



سجش از دور

GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران / سال دوازدهم، شماره اول، بهار ۱۳۹۹  
Iranian Remote Sensing & GIS / Vol.12, No. 1, Spring 2020

۱-۱۸



## بررسی تغییر پذیری ساعتی رابطه بین پارامترهای کاربری اراضی و آلاینده CO، با استفاده از مدل رگرسیون کاربری اراضی (LUR) در شهر تهران

امیرحسین وحدت<sup>۱\*</sup> و عباس علی محمدی<sup>۲</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲. استاد گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۵/۱۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۲۰

### چکیده

مدل‌سازی ارتباط بین کاربری با آلودگی هوا کاربردهای فراوانی در مطالعات شهری دارد اما نقش کاربری و پارامترهای گوناگون آن در تغییر غلظت آلودگی هوا، در ساعات متفاوت، می‌تواند در پیش‌بینی دقیق‌تر مکانی-زمانی آلودگی به کار رود. در این پژوهش، با مدل‌سازی رگرسیون کاربری اراضی (LUR) ساعتی به منظور پیش‌بینی مکانی-زمانی آلاینده مونوکسید کربن (CO)، پارامترهای مؤثر در تغییرات زمانی و مکانی این آلاینده، در طول شبانه‌روز، بررسی شده است. داده‌های ساعتی ثبت‌شده در ۲۱ ایستگاه سنجش آلودگی هوا در شهر تهران، طی فصل تابستان، جمع‌آوری شده و پارامترهای پیش‌بینی‌کننده شامل تراکم و فاصله از متغیرهای متفاوت، مانند شبکه راه‌ها، پوشش گیاهی، ارتفاع و کاربری‌های اراضی گوناگون در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) - شکل گرفته است. یک مدل کلی و هشت مدل ساعتی در ساعات ۳ بامداد، ۶ صبح، ۹ صبح، ۱۲ ظهر، ۳ بعدازظهر، ۶ عصر، ۹ شب و ۱۲ شب ایجاد شده است. ضریب تعیین ( $R^2$ ) مدل کلی ایجادشده برابر با ۰.۷۸۹۹ است که عملکرد مطلوب و کارآیی این مدل را نشان می‌دهد. پس از تحلیل مدل‌های ساعتی تولیدشده، تفاوت‌هایی در پارامترهای به‌کاررفته در این مدل‌ها مشاهده شد که بیان می‌کنند تغییرات زمانی نیز، به‌همراه تغییرات مکانی، نقش مؤثری در تشکیل مدل‌ها در طول شبانه‌روز ایفا می‌کنند.  $R^2$  مدل‌های ساعتی در بازه ۰.۵۱ تا ۰.۹۲ قرار دارند که بالاترین آن مربوط به مدل‌های ساعات شبانه و پایین‌ترین آن مربوط به ساعات ظهرگاهی است. پارامترهای راه‌های دسترسی محلی اصلی و فرعی و مراکز تجاری و اداری بیشترین تأثیر را در افزایش آلاینده CO، در ساعات متفاوت شبانه‌روز، دارند و وجود اماکن و فضاهای سبز، ورزشی و نیز درمانی در مناطق شهری مکان‌هایی با غلظت پایین‌تر آلاینده CO به‌وجود می‌آورند.

**کلیدواژه‌ها:** رگرسیون کاربری اراضی، پیش‌بینی مکانی-زمانی، آلاینده مونوکسید کربن، تهران.

\* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولیعصر (عج)، تقاطع میرداماد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، کدپستی: ۱۵۴۳۳-۱۹۹۶۷. تلفن: ۰۲۱-۸۸۸۷۷۰۷۱-۲، تلفن همراه: ۰۹۳۶۰۸۴۷۷۵۵.

## ۱- مقدمه

غلظت بالای آلودگی هوا و ارتباط آن با سلامت انسان‌ها، به‌ویژه در شهرهای بزرگ و کشورهای در حال توسعه، به موضوعی مهم و مورد توجه در سال‌های اخیر تبدیل شده است. معمولاً آلاینده‌های شهری اثراتی منفی در کیفیت هوای اطراف خود می‌گذارند. وجود این ذرات، به‌طور مداوم و در دوره زمانی کوتاه، سبب افزایش مشکلاتی از جمله آسم، برونشیت، تنگی نفس، حملات قلبی و آلرژی‌های گوناگون تنفسی منجر به مرگ‌ومیر می‌شود. مونوکسید کربن (CO)<sup>۱</sup> گازی بی‌بو، بی‌رنگ و سمی است که بر اثر احتراق ناقص سوخت‌های فسیلی ایجاد می‌شود. این گاز، به‌سبب ایجاد اختلال در فراهم‌آوردن اکسیژن مورد نیاز بافت‌های بدن بر اثر کاهش قدرت هموگلوبین در حمل اکسیژن و نیز تشکیل کربوکسی هموگلوبین، در سلسله‌اعصاب مرکزی تأثیر می‌گذارد و زبان‌های جبران‌ناپذیری به بدن وارد می‌کند. غلظت مونوکسید کربن، در بافت پرتراکم شهری که ترافیک سنگین و حرکت خودروها کند است، افزایش چشمگیری می‌یابد. تهران نیز، به‌دلیل وجود ترافیک سنگین و تراکم بالای شهرنشینی در آن، از اثرات این آلاینده مصون نیست. از این‌رو، به‌منظور جلوگیری از آثار مضر این آلاینده، تعیین میزان غلظت آلاینده CO با دقت بالا اهمیت ویژه‌ای می‌یابد اما شبکه محدود پایش آلودگی هوا امکانات محدودی برای ارزیابی وضعیت آلودگی هوا و آثار آن در سلامت انسان‌ها فراهم می‌کند. در این زمینه، محققان همواره در جست‌وجوی روش‌هایی جدیدند تا بتوانند کیفیت هوا را با دقت بیشتری بررسی کنند. تکنیک‌های درون‌یابی، مدل‌های پخش و مدل‌های رگرسیون کاربری اراضی (LUR)<sup>۲</sup> مثال‌هایی از این روش‌ها هستند (Adam-Poupart et al., 2014; Briggs, 2005; Hoek et al., 2008; Holmes and Morawska, 2006; Jerrett et al., 2005; Ryan and LeMasters, 2007).

اگرچه تکنیک‌های درون‌یابی در پیش‌بینی مکانی آلودگی هوا در مقیاس ملی، منطقه‌ای و جهانی کارایی

دارند (Briggs et al., 1997)؛ برای پیش‌بینی مکانی در مقیاس کوچک‌تر و نیز به‌دلیل محدودبودن تعداد ایستگاه‌ها، مناسب نیستند (Aguilera et al., 2007; Briggs, 2005).

مدل‌های پخش، به‌علت اینکه هر دو جنبه تغییرات زمانی و مکانی آلودگی هوا را بررسی می‌کنند، بسیار مفیدند. اما این مدل‌ها مشکلاتی دارند؛ از جمله هزینه بالای جمع‌آوری اطلاعات، نیاز به دستگاه‌های سخت‌افزاری گران‌قیمت، استفاده از مجموعه‌ای فرض‌های غیرواقعی در مورد نمونه‌های پخش و نیاز به کارشناسان ماهر و باتجربه (Jerrett et al., 2005; Knowlton et al., 2004).

تحقیقات نشان می‌دهند که مدل LUR عملکردی بهتر از مدل‌های مرسوم دارد (Hoek et al., 2008; Marshall et al., 2008; Ryan and LeMasters, 2011; Wu et al., 2007). این مدل را، نخستین بار، بریگز<sup>۳</sup> و همکاران (۱۹۹۷) برای اروپا توسعه دادند و سپس به‌صورت گسترده‌ای، در بسیاری از کشورها از آن استفاده شده است (Beelen et al., 2013; Gilbert et al., 2005; Gulliver et al., 2013; Hystad et al., 2011; Johnson et al., 2013; Wu et al., 2015).

تعیین غلظت آلاینده‌های شهری نیازمند استفاده از ایستگاه‌های متعدد پایش در سطح شهر است. اما، با توجه به هزینه زیاد افزایش تعداد ایستگاه‌های سنجش زمینی، از مدل‌های LUR به‌منظور دستیابی به توزیع مکانی و زمانی غلظت آلاینده‌ها استفاده می‌شود (Eeftens et al., 2012). مدل‌های رگرسیون کاربری اراضی، از طریق ترکیب اطلاعات محیطی با داده‌های غلظت آلاینده‌های جمع‌آوری‌شده از ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا، می‌توانند در مطالعه سلامت افراد جامعه و تعیین میزان قرارگرفتن افراد در معرض آلودگی هوا به‌کار روند (Hoek et al., 2008; Jerrett et al., 2005). اگرچه متغیرهای مستقل در هر مدل LUR

1. Carbon monoxide  
2. Land Use Regression  
3. Briggs

شهر تهران» (Amini et al., 2017) نمونه‌های مهمی از این تحقیقات محسوب می‌شوند. پژوهش حسن‌پور متی‌کلایی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۷) نمونه‌ای دیگر از تحقیقاتی است که آلاینده‌های NO<sub>2</sub>، CO و PM<sub>2.5</sub> را، از لحاظ مکانی-زمانی، پیش‌بینی کرده است. در این تحقیق، با در نظر گرفتن پارامتر ترافیک ساعتی و داده‌های هواشناسی و پارامترهای کاربری اراضی، اقدام به مدل‌سازی ساعتی این آلاینده‌ها شده است. به دلیل نقش پارامتر ترافیک در آلودگی، این بارزترین پارامتر مورد استفاده در این تحقیق است.

