مستخرج از پایان نامه

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و چهارم، شماره یک، فروردین ماه ۱۴۰۱(۹۸ -۸۳)

تحلیل زمانی و مکانی آلودگی صدا با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی (GIS)، خوشه‌بندی سلسله مراتبی تجمعی (AHC) و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) (مطالعه موردی: شهر تهران)

امیراسماعیل فروهید [*]

amiresmaelf@yahoo.com

محسن رستمی [۲]

تاریخ دریافت: ۹۷/۷/۲۳ **تاریخ پذیرش: ۹۸/۲/۱۱**

چکیده

زمینه هدف: آلودگی صدا از انواع آلودگی‌های زیست‌محیطی است که سلامت جامعه و موجودات زنده را تهدید می‌کند. تحقیقات نشان می‌دهد مواجهه کوتاه‌مدت و بلندمدت با آلودگی صدا علاوه بر کاهش شنوایی و افزایش فشارخون، ناراحتی قلبی و عروقی، برهم خوردن خواب و آرامش و باعث تغییر الگوی رفتاری می‌شود.

روش بررسی: به منظور مطالعه آلودگی صدا و تاثیر به سزای وسایل نقلیه در بحث آلودگی صدا، محدوده‌های تجریش، توحید، اتوبان همت و حکیم به دلیل حجم ترافیک بالا به‌عنوان محدوده‌های مطالعاتی انتخاب گردید و از طریق روش میدانی به کمک روش‌های زمین‌آماری تهیه شد و پارامترهای تاثیرگذار در بحث تراز صوتی مانند: ترافیک، عرض جاده، شیب و کاربری‌های مسکونی، تجاری، اداری و فضای سبز، برای هر نقطه برداشت ثبت گردید و با استفاده از روش‌های آماری "خوشه‌بندی سلسله مراتبی" و "تحلیل مؤلفه‌های اصلی" ، میزان وابستگی‌های مکانی و زمانی آن‌ها استخراج شد.

یافته‌ها: نتایج تحلیل‌های آماری نشان می‌دهد که بیشترین تاثیر بر میزان تراز آلودگی صدا را ترافیک و بعد از آن پارامتر عرض جاده‌ها دارد. بیشترین تراز آلودگی صدا نیز در کاربری‌های تجاری و اداری بوده است.

بحث و نتیجه گیری: در اکثر خیابان‌های این محدوده به علت وجود ساختمان‌های نوساز و چندطبقه به نظر می‌رسد امکان تعریض خیابان وجود نداشته باشد. اما تا آنجا که میسر است توصیه می‌گردد در صورت امکان در جاهایی که سر و صدا زیاد است از مانع صوتی برای کاهش صدا در خانه‌هایی که اطراف خیابان‌ها ساخته شده‌اند، استفاده کرد.

واژه های کلیدی: آلودگی صدا، خوشه‌بندی سلسله مراتبی تجمعی (AHC)، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، وسایل نقلیه.

۱- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد پرند، دانشگاه آزاد اسلامی، پرند، ایران. [*](مسوول مکاتبات)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

J. Env. Sci. Tech., Vol 24, No. 1, April, 2022

Spatial and Temporal Analysis of Noise Pollution Based On GIS, Agglomerative Hierarchical Clustering and Principal Component Analysis (Case Study: Tehran)

Amir Esmael Forouhid [1*]
amiresmaelf@yahoo.com
Mohsen Rostami [2]

Admission Date:May 1, 2019 Date Received: October 15, 2018

Abstract

Background & Objective: Noise is an adverse factor in the living environments of today's communities. This type of pollution has drawn attention to itself in the three recent decades, being a major problem in larger cities and seen as one of the significant environmental problems, blood pressure leading to cardiovascular disorders.

Material and Methodology: The paper studied Tehran, Iran. The study areas consisted of Tajrish Square, Tohid and Sattarkhan crossroads, Hakim Freeway and Hemmat Freeway of Tehran. The study areas were selected based on their traffic and urban importance. The survey measured sound levels, road slope, road width, traffic, and land use (residential, commercial, administrative, and green space). In the field method, noise pollution level was measured using a sound level meter. Due to the role of traffic parameters, slope and residential, commercial, office and green space usage parameters, the parameters were recorded for each map of harvest. The spatial and temporal dependencies were extracted using "Agglomerative hierarchical clustering" and "principal components analysis".

Findings: The results indicate the critical significance of urban traffic in noise pollution, as by a large difference it had the highest contribution to noise level, followed by green space, administrative, and commercial land use; road width, and road slope.

Discussion & Conclusions: It is recommended that for future roads or revamping the existing ones, more lanes be implemented to produce wider roads, prevent the construction of tall buildings on the sided of main roads, and maintaining a standard distance between buildings and main roads, freeways, and other motorways.

Keywords: Noise Population, Agglomerative Hierarchical Clustering, Principal Component Analysis, vehicles.

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Parand branch, Islamic Azad University, Parand, Iran.
*(*Corresponding Author*)
2-Department of Civil Engineering, South Tehran branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

مقدمه

در محیط زندگی و کار، عوامل زیان‌آور متعددی وجود دارد که اگر موازین محیط‌زیست، حفاظت و بهداشت صنعتی در مورد آن‌ها رعایت نشود سلامت افراد در معرض را به مخاطره می‌اندازد. یکی از عوامل زیان‌آور در جوامع امروزی صدا است. این نوع عامل آلودگی در سه دهه اخیر بیش از گذشته توجه جهانیان را به خود معطوف کرده است. در این میان مسئله آلودگی صدا در شهرهای بزرگ جهان به‌عنوان یک مسئله فراگیر به‌حساب آمده به‌طوری‌که امروزه یکی از مشکلات مهم زیست‌محیطی است که میزان آن به دلایل مختلفی نظیر افزایش تراکم جمعیت در شهرها، افزایش تعداد وسایط نقلیه موتوری، افزایش صنایع در مجاورت شهرها و افزایش فعالیت‌های ساختمان‌سازی همه‌روزه رو به افزایش است. از آنجایی‌که مواجهه با صدای بیش از حد مجاز، از تندرستی می‌کاهد و به‌طورکلی بر کلیه موجودات زنده اثر منفی دارد؛ بنابراین به‌عنوان یکی از آلودگی‌های زیست‌محیطی به شمار می‌رود (۱). تحقیقات نشان می‌دهد مواجهه کوتاه‌مدت و بلندمدت با آلودگی صدا علاوه بر کاهش شنوایی و افزایش فشارخون، ناراحتی قلبی و عروقی، برهم خوردن خواب و آرامش، باعث تغییر الگوی رفتاری می‌شود (۲). به‌طور مثال پژوهشی در آلمان، تاثیر صدای ناشی از ترافیک شهری برافزایش بیماری‌های ایسکمیک قلب را نشان می‌دهد (۳). بر این اساس به نظر می‌رسد مطالعه آلودگی‌های صوتی و تهیه نقشه‌های تراز صوتی برای مناطقی همچون تهران به‌عنوان یک کلان‌شهر و میزان این آلودگی برای مناطق مختلف آن بسیار حائز اهمیت باشد که در تحقیق حاضر سعی می‌شود به این مهم پرداخته شود. تاکنون در سراسر دنیا تحقیق‌های مختلفی پیرامون آلودگی‌های صوتی با روش‌های مختلفی انجام‌گرفته است مثلا در تحقیقی بیلاسکو و همکاران (۴) در سال ۲۰۱۷ یک مدل سیستم اطلاعاتی مبنا برای شناخت نواحی که در معرض آلودگی صدا قرار دارند ارائه نموده‌اند. در این مدل با ترکیب اطلاعات مختلفی از قبیل اندازه‌گیری‌های صوتی انجام‌شده، ارتفاع ساختمان‌ها، کاربری‌ها، مدل رقومی ارتفاعی زمین، سرعت و جهت باد در محیط GIS نقشه آلودگی صدا را تولید نموده‌اند و سوبرامانی و همکاران (۵) در سال ۲۰۱۶ به تحلیل آلودگی صدا در تقاطع‌های مختلف پرداخته‌اند. آنان در این پژوهش ابتدا به تحلیل زمانی داده‌های صوتی در بازه‌های زمانی مختلف در تقاطع‌های مختلف پرداخته و سپس نقشه‌های صوتی آلودگی را به کمک GIS تولید نموده‌اند. در تحقیقی دیگر کارگ و همکاران (۶) در سال ۲۰۱۷ به ارزیابی و تحلیل آلودگی صدا در هفت شهر اصلی هند پرداخته‌اند. در ایران هم عباس پور و همکاران (۷) در سال ۲۰۱۵ به ارزیابی سلسله مراتبی آلودگی صدا برای یکی از مناطق تهران پرداخته‌اند. پس از بررسی مقالات و پژوهش‌های صورت گرفته در حوزه تحلیل آلودگی صدا می‌توان به این نتیجه رسید که در بحث آلودگی صدا، سیستم اطلاعات مکانی از توانایی بالایی در تولید نقشه‌های آلودگی و تحلیل نتایج برخوردار است. در این بحث ضروری است که ابتدا پارامترهای تاثیرگذار در این زمینه شناسایی گردند که مهم‌ترین آن ها عبارت‌اند از: میزان ترافیک، عرض و نوع راه‌ها، کاربری شهری، میزان فضای سبز و شیب زمین.

