

## Application of Spatial Statistics in Evaluating the Spatial Correlation Patterns of Noise Pollution in the Central Part of Zayandeh-Rood Watershed

Alireza Ildoromi<sup>1</sup> and Sedighe Abdollahi<sup>2\*</sup>

1- Associate Professor, Department of Range Management and Watershed, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran

2- Ph.D, Land Use Planning, Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran

\*Corresponding author: baharabdollahi94@gmail.com

(Received: 17 January 2022

Revise: 13 February 2022

Accepted: 28 February 2022)

### Extended Abstract

**Introduction:** Noise pollution is an environmental issue that threatens the human health and the survival of other living organisms along with air, soil, and water pollution. It is also considered as one of the important criteria in determining the quality of life in the world. Various sources such as growing urbanization, transportation, spatial heterogeneity of land use types and improper planning can increase noise pollution. Therefore, assessment and zoning of noise pollution, which is one of the effective ways of identifying the areas having noise pollution, can play an important role in controlling this pollution. Accordingly, interpolation approaches are an appropriate tool for identifying and evaluating areas with different pollution ranges. Although interpolation approaches are successful in zoning environmental parameters, they do not specify how these parameters change. In other words, they do not determine the type of spatial distribution patterns of these parameters. Therefore, spatial statistical methods are a suitable tool for determining the spatial distribution patterns of environmental parameters. In recent years, spatial statistical approaches have been widely used in the environmental sciences, and in recent studies, researchers have used the capabilities of these methods to identify and examine the spatial correlation of homogeneous areas. Hence, the purpose of this study is to investigate and evaluate the spatial correlation patterns of noise pollution in the central part of Zayandeh-Rood watershed using spatial statistical approaches.

**Materials and Methods:** The research area is the central part of Zayandeh-Rood watershed, which is located between 32°19' to 32°56' north latitudes and 51°12' to 51°59' east longitudes, and includes parts of Isfahan, Shahinshahr, KhomeiniShahr, Najafabad and Falavarjan. This region covers an area of 1181 Km<sup>2</sup>. The average annual temperature in this region is 16.7 °C and the average rainfall is 116.9 mm. This region, like other areas of Isfahan province, has a traffic problem due to the uncontrolled increase of personal vehicles, which has caused people to turn to highways and sidewalks to avoid traffic. The problem of traffic in this region lies in the lack of proper infrastructure to control urban and suburban transportation.

In this research, to evaluate and zone noise pollution, 36 stations were randomly selected in the study area in the first place. Then, the sound pressure level was measured at certain hours of the week using the Bruel & Kjaer sound level meter while observing the principles of noise measurement including distance from building, the stability of sound meter at a certain height, and reduction of the error caused by vibration of air molecules. In the next step, spatial correlation patterns of noise pollution were evaluated using spatial statistical approaches including Global Moran Index, Hotspot analysis, Anselin Local Moran's I, and Cluster/Outlier Analysis with Rendering. In the end, the spatial accuracy of the prepared maps was investigated using Receiving Operator Characteristic (ROC) for different approaches. In order to evaluate the spatial accuracy by this index, in addition to the map obtained from different approaches of spatial statistics, a reference map is also needed. In this study, one third of the points used for noise pollution zoning were randomly selected and were used as the reference map to assess the spatial accuracy of the maps obtained from the previous step.

**Results and Discussion:** The result of noise pollution zoning in the study area indicated that the noise intensity changes range from 47.59 to 77.48 decibels. According to the noise pollution zoning map, the highest noise level belongs to the eastern and northern parts of the region. These areas include important urban areas, such as Isfahan, Khomeini-Shahr, Shahinshahr and Najafabad. The southern and central part of the study area, which has a high density of agricultural lands and green spaces, has a lower noise level. This issue has an effect on the results of spatial correlation assessment of noise pollution in the target area; areas with high noise pollution levels follow the correlation pattern of high clusters, while the areas with low noise pollution involve a low clustering pattern. The application of the Receiving Operator Characteristic (ROC) showed that the Hot-spot analysis approach has higher accuracy than the other two approaches in evaluating the spatial correlation patterns of noise pollution. The area under ROC revealed that the Hotspot analysis approach is more than 96% reliable in identifying focal areas with high noise pollution. Given that the probability for the other two approaches is 92% and 89%, respectively, and considering that the rate of the area under the ROC is very close to 1, the efficiency of these two approaches in identifying and determining areas with noise pollution is acceptable. Furthermore, considering the Receiving Operator Characteristic (ROC) of all three methods, the accordance degree of these methods with ground reality is spatially high.

**Conclusion:** The results of this study revealed that evaluating the accuracy of different approaches in examining the distribution patterns of various phenomena (such as noise pollution) has an effective role in planning and scientific management of the land based on the land-use planning principles. According to the findings of this study, the simultaneous study of the spatial statistical approaches provides a fuller understanding of how noise pollution is distributed in the study area.

**Keywords:** Global Moran, Hot-Spot analysis, Noise pollution, Receiving operator characteristic curve, Spatial correlation patterns.

**Citation:** Ildoromi, A. & Abdollahi, S. (2022). Application of spatial statistics in evaluating the spatial correlation patterns of noise pollution in the central part of Zayandeh-Rood watershed. *Integrated Watershed Management*, 1(2), 35-46. doi: 10.22034/iwm.2022.250825

### Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



## کاربرد آمار فضایی در ارزیابی الگوهای همبستگی مکانی آلودگی صوتی در قسمت مرکزی حوزه آبخیز زاینده‌رود

علیرضا ایلدرمی<sup>۱</sup> و صدیقه عبداللهی<sup>۲\*</sup>

۱- دانشیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

۲- دکتری آمایش محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

\*نویسنده مسئول: baharabdollahi94@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۷

