

## رویکرد GIS مبنای مدل سازی سه بعدی آلودگی صوتی با استفاده از مدل های سه بعدی شهر (مطالعه موردی: بخشی از منطقه سه تهران)

حمیدرضا رنجبر<sup>۱\*</sup>، علیرضا قراگوزلو<sup>۲</sup>، علیرضا وفایی نژاد<sup>۳</sup>، هنک دی کلجور<sup>۴</sup>

۱- کارشناس ارشد رشته GIS/RS، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران

۲- استادیار آموزشکده مهندسی نقشه برداری سازمان نقشه برداری کشور، تهران agharagozlu@yahoo.com

۳- استادیار GIS/RS، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران a\_vafaei@srbiau.ac.ir

۴- مدیر و مشاور شرکت dBvision هند henk.dekluijver@dBvision.ni

تاریخ دریافت: ۹۱/۲/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۱/۴/۳

### چکیده

پیشرفت تکنولوژی و توسعه فناوری همگام با رشد جمعیت شهری، همواره پیامدهای مثبتی را برای رفاه عمومی به همراه داشته است، اما از تأثیرات منفی آن مبتنی بر گسترش آلودگی های مختلف محیط زیست، نظیر آلودگی صوتی نمی توان براحتی چشم پوشی کرد. در این زمینه آگاهی کافی از روند انتشار آلودگی های صوتی، کنترل و پیشگیری گسترش آنها را ممکن ساخته که به این منظور تهیه نقشه های سه بعدی انتشار آلودگی صوتی و مدل سازی آن چنین امری را میسر خواهد ساخت. در این تحقیق، ابتدا با توجه به عدم وجود مدل نویز در ایران، با مطالعه مدل های استاندارد موجود در جهان، روش اول استاندارد تهیه نقشه نویز آلمان SMM1 برای محاسبه ترازهای نویز در این محدوده انتخاب شد. آزمون صحت این مدل با استفاده از تکنیک paired t-test با سطح اطمینان ۹۵ درصد گویای این است که مدل قادر به پیش بینی نویز در سطوح مجاور محدوده ترافیکی با Sig. 2-tailed=0/516 در سطح افقی و به همین ترتیب Sig. 2-tailed=0/896 در سطح عمودی است. سپس الگوریتمی برای مدل سازی سه بعدی آلودگی صوتی با استفاده از مدل مذکور ارائه شد. در خاتمه نتایج تلفیق مدل نویز با مدل سه بعدی شهر در محیط GIS مبین این است که به دلیل بالا بودن اثر نویز بر وجوه جلویی و کناری ساختمان ها، این نواحی برای کاربری های تجاری و مسکونی مناسب نیستند، فقط نواحی پشت ساختمان ها با اثر تراز نویز پایین تر برای مناطق مسکونی مناسب ترند. ساخت دیوار صوتی شفاف سرکج به ارتفاع هفت متر در فاصله نزدیک به لبه بیرونی بزرگراه به عنوان راهکاری مؤثر برای کاهش نویز در این محدوده در حد استانداردهای مجاز کاربری های تجاری و مسکونی ارائه شده است.

### کلید واژه

آلودگی صوتی، GIS، مدل ترافیکی نویز، مدل سه بعدی شهر، مدل سازی سه بعدی نویز

### سرآغاز

ساکنان آن نواحی می گذارد (Belojevic, et al., 1997). در میان عوامل ایجاد کننده آلودگی صوتی همانند ترافیک، صنعت، ساخت و ساز، جامعه، نویز حاصل از ترافیک به دلیل برهم زدن آرامش ساکنان شهرهای بزرگ توجه بسیاری را به خود جلب کرده است (El-Fadel, et al., 2002).

تهران در میان شهرهای ایران، آلودگی صوتی بیشتری را به دلیل وجود ترافیک سنگین در بزرگراهها دریافت می کند، که این مسئله، ضرورت اصلی انجام این تحقیق است. نقشه های ۲ بعدی نویز فقط برای کاهش یا کنترل آلودگی صوتی کافی نخواهند بود. در شهرهای پرتراکم، ساکنان ساختمان های بلند بشدت تحت تأثیر

بعد از جنگ جهانی دوم و انقلاب صنعتی در اروپا، پیشرفت و توسعه تکنولوژی به سرعت چشمگیری خود را نمایان ساخت. این قبیل از پیشرفت ها در کنار ایجاد امکاناتی برای زندگی مدرن و راحت، معایبی هم چون مخاطره های زیست محیطی با خود به ارمغان آورد. این مخاطره ها شامل پنج دسته کلی آلودگی هوا، آب، خاک، گرما و آلودگی صوتی است (Arana, et al., 1998).

آلودگی صوتی در شهرهای بزرگ آسیب های جبران ناپذیری از جمله کاهش شنوایی، آثار بالینی، تأثیر بر خواب، آثار روحی و روانی، اختلال در مکالمات و کاهش قدرت شنوایی را بر روی سلامت

اطراف و وضعیت جویی است. Tansatcha و Pamanikabud (۲۰۱۰) از سیستم‌های اطلاعات مکانی برای تجزیه و تحلیل اثر نویز حاصل از ترافیک بزرگراه با توسعه دو برنامه FHWA و CoRTN استفاده کردند. آنها همچنین اثر موانع صوتی بسته و نیمه بسته را بر کاهش ترازهای نویز در محیط اطراف بررسی کردند (Rahmani, et al., 2011).

Law و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه خود به بررسی پیشرفت‌های اخیر در بحث مدل‌سازی ۳ بعدی آلودگی صوتی پرداختند و مدل نویز ۳ بعدی ساخته شده با استفاده از تصاویر واقعی را که امکان حرکت در محیط شبیه‌سازی شده را در اختیار کاربران و برنامه‌ریزان شهری قرار می‌دهد به عنوان فناوری اخیر در این زمینه معرفی کردند.

حجت و رجبی (۱۳۸۷) با بهره‌جویی از مدل NMPB<sup>۳</sup> (مدل انتشار صوت اتحادیه اروپا) اقدام به مدل‌سازی آلودگی صوتی با استفاده از مدل‌های سه بعدی شهر کردند، Rahmani و همکاران (۲۰۱۱) نیز مدلی بهینه شده برای پیش‌بینی نویز حاصل از ترافیک را در شهر مشهد با استفاده از الگوریتم ژنتیک ارائه کردند. آنها در مطالعه خود فقط مدلی را برای پیش‌بینی نویز ارائه کردند و به مدل‌سازی ۳ بعدی نتایج حاصل از آن پرداختند، از آن جایی که مدل‌سازی ۳ بعدی هنوز در مراحل مقدماتی توسعه و رشد خود قرار دارد و در نظر گرفتن این مسئله که مدل‌های ترافیکی نویز در بسیاری از کشورها به منظور پیش‌بینی و تحلیل نویز حاصل از ترافیک در بزرگراه‌های همان کشور ارائه شده اند (2003, Barry).

از این رو، انتخاب و ارائه مدلی که به لحاظ شرایط ترافیکی و فیزیکی به وضعیت محدوده موجود در شهر تهران نزدیک باشد به منظور مدل‌سازی ۳ بعدی اثر نویز ضروری به نظر می‌رسید. در این مطالعه، هدف ما ساخت مدل ۳ بعدی نویز به منظور تجزیه و تحلیل ۳ بعدی اثر نویز حاصل از ترافیک بخشی از بزرگراه همت، بر روی تمامی وجوه ساختمان‌ها و نواحی مجاور است. بدین منظور ابتدا روش استاندارد اول تهیه نقشه نویز آلمان به عنوان مدل پیشنهادی برای این محدوده ارائه شد.

این مدل سپس با اندازه‌گیری تعدادی نقاط کنترلی در فیلد، ارزیابی شد. با ساخت مدل ۳ بعدی محدوده مطالعاتی، ایجاد نقاط مشاهده، محاسبه نویز در هر یک از این نقاط در سه محدوده زمانی روز، عصر و شب، مدل‌سازی ۳ بعدی در این سه پیک زمانی با

آلودگی صوتی حاصل از ترافیک هستند (Silvia, 2003). با استفاده از این نوع نقشه‌های ۲ بعدی، محاسبه دقیق تعداد افرادی که تحت تأثیر آلودگی صوتی قرار می‌گیرند، تعیین نقاط بحرانی (با شدت بالای آلودگی) و تعیین آلوده‌ترین مسیرها به لحاظ ترازهای صوتی مشکل و گاه غیرممکن خواهد بود. دلیل این مسئله این است که نمایش تغییرات شدت صوت در نقشه‌های دو بعدی آلودگی صوتی امکان پذیر نیست.

Kluijver و همکاران (2003) با استفاده از نقشه‌های ۲ بعدی آلودگی صوتی، تصمیم‌گیری در مورد تغییرات ناگهانی در شدت آلودگی بسیار مشکل است، این مسئله بدین خاطر است که نقشه‌های ۲ بعدی فقط اطلاعاتی از نویز را ارائه می‌کند، اما هیچ گونه اطلاعات سه بعدی را از دیگر عوارض (خیابان‌ها، ساختمان‌ها و غیره) که ممکن است عامل کاهش، یا افزایش این شدت آلودگی باشد ارائه نمی‌دهد از این رو شدت آلودگی‌های تأثیر گذار بر ساختمان‌ها و سایر ساختارها نمی‌توانند در نقشه‌های ۲ بعدی به نمایش گذاشته شوند.

