سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (سال نهم / شماره دوم) تابستان ۱۳۹۷
نمایه شده در سایت: پایگاه استنادی علوم جهان اسلام، جهاد دانشگاهی، مگ ایران، نورمگز
آدرس وب سایت : http://girs.iaubushehr.ac.ir

# مدل‌سازی رابطه فضای سبز شهری با آلودگی هوا، صوت و دما با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین

**شیرکو جعفری [۱]، افشین علیزاده شعبانی [۲*]، مظاهر معین‌الدینی [۲]، افشین دانه‌کار [۳]، امیر علم‌بیگی [٤]**

۱. دانشجوی دکتری محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۲. استایار گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۳. استاد گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
٤. استادیار گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده اقتصاد و توسعه کشاورزی، دانشگاه تهران

## چکیده

**فضای سبز نقش مهمی در کیفیت محیط‌زیست شهری دارد. هدف این بررسی تعیین رابطه فضای سبز شهری با آلودگی هوا، صوت و دما در شهر تهران با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین است. بدین منظور، ابتدا نقشه فضای سبز تهیه و به‌روزرسانی شد و سنجه‌های سیمای سرزمین محاسبه شدند. سپس نقشه‌های آلودگی هوا و صوت با استفاده از میانگین داده‌های سالیانه درون‌یابی شدند و نقشه دما نیز با روش رگرسیون تهیه شد. درنهایت اطلاعات موردنیاز از نقشه‌های تهیه‌شده، برای ۵۲ واحد مطالعاتی استخراج شد و با استفاده از رویکرد مدل‌سازی معادلات ساختاری تجزیه‌وتحلیل شدند. نتایج نشان داد که فضای سبز اثر کاهشی بر میزان آلودگی هوا، صوت و دما دارد. بطوریکه به ازای یک واحد افزایش در انحراف معیار فضای سبز، ۰/۵۰۹ واحد در انحراف معیار دما، ۰/٤٦۲ واحد در انحراف معیار میزان آلودگی صوت و همچنین ۰/۸۳۱ واحد در انحراف معیار آلودگی هوا کاهش مشاهده می‌شود. در سازه فضای سبز، شاخص انسجام و تراکم لکه بیشترین نقش و شاخص مساحت کمترین نقش را در کاهش آلودگی هوا، صوت و دما داشت. بیشترین و کمترین میزان اثر کاهشی فضای سبز برسازه آلودگی هوا به ترتیب مربوط به ذرات کمتر از ۲/۵ میکرون و دی‌اکسید سولفور بود. میزان آلفای کرونباخ ۰/۸۰۷ و ضریب پایایی مرکب ۰/۸۰۸ نشان‌دهنده پایایی بالا و میانگین واریانس استخراج‌شده ۰/۵۲۳ نشان‌دهنده روایی همگرایی بالا در سازه آلودگی هوا هستند. در سازه فضای سبز شاخص عامل تورم واریانس نشان‌دهنده عدم خطای هم خطی است.**

## مشخصات مقاله

*پیشینه مقاله:*
دریافت: ۲۳ اردیبهشت ۱۳۹۷
پذیرش: ۳۰ تیر ۱۳۹۷
دسترسی اینترنتی: ۱ شهریور ۱۳۹۷

*واژه‌های کلیدی:*
فضای سبز
سنجه‌های سیمای سرزمین
مدل‌سازی معادلات ساختاری
آلودگی هوا

* پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: ashabani@ut.ac.ir

**مقدمه**

در دهه‌های اخیر با پیشی گرفتن شهرنشینی، افزایش بی‌رویه جمعیت، توسعه غیر هدفمند کالبدی شهرها و افزایش آلودگی محیطزیستی مشکلات بی‌شماری فراروی برنامه‌ریزان شهری قرار داده است. لذا توجه به فضاهای سبز شهری برای تقلیل چنین مشکلاتی بیشتر شده و نقش لکه‌های سبز شهرها در حفظ و تعادل محیطزیست شهری و تعدیل آلودگی هوا توجه بیشتری به خود جلب نموده است. فضای سبز به‌عنوان یکی از اجزاء محیطزیست شهری، نقش بسزایی در کاهش تراکم شهری، ایجاد مسیرهای هدایتی، کاهش آلودگی هوا، کاهش آلودگی صوت و کاهش دمای شهر دارد، لذا اغراق‌آمیز نیست اگر گفته شود هیچ طرح جامعی بدون سیستم برنامه‌ریزی‌شده فضای سبز شهری کامل نخواهد بود (۲۷). فضاهای سبز شهری بخش جدایی ناپذیر از هر منطقه شهری بوده و اهمیت زیادی در حفظ کیفیت و پایداری محیطزیست دارند (۹). فضاهای سبز شهری به‌عنوان آخرین نشانه‌های طبیعت در مناطق شهری شناخته می‌شوند و امروزه کارکردهای چندگانه آن‌ها شامل حفظ تنوع زیستی (۸)، جلوگیری از فرسایش خاک، جذب آلاینده‌های هوا و صوت (۱۱) و کاهش اثر جزایر حرارتی (۱۵ و ۲۳) موردتوجه بیشتر قرارگرفته است. فضاهای سبز شهری می‌توانند مزایای فراوانی مانند، ایجاد محیط‌های آرام برای فراغت و کاهش استرس و افزایش میزان شادی (۱۰، ۱۹ و ۲۵)، افزایش فعالیت‌های ورزشی و فیزیکی (٤۱)، همچنین اثرات مثبت بر کاهش فشارخون (۲۸)، و کاهش بیماری‌های قلبی، عروقی و تنفسی (١٤، ۱۷ و ۳۵) داشته باشند.

پراکنش مناسب انواع فضاهای سبز در سطح شهر، از موضوعات مهم در برنامه‌ریزی شهری و به‌ویژه مدیریت فضاهای سبز شهری محسوب می‌شود. توزیع عادلانه فضاهای سبز با کارکرد اجتماعی و چگالی مناسب این فضاها در کالبد شهر، به‌طور مستقیم با فرایند برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار شهری مرتبط است (١٦). بدون تردید خدمات فضاهای سبز شهری به ترکیب و توزیع مطلوب آن‌ها وابسته است و مدیران شهرها همواره در جستجوی شیوه‌های کارآمد و اجرایی برای امکان استفاده تمام شهروندان از خدمات چندگانه فضاهای سبز شهری هستند که بتوانند اصول بوم‌شناسی را در برنامه‌ریزی فضاهای سبز شهری وارد کنند (۳۲). این توجه به اصول بوم‌شناسی و حفظ محیطزیست در برنامه‌ریزی شهری در سال‌های اخیر به‌صورت الگووارهای مختلفی مانند مدل چهار جعبه (٢٤)، باغ‌شهرها (۲۵)، طراحی با طبیعت (۳۱)، متابولیسم شهری (۳۳)، ردپای اکولوژیک (٣٤)، برنامه‌ریزی فضایی با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و کاربرد اصول بوم‌شناسی سیمای سرزمین (۱۲) دیده‌شده است. این برنامه ریزی، تخصصی در برنامه‌ریزی سیمای سرزمین است که در خصوص برنامه‌ریزی مکانی، سازمان‌دهی کاربری‌ها و ارتباطات کاربری زمین برای دستیابی به اهداف مشخص تمرکز می‌کند (۲۰). درواقع رویکرد بوم‌شناسی سیمای سرزمین، توسط تمرکز بر روی پیوند الگوها و فرایندهای بوم‌شناسی و ابعاد اقتصادی-اجتماعی توصیف می‌شود.

سرانجام رویکرد بوم‌شناسی سیمای سرزمین، سیمای سرزمین را به‌عنوان واحد فضایی اصلی پژوهش و نظریه‌های برنامه‌ریزی پیشنهاد می‌کند. در این دیدگاه، سیمای سرزمین ناهمگن و متشکل از گروه‌هایی از اکوسیستم‌ها یا واحد فضایی تأثیرگذار بر یکدیگر بوده، فرمی مشابه در سراسر آن تکرار می‌شود و سه خصوصیت بنیادین آن ساختار، کارکرد و تغییر یا پویایی است (۱۸).

ازآنجاکه عملکرد فضای سبز در داخل مناطق شهری بستگی به ترکیب و توزیع آن‌ها دارد، سنجه‌های سیمای سرزمین ابزار بسیار مناسبی برای بیان الگوی موزاییک فضاهای سبز شهری و تغییرات آن در ارتباط با فرایندهای شهرنشینی و تحت اثر بشر بوده است که با استفاده از آن‌ها می‌توان اثر فرایندهای مذکور را بر ویژگی‌های بوم‌شناسی محیطزیست تفسیر نمود و یک طبقه‌بندی اولیه از سیمای سرزمین را به

دست آورد و از آن‌ها در تصمیم‌گیری‌های مرتبط با رشد شهر، توزیع کاربری‌ها و برنامه‌ریزی توسعه فضای سبز شهری بهره برد (۱۲). این سنجه‌ها در جهت نزدیک کردن زبان برنامه‌ریزان شهری و بوم‌شناسان حائز اهمیت هستند. درگذشته از رویکرد سیمای سرزمین در بررسی تغییر پوشش سرزمین، بررسی تغییرات الگوهای مکانی و زمانی سرزمین (٦)، ارزیابی تکه‌تکه شدگی سیمای سرزمین (۳) و مدل‌سازی مانند مدل تخریب محیط‌زیست (۲)، استفاده‌شده است. اما امروزه استفاده از آن بیشتر درزمینهٔ برنامه‌ریزی شهری متمرکزشده است.

مک کارتی و کازا (۳۰) به بررسی رابطه بین ساختار فضایی شهر و کیفیت هوای شهرهای ایالات‌متحده پرداختند. آن‌ها رابطه معنی‌داری بین شکل و نوع چیدمان شهر باکیفیت هوا معرفی نمودند که این نتایج می‌تواند برای توسعه آینده شکل شهرهای ایالات‌متحده مفید واقع شود. همچنین بیان نمودند که کیفیت هوا از حومه به مرکز شهر تغییر می‌کند و به ترتیب از مناطق روستایی باکیفیت بالا به سمت حواشی شهر باکیفیت متوسط تا مرکز شهر باکیفیت بد تغییر می‌کند. در این مطالعه پوشش‌گیاهی و فضای سبز نیز به‌عنوان یکی از عوامل کاهش آلودگی هوا معرفی‌شده است.