### چکیده

آلودگی صوتی به‌عنوان یکی از مهمترین آلاینده‌های محیط‌زیست اثرات بالقوه‌ای بر سلامت انسان دارد. ارزیابی الگوهای همبستگی مکانی صوت به درک بهتر چگونگی اثرگذاری آلودگی صوتی بر رفاه و سلامت جامعه کمک می‌کند. از این‌رو در این مطالعه، پس از پهنه‌بندی آلودگی صوتی در قسمت مرکزی حوزه آبخیز زاینده‌رود، با استفاده از رویکردهای آمار فضایی شامل تحلیل موران جهانی، تحلیل انسلین موران محلی، تحلیل نقاط داغ (گیتس- اردجی) و تحلیل خوشه و ناخوشه رندرینگ الگوهای همبستگی مکانی آلودگی صوتی ارزیابی شد و در پایان با استفاده از منحنی شاخص عملکرد، صحت مکانی رویکردهای مورد استفاده، بررسی شد. نتایج نشان داد تغییرات همبستگی مکانی پهنه‌های با آلودگی صوتی دارای همبستگی مثبت و الگوی خوشه‌ای است. بر این اساس پهنه‌های با آلودگی صوتی زیاد دارای الگوی خوشه‌ای بالا است و بخش‌های شرقی و شمالی منطقه‌ی مطالعاتی را شامل می‌شود. در حالی که پهنه‌های با آلودگی صوتی کم، دارای الگوی خوشه‌ای پایین است و قسمت‌های جنوبی و مرکزی منطقه‌ی مطالعاتی را در بر می‌گیرد. ارزیابی صحت مکانی الگوهای همبستگی مکانی آلودگی صوتی نشان داد که بیشترین میزان سطح زیر منحنی مربوط به روش تحلیل نقاط داغ (۰/۹۶) و کمترین میزان آن مربوط به روش تحلیل خوشه و ناخوشه رندرینگ (۰/۸۹) است. به‌طور کلی، رویکرد تحلیل نقاط داغ نسبت به دو روش دیگر از صحت مکانی بیشتری برخوردار است و نمودار مشخصه‌ی عملکرد، معیار مناسبی برای ارزیابی صحت مکانی رویکردهای مبتنی بر آمار فضایی است. نتایج این مطالعه می‌تواند به مدیران و برنامه‌ریزان سرزمین برای هم‌سو کردن استراتژی‌های مدیریتی در کاهش آلودگی صوتی کمک کند.

واژه‌های کلیدی: آلودگی صوتی، الگوهای همبستگی مکانی، تحلیل نقاط داغ، موران جهانی، نمودار مشخصه‌ی عملکرد.

استناد: ایلدرمی، ع. و عبداللهی، ص. (۱۴۰۰). کاربرد آمار فضایی در ارزیابی الگوهای همبستگی مکانی آلودگی صوتی در قسمت مرکزی حوزه آبخیز زاینده‌رود. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۱(۲)، ۳۵-۴۶.

### حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به‌صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

## مقدمه

آلودگی صوتی یک مسئله‌ی محیط‌زیستی است که هم‌راستا با آلودگی هوا، خاک و آب سلامت جامعه انسانی و بقای سایر موجودات زنده را تهدید نموده و به‌عنوان یکی از معیارهای مهم در تعیین سطح کیفیت زندگی در کشورهای جهان به‌شمار می‌رود (Kim & Berg, 2010; Majidi & Khosravi, 2016). از این‌رو آلودگی صوتی در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه مورد توجه قرار گرفته و قوانینی برای کاهش و رفع این آلودگی تدوین و اجرا شده است (Sayadi & Anari, 2014).

آلودگی صوتی برای سلامت عمومی جامعه خطرناک است و به بوم‌شناسی محیط نیز آسیب می‌رساند. از این‌رو هم برای محدود کردن آلودگی از منشأ و هم برای کاستن سایر پیامدهای آن، کنترل متناوب آن ضروری است (Singh et al., 2018). امروزه کوچک‌ترین جزئی از زندگی بشر را نمی‌توان یافت که آلودگی صوتی به آن راه نیافته باشد. این آلودگی از بین سایر آلودگی‌های زیست‌محیطی به‌دلیل بروز آثار فیزیولوژیک و روانی بر انسان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Fathi & Najafabadi et al., 2007). از دیدگاه غیرانسان محور، آلودگی صوتی بر حیوانات و گیاهان نیز آثار مخربی بر جای می‌گذارد و در موارد زیادی رشد و تولیدمثل این موجودات را به خطر می‌اندازد (Sordello et al., 2019). پیامدهای آلودگی صوتی بر سلامت انسان فوری و به‌صورت مستقیم بروز نمی‌کند. پیامدهای فیزیولوژیکی و روانی آلودگی صوتی به‌صورت تدریجی بروز نموده و در درازمدت با تأثیر بر سیستم عصبی انسان، کاهش سلامت عمومی و افت شنوایی را در پی دارد (Sayadi & Anari & Movafagh, 2014). بدن انسان در برابر آلودگی صوتی با افزایش ترشح هورمون آدرنالین واکنش نشان می‌دهد که این امر تغییر ضربان قلب و فشار خون

و به‌دنبال آن بدخلقی، خشونت و کاهش تمرکز حواس را به‌دنبال دارد (Clark et al., 2012).

منابع گوناگونی همچون افزایش شهرنشینی، حمل و نقل، ناهمگونی مکانی انواع کاربری زمین و برنامه‌ریزی نادرست باعث افزایش آلودگی صوتی می‌شود (Ajoku & Amadi-Wali, 2019). از این‌رو ارزیابی و پهنه‌بندی آلودگی صوتی می‌تواند به‌عنوان یکی از راه‌های شناسایی پهنه‌های آلوده در کنترل این آلودگی نقش مهمی ایفا کند (Khayam et al., 2019).

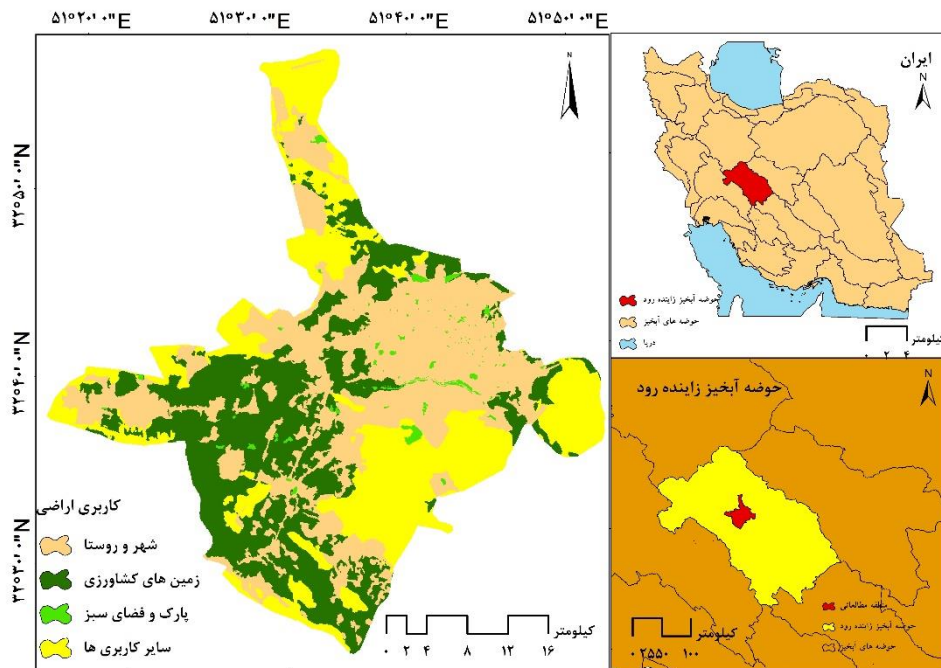
Sayadi Anari و Movafagh (۲۰۱۴) در مطالعه خود به‌منظور ارزیابی آلودگی صوتی شهر بیرجند از سیستم اطلاعات مکانی و رویکردهای آماری استفاده نموده و دریافتند که شدت تراز صوت برای مناطق مسکونی از حد استاندارد ملی بالاتر است. Khayami و همکاران (۲۰۱۹) برای ارزیابی و پهنه‌بندی بزرگراه وکیل‌آباد شهر مشهد از رویکرد درون‌یابی وزن‌دهی معکوس استفاده کردند و دریافتند که میانگین تراز صوت در منطقه‌ی مطالعاتی از حد استاندارد ملی بالاتر است. Zannin و Sant-Ana (۲۰۱۱) نیز پس از پهنه‌بندی آلودگی صوتی در شهر کورتیبای برزیل دریافتند که در مناطقی با حجم کم ترافیک میزان شدت آلودگی صوتی به‌طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد.

