

## مکان‌یابی مناطق مسکونی در برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری با استفاده از GIS و مدل‌سازی ریاضی انتشار آلودگی هوا

مهرداد هادی‌پور<sup>۱\*</sup>، شراره پورابراهیم<sup>۲</sup>

۱-استادیار گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اراک، کد پستی ۳۸۱۵۶-۸-۸۳۴۹

۲- استادیار گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اراک، کد پستی ۳۸۱۵۶-۸-۸۳۴۹ sh\_pe@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۸۹/۶/۱ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۲/۱۶

### چکیده

گسترش شبکه حمل و نقل شهری و افزایش جاده‌ها موجب افزایش دسترسی‌ها به عنوان عارضه مثبت و افزایش آلودگی هوا به عنوان عارضه منفی می‌شود. نظر به نقش حساس آلودگی هوا در سلامت شهری و نیز در رضامندی سطح کیفی زندگی شهری، این عنصر به عنوان کلید تحقیق برگزیده شده است. هدف تحقیق، طراحی و توسعه مدل ریاضی با رویکرد معرفی مناطق قابل توسعه برای توسعه شبکه حمل و نقل شهری و جانمایی مناطق مسکونی با هدف افزایش دسترسی و کاهش آلودگی هواست. اراک به عنوان یک شهر در حال توسعه در ایران به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است. روش تحقیق با محوریت تهیه و طراحی مدل شهری با محاسبه فاصله مناسب مناطق مسکونی از جاده‌ها برای کاهش آلودگی هوا و استقرار درست شبکه حمل و نقل شهری نسبت به مناطق مسکونی بوده است. ابزار GIS با توانایی ارزیابی گزینه‌های مختلف و نیز همپوشانی لایه‌های متفاوت ابزاری کارآمد در این تحقیق تلقی می‌شود. نتایج، مبین کارایی مدل طراحی شده جهت مکان‌گزینی مناسب شبکه حمل و نقل در مناطق مسکونی است. نقشه‌های مختلف مبین استقرار نامناسب بخشی از مناطق مسکونی در مناطق آلوده تقریباً در اطراف همه جاده‌های اصلی است که مخاطرات ناشی از آلودگی‌های حمل و نقل را برای سلامت ساکنان به همراه دارد. این تحقیق بروشنی دربردارنده یک رهیافت علمی در تهیه مدل‌های توسعه حال و آتی کاربری مسکونی و شبکه حمل و نقل شهری است که می‌تواند در برنامه‌ریزی شهری در سطوح منطقه‌ای و کشوری مورد استفاده واقع شود.

### کلید واژه

آلودگی هوا، شبکه حمل و نقل، مدل ریاضی توسعه شهری، سیستم اطلاعات جغرافیایی.

### سر آغاز

شبکه حمل و نقل ایفا می‌کند (White and Engelen, 2004). افزایش و گسترش اجتناب‌ناپذیر مناطق مسکونی به موازات رشد و توسعه بی‌رویه شهرنشینی در دهه‌های اخیر، سبب ایجاد فصول تازه‌ای در مشکلات زیست محیطی شهری شده است (Bell and Blake, 2000). در سیستم حمل و نقل شهری، افزایش و گسترش کاربری‌ها منجر به عوارض زیست محیطی متعددی در زمینه‌های آلودگی‌ها، دسترسی‌ها و کاربری اراضی می‌گردد. در این راستا آلودگی هوا به عنوان مبحثی مهم و اساسی زیست محیطی همواره مورد تأکید متخصصان و برنامه‌ریزان سلامت شهری بوده است (Colville, et al., 2000 and Wayson, 2000) بنابراین لزوم بررسی همزمان مباحث آلودگی هوا

رشد و توسعه بی‌رویه شهرها عوارضی چون آلودگی هوا، تراکم کاربری‌ها و مصرف منابع را به همراه داشته است. حمل و نقل شهری نیز از عوارض این نوع توسعه بی‌نصیب نبوده است. تأکید یکسویه روی دسترسی به عنوان مهمترین هدف حمل و نقل شهری و توسعه بی‌رویه جاده‌های شهری سبب افزایش حجم ترافیک و عوارض زیست محیطی بویژه آلودگی هوا شده است. آلودگی هوا به عنوان یک عنصر فراساختاری در سیستم حمل و نقل شهری، به عنوان یک شاخص مهم در سلامت و زندگی انسانها در نظر گرفته می‌شود. بدین معنی که آلودگی هوای ناشی از حمل و نقل نقشی سرنوشت‌ساز در چگونگی استقرار کاربری‌های شهری نسبت به

به آلودگی هوا پایه‌گذاری شده است. فاصله مناطق مسکونی از جاده‌های شهری در چارچوب مدل ریاضی قرار گرفته است که اساس آن بر چگونگی انتشار منوکسیدکربن از تردد خودروها استوار است.

تعیین سایر مشخصه‌ها به تجزیه و تحلیل نقش و تأثیر آنها به صورت منفرد بر چگونگی انتشار منوکسیدکربن از تردد خودروها باز می‌گردد. مشخصه‌های مؤثر از قبیل ارتفاع صعود عمودی منوکسیدکربن، فشار و دمای متوسط جوی، قطر متوسط آگروز، سرعت متوسط خروج گاز از آگروز، سرعت متوسط باد و حجم ترافیک بر مبنای گزارش‌های آماری موجود یا استانداردهای حمل و نقل و نوع جاده‌ها تعیین شده‌اند. همچنین کمی‌سازی اطلاعات بر اساس روشهای تجزیه و تحلیل ریاضی چون روش تجزیه و تحلیل تابع توانی و با استفاده از نرم‌افزار Excell 2003 تعیین شده است. دوره زمانی ارزیابی کیفیت هوا در مدل‌سازی، با توجه به خصوصیات توزیع منوکسیدکربن، ۸ ساعت در شبانه روز در نظر گرفته شده است (WHO, 2000).

اساس روش مدل‌سازی برآورد حداکثر تراکم منوکسیدکربن در سطح زمین است، که به انتشار افقی و عمودی منوکسیدکربن تولید شده به وسیله باد وابسته است. در این فرض سرعت متوسط باد جایگزین سرعت باد در زمان‌های مختلف می‌شود. منوکسیدکربن همچون سایر آلاینده‌ها دارای زمان ماندگاری است که این زمان به عواملی چون دما، فشار جوی و سرعت باد بستگی دارد. بر این اساس ماندگاری منوکسیدکربن، به عنوان شاخصی برای محاسبه فاصله مناسب مکان‌گزینی مناطق مسکونی در نظر گرفته می‌شود. این شاخص می‌تواند تابعی باشد از دما و فشار جوی، سرعت و دمای گاز خروجی از آگروز خودروها، قطر متوسط تخمینی مجموع آگروز خودروها، سرعت متوسط باد و حجم ترافیک باشد. شهر اراک به‌عنوان یک شهر در حال توسعه در ایران برای منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است. دلایل اصلی این انتخاب را می‌توان به شرح ذیل خلاصه کرد:

۱. تراکم و تعدد مراکز مختلف مسکونی، صنعتی و تجاری در این شهر، وجود مسیرهای جاده‌ای مختلف، دسترسی این مراکز به یکدیگر و لزوم بهینه‌سازی حمل و نقل شهری.

۲. تردد قابل ملاحظه خودروها بویژه در بخش دولتی.

۳. جاذبه‌های زیست محیطی شهر.

و برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری بیش از پیش احساس می‌شود (Xie, et al., 2005). در این راستا ابزارهای ریاضی و آماری، می‌تواند نقشی مؤثر و سازنده در از بین بردن چالش‌های زیست محیطی و ترافیکی در برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری بازی کند. این مهم مستلزم مد نظر داشتن عوامل مختلف و درجه تأثیر آنها بر چارچوبهای زیست محیطی و ترافیکی است. تحقیق حاضر با هدف گسترش شبکه حمل و نقل و کاهش عوارض زیست محیطی آلودگی‌ها به توسعه یک مدل ریاضی می‌پردازد. این مدل برای مکان‌گزینی مناطق مناسب توسعه کاربری‌ها و شبکه حمل و نقل در سیستم حمل و نقل شهری کارآیی دارد. سودمندی و دقت مدل به صورت موردی برای شهر اراک مورد بررسی واقع می‌شود. این مدل به‌طور خاص بر فراهم‌سازی کیفیت مطلوب هوا برای مناطق مسکونی تأکید دارد، که این مهم با محاسبه فاصله مناسب مناطق مسکونی از جاده‌های شهری به‌منظور پرهیز از آلودگی‌های هوای ناشی از تردد خودروها میسر می‌شود.