مهم‌ترین هدف تحقیق حاضر بررسی نقش پارامترهای کاربری اراضی در تغییرات زمانی آلاینده مونوکسید کربن (CO) در ساعات متفاوت شبانه‌روز است. در تحقیقات پیشین، به مدل‌سازی این آلاینده در ساعات متفاوت شبانه‌روز کمتر توجه شده و اغلب آثار کاربری اراضی، در طول شبانه‌روز، یکسان فرض شده است. نتایج مدل‌های LUR ساعتی در این پژوهش، علاوه بر اینکه به تخمین دقیق‌تر آلاینده CO در ساعات گوناگون شبانه‌روز و نمایش بصری آن منجر می‌شوند، امکان شناسایی نقش پارامترهای کاربری اراضی مؤثر در ایجاد این آلاینده و تأثیرگذاری آن‌ها در طول شبانه‌روز را نیز ممکن می‌کنند. همچنین، تعیین پارامترهای کاربری اراضی مؤثر در کاهش یا افزایش غلظت آلاینده‌ها می‌تواند به سیاست‌گذاری‌های مناسبی منجر شود که آلودگی در سطح کلان‌شهر تهران را مدیریت کنند. در ادامه مقاله، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، ارزیابی مدل‌ها و نتیجه‌گیری مطرح شده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- داده‌های مورد استفاده

برای تعیین غلظت آلاینده CO با مدل LUR، به داده‌های غلظت این آلاینده در مقیاس ساعتی، لایه‌های GIS همچون پارامترهای کاربری اراضی، شبکه راه‌های شهر

منحصربه‌فرد است؛ می‌توان آن‌ها را اغلب در چهار گروه جاده، ترافیک، نوع پوشش زمین و ارتفاع طبقه‌بندی کرد و هر مدل LUR شامل تعریف واحد از یک یا تعدادی از متغیرهای مذکور، با توجه به داده‌ها و آلاینده‌های مورد بررسی است (Ryan and LeMasters, 2007).

مدل LUR علاوه بر کاربرد در پیش‌بینی مکانی آلاینده‌ها، به صورت فصلی و سالیانه، برای پیش‌بینی مکانی-زمانی در مقیاس زمانی کوتاه‌مدت نیز استفاده شده است. برای نمونه، می‌توان به پژوهشی اشاره کرد که ساراسوات<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۳)، در آن، این مدل را برای آلاینده‌های کربن سیاه و ذرات ریز معلق، طی دو بازه زمانی صبح و عصر، توسعه داده‌اند.

در ایران نیز پژوهشگرانی، در زمینه پیش‌بینی مکانی آلودگی با مدل LUR، تحقیقاتی انجام داده‌اند. متکان و همکاران (۱۳۸۸)، به منظور تعیین تغییرات مکانی و زمانی آلاینده‌های مونوکسید کربن و ذرات معلق در شهر تهران، از مدل LUR استفاده کرده‌اند. طبق نتایج این تحقیق مهم‌ترین عامل تأثیرگذار، در مورد آلاینده مونوکسید کربن، حجم ترافیک و در مورد آلاینده PM<sub>10</sub>، اماکن صنعتی شناسایی شده است.

محمدی و همکاران (۱۳۹۷) تمرکز آلاینده‌های NO<sub>2</sub> و PM<sub>10</sub> و CO در تهران را، با استفاده از روش رگرسیون کاربری اراضی، پیش‌بینی کرده و برای پیش‌بینی و مدل‌سازی این آلاینده‌ها، از متغیرهای مستقلی مانند مساحت کاربری اراضی، طول شبکه معابر و متغیرهای هواشناسی استفاده کرده‌اند. نتایج پژوهش دقت بسیار این مدل را در پیش‌بینی سه آلاینده مورد نظر، به‌ویژه در فصل‌های گرم سال، نشان می‌دهد.

«تخمین تغییرات مکانی آلاینده‌های ذرات معلق و دی‌اکسید گوگرد با استفاده از مدل LUR در شهر تهران» (Amini et al., 2014)، «پیش‌بینی آلودگی هوای ناشی از حمل‌ونقل شهری کلان‌شهر تهران با بهره‌گیری از مدل LUR و شبکه عصبی مصنوعی» (سجادیان، ۱۳۹۴) و «بُجاد مدل LUR برای تخمین سالیانه آلکیل بنزن‌ها در

1. Saraswat

2. Hassanpour Matikolaei

درمانی، فرهنگی، مذهبی، ورزشی، اداری، پارکینگ‌ها، هتل‌ها و اماکن پذیرایی و دیگر کاربری‌ها در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به دلیل در دست نبودن داده‌های به‌روز کاربری اراضی، این داده‌ها به صورت موردی، در مکان‌های مشخصی که تغییر کاربری داشته‌اند، با توجه به نظر کارشناسان و نیز پوشش گیاهی به دست آمده در این تحقیق، اصلاح شده‌اند. این بررسی‌ها نشان داد ایستگاه‌های سنجش آلاینده‌ها در مجاورت بخش‌هایی قرار گرفته‌اند که بافت سابق خود را حفظ کرده‌اند؛ بنابراین، این نبود تطابق زمانی بین داده‌های سنجش آلاینده و کاربری اراضی تأثیر کمتری در مدل‌سازی می‌گذارد. از دیگر لایه‌های مورد استفاده، پوشش گیاهی شهر تهران است. شاخص پوشش گیاهی (NDVI) با استفاده از باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک، از سنجنده Sentinel-2 (دریافت شده در تابستان ۱۳۹۶)، با قدرت مکانی ده متر و با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شده است.

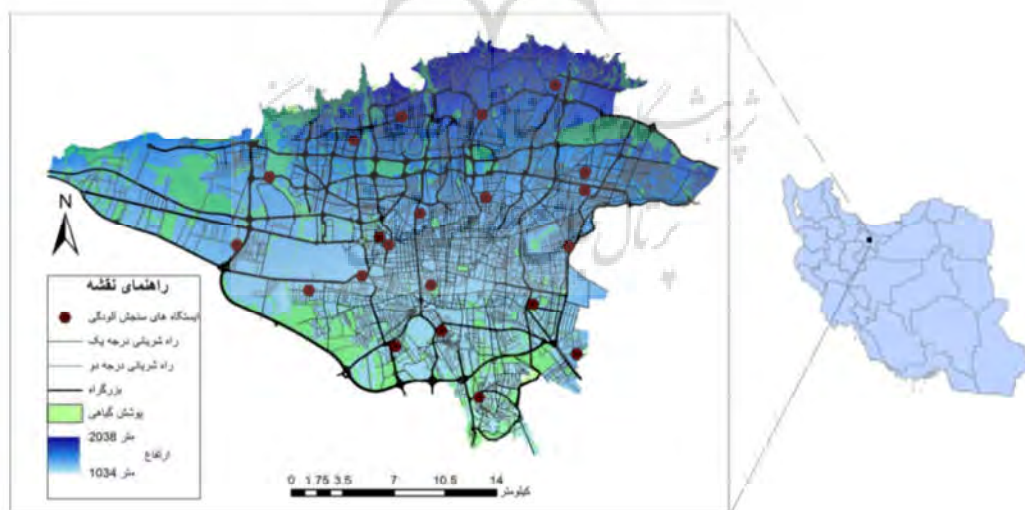
$$NDVI = \frac{PNIR - PREL}{PNIR + PREL} \quad \text{رابطه (۱)}$$

تهران و دیگر داده‌هایی نیاز داریم که، در ادامه، آن‌ها را توضیح می‌دهیم.

**۲-۱-۱- داده‌های ایستگاه‌های سنجش آلاینده CO**  
برای گردآوری آمار آلاینده CO در فصل تابستان ۱۳۹۶، از ۲۱ ایستگاه متعلق به شرکت کنترل کیفیت هوای شهرداری تهران استفاده شده است. این داده‌ها در مقیاس زمانی-ساعتی تولید می‌شوند و در اختیار عموم قرار می‌گیرند. شکل ۱ موقعیت مکانی این ایستگاه‌ها را در شهر تهران نشان می‌دهد.

### ۲-۱-۲- لایه‌های GIS

داده‌های کاربری اراضی به‌کاررفته در این تحقیق به صورت لایه‌های موجود در نرم‌افزار ArcGIS استفاده شده است. این داده‌ها از مرکز اطلاعات جغرافیایی شهرداری تهران تهیه شده‌اند و ده گروه را شامل می‌شوند: مناطق مسکونی، صنعتی، تجاری و اداری، فضای سبز، بایر، حمل‌ونقل، خدماتی، تأسیساتی، نظامی، و کشاورزی. همچنین، لایه‌های مراکز آموزشی،



شکل ۱. موقعیت و توزیع مکانی ایستگاه‌های سنجش آلاینده CO مورد استفاده در شهر تهران

در تحقیق حاضر، در مجموع، به منظور تشکیل مدل‌های LUR، از ۲۷۳ پارامتر استفاده شده که فهرست آن‌ها در جدول ۱ آمده است.

#### ۲-۲-۲- مدل‌سازی

در تحقیق حاضر، برای مدل‌سازی، ابتدا داده‌ها آماده شده و سپس، مدل‌های LUR و در نهایت، نقشه‌های پیش‌بینی غلظت آلاینده CO ایجاد شده است. در ادامه، مراحل اجرایی مدل‌سازی را توضیح می‌دهیم.

#### ۲-۲-۱- آماده‌کردن داده‌ها پیش از پردازش

به منظور ایجاد ثبات مدل‌های LUR و برای جلوگیری از شکل گرفتن ضرایب بی‌ثباتی، که منعکس‌کننده تفاوت بزرگی در مقادیر  $R^2$  مدل و  $R^2$  تعدیل‌شده مدل است، سعی شده پارامترهای پیش‌بینی‌کننده، در حریم‌هایی که دست‌کم در پنج ایستگاه مقادیر غیرصفر ندارند، از میان پارامترهای موجود حذف شوند (Wu et al., 2015).

همچنین، به دلیل در دست نبودن اندازه‌گیری‌های غلظت آلاینده CO در برخی از زمان‌ها، از ساعاتی استفاده شده که، در تمامی ایستگاه‌ها، اندازه‌گیری صورت گرفته است. به منظور ایجاد مدل‌های ساعتی برای تهیه میانگین غلظت آلاینده در هر ساعت، از میانگین آن ساعت و یک ساعت قبل و بعد از آن استفاده شده است تا معرف بهتری از تغییرات آلاینده در ساعت مورد بحث باشد و با توجه به اتخاذ رویکرد ایجاد مدل‌ها در فاصله‌های زمانی ۳ ساعت یک‌بار، تمامی داده‌های شبانه‌روزی به کار روند.