هر چند رویکردهای درون‌یابی در پهنه‌بندی عوامل محیطی موفق عمل می‌کنند اما چگونگی تغییر و یا به‌عبارتی نوع الگوهای پراکنش مکانی این عوامل را مشخص نمی‌کنند (Miri et al., 2016). از این‌رو روش‌های مبتنی بر آمار فضایی ابزار مناسبی برای تعیین الگوهای پراکنش مکانی خصوصیات محیطی است. آمار فضایی، برای طیف گسترده‌ای از تحلیل داده‌ها همچون؛ تحلیل الگو<sup>۱</sup> (Rosenberg & Anderson, 2011)، تحلیل شکل<sup>۲</sup> (Possolo, 2016)، مدل‌سازی سطح<sup>۳</sup> (Lea & Harvey, 2015)، رگرسیون مکانی<sup>۴</sup>

محدوده‌ی مطالعاتی در حوزه آبخیز زاینده‌رود بین ۱۹' ۳۲° تا ۵۶' ۳۲° عرض شمالی و ۱۲' ۵۱° تا ۵۹' ۵۱° طول شرقی واقع شده است و بخش‌هایی از شهرستان‌های اصفهان، شاهین‌شهر، خمینی‌شهر، نجف‌آباد و فلاورجان را در برمی‌گیرد (شکل ۱). این منطقه دربرگیرنده مساحتی معادل ۱۱۸۱ کیلومتر مربع است. متوسط درجه حرارت سالانه این منطقه ۱۶/۷ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی آن ۱۱۶/۹ میلی‌متر است (Abdollahi *et al.*, 2019). این منطقه نیز همچون سایر مناطق استان اصفهان، به دلیل افزایش بی‌رویه وسایل نقلیه شخصی دارای معضل ترافیک است و این معضل امروزه، سبب شده است تا افراد برای دوری از ترافیک به بزرگراه‌ها و کنارگذرها روی آورند و اصلی‌ترین علت مشکل ترافیک این منطقه نبود زیرساخت‌های مناسب برای کنترل حمل و نقل درون و برون شهری است (Rahimi & Fakheran, 2015).

(Okunlola *et al.*, 2021; Takagi & Shimada, 2019; Levine, 2013) مقایسه‌ی آماری داده‌های مکانی (Menafoglio & Secchi, 2017) و مدل‌سازی آماری (Levine, 2013) کاربرد دارد. از سوی دیگر در جدیدترین روش‌های بررسی رفتار پدیده‌های محیطی، پژوهشگران به منظور شناسایی و بررسی همبستگی مناطق همگن از قابلیت این روش‌ها استفاده کرده‌اند (Amasha *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2017; Fu *et al.*, 2014). نشان‌دهنده‌ی افزایش توجه به این آمار فضایی در علوم محیطی است. از این‌رو هدف این مطالعه بررسی و ارزیابی الگوهای همبستگی مکانی آلودگی صوتی در قسمت مرکزی حوزه آبخیز زاینده‌رود با استفاده از رویکردهای آمار فضایی است.

## مواد و روش‌ها محدوده‌ی مطالعاتی



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده‌ی مطالعاتی در ایران و حوزه آبخیز زاینده‌رود

Figure 1- Geographical location of the study area in Iran and Zayandehrud watershed

Kjaer & مدل ۲۲۳۹ ساخت کشور دانمارک) شدت تراز صوت اندازه‌گیری شد. بدین منظور برای کالیبره کردن دستگاه صوت‌سنج از کالیبراتور (Bruel & Kjaer مدل

برای ارزیابی و پهنه‌بندی آلودگی صوتی در ابتدا ۳۶ ایستگاه در منطقه مطالعاتی به صورت تصادفی انتخاب گردید و سپس با استفاده از دستگاه صوت‌سنج (Bruel

