



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

مجله جغرافیا و توسعه فضای شهری، سال نهم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، شماره پیاپی ۱۶

## اهمیت تراکم ساختمانی در کاهش آلودگی هوای شهر

(نمونه موردی: شهر اراک)

کاظم حسینی (دانش آموخته کارشناسی ارشد طراحی شهری، دانشگاه صنعتی جندی شاپور، دزفول، ایران)

Hassanikazem@gmail.com

محسن تابان (استادیار گروه معماری، دانشگاه صنعتی جندی شاپور، دزفول، ایران، نویسنده مسئول)

Mntaban@jsu.ac.ir

تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۰/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۳۱

صص ۹۳-۱۰۸

### چکیده

شهرهای بزرگ ایران امروزه با مشکل آلودگی هوا روبرو هستند این شرایط باعث آسیب‌های جبران ناپذیر در سطح اقتصادی و سلامت شهروندان شده است. از عمده مسائلی که توجه به آن در سطوح مختلف شهر می‌تواند باعث خروج آلودگی از محیط شود، نحوه جریان حرکت هوا در بین ساختمان‌ها می‌باشد که این بخش تحت تأثیر ارتفاع ساختمان‌ها و حجم توده ساخته شده می‌باشد. از این رو تحقیق حاضر با هدف بررسی نقش تراکم ساختمان و حجم توده در یک محدوده بر میزان آلودگی هوا انجام شده است. در این مطالعه ابتدا نقشه پراکندگی آلودگی هوای (منوکسید کربن) شهر با استفاده از نرم‌افزار GIS محاسبه گردیده است و سپس با استفاده خصوصیات مختلف ارتفاعی ساختمان‌ها در سطح شهر اراک به تحلیل نحوه عملکرد شاخص‌های مدنظر بر آلودگی هوا پرداخته شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد ضریب افزایش میانگین آلودگی هوا نسبت به درصد تراکم ساختمانی در یک محدوده در شهر اراک برابر ۰/۰۱۳ می‌باشد و هرچه تراکم ساختمانی در یک محدوده بیشتر باشد میزان آلودگی در آن نیز بیشتر می‌شود. همچنین ضریب حاصل از رابطه میانگین آلودگی هوا در یک محدوده و درصد حجم توده ساخته شده برابر ۰/۰۸۵ می‌باشد. هرچه نسبت توده به فضا در یک محدوده افزایش یابد، میزان بیشتری از آلودگی در محیط می‌ماند. از آنجا که ضریب به دست آمده برای شاخص درصد حجم توده ساخته شده بیشتر از ضریب تراکم ساختمانی می‌باشد می‌توان چنین نتیجه گرفت که این شاخص می‌تواند نقش تعیین کننده تری در سنجش تأثیر تراکم بر میزان آلودگی هوای یک محدوده شهری داشته باشد.

کلیدواژه‌ها: آلودگی هوا، اراک، تراکم، حجم توده

## ۱. مقدمه

آلودگی هوا اثرات زیان باری بر سلامت روح و جسم شهروندان می‌گذارد. عوامل مختلفی نظیر گسترش بی‌رویه شهر، صنایع، تکنولوژی و فرهنگ اشتباه مصرف‌گرایی باعث شده‌اند شهرهای بزرگ علاوه بر اینکه مکان مناسبی برای زیستن انسان نباشد، رویکردی متقابل با محیط زیست طبیعی بستر خود را داشته باشند و باعث تخریب طبیعت شوند. با توجه به اینکه بحران آلودگی‌های محیطی، زندگی ساکنان شهر را تهدید می‌کند و باعث فشارهای روانی بر آنان می‌گردد، می‌بایست توجه خاص مدیران و مسئولان شهری را به سمت کنترل، کاهش و یا حتی حذف این آلودگی‌ها در سطوح مختلف شهری جلب نمود.

اراک یکی از هشت کلانشهر آلوده کشور است. آلودگی هوای شهر اراک یکی از مشکلات عمده شهروندان است که ناشی از عواملی نظیر افزایش جمعیت و به تبع آن افزایش سفرهای درون‌شهری و میزان مصرف سوخت می‌باشد. وجود صنایع سبک و سنگین فراوان و نیروگاه و پتروشیمی در اطراف شهر اراک سبب شده تا این شهر در بسیاری از روزهای سال به عنوان آلوده‌ترین شهر صنعتی ایران معرفی گردد و متأسفانه هر روز بر میزان این آلاینده‌ها افزوده می‌گردد. تعداد روزهای آلوده شهر اراک در سال جاری نسبت به سال گذشته حدود ۶۰۰ درصد افزایش یافته است. در کنار توجه به رعایت استانداردهای زیست محیطی در ارتباط با کنترل و کاهش آلودگی در صنایع موجود شهر، استفاده از جریان باد می‌تواند سبب بهبود شرایط هوا و رقیق کردن میزان آلاینده‌ها گردد.

تلاطم که عامل اصلی انتقال رطوبت، گرما و آلودگی در راستای قائم است، موجب اختلاط و رقیق‌سازی آلودگی‌ها در محل انتشار یا تراکم آن‌ها می‌شود. انتقال آلاینده‌ها و پراکنش آن‌ها با سرعت باد و تلاطم جریان‌های جوی متناسب است و هرچه سرعت باد بیشتر و تلاطم شدیدتر باشد، غلظت آلودگی کمتر خواهد شد (غیاث‌الدین، ۱۳۸۵، ص. ۳۱۸). جریان هوا می‌تواند آلاینده‌های موجود در محیط را رقیق و حذف کند، رقیق کردن آلاینده بستگی به سرعت باد و پایداری هوا دارد. نسبت سرعت باد بر میزان رقیق کردن آلاینده‌های موجود تاثیرگذار است (کومار<sup>۱</sup>، ۲۰۱۳). جمعیت و حجم ترافیک در مناطق شهری هر سال افزایش می‌یابد. به همین ترتیب، مناطق شهری به وسیله ساخت و ساز و یا بازسازی جدید تغییر می‌کنند. در نتیجه، پراکنندگی جریان و آلاینده در مناطق شهری بسیار پیچیده‌تر و کاملاً وابسته به محیط ساختمان‌ها و تراکم ساختمان‌ها می‌شود (کیم و بیک<sup>آ</sup>، ۲۰۰۵). از این رو نقش توده‌گذاری ساختمان‌ها و تراکم ساختمانی بر میزان آلودگی هوا می‌بایست مورد مطالعه قرار گیرد.

