دانش مخاطرات/ دورهٔ ۲، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۴/ ص ۳۵-۴۹

تحلیل رابطهٔ آلودگی هوای تهران با ترافیک و شرایط جو برای کاهش مخاطرات

سعید بازگیر*
استادیار، گروه جغرافیای طبیعی دانشکدهٔ جغرافیا دانشگاه تهران

مجتبی قدیری معصوم (mghadiri@ut.ac.ir)
استاد، گروه جغرافیای انسانی، دانشکدهٔ جغرافیا، دانشگاه تهران
علی اکبر شمسی پور (shamsipr@ut.ac.ir)
استادیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکدهٔ جغرافیا، دانشگاه تهران
شیوا سیدی سرنجیانه (shiwa.sayedi@gmail.com)
کارشناس ارشد، مخاطرات محیطی، دانشکدهٔ جغرافیا، دانشگاه تهران

(دریافت مقاله:۱۳۹۴/۱/۲۶ - پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۲/۳۰)

چکیده

آلودگی هوا از مهم‌ترین مخاطرات زیست‌محیطی کلانشهرهاست که شناخت عوامل مؤثر بر آن کمک شایانی به کاهش آثار آن خواهد کرد. حل این مشکل نیازمند مطالعات دقیق در زمینهٔ شناسایی متغیرهای مؤثر بر آلاینده‌هاست. هدف این پژوهش بررسی تغییرات شاخص کیفیت هوا در ارتباط با شرایط جوی و ترافیک در شهر تهران طی ۶۰ روز (۱۵ آبان تا ۱۵ دی، معادل ۶ نوامبر تا ۵ ژانویه) برای هر یک از سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۱ بوده است. به‌منظور محاسبهٔ همبستگی و تحلیل رگرسیون بین شاخص‌های کیفیت هوا (میانگین و بیشینه) با متغیرهای ترافیک و هواشناسی از ضریب همبستگی پیرسون و تحلیل رگرسیون استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که شاخص ناپایداری جو (شاخص k_i) بیشترین تأثیر را بر تغییرات آلودگی هوا داشته است. در خصوص تخمین شاخص کیفیت هوا، مدل‌های رگرسیون ساده و چندگانهٔ خطی در سال ۱۳۹۰، دقیق‌ترین مدل در تخمین بیشینهٔ شاخص کیفیت هوا و دارای کمترین انحراف نسبی بوده است (انحراف نسبی ۰/۰۵- در مدل اول و ۰/۱- در مدل دوم). دستاورد شایان توجه در این تحقیق همبستگی غیر مستقیم بین تعداد خودرو و شاخص کیفیت هواست که بر خلاف انتظار است. به‌نظر می‌رسد تولید آلاینده‌ها در دو حالت حرکت و توقف خودروها، دو مقولهٔ کاملاً متفاوت است که باید با دیگر روش‌های علمی بررسی شود.

واژه‌های کلیدی: ترافیک، تهران، شرایط جو، مخاطرهٔ آلودگی هوا.

* نویسندهٔ مسئول
Email: sbazgeer@ut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

آلودگی هوا از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی کلانشهرهاست که با توجه بـه آثـار زیانبـار آن، شناخت عوامل مؤثر بر آن می‌تواند در کاهش آثار آن مؤثر باشد [۷،۱،۱۷،۲۳]. در ماه‌های سـرد سال به‌دلیل تابش شبانهٔ زمینی، هوای سرد مجاور زمین در زیر هوای گرم‌تر سطوح بالاتر قـرار می‌گیرد و سبب ایجاد یک لایهٔ وارونه می‌شود که از جابه‌جایی هوا جلـوگیری مـی‌کنـد. پدیـدهٔ مذکور، وارونگی دمای هوا نامیده می‌شود. به همین دلیل طی ماه‌های آذر تا بهمن، آلودگی هـوا از دیگر ماه‌ها بیشتر است [۲۰،۴].

تراکم زیاد خودروها، ساختمان‌های بلنـد، و هـوای آرام و بـدون بـاد، سـبب افـزایش غلظـت آلاینده‌هـای هـوا در حـد خطرنـاک شـده و آلـودگی هـوا را بـه یکـی از اساسـی‌تـرین معضـلات زیست‌محیطی تهران تبدیل کرده است.[۳].

از جمله تحقیقات در خصوص آلودگی هوا و ارتباط آن با ترافیک، می‌تـوان بـه تحقیقـی در لس‌آنجلس آمریکا اشاره کرد که اثر ذرات معلق بر سلامت را بررسی کرده اسـت [۲۸]. از نتـایج این تحقیق می‌توان به تأثیر متغیرهای هواشناسی بر نوسانات غلظت ذرات با قطر کمتـر از ۰/۱ میکرون اشاره کرد. از نتایج این تحقیق می‌توان به اثر افـزایش سـرعت بـاد در کـاهش غلظـت ذرات و کاهش دما یا افزایش رطوبت نسبی در افزایش غلظت آلاینده‌ها اشاره کرد. طی مطالعـهٔ دیگری در چهار منطقهٔ مختلف در اسلو نروژ، رابطهٔ بین آلودگی هوا و شرایط جوی و همچنـین وضعیت ترافیک بررسی شد [۲۱]. از نتایج این تحقیق می‌توان به افزایش غلظت ذرات معلق بـا قطر کمتر از ۱۰ و ۲/۵ میکرون با کاهش دما در دماهای زیر صفر درجهٔ سلسیوس اشـاره کـرد. همچنین اثر کاهشی وزش باد و اثر افزایشی رطوبت نسـبی بـر آلاینـده‌هـا از دیگـر نتـایج ایـن تحقیق بوده است. همچنین در مطالعهٔ دیگری، آلودگی هـوای ناشـی از ترافیـک در دو خیابـان پاریس و تأثیر آنها در فصول زمستان و تابستان بررسی شد [۲۶]. از نتایج تحقیق ایشان می‌توان به این نکته اشاره کرد که ترکیبی از پایش ترافیک به‌همراه اسـتفاده از مدلسـازی آلاینـده‌هـای مؤثر در کیفیت هوا می‌تواند کمک مؤثرتری به مدیریت شهری در زمینهٔ آلودگی باشد.