#### ۲-۲-۲- توسعه مدل LUR

برای ساخت مدل، الگوریتم ده‌مرحله‌ای به کار رفته و در این الگوریتم، از شاخص‌های آماری نظیر  $R^2$  و ضریب پیرسون استفاده شده است.

به منظور ارزیابی و اعتبارسنجی روش‌های آماری، پارامترهای ارزیابی متعددی نظیر رگرسیون خطی وجود دارند. در تحقیقات متعددی، ضریب تعیین ( $R^2$ )

در این رابطه، NDVI بیانگر شاخص پوشش گیاهی و  $\rho_{NIR}$  بازتابندگی سطح باند مادون قرمز نزدیک و  $\rho_{RED}$  بازتابندگی سطح باند قرمز است.

همچنین، راه‌های شهر تهران در پنج زیرگروه بزرگراه، شریانی درجه یک، شریانی درجه دو، دسترسی محله‌ای اصلی و فرعی و تمامی راه‌ها تقسیم‌بندی شده است. این داده‌ها را شهرداری تهران، در سال ۱۳۹۰، تهیه کرده است. به منظور بررسی تأثیرگذاری خطوط اتوبوس‌های تندرو نیز، لایه خطوط عبورومرور این اتوبوس‌ها به لایه‌های موجود افزوده شده است.

برای محاسبه تراکم لایه‌های GIS، حریم‌هایی به شعاع ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ متر، اطراف هر ایستگاه در نظر گرفته شده و در نرم‌افزار ArcGIS، تراکم موجود در هر شعاع محاسبه شده است.

#### ۲-۱-۳- محاسبه متغیرهای فاصله‌مینا

نزدیک‌ترین فاصله اقلیدسی به راه‌های هر زیرگروه در شبکه راه‌ها، ترمینال‌های شهری و برون‌شهری و نیز، خطوط عبورومرور اتوبوس‌های تندرو در نرم‌افزار ArcGIS محاسبه شده و به صورت پارامترهای فاصله‌مینا در این پژوهش، در نظر گرفته شده‌اند.

#### ۲-۱-۴- موقعیت مکانی و ارتفاع

دو پارامتر ارتفاع و مختصات جغرافیایی برای هر مکان از جمله پارامترهایی شمرده می‌شوند که با هدف بررسی تأثیرات جغرافیای طبیعی در تغییرات آلودگی استفاده می‌شوند. ارتفاع یکی از پارامترهای محیطی است که، با توجه به شکل‌گیری پدیده وارونگی دمایی در کلان‌شهرها، در میزان تأثیر آلاینده‌های هوا در افراد نقش مهمی دارد. در این تحقیق، مدل رقومی سطح زمین (DSM) برای ایجاد سطح پیوسته ارتفاع به کار رفته که با استفاده از داده‌های سنجنده ALOS و سازمان فضایی ژاپن تهیه شده و دارای قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و دقت ارتفاعی ۷ متر است.

جدول ۱. مجموعه پارامترهای مورد استفاده در مدل سازی

شماره	پارامترهای پیش بینی کننده	جهت تأثیرگذاری	کلاس پارامترها
۱	مسکونی	+	لايه‌های GIS (در شعاع‌های ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰ متر)
۲	صنعتی	+	
۳	تجاری و اداری	+	
۴	فضای سبز	-	
۵	حمل و نقل	+	
۶	نظامی	-	
۷	کشاورزی	-	
۸	تأسیساتی	+	
۹	خدماتی	نامعین	
۱۰	آموزشی	نامعین	
۱۱	درمانی	نامعین	
۱۲	فرهنگی	نامعین	
۱۳	مذهبی	نامعین	
۱۴	ورزشی	-	
۱۵	اداری	+	
۱۶	پارکینگ‌ها	+	
۱۷	هتل‌ها و اماکن پذیرایی	نامعین	
۱۸	پوشش گیاهی	-	
۱۹	ترمینال‌های اتوبوس‌رانی درون و برون شهری	+	
۲۰	بزرگراه‌ها	+	
۲۱	راه شریانی درجه یک	+	
۲۲	راه شریانی درجه دو	+	
۲۳	راه دسترسی محلی اصلی و فرعی	+	
۲۴	کلیه راه‌ها	+	
۲۵	نزدیک‌ترین بزرگراه	-	پارامترهای فاصله مینا
۲۶	نزدیک‌ترین راه شریانی درجه یک	-	
۲۷	نزدیک‌ترین راه شریانی درجه دو	-	
۲۸	نزدیک‌ترین راه دسترسی محلی اصلی و فرعی	-	
۲۹	نزدیک‌ترین فاصله به کلیه راه‌ها	-	
۳۰	نزدیک‌ترین ترمینال اتوبوس‌رانی درون و برون شهری	-	
۳۱	ارتفاع	نامعین	پارامترهای جغرافیایی طبیعی
۳۲	مختصات x	نامعین	
۳۳	مختصات y	نامعین	

برای ارزیابی مدل‌های LUR استفاده شده است.  $R^2$  از رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

رابطه (۲)

استفاده شده است تا مدل‌های LUR ارزیابی شوند (Briggs et al., 1997; Hoek et al., 2008; Marshall et al., 2008). در این پژوهش نیز، از این شاخص آماری

داشته باشند؛

۹. خارج کردن پارامترهایی که کمتر از ۵٪ به بهبود  $R^2$  مدل کمک می‌کنند، به‌منظور جلوگیری از کاهش درجه آزادی؛

۱۰. ارزیابی مدل‌ها، با استفاده از روش LOOCV. در صورتی که  $R^2$  به‌دست‌آمده از این روش کمتر از ۳۰٪ باشد، مدل از روند محاسبات حذف و دوباره از مرحله اول آغاز می‌شود؛ به‌گونه‌ای که پارامترهای بااهمیت بعدی در تشکیل مدل ایفای نقش کنند. در نهایت، خروجی این اعمال در قالب مدل رگرسیون خطی چندمتغیره و طبق رابطه (۳) بیان می‌شود.

$$y_i = \alpha + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_n x_{ni} + \varepsilon \quad \text{رابطه (۳)}$$

$y_i$  میانگین غلظت آلاینده CO در مکان  $i$ ،  $x_i$  متغیر پیش‌بینی‌کننده در مکان  $i$ ،  $\alpha$  عرض از مبدأ،  $\beta$  ضریب هر متغیر پیش‌بینی‌کننده در مدل و  $\varepsilon$  عبارت باقی‌مانده است. در این تحقیق، ابتدا مدل LUR در فصل تابستان ایجاد شده، سپس مدل‌های ساعتی تشکیل شده و مدل‌های LUR برای ساعت‌های ۱۲ شب، ۳ بامداد، ۶ صبح، ۹ صبح، ۱۲ ظهر، ۳ بعدازظهر، ۶ عصر و ۹ شب در فصل تابستان، ایجاد شده است.

### ۲-۲-۳- تولید نقشه‌ها

پس از ایجاد مدل‌های نهایی LUR، برای نمایش بصری غلظت آلودگی به‌صورت پیوسته در سطح کلان‌شهر تهران، نقشه‌های پیش‌بینی غلظت آلاینده CO تولید شدند. بدین‌منظور، ابتدا در نرم‌افزار ArcGIS، پارامترهای کاربری اراضی به‌دست‌آمده در تشکیل هر مدل به فرمت Tiff در شبکه‌های  $30 \times 30$  متر تبدیل و خروجی گرفته شده است. سپس، با واردکردن این خروجی‌ها در نرم‌افزار MATLAB، مقدار غلظت آلاینده در هر یک از شبکه‌ها محاسبه شده است. به‌منظور قرارگرفتن غلظت‌های پیش‌بینی‌شده در بازه‌ای منطقی، مطابق فرضیات آمینی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۴)، در این پژوهش نیز تمامی غلظت‌های پیش‌بینی‌شده‌ای که از ۱۲۰٪ بالاترین غلظت اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه‌ها

که  $n$  تعداد مشاهدات،  $x_i$  مقدار غلظت اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه  $i$ ،  $\hat{x}_i$  مقدار غلظت پیش‌بینی‌شده در ایستگاه  $i$  و  $\bar{x}$  میانگین مقادیر غلظت اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه  $i$  است.

برای محاسبه ضریب همبستگی بین دو یا چند جامعه آماری، روش‌های انتخاب طبق ویژگی‌های کمی و کیفی آن‌ها مشخص می‌شود. چنانچه بتوان افراد جامعه را اندازه‌گیری کرد یا، به‌عبارت دیگر، مقادیری کمی داشته باشند، می‌شود روش پیرسون را به‌کار گرفت. اگر ویژگی‌های افراد دو جامعه را نتوان اندازه‌گیری کرد، می‌شود به آن‌ها رتبه اختصاص داد و یا، براساس ارزش، آن‌ها را رتبه‌بندی و سپس، برای تعیین ضریب همبستگی، از روش‌های کندال و اسپیرمن و دیگر موارد بهره برد. در این پژوهش، با توجه به ویژگی‌های داده‌ها، از همبستگی پیرسون استفاده شده است.

