

کاربرد مدل LUR در تخمین آلاینده های CO و PM₁₀ (مطالعه موردی، شهر تهران)

علی اکبر متکان^۱، علیرضا شکیبا^۲، سید حسین پورعلی^۳، ایمان بهارلو^۴، ابوذر عاشوری^۴، وهب محمدیان^۴
^۱ دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی تهران
^۲ استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی تهران
^۳ مربی گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی تهران
^۴ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی تهران

عده دار مکاتبات: تهران، اوین، دانشگاه شهید بهشتی، گروه سنجش از دور و GIS
تلفن: +۹۸۹۱۳۲۶۹۰۱۱۴؛ پیام نگار: i.baharloo@mail.sbu.ac.ir

چکیده

یکی از مدل‌های توانمند و موثر به منظور پیش‌بینی و تخمین آلودگی هوا، مدل LUR^۱ می‌باشد. این مدل یکی از مدل‌های موثر به منظور تخمین آلودگی حاصل از ترافیک در اکثر کشورهای اروپایی و امریکایی می‌باشد. در این تحقیق با توسعه روش LUR از این مدل به منظور برآورد و تخمین آلودگی حاصل از آلاینده‌های CO و PM₁₀ با استفاده از اطلاعات ایستگاه‌های سنجش آلودگی استفاده کردیم. متغیرهای مورد استفاده در این تحقیق شامل حجم ترافیک، فاصله از جاده، جمعیت، کاربری اراضی و ارتفاع ایستگاه‌ها سنجش آلودگی از سطح دریا می‌باشند. نتایج حاصل از مدل LUR نشان داد که مهمترین عامل موثر بر آلاینده CO حجم ترافیک می‌باشد، در حالی که مهمترین عامل موثر بر آلاینده PM₁₀ اماکن صنعتی می‌باشند. همچنین مقدار R² برای آلاینده مونواکسید کربن ۰.۵۰ و برای آلاینده ذرات معلق ۰.۵۹ حاصل شد.

کلمات کلیدی: آلودگی هوا، رگرسیون چند متغیره، LUR

۱- مقدمه

پدیده آلودگی هوا یکی از معضلات اساسی اغلب شهرهای بزرگ جهان می‌باشد. کشور ایران هم از اثر این پدیده مصون نیست و این مشکل به ویژه در تهران به وضوح قابل مشاهده است. در واقع یکی از اساسی‌ترین مشکلات شهر تهران آلودگی هوا ناشی از منابع ثابت و متحرک می‌باشد، به طوریکه سالانه شاهد خسارات قابل توجه مالی، جانی و اجتماعی متأثر از آلودگی هستیم.

^۱. land use regression

روش‌های مختلفی از قبیل انواع روش‌های درون‌یابی (Jerrett et al., 2001)، روش‌های تخمینی (Jerrett et al., 2005)، روش‌های پخش (Liu et al., 2007) برای تخمین آلودگی هوا در سال‌های اخیر توسعه یافته است. یکی دیگر از روش‌های که امروزه در بسیاری از کشورها مورد توجه قرار گرفته و از آن در پیش بینی تمرکز آلاینده‌های هوا استفاده می‌شود، روش LUR می‌باشد. (Brauer et al., 2003; Henderson et al., 2007; Ross et al., 2006; Ryan et al., 2007)

روش LUR نتایج خوبی در اکثر کشورهای اروپایی و آمریکای شمالی نشان داده است ولی این روش در اکثر کشورهای آسیایی به دلیل محدود بودن اطلاعات در این کشورها کمتر مورد استفاده قرار گرفته است (Kashima and et al, 2008).

در سال‌های اخیر محققین بسیاری با استفاده از این روش به برآورد و تخمین انواع مختلفی از انواع آلاینده‌ها پرداخته اند که اکثریت این محققین به نتایج قابل قبولی رسیده اند. در جدول ۱ تعدادی از تحقیقات انجام شده با استفاده از این روش را نشان می‌دهد.

