تخمین میزان آلودگی هوا با استفاده از داده‌های حجم ترافیک عبوری و داده‌های روزانه جوی در محدوده شهر مشهد

علی‌جعفر موسیوند[1*]، علی شمس‌الدینی[1]، ایمان اسدالهی همدانی[2]

۱. استادیار، گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه تربیت مدرس
۲. دانشجو، سنجش از دور و GIS، دانشگاه تربیت مدرس

دریافت: ۹۵/۱۲/۸ پذیرش:۹۵/۱۲/۲۱

چکیده

آگاهی از میزان آلاینده‌های هوا و توزیع زمانی و مکانی آن‌ها اهمیت ویژه‌ای در تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی‌های مرتبط با سلامت، محیط‌زیست و برآورد کیفیت هوا در مقیاس‌های مختلف دارد. کلان‌شهر مشهد به دلیل موقعیت مذهبی، اجتماعی، فرهنگی و جغرافیای خاص خود در برخی روزهای سال آلوده‌ترین شهر کشور است. هدف این تحقیق با فرض وجود رابطه بین حجم ترافیک و غلظت آلاینده‌های مختلف ($PM2.5, CO, NO_2$) تخمین میزان آلاینده‌های هوا براساس داده‌های حجم ترافیک و داده‌های ساده جوی است. برای این هدف با استفاده از مدل‌های تجربی Baker و AERMOD، مدل رگرسیون خطی و مدل غیر خطی شبکه‌های عصبی مصنوعی به بررسی رابطه میان تعداد وسایل نقلیه و غلظت آلاینده‌ها در نقاط مختلف شهر برای بازه زمانی شش ماهه پرداخته شد.

نتایج حاکی از همبستگی پایین داده‌های حجم ترافیک و آلاینده‌های مختلف در بازه زمانی مورد مطالعه است که امکان استفاده از این مدل‌ها برای تخمین میزان آلودگی و تهیه نقشه پیوسته آلودگی این شهر را ناممکن می‌سازد. نتایج نشان می‌دهد که این همبستگی در آلاینده PM2.5 پایین‌تر از دو آلاینده دیگر است. نتایج تحلیل حساسیت مدل‌های تجربی نیز نشان داد که متغیر سرعت اتوموبیل اثرگذارترین متغیر در دو مدل تجربی مورد استفاده در تحقیق است.

واژگان کلیدی: تخمین آلودگی هوا، غلظت آلاینده‌های هوا، مشهد، مدل بیکر، مدل آئرمود، تحلیل حساسیت.

---

* نویسنده مسئول مقاله : a.mousivand@modares.ac.ir

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-20]

۱. مقدمه

آلودگی هوا علاوه‌بر تأثیرات مخرب زیست‌محیطی، سلامت افراد را به مخاطره انداخته و سبب بروز و تشدید بیماری‌های تنفسی، قلبی و حتی مرگ زودرس می‌شود (سازمان بهداشت جهانی[1]، ۲۰۰۵). آلاینده‌های هوا را براساس منبع انتشار آن‌ها می‌توان به آلاینده‌های با منبع طبیعی، خارج از حیطه دخالت بشر (از قبیل طوفان‌های گرد و غبار، خاکستر آتشفشان و یا آتش‌سوزی جنگل‌ها) و آلاینده‌های با منبع مصنوعی، مربوط به فعالیت انسان (از قبیل آلودگی‌های خانگی، صنعتی و مربوط به حمل و نقل) تقسیم کرد. وسایل نقلیه‌ای که از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند میان منابع مصنوعی آلاینده هوا منبع قابل توجهی در تولید آلاینده‌ها (به خصوص در مناطق شهری) محسوب شده و از مهم‌ترین عوامل توزیع دی‌اکسیدکربن و دیگر گازهای گل‌خانه‌ای است. مطالعات در اروپا نشان داده است که بیش از ٪۵۰ ذرات معلق کوچک‌تر از ۱۰ میکرومتر (PM10) و همچنین بیش از ٪۶۰ آلاینده‌های اکسیدهای نیتروژن[2] توسط وسایل نقلیه تولید می‌شود (فیلینگر[3]، ۱۹۹۹). بنا بر گزارش آژانس حفاظت محیط‌زیست[4] آمریکا بیش از نیمی از آلاینده‌های هوا در این کشور توسط وسایل نقلیه موتوری (قطار، هواپیما، کامیون‌ها، اتوموبیل شخصی و موتورسیکلت) تولید می‌شوند.

وسایل نقلیه آلاینده‌های مختلفی تولید می‌کنند که از بین آن‌ها، براساس دستورالعمل‌های تعیین شده توسط آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا، سطح زمینی ازن[5]، ذرات معلق (PM)، مونواکسید کربن[6] و اکسیدهای نیتروژن با توجه به تأثیر مستقیم آن‌ها بر سلامت انسان و محیط از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند (انستیتوی اثرات سلامتی[7]، ۲۰۱۰؛ پانتالئونی[8]، ۲۰۱۳). کسب اطلاعات دقیق از عوامل آلاینده هوا در جو زمین نقش مهمی در تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی‌های مرتبط با سلامت، محیط‌زیست، تغییرات اقلیمی، کشاورزی و همچنین برآورد کیفیت هوا در مقیاس‌های مختلف دارد (انجمن ملی علم و تکنولوژی آمریکا[9]، ۲۰۱۳). تهیه نقشه‌های آلودگی هوا جهت اطلاع از میزان آلودگی در سطح شهر و معرفی استانداردهای

1. World Health Organization
2. NOx
3. Fillinger
4. EPA
5. O3
6. CO
7. Health Effects Institute(HEI)
8. Pantaleoni
9. National Science and Technology Council (U.S.)

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-20]

کیفیت هوا یکی از استراتژی‌های اصلی در کاهش ریسک در سلامتی انسان‌ها و تأثیر آلودگی بر محیط‌زیست است (دهوگ[1]، ۱۹۹۹).

اکنون پایش آلودگی هوا در سطح شهرها با استفاده از ایستگاه‌های زمینی سنجش آلودگی انجام می‌پذیرد. این ایستگاه‌ها میزان آلودگی هوا را برای آلاینده‌های مختلف به صورت نقطه‌ای اندازه‌گیری می‌کنند. داده‌های استخراج شده به دلیل محلی بودن برداشت مقدار آلاینده‌ها توسط این ایستگاه‌ها فقط می‌تواند به شعاع محدودی از مناطق اطراف ایستگاه بسط داده شود و در محدوده‌های وسیع‌تر استفاده از این داده‌ها با مشکل همراه است (بریگز[2] و همکاران، ۱۹۹۶). معمولاً تعداد محدودی از این ایستگاه‌ها به دلیل هزینه‌بر بودن و همچنین نیاز مداوم به کالیبراسیون در سطح شهر نصب شده و کار پایش آلودگی هوا را انجام می‌دهند. تعداد محدود این ایستگاه‌ها همراه با مشکل خرابی سنجنده‌ها و عدم برداشت داده، در اغلب موارد، امکان تهیه نقشه پیوسته آلودگی هوا در سطح شهرها را مشکل و گاهی ناممکن می‌سازد.

