نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال هفتم، شماره نخست، بهار ۱۳۹۸

Vol.7, No.1, Spring 2019

۱۴۵-۱۶۸

مقاله پژوهشی

مدلسازی مکانی انتشار آلودگی صوتی ناشی از حمل و نقل ریلی

علی کاظم زاده[۱]، ایلیا لعلی نیت[۲*]

۱- کارشناس ارشد سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تهران

۲- دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه خوارزمی تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۰۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۴/۲۵

چکیده

در دهه‌های اخیر افزایش جمعیت از یک سو و پیشرفت صنایع و تکنولوژی از سوی دیگر منجر به شکل‌گیری سکونتگاه‌های شهری بزرگ و فشرده شده است. وجود انواع سیستم‌های حمل و نقل و توسعه زیرساخت‌های شهری از جمله ویژگی‌های شهرهای امروزی محسوب می‌شود. توسعه زیرساخت‌ها و سیستم‌های حمل و نقل، علی‌رغم تسریع رفت و آمد و تسهیل فعالیت‌های روزمره، عامل بروز مسائل و مشکلات عدیده‌ای از جمله ترافیک، آلودگی هوا، آلودگی صوتی و غیره می‌باشد. آلودگی صوتی به عنوان یکی از مهمترین عوامل تهدید سلامت انسان، در دراز مدت می‌تواند موجب بروز آزردگی، اختلال خواب، سردرد، کاهش قدرت یادگیری و ادراک و ابتلاء به بیماری‌های قلبی و عروقی و فشار خون گردد. صوت در اثر طیف وسیعی از فعالیت‌ها و فرآیندها ایجاد می‌شود. از جمله مهم‌ترین منابع آلودگی صوتی می‌توان به ترافیک جادای و ریلی، نشست و برخاست هواپیماها، صنایع و کارگاه‌ها و اماکن تجمع و فعالیت افراد اشاره نمود. آگاهی از وضعیت انتشار آلودگی صوتی در محیط‌های شهری و شناسایی جمعیت در معرض خطر، اقدامات اولیه‌ای است که بایستی در برنامه‌ریزی‌ها از آن به عنوان اطلاعات پایه به منظور کاهش آسیب‌پذیری استفاده گردد. در حال حاضر تردد قطارها در طول خطوط ریلی، بعد از ترافیک جاده‌ای مهمترین عامل انتشار آلودگی صوتی محسوب می‌گردد. این امر بویژه در شهر بزرگی مانند تهران که مسیر ریل در مسافت زیادی از بین مناطق مسکونی عبور می‌کند اهمیت بیشتری می‌یابد. در این مطالعه با رویکردی مکانی، انتشار آلودگی صوتی ناشی از حمل و نقل ریلی در شهر تهران مدلسازی شد. به این منظور از استاندارد محاسبه و اندازه‌گیری آلودگی صوتی ناشی از ترافیک ریلی برای محاسبه تراز صدای تولید شده در منبع صوت (مسیر ریل) استفاده گردید. نحوه انتشار و تضعیف صوت در محیط نیز بر اساس روش ارائه شده در استاندارد ایزو ۹۶۱۳-۲ مدلسازی گردید. بر اساس نتایج به‌دست آمده، آلودگی صوتی با منبع ریلی در محدوده مورد مطالعه بین ۴۳ تا ۸۸ دسیبل *dB(A)* متغیر است. مقایسه تراز صدای برآورد شده با مقادیر اندازه‌گیری شده، *RMSE* ۳،۵ دسیبل را نشان می‌دهد. همپوشانی نقشه آلودگی صوتی با اطلاعات جمعیتی محدوده نشان می‌دهد که حدود ۲۰۰ هزار نفر در معرض آلودگی صوتی بیشتر از ۷۰ دسیبل و حدود ۷۳۰ هزار نفر در معرض آلودگی صوتی بیشتر از ۶۰ دسیبل قرار دارند. بدیهی است در صورت عدم برخورداری منازل مسکونی از عایق صوتی مناسب، سلامت جمعیت زیادی از ساکنین مجاور مسیر ریل با خطر جدی مواجه است..

کلیدواژه‌ها: آلودگی صوتی، حمل و نقل ریلی، مدلسازی مکانی، الگوریتم انتشار صوت.

*نویسنده مکاتبه کننده: تهران، خیابان شهید مفتح، نرسیده به دروازه دولت، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی

تلفن: ۰۹۳۹۰۲۹۷۰۳۵

Email : ilia_laali@yahoo.com

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-10]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.145]