وبر و همکاران در سال ۲۰۱۴ به بررسی نقش عوامل شکل شهری از قبیل تراکم ساختمانی، وجود فضاهای باز، شکل و موقعیت فیزیکی ساختمان‌ها بر آلودگی صوتی پرداخته‌اند. نتایج تحلیل‌ها وابستگی مثبت بین نسبت ارتفاع ساختمان به عرض معابر را با میزان آلودگی صوتی نشان می‌دهد (۹). مجیدی و همکاران در سال ۱۳۹۵ به ارزیابی آلودگی صوتی بخش مرکزی شهر زنجان با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی پرداخته‌اند. آنان برای این منظور شاخص‌ها صوتی اندازه‌گیری شده را وارد GIS کرده نقشه‌های پهنه‌بندی هر یک را تولید نموده‌اند و سپس به تحلیل زمانی این شاخص‌ها پرداخته‌اند (۱۲). ماندال و همکاران در سال ۲۰۱۴ به بررسی نقش فضای سبز بر میزان آلودگی پرداخته‌اند. آن‌ها در این پژوهش به این نتیجه دست یافته‌اند که میزان فضای سبز تاثیر به سزایی در کاهش آلودگی صوتی در محیط‌های شهری به‌طوری‌که در

شهرهای با فضای سبز بیشتر آلودگی صوتی کاهش می‌یابد (۱۳). توریجا و همکاران در سال ۲۰۱۵ روشی را برای مدل‌سازی آلودگی صوتی در شهر ارائه نموده‌اند. در این مدل متغیرهای مختلف از قبیل نوع روز هفته (تعطیلی و کاری)، زمان روز (صبح، ظهر،غروب و شب)، نوع کاربری، نوع راه وارد مدل شده و از طریق رگرسیون خطی آلودگی صوتی برآورد می‌گردد (۱۰). صیادی و همکاران در سال ۱۳۹۳ به ارزیابی صوتی بیرجند با استفاده از تکنیک‌های آماری و GIS برای ۴۳ ایستگاه پرداخته‌اند. آنان در پژوهش خود نشان دادند که بین میانگین حجم ترافیک، عرض خیابان‌ها و تراز آلودگی صوتی رابطه معنی‌داری وجود ندارد. و همچنین به نتیجه تاثیر مستقیم ترافیک بر آلودگی صدا رسیده‌اند. تحلیل‌های آماری در این پژوهش به کمک ضریب همبستگی پیرسون در نرم‌افزار SPSS به‌دست‌آمده است (۱۱).

ترافیک از این لحاظ در بحث آلودگی صدا اهمیت دارد که هر چه میزان ترافیک بالا باشد یعنی تعداد وسایل نقلیه افزایش می‌یابد و درنتیجه صدای بیشتری تولید می‌شود. عرض جاده‌ها نیز به لحاظ ظرفیت پذیرش تعداد وسایل نقلیه اهمیت می‌یابد. شیب جاده‌ها نیز به دلیل تاثیر در سرعت وسایل نقلیه اهمیت دارد که هر چه سرعت وسایل نقلیه بیشتر باشد میزان صدای تولیدی بالاتر خواهد بود. کاربری‌های مختلف نیز به لحاظ ظرفیت تراکم جمعیت و آمدوشدها می‌توانند در میزان صدای تولیدی دخیل باشد میزان سطح تراز صداهای تولیدی در محیط متفاوت بوده و از یک حد به بالاتر می‌توانند موجب آزار انسان شود که در جدول زیر حدود مجاز صدا در هوای آزاد ایران مصوب جلسه مورخ ۱۳۷۸/۳/۱۹ هیئت وزیران ذکر گردیده است.

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

Table 1. Permissible Noise limit in the air in Iran based on the type of use

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

با تهیه نقشه صوتی، میزان تراز صدا در تمام مناطق شهری و روستایی و مناطقی که سروصدای بیش‌ازحد مجاز دارند مشخص می‌شوند و اقدامات کنترلی برای آن‌ها در نظر گرفته خواهد شد. در ایران اغلب تمرکزها بر روی آلودگی هوا می‌باشد و متاسفانه اهمیت و جایگاه آلودگی صدا در کشور ما مانند بیشتر آلودگی‌ها چندان روشن و مشخص نمی‌باشد. یکی از اصلی‌ترین عواملی که می‌تواند مشکل آلودگی صدا را حل نماید و از پیچیده‌تر شدن آن جلوگیری کند مدیریت، تجزیه و تحلیل‌های صوتی جهت بصری سازی نتایج به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری‌های صوتی برای برنامه ریزان شهری، مهندسین راه و ... می‌باشد که می‌توان از این نتایج برای ارائه طرح‌های کنترل و کاهش آلودگی صدا استفاده نمود که هدف اصلی این پژوهش می باشد. پارامترهای مختلفی بر آلودگی صدا تاثیر گذارند که برای درک بهتر هرکدام از این عوامل و میزان تاثیر آن‌ها بر آلودگی صدا نیازمند درک میزان وابستگی آن‌ها به یکدیگر می‌باشد که برای این منظور یکی از بهترین و موثرترین راه‌ها استفاده از تکنیک‌های آماری خوشه‌بندی سلسله مراتبی تجمعی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی می‌باشد.

روش بررسی

با استفاده از نقشه مسیر و بر اساس تراکم نقاط حساس و مسئله ترافیک شهری، تعداد چهار محدوده در سطح شهر تهران برای مطالعات مربوط به سنجش میزان آلودگی صوتی انتخاب

