Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

مجلّهٔ جغرافیا و توسعهٔ فضای شهری، سال نهم، شمارهٔ ۱، بهار ۱۴۰۱، شمارهٔ پیاپی ۱۶

DOI: 10.22067/JGUSD.2022.45301.0
مقالهٔ پژوهشی

اهمیت تراکم ساختمانی در کاهش آلودگی هوای شهر
(نمونه موردی: شهر اراک)

کاظم حسنی (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 دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۳۱ **تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۰/۲۵**

صص ۱۰۸-۹۳

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 می شود. همچین ضریب حاصل از رابطه میانگین آلودگی هوا در یک محدوده و در صد 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 دست‌آمده برای شاخص در صد حجم توده ساخته شده بیشتر از ضریب تراکم ساختمانی می‌باشد می‌توان چنین نتیجه گرفت که این شاخص می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌تری در سنجش تاثیر 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 ا شتباه مصرف‌گرایی باعث شده‌اند شهرهای بزرگ علاوه بر اینکه مکان منا سبی 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 شهرصنعتی ایران معرفی گردد و متاسفانه هر روز بر میزان این آلاینده‌ها افزوده می‌گردد. تعداد روزهای آلوده شهر اراک در سال جاری نسبت به سال گذشته حدود ٦٠٠ درصد افزایش یافته است. در کنار توجه به رعایت ا ستانداردهای زی ست 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 متنا سب ا ست و هرچه سرعت باد بی شتر و تلاطم شدیدتر با شد، غلظت آلودگی کمتر خواهد شد (غیاث الدین،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[1]، ۲۰۱۳). جمعیت و حجم ترافیک در مناطق شهری هر سال افزایش می‌یابد. به همین ترتیب، مناطق شهری به و سیله ساخت و ساز و یا باز سازی جدید تغییر می‌کنند. در نتیجه، پراکندگی جریان و آلاینده در مناطق شهری بسیار پیچیده‌تر و کاملاً وابسته به محیط ساختمان‌ها و تراکم ساختمان‌ها می شود(کیم و بیک[2]، 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 شـهر دارد، مفهومی که تحت عنوان تهویه فضـای شـهری از آن یاد می‌شـود. باد با انتقال ذرات معلق و گازهای موجود در جو شـهر سـبب کاهش اثرات گلخانه‌ای شـده و در نتیجه از افزایش دمای کمینه در کلان‌شـهرها جلوگیری می‌کند. نقش باد در انتقال آلودگی هوا و ذرات معلق بسـیار حائز اهمیت می باشـد(فرزاد بهتاش، ۱۳۹۲، ص. ١٦). 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. ۳۸-٦٥). در مقیاس خرد، مورفولوژی شهر تأثیر تعیین کننده‌ای بر جریان هوا و باد دارد. ام. آر. جی کانزن که به عنوان پدر ریخت‌شناسی شهری معروف است، چهار عنصـر را به عنوان اجزاء و عناصـر ریخت شـهری معرفی می‌کند؛ کاربری زمین، سـاختار ابنیه، الگوی قطعه‌بندی و الگوی خیابان‌ها(کانزن[1]، ۱۹٦۰، ص. ۱۳)؛ از میان این عناصـر، دو عامل توده‌گذاری و سـاختار ابنیه و شـکل، الگو و جهت‌گیری خیابان‌ها، تأثیر تعیین کننده‌ای بر جریان حرکت هوا و باد دارد. از این رو در این تحقیق نحوه توده‌گذاری ساختمان‌های شهر اراک به عنوان عاملی تأثیر گذار بر جریان هوا و آلودگی هوا مورد بررسی قرار گرفته است.

در زمینه برر سی ارتباط مورفولوژی شهری و تأثیر آن بر الگوی جابه‌جایی هوا و وزش باد، و تأثیر آن بر آلودگی هوا به ویژه در سـطح فضـاهای شـهری پیاده، مطالعات مختلف و متعددی صـورت گرفته اسـت(پری و همکاران[2]، 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 اشـاره شـده و راهکارهای طراحی در زمینه شـکل و جهت گیری سـاختمان‌ها را ارائه می‌دهد(نگ و همکاران[3]، ۲۰۱۱).