نقشه‌های ۲ بعدی آلودگی صوتی اطلاعات کافی برای محاسبه بازده ناشی از به کار گرفتن تأثیر دیوارهای صوتی و مواد عایق صوتی را در کاهش شدت این آلودگی در اختیار نمی‌گذارد. آلودگی صوتی حاصل از ترافیک در بسیاری از مطالعات و تحقیقات پیشین به صورت ترازهای رقومی مدل‌سازی شده‌اند، این نوع از مدل‌سازی امکان بررسی آثار نویز را در همه جهات ممکن نمی‌سازد (Seong, et al., 2011).

به منظور یافتن راه حلی بهتر برای حل این مسائل، داشتن نقشه آلودگی صوتی که می‌تواند اطلاعات کاملی را از تأثیر آلودگی صوتی در همه جهات ارائه کند، ضروری به نظر می‌آید. این موضوع با داشتن مدل ۳ بعدی آلودگی صوتی ممکن می‌شود. مطالعات محدودی در سطح دنیا برای مدل‌سازی ۳ بعدی آلودگی صوتی انجام گرفته است.

سازمان مشاور در زمینه مطالعات آلودگی‌های هوا، صوت و تحقیقات لرزه شناسی مستقر در شهر اتریچت<sup>۱</sup> در کشور هلند، اقدام به تهیه این نوع از مدل‌های سه بعدی نویز با استفاده از برداشت لیزری هوایی برای تهیه مدل‌های سه بعدی شهر دلف<sup>۲</sup> کرده است (Butler, 2004). Kurakula و همکاران (2008) مدل ۳ بعدی نویز شهر دلف را ارائه کردند، ضعف اصلی این مدل، در نظر نگرفتن نویز پیش زمینه، موانع صوتی، انعکاس نویز از ساختمان‌ها و عوارض

## مدل‌سازی سه بعدی آلودگی صوتی با استفاده از مدل‌های

### سه بعدی شهر

از آنجایی که تکنیک‌های سنتی موجود برای تهیه نقشه‌های آلودگی صوتی، اطلاعاتی را فقط از ارتفاعی مشخص در اختیار ما می‌گذارند، این نقشه‌ها برای فرایند ارزیابی نویز، مناسب نخواهند بود. بنابراین ارائه روشی که بتواند تغییرات نویز را متناسب با تغییر ارتفاع در یک مدل سه بعدی شبیه‌سازی شده از محدوده مطالعاتی به نمایش بگذارد ضروری به نظر می‌رسد (Law, et al., 2011).

مدل‌سازی سه بعدی آلودگی صوتی در هر ناحیه‌ای، پس از یافتن مدل نویز ترافیکی متناسب با شرایط محدوده مورد مطالعه و تست صحت مدل در چهار فاز کلی پیشنهادی، ساخت مدل سه بعدی شهر، ایجاد نقاط سه بعدی مشاهده در اطراف ساختمان‌ها، محاسبه ترازهای نویز در هر یک از این نقاط، درون‌یابی سه بعدی ترازهای نویز با انواع روشهای خطی<sup>۴</sup>، مکعبی<sup>۵</sup>، نزدیک‌ترین همسایگی<sup>۶</sup>، بایهارمونیک<sup>۷</sup> با کدنویسی در Matlab و در پایان تلفیق مدل سه بعدی محدوده مطالعاتی و مدل سه بعدی آلودگی صوتی در محیط GIS ممکن می‌شود.

فرایند مدل‌سازی سه بعدی اثر نویز حاصل از ترافیک بزرگراه همت در شکل شماره (۲) ارائه شده است.

### ارائه مدل نویز ترافیکی پیشنهادی

بزرگترین منابع سر و صدا در محیط‌های شهری ناشی از وسایل حمل و نقل جاده‌ای، هواپیماها، قطارها، فعالیت‌های صنعتی، ساختمانی، تجهیزات و دستگاههای موجود در محیط زندگی و منزل هستند که هر یک سهم مشخصی را در تولید آلودگی صوتی محیط زیست دارند (Environment Agency, 2002).

ترازهای صوتی ناشی از وسایل حمل و نقل جاده‌ای (شامل موتورسیکلت‌ها، ماشین‌های سواری، ماشین‌های سنگین و نیمه‌سنگین) شایع‌ترین عامل آزار و آلودگی صوتی در سطح شهرها هستند (Brüel, et al., 2002).

ترازهای صوتی ناشی از وسایل حمل و نقل جاده‌ای به جای اندازه‌گیری می‌توانند محاسبه شوند. در موارد زیر محاسبه روش بهتر است و شاید یگانه روش موجود باشد:

۱- زمانی که ترازهای نویز بشدت با نویز پیش‌زمینه آلوده شده باشند. برای نمونه هنگام اندازه‌گیری نویز منتشره از کارخانه‌ای صنعتی در مجاورت با اتوبانی پر تردد این مسئله بسیار به چشم می‌خورد.

استفاده از نرم افزارهای Matlab و Sketch Up صورت گرفت. نتایج در محیط GIS با یکدیگر تلفیق و مورد تحلیل قرار گرفت و در پایان راهکارهایی برای کاهش نویز در این محدوده ارائه شد.

### مواد و روشها

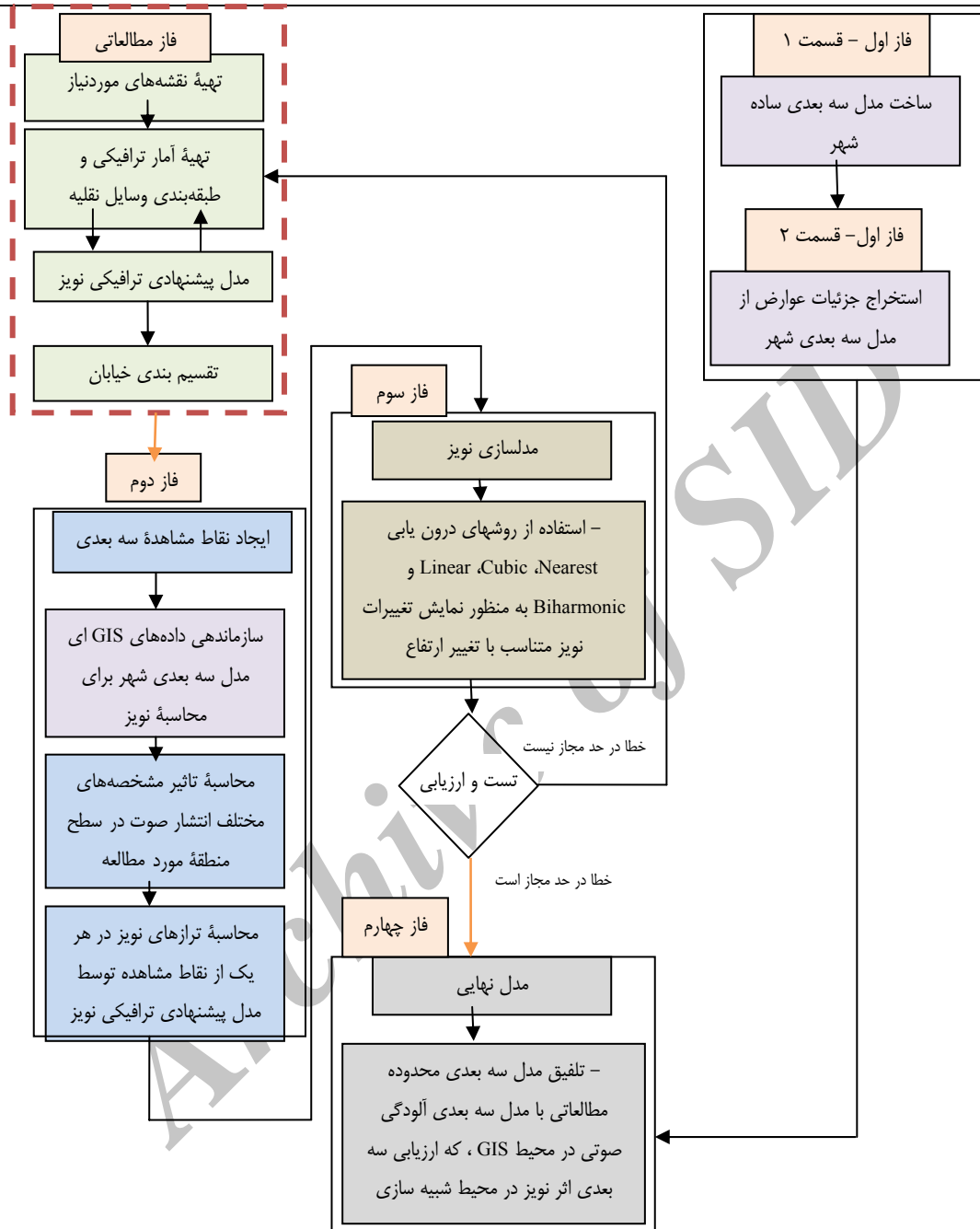
#### موقعیت جغرافیایی منطقه

بزرگراه همت اصلی‌ترین راه ارتباطی شرق به غرب و غرب به شرق تهران است و به همین دلیل در بیشتر اوقات ترافیک آن بسیار سنگین است. بزرگراه همت از سمت شرق به بزرگراه شهید زین‌الدین شرقی "۲۶° ۳۰' ۵۱" شمالی "۲۹' ۴۵' ۳۵" رسیده و در ادامه آن، بزرگراه شهید زین‌الدین به تقاطع بزرگراه امام علی می‌رسد. با توجه به این که بزرگترین منبع آلودگی صوتی کلانشهرها بخصوص تهران، ناشی از وسایل حمل و نقل جاده‌ای (خودروها) است و این که بزرگراهها، به دلیل حجم بالای تردد و سرعت بالای خودروها، دارای آلودگی صوتی بیشتری دارند، به عنوان هدف، بزرگراه همت با در نظر گرفتن این نکته که، حجم بالای تردد خودروها را در خود دارد، انتخاب شد.

