Journal of Urban Environmental Management

Journal homepage: https://jumee.kgut.ac.ir
Vol.4, No.4; 2027.pp: 40-59

Research paper

(Received 16 Jun. 2026 Accepted 10 Oct. 2026)

Spatial-statistical analysis of traffic noise pollution on Ayatollah Hashemi Rafsanjani Highway in Mashhad: Study of the relationships between noise pollution status, traffic volume, and urban green space use

Abolfazl Jamali[1], Nima Zolfaghari *[2], Hadi Soltanifard [3]

[1] *Master's degree in Environmental Science and Engineering, Faculty of Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran, ab.jamali94@gmail.com*
[2] *Associated Professor, Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran, g.zolfaghari@hsu.ac.ir*
[3] *Associated Professor, Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran, Hsoltanifard@gmail.com*

Abstract

Noise pollution is one of the environmental problems that has gained wider dimensions with the development of technology and industry and has harmful effects on the health of citizens. Urban traffic contributes significantly to noise pollution in metropolitan cities. Creating green spaces is known as an effective solution for reducing noise pollution. In this study, the sound level was measured on the Ayatollah Hashemi Rafsanjani Highway in Mashhad and, while comparing it with environmental standards, a noise zoning map was prepared using the Ordinary Kriging interpolation method and Inverse Distance Weighting (IDW). To prepare the noise pollution zoning map, in addition to the 40 highway stations, 27 other stations around the highway were determined and the LAeq index was measured and the values were recorded. In the kriging method, the RMSE value is 6.2 and less than the RMSE value of 8.2 in the inverse weighting method, so the efficiency of the inverse weighting method is less than the kriging method. In another part of the research, the effect of different types of vehicles on noise pollution was examined through statistical tests. There is a positive correlation between the value of noise indices and the number of vehicles. The role of urban green space use in reducing and absorbing noise pollution was examined through statistical analysis using SPSS software. The results showed that the effects of green space on reducing pollution are positive and the extent of this effect varies depending on the differences in the characteristics of green space.

Keywords: Traffic noise pollution, green space, zoning, urban management, Mashhad

* Corresponding Author: Nima Zolfaghari
Email: *g.zolfaghari@hsu.ac.ir*
Phone:09158278942

DOI: 10.48306/juem.2026.587095.1162

نشریه علمی مدیریت محیط زیست شهری

آدرس نشریه:https://jumee.kgut.ac.ir

سال چهارم/شماره چهارم/ زمستان ۱۴۰۵/صفحه ۴۰-۵۹

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۳/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۷/۱۸

تحلیل فضایی-آماری آلودگی صوتی ترافیکی در بزرگراه آیت‌الله هاشمی رفسنجانی مشهد: بررسی روابط بین وضعیت آلودگی صوت با حجم ترافیک و کاربری فضای سبز شهری

ابوالفضل جمالی[۱]، نیما ذوالفقاری*[۲]، هادی سلطانی فرد[۳]

[۱] دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

[۲] دانشیار، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

[۳] دانشیار، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

چکیده

آلودگی صوتی یکی از معضلات زیست‌محیطی است که با گسترش فناوری و صنعت، ابعاد گسترده‌تری یافته و اثرات زیان‌آوری بر سلامت شهروندان دارد. ترافیک شهری، سهم عمده‌ای در آلودگی صوتی کلان‌شهرها دارد. تردد خودروها در بزرگراه‌های شهری باعث انتشار آلودگی صوت می گردد. ایجاد فضای سبز به عنوان یک راهکار مؤثر برای کاهش آلودگی صوتی شناخته می شود. در این پژوهش در بزرگراه آیت الله هاشمی رفسنجانی شهر مشهد میزان صوت اندازه گیری (صداسنج Casellacel مدل Cel450 ساخت انگلستان) و ضمن مقایسه با استانداردهای زیست محیطی، نقشه پهنه بندی صوت به روش درون یابی کریجینگ (Ordinary Kriging) و وزن دهی معکوس فاصله (Inverse DistanceWeighting (IDW)) تهیه گردید. برای تهیه نقشه پهنه بندی آلودگی صوت علاوه بر ایستگاههای ۴۰ گانه بزرگراه، ۲۷ ایستگاه دیگر در پیرامون بزرگراه تعیین و اندازه گیری شاخص LAeq انجام و مقادیر ثبت شد. در روش کریجینگ مقدار RMSE=6.2 و کمتر از مقدار RMSE=8.2 در روش وزن دهی معکوس می باشد، لذا کارایی روش وزن دهی معکوس فاصله از روش کریجینگ کمتر می باشد. در بخشی دیگر از پژوهش میزان تاثیر انواع خودروها در آلودگی صوتی از طریق آزمون های آماری بررسی گردید. بین مقدار شاخص های صوتی و تعداد خودرو ها رابطه همبستگی مثبت وجود دارد. نقش کاربری فضای سبز شهری در کاهش و جذب آلودگی صوتی از طریق تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد تاثیرات فضای سبز در کاهش آلودگی مثبت می باشد و میزان این تاثیر بسته به تفاوت ویژگی های فضای سبز متغیر است.

کلمات کلیدی: آلودگی صوتی ترافیکی، فضای سبز، پهنه‌بندی، مدیریت شهری، مشهد.

* نویسنده مسئول: نیما ذوالفقاری

ایمیل: *g.zolfaghari@hsu.ac.ir*

شماره تماس: ۰۹۱۵۸۲۷۸۹۴۲

DOI: 10.48306/juem.2026.587095.1162

۱-مقدمه

همزمان با رشد و ارتقاء تکنولوژی، مشکل صدا نیز ابعاد گسترده‌تری یافته و باعث بروز مشکلات بیشتری خواهد شد. آلودگی صوتی دارای اثرات زیان آوری بر مردم شهر است که عمده‌ترین این اثرات عبارت از افت شنوایی، اختلال در خواب، افزایش فشار خون، خستگی مفرط، ناراحتی‌های گوارشی، تحریک پذیری و افسردگی می باشد. بیش‌ترین سهم عمده آلودگی صوتی در کلان شهرها مربوط به ترافیک می باشد. میزان انتشار آلودگی صوت ناشی از ترافیک تابع سرعت، تعداد و نوع خودروها می باشد. فضاهای سبز، از جمله درختان، درختچه‌ها، پرچین‌ها و سایر پوشش گیاهی، به طور فزاینده‌ای به عنوان ابزارهای موثر برای کاهش آلودگی صوتی شناخته شده‌اند. نوع و ترکیب فضاهای سبز نقش مهمی در تعیین اثربخشی کاهش نویز آن‌ها ایفا می کند. مطالعه و شناخت بهترین ترکیب و یا نوع گونه‌های به کار گرفته شده در فضای سبز، به طراحان و برنامه‌ریزان شهری کمک می کند تا در جانمایی و طراحی فضای سبز شهرها بهره‌وری بالای فضای سبز در کاهش صوت را مد نظر قرار دهند. شناخت تأثیر انواع و ترکیبات مختلف فضای سبز بر کنترل آلودگی صوتی با استفاده از روش‌های مطالعات متعدد قابل بررسی می باشد. در پژوهش‌های انجام شده در زمینه فضای سبز و آلودگی صوتی، از روش‌های مختلفی استفاده شده که برخی از آن‌ها عبارتند از: بررسی مطالعات پیشین، تحلیل داده‌های آماری، مدل سازی کامپیوتری، روش‌های میدانی، و روش‌های آزمایشگاهی. نتایج مقالات قبلی نشان می دهد که فضای سبز می تواند به طور موثری در کاهش آلودگی صوتی در مناطق شهری نقش مؤثر داشته باشد[۱]. نتایج بدست آمده در پژوهشی نشان داده که فضای سبز علاوه بر ایفای نقش به عنوان یکی از عوامل مهم کاهنده صوت در محیط‌های شهری، نقش مهمی در افزایش جذابیت‌های بصری داشته و در نتیجه سطح تحمل افراد را نسبت به صوت‌های مزاحم افزایش می دهد، نحوه ترکیب و چیدمان این گونه‌ها و جنبه‌های زیباشناختی آن‌ها می تواند تاثیر مثبتی بر روی کاهش اثرات صوت های مزاحم روی افراد داشته باشد[۲].

چندین مطالعه موردی اثربخشی فضاهای سبز را در کاهش آلودگی صوتی در مناطق شهری نشان داده است. به عنوان مثال، در همدان، باغها و پارک‌ها به ترتیب سطح سر و صدا را ۴/۵ دسی‌بل و ۳/۵ دسی‌بل کاهش می دهند و اهمیت فضاهای سبز در کاهش نویز شهری را برجسته می سازند[۳]. در مطالعه دیگری بررسی تاثیر گونه‌های درختی موجود در فضای سبز شهر آباده و نیز تاثیر ردیف‌های درختکاری شده و عرض کاشت در کاهش شدت صوت بررسی شده است. نتایج مطالعه نشان داد بین فاصله از منبع تولید صدا (فاصله از خیابان) و تعداد ردیف درخت کاشته شده و میانگین تراز شدت صوت هبستگی منفی وجود دارد واین بدین معناست که هرچه فاصله از خیابان و تعداد ردیف‌های درخت کاشته شده بیشتر باشد میزان کاهش صدا بیشتر خواهد بود[۱].

کاربری های حساس و مسکونی اطراف بزرگراه‌ها بیش‌ترین تاثیرپذیری از آلودگی صوتی را دارند و پیش بینی فضاهای سبز خطی به موازات بزرگراه‌ها می تواند میزان آلودگی صوتی دریافتی در کاربری های مذکور را کاهش دهد[۴]. در این پژوهش در بزرگراه آیت الله هاشمی رفسنجانی شهر مشهد میزان صوت اندازه گیری و ضمن مقایسه با استانداردهای زیست محیطی، نقشه پهنه بندی صوت به روش درون یابی کریجینگ ((Ordinary Kriging (OK) و وزن دهی معکوس فاصله (Inverse Distance Weighting (IDW)) تهیه گردید. همچنین این پژوهش به دنبال بررسی پاسخ به این سوال هست که آیا بین میزان صدا و نوع و ترکیب گونه‌های گیاهی فضای سبز منطقه مورد مطالعه ارتباطی وجود دارد، و چه ترکیبی بیشترین تاثیر در کاهش آلودگی صوت را دارد. پهنه بندی و تهیه نقشه آلودگی صوتی از طریق GIS یکی از ابزارهای مهم برای تشخیص و کنترل آلودگی صدا در محیط زیست است. با توجه به ویژگی این سامانه می توان نقاط حساس به آلودگی صوتی را شناسایی کرد و تمهیدات لازم برای اصلاح وکنترل بارترافیکی شهر را سنجید که متعاقب آن کنترل و کاهش آلودگی صوت را در پی خواهد داشت.

آلودگی صوتی عبارت است از پخش و انتشار هر گونه صدا و ارتعاش، بیش از حد مجاز و مقرر در فضای باز (غیر سرپوشیده). صدا به صورت امواج مکانیکی بر کل بدن از جمله دستگاه شنوایی اثر سوء دارد. از لحاظ اقتصادی نیز آلودگی صوتی هزینه‌هایی را بر هر کشور تحمیل می کند لذا استانداردهایی برای میزان صوت تدوین شده است. در جدول ۱ استاندارد زیست محیطی ایران که توسط سازمان حفاظت محیط زیست اعلام گردیده مشاهده می شود. مطابق این استاندارد مناطق شهری به ۵ دسته تقسیم شده است.