در رابطه با آلودگی هوا و تراکم ساختمانی در جهان و ایران پژوهش‌های بسیاری انجام شده است که از جمله آن‌ها می‌توان بـــه مطالعه "اثرات تراکم ساختمان بر جریان هوا در مناطق شهری و نمایش وابستگی ها" که توسط کیم[4] در سـال (۲۰۰۹) اشـاره نمود که با اسـتفاده از یک مدل تحلیل سـیالات در بیسـت و هفت نمونه موردی با پارامترهای مختلف از جمله تراکم ساختمانی بررسی می‌شود، که به صورت عددی شبیه سازی شده است. نتایج این مطالعه نشـان می‌دهد با افزایش طول سـاختمان 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[5]، ۲۰۰۵). در مطالعه‌ای دیگر که توسـط هودا در سـال (۲۰۱۱) با عنوان " تأثیر مورفولوژی شـهری 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 مشـخص شـده که سـرعت جریان هوا با شـکل سـاختمان و پیکربندی شـهری قابل تغییر می‌باشـد و در ادامه راهکارهایی جهت کاهش م صرف انرژی در ساختمان‌ها و تأمین کیفیت بهتر هوای بیرونی ارائه شده ا ست(هودا و همکاران[1]، ۲۰۱۱) . همچنین شمسی پور در سال (۱۳۹۱) مطالعه ای با عنوان "شبیه 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 شبیه 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 فراز شی سبب تعدیل آلودگی هوا می شود (شمسی پور و همکاران، ۱۳۹۱). آکرو[2] در مطالعه ای با عنوان " تأثیر طراحی شـهری محلی و محدودیت‌های ترافیکی بر کیفیت هوا در شـهر " به تجزیه و تحلیل تاثیر اقدامات مدیریت ترافیک و حالات طراحی شـهری محلی بر غلظت PM10 و NO2 محیط پرداخته است و به این نتیجه که سناریوهای مختلف طراحی شهری بر انتشار آلاینده ها تاثیرگذارند(آکرو و همکاران، ۲۰۱۲).

کاسومنوس در سال (۱۹۹۹) مطالعه ای با عنوان "جریان باد جنوبی زمستان و آلودگی هوا بر فراز آتن" انجام داده ا ست و به مسئله وارونگی که در انتهای زمستان هر سال در شهر آتن صورت میگیرد پرداخته ا ست و مطالعات او نشان می‌دهد که کاهش جریان باد یکی از عوامل مهم این پدیده می‌باشد(کاسومنوس[3] و همکاران، ۱۹۹۹) . در سال ۲۰۱٦ و در مطالعه ای که تو سط آکینیمی با عنوان "پویایی قدرت و جهت باد در پراکندگی 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 رگر سیون و ضریب همب ستگی تعیین شده و به نقش مهم تراکم شهری در زمینه کاهش آلودگی هوا ا شاره نموده ا ست (آکینیمی[4] و همکاران، ۲۰۱٦). مطالعه دیگری که تو سط 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، ب سیاری از مطالعات بر ف ضاهای 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[5] 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 روش های 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 بکارگرفته شده است؛ در تحقیق حاضر سعی شده با استفاده از روش کمی، رابطه میان متغیرهای آلودگی هوا و شاخص های کالبدی(تراکم ساختمانی – حجم توده ساخته شده) شناسایی شده و میزان تاثیر شاخصه‌های 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 تعین میزان و نوع تاثیرگذاری تراکم ساختمانی در جهت کاهش آلودگی هوای شهر اراک، و پاسخگویی به سوالاتی نظیراینکه «تنوع در تعداد طبقات چه تاثیری در میزان آلودگی هوا دارد؟» به بررسی مطالعات و پژوهش های انجام شده در این زمینه می‌پردازد. در این مقاله تاثیر تراکم ساخت بر میزان آلاینده های 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 وسیله‌ی 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 نرمالسازی 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. ازجمله شرایط لازم در روش کریجینگ که نشان‌دهنده صحت نقشه می‌باشد، شامل ریشه میانگین مربع خطای استاندارد شده[1] باید نزدیک به یک باشد و ریشه میانگین مربع خطاها[2] و میانگین خطای استاندارد[3] 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 نرم افزارArc 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 دســـت‌آمده در نرم افزارهای SPSS و با آزمون رگرســـیون خطی مورد سنجش قرار گرفته است.

