فصلنامه علوم محیطی، دوره شانزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷

۲۰۳-۲۱۶

کاربرد روش رگرسیون کاربری اراضی (LUR) در مدل‌سازی فضایی آلاینده‌های هوا در شهر اصفهان

مریم شریفی سده و مژگان احمدی ندوشن*

گروه محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۰۷

شریفی سده، م. و م. احمدی ندوشن. ۱۳۹۷. کاربرد روش رگرسیون کاربری اراضی (LUR) در مدل‌سازی فضایی آلاینده‌های هوا در شهر اصفهان. فصلنامه علوم محیطی. ۱۶ (۲): ۲۱۶-۲۰۳.

سابقه و هدف: یکی از معضلات مهم کلان‌شهرها، ازجمله شهر اصفهان، آلودگی هوا است و مهمترین آلاینده‌ها PM، O_3، SO_2، CO و NO_x هستند. بررسی‌های متعددی نشان داده‌اند که مدل رگرسیون کاربری اراضی را می‌توان برای برآورد غلظت‌های آلاینده به‌طور دقیق بدون پایش مستمر آلودگی مورد استفاده قرار داد. هدف مدل‌های رگرسیون کاربری اراضی نشان دادن توزیع مکانی غلظت‌های آلاینده‌ها است. هدف کلی این پژوهش، استفاده از مدل رگرسیون کاربری اراضی به‌منظور درک بهتر توزیع و پراکنش مکانی آلاینده‌های NOX، PM_{10}، CO، O_3 و SO_2 و بررسی تاثیر کاربری اراضی و سایر عوامل تاثیرگذار از جمله ترافیک بر کیفیت هوای شهر اصفهان است.

مواد و روش‌ها: مدل‌سازی رگرسیون کاربری اراضی به‌عنوان روش مفیدی برای برآورد تغییرات غلظت آلاینده‌ها در شهرها استفاده می‌شود. این روش از الگوهای ترافیک، حمل‌ونقل و کاربری اراضی به‌عنوان پیش‌بینی‌کننده تغییرات آلودگی استفاده می‌کند. از آنجاکه آلودگی هوا با عوامل متعددی از قبیل جمعیت، ترافیک، کاربری اراضی، ارتفاع، طول جاده‌ها، حجم سواری شخصی و حجم حمل‌ونقل عمومی در ارتباط است، نقشه‌ها و داده‌های مربوط به این عوامل با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.2 تهیه و با استفاده از روش رگرسیون کاربری اراضی، مهم‌ترین عوامل موثر در تولید هر یک از آلاینده‌ها تعیین شد. برای تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه اصفهان از تصویر سنجنده TM ماهواره لندست و روش طبقه‌بندی نظارت‌شده حداکثر احتمال استفاده شد و بعد از آن صحت طبقه‌بندی ارزیابی شد. به‌منظور مدل‌سازی در ابتدا دو بافر دایره‌ای شکل در اطراف ایستگاه‌های سنجش آلاینده‌ها (۱۰۰۰-۵۰۰ متر) تعریف شد. سپس مساحت کاربری‌های اراضی، طول معابر، ترافیک، جمعیت و ارتفاع به‌صورت جداگانه توسط نرم‌افزار ArcGIS10.2 استخراج شد. پس از استخراج متغیرهای مورد نظر این داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 19 تجزیه‌وتحلیل آماری شد. برای آشکارسازی تاثیرات کاربری اراضی بر آلاینده‌ها، از رابطه رگرسیون خطی استفاده شد.

نتایج و بحث: نتایج ارزیابی صحت طبقه‌بندی نشان‌دهنده قابلیت بالای روش طبقه‌بندی نظارت‌شده حداکثر احتمال در تهیه نقشه کاربری اراضی با صحت بالا است زیرا نقشه کاربری اراضی تهیه‌شده دارای صحت ۹۵ درصد بود. نتایج مدل رگرسیون کاربری اراضی نشان داد از بین انواع گوناگون کاربری اراضی، مناطق مسکونی و صنعتی بیشترین تاثیر را در آلودگی هوا دارد و نتایج همچنین نشان داد که مهمترین عوامل موثر بر آلاینده‌ها حجم ترافیک، جمعیت و کاربری اراضی است.

*Corresponding Author. *E-mail Address*: m.ahmadi@khuisf.ac.ir

نتیجه‌گیری: براساس بررسی‌ها و تحلیل‌های صورت‌گرفته و با توجه به آنالیز همبستگی بین داده‌های واقعی و داده‌های پیش‌بینی‌شده آلاینده‌ها و برآورد ضریب همبستگی بالاتر از ۹۰ درصد، مدل رگرسیون کاربری اراضی قابلیت بالایی برای پیش‌بینی آلاینده‌ها دارد و جمعیت، ترافیک و کاربری اراضی جز متغیرهای اصلی هستند که بر پراکنش آلاینده‌ها تاثیرگذارند.

واژه‌های کلیدی: آلودگی هوا، کاربری اراضی، رگرسیون کاربری اراضی (LUR)، ترافیک، جمعیت.

مقدمه

آلودگی هوا پدیده مخربی است که در بسیاری از کلان‌شهرها به‌ویژه کشورهای درحال توسعه شدت یافته است(Alesheikh *et al*., 2011) . مساله پیچیده آلودگی هوای کلان‌شهرها که بر اثر عوامل مختلفی طی چند دهه اخیر به شکل کنونی درآمده، نیازمند شناختی دقیق و موثر از منابع و عواملی است که موجب انتشار آلاینده‌ها در سطح این شهرها شده‌اند. برآورد غلظت آلاینده‌ها در مقیاس محلی و منطقه‌ای در تصمیم‌گیری‌ها و سیاست‌گذاری‌های بهداشتی و زیست‌محیطی ضروری است (Naughton *et al*., 2018). بررسی‌های اخیر نقش مهم و اساسی تغییرات درون‌شهری را بر آلودگی هوا نشان داده‌اند، به‌طوری که تمامی این تحقیقات حاکی از نتایج مشابهی در مورد تأثیرات تغییرات زمانی و مکانی کاربری‌های درون‌شهری بر آلودگی هوا هستند (Miller *et al*., 2007; Jerrett *et al*., 2005). مسائل مربوط به گسترش شهرها، تراکم ترافیک، سروصدا و آلودگی هوا مشکلات عمده اجتماعی و اقتصادی بسیاری از شهرها است (Kassomenos *et al*., 2012). تاثیرگذاری منابع آلاینده در کیفیت هوای شهر با توجه به نقش و عملکرد شهر متفاوت است. در کشور ایران، حمل‌ونقل و جریان‌های ترافیکی بیشترین علت آلودگی هوا را شامل می‌شوند. از این رو بررسی تاثیرات حمل‌ونقل و ترافیک بر کیفیت هوای شهری مهم و ضروری است Ghanbarifard (*et al*., 2017). شهرهای بزرگ طی سال‌های اخیر با رشد مالکیت اتومبیل شخصی، کیفیت نامناسب سوخت مصرفی در اتومبیل‌ها و عدم رعایت استانداردهای مربوط به کاهش آلاینده‌ها مواجه هستند. الگوی کاربری اراضی نقش بسیار مهمی در پراکنش آلاینده‌ها و کیفیت هوای شهر بر عهده دارد (Mohammadi and Rahimi, 2013).

