

مدلسازی آلودگی صوتی در یک تقاطع شهری (نمونه موردی: شهر قزوین)

رضا اسکندری^۱، امیرعباس رصافی^{۲*}، حمیدرضا بهنود^۳

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی^(ره)، قزوین، ایران،
۲. دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی^(ره)، قزوین، ایران،
۳. استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی^(ره)، قزوین، ایران،

* rasafi@eng.ikiu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۹/۳/۲۱

تاریخ دریافت: ۹۸/۴/۲۶

چکیده

هدف از انجام مطالعه آلودگی صوتی، بررسی رابطه آلودگی صوتی با ویژگی‌های ترافیکی و محیطی است. بدین منظور با استفاده از روش مدلسازی رگرسیون خطی چندگانه روابطی به دست می‌آیند که بتوانند میزان شدت صوت را بر اساس ویژگی‌های ترافیکی وسایل نقلیه مانند حجم، سرعت، فاصله و زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی برآورد کنند. داده‌های فوق با استفاده از آماربرداری در محل و همچنین استفاده از داده‌های ترافیکی حاصل از نرم‌افزار مدیریت چراغ (SCATS) و دوربین‌های نظارتی مرکز کنترل ترافیک شهر قزوین بدست آمده است. همچنین تأثیر هر یک از متغیرها و اهمیت آن در آلودگی صوتی بررسی شده و بر اساس آن راه‌حلهایی برای کاهش آلودگی صوتی به دست می‌آید. در این مطالعه که در یکی از تقاطعات مهم شهر قزوین صورت گرفت، داده‌ها شامل تراز صوت معادل، حجم وسایل نقلیه به تفکیک نوع آن‌ها، زمان‌بندی چراغ راهنمایی در زمان برداشت، فاصله نقطه برداشت تا مرکز تقاطع، و تعداد بوق خودروها در زمان برداشت بودند که این داده‌ها در ۹۴ نقطه طی دو برداشت یک‌دقیقه‌ای در هر نقطه به دست آمدند. نتایج مدلسازی نشان داد که مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار در تراز معادل صدا شامل حجم وسایل نقلیه به ویژه وسایل نقلیه سنگین و نیمه سنگین با تأثیر مثبت (با تأثیر میانگین ۰/۰۲۵، ۰/۱۲۵، ۰/۵۲۵، و ۰/۴۸۹ به ترتیب برای سواری شخصی، موتور، کامیون‌های نیمه سنگین و سنگین)، زمان سبز رویکرد نزدیکتر به تقاطع و تعداد بوق‌هایی که در این زمان به صدا درمی‌آیند با تأثیر مثبت (به ترتیب ۰/۰۴ دسی‌بل بر ثانیه و ۰/۰۸ دسی‌بل بر هر بار به صدادرآمدن) در این تقاطع هستند.

واژگان کلیدی: صوت سنج، تراز معادل صوت، شبکه وزنی، فشار صوت، مدلسازی آلودگی صوتی.

۱. مقدمه

منابع آلودگی صوتی در مناطق شهری را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد: منابع ثابت و منابع متحرک. منابع ثابت شامل صنعتی، ساخت‌وساز و تخریب، تجاری، محلی و تفریحی است. منابع متحرک شامل حمل‌ونقل زمینی و هوایی است. در مناطق شهری، موتور و سیستم اگزوز اتومبیل‌ها، کامیون‌های سبک، اتوبوس‌ها و موتورسیکلت‌ها یک منبع مهم آلودگی صوتی است که تأثیر محیط‌زیستی عمده‌ای دارند [1]. آلودگی صوتی ناشی از ترافیک مهم‌ترین منبع آلودگی صوتی زیست‌محیطی در شهرها است [2]. با افزایش تعداد وسایل نقلیه موتوری شخصی در دهه‌های گذشته آلودگی صوتی افزایش داشته است [3]. آلودگی صوتی یکی از نگرانی‌ها در طراحی و بهبود سیستم‌های حمل‌ونقل، اعم از جدید و موجود است. باید به این نکته توجه شود ساخت یک سیستم حمل‌ونقل بدون آلودگی صوتی با فناوری‌های موجود عملاً غیرممکن است. از طرف دیگر، منابع مالی تعیین‌شده برای جلوگیری یا کاهش آلودگی صوتی محدود هستند. بنابراین، محل‌های بحرانی‌تر از نظر تأثیر محیط‌زیستی و اجتماعی آلودگی صوتی اهمیت بیشتری می‌یابند [4]. آلودگی صوتی شهری، به ویژه زمانی که حمل‌ونقل آن را تشدید می‌کند، موجب افزایش ریسک سلامتی مردم می‌شود. آلودگی صوتی به صورت چشمگیر در اواسط قرن ۲۰ افزایش یافته و هم‌اکنون درصد زیادی از مردم جهان در سیستم‌های شهری را تحت تأثیر قرار داده است. این مشکل همچنین هزینه‌های اقتصادی را به سبب مشکلات سلامتی افزایش داده، و بهره‌وری جمعیت را کاهش داده است. به‌علاوه آلودگی صوتی، به ویژه در ترازهای بالای صدا، سبب کاهش استعداد و توانایی می‌شود. مطالعات روی آلودگی صوتی شهری به‌صورت گسترده در حال انجام است، بازتاب رشد این آلودگی اهمیت این نظر را تأیید می‌کند [4]. خیلی از کشورها محدودیت‌هایی برای انتشار آلودگی صوتی خودروها و قوانین دیگری برای کاهش آلودگی صوتی معرفی کرده‌اند. در سال‌های اخیر، در برخی کشورها، قوانین جدید محدودکننده برای کنترل آلودگی صوتی راه شهری به اجرا درآمده است [2].