آریزامیلاوردیو همکاران (۷) با بررسی رابطه شکل شهر و میزان آلودگی صوت در شهر کردوبای اسپانیا، نشان دادند که میزان آلودگی صوت با شاخص عرض خیابان و ارتفاع ساختمان‌ها رابطه همبستگی مثبتی دارند. همچنین با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین نشان داد که الگوهای ساختمانی پیچیده‌تر دارای میزان آلودگی صوت بالاتری نسبت به الگو های منظم‌تر هستند.

وبر و همکاران (٤۰) به بررسی رابطه پوشش فضای سبز شهرلایپزیگ با آلودگی صوت و هوا و تأثیر این دو برهم با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که در مکان‌های با آلودگی هوای بالا (شاخص $PM_{10}$)، آلودگی صوت نیز بالابود و در این میان میزان کاربری شهری و تراکم ساختمان‌ها و همچنین ارتفاع ساختمان‌ها نیز بر میزان آلودگی هوا تأثیر مثبت داشته‌اند.

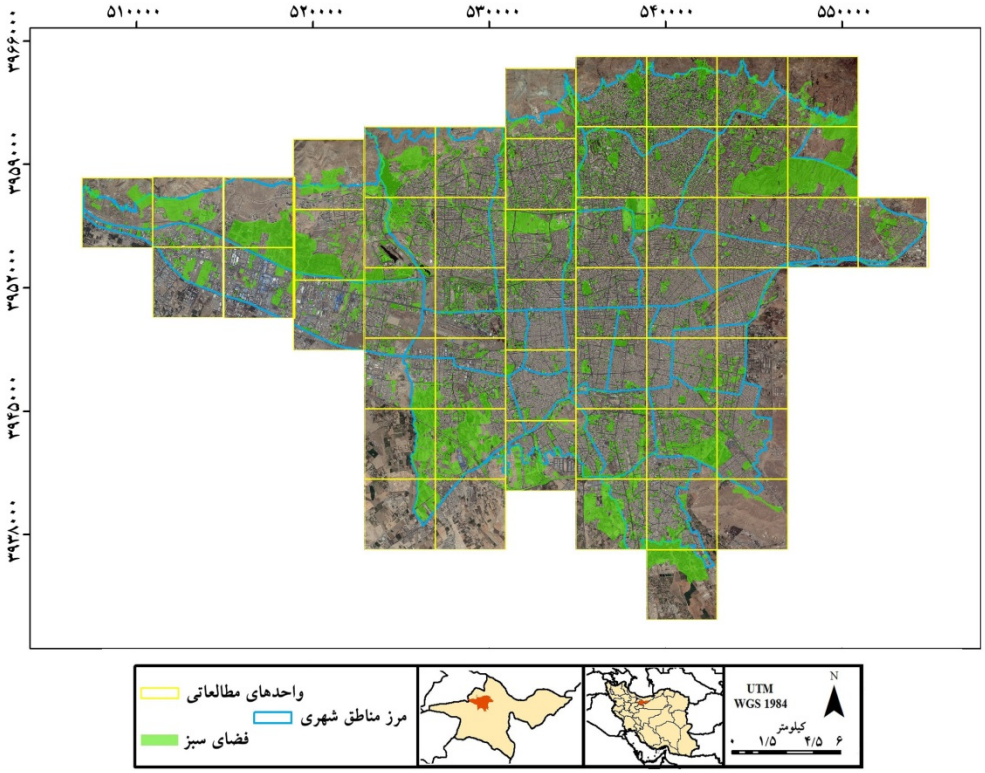
لانگ و شن (۳۷) در مطالعه‌ای باهدف کمی‌سازی رابطه فضای سبز شهری و مرگ‌ومیر ناشی از بیماری‌های قلبی با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین، به این نتیجه رسیدند که فضای سبز بر روی دما و آلودگی هوای شهر اثر کاهنده دارد. بالاترین اثر مثبت فضای سبز را لکه‌های بزرگ‌تر و لکه‌های با تکه‌تکه شدگی کمتر داشتند. آلودگی هوا و دما در مکان‌هایی از شهر بالابود که میزان فضای سبز کم بوده و یا فضای سبز تکه‌تکه و ازهم‌گسیخته بود. یکی از راهکارهای ارائه‌شده در این مطالعه افزایش پیوستگی فضاهای سبز از طریق کریدورها بود. بنابراین حضور طبیعت در شهر بر وسعت، ترکیب و توزیع لازم و کافی یکی از ضرورت‌های توسعه پایدار و شهر سالم است (۲۱). درنتیجه، وضعیت فضاهای سبز شهری به جهت تأثیری که بر کیفیت زندگی شهری ازلحاظ کاهش آلودگی هوا و صوت و کاهش اثر جزیره حرارت شهری دارند، ارزش بررسی گسترده‌ای دارند.

هدف این مطالعه تعیین نقش فضای سبز شهری بر میزان آلودگی هوا، صوت و دما با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین و بهره‌گیری از روش مدل‌سازی معادلات ساختاری (Structural Equation Modeling) است.

## مواد و روش‌ها

### منطقهٔ مورد مطالعه

محدودهٔ موردمطالعه مناطق ۲۲ گانه شهر تهران با وسعت ۷۳۰ کیلومترمربع که بین ′۳٤ °۳۵ تا ′۵۹ °۳۵ عرض شمالی و ′۰۵ °۵۱ تا ″۳۰ ′۵۳ °۵۱ طول شرقی، واقع‌شده است (شکل ۱). محدوده شهر تهران از سه بخش کوهستانی، کوهپایه و دشت تشکیل می‌شود. مناطق کوهستانی، ارتفاعات بالای ۱۸۰۰متر و شیب بیشتر از ۲۰٪ را در برمی‌گیرد. در تهران از سمت جنوب به شمال، ارتفاع زمین افزایش می‌یابد به‌طوری‌که ارتفاع در قسمت‌های پست حدود ۹۰۰ متر و قسمت‌های مرتفع تا ۱۸۰۰ متر است (۵).




شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهر تهران بر روی تصویر ماهواره‌ای ژیوآی

## روش تحقیق

### تهیه نقشهٔ فضای سبز و محاسبه سنجه‌های سیمای سرزمین

کمی نمودن ساختار سیمای سرزمین نیازمند نقشه است. پس برای شروع، نقشه کاربری/پوشش زمین شهر تهران تهیه‌شده توسط شهرداری تهران (سال ۱۳۹۰) با مقیاس ۱:۲۰۰۰ با استفاده از افزونه ARCBru Tile در محیط ArcGIS®10.4 به‌روزرسانی شد. با توجه به هدف مطالعه فقط از طبقه فضای سبز نقشه استفاده شد. کمی نمودن ساختار سیمای سرزمین نیازمند سنجه‌های سیمای سرزمین است. سنجه‌های سیمای سرزمین شاخص‌هایی هستند که خصوصیت شکلی، هندسی و ماهیت پراکنش و توزیع اجزای ساختاری سیمای سرزمین (لکه و کریدور) را قابل‌تعریف و به‌صورت کمی قابل‌مقایسه می‌سازند (۲۹). بنابراین، سنجه‌های سیمای فضای سبز شهری ازجمله متوسط اندازه لکه‌های سبز، شاخص قطعات و مساحت کریدورهای پوشیده شده از درخت، از شاخص‌های مهم برای برنامه‌ریزی، طراحی و ارزیابی فضای سبز شهری محسوب می‌شوند (۴۳). در این مطالعه برای کمی سازی ساختار سیمای فضای سبز شهری از ٦ سنجه سیمای سرزمین در سطح کلاس استفاده شد که در نرم‌افزار FRAGSTATS®4.2 محاسبه شدند و نحوه تفسیر سنجه‌ها در جدول ۱ ارائه‌شده است. با توجه به هدف مطالعه، چون فقط تعیین اثر کلاس فضای سبز بر روی دمای هوای شهر و آلودگی هوا و صوت مدنظر بود از سطح کلاس استفاده شد.

### تهیه نقشه دمای شهر تهران

در این تحقیق تهیه نقشه دما از داده‌های میانگین ماهانه دمای ۵ ساله (۱۳۹۰-۱۳۹۵) برای ۱۳ ایستگاه هواشناسی تهران بدیهی است که رابطه بین دما و ارتفاع رابطه‌ای با همبستگی معکوس است که معمولاً با افزایش ارتفاع، دما کاهش می‌یابد. با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS نقاط ارتفاعی ایستگاه‌ها از نقشه مدل رقومی ارتفاعی استخراج شد و سپس با داده‌های میانگین

دمای ۵ ساله وارد مدل رگرسیونی از نوع خطی ساده شدند. بدین‌صورت که ارتفاع به‌عنوان متغیر مستقل و دما به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد (جدول ۲).

