

## The Relationship Between Landscape Pattern and Dispersion of PM<sub>2.5</sub> in Isfahan City

### Peyman Ghalamkari

M.Sc., Department of environmental sciences, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

### Mozhgan Ahmadi Nodooshan

\* Assistant Professor, Department of environmental sciences, Waste and Wastewater Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran. (Corresponding Author):  
E-mail: m.ahmadi1984@gmail.com , m.ahmadi@khuisf.ac.ir

Received: 2022/01/20

Accepted: 2022/04/04

**Document Type:** Research article

### ABSTRACT

**Background and Aim:** Regarding the status of air pollution in Isfahan, this study aims to evaluate the air quality of Isfahan due to Particulate Matter and find the relationship between landscape patterns and suspended particles.

**Materials and methods:** to measure the concentration of the suspended particles using a Met One dust meter in 52 points, the city was randomly sampled. The land use map of Isfahan city was prepared after downloading satellite images from the site of the United States Geological Survey. The land use map was generated in six classes with the maximum likelihood classification method in Terrset software. To create the distribution map of suspended particles, the information of 52 stations and inverse distance weighting method in ArcGIS 10.5 was used. Landscape metrics (Normalized Entropy, Edge Density, Patch Area, Relative Richness, and Patch Compactness) were used to quantify the pattern of landscape. The landscape metrics were quantified using FRAGSTATS software.

**Results:** The results showed that vegetation has a reducing effect on air pollution. A positive and significant correlation was observed between the amount of suspended particles and relative richness. Moreover, a significant negative correlation was observed between PM<sub>2.5</sub> and (NDVI), which means that the amount of suspended particles decreased with increasing vegetation density.

**Conclusion:** In general, by calculating the concentration of suspended particles in Isfahan, it was found that the southwest, south, and southeast are exposed to more suspended particles. The high density of green space landscaping leads to a reduction of particulate matter pollution. From the analysis of changes in suspended particles in the region, it was inferred that the more we move to areas with weaker vegetation, the higher the concentration of suspended particles.

**Keywords:** Air pollution, Particulate Matter, Landscape metrics

► **Citation:** Ghalamkari P, Ahmadi Nodooshan M. The Relationship between Landscape Pattern and Dispersion of PM<sub>2.5</sub> in Isfahan city. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Summer 2022; 8(2): 123-135.

## رابطه بین الگوی سیمای سرزمین و پراکنش ذرات معلق (PM<sub>2.5</sub>) در شهر اصفهان

### پیمان قلمکاری

کارشناس ارشد، گروه محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران.

### مزگان احمدی ندوشن

\* استادیار، گروه محیط زیست، مرکز تحقیقات پسماند و پساب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران. (مسئول مکاتبات):  
E-mail: m.ahmadi1984@gmail.com,  
m.ahmadi@khuisf.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۱۵

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

### چکیده

**زمینه و هدف:** با توجه به اهمیت مبحث آلودگی هوا به ویژه در کلان شهر اصفهان، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی وضعیت کیفیت هوای شهر اصفهان از نظر ذرات معلق و یافتن رابطه بین الگوی سیمای سرزمین و ذرات معلق انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** برای اندازه‌گیری غلظت ذرات معلق با استفاده از دستگاه غبارسنج مت وان در ۵۲ نقطه شهر به‌طور تصادفی نمونه‌برداری صورت گرفت. نقشه کاربری اراضی شهر اصفهان با روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال در نرم‌افزار Terrset تولید شد. به‌منظور ایجاد نقشه پراکنش ذرات معلق، از روش وزن‌دهی معکوس فاصله در نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. از متریک‌های آنتروپی نرمال، تراکم حاشیه، مساحت لکه، غنای نسبی و فشردگی لکه و شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) برای کمی‌سازی وضعیت سیمای سرزمین استفاده شد. این متریک‌ها با استفاده از نرم‌افزار Fragstats کمی شدند.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که پوشش گیاهی اثر کاهشی بر میزان آلودگی هوا دارد؛ به‌طوری‌که همبستگی منفی و معنی‌داری بین PM<sub>2.5</sub> و NDVI مشاهده شد. بدین معنی که با افزایش تراکم پوشش گیاهی، میزان ذرات معلق کاهش می‌یافت.

**نتیجه‌گیری:** به‌طور کلی در این تحقیق با محاسبه غلظت ذرات معلق در شهر اصفهان مشخص شد که مناطق جنوب غرب، جنوب و جنوب شرق اصفهان در معرض تماس با ذرات معلق بیشتری قرار دارند. تراکم بالای سیمای سرزمین از نوع فضای سبز، منجر به کاهش آلاینده ذرات معلق می‌شود. از تحلیل تغییرات ذرات معلق منطقه این‌طور استنباط شد که با پیش رفتن به سمت مناطقی که پوشش گیاهی ضعیف‌تری دارند، میزان بالاتری از غلظت ذرات معلق مشاهده می‌شود.

**کلید واژه‌ها:** آلودگی هوا، ذرات معلق، متریک‌های سیمای سرزمین

◀ استناد: قلمکاری پ، احمدی ندوشن م. رابطه بین الگوی سیمای سرزمین و پراکنش ذرات معلق (PM<sub>2.5</sub>) در شهر اصفهان. فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط. تابستان ۱۴۰۱؛ ۸(۲): ۱۲۳-۱۳۵.

سیمای سرزمین عبارت است از چیدمانی با کیلومترها گستردگی که در آن بیشتر اکوسیستم‌های محلی و کاربری‌های زمین تکرار شده باشند. در بررسی تغییرات سیما از متریک‌های سیمای سرزمین استفاده می‌گردد؛ متریک‌های سیمای سرزمین، ابزارهایی جهت اندازه‌گیری، کمی‌سازی و بیان وجهه‌های مختلف الگوی سیمای سرزمین در یک لحظه از زمان هستند (۱). که بر ویژگی‌های مکانی و توزیع لکه‌ها در سیمای سرزمین تمرکز دارند و اطلاعات دقیق و مفیدی را در مورد ترتیب و ترکیب سیمای سرزمین در اختیار کاربران قرار می‌دهند (۲).

وضعیت نامطلوب کیفیت هوا، یکی از مهم‌ترین مشکلات محیط‌زیستی است که بسیاری از شهرهای دنیا را به چالش کشیده است (۳). سیمای سرزمین نقش کلیدی در کیفیت محیط‌زیست شهری دارد. کمی کردن الگوی سیمای سرزمین شهری برای ارزیابی و پایش کارکردهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی شهری ضرورت دارد (۴). سیمای سرزمین شهرها به واسطه رشد شهرنشینی و افزایش جمعیت، به سرعت در حال تغییر است. این پدیده پیامدهای اقتصادی اجتماعی و زیست‌محیطی زیادی را در پی دارد. گسترش شهری موجب تغییرات زیربنایی در ساختار و کارکرد اکولوژیکی سیمای سرزمین و تغییر تدریجی ساختار مکانی و الگوی سیمای سرزمین می‌شود (۵).  $PM_{2.5}$  یا ریزگرد (PM) با قطر آبرودینامیکی کمتر از  $2.5/5$  میکرومتر، به عنوان یکی از آلاینده‌های اصلی شناخته شده است که باعث کاهش کیفیت هوا و مرگ‌ومیر قلبی، عروقی و تنفسی شده و بستری شدن در بیمارستان را به همراه دارد (۶، ۷). انواع مختلف کاربری اراضی در سطح شهر، تأثیرات متنوعی بر کیفیت هوای شهری دارند. مناطق صنعتی و پرتراپیک معمولاً به دلیل شدت بالای انتشار، در بالا بردن غلظت ریزگردها ( $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$ ) و آلاینده‌های گازی اکسیدهای نیتروژن و مونواکسید کربن نقش دارند (۸-۱۰).