توسعه مدل‌های پیش‌بینی آلودگی صوتی بیش از ۵۰ سال پیش شروع شد. معمولاً، این نوع مدل‌ها به‌صورت عمده با توجه به جریان ترافیک-هم وسایل نقلیه سبک و هم وسایل نقلیه سنگین-ویژگی‌های سطح روسازی راه، فاصله بین محل عبور و مرور و دریافت‌کننده‌ها توسعه یافته‌اند. علاوه بر این از زمانی که مدل‌هایی برای پیش‌بینی آلودگی صوتی در سرتاسر جهان توسعه یافتند، ویژگی‌های مختلفی در بخش راه‌ها، نوع وسایل نقلیه و ویژگی‌های آب و هوایی به عنوان متغیر به منظور پیش‌بینی میزان این آلودگی در نظر گرفته شد. خیلی از کشورها تصمیم گرفتند تا برای استفاده، این مدل‌ها را تنظیم و تعدیل کنند [5]. دقت پیش‌بینی مدل‌های پیش‌بینی آلودگی صوتی نیز یک موضوع مهم است. مدل‌های پیش‌بینی آلودگی صوتی ترافیک ابزارهای مهمی در طراحی راه‌های سازگار با محیط‌زیست و ارزیابی تأثیر آلودگی صوتی ترافیکی بر ساکنان اطراف آن منطقه هستند [3].

با استفاده از این مدل‌ها می‌توان به بررسی عوامل تأثیرگذار و میزان تأثیر هر یک بر افزایش آلودگی صوتی پرداخت. همچنین با توجه به اهمیت تقاطع‌ها در افزایش آلودگی ناشی از حمل‌ونقل، در این مطالعه به بررسی آلودگی صوتی در یکی از تقاطع‌های مهم شهر قزوین پرداخته شده است. سؤال پژوهش حاضر این است که آیا ارتباطی بین متغیرهایی مانند زمان‌بندی چراغ‌ها، حجم ورودی وسایل نقلیه به تقاطع (به ویژه بررسی تأثیر موتورسیکلت‌های غیراستاندارد و خودروهای سنگین)، فاصله دریافت‌کننده از تقاطع با آلودگی صوتی در یک تقاطع شهری وجود دارد و نیز این رابطه بین متغیرهایی که به‌عنوان وابسته و مستقل در نظر گرفته شده است چگونه است.

۲- مروری بر ادبیات تحقیق

در سال ۲۰۰۹ گلمحمدی و همکاران مدل پیش‌بینی آلودگی صوتی را با متغیرهای ترافیکی و شرایط حمل‌ونقل ایران در شهر همدان طراحی کردند. ترازهای صدا و دیگر متغیرها برای ساخت مدل رگرسیون خطی در ۲۸۲ نقطه برآورد شد و حاصل آن مدل رگرسیون خطی با مقدار شاخص برازندگی ۰٫۹۰۱ بود [2].

رشد جمعیت و توسعه فعالیت‌ها در شهر دنیاسار تأثیر زیادی بر توسعه بخش حمل‌ونقل داشت. افزایش جمعیت منجر به افزایش نرخ رشد وسیله نقلیه شده است. نه تنها در بخش مصرف سوخت بلکه این وضعیت منجر به افزایش خسارت به محیط‌زیست در بخش آلودگی‌های هوا و آلودگی صوتی تولید شده توسط موتور وسایل نقلیه نیز شده است. برای مقابله با این مشکلات گام اول موردنیاز، برآورد تراز صوتی تولیدشده ناشی از ترافیک توسط حجم معینی از ترافیک است؛ بنابراین، دانستن فاکتورهای تأثیرگذار بر آلودگی صوتی مهم است. هدف از مطالعه، توسعه مدل برآورد آلودگی صوتی ناشی از ترافیک به ویژه برای راه‌های جمع‌کننده بود. داده‌های ترافیکی جمع‌آوری شده شامل حجم ترافیک (دسته‌بندی بر اساس نوع)، سرعت و هندسه راه بوده است. داده‌ها به وسیله روش رگرسیون خطی چندگانه تحلیل شد. این تحلیل نشان داد که حجم موتورسیکلت بیشترین تأثیر را در صوت ناشی از ترافیک دارد [6].

در پژوهشی دیگر در سال ۲۰۱۶ تأثیر نوع تقاطع و مشخصات ترافیکی روی ترازهای صوتی در حاشیه تقاطع‌ها بررسی شد. تقاطع‌های چراغ‌دار، میدان‌ها و میدان‌های چراغ‌دار در این پژوهش بررسی، و نتایج این پژوهش نشان داد که در میدان‌های چراغ‌دار تراز صوت بین ۲٫۵ تا ۱۰ دسی‌بل بیش‌تر از تقاطع چراغ‌دار کلاسیک و بین ۳٫۳ تا ۶٫۷ دسی‌بل بیش‌تر از میدان‌ها است. برخی شرایط نظیر نوع تقاطع، نوع جریان ترافیک، فاصله از مرکز تقاطع، نوع مدیریت ترافیک در ورودی‌ها و حجم ترافیک به‌خصوص ترافیک وسایل نقلیه سنگین در تقاطع‌های تأثیرگذار هستند که در این پژوهش برای تحلیل میدان‌های چراغ‌دار از آن‌ها استفاده شد. اندازه‌گیری میدانی تراز صوت با استفاده از پنج دستگاه سنجش صوت به‌صورت هم‌زمان صورت گرفت و نقاط اندازه‌گیری در آن، بین دو رویکرد تقاطع در نظر گرفته شده بود و این نقاط در فاصله‌های ۱۰ و ۲۰ متری از لبه خارجی راه قرار داشتند. ضمن اینکه در این پژوهش برای برآورد سایر پارامترهای فوق از دوربین فیلم‌برداری به منظور ضبط در ساعت برداشت استفاده شده است؛ و با توجه به داده‌های به