در مقیاس خرد، بیشترین تأثیر عوامل و عناصر فرم شهری و به ویژه مورفولوژی شهر بر کیفیت هوا از طریق تغییر در الگوی وزش بادها در فضاهای شهری و تخلیه فضا از آلاینده‌ها صورت می‌گیرد؛ بنابراین، در این مقیاس، مورفولوژی شهری تأثیری تعیین کننده بر کیفیت هوای فضاهای باز و عمومی شهر دارد (مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی، ۱۳۹۲، ص. ۲۳). باد و جریان هوا تأثیر بسیار مهمی بر تخلیه فضاهای شهری از آلاینده‌های موجود در هوا و تعدیل

1. kumar

2. Yeon-Hee Kim and Jong-Jin Baik

کیفیت هوای شهر دارد، مفهومی که تحت عنوان تهویه فضای شهری از آن یاد می‌شود. باد با انتقال ذرات معلق و گازهای موجود در جو شهر سبب کاهش اثرات گلخانه‌ای شده و در نتیجه از افزایش دمای کمینه در کلان‌شهرها جلوگیری می‌کند. نقش باد در انتقال آلودگی هوا و ذرات معلق بسیار حائز اهمیت می‌باشد (فرزاد بهتاش، ۱۳۹۲، ص. ۱۶). میدان باد، به ویژه بادهای محلی به شدت تحت تأثیر اثرات شهری قرار می‌گیرد؛ بنابراین هرگونه کاهش در سرعت باد می‌تواند اثرات جبران‌ناپذیری را به وجود آورد. از این رو عواملی از فرم شهری که بر جریان هوا تأثیرگذار باشند، می‌توانند بر کیفیت هوا تأثیر داشته باشند (گلکار، ۱۳۷۹، ص. ۳۸-۶۵). در مقیاس خرد، مورفولوژی شهر تأثیر تعیین‌کننده‌ای بر جریان هوا و باد دارد. ام. آر. جی کانزن که به عنوان پدر ریخت‌شناسی شهری معروف است، چهار عنصر را به عنوان اجزاء و عناصر ریخت شهری معرفی می‌کند؛ کاربری زمین، ساختار ابنیه، الگوی قطعه‌بندی و الگوی خیابان‌ها (کانزن، ۱۹۶۰، ص. ۱۳)؛ از میان این عناصر، دو عامل توده‌گذاری و ساختار ابنیه و شکل، الگو و جهت‌گیری خیابان‌ها، تأثیر تعیین‌کننده‌ای بر جریان حرکت هوا و باد دارد. از این رو در این تحقیق نحوه توده‌گذاری ساختمان‌های شهر اراک به عنوان عاملی تأثیرگذار بر جریان هوا و آلودگی هوا مورد بررسی قرار گرفته است.

در زمینه بررسی ارتباط مورفولوژی شهری و تأثیر آن بر الگوی جابه‌جایی هوا و وزش باد، و تأثیر آن بر آلودگی هوا به ویژه در سطح فضاهای شهری پیاده، مطالعات مختلف و متعددی صورت گرفته است (پری و همکاران، ۲۰۰۹، ص. ۵۲). در تحقیق دیگری، نقش و تأثیر مورفولوژی بخشی از شهر هنگ‌کنگ بر الگوی وزش بادهای محلی و آلودگی هوا در سطح پیاده‌روهای شهر مطالعه شده که به تأثیر مستقیم فضاهای بسته ایجاد شده و سطح بالای آلودگی هوا اشاره شده و راهکارهای طراحی در زمینه شکل و جهت‌گیری ساختمان‌ها را ارائه می‌دهد (نگ و همکاران، ۲۰۱۱).

در رابطه با آلودگی هوا و تراکم ساختمانی در جهان و ایران پژوهش‌های بسیاری انجام شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به مطالعه "اثرات تراکم ساختمانی بر جریان هوا در مناطق شهری و نمایش وابستگی‌ها" که توسط کیم<sup>۱</sup> در سال (۲۰۰۹) اشاره نمود که با استفاده از یک مدل تحلیل سیالات در بیست و هفت نمونه موردی با پارامترهای مختلف از جمله تراکم ساختمانی بررسی می‌شود، که به صورت عددی شبیه‌سازی شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد با افزایش طول ساختمان و یکپارچگی بدنه چرخش جریان هوا در خیابان کاهش می‌یابد و همچنین افزایش عرض خیابان باعث تلاطم زیاد جریان هوا می‌گردد (یون هی کیم و جونگ جین بیک، ۲۰۰۵). در مطالعه‌ای دیگر که توسط هودا در سال (۲۰۱۱) با عنوان "تأثیر مورفولوژی شهری بر توزیع جریان باد در مناطق متراکم شهری" صورت پذیرفته است؛ یک مطالعه عددی در زمینه سرعت باد در یک بافت شهری متراکم انجام شده

1. Conzen
2. Perry et al
3. Ng et al
4. Jae-Jin KIM
5. Yeon-Hee Kim and Jong-Jin Baik

و مشخص شده که سرعت جریان هوا با شکل ساختمان و پیکربندی شهری قابل تغییر می‌باشد و در ادامه راهکارهایی جهت کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها و تأمین کیفیت بهتر هوای بیرونی ارائه شده است (هودا و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۱). همچنین شمسی پور در سال (۱۳۹۱) مطالعه ای با عنوان "شبه سازی الگوی پراکنش آلودگی هوای کلان شهر تهران در شرایط وزش باد" انجام داده است که با بررسی میزان آلودگی هوای شهر تهران در شرایط هوای ناپایدار و وزش باد نتایج مهمی در این زمینه دست یافته است. در این مطالعه نتایج حاصل از شبهه سازی نشان می‌دهد که شرایط وزش باد، افزایش میزان انرژی جنبشی تلاطم ناشی از سرعت باد و شرایط ناپایدار جوی، با انتقال افقی آلاینده ها و ایجاد حرکات قائم فرازشی سبب تعدیل آلودگی هوا می‌شود (شمسی پور و همکاران، ۱۳۹۱). آکرو<sup>۲</sup> در مطالعه ای با عنوان "تأثیر طراحی شهری محلی و محدودیت‌های ترافیکی بر کیفیت هوا در شهر" به تجزیه و تحلیل تاثیر اقدامات مدیریت ترافیک و حالات طراحی شهری محلی بر غلظت PM10 و NO2 محیط پرداخته است و به این نتیجه که سناریوهای مختلف طراحی شهری بر انتشار آلاینده ها تاثیر گذارند (آکرو و همکاران، ۲۰۱۲).