مدل‌های متفاوتی برای مدل‌سازی کیفیت هوا در شهرها وجود دارد که در دو گروه برپایه مدل روش پخش و مدل‌های رگرسیون کاربری اراضی قابل‌طبقه‌بندی هستند. مدل رگرسیون کاربری اراضی (LUR) به‌عنوان یکی از مدل‌هایی که برای پیش‌بینی آلاینده‌ها و ویژگی‌های اطراف ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در نظر گرفته‌شده توسعه یافته است و با استفاده از تحلیل رگرسیونی، آلاینده‌ها را در نقاط فاقد سنجش آلاینده پیش‌بینی می‌کند (Mohammadi *et al*., 2013) . روش رگرسیون کاربری اراضی در واقع تلفیقی از سامانه اطلاعات جغرافیایی با روش‌های رگرسیون چندمتغیره است (Alesheikh *et al*., 2011).

مدل‌سازی رگرسیون کاربری اراضی به‌عنوان روش مفیدی برای برآورد تغییرات در غلظت‌های آلودگی در شهرها استفاده می‌شود (Sahsuvaroglu *et al*., 2016). این مدل‌ها برای برآورد غلظت آلاینده استفاده می‌شوند و کاربرد آنها به دلیل هزینه قابل‌قبول و امکان اجرای آسان افزایش یافته است (Hennig *et al*., 2016). با استفاده از این روش می‌توان تاثیر عوامل مختلفی همچون کاربری اراضی، ترافیک وجمعیت و نظیر اینها را بر آلودگی ارزیابی کرد (Moore *et al*., 2007).

در واقع، رگرسیون کاربری اراضی مقادیر آلاینده‌های اندازه‌گیری‌شده با نمونه‌بردارها را به‌عنوان متغیر وابسته و کاربری اراضی، ترافیک و ویژگی‌های جمعیتی و جغرافیایی را به‌عنوان متغیرهای مستقل و پیش‌بینی‌کننده در نظر می‌گیرد. این مدل غلظت‌های آلاینده‌ها را بر اساس ویژگی‌های کاربری اراضی و ترافیک

اطراف در بافرهای دایره‌ای پیش‌بینی می‌کند (Habermann *et al.*, 2015). در سال‌های اخیر با استفاده از مدل رگرسیون کاربری اراضی برای پیش‌بینی تغییرات مکانی غلظت آلاینده‌ها در مناطق گوناگون بررسی‌هایی صورت گرفته است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود.

در پژوهشی که Muttoo *et al.* (2018) در بخش جنوبی دوربان در آفریقای جنوبی انجام دادند NO_x محیط در طول دو هفته نمونه‌برداری در ۳۲ محل اندازه‌گیری شد و از مدل رگرسیون کاربری اراضی (LUR) برای پیش‌بینی میزان قرار گرفتن خانم‌های باردار ساکن در این منطقه در معرض NO_x استفاده شد. نتایج مدل نشان داد که ساکنان منطقه در معرض سطوح بالای NO_x ناشی از ترافیک در منطقه هستند.

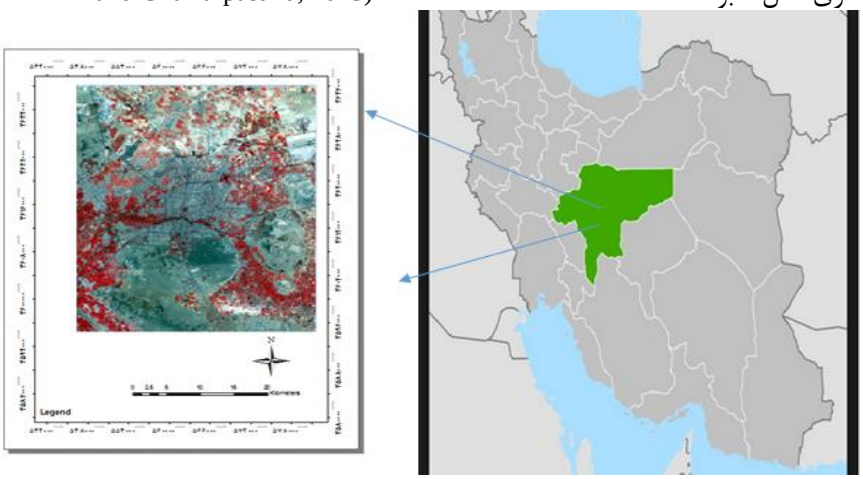
Lee *et al.* (2017) غلظت NO_2، NO و $PM_{2.5}$ را طی دو مرحله نمونه‌برداری در هنگ‌کنگ اندازه‌گیری کردند و از مدل رگرسیون کاربری اراضی (LUR) برای پیش‌بینی غلظت آلاینده‌ها در مناطق پرتراکم شهری استفاده کردند. نتایج نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل LUR در مناطق شهری با تراکم بالا بود. Hennig *et al.* (2016) از دو مدل LUR و DCTM برای ارزیابی غلظت آلاینده‌های هوا در منطقه روهر در آلمان استفاده کردند. نتایج نشان‌دهنده تفاوت نتایج این دو مدل ناشی از تفاوت‌های ساختاری مدل‌ها بود.

هدف این پژوهش استفاده از مدل رگرسیون کاربری اراضی برای بررسی پراکنش مکانی آلاینده‌های O_3، SO_2، NO_X، PM_{10}، CO و بررسی نقش عوامل تاثیرگذار ازجمله کاربری اراضی و ترافیک بر توزیع آلاینده‌های شهری است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

اصفهان در ۴۳۵ کیلومتری تهران و در جنوب این شهر قرار دارد. شهر اصفهان دارای طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۹ دقیقه و۴۰ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۸ دقیقه و ۳۰ ثانیه شمالی است. محدوده شهری آن به چهارده منطقه شهری تقسیم می‌شود و در خارج از محدوده شهری نیز از غرب به سمت خمینی‌شهر و نجف‌آباد، از جنوب کوه صفه و سپاهان‌شهر، از سمت شمال به شاهین‌شهر و از شرق نیز به دشت سگزی منتهی می‌شود. محدوده مورد بررسی این تحقیق محدوده شهر اصفهان و ایستگاه‌های سنجش آلاینده واقع در این محدوده است. از نظر زمانی نیز سال ۲۰۱۰ میلادی به‌عنوان محدوده زمانی پژوهش انتخاب شده که علت انتخاب آن کامل بودن داده‌های ایستگاه‌های سنجش آلودگی مورد بررسی در این سال است (Hosseiniebalam and Ghaffarpasand, 2015).



شکل ۱- منطقه مورد بررسی (شهر اصفهان)

Fig. 1- The study area (Esfahan city)

داده‌های مورد استفاده

برای مدل‌سازی آلاینده از پارامترهای متنوعی استفاده شده است که عبارتند از:

غلظت آلاینده‌های N_XO، PM_{10}، CO، O_3 و SO_2 سال ۱۳۹۱ از اداره محیط زیست اصفهان.