در مطالعه انجام شده در یکی از شهرهای کلمبیا، یک مدل آلودگی صوتی برای شبیه‌سازی میانگین تراز فشار صوت معادل در تقاطع‌های راه بر اساس جریان ترافیک و مشخصات محل برای این شهر توسعه یافت. موتورسیکلت‌ها از آنجا که بیش از ۳۰٪ از جریان ترافیک را شامل می‌شدند به‌عنوان یک دسته‌بندی جداگانه و همچنین به‌عنوان یک منبع مشخص صوتی که نیاز است مشخصات آن تعیین شود، در نظر گرفته شدند. اندازه‌گیری‌های صوتی با استفاده از صوت‌سنج نوع دو (این نوع صوت سنج برای استفاده عمومی می‌باشد و معمولاً در اهداف بررسی صدا در محیط کار قابل استفاده می‌باشند) انجام شد. اطلاعات حاصل از تحلیل داده‌ها به توسعه نقشه‌های صوتی و یک مدل ریاضی عمومی برای این شهر منجر شد که ترازهای صوتی به‌عنوان تابعی از جریان وسیله نقلیه در تقاطعات راه همبستگی داشتند؛ و نیز بیشترین میزان صوت برحسب دسی‌بل برای تقاطعات به دست آمد. اگرچه ترافیک و صوت به‌طور طبیعی به هم وابسته‌اند، اما در تقاطع‌ها با جریان وسایل نقلیه بیشتر، تراز صوت بیشترین مقدار نبود. میزان صوت آزادراه برای تقاطع‌ها این شهر از استانداردهای محدودیت جاری تجاوز کرد. مدل صوتی آزادراه‌ها قادر است تا به‌صورت رضایت‌بخشی انتشار صوت برای تقاطع‌ها راهی در این شهر را پیش‌بینی کند [1].

در مقاله دیگری در سال ۲۰۱۲ یک مدل تصادفی پیش‌بینی آلودگی صوتی ناشی از ترافیک بر اساس منحنی‌های صوتی برای کلاس‌های مختلف وسیله نقلیه و سرعت‌هایشان توسعه و ارزیابی شد. این مدل برای راه‌های دوخطه در شهر بوگاتا امتحان شد و بر اساس توابع صوتی $L_{i,17sec}$ یگانه برای انواع مختلف وسیله نقلیه ثابت شد. این مدل عملکرد بهتری نسبت به چهار مدل قطعی شناخته شده در جهان (RLS 90, CORTN, Nordic model, North American model) داشت. به علاوه اینکه، یک مدل قطعی برای شهر بوگاتا به دست آمد. رویکرد استفاده شده برای پژوهش‌های بعدی در آلودگی صوتی شهری با وضعیت ترافیکی معین در این سیستم‌ها امیدبخش است [4].

دست آمده مدل‌های رگرسیونی در هر نقطه از تقاطع ساخته شده است [7].

ابوقدایس و الهیاری مجموعاً ۱۴۲۳۵ تراز آلودگی صوتی اندازه‌گیری شده را در توسعه مدل‌های آماری به کار بردند که می‌توانند ترازهای صوتی مختلفی شامل: تراز صوتی معادل، بیشینه، یا کمینه را در بخش پارامترهای اثرگذار در هر تراز پیش‌بینی کنند. پارامترهای مختلفی که انتظار می‌رود روی آلودگی صوتی مؤثر باشند جمع‌آوری شده‌اند. این پارامترها شامل حجم ترافیک، ترکیب ترافیک، سرعت ترافیک، تأثیر استفاده از بوق، تعداد خط‌ها، عرض خط‌ها، عرض رویکرد، شیب راه، و ترکیب روسازی راه هستند. سه گروه مدل برای پیش‌بینی شاخص‌های صوتی ارائه شد. مدل‌های گروه اول تراز آلودگی صوتی معادل را برحسب حجم، سرعت ترافیک، فاصله، وسایل نقلیه سنگین و BPN (British Pendulum Number) مدل‌های گروه دوم ترازهای آلودگی صوتی بیشینه را برحسب وسایل نقلیه سنگین و استفاده از بوق و در نهایت مدل‌های گروه سوم تراز صوت کمینه را برحسب BPN و عرض خط پیش‌بینی می‌کنند. آن‌ها همچنین متغیرهایی با بیشترین نقش را در هر یک از مدل‌های خود مشخص کردند [8].

چندین وضعیت بحرانی برای انتشار آلودگی صوتی وسایل نقلیه موتوری مانند وضعیت ایستادن و حرکت مجدد که معمولاً در نزدیکی تقاطع رخ می‌دهد، وجود دارد. هنگامی که چراغ راهنمایی قرمز می‌شود، تمام خودروها در محدوده مجاز و ایمن گذرگاه نسبت به سایر جریان‌های دیگر ترافیکی متوقف می‌شوند، و دوباره با سبز شدن چراغ راهنمایی خودروها در طول تقاطع شروع به حرکت می‌کنند. در این وضعیت با عنوان ایست و حرکت، وسایل نقلیه آلودگی صوتی بیشتری نسبت به حالت معمول ساطع می‌کنند. برای نمونه، هنگامی که وسایل نقلیه می‌خواهند قبل از خط توقف، متوقف شوند آلودگی صوتی ترمز کردن ایجاد می‌شود و هنگامی که آن‌ها شروع به حرکت کنند، معمولاً تراز صوت بیشتری در مقایسه با حالت سرعت ثابت دارند. این مطالعه در دو موقعیت که دو نوع از تقاطع‌های معمولی و تقاطع‌های T شکل را شامل می‌شود بررسی می‌کند. موقعیت‌ها

