Website: https://www.Sepehr.org Online ISSN: 2588-3879; Print ISSN: 2588-3860

Scientific - Research Quarterly

Geographical Data (SEPEHR) Vo.34, No.136, Winter 2026

P.P 77-95

Research paper

https://doi.org/10.22131/sepehr.2025.2057993.3130

Identifying urban mass-space configurations using sound level analysisg

Case study: Ahvaz City

Ali Shojaeean[1]

1- Assistant professor, Department of geography and urban planning, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, Email: shojaian@scu.ac.ir

Article Info

Date of receive:

2025/04/16

Date of last review:

2025/12/17

Date of accept:

2025/12/17

Date of online publication:

2025/12/17

Keywords:

Mass-Space,
Sound data,
Noise Pollution management,
Ahvaz,

Extended Abstract

Introduction

The concept of mass-space, defined as the interaction between built environments (mass) and open/public areas (space), plays a pivotal role in shaping sustainable and livable cities. In industrializing metropolises such as Ahvaz, unplanned urban expansion has intensified noise pollution as an environmental stressor, a issue that has thus far received limited scholarly attention. Adopting an interdisciplinary approach, this study investigates the relationship between urban morphology and sonic ecology, proposing 'sound level' as an effective diagnostic tool for identifying and analyzing mass-space patterns in Ahvaz. As a hub for Iran's oil and gas industries, Ahvaz faces significant noise pollution challenges stemming from heavy traffic, concentrated industrial activity, and deficiencies in urban planning. Through sound mapping and examining its correlation with urban form, this research demonstrates how acoustic data can contribute to more equitable planning, reduced health risks, and the preservation of urban identity. While prior studies have predominantly focused on noise modeling in Western cities, this work addresses a gap in the literature concerning Middle Eastern urban contexts.

Materials & Methods

This study employed a mixed-methods framework integrating field analysis, Geographic Information Systems (GIS), and statistical modeling. ... **Page 78**

How to Cite:

Shojaeean. A. (2026). Identifying urban mass-space configurations using sound level analysis - Case study: Ahvaz City. Scientific -Research Quarterly Geographical Data (SEPEHR). 34(136), 77-95.

Acoustic data were collected at 300 sampling points using a stratified random sampling method and a calibrated KIMO DB100 sound level meter during two peak periods: daytime (9:00 AM) and nighttime (9:00 PM). To generate a city-wide sound level zoning map, the Inverse Distance Weighting (IDW) interpolation method was applied within ArcGIS software, with the output classified into five qualitative categories. The validity and reliability of the methodology were confirmed via a two-stage verification process: first, evaluation against independent data from 30 control points, which yielded a Mean Absolute Error (MAE) of 2.8 dB; and second, calculation of Pearson's correlation coefficient (r = 0.91) between the sound level layer and the municipal land-use map, confirming a strong spatial congruence.

Results and Discussion

The findings indicate that approximately 54% of Ahvaz's area (equivalent to over 11,600 hectares) exceeds the national permissible sound level limits. This figure underscores the considerable scale of the noise pollution problem in this metropolis. The revealed spatial pattern demonstrates a direct correlation with the city's mass-space structure. The primary noise pollution hotspots (with levels of 78-70 dB) are concentrated in the industrial zones of the southeast, heavy-traffic corridors leading to the Karun River bridges, and dense residential-commercial cores. These areas clearly correspond to the city's intensive, high-activity 'mass.' Conversely, zones with the lowest sound levels (43-35 dB) predominantly align with open 'spaces,' including vacant lands, barren areas, and green spaces in the city's west and southwest, highlighting their role as urban respiratory spaces and acoustic buffers. The robust correlation coefficient (0.91) quantitatively confirms that sound level can serve as a reliable proxy indicator for identifying the intensity of human activity and analyzing mass-space configurations. Although this finding aligns with global studies in densely populated cities, the severity of pollution in Ahvaz's industrial areas and the emergence of a pronounced polarized pattern (noisy east versus quiet west) reveal the ineffectiveness of current zoning policies and a distinct spatial inequality that disproportionately affects lower-income residents.

Conclusion

This study demonstrates that sound level mapping is a powerful, cost-effective, and objective tool for diagnosing spatial inequalities and analyzing the structure of urban mass-space. The findings emphasize the urgent necessity of integrating acoustic considerations into the urban planning, design, and management processes in Ahvaz. Practical solutions are proposed at three levels: at the physical/ design level, establishing green belts and buffers as acoustic insulation and revising building regulations; at the macro-policy level, reviewing zoning plans and incorporating noise standards into master documents; and at the managerial level, deploying intelligent monitoring systems and designating quiet urban areas. This research provides a framework for urban planners and designers to utilize acoustic indicators in moving towards the formation of more sustainable, equitable, and higher-quality cities.

شاپای الکترونیکی: 2588-3879 / شاپای چاپی: 2588-3860
تارنمای نشریه https://www.Sepehr.org

فصلنامه علمی - پژوهشی
اطلاعات جغرافیایی (سپهر) دوره ۳۴، شماره ۱۳۶، زمستان ۱۴۰۴

مقاله پژوهشی
صفحات ۹۵ - ۷۷

https://doi.org/10.22131/sepehr.2025.2057993.3130

شناسایی توده – فضاهای شهری با استفاده از تراز صوتی
مطالعه موردی: شهر اهواز

علی شجاعیان [۱]

۱- استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران shojaian@scu.ac.ir

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت:
۱۴۰۴/۰۱/۲۷

تاریخ آخرین بازنگری:
۱۴۰۴/۰۹/۲۶

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۴/۰۹/۲۶

تاریخ انتشار:
۱۴۰۴/۰۹/۲۶

واژه‌های کلیدی:
توده – فضا؛
داده‌های صوتی؛
مدیریت آلودگی صوتی؛
اهواز

چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی نقش تراز صوتی به‌عنوان ابزاری تحلیلی در شناسایی و تفکیک توده و فضای شهری در شهر اهواز انجام شد. مفهوم توده– فضا به ارتباط میان ساختارهای فیزیکی و فضاهای عمومی و خصوصی اشاره دارد که تأثیرات عمیقی بر کیفیت زندگی، مدیریت آلودگی، دسترسی به امکانات و هویت فرهنگی جوامع دارد. برای انجام این تحقیق، از روش ترکیبی شامل تحلیل‌های توصیفی– تحلیلی و برداشت میدانی داده‌های صوتی با استفاده از دستگاه KIMO DB100 در ۳۰۰ نقطه نمونه‌گیری بهره‌برداری شده است. داده‌ها با استفاده از روش زمین آماری IDW در نرم‌افزار ArcGIS پهنه‌بندی و در پنج کلاس (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) طبقه‌بندی شدند. یافته‌ها نشان داد که ٥٤٪ از مساحت اهواز (چیزی نزدیک به ۱۱۶۰۰ هکتار) با بالاترین سطوح تراز صوتی، در مناطق صنعتی جنوب شرق و مناطق متراکم مسکونی–تجاری قرار دارند که این سطوح فراتر از استانداردهای ملی آلودگی صوتی است. همبستگی ۰/۹۱ بین کاربری‌های زمین و سطوح صوتی محاسبه شده، دقت و اعتبار روش تحقیق را تأیید کرد. نتایج نشان می‌دهد که تراز صوتی به‌عنوان یک شاخص کلیدی، قادر به شناسایی الگوهای فضایی است؛ به طوری که توده‌های متراکم و صنعتی با سطوح بالای صوتی (مقادیر۷۸–۷۰ دسی‌بل) و فضاهای باز با سطوح پایین (مقادیر۴۳–۳۵ دسی‌بل) مرتبط هستند. در نهایت، این تحقیق بر اهمیت حیاتی گنجاندن ارزیابی‌های سطح صدا در چارچوب‌های برنامه‌ریزی شهری به منظور بهبود کیفیت محیطی و بهینه‌سازی فضایی تأکید دارد.

استناد به این مقاله:
شجاعیان، ع (۱٤۰٤) شناسایی توده – فضاهای شهری با استفاده از تراز صوتی؛ مطالعه موردی: شهر اهواز؛ فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی(سپهر)، ۳٤ (۱۳٦)، ۹۵ – ۷۷.

مقدمه

شناسایی توده–فضا[1] به معنای درک و تحلیل ارتباط بین ساختارهای فیزیکی (توده) و فضاهای عمومی و خصوصی (فضا) در یک شهر است. این مفهوم به‌ویژه در برنامه‌ریزی شهری و طراحی معماری اهمیت دارد و می‌تواند تأثیرات عمیقی بر کیفیت زندگی شهروندان داشته باشد. از جنبه‌های مختلف می‌توان دلایل اهمیت این مهم را مورد توجه قرار داد، از جمله:

۱) بهینه‌سازی استفاده از فضا: شناسایی توده–فضا به برنامه‌ریزان و معماران کمک می‌کند تا از فضاهای شهری بهینه‌تر استفاده کنند. با درک بهتر از نحوه توزیع توده‌ها و فضاها، می‌توانند طراحی‌هایی انجام دهند که به استفاده مؤثرتر از زمین و منابع منجر شود *(شکیبامنش و کوکبی، ۲۰۲۲)*.

۲) ارتقاء کیفیت زندگی: توده–فضا تأثیر زیادی بر کیفیت زندگی شهروندان دارد. فضاهای عمومی مناسب و توده‌های ساختمانی بهینه می‌توانند به ایجاد محیط‌های اجتماعی سالم و جذاب کمک کنند. این امر می‌تواند به افزایش تعاملات اجتماعی و ارتقاء احساس تعلق به جامعه منجر شود *(غیورحلاج و همکاران، ۱۴۰۰)*.

۳) مدیریت آلودگی و تغییرات اقلیمی: شناسایی توده–فضا می‌تواند به مدیریت بهتر آلودگی صوتی، هوایی و همچنین تأثیرات تغییرات اقلیمی کمک کند. با طراحی مناسب فضاها و توده‌ها، می‌توان از تأثیرات منفی این عوامل کاست و به ایجاد محیط‌های پایدارتر کمک نمود *(الابایجی و همکاران، ۲۰۲۴)*.

٤) تسهیل دسترسی و حرکت: تحلیل توده–فضا می‌تواند به بهبود دسترسی و حرکت در شهر کمک کند. با درک نحوه قرارگیری توده‌ها و فضاها، می‌توان مسیرهای حرکتی مناسبی برای پیاده‌روها، دوچرخه‌سواران و وسایل نقلیه عمومی طراحی کرد *(میلانی، ۲۰۲٤)*.