مختصات ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا از اداره محیط زیست اصفهان.

کاربری اراضی استان اصفهان سال ۱۳۹۱ که شامل کاربری (مسکونی، صنعتی، کشاورزی، فضای سبز، اراضی بایر، مرتع، رودخانه، خیابان) است. این کاربری‌ها از تصویر ماهواره‌ای استخراج شد.

پارامترهای جمعیت، ترافیک، ارتفاع، بزرگراه‌ها و راه‌های فرعی از اداره حمل‌ونقل و ترافیک استان اصفهان تهیه شد.

تهیه نقشه کاربری اراضی

در این تحقیق، برای تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه اصفهان از تصویر سنجنده TM ماهواره لندست در سال ۲۰۱۰ و روش طبقه‌بندی نظارت‌شده حداکثر احتمال استفاده شد و بعد از آن صحت طبقه‌بندی ارزیابی شد. صحت نقشه حاصل از طبقه‌بندی تصاویر نقش بسیار مهمی دارد. برای بررسی صحت طبقه‌بندی از ماتریس خطا و شاخص کاپا استفاده شد. معمولاً تصاویر ماهواره‌ای دارای انحراف‌هایی هستند، به‌طوری که این نوع تصاویر نمی‌توانند به‌عنوان نقشه مورد استفاده قرار گیرند. ازجمله این انحراف‌ها می‌توان به تغییرات در ارتفاع و سرعت سکوی سنجنده، انحنای زمین و جابجایی پستی و بلندی اشاره کرد. برای این منظور ۳۰ نقطه با پراکنش مناسب روی تصاویر انتخاب و تصحیح هندسی در محیط نرم‌افزار ERDAS با استفاده از معادله درجه اول و عمل نمونه‌گیری مجدد با استفاده از روش نزدیکترین همسایه انجام شد. میزان RMSe یا خطای تصحیح هندسی ۰/۴۸ پیکسل برآورد شد که قابل‌قبول است. در این پژوهش ترکیب رنگی، ترکیب رنگی کاذب ۲-۳-۴ RGB در نرم‌افزار Idrisi تهیه شد. همچنین روش حداکثر احتمال یکی از معمول‌ترین و کاراترین روش‌های طبقه‌بندی تصاویر محسوب می‌شود و در بررسی‌های متعدد این روش به‌عنوان دقیق‌ترین و پرکاربردترین روش طبقه‌بندی معرفی شده است (Alikhah and Foroutan, 2013). در روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال فرض بر این است که همه مناطق دارای پراکنش نرمال هستند. در حقیقت نمونه‌های کلاس‌های آموزشی باید معرف آن کلاس باشند، بنابراین تا حد امکان باید از تعداد نمونه‌های بیشتری استفاده شود تا تغییرات بسیاری از ویژگی‌های طیفی در این گستره پیوسته قرار گیرند. در طبقه‌بندی حداکثر احتمال، احتمال تعلق یک پیکسل به یک کلاس خاص محاسبه می‌شود. در واقع پیکسل مورد نظر به کلاسی تعلق می‌گیرد که بیشترین احتمال تعلق پیکسل به آن کلاس وجود داشته باشد. برای اجرای طبقه‌بندی حداکثر احتمال نمونه‌های تعلیمی برای ۸ طبقه کاربری اراضی شهری، صنعتی، کشاورزی، رودخانه، بایر، فضای سبز و مرتع تهیه شد و طبقه‌بندی تصویر با استفاده از نمونه‌های تعلیمی و باندهای تصویر ماهواره‌ای با استفاده از دستور طبقه‌بندی نظارت‌شده حداکثر احتمال در محیط نرم‌افزار Idrisi انجام شد.

مدل رگرسیون کاربری اراضی (LUR)

برای مدل‌سازی فضایی آلاینده‌های هوا از مدل LUR برای آلاینده‌های NO_X، SO_2، O_3، CO و PM_{10} استفاده شد. برای مدل‌سازی در ابتدا دو بافر دایره‌ای شکل ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر در اطراف ایستگاه‌های سنجش آلاینده‌ها تعریف شد. سپس مساحت کاربری‌های اراضی، طول معابر، ترافیک، جمعیت و ارتفاع به‌صورت جداگانه توسط نرم‌افزار ArcGIS10 استخراج شد. پس از استخراج متغیرهای مورد نظر، این داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 19 تجزیه‌وتحلیل آماری شد. متغیرهای مورد استفاده در جدول یک نشان داده شده است. برای آشکارسازی تاثیرات کاربری اراضی بر روی آلاینده‌ها، از رابطه رگرسیون خطی استفاده شد و بافرهای ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری در اطراف ایستگاه‌های سنجش آلاینده

برای ارتفاع، کاربری اراضی، ترافیک، طول معابر و جمعیت مورد استفاده قرار گرفت. مهمترین متغیرهای مورد استفاده در مدل رگرسیون این تحقیق عبارتند از: کاربری اراضی، طول شبکه معابر به تفکیک شریانی درجه یک، شریانی درجه دو، حجم همسنگ سواری، حجم حمل‌ونقل عمومی، حجم سواری شخصی و آلاینده‌های NO_X، SO_2، O_3، CO و PM_{10}. طبق تعریف حجم همسنگ سواری، تعداد سواری است که جایگزین وسیله نقلیه از نوع خاص شود به‌طوری که سطح سرویس مسیر مورد نظر تغییر نکند. پس از استخراج متغیرهای مورد نظر، این داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه‌وتحلیل آماری رگرسیون خطی قرار گرفتند که جدول‌ها و شکل‌های مربوطه در ادامه آورده شده است.

برای هرکدام از متغیرها (جمعیت، ارتفاع، شریانی‌های ۲-۱ و ترافیک) لایه‌های رستری با استفاده از توابع رستری spatial analysis در ArcGIS تهیه شد. این توابع شامل distance، density، overlay و interpolation است که بسته به متغیر و خروجی از این توابع استفاده شد. خروجی هر کدام از توابع فوق یک لایه رستری بود که ارزش هر سلول آن بیانگر مقدار متغیر مورد نظر است. لایه‌های رستری تولید شده با استفاده از ابزار raster calculator نرم‌افزار ArcGIS و با در نظر گرفتن ضرایب رگرسیون با یکدیگر تلفیق شدند. لایه‌ها در ابتدا استاندارد شده و بعد تلفیق انجام می‌شود که استانداردسازی لایه‌ها بر اساس روش دامنه (رابطه ۱) است. برای ارزیابی صحت مدل (LUR) همبستگی بین داده‌های شبیه‌سازی‌شده و واقعی انجام شد.