اراک به‌عنوان شهری در حال توسعه، با توجه به برخی از اولویتهای زیست محیطی به عنوان منطقه مطالعاتی برگزیده شده است. از جمله آن اولویتهای می‌توان به مواردی از قبیل مسیرهای متعدد دسترسی به مراکز و تسهیلات مهم شهری، تراکم و حجم بالای حمل و نقل شهری، لزوم توجه به استقرار درست عناصر فراساختاری، با توجه به جمعیت و کاربری‌های رو به توسعه و اهمیت و تراکم مراکز اداری و تجاری مستقر در شهر اشاره کرد.

در واقع این تحقیق تلاشی است برای بهینه‌سازی مکانی کاربری‌ها و شبکه حمل و نقل در برنامه‌ریزی شهری به‌منظور کاهش آثار سوء آلودگی هوا بر سلامت ساکنان شهر.

از نکات برجسته تحقیق که آن را از تحقیقات قبلی متمایز می‌سازد، می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

- بررسی توام آلاینده‌های ناشی از تردد خودروها و مکان‌یابی کاربری‌های مسکونی با هدف کشف ارتباطات مکانی و ریاضی آنها.
- ساختار کمی (مدل‌سازی ریاضی) و مکاندار (نقشه‌سازی در محیط GIS) که توانایی استناد قوی‌تر و نیز سهولت واسنجی را به آن می‌بخشد

### مواد و روش بررسی

تحقیق حاضر بر پایه تجزیه و تحلیل‌های متعدد ریاضی و

آماري، از طريق مدل مکانی کاربری‌های شهری، با توجه

$$C_x = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z U} e^{-1/2 \left( \frac{H}{\sigma_z} \right)^2} e^{-1/2 \left( \frac{Y}{\sigma_y} \right)^2} \quad (1)$$

مشخصه های این معادله عبارتند از :

$$C_x = \text{غلظت آلاینده در سطح زمین}$$

$$Q = \text{نرخ متوسط انتشار آلاینده از حمل و نقل}$$

$$\Delta h = \text{ارتفاع صعود آلاینده}$$

$$\sigma_y = \text{انحراف معیار وزش باد در جهت افقی}$$

$$\sigma_z = \text{انحراف معیار وزش باد در جهت عمودی}$$

### کمی سازی اجزای مدل

از آنجا که غلظت CO بسیار حساس و حجم ترافیک در بستر زمان متغیر و غیر قابل کنترل است، بنابراین در محاسبه میزان انتشار CO (مشخصه Q در معادله ۱) از ظرفیت جاده ای به عنوان عاملی به منظور محاسبه حداکثر حجم ترافیک استفاده شده است:

$$Q = (RC)q_c \quad (2)$$

که در آن :

$$Q = \text{مجموع نرخ انتشار CO از خودروها}$$

$$RC = \text{ظرفیت جاده در زمان پایداری CO}$$

$$q_c = \text{نرخ متوسط انتشار CO از یک خودرو}$$

برای محاسبه RC می توان از این فرمول ساده استفاده کرد (Department of Transport, 1996):

$$RC = \left( \frac{(W L_p) V_t}{C_m} \right) \quad (3)$$

$$W = \text{عرض خیابان بر اساس نوع خیابان (متر)}$$

$$L_p = \text{مقدار طول جاده طی شده به وسیله خودرو}$$

$$C_m = \text{سطح متوسط اشغال شده به وسیله خودرو در زمان مورد نظر (متر مربع)}$$

$$V_t = \text{سرعت متوسط خودرو بر اساس نوع خیابان (متر بر ثانیه) =}$$

$$\text{متوسط طول جاده طی شده به وسیله خودرو در یک ثانیه (متر)}$$

با در نظر داشتن زمان پایداری CO ، زمان محاسبه ظرفیت جاده ۱۵ دقیقه در نظر گرفته شده است (Colorado Department of Public Health and Environment, 1996)

بر اساس منطقه مطالعاتی و سوابق آماری موجود از حجم

### فرایند ریاضی مدل سازی آلودگی هوا

این فرایند شامل ترکیب مدل ها و فرمول های ساده تر و واسنجی آنها در قالب مدل ریاضی نهایی همسو با اهداف تحقیق است. در این فرایند فاصله مناسب مناطق مسکونی از خیابان های شهری بر اساس آلودگی های هوا تعریف می شود. اجزا و مشخصه ها با در نظر داشتن شاخص های سلامتی ساکنان شهری در مدل لیست می شوند.

نقش حمل و نقل شهری در انتشار میزان آلاینده های هوا خودنمایی می کند به گونه ای که تهدیدکننده سلامت مناطق مسکونی در فواصل مناسب بین مناطق مسکونی و خیابانها نباشد. مهمترین بخش در این فرایند تعیین نوع و نقش متغیرهای ریاضی است.

مشخصه های مختلفی در انتشار آلاینده های حمل و نقل مؤثرند و آلاینده های متعددی از خودروها متصاعد می شوند (Clean Water Action Council, 2008). لیکن در حدود ۷۰ تا ۹۰ درصد از آلودگی های حمل و نقل متعلق به عنصر منوکسیدکربن است (Jean, et al, 2005). از این رو در این تحقیق این عنصر به عنوان شاخص آلودگی های حمل و نقل در نظر گرفته شده است.

سطح غلظت منوکسیدکربن برای سلامت انسان (۱۰ میلی گرم در مترمکعب برای ۸ ساعت) به عنوان شاخص هوای سالم مناطق مسکونی در نظر گرفته شده است (استانداردهای هوای پاک در ایران، ۱۳۸۸).

نقش حمل و نقل در تولید منوکسیدکربن در این مدل ریاضی تجلی می یابد. آلودگی هوا می تواند در قالب میزان منوکسیدکربن تولید شده از مجموع تعداد خودروها کمی سازی شود. این کمیت به صورت نرخ انتشار منوکسیدکربن از یک خودرو و تعداد خودروهایی که در زمانی مشخص از طول مشخصی از جاده عبور می کنند (حجم ترافیک) بیان می شود (Vos, 2002).

با توجه به این مهم حداقل فاصله مجاز مناطق مسکونی و جاده برای از بین بردن آثار آلودگی منوکسیدکربن فاصله ای است که غلظت منوکسیدکربن در آن به ۱۰ میلی گرم در مترمکعب (سطح غلظت منوکسیدکربن برای سلامت انسان) کاهش می یابد (استانداردهای هوای پاک در ایران، ۱۳۸۸). این فاصله به انتشار منوکسیدکربن در جهت عمودی و افقی با توجه به سرعت باد بستگی دارد که به صورت مقدماتی از معادله ذیل قابل استخراج است (Turner, 1995)

(۱۳۸۹) و گزارش سالانه آب و هوایی استان مرکزی (۸۵-۱۳۸۰) استخراج شده‌اند.

### نتایج و یافته‌ها

#### توسعه مدل ریاضی برای انتخاب کاربری‌ها در اطراف شبکه حمل و نقل شهر اراک

در این مرحله مدل‌سازی ریاضی انتخاب کاربری‌ها در اطراف شبکه حمل و نقل شهر اراک به مرحله نهایی می‌رسد. برای این منظور خصوصیات اقلیمی و ترافیکی شهر در چارچوب محاسباتی ذیل واسنجی شده و یک مدل ریاضی کاربردی با رویکردی جدید در زمینه حمل و نقل و آلودگی هوا تولید می‌شود. این مدل به صورت خاص و متمایز در بردارنده توانایی و سودمندی در کمی‌سازی و مکان‌دار کردن اطلاعات مربوط به آلودگی‌های حمل و نقل شهری است.