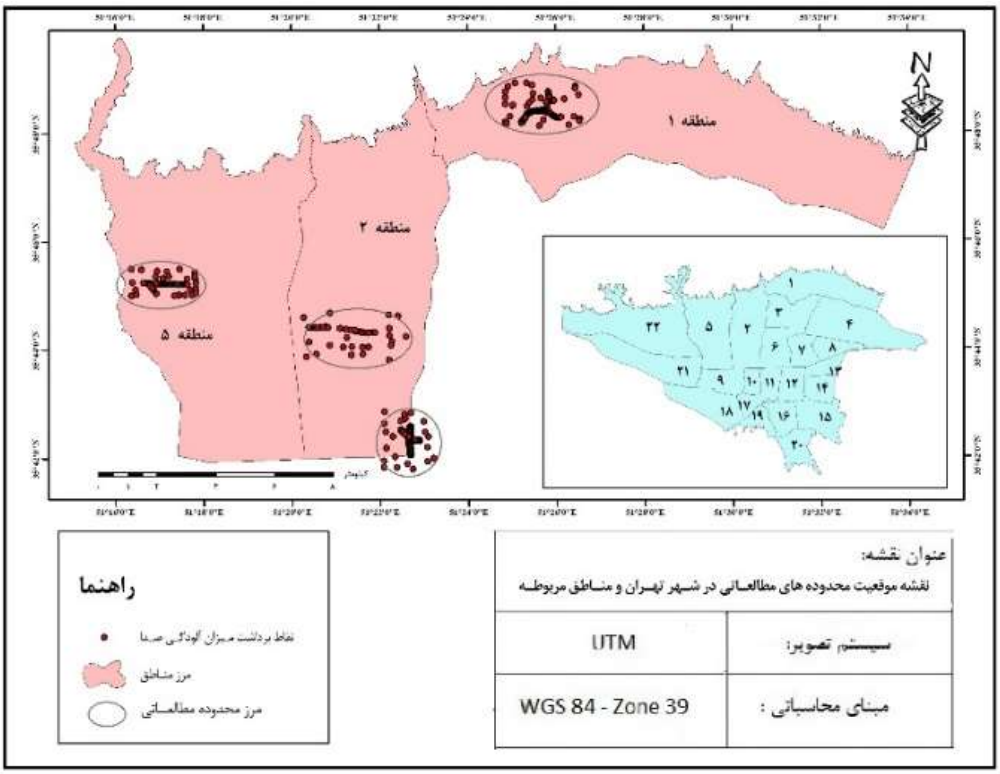
گردید که با توجه به اهمیت آلودگی‌های صوتی ناشی از تردد خودروها، راه‌های دسترسی به‌عنوان این محدوده‌ها انتخاب گردید. به‌منظور تجزیه‌وتحلیل‌های زمانی از روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی تجمعی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی از نرم‌افزار SPSS 23 استفاده می‌شود. آنالیز خوشه‌بندی سلسه‌مراتبی تجمعی یک روش متداول برای گروه‌بندی اشیا در خوشه‌ها می‌باشد به‌طوری‌که اشیا درون هر خوشه بیشترین شباهت را به هم و اشیا در خوشه‌های مختلف بیشترین تمایز را از هم دارند. تحلیل مؤلفه‌های اصلی به‌عنوان یک روش غیر پارامتریک طبقه‌بندی به‌منظور تقسیم عوامل در کلاس‌هایی که رفتار آلودگی صوتی مشابه ای دارند و متمایز از سایر کلاس‌ها هستند، بهره برده می‌شود. به‌منظور شناخت دقیق‌تر هر یک عوامل آلودگی صوتی و میزان وابستگی این عوامل و درجه اهمیت آن‌ها استفاده شد تا میزان اهمیت و تاثیر پارامترها مشخص گردد.

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شهر تهران و با توجه به جهت‌گیری موضوع تحقیق که مطالعه آلودگی صدا می‌باشد. محدوده‌های انتخابی به‌طور دقیق محدوده میدان تجریش در منطقه یک، حوالی تقاطع توحید و ستارخان و بزرگراه حکیم در منطقه دو و بزرگراه همت در منطقه پنج شهرداری تهران می‌باشد. به دلیل حجم بالای عبور و مرور وسایل نقلیه و اهمیت اجتماعی در سطح شهر تهران، این محدوده‌ها انتخاب گردید که در شکل ۱ و ۲ موقعیت آن‌ها و موقعیت نقاط برداشت‌شده نشان داده‌شده است. برای هر محدوده اطلاعات تراز صوتی، شیب مسیر، عرض جاده، ترافیک و کاربری‌های مسکونی، تجاری، اداری و فضای سبز به تفکیک برای هر نقطه برداشت، محاسبه شد. برای محاسبه شیب زمین از نقشه توپوگرافی ۱:۲۰۰۰ تهیه شده از سازمان نقشه برداری کشور استفاده گردید. ابتدا نقاط ارتفاعی این نقشه ها وارد نرم افزار Civil 3d 2014 شد و بعد از ساختن سطح از نقاط از مسیری که توسط GPS دستی ثبت مختصات شده بود پروفیل زده شد تا ایرادات مثلث بندی بین نقاط سطح مشخص شود. بعد از برطرف کردن مشکلات مثلث بندی در امتداد مسیر صوت سنجی و به اصطلاح Smooth شدن پروفیل، بین نقاط صوت سنجی و از روی سطح شیب زمین در جدول ۲ اندازه گیری شد.

جدول ۲- میزان متوسط شیب محدوده‌های مطالعاتی

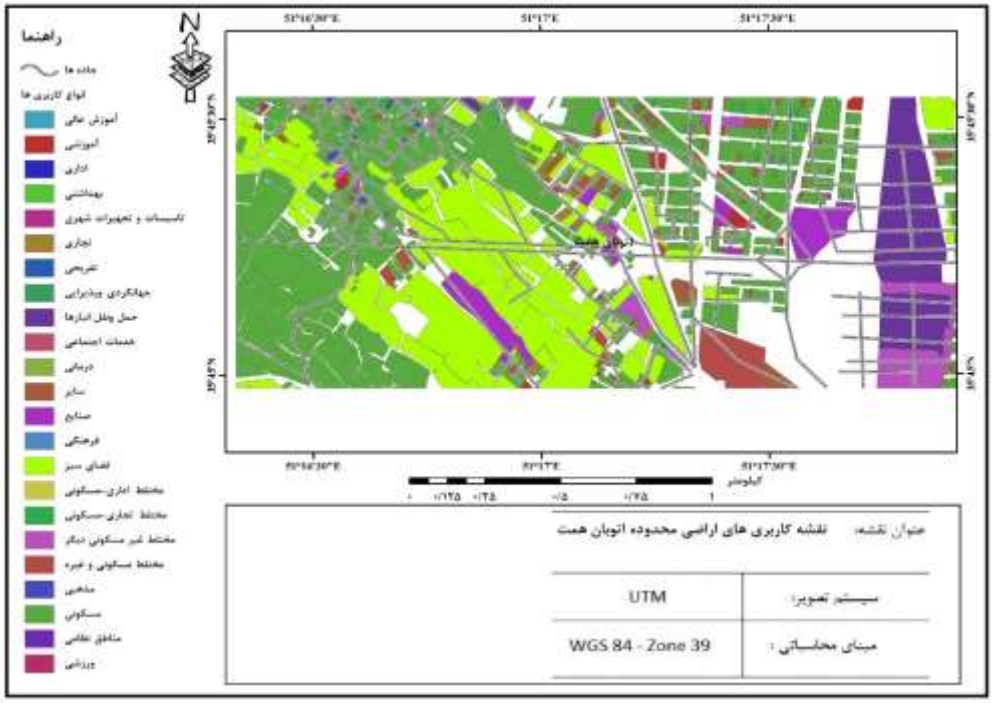
Table 2. The average slope of the study areas

محدوده	شیب (درصد)
همت	-۲
تجریش	۳
حکیم	۰
توحید	۰



شکل ۱- موقعیت محدوده‌های مطالعاتی در شهر تهران و مناطق مربوطه

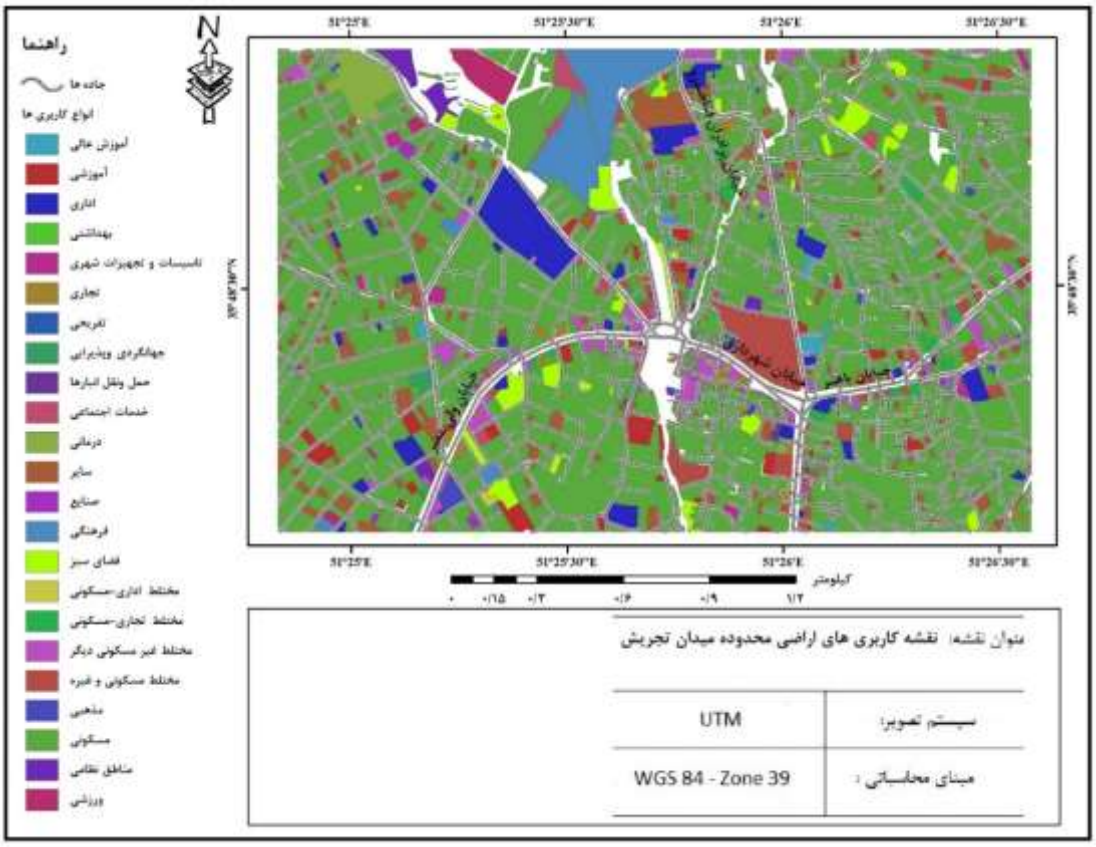
Figure 1. The location of study areas in Tehran and related areas