کاسومونوس در سال (۱۹۹۹) مطالعه ای با عنوان "جریان باد جنوبی زمستان و آلودگی هوا بر فراز آتن" انجام داده است و به مسئله وارونگی که در انتهای زمستان هر سال در شهر آتن صورت می‌گیرد پرداخته است و مطالعات او نشان می‌دهد که کاهش جریان باد یکی از عوامل مهم این پدیده می‌باشد (کاسومونوس<sup>۳</sup> و همکاران، ۱۹۹۹). در سال ۲۰۱۶ و در مطالعه ای که توسط آکینیمی با عنوان "پویایی قدرت و جهت باد در پراکنندگی آلودگی هوا" انجام شده است پس از مطالعه در زمینه جهت و سرعت باد در سه بازه زمانی متفاوت در فصل زمستان میزان اثر گذاری جریان باد در ماه‌های مختلف با روش تحلیل رگرسیون و ضریب همبستگی تعیین شده و به نقش مهم تراکم شهری در زمینه کاهش آلودگی هوا اشاره نموده است (آکینیمی<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۶). مطالعه دیگری که توسط حبیبی در سال (۱۳۹۱) با عنوان "راهبرد مدیریت تراکم شهری و نقش آن در کاهش آلودگی هوای شهر" انجام شده نیز با یک روش تحلیلی توصیفی به بررسی رشد ناموزون افقی و عمودی ساختمان‌ها در شهر پرداخته و در نهایت یکی از راهکارهای مدیریت شهری در زمینه کاهش آلودگی هوا را ایجاد تراکم شهری مناسب و جلوگیری از رشد ناموزون شهری عنوان کرده است (حبیبی و همکاران، ۱۳۹۱).

در زمینه آلودگی هوای شهری، بسیاری از مطالعات بر فضاهای سبز شهری و تاثیر آنها بر کاهش آلودگی هوا تاکید داشته اند. پاتریک م. کاندون ایجاد سامانه ای پیوسته از مناطق طبیعی و پارک ها یکی از هفت راهکار اصلی در ایجاد شهر کم کربن و پایدار معرفی کرده است (گروه بین المللی ره شهر، ۱۳۹۲). زوپانکیچ<sup>۵</sup> در مطالعه ای با عنوان "

1. Houda
2. Acero
3. Kassomenos
4. Akinyemi
5. Zupancic

تأثیر فضای سبز بر آلودگی هوا و گرما در جوامع شهری " رابطه کلی بین فضای سبز و حرارت و آلودگی هوا را با بررسی انواع فضای سبز برای کاهش حرارت و آلودگی هوا و همچنین بررسی نوع پوشش گیاهی با میزان نفوذ گرما و کیفیت هوا را مورد بررسی قرار داده است (زوپانکیچ و همکاران ۲۰۱۵). صمدی خادم، کارکردهای فضای سبز در کنترل و کاهش آلودگی هوا در درون و بیرون شهر را مطالعه و مزایای بهره گیری از فضای سبز شهری را بیان نموده است (صمدی خادم، ۱۳۹۲).

مطالعات صورت گرفته در زمینه آلودگی هوا به بررسی وضعیت آلودگی هوا و عوامل ایجاد آلودگی هوا پرداخته‌اند و در بخشی از مطالعات مشاهده می‌گردد که با روش‌های کیفی به تشریح وضعیت شاخص‌های مختلف تأثیرگذار بر آلودگی هوا پرداخته شده است. به طور کلی می‌توان اشاره نمود که روش‌های کمی در مطالعات آلودگی هوا تنها در بخش تعیین میزان آلودگی بکار گرفته شده است؛ در تحقیق حاضر سعی شده با استفاده از روش کمی، رابطه میان متغیرهای آلودگی هوا و شاخص‌های کالبدی (تراکم ساختمانی - حجم توده ساخته شده) شناسایی شده و میزان تأثیر شاخص‌های کالبدی بر توزیع آلودگی در سطح شهر مطالعه گردد. همچنین شاخص درصد حجم توده ساختمانی به عنوان یک شاخص جدید معرفی و نقش آن بر آلودگی هوا محاسبه شده است. این پژوهش با هدف تعیین میزان و نوع تأثیرگذاری تراکم ساختمانی در جهت کاهش آلودگی هوای شهر اراک، و پاسخگویی به سؤالاتی نظیر اینکه «تنوع در تعداد طبقات چه تأثیری در میزان آلودگی هوا دارد؟» به بررسی مطالعات و پژوهش‌های انجام شده در این زمینه می‌پردازد. در این مقاله تأثیر تراکم ساخت بر میزان آلاینده‌های موجود در هوا جهت ارائه راکارهایی متناسب مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲. متدولوژی

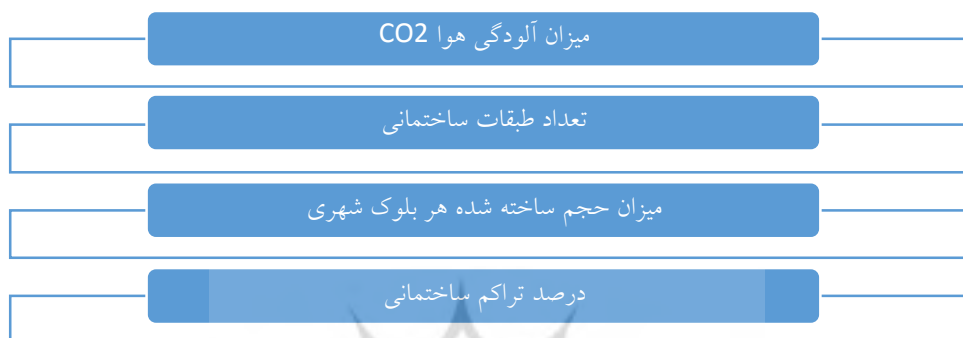
در این تحقیق شبیه‌سازی میزان پراکندگی آلودگی هوا در سطح شهر به وسیله نرم‌افزار Arc GIS و با استفاده از روش‌های درونیابی انجام شده است. در همین راستا ابتدا داده‌های گزارش سالیانه وضعیت آلودگی هوا در ایستگاه‌های هواشناسی شهر اراک دسته‌بندی شده و اصلاحات و نرم‌سازی داده‌ها به وسیله نرم‌افزار اکسل انجام شده است و سپس از روش‌های پهنه‌بندی کریجینگ (ساده و معمولی)، روش توابع شعاعی پایه و روش عکس فاصله وزنی IDW استفاده شده است. به منظور بررسی صحت و کارآمدی نقشه تهیه شده نیز از روش کریجینگ دو معیار استفاده شده است. از جمله شرایط لازم در روش کریجینگ که نشان‌دهنده صحت نقشه می‌باشد، شامل ریشه میانگین مربع خطای استاندارد شده<sup>۱</sup> باید نزدیک به یک باشد و ریشه میانگین مربع خطاها<sup>۲</sup> و میانگین خطای استاندارد<sup>۳</sup> باید نزدیک به هم باشد. در مرحله بعد آلودگی هوا در سطح شهر در دو مرحله شبکه‌بندی شده است. سپس شاخص‌های کالبدی مورد سنجش با نرم‌افزار Arc GIS دسته‌بندی شده و پس از ارتباط داده‌های مکانی

1. Root mean square standardized error
2. Root mean square error
3. Average standard error

کالبدی و داده‌های آلودگی هوا اطلاعات به دست آمده در نرم افزارهای SPSS و با آزمون رگرسیون خطی مورد سنجش قرار گرفته است.