یکی از دلایل دیگر انتخاب بزرگراه همت، امکان طراحی دیوار صوتی از دید فاصله مناسب منازل مسکونی از بزرگراه است. طراحی دیوارهای صوتی در حاشیه این بزرگراه، به عنوان مؤثرترین راهکار کنترل آلودگی صوتی در این ناحیه است. منطقه مطالعاتی بخشی از بزرگراه همت از ابتدای تقاطع پاسداران به سمت غرب تا ابتدای ورزشگاه شهید کشوری به دلیل حجم بالای تردد خودروها در تقاطع‌های پاسداران و شریعتی به عنوان محدوده‌ای با ترافیک بالا انتخاب شد (شکل شماره ۱).



شکل شماره (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه، بزرگراه همت تقاطع پاسداران به سمت غرب



شکل شماره (۲) : دیاگرام مراحل کلی مدل سازی سه بعدی نویز حاصل از ترافیک بزرگراه

ممکن می‌سازند. بخش اول مربوط به مدل سازی نویز حاصل از منبع و بخش دیگر مربوط به مدل سازی انتشار نویز است (Kurakula, et al., 2008). این الگوریتم‌ها معمولاً با انجام تعداد زیادی نقطه اندازه‌گیری و تست‌های آماری ارزیابی می‌شوند. اگرچه متدهای پیشرفته‌تری در دنیا در این زمینه وجود دارد، اکثر الگوریتم‌های استاندارد موجود به صورت تجربی و بر اساس قوانین فیزیکی ارائه شده‌اند. با داشتن تعداد زیادی از نقاط مشاهده و منابع

۲- زمانی که ترازهای نویز آینده باید پیش بینی شوند.  
 ۳- زمانی که انواع راهکارهای کنترل و کاهش نویز می‌باید با یکدیگر مقایسه شوند.  
 ۴- زمانی که تولید نقشه‌های منحنی میزان نویز مورد نیاز باشد.  
 ۵- زمانی که دسترسی به نقاط اندازه‌گیری محدود باشد.  
 این محاسبات مطابق با الگوریتم‌های استاندارد شناخته شده‌ای صورت می‌گیرند، که مدل سازی نویز در نقطه گیرنده را در دو مرحله

بار در هلند با انجام تعداد بسیار زیادی نقطه اندازه‌گیری در دهه‌های ۷۰ و ۸۰ میلادی برای دستیابی به ترازهای دقیقی از نویز حاصل از ترافیک و مدل‌سازی در شرایط و مناطق مختلف طراحی و به چهار دسته کلی تقسیم شدند:

۱- روش استاندارد محاسباتی اول<sup>۱۱</sup> این متد برای مناطق کوچک با مشخصه‌های محاسباتی کم قابل اجراست. در این روش انعکاس و موانع موجود در مسیر صوت بین ساختمان‌ها در نظر گرفته نشده است. ارزیابی ابتدایی از اثر نویز و نتیجه‌گیری سریع برای هر شرایطی، از ویژگی‌های آن است.

۲- روش استاندارد محاسباتی دوم<sup>۱۱</sup> در این روش همه شاخص‌های مؤثر بر روی ترازهای نویز شامل انعکاس و موانع صوتی بین ساختمان‌ها در نظر گرفته شده اند. عیب اصلی این روش، محاسبات طولانی و زمان‌بر آن است.

۳- روش استاندارد اول تهیه نقشه نویز<sup>۱۲</sup> بر اساس روش استاندارد محاسباتی اول به‌اضافه عامل بلوکه شدن نویز به دلیل وجود ساختمان‌ها است، این شاخص SKM خوانده می‌شود.

۴- روش استاندارد دوم تهیه نقشه نویز<sup>۱۳</sup> بر اساس روش استاندارد محاسباتی دوم، برای تهیه نقشه‌های نویز است، با این تفاوت که در این روش امکان در نظر گرفتن چندین ساختمان به صورت یک پلی‌گون و محاسبه مشخصه‌های کاهشی انتشار نویز برای این ناحیه جایگزین هر یک از ساختمان‌ها وجود دارد. این فرایند منجر به کوتاهتر شدن زمان محاسبات می‌شود (Kurakula, et al., 2008).

روش استاندارد اول تهیه نقشه نویز برای تهیه نقشه نواحی بزرگ ارائه شد. این روش با در نظر گرفتن انسداد نویز به دلیل وجود موانع به نوعی بهبود یافته روش استاندارد محاسباتی اول است.

در ضمن به‌دلیل این‌که مشخصه‌های کاهشی انتشار نویز را در باند اکتاو در نظر نمی‌گیرد، پیچیدگی کمتری از روش استاندارد محاسباتی دوم دارد (Maekawa, 1968).

این روش به عنوان متد انتخابی برای این محدوده انتخاب و تست و ارزیابی شد. بر اساس این مدل طول مدت شبانه روز در سه بخش روز، عصر و شب قابل تقسیم است و خودروهای عبوری از سطح منطقه نیز در سه حالت خودروهای سبک، نیمه سنگین و سنگین، برحسب وزن خودروها طبقه بندی می‌شوند.

گسترده تولیدکننده نویز، استفاده از متدهای برنامه‌نویسی، فرایند محاسبه ترازهای نویز را سرعت می‌بخشد.

انواع مختلف وسایل نقلیه در بزرگراه‌های هر کشور، ترازهای ترافیکی متفاوتی از نویز را ایجاد می‌کنند (Rao MGS, 1989). از این رو، هر کشوری می‌باید مدل‌های ترافیکی نویز مخصوص به خود را به دلیل وسایل نقلیه خاص آن کشور و وضعیت ترافیکی محدوده مطالعاتی طراحی و عملی کند، این کار به پیش بینی و تجزیه تحلیل بهینه تر نویز حاصل از ترافیک کمک شایانی خواهد کرد (pamanikabud, 2002).

همان‌گونه‌که پیشتر بدان اشاره شد مدل‌سازی آلودگی صوتی، از طریق استفاده از مدل استاندارد انتشار صوت صورت می‌پذیرد. چنین مدل‌هایی بر اساس نحوه تقسیم‌بندی و طبقه بندی مناطق مورد مطالعه و خودروهای عبوری از آن و همچنین تعیین ضرایب جذب صوت در سطوح و شرایط مختلف، مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این زمینه تاکنون مدل‌های استاندارد مختلفی در شهرهای جهان ایجاد شده است و تلاش محققان مختلف نیز بر بهینه کردن مدل‌های استاندارد انتشار صوت با توجه به زیر ساخت‌های موجود در مناطق مختلف بوده است.

در این میان می‌توان به مدل‌های استاندارد گسترش یافته ذیل مشتمل بر مدل CORTN در بریتانیا، مدل FHWA در ایالات متحده آمریکا، RLS90 در آلمان، OAL در استرالیا، NMPB در فرانسه و ASJ در ژاپن اشاره کرد (Li, et al., 2002).

به‌طور ویژه مدل‌های مذکور از دو دیدگاه حائز اهمیت هستند: مدل‌هایی که صرفاً توابعی را برای محاسبات گسیل نویز از منبع ارائه می‌کنند و مدل‌هایی که علاوه بر آن توابع و مشخصه‌های انتشار صوت در سطح منطقه، تأثیر مشخصه‌های مختلف را نیز بررسی و عرضه داشتند.

بر همین اساس به دلیل عدم وجود مدلی برای پیش بینی نویز متناسب با شرایط شهر تهران، مدل‌های موجود در سایر کشورها مورد بررسی قرار گرفتند. از جمله مهمترین آنها می‌توان به متد هارمونیک پیشنهادی توسط اتحادیه محیط زیست اروپا<sup>۹</sup> و متدهای محاسباتی نویز آلمان<sup>۹</sup> اشاره کرد.