جدول ۱- حدود مجاز صدا در هوای آزاد ایران (استانداردهای محیطی (هوای آزاد) سازمان حفاظت محیط زیست)

نوع منطقه	روز از ساعت ۷ الی ۲۲ dB(A)	شب از ساعت ۲۲ الی ۷ dB(A)
منطقه مسکونی	۵۵	۴۵
منطقه تجاری-مسکونی	۶۰	۵۰
منطقه تجاری	۶۵	۵۵
منطقه مسکونی-صنعتی	۷۰	۶۰
منطقه صنعتی	۷۵	۶۵

منابع و کانون‌های آلودگی صوتی به لحاظ ثابت و متحرک بودن به دو گروه تقسیم می شوند که عبارتند از: ۱- منابع متحرک شامل: حمل و نقل عمومی، خودروهای سواری، موتورسیکلت‌ها، حمل ونقل هوایی، حمل و نقل دریایی، و حمل ونقل زمینی (مترو). عمده‌ترین منابع صدا در محیط‌های شهری ناشی از وسایل حمل و نقل می‌باشد. سهم سر و صدای بزرگراه‌ها ۷۰٪ است. سر و صدای تولید شده به‌وسیله خودروها عمدتاً از تماس سطح جاده و تایر، موتور، گیربکس، آیرودینامیکی و اگزوز خودرو ایجاد می شود. ۲- منابع ثابت شامل: نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها، کارخانه‌ها، کارگاه‌ها، فرودگاه‌ها، پایانه‌های حمل و نقل، توقفگاه‌های دائمی وسائط حمل و نقل عمومی، تعمیرگاه‌های وسایل نقلیه موتوری، بندرها، میادین تیر، ژنراتورها و موتورهای تولید برق.

در سه مرحله می توان با اتخاذ روش‌های مختلف جهت کنترل و کاهش آلودگی صوتی اقدام نمود که این سه عبارتند از: ۱- کاهش و کنترل صدای منبع تولید کننده صوت، ۲- کاهش و کنترل صدا در مسیر انتشار صوت، و ۳- کاهش و کنترل صدا در محل دریافت صوت. مرحله اول مربوط به تولید کنندگان وسایل حمل و نقل، خودروسازان و سازندگان تجهیزات می‌باشند که باید استاندارد ساخت تجهیزات و اجرای آن توسط دولت تدوین شود. در مرحله دوم و سوم هم باید توسط طراحان، برنامه ریزان شهری و پیمانکاران برای کاربری‌های اطراف اقدامات لازم برای کاهش سر و صدا در نظر گرفته شود. کاهش آلودگی صوت با لحاظ نمودن ملاحظات در زمان برنامه ریزی فیزیکی شهرها عمدتاً به بافت فیزیکی می پردازد واجزاء مورد توجه آن شامل توسعه کاربری اراضی، شبکه ارتباطی و... می باشد. در نظام برنامه‌ریزی شهری کشور ما به برنامه ریزی فیزیکی بیشتر از سایر موارد توجه می شود با پیش بینی تدابیر لازم جهت کاهش وکنترل آلودگی صوت در این بخش می توان میزان سر و صدا را کاهش داد و بخش عمده ای از مشکلات بعدی ناشی از بروز آلودگی صوت را کاهش دهد. از دیگر روش‌های مهم کنترل آلودگی صوت، مکان‌یابی کاربری‌ها است. مکان یابی عبارت است از انتخاب محل مناسب برای عناصر، فعالیت‌ها و کلا هر نوع کاربری اراضی شهری. هر گاه این فضاها در مکانی مناسب مستقر نگردند و ترتیب و توزیع قرارگیری شان منطقی نباشد طبیعی است شهر با مشکلات فراوانی از جمله آلودگی صوت مواجه می گردد. در نظر گرفتن فضای سبز درحد فاصل سرچشمه وگیرنده صدا از دیگر اقدامات کاهش صوت است. پوشش گیاهی اگر دارای ارتفاع کافی، عرض و تراکم مناسب باشد می‌تواند صدای ناشی از ترافیک بزرگراه‌ها را کاهش دهد. پوشش ۴۰ متری درخت می تواند حداکثر سطح صدا ۸۷ دسی‌بل (A) را به حد مجاز ۵۵ دسی‌بل (A) کاهش دهد. در واقع انرژی امواج صوتی پس از برخورد با شاخ و برگ درختان به انرژی جنبشی تبدیل می گردد. بر اساس تحقیقات انجام شده، دانشمندان دریافته اند که تنک یا انبوه بودن درختان در قدرت صدا گیری حائز اهمیت است. به‌علاوه درختان همیشه سبز در تمام طول سال به صورت یکنواخت می توانند صدا را کاهش دهند. در صورتی که درختان خزان پذیر تا زمانی که برگ‌های آن‌ها خزان نکرده باشد قادر به جذب صدا می باشند. لذا کشت گسترده و انبوه نتایج بهتری در کاهش صدا داشته‌اند. امواج صدا از سطوح سخت مانند سنگ، آسفالت و سیمان سریع‌تر عبور نموده ولی سطوح نرم مانند چمن و یا هر گونه پوشش گیاهی دیگر قابلیت صداگیری دارند. بنابراین در اطراف اماکن پر سر و صدا اگر درخت کاری و چمن کاری شود به مقدار قابل ملاحظه ای صداها تقلیل می یابند.

۲-مواد و روش ها

در این تحقیق به منظور مقایسه میزان صوت با استاندارد، ابتدا در محدوده مورد مطالعه بزرگراه آیت اله هاشمی رفسنجانی، ۴۰ ایستگاه تعیین و اندازه گیری صوت برای هر ایستگاه در روز های کاری فصل بهار سال ۱۴۰۰ در سه نوبت صبح (۹-۷)، ظهر(۱۵-۱۲) و عصر(۲۰-۱۷) برای هر ایستگاه اندازه گیری شد (بین ساعت ۷ تا ۲۲) انجام شد. ساعت اندازه گیری طوری انتخاب شد که همه تغییرات مهم ترافیکی را شامل شود. مدت زمان اندازه‌گیری باید چنان باشد که نتایج اندازه‌گیری با تکرار ثابت باشد. لذا این اندازه‌گیری به مدت ۱ دقیقه در هر ایستگاه و در سه نوبت فوق الذکر انجام گردید. نتایج مورد تجزیه وتحلیل آماری قرار گرفت، و با میزان استاندارد مقایسه گردید. سپس برای تهیه نقشه پهنه بندی آلودگی صوت علاوه بر ایستگاه‌های ۴۰ گانه قبلی، ۲۷ ایستگاه دیگر در پیرامون بزرگراه تعیین و اندازه گیری برای شاخص LAeq انجام و مقادیر اندازه گیری شده در نرم افزارExcel 2016 ذخیره گردید. قابل ذکر است به منظور بررسی محدوده‌های که تحت تاثیر مستقیم آلودگی صوت قرار داشت بافر ۱۰۰۰ متر از محدوده اطراف تهیه و در این محدوده پهنه بندی انجام گرفت. برای تحلیل فضایی وضعیت آلودگی صوتی در محدوده اطراف بزرگراه از نرم افزار Arc GIS 10.1 منتشر شده توسط کمپانی ESRI استفاده شد و در این نرم افزار دو مدل درون یابی کریجینگ و وزن دهی معکوس فاصله به‌کار گرفته شدند. نهایتاً، دو مدل مورد مقایسه قرار گرفته و بهترین مدل انتخاب شد.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های اندازه گیری

در این پژوهش برای سنجش میزان صوت از دستگاه صداسنج Casellacel مدل Cel450 ساخت انگلستان (شکل ۲) منطبق بر استانداردهای بین‌المللی استفاده شد. این دستگاه دارای یک کالیبراتور است که می‌بایست قبل از شروع اندازه‌گیری مورد استفاده قرار گیرد لذا برای اطمینان از صحت کار اندازه‌گیری توسط ترازسنج صوت، ابتدا کالیبراسیون انجام شد. علت از تنظیم خارج شدن دستگاه و نیاز به کالیبراسیون، تغییرات فشار هوا، تغییرات رطوبت و دمای محیط است. کالیبراسیون دستگاه، صحت کار اندازه‌گیری توسط ترازسنج صوت را تضمین می کند و تمامی دستگاه ها حتی دستگاه های مدرن نیز نیاز به کالیبراسیون دارند. اطلاعات کالیبراسیون دستگاه می‌بایست همراه با اطلاعات اندازه‌گیری صورت گرفته ارائه شود. در این تحقیق در کلیه اندازه‌گیری‌ها دستگاه قبل از اندازه‌گیری کالیبره شده است. نکته دیگر حائز اهمیت مود پاسخ دستگاه است که به سه صورت زیر می باشد:



شکل ۲- تصاویر دستگاه صداسنج و کالیبراسیون

Fast: حالتی است که دستگاه هر ۱۲۵ میلی ثانیه یک اندازه‌گیری می کند. برای موانع متحرک به‌دلیل در حال حرکت بودن منابع صوتی از این حالت دستگاه استفاده می‌شود.

Slow: دستگاه هر ۱ ثانیه یک اندازه‌گیری می کند. برای اندازه‌گیری صوت منابع ثابت این حالت دستگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

Impulsive: دستگاه هر ۳۵ میلی ثانیه یک اندازه‌گیری می کند وبرای منابع کوبه ای مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در هر نوع استاندارد اندازه‌گیری نحوه پاسخ دستگاه ذکر شده است. در اندازه‌گیری‌های بلند مدت یعنی در نویزهای پیوسته که معمولاً منابع آن ثابت است از مود Slow استفاده می شود اما در تحقیق حاضر چون منابع صوت ترافیکی هستند و هر خودرو به عنوان یک منبع خطی متحرک به حساب می آید در همه اندازه‌گیری‌ها دستگاه در حالت مود Fast و روی سه پایه در وضعیت مناسب قرار داده شد. برای اندازه‌گیری صدای حاصل از ترافیک، میکروفون می‌بایستی ۱/۲ متر بالاتر از سطح زمین و فاصله افقی از محدوده ترافیکی (لبه بزرگراه) حداقل ۲ متر نصب شود. همچنین به‌دلیل احتمال بروز خطا بر اثر بازتاب اصوات برخوردی با موانع هیچ یک از اندازه‌گیری‌ها در فاصله یک متری ساختمانها و دیگر موانع انجام نگرفت. برای انجام اندازه‌گیری‌ها در محیط خارجی، حفاظ بادی مورد استفاده قرار گرفت. اولین قرائت از طریق مشاهده صفحه صداسنج صورت گرفت. برای تعیین تراز فشار صوت منتشره می بایست میکروفن به سمت منبع اصلی صدا باشد. مدت زمان اندازه‌گیری باید طوری انتخاب شود که همه تغییرات مهم تراز فشار صوت را شامل شود. به علاوه انتخاب مدت زمان اندازه‌گیری باید چنان باشد که نتایج اندازه‌گیری با تکرار ثابت باشد. لذا این اندازه‌گیری به مدت ۱ دقیقه در هر ایستگاه انجام و در بازه زمانی ۷ صبح تا ۱۰شب برای هر ایستگاه ۳ بار تکرار گردید.