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی محدوده‌های مطالعاتی اتوبان همت (تصویر راست) و اتوبان حکیم (تصویر چپ)

Figure 2. Land use map of the study areas of Hammet highway (right picture) and Hakim highway (left picture)

شکل زیر نیز نشان‌دهنده انواع کاربری‌های محدوده‌های مطالعاتی می‌باشد.



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی محدوده‌های مطالعاتی میدان تجریش

Figure 3. Land use map of Tajrish field study areas

با توجه به اهمیت آلودگی‌های صوتی ناشی از تردد خودروها، محدوده‌های مذکور پیرامون راه‌های دسترسی انتخاب گردید و به‌منظور برداشت‌های میدانی برای هر محدوده یک روز کاری از ساعت ۸ صبح که مردم از خانه‌ها برای شروع کار خود بیرون می‌آیند تا ۱۶ بعدازظهر در نظر گرفته شد و اطلاعات مربوط به میزان صوت با دستگاه صداسنج H Sound ۱۳۵۳TES Level Meter برداشت گردید که استقرار دستگاه روی پایه‌ای با ارتفاع یک و نیم متر از سطح زمین و در فاصله یک و نیم متری لبه پیاده‌روها مستقر و روی حسگر دستگاه محافظ اسفنجی استفاده گردید تا اثر جریانات باد به حداقل برسد و سپس شاخص TNI محاسبه گردید. مدت‌زمان اندازه‌گیری در هر نقطه نیز ۳۰ دقیقه – طبق استاندارد هوای آزاد ایران، تعریف‌شده از سوی سازمان حفاظت محیط‌زیست – در نظر گرفته شد. برای محاسبه حجم ترافیک نیز از روش دستی و شمارش مستقیم وسایل نقلیه به تفکیک نوع وسیله استفاده و برای راحتی کار از شمارشگرهای دستی استفاده و تعداد خودروی سواری، اتوبوس، کامیون، وانت و موتورسیکلت شمارش گردید و طبق جدول ۳ به معادل سواری تبدیل شد و از دوره شمارش ۵ یا ۱۵ دقیقه‌ای و برای تقاطعات از شمارش ۱۵ دقیقه‌ای استفاده گردید و یک تا سه دقیقه توقف در پایان هر دوره زمانی شمارش، برای ثبت اطلاعات در نظر گرفته شد. درنهایت برای محاسبه کل حجم ترافیک دوره از رابطه ذیل استفاده گردید (۸):

$$Va = V \times Cf \qquad (۱)$$

که در آن V_a: حجم ترافیک برای یک دوره کامل و V: حجم ترافیک شمارش‌شده در طول مدت شمارش در یک دوره و C_f: ضریب تصحیح شمارش، که از رابطه ذیل به دست می‌آید که T_c: زمان کل دوره شمارش (دقیقه) و T_s: زمان توقف کوتاه (دقیقه) می‌باشد (۸).

$$C_f = T_c / (T_c - T_S) \qquad (۲)$$

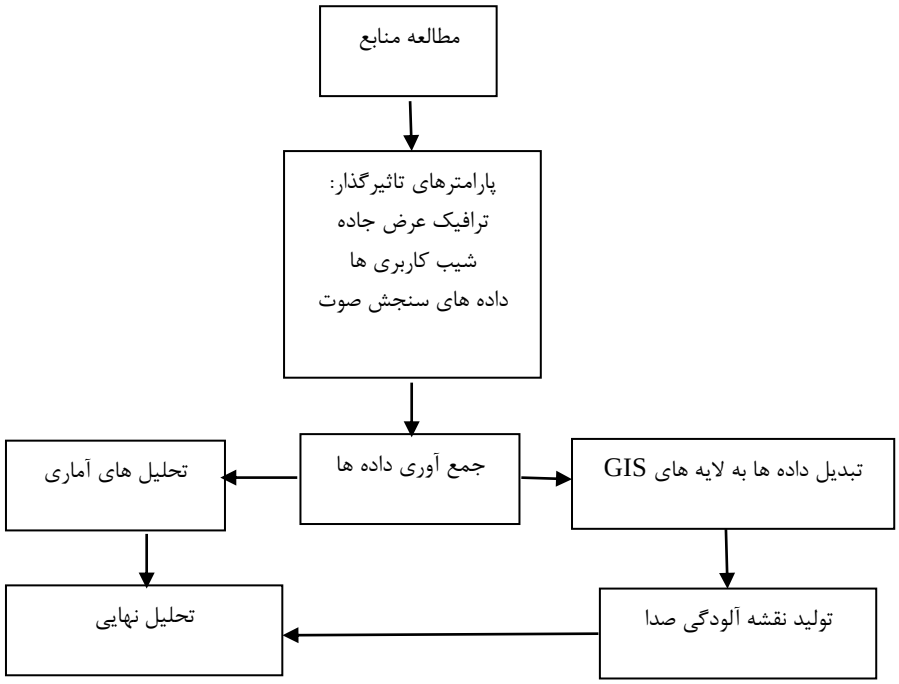
جدول ۳- محدوده اثر ترافیکی وسایل نقلیه

Table 3. Range of traffic effect of vehicles

نوع وسیله نقلیه	معادل سواری
اتوبوس	۲,۵ – ۳,۵
کامیون	۱,۷۵ – ۳,۰
وانت	۱,۰ – ۱,۵
موتورسیکلت	۰,۲۵ – ۰,۴
دوچرخه	۰,۲ – ۰,۲۵