از آنجا که حداکثر غلظت مجاز CO برابر با  $0.01 \text{ g/m}^3$  است، معادله شماره ۱ به صورت زیر بازنویسی شده است:

$$\sigma_y (\sigma_z)^3 = \left( \frac{19.3Q\Delta h^2}{U} \right) \quad (6)$$

فاصله مجاز جاده از مناطق مسکونی ( $D_{\min}$ ) در این معادله که بصورت تابع  $\sigma_y$  و  $\sigma_z$  مطرح شده است به صورت زیر جایگزین شده است:

$$F(D_{\min}) = \left( \frac{19.3Q\Delta h^2}{U} \right) \quad (7)$$

$$F(D_{\min}) = \sigma_y (\sigma_z)^3$$

$F(D_{\min})$  به عنوان تابعی برای منطقه مطالعاتی باتوجه به جمیع شرایط اقلیمی و ترافیکی منطقه مطالعاتی (اطلاعات ترافیکی استان مرکزی ۱۳۸۹ و گزارش سالانه آب و هوایی استان مرکزی ۸۵-۱۳۸۰) با توجه به استانداردهای تعریف شده (Turner 1995) محاسبه می‌شود که برای منطقه اراک عبارت است از:

$$\sigma_z = 0.24D(1+0.0001D)^{-1/2} \quad (8)$$

$$\sigma_y = 0.32D(1+0.0004D)^{1/2} \quad (9)$$

ترافیک محاسبه شده است (اطلاعات ترافیکی استان مرکزی ۱۳۸۹) که برای منطقه مطالعاتی ۷/۶ متر مربع است.  $Vt$  و  $W$  به نوع جاده (جدول شماره ۱) بستگی دارند و  $Lp$  به اندازه شبکه‌بندی ( $25m \times 25m$ ) برای بررسی آلودگی هوا باز می‌گردد (Colorado Department of Public Health and Environment, 1996).

$Q_c$  طی یک محاسبه ریاضی با توجه به مشخصه‌هایی چون نوع و مصرف سوخت خودروها، درصد انواع خودروها، سن متوسط خودروها (اطلاعات ترافیکی استان مرکزی ۱۳۸۹) و متوسط میزان تولید آلاینده‌ها از خودروها به دست می‌آید که برای منطقه اراک  $0.38$  گرم بر مترمکعب محاسبه شده است. برای محاسبه  $\Delta h$  (ارتفاع صعود CO) معادلات ذیل استفاده شده اند (Vos, 2002):

$$\Delta h = 1.6 \left( \frac{F_0 t^2}{U} \right)^{1/3} \quad (4)$$

$$F_0 = g v_s r_s^2 \left[ 1 - \left( \frac{T_a}{T_s} \right) \right] \quad (5)$$

$F_0 = (m/s)^3$  = فاکتور رانش

$t =$  زمان (ثانیه)

$U = (m/s)$  = سرعت باد در جهت افقی

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$  = شتاب جاذبه زمین

$v_s = (m/s)$  = سرعت خروج دود از آگزوز

$T_s =$  دمای خروج دود از آگزوز (کلوین)

$r_s =$  شعاع خروج دود از آگزوز (متر)

#### جدول شماره (۱): خصوصیات جاده‌های مختلف شهری

نوع جاده	عرض متوسط (متر)	سرعت (متر بر ثانیه)
شریانی	۲۸	۲۲
شبه - شریانی	۲۴	۱۹
ارتباطی	۱۳	۱۳
محلی	۱۱	۸-۱۱
بزرگراه	۴۰	۳۰

(منبع: Jameson and Clurge, 2002)

مقادیر  $\sigma_y$  و  $\sigma_z$  از استانداردهای تدوین شده (Turner 1995) و سایر مشخصه‌ها از اطلاعات ترافیکی استان مرکزی

معادله فوق مبین فاصله مجاز کاربری‌های مسکونی از جاده برای شهر اراک است.

با توجه به کم‌تأثیر بودن مقادیر ناچیز 0.0001 و 0.0004 در محاسبات، این مقادیر قابل چشم‌پوشی خواهند بود. در نتیجه:

**نمونه برداری میدانی**

در این مرحله برای ارزشیابی مدل ساخته شده، نمونه برداری میدانی برای مشخصه‌های مدل صورت می‌گیرد. برای این منظور ۵ ایستگاه (شکل شماره ۱ و جدول شماره ۲) در سطح شهر بر اساس معیارهای زیر انتخاب می‌گردند:  
الف- جاده‌های پر تردد

$$F(D_{\min}) = 0.32(D_{\min})[0.24(D_{\min})]^3 \quad (10)$$

$$F(D_{\min}) = 4.42 \times 10^{-3} (D_{\min})^4 \quad (11)$$

ب- دور بودن از سایر منابع آلودگی (صنایع و تقاطع‌های جاده‌ای)

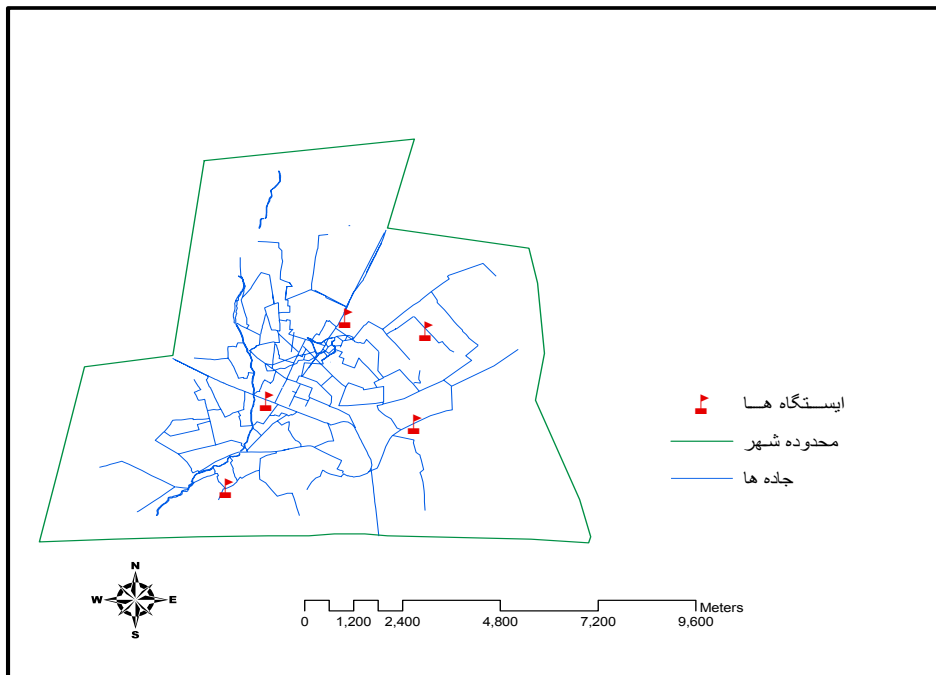
و در نهایت با توجه به معادلات ۷ و ۱۱ خواهیم داشت:

پ- پراکنش جغرافیایی منطقی

$$\left(\frac{19.3\Delta h^2 Q}{U}\right) = 4.42 \times 10^{-3} (D_{\min})^4 \quad (12)$$

ت- در بر داشتن انواع جاده‌ها

$$D_{\min} = 8.13\Delta h^{1/2} \left(\frac{Q}{U}\right)^{1/4} \quad (13)$$



شکل شماره (۱): ایستگاههای نمونه‌برداری

جدول شماره (۲): مشخصات ایستگاههای نمونه‌برداری

عرض جغرافیایی (شمالی)	طول جغرافیایی (شرقی)	نوع جاده	نام ایستگاه
۳۴° ۰۴' ۴۱"	۴۹° ۴۱' ۱۶"	شبه - شریانی <sup>۱</sup>	خیابان دکتر شریعتی
۳۵° ۰۵' ۰۹"	۴۹° ۴۲' ۱۳"	شریانی <sup>۲</sup>	بلوار جهاد
۳۴° ۰۶' ۳۳"	۴۹° ۴۲' ۵۰"	محلی <sup>۳</sup>	خیابان فاطمیه
۳۴° ۰۷' ۰۱"	۴۹° ۴۲' ۱۴"	شریانی	خیابان قائم مقام فراهانی
۳۴° ۰۵' ۱۵"	۴۹° ۴۱' ۱۶"	محلی	خیابان شهید ادبجو

مشخصه‌های مورد اندازه‌گیری عبارتند از: غلظت منوکسید کربن، حجم ترافیک، سرعت و جهت باد، فاصله مناطق مسکونی و جاده‌ها. با توجه به زمان پایداری منوکسیدکربن و نیز نوسانات حجم ترافیک در طول روز، مشخصه‌های مذکور در هر ایستگاه در مقاطع زمانی ۵ دقیقه‌ای و طی ۱۰-۹ نمونه‌برداری در طول روز اندازه‌گیری می‌شوند.