**جدول۱. مشخصات سنجه‌های سیمای سرزمین مورداستفاده در مطالعه**

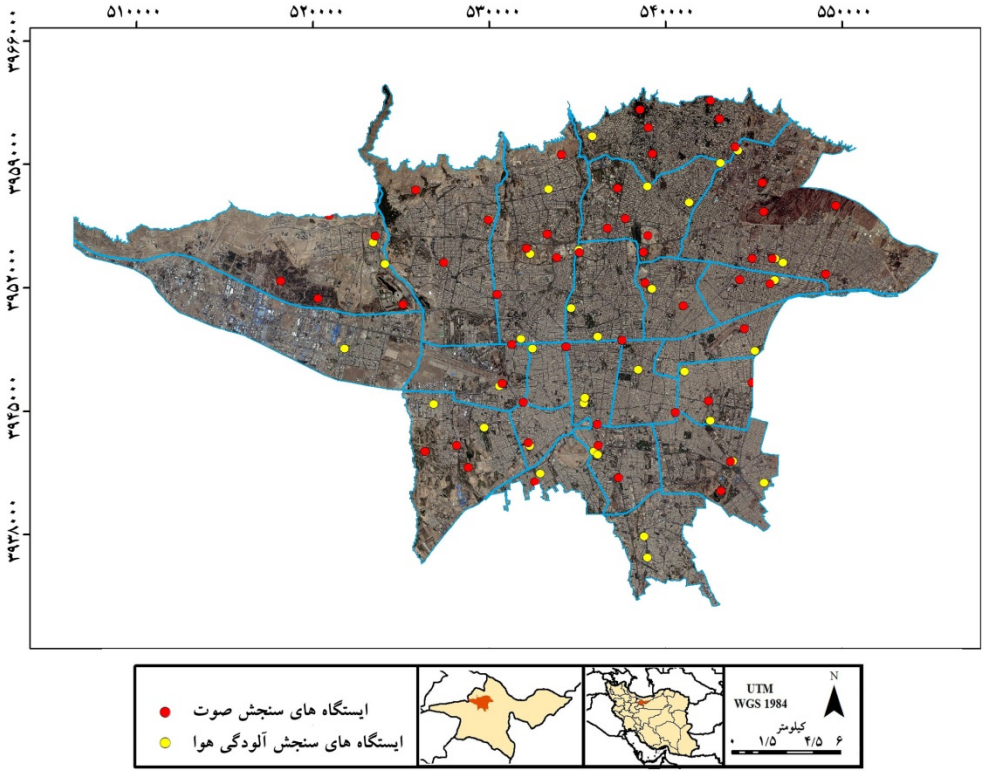
| سنجه‌های سیمای سرزمین | علامت اختصاری | تفسیر |
|---|---|---|
| مساحت | CA | این نمایه مساحت طبقه را محاسبه می‌کند (هکتار) |
| اندازه مؤثر شبکه | MESH | نشان دهندهٔ احتمال پیوستگی میان دو نقطه که به‌صورت تصادفی انتخاب‌شده باشند (هکتار) |
| شاخص ازهم‌گسیختگی | SPLIT | میزان ازهم‌گسیختگی لکه‌های یک طبقه را در سیمای سرزمین محاسبه می‌کند (بدون واحد) |
| انسجام | COHESION | میزان انسجام و پیوستگی (اتصال فیزیکی) لکه‌های یک طبقه را در سیمای سرزمین اندازه می گیرد (بدون واحد) |
| تراکم حاشیه | PD | این نمایه معادل طول تمامی حاشیه‌ها تقسیم‌بر مساحت لکه است (متر/هکتار) |
| فاصله اقلیدسی | ENN | متوسط فاصله بین لکه‌های مشابه از یک طبقه است. این سنجه بیانگر میزان ایزوله بودن آن‌هاست (متر) |

**جدول۲. مشخصات، میانگین ۵ ساله و ارتفاع ایستگاه‌های هواشناسی منطقه موردمطالعه**

| نام ایستگاه | ورامین | لواسان | فیروزکوه ۱ | فیروزکوه ۲ | فرودگاه امام | شهریار | شمیران | ژئوفیزیک | دوشان تپه | دماوند | چیتگر | مهرآباد | آب علی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| میانگین ۵ ساله دما (درجه سانتی‌گراد) | ۲۰/٤ | ۱۳/۷۳ | ۵/۷۱ | ۱۱/۳٤ | ۱۷/۸۱ | ۱۸/۳۳ | ۱٦/۳۵ | ۱۸/۳۹ | ۱۸/۸۲ | ۱۳/۱٦ | ۱۸/۷۲ | ۱۸/٤ | ۸/۸۸ |
| ارتفاع ایستگاه (متر) | ۹۱۸ | ۱۷۰٤ | ۱۹۳۳ | ۲۱۰٤ | ۱۰۰۰ | ۱۱۵۹ | ۱٦٤۹ | ۱٤۱۸ | ۱۱۹۷ | ۱۹۵۸ | ۱۲٦۹ | ۱۱۸۳ | ۲۰۸٦ |

**تهیهٔ نقشه‌های آلودگی هوا و صوت**

در این مطالعه برای تهیه نقشه آلودگی هوا و صوت از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی در نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. زیرا کریجینگ بهترین تخمین‌گر خطی نااریب است که واریانس تخمین در آن حداقل است. در این روش با توجه به نحوه توزیع مکانی متغیر موردنظر به تخمین مقادیر مجهول در موقعیت‌های مکانی مطلوب و معلوم پرداخته می شود (۱). برای تهیه نقشه آلودگی صوت از ایستگاه‌های سنجش آلودگی صوتی مناطق ۲۲ گانه شهر تهران به مدت ۵ سال (۱۳۹۳-۱۳۸۸)، استفاده شد. موقعیت جغرافیایی این ایستگاه‌ها در شکل ۲ آمده است. همچنین برای تدقیق نقشه آلودگی صوتی از داده‌های سالانه وزارت مسکن و شهرسازی برای بزرگراه‌های شهر تهران، استفاده شد. برای تهیه نقشه‌های داده‌های آلودگی هوا از داده‌های غلظت روزانه ایستگاه‌های سازمان محیط‌زیست که شامل ۳ ایستگاه و شهرداری تهران که شامل ۲۱ ایستگاه هستند، به مدت ۵ سال (۱۳۹۰-۱۳۹۵) استفاده شد (شکل ۲). در این ایستگاه‌ها، هر پنج آلاینده اصلی هوا ($PM_{2.5}$،$PM_{10}$،$SO_2$،$NO_2$،$O_3$،$CO$) اندازه‌گیری می‌شوند. بعد از تهیه نقشه‌های موردنظر، منطقه مطالعاتی با استفاده از یک شبکه به واحدهای ۵ در ۵ کیلومترمربع (٤۲) تقسیم‌بندی شد و درمجموع ۵۲ واحد مطالعاتی برای تحلیل و بررسی معادلات ساختاری تهیه گردید و تمام نقشه‌ها و داده‌ها به‌صورت جداگانه برای هر واحد مطالعاتی محاسبه گردید.

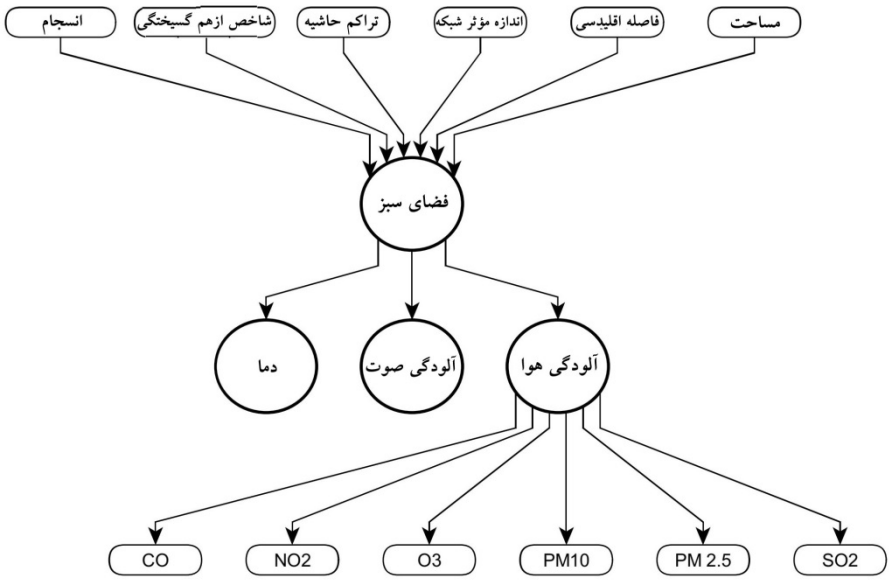



شکل۲. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های پایش آلودگی هوا و صوت شهر تهران

**مدل معادلات ساختاری**

قبلاً برای بررسی روابط بین متغیرها از آنالیز دومتغیره استفاده می‌شد، اما در این روش هر بار روابط بین دو متغیر بررسی می‌شود و نمی‌توان روابط سیستمی بین همه متغیرها را مشاهده کرد. ازآنجایی‌که سیستم موردمطالعه ما متشکل از چندین عامل است، بررسی روابط بین آن‌ها نیازمند روشی است که بتواند بیش از دو متغیر را بررسی کند. روش معادلات ساختاری یک تحلیل چند متغیری بسیار نیرومند از خانواده رگرسیون چند متغیری و به بیان دقیق‌تر بسط مدل خطی کلی است که به محقق این امکان را می‌دهد که مجموعه‌ای از معادلات رگرسیون را به‌طور هم‌زمان مورد آزمون قرار دهد.

در این تحقیق برای بررسی رابطه بین فضای سبز با دمای هوای شهر و آلودگی‌های محیطی(آلودگی صوت و هوا) از مدل‌سازی معادلات ساختاری به روش حداقل مربعات جزئی (Partial Least Squares) و از نرم‌افزار SmartPLS®3 استفاده شد که در این مدل متغیر برون‌زا همان سازه فضای سبز است و متغیر درون‌زا شامل سازه آلودگی هوا، آلودگی صوت و دما است (شکل ۳). در این مطالعه برای ۵۲ واحد مطالعاتی مدل‌سازی معادلات ساختاری به روش حداقل مربعات جزئی استفاده شد (٤)، که روشی علمی برای پیوند دادن داده‌های تجربی با ایده‌های نظری است. این روش یک چهارچوب علمی برای درک مدل است، نه اینکه یک روش خاص آماری باشد (۲۱). با استفاده از این روش می‌توان روابط علت و معلولی بین متغیرها، اثرات مستقیم و غیرمستقیم و همچنین اثرات مثبت و منفی را مشخص کرد (۲۲).