در ایران در زمینهٔ آلودگی هوا نیز تحقیقاتی انجام گرفته که از جملهٔ آنهـا تحقیقـی دربـارهٔ تخمین آلودگی هوای ناشی از جریان‌های ترافیکی در خیابان‌های شهری تهـران اسـت [۱۶]. در این تحقیق عوامل اثرگذار بر غلظت آلاینده‌ها بر پایهٔ آمار ترافیکی و جوی در هشت ایسـتگاه در شهر تهران مشخص شد و در نهایت براساس روش‌های موجود مدلسازی صـورت گرفـت. نتـایج پیش‌بینی مدل‌های به‌دست‌آمده به‌خوبی با داده‌های مشاهده‌شده تطابق نشان دادند. در تحقیـق

Archive of SID

www.SID.ir

دیگری، تغییرات مکانی و زمانی آلودگی‌های مربوط به منواکسیدکربن و ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون با استفاده از سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی در شهر تهران تعیین شد [۱۹]. مقدار آلاینده‌های هوا در شهر سبزوار نیز طی تحقیقی بررسی شد [۱]. در این تحقیق دیده شد که غلظت مونواکسید کربن در همهٔ ماه‌ها و غلظت دی‌اکسیدگوگرد در برخی ماه‌ها از حد استاندارد فراتر بود، ولی غلظت دی‌اکسید نیتروژن در هیچ ماهی فراتر از حد استاندارد نبود. اشرفی و همکاران امکان پیش‌بینی روزانهٔ غلظت مونواکسیدکربن در شهر تهران را با استفاده از مدل تلفیقی عصبی- فازی براساس تحلیل پایداری جو، بررسی کردند [۳]. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل توسعه‌داده‌شده براساس گرادیان باد و دما می‌تواند با دقت بیشتری در پیش‌بینی غلظت روزانهٔ مونواکسیدکربن به‌کار گرفته شود. شمسی‌پور و امینی نیز به شبیه‌سازی الگوی پراکنش مونواکسید کربن با مدل خرداقلیمی Envi-Met در مسیر آزادی - تهرانپارس پرداختند [۱۴]. نتایج، گویای بیشترین تمرکز آلودگی در بخش‌هایی با تراکم بافت شهری مانند چهارراه ولیعصر و ضلع شرقی میدان آزادی به‌ویژه در ساعت‌های آغازین روز، و کمترین مقادیر در معبرهای باز مانند ضلع غربی میدان آزادی، ضلع جنوبی سه‌راه تهرانپارس، فضاهای سبز و نواحی دور از کانون انتشارات به‌خصوص در ساعات میانی روز بود.

هدف پژوهش حاضر بررسی تغییرات شاخص کیفیت هوا در ارتباط با شرایط جوی و ترافیک در شهر تهران طی ۶۰ روز از سال (۱۵ آبان تا ۱۵ دی، معادل ۶ نوامبر تا ۵ ژانویه) برای هر یک از سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۱ بوده است. نکتهٔ شایان ذکر در این مطالعه محدودیت دریافت داده‌های ترافیکی از شرکت کنترل ترافیک شهرداری تهران بود که دیگر بخش‌های تحقیق را تحت تأثیر قرار داد، به‌طوری که تحلیل روابط همبستگی و علّی و معلولی (رگرسیونی) تنها برای سال‌های ۱۳۸۹، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ طی روزهای ۱۵ آبان تا ۱۵ دی در هر سال و برای برخی از تقاطع‌های تهران انجام گرفت. همچنین اگر وضع هوا و به‌خصوص شرایط ناپایداری جو در روزهای آتی با پیش‌بینی دقیق‌تری صورت گیرد، می‌توان با توصیه‌ها و هشدارهای به‌موقع از تردد غیرضروری گروه‌های حساس به آلاینده‌های هوا در خیابان‌ها جلوگیری کرد و خسارت‌های جانی و مالی ناشی از بیماری‌های تنفسی و قلبی را کاهش داد. با توجه به محدودیت اخذ داده از شرکت کنترل ترافیک شهرداری تهران، در خصوص داده‌های ترافیک (تعداد خودروها) از مناطق مختلف شهر تهران، تنها در برخی از تقاطع‌ها و آن هم برای دو ماه از سال (۱۵ آبان تا ۱۵ دی) طی سال‌های ۱۳۸۹، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ داده در اختیار قرار گرفت و به‌همین دلیل سایر داده‌ها شامل آلاینده‌ها و عناصر هواشناسی نیز در همین محدودهٔ زمانی در

Archive of SID

www.SID.ir

تحلیل‌های آماری بررسی شد. بنابراین محدودهٔ مورد مطالعه شامل برخی تقاطع‌های موجود در مناطق ۲، ۵، ۹ و ۱۸ در شهر تهران بوده است.

روش تحقیق

محاسبهٔ روابط همبستگی و علّی و معلولی (رگرسیون) متغیرها

در این مطالعه به‌منظور محاسبهٔ همبستگی بین شاخص‌های کیفیت هوا با متغیرهای ترافیک و هواشناسی مربوط به سطح زمین شامل بارش، سرعت باد، کمینه و بیشینهٔ دمای هوا، بیشینهٔ سرعت باد و همچنین داده‌های جو بالا (شاخص– k_i) از ضریب همبستگی پیرسون[1] استفاده شده است (رابطهٔ ۱). برای یافتن روابط علی و معلولی بین متغیرهای مختلف با شاخص کیفیت هوا نیز از تحلیل رگرسیون ساده و چندگانهٔ خطی استفاده شده است. در مدل‌های آماری رگرسیونی، شاخص کیفیت هوا به‌عنوان متغیر وابسته (Y)؛ و سایر متغیرها (تعداد خودرو، بارش، دمای هوا، سرعت باد و شاخص – k_i) به‌عنوان متغیر مستقل (X) استفاده شدند [۸]. بررسی نرمال بودن داده‌ها با آزمون ناپارامتری کولموگروف-اسمیرنوف[2] انجام گرفت که بر این اساس کلیهٔ داده‌ها دارای توزیع نرمال بود و همچنین آمارهٔ داربین-واتسون[3] نیز بر استقلال باقی‌ماندهٔ داده‌ها از یکدیگر دلالت داشت [۶،۲۷].