فاصله محل نمونه‌برداری از جاده (D در شکل شماره ۲) در هر نمونه‌برداری به صورت تصادفی تغییر می‌کند. پس از انجام نمونه‌برداری ابتدا با کمک مقادیر ثبت شده برای مشخصه‌ها ابتدا فاصله محاسباتی  $D_{min}$  محاسبه می‌شود.

سپس از طریق درون‌یابی هندسی (شکل شماره ۳) فاصله میدانی محاسبه می‌شود.

مطابق شکل شماره (۳):  
 $AB =$  مجموع نرخ انتشار CO خودروها در ایستگاه نمونه‌برداری (قابل محاسبه از معادله ۲)  
 $CH =$  غلظت CO ثبت شده در کار میدانی  
 $EF =$  آستانه آلودگی CO برای سلامت انسان  
 $BH =$  فاصله انتخابی از جاده جهت نمونه‌برداری در کار میدانی  
 $BF =$  حد اقل فاصله میدانی مجاز از جاده برای از بین بردن عوارض CO.

با توجه به مقادیر معلوم  $AB, CH, EF, BH$  مقدار  $D_{min}$  میدانی (BF) به راحتی و از طریق روابط هندسی مثلث‌های مشابه در شکل شماره (۳) محاسبه می‌شود.

### تجزیه و تحلیل حساسیت

جهت بررسی میزان حساسیت فاصله مجاز نسبت به مشخصه‌های مختلف تشکیل‌دهنده مدل از تجزیه و تحلیل حساسیت استفاده شده است.

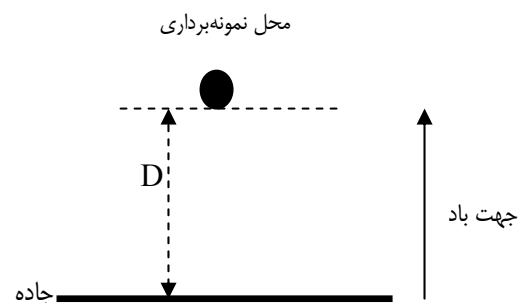
تجزیه و تحلیل حساسیت مدل بوسیله نمونه‌برداری میدانی انجام شده است که در آن اختلاف بین نمونه‌برداری‌های میدانی و محاسباتی محاسبه و آثار سه متغیر اصلی (ارتفاع صعود، سرعت باد و نرخ انتشار آلاینده) بررسی شده است.

مقادیر  $D_{min}$  محاسبه شده به وسیله مدل (فاصله محاسباتی) و درون‌یابی شده هندسی (فاصله میدانی) حاکی از وجود خطاهای قابل ملاحظه در برخی از ایستگاه‌های نمونه‌برداری است (شکل شماره ۴).

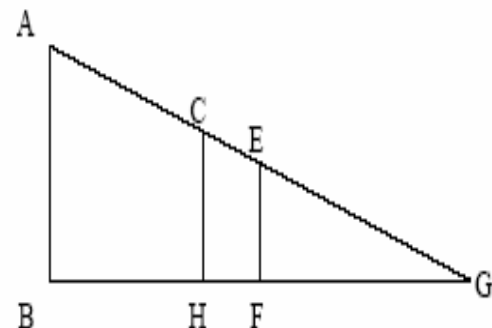
برای بررسی این مهم، مشخصه‌های عمده مدل (نرخ انتشار آلاینده، ارتفاع صعود و سرعت باد) را با توجه به اندازه، ارزش، میزان پراکنش و تعدادشان در نمونه‌ها به سه طبقه کلی تقسیم کرده و ارتباط آنها را با در صد خطاها بررسی می‌کنیم.

مطالعات انجام شده (شکل‌های شماره ۵ و ۶) مبین عدم وجود ارتباط معنی‌دار بین در صد خطا و دو مشخصه ارتفاع صعود و سرعت باد است. در حالی که این مهم با افزایش نرخ انتشار آلاینده به روشنی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (شکل شماره ۷).

این امر بیانگر حساسیت بالای مدل نسبت به این مشخصه است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که این اختلاف در فواصل بالای نمونه‌برداری از جاده بیشتر به چشم می‌آید که می‌تواند متاثر از سایر منابع کوچک آلاینده (دخانیت و ...) و نیز آثار کاهش سرعت و جهت باد باشد.

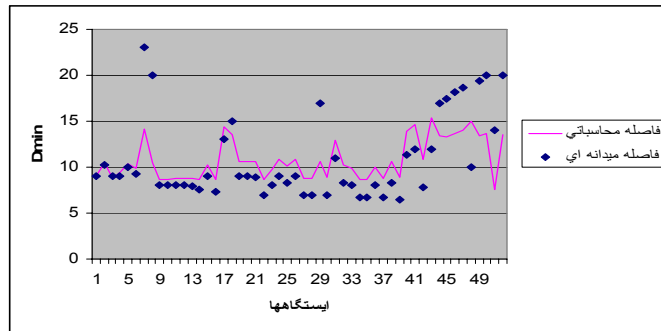


شکل شماره (۲): نمای هندسی فرضی نمونه‌برداری میدانی

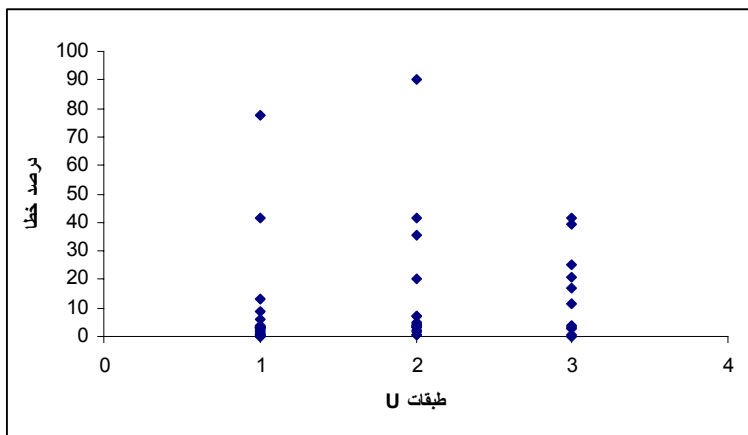


شکل شماره (۳): نمای فرضی چگونگی درون‌یابی هندسی در

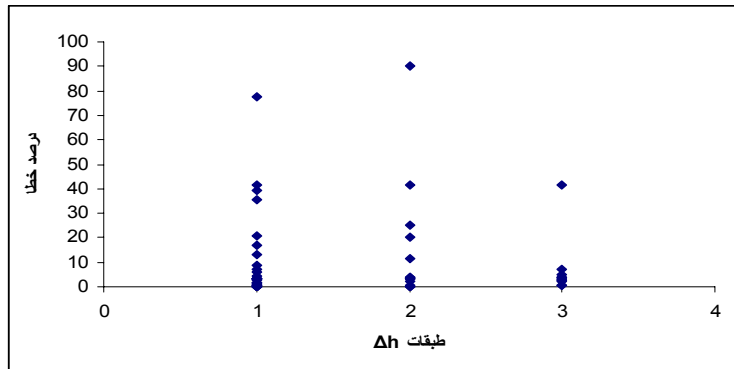
نمونه‌برداری میدانی



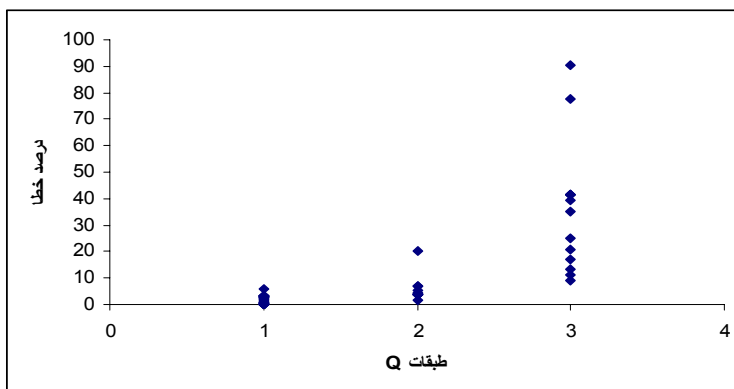
شکل شماره (۴): مقادیر  $D_{min}$  محاسبه شده به وسیله مدل و درون یابی شده هندسی در نمونه‌برداری‌های میدانه‌ای