۲. ۱. متغیرها و شاخص های پژوهش

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

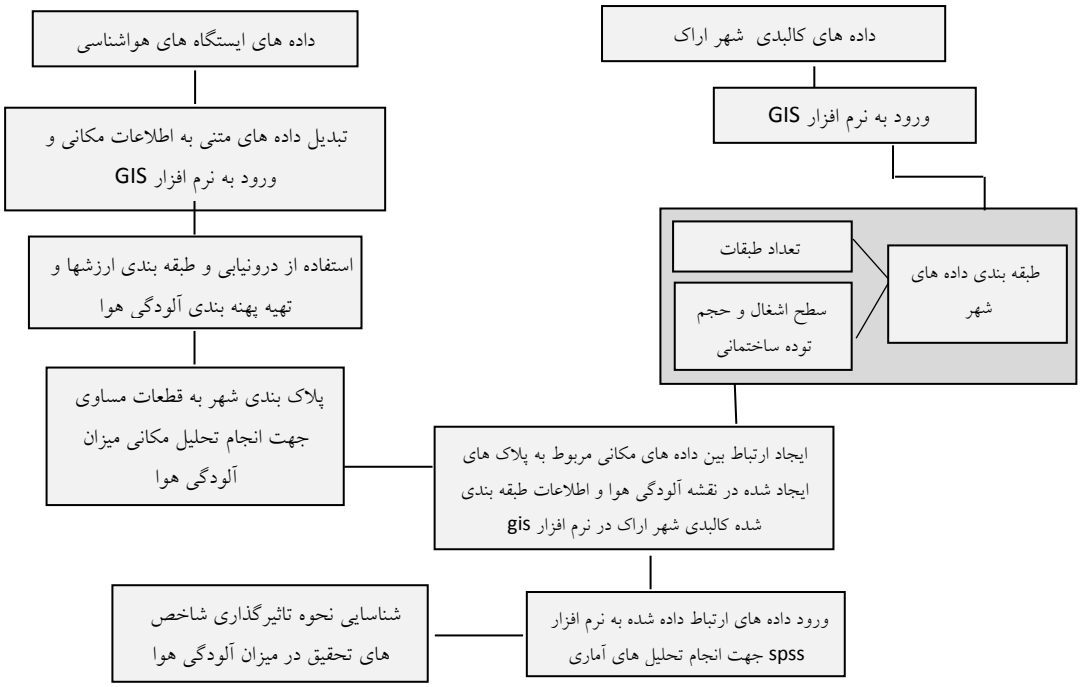
شکل ۱. متغیرهای پژوهش

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 ٦۳۰۰ هکتار است. از آنجایی که این شهر در مرکز کشور و در مسیر عبور کامیون‌ها و وسایل نقلیه ترانزیتی قرارگرفته و موقعیت جغرافیایی آن پل ارتباطی جنوب کشور با مرکز و شمال کشور است سبب شده که صنایع بسیاری در این محدوده‌ی مطالعاتی استقرار یافته و شهر طی دو دهه از ٥۳٤٥/٤ هکتار گسترش و توسعه بسیار زیادی پیدا کرده (طرح تفصیلی شـــهر اراک،۱۳۸۳) و به ٦۲۸۹/۰۲ هکتار رســـیده اســـت (طرح توســـعه عمران کلان‌شـــهر اراک، ۱۳۹٦). 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.