در یک ناحیه شهری و نزدیک به یک مرکز خرید هستند که پیش‌بینی می‌شود با حجم بالایی از ترافیک مواجه شوند. داده‌ها در این مطالعه شامل تراز معادل صوت، ترازهای صوت کمینه و بیشینه که در طول سیکل چراغ اندازه‌گیری شده‌اند، هستند. داده‌ها در بخش‌هایی از فازهای ایست، حرکت و رانندگی دسته‌بندی شدند. آلودگی صوت توقف به اندازه‌گیری از شروع لحظه‌ای که چراغ راهنمایی قرمز می‌شود و وسایل نقلیه در خط توقف تقاطع متوقف می‌شوند مربوط است. آلودگی صوت حرکت درحالی که چراغ راهنمایی سبز می‌شود و ترافیک در طول تقاطع اجازه حرکت دارد اندازه‌گیری شده است. و زمانی که صف ترافیک به‌طور کامل محو شود و وسایل نقلیه به‌طور پیوسته و بی‌وقفه از تقاطع عبور کنند آلودگی صوتی رانندگی اندازه‌گیری شده است، این وضعیت می‌تواند به‌طور مشابه ویژگی یک مقطع مستقیم از یک راه وقتی تقاطعی وجود ندارد باشد. بیشترین تراز آلودگی صوتی میانگین ثبت شده در زمان فاز حرکت و برای تقاطع T شکل، $dB64.4$ و برای تقاطع معمولی و در فاز رانندگی، $dB64$ است. نتیجه این مطالعه نشان داد که وجود تقاطع منجر به افزایش آلودگی صوتی می‌شود و همچنین وسایل نقلیه‌ای که شروع به حرکت می‌کنند صوت بیشتری را نسبت به زمانی که با سرعت ثابت در طول تقاطع حرکت می‌کنند، تولید می‌کنند. پیشنهاد شده است که توجه خاص و اولویت‌دهی در بحث تعیین بودجه نسبت به این نقاط بحرانی صورت گیرد [9].

سروصدای حمل و نقل بیشتر ناشی از سروصدای وسایل نقلیه سنگین است. توانایی پیش‌بینی دقیق تأثیر وسایل نقلیه سنگین با استفاده از روش‌های متداول پیش‌بینی ترافیک جاده‌ای در طول سال‌ها کاهش یافته است، چرا که تنوع وسایل نقلیه سنگین به تدریج افزایش پیدا کرده و برای حمل بار سنگین‌تر نیاز به کامیون‌های بزرگ‌تر با تعداد محورهاى بیشتر است. در مطالعه سال ۲۰۱۸ در شهر نیو ساوت ولز استرالیا یک مدل که در آن وسایل نقلیه سنگین به شش دسته تحت شرایط جریان آزاد تقسیم شده بودند، به دست آمد. این مدل پیش‌بینی آلودگی صوتی، صوت حاصل از یک ناوگان وسایل نقلیه با انواع وسایل نقلیه سنگین را با دقت بالاتر در مقایسه با مدل‌های متعارف

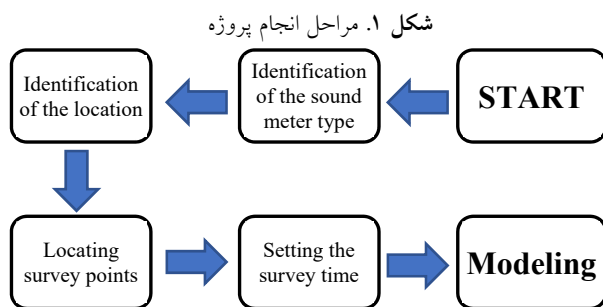


Fig. 1. Project implementation steps

از سوی دیگر با توجه به نیاز پژوهشی تقاطعی مدنظر بود که تا فاصله حدود ۱۵۰ متری آن در هر رویکرد و در حاشیه خیابان و محدوده پیاده‌رو امکان قرارگیری آمار بردار برای برداشت داده‌های صوتی وجود داشته باشد و نیز هیچ‌گونه عملیات عمرانی در ساعت برداشت در محدوده تقاطع به دلیل تأثیرگذاری روی داده‌های صوتی وجود نداشته باشد. همچنین باید از لحاظ ایمنی در هنگام برداشت خطری برای آمار برداران به وجود نیاید؛ بنابراین پس از بررسی عوامل مختلف از جمله ایمنی و سهولت در هنگام آماربرداری، مناسب بودن تقاطع از لحاظ فیلم‌برداری و تعیین زمان‌بندی چراغ‌های هر رویکرد در زمان برداشت داده‌های صوتی، در نهایت تقاطع ولیعصر (عج) به عنوان بهترین گزینه برای این پروژه انتخاب شد (شکل ۲).

شکل ۲: عکس هوایی از تقاطع ولیعصر

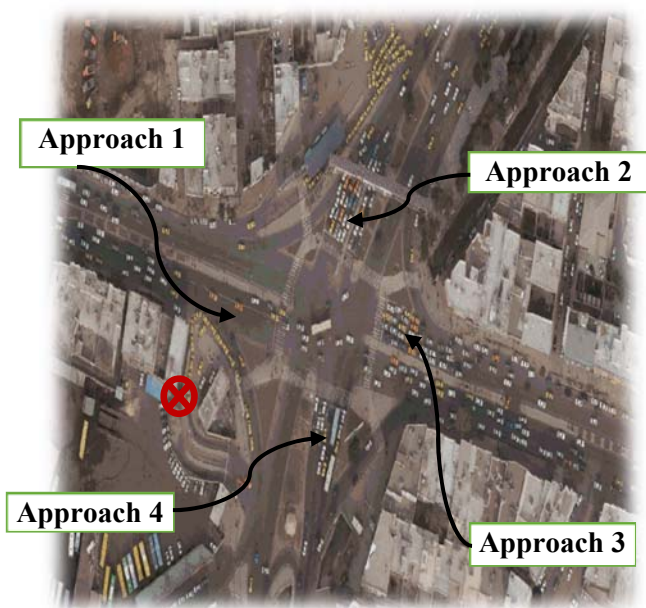


Fig. 2. Aerial photo of Valiasr intersection

پیش‌بینی می‌کند که وسایل نقلیه سنگین در آن به یک یا حداکثر دو دسته تقسیم می‌شوند [10].

در مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۸ جمعیت در معرض آلودگی صوتی ناشی از ترافیک ارزیابی شد. این مطالعه در شهر گوانجو و برای سه نوع از مناطق این شهر شامل: مسکونی، تجاری و صنعتی انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد که افراد ساکن در مناطق مسکونی نسبت به آلودگی صوتی ناشی از ترافیک جاده‌ای حساسیت بیشتری دارند [11].