شکل شماره (۵): نمودار ارتباط بین در صد خطا و مشخصه سرعت باد



شکل شماره (۶): نمودار ارتباط بین در صد خطا و مشخصه ارتفاع صعود

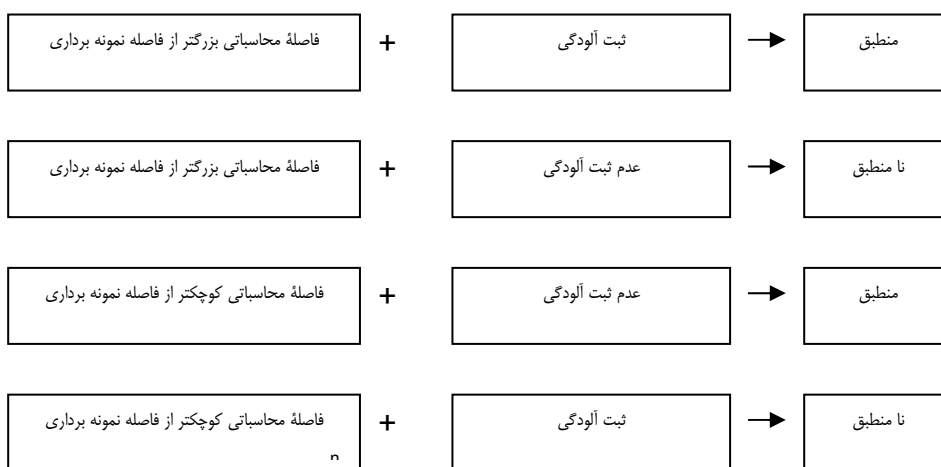


شکل شماره (۷): نمودار ارتباط بین در صد خطا و مشخصه نرخ انتشار آلاینده

### تست صحت مدل

مراحل تست مدل در چارچوب انطباق نتایج نمونه برداری و محاسبه است. برای نمونه چنانچه فاصله (D<sub>min</sub>) محاسباتی بزرگتر از فاصله نمونه برداری باشد، بدین معنی است که نمونه برداری در منطقه آلوده انجام شده است، در نتیجه مقدار قرائت شده CO باید حد بالاتر از آستانه آلودگی یعنی ۱۰ میلی گرم در متر مکعب

(استانداردهای هوای پاک در ایران ۱۳۸۸) را نشان دهد. چنین رویکردی برای سایر گزینه‌های محتمل نمونه برداری در قالب سناریوهای مندرج در شکل شماره (۸) انجام پذیر است. نتایج مشاهدات حکایت از ۶۷/۳ درصد انطباق است. این مقدار برای تأیید کارآمدی مدل کفایت خواهد کرد.

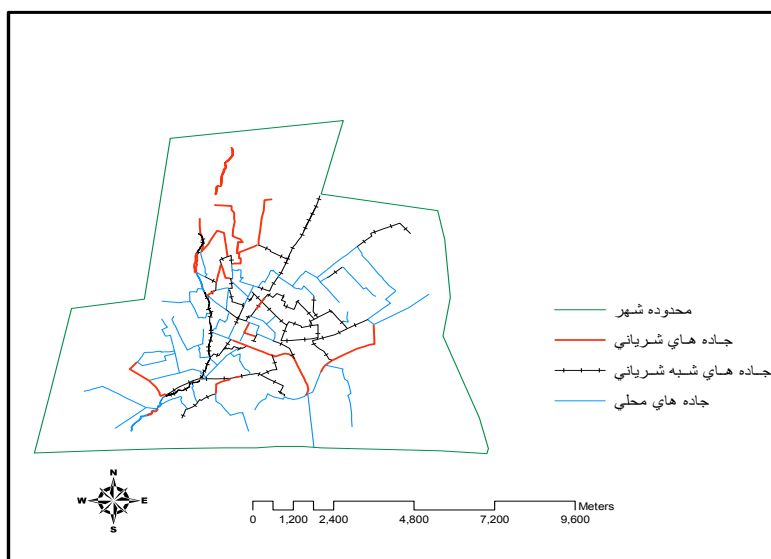


شکل شماره (۸): سناریوهای مختلف جهت تست صحت مدل

مسکونی اراک از جاده‌های شهری برای مصونیت از آلودگی، به کمک مدل ساخته شده، به شرح جدول شماره (۳) محاسبه شده است.

### نقشه سازی آلودگی‌های حمل و نقل در محیط GIS

جاده‌های موجود در شهر اراک با توجه به خصوصیات مندرج در جدول شماره (۱) طبقه بندی و نقشه سازی شد که به شرح شکل شماره (۹) است. در این زمینه کوتاهترین فاصله قابل قبول مناطق



شکل شماره (۹): نقشه جاده‌ها به تفکیک طبقات مختلف جاده‌ای در شهر اراک



**جدول شماره (۳): کوتاهترین فاصله قابل قبول مناطق مسکونی اراک از جاده‌های شهری برای مصونیت از آلودگی**

نوع جاده	D <sub>min</sub>
شریانی	۱۵/۸۶ متر
شبه - شریانی	۱۴/۷۱ متر
ارتباطی <sup>۴</sup>	۱۳/۷۰ متر
محلی	۱۰/۶۵ متر
بزرگراه <sup>۵</sup>	۱۳/۰۷ متر

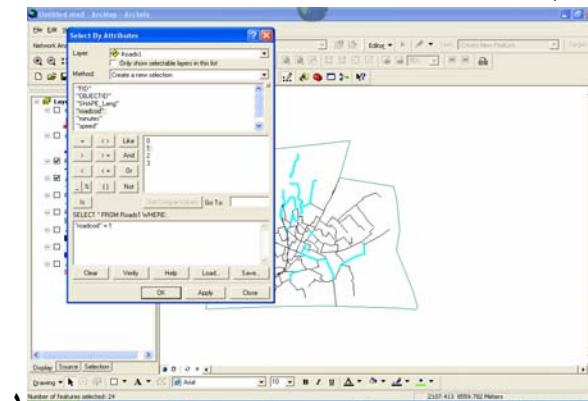
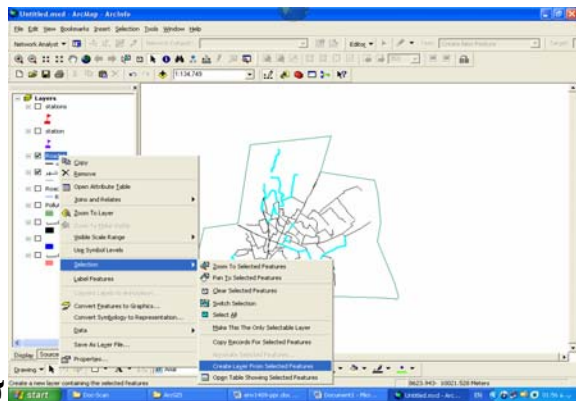
II. تجمیع و یک کاسه‌کردن لایه‌های اطلاعاتی ناشی از مرحله اول و تولید لایه مناطق در معرض آلودگی کل شهر با کمک گزینه Union نرم افزار ( شکل شماره ۱۱).

III. کسر لایه تولید شده در مرحله دوم از مساحت شهر و تولید لایه مناطق غیر آلوده کل شهر با کمک گزینه Erase نرم افزار ( شکل شماره ۱۲).