$$r = \frac{\sum_{i=.}^{n}\left(X - \bar{X}\right)\left(Y - \bar{Y}\right)}{\sqrt{\sum_{i=.}^{n}\left(X - \bar{X}\right)^{۲}\sum_{i=.}^{n}\left(Y - \bar{Y}\right)^{۲}}} \qquad (۱)$$

در این رابطه

X، Y، $\bar{X}$ و $\bar{Y}$ به‌ترتیب شاخص کیفیت هوا و متغیرهای دیگر (تعداد خودرو، دمای هوا و ...) و میانگین‌های آنهاست.

اعتبارسنجی[4] مدل‌های آماری تخمین آلاینده‌های هوا

به‌منظور برآورد دقت معادلات آماری تخمین آلاینده‌های هوا، مقدار انحراف نسبی[5] آنها از رابطهٔ ۲ محاسبه شد. هر چه این مقدار به عدد صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهندهٔ خطای کمتر مدل آماری در برآورد متغیر وابسته است [۲۲].

1. Pearson Correlation Coefficient
2. Kolmogorov-Smirnov test
3. Darbin-Watson statistic
4. Model Validation
5. Relative Deviation, RD

Archive of SID

www.SID.ir

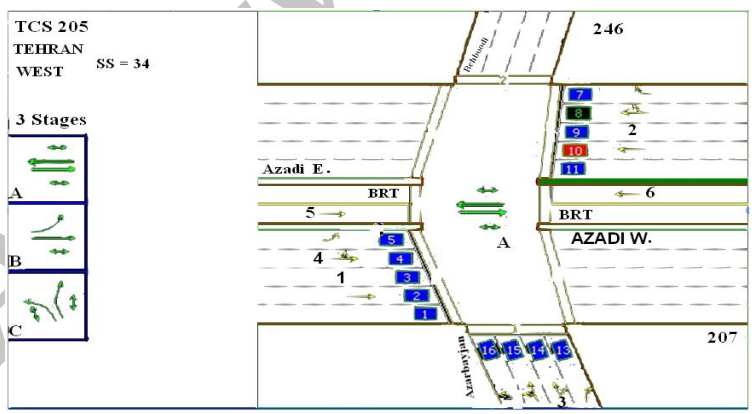
$$RD = \frac{(Y_e - Y_a)}{Y_a} \times ۱۰۰ \quad (۲)$$

در این معادله Y_e و Y_a به‌ترتیب مقادیر تخمینی و واقعی شاخص کیفیت هوا و RD بر حسب درصدند.

داده‌های تحقیق

داده‌های ترافیک (تعداد خودرو)

داده‌های تعداد خودروهای عبوری در هر ۱۵ دقیقه طی شبانه‌روز از تقاطع‌های تحت مطالعه از شرکت کنترل ترافیک شهرداری تهران دریافت شد. به‌دلیل محدودیت در تهیهٔ داده‌های یادشده، چهارراه‌های تحت مطالعه شامل مسیرهای آزادی- بهبودی، عدل- میرزایی، قزوین- شمشیری، کارگر- گردآفرید، گل‌ها- لاله و هنگام- فرجام بودند. سامانه‌های هوشمند حمل‌ونقل[1] مجموعه‌ای از دستاوردهای فناوری اطلاعات در حمل‌ونقل‌اند که آمارگیری خودکار از پارامترهای ترافیکی و مواردی از این قبیل، متعلق به این مجموعه محسوب می‌شوند [۲،۱۸]. در حال حاضر در تهران دوربین‌هایی به‌صورت لحظه‌ای تعداد خودروها را بدون تفکیک نوع آن در تقاطع‌های خیابان‌ها شمارش می‌کنند. دوربین‌های مذکور در هر چهارراه نصب شده‌اند. شکل ۱ موقعیت دوربین‌های نصب‌شده در مسیر عبور خودروها در تقاطع آزادی- بهبودی را نشان می‌دهد.



شکل ۱. محل نصب دوربین‌های ثبت تعداد خودروها (نمونه، چهارراه آزادی- بهبودی)

1. Intellgent Transportation Systems, ITS

Archive of SID

www.SID.ir

داده‌های آلودگی هوا

دستهٔ دوم از داده‌های مورد استفاده، آمار آلاینده‌های هوای شهر تهران شامل مونواکسید کربن، دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسید نیتروژن، ازن سطح زمین و ذرات معلق هوا (۱۰ و ۲/۵ میکرون) بود که از ۲۱ ایستگاه متعلق به شرکت کنترل کیفیت هوای شهرداری تهران با مقیاس زمانی ساعتی تهیه شد. از بین ایستگاه‌های سنجش آلاینده‌های هوا، ایستگاه‌های واقع در میدان فتح، پونک، شادآباد و دانشگاه صنعتی شریف که نزدیک‌ترین ایستگاه‌ها به چهارراه‌های تحت مطالعه بودند انتخاب و بر این اساس شاخص کیفیت هوا در این ایستگاه‌ها محاسبه شد. مطالعات زیادی در معرفی شاخص‌های کیفیت هوا انجام گرفته که در این تحقیق از شاخص کیفیت هوا[1] استفاده شده است. شاخص کیفیت هوا توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا معرفی شد که برای پنج آلاینده شامل ازن سطح زمین، ذرات معلق هوا (۱۰ و ۲/۵ میکرون) مونواکسید کربن، دی اکسید گوگرد و دی‌اکسید نیتروژن به‌کمک رابطهٔ ۳ محاسبه می‌شود. جدول۱، طبقات شاخص کیفیت هوا به‌همراه نقاط شکست هر یک از آلاینده‌های مورد نظر را نشان می‌دهد [۱۳،۹].

$$I_P = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}}(C_P - BP_{Lo}) + I_{Lo} \qquad (۳)$$

در این رابطه: I_P شاخص کیفیت هوا برای آلایندهٔ p؛ C_p غلظت اندازه‌گیری‌شده برای آلایندهٔ p؛ BP_{Hi} نقطهٔ شکستی که بزرگ‌تر یا مساوی Cp (جدول ۱) است؛ BP_{Lo} نقطهٔ شکستی که کوچک‌تر یا مساوی Cp (جدول ۱)است؛ I_{Hi} مقدار AQI منطبق بر BP_{Hi} (جدول ۱)؛ و I_{Lo} مقدار AQI منطبق بر BP_{Lo} (جدول ۱) است.