برای بررسی تاثیر انواع خودرو ها در تولید آلودگی صوتی، با توجه به ورودی ها و خروجی های بزرگراه، شش ایستگاه از بین ایستگاهها که معرف وضعیت ترافیکی در مسیر رفت و برگشت بودند تعیین و همزمان با سنجش صوت به مدت ده دقیقه از خودروهای عبوری فیلم برداری شد و سپس تعداد خودروهای عبور برای هر یک از انواع سواری، نیمه سنگین، سنگین، اتوبوس و موتورسیکلت به روش چوب خط از طریق مشاهده فیلم تعیین گردید و سپس مورد آزمون آماری قرار گرفت.

محدوده مورد مطالعه واقع در کلان‌شهر مشهد مرکز استان خراسان رضوی است. این شهر با ۳۵۱ کیلومتر مربع مساحت، دومین شهر پهناور ایران بعد از تهران است. براساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ مشهد با ۳۳۷۲۶۶۰ نفر جمعیت، دومین شهر پرجمعیت ایران پس از تهران است. این شهر به واسطه وجود حرم علی بن موسی الرضا، سالانه پذیرای بیش از ۲۷ میلیون زائر از داخل و دو میلیون زائر از خارج از کشور است. در کلان‌شهر مشهد تقریباً ۶۸ کیلومتر بزرگراه داخل شهری وجود دارد که برخی از بزرگراه‌های مشهد عبارتند از: بزرگراه آیت الله هاشمی رفسنجانی (میثاق سابق)، بزرگراه شهید کلانتری، بزرگراه امام علی، بزرگراه نمایشگاه، بزرگراه وکیل‌آباد، بزرگراه آزادی، بزرگراه غدیر، بزرگراه شهید بابانظر، بزرگراه شهید میرزایی، بزرگراه شهید چراغچی و بزرگراه

سلسلةالذهب[۵]. محدوده مورد مطالعه بزرگراه آیت ا...هاشمی رفسنجانی، منطقه ۱۰ (شهرک غرب) را از منطقه ۱۲ شهرداری (الهیه) جدا می‌کند، انتهای بزرگراه آزادی را به تقاطع آزادگان (میدان نهم دی سابق) متصل می‌کند. طول این بزرگراه ۶/۵ کیلومتر می‌باشد و از بزرگراه‌های غربی مشهد به حساب می‌آید. بزرگراه آیت الله هاشمی رفسنجانی متشکل از ۲ باند اصلی و ۲ باند کنارگذر می‌باشد و در مجموع ۱۲ خط عبور (Line) دارد. نام این بزرگراه بر اساس مصوبه شورای شهر مشهد در سال ۹۶ از میثاق به آیت الله هاشمی رفسنجانی تغییر یافته است. بزرگراه آیت الله هاشمی رفسنجانی به عنوان اولین خروجی محور اصلی قوچان – مشهد را به میدان نمایشگاه و مسیر دسترسی به مناطق تفرجی شاندیز و طرقبه متصل می نماید. به همین دلیل این بزرگراه در تمام ایام سال دارای بار ترافیکی قابل توجهی می باشد. بیشترین کاربری اطراف این بزرگراه مسکونی بوده که از نظر تاثیر آلودگی صوتی بر این مناطق نیز حائز اهمیت است.

در این پژوهش آلودگی صوتی ترافیکی در محدوده مورد مطالعه با توجه به خصوصیات فضایی و مکانی محدوده مورد مطالعه قرار گرفت و برای پاسخ به این سوالات که: آیا بین میزان صدا و نوع کاربری های مجاور ارتباطی وجود دارد یا خیر؟ آیا با استفاده از روش های درون یابی امکان برآورد صوت در اراضی مجاور وجود دارد؟ و بررسی وضعیت آلودگی صوتی در چند نقطه از فضای سبز موجود مورد بررسی قرار گرفت.

۳-نتایج و بحث

۳-۱-مقایسه میزان صدای اندازه گیری شده در ایستگاه های مختلف

محاسبات آماره های توصیفی داده های اندازه گیری شده در نرم افزار SPSS به شرح جدول ۲ دریافت گردید.

جدول ۲- واریانس، انحراف معیار و میانگین مقادیر اندازه‌گیری

شاخص های صوتی	تعداد ایستگاه ها	دامنه تغییرات	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	واریانس
LAeq	۱۲۰	۳۳/۲۰	۵۴/۵۰	۸۷/۷۰	۷۴/۱۹	۷/۴۲	۵۵/۰۸
LAFmx	۱۲۰	۴۰/۵۰	۵۹/۹۰	۱۰۰/۴۰	۸۲/۰۴	۸/۲۷	۶۸/۵۵
LZpk	۱۲۰	۵۸/۹۰	۶۹/۸۰	۱۲۶/۷۰	۱۰۵/۳۶	۷/۳۹	۱۲۰۵۴/۷۲
LAFmn	۱۲۰	۳۴/۹۰	۵۱/۶۰	۸۶/۵۰	۶۸/۰۱	۷/۱۲	۵۰/۸۲
تعداد نمونه ها	۱۲۰						

میانگین مقدار اندازه‌گیری شده در ایستگاه ها برای شاخص L_{Aeq} برابر۷۴/۱۹ می باشد. کمترین میزان اندازه گیری در کلیه مراحل اندازه گیری در همان شاخص ۵۴/۵۰ و بیشترین مقدار ۸۷/۷۰ می باشد. به منظور تایید و یا رد این فرضیه که بین داده های ایستگاه های مختلف اندازه‌گیری، ارتباط معناداری وجود دارد. نرمال بودن داده های شاخص L_{Aeq}، L_{AFMX}، L_{AFmn} و L_{Zpk} در نرم افزار SPSS از طریق آزمون کلوموگروف اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت و در صورت نرمال بودن آزمون پارامتریک و در صورت غیر نرمال بودن آزمون ناپارامتریک انتخاب گردید.

جدول ۳- محاسبات آماره های توصیفی داده های اندازه گیری شده

نتایج آزمون تجزیه واریانس یک طرفهANOVA برای شاخص L_{AFMX}

منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	ارزش Sig.
بین گروهها	۶۸۵۸/۱۴	۳۹	۱۷۵/۸۵۰	۰/۰۰۰
داخل گروهها	۱۲۹۹/۵۰	۸۰	۱۶/۲۴۴	
کل	۸۱۵۷/۶۴	۱۱۹		

نتایج آزمون تجزیه واریانس یک طرفهANOVA برای شاخص L_{Zpk}

منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	ارزش Sig.
بین گروهها	۵۲۵۱/۹۶	۳۹	۱۳۴/۶۶۶	۰/۰۰۰
داخل گروهها	۱۲۵۹/۸۲۷	۸۰	۱۵/۷۴۸	
کل	۶۵۱۱/۷۸	۱۱۹		

نتیجه آزمون کروسکال والیس برای شاخص L_{AFMN} (Test Statisticsa,b)

کای اسکوار	۱۰۷/۰۹۴
درجه ازادی	۳۹
ارزش Sig	۰/۰۰۰

a:آزمون کروسکل والیس b: گروه بندی متغییر ایستگاه ها

نتیجه آزمون کروسکال والیس برای شاخص L_{Aeq} (Test Statisticsa,b)

کای اسکوار	۱۰۸/۷۰۹
درجه ازادی	۳۹
Sigارزش	۰/۰۰۰

a: آزمون کروسکل والیس b: گروه بندی متغییر ایستگاه ها

۳-۱-۱) شاخص L_{AFMX}

در آزمون کلوموگروف اسمیرنوف برای داده های شاخص L_{AFMX} مقدار Sig. (2-tailed)=.200 لذا داده ها نرمال و ارتباط بین مقادیر ایستگاه ها از طریق آزمون پارامتریک تجزیه واریانس یک طرفه مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه آزمون ANOVA مقدارSig=0.000 و بین داده های شاخص L_{AFMX} در ایستگاه های مختلف ارتباط معناداری وجود دارد.

۳-۱-۲) شاخص L_{AFMN}

در آزمون کلوموگروف اسمیرنوف برای داده های شاخص L_{AFMN} مقدار Sig. (2-tailed)=.002 لذا دادهها غیرنرمال و ارتباط بین مقادیر ایستگاه ها از طریق آزمون کروسکال والیس بررسی شد که نتیجه این آزمون مقدار sig=0.00 لذا فرضیه وجود ارتباط معنادار بین ایستگاه ها مورد تایید قرار گرفت.

۳-۱-۳) شاخص L_{Aeq}

در آزمون کلوموگروف اسمیرنوف برای داده های شاخص L_{Aeq} مقدار Sig. (2-tailed)=.009 لذا دادهها غیرنرمال و ارتباط بین مقادیر ایستگاه ها از طریق آزمون کروسکال والیس مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه آزمون کروسکال والیس sig= 0.00 لذا فرضیه معناداری ارتباط بین داده ها در ایستگاه های مختلف مورد تایید قرار گرفت.

۳-۱-۴)شاخص L_{Zpk}

در آزمون کلوموگروف اسمیرنوف برای داده های شاخص L_{Zpk} مقدار Sig. (2-tailed)=.075 لذا داده ها نرمال و ارتباط بین مقادیر ایستگاه ها از طریق آزمون پارامتریک تجزیه واریانس یک طرفه مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه آزمون ANOVA مقدارSig=0.000 و فرضیه وجود ارتباط معنادار بین مقادیر در ایستگاه های مختلف مورد تایید قرار می گیرد.

به دلیل نرمال بودن داده ها و برابری واریانس‌ها با هدف دستیابی به رابطه بین داده ها برای دو L_{Zpk} و L_{AFMX} از آزمون دانکن در نرم افزار SPSS استفاده شد. برابر نتایج آزمون دانکن در شاخص L_{AFMX} کمترین مقدار نیز مربوط به ایستگاه های ۳، ۳۰، ۱۵ و ۴ و برابر با ۶۹/۷، ۷۳/۲، ۷۳/۹ و ۷۴/۸ و بیشترین مقادیر در این شاخص که در یک گروه قرار گرفته اند مربوط به ایستگاه های ۲۸، ۱۴،

۱۰، ۱۲، ۲۳، ۲۹، ۲۲، و ۱۱ و برابر با ۸۹/۲، ۹۰، ۹۰/۳، ۹۰/۴، ۹۲، ۹۳/۱ و ۹۴/۳ می باشد و در شاخص L_{Zpk} کمترین مقدار مربوط به ایستگاه ۳ و برابر با ۸۵/۲ و بیشترین مقدار آن مربوط به ایستگاه ۱۱ و عدد ۱۲۴ می باشد.