۵) حفظ هویت فرهنگی و تاریخی: شناسایی توده–فضا می‌تواند به حفظ هویت فرهنگی و تاریخی شهرها کمک کند. با توجه به تاریخچه و ویژگی‌های محلی، می‌توان طراحی‌هایی انجام داد که به حفظ میراث فرهنگی و هویت محلی کمک کند. بنابراین شناسایی و تفکیک توده و فضای شهری از جمله اهداف کلیدی در برنامه‌ریزی شهری است که می‌تواند به بهبود کیفیت زندگی شهروندان کمک نماید *(شجاعیان و همکاران، ۱۳۹۸)*.

از طرفی آلودگی صوتی به‌عنوان یکی از معضلات جدّی در شهرهای بزرگ، تأثیرات منفی بر سلامت روانی و جسمی افراد دارد *(پراور و همکاران، ۱۳۹٤)*. این مشکل به‌ویژه در شهرهایی که تحت‌تأثیر فعالیت‌های صنعتی و ترافیک سنگین قرار دارند، بارزتر است. تراز صوتی علاوه بر این‌که نشان‌دهنده وضعیت یکی از آلاینده‌های محیطی و عواملی که باعث اختلال زندگی انسان می‌شود، هست؛ می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مؤثر در شناسایی و تفکیک مناطق با ویژگی‌های متفاوت شهری نیز عمل نماید. چرا که یکی از شاخص‌های شهرسنجی تعیین میزان تراز صوتی و در نتیجه میزان آلایندگی صوتی در شهر است. از آنجا که مقادیر صوت موجود در فضای شهر تابعی از فعالیت انسان است، می‌توان از تراز صوتی به‌عنوان یکی از عوامل شناسایی حجم و گستره حضور و فعالیت شهروندان، در نقاط مختلف شهر، بهره برد *(مددی و همکاران، ۱۳۹٦)*. از این‌رو، به پهنه‌بندی مناطق شهر از نظر تراز صوتی اقدام شد. از این منظر، در نهایت می‌توان شهر را بر اساس میزان آلاینده‌های صوتی ثبت شده به مناطق مختلف تقسیم نموده و در نهایت توده و فضاهای نواحی شهر را در ارتباط با میزان آلایندگی صوتی و با لحاظ سایر عوامل، شناسایی نمود.

تحقیقات مختلف نشان داده‌اند که طراحی توده–فضا می‌تواند به‌طور مستقیم بر توزیع آلودگی صوتی و تجربه‌کاربران در فضاهای عمومی تأثیر بگذارد. به‌عنوان مثال، ژانگ و چن (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای بر روی تأثیر شکل و چگالی شهری در شهرهای با چگالی بالا، نشان دادند که طراحی مناسب می‌تواند به کاهش آلودگی صوتی کمک نماید. همچنین، در تحقیق دیگری به بررسی ارتباط بین طراحی

1- Mass-Space

فضاهای عمومی و صداهای شهری پرداخته و تأثیرات آن بر تجربه‌کاربران تحلیل شد *(چانگ و کانگ، ۲۰۲۰)*.

در زمینه برداشت داده‌های صوتی، روش‌های متعددی وجود دارند که می‌توانند به بهبود دقت و کیفیت داده‌ها کمک کنند. این روش‌ها شامل استفاده از میکروفن‌های ثابت و متحرک، حسگرهای صوتی هوشمند و همچنین فناوری‌های اینترنت اشیاء (IoT) برای جمع‌آوری داده‌های دقیق و به‌روز در زمان واقعی هستند. این تکنیک‌ها به محققان اجازه می‌دهند تا الگوهای صوتی را در نقاط مختلف شهری شناسایی و تحلیل نمایند.

نقشه‌سازی داده‌های صوتی نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. تکنیک‌های مختلفی مانند GIS و مدل‌سازی سه‌بعدی می‌توانند برای تجسم و تحلیل توزیع صوتی در فضاهای شهری مورد استفاده قرار گیرند. این روش‌ها به برنامه‌ریزان کمک می‌کنند تا تأثیرات طراحی توده–فضا را بر آلودگی صوتی بهتر درک کنند و تصمیمات بهتری در زمینه مدیریت فضاهای عمومی اتخاذ نمایند.

تحلیل داده‌های مکانی نیز نقش کلیدی در درک الگوهای صوتی و تأثیرات آن بر کیفیت زندگی ساکنان دارد. روش‌های آماری و تحلیلی پیشرفته، مانند تحلیل رگرسیون و یادگیری ماشین، می‌توانند برای بررسی ارتباط بین ویژگی‌های فضایی و تراز صوتی به‌کار گرفته شوند. این تحلیل‌ها می‌توانند به شناسایی نواحی پر سر و صدا و ارائه راهکارهای بهینه‌سازی کمک کنند. در زمینه مدل‌سازی صوتی، واتس و فاسانگ (۲۰۲۲) تکنیک‌های مختلف مدل‌سازی صوتی را در طراحی شهری مرور و کاربردهای آن‌ها را مورد بررسی قرار دادند. این تکنیک‌ها در پیش‌بینی و بهینه‌سازی تأثیرات طراحی توده–فضا به برنامه‌ریزان یاری می‌رسانند. علاوه بر این، اولیو و ریبریو (۲۰۲۳) به بررسی تأثیر طراحی فضایی بر تعاملات اجتماعی و راحتی صوتی در فضاهای شهری پرداختند و نشان دادند که طراحی مناسب می‌تواند به بهبود تعاملات اجتماعی کمک نماید. در پژوهشی دیگر، لی و پارک (۲۰۲٤) به ادغام ملاحظات صوتی در طراحی پایدار شهری پرداخته و تأثیر آن بر کیفیت زندگی را مورد بررسی قرار دادند.

این تحقیقات به وضوح نشان می‌دهند که توجه به تراز صوتی و طراحی توده–فضا نه تنها بر کیفیت محیط زیست تأثیرگذار است بلکه می‌تواند به بهبود کیفیت زندگی ساکنان نیز منجر شود. بنابراین، بررسی و تحلیل دقیق تراز صوتی در طراحی توده–فضا به‌عنوان یک عنصر اساسی در برنامه‌ریزی شهری و طراحی معماری، نیازمند توجه بیشتر و پژوهش‌های عمیق‌تر است. این تحقیقات می‌توانند به توسعه فضاهای شهری پایدار و با کیفیت کمک کنند که در آن‌ها آسایش صوتی و تعاملات اجتماعی بهبود یابد.

با وجود این تحقیقات، هنوز خلاء قابل توجهی در مطالعه تأثیرات تراز صوتی بر شناسایی و تفکیک توده و فضای شهری در شهرهای خاص، به‌ویژه اهواز، وجود دارد. بنابراین، بررسی و تحلیل دقیق تراز صوتی در طراحی توده–فضا به‌عنوان یک عنصر اساسی در برنامه‌ریزی شهری و طراحی معماری، نیازمند توجه بیشتر و پژوهش‌های عمیق‌تر است. این تحقیقات می‌توانند به توسعه فضاهای شهری پایدار و با کیفیت کمک کنند که در آن‌ها آسایش صوتی و تعاملات اجتماعی بهبود یابد.

تحقیق حاضر با استفاده از داده‌های صوتی، سعی دارد تا نشان دهد که چگونه تراز صوتی می‌تواند به شناسایی مناطق مختلف شهری کمک و الگوهای فضایی (توده–فضا) شهر اهواز را مشخص نماید. به‌عنوان مثال، مناطق با تراز صوتی بالا ممکن است به دلیل وجود صنایع و ترافیک سنگین، علاوه بر اینکه به‌عنوان نواحی با کیفیت زندگی پایین شناخته شوند، معرف بخش ساخته شده (توده) شهری نیز باشند. بنابراین، این پژوهش بر اهمیت استفاده از تراز صوتی به‌عنوان یک روش تحلیلی در شناسایی و تفکیک توده و فضای شهری تأکید می‌کند. استفاده از داده‌های صوتی می‌تواند به‌عنوان یک ابزار نوین در برنامه‌ریزی شهری مطرح باشد و به شناسایی الگوهای جدید در فضای شهری یاری رساند. به‌عنوان نمونه، با تحلیل دقیق داده‌های

صوتی، می‌توان مناطقی را که نیاز به بهبود دارند شناسایی و براساس آن، برنامه‌های توسعه‌ای مناسب طراحی نمود. در واقع با استفاده از مدل‌های تحلیلی و جمع‌آوری داده‌های میدانی، امکان درک بهتر از ساختار فضایی شهر و همچنین تأثیرات آن بر زندگی روزمره ساکنان فراهم می‌آید.

از آنجا که این تحقیق بر اساس تفکیک توده و فضای شهری در شهر اهواز متمرکز است، تراز صوتی به‌عنوان یک روش تحلیلی برای دستیابی به این هدف مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج این تحقیق می‌تواند به تصمیم‌گیران شهری و برنامه‌ریزان کمک کند تا راهکارهای مؤثری برای مدیریت فضاهای شهری و بهبود کیفیت زندگی در اهواز ارائه دهند. این پژوهش با مطالعات مشابهی در حوزه اکوستیک شهری و سنجش از دور شبانه *(شجاعیان، ۱٤۰۲)* و نیز پژوهش‌های صورت گرفته در بارسلون *(Tobías et al., 2024)* و توکیو همسو است. اما با درنظرگیری شرایط خاص محیطی شهر اهواز از جمله استقرار صنایع سنگین، ترافیک بالای ناشی از پل‌های متعدد بر رودخانه کارون، و شرایط توپوگرافی کاملاً مسطح، به تبیین الگوی منحصربه‌فرد توده–فضا و آلودگی صوتی در این کلان‌شهر می‌پردازد.

مبانی نظری

توده شهری، به مجموعه‌ای از ساختمان‌ها، خیابان‌ها و زیرساخت‌ها اطلاق می‌شود که به‌صورت فیزیکی در یک منطقه مشخص قرار دارند. این توده‌ها به‌صورت مستقیم بر تعاملات اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی ساکنان تأثیر می‌گذارند *(شجاعیان و همکاران، ۱٤۰۲)*.