**شکل۳. مدل مفهومی ساختار تحقیق**

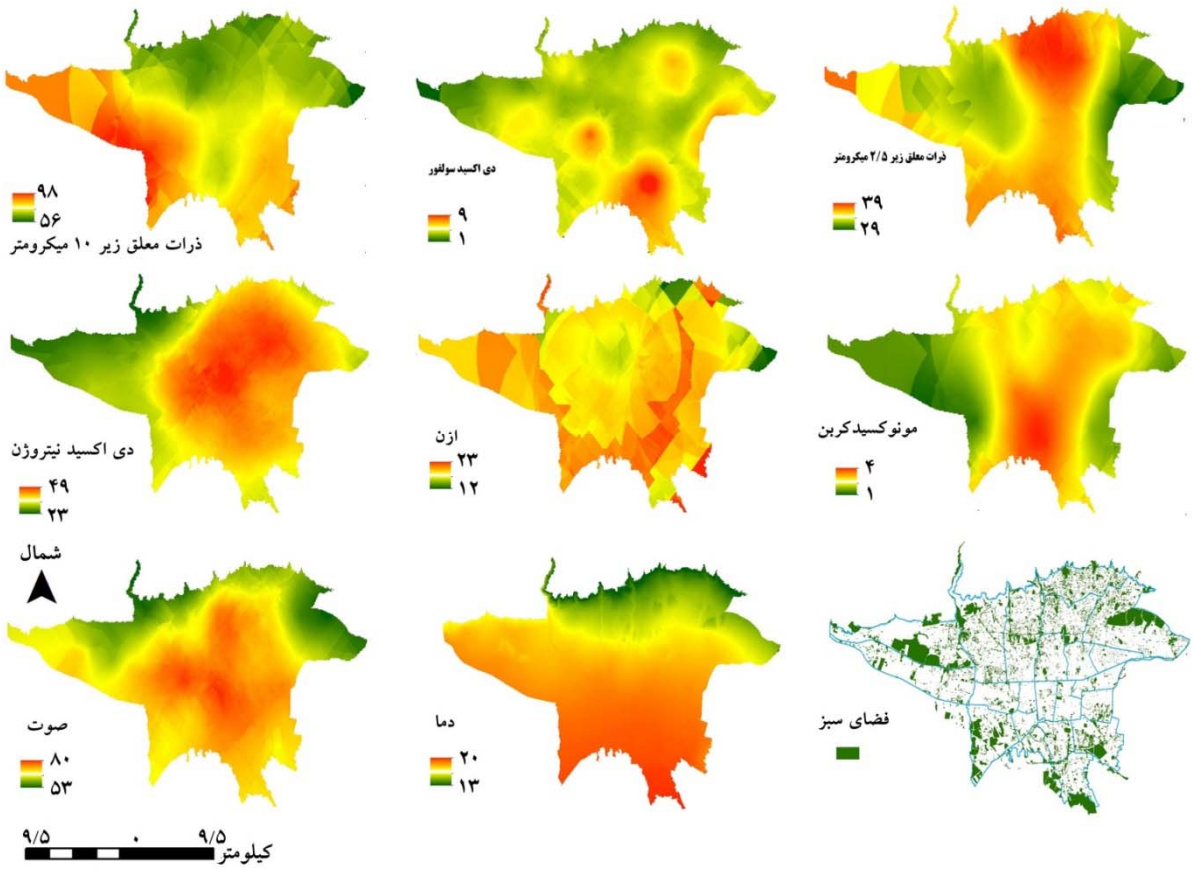
## نتایج

نتایج نقشه‌های تهیه‌شده در این مطالعه در شکل ٤ نشان داده‌شده است. در نقشه تهیه‌شده برای دما، میزان $R_2$ رابطه رگرسیونی بین دما با ارتفاع ۰/۷٦ به دست آمد که ازنظر آماری قابل‌قبول بوده و همچنین این رابطه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. خروجی معادلات ساختاری به روش حداقل مربعات جزئی شامل دو قسمت مدل اندازه‌گیری و مدل ساختاری است که به ترتیب تفسیر و ارزیابی می‌شوند.

### بررسی مدل‌های اندازه‌گیری

در این تحقیق به‌منظور تعیین پایایی سازه آلودگی هوا از دو معیار ضریب آلفای کرونباخ و ضریب پایایی مرکب استفاده شد. پایایی سازه معیاری است برای تعیین سازگاری درونی نشانگرهای سازه آلودگی هوا، به این معنا که اگر عدد بزرگی برای آن محاسبه شود؛ یعنی تمام نشانگرها به‌طور سازگار و هم‌راستا نشان دهندهٔ موضوع واحدی هستند. درصورتی‌که مقدار ضریب پایایی مرکب بزرگ‌تر از ۰/۷۰ شود، نشان‌دهنده پایایی بالای ابزار اندازه‌گیری سازه آلودگی هوا است. با توجه به اینکه مقدار ضریب پایایی مرکب برای سازه آلودگی هوا، بزرگ‌تر از ۰/۷۰ شده است (۰/۸۰۸) پایایی ترکیبی برای متغیرهای تحقیق وجود دارد. بر اساس پایایی ترکیبی می‌توان بیان داشت که مدل اندازه‌گیری سازه آلودگی هوا از پایایی مناسبی برخوردار است نشانگرهای سازه آلودگی هوا به‌خوبی انتخاب‌شده‌اند. به‌عبارتی دیگر سازه آلودگی هوا از دقت و انسجام لازم برخوردار است. مقدار قابل‌پذیرش برای آلفا کرونباخ بیش از ۰/۷ است. میزان آلفا کرونباخ در این مدل برای سازه آلودگی هوا بیش از ۰/۷ است (۰/۸۰۷) که نشانگر پایایی قابل‌قبول آلودگی هوا است. بنابراین در این قسمت می‌توان نتیجه‌گیری نمود که نشانگرهای سازه آلودگی هوا از کیفیت لازم برای اندازه‌گیری و آشکارسازی سازه آلودگی هوا برخوردار هستند و براین اساس، می‌توان وارد گام تحلیل مدل ساختاری شد. به‌منظور تعیین روایی همگرا در متغیرهای تحقیق باید میانگین واریانس استخراج‌شده برای هر متغیر، بزرگ‌تر از ۰/۵۰ باشد. چون مقدار میانگین واریانس استخراج‌شده برای سازه آلودگی هوا ، بزرگ‌تر از ۰/۵۰ شده است (۰/۵۲۳)، می‌توان گفت که روایی همگرایی برای سازه آلودگی هوا وجود دارد (جدول ۳). برای بررسی روایی واگرا باید همه

بارهـای عاملـی متغیـر موردنظر، بزرگ‌تر از ۰/۵۰ باشـند که بارهـای عاملـی تمام متغیرها به‌جز $SO_2$ بزرگ‌تر از ۰/۵۰ شـده‌اند و این نشان‌دهنده این موضوع است که روایی واگرا برای سازه آلودگی هوا وجـود دارد.




شکل۴. عنوان نقشه‌های تهیه‌شده در این مطالعه به ترتیب از بالا سمت چپ به پایین: ذرات معلق زیر ۱۰ میکرون (میکروگرم بر مترمکعب)، دی‌اکسید سولفور (واحد در میلیارد)، ذرات معلق زیر ۲ میکرون (میکروگرم بر مترمکعب)، دی‌اکسید نیتروژن (واحد در میلیارد)، ازن (واحد در میلیارد)، مونوکسید کربن (واحد در میلیون)، میزان دما (درجه سانتی‌گراد)، فضای سبز (هکتار)

جدول۳. ضرایب آلفای کرونباخ، پایایی مرکب و میانگین واریانس استخراج‌شده سازه آلودگی هوا

| سازه موردمطالعه | آلفای کرونباخ | ضریب پایایی مرکب | میانگین واریانس استخراج‌شده (AVE) |
|---|---|---|---|
| آلودگی هوا | ۰/۸۰۷ | ۰/۸۰۸ | ۰/۵۲۳ |

در سازه فضای سبز، روایی همگرا با استفاده از ضریب مسیر بین سازه‌ها و میزان $R_2$ و هم خطی و ارزیابی معنی‌داری با استفاده از وزن بیرونی استفاده شد. در بخش روایی همگرا میزان ضرایب مسیر و تعیین قابل‌قبول است که در ادامه در بخش تفسیر مدل ساختاری به آن پرداخته‌شده است. برای بررسی هم خطی از شاخص عامل تورم واریانس استفاده شد که باید میزان آن باید بین ۰,۲ تا ۵ باشد. این میزان در مطالعات مختلف متفاوت است و در برخی مطالعات تا میزان ۱۰ نیز موردقبول است. با توجه به جدول ٦ در سازه فضای سبز این مطالعه، شاخص عامل تورم واریانس برای همه متغیرهای سازه فضای سبز معنی‌دار شد.

**بررسی مدل‌های ساختاری**

یافته‌های مربوط به برآورد مدل ساختاری در شکل ۵ و ٦ و جدول ۵ ارائه‌شده است. در بخش ارزیابی مدل ساختاری درواقع به بررسی و ارزیابی فرضیات اصلی پرداخته می‌شود. برای رسیدن به این امر از ضریب تعیین ($R_2$) ارزیابی صحت و ضریب مسیر برای برآورد مدل ساختاری و آماره‌های t برای تعیین معنی‌داری استفاده می‌شود. ضریب تعیین، ارتباط بین مقدار واریانس شرح داده‌شده یک متغیر پنهان را با مقدار کل واریانس آن سنجش می‌کند. اندازه ضریب مسیر، نشان‌دهنده شدت رابطه بین دو متغیر پنهان است. مقادیر $R_2$ در مطالعات مختلف، تفسیرهای متفاوتی دارند و توافق کلی برای رشته‌های مختلف وجود ندارد. ولی در کل میزان آن باید بیش از ۰/۲ تا ۰/۳ به بالا باشد. برپایه مقادیر $R_2$ در مدل ارائه‌شده در این تحقیق، می‌توان بیان داشت که قابلیت پیش‌بینی سازه آلودگی هوا ۰/٦۹۰ درصد، قابلیت تبیین و پیش‌بینی سازه آلودگی صوت با ۰/۲۱۳ درصد و قابلیت پیش‌بینی سازه دما با ۰/۲۵۹ درصد را دارد که قابلیت پیش‌بینی سازه آلودگی هوا از همه سازه‌ها بیشتر بود (جدول ٤). همچنین قابلیت پیش‌بینی سازه آلودگی صوت و سازه دماپایین بود.

