

Spatial Analysis and Risk-Based Zoning of Industrial Noise Exposure in Residential Areas Adjacent to the Kaveh Industrial Complex Using GIS, Saveh, Iran (2025)

Reza Nemati ^{*1}   , Mokhtar Mahdavi ²   , Narges Hakim i ³   , Nahid Rashidi ⁴   , Ali Vahedi Gandomani ⁴   

1. Assistant professor of Environmental Health Engineering, Department of Environmental Health, Saveh University of Medical Sciences, Saveh, Iran.
2. Ph.D of Environmental Health Engineering, Head of Health Safety and Environment (HSE) Department, Kermanshah Water and Wastewater Company, Kermanshah, Iran
3. M.Sc. in Environmental Health Engineering, Health Officer, Tehran Provincial Office of Education, Ministry of Education, Tehran, Iran.
4. B.Sc in Environmental Health Engineering, Student Research Committee, Saveh University of Medical Sciences, Saveh, Iran,

Received: 2025/07/22

Accepted: 2025/08/30

Abstract

Introduction: The Kaveh Industrial Estate spans 3,000 hectares near Saveh and operates continuously. A residential area housing over 2,500 inhabitants is situated directly adjacent to it. Assessing and mapping environmental noise exposure is critical for understanding exposure levels and supporting urban planning and environmental management. This study aimed to evaluate and spatially analyze noise pollution in the adjacent residential zone during the fall and winter of 2024–2025.

Materials and Methods: Following a preliminary assessment based on ISO 1996-1:2016 guidelines, 49 measurement locations were selected. The equivalent continuous A-weighted sound pressure level (Leq) was measured at each site using a TES-1358 sound level meter. Data were processed in Excel and analyzed spatially using ArcGIS Pro.

Results: Spatial analysis revealed that 88% of the residential area exceeded 65 dB during the day, and 96% exceeded 55 dB at night. The mean Day-Night Sound Level (DNL) was 71 dB. Only a minimal portion of the area exhibited nighttime levels near or below the 45 dB permissible limit.

Conclusion: The findings indicate that the residential area adjacent to Kaveh Industrial Estate is exposed to noise levels exceeding standard limits in most locations, particularly at night when sound levels in many zones surpassed 65 dB. The uneven spatial distribution of noise indicates the influence of local sources and a lack of effective sound barriers. These results underscore the need for environmental reconsideration of industrial areas and the implementation of control measures such as noise walls, green buffers, nighttime operation limits, and continuous monitoring.

***Corresponding Author:** Reza Nemati

Address: Saveh University of Medical Sciences, Shahid Fahmideh Blvd, Shahid Chamran bridge pass, Shahid Beheshti Blvd, Saveh, Iran, P.O. Box: 3919953649

Tel: +988648503172

E-mail: Reza.nemati84@gmail.com

Keywords Spatial Analysis, Geographic Information Systems (GIS), Industrial Noise Pollution, Risk Zoning, Residential Area, Kaveh Industrial Estate, Saveh

How to cite this article: Nemati R, Mahdavi M, Hakimi N, Rashidi N, Vahedi Gandomani A., Spatial Analysis and Risk-Based Zoning of Industrial Noise Exposure in Residential Areas Adjacent to the Kaveh Industrial Complex Using GIS, Saveh, Iran (2025) Journal of Sabzevar University of Medical Sciences, 2026; 32(6):671-685. DOI: 10.30468/jsums.2026.8194.3307.

Introduction

Noise pollution is a growing environmental health concern in both developed and developing countries, adversely affecting human health, social well-being, and quality of life. While occupational noise exposure is well-documented, the burden on residential areas adjacent to industrial zones has received less attention in Iran. Chronic exposure to elevated noise levels has been linked to physiological and psychological disturbances, including hearing impairment, sleep disorders, annoyance, cardiovascular stress, and reduced cognitive performance. The World Health Organization (WHO) recommends that average sound levels in residential areas should not exceed 55 dB(A) during the day and 45 dB(A) at night to protect human health.

The Kaveh Industrial Estate, located approximately 10 km northeast of Saveh and 120 km southwest of Tehran, spans nearly 3,000 hectares. It is one of the largest industrial estates in Iran. A residential neighborhood of about 111 hectares, housing over 2,500 residents, lies directly north of the industrial estate. Given the industry's continuous 24-hour operations and the lack of physical barriers or substantial buffer zones, this community is at significant risk of exposure to industrial noise. Despite clear public health implications, systematic assessments of environmental noise in such settings are scarce in Iran. Therefore, the present study was designed to evaluate the spatial distribution and severity of environmental noise in the residential area adjacent to the Kaveh Industrial Complex using field measurements and GIS-based spatial analysis.

Methodology

This descriptive cross-sectional study was conducted in winter 2025 (February) in the 111-hectare residential area north of the Kaveh Industrial Estate in Saveh, Iran. A preliminary pilot study at eight random points across six time intervals informed the final sampling strategy. Based on ISO 1996-1:2016 and Iranian standards (approximately one station

per 5 hectares), 50 measurement stations were systematically distributed across northern, central, and southern zones.

At each station, the equivalent continuous sound level (L_{eq}) was measured for 15 minutes during three daytime periods (morning, afternoon, evening) using a calibrated TES-1358 sound level meter (A-weighting, slow response). Measurements were taken under free-field conditions, 1.3 meters above ground level, with wind shields and away from reflective surfaces. GPS coordinates were recorded for each point.

Data from the 49 final stations (1 excluded due to instrumentation error) were processed in Microsoft Excel. Spatial analysis and interpolation were performed in ArcGIS Pro using the Inverse Distance Weighting (IDW) method. Separate noise contour maps were generated for daytime (L_d : 07:00–22:00), nighttime (L_n : 22:00–07:00), and the Day-Night Average Level (DNL). A differential map ($L_n - L_d$) was also created to analyze nocturnal noise attenuation.

Results

Spatial analysis confirmed significant noise pollution. The daytime noise map (L_d) indicated that over 88% of the area exceeded 65 dB, far above the 55 dB standard. The highest intensities (75–85 dB) were concentrated in the northeast. The nighttime map (L_n) revealed a more critical situation: 96% of the area exceeded 55 dB, with no zones below the 45 dB threshold. Substantial zones, particularly in the east and center, recorded nighttime levels from 65 to 76 dB.

The frequency distribution of Day-Night Average Sound Level (DNL) measurements indicated that the majority of the 49 monitoring stations recorded levels between 69 and 78 dB(A), with a mean DNL of 71 dB and a median of 72 dB. Only three stations recorded DNL values below 59 dB(A), indicating widespread chronic exposure to elevated noise levels throughout the neighborhood. The differential map ($L_n - L_d$) showed a highly variable nocturnal attenuation

of 3 to 15 dB across the area, insufficient in many zones to reduce exposure to acceptable levels.

Discussion

This study confirms that the residential area bordering the Kaveh Industrial Complex is subject to severe and chronic environmental noise pollution, with levels exceeding permissible standards both during the day and at night. The nocturnal exposure is particularly alarming, reaching up to 76 dB in many areas—31 dB above the WHO nighttime guideline.

The heterogeneous spatial distribution, characterized by clear acoustic "hotspots" nearest the industrial facilities, underscores the impact of localized sources and the absence of effective noise mitigation infrastructure. These results are consistent with the findings of previous studies in Iran and globally, which have documented elevated noise levels in urban and industrial areas. Utilizing GIS combined with IDW interpolation provided a detailed visual representation of noise exposure, which was critical for pinpointing areas in need of targeted intervention.

From a public health perspective, the documented exposure is concerning. WHO guidelines associate long-term exposure to DNL values above 70 dB with increased risks of hypertension, cardiovascular disease, and sleep disorders. Given that most of the measurement stations in this study recorded DNL values above this threshold, resident health is potentially at significant risk.