فضای شهری، به معنای محیطی است که در آن فعالیت‌های انسانی انجام می‌شود و شامل عناصر مختلفی از جمله کاربری‌های زمین، فضاهای عمومی و شبکه‌های حمل و نقل است. کیفیت این فضاها می‌تواند تأثیرات عمیقی بر زندگی روزمره ساکنان داشته باشد *(رهنما و عباس‌زاده، ۱۳۸۷: ۵۳)*.

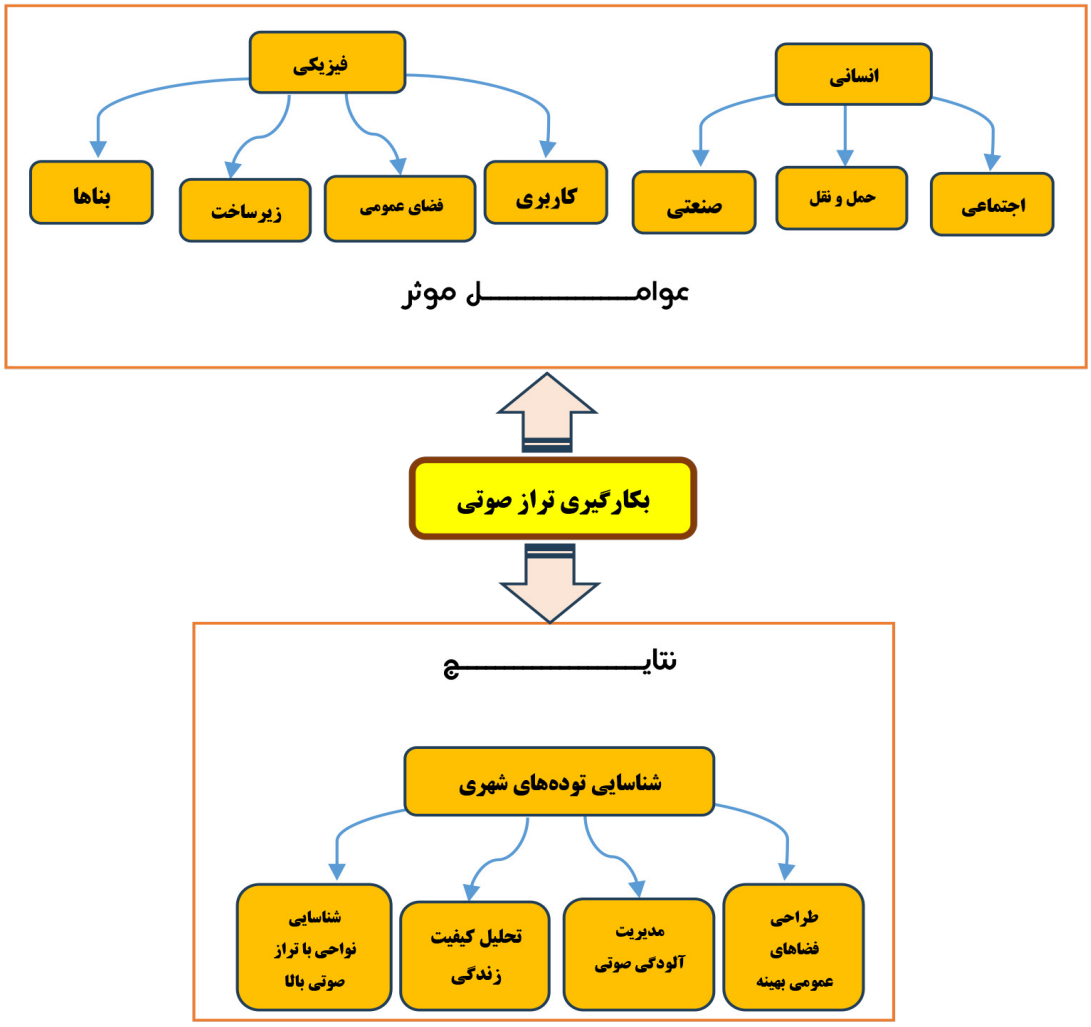
آلودگی صوتی، به‌عنوان یکی از معضلات جدّی در شهرهای بزرگ، به‌ویژه در شهرهایی که تحت‌تأثیر فعالیت‌های صنعتی و ترافیک سنگین قرار دارند، تأثیرات منفی بر سلامت روانی و جسمی افراد دارد. تراز صوتی به‌عنوان یک ابزار تحلیلی، می‌تواند به شناسایی و تفکیک مناطق با ویژگی‌های متفاوت شهری کمک کند. تراز صوتی معمولاً بر حسب دسی‌بل (dB) اندازه‌گیری می‌شود و شامل صداهای مختلفی است که از منابع گوناگون مانند ترافیک، ساخت‌وساز، فعالیت‌های صنعتی و حتی صداهای طبیعی ناشی می‌شود *(جلوخانی و همکاران، ۱۳۹۷)*. به منظور گردآوری شاخص‌های مبانی و به‌دست آوردن اطلاعات مورد نیاز در زمینه شناسایی تراز صوتی و میزان آلودگی صوتی روش‌های مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرند، برخی از این‌روش‌ها عبارتند از:

۱. استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری سطح صدا: این دستگاه‌ها با استفاده از میکروفون‌های حساس، میزان صدا را در نقاط مختلف شهر اندازه‌گیری می‌کنند. با تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده، می‌توان آن نواحی که دارای سطح صدای بالایی هستند و در نتیجه دارای آلودگی صوتی بیشتری هستند را شناسایی نمود.

۲. استفاده از نرم‌افزارهای تحلیل داده: با استفاده از نرم‌افزارهای تحلیل داده، می‌توان داده‌های جمع‌آوری شده از اندازه‌گیری سطح صدا را تحلیل کرد و آن نواحی که دارای آلودگی صوتی بیشتری هستند را شناسایی نمود.

۳. استفاده از فناوری‌های هوشمند شهری: با استفاده از فناوری‌های هوشمند شهری مانند شبکه‌هایی از سنجنده و دستگاه‌های اینترنت اشیاء (IoT)، می‌توان به‌صورت پویا میزان آلودگی صوتی را در نواحی مختلف شهر اندازه‌گیری کرده و اطلاعات را به‌صورت زنده به‌دستگاه‌های تحلیل داده ارسال نمود *(ژانگ و همکاران، ۲۰۲٤)*.

٤. استفاده از نقشه‌های شهری: با ترسیم نقشه‌های شهری و مشخص کردن آن نواحی که دارای کاربری‌های صنعتی، تجاری و مسکونی هستند، می‌توان به‌صورت تخمینی، میزان آلودگی صوتی در هر ناحیه را مورد محاسبه قرار داد *(بوچر و همکاران، ۲۰۱۹)*.



نگاره۱: نمودار چهارچوب به‌کارگیری تراز صوتی در برنامه‌ریزی شهری، یافته‌های پژوهش

نگاره (۱)، نمودار چارچوب نظری برای استفاده از تراز صوتی در شناسایی فضاهای شهری را نشان می‌دهد. این چارچوب به بررسی عوامل مؤثر بر تراز صوتی، شامل عوامل فیزیکی مانند ساختمان‌ها، زیرساخت‌ها و کاربری زمین، و همچنین عوامل انسانی مانند فعالیت‌های صنعتی و ترافیک می‌پردازد. نتایج حاصل از این تحلیل شامل شناسایی نواحی با تراز صوتی بالا، تحلیل کیفیت زندگی، مدیریت آلودگی صوتی و طراحی فضاهای عمومی بهینه است.

روش پژوهش

پژوهش حاضر از پژوهش‌های کاربردی است که با هدف شناسایی و تفکیک توده و فضاهای شهری با استفاده از تراز صوتی و با روش توصیفی-تحلیلی در شهر اهواز انجام شده است. به منظور دستیابی به هدف مورد اشاره، نخست با مطالعه مبانی نظری و ادبیات تحقیق، اصول و معیارهای مدنظر طراحی شدند. پس از تهیه داده از منابع مربوطه، تصحیحات هر یک انجام شده و به استانداردسازی آنان در نرم‌افزارهای مختلف اقدام شد. به‌عبارت دیگر، در ابتدا با مطالعه دقیق منابع و مستندات مرتبط، مدل‌های موجود در ارزیابی توده-فضای شهری بررسی شده‌اند. سپس با استفاده از دانش تجربی و اطلاعات کمی و کیفی مورد نیاز برای شناسایی و تفکیک، المان‌ها توده و فضای

شهری با تراز صوتی مختلف استخراج شده‌اند. در این پژوهش، برای اطمینان از اینکه همه مناطق اهواز به درستی نمایندگی می‌شوند و با توجه به گستره شهر، ابتدا با روش نمونه‌برداری پوشش مکانی تصادفی در نرم‌افزار ArcGIS *(فایه و همکاران، ۲۰۲٤)*، شهر به مناطق مختلف (در اینجا مناطق شهری) تقسیم شده و با توجه به وسعت تقریباً ۱۸۰۰۰ هکتاری شهر به ازای هر گرید ٦۰۰ *٦۰۰ متری یک نقطه نمونه اختصاص یافته و در نهایت ۳۰۰ نقطه نمونه برای برداشت تعیین شد. سپس با استفاده از دستگاه صوت‌سنج مدل KIMO DB100 به برداشت داده‌های صوتی هر نقطه در دو موقعیت زمانی شب و روز (ساعات ۹ صبح و ۹ شب) اقدام و معدل هر یک محاسبه شد. به‌منظورتعمیم داده‌های برداشتی نقاط نمونه پوشش مکانی تصادفی و تعیین تراز صوتی آن، از روش زمین‌آماری درون‌یابی IDW [1] به دلایلی مانند *(مالیکا، ۲۰۲٤)*: (۱) ساده و مؤثر بودن (یک روش ساده و مؤثر برای درون‌یابی داده‌ها است که به راحتی می‌تواند به داده‌های نمونه‌ای که در نقاط مختلف جمع‌آوری شده‌اند، اعمال شود)؛ (۲) توجه به نزدیکی نقاط (این روش به نقاط نزدیک‌تر وزن بیشتری می‌دهد، به این معنا که تأثیر نقاط نزدیک بر تخمین تراز صوتی بیشتر از نقاط دور است)؛ (۳) تعمیم داده‌ها (با استفاده ازآن، می‌توان داده‌های جمع‌آوری شده از نقاط نمونه را به کل منطقه تعمیم داد)؛ (٤) قابلیت تطبیق با داده‌های غیر یکنواخت (قادر است به خوبی با داده‌های غیر یکنواخت و پراکنده کار کند، که در مورد داده‌های صوتی در یک شهر بزرگ مانند اهواز بسیار مهم است)، مورد استفاده قرار گرفته و در نهایت پهنه‌های صوتی اهواز در پنج کلاس کیفی استخراج شدند.