(۲۰۱۶). این آماره به بررسی همبستگی مکانی بر اساس مکان پراکنش دو مقدار می‌پردازد. دامنه‌ی تغییرات این آماره بین ۱- تا ۱+ است. بر این اساس مقادیر معنی‌دار و بزرگ‌تر از صفر بیانگر همبستگی مثبت و الگوی خوشه‌ای و مقادیر معنی‌دار کوچک‌تر از صفر نشان‌دهنده‌ی همبستگی منفی و الگوی پراکنده است (Fang *et al.*, 2016). آماره‌ی موران جهانی ویژگی‌های یک پدیده را در کل منطقه مطالعاتی ارزیابی می‌کند. از این‌رو برای بررسی الگوهای پراکنش مکانی آلودگی صوتی از سه رویکرد انسلین موران محلی، تحلیل نقاط داغ و تحلیل خوشه و ناخوشه‌ی رندرینگ استفاده شد. تحلیل انسلین موران محلی، الگوی ارتباط فضایی یک پدیده‌ی مکانی را در محدوده‌ی همسایگی با دیگر پدیده‌ها ارزیابی می‌کند (Abdollahi *et al.*, 2019; Yuan *et al.*, 2018). تحلیل گیتس-اردجی خوشه‌های مکانی که از نظر آماری ارزش‌های بالا (نقاط داغ) و مقادیر کم (نقاط سرد) دارند را شناسایی می‌کند و برای هر ویژگی در کلاس ویژگی ورودی، مقادیر آماره Z، P-value و سطوح اطمینان برای کلاس خروجی ویژگی مورد نظر را محاسبه می‌کند (Jana & Sar, 2016). تحلیل خوشه و ناخوشه‌ی رندرینگ با به‌کارگیری عوارض مکانی وزن‌دهی‌شده، نقاط دارای مقادیر بالا و پایین که دارای پراکنش خوشه‌ای هستند و همچنین مقادیری با تفاوت ارزشی بالا (ناخوشه) را مشخص می‌کند. سپس با استفاده از تحلیل نقاط بحرانی-نقاط سرد نمره‌ی Z را در نتایج اعمال می‌کند (Figueroa-Alfaro & Tang, 2017). برای انجام این رویکردها در محیط نرم‌افزار GIS، نقشه‌ی پهنه‌بندی آلودگی صوتی از فرمت رستری به فرمت پلی‌گونی تبدیل شد. مجاورت مکانی پدیده‌های مورد بررسی از مفاهیم اساسی برای انجام رویکردهای مبتنی بر آمار فضایی است. برای تعیین مجاورت مکانی روش‌های مختلفی وجود دارد که از بین آن‌ها دو روش فاصله‌ی معکوس و مجاورت بر اساس حاشیه کاربرد بیشتری دارد (Abdollahi *et al.*, 2019; Bartaw *et al.*, 2013). در این مطالعه با توجه

(۴۲۳۱) استفاده شد. در تمامی مراحل اندازه‌گیری، دستگاه صوت‌سنج برای ثابت ماندن روی یک سه پایه به ارتفاع ۱۵۰ سانتی‌متر قرار گرفت و از یک اسفنج به‌منظور قرار گرفتن روی میکروفن دستگاه صوت‌سنج استفاده گردید. کاربرد این اسفنج برای جلوگیری از خطای ناشی از سر و صدای ایجاد شده توسط ارتعاش مولکول‌های هوا است. بر اساس استاندارد صوت ایزو ۱۹۹۶ دستگاه در فاصله‌ی ۳/۵ متری از ساختمان‌ها و دیواره‌های بتنی که باعث انعکاس صدا می‌شوند قرار گرفت (Zare *et al.*, 2016). برای بررسی تغییرات روزانه‌ی شدت تراز صوت در محدوده‌ی مطالعاتی، اندازه‌گیری این پارامتر در تمامی ایستگاه‌های اندازه‌گیری در ساعات مشخصی از روز (۹ صبح تا ۱۳ بعدازظهر) به‌منظور جلوگیری از بروز هر گونه خطا صورت گرفت. در میان روزهای هفته نیز اندازه‌گیری از شب تا چهارشنبه صورت گرفت و روزهای پنج‌شنبه و جمعه به‌دلیل تعطیل بودن و تأثیرگذاری در نتایج انتخاب نگردید. تمامی اندازه‌گیری‌ها به‌مدت چهار ماه از اول شهریور تا پایان آذرماه ۱۳۹۷ انجام شد. پس از پایان اندازه‌گیری شدت تراز صوت، موقعیت جغرافیایی نقاط مورد ارزیابی که با استفاده از GPS ثبت شده بود به همراه مقادیر شدت صوت اندازه‌گیری شده به محیط نرم‌افزار GIS وارد شد و با به‌کارگیری رویکرد درون‌یابی کریجینگ نقشه‌ی پهنه‌بندی آلودگی صوتی تهیه گردید.

**ارزیابی الگوهای همبستگی مکانی آلودگی صوتی**  
به‌منظور ارزیابی الگوهای همبستگی مکانی آلودگی صوتی از چهار رویکرد موران جهانی، انسلین موران محلی، تحلیل نقاط داغ (گیتس-اردجی) و تحلیل خوشه و ناخوشه‌ی رندرینگ استفاده شد. آماره موران جهانی عددی ارائه می‌دهد (به‌عنوان نمره استاندارد یا score-z) که با استفاده از آن می‌توان درجه پراکنده بودن یا متمرکز بودن پدیده‌ها یا داده‌های مکانی را اندازه‌گیری نمود (Aliabadi & Dadashi Roudbari, 2019).

به ماهیت واحدهای فضایی آلودگی صوتی نسبت به یکدیگر که به صورت لکه‌ای است از روش مجاورت بر اساس حاشیه استفاده گردید و بدین ترتیب برای ارزیابی الگوهای همبستگی مکانی آلودگی صوتی تنها پدیده‌هایی که دارای مرز مشترک بودند در تحلیل همسایگی استفاده شدند.

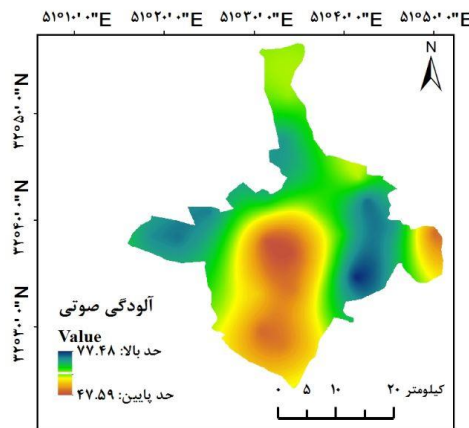
### ارزیابی صحت مکانی رویکردهای مورد بررسی

در این مرحله، با استفاده از منحنی مشخصه عملکرد، صحت مکانی نقشه‌ای تهیه شده با رویکردهای مختلف بررسی شد. بر اساس این روش، ارتباط بین پیکسل‌هایی که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند و پیکسل‌های نادرست بررسی می‌شود. در این روش، مقادیر سطح زیر منحنی مبنای ارزیابی دقت مدل است. هر چه مقدار سطح زیر منحنی به یک نزدیک‌تر باشد، صحت مکانی مدل مورد ارزیابی بیشتر و به حالت ایده‌آل نزدیک‌تر است؛ در

صورتی که مقادیر نزدیک به ۰/۵ نشان‌دهنده صحت مکانی پایین مدل است (Akbari et al., 2017). برای ارزیابی صحت مکانی با این نمودار، علاوه بر نقشه‌ی حاصل از رویکردهای مختلف آمار فضایی به یک نقشه‌ی مرجع نیز نیاز است که در این مطالعه یک‌سوم نقاط مورد استفاده برای پهنه‌بندی آلودگی صوتی به صورت تصادفی - سیستماتیک انتخاب گردید و به‌عنوان نقشه‌ی مرجع در ارزیابی صحت مکانی نقشه‌های حاصل از مرحله پیشین به کار رفت.