در مطالعه جاقلی و همکاران (۱۳۹۶) به پایش و تحلیل

الگوی سیمای سرزمین استان لرستان و فرآیند تغییر آن در محیط GIS با هدف بررسی تغییرات پوشش اراضی لرستان و به کارگیری نتایج حاصل در بررسی الگوی سیمای سرزمین و فرآیند تغییر آن پرداخته شد، از ۵ متریک الگوی سیمای سرزمین شامل آنتروپی نرمال‌سازی شده، تراکم حاشیه، مساحت لکه، فشردگی لکه و غنای نسبی برای کمی‌سازی الگوی سیمای سرزمین استفاده شد و وقوع ۱۰ فرآیند تغییر سیمای سرزمین شامل حذف، تجمع، دو تکه شدن، ایجاد، کاهش اندازه، سوراخ شدگی، تغییر جهت، تغییر شکل، گستردگی و تکه‌تکه شدن لکه‌ها بررسی گردید (۱۱).

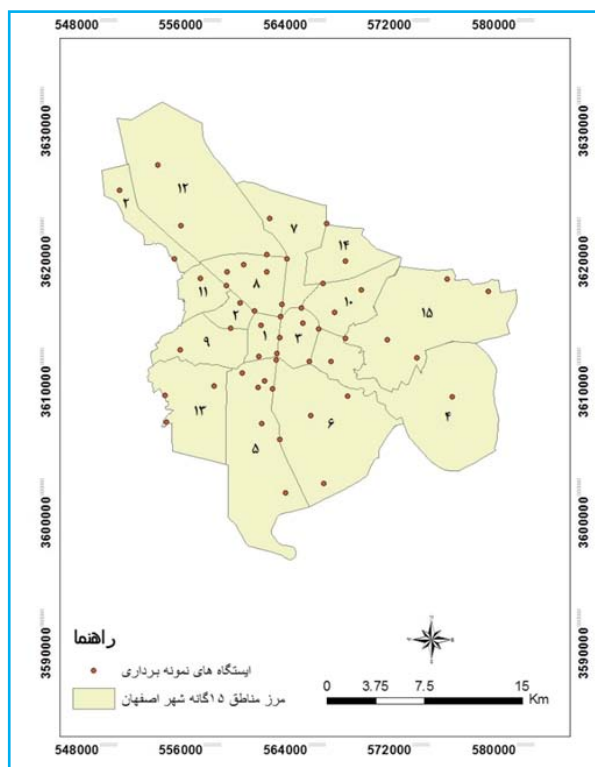
در مطالعه لایوکی (۲۰۱۹) رابطه بین الگوی سیمای سرزمین و آلودگی هوای شهری بررسی شد (۱۲). یکی از انواع آلاینده‌های خطرناک، ذرات ریز و معلق (PM) است. در این مطالعه، الگوی سیمای سرزمین، آب‌وهوا و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در حوالی نقاط تحت نظر PM مشخص شد. عوامل اقلیمی به ویژه سرعت باد، بر میزان آلودگی PM بسیار مهم است. علاوه بر این، الگوی سیمای سرزمین، میزان غلظت را به طور قابل توجهی به خصوص در مورد  $PM_{2.5}$  تغییر می‌دهد.

در مطالعه شی و همکاران که به بررسی تأثیر استفاده از اراضی شهری و الگوی سیمای سرزمین بر روی تغییرات مکانی  $PM_{2.5}$  پرداختند، از روش مدل‌سازی  $MLR^2$  و  $GWR^3$  برای به دست آوردن مدل‌های تخمین برای  $PM_{2.5}$  با مجموعه‌ای از معیارهای "استفاده از زمین / سیمای سرزمین" به عنوان متغیرهای پیش‌بینی استفاده کردند. این مطالعه به بررسی تأثیر استفاده از اراضی شهری و الگوی سیمای سرزمین در تغییرات مکانی  $PM_{2.5}$  پرداخت و به طور خاص در شناسایی، نفوذ و طبقه‌بندی سیمای سرزمین که سطح غلظت  $PM_{2.5}$  را تنظیم می‌کند، متمرکز شده بود. این معیارها به عنوان پیش‌بینی کننده پذیرفته شدند تا تغییرات مکانی  $PM_{2.5}$  را توضیح دهند (۱۳).

2. Multiple Linear Regression

3. Geographically Weighted Regression

1. Particulate Matter



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه برداری

**جمع آوری اطلاعات ذرات معلق  $PM_{2.5}$ :** این مطالعه در سطح شهر اصفهان و مناطق ۱۵ گانه انجام شد. اولین مرحله از مطالعه، جمع آوری داده‌های مربوط به میزان غلظت ذرات معلق  $PM_{2.5}$  بود. این داده‌ها در تاریخ ۱۳۹۹/۰۳/۲۱ از ساعت ۸ صبح تا ۹ شب از ۵۲ ایستگاه نمونه برداری با پراکنش در سطح شهر اصفهان، به صورت میدانی و به روش تصادفی جمع آوری و اندازه گیری شدند. داده‌ها توسط محقق و به وسیله دستگاه پارتیکل کانتر مت وان مدل MET ONE AEROCET 531S با نرخ شار ۰/۱ فوت مکعب در دقیقه و دقت  $\pm 10\%$  جمع آوری شد. این دستگاه دارای قابلیت اندازه گیری غلظت  $PM_1$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $PM_4$ ،  $PM_7$ ،  $PM_{10}$  و  $TSP$  به صورت جداگانه است. به منظور ایجاد نقشه‌ای از پراکنش ذرات معلق، از اطلاعات ۵۲ ایستگاه مذکور و روش درون یابی وزن دهی معکوس فاصله (IDW)<sup>۲</sup> در بخش آنالیزهای زمین آمار نرم افزار ArcGIS ۱۰٫۵ استفاده شد. روش IDW بر این فرض استوار است

1. Total Suspended Particles
2. Inverse Distance Weighting

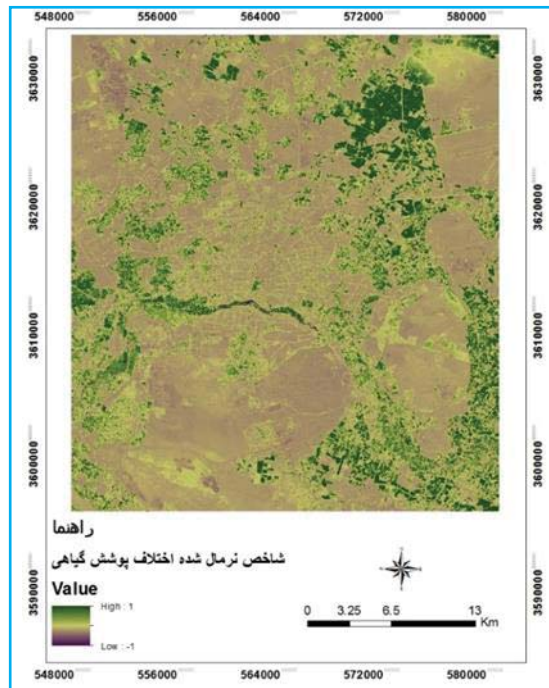
اصلاح در الگوهای سیمای سرزمین، همچنین با دخالت در فرآیندهای مهم اتمسفر که برای جابجایی، رسوب و پراکندگی آلاینده‌های هوا تعیین کننده است، بر جابجایی مکانی آلاینده‌های هوا تأثیر می‌گذارد (۱۴، ۱۵). پوشش گیاهی این ظرفیت را دارد که ذرات معلق در هوا و مواد شیمیایی را از جو جدا کند. به طور کلی، غلظت ذرات آلاینده هوا به دلیل تأثیر پوشش گیاهی بر روی سرعت رسوب آنها، می‌تواند به میزان قابل توجهی کاهش یابد؛ به ویژه هنگامی که پوشش گیاهی نزدیک به منابع انتشار آلاینده‌ها باشد (۱۶).