جدول ۱ تحقیقات انجام شده با استفاده از روش LUR

Paper	Study Locations	Air Pollutant	Model R ²
Brauer et al.(2003)	Stockholm	PM _{2.5}	0.5
	Sweden	PM _{2.5}	0.66
	Munich, Germany	PM _{2.5}	0.56
Gilbert et al.(2005)	Montreal, Canada	NO ₂	0.54
Ross et al.(2006)	San Diego	NO ₂	0.77
Ryan et al.(2007)	Cincinnati , U.S	ECAT	0.75
(*)Henderson et al. (2007)	Vancouver Canada	Log NO	0.62
Road Length			0.57
Vehicle Density		NO ₂	0.56
Road Length			0.6
Vehicle Density		PM _{2.5}	0.52
Road Length			0.52
Vehicle Density		Light Absorbance	0.39
Road length			0.41
Vehicle Density			
Morgenstern et al.(2007)	Munich, Germany	NO ₂	0.51
		PM _{2.5}	0.358

Paper	Study Locations	Air Pollutant	Model R ²
Wheeler et al(2008)	Windsor, Ontario, Canada		
		NO ₂	0.77
		SO ₂	0.69
		Benzene	0.73
Kashima et al.(2008)	Shizuoka, Japan		
		NO ₂	0.54
		PM ₈	0.11
NO ₂ = Nitrogen Dioxide, PM _{2.5} = Particulate Matter With an Aerodynamic Diameter Less Than 2.5 μm, SO ₂ : Sulfur Dioxide, ECAT: Elemental Carbon Attributable to Traffic.			

مدل LUR بیشتر برای تخمین آلودگی هر یک از آلاینده‌های اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در واقع این مدل ترکیبی از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روشهای رگرسیونی چند متغیره می‌باشد. این مدل برای تخمین آلودگی هوا از پارامترهای نظیر حجم ترافیک، کاربری اراضی و بعضی دیگر از متغیرهای موثر بر آلودگی به عنوان متغیرهای پیش بینی استفاده می‌کند. در این تحقیق با استفاده از روش LUR به برآورد و تخمین آلاینده‌های مونواکسیدکربن و ذرات معلق شهر تهران با پرداخته شده است. برای این کار ما از اطلاعات ایستگاههای سنجش آلودگی هوا در فصل بهار سال ۸۴ استفاده کردیم.

۲- متغیرهای مورد استفاده در مدل

متغیرهای مکانی موثر بر آلودگی که در این تحقیق مورد استفاد قرار گرفتند به ۵ گروه تقسیم می‌شوند که هر یک از این گروه‌ها به تعدادی زیر گروه تقسیم می‌شوند. این ۵ گروه شامل انواع مختلف راه، حجم ترافیک، کاربری اراضی، جمعیت، ارتفاع ایستگاه‌ها می‌باشند.

الف) حجم ترافیک

یکی از متغیرهای مهم در مطالعات آلودگی هوا متغیر ترافیک می‌باشد. برای به دست آوردن این متغیر ابتدا فایل CAD این متغیر از سازمان مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک تهیه گردید که در این فایل حجم ترافیک برای کلیه راهها بر اساس حجم همسنگ سواری محاسبه شده بود. نحوه محاسبه حجم ترافیک این راهها به این صورت می‌باشد که تمام خودروهای عبوری در ساعت اوج ترافیک بر اساس یک الگوریتم خاص به حجم همسنگ سواری تبدیل شده است. مثلاً وقتی حجم ترافیک یک راه ۱۲۰۰ محاسبه شده باشد، این بدین معنا می‌باشد که در ساعت اوج ترافیک، تعداد ۱۲۰۰ سواری همسنگ از این راه در زمان اوج ترافیک عبور کرده‌اند. قبل از محاسبه حجم ترافیک در این بافر باید حجم ترافیک را برای کلیه

راه‌ها یکسان سازی شوند. مثلاً اگر در یک بزرگراه حجم ترافیک ۱۲۰۰ و در یک راه اصلی نیز حجم ترافیک ۱۲۰۰ برآورد شده باشد، مسلماً ترافیک در این دو راه یکسان نمی‌باشد، چون عرض این دو راه با یکدیگر برابر نمی‌باشد. برای حل این مشکل حجم همسنگ سواری محاسبه شده برای هر راه به عرض آن راه تقسیم می‌شود. بعد از یکسان سازی حجم ترافیک میزان این متغیر در یک بافر ۵۰۰ متر در اطراف هر یک از ایستگاه‌ها اندازه‌گیری شد.