پژوهش‌های بسیاری در زمینه مطالعه آلودگی، اثرات آن و تهیه نقشه‌های آلودگی هوا با استفاده از مدل‌های تجربی و فیزیکی و همچنین استفاده از داده‌های جانبی در دهه‌های گذشته انجام گرفته است. علاوه‌بر این مطالعات گوناگونی جهت امکان‌سنجی و تهیه نقشه‌های آلودگی هوا با استفاده از سنجش از دور و GIS صورت پذیرفته است. در ادامه پژوهش‌های مرتبط با تحقیق به طور خلاصه مرور می‌شوند. بریگز و همکاران (۱۹۹۶) در مطالعه‌ای با استفاده از روش‌های رگرسیونی به تولید نقشه آلودگی هوای (آلاینده دی‌اکسیدنیتروژن) منتشر شده از وسایل نقلیه در محیط GIS پرداختند. آن‌ها با استفاده از داده‌های حجم ترافیک، سرعت ترافیک، فاکتورهای تابندگی وسایل نقلیه، خصوصیات خیابان‌ها (از قبیل عرض راه، ارتفاع ساختمان‌های اطراف) و شرایط آب و هوایی (مانند سرعت باد، جهت باد و پایداری اتمسفر) نشان دادند که نتایج به دست آمده در ایستگاه‌های آلودگی فقط برای فاصله محدودی از ایستگاه می‌تواند مورد استناد قرار گیرد. دهوگ (۱۹۹۹) در تحقیقی به تخمین آلودگی هوای ناشی از ترافیک در شهرهای لندن و شفیلد با استفاده از داده‌های ترافیکی و اطلاعات مربوط به آب و هوا در محیط GIS پرداخت. مقایسه نتایج حاصله با داده‌های ایستگاه‌های زمینی سنجش آلودگی نشان داد که هیچ یک از مدل‌های استفاده شده در لندن، به دلیل کمبود داده‌های مناسب و گستره زیاد مناطق شهری، نتایج مناسبی به دست ندادند. علاوه‌بر این نشان داده شد که هیچ کدام از مدل‌ها به دلیل وجود باد نتوانستند میزان آلاینده دی‌اکسیدنیتروژن

1. De Hoogh
2. Briggs

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-20]

را به درستی تخمین بزنند. ژانگ[1] (۲۰۱۳) در تحقیقی به تخمین آلودگی هوا (آلاینده دی‌اکسیدنیتروژن) و تأثیر آن بر سلامتی پرداخت. نتایج به دست آمده نشان داد که افزایش و کاهش ترافیک سبب تغییر در مقدار آلودگی به دست آمده در شهر شده و ارتباط مستقیمی میان افزایش آلودگی و مشکلات سلامت وجود دارد. در تحقیقی دیگر صائب[2] و همکاران (۲۰۱۲) به تخمین آلودگی آلاینده مونواکسیدکربن حاصل از ترافیک در شهر و منبع پیدایش این آلودگی پرداختند. همبستگی به دست آمده بین متغیرها و تمرکز منوکسیدکربن نشان داد که مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار در توزیع مونواکسیدکربن در راه‌ها، حجم ترافیک و سرعت باد است، همچنین نشان داده شده که مدل‌های تجربی به دست آمده کارایی مناسبی در تخمین میزان آلودگی (با همبستگی ٪۸۱ بین حجم ترافیک و مقدار منوکسیدکربن موجود) داشتند. قرآگوزلو و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقی با عنوان تحلیلی تطبیقی بر نقش حمل و نقل شهری در آلودگی هوا (آلاینده منواکسیدکربن) به تفکیک مناطق شهرداری کلان‌شهر تهران پرداختند. نتایج نشان داد که مناطق مختلف شهر تهران به لحاظ شاخص‌های حمل و نقلی چون تعداد سفر، نوع، میزان، سرانه و تراکم معابر و میزان عرضه فضای پارکینگ دارای شرایط متفاوت و غیرهمگنی است. از این‌رو در چارچوب فرض تحقیق مناطق مختلف شهرداری شهر تهران دارای نقش‌های متفاوت در آلودگی هوای ناشی از حمل و نقل شهری است.

علاوه‌بر این پژوهش‌های دیگری در ایران و سایر کشورها برای کاربرد سنجش از دور در تخمین میزان آلودگی و تهیه نقشه آلودگی هوا انجام شده است. برای نمونه لین[3] و همکاران (۲۰۰۹) رابطه میان داده‌های ضخامت نوری[4] هواویزهای سنجنده مادیس[5] را با غلظت‌های مختلف ذرات معلق برای یک دوره زمانی مورد مطالعه قرار داده است. نتایج تحقیق نشان‌دهنده توانایی مناسب این سنجنده برای پایش ذرات معلق بود. امکان‌سنجی استفاده از داده‌های مادیس توسط قربانی و همکاران (۱۳۹۱) در سنجش آلودگی ذرات معلق در مناطق شهری و تولید نقشه‌های روزانه آلودگی هوا بررسی شده است. همبستگی مناسب (تقریبا ٪۷۱) نتایج حاصله با اندازه‌گیری‌های زمینی به عنوان معیاری از توانایی این داده در تهیه نقشه آلودگی در نظر گرفته شده است.

---

1. Zhang
2. Saeb
3. Lin
4. Optical thickness
5. MODIS

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-20]

علی‌رغم مطالعات گوناگون در تهیه نقشه آلودگی با استفاده از روش‌های رگرسیونی- تجربی و همچنین استفاده از سنجش از دور و GIS تابه حال به جز چند مورد محدود (از جمله پانتالئونی (۲۰۱۱)) مطالعات چندانی در زمینه سنجش میزان آلودگی هوا با تکیه بر ترکیب داده‌های دوربین‌های کنترل سرعت، داده‌های جانبی آب و هوا و داده‌های سنجش از دوری انجام نگرفته است.

میزان آلودگی تولید شده توسط وسایل نقلیه ارتباط مستقیمی با تعداد وسایل و حجم ترافیک موجود دارد (بریگز و همکاران، ۱۹۹۶). بر این اساس وجود میزان زیاد آلاینده در هوا می‌تواند ارتباط مستقیمی با حجم بالای ترافیک عبوری داشته باشد و حجم بالای ترافیک می‌تواند منجر به افزایش آلودگی هوا شود. دوربین‌های کنترل سرعت و نظارت بر ترافیک شهری نصب شده در سطح شهر و جاده‌ها می‌تواند حجم ترافیک عبوری، سرعت و نوع ماشین عبوری از یک نقطه خاص در سطح شهر را تعیین کند. هدف این تحقیق با فرض ارتباط بین حجم و سرعت ترافیک عبوری با میزان آلاینده‌ها در هوا، ارائه مدلی برای تخمین میزان آلودگی هوا با استفاده از حجم ترافیک، سرعت لحظه‌ای اتوموبیل‌ها و همچنین داده‌های ساده جوی (مانند دمای هوا، مقدار بارندگی، سرعت باد) است. چنین مدلی با توجه به گستردگی دوربین‌ها در معابر شهری و بین‌جاده‌ای خواهد توانست همراه با داده‌های سنجش از دور (مانند نقشه پوشش گیاهی و دمای سطح زمین) به سطح شهر تعمیم داده شده و مقدار آلودگی هوای محلی- منطقه‌ای را به دست آورد. در این تحقیق ابتدا میزان ترافیک عبوری از دوربین‌های کنترل سرعت و نظارت بر ترافیک شهری استخراج شده و سپس همراه با داده‌های جوی روزانه برای تخمین میزان آلودگی هوا به کار گرفته خواهد شد. مدل‌های تجربی بیکر[1] و آئرمود[2] و همچنین مدل رگرسیون خطی و مدل شبکه عصبی جهت یافتن ارتباط حجم ترافیک و میزان آلودگی استفاده می‌شود. در پایان ارزیابی نتایج حاصل از هر مدل جهت تخمین میزان آلودگی هوا برای هر آلاینده با مقادیر واقعی ثبت شده توسط ایستگاه‌های سنجش آلودگی انجام خواهد شد.

1. BAKER
2. AERMOD

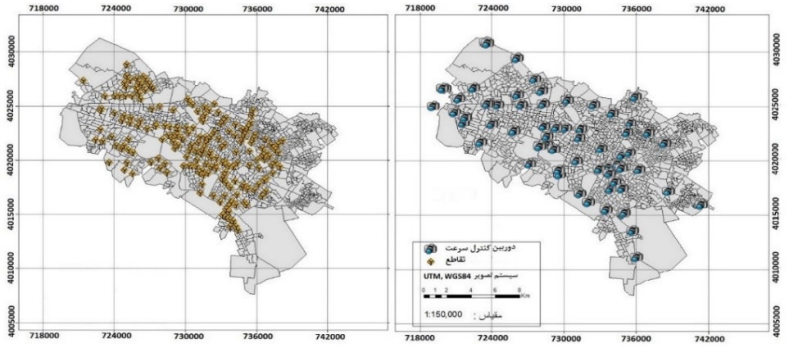
[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-20]

۲. منطقه مورد مطالعه، داده‌ها و روش تحقیق

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

کلان‌شهر مشهد، مرکز استان خراسان رضوی، در شمال شرقی ایران قرار دارد. این شهر با مساحت ۳۲۸ کیلومتر مربع دومین شهر پهناور کشور و همچنین براساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰ با ۲,۷۶۶,۲۵۸ نفر جمعیت دومین شهر پرجمعیت ایران پس از شهر تهران است (نتایج سرشماری، ۱۳۹۰). علاوه‌بر این شهر مشهد به دلیل کارکرد مذهبی آن هر سال پذیرای میلیون‌ها زائر داخلی و خارجی است (پایگاه اطلاع‌رسانی شهرداری مشهد، ۱۳۹۴). شهر مشهد با ارتفاع تقریبی ۹۹۹/۲ متر از سطح آب‌های آزاد در جنوب دشت توس واقع شده که از شمال‌شرقی با کوه هزارمسجد و از غرب و جنوب‌غربی با رشته کوه بینالود محدود شده است. مشهد دارای آب و هوای معتدل و متمایل به سرد و خشک همراه با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و مرطوب است.