محدوده مورد مطالعه

قلمرو جغرافیایی پژوهش حاضر، کلان‌شهر اهواز است که در بخش مرکزی شهرستان اهواز قرار داشته و به‌عنوان مرکز استان خوزستان شناخته می‌شود. از نظر موقعیت ریاضی، این شهر در ۳۱ درجه و۳۰ دقیقه عرض شمالی و ٤۸ درجه و ٦۵ دقیقه طول شرقی، در منتهی‌الیه جنوب‌غرب بخش جلگه‌ای خوزستان واقع شده است *(محمدی ده چشمه و همکاران،۱٤۰۳)*. وضعیت مکانی اهواز به‌گونه‌ای است که باعث شده تا ساختار شهر اهواز شطرنجی باشد. در واقع، نبود ناهمواری زیاد در این شهر باعث شده تا بناها و ساختمان‌های شهری با نظم خاصی گسترش پیدا کنند. در واقع، اگر رود کارون و پیچ و خم‌های آن نبود، کالبد شهر اهواز دقیقاً شبیه به صفحه شطرنج می‌شد. بیشتر ساخت و سازهای شهری اهواز از سال‌های ۱۳٤۰ شکل گرفته‌اند *(مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی،۱۳۹٦)*. وسعت شهر اهواز در محدوده قانونی شهری حدوداً ۱۹۰ کیلومتر مربع، در محدوده خدماتی ۲۵۰ کیلومتر مربع و در محدوده استحفاظی ۷۲۰ کیلومتر مربع هست (نگاره ۲).

مطابق آخرین تغییرات سال ۱۳۹۰، شهر اهواز دارای هشت منطقه شهرداری است که هر یک دارای سه، چهار و یا پنج ناحیه شهری هستند *(معاونت برنامه‌ریزی و توسعه سرمایه انسانی شهرداری اهواز،۱٤۰۰)*.

مواد و روش‌های تحقیق

برای توسعه یک مدل ریاضی به‌منظور شناسایی توده و فضای شهری از طریق تراز صوتی، اجزای زیر به‌کار گرفته شده‌اند:

۱- اندازه‌گیری تراز صوتی:

تراز صوتی (سطح فشار صوت،SPL) می‌تواند به واحد دسی‌بل(dB) با استفاده از رابطه(۱) اندازه‌گیری شود *(Foust, 2024)*:

$$SPL=10*\log10(P/_0P)$$

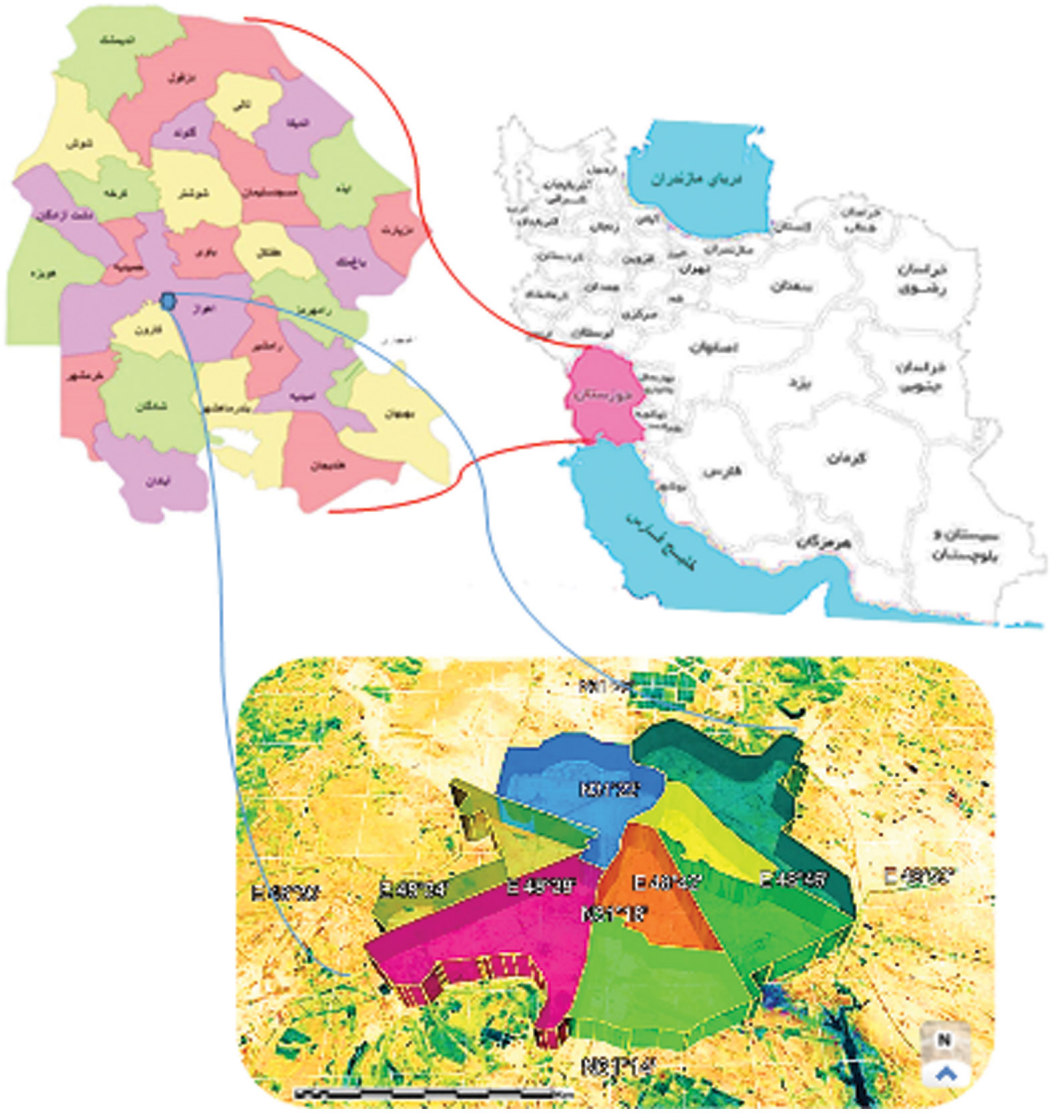
رابطه (۱)

که در آن P: فشار صوت اندازه‌گیری شده است، P_0 فشار صوت مرجع (معمولاً µPa20 است).

۲- مدل‌سازی توده و فضای شهری:

می‌توان فضاهای شهری را با استفاده از یک شبکه

1- Inverse Distance Weighting



نگاره۲: موقعیت و فتومپ شهری اهواز

که شهر را به بخش‌های مجزا تقسیم می‌کند، نمایش داد *(Arribas-Bel & Fleischmann, 2022)*. که هر بخش نیز می‌تواند با تراز صوتی خود مشخص شود:

$A_{ij}= f(SPL_{ij},C_{ij})$ رابطه (۲)

که در آن: A_{ij} ویژگی صوتی برای بخش i ، j و SPL_{ij} تراز فشار صوت اندازه‌گیری شده در بخش i و j، C_{ij} عوامل زمینه‌ای دیگر (مانند کاربری زمین، پوشش گیاهی و غیره) را نشان می‌دهد.

۳- طبقه‌بندی توده و فضای شهری:

برای طبقه‌بندی توده و فضای شهری، می‌توان از الگوریتم خوشه‌بندی و تابع هدف بر اساس تراز صوتی استفاده نمود *(Peng et. al., 2021)*: (رابطه ۳)

$$J = \sum_{m=1}^{k} \sum_{i \in C_m} \| A_i - \mu_m \|^2$$ رابطه (۳)

که در آن J: کل واریانس درون خوشه‌ای، k: تعداد خوشه‌ها در الگوریتم خوشه‌بندی، C_m: مجموعه بخش‌های اختصاص

داده شده به خوشه m، μ_m : مرکز خوشه m و A_i : نقطه داده i که در خوشه m قرار دارد، هستند.

٤- تحلیل فضایی:

پس از طبقه‌بندی بخش‌ها، می‌توان تحلیل فضایی را برای درک رابطه بین توده و فضای شهری و تراز صوتی انجام داد. این عملیات می‌تواند شامل موارد ذیل باشد:

- همبستگی فضایی (مانند Moran's I) برای ارزیابی خوشه‌بندی ترازهای صوتی بالا/پایین.
- ادغام با سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی برای تجسم فضاهای شهری و ویژگی‌های صوتی آن‌ها.

۵- مدل نهایی تفکیک توده از فضا:

با ترکیب عناصر چهارگانه فوق، می‌توان مدل ریاضی نهایی برای شناسایی توده و فضای شهری از طریق تراز صوتی را به‌صورت رابطه(٤) خلاصه نمود:

$$MS= g(A_{ij},SPL_{ij},C_{ij})$$ رابطه(٤)

که در آن MS: توده و فضای شهری، g: نمایانگر تابعی است که خوشه‌بندی و تحلیل فضایی را برای شناسایی توده‌های مختلف شهری بر اساس ترازهای صوتی اندازه‌گیری شده، ترکیب می‌کند.

٦- ارزیابی دقت

در این مطالعه، به منظور ارزیابی صحت مدل به‌کاررفته، از روش‌های مختلف اعتبارسنجی استفاده شد. ارزیابی صحت به دو بخش اصلی تقسیم می‌شود: اعتبارسنجی با داده‌های مستقل و تحلیل دقت.

• **اعتبارسنجی با داده‌های مستقل:** برای ارزیابی صحت مدل، اندازه‌گیری تراز صوتی در ۳۰ نقطه کنترل که خارج از نقاط نمونه‌برداری اصلی بودند، انجام شد. این نقاط به‌عنوان داده‌های مستقل برای مقایسه با نتایج مدل IDW [1] مورد استفاده قرار گرفتند. میانگین خطای مطلق[2] در این مقایسه برابر با ۲/۸ دی‌سی‌بل محاسبه شد. در این بخش، همخوانی الگوهای تراز صوتی با مبانی نظری نیز مورد بررسی قرار گرفت.