### نتایج

نتیجه‌ی پهنه‌بندی آلودگی صوتی در منطقه مطالعاتی در شکل ۲ آورده شده است. با توجه به این نقشه دامنه‌ی تغییرات شدت صوت بین ۴۷/۵۹ تا ۷۷/۴۸ دسی‌بل است.



شکل ۲- نقشه‌ی پهنه‌بندی آلودگی صوتی در محدوده‌ی مطالعاتی  
Figure 2- Map of noise pollution zoning in the study area

همبستگی مکانی و الگوی فضایی حاکم بین پدیده‌ها را مشخص می‌کند (جدول ۱ و شکل ۳).

آماره موران جهانی، پس از بررسی وضعیت همبستگی فضایی پدیده‌ها (شدت تراز صوت)، نوع

جدول ۱- مقدار همبستگی موران جهانی برای آلودگی صوتی محدوده‌ی مطالعاتی

Table 1- Global Moran correlation values for noise pollution of the study area

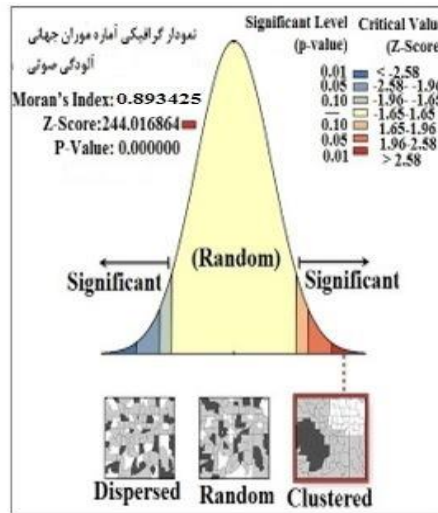
پدیده محیطی Environmental phenomenon	شاخص موران Moran Index	شاخص موران مورد انتظار Expected Moran Index	واریانس Variance	Z-score	p-value
کاهش آلودگی صوتی Reduction of noise pollution	0.893	-0.000001	0	6.712	0.0001

توزیع نرمال در فضا بود، آماره‌ی جهانی موران مقدار ۰/۰۰۰۰۰۱- را اختیار می‌نمود. به‌طور کلی نتایج بیانگر

مقدار شاخص موران جهانی برای آلودگی صوتی ۰/۸۹ و آماره‌ی Z ۶/۷۱ است. اگر آلودگی صوتی دارای

می‌شود که آلودگی صوتی در منطقه دارای الگوی خوشه‌ای است و به صورت تصادفی و پراکنده توزیع نشده است.

آن است که آلودگی صوتی در منطقه‌ی مطالعاتی دارای همبستگی مثبت است. بر اساس شکل ۳ که نتایج موران جهانی را به صورت گرافیکی نشان می‌دهد مشخص

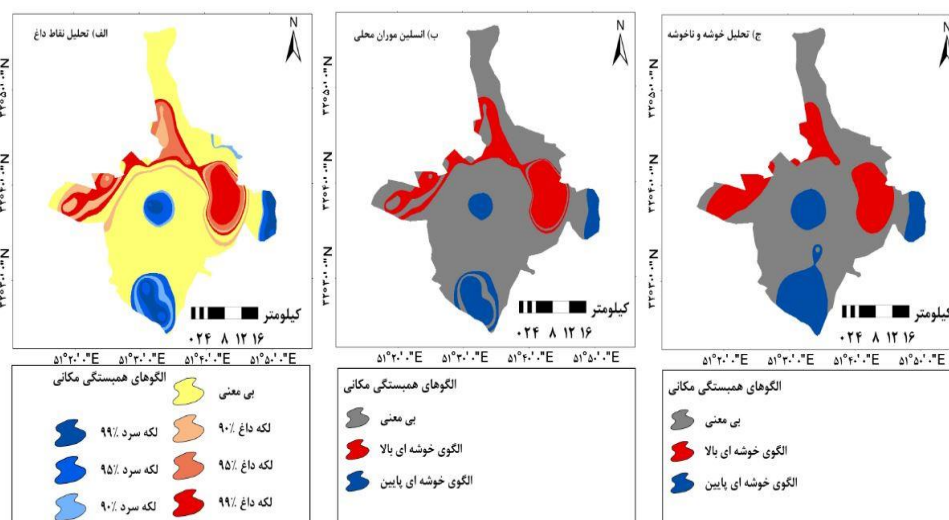


شکل ۳- نمودار گرافیکی آماره‌ی همبستگی موران جهانی

Figure 3- Graphic chart of global Moran correlation statistics

آلودگی صوتی است، در بخش‌های شرقی و شمالی منطقه‌ی مطالعاتی پراکنش دارد. پراکنش خوشه‌هایی با ارزش کم یا همبستگی مکانی منفی در بخش جنوبی منطقه دیده می‌شود. به خاطر ناهمگونی در پراکنش انواع کاربری‌ها در منطقه، سطح وسیعی از محدوده‌ی مطالعاتی از الگوی خاصی پیروی نکرده و از نظر آماری معنی‌دار نیست است.

آماره‌ی همبستگی موران جهانی، تنها نوع الگو را مشخص می‌کند. از این رو، پراکنش مکانی آلودگی صوتی با استفاده از رویکردهای انسلین موران محلی، تحلیل نقاط داغ و تحلیل خوشه و ناخوشه‌ی رندرینگ در شکل ۴ آورده شده است. با توجه به این شکل، خوشه‌های با ارزش بالا که نشان‌دهنده همبستگی مثبت پهنه‌ی دارای



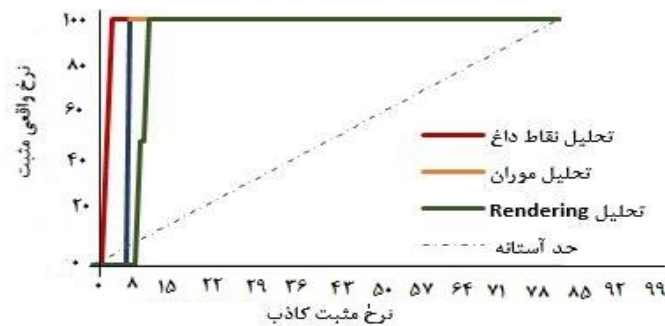
شکل ۴- الگوهای همبستگی مکانی آلودگی صوتی در منطقه‌ی مطالعاتی الف) تحلیل نقاط داغ، ب) انسلین موران محلی و

ج) تحلیل خوشه و ناخوشه‌ی رندرینگ

Figure 4- Spatial correlation patterns of noise pollution in the study area a) hotspot analysis, b) local Moran insulin and c) cluster and non-cluster analyses of rendering

مطالعه برای ارزیابی الگوهای همبستگی مکانی آلودگی صوتی از قابلیت مناسبی برخوردار هستند که این مسئله با توجه به مقادیر سطح زیر منحنی (جدول ۲) نیز تأیید می‌شود. بر این اساس تحلیل نقاط داغ دارای بیشترین مقدار سطح زیر منحنی است و تحلیل خوشه و ناخوشه‌ی رندرینگ کمترین مقدار زیر منحنی را دارد.