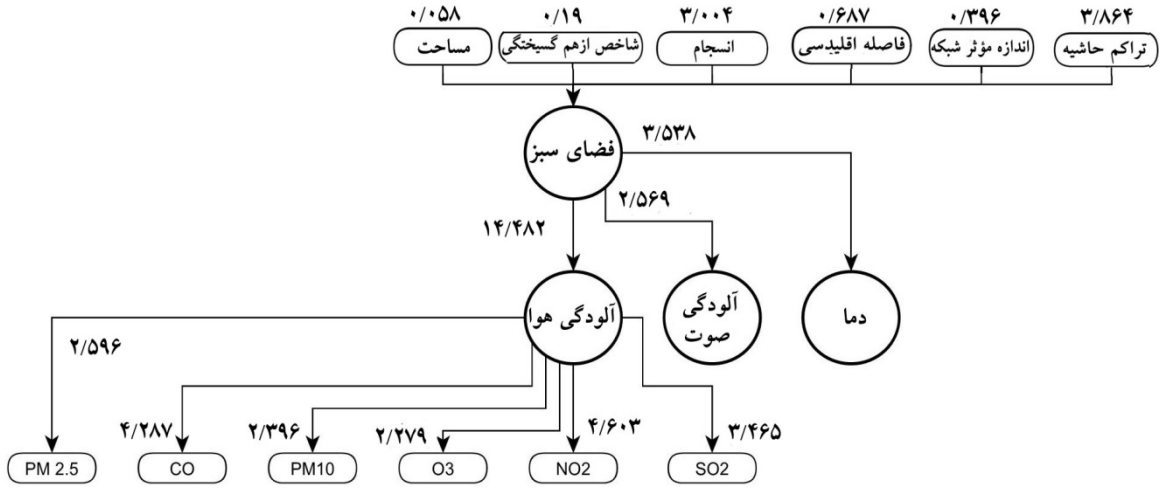
**جدول۴. میزان ضریب تعیین سازه‌های تحقیق در مدل ساختاری**

| سازه (معیار) | $R_2$ | $R_2$Adj |
|---|---|---|
| آلودگی هوا | ۰/٦۹۰ | ۰/٦۸٤ |
| آلودگی صوت | ۰/۲۱۳ | ۰/۱۹۷ |
| دما | ۰/۲۵۹ | ۰/۲٤٤ |

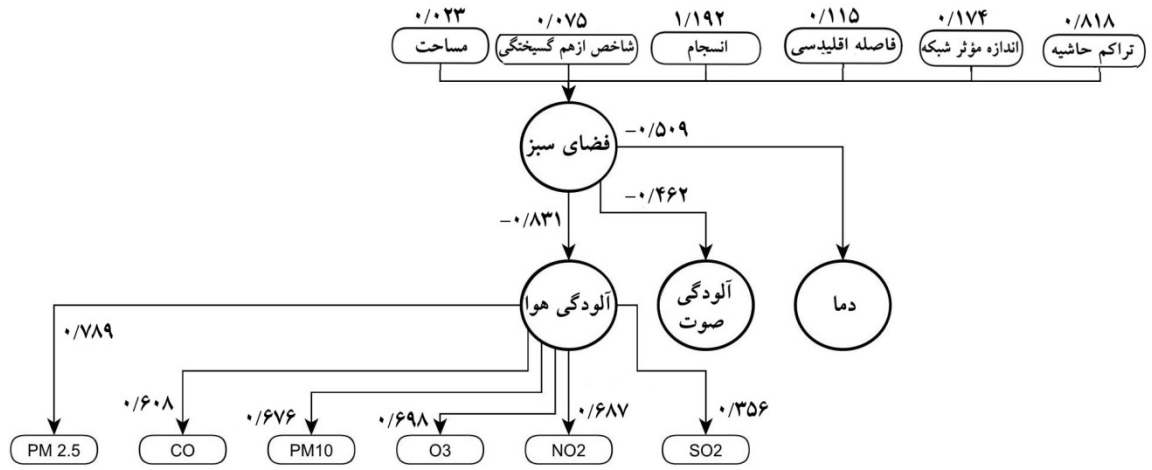
بر پایه مدل برآورد شده (جدول ۵)، ضریب مسیر اثر فضای سبز بر دما معادل ۰/۵۰۹- تخمین زده‌شده است. همچنین سطح معنی‌داری مقدار t برای این پارامتر ۰/۰۰۱ است (t= ۳/۵۳۸)، لذا با توجه به معنی‌داری این ضریب می‌توان بیان نمود که فضای سبز بر دما اثر منفی و معنی‌داری به لحاظ آماری دارد. بر پایه مقادیر ضریب مسیر، به ازای یک واحد افزایش در انحراف معیار فضای سبز، انتظار می‌رود مقدار ۰/۵۰۹ واحد در انحراف معیار دما کاهش مشاهده شود. با توجه به مقدار حجم اثر یا $f_2$ می‌توان ملاحظه نمود که این ضریب در دامنه اثرگذاری متوسط به بالا قرار دارد. بر مبنای جدول ۵، ضریب مسیر اثرگذاری فضای سبز بر میزان آلودگی صوتی معادل ۰/٤٦۲- پیش‌بینی‌شده است. سطح معنی‌داری مقدار t برای این پارامتر ۰/۰۱۳ است (t= ۲/۵٦۹). لذا با توجه به معنی‌داری این ضریب می‌توان بیان نمود که فضای سبز به لحاظ آماری بر مقدار آلودگی صوتی اثر منفی و معنی‌داری دارد. بر پایه مقادیر ضریب مسیر، به ازای یک واحد افزایش در انحراف معیار فضای سبز، انتظار می‌رود مقدار ۰/٤٦۲ واحد در انحراف معیار میزان صوت کاهش مشاهده شود. با توجه به مقدار حجم اثر یا $f_2$ می‌توان ملاحظه نمود که این ضریب در دامنه اثرگذاری متوسط قرار دارد. برپایه مدل ساختاری برآورد شده، ضریب مسیر اثر فضای سبز بر آلودگی هوا معادل ۰/۸۳۱- تخمین زده‌شده است. سطح معنی‌داری مقدار t برای این پا پارامتر ۰/۰۰ است (t= ۱٤/٤۸۲)، لذا با توجه به معنی داری این ضریب می‌توان بیان نمود که فضای سبز بر آلودگی هوا اثر منفی و معنی‌داری به لحاظ آماری دارد. بنابراین می‌توان بیان داشت که به ازای یک واحد افزایش در انحراف معیار فضای سبز، مقدار ۰/۸۳۱ واحد در انحراف معیار آلودگی هوا کاهش مشاهده می‌شود. با توجه به مقدار حجم اثر یا $f_2$ می توان ملاحظه نمود که این ضریب در دامنه اثرات متوسط به بالا قرار دارد. درنهایت مشاهده می‌شود که فضای سبز بر روی آلودگی هوا بیشترین اثر را دارد و کم‌ترین اثر را بر روی آلودگی صوت دارد.

جدول۵. ضرایب مسیر، میزان و سطح معنی‌داری فرضیات مدل ساختاری

| اثر خطی موردمطالعه | ضریب مسیر | t | $f_2$ | p-level |
|---|---|---|---|---|
| فضای سبز ← آلودگی هوا | -۰/۸۳۱ | ۱٤/٤۸۲ | ۲/۲۲۳ | ۰/۰۰۰ |
| فضای سبز ← صوت | -۰/٤٦۲ | ۲/٥٦۹ | ۰/۲۷۱ | ۰/۰۱۳ |
| فضای سبز ← دما | -۰/٥۰۹ | ۳/٥۳۸ | ۰/۳٥۰ | ۰/۰۰۱ |




شکل۵. میزان معنی‌داری نشانگرها و سازه‌های مدل ساختاری




شکل۶. میزان ضریب مسیر سازه‌ها و بار عاملی و وزن‌های نشانگرها در مدل ساختاری

**وزن‌ها و بار عاملی**

بر اساس نتایج جدول ٦ مشخص می‌شود که نشانگر (شاخص)های سازه آلودگی هوا به دلیل معنی‌داری در سطح یک درصد از دقت لازم برای اندازه‌گیری سازه‌های موردنظر برخوردار هستند و لذا نشانگرها، ساختارهای عاملی مناسبی را برای اندازه‌گیری سازه نهفته آلودگی هوا فراهم آورده‌اند. البته باید ذکر شود که بیشترین بار عاملی مربوط به ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون و ازن است. این بدین معنی است که

نشانگر ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون و ازن بیشترین سهم را در سازه نهفته آلودگی هوادارند و بیشترین تأثیر را از سازه فضای سبز می‌پذیرند. نشانگرهای مونوکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن و ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون تقریباً دارای سهم برابری هستند و درنهایت نشانگر دی‌اکسید سولفور دارای کمترین سهم بار عاملی در سازه نهفته آلودگی هوا است و کمترین تأثیر را از سازه فضای سبز می‌پذیرد. شاخص‌های سازه فضای سبز نیز از میزان VIF مطلوب برخوردار بوده و دارای خطای هم خطی نیستند. در سازه فضای سبز بیشترین بار عاملی مربوط به شاخص انسجام است. در مرحله بعد بیشترین بار عاملی مربوط به شاخص تراکم لکه است. پس‌ازآن شاخص‌های اندازه مؤثر شبکه و فاصله اقلیدسی در مرحله بعد قرار می‌گیرند. درنهایت شاخص ازهم‌گسیختگی و مساحت با کمترین میزان بار عاملی دارای کمترین سهم در سازه فضای سبز هستند.

در این تحقیق، با توجه به بار عاملی شاخص انسجام به نظر می‌رسد که اتصال فیزیکی لکه‌های فضای سبز بیشترین اهمیت رادارند و همچنین در مرحله بعد میزان تراکم لکه‌ها در اولویت است تا فضای سبز نقشی کاهشی خود را ایفا نماید. دلیل اهمیت بالای شاخص انسجام و تراکم لکه به حضور سایر کاربری‌ها مانند مسکونی و به‌ویژه شبکه معابر برمی‌گردد. هر چه تراکم شبکه معابر بیشتر باشد، تراکم لکه‌های فضای سبز بیشتر شده و به دنبال آن میزان انسجام لکه‌های فضای سبز کاهش پیدا می‌کند.