روش هارمونیک، برای پیش بینی نویز حاصل از ترافیک خیابان و خطوط راه آهن ارائه شد، این روش فقط در شرایط اقلیم منطقه‌ای اروپا معتبر است (AEA Technology Rail BV, 2005) از طرفی دیگر روشهای آلمانی محاسبه نویز، نیز برای اولین

$$Emv = 73.2 + 19.0 \log\left(\frac{Vmv}{V0}\right) + 10 \log\left(\frac{Qmv}{Vmv}\right) + C_{wegdek, mv} \quad (4)$$

$$Ezv = 76.0 + 17.9 \log\left(\frac{Vzv}{V0}\right) + 10 \log\left(\frac{Qzv}{Vzv}\right) + C_{wegdek, zv} \quad (5)$$

که در آن  $Vmv$ ،  $Vzv$ ،  $Vlv$  به ترتیب سرعت وسایل نقلیه سبک، نیمه سنگین و سنگین،  $V0$  حد سرعت (۸۰ کیلومتر بر ساعت برای وسایل نقلیه سبک، ۷۰ کیلومتر بر ساعت برای وسایل نقلیه نیمه سنگین، اتوبوس‌ها و وسایل نقلیه سنگین)،  $Qmv$ ،  $Qlv$  به ترتیب تعداد وسایل نقلیه سبک، نیمه سنگین و سنگین در طول روز، عصر و شب هستند. از طرفی  $Cwegdek$  تصحیح انتشار نویز به دلیل سطح خیابان مطابق رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

$$C_{wegdek} = \Delta Lm + bm \log\left(\frac{Vm}{V0m}\right) \quad (6)$$

$\Delta Lm$  و  $bm$  این ضرایب مقادیر ثابتی در این استاندارد بنابر سطوح خیابان دارند.

از طرفی  $Coptrek$  نویز انتشار یافته بر اثر ترمز کردن و سرعت گرفتن در تقاطع‌هاست.  $Creflectie$  تراز انتشار یافته نویز به دلیل انعکاس از ساختمان‌ها، یا موانع صوتی مطابق رابطه ۷ محاسبه می‌شود.

$$C_{reflectie} = 1.5 * fobj_j \quad (7)$$

که در آن  $fobj_j$  قسمتی که در طرف دیگر خیابان قرار دارد و نویز را منعکس می‌کند (مقدار آن بین ۰ و ۱ است)، فقط برای عوارضی که در فاصله معقولی قرار دارند به حساب آورده می‌شود  $Dafstand$  کاهش نویز به دلیل فاصله است که مطابق رابطه ۸ محاسبه می‌شود.

$$D_{afs \ tan d} = 10 \log(r) \quad (8)$$

همچنین در این مدل، توابع و مشخصه‌های تشعشع از منبع و انتشار صوت نیز توسعه یافته است. این تذکر لازم است بر اساس مدل مذکور منبع صوت، به صورت خطی و در مرکز خیابان فرض شده است.

بر اساس این روش نویز دریافتی در نقطه گیرنده، مجموع انتشار نویز و مشخصه‌های تأثیرگذار بر روی نویز بین خیابان و نقطه محاسبه است. توضیح ریاضی این مدل در رابطه ۱ ارائه شده است.

$$L_{Aeq} = E + C_{optrek} + C_{reflectie} - D_{afs \ tan d} - D_{lucht} - D_{boodem} - D_{meteo} - D_{barrier} \quad (1)$$

که در آن  $L_{Aeq}$  تراز نویز در نقطه محاسباتی ( $Aeq$  یعنی تراز معادل یا میانگین نویز) است،  $E$  نویز انتشار یافته که در سه دوره زمانی انتخاب شده روز (۷:۰۰ - ۱۹:۰۰)، عصر (۱۹:۰۰ - ۲۳:۰۰) و شب (۲۳:۰۰ - ۷:۰۰) محاسبه می‌شود.

سپس یک تصحیح +۵ دسی بل برای عصر و +۱۰ دسی بل برای شب برای تضمین آرامش بالاتر در دوره زمانی عصر و شب اعمال می‌شود،  $E$  از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$E = 10 \log\left(10^{\frac{Elv}{10}} + 10^{\frac{Emv}{10}} + 10^{\frac{Ezv}{10}}\right) \quad (2)$$

که در آن  $Elv$  نویز منتشر شده از وسایل نقلیه سبک (محاسبه در سه دوره زمانی روز، عصر، شب) مطابق رابطه ۳،  $Emv$  نویز منتشر شده از وسایل نقلیه نیمه سنگین شامل کامیون‌های تک محوره و اتوبوس‌ها (محاسبه در سه دوره زمانی روز، عصر، شب) مطابق رابطه ۴،  $Ezv$  نویز منتشره از وسایل نقلیه سنگین شامل کامیون‌های چند محوره و تریلرها (محاسبه در سه دوره زمانی روز، عصر، شب) مطابق رابطه ۵ محاسبه می‌شوند.

$$Elv = 69.4 + 27.6 \log\left(\frac{Vlv}{V0}\right) + 10 \log\left(\frac{Qlv}{Vlv}\right) + C_{wegdek, lv} \quad (3)$$

داده‌های لازم برای ورود به مدل پیشنهادی شامل اطلاعات آماری ترافیک (تعداد و سرعت خودروهای عبوری به تفکیک سبک، نیمه سنگین و سنگین) اخذ شده از نمودارهای آنلاین مرکز کنترل ترافیک تهران (شکل شماره ۴ و ۵) و وضعیت فیزیکی بزرگراه، به منظور پیش‌بینی نویز در هر نقطه مشاهده در سه محدوده زمانی روز، عصر و شب، در قالب لایه‌های اطلاعاتی آماده شدند (جدول شماره ۲ و ۳ و ۴).

از آنجایی که هدف این مطالعه، بررسی سه بعدی اثر نویز (شامل صفحات افقی و قائم) است، تست صحت مدل پیشنهادی هم برای صفحه افقی سطح زمین، و همچنین برای وجوه قائم کناری ساختمان‌ها صورت گرفت (Pamanikabud, 2010). بدین منظور از دستگاه صوت‌سنج BrüelKjær 2230 کالیبره شده برای اندازه‌گیری مستقیم در فیلد استفاده شد (شکل شماره ۶).

در فاز اول برای انجام تست مدل ترافیکی نویز بر روی صفحه افقی سطح زمین، تعداد ۷۱ نقطه کنترلی به طور تصادفی در ارتفاع ۱/۲۰ متری از سطح زمین در فواصلی از ۲ تا ۲۷ متر نسبت به لبه کناری بزرگراه در محدوده زمانی عصر مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. از طرف دیگر، ترازهای نویز در هریک از این نقاط با مدل پیشنهادی پیش‌بینی شدند.

به منظور مقایسه ترازهای نویز اندازه‌گیری شده با مقادیر متناظر که با مدل محاسبه شده‌اند، تکنیک paired t-test با سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شده است، نتایج گویای این است که مدل قادر به پیش‌بینی نویز در سطوح مجاور محدوده ترافیکی با Sig. 2-tailed=0/516 در سطح افقی است (جدول شماره ۵).

در فاز دوم برای انجام تست مدل ترافیکی نویز بر روی وجوه قائم کناری ساختمان‌ها، تعداد ۱۲۱ نقطه کنترلی به طور تصادفی در فواصل افقی ۵ تا ۲۵ متر نسبت به لبه کناری بزرگراه و فواصل ارتفاعی ۳ تا ۳۹ متر از سطح زمین در موقعیت‌های متفاوتی بر روی ساختمان‌ها و بیل بوردهای تبلیغاتی حریم بزرگراه در محدوده زمانی عصر مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. از طرفی دیگر، ترازهای نویز در هریک از این نقاط با مدل پیشنهادی پیش‌بینی شدند. به منظور مقایسه ترازهای نویز اندازه‌گیری شده با مقادیر متناظر که با مدل محاسبه شده‌اند، تکنیک paired t-test با سطح اطمینان ۹۵ درصد به کار گرفته شد، نتایج گویای این است که مدل قادر به پیش‌بینی نویز در سطوح مجاور محدوده ترافیکی با sig. 2-tailed=0/896 بر روی وجوه قائم کناری ساختمان‌ها است (جدول شماره ۶).

که در آن  $r$  کوتاهترین فاصله بین خیابان و نقطه محاسبه بر حسب متر است.

$D_{lucht}$  کاهش نویز به دلیل جذب هواست که مطابق رابطه ۹ محاسبه می‌شود.

$$D_{lucht} = 0.01 * r^{0.9} \quad (9)$$

$D_{bodem}$  کاهش نویز به دلیل جذب زمین است که مطابق رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود.

$$D_{bodem} = B [2 + 4(1 - e^{-0.04r}) * (e^{-0.65hw} + e^{-0.65(hweg - 0.75)})] \quad (10)$$

که در آن  $B$  قسمت بین وسط خیابان و نقطه محاسبه است که نویز را جذب می‌کند (مقدار آن بین صفر و یک است). سطوح خیابان و آب نویز را منعکس می‌کنند، سطوح دیگری مثل علفزار، نویز را جذب خواهند کرد،  $hw$  ارتفاع نقطه قابل محاسبه تا سطح زمین بر حسب متر و  $hweg$  ارتفاع خیابان تا سطح مرجع بر حسب متر است.