نتایج فوق نشان می دهد عواملی مختلفی از قبیل سرعت وسایل نقلیه، تعداد و نوع خودروها، ارتفاع ساختمان ها، فضای سبز، جنس زمین و ... که در تولید آلودگی صوتی در بزرگراه و انتشار آن نقش دارند. قرار گرفتن ایستگاه های ۳ و۴ در گروه کمترین مقادیر شاخص های چهارگانه فوق می تواند ناشی از تاثیر دیواره احداث شده در اطراف زمین بایر، وجود یک قطعه فضای سبز در یک سمت محل اندازه گیری، خاک نرم زمین، شیب منفی مسیر بزرگراه و وجود یک مسیر کنار گذر در کنار بزرگراه باشد. همچنین قرار گرفتن این ایستگاه در ابتدای مسیر و عدم رسیدن خودروهای عبوری به سرعت ماکزیمم نیز موثر خواهد بود. هر چند خودروها در این ایستگاه در حال شتاب گیری بوده و صدای موتور نسبت به زمان ماکزیمم سرعت بیشتر خواهد بود. ایستگاه های ۱۰،۱۱و۱۲ در اطراف میدان هفتم آذر واقع گردیده است که در گروه بیشترین مقدار شاخص L_{AFMX} قرار کرفته است و دلیل این موضوع ناشی از ورود تعداد زیاد خودروها از چهار جهت به میدان، توقف خودروها در پشت چراغ قرمز میدان و شتاب گیری خودروها در هنگام خروج از میدان می باشد. علاوه بر ایستگاه های ۱۱،۱۰ و۱۲ در گروه بیشترین مقدار شاخص L_{AFMX} ایستگاه های ۲۸،۲۹ ،۲۲ و ۲۳ در این گروه قرار گرفته و نقطه مشترک در کلیه این ایستگاه‌ها نبود کنار گذر بزرگراه و نبود فضای سبز قابل توجه در کنار بزرگراه می باشد علاوه بر دو مورد ذکر شده ایستگاه شماره ۱۴ در گروه بیشترین مقدار شاخص L_{AFMX} قرار گرفته و در یک سمت ایستگاه خیابان فرعی رحمانیه وجود داشته و ترافیک این خیابان نیز بر مقدار صوت ایستگاه شماره ۱۴ تاثیر گذار می باشد. به جز ایستگاه های شماره ۱۰،۱۱و ۱۲ در سایر ایستگاه هایی که درگروه بیشترین مقادیر شاخص L_{AFMX} قرار گرفته اند یک ویژگی مشترک دیگر وجود داشته آن نیز عبور خودروها با سرعت بالا در لحظه عبور از کنار ایستگاه می باشد.

از موارد تاثیرگذار در فرآیند انتشار آلودگی صوتی ترافیکی وجود ساختمان ها در مجاورت بزرگراه ها بوده که باعث انعکاس صوت و تشدید آلودگی صوت می شود این موضوع در مقایسه ایستگاه شماره ۳ و ۴ که تنها یک دیواره با ارتفاع حدود دو متر در اطراف زمین‌های بایر وجود داشته با ایستگاه های شماره ۱۴،۲۸،۱۰،۱۲،۱۱،۲۳،۲۹و۲۲ که ساختمان هایی با ارتفاع بین ۶ تا ۱۲ متر وجود دارد مشهود می باشد.

همان طور که در بالا اشاره شد در شاخص L_{Zpk} کمترین مقدار مربوط به ایستگاه ۳ و برابر با۸۵/۲ و بیشترین مقدار آن مربوط به ایستگاه ۱۱ و عدد۱۲۴می باشد. این شاخص برای سنجش اصوات ضربه‌ای یا همان کوبه‌ای مورد استفاده قرار گرفته و این اصوات در کسری از ثانیه (کمتر از ۰/۵ ثانیه) شروع و خاتمه پیدا می کند. به نظر نگارنده صدای بوق اتومبیل ها را می توان از عوامل موثر بر این شاخص در آلودگی صوتی ترافیکی دانست. لذا با توجه به اینکه ایستگاه شماره۳ در فاصله ۵۰ متری بزرگراه قرار داشته و از طرف دیگر دلایلی از قبیل ورود خودروها از فرعی به اصلی، ترافیک و ... در این قسمت از بزرگراه وجود نداشته که رانندگان را مجبور به استفاده از بوق نماید، این ایستگاه در گروه کمترین مقدار شاخص L_{Zpk} قرار گرفته است. بر خلاف ایستگاه شماره ۳ در سمت حاشیه شمال شرق میدان هفتم ایستگاه شماره ۱۱واقع گردیده که در لحظه سبز شدن چراغ راهنمای میدان و همچنین دور زدن خودرو ها در وسط میدان برخی از رانندگان از بوق استفاده می نمایند از این رو ایستگاه شماره ۱۱ در گروه بیشترین مقدار شاخص L_{Zpk} قرار گرفته است.

۳-۲-مقایسه میانگین مقادیر اندازه گیری شده با استاندارد آلودگی صوت

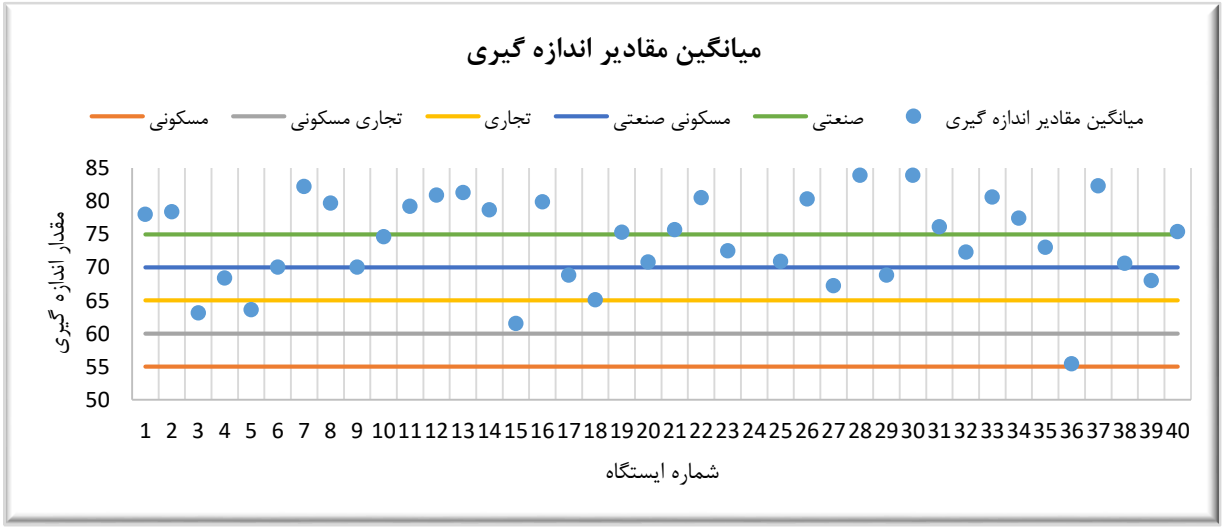
برای مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده میانگین سه مرحله اندازه گیری محاسبه و با استاندارد های صوت سازمان حفاظت محیط زیست مورد مقایسه قرار گرفت. در ایستگاه شماره ۳۶ میانگین مقادیر اندازه گیری شده در سه مرحله برداشت برابر۵۵/۴ و کمترین میانگین در بین ایستگاه ها می باشد. بیشترین میانگین مراحل اندازه گیری در ایستگاه شماره ۲۴برابر ۸۵/۱ و بیشترین میانگین در بین مقادیر ایستگاه ها می باشد.

جدول ۴- میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌ها

شماره ایستگاه	میانگین اندازه گیری	شماره ایستگاه	میانگین اندازه گیری	شماره ایستگاه	میانگین اندازه گیری	شماره ایستگاه	میانگین اندازه گیری
۱	۷۸	۱۱	۷۹/۲	۲۱	۷۵/۷	۳۱	۷۶/۱
۲	۷۸/۴	۱۲	۸۰/۹	۲۲	۸۰/۵	۳۲	۷۲/۳
۳	۶۳/۱	۱۳	۸۱/۳	۲۳	۷۲/۵	۳۳	۸۰/۶
۴	۶۸/۴	۱۴	۸۷/۷	۲۴	۸۵/۱	۳۴	۷۷/۴
۵	۶۳/۶	۱۵	۶۱/۵	۲۵	۷۰/۹	۳۵	۷۳
۶	۷۰	۱۶	۷۹/۹	۲۶	۸۰/۳	۳۶	۵۵/۴
۷	۸۲/۲	۱۷	۶۸/۸	۲۷	۶۷/۲	۳۷	۸۲/۳
۸	۷۹/۷	۱۸	۶۵/۱	۲۸	۸۳/۹	۳۸	۷۰/۶
۹	۷۰	۱۹	۷۵/۲	۲۹	۶۸/۸	۳۹	۶۸
۱۰	۷۴/۶	۲۰	۷۰/۸	۳۰	۸۳/۹	۴۰	۷۵/۴

جدول ۴ میانگین مقادیر اندازه گیری شده را در ایستگاه‌های مورد مطالعه در بزرگراه‌هاشمی رفسنجانی نشان می دهد. نتایج حاکی از آن است کلیه مقادیر اندازه‌گیری در ایستگاه‌ها بالاتر از حد استاندارد هوای آزاد برای مناطق مسکونی (۵۵db) می باشد. برخی از کاربری‌های دیگر از جمله مسکونی-صنعتی و صنعتی نیز در اطراف بزرگراه قرار دارد که در این مناطق نیز مقادیر ثبت شده از استانداردهای تعریف شده سازمان حفاظت محیط زیست بالاتر است. در شکل شماره ۳ وضعیت مقادیر ایستگاه‌ها نسبت به استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست نشان داده شده است که کمترین میزان صوت ثبت شده مربوط به ایستگاه شماره ۳۶ و عدد ۵۵/۴ می باشد. این ایستگاه داخل اراضی بایر و از یک طرف به اراضی کشاورزی واقع در بین محدوده بلوارهای امیریه و عصمتیه متصل گردیده است. میانگین میزان آلودگی صوت در کلیه ایستگاه‌ها برابر با عدد ۷۴ می باشد. بالاترین مقدار مربوط به ایستگاه شماره ۲۴ و برابر ۸۵/۱ می باشد که در ابتدای هاشمی ۴۵ واقع و کاربری غالب اطراف آن ایستگاه مسکونی می باشد. بنابراین میانگین مقدار اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های ۴۰ گانه میزان صوت بالاتر از میزان استاندارد را نشان می دهد.

میانگین مقدار اندازه‌گیری شده در کلیه ایستگاه‌های میزان صوت بالاتر از میزان استاندارد بود. نتایج پژوهش‌های سایر محققان در شهرهای مختلف، نشان دهنده تراز آلودگی صوتی بیش از حد استاندارد می باشد[۴]. در مطالعه‌ای دیگر مشخص شد که شهر اصفهان از آلودگی صوتی بالایی برخوردار است. و در اکثر موارد نیز از استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران بالاتر است[۶].



شکل ۳- نمودار وضعیت مقادیر اندازه‌گیری نسبت به استاندارد

۳-۳-بررسی تاثیر انواع خودرو ها در تولید آلودگی صوتی

میزان آلودگی صوت به طور مستقیم با حجم ترافیک متناسب است، به این معنی که با افزایش حجم ترافیک میزان آلودگی صوت نیز افزایش می یابد. اما نقش انواع خودرو ها در میزان صوت ترافیکی متفاوت می باشد به این منظور در تعداد ۶ ایستگاه به شرح جدول ۵ هم‌زمان با شمارش خودرو ها میزان صدا بوسیله دستگاه صدا سنج میزان صدا در مدت زمان ۱۰ دقیقه اندازه‌گیری گردید.