در سال‌های اخیر کنترل، نظارت و ارزیابی از راه دور یا غیرمستقیم، به عنوان روشی کارآمد در بررسی‌های مکانی، به طور فزاینده‌ای در تحقیقات کیفیت هوای درون شهری و مطالعه آلودگی‌ها مورد استفاده قرار گرفته است (۱۷-۲۱). هدف این مطالعه، تهیه نقشه پهنه بندی آلاینده  $PM_{2.5}$ ، کمی کردن متریک‌های سیمای سرزمین با نرم افزار فرگستس و ارزیابی رابطه بین ساختار سیمای سرزمین و پراکنش آلاینده  $PM_{2.5}$  معلق در مقیاس شهر اصفهان از طریق اندازه گیری ذرات معلق است. همچنین مطالعه حاضر با هدف دستیابی به یک درک جامع در مورد تأثیر کاربری اراضی و الگوی سیمای سرزمین بر پراکنش مکانی آلاینده  $PM_{2.5}$  انجام شد.

## روش کار

منطقه مورد مطالعه: شهر اصفهان در مرکز استان اصفهان و در شرق سلسله جبال زاگرس، در عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۸ دقیقه و ۳۲ ثانیه و در طول ۴۰ درجه و ۳۹ دقیقه و ۵۱ ثانیه شرقی قرار دارد. اصفهان سومین شهر بزرگ ایران بعد از تهران و مشهد است. این شهر یکی از بزرگ‌ترین شهرهای خشک و کم باران دنیا به شمار می‌رود. ارتفاع آن از سطح دریا حدود ۱۵۸۰ متر است. میانگین درجه حرارت سالانه ۱۶/۵ درجه سانتی گراد و میانگین بارندگی سالانه ۱۲۵ میلی متر است و دارای اقلیم خشک سرد، بر اساس روش آمبرژه و اقلیم خشک بر اساس روش دومارتن است (۲۲، ۲۳). شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه برداری را نشان می‌دهد.

شد. مطالعه رفتار زمانی پوشش گیاهی، مدل‌سازی آب‌وهوایی، طبقه‌بندی پوشش گیاهی در سطح جهانی، پایش محصولات کشاورزی، مطالعات بیابان‌زدایی و خشکسالی و حفاظت محیط زیست در سطح جهانی، از جمله کاربردهای شاخص NDVI به‌شمار می‌رود. دامنه تغییرات این شاخص بین +۱ و -۱ است (۲۶).



شکل ۲. نقشه شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI)

نقشه پهنه‌بندی غلظت ذرات معلق در شهر اصفهان: این نقشه میزان غلظت آلودگی ذرات معلق را در بین مناطق مختلف شهر اصفهان نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود، آلوده‌ترین نقاط در این مطالعه، مناطق جنوبی، جنوب غربی و جنوب شرقی می‌باشند.

نتایج متریک آنتروپی نرمال شده<sup>۲</sup>: میانگین مقادیر این متریک در کل منطقه ۰/۳۹۱ به‌دست آمد. کمترین مقدار این متریک در ایستگاه سوم (۰/۱۵۵) و بیشترین مقدار در ایستگاه شماره ۲۸ (۰/۷۱۳) گزارش شد. نقشه آنتروپی نرمال در شکل ۴ نشان داده شده است.

که کمیت یک نقطه نمونه‌برداری نشده، برابر با متوسط وزنی کمیت نقاط اندازه‌گیری شده در همسایگی آن نقطه است (۲۴).

کمی کردن متریک‌های سیمای سرزمین: به‌منظور کمی کردن متریک‌های سیمای سرزمین، نقشه کاربری اراضی منطقه مورد نیاز است. نقشه کاربری اراضی شهر اصفهان که شامل کاربری‌های مسکونی و صنعتی، کشاورزی، فضای سبز، اراضی بایر، مرتع و رودخانه است، با استفاده از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ از سنجنده تصویربرداری عملیاتی زمین و روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال در نرم‌افزار Terrset تولید شد (۲۵). تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ OLI از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده<sup>۱</sup> دانلود شد.

جامعه آماری مورد مطالعه شهر اصفهان بود و میزان غلظت آلاینده‌ها از ۵۲ ایستگاه اندازه‌گیری محیطی گرفته شد. نقشه کاربری اراضی منطقه از تصویر ماهواره‌ای لندست OLI در محیط نرم‌افزار Terrset ایجاد و متریک‌های سیمای سرزمین با استفاده از نرم‌افزار فرگستس کمی شد. به‌منظور بررسی رابطه بین متریک‌های سیمای سرزمین و غلظت آلاینده PM<sub>2.5</sub> نیز از آنالیز همبستگی استفاده شد.

## یافته‌ها

نقشه کاربری اراضی شهر اصفهان: در این مطالعه نقشه کاربری اراضی شهر اصفهان به‌روش طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر احتمال با صحت ۹۵٪ تولید شد. در این نقشه، منطقه مورد مطالعه به ۶ کاربری کشاورزی، بایر، کوه، رودخانه، جاده و عوارض شهری طبقه بندی شد.

نقشه شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI)<sup>۲</sup>: این شاخص، یک شاخص گرافیکی ساده‌است که در تحلیل‌ها و اندازه‌گیری‌های سنجش از دور و ارزیابی وجود یا عدم وجود پوشش گیاهی یک منطقه کاربرد دارد. نقشه شاخص NDVI که تراکم پوشش گیاهی را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد و در شکل ۲ نشان داده شده است، در نرم‌افزار Terrset با استفاده از باندهای قرمز و مادون قرمز تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ OLI تولید

1. <https://earthexplorer.usgs.gov/>

2. Normalized Differential Vegetation Index

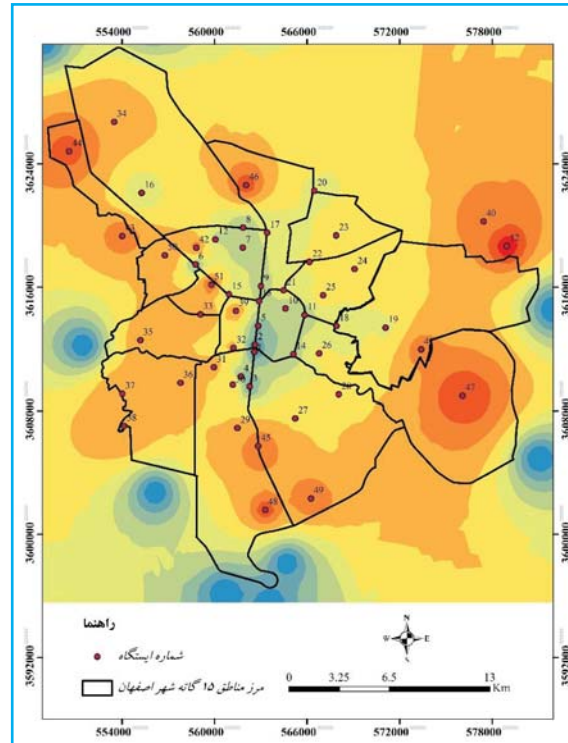
3. Normalized Entropy



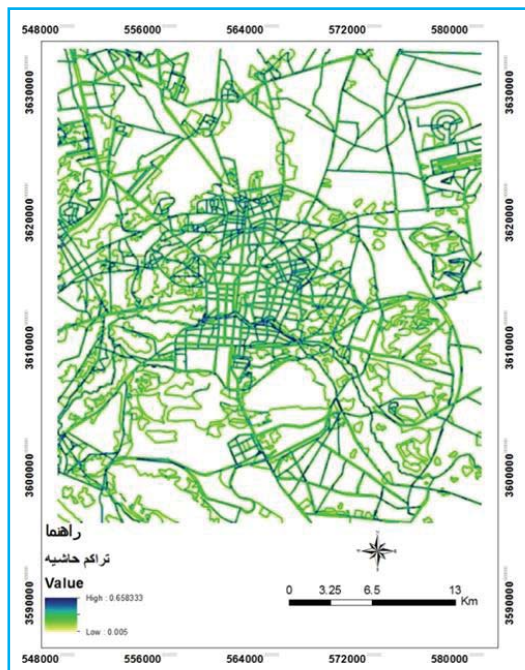
نتایج متریک غنای نسبی<sup>۱</sup>: در این منطقه برای ۹ ایستگاه از ۵۲ ایستگاه مقدار ۵۰٪، برای ۴ ایستگاه ۶۶۶/۱۶٪، برای ۲ ایستگاه ۶۶۶/۶۶٪ و برای بقیه ایستگاه‌ها ۳۳۳/۳۳٪ غنای نسبی محاسبه شد.