(ب) راه

یکی از متغیرهای که در صورت نبود اطلاعات ترافیک می‌توان از آن به جای اطلاعات ترافیک استفاده کرد، طول کلیه راه‌ها در یک بافر مشخص در اطراف ایستگاه سنجش آلودگی می‌باشد. هر چند که در بعضی از تحقیقات انجام گرفته در صورت موجود بودن اطلاعات ترافیک نیز از اطلاعات راه‌ها استفاده شده است (Kashima et al, 2009). در این تحقیق نیز با وجود موجود بودن اطلاعات حجم ترافیک از اطلاعات راه‌ها نیز استفاده شد.

اطلاعات راه‌ها نیز به صورت یک فایل Shp از مرکز سیستم اطلاعات جغرافیایی تهران تهیه گردید با استفاده از این فایل کلیه راه‌ها به سه گروه بزرگراه، اصلی و فرعی تقسیم گردید. سپس در یک بافر ۵۰۰ متری در اطراف هر ایستگاه متغیرهای فاصله تا نزدیکترین راه، طول کلیه راه‌ها، طول راه‌های اصلی، طول بزرگراه‌ها، طول راه‌های فرعی، فاصله تا نزدیکترین راه اصلی، بزرگراه، راه فرعی محاسبه گردید. کلیه واحد اندازه‌گیری برای تمامی راه‌ها متر می‌باشد

(ج) جمعیت

جمعیت نیز یکی از متغیرهای مهم و تأثیرگذار در اکثر مطالعات آلودگی هوا می‌باشد. برای این کار ابتدا فایل Shp جمعیت که تقسیم بندی آن تا بلوک پیش رفته بود از مرکز سیستم اطلاعات جغرافیایی تهران تهیه گردید. سپس حجم جمعیت را در یک بافر ۱۰۰۰ متری در اطراف هر ایستگاه محاسبه گردید.

(د) کاربری اراضی

فایل کاربری اراضی تهیه شده از مرکز سیستم اطلاعات جغرافیایی تهران کاربری اراضی را به ۱۰ گروه تقسیم‌بندی کرده است که این ۱۰ گروه شامل مسکونی، صنعتی، اداری و تجاری، فضای سبز، نظامی، بایر، زمینهای مزروعی، حمل و نقل و انبارداری، انواع خدمات و تأسیسات و تجهیزات شهری و سایر می‌باشند. ابتدا کلیه کاربری‌ها از یکدیگر تفکیک شدند سپس مساحت هر کاربری در یک بافر ۵۰۰ متری در اطراف هر ایستگاه محاسبه شد. کلیه واحد اندازه‌گیری برای تمامی کاربری‌های اراضی km^2 می‌باشد.

(ه) ارتفاع

ارتفاع کلیه ایستگاه‌های سنجش آلودگی نیز از DEM تهران استخراج گردید و به عنوان یک متغیر مستقل در نظر گرفت شد.

۳- ایجاد مدل

برای ساختن مدل رگرسیونی در این تحقیق ما از الگوریتم Henderson (Henderson et al., 2007) استفاده کردیم. برای این کار به صورت زیر عمل کردیم.

- (۱) همبستگی هر یک از متغیرهای مستقل را با استفاده از روش رگرسیون خطی یک متغیره با هر یک از آلاینده‌ها بررسی شد.
- (۲) رتبه بندی همبستگی هر یک از متغیرها در هر گروه و تشخیص متغیری که بیشترین همبستگی را در هر گروه با دو آلاینده دارد.
- (۳) حذف متغیرهای که در هر گروه با متغیر غالب آن گروه همبستگی زیادی دارد (همبستگی بالاتر از ۰.۶).
- (۴) وارد کردن متغیرهای باقی مانده در مدل رگرسیونی
- (۵) استفاده از روش‌های Stepwise، Forward و Backward برای تعیین مدل نهایی

۴- نتایج خروجی از مدل

بعد از بررسی متغیرها بر اساس الگوریتم Henderson، متغیرهای باقی مانده وارد مدل رگرسیونی شده و نتایج زیر حاصل شد. لازم به ذکر است که دو فرمول ارائه شده برای پیش بینی هر یک از آلاینده‌ها فقط مختص فصل بهار می‌باشند.