الگوریتم بیان‌شده برای ساخت مدل LUR به شرح زیر است:

۱. انتخاب پارامترهایی که جهت تأثیرگذاری آن‌ها، از نظر منطقی، با جهت تأثیرگذاری‌ای که از همبستگی پیرسون به‌دست آمده است، یکسان باشد؛  
۲. انتخاب پارامترهایی که دارای  $p\text{-value} < 0.05$  در همبستگی پیرسون‌اند؛

۳. مشخص کردن یک پارامتر از هر گروه که بیشترین ضریب همبستگی را با آلاینده دارد؛

۴. بررسی همبستگی میان پارامتر انتخابی، که بیشترین ضریب همبستگی پیرسون با آلاینده را در گروه خود داراست، با پارامترهای همان گروه و حذف پارامترهایی که، با پارامتر انتخابی، بیشتر از ۶۰٪ همبستگی داشته باشند؛

۵. واردکردن پارامترها در رگرسیون چندمتغیره؛

۶. حذف پارامترهایی که، پس از ورود به رگرسیون، جهت تأثیرگذاری‌شان تغییر می‌کند؛

۷. حذف پارامتری که دارای بیشترین  $p\text{-value}$ ، بزرگ‌تر از ۰.۰۵ در رگرسیون باشد؛

۸. تکرار مراحل ۶ و ۷، تا تمامی پارامترها  $p\text{-value}$  کوچک‌تر از ۰.۰۵ و جهت تأثیرگذاری صحیحی

و فرعی ۲۰۰۰ متر سهمی‌اند و مدل دارای  $R^2 = 0.7898$  است. این نتایج از دقت مطلوب مدل کلی LUR و کارایی این مدل در پیش‌بینی آلاینده CO حکایت دارد. نتایج مدل‌های ساعتی نیز، برای مقدار  $R^2$  در ساعت‌های ۱۲ شب، ۳ بامداد، ۶ صبح، ۹ صبح، ۱۲ ظهر، ۳ بعدازظهر، ۶ عصر و ۹ شب در فصل تابستان، به ترتیب، برابر است با ۰.۹۲۵۷، ۰.۷۷۶۸، ۰.۸۶۶۱، ۰.۷۵۰۶، ۰.۵۱۳۳، ۰.۵۲۴۳، ۰.۶۵۰۶ و ۰.۸۳۷۴. به‌طورکلی و همان‌طور که از مقادیر  $R^2$  مدل‌ها برمی‌آید، هرچه مدل‌ها به ساعات ظهر نزدیک می‌شوند، عملکرد پایین‌تری در برابر ساعات شبانه‌روزی دارند.

به‌منظور ارزیابی دقیق‌تر مدل‌ها، پارامترهای تشکیل‌دهنده مدل‌ها بررسی شدند. پارامترهای به‌کاررفته در این مدل‌ها عبارت‌اند از: مراکز تجاری و اداری، مسکونی، فرهنگی، پارکینگ، ورزشی، راه‌های شربانی درجه یک و راه‌های دسترسی محلی، اداری، درمانی، حمل‌ونقل و فضای سبز.

بیشتر، یا از ۶۰٪ پایین‌ترین غلظت اندازه‌گیری شده در آن‌ها کمتر بودند، به حدود ذکر شده تبدیل شده‌اند. سپس، در نرم‌افزار ArcGIS، نقشه‌های مورد نظر تولید شده‌اند. پس از ایجاد مدل‌های LUR در ساعت‌های متفاوت شبانه‌روز، پارامترهای مؤثر در ایجاد این مدل‌ها، به‌منزله پارامترهایی با بیشترین تأثیرگذاری، انتخاب شدند و برای هر ساعت و پارامتر مورد بررسی، مدل‌سازی رگرسیونی انجام شده است. سپس  $R^2$  این روابط، به‌صورت نمودار ستونی برای هر یک از پارامترها در این ساعات، ترسیم شده است و در بخش ۳، نمودارهای حاصل نمایش داده شده و بررسی شده‌اند.

### ۳- نتایج و بحث

نتایج مدل‌های ساعتی ایجادشده را در جدول‌های ۲ و ۳ و مدل کلی تابستان را در جدول ۴ می‌توان مشاهده کرد. در تشکیل مدل LUR کلی، پارامترهای اماکن تجاری و اداری ۸۰۰ متر، پوشش گیاهی ۲۰۰۰ متر، اماکن ورزشی ۴۰۰ متر و راه‌های دسترسی محلی اصلی

جدول ۲. مدل‌های LUR آلاینده CO مربوط به ساعت‌های ۶ صبح، ۹ صبح، ۱۲ ظهر و ۳ بعدازظهر؛ تابستان ۱۳۹۶

پارامترها	ساعت ۶ صبح			ساعت ۹ صبح			ساعت ۱۲ ظهر			ساعت ۳ ظهر		
	P-Value	Coefficient	R <sup>2</sup>	P-Value	Coefficient	R <sup>2</sup>	P-Value	Coefficient	R <sup>2</sup>	P-Value	Coefficient	R <sup>2</sup>
عرض از مبدأ	-	۱/۱۷	۰/۰۰۰	-	۱/۱۵	۰/۰۰۰	-	۰/۱۲	۰/۰۱	-	۰/۱۰	۰/۰۳
تجاری و اداری	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۸۰۰ متر	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
تجاری و اداری	-	-	-	۰/۵۲	۱۸/۱۹	۰/۰۰۰	-	-	-	-	-	-
۱۰۰۰ متر	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
تجاری و اداری	۰/۴۲	۲۳/۳۱	۰/۰۰۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۲۰۰۰ متر	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
فرهنگی	۰/۲۸	۷۱/۲۴	۰/۰۲	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۱۵۰۰ متر	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
پارکینگ	-	-	-	۰/۲۹	۲۶/۴۹	۰/۰۰۵	۰/۱۴	۱۲/۲۲	۰/۰۲	۰/۱۴	۱۲/۳۹	۰/۰۲
۴۰۰ متر	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
پارکینگ	۰/۰۲	۶۲/۰۷	۰/۱۹	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۱۵۰۰ متر	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
حمل‌ونقل	۰/۲۵	۵/۷۱	۰/۰۲	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۱۰۰۰ متر	-	-	-	-	-	-	۰/۱۹	۲/۵۷	۰/۱۰	۰/۱۵	۲/۳۴	۰/۰۳
اداری	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۱۰۰۰ متر	-	-	-	-	-	-	۰/۱۵	-۵/۸۳	۰/۰۳	۰/۲	۶/۹۹	۰/۰۱
درمانی	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۱۵۰۰ متر	-	-	-	۰/۲۷	۱۸۴/۵۷	۰/۰۱	-	-	-	-	-	-
راه‌های شربانی	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
درجه یک	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۲۰۰۰ متر	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$R^2$	۰/۸۶۶۱			۰/۷۵۰۶			۰/۵۱۳۳			۰/۵۲۴۳		
$R^2_{LOOCV}$	۰/۷۳۸۳			۰/۶۰۶۵			۰/۳۵۴۸			۰/۳۰۹۷		

1. Amini



بررسی تغییرپذیری ساعتی رابطه بین پارامترهای کاربری اراضی و آلاینده CO ...

جدول ۳. مدل های LUR آلاینده CO مربوط به ساعت های ۶ عصر، ۹ شب، ۱۲ شب و ۳ بامداد؛ تابستان ۱۳۹۶

پارامترها	ساعت ۶ عصر			ساعت ۹ شب			ساعت ۱۲ شب			ساعت ۳ بامداد		
	P-Value	Coefficient	R <sup>2</sup>	P-Value	Coefficient	R <sup>2</sup>	P-Value	Coefficient	R <sup>2</sup>	P-Value	Coefficient	R <sup>2</sup>
عرض از مبدأ	-	۱/۰۲	۰۰۰/۰	-	۹۲/۱	۰۰۰/۰	-	۰۱/۲۱	۰۰۰/۰	-	۳۱/۰	۰۵/۰
تجاری و اداری - ۱۰۰۰ متر	۰/۰۱	۱۰/۶۲	۰/۳۲	--	-	-	--	-	-	۰/۵۰	۱۶/۴۷	۰/۰۲
تجاری و اداری - ۲۰۰۰ متر	--	-	-	۰/۳۵	۱۷/۱۱	۰/۰۰۶	۰/۵۲	۲/۷۴	۰/۰۰۰	--	-	-
اداری - ۱۰۰۰ متر	--	-	-	--	-	-	--	-	-	--	-	-
درمائی - ۱۵۰۰ متر	۰/۰۰۷	-۲۰/۵۴	۰/۱۴	--	-	-	--	-	-	--	-	-
مسکونی - ۲۰۰۰ متر	۰/۰۱	۱/۹۹	۰/۲۳	--	-	-	--	-	-	--	-	-
فضای سبز - ۲۰۰۰ متر	--	-	-	۰/۲۱	-۱۸/۸۷	۰/۰۰۲	--	-	-	--	-	-
ورزشی - ۴۰۰ متر	--	-	-	--	-	-	۰/۳۶	-۵/۴۷	۰/۰۰۰	۰/۲۳	۳۰/۹۹	۰/۰۲
راه های دسترسی محلی اصلی و فرعی - ۲۰۰۰ متر	--	-	-	۰/۵۷	۱۹۶/۰۱	۰/۰۰۰	۰/۵۵	۲۴/۷۷	۰/۰۰۰	۰/۵۴	۱۳۴/۵۰	۰/۰۳
R <sup>2</sup>		۰/۶۵۰۶			۰/۸۳۷۴			۰/۹۲۵۷			۰/۷۷۶۸	
R <sup>2</sup> _LOOCV		۰/۳۲۸۳			۰/۷۴۰۴			۰/۸۱۷۴			۰/۶۶۹۸	

جدول ۴. مدل LUR کلی برای آلاینده CO در تابستان ۱۳۹۶

پارامترها	مدل LUR کلی فصل تابستان		
	P-Value	Coefficient	R <sup>2</sup>
عرض از مبدأ	۰/۰۰۰	۰/۲۴	-
تجاری و اداری - ۸۰۰ متر	۰/۰۲	۱/۵۲	۴۰/۲۰
پوشش گیاهی - ۲۰۰۰ متر	۰/۰۵	-۰/۸۲	۱۸/۳۶
راه های دسترسی محلی اصلی و فرعی - ۲۰۰۰ متر	۰/۰۱	۱۳/۴۵	۵۰/۰۲
ورزشی - ۴۰۰ متر	۰/۰۱	-۴/۱۱	۲۴/۸۲
R <sup>2</sup>		۰/۷۸۹۸	
R <sup>2</sup> _LOOCV		۰/۶۵۸۶	