پس از تحلیل داده‌های اندازه‌گیری‌شده آلاینده‌های مذکور، دو متغیر میانگین شاخص کیفیت هوا[2] و بیشینهٔ شاخص کیفیت هوا[3] استخراج و به‌عنوان متغیرهای وابسته در تحلیل‌های آماری شرکت داده شدند.

داده‌های هواشناسی

داده‌های هواشناسی مربوط به سطح زمین شامل بارش، سرعت باد، دماهای کمینه، بیشینه و بیشینهٔ سرعت باد دیدبانی‌شده از ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی سازمان هواشناسی کشور شامل مهرآباد، اقدسیه و مؤسسهٔ ژئوفیزیک دانشگاه تهران و همچنین داده‌های جو بالای ایستگاه مهرآباد تهیه شد [۱۰]. از داده‌های جو بالا برای محاسبهٔ شاخص – k_i به‌عنوان نمایهٔ ناپایداری شرایط جوی استفاده است.

1. Air Quality Index, AQI
2. AQI Average, AQIAvg
3. AQI Maximum, AQIMax

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱. طبقات شاخص کیفیت هوا به‌همراه نقاط شکست هر یک از آلاینده‌ها [۹]

طبقه‌بندی کیفیت هوا	AQI	نقاط شکست						
		NO_2(ppm) یک ساعته	SO_2(ppm) ۲۴ ساعته	CO(ppm) ۸ ساعته	PM_{10}(µg/m) ۲۴ ساعته	$PM_{2.5}$(µg/m) ۲۴ ساعته	O3(ppm) ۸ ساعته	O3(ppm) ۸ ساعته
خوب	۰-۵۰	۰-۰/۵۳	۰-۰/۰۳۴	۰-۴/۴	۰-۵۴	۰-۱۵/۴	-	۰-۰/۵۹۰
متوسط	۵۰-۱۰۰	۰/۵۴-۱/۰	۰/۳۵-۰/۱۴۴	۴/۵-۹/۴	۵۵-۱۵۴	۱۵/۵-۳۵/۰	-	۰/۰۶-۰/۰۷۵
ناسالم برای گروههای حساس	۱۰۱-۱۵۰	۰/۱۰-۰/۳۶	۰/۱۴۵-۰/۲۲۴	۹/۵-۱۲/۴	۱۵۵-۲۵۴	۳۵/۱-۶۵/۴	۰/۱۲۵-۰/۱۶۴	۰/۰۷۶-۰/۰۹۵
ناسالم	۱۵۱-۲۰۰	۰/۳۶۱-۰/۶۴	۰/۲۲۵-۰/۳۰۴	۱۲/۵-۱۵/۴	۲۵۵-۳۵۴	۶۵/۵-۱۵۰/۴	۰/۱۶۵-۰/۲۰۴	۰/۰۹۶-۰/۱۱۵
خیلی ناسالم	۲۰۱-۳۰۰	۰/۶۵۰-۱/۲۴	۰/۳۰۵-۰/۶۰۴	۱۵/۵-۳۰/۴	۳۵۵-۴۲۴	۱۵۰/۵-۲۵۰/۴	۰/۲۰۵-۰/۴۰۴	۰/۱۱۶-۰/۳۷۴
خطرناک	۳۰۱-۴۰۰	۱/۲۵-۱/۶۴	۰/۶۰۵-۰/۸۰۴	۳۰/۵-۴۰/۴	۴۲۵-۵۰۴	۲۵۰/۵-۳۵۰/۴	۰/۴۰۵-۰/۵۰۴	(۱)
	۴۰۱-۵۰۰	۱/۶۵-۲/۰۴	۰/۸۰۵-۱/۰۰۴	۴۰/۵-۵۰/۴	۵۰۵-۶۰۴	۳۵۰/۵-۵۰۰/۴	۰/۵۰۵-۰/۶۰۴	

وقتی غلظت ازن هشت‌ساعته از ppm ۰/۳۷۴ فراتر رود، مقدار AQI، ۳۰۱ یا بالاتر باید با استفاده از غلظت ازن یک‌ساعته محاسبه شود.

Archive of SID

www.SID.ir

توفان‌های تندری ممکن است در کمتر از بیست دقیقه شکل بگیرند و آثار مخربی داشته باشند. این‌گونه توفان‌ها ممکن است با تگرگ، باران‌های سنگین، آذرخش‌های مرگبار، بادها یا توفندهای مخرب همراه باشند [۲۰]. با بررسی جو در مدت زمان شکل‌گیری توفان‌های تندری، پارامترهایی محاسبه می‌شوند که شرایط تشکیل توفان و همچنین چگونگی ناپایداری جو یا احتمال همرفت هوا را نشان می‌دهند. از شاخص‌های پرکاربرد در این زمینه می‌توان به شاخص– k_i اشاره کرد که در آن از دما و دمای نقطهٔ شبنم در سه تراز فشاری ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ میلی‌باری استفاده می‌شود. توسط این نمایه امکان رخداد توفان تندری بر پایهٔ آهنگ کاهش دما، محتوای رطوبتی جو پایین و گسترش قائم لایهٔ مرطوب محاسبه می‌شود. در محاسبهٔ این شاخص مقادیر بالای دمای نقطهٔ شبنم نشان‌دهندهٔ وجود رطوبت در تراز پایین و افزایش رخداد پدیده همرفت است [۵،۲۵]. مقدار شاخص K_i با استفاده از رابطهٔ ۴ به‌دست می‌آید.

$$K_i = (T_{۸۵۰} - T_{۵۰۰}) + T_{d\,۸۵۰} - (T_{۷۰۰} - T_{d\,۷۰۰}) \qquad (۴)$$

در این رابطه: T_{850}، T_{700} و T_{500} دما به‌ترتیب در ترازهای ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ میلی‌بار و T_{d850} و T_{d700} دمای نقطهٔ شبنم به‌ترتیب در ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ میلی‌بار برحسب درجهٔ سلسیوس‌اند. هرچه این شاخص بزرگ‌تر باشد شدت ناپایداری بیشتر است [۱۵].