روزانه بیش از ۸۰۰هزار دستگاه خودرو در شهر مشهد تردد می‌کند که این تعداد خودرو عامل حدود ٪۷۰ آلودگی هوای شهر مشهد به حساب می‌آید (همان). علاوه‌بر این سالانه در حدود ۴۰هزار خودرو به شبکه معابر شهری مشهد اضافه می‌شود (همان). شهر مشهد به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی و قرارگیری بین رشته‌کوه‌های بینالود و هزار مسجد دارای ۲۷۰-۳۰۰ روز وارونگی دمایی در سال است. تردد این حجم از وسایل نقلیه همراه با شرایط خاص جغرافیایی و مذهبی شهر مشهد سبب شده ا تا این شهر در برخی روزهای سال آلوده‌ترین شهر کشور باشد. اکنون پایش آلودگی هوا در سطح شهر مشهد با استفاده از ۱۲ ایستگاه سنجش آلودگی انجام می‌پذیرد که در حدود ٪۸۰ از پهنه شهر را پوشش می‌دهد (پایگاه اطلاع‌رسانی سازمان محیط‌زیست مشهد، ۱۳۹۳).



شکل ۱. نقشه پراکندگی دوربین‌های کنترل سرعت و نظارت بر ترافیک (راست) و سنجنده‌های تعیین سرعت در تقاطع‌ها (چپ) در شهر مشهد

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-20]

۲-۲- داده‌های تحقیق

تولید، توزیع و ماندگاری آلودگی هوا در یک منطقه به عوامل مختلف محیطی، انسانی و اقلیمی بستگی دارد. برای تحلیل و مدل‌سازی آلودگی نیاز است تا داده‌های مختلفی گردآوری، تجزیه و تحلیل شود. این تحقیق در یک بازه زمانی شش ماهه، از اول تیر ماه ۱۳۹۴ تا اول دی ماه ۱۳۹۴ صورت گرفته است.

۲-۲-۱- داده‌های ترافیکی

در مجموع ۴۳۲۰ سری داده مربوط به ترافیک گردآوری شده است. داده‌های مربوط به حجم ترافیک عبوری از دو منبع دوربین‌های کنترل سرعت و سنجنده‌های تعیین سرعت در تقاطع‌ها گردآوری شده‌اند.

الف- دوربین‌های کنترل سرعت: این دوربین‌ها اطلاعات پلاک، سرعت، ساعت و خط عبوری هر خودرو را به صورت دقیقه‌ای در یک فایل متنی ذخیره می‌کند. به این ترتیب در هر ساعت ۶۰ فایل و برای مدت زمان تحقیق روزانه ۱۴۴۰ فایل موجود است. از آن‌جایی که زمان پایه برای این پژوهش یک ساعت در نظر گرفته شده است نیاز بود تا فایل‌های تولید شده دقیقه‌ای هر دوربین به ساعتی تبدیل شوند. برای این منظور هر ۶۰ فایل دقیقه‌ای که مربوط به یک ساعت می‌شدند با یکدیگر ادغام شدند. توزیع مکانی این دوربین‌ها در سطح شهر مشهد در شکل ۱ نشان داده شده است.

ب- سنجنده‌های تعیین سرعت در تقاطع‌ها: در بیشتر تقاطع‌های اصلی سطح شهر مشهد (شامل میدان‌ها و چهارراه‌ها) سنجنده‌هایی بر آسفالت تعبیه شده که تعداد وسایل نقلیه در هر خط عبوری را به دست می‌دهد. این داده ها نیز در بازه زمانی ۶ ماهه به دست آمده است.

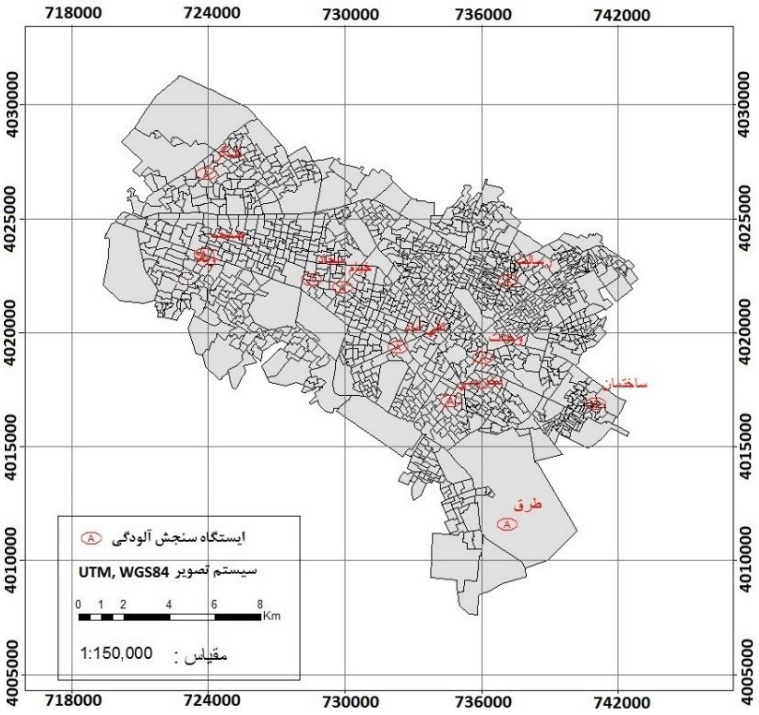
۲-۲-۲-داده‌های آب و هوا

داده‌های آب و هوایی در اغلب مدل‌های استفاده شده برای مطالعه آلودگی هوا از اهمیت بسیاری برخوردار است. این داده‌ها شامل سرعت باد، جهت باد، دما، رطوبت و بارندگی است. داده‌های آب و هوا در طول بازه مورد مطالعه (از اول تیر تا اول دی ۱۳۹۴) از اداره کل آب و هواشناسی استان خراسان دریافت شد. برای بازه زمانی مورد مطالعه تنها یک ایستگاه آب و هواشناسی در شهر مشهد موجود بود که داده‌های آب‌وهوا در بازه‌های ۳ ساعتی در این ایستگاه ثبت می‌شد. برای هماهنگ کردن داده‌های اقلیمی با داده‌های ترافیکی برای ساعت‌هایی که داده‌های آب و هوا موجود نبود از درون‌یابی خطی ساده استفاده شد تا داده‌های آب و هوا نیز به صورت ساعتی باشند.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-20]

۲-۲-۳- داده‌های ایستگاه‌های سنجش آلودگی

در سطح شهر مشهد ۱۰ ایستگاه سنجش آلودگی هوا (شکل ۲) نصب شده است. ایستگاه‌های سنجش آلودگی مقادیر انواع آلاینده را به صورت ساعتی اندازه‌گیری کرده و برای هر روز یک فایل متنی آماده می‌شود. برای محدوده زمانی مورد مطالعه این تحقیق فایل‌های داده‌ای این ایستگاه‌ها از سازمان محیط‌زیست مشهد تهیه شدند. یکی از مشکلات این داده‌ها عدم وجود مقادیر اندازه‌گیری شده برای برخی روزها در ایستگاه‌ها به دلیل خرابی سنجنده‌هاست. این مشکل برای برخی ایستگاه‌ها شدیدتر بوده و گاه تا چندین روز متوالی داده‌ای ثبت نشده است. داده‌های فایل‌های مختلف برای استفاده در تحقیق تجمیع شده و برای هر ایستگاه میزان انواع آلاینده در طی روزهای مختلف به دست آمد.