۳- روش تحقیق

روش استفاده شده در انجام این پروژه، روش مطالعه موردی است. در شکل (۱) مراحل انجام پروژه به صورت شماتیک نمایش داده شده است.

ابزار گردآوری برای برآورد تراز معادل فشار صوت^۱ (Leq)، نرم‌افزار اندرویدی ابزار صوت است. با توجه به وجود دوربین‌های نظارتی مرکز کنترل ترافیک قزوین و هماهنگی‌های انجام‌شده با این نهاد برای استفاده از دوربین‌ها، نیاز بود تقاطعی انتخاب شود که تمامی محدوده تقاطع، تحت پوشش دوربین‌ها بوده تا امکان شمارش وسایل نقلیه به تفکیک نوع آن‌ها، فراهم شود؛ هدف دیگر محاسبه سرعت متوسط وسایل نقلیه در هنگام ورود به تقاطع است. ضمن اینکه تقریباً تمامی تقاطع‌های شهر قزوین هوشمند سازی شده و به نرم‌افزار SCATS متصل است؛ زمانبندی هر فاز در طول مدت برداشت داده از طریق اطلاعات خروجی نرم افزار مذکور به دست می‌آید. همچنین با توجه به اینکه بیشتر تقاطع‌های قزوین هم هوشمند بوده و هم دارای دوربین‌های نظارتی مناسب هستند می‌توان تقاطعی را انتخاب کرد که از نظر جنبه‌های دیگر برای آماربرداری مناسب باشد تا در داده‌های نهایی ما تأثیر نامطلوبی نداشته باشند، برای نمونه تقاطع از نظر قرارگیری ساختمان‌ها در اطراف آن و با توجه به تأثیر انعکاس در هنگام برخورد موج صوتی حاصله از جریان ترافیک به ساختمان‌ها، بررسی شد و سعی شد تا تقاطعی انتخاب شود که ساختمانی در اطراف آن وجود نداشته باشد.

۱. متوسط تراز صدا در مدت اندازه‌گیری T

۴- مدلسازی

در انجام بسیاری از تحلیل‌های آماری، توزیع نرمال نقش اساسی ایفا می‌کند. برای انجام آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها در نرم‌افزار SPSS می‌توان از نمودار P-P Plot و یا آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده نمود. نقاط حاصل در این نمودار باید حول خط ۴۵ درجه باشند در غیر این صورت توزیع داده‌ها از توزیع نرمال فاصله دارد. در شکل (۴) نمودار P-P Plot متغیر وابسته Leq رسم شده است که با توجه به توضیحات داده‌شده نشان از توزیع نرمال این متغیر است.

شکل ۴. نمودار P-P Plot متغیر وابسته

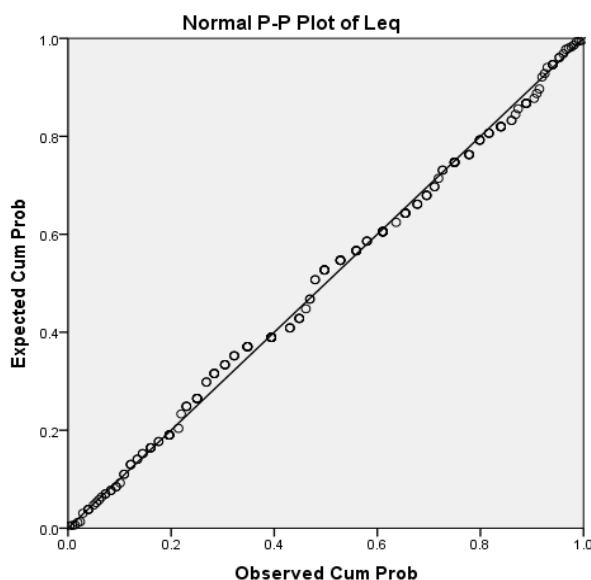


Fig. 4. P-P Plot Chart Dependent Variable

در آزمون کولموگروف-اسمیرنوف هنگام بررسی یکنواخت بودن داده‌ها، فرض صفر مبتنی بر اینکه توزیع داده‌ها یکنواخت است را در سطح خطای ۰,۰۵ آزمایش می‌شود. اگر مقدار معناداری بزرگتر یا مساوی سطح خطا (۰,۰۵٪) بدست آید، در این صورت دلیلی برای رد فرض صفر وجود نخواهد داشت. به عبارت دیگر توزیع داده‌ها یکنواخت خواهد بود. همانطور که در جدول (۱) دیده می‌شود با توجه به مقدار اهمیت، نمی‌توان فرض نرمال بودن را رد کرد.

مانند پژوهش‌های مشابه دیگر در زمینه مدلسازی آلودگی صوتی و به دلیل اینکه این پژوهش در تقاطع صورت می‌پذیرد نقاط برداشت در محدوده مطالعه شده هر ۱۰ متر در نظر گرفته شد در این حالت شبکه‌ای از نقاط در محدوده تقاطع به دست آمد. سپس با حذف نقاطی که امکان قرارگیری آمار بردار و در نتیجه امکان برداشت داده در آن‌ها وجود نداشت، شبکه نقاط برداشت صوت حاصل شد؛ عواملی که منجر به حذف نقاط برداشت شدند شامل قرارگیری در محدوده خیابان، نزدیکی به دیوارهای ساختمان‌های اطراف بودند. ضمن اینکه پس از تعیین نقاط برداشت فاصله هر نقطه تا مرکز تقاطع به عنوان یکی از متغیرهای تأثیرگذار در مدل در نظر گرفته شد.