در این پژوهش به‌منظور تولید نقشه‌های آلودگی صدا با استفاده از تراز صوتی برداشت شده برای نقاط، از نرم‌افزار Arc map نسخه 10.4.1 استفاده شد بدین ترتیب که ابتدا داده‌های مربوط به صدا برای تشکیل پایگاه داده وارد نرم‌افزار شد و محاسبه میزان صدا برای نقاط مجهول (اندازه‌گیری نشده) پهنه مطالعاتی، به روش درون‌یابی با استفاده از روش IDW انجام شد و داده صوتی به‌صورت یک‌لایه رستری پلیگونی درآمد و نقشه رقومی هر چهار منطقه تولید شد سپس با استفاده از ابزار کانتور[1] به ترسیم منحنی‌های هم‌تراز صوت پرداخته شد. هر نقطه سنجش با ۱۵ الی ۲۰ متر فاصله از هم انجام گردید و عرض و طول جغرافیایی نقطه موردنظر با استفاده از دستگاه GPS مدل گارمین ثبت شد. این سنجش‌ها در روزهای کاری و در ساعات پیک ترافیکی از ساعت ۷ صبح تا ۱۹ عصر انجام شد. که از بین روزهای هفته روزهای پنجشنبه و جمعه به دلیل تعطیلی و کم شدن شار ترافیکی حذف گردید. مدت اندازه‌گیری در هر نقطه یک دقیقه در نظر گرفته شد. در ۳۲۴ نقطه مورد نظر بدست آمد. هر نقطه صوت سنجی توسط یک دستگاه GPS دستی مدل Garmin GPS map ثبت مختصاتی شده تا هم فواصل بین نقاط توسط همین وسیله حدود ۲۰ متر کنترل شود و هم برای اندازه‌گیری مجدد در ظهر و عصر بتوان دقیقا نقاط را پیدا کرد. فاصله دستگاه صوت سنج از زمین مطابق آیین نامه اندازه گیری صدا ۱/۵ متر از زمین و در حد امکان حدود ۴ تا ۵ متر از دیوار پیاده رو دورتر و ۱/ ۵ متر فاصله از لبه پیاده رو رعایت گردید. در ضمن روی میکروفون دستگاه با اسفنج مخصوص خود دستگاه برای حداقل کردن اثر جریان هوا پوشیده شده بود. در هنگام صوت سنجی اگر وسیله نقلیه خاصی با تراز صدای خیلی بالا مانند اتوبوس یا کامیون از نزدیک دستگاه در مدت زمانی اندازه گیری با سرعت کم عبور می کرد یا به علت ترافیک متوقف شده بود، سعی شد تا اثر آن از صوت سنجی حذف شود چون مدت زمان اندازه گیری به ناچار کوتاه انتخاب شده بود اگر این اثر حذف نمی شد تغییرات غیر معمول در اندازه گیریها وارد می شد که باعث اخلال در محاسبات آماری می گردید. برای تجزیه‌وتحلیل‌های آماری با استفاده از سایر اطلاعات برداشت‌شده برای هر نقطه شامل انواع کاربری، ترافیک، عرض جاده و درصد شیب، از روش "خوشه‌بندی سلسله مراتبی" استفاده شد که روشی متداول برای گروه‌بندی اشیا در خوشه‌ها می‌باشد. به‌طوری‌که اشیا درون هر خوشه بیشترین شباهت را به هم و اشیا در خوشه‌های مختلف بیشترین تمایز را از هم دارند (۱۱). به‌منظور شناخت دقیق‌تر میزان وابستگی عوامل و درجه اهمیت آن‌ها از روش "تحلیل مؤلفه‌های اصلی" استفاده گردید؛ درنهایت به کمک سه تحلیل فوق، علاوه بر تولید نقشه‌های آلودگی و شناخت الگوها و عوامل مؤثر و میران تاثیر آن‌ها، با استفاده از روش آماری رگرسیون غیرخطی، معادله محاسبه میزان تراز صوتی با استفاده از پارامترهای فوق استخراج گردید مراحل مذکور به‌طور خلاصه در شکل ۴ نشان داده‌شده است.

1- contour



شکل ۴- فلوچارت روند تحقیق

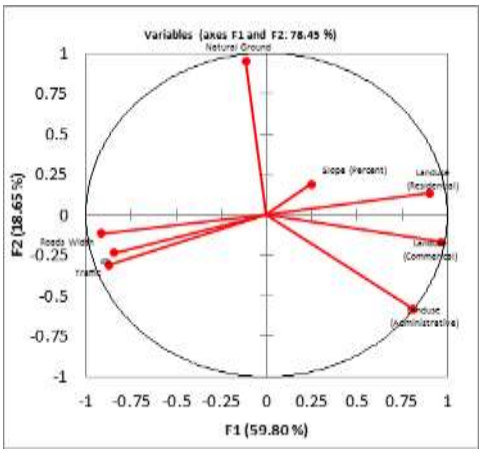
Figure 4. Flowchart of the research process

یافته‌ها

با توجه به شکل ۵ اتوبان همت و تقاطع غیرهمسطح از نظر مساحت بیشترین گستره آلودگی را به خود اختصاص داده است. که حداکثر تراز صوتی آن ۷۸ دسی‌بل بیشترین است که شامل هم‌ترازهای قرمزرنگ می‌باشد در مقابل هم‌ترازهای سبز که بیشتر به دور از راه‌های ارتباطی قرارگرفته‌اند، دارای کمترین میزان تراز آلودگی صدا می‌باشد. محدوده همت با تراز صوتی ۸۱ دسی‌بل ازنظر کمیت بالاترین تراز صوتی را داراست که به نظر می‌رسد به دلیل ترافیک بسیار بالا نسبت به سایر محدوده‌ها دارای آلودگی صدا بالایی بوده است. با توجه به استاندارد میزان تراز صوتی برای کاربری‌های مختلف (جدول ۱)، به‌جز در منطقه تجریش که کمترین مقدار تراز صوتی به میزان ۵۵ دسی‌بل مربوط به این محدوده می‌باشد که در کاربری مسکونی قرار دارد سایر محدوده‌ها از آلودگی صدا برخوردار هستند خود محدوده تجریش نیز در راستای بلوار ولی‌عصر و شهرداری دارای آلودگی بیشتر از حد استاندارد می‌باشد. روابط مربوط به پارامترهای مختلف با پارامتر تراز صوتی در زیر به‌صورت معادله کلی نشان داده‌شده است.

SPL (به حالت لحظه‌ای است) = (47.085 + 0.461 * Traffic) + (3.7876 E -02 * Slope) + (0.0115 * Landuse (Residential)) – (3.441 E - 2*Landuse (Commerical)) + (0.0269 * Landuse (Administrative)) - (2.124 E – 03 * Roads Width ^2) + (4.056E -4 *Natural Ground ^2) + (3.597E -06*Traffic^3) – (1.0725E -06 *Slope ^3)

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که معادله فی‌مابین تراز صوتی به‌عنوان متغیر وابسته با سایر پارامترها که به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته‌شده‌اند، جوابگو بوده و برقرار می‌باشد و به‌راحتی می‌توان با در دست داشتن مقادیر مربوط به متغیرهای مستقل، میزان تراز صوتی را برای محدوده موردنظر محاسبه نمود. البته این معادله برای محدوده موردمطالعه در این تحقیق صادق است و برای مناطق مختلف بسته به شرایط اختصاصی آن‌ها شاید با اندکی تغییرات، جوابگو باشد.



شکل ۶- نمودار Biplot مربوط به عناصر

Figure 6. Biplot diagram of elements

گرافیکی به بررسی نحوه تاثیرگذاری و تاثیرپذیری مولفه های اصلی که در روند کار استفاده شده‌اند می‌پردازد که نوع همبستگی و بیشترین میزان آن را به‌صورت گرافیکی نشان می‌دهد. با توجه به شکل زیر متغیرهای ترافیک و عرض جاده کاملا هم‌راستا با متغیر وابسته ما یعنی تراز صوتی (dB) می‌باشد و در ناحیه سوم دایره قرارگرفته‌اند که نشان‌دهنده همبستگی مثبت مستقیم می‌باشد یعنی با افزایش میزان ترافیک و عرض جاده‌ها میزان تراز صوتی نیز افزایش پیداکرده است. از طرفی ناحیه اول که شیب و کاربری مسکونی در آن قرارگرفته‌اند نشان‌دهنده رابطه منفی مستقیم است که نشان می‌دهد با افزایش میزان شیب و نزدیکی به مناطق مسکونی میزان تراز صوتی کاهش پیداکرده است. پارامترهای کاربری‌های اداری، تجاری و فضای سبز نیز در این شکل به‌صورت پراکنده قرارگرفته است که نشان‌دهنده تاثیرگذاری کمتر نسبت به

بحث و نتیجه‌گیری

به نظر می‌رسد بحث در مورد نحوه و میزان تاثیر پارامترهای مختلف در میزان تراز صوتی یکی از عوامل اساسی در بحث‌های مدیریت این نوع آلودگی می‌باشد به همین دلیل در این بخش به بحث در این زمینه پرداخته می‌شود.