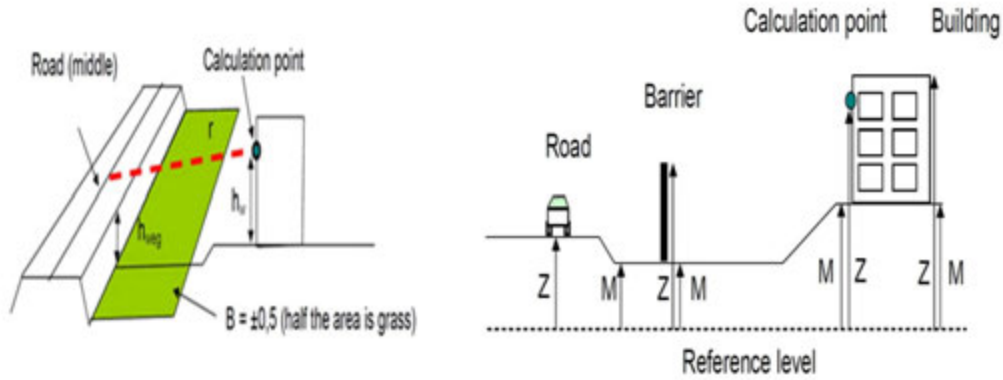
$D_{meteo}$  کاهش نویز به دلیل آب و هواست، بویژه جهت باد را که مطابق رابطه ۱۱ محاسبه می‌شود.

$$D_{meteo} = 3.5 - 3.5e^{\frac{-0.04r}{hweg + hw + 0.75}} \quad (11)$$

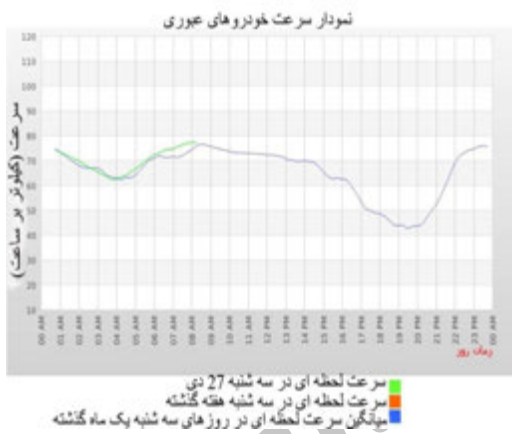
$D_{barrier}$  کاهش نویز به دلیل وجود موانع نویز، یا ساختمان‌ها، بین بزرگراه و نقطه مشاهده است. مشخصه‌های مدل نویز ترافیکی در (شکل شماره ۳) ارائه شده است.

### داده‌های مورد استفاده و تست صحت مدل

در این مطالعه، مدل پیشنهادی ارائه شده در بالا به منظور مدل کردن اثر نویز حاصل از ترافیک محدوده مطالعاتی مورد استفاده قرار گرفت. یکی از عوامل تأثیر گذار بر روی صحت نتایج حاصل از این مدل، حصول اطمینان از درستی و دقت داده‌های ورودی است. بنابراین داده‌ها پس از جمع‌آوری، مورد تست کیفی و کمی قرار گرفتند.



شکل شماره (۳) : مشخصه‌های مدل نویز ترافیکی پیشنهادی



شکل شماره (۵) : نمودار آنلاین سرعت خودروهای عبوری بزرگراه همت تقاطع پاسداران. (www.tehrantraffic.com)

شکل شماره (۴) : نمودار آنلاین تعداد خودروهای عبوری بزرگراه همت تقاطع پاسداران. (www.tehrantraffic.com)

جدول شماره (۱) : اطلاعات آماری ترافیک و وضعیت فیزیکی بزرگراه

تعداد خودروهای نیمه سنگین در طول عصر	تعداد خودروهای سبک در طول عصر	تعداد خودروهای سنگین در طول روز	تعداد خودروهای نیمه سنگین در طول روز	تعداد خودروهای سبک در طول روز	سرعت وسایل نقلیه سنگین	سرعت وسایل نقلیه نیمه سنگین	سرعت وسایل نقلیه سبک	تصحیح اختیاری انتشار
۸۰/۵۰	۱۳۸۷/۷۵	۰/۰۰	۱۱۴/۳۳	۱۶۶۱/۹۵	۶۰/۰۰	۸۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰
۵/۸۶	۳۲/۷۸	۰/۰۰	۱۹/۰۲	۱۶/۷۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۸۸/۵۰	۱۳۸۷/۷۵	۰/۰۰	۱۱۴/۳۳	۱۶۶۱/۹۵	۶۰/۰۰	۸۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰
۷۳/۰۰	۱۳۸۷/۰۰	۰/۰۰	۶۴/۰۰	۱۶۱۷/۶۶	۶۰/۰۰	۸۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰



**ادامه جدول شماره (۱): اطلاعات آماری ترافیک و وضعیت فیزیکی بزرگراه**

قسمتی از مدل که منعکس کننده نویز است	ارتفاع خیابان در آخرین نقطه خط	ارتفاع ناحیه نزدیک خیابان در آخرین نقطه خط	ارتفاع خیابان در اولین نقطه خط	ارتفاع ناحیه نزدیک خیابان در اولین نقطه خط	تعداد خودروهای سنگین در طول شب	تعداد خودروهای نیمه سنگین در طول شب	تعداد خودروهای سبک در طول شب	تعداد خودروهای سنگین در طول عصر
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۵۰	۰/۰۰	۰/۵۰	۲۰۰/۰۰	۶۵/۵۰	۵۲۱/۶۸	۰/۰۰
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۳/۷۸	۲/۸۳	۱۱۳/۷۴	۰/۰۰
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۵۰	۰/۰۰	۰/۵۰	۲۰۰/۰۰	۶۵/۵۰	۵۲۱/۶۸	۰/۰۰
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۵۰	۰/۰۰	۰/۵۰	۱۹۰/۰۰	۵۸/۰۰	۲۲۰/۷۵	۰/۰۰

**جدول شماره (۲): اطلاعات فیزیکی موانع موجود در محدوده مطالعاتی**

تصحیح تراز نویز به دلیل شکل بالای مانع	انعکاس مانع (۱) کاملاً منعکس کننده	ارتفاع مانع در آخرین نقطه خط	ارتفاع ناحیه نزدیک به مانع در آخرین نقطه خط	ارتفاع مانع در اولین نقطه خط	ارتفاع ناحیه نزدیک به مانع در اولین نقطه خط
۰/۰۰	۱/۰۰	۲۶/۲۵	۰/۰۰	۹/۷۵	۰/۰۰
۰/۰۰	۰/۰۰	۱۷/۵۰	۰/۰۰	۴/۴۷	۰/۰۰
۰/۰۰	۱/۰۰	۱۰/۱۰	۰/۰۰	۹/۷۵	۰/۰۰
۰/۰۰	۱/۰۰	۱۰۲/۰۰	۰/۰۰	۲۰/۰۰	۰/۰۰

**جدول شماره (۳): اطلاعات فیزیکی ساختمان های موجود در محدوده**      **جدول شماره (۴): اطلاعات فیزیکی نقاط مشاهده**

ارتفاع ساختمان	ارتفاع ناحیه نزدیک ساختمان	ارتفاع نقطه نزدیک	ارتفاع ناحیه
۹۷۸/۰۰	۹۷۸/۰۰	۲۳۱۹۱۸/۰۰	۲۳۱۹۱۸/۰۰
۲۹/۴۷	۰/۰۰	۱۶/۷۵	۰/۰۰
۰/۲۳	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰
۳۰/۱۰	۰/۰۰	۱۵/۰۰	۰/۰۰
۲۲/۰۰	۰/۰۰	۳/۰۰	۰/۰۰

**جدول شماره (۵): نتایج استفاده از تکنیک paired t-test به منظور مقایسه مقادیر اندازه گیری شده با مقادیر متناظر پیش بینی شده بر**

روی صفحه افقی با  $\alpha=0/05$

دقت (Sig. (2-tailed))	درجه آزادی	تی (t)	سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف		اختلافات جفتها		
			پایین	بالا	خطای استاندارد میانگین	انحراف معیار	میانگین
۰/۵۱۶	۷۰	۰/۶۵۳	۰/۱۳۲۰۸	-۰/۰۶۶۹۳	۰/۴۹۸۸	۰/۴۱۷۳۱	۰/۰۳۲۵۷

## جدول شماره (۶): نتایج استفاده از تکنیک paired t-test به منظور مقایسه مقادیر اندازه گیری شده با مقادیر متناظر

پیش بینی شده بر روی صفحه قائم با  $\alpha=0/05$ 

تکنیک تست نمونه‌های جفتی (Paired Samples Test)									
دقت (Sig. (2-tailed))	درجه آزادی	تی (t)	اختلافات جفت‌ها				سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف	انحراف معیار	میانگین
			خطای استاندارد میانگین		بالا	پایین			
۰/۱۸۹۶	۱۲۰	۰/۶۵۳	-۰/۰۶۶۹۳	۰/۱۳۲۰۸	۰/۰۴۹۸۱	۰/۴۱۷۳۱	۰/۰۴۲۵۷	دسته دوم اندازه‌گیری - محاسبه	

## ساخت مدل سه بعدی شهر

ساخت مدل سه بعدی شهر با استفاده از الگوریتم‌های نیمه اتوماتیک، و یا کاملاً اتوماتیک، استفاده از داده‌های لیزر اسکن‌های هوایی، زمینی و GPS متناسب با مدل مورد نیاز می‌تواند صورت بگیرد (Brenner, 2005).

در این مطالعه، با استفاده از نرم افزار ArcGIS و جمع آوری اطلاعات ارتفاعی مربوط به ساختمان‌ها و سطح طبیعی زمین، مدل سه‌بعدی محدوده مطالعاتی ایجاد شد. مهمترین داده‌هایی که می‌باید در این مدل سه بعدی با جزئیات به آنها پرداخته شود نقاط مشاهده، ساختمان‌ها، بزرگراه، موانع صوتی و زمین‌های خالی که بنا به جنس خاک ضریب جذب نویز متناسب برای آنها در مدل در نظر گرفته شده است هستند.