Conclusion

This study provides clear evidence of pervasive noise pollution in the residential community adjacent to the Kaveh Industrial Complex, with levels consistently surpassing safety standards. The majority of the neighborhood experiences noise levels far exceeding national and international safety

thresholds for both daytime and nighttime periods. GIS-based spatial analysis effectively identified high-risk zones, particularly in the eastern and northeastern sectors, underscoring the importance of targeted mitigation efforts and intervention.

The results highlight an urgent need for comprehensive noise management. Recommended measures include:

1. Installing engineered acoustic barriers (noise walls) between industrial and residential areas.
2. Establishing dense green buffer zones to provide natural sound attenuation.
3. Implementing policies to restrict nighttime industrial operations in noise-sensitive zones, especially during nighttime hours.
4. Enforcing updated and stricter noise emission regulations for industries in mixed-use environments.
4. Enforcing updated and stricter noise emission regulations for industries in mixed-use environments to ensure compliance and accountability among industrial operators
5. Developing a real-time environmental noise monitoring network to inform urban policy and planning.

Urban planning for industrial cities must integrate environmental noise impact assessments as a standard component. The methodology and findings of this research provide a framework for policymakers and urban planners to design and implement effective noise mitigation strategies in similar settings.

Acknowledgment

The authors acknowledge the support of the Student Research Committee at Saveh University of Medical Sciences.

Conflicts of interests

The authors declare that there are no conflicts of interest related to this study.

تحلیل مکانی و پهنه‌بندی مبتنی بر ریسک مواجهه با صدای صنعتی در نواحی مسکونی مجاور مجتمع صنعتی کاوه با استفاده از GIS، ساوه، ایران (۲۰۲۵)

رضا نعمتی^{۱*}، مختار مهدوی^۲، نرگس حکیمی^۳،
ناهیدرشیدی^۴، علی واحدی گندمانی^۴

۱. استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی ساوه، ساوه، ایران
۲. دکتری مهندسی بهداشت محیط، رئیس گروه بهداشت ایمنی و محیط زیست، شرکت آب و فاضلاب استان کرمانشاه، کرمانشاه، ایران،
۳. کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، کارشناس مراقب سلامت، اداره کل آموزش و پرورش استان تهران، تهران، ایران.
۴. کارشناس بهداشت محیط، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی ساوه، ساوه، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۳۱

چکیده

زمینه و هدف: شهرک صنعتی کاوه با وسعت ۳۰۰۰ هکتار در نزدیکی ساوه، دارای ناحیه مسکونی با بیش از ۲۵۰۰ نفر جمعیت است که در مجاورت صنایع فعال شبانه‌روزی قرار دارد. این همجواری، ضرورت ارزیابی و پهنه‌بندی آلودگی صوتی را برای آگاهی از سطح مواجهه و حمایت از مدیریت شهری ایجاد می‌کند. این مطالعه باهدف سنجش و تحلیل مکانی آلودگی صوتی در زمستان ۱۴۰۳ انجام شد.

مواد و روش‌ها: پژوهش بر اساس استاندارد ISO 1996-1:2016 و پس از پیش مطالعه طراحی گردید. ۴۹ نقطه برای اندازه‌گیری تراز صوت انتخاب شد. در هر ایستگاه، تراز معادل پیوسته (Leq) با صداسنج TES-1358 ثبت و داده‌ها با نرم‌افزار Excel و ArcGIS Pro تحلیل گردید.

یافته‌ها: تحلیل مکانی نشان داد در روز ۸۸ درصد از مساحت ناحیه مسکونی در معرض تراز بالاتر از ۶۵ dB(A) و در شب ۹۶ درصد بالاتر از ۵۵ dB(A) قرار داشت. میانگین شاخص DNL برابر ۷۱ دسی‌بل محاسبه شد. تنها بخش کوچکی دارای شدت صدای کمتر از ۴۵ dB(A) در شب بود که با حدود مجاز تطابق داشت.

نتیجه‌گیری: نتایج بیانگر آن است که ناحیه مسکونی مجاور شهرک صنعتی کاوه در اغلب نقاط در معرض سطوحی فراتر از استانداردها قرار دارد، به‌ویژه در شب که بسیاری از نواحی بیش از ۶۵ dB(A) را تجربه می‌کنند. توزیع نامتوازن شدت صوت نشان‌دهنده نقش منابع محلی و نبود موانع صوتی مؤثر است. یافته‌ها لزوم بازنگری زیست‌محیطی شهرک‌های صنعتی و اجرای اقدامات کنترلی همچون دیوار صوتی، کمربند سبز، محدودیت فعالیت شبانه و پایش مستمر را نشان می‌دهد.

* نویسنده مسئول: رضا

نعمتی

نشانی: استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده ه علوم پزشکی ساوه، ساوه بلوار شهید فهمیده، گذر پل شهید چمران، بلوار شهید بهشتی، ساوه، ایران، صندوق پستی: ۳۹۱۹۹۵۳۶۴۹

تلفن: ۰۹۸۸۶۴۸۵۰۳۱۷۲+

رایانامه:

Reza.nemati84@gmail.com

شناسه ORCID:

0000-0001-6234-5862

شناسه ORCID نویسنده اول:

0000-0001-6234-5862

DOI:

10.30468/jsums.2026.8194.3307

کلیدواژه‌ها:

آلودگی صوتی صنعتی، پهنه‌بندی ریسک، تحلیل مکانی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، شهرک صنعتی کاوه- ساوه، منطقه‌ی مسکونی.

۱. مقدمه

آلودگی صوتی در جهان معضلی رو به رشد با پیامدهای نامطلوب بر سلامت و کیفیت زندگی است و در مناطق پرجمعیت کم برخوردار از آگاهی زیست محیطی، غالباً نادیده گرفته می شود [۱-۳]. طبق تعریف WHO، آلودگی صوتی مواجهه مداوم با صداهای فراتر از آستانه تحمل بدن است که پیامدهای جسمی و روانی دارد. صداهای 70dB در بلندمدت و 85dB حتی در کوتاه مدت برای شنوایی مضر گزارش شده اند [۴]. مواجهه کافی می تواند به آسیب گوش و ناشنوایی دائم بینجامد و عملکرد را مختل نماید [۳، ۵]. مطالعات، مواجهه مزمن با سطوح بالای صدا را با اختلال خواب، افزایش فشارخون، بیماری های قلبی عروقی، کاهش

عملکرد شناختی کودکان، استرس مزمن و افزایش خطر سکته مرتبط می دانند [۶].

بر مبنای رهنمودهای WHO، حد مجاز در محیط های صنعتی/تجاری/پرتراфик 70dB(A) و سطح ایمن عمومی 55dB(A) است [۷]. مقادیر مجاز در کشورمان برحسب کاربری تعیین شده (جدول ۱) و حساسیت بیشتر مناطق مسکونی در شب تصریح شده است [۸]. باوجود این استانداردها، در بسیاری از مناطق مسکونی، میزان آلودگی صوتی اغلب از این حدود مجاز فراتر می رود. این وضعیت ضرورت پایش و کنترل آلودگی صوتی را به وضوح نشان می دهد [۲، ۵].

جدول ۱. حد مجاز صدا در هوای ایران بر اساس نوع کاربری

ردیف	نوع منطقه	۷ صبح الی ۱۰ شب	۱۰ شب الی ۷ صبح
۱	مسکونی	۵۵	۴۵
۲	تجاری-مسکونی	۶۰	۵۰
۳	تجاری	۶۵	۵۵
۴	مسکونی-صنعتی	۷۰	۶۰
۵	صنعتی	۷۵	۶۵

باوجود این پیامدها، پژوهش های جامع در محیط های مسکونی/عمومی ایران محدود است و اغلب بر فضاهای شغلی یا کلان شهرها متمرکز بوده اند [۹]. کمبود داده های استاندارد، برنامه ریزی و کنترل مؤثر آلودگی صوتی را دشوار کرده و ضرورت مطالعات گسترده و بانک های داده منطبق با استانداردهای بین المللی را نشان می دهد [۱۰]. در سال ۱۴۰۰ مطالعاتی در کرج (با ۱۰۸ ایستگاه)، روند افزایشی تراز معادل نشان داد و پایش آنالیز و موانع آکوستیک را توصیه نمود [۱۱]. مطالعاتی دیگر در منطقه ۵ تهران (۶۱ ایستگاه)، میانگین برخی ایستگاه ها را بیشتر از 106dB(A) نشان داد که فراتر از استاندارد ملی است [۱۲].