$$\frac{(\text{value} - \min)}{(\max - \min)} \quad (۱)$$

نتایج و بحث

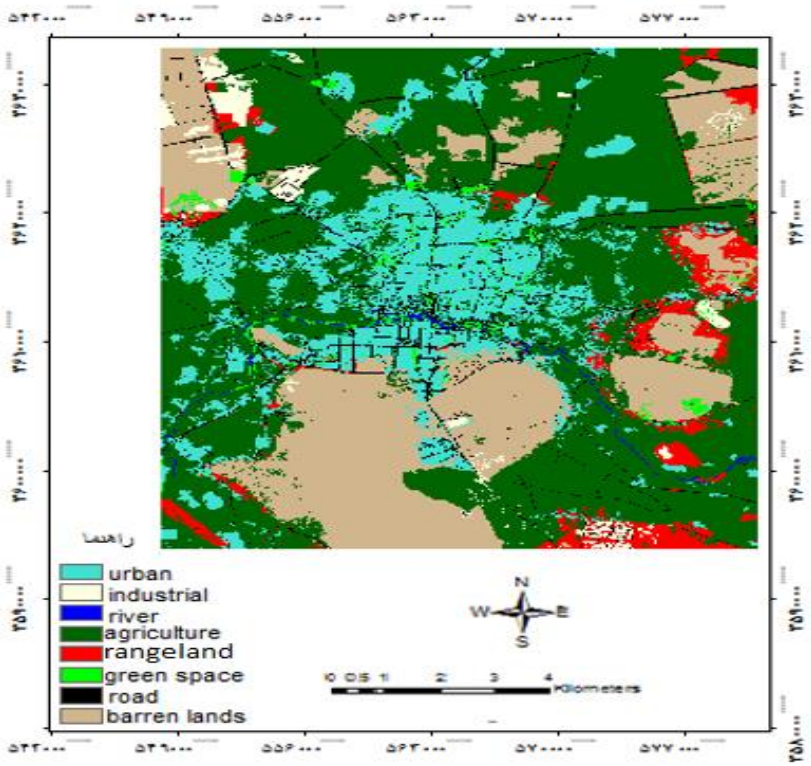
طبقه‌بندی نقشه کاربری اراضی

کاربری اراضی شهر اصفهان با کمک تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست و روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال تهیه شد (شکل ۲) و بعد از آن ارزیابی صحت طبقه‌بندی انجام شد. برای بررسی صحت طبقه‌بندی ماتریس خطا ایجاد شد و مقادیر کاپای کلی و صحت کلی محاسبه شد که کاپای کلی ۹۴٪ و صحت کلی ٪۹۵/۶ برآورد شد. صحت نقشه حاصل از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بسیار اهمیت دارد. زیرا این نقشه ممکن است در برنامه‌ریزی و مدیریت‌های محیطی و منطقه‌ای استفاده شود و باید میزان صحت و قابلیت اعتماد این نقشه‌ها مشخص شود.

جدول ۱- متغیرهای مورد استفاده در مدل رگرسیون کاربری اراضی

Table 1. Variables used in the land use regression model

داده‌های اصلی Source data	متغیر Variable name	اندازه بافر Buffer size (m)	واحد اندازه‌گیری Unit
کاربری اراضی Land use	مسکونی(residential)	500	Km^2
	صنعتی(industry)	500	Km^2
	خیابان‌ها(streets)	500	Km^2
	ترافیک کل(Sum of traffic)	500	
حجم ترافیک Traffic load	حجم حمل‌ونقل عمومی Public traffic load	500	حجم همسنگ سواری (passenger car equivalent (PCE))
	حجم سواری شخصی Personal ride load	500	حجم همسنگ سواری (passenger car equivalent (PCE))
جمعیت Population	جمعیت Population	500	تعداد نفر در هر Km^2 (Population count in each Km^2)
راه Road network	ارتفاع Elevation	1000	محل نصب ایستگاه‌ها از سطح دریا(m) (Elevation of stations above sea level)
	شریانی درجه یک Roads type 1	500	فاصله ایستگاه سنجش آلودگی تا نزدیک‌ترین راه (Distance of pollution monitoring station to the nearest road)
	شریانی درجه دو Roads type 1		



شکل۲- نقشه کاربری اراضی شهر اصفهان

Fig. 2- Land use map of Esfahan city

مدل رگرسیون کاربری اراضی LUR

این مدل روشی برای تخمین آلودگی هوا است. همچنین با این روش می‌توان تاثیر عوامل گوناگون از قبیل کاربری اراضی، جمعیت، ترافیک و ارتفاع بر پراکنش مکانی آلاینده‌های هوا را ارزیابی کرد. در این تحقیق بعد از استخراج متغیرهای مورد نظر، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه‌وتحلیل آماری رگرسیون خطی قرار گرفتند و آنهایی که در سطح معنی‌داری قابل‌قبول نبودند خودبه‌خود حذف شدند و پارامترهایی که باقی ماندند همگی در سطح معنی‌دار هستند. جداول ۲ تا ۶ ضرایب رگرسیونی برای آلاینده‌های CO، NO_X، O_3، PM_{10} و SO_2 را نشان می‌دهد. لایه‌های رستری با ضرایب رگرسیون با هم تلفیق شدند و نقشه خروجی این مدل تهیه شد (اشکال ۳-۷). پس از مدل‌سازی غلظت آلاینده‌ها با مدل رگرسیون کاربری اراضی، غلظت‌های واقعی و شبیه‌سازی‌شده آلاینده‌ها با یکدیگر مقایسه شدند و ضریب همبستگی آنها تعیین شد که در شکل‌های ۸ تا ۱۲ نشان داده شده است و همان‌طور که مشخص است تمامی ضرایب همبستگی از مقادیر بالایی برخوردار هستند.

جدول ۲- ضرایب رگرسیونی برای آلاینده CO

Table 2. Regression coefficient for CO

ضرایب استانداردنشده (B) Unstandardized coefficients(B)	ضرایب استانداردشده (Beta) Standardized coefficients (Beta)	پارامترهای مدل Model parameters
0.958	0.003	حجم حمل‌ونقل و عمومی (Public traffic load)
0.801	0.000	جمعیت در ۱۰۰۰ متری (Population in 1000 m)

جدول ۳- ضرایب رگرسیونی برای آلاینده NOX

Table 3. Regression coefficient for NOX

ضرایب استانداردنشده (B) Unstandardized coefficients(B)	ضرایب استانداردشده (Beta) Standardized coefficients (Beta)	پارامترهای مدل Model parameters
0.002	0.902	خیابان در ۱۰۰۰ متری Streets in 1000 m
-0.002	-1.325	جمعیت در ۱۰۰۰متری Population in 1000 m
-0.004	-3.697	حجم کل ترافیک Total traffic load
0.008	1.978	طول جاده Road length
-0.004	-0.489	شریانی درجه۲ Road type 2
0.001	0.869	حجم سواری شخصی Personal ride load
3.464	1.328	مسکونی و صنعتی Residential anf industrial

جدول۴- ضرایب رگرسیونی برای آلاینده O3

Table 4. Regression coefficient for O3

ضرایب استانداردنشده(B) Unstandardized coefficients(B)	ضرایب استانداردشده (Beta) Standardized coefficients (Beta)	پارامترهای مدل Model parameters
0.651	1.750	شریانی درجه۲ (Road type 2)
-0.002	-1.522	خیابان در ۱۰۰۰متری (Streets in 1000 m)
0.006	3.794	جمعیت در ۵۰۰متری (Population in 500 m)
0.002	3.501	حجم حمل‌ونقل عمومی (Public traffic load)
0.799	1.639	ارتفاع (Elevation)
0.001	0.995	حجم کل ترافیک (Total traffic load)
3.99	1.870	مسکونی و صنعتی (Residential anf industrial)