شکل ۲. نقشه پراکندگی ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در سطح شهر مشهد

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-20]

۲-۲-۴-نقشه‌های پوشش گیاهی

پوشش گیاهی با جذب دی‌اکسیدکربن موجود در هوا عامل مهمی در تعدیل و کاهش آلودگی به حساب می‌آید. از این‌رو نقشه‌های پوشش گیاهی می‌تواند به عنوان یک پارامتر مهم در مدل‌های مربوط به آلودگی مورد استفاده قرار گیرد. برای تهیه نقشه پوشش گیاهی منطقه از تصاویر ماهواره‌ای لندست مربوط به تاریخ‌های ۱۳ مهر ماه سال ۱۳۹۴ و ۲۶ تیرماه سال ۱۳۹۴ استفاده شد. جهت تعیین میزان پوشش گیاهی از شاخص نرمال شده پوشش گیاهی NDVI استفاده شد. دلیل استفاده از این دو تصویر برای به دست آوردن مقدار شاخص NDVI در فصل‌های مختلف سال و مقایسه آن‌هاست.

برای به دست آوردن مقدار NDVI هر ایستگاه و فاصله مؤثر از ایستگاه‌ها که پوشش گیاهی بر آلودگی تأثیر گذاشته، ۱۰ محدوده از شعاع ۱۰۰-۱ کیلومتری ایستگاه ترسیم شد. مقدار NDVI بالاتر از ٪۲۰ می‌تواند در اغلب موارد به عنوان محدوده وجود پوشش گیاهی استفاده شود (ویلا[1] و همکاران، ۲۰۱۴). این مقدار به عنوان شرط وجود پوشش گیاهی در این تحقیق استفاده شد. از دو روش مختلف برای تعیین میزان تأثیرگذاری شاخص پوشش گیاهی استفاده شد. در روش اول مقادیر NDVI به صورت تجمعی برای هر شعاع محاسبه شد، به این صورت که مجموع پیکسل‌هایی که مقدار بالاتر از ۰/۲ داراست در هر دایره حساب و این مقدار به عنوان شاخص در کار استفاده شد. در روش دوم درصد پیکسل‌هایی با مقدار بالاتر از ۰/۲ نسبت به کل پیکسل‌ها به عنوان درصد مساحت آن‌ها به مساحت کل محاسبه شده و به عنوان شاخص استفاده شد.

۲-۲-۵-داده‌های دمای سطح زمین

دمای هوا می‌تواند به عنوان عاملی مؤثر در توزیع و تجمع آلودگی در نظر گرفته شود. داده‌های آب و هوای شهر مشهد تنها در یک ایستگاه در کل سطح شهر مشهد (در جنوب‌غرب مشهد واقع در فرودگاه شهید هاشمی‌نژاد) برداشت می‌شود. روشن است که به دلیل تغییرات دما در سطح شهر با توجه به کاربری‌های مختلف، نسبت دادن یک عدد دمایی برای کل سطح شهر نمی‌تواند چندان دقیق باشد. در نتیجه با استفاده از محصول دمای سطح زمین (LST) سنجنده مادیس اقدام به تهیه داده‌های دمایی سطح شهر شد. همبستگی بالایی میان دمای

1. Villa

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-20]

هوای و داده‌های دمای سطح زمین مستخرج از سنجنده مادیس وجود دارد (آلفیری[2] و همکاران، ۲۰۱۳). به این دلیل در این مطالعه از داده‌های دمای سطح زمین به عنوان جایگزینی برای داده‌های دمای هوا استفاده شد. محصول LST سنجنده مادیس برای همه روزها در مدت زمان ۶ ماهه تحقیق گردآوری شد. علی‌رغم موجود بودن نقشه LST برای شهر مشهد اندازه پیکسل حدود ۵ کیلومتری این محصول به عنوان چالشی در تهیه نقشه پیوسته دما اثرگذار است.

۲-۳- روش تحقیق و مدل‌های استفاده شده

در این مطالعه دو نوع مدل برای تهیه نقشه آلودگی استفاده شد. دسته اول مدل‌های تجربی موجود برای تخمین میزان آلودگی با استفاده از داده‌های حجم ترافیک و داده‌های آب و هوا، دسته دوم مدل‌های خطی و غیرخطی جهت تخمین میزان همبستگی مابین داده‌های مختلف (حجم ترافیک و آلودگی هوا و داده‌های آب و هوا) است. در این بخش به معرفی مدل‌های مورد استفاده در به دست آوردن مقدار آلودگی هوا می‌پردازیم.

۲-۳-۱-مدل‌های تجربی

۲-۳-۱-۱- مدل بیکر[3]

مدل بیکر یک مدل تجربی ساده جهت تخمین میزان آلودگی با استفاده از داده‌های حجم ترافیک، میانگین سرعت، سرعت باد، جهت باد و میزان تشعشع آلاینده‌های وسایل نقلیه است. این مدل توسط پانتالئونی در سال ۲۰۱۲ در ایالت تنسی آمریکا[4] برای محاسبه غلظت آلاینده مونواکسیدکربن استفاده شده است. از مزیت‌های این مدل استفاده مستقیم از حجم ترافیک و سرعت به عنوان عناصر مرتبط با آلودگی هواست و مانند دیگر مدل‌ها جاده را به عنوان منبع آلودگی معرفی نمی‌کند. شباهت داده‌های مورد نیاز این مدل به داده‌های موجود در این تحقیق از دیگر دلایل انتخاب مدل برای این مطالعه است. رابطه کلی مدل بیکر به صورت رابطه (۱) است.

$$C = \frac{0.68\,NQ}{Vu*} \times \exp\left(-\frac{1}{8} \times \left(\frac{0.65u}{u*}\right)^2 \times \left(\frac{u^2}{u^2+v^2}\right)^{-1/3}\right) \quad (1)$$

2. Alfieri
3. Baker
4. Tennessee, America

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-20]

در رابطه (۱) C مقدار غلظت آلودگی، Q نرخ انتشار، N تعداد وسایل نقلیه، V سرعت متوسط وسایل نقلیه، u سرعت باد و u^* سرعت لحظه‌ای است. از داده‌های موجود در مدل مقادیر مربوط به تعداد وسایل نقلیه و سرعت باد موجود بوده، ولی سرعت متوسط و لحظه‌ای و همچنین نرخ انتشار به دلیل عدم وجود، ثابت فرض شده است. برای تخمین میزان نرخ انتشار باید شرایطی مانند شرایط محلی، مقدار کیلومتر حرکت کرده اتومبیل، نوع جاده، سرعت میانگین، خصوصیات سوخت، سال ساخت وسایل نقلیه، دما و رطوبت را در نظر گرفت (محسنی‌نامقی و همکاران، ۲۰۱۳). برخی از این اطلاعات با وجود تهیه شدن توسط سازمان‌ها و ارگان‌های مرتبط به دلایل گوناگون در اختیار نویسندگان تحقیق قرار داده نشد و به همین دلیل امکان تخمین مقادیر انتشار وجود نداشت.

۲-۳-۱-۲- مدل آئرمود[5]

مدل آئرمود از مدل‌های پیشنهادی سازمان آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا برای محاسبه میزان آلودگی هوا برای آلاینده دی‌اکسیدنیتروژن در مناطق شهری است. این مدل را می‌توان برای شرایط جوی مختلف استفاده کرد. این مدل برای محاسبه مقادیر آلاینده‌های PM10، PM2.5 و NO_2 مناسب است. این مدل در ویندسور کانادا[6] توسط محسنی در سال ۲۰۱۳ مورد بررسی و آزمایش قرار گرفت. نتایج آن برای مدل‌سازی آلاینده موفقیت‌آمیز بود.

برای این مدل مقادیر دقیق از نرخ انتشار، سرعت، مقدار مصرف سوخت در کیلومتر، حجم ترافیک و شرایط جوی مورد نیاز است. همچنین اطلاع از روند ترافیک برای شبیه‌سازی در این مدل مورد نیاز است. شبیه‌سازی شامل مقدار اتوموبیل عبوری در هر ساعت و سرعت آن‌ها و تعیین مسیر آن است. به همین منظور این پروژه در کانادا برای یک مسیر صورت گرفت و تمامی داده‌های آن در مدت زمان پروژه با ابزارهای دقیق برداشت شدند. به‌طور کلی اجرای آن نیازمند ابزار و هزینه بسیار زیاد است.