در سال ۲۰۲۱، مطالعه ای در صفرانبولو کارابوک ترکیه، با هدف تعیین تأثیرات آلودگی صوتی (۴۷ ایستگاه) انجام شد. یافته ها حاکی از آن بود که قرارگیری طولانی مدت در معرض آلودگی صوتی اثرات نامطلوبی بر سلامت و کیفیت زندگی

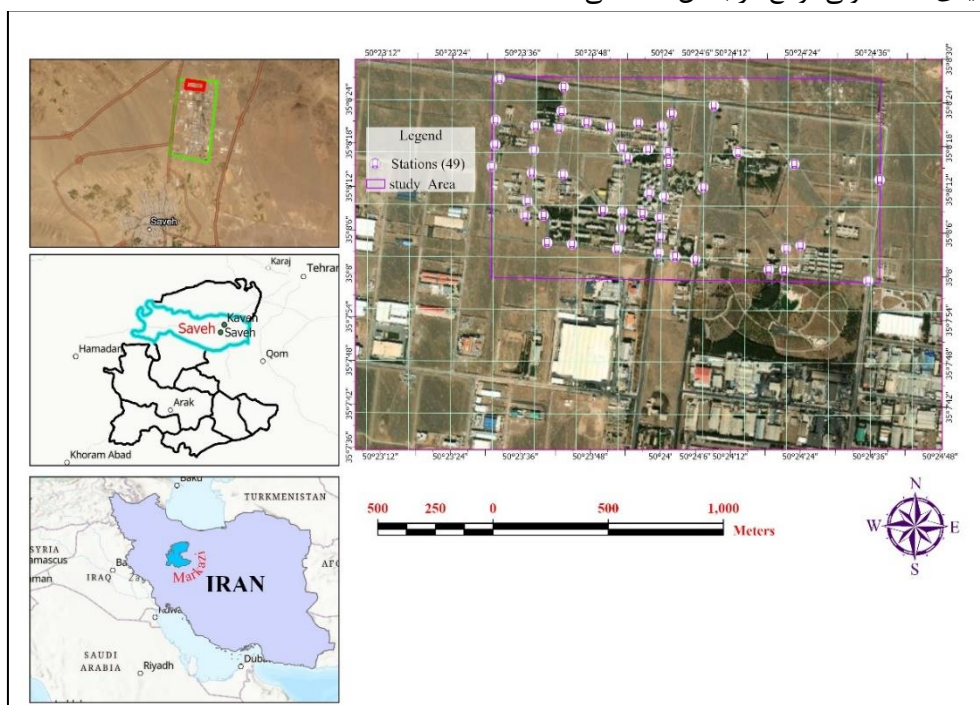
ساکنان داشته است [۱۳]. در سال ۲۰۱۵ مطالعه ای در مناطق انتخابی نایروبی کنیا نشان داد که میزان آلودگی صوتی بین ۶۱-۷۸ دسی بل متغیر بوده و بخش های شرقی نایروبی دارای بالاترین میزان آلودگی صوتی بود [۱۴]. مطالعه ای دیگری در سال ۲۰ در شهر کاشیاس دوسول واقع در جنوب برزیل نشان داد استفاده از ابزارهای محاسباتی برای تجزیه و تحلیل نویز برای آگاهی از اثرات زیست محیطی مهم است [۱۵].

با توجه به اینکه شدت و توزیع صدا تابع توپوگرافی، بازتاب سطوح، کاربری زمین، فاصله از منبع و تغییرات زمانی است؛ به کارگیری GIS و مدل سازی فضایی برای شناسایی مناطق پرخطر و تحلیل الگوها ضروری است [۱۳، ۱۴]. بر این اساس پژوهش حاضر با هدف تحلیل مکانی و پهنه بندی مواجهه با آلودگی صوتی صنعتی در نواحی مسکونی مجتمع صنعتی کاوه، بر پایه اندازه گیری میدانی و GIS انجام شده است تا نقاط حساس و منابع غالب شناسایی و مبنایی برای مدیریت و کاهش اثرات بر سلامت ساکنان فراهم شود.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱ منطقه‌ی مورد مطالعه

شهرک صنعتی کاوه، به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین مناطق صنعتی کشور، با بیش از ۶۰۰ واحد تولیدی در حوزه‌های مختلف صنعتی، در فاصله‌ای حدود ۱۲۰ کیلومتری جنوب غربی تهران و ۱۰ کیلومتری شمال شرقی شهرستان ساوه واقع شده است. با توجه به فعالیت شبانه‌روزی صنایع و مجاورت این شهرک با ناحیه‌ی مسکونی (واقع در بخش شمالی)،



شکل ۱. موقعیت مکانی منطقه‌ی مسکونی مورد مطالعه در شهرک صنعتی کاوه - ساوه

اندازه‌گیری، حداقل ۲۲ نقطه جهت مطالعه‌ی آلودگی صوتی در منطقه‌ی ذکر شده مورد نیاز است. با هدف افزایش دقت و شناسایی بهتر نواحی حساس و نقاط داغ آلودگی صوتی، با بررسی میدانی تعداد نقاط اندازه‌گیری به ۴۹ مورد افزایش یافت. موقعیت نقاط اندازه‌گیری در شکل ۱ مشخص شده است. برای اندازه‌گیری ترازهای فشار صوت در شبکه A، از دستگاه صداسنج مدل TES-1358 ساخت کشور تایوان و برای ثبت موقعیت جغرافیایی نقاط اندازه‌گیری از دستگاه GPS شرکت Garmin استفاده گردید. در ابتدای هر نوبت اندازه‌گیری، صحت عملکرد دستگاه صداسنج با کالیبراتور TES-13 و

۲.۲ روش اندازه‌گیری و کالیبراسیون دستگاه

به‌منظور پهنه‌بندی و تحلیل دقیق آلودگی صوتی، اندازه‌گیری در نقاط کلیدی منطقه مورد مطالعه به‌صورت کاتوره ای در بازه زمانی ۷ تا ۱۲، ۱۲ تا ۱۷، ۱۷ تا ۲۲، ۲۲ تا ۱ بامداد، ۱ تا ۴ و ۴ تا ۷ صبح (بازه‌های زمانی مختلف، شامل ساعات غیر روز، دوره‌های اوج فعالیت‌های صنعتی و فواصل زمانی شبانه) انجام شد. مطابق با استاندارد ISO 1996-1:2016 [۱۶]، برای پوشش مناسب مناطق با کاربری متنوع، نقاط اندازه‌گیری باید به‌گونه‌ای توزیع شوند که تمامی منابع و نواحی مهم را پوشش دهند. با فرض پوشش ۵ هکتار توسط هر نقطه‌ی

$$DNL = 10 \log \left(\frac{15 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 9 \times 10^{\frac{(Ln+10)}{10}}}{24} \right) \quad \text{معادله ۱}$$

در معادله‌ی فوق L_d و Ln به ترتیب میانگین شدت آلودگی صوتی را در یک دوره ۱۵ ساعته در روز (ساعت ۷ تا ۲۲) و میانگین شدت آلودگی صوتی را در یک دوره شبانه ۹ ساعته (ساعت ۲۲ تا ۷ بامداد) نشان می‌دهد.