جدول ۵- ضرایب رگرسیونی برای آلاینده PM

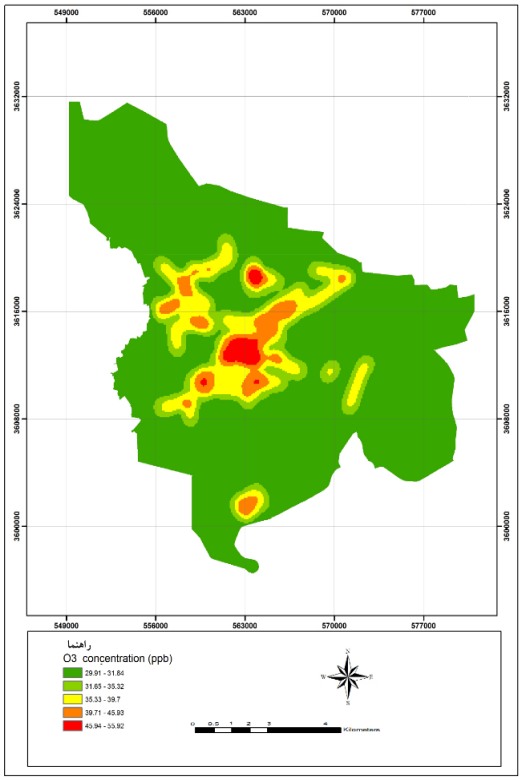
Table 5. Regression coefficient for PM

ضرایب استانداردنشده(B) Unstandardized coefficients(B)	ضرایب استانداردشده (Beta) Standardized coefficients (Beta)	پارامترهای مدل Model parameters
-3.931	-1.735	ارتفاع (Elevation)
-0.030	-2.551	طول جاده (Road length)
0.009	1.503	خیابان در ۱۰۰۰متری (Streets in 1000 m)
0.985	0.595	شریانی درجه۱ (Road type 1)
-0.002	-0.458	جمعیت در ۱۰۰۰متری (Population in 1000 m)
0.001	0.111	جمعیت در ۵۰۰ متری (Population in 500 m)

جدول ۶- ضرایب رگرسیونی برای آلاینده SO2

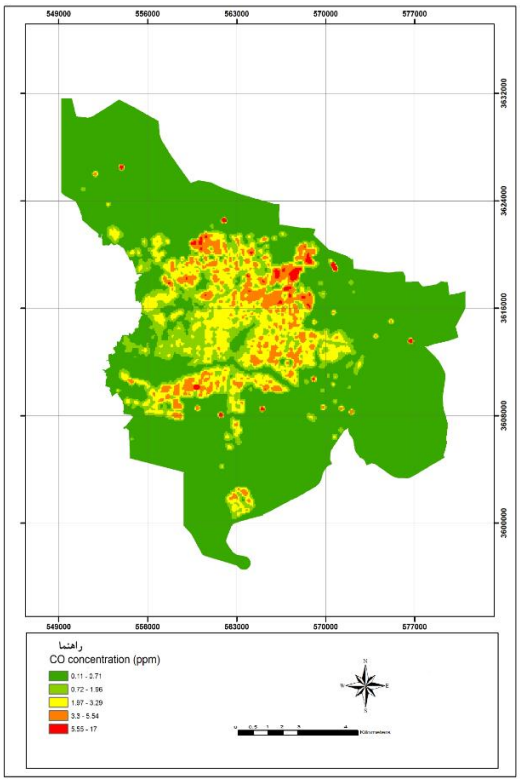
Table 6. Regression coefficient for SO2

ضرایب استانداردنشده(B) Unstandardized coefficients(B)	ضرایب استانداردشده (Beta) Standardized coefficients (Beta)	پارامترهای مدل Model parameters
0.088	0.371	شریانی درجه۲ (Road type 2)
0.001	2.013	جمعیت در ۱۰۰۰ متری (Population in 1000 m)
0.000	0.115	خیابان در ۱۰۰۰ متری (Streets in 1000 m)
-0.004	-3.083	جمعیت در ۵۰۰ متری (Population in 500 m)
0.005	9.409	حجم سواری شخصی (Personal ride load)
-0.004	-8.930	حجم کل ترافیک (Total traffic load)
-1.231	3.68	صنعتی و مسکونی (Residential anf industrial)



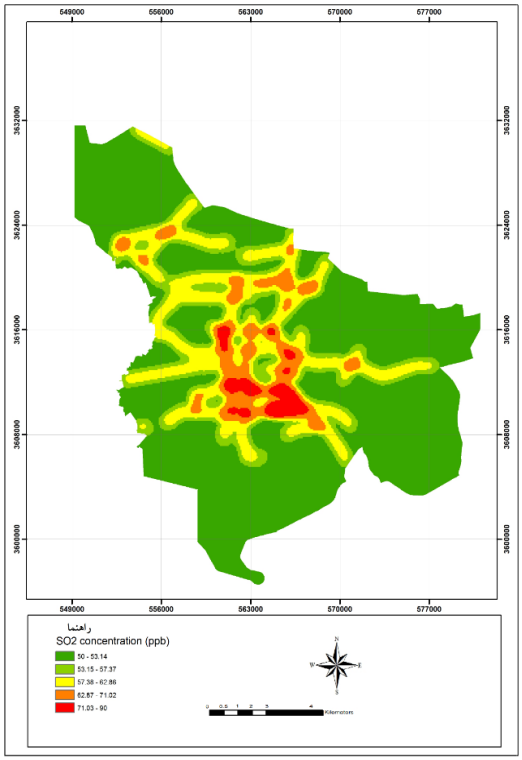
شکل ۳- غلظت‌های پیش‌بینی‌شده O3 به وسیله رگرسیون کاربری اراضی برای شهر اصفهان

Fig. 3- Land use regression predicted O3 concentrations



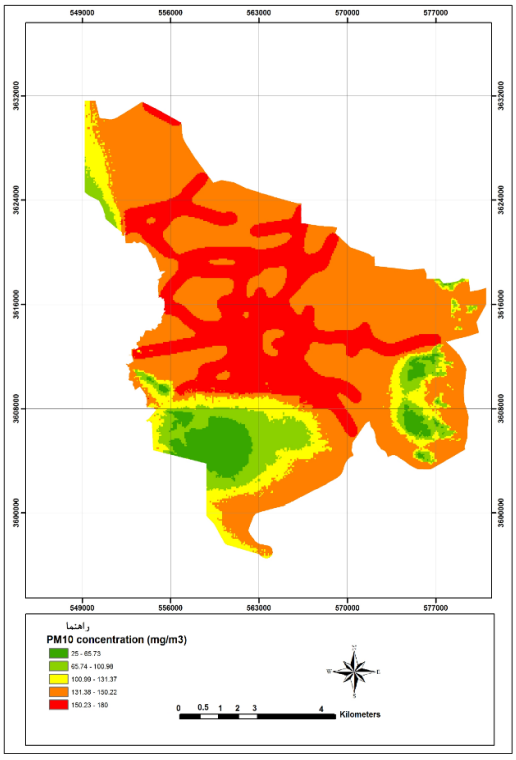
شکل ۴- غلظت‌های پیش‌بینی‌شده CO به وسیله رگرسیون کاربری اراضی برای شهر اصفهان