برای هر نقطه برداشت یک دقیقه‌ای در نظر گرفته شد. از علت‌های انتخاب بازه‌های زمانی کوتاه این است که از برداشت‌های با زمان زیاد معمولاً برای پژوهش‌های شبیه‌سازی و مقایسه با استانداردهای موجود استفاده شده است، و در پژوهش‌های مدلسازی آلودگی صوتی مانند این پژوهش از بازه‌های زمانی کم استفاده می‌شود. پس از برداشت داده‌های تراز معادل صوت، داده‌های مربوط به سهم هر رویکرد در میزان زمان سبز و قرمز در زمان برداشت و تصاویر مربوط به تقاطع برای شمارش حجم هر رویکرد در زمان برداشت از مرکز کنترل ترافیک دریافت شد و پس از استخراج داده‌ها و تعیین متغیرهای وابسته و مستقل موردنیاز، برای تحلیل رگرسیونی با استفاده از نرم‌افزار SPSS مورد استفاده قرار گرفت.

شکل ۳: نقاط برداشت داده در تقاطع ولیعصر

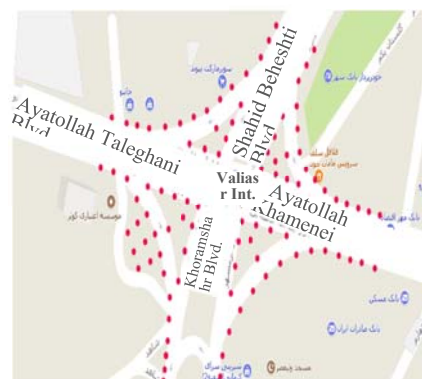


Fig. 3. Picked up points at Valiasr intersection

این مقدار در حد قابل قبولی بوده و در نتیجه فرض استقلال خطاها تأیید می‌شود.

جدول ۲. تعریف متغیرهای مدل

Variables	Definition
L_{eq} (Dependent)	Equivalent sound level
Dist	Distance from the center of intersection
C_i	The number of cars entering the intersection from the approach i during the noise metering of each point
M_i	The number of motorcycles entering the intersection from the approach i during the noise metering of each point
S_i	The number of small trucks entering the intersection from the approach i during the noise metering of each point
T_i	The number of trucks entering the intersection from the approach i during the noise metering of each point
GT_i	The green time of approach i during the noise metering of each point
GTD_i	A dummy variable that equals 0 if GT_i is 0, 1 otherwise
H	The number of horns were honked during the noise metering of each point

Table 2: Definition of Model Variables

جدول ۳. اطلاعات شاخص برازندگی-خروجی نرم‌افزار

Model Summary					
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.894	.800	.778	.9469	1.590

Table 3. Fit Index Information- Software Output

در جدول (۴) تحلیل واریانس شامل، مجموع مربعات، درجات آزادی، میانگین مربعات، آماره فیشر و سطح معنی‌داری رگرسیون گزارش شده است. مقدار Sig. برابر ۰,۰۰۰ داده شده است، بنابراین فرض H_0 : رگرسیون خطی چندگانه معنی‌دار نیست " را با اطمینانی بالاتر از ۰,۹۹۹ رد می‌کنیم.

جدول ۴. تحلیل واریانس

Model	Sum of Squares		Mean Square		F	Sig.
	Regression	df	Residual	df		
1	623.078	19	32.794	36.575	.000 ^b	
	156.012	174	.897			
Total	779.090	193				

Table 4: Analysis of variance

در جدول (۵) برای هر یک از پارامترهای رگرسیون، برآورد پارامترها، انحراف معیار برآورد پارامترها، برآورد پارامترهای مدل رگرسیون استاندارد شده، آماره آزمون و سطح معنی‌داری برآورد

در جدول (۲) متغیرهای مورد استفاده نهایی در مدل معرفی شده‌اند. متغیرهای دیگر به دلیل معنادار نبودن در سطح ۹۵٪ از مدل نهایی حذف شده‌اند. البته در مدل نهایی یک متغیر (M_1) در سطح ۹۳٪، و یک متغیر (M_2) در سطح ۵۸٪، دارای اهمیت آماری هستند، اما به دلیل امکان مقایسه کماکان در این مدل باقی مانده‌اند. طبقاً حذف آنان تأثیری در عملکرد مدل نخواهند داشت.

ذکر این نکته ضروری است که برای ایجاد شرایط یکسان رویکردها به شکل نسبی شماره‌گذاری شده‌اند به این صورت که رویکردهای ۱ و ۴ رویکردهای نزدیک‌تر و رویکردهای ۲ و ۳ رویکردهای دورتر هستند. به‌عنوان نمونه در شکل (۲) برای گوشه‌ای که با ضربدر قرمز نشان داده شده این رویکردها شماره‌گذاری شده‌اند.

جدول ۱. نمودار آزمون کولموگروف-اسمیرنوف

		Leq
N		194
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	70.863
	Std. Deviation	2.0092
Most Extreme Differences	Absolute	.043
	Positive	.036
	Negative	-.043
Test Statistic		.043
Asymp. Sig. (2-tailed)		.200 ^{c,d}
a. Test distribution is Normal.		
b. Calculated from data.		
c. Lilliefors Significance Correction.		
d. This is a lower bound of the true significance.		

Table 1. Fit Index Information- Software Output

جدول (۳) نیز مقدار ضریب همبستگی (R)، ضریب تعیین (R^2)، ضریب تعیین تعدیل یافته (R^2_{adj})، انحراف معیار ضریب تعیین و آماره دوربین و اتسون برای مدل گزارش شده است. مقدار R^2 حدوداً برابر با ۰/۷۷ به این معنی است که در این مدل متغیرهای مستقل حدود ۷۷٪ از تغییرات متغیر وابسته را تبیین می‌کنند. با توجه به مقدار آماره دوربین و اتسون نشان می‌دهد که