در گام پایانی صحت مکانی رویکردهای مورد بررسی با ارزیابی و با یکدیگر مقایسه شد (شکل ۵). بر اساس شکل ۵، تحلیل نقاط داغ دارای بیشترین فاصله از سطح آستانه است از این رو از دقت و صحت بالاتری نسبت به دو رویکرد دیگر دارد. از سوی دیگر، با توجه به فاصله دو رویکرد دیگر، هر سه رویکرد مورد بررسی در این



شکل ۵- نمودار مشخصه عملکرد آلودگی صوتی برای رویکردهای مورد بررسی  
Figure 5- Performance characteristic for the studied approaches

جدول ۲- مقادیر سطح زیر منحنی برای رویکردهای مورد بررسی

Table 2- Sub-curve surface values for the approaches under consideration

رویکردهای مورد بررسی Approaches examined	مقدار سطح زیر منحنی The amount of surface below the curve
تحلیل نقاط داغ Hotspot analysis	0.97
انسلین موران محلی Local Moran Insulin	0.92
تحلیل خوشه و ناخوشه رندرینگ Cluster and non-cluster analyses of Rendering	0.89

تراز صوت مربوط به مناطق شرقی و شمالی منطقه است. این مناطق در برگیرنده‌ی نواحی مهم شهری، همچون شهر اصفهان، خمینی شهر، شاهین شهر و نجف آباد است. بخش جنوبی و مرکزی منطقه‌ی مطالعاتی که تراکم زمین‌های کشاورزی و فضاهای سبز بالاست از شدت تراز صوت کمتری برخوردار است.

این مسئله بر نتایج ارزیابی همبستگی مکانی آلودگی صوتی در منطقه تأثیر داشته است به طوری که مناطقی با سطح آلودگی صوتی بیشتر از الگوی همبستگی خوشه‌ای بالا پیروی می‌کنند، در حالی که مناطق با آلودگی کم دارای الگوی خوشه‌ای پایین هستند. در

## بحث

آلودگی صوتی یک بحران محیط‌زیستی است و آثار زیان‌باری سلامت و رفاه جامعه دارد (Gelis-Corti *et al.*, 2016). از این رو ارزیابی الگوهای همبستگی مکانی آلودگی صوتی می‌تواند در ارائه راهکارهای کنترل و کاهش آن مؤثر باشد. در این مطالعه برای پهنه‌بندی آلودگی صوتی قسمت مرکزی استان اصفهان از روش معکوس فاصله استفاده شد. در این روش، به نقاط نزدیک به پدیده‌ی مورد بررسی وزن بیشتری نسبت به نقاط دورتر تعلق می‌گیرد (Miri *et al.*, 2016). با توجه به نقشه‌ی پهنه‌بندی آلودگی صوتی، بیشترین میزان

این‌راستا، Rahimi و Fakheran (۲۰۱۵) و Sakieh و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعات خود دریافتند که شرایط محیطی و نوع کاربری زمین نقش مهمی در میزان شدت تراز صوت دارد. بر اساس تحلیل نقاط داغ، مساحت لکه‌های داغ آلودگی صوتی حدود  $308/08$  کیلومتر مربع معادل با  $26/08$  درصد سطح منطقه مطالعاتی و مساحت لکه‌های سرد آلودگی (پهنه‌هایی با آلودگی کم)  $167/02$  کیلومتر مربع معادل با  $14/14$  درصد سطح محدوده‌ی مطالعاتی است. در حالی که مساحت پهنه‌هایی با الگوی خوشه‌ای بالا در دو رویکرد انسلین موران محلی و تحلیل خوشه و ناخوشه‌ی Rendering به ترتیب  $220/2$  ( $18/65$  درصد) و  $228/6$  ( $19/36$  درصد) کیلومتر مربع و مساحت پهنه‌هایی با الگوی خوشه‌ای پایین به ترتیب  $118/3$  ( $10/01$  درصد) و  $204/6$  ( $17/32$  درصد) کیلومتر مربع است. بر این اساس برای هر سه رویکرد مورد بررسی مناطق با آلودگی صوتی بالا (نقاط داغ و الگوهای خوشه‌ای بالا) دارای سطح بیشتری از منطقه‌ی مطالعاتی را نسبت به پهنه‌های با آلودگی کم در برمی‌گیرد که با توجه به سهم بالای مناطق و عناصر شهری همچون شبکه‌ی حمل و نقل گسترده در منطقه، کانون‌های دارای آلودگی صوتی بالا درصد بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند که نتایج مطالعات Sayadi Anari و Movafagh (۲۰۱۴) و Khayam و همکاران (۲۰۱۹) را تأیید می‌کند.

کاربرد نمودار مشخصه‌ی عملکرد نشان داد که رویکرد تحلیل نقاط داغ نسبت به دو رویکرد دیگر از صحت و دقت بالاتری برای ارزیابی الگوهای همبستگی مکانی آلودگی صوتی برخوردار است. آماره‌ی G در روش تحلیل نقاط داغ، نوعی امتیاز Z است. در این رویکرد امتیاز نهایی Z بر اساس مقایسه‌ی مجموع محلی یک پدیده و همسایه‌ی آن پدیده، به‌طور نسبی با جمع کل پدیده‌های اطراف برآورد می‌شود. از این‌رو، این رویکرد از قابلیت بالایی برای شناسایی الگوهای پراکنش مکانی پدیده‌ها برخوردار است (Abdollahi et al., 2019; Asadi & Karami, 2017; Nadian et al., 2018).