## ۱.۲. متغیرها و شاخص های پژوهش

می توان تمامی عوامل تاثیرگذار و زیرمجموعه‌های مورد پرسش قرار گرفته در مدل مورد مطالعه را در نمودار شکل ۱ خلاصه کرد:



### شکل ۱. متغیرهای پژوهش

ماخذ: (یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸)

## ۲.۲. قلمرو جغرافیای پژوهش

شهر اراک به عنوان مرکز استان مرکزی در فلات مرکزی ایران قرار گرفته و دارای وسعتی در حدود ۶۳۰۰ هکتار است. از آنجایی که این شهر در مرکز کشور و در مسیر عبور کامیون‌ها و وسایل نقلیه ترانزیتی قرار گرفته و موقعیت جغرافیایی آن پل ارتباطی جنوب کشور با مرکز و شمال کشور است سبب شده که صنایع بسیاری در این محدوده مطالعاتی استقرار یافته و شهر طی دو دهه از ۵۳۴۵/۴ هکتار گسترش و توسعه بسیار زیادی پیدا کرده (طرح تفصیلی شهر اراک، ۱۳۸۳) و به ۶۲۸۹/۰۲ هکتار رسیده است (طرح توسعه عمران کلان‌شهر اراک، ۱۳۹۶). از همین رو مطالعاتی در رابطه با آلودگی هوا و نحوه تأثیرگذاری صنایع این شهر بر میزان آلودگی هوا نیز در شهر اراک صورت پذیرفته است.

با توجه به پیشینه پژوهش، فرآیند و روند پژوهش حاضر با توجه به مدل مفهومی زیر بررسی می‌شود.



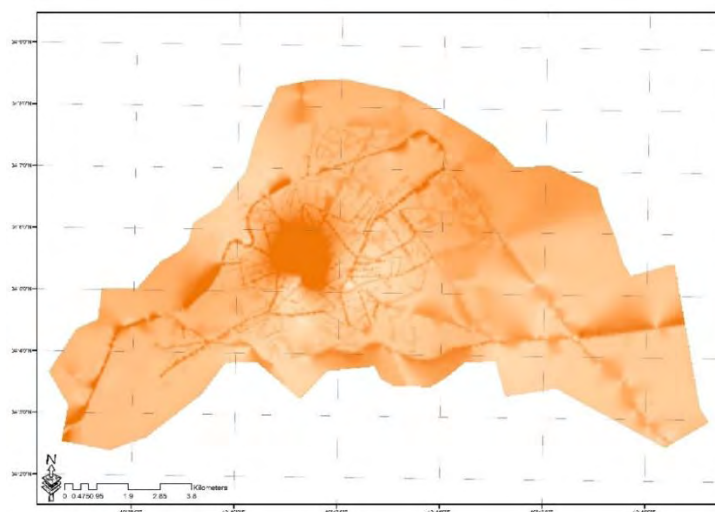
شکل ۲. مدل مفهومی پژوهش، مأخذ: (یافته های پژوهش، ۱۳۹۸)

### ۳. یافته ها

تحلیل های انجام شده در این تحقیق در دو بخش صورت پذیرفته است. در بخش اول رابطه میان آلودگی هوا و تراکم ساختمانی در ۲۲ قسمت مشخص شده (شکل ۳) در سطح شهر اراک بررسی شده و در بخش دوم رابطه میان آلودگی هوا و تراکم ساختمانی و حجم توده در ۵۶ قسمت از سطح شهر اراک (شکل ۵) (که و شامل ۶ قسمت از ۲۲ قسمت ذکر شده در شماره های (۳-۴-۸-۹-۱۴-۱۵) بوده و دارای عملکرد شهری یکسان می باشند) بررسی شده است.

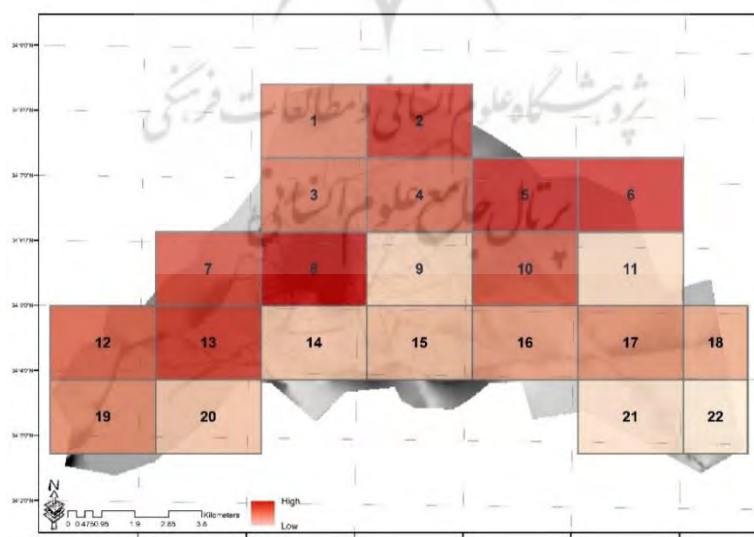
#### بخش اول: رابطه میان آلودگی هوا و تراکم ساختمانی

در این تحقیق با استفاده از داده های هواشناسی اداره محیط زیست استان مرکزی در مرحله اول داده های مربوط به منوکسید کربن در بازه تاریخی ۲۰۱۶/۰۳/۲۰ تا ۲۰۱۷/۰۳/۱۸ دسته بندی شده است و میانگین سالیانه در دوازده نقطه از سطح شهر اراک ثبت گردید. در مرحله بعد با استفاده از نرم افزار ArcGIS به درونیایی و محاسبه میزان آلودگی در سطح شهر پرداخته شده است. شکل ۳ پراکنندگی منوکسید کربن در سطح شهر اراک را نمایش می دهد.