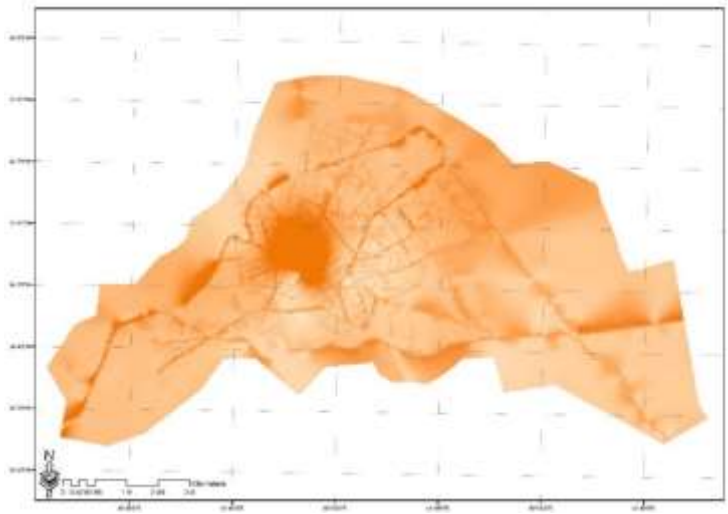
شکل۲. مدل مفهومی پژوهش، مأخذ: (یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸)

۳. یافته‌ها

تحلیل‌های انجام شده در این تحقیق در دو بخش صورت پذیرفته ا ست. 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 ٥٦ قسمت از سطح شهر اراک (شکل ٥) (که و شامل ٦ قسمت از ۲۲ قسمت ذکر شده در شماره های (۳-٤-۸-۹-١٤-١٥) بوده و دارای عملکرد شهری یکسان می‌با شند) برر سی شده است.

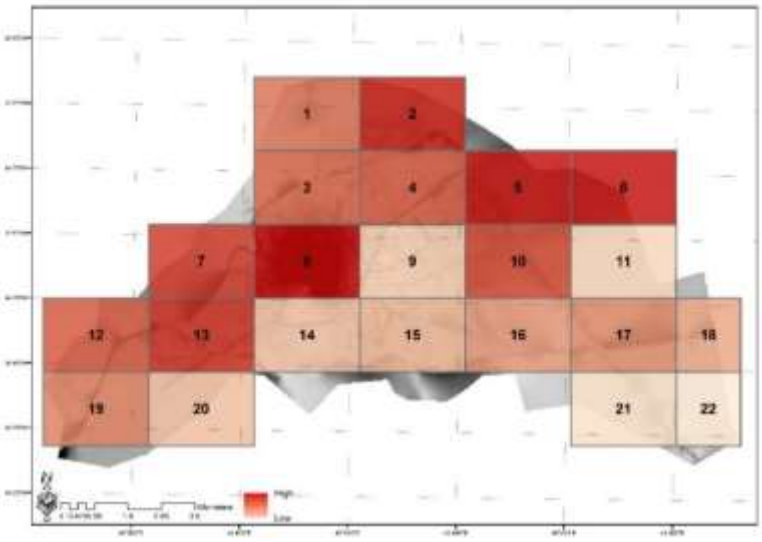
بخش اول: رابطه میان آلودگی هوا و تراکم ساختمانی

در این تحقیق با استفاده از داده‌های هواشناسی اداره محیط زیست استان مرکزی در مرحله اول داده‌های مربوط به منوکسید کربن در بازه تاریخی ۲۰۱٦/۰۳/۲۰ 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 درونیابی و محاسبه میزان آلودگی در سطح شهر پرداخته شده است. شکل ۳ پراکندگی منوکسید کربن در سطح شهر اراک را نمایش می‌دهد.



شکل ۳. پراکندگی منوکسید کربن در شهر اراک

جهت آماده‌سازی نقشه در راستای تحلیل‌های مورد نظر، نقشه پراکندگی ایجاد شده در مرحله گذشته (شکل ٤) 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 شماره۲).