مانند مدل بیکر از مدل آئرمود برای محاسبه مقادیر آلودگی در نقاطی که هم داده‌های غلظت آلاینده‌ها و هم حجم ترافیک وجود داشت استفاده شد. که می‌توان در انتها میان غلظت آلودگی به دست آمده و غلظت آلودگی واقعی همبستگی ایجاد کرد. فرمول محاسباتی مدل آئرمود در حالت پایداری هوا و وجود جاده صاف به صورت رابطه (۲) است.

---

5. AERMOD
6. Windsor, Canada

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-20]

$$C = \frac{NQ^2}{UV} \times \exp(-\frac{N^2}{V}) \quad (۲)$$

در رابطه بال C مقدار غلظت آلودگی، Q نرخ انتشار، N تعداد وسایل نقلیه، V سرعت متوسط وسایل نقلیه و u سرعت باد است مانند مدل بیکر در این مدل نیز فاکتورهای نرخ انتشار و سرعت وسایل نقلیه غیرقابل دسترس و موجود نیستند. این داده‌ها در این تحقیق ثابت در نظر گرفته می‌شوند.

۲-۳-۱-۳- بررسی تحلیل حساسیت مدل‌های تجربی

متغیرهای مختلفی در مدل‌های تجربی استفاده می‌شوند که تأثیر آن‌ها بر نتایج خروجی مدل یکسان نخواهد بود. با توجه به نبود برخی داده‌های این متغیرها و فرض ثابت بودن آن‌ها نیاز است تا بررسی شود که آیا متغیرهای ثابت فرض شده تأثیر بسزایی در نتایج خروجی دارند یا خیر. برای انجام چنین کاری می‌توان از تحلیل حساسیت[۷] استفاده کرد. تحلیل حساسیت مدل‌های موجود نشان خواهد داد که هر متغیر تا چه میزان بر نتایج مدل اثرگذار خواهد بود. این تحلیل می‌تواند کمک کند که آیا نتایج گرفته شده از مدل با پیش فرض‌های مطالعه مطابقت دارد و دلیل کارایی و یا ناکارایی مدل را در تحقیق توضیح دهد. تحلیل حساسیت می‌تواند تعیین کند که کدام متغیرها را می‌توان با فرض محکم ثابت در نظر گرفت در صورتی که نتایج دستخوش تغییر چندانی نشوند.

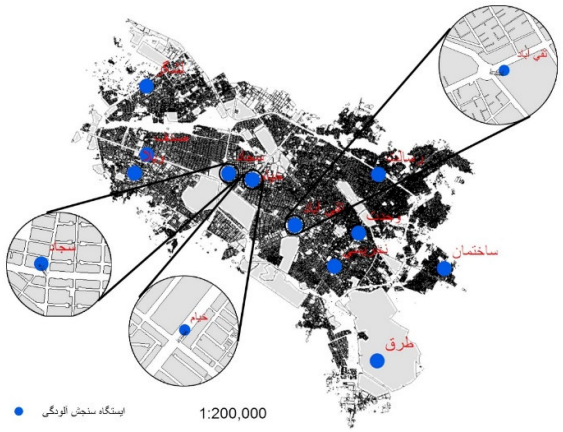
تحلیل حساسیت واریانس- پایه[۸] از بین روش‌های موجود به عنوان یکی از دقیق‌ترین و مناسب‌ترین روش‌ها معرفی شده است (سالتلی[۹] و همکاران، ۲۰۱۰). در این روش واریانس نهایی تمام نمونه‌های مورد استفاده به واریانس‌های شرطی هر متغیر تجزیه می‌شود. در این صورت مشخص می‌شود که هر متغیر چه واریانسی از واریانس خروجی را سبب شده است و درصد تأثیر آن متغیر تعیین می‌شود، به همین طریق درصد تأثیر مشترک دو یا چند متغیر نیز بررسی می‌شود (موسیوند و همکاران، ۲۰۱۴). در این تحقیق از روش واریانس- پایه برای تحلیل حساسیت استفاده شده است. خواننده علاقه‌مند می‌تواند برای اطلاعات بیشتر در مورد این روش به کارهای انجام شده سالتلی و همکاران، ۲۰۱۰ و همین‌طور موسیوند و همکاران، ۲۰۱۴ رجوع کند.

7. Sensitivity analysis
8. Variance-based sensitivity analysis
9. Saltelli

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-20]

۲-۳-۲- مدل‌سازی خطی و غیرخطی

آگاهی از رابطه بین داده‌های آلاینده‌های هوا و حجم ترافیک از اهمیت زیادی برخوردار است. این رابطه در صورت وجود بیانگر ارتباط بین حجم ترافیک عبوری و میزان آلاینده‌های مختلف به تفکیک است. در این بخش چگونگی این رابطه با مدل‌های مختلف خطی و غیرخطی مورد بررسی قرار می‌گیرد. به همین جهت نیاز است تا فاصله مکانی چندانی بین تقاطع و ایستگاه سنجش آلودگی نباشد تا بتوان پیش‌فرض وجود ارتباط را پذیرفت؛ در غیر این صورت چیدمان ساختمان‌ها همراه با شرایط پیچیده مناطق شهری ممکن است درستی فرضیه وجود ارتباط را دچار مشکل کند. برای این منظور بررسی رابطه بین داده‌های حجم ترافیک و ایستگاه‌های سنجش آلودگی فقط برای ایستگاه‌هایی که در فاصله کمتر از ۵۰ متر از تقاطع‌هایی که حجم ترافیک در آن‌ها اندازه‌گیری شده، انجام گرفت. سه ایستگاه واقع در سجاد، تقی‌آباد و خیام (شکل ۳) دارای این شرایط بوده و به عنوان ایستگاه‌های مورد نظر انتخاب شدند.



شکل ۳. ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا واقع شده در فاصله کمتر از ۵۰ متر از تقاطع‌های دارای حجم ترافیک

۲-۳-۲-۱- رگرسیون خطی

رگرسیون خطی بین داده‌های حجم ترافیک و غلظت هر آلاینده در ایستگاه‌هایی که هر دو داده موجود بوده، جهت به دست آوردن رابطه آن‌ها استفاده شده است. در این تحقیق سناریوهای مختلفی شامل (i) رابطه حجم ترافیک هر ساعت با داده‌های غلظت آلاینده در همان ساعت؛ (ii) رابطه میانگین حجم ترافیک روزانه با میانگین روزانه غلظت آلاینده؛ (iii) رابطه بیشینه داده‌های ساعتی آلاینده‌ها با حجم ترافیک در همان ساعت؛ (iv) رابطه بیشینه غلظت آلاینده‌ها

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-20]

با بیشینه حجم ترافیک روزانه؛ (v) رابطه مقادیر تجمعی داده‌های آلاینده‌ها با حجم ترافیک تجمعی روزانه؛ (vi) رابطه مقادیر تجمعی داده‌های حجم ترافیک تا ساعت حداکثر با غلظت آلاینده تجمعی تا همان ساعت و (vii) رابطه مقادیر تجمعی داده‌های حجم ترافیک تا ساعت ماکزیمم ترافیک با غلظت آلاینده تجمعی تا ساعت ماکزیمم آلاینده مورد بررسی قرار گرفت تا در صورت وجود رابطه خطی بین حجم ترافیک و آلاینده‌های مختلف این رابطه مشخص گردد. اگر وجود چنین رابطه‌ای تأیید گردد آن‌گاه می‌توان این رابطه را برای سایر مناطق استفاده کرد.