• **تحلیل دقت:** برای سنجش دقت روش‌های به‌کاررفته در تحقیق، از مقایسه کلاس‌های تراز صوتی با مساحت کاربری‌ها و عرصه و عیان استفاده شد. این روش به ما این امکان را می‌دهد که بررسی کنیم آیا تراز صوتی به‌دست‌آمده با الگوهای فضایی و کاربری‌های مختلف در شهر همخوانی دارد یا خیر.

با تعریف کلاس‌های تراز صوتی در پنج کلاس، داده‌های مساحتی هر یک از کاربری‌ها (مسکونی، تجاری، صنعتی و غیره) استخراج و مورد تحلیل قرار گرفت.

نمونه‌برداری پوشش مکانی

نمونه‌برداری پوشش مکانی به‌معنای جمع‌آوری نمونه‌هایی از یک منطقه با هدف بررسی و تحلیل ویژگی‌های آن منطقه است *(لطف‌الهی و جمشیدی، ۱٤۰۰)*. در این روش، نمونه‌هایی از یک منطقه به‌صورت مشخص و با توجه به پوشش مکانی آن منطقه جمع‌آوری می‌شوند. برای نمونه‌برداری پوشش مکانی، معمولاً از روش‌هایی مانند نمونه‌برداری تصادفی یا نمونه‌برداری سیستماتیک استفاده می‌شود. در نمونه‌برداری تصادفی، نمونه‌ها به‌صورت تصادفی از منطقه برداشته می‌شوند، تا نمونه‌هایی از تمام نقاط منطقه جمع‌آوری شوند. در نمونه‌برداری سیستماتیک پوشش مکانی منطقه به بخش‌های مختلف تقسیم شده و نمونه‌ها از هر بخش جمع‌آوری می‌شوند، تا پوشش کامل منطقه به‌دست آید. هدف اصلی این نوع از نمونه‌برداری، جمع‌آوری نمونه‌هایی از یک منطقه برای تحلیل و بررسی ویژگی‌های آن منطقه است تا بتوان اطلاعات دقیق و کاملی درباره آن منطقه به‌دست آورد *(غفاری و همکاران، ۱٤۰۳)*.

- نمونه‌برداری تصادفی لایه‌ای

در این نمونه‌برداری، می‌بایست تعدادی نمونه از یک منطقه برداشته شود تا پوشش مکانی آن منطقه به‌دست آید. اگر تعداد نمونه برابر با n باشد، می‌توان رابطه (۵) را به‌کار برد.

1- Inverse Distance Weighting
2- MAE (Mean Absolute Error)

رابطه (۵) X1, X2, X3, ..., Xn

که در این رابطه، Xi برابر با مقدار نمونه‌برداری شده از منطقه و n برابر با تعداد کل نمونه‌های برداشته شده است.

در این مرحله با رعایت استانداردهای مورد نیاز و به روش تصادفی، با توجه به پهنه تقریباً ۱۸۰۰۰ هکتاری اهواز و وجود هشت منطقه شهری، به ازای گریدهای ۶۰۰ *۶۰۰ متری، در نهایت ۳۰۰ نقطه نمونه برای برداشت داده‌های صوتی در شب و روز مشخص شدند (جدول ۱). از آنجا که امکان برداشت نقاط مذکور در یک زمان خاص ممکن نبود و به منظور کاهش اثر تأخیر زمانی در نمونه‌برداری، در استراتژی نمونه‌برداری موارد ذیل مورد توجه قرار گرفت: الف) تمام نقاط در ساعت ۹ صبح (اوج ترافیک/فعالیت روزانه) و ۹ شب (اوج سکونت شبانه) اندازه‌گیری شدند. ب) تکرار در روزهای مشابه، به‌این مفهوم که نمونه‌برداری در روزهای کاری غیرتعطیل (شنبه تا چهارشنبه) برای حذف اثر تعطیلات انجام شد. ج) برای پوشش تغییرات فصلی محدود عملیات میدانی طی ۴۵ روز (از مهر تا آبان ماه) انجام گرفت. در نهایت نیز ۱۰ نقطه نمونه به‌عنوان مرجع برای بخش‌های مختلف شهر در نظر گرفته شد که در یک روز برداشت شدند. برداشت‌های سایر روزها با استفاده از رابطه نسبت‌سازی به این ایستگاه‌های مرجع مقایسه و نرمالایز شد (رابطه ۶). این رویکرد منجر به حذف اثر عوامل گذرا و متغیرهای محیطی (مانند رطوبت و دما) در روزهای مختلف شده و در نهایت یک مجموعه داده همگن و قابل قیاس از کل شهر ایجاد نمود. نتایج اعتبارسنجی این روش نشان داد که خطای ناشی از تأخیر زمانی در نمونه‌برداری تا حد قابل قبول ۲,۳ دسی‌بلی کاهش یافته و اطمینان‌پذیری داده‌ها برای تحلیل‌های فضایی بعدی به شکل معنی‌داری افزایش یافت.

$$L_{norm} = L_{site} - (R_{ref,t} - R_{ref,avg})$$

رابطه ۶)

که در آن: L_site تراز صوت در نقطه نمونه، R_ref,t تراز صوت در ایستگاه ثابت مرجع در زمان برداشت و R_ref,avg میانگین بلندمدت(ماهانه) ایستگاه مرجع هستند.

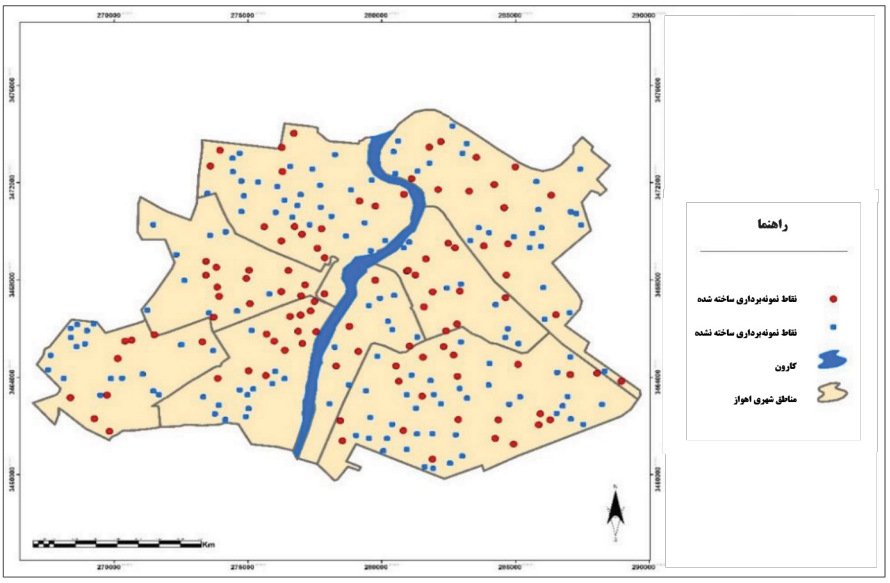
همانگونه که از جدول(۱) برمی‌آید، از مجموع ۳۰۰ نقطه نمونه، ۱۱۸ مورد آن به مناطق ساخته شده و ۱۸۲ مورد به محدوده‌های ساخته نشده تعلق گرفته است (نگاره ۳).

کنترل کیفیت داده‌ها و تصحیح تأخیر زمانی

به منظور اطمینان از قابلیت مقایسه داده‌های صوتی برداشت‌شده در روزهای مختلف و حذف اثر متغیرهای

جدول۱: توزیع نقاط نمونه‌برداری به تفکیک مناطق اهواز

ردیف	منطقه	تعداد نقاط نمونه	تعداد نقاط در مناطق ساخته شده	تعداد نقاط در مناطق ساخته نشده
۱	یک	۲۵	۵	۲۰
۲	دو	۵۵	۱۶	۳۹
۳	سه	۴۷	۲۲	۲۵
۴	چهار	۴۴	۲۰	۲۴
۵	پنج	۲۹	۳	۲۶
۶	شش	۳۹	۱۹	۲۰
۷	هفت	۲۳	۱۳	۱۰
۸	هشت	۳۸	۲۰	۱۸
مجموع		۳۰۰	۱۱۸	۱۸۲



نگاره۳: موقعیت نقاط نمونه‌گیری(به تفکیک محدوده‌های ساخته شده و نشده)

محیطی گذرا (مانند نوسانات رطوبت و دما)، از ۱۰ ایستگاه ثابت در بخش‌های مختلف شهر به‌عنوان ایستگاه‌های شاهد استفاده شد. داده‌های سایر نقاط با استفاده از یک رابطه نسبت‌سازی بر اساس مقادیر این ایستگاه‌های شاهد نرمالایز شدند. نتایج این فرآیند نشان داد که خطای سیستماتیک ناشی از تأخیر زمانی در نمونه‌برداری تا حد ۲,۳ دسی‌بل کاهش یافت که منجر به تولید مجموعه داده‌ای همگن و قابل اتکا برای تحلیل‌های فضایی شد.

صوت‌سنجی با دستگاه KIMO DB100

KIMO DB100 یک دستگاه صوت‌سنج معابر است که با استفاده از آن می‌توان به اندازه‌گیری سطح صوت در محیط‌های مختلف پرداخت (نگاره ٤). این دستگاه با دقت بالا و قابلیت اندازه‌گیری در محدوده‌های فرکانسی مختلف، به‌عنوان یکی از دستگاه‌های صوت‌سنجی پرکاربرد در محیط‌های شهری مطرح است *(آوشا و آنگونگ، ۲۰۲۰)*. این دستگاه اطلاعاتی درباره سطح صوت در محیط‌های مختلف به‌کاربر ارائه می‌دهد و شهروندان را در خصوص مسائل آلودگی صوتی آگاه می‌کند.

نگاره٤: دستگاه صوت‌سنج KIMO DB100

به‌منظور کاهش و حذف اثر جریان هوا روی میکروفون، از محافظ اسفنجی استفاده شده است و برای جلوگیری از وقوع خطاهای محتمل در هنگام ارزیابی صدا، فاصله میکروفن صداسنج از سطوح انعکاسی (مانند دیوارها و اتومبیل‌ها) حداقل ۱ متر و از سطح زمین ۱/۵ متر در نظر گرفته شد *(بیژنی نصرآبادی و همکاران، ۱۳۹۷)*.