نتایج متریک تراکم حاشیه<sup>۲</sup>: کمترین تراکم حاشیه در این مطالعه در ایستگاه ۱۳ معادل ۰/۱ متر بر هکتار و بیشترین تراکم حاشیه در ایستگاه ۲۴ معادل ۰/۴۲ متر بر هکتار حاصل شد. میانگین تراکم حاشیه در کل ایستگاه‌ها نیز معادل ۰/۲۷۶ متر بر هکتار حاصل شد. نقشه تراکم حاشیه در شکل ۵ الف نشان داده شده است.

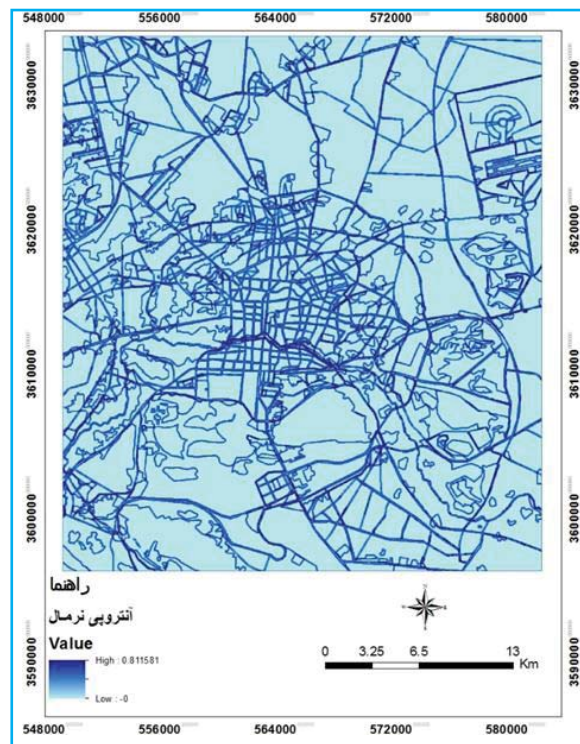
نتایج متریک مساحت لکه<sup>۳</sup>: بزرگ‌ترین لکه در این مطالعه ۸۹۰۱/۲۶۹ هکتار و کوچک‌ترین آن ۰/۲۷ هکتار وسعت داشت. میانگین مساحت لکه‌ها در سیمای سرزمین نیز معادل ۶۴۳۲/۴۴۸۱ هکتار حاصل شد. نقشه مساحت لکه در شکل ۵ ب نشان داده شده است.



شکل ۳. نقشه پهنه‌بندی غلظت ذرات معلق در اصفهان

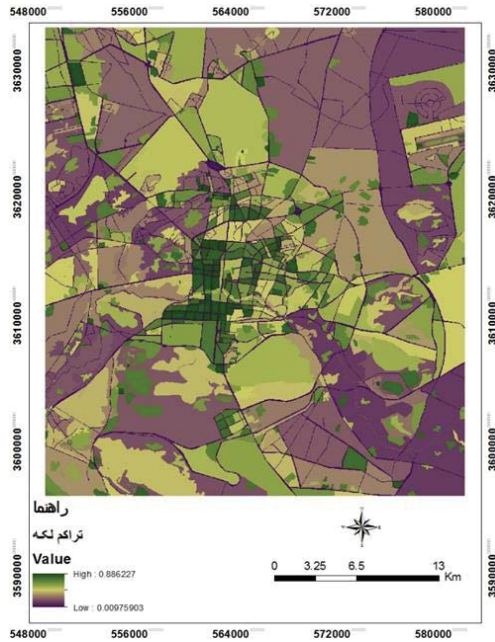


شکل ۵ الف. نقشه تراکم حاشیه منطقه مورد مطالعه

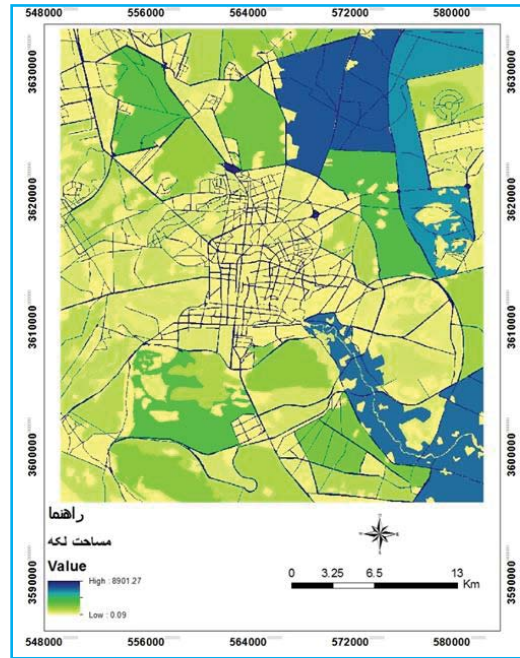


شکل ۴. نقشه آنتروپی نرمال شده منطقه مورد مطالعه

1. Relative Richness
2. Edge Density
3. Patch Area



شکل ۶. نقشه تراکم لکه منطقه مورد مطالعه



شکل ۵. نقشه مساحت لکه منطقه مورد مطالعه

نقشه تراکم لکه در شکل ۶ نشان داده شده است.

**تحلیل آماری:** به منظور بررسی همبستگی متغیرهای مورد بررسی در این مطالعه از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. در این آزمون از متغیرهای غلظت ذرات معلق، شاخص پوشش گیاهی، تفاضلی نرمال شده، آنتروپی نرمال، غنای نسبی، تراکم حاشیه، مساحت لکه و تراکم لکه استفاده شد. در جدول زیر، همبستگی بین غلظت ذرات معلق و دیگر متغیرها با علامت ستاره مشخص شده است.

**نتایج متریک تراکم لکه:** در این مطالعه در ایستگاه شماره ۱، تراکم لکه در ۱۰۰ هکتار از سیمای سرزمین به میزان ۰/۵۲۴ بود. در ایستگاه شماره ۳۳ تراکم لکه در ۱۰۰ هکتار ۰/۶۸۲، در ایستگاه شماره ۵ برابر ۰/۵۵، در ایستگاه ۸ برابر ۰/۴۹۵ و در ایستگاه‌های ۱۹، ۲۴، ۲۸، ۳۴، ۴۰، ۴۱، ۴۳، ۴۸، ۴۹، ۵۰، ۵۱ و ۵۲ به ترتیب ۰/۴۲۹، ۰/۵۶، ۰/۵۱۱، ۰/۲۹۹، ۰/۱۳۴، ۰/۴، ۰/۳۷۷، ۰/۶۱۹، ۰/۲۴۳، ۰/۲۴، ۰/۵۱۱ و ۰/۱۳۴ و در بقیه ایستگاه‌ها هر کدام ۰/۰۰۹ تراکم لکه در ۱۰۰ هکتار وجود داشت.