۲-۳-۲-۲- مدل‌سازی غیرخطی

جهت حصول اطمینان از این‌که رابطه غیرخطی ممکن است بین داده‌های حجم ترافیک و میزان آلاینده‌های مختلف باشد از مدل‌سازی غیرخطی شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. شبکه عصبی مصنوعی یک مدل غیرخطی برای پردازش داده‌های تجربی و آگاهی از رابطه میان آن داده‌هاست. مدل شبکه عصبی با الهام از نورون‌های زیستی پیشنهاد شده و ابزاری قدرتمند برای شبیه‌سازی و کشف ارتباط میان داده با انجام محاسبات است. شبکه عصبی مانند نورون‌ها قابلیت یادگیری، تعمیم‌دهی، پردازش موازی و تصمیم‌گیری و قابلیت حل مسائل پیچیده را دارند (امیرمرادی و بهمنی، ۱۳۹۱). در این تحقیق داده‌های ساعتی حجم وسایل نقلیه و غلظت آلاینده‌ها در طول مدت زمان تحقیق با استفاده از روش شبکه عصبی مدل‌سازی شدند. در این مدل ٪۷۰ داده‌ها برای ساخت مدل و از ٪۳۰ باقی‌مانده برای صحت‌سنجی استفاده شد.

۲-۳-۳- روش تحقیق

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش حجم ترافیک در ۱۵۲ تقاطع شهری و ۶۴ دوربین کنترل سرعت، داده‌های آب و هوا (دما، رطوبت، سرعت باد، جهت باد، مقدار بارندگی) در ۱ ایستگاه، داده‌های آلاینده‌های موجود در سطح شهر (مونواکسیدکربن، دی‌اکسیدنیتروژن، ذرات معلق کوچک‌تر از ۲/۵ میکرون)، داده‌های استخراجی از سنجنده مادیس برای دمای سطح زمین و داده‌های استخراجی برای شاخص پوشش گیاهی از تصاویر لندست است. این داده‌ها در مدت ۶ ماه (۱ تیرماه ۱۳۹۴ تا ۱ دی ماه ۱۳۹۴) گردآوری شد. روش انجام این تحقیق به این صورت است که ابتدا با استفاده از مدل‌های تجربی بیکر و آئرمود نسبت به تخمین میزان آلودگی با استفاده داده‌های حجم ترافیک و داده‌های جوی اقدام می‌شود، سپس با استفاده از روش رگرسین خطی و روش غیرخطی شبکه‌های عصبی مصنوعی رابطه میان حجم ترافیک و میزان غلظت آلاینده‌ها و همچنین رابطه میان پوشش گیاهی و دمای سطح زمین با انواع

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-20]

آلاینده‌ها در نقاطی که این دو مقدار موجود است، به دست می‌آید. اگر نتایج حاصل شده همبستگی بالایی با مقادیر واقعی ثبت شده توسط ایستگاه‌ها نشان دهند، آن‌گاه برای تمام تقاطع‌ها و مناطقی که دوربین‌های کنترل سرعت و نظارت بر ترافیک وجود دارد میزان آلودگی محاسبه شده و در پایان با استفاده از مدل‌های میان‌یابی اقدام به تهیه نقشه پیوسته آلودگی در سطح شهر می‌شود.

۳. نتایج

در این بخش به بررسی نتایج مدل‌های مختلف تجربی، خطی و غیرخطی برای مدل‌سازی تغییرات غلظت آلاینده‌ها و حجم ترافیک عبوری پرداخته می‌شود.

۳-۱- نتایج مدل‌های تجربی بیکر و آئرمود

جدول ۱ نتایج حاصل از مدل‌های بیکر (در دو حالت مختلف) و آئرمود برای سه ایستگاه نمونه انتخاب شده را به ترتیب برای تخمین میزان آلودگی آلاینده مونواکسیدکربن و دی‌اکسیدنیتروژن نشان می‌دهد. در این جدول میزان همبستگی نتایج مدل بیکر با غلظت واقعی آلاینده در دو حالت با فرض نرخ انتشار ثابت و همچنین نرخ انتشار محاسبه شده آورده شده است. این نتایج با فرض ثابت بودن مقادیر سرعت متوسط وسایل نقلیه، سرعت لحظه‌ای وسایل نقلیه به دست آمده‌اند. برای هر ایستگاه میزان غلظت آلاینده مورد نظر با استفاده از مدل بیکر (یا آئرمود) محاسبه شده و سپس رگرسیون آن با داده واقعی (ایستگاه سنجش آلودگی) به دست آمده است.

جدول ۱. نتایج همبستگی بین خروجی‌های مدل‌های بیکر و آئرمود با غلظت واقعی آلاینده‌های منوکسیدکربن و دی‌اکسیدنیتروژن

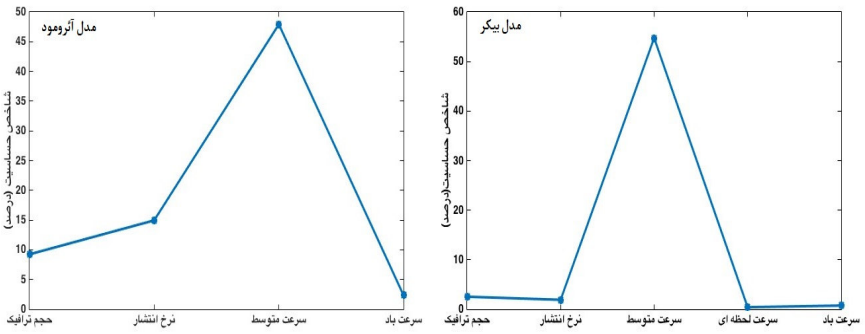
مدل	آلاینده	ایستگاه (واحد مقادیر درصد است)		
		تقی‌آباد	خیام	سجاد
بیکر (فرض نرخ انتشار ثابت)	منوکسیدکربن	۱/۳	۴/۲	۰/۸
بیکر (نرخ انتشار محاسبه شده)	منوکسیدکربن	۱۱/۲	۱۵/۸	۱۱/۵
آئرمود	دی‌اکسیدنیتروژن	۴/۳	۵/۵	۱/۸

نتایج ارائه شده در جدول ۱ نشان می‌دهد که ارتباط معنی‌داری بین مقادیر تخمین زده شده و مقادیر واقعی در هر سه ایستگاه وجود ندارد. بهترین حالت مربوط به ایستگاه خیام با میزان

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-20]

همبستگی در حدود ٪۴ برای مدل بیکر و ٪۵/۵ برای مدل آئرمود است. برای امتحان این‌که آیا نتایج به دست آمده ناشی از ثابت فرض کردن نرخ انتشار بوده است یا خیر، با استفاده از روش مدل‌سازی معکوس به کمک مدل بیکر در حالت معکوس به محاسبه نرخ انتشار پرداخته شد. به این صورت که با استفاده از ٪۷۰ داده‌ها و با استفاده از معکوس فرمول بیکر مقدار نرخ انتشار به دست آورده شد. سپس با استفاده از ٪۳۰ باقی‌مانده داده‌ها و با استفاده از رابطه نرخ انتشار موجود، مقدار غلظت آلاینده‌ها از مدل بیکر به دست آمد و پاسخ آن با مقدار واقعی مقایسه شد. انتخاب ٪۷۰ داده تمرینی در ۵ مرحله تصادفی تکرار و میزان همبستگی در هر مرحله محاسبه شد. نتایج تخمین غلظت آلاینده منوکسیدکربن با استفاده از مدل بیکر در حالتی که نرخ انتشار محاسبه شده است، در جدول ۱ برای بهترین حالت ممکن آورده شده‌اند.

مشاهده می‌شود پاسخ‌های به دست آمده در این حالت نیز رابطه محکمی بین نتایج تخمین مدل و داده واقعی نشان نمی‌دهد، هر چند نتایج نسبت به حالت فرض ثابت نرخ انتشار بهبود یافته‌اند. برای درک این‌که هر متغیر چه تأثیری در نتایج خروجی مدل بیکر (و یا مدل آئرمود) دارد، نتایج تحلیل حساسیت با استفاده از ۳۰۰هزار نمونه شبیه‌سازی شده و این مدل‌ها در شکل ۴ آورده شده است. آن‌گونه که از شکل ۴ مشاهده می‌شود، بر خلاف انتظار بیشترین مقدار حساسیت در این مدل‌ها مربوط به سرعت متوسط وسایل نقلیه با بیش از ٪۵۰ که در این تحقیق ثابت فرض شده است. در مدل بیکر ترتیب دیگر متغیرهای مدل برحسب درصد تأثیر به صورت حجم ترافیک، نرخ انتشار، سرعت باد و سرعت لحظه‌ای است. برخلاف مدل بیکر در مدل آئرمود نرخ انتشار دارای حساسیت بالاتری نسبت به حجم ترافیک بوده و سرعت باد نیز کمترین تأثیر را در این مدل دارد.