جدول ۲ ضرایب رگرسیونی آلاینده مونواکسید کربن

P_Value	t	Standardized Coefficients	Unstandardized Coefficients		پارامترهای مدل
		Beta	Std. Error	B	
۰.۰۰۰	۳.۱۳		.۶۷۱	۳.۶۴	عرض از مبدأ
۰.۰۰۰	۴.۰۹	.۵۴۶	۰.۰۰۰	۱.۱۲E-۰۳	حجم ترافیک
۰.۰۲۵	۳.۹۸	.۲۳۷	.۶۲۸	۶.۲۹E-۰۵	جمعیت
۰.۰۱۲	-۲.۶۹	-.۲۶۳	۱.۵۰۳	-۵.۴۴E-۰۵	ارتفاع
۰.۰۲۹	-۲.۲۸	-.۳۷۹	.۲۸۴	-۶.۴۲E-۰۴	فاصله از راه اصلی
۰.۰۳۸	-۲.۱۸	-.۲۴۶	.۴۶۸	-۳.۴۲E-۰۴	فاصله از بزرگراه

جدول ۳ ضرایب رگرسیونی آلاینده ذرات معلق

P_Value	t	Standardized Coefficients	Unstandardized Coefficients		پارامترهای مدل
		Beta	Std. Error	B	
۰.۰۰۰	۱۳.۴۶		۸.۰۱	۹۵.۷۶	عرض از مبدأ
۰.۰۰۱	۳.۸۶۱	.۳۹۶	۰.۰۲۶	۰.۱	حجم ترافیک
۰.۰۰۶	-۲.۹۶	-۰.۳۸۵	۰.۰۰۲	-۰.۰۰۱	جمعیت
۰.۰۴۵	۲.۰۹۵	.۵۸۲	۵.۴۰	۱۰.۹۸	صنعتی
۰.۰۰۱	-۳.۷۲۸	-۰.۳۴۱	۱.۹۳	-۷.۲	اداری تجاری

معادله ۱ و ۲ معادلات حاصل از انجام معادلات رگرسیونی را برای دو آلاینده مونواکسید کربن و ذرات معلق در فصل بهار نشان می‌دهند.

$$CO = 3.64 + 1.12 * 10^{-3} Traffic + 6.29 * 10^{-5} Population - 5.44 * 10^{-4} Elevation - 6.42 * 10^{-4} dis_majorroad - 3.42 * 10^{-4} dis_highway$$

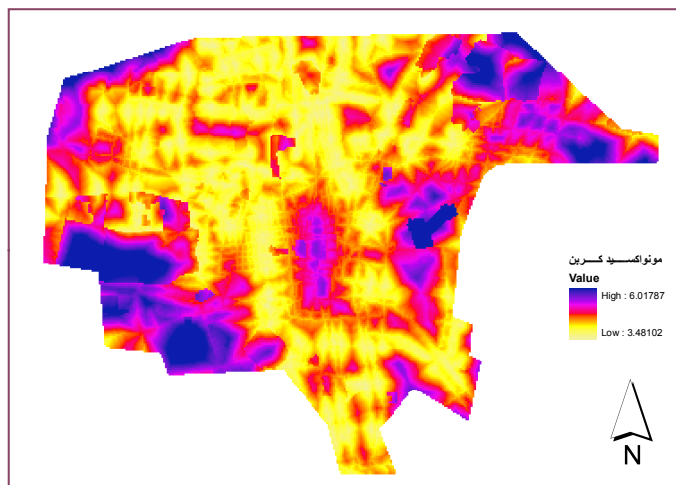
معادله ۱

$$PM_{10} = 95.76 + 0.1 * Traffic - 0.001 * Population + 10.98 * industrial - 7.2 Edari_Tejari$$

معادله ۲

نقشه ۱، نقشه کیفیت هوای حاصل از آلاینده مونواکسید کربن که با استفاده از مدل LUR تولید شده است را نمایش می‌دهد. در واقع این نقشه کیفیت هوا با استفاده از مدل ۱ تولید شده است.