جدول ۱. همبستگی بین غلظت ذرات معلق، پوشش گیاهی و متریک‌های سیمای سرزمین

تراکم لکه	مساحت لکه	تراکم حاشیه	غنای نسبی	آنتروپی نرمال	تفاضلی گیاهی نرمال شده	شاخص پوشش گیاهی	غلظت ذرات معلق
-۰/۱۷۵	۰/۲۶۰	-۰/۱۴۲	۰/۳۶۴ <sup>**</sup>	-۰/۱۳۳	-۰/۶۵۶ <sup>**</sup>	۱	غلظت ذرات معلق (میکروگرم بر متر مکعب)
-۰/۰۳۱	-۰/۱۱۲	-۰/۱۲۲	-۰/۰۵۷	-۰/۰۴۸	۱	-۰/۶۵۶ <sup>**</sup>	شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (بدون واحد)
-۰/۰۶۵	-۰/۰۵۲	۰/۶۶۹ <sup>**</sup>	۰/۸۶۴ <sup>**</sup>	۱	-۰/۰۴۸	-۰/۱۳۳	آنتروپی نرمال (بدون واحد)
-۰/۱۰۴	-۰/۰۲۰	۰/۴۷۰ <sup>**</sup>	۱	۰/۸۶۴ <sup>**</sup>	-۰/۰۵۷	۰/۳۶۴ <sup>**</sup>	غنای نسبی (درصد)
-۰/۱۵۹	-۰/۱۶۲	۱	۰/۴۷۰ <sup>**</sup>	۰/۶۶۹ <sup>**</sup>	-۰/۱۲۲	-۰/۱۴۲	تراکم حاشیه (متر بر هکتار)
-۰/۹۵۳ <sup>**</sup>	۱	-۰/۱۶۲	-۰/۰۲۰	-۰/۰۵۲	-۰/۱۱۲	۰/۲۶۰	مساحت لکه (هکتار)
۱	-۰/۹۵۳ <sup>**</sup>	-۰/۱۵۹	-۰/۱۰۴	-۰/۰۶۵	-۰/۰۳۱	-۰/۱۷۵	تراکم لکه (تراکم لکه در صد هکتار)

\*\* همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است.

## بحث

تغییرات ذرات معلق ( $PM_{2.5}$ ) در مناطق شهر اصفهان: این تغییرات به ترتیب از مناطق دارای بیشترین آلودگی تا کمترین آلودگی بررسی شد. در منطقه ۱۳ به دلیل عبور بزرگراه ذوب آهن از آن و حضور این منطقه در کریدور شرق به غرب و همچنین حضور کارخانه ذوب آهن در مسیر این کریدور که یکی از پرترددترین بزرگراه‌های اصفهان محسوب می‌شود، بالا بودن غلظت آلاینده‌ها به دلیل تداوم انباشت آلاینده‌های ناشی از تردد خودروهای تک‌سرنشین، خودروهای سنگین فرسوده و عدم وزش باد کافی به دلیل محصور بودن توسط کوه‌ها مشهود است. تراکم بالای جمعیت، کمبود فضای سبز عمومی و ناسازگاری کاربری‌ها، از علل ریشه‌ای مشهود در تشدید و بالا بودن غلظت  $PM_{2.5}$  در این منطقه می‌باشد. مقدار  $PM_{2.5}$  در این منطقه به میزان  $60/4$  میکروگرم بر متر مکعب اندازه‌گیری شد. منطقه ۵ به دلیل قرارگرفتن در مبادی ورودی و خروجی شهر اصفهان به طرف شهر شیراز و شهرهای اطراف و قرار داشتن دانشگاه اصفهان، علوم پزشکی و ترمینال صفا در این منطقه، از مراکز پرتراфик شهر اصفهان محسوب شده که بالا بودن غلظت آلاینده‌های هوا در این منطقه دور از انتظار نیست. افزایش تراکم ساختمان‌های مسکونی، خدماتی، تجاری و آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از وجود مراکز بزرگ صنعتی، از علل اصلی افزایش آلودگی هوا در این منطقه عنوان می‌شود. مقدار  $PM_{2.5}$  در این منطقه  $57/4$  میکروگرم بر متر مکعب اندازه‌گیری شد.

از دلایل وجود مقادیر بالای  $PM_{2.5}$  در منطقه ۴ می‌توان به وجود کمربندی شرق به غرب و عبور تعداد بالای خودروها از این مسیر و همچنین هم‌مرز بودن با بیابان‌های شرق اصفهان که یکی از منابع تولید ریزگرد می‌باشند، اشاره کرد. خیابان جی به دلیل واقع شدن در مسیر کریدور شرق به غرب و همچنین وجود کارگاه‌های صنعتی در این محدوده، از آلوده‌ترین قسمت‌های این منطقه می‌باشد. در این منطقه مقدار  $55/7$  میکروگرم بر متر مکعب برای  $PM_{2.5}$  اندازه‌گیری شد.

منطقه ۶ به دلیل همجوار بودن با منطقه ۵ و به تبع آن قرار گرفتن در مسیر رودخانه، وجود سی‌وسه پل و اقبال مردم و توریست‌ها برای بازدید و عبور از آن و رسیدن به میدان انقلاب و به تبع آن افزایش حجم ترافیک، با افزایش غلظت ذرات معلق روبه‌رو شده است. همچنین این منطقه در مسیر خروج از شهر به سمت شهر بهارستان، شهرضا و شیراز می‌باشد که طبیعتاً با افزایش تردد خودروها روبه‌رو خواهد شد و افزایش غلظت ذرات معلق را در پی دارد. در این منطقه مقدار  $52/9$  میکروگرم بر متر مکعب برای  $PM_{2.5}$  گزارش شد. همجواری با پالایشگاه اصفهان، نیروگاه شهید منتظری، شهرک صنعتی محمودآباد، شهرک امیرکبیر، منطقه صنعتی (شاهپور جدید) و تصفیه‌خانه پساب شمال شهر اصفهان، از علل اصلی آلودگی و تجمع ذرات معلق در منطقه ۱۲ است. این منطقه به خاطر وجود مناطق صنعتی متعدد و واقع شدن در یکی از مسیرهای شاهین‌شهر و تهران، دارای تردد بسیار بالای خودروهای سبک و سنگین می‌باشد و همچنین این منطقه، ۲ ورودی شهر اصفهان (اتوبان معلم و اتوبان آزادگان) را در بردارد. در این منطقه مقدار  $49/3$  میکروگرم بر متر مکعب برای  $PM_{2.5}$  گزارش شد.

در منطقه ۲ به دلیل وجود یکی از راه‌های منتهی به خمینی‌شهر که از آن با عنوان خیابان کهن‌ژاد یاد می‌شود، تردد بسیار سنگین خودروها در این مسیر و همچنین وجود کارگاه‌های صنعتی در مسیر این خیابان، باعث افزایش غلظت ذرات معلق شده و این خیابان را به کانون اصلی آلودگی در این منطقه تبدیل کرده است. آلودگی پالایشگاه و پتروشیمی در محدوده بختیارداشت و مشکلات ترافیکی در محدوده اتوبان خرازی، اتوبان امام خمینی و خیابان‌ها و کندروهای متصل به آن‌ها، از جمله دلایل بارز دیگر افزایش آلودگی این منطقه است. در این منطقه مقدار  $47/1$  میکروگرم بر متر مکعب برای غلظت  $PM_{2.5}$  گزارش شد. منطقه ۱۵ به واسطه واقع شدن در مسیر دانشگاه آزاد واحد خوراسگان، میدان میوه و تره‌بار اصفهان، باغ رضوان، شهرک صنعتی جی، وجود شهر بازی شهر رویاها، کمربندی شرق اصفهان و نیز وجود



جاده یزد، کرمان و بندرعباس و تردد سنگین خودروهای سبک و سنگین برای رسیدن به مقاصد فوق با تجمع آلودگی مواجه شده است. همچنین این منطقه به واسطه وجود کارگاه‌های فراوان صنعتی کوچک و بزرگ و نیز همجواری با بیابان‌های شرق اصفهان، با افزایش غلظت ذرات ریز معلق و آلودگی هوا مواجه شده است. در این منطقه مقدار  $PM_{2.5}$  به میزان  $46/7$  میکروگرم بر متر مکعب اندازه‌گیری شد.