۲.۲.۳ روش پهنه‌بندی

به‌منظور تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی آلودگی صوتی، از روش درونی‌یابی وزن دهی معکوس فاصله (Inverse Distance Weighting - IDW) استفاده شد. این روش مقدار متغیر را در نقاط فاقد داده، بر اساس میانگین وزن‌دار مقادیر نقاط مجاور و با فرض کاهش تأثیر با افزایش فاصله، تخمین می‌زند. در میان روش‌های موجود برای درونی‌یابی مکانی، از جمله درونی‌یابی چندجمله‌ای محلی (LPI)^۱، تابع پایه شعاعی (RBF)^۲، کریجینگ معمولی (OK)^۳، کریجینگ تجربی بیزین (EBK)^۴ و مدل‌های یادگیری ماشین، روش IDW به دلیل سادگی، استقلال از مفروضات آماری پیچیده مانند ایستایی فضایی و عملکرد مناسب در داده‌های محیطی با پراکنش نسبتاً یکنواخت انتخاب گردید. این روش در مطالعات مشابه در حوزه آلودگی صوتی کاربرد مؤثری داشته است [۲۱، ۲۲]. در روش IDW، مقدار متغیر در یک نقطه نامشخص بر اساس مقادیر نقاط شناخته‌شده اطراف تخمین زده می‌شود. وزن هر نقطه نمونه با استفاده از معکوس فاصله آن تا نقطه موردنظر محاسبه‌شده و بنابراین نقاط نزدیک‌تر تأثیر بیشتری در مقدار برآوردی دارند. همچنین، فرض بر آن است که نقاط نمونه‌برداری از یکدیگر مستقل هستند و اثرات مکانی به‌طور مستقیم از فاصله تبعیت می‌کند. معادله‌ی ۲ فرمول محاسبات این روش را نشان می‌دهد [۲۳].

$$Z(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{h_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{h_{ij}^\beta}} \quad \text{معادله‌ی ۲}$$

شدت مرجع ۹۴ دسی‌بل در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز بررسی و تأیید گردید. تنظیمات کالیبراسیون مطابق با توصیه‌های استاندارد ISO و منابع فنی معتبر انجام شد. استفاده از بازه‌های زمانی متنوع و نمونه‌برداری‌های کوتاه‌مدت در طول شبانه‌روز، روشی متداول در مطالعات ارزیابی نویز محیطی است که دقت تحلیل چرخه نوسانات صوتی را افزایش می‌دهد [۱۹]. برای جلوگیری از رخداد هرگونه خطای محتمل در هنگام ارزیابی صدا و بر اساس استانداردهای اندازه‌گیری با دستگاه صداسنج، فاصله میکروفن صداسنج از سطوح انعکاسی (مانند دیوارها و ماشین‌ها) حداقل ۲ متر، از سطح زمین ۱/۳ متر و از بدن اپراتور به‌اندازه فاصله بازوی اپراتور رعایت گردید [۱]. اندازه‌ها با در نظر داشتن پارامترهایی چون استفاده از حفاظ باد و انتخاب موقعیت میکروفن انجام شده است [۱۰، ۱۸].

در هر ایستگاه، اندازه‌گیری تراز صوت معادل (L_{eq}) در شش بازه زمانی سه‌ساعته شامل ۷-۱۰، ۱۰-۱۳، ۱۳-۱۶، ۱۶-۱۹، ۱۹-۲۲ و ۲۲-۱ بامداد انجام شد. در هر بازه، یک دوره اندازه‌گیری ۱۵ دقیقه‌ای به‌صورت پیوسته و با تنظیمات استاندارد (پاسخ Fast، وزن دهی A) انجام گردید. این تقسیم‌بندی زمانی به‌منظور پوشش همزمان دوره‌های اوج فعالیت صنعتی، تردد روزانه و ساعات استراحت شبانه صورت گرفت. انتخاب این بازه‌ها بر اساس مطالعه مقدماتی میدانی بود که در آن، در ۸ ایستگاه منتخب، ثبت پیوسته داده‌های صوتی طی یک چرخه کامل ۲۴ ساعته انجام‌شده بود. الگوی زمانی حاصل از این پیش‌مطالعه، مبنای طراحی بازه‌های اصلی نمونه‌برداری در ایستگاه‌های نهایی قرار گرفت. برای کاهش سوگیری ناشی از همزمانی فعالیت‌ها یا نویزهای غیرمعمول در نقاط مختلف، ترتیب انجام اندازه‌گیری‌ها در سطح منطقه با استفاده از روش تصادفی بلوکی (Block Randomization) برنامه‌ریزی شد تا شرایط زمانی هر ایستگاه مستقل از ایستگاه‌های مجاور باشد. جهت حصول اطمینان از کفایت زمانی، پیش از آغاز نمونه‌برداری رسمی، یک مطالعه مقدماتی در ۸ ایستگاه به‌صورت آزمایشی در ۲۴ ساعت کامل انجام شد. تحلیل تغییرات زمانی حاصل از این پیش‌مطالعه، مبنای انتخاب بازه‌های زمانی نهایی قرار گرفت. میانگین سطح آلودگی صوتی روز و شب (DNL) از معادله ۱ به‌صورت زیر محاسبه‌شده است [۲۰].

شکل ۲، نقشه پهنه‌بندی آلودگی صوتی منطقه مسکونی حاصل از نتایج اندازه‌گیری‌های انجام‌شده را طی بازه زمانی ساعت ۷ صبح تا ۱۰ شب، بر اساس میانگین لگاریتمی سه‌ساعته (L_d) و با استفاده از روش درون‌یابی IDW را نمایش می‌دهد. بر اساس این نقشه، بیش از ۸۵ درصد از منطقه مسکونی در بازه زمانی ۷ صبح تا ۱۰ شب در معرض سطوحی بالاتر از حد مجاز روزانه ۵۵ dB(A) قرار دارد. بیشترین شدت صدا در شمال شرقی منطقه و به میزان ۷۵-۸۵ dB(A) مشاهده می‌گردد. همچنین تنها بخش‌های محدودی از منطقه مورد مطالعه دارای سطوح نسبتاً قابل قبول از آلودگی صوتی است. این نتایج بیانگر وضعیت غیرقابل قبول از نظر آلودگی صوتی در منطقه مورد مطالعه است.

در معادله‌ی مذکور $Z(x_0)$ نشان‌دهنده مقدار درونیابی شده در نقطه مورد نظر n تعداد کل نقاط نمونه‌برداری، x_i مقدار اندازه‌گیری شده در نقطه‌ی i ، h_{ij} فاصله بین نقطه هدف و نقطه j ، B توان وزن دهی است که میزان تأثیر فاصله را در وزن دهی تعیین می‌کند. توان وزن دهی در این مطالعه برابر با ۲ در نظر گرفته شد و در نرم‌افزار ArcGIS Pro پیاده‌سازی گردید.

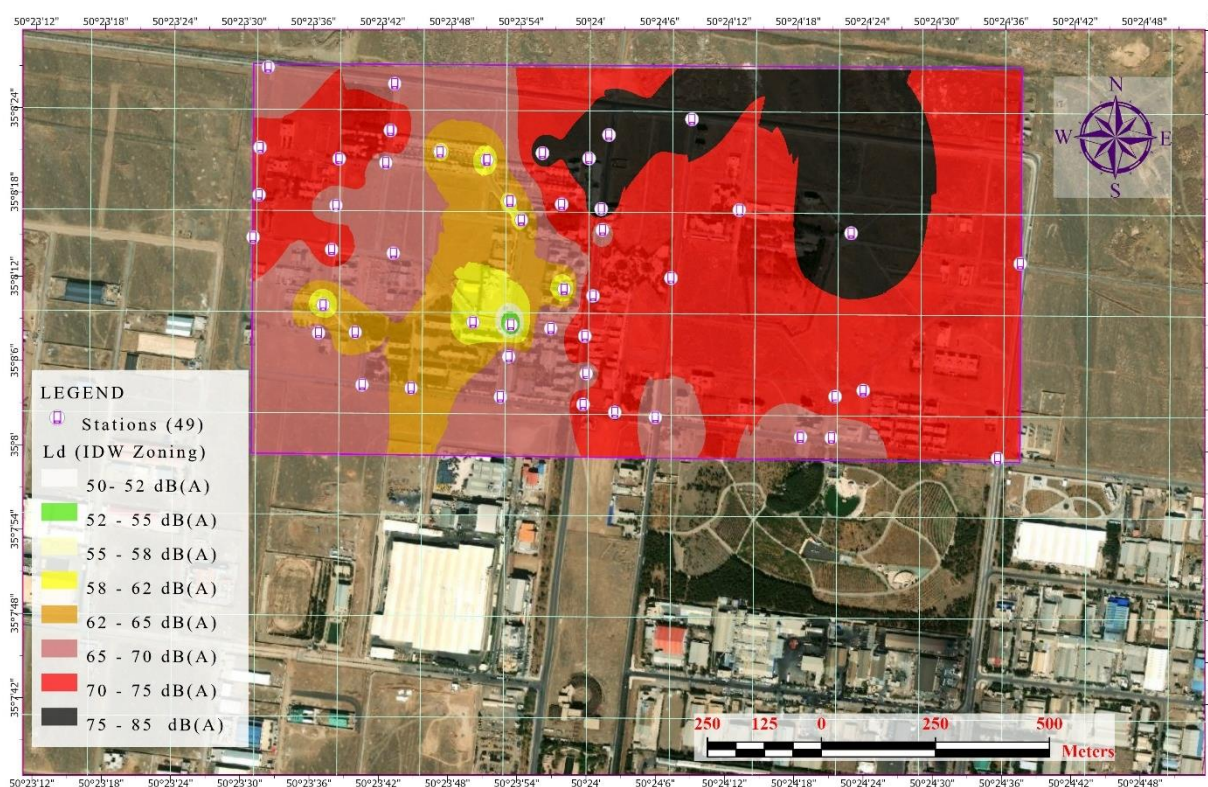
¹ Local Polynomial Interpolation (LPI)