جدول ۵- نتایج اندازه گیری های انجام شده همزمان با شمارش خودروها

شماره ایستگاه شمارش خودرو ها	مختصات		تعدادخودروهای عبوری در لحظه اندازه‌گیری						نتایج اندازه‌گیری			
	X	Y	سواری	نیمه سنگین	موتور	سنگین	اتوبوس	جمع کل خودرو عبوری	L_{AFMX}	L_{AFMN}	L_{Aeq}	L_{Zpk}
ایستگاه۱	۷۲۱۴۹۸	۴۰۲۵۹۰۰	۴۳۵	۲۶	۱۵	۵	۶	۵۸۶	۸۵	۶۹/۱	۷۶/۵	۱۰۲/۳
ایستگاه۲	۷۲۲۲۸۳	۴۰۲۶۵۱۳	۶۶۱	۵۹	۱۵	۴	۶	۷۴۵	۹۱/۱	۶۷/۱	۷۵/۹	۱۱۱/۹
ایستگاه۶	۷۲۵۴۲۷	۴۰۲۸۹۳۶	۶۲۳	۵۳	۳۷	۵	۸	۷۲۶	۹۰/۶	۷۱/۳	۷۹/۷	۱۱۸/۲
ایستگاه ۱۲	۷۲۴۱۵۷	۴۰۲۷۹۲۱	۵۱۱	۳۵	۱۴	۵	۱۰	۵۷۵	۹۰/۳	۶۵/۱	۷۵/۴	۱۰۸/۶
ایستگاه ۱۸	۷۲۲۲۲۳	۴۰۲۶۵۲۲	۵۴۰	۱۱	۷	۸	۴	۵۷۰	۹۲/۲	۶۳/۲	۷۶/۱	۱۱۱/۱
ایستگاه ۱۹	۷۲۱۴۱۵	۴۰۲۵۹۰۳	۶۸۳	۳۱	۱۴	۸	۳	۷۳۹	۹۰/۷	۶۷/۵	۷۷/۹	۱۲۱/۹

با توجه به اینکه متغیر تعداد انواع خودروها (متغییر مستقل) و نتایج اندازه گیری شده (متغیر وابسته) کمّی هستند توزیع آنها در تست نرمالیته تایید شده است و در نرم افزار SPSS از طریق آزمون تحلیل همبستگی پیرسون مورد تجزیه وتحلیل قرار گرفت (جدول شماره۶)

جدول ۶- نتیجه آزمون همبستگی پیرسون

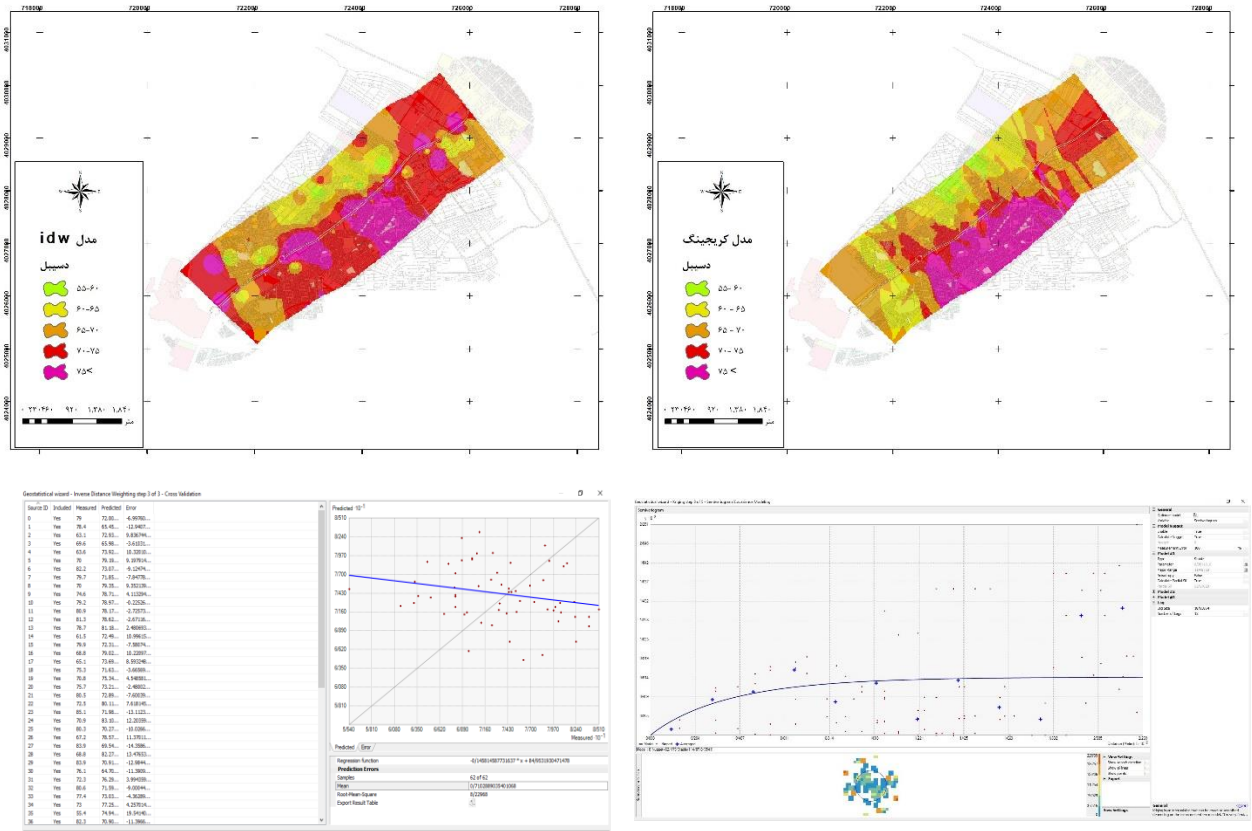
	نوع خودرو	مجموع تعداد خودرو ها	تراز صوت ماکزیمم در شبکه A (L_{AFMX})	تراز صوت مینیمم در شبکه A (L_{AFMN})	تراز معادل صوت در شبکه A(L_{Aeq})	تراز صوت پیک(L_{Zpk})
سواری	همبستگی پیرسون	۰/۹۶۶**	۰/۳۳۵	۰/۳۹۸	۰/۵۰۴	۰/۷۶۷
	ضریب اعتماد(sig)	۰/۰۰۲	۰/۵۱۶	۰/۴۳۵	۰/۳۰۸	۰/۰۷۵
	تعداد ایستگاه	۶	۶	۶	۶	۶
نیمه سنگین	همبستگی پیرسون	۰/۷۴۰	۰/۱۱۹	۰/۵۸۸	۰/۳۱۷	۰/۲۷۵
	ضریب اعتماد(sig)	۰/۰۹۳	۰/۸۲۲	۰/۲۲۰	۰/۵۴۰	۰/۵۹۷
	تعداد ایستگاه	۶	۶	۶	۶	۶
موتور	همبستگی پیرسون	۰/۴۹۲	-۰/۰۴۰	۰/۸۴۴*	۰/۸۳۰*	۰/۳۷۴
	ضریب اعتماد(sig)	۰/۳۲۲	۰/۹۴۰	۰/۰۳۵	۰/۰۴۱	۰/۴۶۵

	نوع خودرو	مجموع تعداد خودرو ها	تراز صوت ماکزیمم در شبکه A (L_{AFMX})	تراز صوت مینیمم در شبکه A (L_{AFMN})	تراز معادل صوت در شبکه A(L_{Aeq})	تراز صوت پیک(L_{Zpk})
	تعداد ایستگاه	۶	۶	۶	۶	۶
سنگین	همبستگی پیرسون	-۰/۱۳۵	۰/۳۵۳	-۰/۴۵۰	۰/۱۱۰	۰/۴۳۳
	ضریب اعتماد(sig)	۰/۷۹۹	۰/۴۹۳	۰/۳۷۱	۰/۸۳۶	۰/۳۹۱
	تعداد ایستگاه	۶	۶	۶	۶	۶
اتوبوس	همبستگی پیرسون	-۰/۲۳۳	-۰/۱۲۶	۰/۱۸۸	-۰/۰۸۸	-۰/۳۲۹
	ضریب اعتماد(sig)	۰/۶۷۵	۰/۸۱۲	۰/۷۲۲	۰/۸۶۸	۰/۵۲۴
	تعداد ایستگاه	۶	۶	۶	۶	۶

بر اساس جدول و معنادار شدن روابط می توان گفت ارتباط تعداد موتورسیکلت ها و مقدارLAeq و LAFmn معنی دار و از نوع مثبت است یعنی با افزایش تعداد موتورسیکلت مقدار دو شاخص صوتی LAeq و LAFmn افزایش پیدا می کند. مقدار ضریب همبستگی(r) نیز به ترتیب برابر۸۳٪و ۸۴٪ درصد می باشد. به عبارتی می توان گفت ۸۳٪ تغییرات LAeq و ۸۴٪ تغییرات LAFmn در ارتباط با تغییرات موتورسیکلت اتفاق می افتد. سطح این معناداری ۵٪ می باشد. در مطالعه‌ای یوسفی و نژادکورکی تعداد زیاد وسایل نقلیه از جمله موتورسیکلت، را دلیل آلودگی بالای استاندارد در شهر یزد بیان داشته‌اند که با این آزمون مورد تایید قرار می گیرد.[۸]. موتورسیکلت ها کمتر از ۳ ٪ کل ترافیک را تشکیل می دهند، بنابراین تأثیر و مشارکت آنها در سطوح کلی سر و صدا کم است. مسأله ای که در مورد این وسایل به چشم می خورد این است که گاهی موتور سوار یا صاحب آن، تغییراتی را در آن ایجاد می کند یا وسایل ارزان قیمت و با کیفیت پایین را در حین تعمیر، جایگزین وسایل اصلی و اولیه موتورسیکلت می سازد که تراز صدای آن را افزایش می دهد و مقدار آن را از حدود قانونی یا استاندارد فراتر می برد. حد مجاز سر و صدای موتورسیکلت هایی با حجم موتور کمتر از ۸۰ سی سی، تا ۸۶dBA تعیین شده است. همچنین در نتیجه گیری مطالعه صیادی اناری و موفق در شهر بیرجند نیز بر وجود رابطه مستقیم بین تعداد و نوع خودرو و تراز آلودگی صوتی و نقش بارزتر موتورسیکلت ها تاکید شده است که با این نتیجه نیز هم‌خوانی دارد. برابر جدول در سطح معناداری ۱٪ بین مجموع تعداد خودروها و خودروهای سواری ۹۶٪ ارتباط وجود دارد [۴] که در این موضوع نیز از آزمون همبستگی پیرسون جدول شماره۶ استنباط گردد. بین مقدار شاخص های صوتی و تعداد خودرو ها رابطه همبستگی مثبت وجود دارد. از آنجا که ضریب همبستگی بین ۱+و۱- می باشد و هر چه عدد ضریب به سمت عدد ۱+ میل کند میزان همبستگی بیشتر خواهد بود. به هر حال این موضوع در جدول فوق قابل مشاهده است. دربرخی از ستون های جدول این عدد منفی گزارش گردیده که مربوط به خودروهای سنگین و اتوبوس می باشد که با توجه به میزان بالای تولید صدا توسط این خودروها منطقی به نظر نمی رسد لکن با توجه به تعداد کم این دو نوع خودرو در ایستگاه های مورد مطالعه در آزمون اثر آنها نیز پایین بدست آمده است. همان طور که اشاره شد در مطالعه صیادی اناری و موفق در شهر بیرجند بین مجموع تعداد خودروها و خودروهای سواری ۹۶٪ ارتباط وجود داشته که این موضوع نیز برای ارتباط تعداد خودروهای سواری و مجموع خودروها در بزرگراه مورد مطالعه در شهر مشهد نیز به همان میزان تایید گردید. به هر حال آلودگی صوتی حاصل از اتومبیل های سواری نسبت به اکثر وسایل نقلیه دیگر، کمتر است ولی به دلیل تعداد زیادشان در ایجاد سر و صدای کلی ترافیک سهم به سزایی دارند. به طور کلی، ۸۰ درصد کل سفرهای جاده ای با اتومبیل انجام می شود. با توجه به این موضوع توسعه حمل ونقل عمومی به هر نحو از قبیل توسعه خطوط مترو، اتوبوس و.... که منجر به کاهش تعداد خودروهای سواری گردد نیز می تواند در کاهش آلودگی صوت و آلودگی هوا موثر باشد.