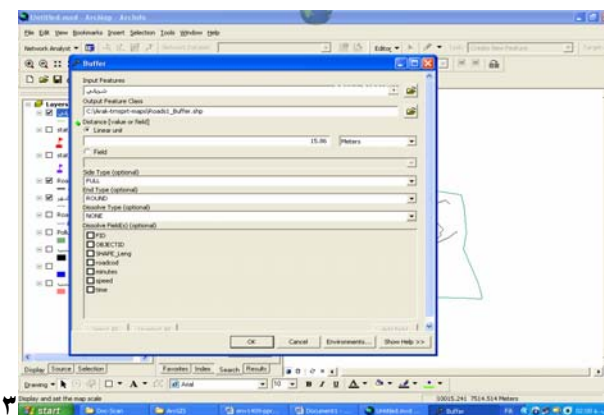
IV. ترکیب لایه تولید شده در مرحله سوم با لایه مناطق مسکونی شهر با کمک گزینه Intersect نرم افزار ( شکل شماره ۱۳) و تولید لایه مناطق مسکونی غیر آلوده کل شهر.

برای حصول اطمینان از اینکه خطر آلودگی هوای ناشی از حمل و نقل شهری برای ساکنان منطقه مسکونی وجود ندارد، نتایج حاصل از جدول شماره (۳) نقشه‌سازی شده است. این نقشه‌سازی با در نظر گرفتن شعاع آلودگی ناشی از تردد خودروها در محیط نرم افزار ArcGIS 9.1 انجام می‌شود. فرایند نقشه‌سازی مطابق مراحل ذیل است:

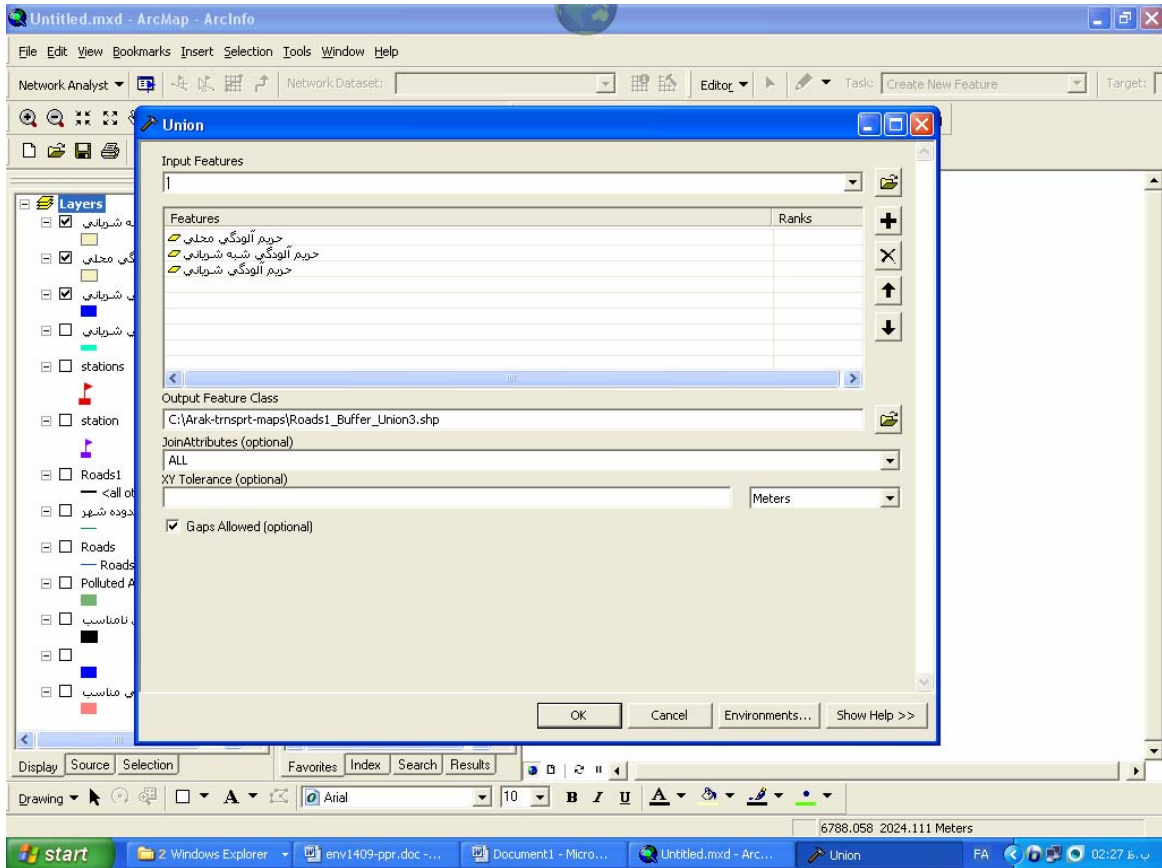
I. استفاده از گزینه Buffering در نرم افزار ArcGIS برای ساختن مناطق در معرض آلودگی در اطراف هر تیپ جاده با منظور کردن مقادیر کوتاهترین فاصله قابل قبول مندرج در جدول شماره (۳) ( یکی از موارد به عنوان نمونه در شکل شماره (۱۰) ذکر شده است).



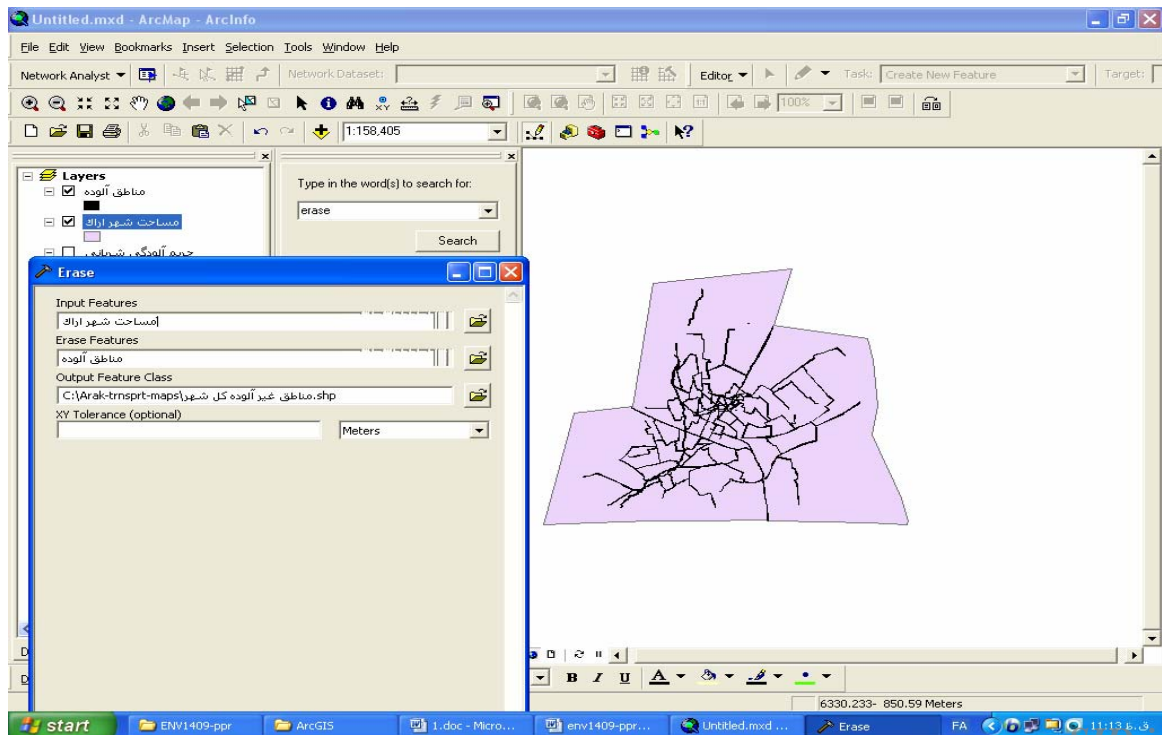
۱. انتخاب طبقه جاده ( شریانی) به وسیله کد مربوطه
۲. ساختن لایه جداگانه برای طبقه جاده
۳. ساختن حریم آلودگی برای طبقه جاده