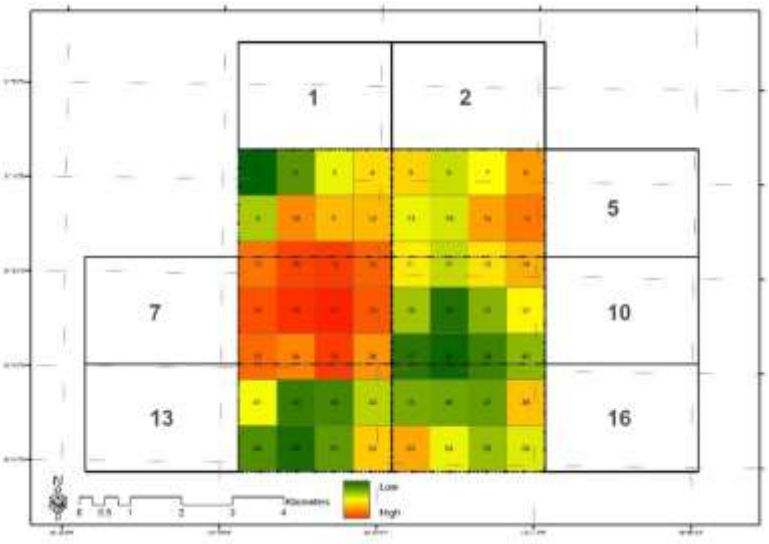


شکل ٤. میانگین منوکسید کربن در ۲۲ قسمت از شهر اراک

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

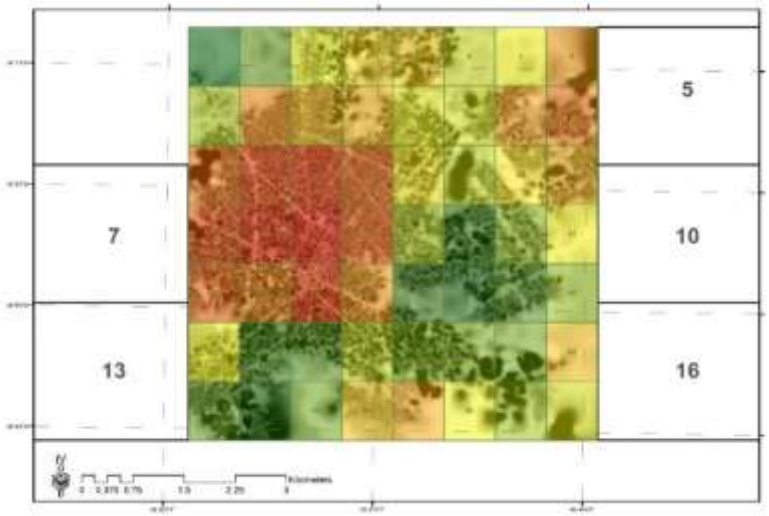
$$\text{درصد تراکم ساختمان} = \frac{\sum(\text{تعداد طبقات} * \text{مساحت ساخته شده}) * 100}{\text{مساحت محدوده}}$$

در راستای دستیابی دقیق‌تر به نتایج، محدوده‌های دارای عملکرد مشابه در سطح شهر اراک که شامل شش محدوده (۱۵-۱٤-۹-۸-٤-۳) در شکل ٤ شبکه بندی شده‌اند، در قطعات کوچک‌تر مورد برر سی قرار گرفته و از همین رو محدوده مورد نظر را به ٥٦ قسمت مختلف تقسیم‌بندی 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 نشان‌دهنده میزان آلودگی در این قطعات می‌باشد.



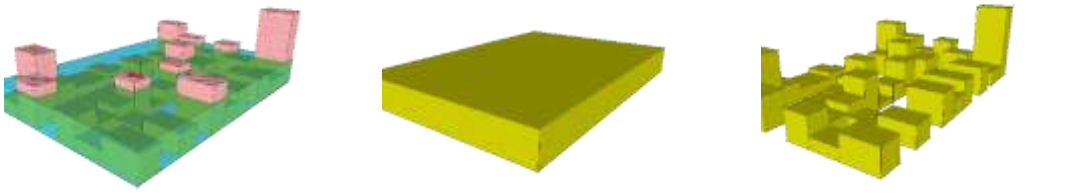
شکل ۵. میانگین منوکسید کربن در ٥٦ بخش با عملکرد شهری یکسان

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 قرارگرفته 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 ٦. مقایسه ارتفاع ساختمان های موجود و میانگین آلودگی هوا

شکل ٦ به تحلیل جایگاه ساختمان‌های با تعداد طبقات بالا و آلودگی هوا پرداخته است.