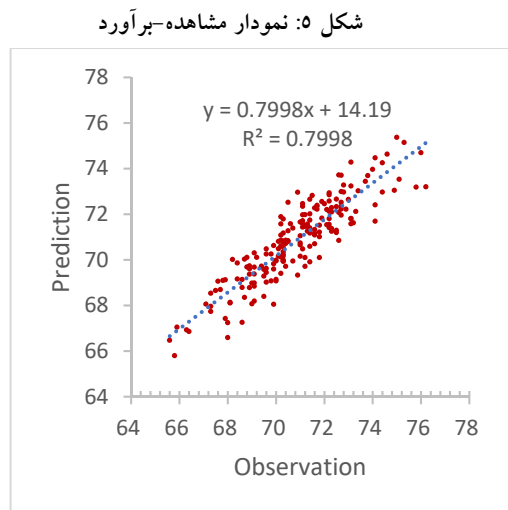


Fig. 5. Prediction-Observation chart

۵- نتیجه گیری و پیشنهادها

نتایج مدلسازی با توجه به جدول ۵ به شرح ذیل است:

۱. فاصله تاثیر به سزایی در میزان صوت دریافتی دارد. با افزایش فاصله از مرکز تقاطع میزان صوت دریافتی و در نتیجه آلودگی صوتی به شدت کاهش می یابد.
۲. با توجه به حجم بالای خودروهای سواری عبوری از تقاطع ولیعصر مشاهده می شود که تاثیر تعداد آن بر روی آلودگی صوتی نسبت به انواع دیگر خودروها در بیشتر رویکردها بیشتر است

۳. با توجه به اینکه تقاطع ولیعصر (عج) در مسیر ترمینال شهر قزوین واقع شده و بخش عمده ای از خطوط اتوبوسرانی این شهر به ترمینال می رسد و همچنین قرارگیری این تقاطع در ورودی شهر، تعداد وسایل نقلیه سنگین و نیمه سنگین عبوری از این تقاطع مشهود بوده که با توجه به حجم بالای موتورهای دیزلی و سر و صدای بالای آنها تاثیر به سزایی در آلودگی صوتی این تقاطع دارد. این تاثیر مثلاً برای خودروهای نیمه سنگین مثبت و به طور میانگین ۰/۵۳ برای افزایش هر یک وسیله است.

۴. از عوامل تاثیرگذار دیگر در افزایش آلودگی صوتی تاثیر زمانبندی زمان فاز سبز هر رویکرد است، همچنین استفاده از بوق توسط برخی رانندگان در زمان سبز به منظور آگاه کردن

پارامترها گزارش شده است که به وسیله این مقادیر می توان میزان تاثیر هر یک از پارامترهای نهایی باقیمانده در مدل را تشخیص داد. به منظور انجام آزمون t ، مقدار آماره t با درصد اطمینان ۹۵٪ (۰/۵ خطا) با استفاده از جداول آماری، برابر ۱,۶۵ می شود، بنابراین متغیرهای با مقادیر کمتر از ۱,۶۵ اصولاً باید از مدل حذف شوند مگر آنکه دلیل منطقی برای عدم حذف آن وجود داشته باشد.

جدول ۵. ضرایب مدل خطی-خروجی نرم افزار

Var	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		Sig.
	B	Std. Error	Beta	t	
Const.	67.923	.580		117.023	.000
Dist	-.041	.003	-.522	-14.225	.000
C ₁	.016	.003	.187	4.605	.000
M ₁	.117	.064	.090	1.833	.069
S ₁	.284	.139	.084	2.052	.042
T ₁	.525	.099	.215	5.283	.000
C ₂	.042	.007	.491	6.165	.000
M ₂	.047	.059	.041	.807	.421
S ₂	.641	.114	.219	5.602	.000
T ₂	.570	.119	.200	4.777	.000
C ₃	.028	.007	.322	4.174	.000
M ₃	.257	.064	.201	4.019	.000
S ₃	.534	.138	.148	3.862	.000
T ₃	.368	.131	.123	2.807	.006
C ₄	.014	.007	.153	1.976	.050
M ₄	.080	.055	.069	1.437	.153
S ₄	.643	.144	.176	4.473	.000
T ₄	.492	.099	.203	4.980	.000
GTD ₁ ×H	.082	.024	.162	3.425	.001
GT ₁	.044	.010	.356	4.470	.000

Table 5: Linear Model Coefficients- Software Output

در ادامه، شکل (۵) مربوط به نمودار پراکنش مدل بالا با مقدار شاخص برازندگی معمولی نشان داده شده است که نشان-دهنده دقت مناسب مدل برای پیش بینی مقدار آلودگی صوتی است. در این شکل محور افقی بیانگر مقدار تراز معادل صدای اندازه گیری شده و محور عمودی بیانگر مقادیر پیش بینی شده (برآورد شده) برای تراز معادل صدا است.