شکل ۳. پراکندگی منوکسید کربن در شهر اراک

جهت آماده‌سازی نقشه در راستای تحلیل‌های مورد نظر، نقشه پراکندگی ایجاد شده در مرحله گذشته (شکل ۴) را شبکه‌بندی کرده و میانگین آلودگی در هر قسمت از این شبکه‌بندی محاسبه شده است؛ میزان آلودگی در این قسمت نشان‌دهنده میزان آلودگی منوکسید کربن در این سطح می‌باشد. شبکه بندی انجام شده از میانگین ۸۰ پیکسل در ۱۰۰ پیکسل از نقشه پراکندگی که هر پیکسل از این نقشه مساحت ۳۰ متر در ۳۰ متر را پوشش می‌دهد محاسبه شده است (نقشه شماره ۲).



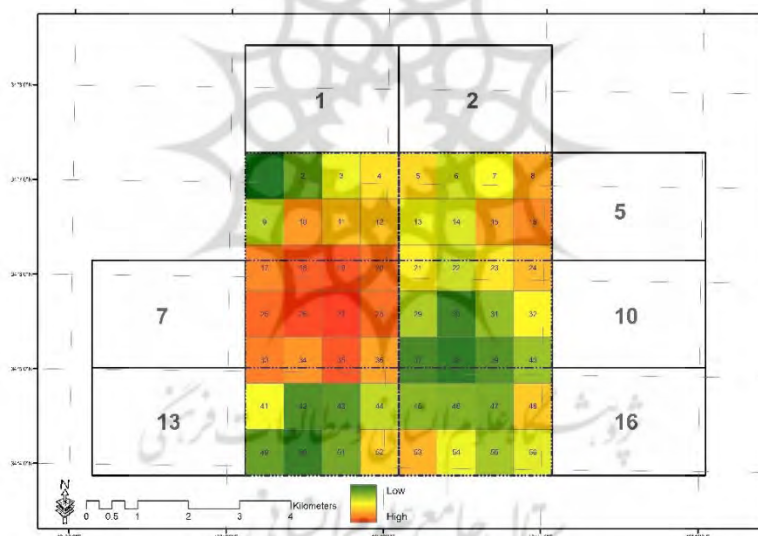
شکل ۴. میانگین منوکسید کربن در ۲۲ قسمت از شهر اراک



میانگین آلودگی منوکسید کربن در هر یک از ۲۲ قسمت ایجاد شده با میزان تراکم ساختمانی داخل آن با استفاده از نرم افزار SPSS مورد تحلیل قرار گرفته است. تراکم ساختمانی مورد بررسی در هر محدوده طبق فرمول زیر محاسبه شده است.

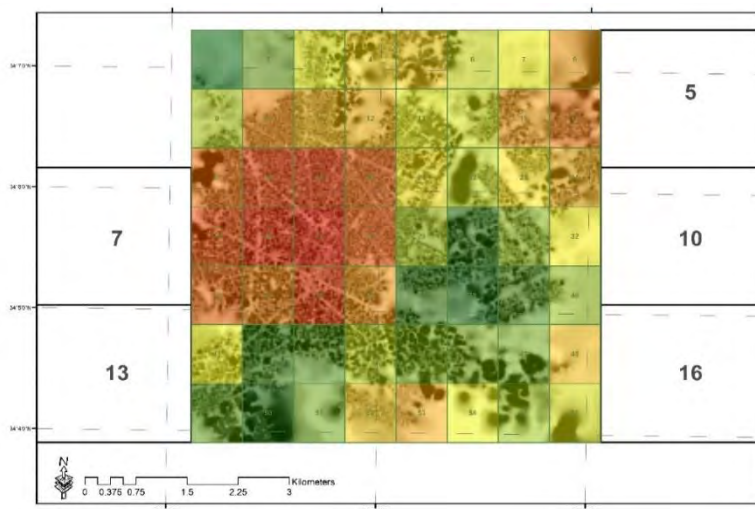
$$\text{درصد تراکم ساختمان} = \frac{\sum (\text{تعداد طبقات} * \text{مساحت ساخته شده})}{\text{مساحت محدوده}} * 100$$

در راستای دستیابی دقیق تر به نتایج، محدوده‌های دارای عملکرد مشابه در سطح شهر اراک که شامل شش محدوده (۳-۴-۸-۹-۱۴-۱۵) در شکل ۴ شبکه بندی شده‌اند، در قطعات کوچک تر مورد بررسی قرار گرفته و از همین رو محدوده مورد نظر را به ۵۶ قسمت مختلف تقسیم بندی نموده که هر کدام از این قطعات ۲۵ پیکسل در ۳۰ پیکسل از نقشه پراکندگی اولیه را شامل شده و میانگین آلودگی منوکسید کربن در آن محدوده را نشان می‌دهد. شکل ۵ نشان دهنده میزان آلودگی در این قطعات می‌باشد.



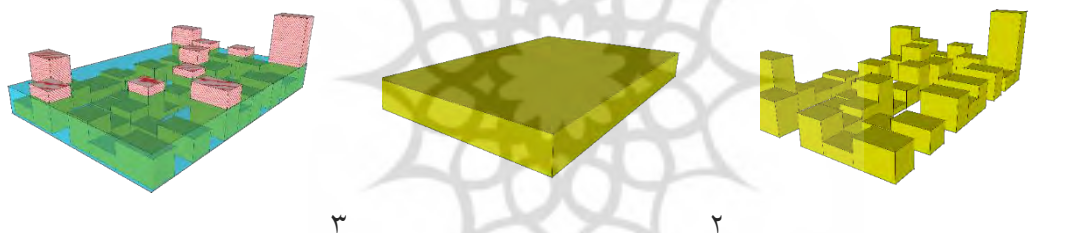
شکل ۵. میانگین منوکسید کربن در ۵۶ بخش با عملکرد شهری یکسان

در این قسمت از پژوهش علاوه بر محاسبه میزان تراکم ساختمان و تعیین نحوه تأثیر بر میزان آلودگی به بررسی شاخص جدیدی نیز پرداخته شده است. این شاخص، میزان حجم توده ساخته شده به کل حجم در هر محدوده را نشان می‌دهد. برای به دست آوردن این شاخص ابتدا حجم کل محدوده محاسبه می‌شود (میانگین ارتفاع کل ساختمان‌ها که نمایانگر ارتفاع مبنا در آن محدوده می‌باشد ضرب در مساحت محدوده) و سپس میزان حجم تمامی توده‌های موجود در حجم کل مورد محاسبه قرار گرفته و سپس درصد حجم ساخته شده به کل حجم مورد محاسبه قرار می‌گیرد. تمام مراحل ذکر شده توسط نرم افزار ArcGIS انجام شده است.