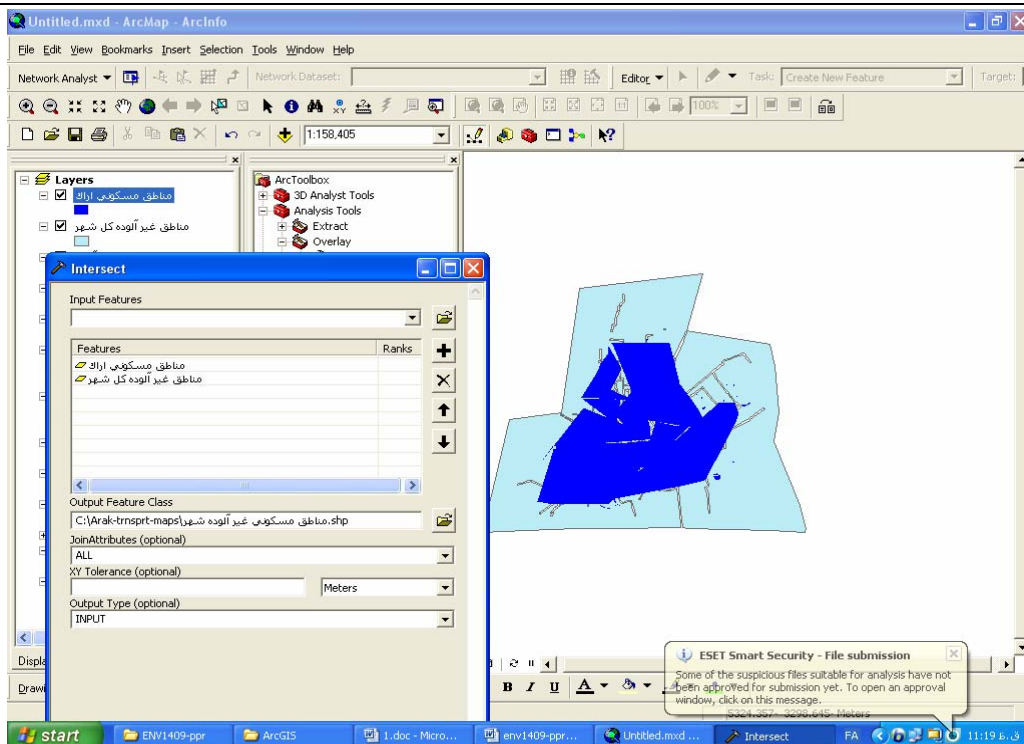
**شکل شماره (۱۰): فرایند نقشه‌سازی مناطق در معرض آلودگی اطراف جاده‌های شریانی در محیط GIS**



شکل شماره (۱۱): فرایند تجمیع لایه‌های اطلاعاتی مناطق در معرض آلودگی اطراف جاده‌های مختلف در محیط GIS



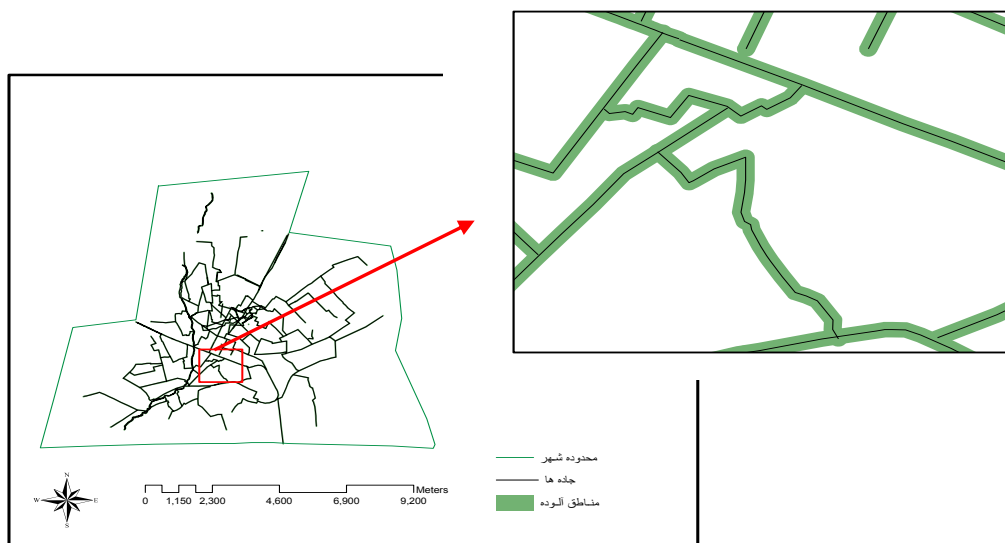
شکل شماره (۱۲): فرایند ساخت لایه مناطق غیر آلوده کل شهر در محیط GIS



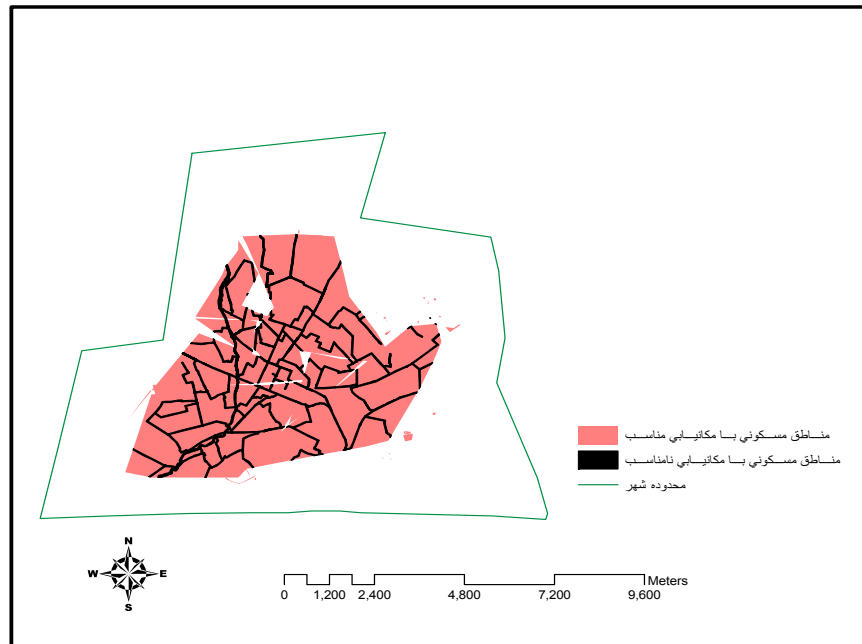
شکل شماره (۱۳): فرایند ساخت لایه مناطق مسکونی غیر آلوده شهر در محیط GIS

این یافته در واقع مناطق دارای نیروی مناسب برای استقرار صحیح مناطق مسکونی در فاصله مناسب از جاده‌های شهری و خارج از حریم آلودگی نشان می‌دهد.

نتایج نقشه‌سازی در شکل‌های شماره (۱۴ و ۱۵) مشاهده می‌شود. نتایج شکل شماره (۱۰) برای شناسایی مناطق مناسب برای کاربری مسکونی مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل شماره (۱۴): نقشه مناطق در معرض آلودگی ناشی از حمل و نقل شهری



شکل شماره (۱۵): نقشه مکان یابی مناطق مناسب و نامناسب مسکونی شهر اراک از نظریه آلودگی هوا

### بحث و نتیجه گیری

مدل ساخته شده که محصول فرایند ترکیب مدل‌ها و فرمولهای دیگر است، بادر نظر داشتن اصول و ضوابط واسنجی در قالب یک مدل ریاضی دیگر قابل تعمیم به مناطق دیگر است. در فرایند واسنجی اجزا و مشخصه‌ها با در نظر داشتن شاخص‌های اقلیمی و ترافیکی منطقه مطالعاتی جدید در مدل اعمال می‌شوند. مهمترین بخش در این فرایند نیز تعیین نوع، نقش و جایگاه متغیرهای ریاضی است. در همین راستا فرایند واسنجی مدل برای منطقه ای متفاوت از نظر اقلیمی و ترافیکی (بندر عباس) ذکر می‌شود. برای توسعه مدل ریاضی برای انتخاب کاربری‌ها در اطراف شبکه حمل و نقل شهر بندر عباس خصوصیات اقلیمی و ترافیکی متفاوت این شهر از اراک در چارچوب محاسباتی ذیل واسنجی می‌شود.

