Kellerov D., Schieber B., 2015. Spatial and Temporal Variations in O3 Concentrations in Western Carpathian Rural Mountain Environments, Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 24, No. 5, pp: 2003-2008.
19. Ghodousi M., Atabi F., Nouri J., Gharagozlu A., 2016. Air Quality Management in Tehran Metropolis Using a Multi-Dimensional Decision Support System, Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 25, No. 6, pp: 1-11.
20. Ghodousi, M., Atabi, F., Nouri, J., 12-13 Jan 2016, "Multi-dimensional decision support system for air pollution management in Tehran", Fourth National Conference on Air and Noise Pollution Control, Tehran, Iran (in Persian).