شکل ۶. مقایسه ارتفاع ساختمان های موجود و میانگین آلودگی هوا

شکل ۶ به تحلیل جایگاه ساختمان های با تعداد طبقات بالا و آلودگی هوا پرداخته است.



شکل ۷. مراحل محاسبه حجم توده ساختمانی در هر محدوده

۱- بافت شهری و تعیین میانگین ارتفاع ساختمان ها ۲- میزان حجم محدوده با استفاده از مقدار مساحت محدوده و میانگین ارتفاع ۳- حجم توده ساخته شده مورد بررسی (مجموع حجم ساختمان های داخل حجم کل تعیین شده)

بخش دوم: رابطه میان آلودگی هوا و تراکم ساختمانی و حجم توده

در راستای به دست آوردن رابطه میان آلودگی هوا و تراکم ساختمانی در ۲۲ منطقه مشخص شده از آزمون رگرسیون خطی در نرم افزار SPSS بهره گرفته شده است. جدول شماره ۱ نشان دهنده مقدار آزمون دوربین واتسن<sup>۱</sup> می باشد نزدیک بودن عدد آزمون دوربین واتسن به عدد ۲ حاکی از آن است که بین خطاهای رگرسیون همبستگی معناداری وجود ندارد. و ادامه آزمون قابل استناد می باشد.

جدول ۱. آزمون دوربین واتسن ( a. Predictors: (Constant), Density - b. Dependent Variable: ) (mean co

Model	Change Statistics		
	df1	df2	Sig. F Change
۱	۱	۲۰	۰/۰۶۰

مأخذ: (یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸)

جدول شماره ۲ آزمون آنوا<sup>۱</sup> میان آلودگی هوا و تراکم ساختمانی می‌باشد و با توجه به اینکه سطح معنی داری آزمون صورت گرفته برابر با ۰/۰۵ شده است و از ۰/۰۵ بیشتر نمی‌باشد، لذا نشان می‌دهد که رگرسیون محاسبه شده دارای برازش مناسب می‌باشد.

جدول ۲. آزمون آنوا (a. Predictors: (Constant), Density - b. Dependent Variable: mean co)

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
۱	Regression	۳/۸۴۸	۱	۳/۸۴۸	۳/۹۸۲	۰/۰۵۰ b
	Residual	۱۹/۳۲۸	۲۰	۰/۹۶۶		
	Total	۲۳/۱۷۶	۲۱			

مأخذ: (یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸)

جدول شماره ۳ جدول ضرایب رگرسیون خطی<sup>۲</sup> را نشان می‌دهد با توجه به اینکه سطح معنی داری رگرسیون کمتر از ۰/۰۵۰ می‌باشد می‌توان معادله مربوط به آلودگی هوا و تراکم ساختمانی را به این صورت بیان نمود. (میانگین آلودگی منوکسید کربن =  $۳/۰۵۰ +$  (درصد تراکم ساختمانی \*  $۰/۰۱۳$ )) این معادله نشان می‌دهد میان تراکم ساختمانی و میزان پراکنش آلودگی رابطه وجود دارد.

جدول ۳. آزمون ضرایب رگرسیون (a. Dependent: mean co)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
۱	(Constant)	۳/۰۵۰	۰/۲۷۴		۱۱/۱۲۲	۰/۰۰۰
	Density	۰/۰۱۳	۰/۰۰۷	۰/۴۰۷	۱/۹۹۵	۰/۰۵۰

مأخذ: (یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸)

در این مرحله با هدف تعیین دقیق‌تر رابطه موجود میان میزان آلودگی هوا و تراکم ساختمانی همانطور که در شکل ۵ نشان داده شد، شش محدوده دارای عملکرد یکسان در شهر اراک در ۵۶ قسمت تقسیم بندی شده و مورد بررسی قرار گرفته است. در تحلیل صورت گرفته همانند مرحله قبل از آزمون رگرسیون خطی استفاده شده است. جدول

۱. آزمون تحلیل واریانس (ANOVA)

شماره ۵ آزمون آنوا می باشد. سطح معنی داری این آزمون برابر با ۰/۰۳۹ می باشد و با توجه به اینکه از عدد ۰/۰۵ کمتر است، حاکی از آن است که رگرسیون محاسبه شده دارای برازش مناسب می باشد.

جدول ۵. آزمون آنوا (a. Predictors: (Constant), Density - b. Dependent Variable: mean co)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square		
۱	Regression	۱۷/۴۳۴	۱	۱۷/۴۳۴	۴/۴۹۵	۰/۰۳۹ b
	Residual	۲۰۹/۴۵۲	۵۴	۳/۸۷۹		
	Total	۲۲۶/۸۸۶	۵۵			

مأخذ: (یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸)

جدول ۶. آزمون ضرایب رگرسیون (a. Dependent: mean co)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
۱	(Constant)	۲/۷۳۹	۰/۵۳۴		۵/۱۲۷	۰/۰۰۰
	Density	۰/۰۱۳	۰/۰۰۶	۰/۲۷۷	۲/۱۲۰	۰/۰۳۹

مأخذ: (یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸)

جدول شماره ۶ جدول ضرایب رگرسیون خطی را نشان می دهد. با توجه به اینکه سطح معنی داری رگرسیون کمتر از ۰/۰۵ می باشد، می توان معادله مربوط به آلودگی هوا و تراکم ساختمانی را به این صورت بیان نمود. (میانگین آلودگی منوکسید کربن =  $2/739 + (\text{درصد تراکم ساختمانی} * 0/013)$ ) این معادله نشان می دهد میان تراکم ساختمانی و میزان پراکنش آلودگی رابطه وجود دارد.

جدول شماره ۷ محاسبه ضریب هم خطی<sup>۱</sup> آزمون رگرسیون صورت گرفته را نمایان می کند و با توجه به اینکه این ضریب برابر با عدد ۱ می باشد نشان از این موضوع دارد که آزمون رگرسیون صورت گرفته پیش بینی مناسبی را نسبت به متغیرهای مورد بررسی انجام داده است.