۳-۴-پهنه بندی آلودگی صوت در اطراف بزرگراه

به منظور تولید نقشه پیوسته از سطح آلودگی صوتی در منطقه مورد مطالعه، از دو روش درون‌یابی مختلف شامل Kriging معمولی (Ordinary Kriging) و وزن معکوس فاصله (Inverse Distance Weighting - IDW) استفاده گردید. هدف از این تحلیل، تعیین دقیق‌ترین روش برای برآورد سطح آلودگی و ارزیابی میزان خطای پیش‌بینی است. انتخاب روش درون یابی مناسب می تواند منجر به تولید نقشه‌های دقیق تر و صحیح تر گردد.



شکل ۴- نقشه‌های پهنه بندی آلودگی صوتی بزرگراه آیت الله هاشمی رفسنجانی به روش IDW و کریجینگ

در مدل Kriging معمولی پس از برازش تابع واریوگرام و تولید مدل، از روش اعتبارسنجی متقاطع (Cross-Validation) بر روی نمونه ها استفاده شد. نتایج به شرح زیر است:

خطای میانگین(Mean Error) برابر با -3.70×10^{-14} که نزدیک به صفر و نشان دهنده عدم وجود تورش سیستماتیک

ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)=۶/۲۶ دسیبل

خطای میانگین استاندارد شده(Mean Standardized Error) = -5.90×10^{-15}

ریشه میانگین مربعات استاندارد شده شده(RMSSE) =۱/۰ نشان دهنده انطباق کامل مدل با عدم قطعیت واقعی داده ها

رسیدن مقدار RMSSE به عدد ۱ و نزدیک بودن خطای میانگین به صفر، نشان‌دهنده اعتبار بسیار بالای مدل کریجینگ و توانایی آن در مدل‌سازی دقیق ساختار مکانی داده‌ها است.

در مرحله دوم، مدل IDW برای مقایسه با مدل کریجینگ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج استخراج شده از اعتبارسنجی مدل IDW به شرح زیر است:

خطای میانگین(Mean Error)=۰/۷۱

ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)=۸/۲ دسیبل

توزیع خطا :بر اساس نمودارQ-Q Plot ، پراکندگی خطاها نشان‌دهنده عدم انطباق با توزیع نرمال و دقت پایین‌تر در پیش‌بینی مقادیر در نقاط کنترل شده است.

با مقایسه شاخص‌های آماری، مدل Kriging معمولی به دلیل داشتن RMSE کمتر، خطای میانگین نزدیک به صفر و انطباق ساختاری عال(RMSSE=1)، به عنوان مدل بهینه و دقیق‌تر برای تولید نقشه نهایی آلودگی صوتی در این منطقه انتخاب گردید. این مدل توانایی بهتری در مدیریت پراکندگی داده‌ها و لحاظ کردن وابستگی‌های مکانی نسبت به روش IDW از خود نشان داده است.

جدول۷- مقایسه دو روش درون یابی کریجینگ و IDW

شاخص ارزیابی	مدل Kriging معمولی	مدلIDW
RMSE	6.26	8.22
Mean Error (تورش)	≈ 0	0.71
اعتبار ساختاری	بسیار بالا(RMSSE=1)	متوسط/پایین

کارایی روش وزن دهی معکوس فاصله از روش کریجینگ کمتر می باشد. تحقیقات دیگران نیز بر استفاده از نقشه‌های پهنه بندی صوت و استفاده از روش کریجینگ تایید داشته اند. در مطالعه‌ای با استفاده از روش کریجینک نقشه آیایش صوتی در شهر اهواز تهیه گردیده است[۷]. در مطالعه دیگری، برای تهیه نقشه آلودگی صوتی شهر یزد از روش کریجینگ و معکوس فاصله استفاده گردید. نتایج نشان داد که روش کریجینگ دارای ریشه مربعات کمتر (۲/۶۴) و دقت بالاتری نسبت به روش معکوس فاصله برای پهنه بندی صدا می باشد لذا با استفاده از این روش و در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی نقشه صوتی شهر یزد تهیه گردید[۸].

بر اساس نقشه پهنه بندی تهیه شده به دو روش کریجینگ (Kriging) و وزن دهی معکوس(IDW) در کل مسیر بزرگراه و اطراف آن میزان صوت بالاتر از ۷۰ دسی‌بل محاسبه گردیده است. وجود پهنه‌هایی با میزان صوت بالاتر از ۸۰ دسی‌بل در برخی از نقاط طول مسیر بزرگراه نشان دهنده ویژگیهای خاصی از قبیل تاثیر خودروهای ورودی از شریان‌های فرعی به بزرگراه، تردد خودروها در ماکزیمم سرعت، وجود میدان خلیج فارس و میدان نمایشگاه و.. می باشند. واقع شدن میدان خلیج فارس و میدان نمایشگاه در داخل لکه‌های بنفش نقشه تهیه شده به روش IDW حاکی از تاثیر حجم بالای خودروهایی که در حال دور زدن میدانها می باشد. لذا می توان نتیجه گرفت میزان صوت در اطراف میدانها نسبت به سایر نقاط جاده‌ها و بزرگراه‌ها بیشتر می باشد. در دو جهت ورودی و خروجی میدان خلیج فارس به سمت انتهای میثاق نیز میزان صوت بالاتر از ۸۰ دسی‌بل می باشد و در پهنه بنفش قرار می گیرد که نشان دهنده تاثیر شتاب گرفتن خودروها در لحظه خروج از میدان و تاثیر صدای موتور آنها می باشد. در مطالعه‌ای مشابه، از طریق ارزیابی جامع مکانی-زمانی از آلودگی صوتی محیطی در شهر کوتا، هند، مناطق صنعتی، تجاری، مسکونی و سکوت هستند، پایش و اندازه گیری شدند و درون‌یابی مکانی با استفاده از وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) برای ترسیم نقشه توزیع سر و صدا انجام گردیده که یافته‌های آن نشان دهنده بالاتر بودن از حد مجاز در تمام مناطق است و مناطق سکوت و مسکونی بالاترین میزان تجاوز از استانداردها را داشتند[۹].

همان گونه که در بخش کلیات اشاره شد امواج صوتی در زمان برخورد با سطوح ساختمانها دچار شکست می شوند لذا در ایستگاه‌هایی که در میان ساختمانها و داخل بافتها قرار دارند میزان صوت برداشت شده کمتر و در نقشه پهنه بندی به صورت لکه‌هایی با میزان صوت پایین تری نیز نمایش داده شده اند. نکته دیگر قابل استنباط از نقشه پهنه بندی صوت کمتر بودن میزان آلودگی صوت در منطقه ۱۲ شهری (سمت شمال غربی بزرگراه) نسبت به منطقه ۱۰ (سمت شمال شرقی بزرگراه) می باشد، که ناشی از سرعت نسبت بالاتر خودرو ها در این سمت می باشد. به این دلیل که باتوجه به شیب منفی در سمت شمالی شرقی بزرگراه، و همچنین خلوت تر بودن این مسیر خودرو با سرعت نسبت بیشتری عبور کرده لذا میزان صوت منتشر شده بالاتر می باشد. در مطالعه‌ای در منطقه

ویلنیوس (لیتوانی)، محدوده سرعت برای دسته‌های مختلف وسایل نقلیه در داده‌های جمع‌آوری‌شده، و با طیف وسیعی از تراز نویز از روش آماری همبستگی پیرسون مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج به‌دست‌آمده، مشخص کرده است که سطح منحنی‌های نویز به سرعت وسایل نقلیه بستگی دارد[۱۰].

۳-۵-تاثیر کاربری فضای سبز بر میزان صدا

همان طور که در جدول شماره ۸ ملاحظه می شود میانگین میزان صوت در ایستگاه‌های گروه «ج» که همان ایستگاه‌های داخل کاربری فضای سبز بوده نسبت به گروه‌های «الف» و«ب» که اراضی بایر و محدوده‌های مسکونی بدون فضای سبز هستند کمتر می باشد. لذا می توان گفت گروه «ج» از نظر میزان تراز معادل صوت از همه کمتر است. به منظور آزمون نقش موثر فضای سبز در کاهش میزان آلودگی صوت، داده‌های اندازه گیری شده با استفاده از نرم افزارSPSS بعد از انجام تست نرمالیته مورد تجزیه واریانس یک طرفه قرار گرفت، نتیجه آزمون کلوموگروف اسمیرنوف برای داده‌های طبقه بندی شده در جدول ۸ نشان داد که داده‌ها نرمال می باشند (Asymp. Sig. (2-tailed)= 0.581). لذا از آزمون تجزیه واریانس یک طرفه جهت داده‌ها استفاده شد. با توجه به نرمال بودن داده‌ها و برابری واریانس‌ها، مقایسه میانگین بین گروه‌ها، داده‌ها با روش دانکن مورد آزمون قرار گرفت و ارتباط معناداری بین زیر مجموعه‌ها نیز مشاهده می شود، که این نتیجه موید نقش موثر فضای سبز در کاهش آلودگی صوت می باشد. چندین مطالعه موردی اثربخشی فضاهای سبز را در کاهش آلودگی صوتی در مناطق شهری نشان داده است. به عنوان مثال، در مطالعه در شهر همدان، باغ‌ها و پارک‌ها به ترتیب سطح سر و صدا را ۴/۵ دسی بل و ۳/۵ دسی بل کاهش می دهند و اهمیت این فضاهای سبز در کاهش آلودگی صوت شهری محرز می سازد[۳]. درختان و درختچه‌ها از رایج‌ترین عناصر فضاهای سبز شهری هستند و به خاطر قابلیت‌های کاهش سر و صدا شناخته می‌شوند.