پهنه‌بندی تراز صوتی اهواز

به‌منظور گویاسازی تراز صوتی اهواز، می‌بایست معدل داده‌های روزانه و شبانه برداشت‌شده از نقاط نمونه را درون‌یابی نمود تا وضعیت صوتی کل محدوده قانونی

شهر مشخص شود *(امیرذهنی و همکاران، ۱٤۰٤)*. با توجه به نسبت کاربری‌های اهواز، نسبت نقاط نمونه‌برداری تصادفی برای هر کاربری، بیشترین و کمترین مورد به‌ترتیب مربوط به‌کاربری‌های مسکونی و صنعتی هستند. همچنین به منظور ارزیابی داده‌های صوتی برداشت‌شده، مقادیر آن با استاندارد مجاز صوتی کاربری‌های مختلف کشور مورد مقایسه قرار گرفت. سپس با استفاده از ابزار زمین‌آمار و تابع IDW نرم‌افزار ArcGIS، نقشه پهنه‌بندی تراز صوتی اهواز تهیه شد. از آنجا که مقادیر نقاط نمونه از کاربری و سایر فعالیت‌های انسانی در شهر تبعیت می‌نمود، روندی طبیعی و هارمونیک قابل مشاهده نبود. بنابراین پیش از اعمال مدل IDW، نرمال‌سازی داده‌ها به روش نسبت‌سازی به ایستگاه مرجع، صورت پذیرفت *(Xu et. al., 2025)*.

یافته‌ها و بحث

با توجه به اهمیت ارزیابی صحت و دقت روش‌های مورد استفاده در این پژوهش، فرآیند اعتبارسنجی در دو مرحله کمّی و مفهومی انجام پذیرفت:

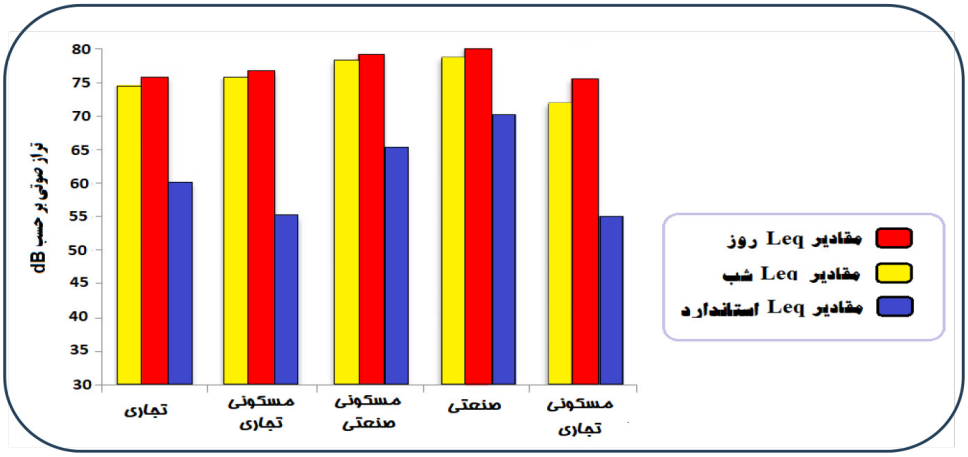
۱) در راستای ارزیابی صحت مدل درون‌یابی IDW، اعتبارسنجی با داده‌های مستقل انجام شد. به‌این منظور اندازه‌گیری تراز صوتی در ۳۰ نقطه کنترل که در نمونه‌برداری اصلی استفاده نشده بودند، انجام گرفت. مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل با داده‌های واقعی این نقاط، نشان‌دهنده دقت مناسب مدل بود به طوری که میانگین خطای مطلق (MAE) برابر با ۲/۸ دسی‌بل محاسبه شد. این میزان خطا در محدوده قابل قبول برای مطالعات آلودگی صوتی و مدل‌سازی صوتی شهری قرار دارد و با مقادیر گزارش شده در پژوهش‌های مشابه همخوانی دارد *(Li et al., 2016; Lu & Wong, 2018)* همچنین از جنبه انطباق مفهومی، بررسی همخوانی الگوهای تراز صوتی با مبانی نظری نتایج ذیل به‌دست آمد:

بالاترین مقادیر: مناطق صنعتی/ترافیکی(dB۷۰–۷۸) تطابق ۱۰۰٪

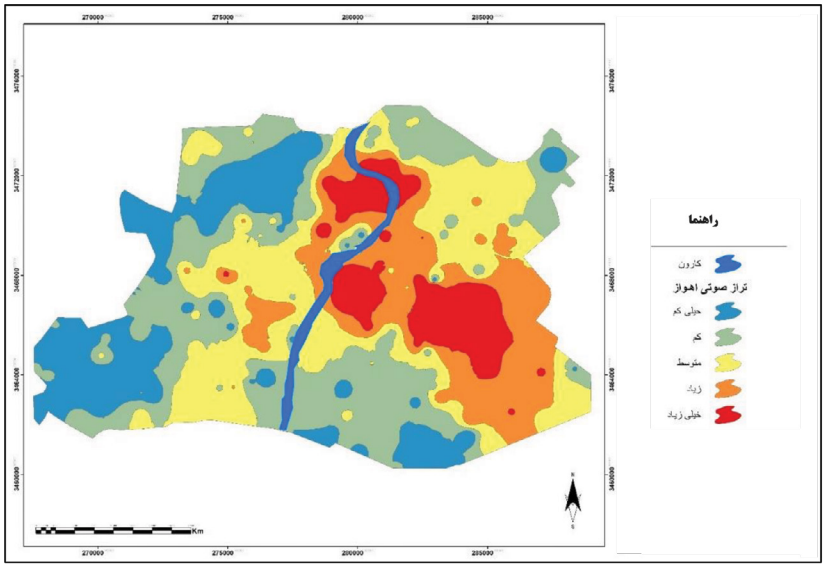
پایین‌ترین مقادیر: فضاهای باز/کم‌تراکم(dB۳۵–٤۳) تطابق ۱۰۰٪

۲) ارزیابی دقت: با مقایسه کلاس‌های تراز صوتی با مساحت کاربری‌ها و عرصه و عیان، ضریب همبستگی پیرسون ۰/۹۱ به‌دست آمد که دقت بالای روش‌ها را تأیید می‌کند.برای سنجش دقت روش‌های به‌کاررفته در تحقیق حاضر، می‌توان از مقایسه کلاس‌های تراز صوتی با مساحت کاربری‌ها و عرصه و عیان استفاده کرد. این روش به ما این امکان را می‌دهد که بررسی کنیم آیا تراز صوتی به‌دست‌آمده با الگوهای فضایی و کاربری‌های مختلف در شهر همخوانی دارد یا خیر. به منظور ارزیابی نتایج تحقیق، پس از تعریف کلاس‌های تراز صوتی اهواز در پنج کلاس، به استخراج داده‌های مساحتی هر یک از کاربری‌ها (مسکونی، تجاری، صنعتی و غیره) و عرصه و عیان مرتبط با آن‌ها اقدام شد. در ادامه، با تحلیل همبستگی (ضریب همبستگی پیرسون)، به بررسی رابطه بین مساحت کاربری‌ها و کلاس‌های تراز صوتی تولید شده اهواز پرداخته شد. ضریب همبستگی برای تعیین میزان همخوانی بین کلاس‌های تراز صوتی و مساحت کاربری‌ها ۰/۹۱ به‌دست آمد که نشان‌دهنده دقت بالای روش‌های مورد بهره‌برداری در این پژوهش است. از مقایسه کلی داده‌های صوتی اهواز با استاندارد صوتی مجاز در ایران (ماده٦ آیین‌نامه اجرایی ماده قانون هوای پاک، ۱۳۹۷) مشخص شد که تراز صوتی در هر دو حالت شب و روز از استانداردهای کشوری فراتر رفته و به همین دلیل، اطلاق واژه «آلودگی صوتی» به وضعیت اهواز کاملاً منطقی است. همان‌طور که انتظار می‌رفت، بیشترین فاصله از استاندارد در کاربری‌های صنعتی مشاهده شد (نگاره ۵).

پس از درون‌یابی نقاط نمونه‌برداری و گویاسازی موقعیت‌های مجهول، در نقشه خروجی تراز صوتی اهواز در پنج کلاس نشان داده شد. برای مدیریت بهتر و ارائه ارزیابی ملموس از آن، با عملیات کلاسه‌بندی مجدد، محدوده اعداد گستره این بخش، به پنج کلاس کیفی تراز صوتی (شامل: خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) تبدیل شد (نگاره ٦).



نگاره۵: مقایسه میانگین ترازهای صوتی کاربری‌های پنج‌گانه اهواز با استاندارد کشوری



نگاره٦: پهنه‌بندی تراز صوتی اهواز

مطابق انتظار، طبقه حداقل با کمترین مقدار خروجی صوتی متعلق به بخش‌های ساخته‌نشده، به‌ویژه در نواحی با فاصله بیشتر از مناطق ساخته‌شده (غرب و جنوب‌غرب اهواز) بود. از طرفی، بالاترین تراز و آلودگی صوتی در محدوده‌های صنعتی (در جنوب‌شرق)، فضای اطراف فرودگاه (در شمال) و فضاهای متراکم مسکونی - تجاری (در مناطق ۱ و ۲) قابل مشاهده است. بیشترین مساحت شهر، با ٦١٢٨ هکتار و کمی بیش از ۲۸ درصد کل مساحت شهر، به تراز صوتی کم (٤٣-٣٥ دسی‌بل) اختصاص یافته است. در حالی که بیشترین تراز صوتی (٧٨-٧٠ دسی‌بل) با ۹/۷ درصد، معادل ۲۱۱۲ هکتار از مساحت شهر را به خود اختصاص داده است. به‌طور کلی، حدود ٤٦ درصد از شهر اهواز تراز صوتی پایین‌تر از استاندارد کشوری دارد. این در حالی است که حدود ٥٤ درصد شهر با مساحتی بیش از ١١٦٠٠ هکتار، تراز صوتی بالاتر از استاندارد دارد (جدول ۲). بنابراین، به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که اهواز شهری است که از آلودگی صوتی رنج می‌برد.