جدول ۷. ضریب هم خطی آزمون رگرسیون (a. Dependent: mean CO)

Model		Collinearity Statistics	
		Tolerance	VIF
۱	Constant		
	Density	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰

مأخذ: (یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸)

1. Co-linear coefficient

جدول ۸. آزمون آنوا (a. Predictors: (Constant), Mass volume - b. Dependent Variable: mean co)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
<b>Regression</b>	۱۹/۵۱۴	۱	۱۹/۵۱۴	۵/۰۸۱	۰/۰۲۸
<b>Residual</b>	۲۰۷/۳۷۲	۵۴	۳/۸۴۰		
	۲۲۶/۸۸۶	۵۵			

مأخذ: (یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸)

شاخص درصد حجم توده‌های ساخته شده در یک محدوده شهری با استفاده از میانگین ارتفاعی یک محدوده و مجموع مساحت ساخته شده بناها محاسبه می‌شود. این شاخص نمایانگر نسبت فضای پر به فضای خالی در سه بعد می‌باشد و می‌تواند نقش مهمی در توسعه و طراحی آینده داشته باشد. در این مرحله رابطه میان آلودگی هوا و درصد حجم توده ساخته شده، بررسی شده است. جدول شماره ۸ نشان می‌دهد که سطح معنی‌داری آزمون آنوا برابر با ۰/۰۲۸ می‌باشد که با توجه به اینکه کمتر از ۰/۰۵ است، رگرسیون محاسبه شده دارای پرازش مناسب می‌باشد. جدول شماره ۹ جدول ضرایب رگرسیون خطی را نشان می‌دهد با توجه به اینکه سطح معنی‌داری رگرسیون کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد، می‌توان معادله مربوط به آلودگی هوا و درصد حجم توده ساخته شده را به این صورت بیان نمود. ( میانگین آلودگی منوکسید کربن =  $۲/۶۹۷ +$  (درصد حجم توده ساخته شده \*  $۰/۰۸۵$  )) این معادله نشان می‌دهد میان تراکم ساختمانی و میزان فضای اشغال شده ساختمان‌ها با میانگین آلودگی منوکسید کربن در هر محدوده رابطه معنی‌داری وجود دارد.

جدول ۹. آزمون ضرایب رگرسیون (a. Dependent: mean co)

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
<b>Mass volume</b>	۰/۰۸۵	۰/۰۳۸	۰/۲۹۳	۲/۲۵۴	۰/۰۲۸
(Constant)	۲/۶۹۷	۰/۵۲۶		۵/۱۲۹	۰/۰۰۰

مأخذ: (یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸)

#### ۴. بحث

همانگونه که در پیشینه تحقیق بیان گردید، در بسیاری از مطالعات تاکید شده که مورفولوژی شهری در نواحی متراکم تاثیر بسیاری بر الگوی جریان باد و بالطبع میزان آلودگی هوا در آن محدوده دارد. بر اساس مطالعات صورت گرفته در مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی، مورفولوژی شهری تأثیری تعیین کننده بر کیفیت هوای فضاهای باز و عمومی شهر دارد علاوه بر آن در مطالعات دیگر که توسط یون هی کیم و جونگ جین بیک<sup>۱</sup> صورت گرفته است نشان می‌دهد

دهد افزایش طول ساختمان و یکپارچگی بدنه چرخش جریان هوا در خیابان کاهش می‌یابد و باعث افزایش آلودگی هوا در شهر می‌شود. در مطالعاتی که توسط حبیبی و همکاران نیز صورت گرفته است، یکی از راهکارهای مدیریت شهری در زمینه کاهش آلودگی هوا را ایجاد تراکم شهری مناسب و جلوگیری از رشد ناموزون شهری عنوان کرده است.

تراکم ساختمانی و حجم توده ساخته شده در یک محدوده شهری و نحوه تأثیرگذاری این عوامل بر میزان پراکنش آلودگی هوا در شهر اراک در این پژوهش مورد توجه قرار گرفت. در تحقیق حاضر با استفاده از روش کمی، رابطه میان متغیرهای آلودگی هوا و شاخص‌های کالبدی (تراکم ساختمانی - حجم توده ساخته شده) شناسایی شده و میزان تأثیر شاخصه‌های کالبدی بر توزیع آلودگی در سطح شهر مطالعه گردیده است. یافته‌های این پژوهش در راستای تعیین میزان تأثیرگذاری تراکم شهری و نقش مورفولوژی شهری و به منظور تحقق امر کاهش آلودگی هوا در شهر همسو با مطالعات پیشین و دارای نتایج کمی و قابل اندازه‌گیری می‌باشد. نتایج این مطالعه همانند پژوهش‌های پیشین (نگ و همکاران، ۲۰۱۱)، (آکینیمی و همکاران، ۲۰۱۶) نشان داد که بین میزان میانگین آلودگی هوا و تراکم ساختمانی رابطه‌ی معنی‌داری وجود دارد و هرچه میزان تراکم شهری بالاتر برود می‌تواند باعث بسته‌تر شدن فضا و عدم جریان هوا در محیط شود. رابطه‌ی حاصل شده حاکی از آن است که ضریب افزایش میانگین آلودگی هوا نسبت به درصد تراکم ساختمانی در یک محدوده در شهر اراک برابر با ۰/۰۱۳ می‌باشد. در نتیجه بالا رفتن تراکم شهری باعث کاهش جریان هوا در محیط شده و آلودگی هوا را تثبیت می‌کند. بر خلاف تحقیقات پیشین (حبیبی و همکاران، ۱۳۹۱)، (آکینیمی و همکاران، ۲۰۱۶) که صرفاً بر درصد تراکم ساختمانی تأکید شده است،

تأکید بر کنترل تراکم ساختمانی در مطالعات پیشین منجر به کاهش آلودگی هوا بوده است که در این پژوهش با در نظر گرفتن شاخص حجم توده ساخته شده در یک محدوده می‌توان علاوه بر کنترل شکل شهری، کیفیت هوای شهری را ارتقا بخشید. محاسبات کمی صورت گرفته در این پژوهش می‌تواند الگویی برای سایر مطالعات کمی در حوزه آلودگی هوا در شهر باشد.

ضروری است که بخش‌های عمومی و دستگاه‌های اجرایی شهری (به ویژه شهرداری، اداره راه و شهرسازی) توجه ویژه‌ای به نقش این شاخص‌ها (تراکم ساختمانی و حجم توده ساخته شده) در کنترل آلودگی هوا داشته باشند و به این منظور، نیاز است که از طریق تعریف ضوابط ساخت و ساز، منافع شهروندان جهت ایجاد فضاهای شهری مطلوب‌تر مورد مذاقه قرار گیرد.