در این تحقیق برای متغیر موجود تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) انجام‌گرفته است، همان‌طور که از شکل ۶ و جدول ۴ و ۵ زیر مشاهده می‌شود سه مؤلفه اول ۹۰/۳۸۱ درصد تغییرات را توجیه می‌کنند و همراهی‌های چند متغیر معرفی‌شده توسط آن‌ها، فرآیندهای غالب در ناحیه مطالعاتی را نشان می‌دهند.

همان‌طور که از جدول مربوطه مشخص است، بردار ویژه اول عمدتاً تحت کنترل دو متغیری است که بالاترین ضرایب (مقادیر ویژه) را دارند که در تحقیق حاضر شامل ترافیک و عرض جاده‌ها می‌شود.

جدول ۴- بردار ویژه هر مؤلفه و میزان تغییرپذیری هر مؤلفه از تغییرپذیری کل

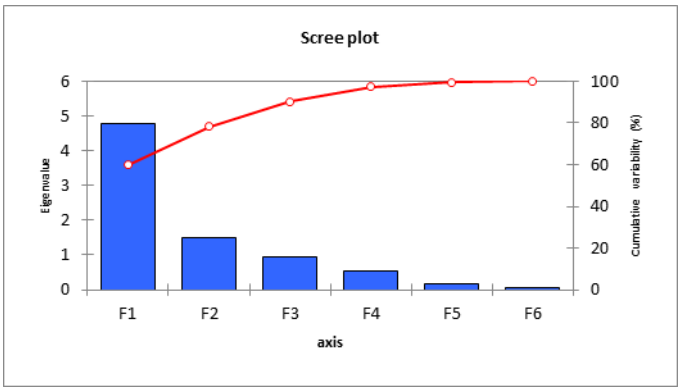
Table 4. The special vector of each component and the degree of variability of each component from the total variability

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Eigenvalue	۴,۷۸	۱,۴۹	۰,۹۵	۰,۵۶	۰,۱۷	۰,۰۵
Variability (%)	۵۹,۸۰	۱۸,۶۵	۱۱,۹۳	۶,۹۴	۲,۱۰	۰,۵۹
Cumulative %	۵۹,۸۰	۷۸,۴۵	۹۰,۳۸	۹۷,۳۲	۹۹,۴۱	۱۰۰

جدول ۵ - مقادیر بار سه مؤلفه اصلی، نشان‌دهنده میزان همبستگی هر عامل با عناصر

Table 5. Values of the three main components, indicating the degree of correlation of each factor with the elements

پارامترها	F1	F2	F3	F4	F5	F6
میزان صدا(dB)	-۰,۸۴	-۰,۲۳	۰,۰۱	۰,۴۶	۰,۰۱۶	-۰,۰۱۴۱
ترافیک	-۰,۸۷	-۰,۳	-۰,۰۴	۰,۳۲	-۰,۱۱	۰,۱۵
شیب (درصد)	۰,۲۴	۰,۱۹	۰,۹۴	۰,۱۲	-۰,۰۲	۰,۰۱۳
مسکونی(m^2)	۰,۹	۰,۱۳	-۰,۱۲	۰,۳۳	۰,۱۹	۰,۰۳۸۲
تجاری(m^2)	۰,۹۶	-۰,۱۶	-۰,۰۷	۰,۱۹	-۰,۰۰۷	۰,۰۰۵
اداری(m^2)	۰,۸	-۰,۵۸	۰,۰۲	۰,۰۸	۰,۰۷	۰,۰۰۸۳
فضای سبز(m^2)	-۰,۱۱	۰,۹۵	-۰,۱۶	۰,۲۱	۰,۰۲۳۳	۰,۰۱
عرض جاده(m)	-۰,۹۱	-۰,۱۱	۰,۱۲	-۰,۱۲	۰,۳۳	۰,۰۳۵۶



شکل ۶- مقادیر ویژه مربوط به هر مؤلفه اصلی

Figure 6. Eigenvalues of each principal component

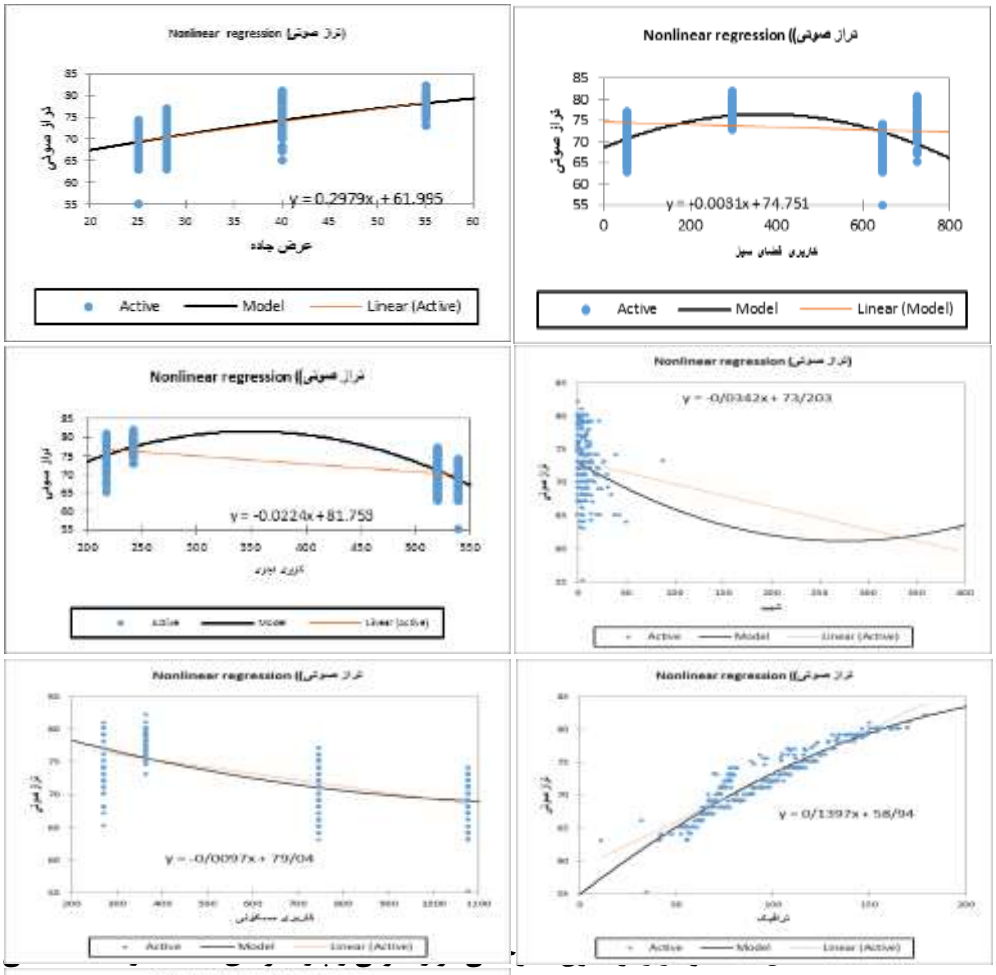
روش خوشه بندی (AHC) مربوط به تغییرات پارامترها (جدول ۶) نشان می دهد که بین پارامتر صدا با پارامترهای ترافیک و عرض جاده رابطه مستقیم وجود دارد به نحوی که در اغلب کلاس ها مقادیر مربوط به کمیت آن ها نزدیک به هم و در تمایز با پارامترهای دیگر هستند که این وضعیت در کلاس های دو نمود پیدا کرده است به عبارتی نوع تاثیرگذاری پارامتر ترافیک و عرض جاده ها بر پارامتر تراز صدا دارای بیشترین شباهت با هم و بیشترین تمایز با سایر پارامترها است. در کلاس چهار نیز همان طور که کمیت ها نشان می دهد سه پارامتر کاربری اداری، تجاری و مسکونی دارای بیشترین شباهت تاثیرگذاری بوده اند یعنی میزان همبستگی آن ها با پارامتر تراز صوتی به همدیگر نزدیک است البته این به معنای یکسان بودن نوع تاثیر (منفی یا مثبت) نمی باشد بلکه میزان کمیت آن ها به هم نزدیک است. در کلاس یک نیز پارامترهای ترافیک، شیب و عرض جاده در یک خوشه با بیشترین شباهت قرار می گیرند. که در مجموع می توان گفت پارامترهای ترافیک و عرض جاده با تراز صدا دارای بیشترین همبستگی هستند و در یک خوشه قرار می گیرند.