بحث و نتایج

جدول ۲ ضرایب همبستگی بین میانگین شاخص کیفیت هوا با سایر متغیرها را نشان می‌دهد. در سال ۱۳۸۹ بیشترین همبستگی بین شاخص مذکور با دمای کمینهٔ به‌دست‌آمده (۰/۴۰۶) و سایر متغیرها رابطهٔ معناداری با این شاخص نداشتند. در سال ۱۳۹۰، AQI_{Avg} با متغیرهای بارش و تعداد خودرو و شاخص– k_i رابطهٔ معناداری داشتند که این روابط در خصوص هر سه متغیر معکوس است. جهت عکس تغییرات میانگین شاخص کیفیت هوا با بارش و شاخص– k_i توجیه‌پذیر بود، چراکه با وجود بارندگی و ناپایداری هوا، از مقدار آلاینده‌های هوا کاسته می‌شود. در سال ۱۳۹۱ میانگین شاخص کیفیت هوا تنها با بارش و شاخص– k_i همبستگی معنادار داشت که جهت تغییرات آنها غیرمستقیم بوده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۲. ضرایب همبستگی به‌همراه سطح معناداری متغیرهای مختلف با میانگین شاخص کیفیت هوا

متغیر / سال	بارش (mm)	میانگین سرعت باد(m/s)	بیشینهٔ سرعت باد (m/s)	دمای کمینه (°C)	دمای متوسط (°C)	دمای بیشینه (°C)	شاخص – k_i	تعداد خودرو
۸۹	۰ ns	۰/۱۳۹ ns	-۰/۳۴۲ ns	۰/۴۰۶ **	-۰/۳۴۱ ns	-۰/۲۷۴ ns	-۰/۲۶۳ ns	۰/۲۶۲ ns
۹۰	-۰/۳۲۸ *	-۰/۲۲۵ ns	-۰/۱۱۹ ns	-۰/۰۸۷ ns	۰/۰۳۴ ns	۰/۱۴۹ ns	-۰/۳۸۹ **	-۰/۳۶۱ *
۹۱	-۰/۳۶۹ **	-۰/۲۴۹ ns	-۰/۰۹۱ ns	-۰/۰۴۲ ns	۰/۱۳۹ ns	۰/۲۷۵ ns	-۰/۳۲۱ *	-۰/۰۳۵ ns

*معنادار در سطح ۵ درصد، **معنادار در سطح ۱ درصد، ns: Non– significant (بی‌معنا)

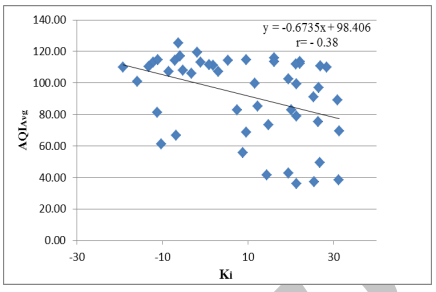
در خصوص ضرایب همبستگی بیشینهٔ شاخص کیفیت هوا با سایر متغیرها در سال ۱۳۸۹ هیچ کدام از متغیرها با بیشینهٔ شاخص کیفیت هوا همبستگی معناداری نداشت، درحالی که در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ بیشترین همبستگی به‌ترتیب با تعداد خودرو (۰/۵۱۵-) و شاخص– k_i (۰/۴۵۹-) و همچنین با بارش (۰/۴۴۳-) وجود داشت که در هر سه مورد در سطح ۱ درصد معنادار بوده است. نکتهٔ شایان توجه، همبستگی منفی تعداد خودرو و بیشینهٔ شاخص کیفیت هوا (r=-۰/۵۱۵) است که این حالت در خصوص میانگین شاخص کیفیت هوا نیز رخ داده است (r=-۰/۳۶۱). به‌نظر می‌رسد که تعداد خودرو و عبور آنها در مسیر قرارگیری دوربین‌ها در حالت توقف و روان بودن دو مقولهٔ جداگانه است که نیازمند تحقیق بیشتری است؛ چراکه تعداد خودروهای عبوری دلیل تولید آلایندهٔ بیشتر در محل نیست و چه بسا در ترافیک‌های سنگین و توقف کامل خودروها با تعداد کمتری نسبت به حالت روان بودن ترافیک، انتظار تولید آلایندهٔ بیشتری می‌رود. با توجه به همبستگی بیشتر شاخص ناپایداری هوا (شاخص– k_i) با شاخص کیفیت هوا در مقایسه با سایر متغیرها، نمودار تغییرات شاخص کیفیت هوا نسبت به شاخص ناپایداری هوا در شکل۲ به‌عنوان نمونه نشان داده شده است.

به‌منظور محاسبهٔ روابط رگرسیونی بین میانگین و بیشینهٔ شاخص کیفیت هوا (متغیر مستقل) و سایر پارامترهای هواشناسی و تعداد خودرو (متغیرهای مستقل)، از معادلات رگرسیون ساده و چندگانهٔ خطی استفاده شد. بدین منظور در محیط نرم‌افزار SPSS به‌روش پله به پله[1] داده‌ها وارد مدل شد و تحلیل‌های آماری لازم بر روی آنها انجام گرفت. به‌منظور ارزیابی دقت مدل‌های مختلف، قبل از مدلسازی، حدود ۲۰ درصد داده‌ها به‌طور تصادفی کنار گذاشته شد و مدلسازی با استفاده از ۸۰ درصد باقی‌ماندهٔ داده‌ها انجام گرفت [۲۶].