### نتیجه‌گیری کلی

ارزیابی الگوهای همبستگی مکانی آلودگی صوتی گامی مؤثر در بهبود مدیریت راه‌های کنترل و کاهش این آلودگی محیط‌زیستی است. در این مطالعه‌ی برای ارزیابی الگوهای همبستگی مکانی آلودگی صوتی در قسمت مرکزی حوزه آبخیز زاینده‌رود از رویکردهای مبتنی بر آمار فضایی استفاده شد و صحت و دقت رویکردهای مورد استفاده با بهره‌مندی از نمودار

پدیده‌های مختلف (همچون آلودگی صوتی) نقش مؤثری در برنامه‌ریزی و مدیریت علمی سرزمین و بر پایه‌ی اصول آمایش سرزمین دارد. بر اساس یافته‌های این مطالعه، بررسی همزمان رویکردهای مبتنی بر آمار فضایی درک کامل‌تری نسبت به چگونگی پراکنش آلودگی صوتی در محدوده‌ی مطالعاتی فراهم می‌کند. نتایج این رویکردها به همراه سایر داده‌های مکانی می‌تواند به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های اساسی تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی سرزمین مورد استفاده قرار گیرد. بر این اساس پیشنهاد می‌شود که ترکیبی از روش‌های مبتنی بر آمار فضایی برای ارزیابی الگوهای پراکنش آلودگی توسعه یابد.

مشخصه‌ی عملکرد ارزیابی شد. با توجه به الگوهای همبستگی مکانی آلودگی صوتی در محدوده‌ی مطالعاتی و انطباق لکه‌های داغ و سرد آلودگی در تحلیل نقاط داغ با خوشه‌های بالا و پایین آلودگی صوتی در دو رویکرد دیگر، راهکارهای مناسب برای ارزیابی اصول همجواری کاربری‌های مختلف در راستای کنترل و کاهش آلودگی صوتی فراهم می‌شود. بر این اساس نتایج این مطالعه می‌تواند به‌منظور شناسایی کانون‌های دارای آلودگی صوتی زیاد مورد استفاده‌ی برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران قرار گیرد.

نتایج این مطالعه نشان داد که ارزیابی دقت و صحت رویکردهای مختلف ارزیابی و بررسی الگوهای پراکنش

## References

- Abdollahi, S., Ildoromi, A., Salmanmahini, A. & Fakheran, S. (2019). Determination and quantification of the landscape aesthetic value in central part of Isfahan Province. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 7(4), 31-42. DOI: 10.29252/ijae.7.4.31. (In Persian)
- Abdollahi, S., Ildoromi, A., Salmanmahini, A. & Fakheran, S. (2021). Evaluating spatial patterns of ecosystem services based on a comparative approach on spatial statistics in the central part of Isfahan Province. *Geography and Environmental Sustainability*, 11(1), 41-54. DOI: 10.22126/ges.2021.5957.2326. (In Persian)
- Ajoku, B. C. & Amadi-Wali, O. (2019). Analysis of noise pollution levels across land use types in port-harcourt metropolis, rivers State, Nigeria. *IOSR Journal of Humanities and Social Science*, 24, 22-31. DOI: 10.9790/0837-2410092231.
- Akbari, E., Darvishi Bolorani, A. & Neysani Samani, N. (2017). Landslide susceptibility mapping using fuzzy-analytic network process. *RS & GIS for Natural Resources*, 8(3), 73-88. (In Persian)
- Aliabadi, K. & Dadashi Roudbari, A. A. (2016). Assessing changes patterns of spatial autocorrelation of maximum temperature of Iran. *Arid Regions Geographic Studies*, 6(21), 86-104. (In Persian)
- Amasha, A., El-Magd, I. A. & Ali, E. (2018). Geospatial auto-correlation statistical analysis to evaluate the seismic magnitudes and its implications on the Mediterranean coastal zone of Egypt. *Physical Science International Journal*, 20(3), 1-15. DOI: 10.9734/PSIJ/2018/46208.
- Asadi, M. & Karami, M. (2017). Representation of Temperature Variability in Fars Province Using Spatial Statistics. *Geographical Research*, 32(1), 64-75. (In Persian)
- Bartaw, I., Hajinezhad, A., Asgary, A. & Goli, A. (2013). Pattern analysis on Residential burglary by Exploratory Spatial Data Analysis (ESDA), Case study: Zahedan city. *Strategic Research on Social Problems in Iran*, 2(2), 1-23. DOI: 20.1001.1.23221453.1392.2.2.1.7. (In Persian)
- Clark, C., Crombie, R., Head, J., van Kamp, I., van Kempen, E. & Stansfeld, S. A. (2012). Does traffic-related air pollution explain associations of aircraft and road traffic noise exposure on children's health and cognition? A secondary analysis of the United Kingdom sample from the RANCH Project. *American Journal of Epidemiology*, 176(4), 327-337. DOI: 10.1093/aje/kws012.
- Fallah Galharei, Gh. & Asadi, M. (2018). An Assessment of Spatial-temporal Alteration of Sunshine Hours in Iran. *Journal of Geography and Planning*, 22(64), 229-246. (In Persian)
- Fang C., Wang, Z. & Xu, G. (2016). Spatial-temporal characteristics of PM<sub>2.5</sub> in China: A city-level perspective analysis. *Journal of Geographical Sciences*, 26(11), 1519-1532. DOI: 10.1007/s11442-016-1341-9.