جدول ۶ -روابط بین پارامترها بر اساس روش AHC

Table 6. Relationships between parameters based on the AHC method

عرض جاده	فضای سبز	اداری	تجاری	مسکونی	شیب	ترافیک	میزان صدا	طبقه‌بندی
۲۵	۶۴۶,۹	۱۷۹,۶	۲۱۷,۴۰۰	۱۰۷۷,۵۰۰	۳	۱۱۰۰	۶۳	۲
۲۸	۵۳,۶	۲۲۵,۷	۴۱۸,۶	۷۴۵,۹۰۰	۱,۱۳	۸۷۳	۷۰,۳	۴
۳۷,۱۸۲	۵۰۴,۴۵۴	۱۵۵,۹۷۹	۵۲۰,۶	۷۸۷,۷۶۶	۰,۸	۹۵۶	۷۲,۹۶۹	۱
۴۰	۷۲۴,۶	۵۴,۳	۵۳۸,۸	۲۷۱,۷۰۰	۰,۵۶	۱۱۳۹	۷۴,۲۷۷	۳

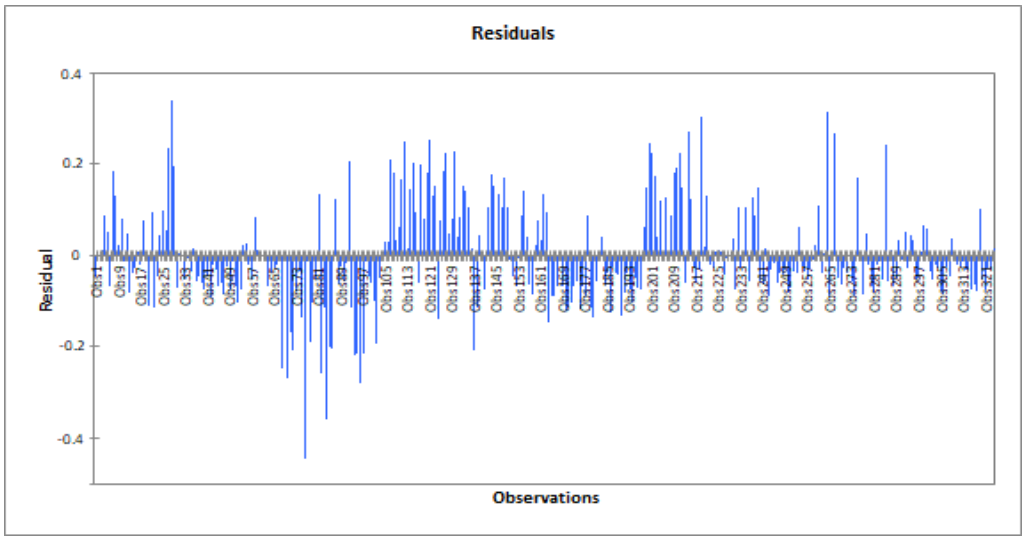
در ادامه تحلیل‌های آماری برای استخراج معادله خطی بین پارامترها از نمودارهای رگرسیون مربوط به دوبه‌دوی پارامترها (شکل ۷) استفاده شد که پارامتر تراز صوتی به‌عنوان متغیر وابسته (y) با سایر پارامترها (x) ارزیابی گردید که معادله مربوط به هرکدام در نمودار مربوطه گنجانده شده است که با تعیین مقادیر مربوط به متغیرهای مستقل که با حرف x نشان داده شده است و جایگذاری آن در معادله مربوطه می‌توان به‌راحتی میزان تراز صوتی را محاسبه نمود با توجه به آرایش مشاهدات پیرامون خط برازش، هرچقدر مشاهدات در راستای خط مذکور قرار گیرند نشان‌دهنده همبستگی خطی بالایی می‌باشد که این شیوه آرایش در همبستگی بین تراز صوتی به‌عنوان متغیر وابسته با پارامتر ترافیک می‌باشد و در اغلب اشکال دیگر چنین آرایشی مشاهده نمی‌شود که نشان‌دهنده تاثیرپذیری بالای میزان تراز صوتی از پارامتر ترافیک در مقایسه با سایر پارامترها است.



مربوطه

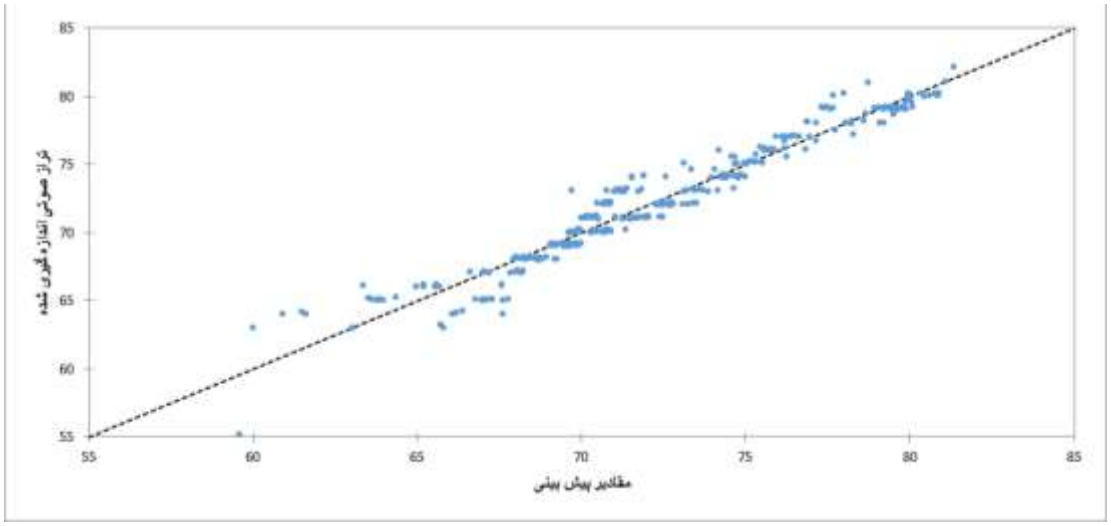
Figure 7. Non-linear t parameters and the corresponding linear

درنهایت به‌منظور کنترل مقادیر اندازه‌گیری‌ها ز صوتی به‌عنوان متغیر پیش‌بینی‌شده درروند مذکور، از روش رگرسیون معلوم پارامترهای دیگر استفاده گردید که با توجه به برازش انجام‌شد میزان دقت این پیش‌بینی را مشاهدات که تعداد ۳۲۴ مشاهده معتبر را شامل می‌شود، نشان می‌دهد که درصورتی‌که این میزان بین مثبت و منفی میزان انحراف از تساوی مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده ۰٫۵ باشد این پیش‌بینی قابل‌قبول خواهد بود که در تحقیق بین مثبت و منفی ۰٫۵ می‌باشد که نشان‌دهنده عدم وجود حاضر این میزان در محدوده مجاز قرار می‌گیرد و نشان‌دهنده مشاهدات پرت و خطای مجاز اندازه‌گیری می‌باشد. نمودار کار می‌باشد. مربوط به مقادیر مشاهده‌شده و مقادیر پیش‌بینی‌شده (شکل ۸)



شکل ۸- خطای مقادیر مشاهدات و مقادیر پیش‌بینی‌ها

Figure 8. Error of observation values and prediction values



شکل ۹- نمودار رگرسیون مقادیر برداشت‌شده و پیش‌بینی‌شده از معادلات مستخرج از روابط پارامترها

Figure 9. Regression diagram of collected and predicted values from equations extracted from parameter relationships

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۷ از این مطالعه بیشترین میزان تراز آلودگی صدا در کل اندازه‌گیری‌ها که شامل ۳۲۴ نقطه برداشت است، ۸۲,۱۶ دسی‌بل مربوط به محدوده اتوبان همت و شاخص ترافیک ۱۷۹ و عرض جاده ۵۵ متر می‌باشد و کمترین میزان تراز صوتی نیز با ۵۵,۱۵ دسی‌بل مربوط به محدوده تجریش می‌باشد. متوسط میزان تراز آلودگی صدا نیز ۷۲,۲۳ دسی‌بل است (جدول زیر است).