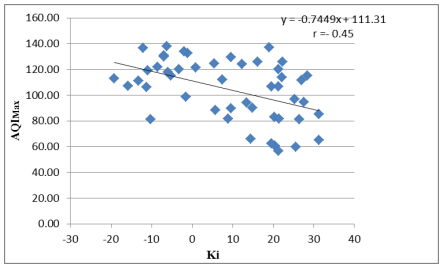
1. Stepwise Method

Archive of SID

www.SID.ir



الف



ب

شکل۲. نمودار تغییرات میانگین (الف) و بیشینهٔ (ب) شاخص کیفیت هوا نسبت به شاخص ناپایداری هوا (۱۳۹۰)

با توجه به این نکته که در سال ۱۳۸۹رابطهٔ معناداری بین هیچ یک از متغیرهای مستقل با بیشینهٔ شاخص کیفیت هوا وجود نداشت، معادلات آماری نیز در این سال محاسبه نشده‌اند. براساس نتایج، بیشترین تأثیر بر بیشینهٔ شاخص کیفیت هوا را متغیرهای بارش و شاخص– k_i در سال ۱۳۹۰ داشتند، به‌طوری که افزایش هر واحد از این دو متغیر، مقدار بیشینهٔ شاخص کیفیت هوا را ۸ واحد کاهش داده است.

مقادیر انحراف نسبی (RD) میانگین شاخص کیفیت هوای واقعی و تخمینی توسط مدل آماری در سال ۱۳۸۹در جدول ۳ آورده شده است. به‌منظور رعایت اختصار تنها جدول مربوط به این سال آورده شده و برای سایر سال‌ها موارد برجسته توضیح داده شده‌اند. براساس این جدول کمترین خطای نسبی مربوط به روز ۳۰ نوامبر ۲۰۱۰ (۹ آذر ۱۳۸۹) به‌مقدار ۰/۴ و بیشترین آن در تاریخ ۲۵ نوامبر ۲۰۱۰ (۴ آذر ۱۳۸۹) به‌مقدار ۱۰۵ است.

در سال ۱۳۹۰ کمترین مقدار انحراف نسبی میانگین شاخص کیفیت هوا به‌کمک معادله با متغیر بارش تخمین زده شده که برابر ۴ درصد مربوط به روز ۹ دسامبر ۲۰۱۱ (۱۸ آذر ۱۳۹۰) و بیشترین آن ۲۳۵/۵ درصد در روز ۸ نوامبر (۱۷ آبان ۱۳۹۰) بوده است. در مورد شاخص– k_i در همین سال کمترین مقدار انحراف نسبی برابر ۲/۷- درصد مربوط به ۲۹ نوامبر ۲۰۱۱ (۸ آذر ۱۳۹۰) و بیشترین آن ۳۱۸/۱ درصد در روز ۸ نوامبر (۱۷ آبان ۱۳۹۰) بوده است. در سال ۱۳۹۱ در مورد میانگین شاخص کیفیت هوا کمترین مقدار انحراف نسبی در معادله با متغیر بارش برابر ۰/۴- درصد مربوط به روز ۳ ژانویه ۲۰۱۲(۱۳ دی۱۳۹۱) و بیشترین آن ۹۹/۴ درصد در روز ۲۴ نوامبر(۳ آذر ماه ۱۳۹۱) بوده است. در خصوص بیشینهٔ شاخص کیفیت هوا در سال ۱۳۹۱، کمترین

Archive of SID

www.SID.ir

مقدار انحراف نسبی در معادله با متغیر بارش برابر ۰/۴ درصد مربوط به روز ۸ ژانویـهٔ ۲۰۱۲ (۱۷ آذر ۱۳۹۱) و بیشترین آن ۴۵/۸ درصد در روز ۲۴ نوامبر (۳ آذر ۱۳۹۱) بوده است.

جدول ۳. مقادیر انحراف نسبی میانگین شاخص کیفیت هوای واقعی و مشاهده‌شده در روز های منتخب، سال ۱۳۸۹ (متغیر مستقل، دمای کمینه)

تاریخ	میانگین شاخص کیفیت هوا (واقعی)	میانگین شاخص کیفیت هوا (تخمینی)	RD (درصد)
۲۰۱۰/۱۱/۱۱	۱۰۹/۵۰	۹۲/۳۱	-۱۵/۷
۲۰۱۰/۱۱/۱۳	۸۷/۸۸	۹۹/۷۹	۱۳/۵
۲۰۱۰/۱۱/۲۵	۵۷/۶۰	۱۱۸/۱۰	۱۰۵/۰
۲۰۱۰/۱۱/۳۰	۱۱۱/۶۷	۱۱۲/۱۲	۰/۴
۲۰۱۰/۱۲/۲	۱۶۱/۶۱	۱۰۷/۲۶	-۳۳/۷
۲۰۱۰/۱۲/۳	۱۴۳/۳۰	۱۰۳/۱۵	-۲۸/۰