**جدول۶. میزان بار عاملی، سطح معنی‌داری و عامل تورم واریانس نشانگرهای هر سازه در مدل ساختاری مطالعه**

| سازه | نشانگر | بار عاملی | مقدار t | VIF |
|---|---|---|---|---|
| آلودگی هوا | $SO_2$ | ۰/۳۵۶ | ۳/٤٦٥ | – |
| | CO | ۰/٦۰۸ | ٤/۲۸۷ | – |
| | $NO_2$ | ۰/٦۸۷ | ٤/٦۰۳ | – |
| | $O_3$ | ۰/٦۹۸ | ۲/۲۷۹ | – |
| | $PM_{10}$ | ۰/٦۷٦ | ۲/۳۹٦ | – |
| | $PM_{2.5}$ | ۰/۷۸۹ | ۲/٥۹٦ | – |
| فضای سبز | مساحت | ۰/۰۲۳ | – | ۲/۳۸۱ |
| | اندازه مؤثر شبکه | ۰/۱۷٤ | – | ۲/٤۸۳ |
| | شاخص ازهم‌گسیختگی | ۰/۰۷٥ | – | ۲/۹۱۲ |
| | انسجام | ۱/۱۹۲ | – | ٥/۲۳۳ |
| | فاصله اقلیدسی | ۰/۱۱٥ | – | ۱/٥۷۸ |
| | تراکم لکه | ۰/۸۱۸ | – | ۲/٥۰۳ |

## بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که پوشش فضای سبز شهر بر روی کاهش آلودگی هوا و صوت و همچنین دمای هوا اثر کاهشی دارد که با نتایج مطالعه سایر پژوهشگران (۳۷ و ۳۸) همسو است. در کشور تایوان لانگ و شن (۳۸) در مطالعه‌ای باهدف کمی‌سازی رابطه فضای سبز شهری و مرگ‌ومیر ناشی از بیماری‌های قلبی با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین، به این نتیجه رسیدند که فضای سبز بر روی دما و آلودگی هوای شهر اثر کاهنده دارد و به دنبال آن بر روی مرگ‌ومیر ناشی از بیماری‌های قلبی اثر کاهنده دارد. اثر کاهشی فضای سبز بر روی کاهش آلودگی هوا و صوت در مطالعه وبر و همکاران (٤۰) تأییدشده است و علاوه بر آن نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که در مکان‌های با آلودگی هوای بالا، آلودگی صوت نیز بالابود

و در این میان میزان کاربری شهری و تراکم ساختمان‌ها برافزایش میزان آلودگی هوا تأثیر مثبت داشته‌اند. در این مطالعه تراکم لکه‌ها بعد از شاخص انسجام از بالاترین اهمیت برخوردار بود که میزان آن ۰/۸۱۸ بود و این به معنی این است که هر چه تراکم لکه‌ها بیشتر باشد، فضای سبز اثر کاهشی کمتری بر روی میزان دما، آلودگی هوا و صوت دارد.

در این تحقیق شاخص انسجام بیشترین و شاخص مساحت کم‌ترین نقش را در کاهش هر سه ساز دما، آلودگی صوت و آلودگی هوا داشته است. معمولاً این نتیجه برعکس است ولی بسته به مدل، نتایج مدل متفاوت است و دلیل آن در این مطالعه این است که بر روی سه سازه متفاوت تأثیر می‌گذارد. این موضوع بیانگر این نکته است که در طراحی و مکان‌یابی فضای سبز فقط مساحت و میزان سرانه فضای سبز مهم نیست، بلکه الگو و فاصله لکه‌های فضای سبز از هم نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بیشترین اثرپذیری در سازه آلودگی هوا مربوط به نشانگر ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون و ازن است که دلیل آن شبکه معابر خیابان‌ها و بزرگراه‌ها است که در سراسر تهران توزیع‌شده است و بیشترین منبع تولیدکننده آن وسایل نقلیه موتوری هستند که در شبکه معابر تردد می‌کنند و بدیهی است که اثر کاهشی فضای سبز آشکارتر است. در کل بیشترین اثر کاهشی سازه فضای سبز برسازه آلودگی هوا مربوط به نشانگر ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون و ازن است که بامطالعه بوتالیکو و همکاران (۱۳) همسو است. نتیجه این مطالعه نشان داد که فضای سبز شهری نقش کاهشی و حذف‌کننده در آلودگی هوا به‌ویژه ذرات معلق و ازن دارد، با این تفاوت که روش کار و شاخص‌های مورداستفاده آن‌ها متفاوت از رویکرد سیمای سرزمین بود. این نتایج با نتایج مطالعه ستون (۳۹) نیز همسو بود که نتایج مطالعه او برای ٤٥ شهر در ایالات‌متحده نشان داد که رابطه قوی میان شاخص هـای شکل کالبدی شهر و تولید آلاینده‌های دی‌اکسید نیتـروژن و ذرات معلـق وجود دارد. مشاهده می‌شود که در این مطالعات نیز آلاینده ذرات معلـق و ازن از الگوی سیمای سرزمین پیروی می‌کنند. ولی در مورد آلاینده دی‌اکسید سولفور باید اشاره شود که منابع تولیدکننده آن بیشتر کارخانه‌ها و کارگاه‌ها هستند و در نقاط خاصی تمرکز دارند، پس اثر کاهشی فضای سبز بر دی‌اکسید سولفور کمتر است. باید خاطرنشان نمود که آلاینده دی‌اکسید سولفور توزیعی متفاوت از شبکه معابر دارد، زیرا از زمانی کـه بنـزین‌هـا سولفور زدایی مـی‌شـوند، فقط خودروهای دیزلی منبـع انتشـار دی‌اکسید سولفور در حـوزه حمل‌ونقل می‌باشند که تنها نزدیک به ۵ درصـد از انتشار دی‌اکسید سولفور را به عهده‌دارند.

نتایج این تحقیق نشان داد که اثر کاهشی فضای سبز بر میزان آلودگی صوت ۰/٤٦٢ است که با نتایج تحقیق ساکیه و همکاران (۳٦) همسو است. آن‌ها اثر فضای سبز را بر روی آلودگی صوت مطالعه نمودند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش فضای سبز در مناطق شهری میزان متوسط آلودگی صوت کاهش خواهد یافت. در این تحقیق از سنجه‌های سیمای سرزمین در سطح کلاس استفاده شد که سایر پژوهشگران (۳٦ و۳۷) نیز برای برآورد فضای سبز از سنجه های سیمای سرزمین استفاده نمودند. در این مطالعه از روش معادلات ساختاری و داده‌های میانگین سالانه برای کل شهر استفاده شد و این نتایج این تحقیق را واقعی‌تر نشان می‌دهد، درصورتی‌که کلینبرگ و همکاران (۲٦) در طی مطالعه‌ای برای شهر گوتنبرگ به نتایج مشابه با این مطالعه رسیدند، ولی مطالعه آن‌ها برای کل شهر نبوده و فقط در مکان‌های خاص نمونه‌گیری انجام‌شده بود. هرچند که نتایج آن‌ها بیانگر این بود که پارک‌ها و فضای سبز شهری و معابر تأثیری کاهشی بر روی آلودگی هوا و صوت دارند، ولی مقیاس تحقیق حاضر جامع‌تر و کامل‌تر بود. در این مطالعه، اثر کاهشی فضای سبز بر سه سازه آلودگی هوا در مقایسه با بقیه سازه‌ها بیشتر بود. دلیل آن تعداد بیشتر نشانگرهای سازه آلودگی هوا و همچنین اثر غیرمستقیم کاهشی فضای سبز برسازه آلودگی هوا از طریق کاهش دما است. این یافته‌ها با نتایج مطالعه لانگ و شن (۳۷) همسو بود. در این مطالعه برای تهیه نقشه دما از داده‌های میانگین سالیانه ایستگاه‌های هواشناسی استفاده شد که با روش کار مطالعه لانگ و شن (۳۷) همسو بود. با توجه به اینکه

مقیاس داده‌های آلودگی هوا و صوت سالانه بوده، پس باید برای تهیه نقشه دمای هوا نیز باید از داده‌های با مقیاس سالانه استفاده کرد و استفاده از نقشه‌های تولیدی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای روشی نادرست است. زیرا که این تصاویر فقط داده های مربوط به یک‌زمان خاص و لحظه‌ای (یک ساعت خاص در یک روز خاص) برای دمای سطح زمین را ثبت می‌کنند و قابل استناد برای میانگین دمای هوای ۵ ساله نمی‌باشند. کماکان که مطالعه سایر پژوهشگران (۳۷ و ۳۸) این موضوع را تأیید می‌نمایند. مزیت استفاده از رویکرد سیمای سرزمین این است که نه‌تنها بعد عددی پوشش (مساحت)، بلکه بعدی مکانی و شکل هندسی لکه‌های فضای سبز را نیز در برنامه‌ریزی شهری لحاظ می‌نماید. در این مطالعه واضح است که مکان‌های با پوشش فضای سبز کمتر دارای میزان آلودگی هوا و صوت بیشتری هستند و همچنین از میزان دمای بالاتری برخوردار هستند. باید اشاره شود که هرچه تراکم لکه‌ها بیشتر باشد و میزان فاصله آن‌ها از هم کمتر باشد و به عبارتی هرچه میزان ازهم‌گسیختگی لکه‌ها کمتر باشد و لکه‌ها از فاصله اقلیدسی نزدیک‌تری برخوردار باشند و میزان سنجه انسجام بیشتر باشد، به این معنی است که اثر معکوس و کاهشی بر روی میزان آلودگی هوا، صوت و دمای شهردارند. این یافته‌ها با نتایج مطالعه مک‌کارتی و کازا (۳۰) همسو است که در طی تحقیقی در بررسی رابطه بین ساختار فضایی شهر و کیفیت هوا دریافتند که بین شکل و نوع چیدمان شهر باکیفیت هوا رابطه معنی‌داری وجود دارد و پوشش‌گیاهی و فضای سبز را به‌عنوان یکی از عوامل کاهش آلودگی هوا معرفی نمودند. واضح است که در این مطالعه در مکان‌هایی که میزان فضای سبز بیشتر بود، میزان آلودگی صوت پایین‌تر بود و دلیل آن حضور بیشتر کاربری شهری شامل مسکونی، تجاری، اداری و صنعتی است. این موضوع باعث افزایش آلودگی صوت و هوا خواهد شد که آریزامیلاوردیو همکاران (۷) در پژوهشی برای بررسی رابطه شکل شهر و میزان آلودگی صوت این موضوع را تأیید نمودند و آن‌ها همچنین بیان کردند که الگوهای کاربری شهری پیچیده تر دارای میزان آلودگی صوت بالاتری نسبت به الگوهای منظم تر هستند. در این مطالعه نیز مناطق دارای فضای سبز بیشتر از شبکه معابر ساده‌تری نسبت به مناطق دارای فضای سبز کمتر برخوردار بودند.