## توزیع متناسب نقاط مشاهده در اطراف ساختمان‌ها

مهمترین فاز در ساخت مدل سه‌بعدی نویز، ایجاد و توزیع متناسب نقاط مشاهده در اطراف ساختمان‌هاست، نقاطی که ترازهای نویز در آنها محاسبه می‌شوند. تراکم و تعداد این نقاط در دقت نتایج نهایی تأثیرگذار خواهند بود. در این مطالعه، تعداد ۲۳۱۹۱۸ نقطه مشاهده با فواصل یکنواخت در هر دو جهت افقی و عمودی توزیع شدند.

این نقاط در صفحه افقی ۳ متر بالاتر از سطح طبیعی زمین، در فواصل ۲ متر عمود بر لبه کناری بزرگراه و ۵ متر در جهت موازی بزرگراه و در صفحه عمودی در فواصل ۵ متری با یک آفت ۱۰ سانتیمتری عمود بر نمای جلوی ساختمان‌ها انتخاب شدند. دلیل ایجاد آفت برای نقاط عمودی، جلوگیری از خطای احتمالی در معادلات درون‌یابی استفاده شده، به دلیل وجود نقاط با X,Y

های برابر در ارتفاع‌های مختلف است. به منظور تهیه وضعیت کاملتر آکوستیکی از محدوده مطالعاتی، نقاط مشاهده همچنین در پشت و بالای ساختمان‌ها نیز انتخاب شدند، دلیل این موضوع، ضرورت دانستن رفتار نویز در محیط‌های آرام (پشت ساختمان‌ها و زمین‌های باز) به منظور طراحی کاربری‌های متناسب در این محیط‌ها است.

ایجاد نقاط مشاهده به صورت اتوماتیک با کد نویسی VBA ممکن شد (شکل شماره ۷).



شکل شماره (۶): اندازه‌گیری مستقیم در فیلد با دستگاه

صوت سنج Bruel &amp; Kjer 2230 کالیبره شده

همان‌گونه که پیشتر بدان اشاره شد، اندازه‌گیری ترازهای نویز به صورت میدانی فرایندی زمانبر، طاقت فرسا و گاه غیر ممکن است. از این رو، مدل محاسباتی نویز ارائه شده برای محاسبه ترازهای نویز، جایگزین مناسبی برای اندازه‌گیری‌های میدانی است.

### تلفیق نتایج در محیط GIS

در پایان برای تبدیل مدل سه بعدی نویز به یک مدل کاربرپسند، نتایج مدل سازی نویز با مدل سه بعدی شهر در محیط GIS تلفیق شدند. مراحل کار بدین صورت است که پس از ایجاد نقشه های منحنی میزان دوبعدی با نرم افزار Matlab برای وجوه مختلف هر ساختمان، وارد کردن این تصاویر به نرم افزار Sketch Up v6 به منظور ادغام کردن آنها بر روی وجوه مختلف ساختمان ها، خروجی گرفتن با فرمت 3D Studio و در پایان وارد کردن آنها به محیط ArcScene، ارزیابی اثر نویز حاصل از ترافیک بزرگراه در محیط سه بعدی تعامل پذیر<sup>۱۴</sup> ممکن می شود. بنابراین با دست داشتن چنین مدل آکوستیکی، طراحان و معماران و برنامه ریزان شهری، طرح های کارآمد برای کاهش اثر نویز را پیش از اجرا در چنین محیط شبیه سازی شده ای بررسی و ارزیابی می کنند.

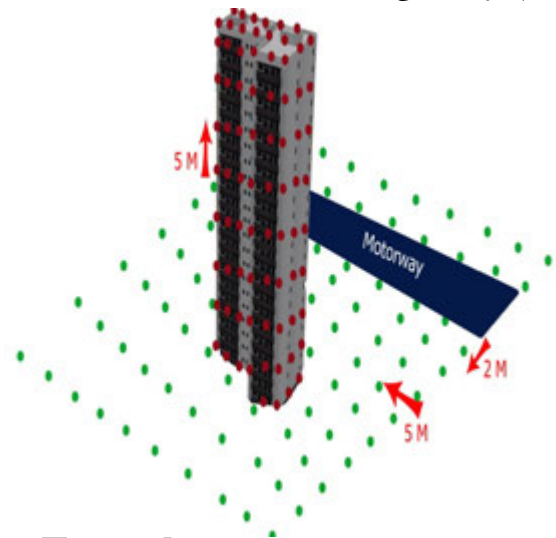
### بحث و نتایج

در این مطالعه به منظور ارزیابی مؤثر اثر نویز حاصل از ترافیک محدوده مطالعاتی، مدل نویز با مدل سه بعدی محدوده تلفیق شد. این مدل در محیط GIS به منظور بصری سازی اثر نامرئی نویز به اثری قابل تحقیق در غالب منحنی های رنگی نویز توسعه داده شد. سیستم شبکه بندی ارائه شده برای تخمین نویز حاصل از ترافیک در این مطالعه، تصاویری واضح از تغییر نویز را بر روی ساختمان ها ارائه می کنند.

نتایج بررسی اثر نویز حاصل از ترافیک محدوده مطالعاتی بر روی وجوه ساختمان ها و محیط اطراف آنها با استفاده از مدل تهیه شده در ذیل ارائه شد: بر روی وجه جلوی ساختمان ها، نویز حاصل از ترافیک با افزایش ارتفاع، کاهش پیدا می کند، دلیل این موضوع افزایش فاصله از منبع نویز تا نقطه مشاهده متناسب با افزایش ارتفاع است. با توجه به شکل شماره (۸)، تراز بالا ۷۶ dBA در سطح زمینی و تراز پایین ۷۲ dBA در لبه بالایی این وجه اتفاق می افتد.

بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، ساختمان های بلند، بویژه وجه شمالی آنها در این محدوده، به دلیل اثر نویز بالاتر از تراز استاندارد ۵۵ dBA در هوای آزاد ایران از ساعت ۱۹:۰۰ تا ۲۳:۰۰ برای کاربری های مسکونی مناسب نیستند. بر روی وجوه جانبی ساختمان ها، نویز حاصل از ترافیک به تناسب افزایش فاصله نقاط مشاهده از بزرگراه، و همچنین افزایش ارتفاع، کاهش پیدا می کند. با توجه به شکل شماره (۸)، تراز بالا ۷۲ dBA در گوشه های کناری

مدل های محاسباتی نویز، نقشی اساسی در فرایند برنامه ریزی و تصمیم گیری ایفا می کنند.



شکل شماره (۷): توزیع نقاط مشاهده در محدوده مطالعاتی

این مدل به زبان برنامه نویسی ++C کدنویسی شده است، داده های جمع آوری شده از وضعیت فیزیکی محدوده مطالعاتی و اطلاعات آماری ترافیکی به عنوان ورودی مدل معرفی شدند و در پایان ترازهای نویز برای هر یک از نقاط محاسبه شدند.

### مدل سازی سه بعدی نویز

مدل نویز سه بعدی ارائه شده در این تحقیق، با برآزش صفحه ای برابر نقاط مشاهده ممکن شد. بدین منظور تکنیک های مختلف درونیابی خطی، مکعبی، نزدیکترین همسایگی، بایهارمونیک در نرم افزار Matlab به کار گرفته شد.

با محاسبه ME و RMSE هر یک از این روش های درونیابی و مقایسه آنها بایکدیگر، روش های خطی و بایهارمونیک با کمترین RMSE به عنوان روش های مناسب برای درونیابی داده های نویز در این مطالعه انتخاب شدند.

بنابراین نتایج ارائه شده، تنها حاصل از استفاده از تکنیک درونیابی خطی بر روی داده های جمع آوری شده در دوره زمانی روز است. بررسی تأثیر ارتفاع بر روی نویز، با در کنار هم قراردادن منحنی های تهیه شده در طبقات ارتفاعی مختلف و مقایسه آنها با یکدیگر ممکن است.

متعددی از جمله شکل، جنس، ارتفاع، طول، محل نصب و... باید مدنظر قرار بگیرند. با توجه به میزان صدای تولیدی در منبع می توان مکان دیوار، جنس، طول و ارتفاع آن را برای به دست آوردن میزان حداکثر کاهش تراز صوتی مورد نیاز با توجه به مقادیر استاندارد تعیین کرد، که این یکی از ویژگی های استفاده از مدل سه بعدی نویز است. در این مطالعه اثر به کارگیری موانع صوتی مختلف در کاهش ترازهای نویز حاصل از ترافیک بزرگراه همت با مدل سازی مورد مطالعه قرار گرفت. در ابتدا نقش ارتفاع مانع و فاصله از بزرگراه در کاهش اثر نویز تحلیل شد.

دسته اول  $a$ ،  $b$ ،  $c$  موانعی به ارتفاع سه متر در فواصل به ترتیب ۲، ۶ و ۹ متر از لبه بیرونی بزرگراه هستند، دسته دوم  $d$ ،  $e$ ،  $f$  موانعی با ارتفاع به ترتیب ۳، ۵ و ۷ متر هستند که در فواصل مساوی ۲ متر از لبه بزرگراه قرار گرفته اند.