² Radial Basis Function (RBF)

³ Ordinary Kriging (OK)

⁴ Empirical Bayes Kriging (EBK)

۳. یافته‌ها



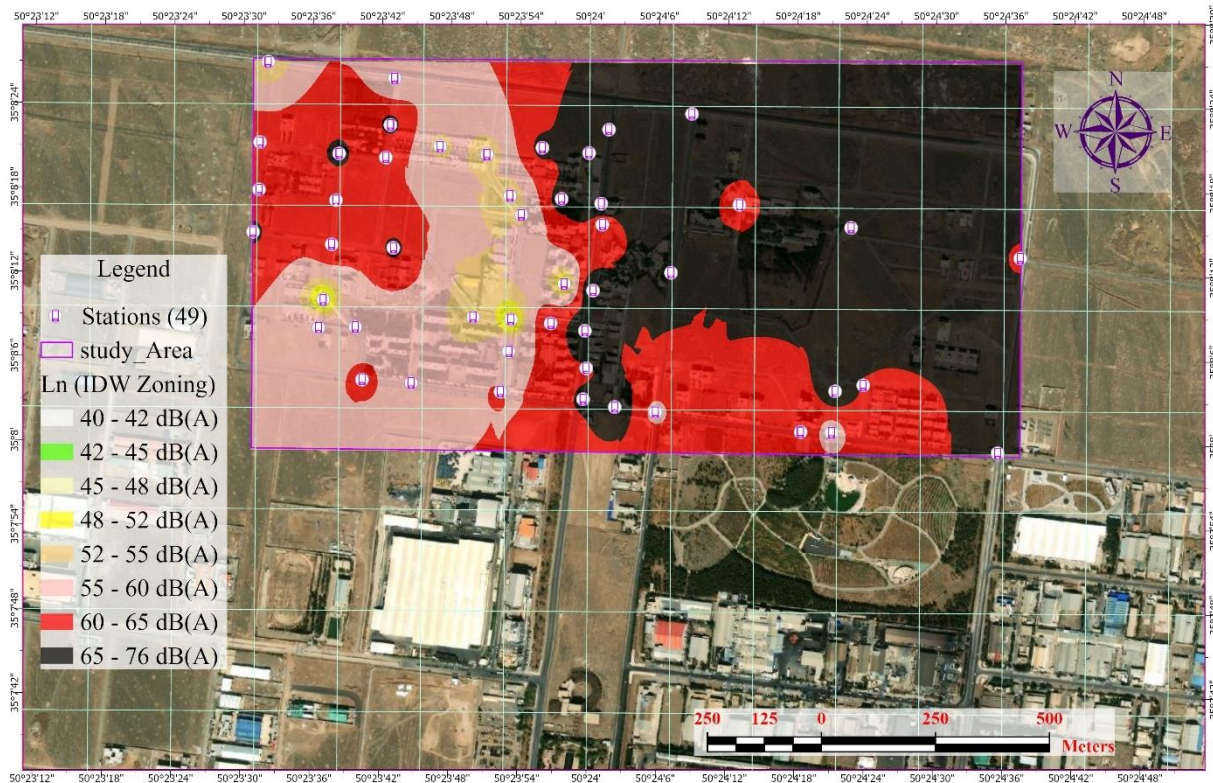
شکل ۲. پهنه‌بندی آلودگی صوتی در منطقه مسکونی شهرک صنعتی کاوه ساوه طی بازه زمانی ۷ صبح تا ۱۰ شب با مقادیر میانگین لگاریتمی سه‌ساعته (L_d) و با استفاده از روش درون‌یابی IDW

اساس مقادیر مشاهده‌شده، بیشترین شدت صدا مربوط به نواحی شرقی و شمالی منطقه است که در بازه ۶۵ تا ۷۶ دسی‌بل قرار دارند (نواحی با رنگ سیاه) و سطح گسترده‌ای از منطقه را پوشش می‌دهند. پس‌از آن، مناطق با شدت صدای بین ۵۵ تا ۶۵ dB(A) (رنگ قرمز) در بخش‌های مرکزی و

همچنین نقشه پهنه‌بندی شدت آلودگی صوتی در منطقه مورد مطالعه در بازه زمانی شب (ساعت ۲۲ تا ۷ صبح) در شکل ۳ نشان داده شده است. این نقشه نیز بر اساس مقادیر میانگین لگاریتمی سه‌ساعته (L_n) و با استفاده از روش درون‌یابی IDW ۴۹ نقطه اندازه‌گیری تهیه شده است. بر

(استاندارد شبانه) تنها در نواحی بسیار محدودی مشاهده شده است. بر اساس این پهنه‌بندی، توزیع شدت صوت در طول شب نسبت به‌روز از گستره بیشتری برخوردار است و اغلب ایستگاه‌ها در محدوده‌های فراتر از حد مجاز شبانه یعنی ۴۵dB(A) قرار گرفته‌اند.

جنوب شرقی منطقه دیده می‌شود. به‌طور کلی، این دو پهنه (قرمز و سیاه) سهم عمده‌ای از سطح منطقه مسکونی را به خود اختصاص داده‌اند. نواحی با شدت صدای پایین‌تر، شامل محدوده‌های (۴۸-۵۵ d A و ۴۵-۴۸ B(A) (رنگ‌های صورتی و نارنجی) عمدتاً در قسمت‌های غربی و شمال غربی مشاهده می‌شوند. تراز شدت صوت کمتر از ۴۵ دسی‌بل



شکل ۳. پهنه‌بندی آلودگی صوتی در منطقه مسکونی شهرک صنعتی کاوه ساوه طی بازه زمانی ۱۰ شب تا ۷ صبح با مقادیر میانگین لگاریتمی سه‌ساعته (Ln) با استفاده از روش درون‌یابی IDW

شدت صدا بحرانی‌تر است؛ به‌طوری‌که هیچ‌یک از نواحی دارای سطح صدای کمتر از ۴۵ دسی‌بل نبودند. تنها ۴ درصد از سطح منطقه دارای تراز صوتی در محدوده ۴۵ تا ۵۵ دسی‌بل بود و در ۹۶ درصد از مساحت منطقه، شدت صوتی بالاتر از ۵۵ دسی‌بل ثبت شده است. این داده‌ها نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از منطقه حتی در ساعات شب در معرض ترازهای بالای صوتی قرار دارد.