شعاع های گوناگون، نمودارهای مجزایی ترسیم نشده بلکه صرفاً، با در نظر گرفتن شعاعی از پارامتر، که بیشترین تأثیر را در آلاینده CO در ساعات مورد تحقیق داشته، یازده نمودار شکل ۲ تشکیل شده است. با بررسی این نمودارها، مشخص شده است که هفت پارامتر مراکز تجاری و اداری، مسکونی، فرهنگی، پارکینگ، ورزشی، راه های شریانی درجه یک و راه های دسترسی محلی نقش مؤثری را در تغییرات آلاینده CO ایفا می کنند. با توجه به شکل ۳ که میانگین غلظت این آلاینده، برای فصل تابستان، در طول شبانه روز

با بررسی این مدل ها، می توان به تأثیر پارامترها طی ساعات متفاوت شبانه روز در غلظت آلاینده CO پی برد. بدین منظور، رابطه هریک از پارامترهای شرکت کننده در مدل ها، با ساعات متفاوت شبانه روز، در رگرسیونی جداگانه ایجاد و در قالب نمودارهای ستونی، تعیین و نمایش داده شده است (شکل ۲). در مجموع، چهارده پارامتر کاربری اراضی و راه، در تمامی مدل های LUR ساعتی، نقش داشته اند. در این تحقیق، به منظور تعیین اهمیت نقش هریک از این پارامترها در آلودگی، برای پارامترهای یکسان با

با بررسی نمودار شکل ۳، مشاهده می‌شود میانگین غلظت آلاینده CO دو نقطهٔ اوج، در ساعات ۶ صبح و ۹ شب، دارد. با واکاوی روابط پارامترهای مراکز حمل‌ونقل و فضای سبز در نمودار شکل ۶، مشخص می‌شود که این دو پارامتر نیز، در این ساعات، بیشترین تأثیر را در این آلاینده دارند. این رویداد بیانگر نقش پررنگ پارامترهای مراکز حمل‌ونقل و فضای سبز، به ترتیب، در ایجاد و کاهش این آلاینده در ساعات مورد بحث است. همچنین، رفتار رابطهٔ رگرسیون این دو پارامتر با آلاینده CO و تغییرات غلظت این آلاینده، مطابق شکل ۶، منطبق با یکدیگر است که نشان می‌دهد این دو پارامتر در آلاینده مورد نظر تأثیر بسیار دارند.

در ادامه، پارامترهای تشکیل‌دهنده در هر مدل را بررسی خواهیم کرد. در مدل مربوط به ساعت ۶ صبح، پارامترهای کاربری تجاری و اداری، مراکز فرهنگی، پارکینگ‌ها و مراکز حمل‌ونقل به کار رفتند که، به علت شروع روز کاری در این ساعت، می‌توان گفت این پارامترها از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در ایجاد آلاینده CO محسوب می‌شوند و اولین سهم ایجاد آلودگی را، در طول روز، پدید می‌آورند.

پارامترهای مدل ساعت ۹ صبح مراکز تجاری و اداری، پارکینگ‌ها و راه‌های شریانی درجهٔ اول‌اند که حضور پارامتر راه‌های شریانی درجهٔ اول در این مدل تأثیرات ترافیک صبحگاهی را به‌وضوح بیان می‌کند.

در تحقیقی که حسن‌پور متی کلایی و همکاران (۲۰۱۷) در مورد شهر تهران انجام داده‌اند، در حضور دیگر پارامترها از جمله پارامترهای هواشناسی، حجم ترافیک و کاربری اراضی مهم‌ترین عوامل در تشکیل مدل ساعتی LUR بوده‌اند. در بین پارامترهای مربوط به حجم ترافیک، پارامتر اوج ترافیک صبحگاهی بالاترین ضریب همبستگی را با این آلاینده به خود اختصاص داده است. در تحقیق حاضر نیز، به‌وضوح، نقش پارامتر اوج ترافیک صبحگاهی را در مدل ساعت ۹ صبح، با حضور

را نمایش می‌دهد، مشاهده می‌شود که آلاینده مورد نظر، طی ظهر، کمترین مقدار را داراست. به‌منظور مقایسهٔ رفتار نمودارهای شکل ۲ با تغییر غلظت این آلاینده در طول شبانه‌روز، نمودارهای شکل ۲ و ۳، پس از نرمال‌سازی، در بازهٔ ۰ تا ۱ قرار گرفته و در کنار هم، در نمودارهای مربوط به شکل‌های ۴، ۵ و ۶ نمایش داده شده‌اند.

با تحلیل نمودار شکل ۴ مشخص می‌شود که، به‌طور کلی، این پارامترها در ساعات بامدادی، بیشترین تأثیر را در آلاینده CO دارند. همان‌طور که از نمودار ۳ نیز مشخص است، ساعات بامدادی دارای غلظت بالایی در مقایسه با بیشتر ساعات دیگرند؛ بنابراین، این پارامترها بیشترین نقش را در ایجاد تغییرات اصلی ایفا می‌کنند. هنگام ظهر، به‌دلیل پایین‌بودن غلظت آلاینده و تغییرپذیری اندک، رابطهٔ ضعیفی با آلاینده مورد نظر دارند. این نکته رابطهٔ پنهان آلاینده CO را با پارامترهای کاربری اراضی بیان می‌کند که، به‌رغم تردد و استفاده کمتر از این کاربری‌ها، نقش به‌سزایی در ایجاد آلودگی ایفا می‌کنند. از دلایل این رویداد، همانند تحقیقی که چن<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۶) در مورد شهر پکن انجام دادند، اثرگذاری چندبرابری آلاینده‌ها طی شب است؛ می‌توان گفت این هفت پارامتر مناطقی‌اند که محل اصلی عبور و مرور ماشین‌های سنگین و تردد ماشین‌های سواری محسوب می‌شوند. به‌علاوه، می‌توان به قابلیت تجمیع‌پذیری آلاینده CO اشاره کرد. بیشترین میانگین غلظت این آلاینده در ساعت ۹ شب است که، طی ساعات آتی، می‌تواند باعث ایجاد رابطه با پارامترهای مذکور شود.

در تمامی این هفت پارامتر، سیر صعودی رابطه با آلاینده از ساعت ۶ عصر به ۹ شب مشاهده می‌شود که بیانگر افزایش تردد خودروها در سطح شهر و افزایش استفاده از کاربری‌های مذکور است. در عوض، پارامترهای اداری و درمانی با نشان‌دادن رفتاری مخالف با این پارامترها (نمودار شکل‌های ۳ و ۵)، در طول روز، بیش از دیگر زمان‌ها، با آلاینده CO ارتباط دارند. به‌دلیل پایین‌بودن غلظت و تغییرات اندک این آلاینده در طول روز، شاهد رابطهٔ این دو پارامتر با تغییرات جزئی آلاینده CO هستیم.

1. Chen

سطح شهر اشاره کرد که رابطه‌ای منفی با آلاینده CO نشان داده است.

در تحقیق حاضر، مهم‌ترین پارامتر مؤثر در ایجاد آلاینده CO، در مدل LUR کلی، پارامتر راه‌های دسترسی محلی و فرعی است. پارامتر پوشش گیاهی نیز از عوامل مؤثر در کاهش این آلاینده معرفی شده است. در تحقیق متکان و همکاران (۱۳۸۸)، مهم‌ترین عامل ایجاد این آلاینده حجم ترافیک عنوان شده است. در تحقیق محمدی و همکاران (۱۳۹۷) نیز، مهم‌ترین عامل تأثیرگذار معابر شریانی درجه اول و مهم‌ترین عامل کاهش غلظت آلاینده CO کاربری‌های فضای سبز و باز معرفی شده‌اند که تشابه نتایج تحقیقات پیشین و این تحقیق را می‌رساند. در این پژوهش، اهداف کلی دیگر تحقیقات متکی بر مدل LUR مطرح می‌شوند که پارامترهای تأثیرگذار و پیش‌بینی مکانی غلظت آلاینده را، در مقیاس فصلی CO، تعیین کرده‌اند. همچنین، با ساخت مدل‌های LUR ساعتی، پارامترهای مؤثر در ساعت‌های متفاوت شبانه‌روز بررسی می‌شوند. بدین ترتیب، می‌توان میزان غلظت آلاینده CO در ساعات متفاوت را، با دقت بالا، تخمین زد. نمایش بصری پیش‌بینی مکانی- زمانی آلاینده CO در فصل تابستان در شکل‌های ۷ و ۸ نمایش داده شده است. به‌منظور قرارگرفتن تمامی نقشه‌ها در یک بازه برای فراهم‌آمدن توانایی قیاس نقشه‌ها با یکدیگر، مقادیر کمینه و بیشینه غلظت آلاینده موجود در تمامی نقشه‌ها، به‌منزله حدود بازه غلظت آلاینده CO در هر نقشه، در نظر گرفته شده است.

#### ۴- ارزیابی مدل‌ها

مدل‌های LUR با استفاده از روش حذف یکی در هر بار<sup>۱</sup> ارزیابی شده است. برای این منظور، این مدل‌ها هر بار برای N-1 ایستگاه توسعه یافته‌اند (N تعداد کل ایستگاه‌های سنجش آلاینده است).

پارامتر راه‌های شریانی درجه اول در مدل، می‌توان مشاهده کرد که بیانگر عملکرد مناسب مدل‌های LUR ساعتی است.

در مدل ساعت ۱۲ ظهر و ۳ بعدازظهر، پارامترهای یکسان مراکز درمانی، پارکینگ‌ها و مراکز اداری سهم داشته‌اند. بنا به گرمای بالای ظهر در فصل تابستان و به دلیل کاهش تردها در سطح شهر، مراکز مذکور دارای بیشترین تردها در محدوده‌اند. از دلایل پایین‌تر بودن عملکرد این مدل‌ها در قیاس با مدل‌های ساعت‌های دیگر، می‌توان به پایین بودن غلظت آلاینده CO در این زمان‌ها اشاره کرد که منجر به رابطه ضعیف با پارامترهایی می‌شود که در ایجاد این آلاینده تأثیر فراوانی دارند.