Fig. 4- Land use regression predicted CO concentrations



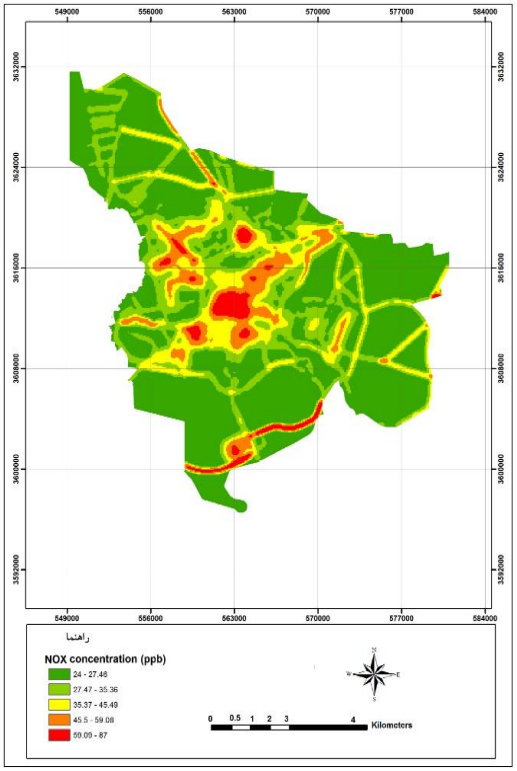
شکل ۵- غلظت‌های پیش‌بینی‌شده CO به وسیله رگرسیون کاربری اراضی برای شهر اصفهان

Fig. 5- Land use regression predicted SO_2 concentrations



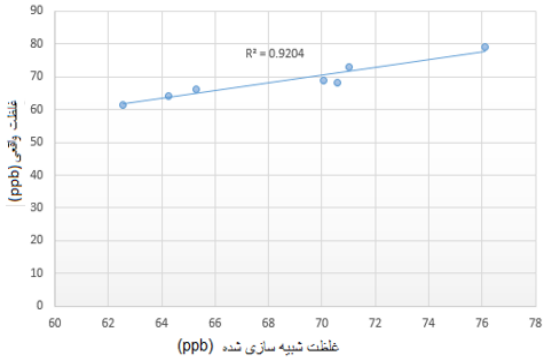
شکل ۶- غلظت‌های پیش‌بینی‌شده PM_{10} به وسیله رگرسیون کاربری اراضی برای شهر اصفهان

Fig. 6- Land use regression predicted PM_{10} concentrations



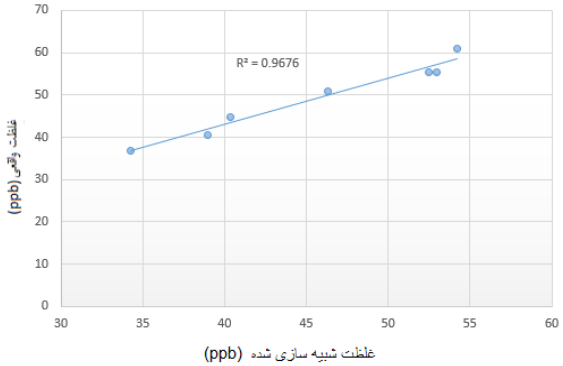
شکل ۷- غلظت‌های پیش‌بینی‌شده NO_X به وسیله رگرسیون کاربری اراضی برای شهر اصفهان

Fig. 7- Land use regression predicted NO_X concentrations



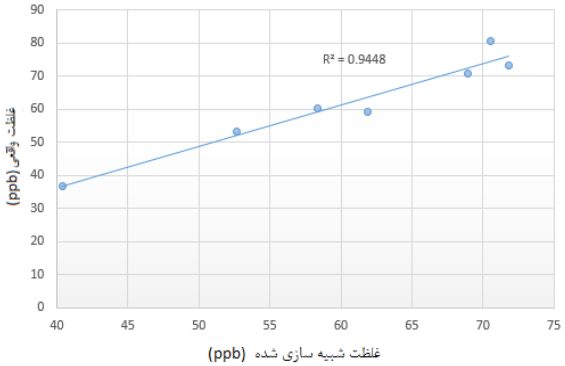
شکل ۸- ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی و مدل‌سازی‌شده SO_2

Fig. 8- Correlation coefficients between observed versus predicted SO2



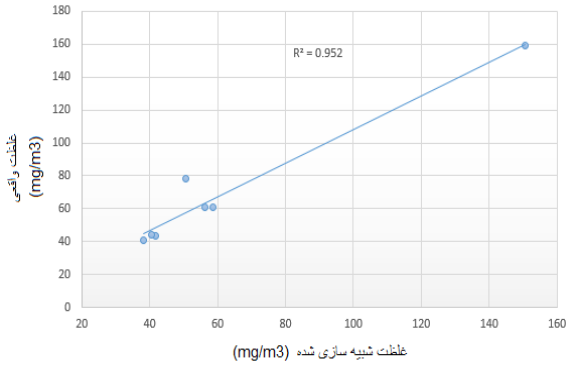
شکل ۹- ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی و مدل‌سازی‌شده O_3

Fig. 9- Correlation coefficients between observed versus predicted O_3



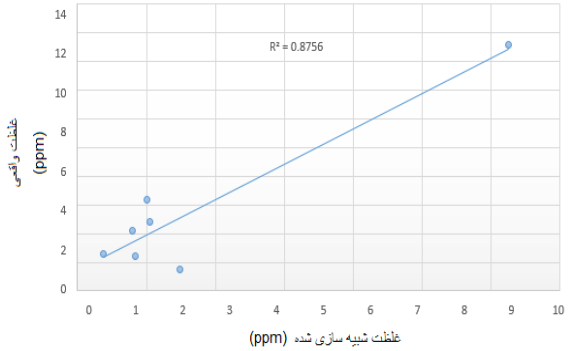
شکل ۱۰- ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی و مدل‌سازی‌شده NO_X

Fig. 10- Correlation coefficients between observed versus predicted NO_X



شکل ۱۱- ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی و مدل‌سازی‌شده PM_{10}

Fig. 11- Correlation coefficients between observed versus predicted PM_{10}



شکل ۱۲- ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی و مدل‌سازی‌شده CO

Fig. 12- Correlation coefficients between observed versus predicted CO

شهر اصفهان به‌عنوان یکی از کلان‌شهرهای کشور، در چند دهه اخیر شاهد رشد فزاینده‌ای در اطراف خود بوده است که این نوع رشد و توسعه متناسب با شاخص‌های پایداری شهری نبوده و در حال حاضر با مسائل و ناپایداری‌هایی مواجه است که ازجمله می‌توان به آلودگی هوا، صدا، دسترسی نامناسب به امکانات و خدمات

شهری و توزیع نامتعادل کاربری‌ها در سطح مناطق مختلف شهر اشاره کرد. بنابراین بررسی و مطالعه نحوه پراکنش کاربری‌های شهری طی روند توسعه و نیز تاثیر کاربری بر پراکنش آلاینده‌ها از اهمیت فراوانی برخوردار است. هدف این تحقیق، بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر کیفیت هوای شهر اصفهان است و بدین منظور از تصاویر ماهواره‌ای برای تهیه نقشه کاربری اراضی و مدل رگرسیون کاربری اراضی برای مدل‌سازی مکانی پراکنش آلاینده‌ها استفاده شده است در ادامه به تحلیل نتایج، پرداخته می‌شود.