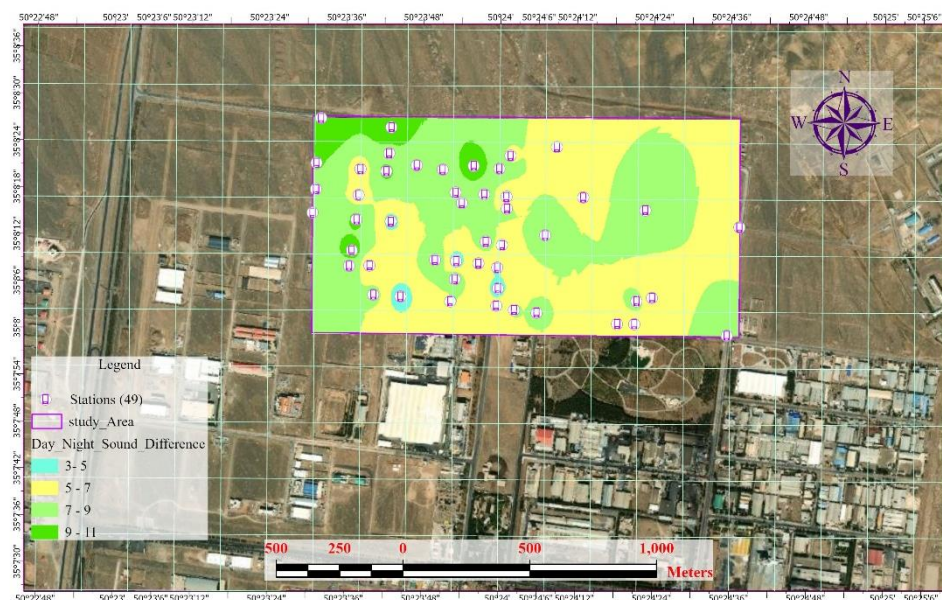
اطلاعات حاصل از دو شکل ۳ و ۴ در سه دسته به‌صورت درصد مساحت پوشش در جدول ۲ نشان داده شده است. بر اساس این جدول در بازه زمانی روز، هیچ بخشی از منطقه دارای تراز صوتی کمتر از ۵۵ دسی‌بل نبوده است. در مقابل، ۱۲ درصد از مساحت منطقه دارای تراز صوتی در محدوده ۵۵ تا ۶۵ دسی‌بل و ۸۸ درصد دارای تراز بیش از ۶۵ دسی‌بل بوده است. این موضوع بیانگر غالب بودن تراز صوتی بالا در ساعات روز است. در بازه زمانی شب، وضعیت از نظر پراکندگی

جدول ۲. درصد مساحت تحت پوشش سطوح مختلف تراز صوتی در روز و شب در محدوده مورد مطالعه

محدوده تراز صوت روز (dB)	درصد مساحت محدوده تراز صوتی	محدوده تراز صوت شبانه (dB)	درصد مساحت محدوده تراز صوتی
> ۵۵	۰٪	> ۴۵	۰٪
۶۵-۵۵	۱۲٪	۵۵-۴۵	۴٪
< ۶۵	۸۸٪	< ۵۵	۹۶٪

جهت سنجش میزان کاهش یا پایداری آلودگی صوتی در ساعات شبانه (۲۲-۷)، شکل شماره ۴ بر اساس اختلاف تراز صوتی شب و روز ($L_n - L_d$) ترسیم شده است. این نقشه با تمرکز بر تفاوت زمانی سطوح صدا، امکان تحلیل الگوی نوسانات صوتی و شناسایی نواحی با نیاز مداخله در ساعات

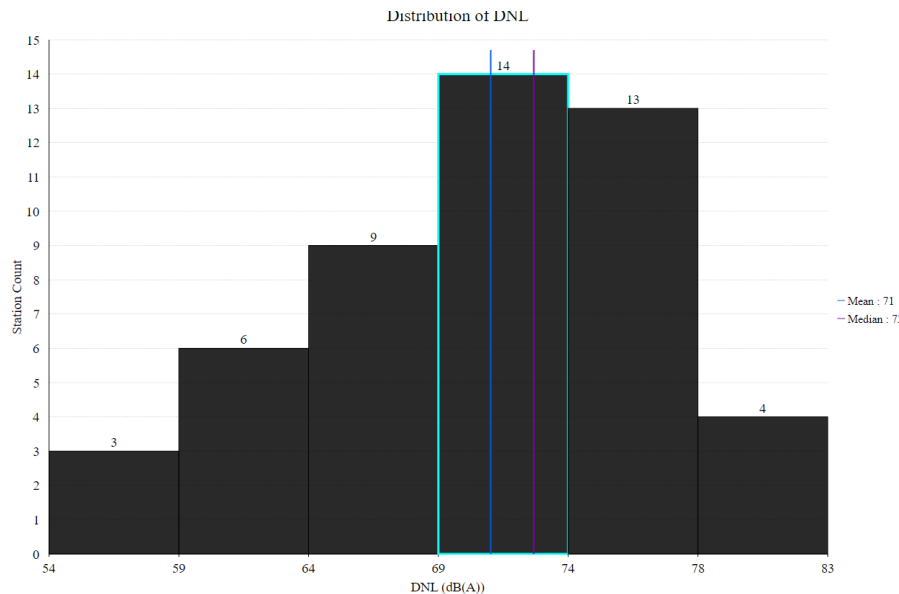
شب را فراهم می‌کند. مطابق با شکل ۴، حداقل کاهش تراز صوتی در طول شب ۳ دسی‌بل A و حداکثر آن ۱۱ دسی‌بل A گزارش شده است. همچنین بخش عمده‌ای از منطقه مورد مطالعه، کاهش تراز صوتی در بازه ۵ تا ۹ دسی‌بل A را در ساعات شب نسبت به روز تجربه کرده‌اند.



شکل ۴. پهنه‌بندی میزان اختلاف کاهشی تراز شدت صوت در شب نسبت به روز در منطقه مسکونی شهرک صنعتی کاوه ساوه با استفاده از روش درون‌یابی IW

است. همچنین میانگین مقدار DNL برابر با ۷۱ dB و میانۀ آن ۷۲ dB بوده است که نشان از سطح بالای آلودگی صوتی در بیشتر ایستگاه‌ها دارد. تنها ۳ ایستگاه دارای مقداری کمتر از ۵۹ dB بوده‌اند که بیانگر تعداد محدود نواحی با وضعیت نسبتاً مطلوب صوتی است.

در شکل ۵ توزیع فراوانی شاخص DNL را در ۴۹ ایستگاه اندازه‌گیری منطقه مورد مطالعه نمایش داده شده است. بیشترین فراوانی مربوط به بازه ۶۹-۷۴ دسی‌بل (dBA) با ۱۴ ایستگاه و پس از آن بازه ۷۴-۷۸ dBA با ۱۳ ایستگاه بوده



شکل ۵. نمودار توزیع فراوانی شاخص DNL در ایستگاه‌های اندازه‌گیری منطقه مورد مطالعه

نتایج حاصل از پهنه‌بندی آلودگی صوتی در بازه زمانی شب (شکل ۳) نشان‌دهنده تشدید قابل توجه شرایط آلودگی صوتی در منطقه مسکونی شهرک صنعتی کاوه طی ساعات استراحت شبانه است. بر اساس نقشه ترسیم‌شده، محدوده‌هایی وسیع از منطقه دارای شدت صوتی بین ۶۵ تا ۷۶ دسی‌بل هستند که در مقایسه با حد مجاز شبانه برای مناطق مسکونی (۴۵ dB(A))، افزایش چشم‌گیری را نشان می‌دهد. تمرکز لکه‌های سیاه و قرمز در نواحی شرقی، شمالی و مرکزی منطقه، نشان‌دهنده استقرار منابع صوتی فعال در شب است؛ منابعی که احتمالاً شامل تجهیزات صنعتی دائماً فعال مانند فن‌های تهویه، کمپرسورها، ژنراتورها و نیز تردد شبانه وسایل نقلیه سنگین هستند. همچنین، در شرایط شبانه با کاهش نویز پس‌زمینه، تأثیر صدای این منابع بر شدت کل بیشتر برجسته می‌شود. در مقابل، تنها بخش کوچکی در غرب منطقه شدت صدایی کمتر از ۴۵ دسی‌بل دارد که با استاندارد شبانه تطابق دارد. توزیع فضایی غیرمتعادل آلودگی صوتی در ساعات شب می‌تواند ناشی از نبود طراحی آکوستیکی در ساختار شهری، استقرار نامناسب سکونتگاه‌ها در جوار فعالیت‌های صنعتی و فقدان موانع صوتی مؤثر باشد. بررسی آلودگی صوتی شبانه نشان می‌دهد که شدت صوت در اغلب ایستگاه‌ها به مراتب بالاتر از حد مجاز شبانه بوده و در بسیاری از نقاط از ۶۵ دسی‌بل نیز فراتر رفته است. این وضعیت، بیانگر حضور مداوم

بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این تحقیق شدت صدا در بازه‌ی زمانی روز در بخش قابل توجهی از منطقه از حد مجاز تعیین‌شده رسیده است. در این بازه (شکل شماره ۲)، بخش وسیعی از منطقه دارای شدت صوتی بالاتر از ۵۵ dB(A) بوده است. این وضعیت عمدتاً در نواحی مرکزی، شرقی و شمال شرقی منطقه مشاهده شد که می‌تواند ناشی از فعالیت مداوم واحدهای صنعتی، تردد خودروهای سنگین و نبود موانع فیزیکی کاهنده صوت باشد. با این حال، این محدوده‌ها بخش کوچکی از کل منطقه را تشکیل می‌دهند. بر این اساس الگوی توزیع صدا در منطقه پیوسته نبوده و با توجه به ماهیت منابع صوتی و ساختار فیزیکی منطقه، به‌صورت توده‌ای و متراکم در برخی نقاط دیده می‌شود. همچنین، توزیع ناهمگن شدت صوت در ایستگاه‌های مجاور نشان‌دهنده تأثیر بالای منابع موضعی و نبود عایق‌های صوتی می‌تواند مؤثر باشد. این یافته‌ها نشان می‌دهند که در طول ساعات کاری روز، ساکنین منطقه مسکونی شهرک در معرض مواجهه مستقیم با سطوح قابل توجهی از آلودگی صوتی هستند که این موضوع نیازمند تحلیل‌های دقیق‌تر در خصوص پیامدهای آن بر سلامت جامعه محلی است.

منابع مزاحم صوتی در شب و ناکارآمدی زیرساخت‌های کاهنده صوت در محدوده مسکونی است. یافته‌های این بخش از مطالعه، ضرورت مداخله فوری در طراحی کاربری‌های شهری، پایش دقیق منابع صوتی در شب و اجرای اقدامات کنترلی مانند محدودسازی فعالیت‌های صنعتی شبانه، ایجاد نوار سبز، دیوارهای صوتی و پایش مستمر را مورد تأکید قرار می‌دهد.

ترکیب داده‌های دو نقشه فوق حاکی از آن است که منطقه مسکونی به‌صورت پیوسته و مزمن در معرض سطوح بالای آلودگی صوتی قرار دارد. این وضعیت نه‌تنها سلامت جسمی و روانی ساکنان را تهدید می‌کند، بلکه نشان‌دهنده فقدان تدابیر مناسب در طراحی و مدیریت کاربری اراضی، به‌ویژه در ایجاد فاصله ایمن یا نوارهای حائل صوتی میان مناطق صنعتی و مسکونی است. نقشه اختلاف تراز صوتی روز و شب (DNL) نشان می‌دهد که اختلاف بین ترازها غیریکنواخت و به‌ویژه در مناطقی که در مجاورت منابع پرسروصدا مانند معابر اصلی، مراکز صنعتی قرار دارند، مقدار اختلاف تراز به بیش از ۱۰ دسی‌بل می‌رسد. چنین اختلاف‌هایی نشان‌دهنده کاهش محسوس سطح صدا در طول شب است که به‌طور معمول با کاهش فعالیت‌های انسانی و صنعتی همراه است. با این حال، در برخی مناطق، باقی‌ماندن سطح بالای صدا در شب می‌تواند ناشی از فعالیت‌های شبانه یا عملکرد مستمر تجهیزات صنعتی باشد و از نظر بهداشت محیط و آسایش ساکنین حائز اهمیت است. نمایش طبقه‌بندی‌شده این تفاوت در نقشه، امکان شناسایی نقاط حساس از نظر آلودگی صوتی در ساعات استراحت شبانه را فراهم می‌کند. به‌عنوان ابزاری کاربردی در پایش محیطی، برنامه‌ریزی شهری و تعیین مناطق نیازمند مداخلات کاهش صدا مورد استفاده قرار گیرد.

مقایسه یافته‌های این مطالعه با پژوهش Wawa و Mulaku [۱۴] در نایروبی کنیا در سال ۲۰۱۵ نیز نکات قابل توجهی را آشکار می‌سازد. در آن تحقیق، سطوح آلودگی صوتی در منطقه مرکزی کسبوکار نایروبی (CBD) با استفاده از صداسنج و GPS اندازه‌گیری و در محدوده‌ای بین ۶۱ تا ۷۸ دسی‌بل گزارش شد؛ بخش‌های شرقی منطقه دارای بیشترین شدت نویز بودند که به تراکم فروشندگان، ایستگاه‌ها و ون‌های خدمات عمومی (ماتوتوها) نسبت داده شد. مشابه این وضعیت، در منطقه مورد مطالعه حاضر نیز شدت آلودگی صوتی در نواحی شرقی به‌طور محسوسی بالاتر بوده است، با این تفاوت

که منبع نویز نه ترافیک شهری، بلکه فعالیت‌های صنعتی مداوم و تجهیزات پرسروصدا کارخانه‌ای بوده‌اند. هر دو مطالعه بر نقش تعیین‌کننده تمرکز منابع صوتی در افزایش تراز نویز در نقاط خاص دلالت دارند، اما آنچه مطالعه حاضر را متمایز می‌سازد، تمرکز آن بر یک منطقه مسکونی در حاشیه یک شهرک صنعتی و بررسی تأثیرات شبانه‌روزی نویز بر کیفیت زندگی ساکنان است. این تفاوت در نوع کاربری و جمعیت هدف، اهمیت گسترش مطالعات صوتی از مراکز شهری به مناطق سکونت همجوار صنایع را نشان می‌دهد و ضرورت سیاست‌گذاری محیطی ویژه این مناطق را بیش‌ازپیش برجسته می‌سازد.

نتایج این تحقیق همچنین با یافته‌های مطالعه Casas و همکاران در سال ۲۰۱۴ در شهر کاشیاس دو سول برزیل قابل‌مقایسه است؛ بر اساس نتایج این تحقیق بهره‌گیری از مدل‌سازی‌های محاسباتی و نقشه‌برداری پیش‌بینی‌کننده می‌تواند در سنجش آثار زیست‌محیطی واحدهای صنعتی پیش از احداث یا توسعه آن‌ها بسیار مؤثر باشد [۱۵]. این رویکرد، برخلاف مطالعاتی است که صرفاً پس از بروز آلودگی صوتی اقدام به پایش می‌کنند. یافته‌های مطالعه حاضر نیز به‌نوعی مؤید همین نگاه پیشگیرانه است؛ چراکه شدت و گسترش آلودگی صوتی در منطقه مسکونی مجاور شهرک صنعتی کاوه، ضرورت پایش‌بینی پیامدهای صوتی در مرحله طراحی شهرک‌های صنعتی و برنامه‌ریزی کاربری زمین را برجسته می‌سازد. از این منظر، تلفیق داده‌های میدانی با ابزارهای GIS و تحلیل شاخص‌هایی مانند DNL می‌تواند زمینه‌ساز ایجاد دستورالعمل‌های آمایش سرزمین و صدور مجوزهای محیط‌زیستی بر پایه شواهد واقعی و منطقه محور باشد.