در مقایسه با پژوهش‌های مشابه در ایران و سایر کشورها،

جدول۲: درصد توزیع تراز صوتی اهواز در پنج کلاس

موضوع	خیلی کم (هکتار)	کم (هکتار)	متوسط (هکتار)	زیاد (هکتار)	خیلی زیاد (هکتار)
مساحت	۳۸۶۷	۶۱۲۸	۵۵۷۸	۳۹۶۳	۲۱۱۲
درصد	۱۷/۸۶	۲۸/۳	۲۵/۷۶	۱۸/۳	۹/۷۶

نتایج این تحقیق هم‌راستا با مطالعاتی است که نشان‌دهنده تأثیر طراحی شهری بر تراز آلودگی صوتی است. به‌عنوان مثال، پژوهش‌های انجام شده در تهران و اصفهان نیز نشان داده‌اند که مناطق صنعتی و پرجمعیت به‌طور قابل توجهی با آلودگی صوتی بالاتری مواجه هستند *(علی‌زاده و همکاران، ۱۴۰۰)*. همچنین، نتایج مشابهی در شهرهای بین‌المللی مانند بارسلونا و توکیو به‌دست آمده است که در آن‌ها طراحی نامناسب شهری منجر به افزایش تراز صوتی و کاهش کیفیت زندگی ساکنان شده است *(ژانگ و چن، ۲۰۲۱)*.

این مقایسه‌ها نشان می‌دهد که درک و تحلیل تراز صوتی به‌عنوان یک عامل کلیدی در برنامه‌ریزی شهری و طراحی معماری می‌تواند به بهبود کیفیت زندگی و کاهش آلودگی صوتی کمک کند. با این حال، نیاز به تحقیقات بیشتر در زمینه‌های خاص مانند تأثیرات اجتماعی و اقتصادی آلودگی صوتی و همچنین راهکارهای مؤثر برای مدیریت آن احساس می‌شود.

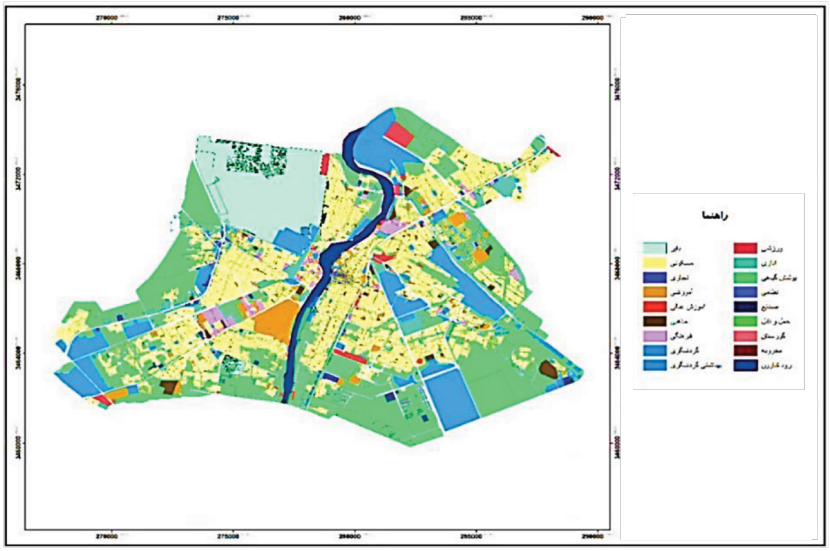
مطابق نتایج پژوهش و الگوی توزیع فضایی آلودگی صوتی اهواز (نگاره۵) به وضوح تحت تأثیر سه عامل اصلی است:

کاربری اراضی: استقرار پهنه‌های صنعتی و نیمه‌صنعتی در جنوب شرق و مرکز شهر (منطقه ۲) به‌عنوان کانون‌های اصلی تولید صوت.

شبکه ترافیکی: ترافیک سنگین در محورهای مواصلاتی منتهی به پل‌های هشتگانه روی رودخانه کارون و کمربندی‌های اصلی.

مورفولوژی شهری: بافت شطرنجی و توپوگرافی مسطح شهر که موجب انتقال صوت با کمترین مانع می‌شود و فقدان عرصه‌های سبز به‌عنوان بافر صوتی، این وضعیت را تشدید کرده است.

یافته این پژوهش مبنی بر همبستگی قوی (r=0.91) بین تراکم فعالیت‌های انسانی و سطوح صوتی، با نتایج مطالعه‌ی (Tobías et al., 2024) در بارسلون و (Zhang & Chen,



نگاره۷: نقشه کاربری اراضی اهواز

2021) در شهرهای پرتراکم همسو است. با این حال، شدت آلودگی صوتی در مناطق صنعتی اهواز (۷۸–۷۰ دسی‌بل) به مراتب بالاتر از استانداردهای گزارش شده در بسیاری از کلان‌شهرهای مشابه است که لزوم توجه فوری به این معضل در برنامه‌ریزی‌های آتی شهری را می‌طلبد.

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف استفاده از تراز صوتی به‌عنوان ابزاری تحلیلی برای شناسایی و تفکیک توده و فضای شهری در شهر اهواز انجام شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تراز صوتی نه تنها به‌عنوان یک معیار برای ارزیابی کیفیت محیطی عمل می‌کند، بلکه می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مؤثر در برنامه‌ریزی و طراحی شهری نیز مورد استفاده قرار گیرد.

آمار به‌دست‌آمده از تحقیق نشان می‌دهد که ۲۸ درصد از کل مساحت شهر (٦١٢٨ هکتار) دارای تراز صوتی کم (۴۳–۳۵ دسیبل) است، که عمدتاً به مناطق مسکونی و کم‌تراکم اختصاص دارد. نزدیک به ۸ درصد از مساحت شهر (۲۱۱۲ هکتار) به تراز صوتی بالا (۷۸–۷۰ دسیبل) تعلق دارد، که این مناطق به‌ویژه در نزدیکی نواحی صنعتی و پرترافیک قرار دارند. این آمار نشان‌دهنده این است که تراز صوتی می‌تواند به‌عنوان یک نشانگر کلیدی برای شناسایی و تفکیک مناطق مختلف شهری عمل کند و به برنامه‌ریزان کمک کند تا الگوهای فضایی شهر را شناسایی نمایند.

تحلیل داده‌های صوتی نشان می‌دهد که نواحی با تراز صوتی بالا، به‌طور معمول با توده‌های ساختمانی متراکم و فعالیت‌های صنعتی مرتبط هستند. این مناطق به دلیل فعالیت‌های اقتصادی و ترافیک بالا، به‌طور طبیعی تراز صوتی بالاتری دارند. در مقابل، نواحی با تراز صوتی پایین‌تر معمولاً به فضاهای باز و کم‌تراکم مربوط می‌شوند که می‌تواند به بهبود کیفیت زندگی ساکنان کمک کند. این تحلیل فضایی می‌تواند به برنامه‌ریزان شهری کمک کند تا تصمیمات بهتری برای توسعه و بهینه‌سازی فضاهای شهری اتخاذ نموده و از تراز صوتی به‌عنوان یک ابزار ارزیابی در طرح‌های توسعه استفاده کنند.

نتایج تحقیق نشان می‌دهد که تراز صوتی به‌عنوان یک معیار کلیدی در تشخیص و تفکیک توده و فضا در شهر اهواز عمل می‌کند. با توجه به آمار به‌دست‌آمده، تراز صوتی می‌تواند به‌عنوان یک شاخص برای شناسایی الگوهای فضایی مختلف در شهر مورد استفاده قرار گیرد. برای نمونه، نواحی با تراز صوتی بالا معمولاً نشان‌دهنده توده‌های ساختمانی متراکم و فعالیت‌های صنعتی هستند، که به‌دنبال آن، نیاز به برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه این فضاها احساس می‌شود. در مقابل، نواحی با تراز صوتی پایین‌تر، معمولاً به فضاهای سبز و کم‌تراکم تعلق دارند که می‌توانند به‌عنوان نقاط قوت در برنامه‌ریزی شهری مورد توجه قرار گیرند. این رابطه نشان می‌دهد که تراز صوتی می‌تواند به‌عنوان یک ابزار تحلیلی در شناسایی و تفکیک توده و فضای شهری، به‌ویژه در نواحی مختلف اهواز، مورد استفاده قرار گیرد و به برنامه‌ریزان کمک کند تا تصمیمات بهتری در زمینه توسعه و بهینه‌سازی فضاهای شهری اتخاذ کنند.

تحقیقات مشابه در زمینه اثر صوت بر بافت شهری نشان می‌دهند که تراز صوتی می‌تواند تابعی از مورفولوژی و شرایط کالبدی شهر باشد ***(Han et. al., 2018; Hong, et. al, 2017; Liang et al., 2025)***. نتایج تحقیق حاضر تأیید می‌کند که نواحی با تراز صوتی بالا در اهواز، به‌طور عمده در نزدیکی توده‌های ساختمانی متراکم و مناطق صنعتی قرار دارند. این یافته‌ها با نتایج پژوهش توبیاس و همکاران در بارسلون هماهنگ است و بیانگر این است که مناطق با توده‌های ساختمانی متراکم، معمولاً تراز صوتی بالاتری دارند ***(توبیاس و همکاران، ۲۰۲٤)***. همچنین، استفاده از مدل‌های تحلیلی پیشرفته در توکیو برای پیش‌بینی تراز صوتی در نواحی مختلف شهری، نشان‌دهنده ارتباط مستقیم بین توده و فضا و تراز صوتی بود ***(یانو و همکاران، ۲۰۲۳)***. این یافته‌ها نیز با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد و نشان می‌دهد که نیاز به توسعه مدل‌های تحلیلی برای بررسی دقیق‌تر این ارتباطات

در اهواز وجود دارد.

با وجود نتایج مثبت، این تحقیق با محدودیت‌هایی نیز مواجه بود. یکی از محدودیت‌ها، عدم دسترسی به داده‌های صوتی جامع در زمان‌های مختلف و در تمام نقاط شهر بود. همچنین، ممکن است عوامل محیطی و اجتماعی دیگری نیز بر تراز صوتی تأثیر بگذارند که در این تحقیق به آن‌ها پرداخته نشده است. علاوه بر این، استفاده از تکنیک‌های نمونه‌برداری ممکن است به دقت نتایج آسیب رسانده باشد.