۱ ۲ ۳

شکل ۷. مراحل محاسبه حجم توده ساختمانی در هر محدوده

۱- بافت شـهری و تعیین میانگین ارتفاع سـاختمان ها ۲- میزان حجم محدوده با اسـتفاده از مقدار مسـاحت 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 راسـتای به دسـت آوردن رابطه میان آلودگی هوا و تراکم سـاختمانی در ۲۲ منطقه مشـخص شـده از آزمون رگرسیون خطی در نرم افزار SPSS بهره گرفته شده است. جدول شماره ۱ نشان‌دهنده مقدار آزمون دوربین واتسن [1] می‌با شد نزدیک بودن عدد آزمون دوربین واتسن به عدد ۲ حاکی از آن ا ست که بین خطاهای رگر سیون همبستگی معنا داری وجود ندارد. و ادامه آزمون قابل استناد می‌باشد.

1. Durbin Watson

جدول۱. آزمون دوربین واتسن (a. Predictors: (Constant), Density - b. Dependent Variable: (mean co

Model	Change Statistics			
	df1	df2	Sig. F Change	Durbin-Watson
۱	۱	۲۰	۰/۰٦۰	۱/۸۹۰

مأخذ: (یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸)

جدول شماره ۲ آزمون آنوا[1] میان آلودگی هوا و تراکم ساختمانی می‌با شد 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	۳/۸٤۸	۱	۳/۸٤۸	۳/۹۸۲	۰/ ۰۵۰ b
	Residual	۱۹/۳۲۸	۲۰	۰/۹٦٦		
	Total	۲۳/۱۷٦	۲۱			

مأخذ: (یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸)

جدول شماره ۳ جدول ضرایب رگرسیون خطی[2] را نشان می‌دهد با توجه به اینکه سطح معنی داری رگرسیون کمتر از ۰/۰۵۰می‌باشد می‌توان معادله مربوط به آلودگی هوا و تراکم ساختمانی را به این صورت بیان نمود. (میانگین آلودگی منوکسید کربن= ۳/۰۵۰ + (درصدتراکم 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	۰/۲۷٤		۱۱/۱۲۲	۰/۰۰۰
	Density	۰/۰۱۳	۰/۰۰۷	۰/٤۰۷	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 ٥٦ قسمت تقسیم بندی شده و مورد بررسی قرار گرفته ا ست. در تحلیل صورت گرفته همانند مرحله قبل از آزمون رگر سیون خطی ا ستفاده شده ا ست. جدول

۱. آزمون تحلیل واریانس (ANOVA)

2. Linear regression coefficients

شـماره ۵ آزمون آنوا می باشـد. سـطح معنی‌داری این آزمون برابر با ۰/۰۳۹ می‌باشـد و با توجه به اینکه از عدد۰/۰۵ کمتر است، حاکی از آن است که رگرسیون محاسبه شده دارای برازش مناسب می‌باشد.

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

Model		Sum of Squares	df	Mean Square		
۱	Regression	۱۷/٤۳٤	۱	۱۷/٤۳٤	٤/٤۹۵	۰/ ۰۳۹ b
	Residual	۲۰۹/٤۵۲	۵٤	۳/۸۷۹		
	Total	۲۲٦/۸۸٦	۵۵			

مأخذ: (یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸)

جدول ٦. آزمون ضرایب رگرسیون(a. Dependent: mean co)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
۱	(Constant)	۲/۷۳۹	۰/۵۳٤		۵/۱۲۷	۰/۰۰۰
	Density	۰/۰۱۳	۰/۰۰٦	۰/۲۷۷	۲/۱۲۰	۰/۰۳۹

مأخذ: (یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸)

جدول شماره ٦ جدول ضرایب رگرسیون خطی را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه سطح معنی داری رگرسیون کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد، می‌توان معادله مربوط به آلودگی هوا و تراکم ساختمانی را به این صورت بیان نمود. (میانگین آلودگی منوکسید کربن= ۲/۷۳۹ + (درصد تراکم ساختمانی * ۰/۰۱۳)) این معادله نشان می‌دهد میان تراکم ساختمانی و میزان پراکنش آلودگی رابطه وجود دارد.

جدول شماره ۷ محاسبه ضریب هم خطی[1] آزمون رگرسیون صورت‌گرفته را نمایان می‌کند و با توجه به اینکه این ضریب برابر با عدد ۱ می‌باشد نشان از این موضوع دارد که آزمون رگرسیون صورت گرفته پیش‌بینی 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.
Regression	۱۹/۵۱٤	۱	۱۹/۵۱٤	۵/۰۸۱	۰/۰۲۸
Residual	۲۰۷/۳۷۲	۵٤	۳/۸٤۰		
	۲۲٦/۸۸٦	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 برازش مناسب می‌باشد.