جدول۸- طبقه‌بندی ایستگاه‌ها بر اساس نوع کاربری

گروه	نوع کاربری	شماره ایستگاه اندازه گیری	نام ایستگاه	میانگین تراز معادل صوت اندازه گیری شده در سه مرحله
الف	ارضی بایر و بدون کاربری مشخص	۲	هاشمی ۱ حاشیه بزرگراه	۷۸/۴
		۲۲	بعد از فاطمیه (حاشیه)	۸۰/۵
		۲۴	هاشمی ۴۵ (حاشیه)	۸۵/۱
		۲۶	ورودی امامیه به بزرگراه	۸۰/۳۶
		۳۴	بین امیریه وعصمتیه	۷۷/۴
ب	کاربریهای مسکونی که به طور مستقیم از بزرگراه صوت دریافت می کنند.	۷	هاشمی ۴	۸۲/۲
		۸	هاشمی ۷	۷۹/۷
		۱۱	میدان خلیج فارس شمال شرق	۷۹/۲
		۱۶	هاشمی ۲۰	۷۹/۹
		۱۹	هاشمی ۳۱	۷۵/۳
		۳۷	هاشمی ۲۸	۸۲/۳
		۱۷	هاشمی ۲۰	۶۸/۸
		۲۰	درمانگاه نسیم سلامت	۷۰/۸
		۶	میدان گلستان	۷۰
		۳۸	هاشمی ۲۸	۷۰/۶
ج	داخل و یا بعد از فضای سبز	۲۳	فضای سبز بعد از فاطمیه	۷۲/۵
		۲۵	هاشمی ۴۵ فضای سبز	۷۰/۹
		۲۷	ورودی امامیه به بزرگراه	۶۷/۲
		۲۹	فضای سبز ورودی حجاب به بزرگراه	۶۸/۸

براساس آزمون آماری انجام شده وجود ارتباط معناداری در هر یک از سه گروه‌های سه گانه جدول ۸تایید گردید. بررسی نتایج ایستگاه‌های گروه «ج» و مقایسه ویژگی‌های هریک از آن‌ها داخل و یا بعد از فضای سبز نشان می دهد که درختان در تقلیل صدا از عوامل بسیار موثری محسوب می شوند به همین دلیل می توانند در شهرها نقش موثری در کاهش آلودگی صوتی داشته باشند. ایستگاه‌هایی که در داخل یا بعد از فضای سبز قرار داشتند، کاهش چشمگیری در میزان صوت نشان دادند. تحلیل آماری اطلاعات جدول شکل نشان داد که بین میزان صدا و نوع و ترکیب گونه‌های گیاهی در ایستگاه‌های مورد مطالعه، ارتباط معناداری وجود دارد. بهترین عملکرد در کاهش آلودگی صوتی مربوط به ایستگاه شماره ۲۵ (هاشمی ۴۵) بود که دارای پوشش گیاهی متراکم و ترکیبی از درختان و درختچه‌ها بود. کاهش صوت در انتهای فضای سبز بیشتر از ابتدای آن بود که نشان می‌دهد عرض فضای سبز و ترکیب گونه‌های گیاهی در میزان کاهش صوت مؤثر است.

جدول ۹- مقایسه وضعیت فضای سبز ایستگاه‌ها

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	ویژگی فضای سبز	فاصله از ایستگاه لبه بزرگراه	میانگین Leq در لبه بزرگراه	میانگین Leq (داخل فضای سبز)	مقدار کاهش (db)
۲۳	فضای سبز بعد از فاطمیه	فضای سبز (لچکی)، یک ردیف درخت و یک ردیف درختچه در حاشیه بزرگراه و در داخل درخت و چمن	۳۲ متر	۸۰/۵	۷۲/۵	۸
۲۵	هاشمی ۴۵ پشت فضای سبز	حاشیه درختچه سرو، شمشاد تا یک متر ارتفاع فضای سبز (درخت کاج، سرو، زبان گنجشک با چمن)	۳۸ متر	۸۵/۱	۷۰/۹	۱۵
۲۷	فضای سبز ورودی امامیه به بزرگراه	فضای سبز شامل چمن با تپه های کوتاه و درختان پهن برگ	۵۰ متر	۸۰/۳	۶۷/۲	۱۳/۱
۲۹	فضای سبز ورودی حجاب به بزرگراه	چمن، توت، سرو شیراز، درختچه رز	۵۵ متر	۸۳/۹	۶۸/۸	۱۵/۱



الف) ایستگاه شماره ۲۳ فضای سبز بعد از فاطمیه



ب) ایستگاه شماره ۲۵هاشمی ۴۵ پشت فضای سبز



ج) نمای ایستگاه شماره ۲۷ ورودی امامیه به بزرگراه



د) نمای ایستگاه شماره ۲۹ ورودی حجاب به بزرگراه

شکل ۵- نمای ایستگاه‌های واقع در داخل محدوده فضای سبز

همان‌طور که در تصاویر شکل ۵ مشاهده می‌شود، هر چهار ایستگاه در داخل محدوده فضای سبز قرار دارند. با این حال، تفاوت‌هایی در پوشش گیاهی، تراکم و ارتفاع درختان و همچنین فاصله آنها از بزرگراه وجود دارد. در ایستگاه شماره ۲۳ (فضای سبز بعد از فاطمیه) پوشش گیاهی نسبت به سایر ایستگاه‌ها دارای تراکم کمتری به نظر می‌رسد، درختان از ارتفاع کمتری برخوردارند و فاصله بیشتری از بزرگراه دارند. اما ایستگاه شماره ۲۵ (هاشمی ۴۵ پشت فضای سبز) پوشش گیاهی بسیار متراکم و متنوع است. در این ایستگاه درختان و درختچه‌های بلند و پرپشتی که نشان از تراکم بالای پوشش گیاهی است وجود دارد و به نظر می‌رسد این ایستگاه در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها، بیش‌ترین میزان پوشش گیاهی را دارد. پوشش گیاهی ایستگاه شماره ۲۷ (ورودی امامیه به بزرگراه) از ایستگاه ۲۳ متراکم‌تر است، اما به اندازه ایستگاه ۲۵ تراکم ندارد و درختان از ارتفاع بیشتری نسبت به ایستگاه ۲۳ برخوردارند، اما به اندازه ایستگاه ۲۵ بلند نیستند. پوشش گیاهی ایستگاه شماره ۲۹ (ورودی حجاب به بزرگراه) نسبتاً متراکم است و درختان از ارتفاع خوبی برخوردارند. به نظر می‌رسد تراکم پوشش گیاهی در این ایستگاه از ایستگاه ۲۷ بیشتر است. با توجه به تصاویر و توضیحات ارائه شده، می‌توان گفت که ایستگاه شماره ۲۵ (هاشمی ۴۵) به دلیل پوشش گیاهی متراکم و متنوع، به احتمال زیاد بهترین عملکرد را در کاهش آلودگی صوتی دارد. در مقابل، ایستگاه شماره ۲۳ به دلیل پوشش گیاهی کمتر متراکم، احتمالاً کمترین تأثیر را در کاهش صدا خواهد داشت. علاوه بر ترکیب و نوع پوشش گیاهی، فاصله فضای سبز از منبع انتشار در میزان صوت اندازه گیری شده موثر می باشد در مقایسه اولیه اطلاعات و برداشتهای میزان صوت در دو ایستگاه شماره ۲۹ و ۲۵ میزان صوت نسبت به لبه بزرگراه ۱۵ دسی بل کاهش یافته است و دو ایستگاه مذکور به ترتیب در ۵۵ و ۳۸ متری بزرگراه قرار دارد. در ایستگاه شماره ۲۳ که با لبه بزرگراه ۳۲ متر و کم‌ترین فاصله را با بزرگراه دارد میزان صوت تنها ۸ دسی بل کاهش یافته است. در خصوص ایستگاه شماره ۲۷ که در فاصله ۵۰ متری بزرگراه قرار داشته است میزان صوت ۱۳/۱ دسی‌بل کاهش داشته است. از این رو می توان گفت دو ایستگاه شماره ۲۹ و ۲۷ که در فاصله ۵۵ و۵۰ متری بزرگراه قرار دارند و از نظر ترکیب پوشش گیاهی فضای سبز به جهت نوع گونه‌ها و تراکم گونه به همدیگر شباهت دارند حدوداً به یک اندازه توانسته اند در کاهش صوت نقش ایفا کنند. اما ایستگاه شماره ۲۵ واقع در داخل فضای سبزهاشمی ۴۵ با ۳۸ متر فاصله از لبه بزرگراه و با پوشش و ترکیب گونه ای فضای سبز به صورت در حاشیه بزرگراه درختچه سرو، شمشاد تا یک متر ارتفاع و لچکی فضای سبز با ترکیبی از درخت کاج، سرو، زبان گنجشک و چمن بهترین نقش در کاهش آلودگی صوت را داشته است. به هر ترتیب با توجه به اینکه کاهش صوت در انتهای فضای سبز نسبت به مجاور بزرگراه کاهش چشم گیری داشته و این کاهش در نتیجه تاثیر فاصله و فضای سبز می باشد لذا می توان با افزایش عرض فضای سبز، پیاده روها و استفاده از سطوح دارای شیب و ترکیب گونه ای مناسب میزان صوت را کاهش داد. گونه‌های پهن برگ و گونه‌های با میزان صمغ بیشتر دارای قدرت کاهندگی بهتری هستند. همچنین هر قدر تراکم توده فضای سبز و ارتفاع آن بیشتر باشد اثر کاهش صدا بیشتر است. در محدوده مورد مطالعه فضای سبز متراکم و با عرض قابل توجهی جهت کاهش آلودگی صوت به میزان استاندارد وجود ندارد.

مطالعات قبلی نیز نشان داده است که ویژگیهای مورفولوژیکی درختان، مانند ارتفاع، عرض تاج و قطر در ارتفاع، به طور قابل توجهی بر اثرات کاهش نویز آنها تأثیر می گذارد. به عنوان مثال، درختان بلندتر با تاجهای پهن تر به دلیل سطح بزرگتر خود، تضعیف نویز بهتری دارند و امواج صوتی را جذب و پراکنده می کنند[۱۱]. به طور مشابه، درختچه‌ها، به ویژه درختچه‌های کم ارتفاع، می توانند به کاهش سر و صدا کمک کنند، به ویژه هنگامی که در ترکیب با درختان کاشته می شوند[۱۱]. در مطالعه حاضر نیز براساس مقایسه و تجزیه و تحلیل داده‌های ایستگاه‌ها مشخص شد ترکیب و ساختار فضاهای سبز به طور قابل توجهی بر قابلیتهای کاهش نویز آنها تأثیر می گذارد. عوامل کلیدی مربوط به ترکیب و ساختار به شرح ذیل قابل طبقه بندی می باشند:

- عرض فضای سبز: هرچه عرض فضای سبز بیشتر باشد، میزان کاهش صوت بیشتر است.
- تراکم و ارتفاع گیاهان: فضای سبز متراکم و با ارتفاع بیشتر، تأثیر بیشتری در کاهش صدا دارد.
- نوع گونه‌های گیاهی: گونه‌های پهن برگ و گونه‌های با میزان صمغ بیشتر، قدرت کاهندگی بهتری دارند.
- فاصله از منبع صوت: فضای سبز نزدیک به منبع صوت که در این پژوهش مسیر بزرگراه می باشد تاثیر بیشتری بر کاهش آلودگی صوت دارد.