نتایج این مطالعه نشان داد که رویکرد سیمای سرزمین به‌خوبی می‌تواند حتی با اندازه‌گیری یک کلاس، ارتباط شکل شهر را با آلاینده‌های هوا نشان دهد ازاین‌جهت نیز بامطالعه ستون (۳۹) همسو بود، زیرا نتایج آن‌ها حاکی از آن بود که رابطه قوی میان شاخص‌هـای شکل سیمای شهر و تولید آلاینده‌های هوا وجود دارد. دلیل این موضوع می‌تواند همپوشانی نتایج یک کلاس از سیمای سرزمین در نشان دادن سایر کلاس‌های سیمای سرزمین باشد. به‌عنوان‌مثال در این مطالعه، در مناطقی که فضای سبز بیشتر بود، تراکم کلاس مسکونی و انسان‌ساخت کمتر و همچنین تراکم شبکه معابر کمتر بود. در مرکز شهر تهران تراکم کلاس فضای سبز بسیار کمتر از قسمت‌های شمالی شهر است و برعکس تراکم شبکه معابر در مرکز شهر تهران در بیشترین میزان خود قرار دارد. آشکار است که شبکه معابر به‌عنوان مرکز ترافیک و تردد وسایل نقلیه موتوری منبع اصلی تولید آلودگی هوا و صوت شهر محسوب می‌شود و با بالا رفتن میزان تراکم شبکه معابر، میزان آلودگی هوا و صوت در آن مناطق بیشتر می‌شود.

بر طبق رویکرد سیمای سرزمین لکه‌های فضای سبز بزرگ‌تر و پیوسته‌تر دارای ارزش اکولوژیک بیشتری هستند و در این تحقیق نیز نتایج سنجه‌ها در مدل نشان داد که فضای سبز بر روی دما و آلودگی هوای شهر اثر کاهنده دارد و بالاترین اثر مثبت فضای سبز را لکه‌های بزرگ‌تر و لکه‌های با تکه‌تکه شدگی کمتر داشتند. به‌عنوان نمونه دو واحد در مرکز شهر و شرق شهر تهران برای مقایسه انتخاب شدند. واحد شرق دارای ۹۷۲ هکتار فضای سبز است که در ٦٤ لکه تقسیم‌شده و دارای میزان فاصله اقلیدسی ۳٦ متر، اندازه مؤثر شبکه ۲۷۱ هکتار و ازهم‌گسیختگی ۵ است که از خصوصیات دمای ١٤/٢درجه سانتی‌گراد، میزان صوت ٥٦ دسی‌بل، میزان دی‌اکسید سولفور ۳/۷٦ واحد در میلیارد، میزان مونوکسید کربن ۱/٤۳ واحد در میلیون، میزان دی‌اکسید نیتروژن ۱۹/۳٦

واحد در میلیارد، میزان ذرات معلق کمتر از ۱۰میکرون ۸۰ میکروگرم بر مترمکعب، میزان ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون ۳۱/۵ میکروگرم بر مترمکعب و ازن ۱۹/۳٦ واحد در میلیارد برخوردار است. واحد مرکزی دارای ۱۱۳ هکتار فضای سبز است که در ۱۷٤ لکه تقسیم‌شده و دارای میزان فاصله اقلیدسی ۵۷ متر، اندازه مؤثر شبکه ۰/٦ هکتار و ازهم‌گسیختگی ۲٦۵۱ است که از خصوصیات دمای ۱۸/۲درجه سانتی‌گراد، میزان صوت ۷۲ دسی‌بل، میزان دی اکسید سولفور ۳/۸٦ واحد در میلیارد، میزان مونوکسید کربن ۲/٦۳ واحد در میلیون، میزان دی‌اکسید نیتروژن ٤۳ واحد در میلیارد، میزان ذرات معلق کمتر از ۱۰میکرون ۹۲/٤۸ میکروگرم بر مترمکعب، میزان ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون ۳٦/۲ میکروگرم بر مترمکعب و ازن ۲۲/۷۷ واحد در میلیارد برخوردار است. به‌صورت عینی مشاهده می‌شود که واحد شرق با فضای سبز بیشتر، تعداد لکه کمتر، میزان فاصله اقلیدسی کمتر، اندازه مؤثر شبکه بیشتر و ازهم‌گسیختگی کمتر از میزان دما و آلودگی صوت پایین‌تری برخوردار است و همچنین از میزان دی‌اکسید سولفور، مونوکسید کربن، دی اکسید نیتروژن، ذرات معلق کمتر از ۱۰میکرون، ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون و ازن پایین‌تری برخوردار است. آشکار است که دلیل پایین بودن میزان آلودگی هوا، صوت و دما حضور فضای سبز است که مساحت آن، تعداد لکه‌ها، فاصله و شکل این لکه‌ها نسبت به هم و همچنین میانگین و بزرگی این لکه‌ها، فاکتوری تعیین‌کننده در تعیین اثر کاهشی فضای سبز است. در کل بالاترین میزان آلودگی در مکان‌هایی از شهر بود که یا میزان فضای سبز کم بوده و یا فضای سبز تکه‌تکه و ازهم‌گسیخته داشته است. همچنین بیشترین اثر فضای سبز بر روی کاهش آلودگی هوا نسبت به دو عامل دیگر بود. با توجه به بار عاملی بالای شاخص انسجام و تراکم لکه در سازه آلودگی هوا، مشاهده می‌شود که هرچه لکه‌ها ازلحاظ فیزیکی متصل‌تر باشند و کمتر تکه‌تکه شده باشند، اثر کاهشی فضای سبز برسازه‌های آلودگی هوا، صوت و دما بیشتر است. این یافته‌ها با نتایج مطالعه لانگ و شن (۳۷) همسو است که آن‌ها یکی از راهکارهای ارائه‌شده برای رفع این مشکل را، افزایش پیوستگی فضاهای سبز از طریق کریدورها معرفی کرده‌اند.

در این مطالعه استفاده از کریدور فضای سبز نسبت به استفاده از لکه‌های فضای سبز در اولویت قرار دارد و برای شهر تهران نیز همین حالت درست است. نتایج این مطالعه در مورد نشانگرهای انسجام و تراکم لکه نشان داد که فضای سبز لکه‌ای دارای کارکرد ضعیف‌تری نسبت به کریدور هستند. زیرا با افزایش لکه‌ها، کارکرد فضای سبز افزایش می‌یابد ولی از سوی دیگر با افزایش لکه‌های فضای سبز تکه‌تکه شدگی نیز بیشتر شده و میزان انسجام کاهش می‌یابد. ولی با احداث کریدور اتصال فیزیکی بین لکه‌های فضای سبز موجود افزایش می‌یابد و از سویی تکه‌تکه شدگی کاهش می‌یابد و درنهایت میزان انسجام بالا رفته و کارکرد فضای سبز بیشتر می‌شود. پس در برنامه‌ریزی فضای سبز آتی شهر تهران به‌جای احداث پارک و فضای سبز لکه‌ای، باید احداث کریدور در اولویت باشد و برای شروع پیشنهاد می‌شود که با استفاده از کمربند سبز شهری، لکه‌های فضای سبز شمال شرقی، شمال و شمال غربی را به هم متصل نمایند. زیرا در این مناطق لکه‌های بزرگ فضای سبز و پارک‌های بزرگ جنگلی حضور دارند که راه را برای رسیدن به این هدف آسان می‌نمایند. بحث سرانه فضای سبز و یا تغییرات سطح فضای سبز طی زمان و مکان همواره مطرح بوده است. بدیهی است که برنامه‌ریزان و مدیران شهری همواره میزان عددی فضای سبز را در تصمیم‌گیری‌های خود مدنظر قرار می‌دهند. درصورتی‌که نحوه توزیع و الگوی پراکنش فضای سبز و شکل هندسی آن و نحوه ارتباط لکه‌های سبز از طریق کریدورها نیز باید مدنظر قرارگرفته شود تا بحث فقر توزیع مکانی فضای سبز پیش نیاید. متأسفانه هرچند که اکثر کلان‌شهرهای ایران ازلحاظ سرانه فضای سبز مطلوب می باشند، ولی با مشکل توزیع مکانی و الگوی پراکنش ناموزون فضای سبز مواجه هستند. نگارندگان این مقاله براین عقیده هستند که در جهت رفع این مشکل می‌توان از رویکرد سیمای سرزمین استفاده لازم را نمود تا کارایی اکولوژیک فضای سبز به‌صورت مطلوب در شهرها خود را نشان دهد و به‌عنوان یک

کاهنده قوی آلودگی‌های محیطی، جهت کاهش بیماری‌های جسمی و روحی و همچنین کاهنده دما و تعدیل آن، جهت افزایش رفاه شهروندان عمل کند.

## تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از نتایج رساله مقطع دکتری رشته ارزیابی و آمایش محیط‌زیست دانشگاه تهران است و از شرکت کنترل کیفیت هوای تهران تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

## منابع مورداستفاده


۱. اصغری مقدم، ا.، و. نورانی و ع. ندیری. ۱۳۸۸. پیش‌بینی زمانی و مکانی سطح آب‌های زیرزمینی در محدوده متروی شهر تبریز با استفاده از مدل کریجینگ عصبی. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۳(۱): ۱٤- ۲٤.

۲. دانه‌کار، ا. و ش. جعفری. ۱۳۹٦. ارزیابی تخریب منطقه حفاظت‌شده جاجرود با استفاده از مدل تخریب سیمای سرزمین. مجله سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۸(۲): ۱۷-۳۲.

۳. رحیمی، ا.، ع. ماهینی، ح. میرکریمی، ح. کامیاب و س. سلطانیان. ۱۳۹۵. مقایسهٔ وضوح مکانی تصاویر اسپات و لندست در تعیین تکه‌تکه شدگی سیمای سرزمین. مجله سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۷(۱): ۱۳-۲۵.