مدل ساعت ۶ عصر از پارامترهای مراکز تجاری و اداری، درمانی و مسکونی تشکیل شده است. نکته مهم رابطه مدل با مناطق مسکونی است که، از سویی، بیانگر تأثیر تراکم جمعیت و فعالیت‌ها در این ساعت است و از دیگری، با توجه به یکی از منابع تولید آلاینده CO که دود (حاصل از پخت‌وپز) خارج شده از دودکش منازل است، می‌تواند دلیل اضافه‌شدن این پارامتر در مدل ساعت ۶ عصر باشد.

در مدل ساعت ۹ شب نیز، پارامترهای تجاری و اداری، فضای سبز و راه‌های مسکونی در مدل شرکت کرده‌اند. در این ساعت، فضای سبز بیشترین تأثیر را در جلوگیری از ایجاد آلاینده CO دارد و با توجه به تحقیق لی‌یو و شن<sup>۱</sup> (۲۰۱۴) نیز، طی بازه زمانی شبانه، برخلاف بازه زمانی روزانه، فضای سبز در آلودگی تأثیر منفی به‌سزایی دارد.

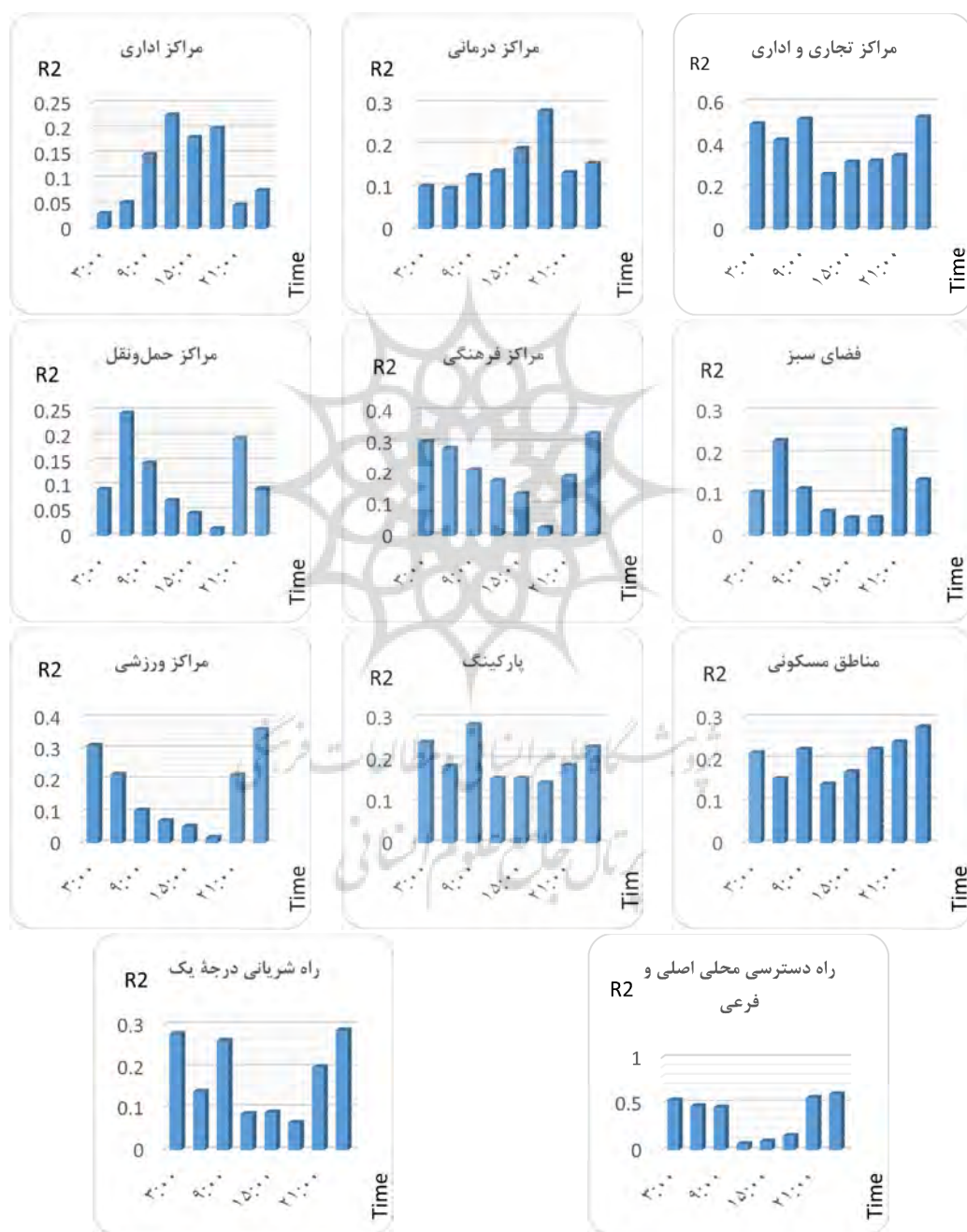
مدل‌های ساعتی ۱۲ شب و ۳ بامداد از پارامترهای مشابهی تشکیل شده‌اند که می‌توان این امر را نتیجه کاهش مشابه فعالیت کاربری‌ها در این ساعات و شرایط مشابه جوئی تلقی کرد. راه‌های مسکونی، مناطق ورزشی و مراکز تجاری و اداری پارامترهای تشکیل‌دهنده این مدل‌ها شمرده می‌شوند. از دلایل اشاره به مناطق ورزشی در میان این پارامترها، می‌توان به فضای سبز موجود در این مناطق و موقعیت قرارگیری آن‌ها در

1. Liu and Shen

2. Leave-One-Out (LOO) Cross Validation

که حذف شده است پیش‌بینی می‌شود. در نهایت  $R^2$  ارزیابی طبق روش حذف یکی در هر بار، با مقادیر پیش‌بینی غلظت آلاینده حاصل از حذف هر باره یک ایستگاه در تشکیل N مدل، محاسبه شده است.

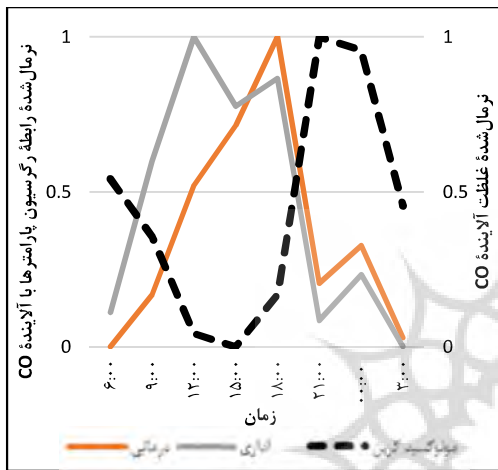
بدین منظور در هر مرحله، پس از خارج کردن یک ایستگاه، بار دیگر و با استفاده از همان پارامترهایی که در تشکیل مدل نقش داشته‌اند، برای N-1 ایستگاه دیگر مدل رگرسیون تشکیل شده است. با استفاده از مدل ایجادشده، مقدار غلظت آلاینده درمورد ایستگاهی



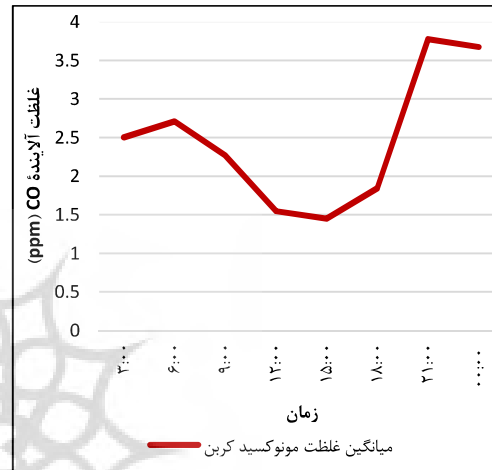
شکل ۲. نمودارهای رابطه (رگرسیون) یازده پارامتر مورد بررسی با آلاینده CO در ساعات مختلف شبانه‌روز

به ترتیب، ۰.۷۳۸۳، ۰.۶۰۶۵، ۰.۳۵۴۸، ۰.۳۰۹۷، ۰.۳۲۸۳، ۰.۷۴۰۴، ۰.۸۱۷۴ و ۰.۶۶۹۸ به دست آمد. مدل‌های ساعتی مربوط به ساعات ظهر دارای کمترین  $R^2$  ارزیابی در بین مدل‌های مذکورند.

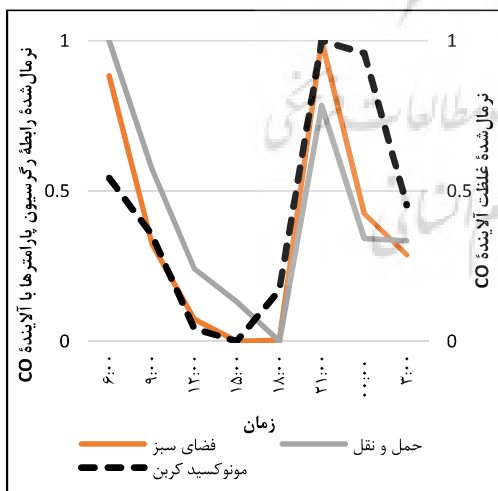
این ارزیابی، برای  $R^2$  مدل LUR کلی، ۰.۶۵۸۶ را نتیجه داد که، در بین مدل‌های مشابه اجرا شده، از عملکرد مناسبی برخوردار است. مقادیر  $R^2$  در مورد مدل‌های ساعتی در ساعت ۶ صبح، ۹ صبح، ۱۲ ظهر، ۳ بعدازظهر، ۶ عصر، ۹ شب، ۱۲ شب و ۳ بامداد،