با تطبیق یافته‌های این پژوهش با شرایط بومی اهواز، می‌توان دریافت که راهکارهای کاهش آلودگی صوتی در این شهر باید بر ایجاد کمربندهای سبز در اطراف کانون‌های صنعتی، بازنگری در طرح تفصیلی برای ایجاد حریم بین کاربری‌های مسکونی و صنعتی، و مدیریت هوشمند ترافیک در محورهای اصلی متمرکز شود.

با توجه به یافته‌های این تحقیق، پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آتی به موارد زیر توجه شود:

• توسعه مدل‌های تحلیلی پیشرفته: ایجاد و توسعه مدل‌های تحلیلی پیچیده‌تر برای بررسی ارتباط بین تراز صوتی و ویژگی‌های فضایی شهر اهواز.

• تحلیل تطبیقی: انجام مطالعات تطبیقی با شهرهای دیگر که دارای ویژگی‌های مشابه هستند، می‌تواند به درک بهتر از چالش‌ها و فرصت‌ها در شناسایی و تفکیک توده و فضا کمک کند.

• استفاده از فناوری‌های نوین: بهره‌گیری از فناوری‌های هوشمند و اینترنت اشیاء برای جمع‌آوری داده‌های دقیق‌تر و به‌روزتر در زمینه تراز صوتی و تحلیل آن‌ها.

• بررسی تأثیرات اجتماعی: تحقیق در مورد تأثیرات طراحی توده و فضا بر تعاملات اجتماعی و کیفیت زندگی ساکنان، به‌ویژه در نواحی با تراز صوتی بالا.

در نهایت، این پژوهش نشان می‌دهد که تراز صوتی به‌عنوان یک ابزار تحلیلی می‌تواند به شناسایی و تفکیک توده و فضای شهری در اهواز کمک کند و نیاز به توجه بیشتر به این پارامتر در برنامه‌ریزی شهری را برجسته می‌کند. توجه به تراز صوتی می‌تواند به بهبود کیفیت محیط زیست و زندگی ساکنان و همچنین بهینه‌سازی فضاهای شهری منجر شود. این نتایج می‌توانند به‌عنوان پایه‌ای برای تحقیقات آینده در زمینه طراحی و مدیریت شهری به‌کار گرفته شوند.

تعارض منافع

در این پژوهش، حامی مالی و تعارض منافع وجود ندارد.

References

1- Al-Abayechi, Y. F., Al-Khafaji, A. S., & Alrobaee, T. R. (2024). Structural equation modeling of urban design and sustainability in Najaf's traditional urban context. Opportunities and Challenges for Sustainability, 3(1), 50-61.

2- Amirzohni, Parastoo, Samadian Fard, Saeed, Nazemi, Amirhossein, and Sadradini, Ali Ashraf. (2025). Evaluation of four interpolation methods for temperature and vegetation indices derived from satellite images in modeling daily reference evapotranspiration. Environmental and Water Engineering, 11(2), 125-133. doi: 10.22034/ewe.2024.473908.1961، [In Persian].

3- Arribas-Bel, D., & Fleischmann, M. (2022). Spatial signatures-understanding (urban) spaces through form and function. Habitat International, 128, 102641.

4- Ashari, A. B., & Omar, Y. B. (2023). Noise Assessment Using Sound Level Meter (SLM).

5- Bijani Nasrabadi, N., Tavakoli, A., Khosravi, Y., & Jabari, M. K. (2018). Assessing the impact of land use on noise pollution (Case study: District One, Region Six of Tehran). Urban Studies Journal, 2(1), 91-103.[In Persian].

6- Bocher, E., Guillaume, G., Picaut, J., Petit, G., & Fortin, N. (2019). Noisemodelling: An open source GIS based tool to produce environmental noise maps. Isprs international journal of geo-information, 8(3), 130.

7- Faye, P. A. L., Brunel, E., Claverie, T., Manou-Abi, S. M., & Dabo-Niang, S. (2024). Automatic

17- Legal Affairs Office of the Presidency. (2018). Article 6 of the Executive Regulations of the Clean Air Law was approved on 21/6/1397 by the Cabinet.[In Persian].

18- Li, J., & Heap, A. D. (2014). A review of comparative studies of spatial interpolation methods in environmental sciences: Performance and impact factors. Ecological Informatics, 23, 57-71. https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2013.10.005

19- Liang, Z., Jin, S., Gao, H., Wang, M., & Guan, Q. (2025). Discovering directional relationships between urban morphology and thermal environment using an anisotropic 3D urban texture model. Urban Climate, 62, 102532.

20- Lotfollahi, D., Mohammad Amir, & Jamshidi. (2021). Introducing various sampling methods in digital soil mapping studies. Applied Soil Research, 8(3), 202-219.[In Persian].

21- Lu, G. Y., & Wong, D. W. (2008). An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. Computers & Geosciences, 34(9), 1044-1055. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2007.07.010

22- Madadi H, Moradi H, Soffianian A R, Salman Mahiny A. The Application of Traffic Noise Modeling to Define Road Ecological Effect Zone in Natural Habitats of Lorestan Province. Iranian Journal of Applied Ecology 2017; 6 (2) :69-82 [in Persian]

23- Maleika, W. (2024). The Effect of the Density of Measurement Points Collected from a Multibeam Echosounder on the Selection of IDW Interpolation Points in the Process of Creating Seabed Models. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing.

24- Mohajer Milani, A. (2024). Analysing Complete Street Design Principles Using Space Syntax Methodology in a Case of Haft-e-Tir Square, Tehran. International Journal of Environmental Research, 18(6), 97.

25- Mohammadi Dehcheshmeh, M., Safaeepour, M., Sajjadian, N., & Ebadi, H. (2024). Developing Feasibility of Urban Renewable Energy in Ahvaz with a Passive Defense Approach. Geography and Environmental Planning, 35(1), 19-44. [In Persian].

26- Oliveira, A., & Ribeiro, A. (2023). "Social Interactions geomorphological mapping using ground truth data with coverage sampling and random forest algorithms. Earth Science Informatics, 17(4), 3715-3732.

8- Foust, H. (2024). Speed of Sound and Critical Flow. Springer Nature Singapore. Pp 23,29.

9- Ghafari, O., Ovysi, A., Alizadeh, N., & Sorya. (2024). Evaluating the accuracy of systematic and random sampling methods in estimating weed seedling density in corn fields under different irrigation systems. Iranian Weed Science Journal, 19(2), 117-140.[In Persian].

10- Ghayourhalaj, Masoumeh, Joulai, Shirin, and Hakimpour, Ghasem (2021). Mass and Space in Urban Planning System with a Focus on Social and Environmental Development (Case Study: Mojd Boulevard, Mashhad). 12th National Conference on Urbanism, Architecture, Civil Engineering, and Environment. [In Persian].

11- Han, X., Huang, X., Liang, H., Ma, S., & Gong, J. (2018). Analysis of the relationships between environmental noise and urban morphology. Environmental pollution, 233, 755-763.

12- Hong, J. Y., & Jeon, J. Y. (2017). Relationship between spatiotemporal variability of soundscape and urban morphology in a multifunctional urban area: A case study in Seoul, Korea. Building and Environment, 126, 382-395.

13- Jaloohani Neyarki, M. R., Hajilo, F., & Hosseinzadeh, L. (2018). Utilizing geographic information systems (GIS) in assessing noise pollution in work environments: A case study of a textile factory. Health and Environment, 11(3), 377-390.[In Persian].

14- Jelokhani-Niaraki M, Hajiloo F, Hasanzade L. The use of geographic information systems (GIS) for assessing noise pollution in industrial workplaces: a case study of knitting industry. ijhe 2018; 11 (3) :377-390[in Persian]

15- Kang, J., & Zhang, L. (2020). "Exploring the Relationship Between Urban Soundscapes and Public Space Design." Landscape and Urban Planning, 198, 103776.

16- Lee, S., & Park, J. (2022). "Integrating Acoustic Considerations into Sustainable Urban Design." Sustainable Cities and Society, 76, 103451.

and Acoustic Comfort in Urban Spaces: The Role of Spatial Configuration." Urban Design International, 28(1), 12-24.

27- Paravar, A., Monazzam, M. R., Mansouri, N., & Matlabi Kashani, M. (2015). Investigating noise pollution and traffic noise index using geographic information systems in the main streets of Kashan. Health Research, 11(4), 688-693.[In Persian].

28- Pheasant, R., & Watts, G. (2024). "Acoustic Modeling in Urban Design: A Review of Techniques and Applications." Journal of Acoustical Society of America, 151(5), 3456-3468.

29- Planning and Human Capital Development Office of Ahvaz Municipality. (2021). Statistical yearbook of the metropolis of Ahvaz.[In Persian].

30- Rahnama, M. R., & Abbaszadeh, G. (2008). Principles, foundations, and models of measuring urban morphological form (1st ed.). Mashhad University Press. [In Persian].

31- Research Center for Roads, Housing, and Urban Development. (2017). National building regulations (Indicators for determining urban fabric deterioration). Ministry of Housing and Urban Development.[In Persian].

32- Shakibamanesh, A., & Kokabi, M. (2022). Investigating mass-space system to achieve an optimal model for analysing visibility among residential buildings and public open spaces using three-dimensional isovist. Megaron, 17(3).

33- Shojaeean, A., Anamardanjad, R., Bordy, R., & Lotfi. (2023). Identifying urban masses using nighttime remote sensing (Case study: Ahvaz). Future Cities Perspective Journal, 4(3), 61-77. .[In Persian].

34- Shojaeean, A., Sajadian, N., & Rahimpour, N. (2019). Investigating the impact of mass and urban space proportions on crime occurrence in Behbahan. Information and Criminal Research, 14(2), 27-50.[In Persian].

35- Tobías, A., et al. (2024). Urban noise and its impact on health: A case study in Barcelona. Environmental Science & Policy, 77, 1-8.

36- Usha, M. K. F., & Angon, P. B. (2020). Determination of sound level by using Sound Meter.

37- Yano, T., et al. (2023). Effects of environmental noise on social interactions in urban areas. Noise & Health, 6(23), 55-60.

38- Zeng, F., Pang, C., & Tang, H. (2024). Sensors on internet of things systems for the sustainable development of smart cities: a systematic literature review. Sensors, 24(7), 2074.

39- Zhang, Y., & Chen, X. (2021). "Influence of Urban Morphology on Acoustic Environment: A Case Study of High-Density Cities." Sustainability, 13(3), 1234.

COPYRIGHTS

©2026 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NoDerivs 4.0 International (CC BY-ND 4.0)