$F(D_{min})$  به عنوان تابعی برای منطقه مطالعاتی (معادله ۷) با توجه به جمیع شرایط اقلیمی بندر عباس (گزارش سالانه هواشناسی استان هرمزگان ۱۳۸۶) و با توجه به استانداردهای تعریف شده (Turner 1995) محاسبه می‌شود که برای منطقه جدید عبارت است از:

$$\delta_z = 0.2(D_{min}) \quad (14)$$

$$\delta_z = 0.22D_{min}(1 + 0.0004D_{min})^{-5} \quad (15)$$

استقرار درست مناطق مسکونی می‌بایست ضامن ارتباط بهینه آنها با جاده‌های شهری باشد، به گونه‌ای که در کوتاهترین و مناسب‌ترین زمان، دسترسی به دست آید. سرعت متوسط خودرو در مسیر دسترسی بر اساس نوع جاده متفاوت است. شکل شماره (۱۵) که از ترکیب مناطق غیرآلوده و مناطق مسکونی به دست آمده، مبین استقرار نامناسب بخشی از مناطق مسکونی است.

چرا که سطح قابل ملاحظه‌ای از مناطق مسکونی فعلی اراک در مناطقی قرار می‌گیرند که در معرض آلودگی (به استناد شکل ۱۴) هستند.

با توجه به ارزیابی مناطق مستعد و موجود کاربری مسکونی در منطقه مطالعاتی اولویت‌های ذیل برای بهبود سیستم حمل و نقل منطقه پیشنهاد می‌شود:

I. تغییر نوع جاده‌ها در برخی از مناطق نامناسب مسکونی حاضر.

II. جاده‌سازی در مناطق مستعد برای توسعه کاربری مسکونی.

III. تغییر طراحی شبکه جاده‌ها در برخی از مناطق نامناسب مسکونی حاضر با هدف حذف جاده‌های غیر ضروری.

- طراحی بهتر شبکه جاده‌های شهری (افزایش ظرفیت جاده ها و کاهش بار ترافیکی)
- نظارت بیشتر بر خودروهای فرسوده (معاینه فنی به موقع و تسهیلات خرید خودروی جدید و ...).

بنابراین آنچه که ذکر شد، با توسعه و کاربرد روش مذکور در این مقاله برقراری ارتباط بین حمل و نقل و آلودگی هوا را در قالب مدل‌سازی و محاسبات، برای طراحی بهتر سیستم حمل و نقل شهری میسر می‌شود. ساماندهی شاخص‌های مختلفی در ارتباط با نوع جاده، مشخصات اقلیمی و خصوصیات خودرو به نوعی طراح ابزاری برای پیش‌بینی موقعیت مکانی شبکه حمل و نقل شهری است. این ابزار تأمین‌کننده همزمان و موازی ارزش‌های زیست‌محیطی و اقتصادی است که می‌تواند سیاست‌گذاران برای اصلاح شرایط موجود و نیز برنامه‌ریزی آتی استقرار درست کاربری‌ها در توسعه شهری یاری دهد.

### تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه اراک برای تأمین منابع مالی و امکانات طرح تحقیقاتی مربوطه تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

### یادداشت‌ها

- 1-Sub-Arterial
- 2-Arterial
- 3-Local
- 4-Collector
- 5-Highway

آنچه در این مرحله بندرعباس را از اراک متمایز می‌سازد، مقدار بزرگ‌تر میانگین سالانه سرعت باد و دمای هوا می‌باشد که بندرعباس را در طبقه مربوط به معادلات فوق (۱۴ و ۱۵) قرار می‌دهد. در این مورد نیز مقدار ناچیز 0.0004 قابل چشم‌پوشی خواهد بود. در نتیجه:

$$F(D_{\min}) = 0.22(D_{\min})[0.2(D_{\min})]^3 \quad (16)$$

$$F(D_{\min}) = 0.00176(D_{\min})^4 \quad (17)$$

و در نهایت با توجه به معادلات ۷ و ۱۱ خواهیم داشت:

$$\left(\frac{19.3\Delta h^2 Q}{U}\right) = 0.00176(D_{\min})^4 \quad (18)$$

$$D_{\min} = 10.23\Delta h^{1/2} \left(\frac{Q}{U}\right)^{1/4} \quad (19)$$

معادله ۱۹ که مبین فاصله مجاز کاربری‌های مسکونی از جاده را برای بندرعباس است، حکایت از وضعیت بحرانی‌تر این شهر نسبت به اراک دارد چرا که ضریب ۱۰/۲۳ مبین لزوم رعایت فاصله طولی بیشتر بین جاده و مناطق مسکونی است. از آنجا که شرایط اقلیمی از کنترل خارج است، برای تعدیل فاصله مجاز کاربری‌های مسکونی از جاده ( $D_{\min}$ ) باید برای کاهش مجموع نرخ انتشار آلاینده از خودروها (Q) برنامه‌ریزی کرد. در این برنامه‌ریزی بالطبع باید برای بندرعباس حساسیت بیشتری نسبت به اراک نشان داد. برای این منظور تمرکز بیشتر روی اقدامات ذیل مفید خواهد بود:

### منابع مورد استفاده

- گزارش سالانه هواشناسی استان مرکزی. ۱۳۸۵ - ۱۳۸۰. اداره کل هواشناسی استان مرکزی.
- گزارش سالانه هواشناسی استان هرمزگان. ۱۳۸۶ - ۱۳۸۰. اداره کل هواشناسی استان هرمزگان.
- اطلاعات ترافیکی استان مرکزی. دفتر تحقیقات کاربردی فرماندهی ناجا استان مرکزی.
- استانداردهای هوای پاک در ایران. ۱۳۸۸. مصوبه شورای عالی حفاظت محیط زیست، سازمان حفاظت محیط زیست ایران.

Bell, M.C., M., Blake. 2000. Forecasting the Pattern of Urban Growth with PUP: a Web-based Model Interfaced with GIS and 3D Animation. Journal of Environment and Urban Systems, 24(6), 559-581.

Clean Water Action Council. 2008. Environmental Impacts of Transportation. USA.

Colorado Department of Public Health and Environment. 1996. Standard Method for Determination of Nitrogen Oxides, Carbon Monoxide and Oxygen Emissions from Natural Gas-fired Reciprocating Engines, Combustion Turbines, Boilers, and Process Heaters using Portable Analyzers, USA.

Colville,R.N., et al .2000. High-resolution Integrated Modeling of the Spatial Dynamics of Urban and Regional Systems. *Journal of Environment and Urban Systems*, 24(5), 383-400.

Department of Transport.1996. Transport Statistics Great Britain. UK.

Jameson,GW. and B.,Clurge. 2002. Dukes Highway Bordertown to SA/Victoria border pavement ehabilitation. Contract Report prepared for Transport SA, ARRB Transport Research.

Jean-Pierre,N., et al .2005. Local impact of air pollution: lessons from recent practices in economics and in public policies in the transport sector *Atmospheric Environment*. Available online 31 March.

National Environmental Monitoring Center. 1996. Technological Rules Concerned Ambient Air Quality Daily Report. China.

Turner,D.B. 1995. Atmospheric Dispersion Estimates, an Introduction to Dispersion Modeling. Lewis, USA publisher.

Vos,J. 2002. Trends in the Emission of Air Pollutants from On-road Motor Vehicles in Florida. Florida Department of Transportation, USA.

Wayson,R. 2000. Predicting Air Quality near Roadways through the Application of a Gaussian Puff Model to Moving Sources, 93rd Annual Conference and Exhibition of the Air and Waste Management Association, Salt Lake City, UT, June 18-22.

White,R., and G.,Engelen. 2004. Sustainable Development of Urban Transport Systems and Human Exposure to Air Pollution. *Journal of Science of the Total Environment*, 334, 481-487.

WHO. 2000. Air Quality Guidelines. Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark.

Xie,X., et al .2005. Thermal Effects on Vehicle Emission Dispersion in an Urban Street Canyon. *Journal of Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 10(3), 197-212.