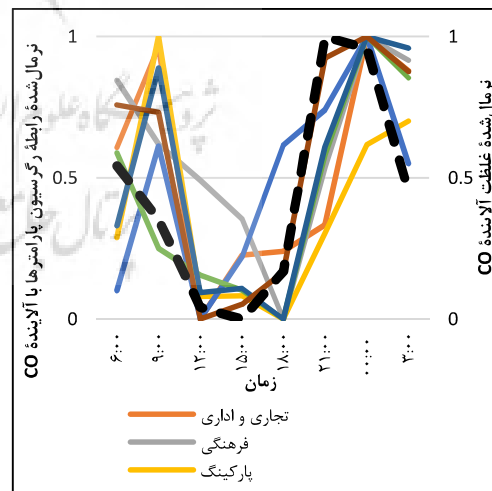
شکل ۵. مقایسه نمودارهای نرمال‌شده رابطه رگرسیون پارامترهای اداری و درمانی با آلاینده CO و نرمال‌شده میانگین غلظت این آلاینده



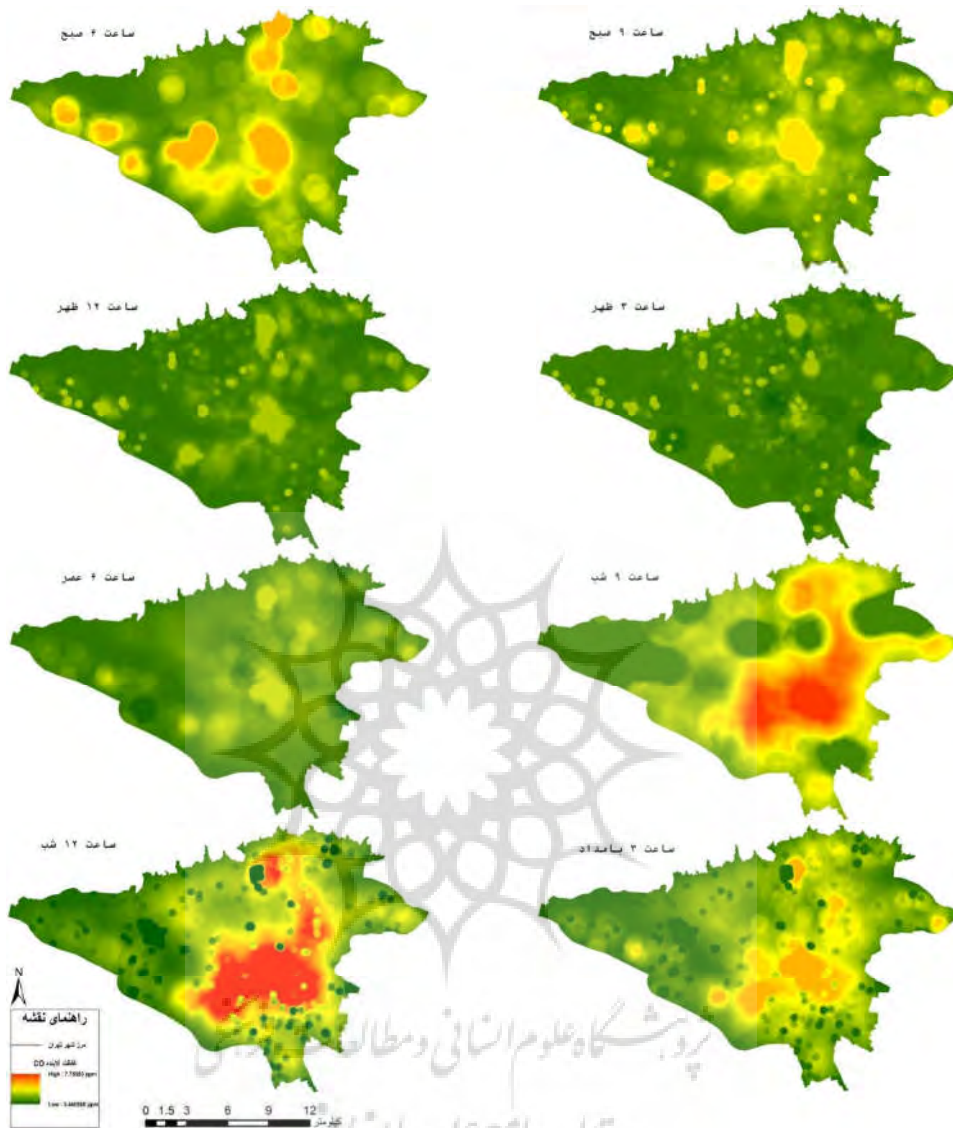
شکل ۳. میانگین غلظت آلاینده CO



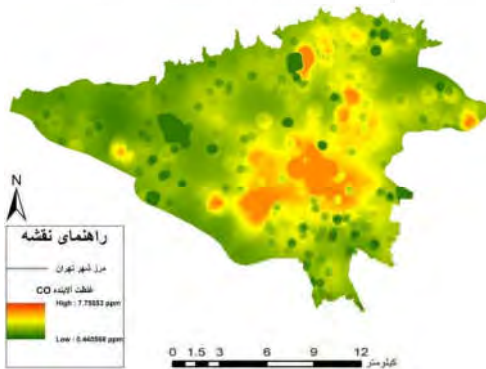
شکل ۶. مقایسه نمودارهای نرمال‌شده رابطه رگرسیون پارامترهای حمل‌ونقل و فضای سبز با آلاینده CO و نرمال‌شده میانگین غلظت آلاینده CO



شکل ۴. مقایسه نمودارهای نرمال‌شده رابطه رگرسیون هفت پارامتر متفاوت با آلاینده CO و نرمال‌شده میانگین غلظت این آلاینده



شکل ۷. توزیع مکانی غلظت آلاینده CO در ساعاتی ۶ صبح، ۹ صبح، ۱۲ ظهر، ۳ بعدازظهر، ۶ عصر، ۹ شب، ۱۲ شب و ۳ بامداد در سطح شهر تهران؛ تابستان ۱۳۹۶



شکل ۸. توزیع مکانی غلظت آلاینده CO مدل LUR کلی، در تابستان ۱۳۹۶  
سنجش از دور و GIS ایران  
سال دوازدهم = شماره اول = بهار ۱۳۹۹

## ۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، میزان آلاینده CO در ساعات متفاوت شبانه‌روز، طی فصل تابستان، پیش‌بینی شده است. در کل، یک مدل کلی و هشت مدل ساعتی توسعه داده شده و نقشه‌های حاصل از آن‌ها، به‌منظور ایجاد سطوح پیوسته‌ای از مقدار غلظت پیش‌بینی آلاینده CO، تولید شده‌اند.

نتایج حاصل از مدل‌ها بیانگر کارایی بالای مدل کلی و مدل‌های ساعتی فصل تابستان، طی ساعاتی به‌غیر از ساعات ظهر، در تخمین آلاینده CO و رابطه پارامترهای شرکت‌کننده در مدل‌ها با این آلاینده است. در مجموع، دوازده پارامتر در شعاع‌های گوناگون، در مدل‌های کلی و ساعتی، نقش داشته‌اند. به‌نظر می‌رسد هفت پارامتر شامل مراکز تجاری و اداری، مسکونی، فرهنگی، پارکینگ، ورزشی، راه‌های شریانی درجه یک و راه‌های دسترسی محلی، با توجه به اثرگذاری‌شان در ساعت‌های آلوده‌تر، بیشترین رابطه را با آلاینده CO دارند. در ساعات ظهرگاهی، در مقایسه با دیگر زمان‌ها، غلظت و نیز تغییرپذیری آلاینده CO میزان کمتری دارد.

دو پارامتر مراکز درمانی و اداری در مدل‌های ساعات ظهرگاهی موثر بوده‌اند و می‌توان این دو پارامتر را عامل تغییرات جزئی آلاینده CO در طول روز بیان کرد. پارامترهای مراکز حمل‌ونقل و فضای سبز بیشترین تأثیر را در ساعات ۶ صبح و ۹ شب دارند؛ در این ساعات، غلظت آلاینده مورد نظر به بیشترین حد خود در طول روز و شب می‌رسد.

بالاترین  $R^2$  مدل‌های ساعتی به ساعت ۱۲ شب بازمی‌گردد که برابر با ۰.۹۲۵۷ است. پایین‌ترین نیز متعلق به مدل ساعت ۱۲ ظهر، با  $R^2$  برابر با ۰.۵۱۳۳، است. به‌دلیل تفاوت پارامترهای به‌کاررفته در مدل‌هایی که طی ساعات شبانه‌روز تشکیل شده‌اند، مشخص می‌شود تغییرات زمانی نیز، به‌همراه تغییرات مکانی، نقش مؤثری در ساختار مدل‌ها طی ساعات شبانه‌روز ایفا می‌کنند.

در نهایت، نقشه‌های پیش‌بینی آلاینده CO در

بازه‌های زمانی شبانه‌روز تولید شد. این نقشه‌ها کمک می‌کنند اطلاعات مفیدی درباره آلودگی مناطق، طی ساعات شبانه‌روز، به‌دست آید و با کاهش حضور در مناطق و ساعات دارای غلظت زیاد آلاینده CO، از خطرهای بالقوه جلوگیری شود. همچنین، دانش به‌دست آمده از روابط کاربری و آلودگی می‌تواند برای مدیریت کاربری و کنترل تغییرات آن به‌منظور کنترل و مدیریت آلاینده CO کمک کند.

## ۶- منابع

سجادیان، ن.، ۱۳۹۴، پیش‌بینی آلودگی هوای ناشی از حمل‌ونقل شهری کلان‌شهر تهران با بهره‌گیری از تلفیق GIS با مدل LUR و شبکه عصبی مصنوعی، سپهر، دوره ۲۴، شماره ۹۵. متکان، ع.ا.، شکیبیا، ع.، پورعلی، س.ج.، بهارلو، ا.، 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، شماره ۱. محمدی، ا.، قرخلو، م.، زبیری، ک.، پوراحمد، ا.، ۱۳۹۷، استفاده از مدل رگرسیون کاربری اراضی (LUR) برای پیش‌بینی آلاینده‌های NO<sub>2</sub>، CO و PM<sub>10</sub> (مطالعه موردی: شهر تهران)، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دوره ۵۰، شماره ۱.