- Figueroa-Alfaro, R. W. & Tang, Z. (2017). Evaluating the aesthetic value of cultural ecosystem services by mapping geo-tagged photographs from social media data on Panoramio and Flickr. *Journal of Environmental Planning and Management*, 60(2), 266-281. DOI: 10.1080/09640568.2016.1151772.
- Fathi Najafabadi, L., Esmaili Sari, A. & Ghasempouri, M. (2007). Comparative study of the role of physical and biological barriers in reducing noise pollution between Nur Forest Park and Si-Sangan Forest Park, Nur. Iran, *Journal of Environmental Sciences and Technology*, 9(1), 79-86. (In Persian)
- Fu, W. J., Jiang, P. K., Zhou, G. M. & Zhao, K. L. (2014). Using Moran's, I and GIS to study the spatial pattern of forest litter carbon density in a subtropical region of southeastern China. *Biogeosciences*, 11, 2401-2409. DOI: 10.5194/bg-11-2401-2014.
- Giles-Corti, B., Vernez-Moudon, A., Reis, R., Turrell, G., Dannenberg, A. L., Badland, H., Foster, S., Lowe, M., Sallis, J. F. & Stevenson, M., (2016). City planning and population health: A global challenge. *Lancet*, 388, 2912-2924. DOI: 10.1016/S0140-6736(16)30066-6.
- Jana, M. & Sar, N. (2016). Modeling of hotspot detection using cluster outlier analysis and Getis-Ord  $G_i^*$  statistic of educational development in upper-primary level, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2, 60. <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0122-x>.
- Khayami, E., Mohammadi, M., Bahadori, M., Hasani, F. & ghorbani, A. (2019). Evaluation and Zonation of Noise Pollution in Vakil-Abad Highway, Mashhad. *Journal of Natural Environment*, 72(1), 73-83. (In Persian)
- Kim, R. & Berg, M. V. D. (2010). Summary of night noise guidelines for Europe, *Noise and Health*, 12, 47-61. DOI: 10.4103/1463-1741.63204.
- Lea, J. D. & Harvey, J. T. (2015). Using spatial statistics to characterize pavement properties, *International Journal of Pavement Engineering*, 16(3), 239-255. Doi: 10.1080/10298436.2014.942856.
- Levine, N. (2013). *Crime Stat IV: A Spatial Statistics Program for the Analysis of Crime Incident Locations, Version 4.0*. Washington, DC, The National Institute of Justice, <http://dx.doi.org/10.3886>.
- Li, Y., Zhang, L., Yann J., Wang, P., Hu, N., Cheng, W. & Fu, B. (2017). Mapping the hotspots and cold spots of ecosystem services in conservation priority setting. *Journal of Geographical Sciences*, 27(6), 681-696. DOI: 10.1007/s11442-017-1400-x.
- Majidi, F. & Khosravi, Y. (2016). Pollution evaluation of city center of Zanjan by geographic information system (GIS). *Iranian Journal of Health and Environment*, 9(1), 91-102 (In Persian)
- Menafoglio, A. & Secchi, P. (2017). Statistical analysis of complex and spatially dependent data: A review of object oriented spatial statistics. *European Journal of Operational Research*, 258(2), 401-410. Doi: 10.1016/j.ejor.2016.09.061.
- Miri, M., Ghaneian, M. T., Gholizadeh, A., Yazdani Avval, M. & Nikoonahad, A. (2016). Assessment of spatial analysis methods in mapping of air pollution in mashhad. *Journal of Environmental Health Engineering*, 3(2), 143-154. (In Persian)
- Nadian, M., Mirzaei, R. & Soltani Mohammadi, S. (2018). Application of moran'si autocorrelation in spatial-temporal analysis of PM2.5 pollutants (a case study: tehran city). *Journal of Environmental Health Engineering*, 5(3), 197-213. DOI: 10.29252/jehe.5.3.197. (In Persian)
- Okunlola, O. A., Alobid, M., Olubusoye, O. E., Ayinde, K., Lukman, A. F. & Szucs, I. (2021). Spatial regression and geostatistics discourse with empirical application to precipitation data in Nigeria, *Scientific Reports*, 11(1), 16848. Doi: 10.1038/s41598-021-96124-x.
- Pirali, A., Hedayati, A., Pourmanafi, S., Beyraghdar Kashkooli, O. & Ghorbani, R. (2019). Investigation of changes of spatial autocorrelation patterns of chlorophyll-a in Choghakhor International wetland using hot spots index ( $G_i^*$ ) and remote sensing. *Iran Science Fisheries Journal*, 28(1), 155-164. DOI: 10.22092/isfj.2019.118978. (In Persian)
- Possolo, A. (2016). Spatial statistics: Marks, maps, and shapes. *Quality Engineering*, 28(1), 69-90. DOI: 10.1080/08982112.2015.1100457.

- Rahimi, M. & Fakheran, S. (2015). Investigation of SPL sound pressure level variability along natural-urban gradient (Case study: Central part of Isfahan province). *International conference on sustainable development, strategies and challenges with a focus on Agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism*, 24-26 Feb 2015, Tabriz, Iran. (In Persian)
- Rosenberg, M. S. & Anderson, C. D. (2011). PASSaGE: pattern analysis, spatial statistics and geographic exegesis, version 2. *Methods in Ecology and Evolution*, 2, 229-232. DOI: 10.1111/j.2041-210X.2010.00081.x.
- Saeidi, S., Mohammadzadeh, M., Salmanmahini, A. & Mirkarimi, S. H. (2017). Performance evaluation of multiple methods for landscape aesthetic suitability mapping: A comparative study between Multi-Criteria Evaluation, Logistic Regression and Multilayer Perceptron neural network. *Land Use Policy*, 67, 1-12. Doi: 10.1016/j.landusepol.2017.05.014.
- Sakieh, Y., Jaafari, Sh. 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 & Urban Greening*, 24, 195-211. Doi: 10.1016/j.ufug.2017.04.008.
- Sayadi Anari, M. & Movafagh, A. (2014). Environmental Noise Pollution Level at Birjand City Using Statistical and GIS Techniques. *Journal of Environmental Studies*, 40(3), 693-710. DOI: 10.22059/jes.2014.52214. (In Persian)
- Singh, D., Kumari, N. & Sharma, P. (2018). A review of adverse effects of road traffic noise on human health. *Fluctuation and Noise Letters*, 17(1), 1-12. doi.org/10.1142/S021947751830001X.
- Sordello, R., Flamerie De Lachapelle, F., Livoreil, B. & Vanpeene, S. (2019). Evidence of the impact of noise pollution on biodiversity: a systematic map. *Environmental Evidence*, 8(8). Doi: 10.1186/s13750-019-0146-6.
- Takagi, D. & Shimada, T. (2019). A Spatial regression analysis on the effect of neighborhood-level trust on cooperative behaviors: comparison with a multilevel regression analysis. *Frontiers in Psychology*, 10. doi: 10.3389/fpsyg.2019.02799.
- Torkashvand, M. (2017). Detection of heat islands over Arak city based on spatial auto correlation analysis. *Quarterly Journal of Environmental Based Territorial Planning*, 9(35), 123-148. (In Persian)
- Yuan, Y., Cave, M. & Zhang, C. (2018). Using Local Moran's, I to identify contamination hotspots of rare earth elements in urban soils of London. *Applied Geochemistry*, 88, 167-178. Doi: 10.1016/j.apgeochem.2017.07.011.
- Zannin, P. H. T. & Sant-Ana, D. Q. (2011). Noise mapping at different stages of a freeway redevelopment project- A case study in Brazil. *Applied Acoustics*, 72(8), 479-486. Doi: 10.1016/j.apacoust.2010.09.014.
- Zare, S., Ahmadi, S. & Sarebanzadeh, K. (2018). *Principle of measurement in equivalent noise level and noise sources sound power based on: ISO 9612, ISO 3746*. Tehran, Fanavaran Press. (In Persian)