جدول شماره ۹ جدول ضرایب رگسیون 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 = ۲/٦۹۷ + (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 معنی داری وجود دارد.

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

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
Mass volume	۰/۰۸۵	۰/۰۳۸	۰/۲۹۳	۲/۲۵٤	۰/۰۲۸
(Constant)	۲/٦۹۷	۰/۵۲٦		۵/۱۲۹	۰/۰۰۰

مأخذ: (یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸)

٤. 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[1] صورت گرفته است نشان می

1. Yeon-Hee Kim and Jong-Jin Baik

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 همکارن 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 تاثیر شاخصه‌های کالبدی بر توزیع آلودگی در سطح شهر مطالعه گردیده است. یافته های 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 اندازه گیری می باشد. نتایج این مطالعه همانند پژوهش‌های پیشین (نگ و همکاران، ۲۰۱۱)، (آکینیمی و همکاران، ۲۰۱٦) 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 بالارفتن 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، ۲۰۱٦) که صرفاً بر درصد تراکم ساختمانی تاکید 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 بخش های عمومی و دستگاه های 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 مداقه 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 می‌با شد که حاکی از نحوه تأثیرگذاری این شاخص بر آلودگی هوا ا ست. از آنجا که ضریب به د ست آمده برای شاخص درصد حجم توده ساخته شده بیشتر از ضریب تراکم ساختمانی می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که این شاخص می‌تواند نقش تعیین کننده‌تری دریک محدوده شهری داشته باشد. در نتیجه توجه به این دو شاخص می‌تواند باعث کنترل منا سب‌تر هوای شهر اراک شود. در مطالعات پی شین همواره بر نقش تراکم ساختمانی بر آلودگی هوا تأکید می شود با این حال بر اساس یافته های بدست آمده می‌توان 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 ساختمان‌های بلند مرتبه در شهر نمی‌باشد ولی ایجاد این ساختمان‌ها نیازمند مکان یابی مناسب و رعایت حجم توده و فضای تعریف شده می‌باشد.

تحلیل صورت‌گرفته ن شان می‌دهد که مناطقی از شهر اراک که دارای ساختمان‌های بلند مرتبه می‌با شند، دارای آلودگی کمتر بوده و ناحیه‌های متراکم‌تر با تعداد طبقات پایین‌تر آلودگی هوای بیشتری را دارا ست. از این رو می‌توان بر نقش حساس برنامه‌ریزی و طراحی شهری درجهت کنترل مناسب تراکم و مکان یابی ساختمان‌های بلند مرتبه در یک منطقه شهری و کاهش میزان آلودگی هوا ا شاره نمود. بر ا ساس نتایج حا صل پی شنهاد می شود که با توجه به ضرورت افزایش تراکم در شهر، مکان‌های مناسب برای ایجاد ساختمان‌های 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. شمسی‌پور، ع.، نجیب‌زاده، ف.، حسین‌پور، ز. (۱۳۹۱). شبیه سازی الگوی پراکنش آلودگی هوای کلان شهر تهران در شرایط وزش باد. *نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی*، (٤)، ۷۲-٦۳.

۳. صمدی خادم، ش.، درگاهی، ع.، و احمدی مسعود، ن. (۱۳۹۲). بررسی اهمیت فضای سبز درکنترل و کاهش آلودگی هوای شهری. تهران: سومین کنفرانس برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست.

٤. 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.

٦. گروه بین المللی ره شهر (۱۳۹۲). بام سبز،گامی بلند در جهت تو سعه پایدار، ن شریه شماره ۱٤۱، مرکز آموزش علمی- کاربردی گروه بین المللی ره شهر، تهران.

۷. گلکار، ک. (۱۳۷۹). مؤلفه های سازنده کیفیت طراحی شهری. *صفه، ۱۱*(۳۲)، ٦٥-۳۸.

۸. مهندسان مشاور شهر و خانه (۱۳۹٦). *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., Emetere, 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.