Adam-Poupart, A., Brand, A., Fournier, M., Jerrett, M. & Smargiassi, A., 2014, **Spatiotemporal Modeling of Ozone Levels in Quebec (Canada): A Comparison of Kriging, Land-use Regression (LUR), and Combined Bayesian Maximum Entropy-LUR Approaches**, Environmental health perspectives, 122(9), P. 970.

- Aguilera, I., Sunyer, J., Fernández-Patier, R., Esteban, R.G., Bomboi, T. & Alvarez-Pedrerol, M., 2007, **Using Land-use Regression Modeling to Estimate Exposure to VOCs in a Cohort of Pregnant Women**, *Epidemiology*, 18(5), PP. S42-S43.
- Amini, H., Schindler, C., Hosseini, V., Yunesian, M. & Künzli, N., 2017, **Land Use Regression Models for Alkylbenzenes in a Middle Eastern Megacity: Tehran Study of Exposure Prediction for Environmental Health Research (Tehran SEPEHR)**, *Environmental science & technology*, 51(15), PP. 8481-8490.
- Amini, H., Taghavi-Shahri, S.M., Henderson, S.B., Naddafi, K., Nabizadeh, R. & Yunesian, M., 2014, **Land Use Regression Models to Estimate the Annual and Seasonal Spatial Variability of Sulfur Dioxide and Particulate Matter in Tehran, Iran**, *Science of the Total Environment*, 488, PP. 343-353.
- Beelen, R., Hoek, G., Vienneau, D., Eeftens, M., Dimakopoulou, K., Pedeli, X., Tsai, M.-Y., Künzli, N., Schikowski, T. & Marcon, A., 2013, **Development of NO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> land Use Regression Models for Estimating Air Pollution Exposure in 36 Study Areas in Europe—the ESCAPE Project**, *Atmospheric environment*, 72, PP. 10-23.
- Briggs, D., 2005, **The Role of GIS: Coping with Space (and Time) in Air Pollution Exposure Assessment**, *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 68(13-14), PP. 1243-1261.
- Briggs, D.J., Collins, S., Elliott, P., Fischer, P., Kingham, S., Lebret, E., Pyl, K., Van Reeuwijk, H., Smallbone, K. & Van Der Veen, A., 1997, **Mapping Urban Air Pollution Using GIS: A Regression-Based Approach**, *International Journal of Geographical Information Science*, 11(7), PP. 699-718.
- Chen, S., Yang, J., Qin, P. & Xu, J., 2016, **Truth Behind Chinese Superstition: Non-linear Effects of Vehicle Traffic on Urban Air Quality in Beijing** (No. EfD DP 16-16).
- Eeftens, M., Beelen, R., de Hoogh, K., Bellander, T., Cesaroni, G., Cirach, M. & Dimakopoulou, K., 2012, **Development of Land Use Regression Models for PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>2.5</sub> Absorbance, PM<sub>10</sub> and PM<sub>coarse</sub> in 20 European Study Areas; Results of the ESCAPE Project**, *Environmental Science & Technology*, 46(20), PP. 11195-11205.
- Gilbert, N.L., Goldberg, M.S., Beckerman, B., Brook, J.R. & Jerrett, M., 2005, **Assessing Spatial Variability of Ambient Nitrogen Dioxide in Montreal, Canada, with a Land-use Regression Model**, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 55(8), PP. 1059-1063.
- Gulliver, J., de Hoogh, K., Hansell, A. & Vienneau, D., 2013, **Development and Back-extrapolation of NO<sub>2</sub> Land Use Regression Models for Historic Exposure Assessment in Great Britain**, *Environmental Science & Technology*, 47(14), PP. 7804-7811.
- Hassanpour Matikolaie, S.A.H., Jamshidi, H. & Samimi, A., 2017, **Characterizing the Effect of Traffic Density on Ambient CO, NO<sub>2</sub>, and PM<sub>2.5</sub> in Tehran, Iran: An Hourly Land-use Regression Model**, *Transportation Letters*, PP. 1-11.
- Hoek, G., Beelen, R., De Hoogh, K., Vienneau, D., Gulliver, J., Fischer, P. & Briggs, D., 2008, **A Review of Land-use Regression Models to Assess Spatial**



- Variation of Outdoor Air Pollution**, Atmospheric Environment, 42(33), PP. 7561-7578.
- Holmes, N.S. & Morawska, L., 2006, **A Review of Dispersion Modelling and its Application to the Dispersion of Particles: An Overview of Different Dispersion Models Available**, Atmospheric Environment, 40(30), PP. 5902-5928.
- Hystad, P., Setton, E., Cervantes, A., Poplawski, K., Deschenes, S., Brauer, M., van Donkelaar, A., Lamsal, L., Martin, R. & Jerrett, M., 2011, **Creating National Air Pollution Models for Population Exposure Assessment in Canada**, Environmental health perspectives, 119(8), PP. 1123.
- Jerrett, M., Arain, A., Kanaroglou, P., Beckerman, B., Potoglou, D., Sahuvaroglu, T., Morrison, J. & Giovis, C., 2005, **A Review and Evaluation of Intraurban Air Pollution Exposure Models**, Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology, 15(2), PP. 185.
- Johnson, M., MacNeill, M., Grgicak-Mannion, A., Nethery, E., Xu, X., Dales, R., Rasmussen, P. & Wheeler, A., 2013, **Development of Temporally Refined Land-use Regression Models Predicting Daily Household-level Air Pollution in a Panel Study of Lung Function among Asthmatic Children**, Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology, 23(3), PP. 259.
- Knowlton, K., Rosenthal, J.E., Hogrefe, C., Lynn, B., Gaffin, S., Goldberg, R. & Kinney, P.L., 2004, **Assessing Ozone-related Health Impacts under a Changing Climate**, Environmental Health Perspectives, 112(15), PP. 1557.
- Liao, D., Peuquet, D.J., Duan, Y., Whitsel, E.A., Dou, J., Smith, R.L. ... & Heiss, G., 2006, **GIS Approaches for the Estimation of Residential-level Ambient PM Concentrations**, Environmental Health Perspectives, 114(9), PP. 1374.
- Liu, H.-L. & Shen, Y.-S., 2014, **The Impact Of Green Space Changes on Air Pollution and Microclimates: A Case Study of the Taipei Metropolitan Area**, Sustainability, 6(12), PP. 8827-8855.
- Marshall, J.D., Nethery, E. & Brauer, M., 2008, **Within-urban Variability in Ambient Air Pollution: Comparison of Estimation Methods**, Atmospheric Environment, 42(6), PP. 1359-1369.
- Ryan, P.H. & LeMasters, G.K., 2007, **A Review of Land-use Regression Models for Characterizing Intraurban Air Pollution Exposure**, Inhalation Toxicology, 19(sup1), PP. 127-133.
- Saraswat, A., Apte, J.S., Kandlikar, M., Brauer, M., Henderson, S.B. & Marshall, J.D., 2013, **Spatiotemporal Land Use Regression Models of Fine, Ultrafine, and Black Carbon Particulate Matter in New Delhi, India**, Environmental Science & Technology, 47(22), PP. 12903-12911.
- Wu, J., Li, J., Peng, J., Li, W., Xu, G. & Dong, C., 2015, **Applying Land Use Regression Model to Estimate Spatial Variation of PM<sub>2.5</sub> in Beijing, China**, Environmental Science and Pollution Research, 22(9), PP. 7045-7061.
- Wu, J., Wilhelm, M., Chung, J. & Ritz, B., 2011, **Comparing Exposure Assessment Methods for Traffic-Related Air Pollution in an Adverse Pregnancy Outcome Study**, Environmental Research, 111(5), PP. 685-692.



نخستین شماره از دور

ایران GIS

سنجش از دور و GIS ایران  
Iranian Remote Sensing & GIS

سال دوازدهم، شماره اول، بهار ۱۳۹۹  
Vol.12, No. 1, Spring 2020

1-18



## Study of Hourly Variability of Association between Land Use Parameters and CO-Pollutant Using LUR Model in Tehran

Vahdat, A.<sup>\*1</sup> and Alimohammadi, A.<sup>2</sup>

1. M.Sc. Student, Dep. of Geographic Information System, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K.N. Toosi University of Technology
2. Prof., Dep. of Geographic Information System, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K.N. Toosi University of Technology

### Abstract

The models of the association between land use and air pollution have wide applications in urban studies, but the land-use role and its different parameters effective on the variability of air pollution concentration in various hours can be used for more accurate Spatio-temporal prediction of pollution. In this study, to make Spatio-temporal prediction of CO pollutants using hourly land-use regression (LUR), the effective parameters on Spatio-temporal variation of this pollutant are investigated during the day and night. The hourly data are collected from 21 air pollution monitoring stations for the summer in Tehran and the predictive parameters including density and distance from different variables such as road network, vegetation, elevation, and different land-use are generated in the geographic information system (GIS). A general model and 8 hourly models are created at 3 am, 6 am, 9 am, 12 noon, 3 pm, 6 pm and 12 midnight. The coefficient of determination ( $R^2$ ) of the created model is equal to 0.7898, and it shows that the model has an outstanding performance. By analyzing the generated hourly models, because of the differences in the parameters used in these models, it is denoted that both temporal variability and spatial variability play effective roles in forming the models during the day and night. The coefficient of determination ( $R^2$ ) of the hourly models ranges from 0.51 to 0.92 in which the lowest one and the highest one are related to the noon hours' models and the nocturnal hours' models, respectively. The parameters including local access roads and official/commercial areas have the most effect on increasing CO pollutants during the day and night, and the parameters including green space, sports, and medical centers lead to the locations with lower CO pollutants concentration.

**Keywords:** Land-use Regression, Spatio-temporal prediction, CO Pollutant.

\* Correspondence Address: Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K.N. Toosi University of Technology, No. 1346, Valiasr Street, Mirdamad Cross, Tehran, Iran, Postal Code: 15433-19967. Tel: +98 21 88877071-2, +98 9360847755. Email: Amir21.vahdat@yahoo.com