جدول ۷- اطلاعات آماری نقاط برداشت‌شده

Table 7. Statistical information of measured points

پارامتر	مشاهدات	کمترین مقدار	بیشترین مقدار	میانگین	انحراف معیار
میزان صدا (بر حسب دسی‌بل است.)	۳۲۴	۵۵,۱۵	۸۱	۷۲,۲۳	۴,۶۳

نتایج تحلیل‌های آماری مربوط به "تحلیل مؤلفه‌های اصلی" و "تحلیل سلسله مراتبی تجمعی" نیز نشان می‌دهد که بیشترین تاثیر بر میزان تراز آلودگی صدا مربوط به میزان ترافیک با ضریب همبستگی ۰,۹۳ و بعدازآن پارامتر عرض جاده‌ها با ضریب همبستگی ۰,۷۴ و بعدازآن به ترتیب کاربری‌های تجاری، مسکونی، اداری، شیب و فضای سبز می‌باشد. بیشترین تراز آلودگی صدا نیز در کاربری‌های تجاری و اداری بوده است که مراکز تجاری و بازارهای فروش به دلیل حجم بالای آمدوشد و تجمع جمعیتی بالا به‌خصوص در ساعات معینی از روز که سبب می‌شود میزان ترافیک بالا رفته و به‌مراتب نسبت به کاربری‌های فضای سبز و یا مسکونی، حجم بالای آلودگی‌های صوتی را داشته باشند. با توجه به اینکه میزان تراز صوتی بالاتر از ۷۰ دسی‌بل برای انسان آزاردهنده می‌شود بنابراین می‌توان عنوان نمود که محدوده‌های مطالعاتی دارای میزانی از آلودگی صدا می‌باشند که این عامل برای محدوده همت بیشترین حد از آلودگی صدا را داشته است و محدوده اتوبان حکیم و توحید و تجریش در مراتب پایین‌تر دارای آلودگی صدا بوده‌اند که ضرورت توجه به بحث آلودگی‌های صوتی را نشان می‌دهد. نتایج تحلیل‌های آماری مربوط به "تحلیل مؤلفه‌های اصلی" و "تحلیل سلسله مراتبی تجمعی" نیز نشان می‌دهد که رفتار پارامترها در کل در چهار مورد قرار می گیرد که به دلیل رابطه مسقیمی که با تراز صوتی دارند. بررسی های منتج از روش نیز حاکی از اهمیت بسیار بالای میزان ترافیک شهری در تراز آلودگی های صوتی است که با اختلاف زیادی نسبت به دیگر پارامترها دارای بیشترین تاثیر در تراز صوتی بوده است و بعد از آن نیز به ترتیب فضای سبز، کاربری های اداری و تجاری و عرض معابر و در نهایت شیب قرار می گیرد که اهمیت آن ها در میزان تاثیر تولید صوت را نشان می دهد. همچنین با توجه به نقشه‌های آلودگی صوتی بیشترین سطح آلودگی را که شامل بالاترین کلاس آلودگی (سطوح قرمزرنگ) می شود، محدوده اتوبان همت دارد و بعدازآن اتوبان حکیم و به ترتیب محدوده توحید و تجریش نیز در رتبه‌های بعدی قرار دارد که به نظر می‌رسد ماهیت اتوبان بودن محدوده همت و حکیم و فاصله نسبی زیاد ان ها از مناطق مسکونی تاثیر زیادی در میزان آلودگی صوتی داشته است. همچنین بیشترین تراز آلودگی صوتی نیز در کاربری‌های تجاری و اداری بوده است مراکز تجاری به دلیل حجم بالای آمدوشد و تجمع جمعیتی بالا به‌خصوص در ساعات معینی از روز که سبب می‌شود میزان ترافیک بالا رفته و به‌مراتب نسبت به کاربری‌های فضای سبز و یا مسکونی، حجم بالای آلودگی‌های صوتی و زیست‌محیطی را داشته باشند. محدوده‌های مطالعاتی با داشتن جمعیت قابل‌توجه و بافت مسکونی متراکم و وجود بزرگراه‌های متعدد، میدان‌ها و خیابان‌های پرتردد وگاها آسفالت مستهلک شاهد پررنگ‌تر شدن معضلات مربوط به آلودگی صدا در بین مناطق دیگر تهران است به‌طوری‌که این مسئله حتی برای همه شهروندان ملموس‌تر شده است. یکی از منابع صدای بارز و مشخص در اتومبیل، مواجهه چرخ‌های خودروها با سطح جاده است. در اکثر خیابان‌های این منطقه به علت وجود ساختمان‌های نوساز و چندطبقه به نظر می‌رسد امکان تعریض خیابان وجود نداشته باشد و در این زمینه کمتر می‌توان اقداماتی انجام داد ما تا آنجا که میسر است توصیه می‌گردد خیابان‌ها را تا حد امکان چندلایه و تعریض نموده و برای عدم انعکاس صدا و جلوگیری از تشدید آلودگی صدا از ساختن ساختمان‌های بلند در اطراف خیابان‌های اصلی جلوگیری به عمل‌آید و در شهرسازی جدید فاصله ساختمان‌ها را از خیابان‌های اصلی، اتوبان‌ها و غیره رعایت نمایند.

References

1. Makhdoom, M. Investigation of noise pollution in Tehran, Tehran Environmental Journal, Tehran University Publishing and Printing Institute, 57-68, 1380, number 6. (In Persian)
2. Abbaspour, M., ((Environmental Engineering of Tehran)), No. 6, Tehran, Islamic Azad University: 1371. (In Persian)
3. Babisch W, Elwood P, Ising H, Kruppa B. 1992, Traffic noise as a risk factor for myocardial infarction. Schriftenreihe des Vereins fur Wasser, Boden-und Lufthygiene.; Vol 88:135-66.
4. Bilaşco, Ş., Govor, C., Roşca, S., Vescan, I., Filip, S., & Fodorean, I. (2017). GIS model for identifying urban areas vulnerable to noise pollution: case study. Frontiers of Earth Science, 11(2), 214-228.
5. Subramani, T., & Sounder, S. (2016). A Case Study And Analysis Of Noise Pollution For Chennai Using GIS. International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science (IJETTCS), 5(3), 125-134.
6. Garg, N., Sinha, A. K., Dahiya, M., Gandhi, V., Bhardwaj, R. M., & Akolkar, A. B. (2017). Evaluation and Analysis of Environmental Noise Pollution in Seven Major Cities of India. Archives of Acoustics, 42(2), 175-188.
7. Abbaspour, M., Karimi, E., Nassiri, P., Monazzam, M. R., & Taghavi, L. (2015). Hierarchal assessment of noise pollution in urban areas–A case study. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 34, 95-103.
8. Zoqi, Hassan, ((Traffic Engineering Book)), fifth issue, Tehran, Islamic Azad University, 2018, pp: 214-215. (In Persian)
9. Weber N, Haase D, Franck U (2014). Assessing modelled outdoor traffic-induced noise and air pollution around urban structures using the concept of landscape metrics. Landsc Urban Plan, 125: 105–116.
10. Torija AJ, Genaro N, Ruiz DP, Ramos-Ridao A, Zamorano M, Requena I. 2015, Priorization of acoustic variables: environmental decision support for the physical characterization of urban sound environments. Build Environ;45:1477–89 .
11. Sayadi Anari, Mohammad Hossein, Mawafaq, Afsana, Evaluation of sound pollution in Birjand using statistical and GIS techniques, Environmental Science, Volume 40, Number 3, Fall 2013, Pages 693-710. (In Persian)
12. ۱۲. Majidi, Faramarz, Khosravi, Yunus, Evaluation of noise pollution in the central part of Zanjan using geographic information system, Health and Environment Journal, Scientific Research Quarterly, 9th Volume, 1st Issue, Spring 2015, Pages 91-102. (In Persian)
13. Mandal P.K., Bandyopadhyay A. (2014), Case study from West Bengal, India: Management of noise levels during festival time in Kolkata and Howrah Municipal Corporation Areas from 2002 to 2011, Environ- mental Quality Management, 23, 13–32.