مقایسه نتایج کاهش ترازهای نویز (جدول شماره ۷) قبل و بعد از نصب دیوارهای صوتی گویای این مطلب است که: موانع نزدیک تر به بزرگراه در مقایسه با موانعی که در فاصله دورتر از بزرگراه نصب می شوند (a) در هر دو جهت افقی و عمودی در کاهش ترازهای نویز کارآمدتر عمل می کند. از طرفی هر اندازه که ارتفاع مانع صوتی افزایش پیدا می کند، اثر کاهشی مانع در جهت عمودی افزایش پیدا می کند (f).

بیشترین و مطلوب ترین کاهش تراز صدا با نصب یک دیوار صوتی شفاف هفت متری در فاصله دو متری از لبه بیرونی بزرگراه ممکن شد، که نرخ کاهش صدا ۷ دسیبل برای نواحی مجاور، ۱۲ دسیبل در طبقه اول، ۹ دسیبل در طبقات دوم و سوم و کمتر از آن برای طبقات چهارم به بالا است. در مرحله بعد انواع مختلف دیوارهای صوتی موجود از جمله موانع قائم<sup>۱۵</sup>، سرکج<sup>۱۶</sup>، نیمه بسته<sup>۱۷</sup> و کاملاً بسته<sup>۱۸</sup> (g، h، i، j) با ارتفاع ۷ متر در فاصله ۲ متری از لبه بیرونی بزرگراه مورد مطالعه قرار گرفتند.

موانع صوتی کاملاً بسته، نیمه بسته و سرکج به ترتیب دارای بیشترین کاهش ترازهای نویز در هر دو جهت افقی و عمودی اند (شکل شماره ۹)، به گونه ای که نواحی اطراف، وجوه جلو و کناری ساختمان ها را برای کاربری های مسکونی و حتی تجاری در این محدوده مناسب می سازند.

با عنایت به این مسئله که هزینه اجرای موانع نیمه بسته و کاملاً بسته از موانع سرکج بر مراتب بیشتر است و وضعیت طبیعی محدوده مطالعاتی در عمل امکان نصب موانع مذکور را برای ما

پایین نزدیک به بزرگراه و تراز پایین ۶۶ dBA در گوشه های بالای این وجه اتفاق می افتد. بر روی وجه بالایی ساختمان ها نیز نویز حاصل از ترافیک با افزایش فاصله از بزرگراه کاهش پیدا می کند. با توجه به شکل شماره (۸)، تراز پایین ۵۲ dBA در لبه پشتی وجه سقف اتفاق می افتد. وجه پشتی ساختمان ها، به دلیل دارا بودن بالاترین موانع در برابر نویز، کمترین اثر نویز را نسبت به سایر وجوه از بزرگراه دریافت می کند، از این رو این وجه به عنوان وجه امن نامیده می شود.

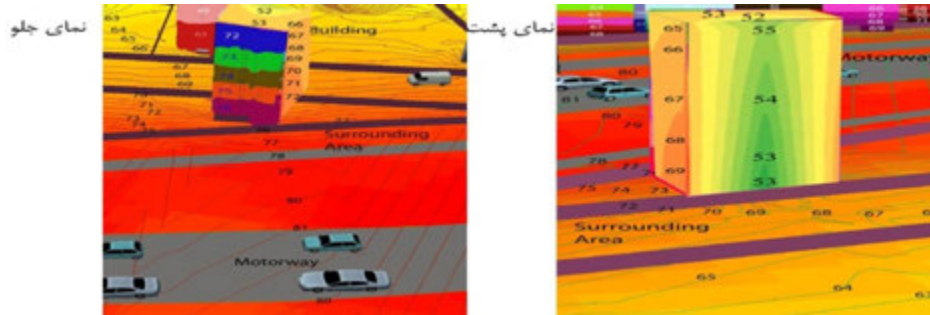
با توجه به شکل شماره (۸)، تراز پایین ۵۲ dBA در وسط لبه پایینی وجه پشتی و تراز بالای ۵۳ dBA در لبه بالایی ساختمان که کمترین موانع را در مقابل نویز دارد، اتفاق می افتد. بررسی این نتایج در سطح زمین نشان می دهد که ترافیک حاصل از بزرگراه در این محدوده مطالعاتی، بیشترین اثر را بر روی نواحی مجاور ساختمان ها دارد. بدین ترتیب که در نواحی جلوی ساختمان ها، با افزایش فاصله از بزرگراه به سمت ساختمان، کمترین تراز نویز ۷۶ dBA در این بازه، در خط پایینی ساختمان اتفاق می افتد. این تراز نویز بسیار بالاتر از تراز استاندارد ۵۵ dBA برای کاربری های مسکونی و ۶۰ dBA برای کاربری های مسکونی و تجاری در هوای آزاد ایران از ساعت ۱۹:۰۰ تا ۲۳:۰۰ است. بنابراین زندگی و کار در نواحی جلوی ساختمان ها بدون ساخت موانع نویز و استفاده از درها و پنجره های دو جداره برای سلامت ساکنان این نواحی بشدت خطرناک است.

وضعیت آلودگی صوتی در نواحی جانبی در مقایسه با نواحی جلویی ساختمان ها به دلیل اثر پوششی ساختمان ها در مقابل نویز از شرایط بهتری بر خوردار است. با وجود این به دلیل این که تراز پایین ۷۲ dBA در گوشه عقبی ساختمان همچنان از تراز استاندارد برای کاربری های مسکونی بالاتر است، این نواحی نیز از شرایط امن برخوردار نیستند. نواحی پشت ساختمان ها به علت این که با ساختمان های بلند در مقابل اثر نویز پوشش داده شده اند، نواحی امن تری در مقابل اثر نویز حاصل از بزرگراه در این محدوده مطالعاتی اند.

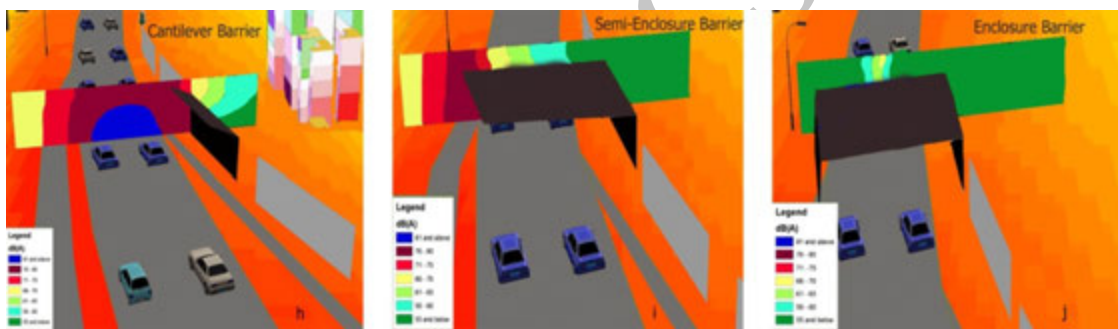
یکی از مؤثرترین روش های کاهش آلودگی صوتی در این محدوده مطالعاتی استفاده از موانع، یا دیوارهای صوتی است؛ دیوارهای صوتی سازه های محکم و مقاومی هستند که میزان صدا را با ایجاد مانعی بین گیرنده صوت و منبع تولیدکننده صدا کاهش می دهند (زبانی و همکاران، ۱۳۸۷). در طراحی موانع صوتی عوامل

سرکچ ترازهای آلودگی صوتی در این محدوده به حد استانداردهای مجاز کاربری های مسکونی و تجاری می رسد و این محدوده ناامن را به محیطی امن و آرام برای کار و زندگی تبدیل می کند.

مشکل و تا حدی غیر ممکن می سازد، استفاده از موانع صوتی سرکچ شفاف ۷ متری در فاصله نزدیک به لبه بیرونی بزرگراه، راهکاری عملی و مناسب به نظر می رسد. با نصب موانع صوتی



شکل شماره (۸): تلفیق مدل سه بعدی شهر و مدل نویز و ارائه نتایج در محیط GIS به منظور ارزیابی اثر نویز در نواحی و وجوه کناری ساختمانها



شکل شماره (۹): بررسی انواع مختلف دیوارهای صوتی در کاهش ترازهای نویز. h. دیوار صوتی سرکچ، i. دیوار صوتی نیمه بسته، j. دیوار صوتی کاملاً بسته

جدول شماره (۷): بررسی نقش ارتفاع مانع صوتی و فاصله از بزرگراه در کاهش ترازهای نویز

شماره	نوع	ارتفاع	طول	فاصله از بزرگراه	کاهش نویز در مجاورت مانع صوتی	کاهش نویز در طبقه اول	کاهش نویز در طبقه دوم	کاهش نویز در طبقه سوم	کاهش نویز در طبقه چهارم به بالا
a	دیوار صوتی شفاف	۳	۲۵	۲	۵	۱۰	۸	۶	۶
b	دیوار صوتی شفاف	۳	۲۵	۶	۴	۸	۶	۵	۵
c	دیوار صوتی شفاف	۳	۲۵	۹	۲	۷	۶	۴	۴
d	دیوار صوتی شفاف	۳	۲۵	۲	۵	۱۰	۸	۶	۶
e	دیوار صوتی شفاف	۵	۲۵	۲	۶	۱۱	۹	۷	۷
f	دیوار صوتی شفاف	۷	۲۵	۲	۷	۱۲	۹	۹	۷

**نتیجه گیری**

ترازهای نویز حاصل از ترافیک بزرگراه همت، با انتخاب روش اول استاندارد تهیه نقشه نویز آلمان SMM1 به عنوان مدل پیش بینی نویز متناسب با شرایط ترافیکی و فیزیکی این محدوده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بصری سازی اثر نویز در غالب خطوط منحنی‌های تراز بر روی سطح زمین در محیط GIS صورت گرفت. نمایش سه بعدی این منحنی‌ها بر روی وجوه قائم ساختمان‌ها، پس از ایجاد تصاویر دوبعدی درون‌یابی شده در محیط نرم افزاری Matlab، تصویر کردن آنها بر روی ساختمان‌ها در محیط Sketch Up v6 و در پایان وارد کردن ساختمان‌ها در محیط GIS ممکن شد. خروجی به صورت نمایش سه بعدی اثر نویز بر روی ساختمان‌ها و محیط اطراف آنهاست، که امکان بررسی اثر نویز را به صورت مجازی امکان پذیر می‌سازد.