به‌منظور بررسی تأثیر همزمان متغیرهای مستقل بر کیفیت هوا از رگرسیون چندگانهٔ خطی استفاده شد. در خصوص سال ۱۳۹۱ هیچ یک از مدل‌های آماری معنادار نبودند. در سال ۱۳۸۹ متغیرهای کمینهٔ دمای هوا و شاخص– k_i با تأثیر منفی در معادله ظاهر شده‌اند. این معادله در سطح ۵ درصد معنادار است. در سال ۱۳۹۰ از بین مدل‌های مورد بررسی، براساس آزمون معناداری ضریب رگرسیون، دو مدل انتخاب شد. در مدل اول ناپایداری هوا با تأثیر منفی و دمای میانگین با تأثیر مثبت در معادله ظاهر شده، درحالی که در مدل دوم علاوه‌بر این دو متغیر، تعداد خودرو نیز با تأثیر منفی در معادله وارد شده است. در مدل اول دمای بیشینهٔ هوا با تأثیر مثبت و تعداد خودرو با تأثیر منفی در معادله ظاهر شده، درحالی که در مدل دوم علاوه‌بر این دو متغیر، شاخص ناپایداری جو نیز با تأثیر منفی در معادله وارد شده است. جدول ۴ مقادیر انحراف نسبی (RD) میانگین شاخص کیفیت هوا براساس برآورد معادلات رگرسیونی چندگانهٔ خطی در سال ۱۳۸۹ را نشان می‌دهد. براساس این جدول، کمترین خطا مربوط به ۳۰ نوامبر ۲۰۱۰ (۹ آذر ۱۳۹۱) برابر ۰/۷- درصد و بیشترین خطا مربوط به روز ۲۵ نوامبر ۲۰۱۰ (۴ آذر ۱۳۹۱) برابر ۹۸/۸ درصد مشاهده شده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، به‌منظور کاهش مخاطرات ناشی از آلودگی هوا می‌توان به کمک مدل‌های آماری که در آن شاخص– k_i به‌عنوان متغیر مستقل ظاهر شده، با پیش‌بینی دقیق‌تر کیفیت هوا و توصیه‌ها و هشدارهای

Archive of SID

www.SID.ir

به‌موقع از ترددهای غیرضروری گروه‌های حساس به آلاینده‌ها جلوگیری کرد و در نهایت خسارت‌های جانی و مالی ناشی از بیماری‌های تنفسی و قلبی را کاهش داد.

جدول ۴. مقادیر انحراف نسبی میانگین شاخص کیفیت هوای واقعی و مشاهده‌شده در روزهای منتخب، سال ۱۳۸۹ (متغیر مستقل، دمای کمینه و شاخص ناپایداری هوا)

تاریخ	میانگین شاخص کیفیت هوای واقعی	میانگین شاخص کیفیت هوای تخمینی	RD (درصد)
۲۰۱۰/۱۱/۱۱	۱۰۹/۵۰	۸۹/۶۵	-۱۸/۱
۲۰۱۰/۱۱/۱۳	۸۷/۸۸	۹۸/۳۲	۱۱/۹
۲۰۱۰/۱۱/۲۵	۵۷/۶۰	۱۱۴/۴۹	۹۸/۸
۲۰۱۰/۱۱/۳۰	۱۱۱/۶۷	۱۱۰/۸۹	-۰/۷
۲۰۱۰/۱۲/۲	۱۶۱/۶۱	۱۰۶/۰۶	-۳۴/۳
۲۰۱۰/۱۲/۳	۱۴۳/۳۰	۱۰۶/۹۱	-۲۵/۴

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که شاخص ناپایداری هوا (شاخص– k_i) بیشترین تأثیر را بر نوسان آلودگی هوا داشته، به‌طوری که اثر معکوس آن سبب سالم‌تر شدن کیفیت هوا شده است. شرعی‌پور و بیدختی نیز در مطالعات خود به این جمع‌بندی رسیده بودند که آلودگی هوای شهر تهران با وارونگی‌های دمای سطحی رابطهٔ مستقیم داشته و تداوم و شدت آلودگی هوا همراه با شرایط سکون بر جو و کاهش سرعت باد همبستگی معنادار و دوره‌های آلوده در تهران با حرکات نزولی در جو (پایداری بیشتر) همراه بوده است. پس از این شاخص، بیشترین همبستگی در سال‌های مورد مطالعه با متغیر بارش (همبستگی از ۰/۳۲۸- تا ۰/۴۴۳-) بوده است. در همین سال ماه نوامبر از ماه دسامبر سالم‌تر بود که یکی از دلایل آن می‌تواند افزایش دما در طول روز و شکستن لایهٔ وارونه باشد. از دیگر نتایج این تحقیق می‌توان به همبستگی منفی بین تعداد خودرو و بیشینهٔ شاخص کیفیت هوا (r=-۰/۵۱۵) و همچنین میانگین شاخص کیفیت هوا (r=-۰/۳۶۱) اشاره کرد که از دستاوردهای بحث برانگیز این مطالعه بوده است. به‌نظر می‌رسد که تعداد خودرو و عبور آنها از مسیر قرارگیری دوربین‌ها در حالت توقف و روان بودن دو موضوعی است که باید با دقت بیشتری بررسی شوند؛ چرا که تعداد خودروهای عبوری دلیل بر تولید آلایندهٔ بیشتر در

Archive of SID

www.SID.ir

محل نیست و چه بسا در ترافیک‌های سنگین و توقف کامل خودروها با تعداد کمتر نسبت به حالت روان بودن ترافیک، انتظار می‌رود آلایندهٔ بیشتری تولید شود.

منابع

[۱]. احمدی آسور، اکبر؛ الله‌آبادی، احمد (۱۳۹۰). سنجش میزان آلاینده‌های شهر سبزوار، مجلهٔ دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی سبزوار، دورهٔ ۱۸: ۱۴۷-۱۴۰.

[۲]. اسدی، مسعود (۱۳۸۸). تبیین نقش حمل‌ونقل عمومی در محیط زیست پایدار شهری: مطالعهٔ موردی، منطقهٔ ۶ تهران با رویکرد محیط زیست پایدار شهری)، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ محیط زیست، دانشگاه تهران.

[۳]. اشرفی، خسرو؛ هشیاری‌پور، غلامعلی؛ نجار اعرابی، بابک؛ کشاورزی شیرازی، هما (۱۳۹۱). پیش‌بینی روزانهٔ غلظت کربن منوکسید با استفاده از مدل تلفیقی انتخاب پیشرو-عصبی فازی براساس تحلیل پایداری جو: بررسی موردی، شهر تهران)، مجلهٔ فیزیک زمین و فضا، دورهٔ ۳۸، شمارهٔ ۲: ۲۰۱-۱۸۳.