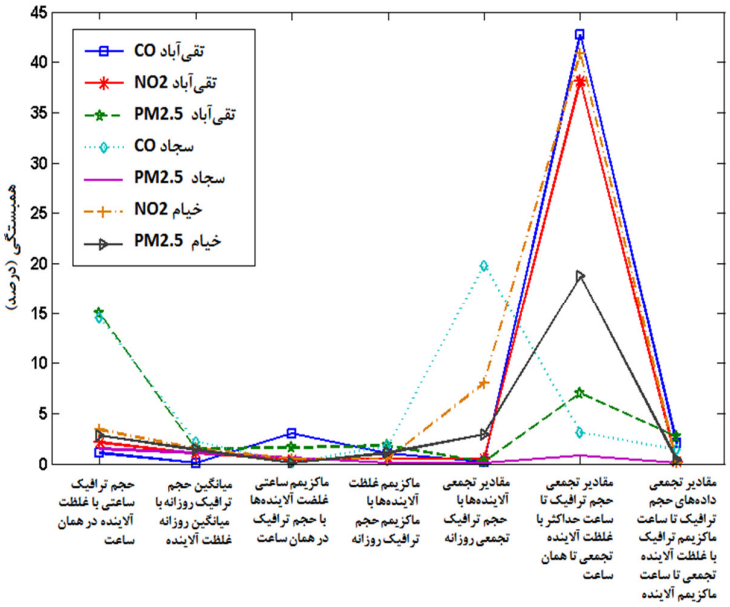


شکل ۴ . شاخص حساسیت متغیرهای مختلف مدل بیکر (راست) و مدل آئرمود (چپ) با ۳۰۰هزار شبیه‌سازی مدل

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-20]

۳-۲- نتایج رگرسیون

نتایج مربوط به بررسی همبستگی میان داده‌های حجم ترافیک و غلظت آلاینده‌های مختلف در ۳ ایستگاه تقی‌آباد، خیام و سجاد برای سناریوهای مختلف (ارائه شده در بخش ۱-۲-۳-۲) در شکل ۵ آورده شده است. با نگاهی به شکل ۵ می‌توان دریافت که به صورت عمومی میزان همبستگی بین داده‌های حجم ترافیک با غلظت آلاینده‌های مختلف برای اغلب شرایط در تمام ایستگاه‌ها اعداد بالایی را نشان نمی‌دهد. بهترین نتایج مربوط به همبستگی بین مقادیر تجمعی داده‌های حجم ترافیک تا ساعت بیشینه با غلظت آلاینده تجمعی تا همان ساعت با مقادیر همبستگی نزدیک به ٪۴۰، برای آلاینده دی‌اکسیدنیتروژن در ایستگاه‌های خیام و سجاد و همچنین آلاینده منوکسیدکربن در ایستگاه تقی‌آباد است. کمترین مقادیر به دست آمده نیز مربوط به نتایج همبستگی میان داده‌های میانگین حجم ترافیک روزانه با میانگین روزانه غلظت آلاینده است که در حداکثر حالت آن مقدار ٪۲/۲ برای آلاینده منوکسیدکربن در ایستگاه سجاد به دست آمده است و در باقی موارد مقادیر زیر ٪۱ مشاهد شده است. در اغلب موارد مقادیر همبستگی بسیار پایین بوده به گونه‌ای که نمی‌توان از این نتایج به وجود رابطه محکم بین داده‌های حجم ترافیک و میزان غلظت آلاینده‌های مختلف پی برد.



شکل ۵. نتایج کلی همبستگی‌ها برای سناریوهای مختلف در سه ایستگاه تقی‌آباد، سجاد و خیام

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-20]

جدول ۲. نتایج مدل شبکه عصبی بین داده‌های ساعتی حجم ترافیک و غلظت آلاینده‌ها در ایستگاه تقی‌آباد (آلاینده منوکسیدکربن)

% error (RMSE/MEAN)	RMSE	همبستگی (٪)	تعداد تکرار	تعداد نورون
۵۴	۰/۹۸	۲/۱	۱۰۰	۵
۶۶	۱/۲	۱۲/۵	۱۰۰	۱۰
۵۸	۱/۰۵	۱۰/۸	۳۰۰	۲۰
۵۰	۰/۹۱	۱۱/۷	۳۰۰	۳۰

۳-۳- نتایج مدل‌سازی غیرخطی

برای کسب اطمینان از وجود رابطه غیرخطی بین داده‌های حجم ترافیک و داده‌های غلظت آلاینده‌های مختلف از مدل شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. این مدل برای آلاینده‌های مختلف در ۳ ایستگاه سجاد، خیام و تقی‌آباد استفاده شد. مشابه مدل رگرسیون خطی، سناریوهای مختلفی (مشابه بخش ۱-۲-۳-۲) برای مدل شبکه عصبی طراحی و به کار گرفته شد. جداول نتایج مربوط به تحلیل شبکه عصبی برای تمام حالت‌های استفاده شده به دلیل شباهت نتایج و کمبود فضا در این‌جا آورده نشده و فقط به بیان یک نمونه بسنده شده است. در جدول ۲ نتایج استفاده از مدل شبکه عصبی بین داده‌های ساعتی حجم ترافیک و غلظت آلاینده‌ها در ایستگاه تقی‌آباد (آلاینده منوکسیدکربن) با تعداد نورون‌ها و تعداد تکرارهای مختلف آورده شده است. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود مقادیر RMSE برای این روش نیز بالا بوده و درصد خطا قابل توجه است. نتایج تحلیل شبکه عصبی برای سناریوهای مختلف کمابیش مقادری خطای بالا داشته و همبستگی میان داده‌های ترافیک و آلودگی بسیار پایین بود. از اینرو روش شبکه عصبی قادر به تبیین رابطه غیرخطی بین داده‌های ترافیک و آلودگی نیست.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق کارایی استفاده از حجم ترافیک دقیق در سطح شهر برای محاسبه غلظت آلاینده‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از مدل‌های تجربی معتبر پیشنهاد شده و همچنین مدل‌سازی خطی و غیرخطی، در یک بازه زمانی شش ماهه در شهر مشهد، استفاده شد. با وجود مطالعات پیشین دال بر کارایی نسبی مدل‌های تجربی بیکر و آئرمود (از

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-20]

جمله پانتالئونی، ۲۰۱۱ در تنسی آمریکا) برای تخمین مقادیر آلاینده‌ها با استفاده از داده‌های حجم ترافیک و پارامترهای ساده جوی، یافته‌های این تحقیق حاکی از کارا نبودن این مدل‌ها در شهر مشهد برای تخمین میزان غلظت آلاینده‌ها بود. این ناکارایی به هیچ وجه بیانگر نبود ارتباط میان میزان آلاینده‌ها و حجم ترافیک عبوری نیست، چرا که این مورد در مطالعات بسیاری نشان داده شده است. نتایج این تحقیق بیان می‌کند که با تکیه بر داده‌های موجود و وضعیت منطقه مطالعاتی نمی‌توان صرفاً از داده‌های حجم ترافیک و داده‌های جوی ساده به تخمین درستی از میزان آلودگی به گونه‌ایی که در برخی مطالعات پیشین اشاره شده دست یافت. این ناکارایی مدل‌های پیشنهادی و مدل‌های خطی و غیرخطی می‌تواند ناشی از عوامل مختلفی باشد که در ادامه بیان خواهد شد. در این مطالعه این پارامترها به دلیل نبود داده نرخ انتشار آلودگی و سرعت متوسط وسایل نقلیه ثابت فرض شدند، این در حالی است که نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که این متغیرها اثر قابل توجهی بر خروجی مدل داشته و فرض ثابت نگه داشتن آن‌ها قاعدتاً نمی‌تواند درست باشد. علاوه‌بر این نبود داده مناسب جوی همراه با تفاوت‌های اقلیمی و جغرافیایی شهر مشهد در قیاس با مناطق مورد مطالعه پیشین همراه با شرایط وسایل نقلیه، نوع تردد، شکل شهری و شرایط اتمسفری می‌تواند از دیگر دلایل ناکارایی مدل‌ها باشد. دلیل دیگر می‌تواند نوع قرارگیری ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا با توجه به موقعیت دوربین‌ها و سنجنده‌های سرعت‌سنج نصب شده در تقاطع‌ها براساس جهت باد و سرعت باد و فاصله آن‌ها از هم نیز باشد. برای نمونه اگر ایستگاه‌های سنجش آلودگی در جهت باد غالب و دور از دوربین‌های ترافیکی باشند مقدار ثبت شده آن‌ها با داده‌های ترافیکی ممکن است همخوانی بالایی نداشته باشد.