نقشه ۱: نقشه تولید شده توسط مدل LUR برای آلاینده CO



۵- اعتبار سنجی مدل

همانطور که بیان گردید با استفاده از مدل LUR میزان CO و PM₁₀ در مکانهایی که ایستگاه های سنجش آلودگی وجود دارد، تخمین زده شد. این مقدار تخمین زده شده در مکان های ایستگاه های سنجش آلودگی با مقدار اندازه گیری شده توسط این دستگاه مقایسه گردید. برای مقایسه این دو مقدار در این تحقیق از همبستگی استفاده شد. مقدار این همبستگی برای الاینده CO و PM₁₀ به ترتیب ۰.۵۰ و ۰.۵۹ حاصل شد.

۶- بحث و نتایج

بدون شک یکی از مهمترین نتایج رگرسیونی، نتایج حاصل از ضرایب رگرسیونی می باشد. با استفاده از نتایج موجود در جداول ۲ و ۳ به هر آلاینده می توان نتایج مهمی را به دست آورد، که در این قسمت به تفسیر نتایج مهم و اساسی پرداخته می شود. مهمترین آزمون فرضی که بعد از انجام روشهای رگرسیونی باید بررسی شود به صورت زیر می باشد.

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_n \\ H_1: \text{حداقل یکی از } \beta_i \text{ مخالف صفر باشد.} \end{array} \right.$$

این آزمون را برای هر دو آلاینده در سطح معناداری ۰.۰۵ بررسی می شود. با توجه به مقدار Sig یا همان P_Value موجود در جداول ۲ و ۳ مشاهده می گردد که چون کلیه مقادیر از سطح معناداری ۰.۰۵ کوچکتر می باشند، در نتیجه فرض صفر برای کلیه متغیرهای مستقل موجود رد می شود، و این به معنای آن است که هیچ کدام از این ضرایب رگرسیونی برای هر دو آلاینده صفر نمی باشد.

نتیجه دومی که از این دو جدول گرفته می شود این است که زیاد بودن مقدار β_i مربوط به یک آلاینده به معنای مهمتر بودن تأثیر آن متغیر مستقل برای آلاینده مربوطه نمی باشد. علت این امر این است که واحدهای اندازه گیری متغیرهای مستقل با یکدیگر یکسان نمی باشد. برای بررسی اینکه کدامیک از متغیرهای مستقل در این دو آلاینده تأثیر بیشتری دارند، به جای استفاده از ضرایب رگرسیونی باید از β استاندارد شده که در جداول ۲ و ۳ وجود دارد، استفاده کرد. در واقع β استاندارد شده مستقل از واحد اندازه گیری می باشد. مقدار این آماره هر چه بیشتر باشد، نشان می دهد که این متغیر مستقل تأثیر بیشتری در آلاینده دارد. جدول ۴ درجه اهمیت هر یک از متغیرهای مستقل را برای هر دو آلاینده با استفاده از آماره β استاندارد شده نشان می دهد.

جدول ۴ رتبه بندی درجه تأثیر متغیرهای مستقل برای هر یک از آلاینده‌ها

رتبه	مونواکسید کربن	ذرات معلق
۱	حجم ترافیک	اماکن صنعتی
۲	فاصله از راه اصلی	حجم ترافیک
۳	ارتفاع	جمعیت
۴	فاصله از بزرگراه	اداری - تجاری
۵	جمعیت	*