ترافیک سنگین بافت مرکزی شهر و وجود گلوگاه‌های ترافیکی فراوان در منطقه ۱، وجود خیابان شهید بهشتی فعلی (شاهپور قدیم) و گاراژهای مسافربری و تعمیرگاهی معتبر و انبارهای فراوان در اطراف آن به گونه‌ای که یکی از معتبرترین مکان‌های صنعتی و تعمیراتی نه فقط اصفهان، بلکه ایران است؛ از جمله عوامل تشدید آلودگی و افزایش ذرات ریز معلق در این منطقه می‌باشد. در این منطقه مقدار  $45/7$  میکروگرم بر متر مکعب برای  $PM_{2.5}$  گزارش شد. تمرکز مراکز اداری، بازارهای تاریخی و مراکز تجاری، مراکز گردشگری و ابنیه‌های تاریخی، مقبره‌ها و امامزاده‌ها، حوزه‌های علمیه و دفاتر علمای مذهبی و مراکز علمی، منطقه ۳ را به منطقه‌ای خاص با ویژگی‌های خاص تبدیل کرده است. در واقع منطقه ۳ دربرگیرنده بخش وسیعی از بافت تاریخی شهر است. حجم انبوه ترافیک در سطح منطقه، سبب آلودگی محیطی در منطقه شده است. کمبود فضای سبز، تراکم عبور و مرور در مرکز شهر و ایجاد آلودگی‌های زیست محیطی، از عوامل قابل اشاره دیگر برای افزایش ذرات معلق در این منطقه می‌باشد. در این منطقه میزان  $45/7$  میکروگرم بر متر مکعب برای  $PM_{2.5}$  گزارش شد.

منطقه ۱۰ با جمعیت حدود ۲۰۶۰۰۰ نفر، دومین منطقه پرجمعیت شهر اصفهان است که از جمله دلایل تجمع ذرات معلق، همین جمعیت زیاد به‌خاطر تردد سنگین خودروها، تردد سرویس‌های مدرسه و متعاقب آن ایجاد ترافیک می‌باشد. این منطقه یکی از مناطقی است که راه را به سمت شرق اصفهان باز می‌کند. وجود اتوبان فرودگاه و جاده شهرک صنعتی جی و عبور

خودروهای سنگین به مقصد این شهرک و یزد که از راه‌های ترانزیتی کشور محسوب می‌شود، از جمله دلایل دیگر آلودگی در این منطقه است. همجواری با بیابان‌های شرق اصفهان و رسوب ریزگرد حاصل از بادهای شدید در این منطقه نیز عاملی برای افزایش ریزگردها و آلودگی در این منطقه است. در این منطقه مقدار  $44/3$  میکروگرم بر متر مکعب برای  $PM_{2.5}$  گزارش شد. منطقه ۷ دارای جمعیتی زیاد و در عین حال رو به رشد است. در این منطقه خیابان کاوه که از اصلی‌ترین مسیرهای شاهین‌شهر و تهران محسوب می‌شود و ترددی بسیار سنگین دارد، واقع شده که سهم بسیاری در افزایش آلودگی ذرات ریز معلق در این منطقه دارد. همجواری با بیابان‌های شمال اصفهان که عاملی برای تولید گردوغبار است و از طرفی وجود شهرک صنعتی دولت‌آباد و تصفیه‌خانه شمال اصفهان و جاده دولت‌آباد که مسیری برای رسیدن به حبیب‌آباد و دولت‌آباد محسوب می‌شود، از جمله عوامل دیگر افزایش آلودگی هوا و ذرات ریز معلق این منطقه محسوب می‌شود. در این منطقه مقدار  $39/7$  میکروگرم بر متر مکعب برای  $PM_{2.5}$  گزارش شد. در منطقه ۸ به‌دلیل کثرت جمعیت و حجم ترافیک سنگین در خیابان رباط که از معابر اصلی رسیدن به ملک شهر، شهرک نگین و خانه اصفهان محسوب می‌شود، خیابان کاوه تا سه‌راه ملک‌شهر و خیابان بهارستان، وجود پایانه مسافربری کاوه و وجود شهرسازی ملک‌شهر و به‌تبع آن افزایش عبور و مرور، افزایش تجمع ذرات معلق در این منطقه مشهود است، اما از آنجا که این منطقه زمین‌های بایر و کشاورزی زیادی دارد و عاری از خودرو و تردد سنگین در این قسمت‌هاست، در برخی قسمت‌های این منطقه کاهش ذرات ریز معلق مشهود است. در این منطقه مقدار  $36/8$  میکروگرم بر متر مکعب برای  $PM_{2.5}$  گزارش شد.

به‌دلیل وجود سطح گسترده اشجار و باغات در اراضی منطقه ۹، سبزی‌نگی موجود و پارک طبیعی ناژوان، در مجاورت رودخانه زاینده‌رود از این منطقه به‌عنوان ریه تنفسی شهر اصفهان یاد می‌شود. با این حال به‌دلیل واقع شدن این منطقه در مسیر دُرچه، خمینی‌شهر، نجف‌آباد، شهرکرد و خوزستان و حجم تردد سنگین

منطقه ۱۰ با جمعیت حدود ۲۰۶۰۰۰ نفر، دومین منطقه پرجمعیت شهر اصفهان است که از جمله دلایل تجمع ذرات معلق، همین جمعیت زیاد به‌خاطر تردد سنگین خودروها، تردد سرویس‌های مدرسه و متعاقب آن ایجاد ترافیک می‌باشد. این منطقه یکی از مناطقی است که راه را به سمت شرق اصفهان باز می‌کند. وجود اتوبان فرودگاه و جاده شهرک صنعتی جی و عبور

ترافیک سنگین بافت مرکزی شهر و وجود گلوگاه‌های ترافیکی فراوان در منطقه ۱، وجود خیابان شهید بهشتی فعلی (شاهپور قدیم) و گاراژهای مسافربری و تعمیرگاهی معتبر و انبارهای فراوان در اطراف آن به گونه‌ای که یکی از معتبرترین مکان‌های صنعتی و تعمیراتی نه فقط اصفهان، بلکه ایران است؛ از جمله عوامل تشدید آلودگی و افزایش ذرات ریز معلق در این منطقه می‌باشد. در این منطقه مقدار  $45/7$  میکروگرم بر متر مکعب برای  $PM_{2.5}$  گزارش شد. تمرکز مراکز اداری، بازارهای تاریخی و مراکز تجاری، مراکز گردشگری و ابنیه‌های تاریخی، مقبره‌ها و امامزاده‌ها، حوزه‌های علمیه و دفاتر علمای مذهبی و مراکز علمی، منطقه ۳ را به منطقه‌ای خاص با ویژگی‌های خاص تبدیل کرده است. در واقع منطقه ۳ دربرگیرنده بخش وسیعی از بافت تاریخی شهر است. حجم انبوه ترافیک در سطح منطقه، سبب آلودگی محیطی در منطقه شده است. کمبود فضای سبز، تراکم عبور و مرور در مرکز شهر و ایجاد آلودگی‌های زیست محیطی، از عوامل قابل اشاره دیگر برای افزایش ذرات معلق در این منطقه می‌باشد. در این منطقه میزان  $45/7$  میکروگرم بر متر مکعب برای  $PM_{2.5}$  گزارش شد.

منطقه ۱۰ با جمعیت حدود ۲۰۶۰۰۰ نفر، دومین منطقه پرجمعیت شهر اصفهان است که از جمله دلایل تجمع ذرات معلق، همین جمعیت زیاد به‌خاطر تردد سنگین خودروها، تردد سرویس‌های مدرسه و متعاقب آن ایجاد ترافیک می‌باشد. این منطقه یکی از مناطقی است که راه را به سمت شرق اصفهان باز می‌کند. وجود اتوبان فرودگاه و جاده شهرک صنعتی جی و عبور

بالا و اخیراً هجوم ریزگردها از تالاب گاوخونی در سال‌های اخیر باشد. مطالعه دامیان لئویچکی نشان داد که همانند کل اروپا، بزرگ‌ترین منبع انباشت ذرات معلق در لهستان، احتراق حاصل از سوخت مصرفی سازمان‌ها، مصرف خانگی و صنایع است (۱۲).

شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI): همانگونه که در جدول همبستگی نشان داده شده است، همبستگی منفی و معنی‌داری بین  $PM_{2.5}$  و شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده مشاهده شد؛ بدین معنی که با افزایش تراکم پوشش گیاهی، میزان ذرات معلق کاهش یافته بود. در این مطالعه، در مناطقی که پوشش گیاهی فشرده‌تر و متراکم‌تر بوده، پایین بودن چشم‌گیر ذرات معلق محسوس بود. همچنین در این مطالعه واضح است که مکان‌های با پوشش فضای سبز کمتر، دارای میزان آلودگی هوای بیشتری هستند؛ به طوری که با پیش رفتن به سمت مناطقی که وجود پوشش گیاهی در آنها کمتر است، افزایش غلظت ذرات معلق مشاهده شد.