تهیه نقشه کاربری اراضی

برای تهیه نقشه کاربری اراضی شهر اصفهان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال استفاده شد و برای بررسی صحت نقشه طبقه‌بندی‌شده از ماتریس خطا و شاخص کاپا استفاده شد. صحت کل قابل‌قبول برای نقشه‌های پوشش و کاربری اراضی بیش از ۸۵ درصد است (Shalaby and Tateishi, 2007). در این پژوهش کاپا و صحت کلی نقشه کاربری اراضی تولیدشده بالاتر از ۹۰ درصد برآورد شد که صحت قابل‌قبولی است. با استناد به منابعی نظیر Khedmatgozare Dolati (2011) و Barati Ghahfarokhi (2009)، روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال با صحت و ضریب کاپای بالای ۹۰٪ روش مناسبی برای طبقه‌بندی کاربری اراضی محسوب می‌شوند.

مدل رگرسیون کاربری اراضی

در مرحله آخر تحقیق بر اساس روش تحقیق ارائه‌شده اقدام به تحلیل رگرسیونی شد. همه مواردی که در جداول رگرسیونی مربوط به آلاینده‌ها آمده‌اند، در سطح معنی‌دار بودند که نشان‌دهنده تاثیر مثبت و قوی این متغیرها در پراکنش آلاینده‌ها هستند و آنهایی که تاثیر منفی داشتند حذف شدند. دلیل حذف شدن متغیرها مقدار ناچیز بودن آنهاست. در این تحقیق، هدف اصلی مدل‌سازی توزیع آلاینده‌های O_3، SO_2، PM، CO و NO_X بر اساس مدل رگرسیون کاربری اراضی بوده و بر اساس بررسی‌ها و تحلیل‌های صورت‌گرفته با تعیین همبستگی بین غلظت‌های واقعی و مدل‌سازی‌شده و برآورد میزان همبستگی بالاتر از ۹۰ درصد برای همه آلاینده‌ها، مدل رگرسیون کاربری اراضی قابلیت خوبی برای مدل‌سازی پراکنش این آلاینده‌ها دارد (Mohammadi and Rahimi, 2013). Beelen *et al.* (2013) نیز مدل رگرسیون کاربری اراضی (LUR) را به‌عنوان مدلی مناسب با دقت بالا در پیش‌بینی غلظت و پراکنش آلایندها عنوان کردند.

در نهایت با اجرای مدل و طبق جداول رگرسیون مشخص شد که رابطه بین آلودگی هوا، جمعیت، ترافیک و کاربری اراضی در شهر اصفهان معنی‌دار بوده و جزو مهمترین متغیرها در این مدل است. Muttoo *et al.* (2018) نیز به نتایج مشابهی در تحقیق خود اشاره کردند و پارامترهای ترافیک و طول جاده را از مهمترین عوامل موثر در پراکنش و توزیع آلاینده‌ها ذکر کردند.

آلاینده NO_X یکی از مهمترین آلاینده‌های شهری است که عمدتا به وسیله جریان‌های ترافیکی (سوخت وسایل نقلیه) تولید می‌شود. در این تحقیق، همبستگی این آلاینده با طول معابر و مناطق مسکونی و صنعتی مشخص شد و با دور شدن از ایستگاه سنجش آلاینده، میزان آلاینده کاهش می‌یابد که علت آن کاهش اثر این آلاینده با فاصله از منابع تولید است. آلاینده CO هم مانند NO_Xاست و بالاترین میزان همبستگی این آلاینده با حجم ترافیک کل و جاده‌ها است. آلاینده O_3 که جز آلاینده‌های ثانویه است و طی واکنش شیمیایی بین سایر آلاینده‌ها به وجود می‌آید، بالاترین همبستگی با حجم حمل‌ونقل عمومی، جمعیت و مناطق مسکونی و صنعتی را دارد.

میزان همبستگی آلاینده SO_2 با جمعیت و حجم

سواری شخصی (ترافیک) و مناطق مسکونی و صنعتی بالاترین است. آلاینده PM_{10} رفتار متفاوت‌تری نسبت به آلاینده‌های دیگر دارد که می‌تواند در فواصل دورتر جابه‌جا شود که بالاترین همبستگی آن با شریانی درجه ۱، خیابان و جمعیت است.

مدل LUR بیشتر برای تخمین آلودگی هریک از آلاینده‌های اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در واقع این مدل ترکیبی از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش‌های رگرسیونی چندمتغیره است. این مدل برای تخمین آلودگی هوا از پارامترهایی نظیر حجم ترافیک،کاربری اراضی و بعضی دیگر از متغیرهای موثر بر آلودگی به‌عنوان متغیرهای پیش‌بینی استفاده می‌کنند (Matkan *et al.*, 2010). مدل LUR برای پیش‌بینی آلاینده‌های هوا است که در این تحقیق آلاینده‌های اصلی بررسی شدند و نتایج قابل‌قبولی ارائه شد که نشانگر دقت بالای این مدل برای پیش‌بینی و با نتایج (Mohammadi and Rahimi, 2013) مشابه است.

نتیجه‌گیری

بهره‌گیری از مدلی که بتواند نقش کاربری اراضی، ترافیک و سایر عوامل موثر در پراکنش آلاینده‌ها را مشخص کند و توزیع مکانی آلاینده‌ها را پیش‌بینی کند، می‌تواند به مدیریت بهتر ترافیک و وضعیت آلودگی هوا کمک کند. در این تحقیق هدف اصلی مدل‌سازی توزیع آلاینده‌های اصلی هوا بر اساس مدل رگرسیون کاربری اراضی (LUR) بود. براساس ضریب همبستگی محاسبه‌شده بین غلظت آلاینده‌های واقعی و پیش‌بینی‌شده در این تحقیق، این مدل قابلیت خوبی در مدل‌سازی و پیش‌بینی آلاینده‌ها دارد. بیشترین مقدار آلودگی مربوط به PM و NO_X است و در مدل رگرسیون کاربری اراضی، جمعیت، ترافیک و کاربری اراضی بیشترین سهم را در آلودگی هوا دارد و جزء متغیرهای اصلی هستند که بر پراکنش آلاینده‌ها تاثیر می‌گذارند. نقشه‌های پیش‌بینی‌شده نیز نقش این عوامل را به خوبی نشان می‌دهد. مدل رگرسیونی را می‌توان در یک دوره طولانی‌تر برای مدل‌سازی انتخاب کرد تا کارایی مدل در دوره‌های بلندمدت را نشان دهد و همچنین در این مدل می‌توان، از متغیرهای کمکی مانند وارونگی دما، فشار، رطوبت و پارامترهای هواشناسی استفاده کرد تا نتایج مطلوب‌تری را به دست آورد.