با توجه به جدول ۴ مشخص می‌شود که مهمترین عامل موثر بر آلاینده مونواکسیدکربن حجم ترافیک می‌باشد و مهمترین عامل موثر بر آلاینده ذرات معلق اماکن صنعتی می‌باشد. با توجه به معادله ۱ در مورد متغیر حجم ترافیک می‌توان اینگونه بیان کرد که در صورت افزایش یک واحدی این متغیر در صورت ثابت بودن بقیه متغیرها مقدار آلاینده مونواکسیدکربن $10^{-3} * 1.12$ اضافه می‌شود. حال اگر در یک خیابان تعداد ۱۰۰۰ سواری همسنگ به حجم همسنگ سواری موجود در آن خیابان در یک دوره زمانی معین اضافه شوند، میزان آلاینده مونواکسید کربن موجود در آن منطقه ۱.۱۲ اضافه می‌شود. که با این تفاسیر می‌توان دریافت که با توجه به سیر صعودی افزایش خودروها در شهر تهران، در آینده مشکلات عمده ایجاد می‌شود. بقیه متغیرها را نیز می‌توان به همین ترتیب تفسیر نمود.

۷- نتیجه‌گیری

در کلیه کارهایی که در گذشته انجام شده، مدل LUR کمتر برای آلاینده CO و PM₁₀ مورد استفاده قرار گرفته است. در واقع این مدل بیشتر برای بررسی آلاینده های نظیر NO، NO₂، SO و SO₂ مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل LUR برای برآورد و تخمین این دو آلاینده می‌تواند موثر و مفید باشد. علی‌الخصوص برای مواقعی که داده‌هایی کمی در اختیار داریم توانایی این مدل برای تخمین آلاینده‌ها مفید می‌باشد.

- [1] Brauer, M., Hoek, G., Smit, J., Jongste, J.C., Postma, D.S., Gerritsen, J., Kerkhof, M., Brunekreef, B., 2007. Air Pollution and the development of asthma, allergy and respiratory infections in a birth cohort. *European Respiratory Journal*, **29**, 879–888.
- [2] Gilbert NL, Goldberg MS, Beckerman B, Brook JR, Jerrett M., 2005, Assessing spatial variability of ambient nitrogen dioxide in Montreal, Canada, with a land-use regression model. *J Air Waste Manag Assoc* , **55**, 1059–1063.
- [3] Henderson, S.B., Beckerman, B., Jerrett, M., Brauer, M., 2007. Application of land use regression to estimate long-term concentrations of traffic-related nitrogen oxides and fine particulate matter. *Environmental Science and Technology*, **41**, 2422–2428.
- [4] 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 Analysis and Environmental*, **15**, 185-204.
- [5] Kashima, S., Yorifuji, T., Tsuda, T., Doi, T., 2009. Application of Landuse Regression to Regulatory Air Quality Data in Japan, *Science of The Total Environment*. **36**, 137-146.
- [6] Liu LJ, Curjuric I, Keidel D, Heldstab J, Kunzli N, Bayer-Oglesby L., 2007.Characterization of source-specific air pollution exposure for a large population-based Swiss cohort (SAPALDIA), *Environ Health Perspect*, **115**, 1638–1645.
- [7] Morgenstern V, Zutavern A, Cyrus J, BrockowI, Gehring U, Koletzko S, 2007. Respiratory health and individual estimated exposure to traffic-related air pollutants in a cohort of young children. *Occup Environ Med*, **64**, 8–16.
- [8] Ross Z, Jerrett M, Ito K, Tempalski B, Thurston GD., 2007. A land use regression for predicting fine particulate matter concentrations in the New York City region. *Atmos Environ*, **41**, 2255–2269.
- [9] Ryan PH, Lemasters GK, Biswas P, Levin L, Hu S, Lindsey M, 2007. A comparison of proximity and land use regression traffic exposure models and wheezing in infants. *Environ Health Perspect*, **115**, 278–284.
- [10] Ryan PH, LeMasters GK., 2007. A review of land-use regression models for characterizing intraurban air pollution exposure. *Inhal Toxicol*, 19(Suppl 1):127–133.
- [11] Wheeler AJ, Smith-Doiron M, Xu X, Gilbert NL, Brook JR, 2008, Intra-urban variability of air pollution in Windsor, Ontario—measurement and modeling for human exposure assessment. *Environ Res*, **106**, 7–16.