بررسی توزیع مقادیر DNL نشان می‌دهد که عمده نواحی مورد مطالعه در تحقیق حاضر در معرض سطوح بالای آلودگی صوتی قرار دارند. بر اساس استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (WHO)، قرارگیری در محدوده DNL بالای ۷۰ dB به‌طور مزمن باعث اختلالات خواب و پیامدهای منفی بر سلامت عمومی شود. اکثر مناطق مورد اندازه‌گیری در بازه‌های بالاتر از ۶۹dB می‌تواند ناشی از تراکم بالای کاربری‌های صنعتی، کمبود فضاهای سبز و عدم کنترل منابع صوتی در منطقه باشد. این یافته‌ها ضرورت بازنگری در سیاست‌های مدیریت صوتی شهری در این شهرک صنعتی در این منطقه را

سهم نویسندگان

رضا نعمتی: طراحی مطالعه، تجزیه و تحلیل اطلاعات، نگارش مقاله و ویرایش مقاله، **مختار مهدوی:** طراحی مطالعه، کنترل کیفی اطلاعات و نگارش مقاله، **ناهید رشیدی:** طراحی مطالعه، جمع‌آوری داده، بررسی متون و ویرایش مقاله، **نرگس حکیمی:** تجزیه و تحلیل اطلاعات، نگارش مقاله و ویرایش مقاله، **علی واحدی گندمانی:** جمع‌آوری داده و بررسی متون.

حمایت مالی

در این مطالعه از حمایت مالی کمیته تحقیقات دانشجویی وابسته به دانشکده علوم پزشکی ساوه استفاده شده است.

تضاد منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع در این مطالعه وجود ندارد.

برجسته می‌سازند. نتایج این مطالعه ضرورت بازنگری در ملاحظات زیست‌محیطی شهرک‌های صنعتی و اجرای اقدامات کنترلی نظیر احداث دیواره‌های صوتی، بهسازی مسیرهای تردد، ایجاد نوار سبز و اعمال محدودیت در فعالیت‌های شبانه برخی واحدهای صنعتی را برجسته می‌سازد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله نویسندگان مراتب تشکر خود را از کمیته‌ی تحقیقات دانشجویی دانشکده علوم پزشکی ساوه که در این کار تحقیقاتی ما را یاری نمودند، اعلام می‌داریم.

ملاحظات اخلاقی

تحقیق حاضر حاصل طرح تحقیقاتی مصوب دانشکده علوم پزشکی ساوه با کد کمیته اخلاق به شماره IR.SAVEHUMS.REC.1403.047 است.

References

- [1]. Dreger S, Schüle SA, Hilz LK, Bolte G. Social Inequalities in Environmental Noise Exposure: A Review of Evidence in the WHO European Region. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(6).DOI:https://doi.org/10.3390/ijerph16061011.
- [2]. Akande OK, Yusuf A. Environmental Noise in Residential Environments: The Case for Quality of Life in Minna, Nigeria. *Environment-Behaviour Proceedings Journal*. 2022;7(22):117-25.DOI:https://doi.org/10.21834/ebpj.v7i22.4161
- [3]. Daniel E. Noise and Hearing Loss: A Review. *Journal of School Health*. 2007;77(5):225-31.DOI:https://doi.org/10.1111/j.1746-1561.2007.00197.x
- [4]. Lutman ME. What is the risk of noise-induced hearing loss at 80, 85, 90 dB(A) and above? *Occup Med (Lond)*. 2000;50(4):274-5.DOI:https://doi.org/10.1093/occmed/50.4.274
- [5]. Yun I, Lee SH, Park S, Jang S-Y, Jang S-I. Depressive symptoms of people living in areas with high exposure to environmental noise: a multilevel analysis. *Scientific Reports*. 2024;14(1):14450.DOI:https://doi.org/10.1038/s41598-024-65497-0
- [6]. Basner M, Babisch W, Davis A, Brink M, Clark C, Janssen S, Stansfeld S. Auditory and non-auditory effects of noise on health. *The Lancet*. 2014;383(9925):1325-32.DOI:https://doi.org/10.1016/s0140-6736(13)61613-x
- [7]. World Health Organization Regional Office for Europe. Environmental noise guidelines for the European Region. Copenhagen: World Health Organization, Regional Office for Europe; 2018.https://iris.who.int/handle/10665/279952
- [8]. Abbaspour M, Karimi E, Nassiri P, Monazzam MR, Taghavi L. Hierarchal assessment of noise pollution in urban areas-A case study. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2015;34:95-103.DOI:https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.10.002
- [9]. Rahmati S, Sadeghi S, Moosazadeh M. Oxidative stress markers in occupational noise exposure: a systematic review and meta-analysis. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 2025;98(2):155-67.DOI:https://doi.org/10.1007/s00420-025-02131-0
- [10]. Emamjomeh M.M. NA, Safari Variati A. Study of noise pollution in Qazvin. *Journal of Qazvin University of Medical Sciences*. 2011;15(1):63-70, URL: https://brieflands.com/articles/jid-155584
- [11]. Adl M, Mahmoudi L, Azizi S, Taherianfar A. Analysis and evaluation of noise pollution in Karaj city. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2022;24(10):133-44.DOI:https://doi.org/10.30495/jest.2022.64103.5555
- [12]. Fathi S, Nassiri P, Monazzam-Esmail-Pour M, Mansouri N, Razzaghi-Borkhani F. Study of Noise Pollution in the District 5 of Tehran Municipality. *Journal of Environmental Science and Technology [Internet]*. 2015;65(2):1-7[in Persian] URL: https://srb.sanad.iau.ir/en/Article/838874
- [13]. Esmeray E, Eren S. GIS-based mapping and assessment of noise pollution in Safranbolu, Karabuk, Turkey. *Environment, development and sustainability*. 2021;23:15413-31.DOI:https://doi.org/10.1007/s10668-021-01303-5
- [14]. Wawa EA, Mulaku GC. Noise pollution mapping using GIS in Nairobi, Kenya. *Journal of Geographic Information System*. 2015;7(05):486.DOI:https://doi.org/10.4236/jgis.2015.75039
- [15]. Casas WJP, Cordeiro EP, Mello TC, Zannin PHT. Noise mapping as a tool for controlling industrial noise pollution. *Journal of scientific & industrial research [recurso eletrônico]* New Delhi 2014;73(4):262-6 URL:http://hdl.handle.net/10183/111669

- [16]. ISO 1996-1, 2003. Acoustics – Description, Measurement and Assessment of Environmental Noise. Part 1: Basis Quantities and Assessment Procedures. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland. URL: <https://www.iso.org/standard/59765.html>.
- [17]. Stelzer EM, Kopald H, Stanley RM, Gawron V. Supporting The Development Of Empirically Driven Human Systems Integration Guidelines For System Requirements. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. 2015;59(1):36-40. DOI: <https://doi.org/10.1177/1541931215591008>
- [18]. Nassiri P, Karimi E, Monazzam MR, Abbaspour M, Taghavi L. Analytical comparison of traffic noise indices – A case study in District 14 of Tehran City. Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control. 2016;35(3):221-9. DOI: <https://doi.org/10.1177/026309231666091>
- [19]. Romeu J, Genescà M, Pàmies T, Jiménez S. Street categorization for the estimation of day levels using short-term measurements. Applied Acoustics. 2011;72(8):569-77. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2010.09.012>
- [20]. Ouis D. Annoyance from road traffic noise: a review. Journal of environmental psychology. 2001;21(1):101-20. DOI: <https://doi.org/10.1006/jev.2000.0187>
- [21]. Li J, Heap AD. A review of comparative studies of spatial interpolation methods in environmental sciences: Performance and impact factors. Ecological Informatics. 2011;6(3):228-41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2010.12.003>
- [22]. Harman BI, Koseoglu H, Yigit CO. Performance evaluation of IDW, Kriging and multiquadric interpolation methods in producing noise mapping: A case study at the city of Isparta, Turkey. Applied Acoustics. 2016;112:147-57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.05.024>
- [23]. Robinson TP, Metternicht G. Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. Computers and Electronics in Agriculture. 2006;50(2):97-108. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2005.07.003>