بر اساس مطالعات قبلی اندازه و عرض فضاهای سبز نقش مهمی بر اثربخشی کاهش نویز آنها است. فضاهای سبز وسیع تر کارایی بیشتری در کاهش صوت دارند، زیرا مساحت سطح بزرگتری را برای جذب و پراکندگی صدا ارائه می دهند[۱۲]. تراکم و پوشش بیشتر پوشش گیاهی با کاهش نویز بیشتر همراه است. مطالعات نشان داده است که پوشش گیاهی متراکم، به ویژه در صفحات افقی و عمودی، می تواند به طور موثر امواج صوتی را جذب و پراکنده کند و منجر به کاهش نویز بیشتر شود[۱۳]. ارتفاع و عرض تاج درختان از عوامل مهم تعیین کننده اثربخشی کاهش آلودگی صوتی آنهاست. درختان بلندتر با تاجهای پهن تر به دلیل سطح بزرگتر و توانایی بیشتر در رهگیری امواج صوتی نقش بهتری در تضعیف امواج صوت دارند[۱۱]. فاصله فضاهای سبز از منبع سر و صدا عامل کلیدی در اثربخشی کاهش نویز آنها است. مطالعات نشان داده اند که فضاهای سبز نزدیک به منبع نویز تمایل به کاهش نویز بیشتری دارند، زیرا می توانند امواج صوتی را قبل از انتشار بیشتر رهگیری کنند قرار دادن فضاهای سبز در رابطه با منبع سر و صدا بسیار مهم است چون فضاهای سبز واقع در نزدیکی منبع نویز می توانند با رهگیری امواج صوتی قبل از رسیدن به مناطق حساس به طور موثر سطح سر و صدا را کاهش دهند. پرچین‌ها نوع دیگری از فضای سبز هستند که می توانند به عنوان موانع صوتی موثر عمل کنند. اثربخشی کاهش نویز آنها به عواملی مانند تراکم، ارتفاع و گونه‌های گیاهی بستگی دارد. پرچین‌هایی با تخلخل کمتر (کمتر از ۴/۶٪) می توانند به کاهش چشم‌گیر نویز دست یابند، به ویژه در محدوده فرکانس بالاتر (۲-۲۰ کیلوهرتز)[۱۴]. به عنوان مثال، مشخص شده است که پرچینهای Prunus laurocerasus و Laurus nobilis سطح سر و صدا را به طور متوسط ۲/۷ دسی بل (A) کاهش می دهند، با حداکثر کاهش ۷/۰ دسی بل[۲۳]. ویژگی پرچینها، مانند ارتفاع و تراکم آنها، می تواند برای افزایش کاهش نویز بهینه شود. پرچینهای بلندتر و متراکم به طور کلی در کاهش نویز موثرتر هستند، به ویژه هنگامی که نزدیک به منبع نویز قرار گیرند[۱۵]. دیوارها و سقفهای سبز اشکال نوآورانه ای از فضاهای سبز هستند که می توانند برای کاهش آلودگی صوتی در محیطهای شهری ادغام شوند. نشان داده شده است که دیوارهای سبز، از جمله نماهای سبز و دیوارهای زنده، از طریق جذب صدا و پراکندگی سطح سر و صدا را کاهش می دهند. عملکرد صوتی دیوارهای سبز تحت تأثیر عواملی مانند مورفولوژی پوشش گیاهی و خواص بستر است. به عنوان مثال، دیوارهای سبز با تراکم پوشش گیاهی بالاتر و شرایط بستر مناسب می توانند به کاهش نویز بیشتری دست یابند[۱۶].

نکته دیگر در میزان کارآیی فضای سبز در کاهش آلودگی صوت جانمایی و موقعیت فضای سبز نسبت به منبع انتشار صوت می باشد. یافته‌ها نشان می‌دهد: ۱) ناهمگونی فضایی منجر به تغییرات قابل توجهی در همبستگی بین معیارهای فضای سبز و توزیع سر و صدا می‌شود که به صورت تفاوت در قدرت، جهت و اهمیت آماری آشکار می‌شود. ۲) معیارهای کلیدی فضای سبز که بر توزیع سر و صدا تأثیر می‌گذارند، بسته به تراکم شهری متفاوت هستند علاوه بر این، فضاهای سبز با ساختارهای شبکه‌ای تأثیر قوی‌تری بر توزیع سر و صدا دارند. ۳) در حالی که تأثیر کلی الگوهای فضای سبز بر توزیع سر و صدا در سطح تراکم نسبتاً ثابت است، شیوه‌های تأثیر و

مناطق فضایی تحت تأثیر به طور قابل توجهی متفاوت هستند[۱۷]. در نهایت، این مطالعه انجام مطالعات چگونگی طراحی شهری و جانمایی مناسب فضاهای سبز را بر اساس بخش‌های متفاوت شهرها را پیشنهاد می دهد.

۴-جمع بندی و نتیجه گیری

تردد خودروها در بزرگراه‌های شهری باعث انتشار آلودگی صوت برای اراضی مجاور بزرگره‌ها می گردد. اغلب کاربری های اطرف بزرگراه‌ها در معرض آلودگی بالای استاندارد قرار می گیرند. بنابراین راهکارهای متعددی برای کنترل آلودگی به کار گرفته می شود، که در این میان، فضای سبز به عنوان یک راهکار مؤثر برای کاهش آلودگی صوتی شناخته می شود. این مطالعه نشان داد نوع و ترکیب فضاهای سبز به طور قابل توجهی بر اثربخشی کاهش نویز آنها تأثیر می گذارد. الگوهای فضای سبز شهری می‌توانند به طور قابل توجهی بر کاهش نویز خالص فضای سبز تأثیر بگذارند. مناطقی دارای فضای سبز بیشتر می‌توانند در کاهش آلودگی صوتی موثرتر باشند. برنامه‌ریزان شهری و سیاستگذاران می توانند با طراحی دقیق و پیکربندی فضاهای سبز، سیستمهای کاهش سر و صدا موثر ایجاد کنند که سلامت و رفاه ساکنان شهری را بهبود بخشد. منظور از پیکربندی فضاهای سبز، شکل، اندازه و محل قرارگیری آن‌ها می باشد که در اثربخشی کاهش نویز آنها نقش دارد. در بخشی دیگر از پژوهش وجود رابطه مستقیم بین تعداد خودروها و میزان انتشار صوت اثبات گردید که با استفاده از برنامه‌های مدیریت حمل و نقل و کاهش تردد می توان از انتشار آلودگی صوتی جلوگیری کرد.

برابر نقشه پهنه بندی صوت در اطراف بزرگراه آیت الله هاشمی رفسنجانی مشهد در اکثر نقاط میزان آلودگی صوتی بالاتر از حد مجاز است و سمت شمال شرقی بزرگراه دارای سطح بیشتری از آلودگی صوتی می باشد. برای تهیه نقشه پهنه بندی آلودگی صوتی روش کریجینگ نسبت به روش IDW کارایی بیشتری داشته و این روش می تواند در مطالعات بهداشتی شهر و نیز تعیین محل کاربری های حساس شهری نظیر بیمارستان‌ها و مراکز آموزشی مورد استفاده قرار گیرد.

۵-منابع

۱. برزگر، م.، نوذری، ه. ۱۳۹۹ بررسی تاثیر فاصله و عرض کاشت گونه های درختی فضای سبز شهر آباده در کنترل آلودگی صوتی. علوم و تکنولوژی محیط زیست1399 .[Internet]؛۲۲(۷). (پیاپی ۹۸):۲۷۷-۲۸۶.https://sid.ir/paper/526331/fa

۲. حامی، ا، و خدایاری، ن. ۱۴۰۰. عملکرد گیاهان در کاهش اثرات آلودگی صوتی با تاکید بر ویژگیهای بصری. انسان و محیط زیست،۱۹(۱ (۵۶ پیاپی))، ۵۱-۶۵.https://sid.ir/paper/1042318/fa

3. Gharibi, S., Shayesteh, K. (2024). Evaluation of flow, supply, and demand for noise reduction in urban area, Hamadan in Iran. PLOS ONE, 19(6), e0303581 https://doi.org/10.1371/journal.pone.0303581

۴.صیادی اناری، محمدحسین و موفق، افسانه. (۱۳۹۳). ارزیابی آلودگی صوتی بیرجند با استفاده از تکنیکهای آماری و GIS . محیط شناسی، پاییز ۱۳۹۳، دورهٔ ۴۰ ،ش (۳) ، صفحهٔ ۶۹۳-۷۱۰

۵. شهرداری مشهد، معاونت برنامه‌ریزی و توسعه سرمایه انسانی، آمارنامه شهر مشهد سال ۱۴۰۳ (۲۰۲۵-۲۰۲۴)، مشهد: دفتر خلاقیت و نوآوری شهری، زمستان ۱۴۰۳.

۶. جعفری ، ن. بینا، ن. مرتضایی، س. ابراهیمی، ا. عبداله‌نژاد، ع. ۱۳۹۰بررسی وضعیت آلودگی صوتی در شهر اصفهان. مجله تحقیقات نظام سلامت.; (۵۷)

۷. محمدی ده چشمه،م. شنبه پور، ف. ۱۳۹۵. سنجش ضریب مکانی آسایش صوتی در کلانشهر اهواز. محیط شناسی،دوره ۴۳، شماره ۲،تابستان ۱۳۹۶،ص ۳۶۴-۳۴۹

۸..گلی، ف. نوری، ف. تقی زاده، ر و نژادکورکی، ف.۱۳۹۰،پهنه بندی آلودگی صوتی شهر یزد با استفاده ازروش زمین آمار،پنجمین همایش ملی مهندسی محیط زیست،تهران،https://civilica.com/doc/122497

9.Danilevičius, A., Karpenko, M., Křivánek, V. (2023). Research on the noise pollution from different vehicle categories in the urban area. Transport, 38(1), https://doi.org/10.3846/transport.2023.18666

10.Priyadarshi, N., Kumar, P., Bharadwaj, D. et al. (2026). Long-Term Acoustic Profiling of Urban Noise Pollution in Kota City Using GIS and Noise Exposure Index Metrics. MAPAN (2026). https://doi.org/10.1007/s12647-025-00870-6

11.Meng, Q., Evgrafova, O., & Li, M. (2025). A Predictive Model for Traffic Noise Reduction Effects of Street Green Spaces with Variable Widths of Coniferous Vegetation. Forests, 16(2), 238. https://doi.org/10.3390/f16020238

12. Meng, Q., Evgrafova, O., & Li, M. (2024). A Predictive Model for Traffic Noise Reduction Effects of Street Green Spaces with Variable Widths of Coniferous Vegetation. https://doi.org/10.3390/f16020238

13. Gaudon, J. M., McTavish, M. J., Hamberg, J., & et al. 2022. Noise attenuation varies by interactions of land cover and season in an urban/peri-urban landscape. Urban Ecosystems, 25(1), 205–219. https://doi.org/10.1007/s11252-021-01194-4

14. Biocca, M., Gallo, P., Di Loreto, G., & et al. (2019). Noise attenuation provided by hedges. Journal of Agricultural Engineering, 50(3), 169–174. https://doi.org/10.4081/JAE.2019.889

15.Tarrazó-Serrano, D., Castiñeira-Ibáñez, S., Bautista, A. S., & et al. (2024). Open noise barriers for peri-urban environments. NOISE-CON proceedings. https://doi.org/10.3397/in_2024_3256

16.Yan, F. (2022). A review of the application of green walls in the acoustic field. Building Acoustics, 29(2), 169–187. https://doi.org/10.1177/1351010x221096789

17.Mingfeng Zh, Yuanxiang Wu., Mengmeng Li, Qi Meng, Jian Kang. (2025). Examining how green space patterns affect noise distribution in urban areas with varying built-up densities, Journal of Environmental Management, Volume 393. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.127183