٤. رضائی، ع. و ا. سلطانی. ۱۳۸۳. مقدمه‌ای بر تحلیل رگرسیون کاربردی. چاپ اول، مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان. ۳۱۰ صفحه.

۵. کاظم، ا.، ف. حسینعلی و ع. آل‌شیخ. ۱۳۹٤. مدل‌سازی رشد شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای متوسط مقیاس و مبتنی بر روش خودکاره‌های سلولی (مطالعهٔ موردی: شهر تهران). فصلنامه اطلاعات جغرافیایی، ۲٤(۹٤): ٤۵-۵۸.

٦. کامیاب، ح. و ع. ماهینی. ۱۳۹۳. الگوهای مکانی- زمانی تغییرات سیمای سرزمین و توسعه شهری (مطالعهٔ موردی: گرگان). مجله سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۵(۲): ۱۵-۲٤.

7. Ariza-Villaverde AB, Jimenez-Hornero FJ, De Rave EG. 2014. Influence of urban morphology on total noise pollution: Multifractal description. Science of the Total Environment, 472(15): 1–8.
8. Attwell K. 2000. Urban land resource and urban planting case studies from Denmark. Landscape and Urban Planning, 52(2): 145– 163.
9. Beatley T. 2000. Green urbanism: learning from European cities. Island Press, Washington DC, USA. 491 pp.
10. Beyer KMM, Kaltenbach A, Szabo A, Bogar S, Nieto FJ, Malecki KM. 2014. Exposure to neighborhood green space and mental health: evidence from the survey of the health of Wisconsin. International Journal of Environmental Research and Public Health, 11(3): 3453-3472.
11. Binford MW, Buchenau MJ. 1993. Ecology of Greenways. University of Minnesota Press, Minneapolis, USA. 222 pp.
12. Botequilha A, Ahren J. 2002. Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning. Landscape and urban planning, 59(2): 65-93.
13. Bottalico F, Chirici G, Giannetti F, Marco AD, Nocentini S, Paoletti E, Salbitano F, Sanesi G, Serenelli C, Travaglini D. 2016. Air pollution removal by green infrastructures and urban forests in the city of Florence. Agriculture and Agricultural Science Procedia, 8(1): 243 – 251.
14. Carugno M, Consonni D, Bertazzi PA, Biggeri A, Baccini M. 2017. Temporal trends of PM10 and its impact on mortality in Lombardy, Italy. Environmental Pollution, 227(1): 280-286.
15. Conine A, Xiang WN, Young J, Whitley D. 2004. Planning for multi-purpose greenways in Concord, North Carolina. Landscape and Urban Planning, 68(2-3): 271–287.
16. Cook E, Vanlier A, Hubert N. 1994. Landscape Planning & Ecological Networks. Elsevier, Amsterdam, Netherlands. 354 pp.
17. Fang D, Wang Q, Li H, Yu Y, Lu Y, Qian X. 2016. Mortality effects assessment of ambient PM2.5 pollution in the 74 leading cities of China. Science of the Total Environment, 569–570(1): 1545–1552.
18. Forman R, Gordon M.1986. Landescape Ecology. John Wiley, New York, USA. 620 pp.
19. Gascon M, Triguero-Mas M, Martinez D, Dadvand P, Forns J, Plasencia A, Nieuwenhuijsen MJ. 2015. Mental health benefits of long-term exposure to residential green and blue spaces: a systematic review. International Journal of Environmental Research and Public Health, 12(4), 4354-4379.
20. Gobster PH, Westphal LM. 2004. The human dimensions of urban greenways: planning for recreation and related experiences. Landscape and Urban Planning, 68(2-3): 147-165.
21. Grace JB, Anderson TM, Olff, H, Scheiner SM. 2010. On the specification of structural equation

models for ecological system. Ecological Monographs, 80(1): 67–87.
22. Grace JB, Pugesek B. 1997. A structural equation model of plant species richness and its application to a coastal wetland. American Naturalist, 149(3): 436–460.
23. Groot RSD. 1994. Environmental functions and the economic value of natural ecosystems. Island Press, Washington DC, USA. 504 pp.
24. Gunderson LH, Holling CS. 2002. Panarchy: understanding transformations in human and natural systems. Island Press, Washington DC, USA. 507 pp.
25. Howard E. 1965. Garden cities of tomorrow. MIT Press, New York, USA. 168 pp.
26. Klingberg J, Broberg M, Strandberg B, Thorsson P, Pleijel H. 2017. Influence of urban vegetation on air pollution and noise exposure a case study in Gothenburg, Sweden. Science of the Total Environment, 599–600(4): 1728–1739.
27. Kshama G, Kumar GP, Pathan SK, Sharma KP. 2012. Urban neighborhood green index a measure of green spaces in urban areas. Landscape and Urban Planning, 105(3): 325–335.
28. Lanki T, Siponen T, Ojala A, Korpela K, Pennanen A, Tiittanen P, Tsunetsugu Y, Kagawa T, Tyrvainen L. 2017. Acute effects of visits to urban green environments on cardiovascular physiology in women: A field experiment. Environmental Research, 159(1): 176–185.
29. Lausch A, Herzog F. 2002. Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: issues of scale, resolution and interpretability. Journal of Ecological Indicators, 2(1-2): 3-15.
30. McCarty J, Kaza N. 2015. Urban form and air quality in the United States. Landscape and Urban Planning, 139(7): 168–179.
31. McHarg IL. 1969. Design with nature. American museum of natural history Press, New York, USA. 198 pp.
32. Ndubisi F. 1997. Landscape ecological planning. Wiley, New York, USA. 944 pp.
33. Newman PW. 1999. Sustainability and cities: extending the metabolism model. Landscape and Urban Planning, 44(4): 219-226.
34. Rees W, Wackernagel M. 1996. Urban ecological footprints: Why cities cannot be sustainable- and why they are a key to sustainability. Environmental Impact Assessment Review, 16(4): 223-248.
35. Rush B, McDermid RC, Celi, LA, Walley KR, Russell JA, Boyd J. 2017. Association between chronic exposure to air pollution and mortality in the acute respiratory distress syndrome. Environmental Pollution, 224(3): 352-356.
36. Sakieh Y, Jaafari S, Ahmadi M, Danekar A. 2017. Green and calm: Modeling the relationships between noise pollution propagation and spatial patterns of urban structures and green covers. Urban forestry and urban greening, 24(1): 195-211.
37. Shen YS, Lung SCC. 2016. Can green structure reduce the mortality of cardiovascular diseases?. Science of the Total Environment, 566-567(1): 1159-1167.
38. Shen YS, Lung SCC. 2017. Mediation pathways and effects of green structures on respiratory mortality via reducing air pollution. Scientific reports, 7(42854): 1-9.
39. Stone B. 2008. Urban sprawl and air quality in large us cities. Journal of Environmental Management, 86(4), 688–698.
40. Weber N, Dagmar H, Ulrich F. 2014. Assessing modelled outdoor traffic-induced noise and air pollution around urban structures using the concept of landscape metrics. Landscape and Urban Planning, 125(1): 105–116.
41. Ying Z, Ning LD, Xin L. 2015. Relationship between built environment, physical activity, adiposity, and health in adults aged 46–80 in Shanghai, China. Journal of Physical Activity and Health, 12(4): 569-78.
42. Yu XJ, Ng CN. 2007. Spatial and temporal dynamics of urban sprawl along two urban–rural transects: a case study of Guangzhou, China. Landscape and Urban Planning, 79(1): 96–109.
43. Zhou ZX, Shao TY, Tang WP, Wang PC, Liu XQ, Xu YR. 2004. The different urban green-land spatial patterns and their environmental effects: a case of the central district of Yichang city, Hubei Province. Acta Ecologica Sinica, 24(2): 186–92.

RS & GIS for Natural Resources
(Vol. 9/ Issue 2) summer 2018
Indexed by ISC, SID, Magiran and Noormags
http://girs.iaubushehr.ac.ir

# Modeling the relationships between urban green space, air and noise pollution and temperature using landscape metrics

**Sh. Jaafari [1], A. Alizadeh Shabani [2*], M. Moeinaddini [2], A. Danehkar [3], A. Alam beigi [4]**

1. Ph.D Student of Environment, Department of Natural Resources, University of Tehran
2. Assis. Prof. College of Environmental Science, Department of Natural Resources, University of Tehran
3. Prof. College of Environmental Science, Department of Natural Resources, University of Tehran
4. Assis. Prof. College of Economics and Agricultural Development, Department of Agricultural Extension and Education, University of Tehran

**ARTICLE INFO**

***Article history:***
Received 13 May 2018
Accepted 21 July 2018
Available online 23 August 2018

***Keywords:***
Green space
Landscape metrics
Structural equation modeling
Air pollution

**ABSTRACT**

Green space has an important role in the quality of urban environments. The purpose of this study was to investigate the relationships between urban green space, air and noise pollution and temperature in Tehran using landscape metrics approach. For this purpose, the green space map was prepared and updated and then landscape metrics were calculated. Then, through interpolated of annual mean data, the air and noise pollution maps were extracted, while the temperature map was prepared by the regression method. Finally, the required information from the prepared maps was extracted for 52 study units and was analyzed using structural equations modelling. The results indicated green space has a decreasing effect on air and noise pollution and temperature. As per unit increase in standard deviation of green space, 0.509 units in the standard deviation of temperature, 0.462 units in the standard deviation of noise pollution and also 0.831 units in the standard deviation of air pollution decrease were observed. For green space construct, the indices of cohesion and patch density had the highest role and the area index had the lowest role in decreasing air and noise pollution and temperature. The highest and lowest amounts of green space construct effect on the air pollution were related to particles less than 2.5 microns and sulfur dioxide, respectively. The Cronbach's Alpha value was 0.807 and the Composite Reliability coefficient of 0.808 indicates high reliability and Average Variance Extracted of 0.523 represents a high convergence validity in the air pollution constructs. In the green space construct, the variance inflation factor value indicates a noncollinearity error.

* Corresponding author e-mail address: ashabani@ut.ac.ir