در مطالعه شی و همکاران مشخص شد که یک ناحیه بزرگ پردرخت، به‌عنوان مثال یک پارک متمرکز برای کاهش آلودگی هوا در محله‌ها مفید است. دسترسی به فضای سبز شهری در مقیاس محله‌ای باید در برنامه‌ریزی و طراحی شهری از اولویت بالایی برخوردار باشد. ترتیب منظم درختان در سطح مناطق شهری نیز می‌تواند بسیار مفید باشد. این یافته به‌ویژه برای شهرهای پرجمعیت که فقط منابع زمین محدودی دارند، می‌تواند برای سبز کردن مناطق درون‌شهری خود استفاده شود (۲۷).

جعفری و همکاران نیز در مطالعه خود از متریک‌های سیمای سرزمین برای پیش‌بینی اثر فضای سبز شهری بر آلودگی هوا و مرگ‌ومیر ناشی از بیماری‌های ریوی در تهران استفاده کردند. برای اندازه‌گیری اثرات الگوی سیمای سرزمین فضای سبز بر روی سلامت عمومی، این مطالعه اثرات فضای سبز روی آلودگی هوا و مرگ‌ومیر ناشی از بیماری‌های تنفسی را با استفاده از روش مدلسازی معادلات ساختاری<sup>۱</sup> و مدل‌سازی معادلات ساختاری، مورد

خودروها از این مسیر و همچنین همجوار بودن با منطقه ۲ و خیابان کهنده، در برخی قسمت‌های این منطقه افزایش ذرات ریز معلق مشاهده می‌شود. در این منطقه برای  $PM_{2.5}$  مقدار  $14/9$  میکروگرم بر متر مکعب گزارش شد. منطقه ۱۱ به دلیل وجود کارگاه‌های صنعتی و تعمیرگاهی و همچنین واقع شدن در محور خیابان امام خمینی که به واسطه آن حجم عظیمی از خودروهای سنگین و نیمه‌سنگین به مقصد شاهپور جدید، میدان استقلال، شاهین‌شهر و تهران عبور می‌کنند، دچار افزایش ذرات ریز معلق شده است، اما در بیشتر قسمت‌های این منطقه مانند محله بابوکان و همچنین به دلیل وجود زمین‌های کشاورزی و باغ‌های فراوان در این منطقه و نیز همجوار بودن با منطقه ۹ که از آن با عنوان ریه‌های تنفسی شهر اصفهان یاد می‌شود، کاهش غلظت  $PM_{2.5}$  محسوس است. در این منطقه برای  $PM_{2.5}$  مقدار  $13/9$  میکروگرم بر متر مکعب گزارش شد.

با توجه به جهت باد غالب اصفهان که از سمت غرب به شرق است، از اصلی‌ترین عوامل آلودگی شهر می‌توان به عواملی چون وجود صنایع ذوب آهن، فولاد مبارکه، پالایشگاه، نیروگاه، صنایع مختلف در غرب و صنایع کوچک و بزرگ داخل این شهر اشاره کرد. تحمیل ریزگردها از سمت بیابان‌های شرق اصفهان و اخیراً خشک شدن باتلاق گاوخونی، معضل دیگری است که اصفهان را تهدید می‌کند و آثار زیان‌باری برای شهر داشته است. یکی از دلایل دیگر انباشت ذرات معلق در اصفهان سکون هوا، وجود شبکه بسیار پرتراکم شهری به واسطه افزایش ساخت‌وساز و اخیراً بلند مرتبه‌سازی‌های گسترده در سطح شهر، وجود بافت فرسوده با معابر بسیار باریک و در نتیجه عدم وزش باد کافی برای جابه‌جایی ذرات معلق هوا می‌باشد. بالا بودن غلظت ذرات معلق در این مطالعه می‌تواند به دلیل بالا بودن غلظت این آلاینده‌ها در شهر اصفهان به واسطه قرارگرفتن این شهر در بین بیابان‌های کویری، وقوع خشکسالی‌های متعدد، وجود صنایع فلزی سنگین و مادر مانند ذوب آهن و فولاد مبارکه در حاشیه این شهر، وجود شهرک‌های صنعتی فراوان در اطراف شهر، انتشار ذرات از خودروها و ترافیک

1. Partial Least Square

را در منطقه ایجاد کرده است. از جمله این مشکلات می توان افزایش آلودگی هوا و وجود ناهمگونی در الگوی سیمای سرزمین را نام برد. به طور کلی در این تحقیق با محاسبه غلظت ذرات معلق در شهر اصفهان مشخص شد که مناطق جنوب غرب، جنوب و جنوب شرق شهر اصفهان، در معرض تماس با ذرات معلق بیشتری قرار دارند.

با تحلیل تغییرات ذرات معلق در سطح منطقه می توان دریافت که با پیش رفتن به سمت مناطقی که دارای پوشش گیاهی ضعیف تری هستند، میزان بالاتری از غلظت ذرات معلق مشاهده می شود. این موضوع مهر تأییدی بر صحت فرضیه رابطه عکس میان غلظت ذرات معلق و پوشش گیاهی است. انتخاب متریک های مناسب نیز یکی دیگر از موارد مهم در مطالعات سیمای سرزمین است. بر این اساس تأثیر الگوی سیمای سرزمین بر آلودگی ذرات معلق در مقیاس شهر اصفهان از طریق اندازه گیری ذرات معلق و کمی کردن متریک های سیمای سرزمین حاصل شد. از بررسی وضعیت الگوی سیمای سرزمین شهر اصفهان نیز این گونه برداشت شد که سیمای سرزمین به سمت یک ناهمگونی نسبی پیش می رود و الگوی مناسبی برای پیش بینی فرآیندهای توسعه در آینده ندارد. از نتایج این مطالعه می توان برای اقناع نهادهای مدیریتی شهری و ترغیب آنها به استفاده از اکوسیستم بومی و الگوهای سیمای سرزمین اکولوژیک حاکم بر منطقه برای بهبود کیفیت هوای شهری در طرح های توسعه آبی استفاده کرد و یک اکوسیستم پویا با الگوی سیمای سرزمین پایدار را بنا نهاد.

**ملاحظات اخلاقی:** نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت، ادبی انتشار دوگانه، تحریف داده ها و داده سازی را در این مقاله رعایت کرده اند. همچنین، هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می کنند. **تشکر و قدردانی:** این مقاله حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد می باشد. بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان) و مرکز تحقیقات پسماند و پساب که دستگاه مت وان را در اختیار نویسندگان قرار دادند، تشکر و قدردانی می شود.

ارزیابی قرار داد. نتایج نشان داد که فضای سبز، اثر مهمی بر روی کاهش آلودگی هوا و مرگ و میر ناشی از بیماری های تنفسی دارد. مهم ترین متغیر در فضای سبز، سطح کلاس است که نشان می دهد سطح فضای سبز بیشتر دارای همبستگی با کاهش مرگ و میر ناشی از بیماری های تنفسی است (۲۸). پارک و همکاران رابطه بین میزان ذرات معلق و انواع گوناگون کاربری و پوشش اراضی را در ۱۲۲ منطقه در کره مورد بررسی قرار دادند. متریک های سیمای سرزمین برای اندازه گیری پیکربندی مکانی الگوی کاربری اراضی و مدل های مکانی برای بررسی وضعیت آلودگی هوا مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج نشان داد که مساحت انواع پوشش اراضی و پیکربندی مکانی آنها، تغییرات در میزان ذرات معلق را تحت تأثیر قرار می دهد. نزدیکی و مجاورت لکه های پوشش اراضی نیز فاکتور مهمی است و الگوهای پوشش اراضی چمنزار و جنگل، در کاهش میزان ذرات معلق نقش به سزایی دارند (۲۹). این دو مطالعه نتایج مشابه مقاله حاضر ارائه دادند و به نقش مثبت فضای سبز و الگوی سیمای سرزمین بر پراکنش ذرات معلق اشاره کردند.