نتایج این مدل برای منطقه مورد مطالعه گویای نا امن بودن نمای جلو و امن بودن وجه پشتی ساختمان‌ها، برای کاربری‌های مسکونی و تجاری است. هر دو وجه کناری در مقایسه با وجه جلوی ساختمان آرام‌تر است، اما ترازهای نویز در این نواحی همچنان از ترازهای استاندارد برای کاربری‌های مسکونی و تجاری بسیار بالاتر هستند. در ضمن ترافیک حاصل از بزرگراه در این محدوده مطالعاتی، بیشترین اثر را بر روی نواحی مجاور ساختمان‌ها دارد. یکی از مؤثرترین روشهای کاهش آلودگی صوتی در این محدوده مطالعاتی، طراحی دیوار صوتی از دید فاصله مناسب منازل مسکونی از بزرگراه است.

در این تحقیق، به منظور کاهش زمان انجام محاسبات، از روش اول استاندارد نویز آلمان استفاده شد. این روش با در نظر گرفتن روابط ریاضی برای محاسبه مشخصه‌های کاهشی نویز و محاسبه میانگین این مشخصه‌ها برای ناحیه بزرگتر، زمان انجام محاسبات را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. دقت روش اول محاسباتی نویز آلمان از روش دوم استاندارد محاسباتی کمتر است. روش دوم به دلیل محاسبه انتشار نویز و مشخصه‌های کاهشی نویز در هر قسمت از

طیف فرکانسی و مدل کردن انعکاس ساختمان‌ها در گام‌های کوچک مستلزم محاسبات پیچیده و رایانه‌ای قدرتمندتر است. در آینده روش دوم برای تهیه نقشه نویز در نواحی بزرگ به طور گسترده‌تری به کار گرفته خواهد شد. همچنین تست و ارزیابی این مدل در محدوده مطالعاتی با به‌کارگیری تکنیک مقایسه جفتی صورت گرفت. این تکنیک با داشتن تعداد بیشتری نقطه کنترل در منطقه، ارزیابی دقیق‌تری از دقت این مدل را ارائه خواهد کرد.

در نظر گرفتن عدم قطعیت هر مرحله از جمله ورود داده‌ها برای مدل‌سازی نویز، داده‌های لازم برای ساخت مدل سه بعدی، روش ساخت مدل سه بعدی محدوده، ایجاد نقاط مشاهده، روشهای درون‌یابی و نرم افزارهای استفاده شده، موجب افزایش دقت کلی مدل سه بعدی نویز می‌شود. الگوریتم ارائه شده برای مدل‌سازی آلودگی صوتی در این تحقیق، مستقل از مدل انتشار صوت انتخابی بوده و تحت هر مدلی قابل عمل کردن است. انتشار مدل از طریق اینترنت در محیطی سه بعدی موجب درک بهتر مسئله نویز می‌شود.

**یادداشت‌ها**

- 1 - Utrecht
- 2- Delft
- 3- Noise mapping method in EU
- 4- Linear
- 5- Cubic
- 6- Nearest
- 7- Biharmonic
- 8- Harmonised method by EU
- 9- Dutch noise calculation methods
- 10- Standard calculation method 1 (SCM1)
- 11- Standard calculation method 2 (SCM2)
- 12- Standard noise mapping method 1 (SMM1)
- 13- Standard noise mapping method 2 (SMM2)
- 14- Interactive
- 15- Vertical barrier
- 16- Cantilever barrier
- 17- Semi-enclosure
- 18- Enclosure

**منابع مورد استفاده**

- حجت، ع. ۱۳۸۷. مدل‌سازی آلودگی صوتی با استفاده از مدل‌های سه بعدی شهر. رساله کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه تهران.
- زبانی، س. ۱۳۸۷. ارائه حریم‌های مجاز صدا و طراحی سدهای آکوستیکی در کناره بزرگراه همت. رساله کارشناسی ارشد، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران.

شرکت کنترل ترافیک تهران. ۱۳۹۰. حجم و سرعت خودروهای عبوری. سایت: [www.tehrantraffic.com](http://www.tehrantraffic.com)

Arana, M., A., Garcia. 1998. A Social Survey on the Effects of Environmental Noise on the Residents of Pamplona, *Applied Acoustics*, Vol. 53, pp. 245–253.

AEA Technology Rail BV. 2005. Harmonised Accurate and Reliable Methods for the EU Directive on the Assessment and Management of Environmental Noise, Available at: [http://www.imagineproject.org/bestanden/D13p1\\_WP1.2\\_manual\\_HAR12TR-040112-SNCF10.pdf](http://www.imagineproject.org/bestanden/D13p1_WP1.2_manual_HAR12TR-040112-SNCF10.pdf)

Barry, T.M., J.A., Reagan. 2003. FHWA Highway Traffic Noise Prediction Model, *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 27(1), pp. 85-102.

Belojevic, G., B., Jakovlevic, O., Aleksic. 1997. Subjective Reactions for Traffic Noise with Regard to some Personality Traits, *Environmental International*, Vol. 23, pp. 221–224.

Brenner, C. 2005. Building Reconstruction from Images and Laser Scanning, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 6(3-4), pp. 187-198.

Bruel, M., Kjaer, M. 2002. Environmental Noise, Available at: <http://www.bksv.com/pdf/Environmental%20Noise%20Booklet.pdf>.

Butler, D. 2004. Noise Management: Sound and Vision, *Nature*, Vol. 427(6974), pp. 480-482.

El-Fadel, M., et al. 2002. Parametric Sensitivity Analysis of Noise Impact of Multihighways in Urban Areas, *Environmental Impact Assessment*, Vol. 22, pp. 145–162.

Environment Agency. 2002. Horizontal Guidance for Noise, Available at: [www.environmentagency.gov.uk/commondata/acrobat/h3\\_pt2\\_june\\_2004\\_v3\\_353249.pdf](http://www.environmentagency.gov.uk/commondata/acrobat/h3_pt2_june_2004_v3_353249.pdf)

Kluijver, H., J., Stoter, 2003. Noise Mapping and GIS: Optimising Quality and Efficiency of Noise Effect Studies. *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 27(1), pp. 85-102.

Kurakula, V., et al. 2008. A GIS-Based Approach for 3D Noise Modeling Using 3D City Models, M.Sc. Thesis, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, ITC, Enschede, The Netherlands.

Kurakula, V.K., M., Kuffer. 2008. 3D Noise Modeling for Urban Environmental Planning and Management, REAL CORP, ISBN: 978-39502139-4-2, pp. 517-523.

Law, C.W., et al. 2011. Advancement of Three-Dimensional Noise Mapping in Hong Kong, *Applied Acoustics*, Vol. 72, pp. 534–543.

Li, B., et al. 2002. A GIS based road traffic noise prediction model, *Applied Acoustics*, Vol. 63 (6), pp. 679–691.

Maekawa, Z. 1968, Noise Reduction by the Screens, *Applied Acoustics*, Vol. 1, pp. 157–173.

Pamanikabud, P., P., Vivitjinda. 2002. Noise Prediction for Highways in Thailand, *Transp. Res D–Trans Res E*, Vol. 7(6), pp. 441–9.

Pamanikabud,P., M., Tansatcha .2010. 3D Analysis and Investigation of Traffic Noise Impact from a New Motorway on Building and Surrounding Area , Applied Acoustics, Vol. 71, pp. 1185– 1193.

Rahmani,S., S.M.,Mousavi, M.J.,Kamali .2011. Modeling of Road-Traffic Noise with the Use of Genetic Algorithm, Applied Soft Computing, Vol. 11, pp. 1008–1013.

Rao,M.G.S., et al .1989. A Model for Computing Environmental Noise Levels Due to Motor Vehicle Traffic in Visakhapatnam city, Appl. Acoust., Vol. 27(2), pp. 129–36.

Seong,J.C., et al .2011. Modeling of Road Traffic Noise and Estimated Human Exposure in Fulton County, Georgia, USA, Environment International, and Vol. 37, pp. 1336–1341.

Silvia,R., H., Ricardo, C.J.,Luis .2003. Evaluation and Prediction of Noise Pollution Levels in Urban Areas of Cdiz (Spain), Acoustical Society of America Journal, Vol. 114, pp. 2439-2439.

Archive of SID