- Transportation Research Part D, 47, 149-161.
- [2] Golmohammadi, R., Abbaspour, M., Nassiri, P. and Mahjub, H. 2009 A Compact Model for Predicting Road Traffic Noise. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 6(3), 181-183.
- [3] Zhao, J., Ding, Z., Hu, B., Chen, Y. and Yang, W. 2015 Assessment and improvement of a highway traffic noise prediction model with Leq (20s) as the basic vehicular noise. *Applied Acoustics*, 97, 78-83.
- [4] Ramírez, A. and Domínguez, E. 2013 Modeling urban traffic noise with stochastic and deterministic traffic models. *Applied Acoustics*, 74(4), 614-621.
- [5] George, D. M. C. and Okeke, P. N. 2015 Applying mathematical modeling for predicting urban road traffic noise levels in Port Harcourt Metropolis, Nigeria, *Advances in Applied Science Research*, 6(7), 230-237.
- [6] Suthanaya, P. A. 2015 Modelling road traffic noise for collector road (case study of Denpasar City). *Procedia Engineering*, 125, 467-473.
- [7] Gardziejczyk, W. and Motylewicz, M. 2016 Noise level in the vicinity of signalized roundabouts. *Transportation Research Part D*, 46, 128-144.
- [8] Abo-Qudais, S. and Alhiary, A. 2007 Statistical models for traffic noise at signalized intersections. *Building and Environment*, 42(8), 2939-2948.
- [9] Jahandar, N., Hosseinpour, A. and Sahraei, M. A. 2012 Traffic noise under stop and go conditions in intersections—a case study. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 62, 465-468.
- [10] Peng, J., Parnell, J. and Kessissoglou, N. 2019 A six-category heavy vehicle noise emission model in free-flowing condition. *Applied Acoustics*, 143, 211-221.
- [11] Cai, M., Lan, Z. Zhang, Z. Wang, H. 2019 Evaluation of road traffic noise exposure based on high-resolution population distribution and grid-level noise data. *Building and Environment*, 147, 211-220.
- راننده نزدیکتر به تقاطع از جمله عوامل تاثیر گذار در آلودگی صوتی در محدوده تقاطع ولیعصر (عج) است.
۵. زمان سبز رویکرد شماره ۱ (و به تبع آن زمان قرمز رویکرد شماره ۴) و نیز تعداد بوق‌هایی که در این زمان به صدا در می‌آیند نویز را افزایش خواهند داد که شاید نتیجه‌ای بدیهی باشد، اما در این مطالعه تلاش شده است که شدت آن به دست آید.
۶. میزان زمان فاز سبز برای هر رویکرد در هر سیکل می‌تواند تاثیر به سزایی در افزایش نرخ حرکت گروهی خودروها برای عبور از تقاطع داشته و با توجه به اینکه بخشی از آلودگی صوتی تقاطع به دلیل شروع حرکت خودرو با نیروی موتور بیشتر است، عبور این گروه خودروها و عدم توقف در زمان فاز قرمز می‌تواند تاثیر زیادی در کاهش آلودگی صوتی در تقاطعات داشته باشد.
۷. از طرفی می‌توان برنامه زمان‌بندی تقاطع را به نفع عبور وسایل نقلیه سنگین و اتوبوس تغییر داد که البته این امر مستلزم ارائه و اجرای برنامه‌ریزی دقیق حرکت اتوبوس‌ها و وسایل نقلیه سنگین است.
۸. همچنین می‌توان محدودیت‌های ترافیکی برای عبور وسایل نقلیه سنگین و نیمه سنگین در طول روز و یا ساعات اوج ترافیک ارائه گردد و همین‌طور محدودیت‌هایی برای تردد موتورسیکلت در نواحی شهری با توجه به نوع وسیله و استانداردهای آلودگی آن در نظر گرفته شود.
- ## ۶- قدردانی
- از معاونت حمل‌ونقل شهرداری قزوین که در فرآیند انجام پروژه و در مراحل تهیه اطلاعات به ما یاری رساندند کمال تشکر را داریم.
- ## ۷- مراجع
- [1] Quiñones-Bolaños, E. E., Bustillo-Lecompte C. F. and Mehrvar, M. 2016 A traffic noise model for road intersections in the city of Cartagena de Indias, Colombia.

Modelling noise in an urban intersection (A case study: Qazvin)

Reza Eskandari¹, Amir Abbas Rassafi^{2*}, Hamid Reza Behnood³

1- M.Sc. Graduate of Transportation engineering, Imam Khomeini International University

2- Associate Professor, Faculty of Engineering, Imam Khomeini International University

3- Assistant Professor, Faculty of Engineering, Imam Khomeini International University

* rasafi@eng.ikiu.ac.ir

Abstract

Recent advances in technology of all disciplines bring some disadvantages, such as environmental problems just to name one among many. Environmental consequences of modernization could appear in different forms but generally speaking they are categorized to five major classes of air pollution, water contamination, soil contamination, warming and noise pollution. There has been a significant increase in noise pollution from man-made sources over the past 100 years, which now doubles every 10 years. Therefore, a rigorous evaluation of problem, useful engineering approaches as well as a thoughtful and meticulous planning decisions to control noise pollution and its harmful effects is an essential agenda for each community. Noise pollution that is different from other types of pollution due to its source and emission characteristics. In urban areas, the engine and exhaust system of cars, light trucks, buses and motorcycles is an important source of noise pollution, that have major environmental impacts. Traffic noise pollution is the most important source of environmental noise pollution in cities. The main objective of the paper is to find the relationships between noise and traffic characteristics, and also to examine the impact of each one separately, so that we can find out the importance of each variable in noise pollution we will find suitable solutions to reduce the noise pollution. In this study, which was carried out at one of the important intersections of Qazvin, data including equivalent sound level, the volume of vehicles by type, traffic light timing at picked up time, distance from picked up point to intersection center, number of honks at the time of picked up which is heard, that data was estimated at 94 points, Points were located at 10 m distance on the edge of the street and If there was an open space, points were expanded, and there were two picked up for each point. The followings are some of the most important results of the modeling: Distance has a great effect on the amount of sound received. By increasing the distance from the center of the intersection, the amount of noise received and as a result, noise pollution is drastically reduced. Proximity of intracity bus terminal as well as being at the entrance of the city, the number of heavy and semi-heavy vehicles passing through this intersection has worsened the situation of noise level. The green phase timing of each approach, and the use of horn by some drivers in green time to inform the driver closer to the intersection is one of the effective factors in noise pollution. In a nutshell, the results of modeling showed that the most important variables affecting the sound equivalent level includes the volume of vehicles, especially heavy and semi-heavy vehicles (with the impacts of 0.025, 0.125, 0.526, 0.489 for cars, motors, semi-heavy vehicles and trucks, respectively,) the green time of the approach 1 and the number horns honked in this period (with the impact of 0.05 dB per second, and .08 dB per honk, respectively), are the variables that influence the equivalent sound level at this intersection. For improvement of the intersection in terms of noise level, the intersection schedule can be changed in favor of the passage of heavy vehicles and buses, which of course requires the presentation and implementation of accurate planning of buses and heavy vehicles. It is also possible to provide traffic restrictions for the passage of heavy and semi-heavy vehicles during the day or during peak hours, as well as restrictions for motorcycle traffic in urban areas depending on the type of vehicle and its pollution standards.

Keywords: Sound level meter, Noise index, Weighted network, Sound pressure, Modeling of noise pollution.