منابع

Alesheikh, A.A., Gharagouzlou, A. and Sajadian, M., 2012. Study of Air Polution Resulting from the Transportation Traffic in Tehran Metropolis by Using LUR Model Combined with GIS and Emission Factors. Geographical Journal of Chashmandaz-E-Zagros. 4(11), 143-158.

Alikhah, M. and Foroutan, A.L., 2013. The usage of classification methods for land use mapping in the Hablehrood area, The fourth conference on human and environment, Hamedan. 41-47.

Barati Ghahfarokhi, S., Soltani koupaei, S., Khajeddin, S.J. and Rayegani, B., 2009. Land use change detection in Ghaleshahrokh using remote sensing technology. Journal of Water and Soil Science. 47, 439-465.

Beelen, R., Hoek, G. and Vienneau, D., 2013. Development of NO2 and NOx land use regression models for estimating air pollution exposure in 36 study areas in Europe – the ESCAPE project. Atmos. Environ. 72, 10-23.

Ghanbari Fard, R., Safavi A.A. and Setoodeh, P., 2017. Effect of traffic flow modelling on air pollution in Shiraz city. Environmental Sciences. 15(1), 157-174.

Hennig, F., Sugiri, D., Tzivian, L., Fuks, K.,

Moebus, S., Jockel, K., Vienneau, D., Kuhlbusch , A.J., Hoogh, K., Memmesheimer, M., Jakobs , H., Quass, U. and Hoffmann, B., 2016. Comparison of Land-Use Regression Modeling with Dispersion and Chemistry Transport Modeling to Assign Air Pollution Concentrations within the Ruhr Area. Atmosphere. 7(48), 1-19.

Hosseiniebalam, F. and Ghaffarpasand, O., 2015. The effects of emission sources and meteorological factors on sulphur dioxide concentration of Great Isfahan, Iran. Atmospheric Environment. 100, 94-101.

Jerrett, M., Aram, A., Kanaroglou, P., Beckerman, B., Potoglon, D., Sahsuvaroglu, T., Morrison, J. and Giovis, C., 2005. A Review and Evaluation of Intra Urban Air Pollution Exposure Models. Journal of Exposure Analysis and Environmental. 15, 185-204.

Kassomenos, P.A., Kelessis, A., Petrakakis, M., Zoumakis, N., Christidis, T. and Paschalidoua, A.K., 2012. Air quality assessment in a heavily polluted urban Mediterranean environment through air quality indices. Ecological Indicators. 18, 259–268.

Khedmatgozar Dolati, S.M., 2011. Land use mapping using the principal component analysis of satellite images in Shafarood area, master thesis, Natural resources faculty of Gilan University.

Lee, M., Brauer, M., Wong, P., Tang, R., Tsui, T. H., Choi, C. and Barratt, B., 2017. Land use regression modeling of air pollution in high density high rise cities: A case study in Hong Kong. Science of the Total Environment. 592, 306-315.

Matkan, A.A., Shakiba, A., Pourali, H. and Baharlou, I., 2010. The usage of LUR in estimating CO and PM10 pollutants (The case study of Tehran city), Geomatica conference, Tehran. 57-72.

Miller, K.A., Siscovick, D.S., Sheppard, L., Shepherd, K., Sullivan, J.H., Anderson, L. and Kaufiman, J.D., 2007. Long term Exposure to Air Pollution and Incidence of Cardiovascular Events in Women. New England Journal of Medicine. 356, 447-458.

Mohammadi, A. and Rahimi, S., 2013. The effect of land use pattern on the spatial distribution of pollutants. research and urban planning. 14, 123-142.

Moore, D.K., Jerrett, M., Mack, W.J. and Kunzli, N., 2007. A Land Use Regression Model for Predicting Ambient Fine Particulate Matter across Los Angeles, Journal of Environmental Monitoring. 9, 246-252.

Muttoo, S., Ramsay, L., Brunekreef, B., Beelen, R., Meliefste, K. and Naidoo, R.N., 2018. Land use regression modelling estimating nitrogen oxides exposure in industrial south Durban, South Africa. Science of the Total Environment. 610, 1439–1447.

Naughton, O., Donnelly, A., Nolan, P., Pilla, F., Misstear, B. D. and Broderick, B., 2018. A land use regression model for explaining spatial variation in air pollution levels using a wind sector based approach. Science of the Total Environment. 630, 1324–1334.

Shalaby, A. and Tateishi, R., 2007. Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt. Applied Geography. 27(1), 28-41.

Sahsuvaroglu, T., Arain, A., Kanaroglou, P., Finkelstein, N., Newbold, B., Jerrett, M., Beckerman, B., Brook, J., Finkelstein, M. and Gilbert, N.L., 2016. A Land Use Regression Model for Predicting Ambient Concentrations of Nitrogen Dioxide in Hamilton, Ontario, Canada. Journal of Air and Waste Management Associate. 56, 1059–1069.

Environmental Sciences Vol.16 / No.2 / Summer 2018

203-216

Application of a land use regression (LUR) model to the spatial modelling of air pollutants in Esfahan city

Maryam Sharifi Sadeh, Mozhgan Ahmadi Nadoushan*
Department of Environment, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

Received: 2017.12.05 **Accepted:** 2018.05.28

Sharifi Sadeh, M. and Ahmadi Nadoushan, M., 2018. Application of a land use regression (LUR) model to the spatial modelling of air pollutants in Esfahan city. Environmental Sciences. 16 (2), 203-216.

Introduction: The rapid growth of technology has led to an increase in air pollution in most countries of the world. One of the most serious problems that metropolitan cities such as Esfahan encounter is air pollution. The most important pollutants that should be mentioned are PM, O_3, SO_2, CO and NO_X. The main objective of this study is to analyze the land use effects and other effective parameters such as traffic on the air quality of Esfahan and evaluating the spatial dispersion of PM, O_3, SO_2, CO and NO_X. LUR offers an improved level of detail at which pollution variability is observed. Numerous studies have shown that land use regression (LUR) models can be applied to obtain accurate, small-scale air pollutant concentrations without a detailed pollutant emission inventory.

Materials and methods: Land use regression modelling is used as a useful method for estimating changes in the concentrations of air pollutants in cities. Thus, LUR predicts the concentrations of pollution based on surrounding land use and traffic characteristics within circular areas (buffers) as predictors of measured concentrations. Moreover, the enhancement of geographic information system (GIS) techniques has contributed to the dissemination of the LUR method. Since the air pollution is in relation to factors such as population, traffic, land use, height, road length and public transportation as the most effective factors in producing these pollutants have prepared using ArcGIS 10.2 and modeled by LUR method. The regression model was run using SPSS 19.

Results and discussion: With the usage of the LUR method, the most important and effective factors could be determined and modelled. It should be mentioned that among different types of land uses, residential areas and industrial regions cause the maximum effects on air pollution.

Conclusion: The results of the LUR model have revealed that traffic volume, population and land use are the most important factor affected on pollutants production.

Keywords: Air pollution, Land use, Land use regression model, Esfahan.

*Corresponding Author. *E-mail Address*: m.ahmadi@khuisf.ac.ir