همبستگی بین ذرات معلق و غنای نسبی: در این مطالعه و با توجه به نتایج جدول همبستگی، بین میزان ذرات معلق و غنای نسبی، همبستگی مثبت و معنی دار مشاهده شد. با توجه به وجود همبستگی مثبت و معنی دار بین این دو متغیر می توان بیان نمود که غنای نسبی بر آلودگی هوا اثر مثبت و معنی داری به لحاظ آماری دارد؛ یعنی با افزایش غنای نسبی، آلودگی افزایش یافته است. در مطالعه حاضر میزان همبستگی به مقدار ۰/۳۶۴ واحد محاسبه شد.

**نتیجه گیری:** پوشش فضای سبز شهری، نقش کاهشی و حذف کننده در آلودگی هوا به ویژه ذرات معلق دارد. برای شناخت و فهم نتایج اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی حاصل از توسعه و فعالیت های انسانی، کمی کردن الگوهای سیمای سرزمین ضروری است. تجزیه و تحلیل سیمای سرزمین در این تحقیق، بیانگر آثار فعالیت های انسانی بر تغییر، ترکیب و توزیع الگوهای مکانی بود. در نتیجه تغییر الگوهای مکانی بر ارائه خدمات اکولوژیکی منطقه تأثیر گذاشته و کیفیت هوا و محیط زیست منطقه را کاهش و مشکلاتی

## References

1. Talebi Amiri Sh, Azari Dehkordi F, Sadeghi S.H, Soofbaf S.R, 2009. Study on Landscape Degradation in Neka Watershed Using Landscape Metrics, *Environmental Sciences*, 3(6): 133-144. (Persian)
2. Paudel S, Yuan F, 2012. Assessing landscape changes and dynamics using patch analysis and GIS modeling. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformatic*, 16: 66-76.
3. Hedayatzadeh F, Ilderimi A., Hassanzadeh N. 2019. Air quality analysis based on PM2.5 and PM10 suspended particles by two methods USEPA-AQI and IND-AQI and EF factor in Ahvaz in 2016 and 2017. *Journal of Environmental Health Engineering, Special Issue 2019, Year 7: 57 -75*. (Persian)
4. Sufyanian A, Mokhtari Z, Khajehddin J, Ziaei H. 2013. Gradient Analysis of Urban Landscape Model (Case Study: Isfahan). *Human Geography Research*, 45 (1): 87-104. (Persian)
5. Wang, Y., Li, J., Fan, Z., Wang, X., 2008, GIS- based Urban Mosaic and Its Gradient Analysis, IEEE, the Second International Conference On Bioinformatics and Biomedical Engineering (ICBBE 2008), Shanghai, China.
6. Lin, H., Ma, W., Qiu, H., Wang, X., Trevathan, E., Yao, Z., Dong, G.-H., Vaughn, M. G., Qian, Z., & Tian, L. (2017). Using daily excessive concentration hours to explore the short-term mortality effects of ambient PM2.5 in Hong Kong. *Environmental Pollution*, 229(Suppl. C), 896–901.
7. Wong, T. W., Tam, W. S., Yu, T. S., & Wong, A. H. S. (2002). Associations between daily mortalities from respiratory and cardiovascular diseases and air pollution in Hong Kong, China. *Occupational and Environmental Medicine*, 59(1), 30–35.
8. De Hoogh, K., Wang, M., Adam, M., Badaloni, C., Beelen, R., Birk, M.,... Dedele, A. (2013). Development of land use regression models for particle composition in twenty study areas in Europe. *Environmental Science & Technology*, 47(11), 5778–5786.
9. Habermann, M., Billger, M., & Haeger-Eugensson, M. (2015). Land use regression as method to model air pollution. Previous results for Gothenburg/Sweden. *Procedia Engineering*, 115, 21–28.
10. Ross, Z., English, P. B., Scalf, R., Gunier, R., Smorodinsky, S., Wall, S., & Jerrett, M. (2006). Nitrogen dioxide prediction in Southern California using land use regression modeling: Potential for environmental health analyses. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 16(2), 106–114.
11. Japelaghi M, Gholam Ali Fard M, Shayesteh K, 2017. Monitoring and analysis of Lorestan province land landscape model and its change process in GIS environment. *Natural Environment, Iranian Journal of Natural Resources*, 70 (1): 15-35. (Persian)
12. Łowicki D, 2019. Landscape pattern as an indicator of urban air pollution of particulate matter in Poland. *Ecological Indicators*, 97: 17–24
13. Shi Y, Ren C, Ka-Lun Lau K, Ng E. (2019). Investigating the influence of urban land use and landscape pattern on PM2.5 spatial variation using mobile monitoring and WUDAPT. *Landscape and Urban Planning*, 189: 15–26
14. Pielke, R. A., Marland, G., Betts, R. A., Chase, T. N., Eastman, J. L., Niles, J. O., & Running, S. W. (2002). The influence of land-use change and landscape dynamics on the climate system: Relevance to climate-change policy beyond the radiative effect of greenhouse gases. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 360(1797), 1705–1719.
15. Weaver, C. P., & Avissar, R. (2001). Atmospheric disturbances caused by human modification of the landscape. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82(2), 269–281.
16. Janhäll, S. (2015). Review on urban vegetation and particle air pollution – Deposition and dispersion. *Atmospheric Environment*, 105(Suppl. C), 130–137.
17. Adams, M. D., & Kanaroglou, P. S. (2016). Mapping real-time air pollution health risk for environmental management: Combining mobile and stationary air pollution monitoring with neural network models. *Journal of Environmental Management*, 168, 133–141.
18. Hagler, G. S. W., Thoma, E. D., & Baldauf, R. W. (2010). High-resolution mobile monitoring of carbon monoxide and ultrafine particle concentrations in a near-road environment. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 60(3), 328–336.
19. Isakov, V., Touma, J. S., & Khlystov, A. (2007). A method of assessing air toxics concentrations in urban areas using mobile platform measurements. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 57(11), 1286–1295.
20. Westerdahl, D., Fruin, S., Sax, T., Fine, P. M., & Sioutas, C. (2005). Mobile platform measurements of ultrafine particles and associated pollutant concentrations on freeways and residential streets in Los Angeles. *Atmospheric Environment*, 39(20), 3597–3610.
21. Xu, W., Riley, E. A., Austin, E., Sasakura, M., Schaal, L., Gould, T. R.,... Vedal, S. (2017). Use of mobile and passive badge air monitoring data for NOX and ozone air pollution spatial exposure prediction models. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 27(2), 184–192.
22. Shafaghi, S., Geography of Isfahan, University of Isfahan Press, 2002. (Persian)
23. Atlas of Isfahan, Geographical and Cartographic Organization of Gita Studies, Tehran, 1997. (Persian)



24. Javanmardi F, 2016. Familiarity with IDW interpolation method or inverse distance, GIS specialized site. <https://gisman.ir/idw/>. (Persian)
25. Ahmadi Nodoshan M., Sufyanian A., Khajehddin J. 2010. Preparation of land cover map of Arak city using artificial neural network classification methods and maximum probability. *Natural Geography Research*, 41 (69): 1-12. (Persian)
26. International Conference on Earth Sciences, Tehran, 2015. (Persian)
27. Shi, Y., Lau, K. K.-L., & Ng, E. (2019). Incorporating wind availability into land use regression modelling of air quality in mountainous high-density urban environment. *Environmental Research*, 157, 17–29.
28. Jaafari, S., Alizadeh Shabani, A., Moeinaddini, M., Danehkar, A., & Sakieh, Y. (2020). Applying landscape metrics and structural equation modeling to predict the effect of urban green space on air pollution and respiratory mortality in Tehran. *Environ Monit Assess*, 192:412, <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08377-0>.
29. Park, Y., Shin, J., & Lee, J.Y. (2021). Spatial Association of Urban Form and Particulate Matter. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18, 9428. <https://doi.org/10.3390/ijerph18189428>.