## ۵. نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به بررسی میزان آلودگی هوا (منوکسید کربن) و تراکم شهری در شهر اراک به عنوان یکی از آلوده‌ترین شهرهای صنعتی ایران پرداخته است. جنبه نوآوری در این تحقیق بررسی رابطه میان نسبت فضای ساخته شده به حجم فضای باز در سه بعد در یک محدوده و میانگین آلودگی هوا از طریق تعریف شاخص جدیدی با عنوان

«درصد حجم توده ساخته شده در یک محدوده» است. از نتایج این تحقیق می توان به وجود رابطه معنادار بین میانگین آلودگی هوا در یک محدوده و درصد حجم توده ساخته شده اشاره کرد. ضریب حاصل از این رابطه برابر با ۰,۰۸۵ می باشد که حاکی از نحوه تأثیرگذاری این شاخص بر آلودگی هوا است. از آنجا که ضریب به دست آمده برای شاخص درصد حجم توده ساخته شده بیشتر از ضریب تراکم ساختمانی می باشد، می توان نتیجه گرفت که این شاخص می تواند نقش تعیین کننده تری در یک محدوده شهری داشته باشد. در نتیجه توجه به این دو شاخص می تواند باعث کنترل مناسب تر هوای شهر اراک شود. در مطالعات پیشین همواره بر نقش تراکم ساختمانی بر آلودگی هوا تأکید می شود با این حال بر اساس یافته های بدست آمده می توان بیان نمود که درصد حجم توده ساخته شده نقش مهمتری بر آلودگی هوا دارد. جلوگیری از افزایش تراکم ساختمانی در یک محدوده نشان دهنده جلوگیری از ساخت ساختمان های بلند مرتبه در شهر نمی باشد ولی ایجاد این ساختمان ها نیازمند مکان یابی مناسب و رعایت حجم توده و فضای تعریف شده می باشد.

تحلیل صورت گرفته نشان می دهد که مناطقی از شهر اراک که دارای ساختمان های بلند مرتبه می باشند، دارای آلودگی کمتر بوده و ناحیه های متراکم تر با تعداد طبقات پایین تر آلودگی هوای بیشتری را داراست. از این رو می توان بر نقش حساس برنامه ریزی و طراحی شهری در جهت کنترل مناسب تراکم و مکان یابی ساختمان های بلند مرتبه در یک منطقه شهری و کاهش میزان آلودگی هوا اشاره نمود. بر اساس نتایج حاصل پیشنهاد می شود که با توجه به ضرورت افزایش تراکم در شهر، مکان های مناسب برای ایجاد ساختمان های بلند مرتبه با توجه به مطالعات جریان باد در محیط شهری تعیین گردد و ضوابط لازم برای کنترل تراکم شهری و حجم توده ساخته شده برای کنترل جریان هوا و کاهش آلودگی هوا تدوین گردد.

#### کتاب نامه

۱. حبیبی، م.، ارشادی، ط.، امیرسلیمانی، م. (۱۳۹۱). راهبرد مدیریت تراکم شهری و نقش آن در کاهش آلودگی هوای شهر. تهران: همایش ملی جریان و آلودگی هوا.
۲. شمسی پور، ع.، نجیب زاده، ف.، حسین پور، ز. (۱۳۹۱). شبیه سازی الگوی پراکنش آلودگی هوای کلان شهر تهران در شرایط وزش باد. نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی، (۴)، ۶۳-۷۲.
۳. صمدی خادم، ش.، درگاهی، ع.، و احمدی مسعود، ن. (۱۳۹۲). بررسی اهمیت فضای سبز در کنترل و کاهش آلودگی هوای شهری. تهران: سومین کنفرانس برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست.
۴. غیاث الدین، م. (۱۳۸۵). آلودگی هوا: منابع، اثرات و کنترل (چاپ اول). تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
۵. فرزاد بهتاش، م.، مرادی، س.، و نگین تاجی، ص. (۱۳۹۲). بررسی ابعاد تأثیرگذار فرم شهر بر کیفیت هوا نمونه موردی شهر تهران. تهران: مرکز مطالعات و برنامه ریزی شهر تهران.
۶. گروه بین المللی ره شهر (۱۳۹۲). بام سبز، گامی بلند در جهت توسعه پایدار، نشریه شماره ۱۴۱، مرکز آموزش علمی - کاربردی گروه بین المللی ره شهر، تهران.

۷. گلکار، ک. (۱۳۷۹). مؤلفه های سازنده کیفیت طراحی شهری. صفحه، ۱۱ (۳۲)، ۳۸-۶۵.
۸. مهندسان مشاور شهر و خانه (۱۳۹۶). طرح توسعه و عمران شهر اراک. تهران: مهندسان مشاور شهر و خانه.
۹. مهندسین مشاور زیستا (۱۳۸۳). طرح تفصیلی شهر اراک. اراک: مهندسین مشاور زیستا.
10. Akinyemi, M. L., Emeteri, M. E., & Akinwumi, S., A. (2016). Dynamics of wind strength and wind direction on air pollution dispersion. *Asian Journal of Applied Sciences*, 04 (02), 422-429.
11. Conzen, M. R. G. "Alnwick, Northumberland: A Study in Town-Plan Analysis." *Transactions and Papers (Institute of British Geographers)*, 27, 1960.
12. Houda, S. Zemmouri N. Ashman R. Belabor R. (2011). Effect of urban morphology on wind flow distribution in dense urban areas. *Revue des Energies Renouvelables*, 14 (1), 85-94.
13. J. A., Acero, A, Simon, A, Padro, O. Santa., C. (2012). Impact of local urban design and traffic restrictions on air quality in a medium-sized town. *Environmental Technology*, 33(19-21), 2467-77
14. Kassomenos, P. A., Lykoudis, S., & Kallos, G. (1999). Winter Southern wind flow and air pollution episodes over Athens, Greece. *Global Nest: The Int. J. 1 (2)*, 99-110.
15. Ng. E., Yuan, C., Chen, L., Ren, C., Fung, J. (2011). Improving the wind environment in high-density cities by understanding urban morphology and surface roughness: A study in Hong Kong. *Landscape and Urban Planning*, 101 (2011), 59-74.
16. Perry S.G., Heist D.K., Thompson R.S., Snyder W.H., Lawson R.E. (2004). Wind tunnel simulation of flow and pollutant dispersal around the World Trade Centre site. *Environ. Manager*, 31-34.
17. Yeon-Hee Kim and Jong-Jin Baik, (2005). Spatial and Temporal Structure of the Urban Heat Island in Seoul. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 44, 591-604.
18. Zupancic T., Westmacott C., Bulthuis M. *The Impact of Green Space on Heat and Air Pollution in Urban Communities: A Meta-Narrative Systematic Review*. Vancouver: David Suzuki Foundation.