[۴]. امیربیگی، حسن؛ احمدی آسور، اکبر (۱۳۸۶). بهداشت هوا و روش‌های مبارزه با آلاینده‌ها ی محیطی و صنعتی، تهران، انتشارات اندیشهٔ رفیع.

[۵]. انصافی مقدم، طاهره (۱۳۷۲). بررسی ارتباط آلودگی هوای تهران و ارتباط آن با وارونگی دمای جو (اینورژن)، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

[۶]. آذر، عادل؛ مؤمنی، منصور (۱۳۸۸). آمار و کاربرد آن در مدیریت، جلد دوم، تحلیل آماری، تهران، انتشارات سمت.

[۷]. جعفری، حمیدرضا؛ حسن پور، سیروس؛ رحیلی خراسانی، لیلا؛ پوراحمد، احمد (۱۳۹۳). کاربرد سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (GIS) در مکان‌یابی و تحلیل فضایی- مکانی آلودگی و منابع آلاینده‌های هوا در کلانشهر کرمانشاه، محیط‌شناسی، دورهٔ ۴۰، شمارهٔ ۱: ۶۴-۵۱.

[۸]. رضائی، عبدالمجید (۱۳۸۶). مفاهیم آمار و احتمالات. مشهد، نشر مشهد.

[۹]. زارعی محمودآبادی، هادی؛ دهقانی طرزجانی، فریده (۱۳۹۰). آلودگی هوا، میبد، نشر دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد.

[۱۰]. سازمان هواشناسی کشور (۱۳۹۰). سالنامه‌های هواشناسی.

[۱۱]. شرعی‌پور، زهرا (۱۳۸۹). بررسی غلظت آلاینده‌های هوا و ارتباط آن با پارامترهای هواشناسی، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، تهران، مؤسسهٔ ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

Archive of SID

www.SID.ir

[۱۲]. شرعی‌پور، زهرا؛ بیدختی، علی‌اکبر (۱۳۸۸). شرایط هواشناختی جو بالا و وضعیت حاد آلودگی هوا (مطالعهٔ موردی، شهر تهران)، محیط‌شناسی، شمارهٔ ۳۵: ۱۴-۱.

[۱۳]. شرکت کنترل کیفیت هوای تهران (۱۳۹۱). گزارش سالانهٔ کیفیت هوای تهران در سال ۱۳۹۰، تهران، شمارهٔ گزارش QM91/02/06(U)/01.

[۱۴]. شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ امینی، ژوان (۱۳۹۲). شبیه‌سازی الگوی پراکنش CO با مدل خرداقلیمی Envi-met در مسیر آزادی- تهرانپارس، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شمارهٔ ۷: ۱۰۳-۸۵.

[۱۵]. صادقی حسینی، علیرضا؛ رضائیان، مهتاب (۱۳۸۵). بررسی تعدادی از شاخص‌های ناپایداری و پتانسیل بارورسازی ابرهای همرفتی منطقهٔ اصفهان، مجلهٔ فیزیک زمین و فضا، جلد ۳۲، شمارهٔ ۲: ۹۸-۸۳.

[۱۶]. صادقی دهنوی، محسن؛ شیران، غلامرضا؛ پورمعلم، ناصر (۱۳۸۳). تخمین آلودگی هوا ناشی از جریان‌های ترافیکی در خیابان‌های شهری، اولین کنگرهٔ ملی مهندسی عمران، NCCE، تهران، دانشگاه صنعتی شریف.

[۱۷]. علیجانی، بهلول (۱۳۸۴). رابطهٔ بین توزیع فشار و تراکم آلاینده‌های شهر تهران، پژوهش‌های جغرافیایی، دورهٔ ۳۷، شمارهٔ ۲: ۴۹-۳۹.

[۱۸]. عیسائی، محمدتقی (۱۳۸۴). سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل، تهران، انتشارات آذر.

[۱۹]. متکان، علی‌اکبر؛ شکیبا، علی‌رضا؛ پورعلی، سید حسن؛ بهارلو، ایمان (۱۳۸۸). تعیین تغییرات مکانی و زمانی آلودگی‌های منواکسید کربن و ذرات معلق، با استفاده از تکنیک‌های GIS در شهر تهران، سنجش از دور و GIS ایران، سال اول، شمارهٔ ۱: ۷۲-۵۷.

[۲۰]. مرادی، محمد (۱۳۹۰). مقدمه‌ای بر هواشناسی دینامیکی۱، تهران، نشر سیدباقر حسینی.

[21]. Aldrin, M.; Haff, I. H. (2005). Generalised additive modelling of air pollution, traffic volume and meteorology. Atmospheric Environment, 39(11): 2145-2155.

[22]. Bazgeer, S. (2005). Land use change analysis in the sub mountainous region of Punjab using remote sensing, GIS and agro meteorological parameters. Ph.D Dissertation, Punjab Agricultural University (PAU), Ludhiana, India.

[23]. Colvile, R. N.;Kaur, S.; Britter, R.;Robins, A.; Bell, M. C.; Shallcross, D. E.; D.A.P.P.L.E.Project Co-investigators (2005). Sustainable development of urban transport systems and human exposure to air pollution. Science of the total environment, (334-335): 481-487.

[24]. Marinaki, A.; Spiliotopoulos, M.; Michalopoulou, H. (2006). Evaluation of atmospheric instability indices in Greece. Advances in Geosciences. 7(131): 131-135.

Archive of SID

www.SID.ir

[25]. Vardoulakis, S.;Gonzalez-Flesca, N.; Fisher, B. E. A. (2002). Assessment of traffic-related air pollution in two street canyons in Paris: implications for exposure studies. Atmospheric Environment, 36(6): 1025-1039.

[26]. Willmott, C. J. (1982). Some Comments on the Evaluation of Model Performance. Bulletin of the American Meteorological Society. 63(11): 1309-1369.

[27]. Zhu, Y.; Hinds, W. C.; Kim, S.; Shen, S.; Sioutas, C. (2002). Study of ultrafine particles near a major highway with heavy-duty diesel traffic. Atmospheric Environment. 36(27); 4323-4335.

Archive of SID

www.SID.ir