نتایج مدل‌سازی خطی و غیرخطی میان حجم ترافیک و میزان غلظت آلاینده‌ها در تمامی حالت‌های بررسی شده دارای همبستگی پایین بود. مقدار همبستگی در آلاینده منوکسیدکربن و دی‌اکسیدنیتروژن بیشتر از آلاینده PM2.5 است، همچنین یافته‌های تحقیق نشان‌دهنده عدم همبستگی ساعتی میان حجم ترافیک و غلظت آلاینده‌ها بود. این مورد می‌تواند به دلیل عدم تطبیق ساعت مشاهده حداکثر آلودگی با ساعت رخداد حداکثر ترافیک باشد. در این تحقیق بنا بر این یافته حالت‌های دیگر (میانگین روزانه، حداکثر تجمعی و حالت‌های دیگر) نیز مورد آزمون قرار گرفت، ولی در عموم موارد نتایج همبستگی بسیار پایین بود.

با توجه به یافته‌های این تحقیق و نتایج تحلیل حساسیت و اهمیت بسیار پارامتر نرخ انتشار آلاینده‌ها توسط وسایل نقلیه در تخمین میزان آلاینده‌ها پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آتی از نرخ انتشار در مدل‌سازی استفاده شود. این کار می‌تواند به سادگی توسط معاینه فنی خودروها صورت گیرد، همچنین نیاز است تا داده‌های جوی روزانه به صورت متغیر پیوسته

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-20]

(برای تمام نقاط شهر) استفاده شود. با توجه به تأثیر عوارض شهری در توزیع و تجمیع آلودگی ناشی از ترافیک، افزودن کاربری اراضی و اطلاعات ارتفاعی ساختمان‌ها و عوراض شهری می‌تواند به عنوان عاملی مؤثر در مطالعات آینده استفاده شود. در پایان از نتایج استنباط می‌شود که رابطه آلودگی تجمعی با ترافیک (استفاده از روزها و ساعت‌های قبل) در افزایش دقت مدل‌سازی تأثیر بسزایی داشته باشد. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی سری‌های زمانی و تحلیل‌های زمانی و مکانی آلودگی هوا مورد توجه بیشتر قرار گیرند.

۵. منابع

- مرکز ملی آمار، «نتایج سرشماری ۱۳۹۰»، بایگانی‌شده از نسخه اصلی در ۲۱ آبان ۱۳۹۲.
- پایگاه اطلاع‌رسانی شهرداری، «کاهش ۲۰درصدی مشکلات زیست‌محیطی در مشهد»، پایگاه اطلاع‌رسانی شهرداری، ۱۳۹۴.
- پایگاه اطلاع‌رسانی سازمان محیط زیست مشهد، «سهم بالای خودروهای فرسوده در آلودگی هوا»، ۱۳۹۳.
- قراگوزلو، علیرضا، آل شیخ، علی‌اصغر، سجادیان، مهیار، «تحلیلی تطبیقی بر نقش حمل و نقل شهری در آلودگی هوا به تفکیک مناطق شهرداری کلان‌شهر تهران (منوکسیدکربن) با بهره‌گیری از GIS»، فصل‌نامه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری چشم‌انداز زاگرس، سال چهارم، شماره ۱۲، ۱۳۹۱.
- قربانی‌سالخورد، رضوان، مباشری، محمدرضا، رحیم‌زادگان، مجید، «روشی سریع در برآورد غلظت ذرات معلق با استفاده از سنجنده مودیس: یک مطالعه موردی در تهران»، مجله پژوهشی حکیم، تابستان ۹۱، دوره پانزدهم، شماره دوم، ۱۳۹۱.
- National center of statistics, "*National Population and Housing Census, 2011"*, Data service census support, archived edition, 2013. [in Persian فارسی]
- Municipal website, "*Reduction of 20 percent in Mashhad's environmental problems*", the municipal website, 2015. [in Persian فارسی]
- Mashhad department of environment website, "*Large contribution of worn-out vehicles on air pollution",* 2014. [in Persian فارسی]
- Gharagozloo, A., Alshikh, A., & Sadjadian, M. "*Comparative analysis of urban transport on air pollution (Carbon monoxide) in terms of municipal districts in Tehran using GIS*", Quarterly of

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-20]

geography and urban planning of Zagros Perspective, No. 12, 2012. [in Persian فارسی]

- Qorbani Salkhord, R., Mobasheri, M., & Rahimzadehgan, M. "*A fast method for assessment of PM10 concentration using MODIS images, a case study in Tehran"*. Hakim Research Journal, No. 15, Vol. 2, pp. 166-177, 2012. [in Persian فارسی]
- Alfieri, S. M., Lorenzi, F. D., & Menenti, M. "*Mapping air temperature using time series analysis of LST: the SINTESI approach"*. Nonlinear Processes in Geophysics, No. 20, Vol. 4, pp. 513-527, 2013.
- Briggs, D. J., Collins, S., Elliott, P., Fischer, P., Kingham, S., Lebret, E., Pryl, K., Van Reeuwijk, H., Smallbone, K., & Van Der Veen, A. "*Mapping urban air pollution using GIS: a regression-based approach*". International Journal of Geographical Information Science, No. 11, Vol. 7, pp. 699-718, 1997.
- De Hoogh, C., "*Estimating exposure to traffic-related pollution within a GIS environment*". Ph.D. Thesis in Geography, 1999.
- HEI Panel on the health effects of traffic-related air pollution, "*Traffic-related air pollution: a critical review of the literature on emissions, exposure, Health effects*". HEI special report 17, Health Effects Institute, Boston, MA, 2010.
- Nameghi, H.M., Xu, X., Lee, C., & Henshaw, P., "*Sensitivity to input parameters of Mobile6. 2-AERMOD simulated emissions and concentrations*". International Journal of Environment and Pollution, No. 53, Vol. 1-2, pp. 24-45, 2013.
- Lin, C. E., Kao, C. M., Lai, Y. C., Shan, W. L., & Wu, C. Y., "*Application of integrated GIS and multimedia modeling on NPS pollution evaluation"*. Environmental monitoring and assessment, No. 158, Vol. 1-4, pp. 319-331, 2009.
- Mousivand, A., Menenti, M., Gorte, B., & Verhoef, W. "*Global sensitivity analysis of the spectral radiance of a soil–vegetation system"*. Remote sensing of environment, No. 145, pp. 131-144, 2014.
- National Science and Technology Council (U.S.), *"Air quality research subcommittee and natural resources national science and technology council (U.S.)"*. Committee on environment, "Air

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-20]

quality observation systems in the United States", Washington D.C., 2013.
- Pantaleoni, E., "*Combining a road pollution dispersion model with GIS to determine carbon monoxide concentration in Tennessee*". Environmental monitoring and assessment, No. 185, Vol. 3, pp. 2705-2722, 2013
- Saeb, K., Malekzadeh, M., & Kardar, S. "*Air pollution estimation from traffic flows in Tehran highways"*. Current World Environment, No. 207.7, pp. 1, 2012.
- Villa, Paolo, Mousivand, A., & Bresciani, M., "*Aquatic vegetation indices assessment through radiative transfer modeling and linear mixture simulation"*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, No. 30, pp. 113-127, 2014.
- World Health Organization. Health effects of transport-related air pollution. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, pp. 125–65, 2005.
- Zhang, L., Guan, Y., Leaderer, B. P., & Holford, T. R. "*Estimating daily nitrogen dioxide level: exploring traffic effects*". The annals of applied statistics, No. 7, Vol. 3, 2013

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-20]