۱- مقدمه

در طول دهه‌های اخیر پیشرفت‌های اقتصادی، اجتماعی و تکنولوژیک بسیاری در سرتاسر جهان اتفاق افتاده و منجر به افزایش شدید جمعیت ساکن در شهرها شده است [۱ و ۲]. این امر باعث توسعه زیرساختهای حمل و نقل و ایجاد مراکز صنعتی بزرگ شده، در نتیجه افزایش شدیدی در میزان انتشار امواج صوتی و سایر معضلات زیست‌محیطی اتفاق افتاده است [۳]. صوت در اثر ارتعاش مولکول‌های هوا و تغییرات مداوم فشار هوا بوجود می‌آید. امواج صوتی شکلی از امواج مکانیکی هستند که بصورت امواج طولی منتشر شده و ضمن برخورد با گوش، احساس شنیدن را ایجاد می‌کنند. امواج مکانیکی می توانند به‌صورت فرکانس‌های متفاوت در محیط منتشر شوند، اما محدوده فرکانس های قابل درک برای انسان بین ۲۰ تا ۲۰,۰۰۰ هرتز می‌باشد. واحد اندازه‌گیری صوت بر حسب دسیبل[1] (dB) و بر اساس تغییرات فشار هوا بیان می‌شود. دسیبل را می‌توان به‌صورت نسبت لگاریتمی فشار صدا بر کمترین صدایی که یک گوش سالم قادر به شنیدن آن باشد، تعریف نمود [۵]. آلودگی صوتی را می‌توان صدای ناخواسته‌ای دانست که موجب بر هم زدن آرامش در زمان استراحت و یا تمرکز افراد در حین انجام کار می‌شود. سیستم شنوایی انسان قادر است به تراز صدای ۱ تا ۱۲۰ دسیبل بدون احساس درد واکنش نشان دهد. امروزه مشکل آلودگی صوتی اهمیتی همچون گرمایش جهانی پیدا کرده است [۶]. در واقع آلودگی صوتی ناشی از ترافیک جاده‌ای به‌عنوان دومین عامل تهدیدکننده سلامت عمومی شناخته می‌شود [۷]. آلودگی صوتی به‌عنوان هر صدای ناخواسته‌ای که توسط فعالیت‌های انسان ایجاد شده و برای سلامتی و کیفیت زندگی انسان مضر و خطرناک باشد، تعریف شده است [۸]. به‌طور خاص آلودگی صوتی محیطی به سروصدایی اطلاق می‌شود که بر سلامت انسان تاثیر گذاشته و عموما توسط سیستم‌های حمل و نقل و مراکز صنعتی و سرگرمی ایجاد می‌شود [۵]. در نواحی شهری سروصدای ناخواسته (آلودگی صوتی) عمدتا از منابع حمل و نقل جاده‌ای ناشی می‌شود [۹]. اگرچه حمل و نقل ریلی، هوایی و صنایع نیز منابع مهمی در ایجاد آلودگی صوتی محسوب می‌شوند[۱۰، ۱۱ و ۱۲]. از این رو نگرانی‌های فزاینده‌ای در رابطه با تاثیر آلودگی صوتی بر سلامت انسان وجود دارد [۱۳]. قرار داشتن در معرض سروصدای محیط، عامل اصلی آزردگی، اختلال خواب، سردرد، سرگیجه، خستگی، کاهش قدرت ادراک و یادگیری در دانش‌آموزان و تاثیر بر سلامت انسان بویژه در ارتباط با بیماری‌های قلبی و عروقی و فشار خون محسوب می‌شود [۱۳، ۱۴ و ۱۵] . حمل و نقل ریلی یکی از مناسب‌ترین سیستم‌های حمل و نقل از نظر سازگاری با محیط زیست می‌باشد [۱۶]. اگرچه این نوع سیستم حمل و نقل نیز عاری از آلودگی نبوده و بر اساس گزارش اتحادیه اروپا مهم‌ترین مشکل سیستم حمل و نقل ریلی آلودگی صوتی بیش از حد آن است. آلودگی ناشی از ترافیک ریلی دومین منبع آلودگی صوتی محیطی محسوب می شود [۱۷]. با این وجود آزردگی ناشی از آلودگی صوتی ترافیک ریلی از هر دو نوع ترافیک جاده‌ای و هوایی کمتر است. بر اساس استاندارد ایزو ۱-۱۹۹۶ آلودگی صوتی ناشی از ترافیک ریلی باید بین ۳ تا ۶ دسیبل بیشتر باشد تا اینکه سطح آزردگی یکسانی با آلودگی صوتی ناشی از ترافیک جاده‌ای داشته باشد [۱۸]. این به‌دلیل پیوستگی و مداوم بودن جریان ترافیک جاده‌ای و در مقابل عدم مداومت و تردد کمتر قطار نسبت به ترافیک جاده‌ای است.

امروزه اندازه‌گیری تراز فشار صدا با دو رویکرد کلی انجام می‌شود. در رویکرد اول اندازه‌گیری‌ها در ایستگاه‌های ثابت یا سیار با استفاده از تجهیزات اندازه‌گیری صوت انجام می‌شود. این روش نیاز به صرف

[1] Decibel (dB(A))

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-10]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.145]

هزینه، زمان و نیروی انسانی زیادی برای اندازه‌گیری‌های مداوم دارد. از سوی دیگر در این رویکرد امکان انجام اندازه‌گیری در تمام نقاط و تهیه نقشه‌های پوششی مناسب فراهم نیست. رویکرد دوم برآورد تراز فشار صدا بر اساس استانداردها و الگوریتم‌های توسعه داده شده با توجه به ویژگی‌های منبع و عوامل موثر بر انتشار صوت است. اگرچه در این رویکرد به افراد آموزش دیده با دانش و مهارت کافی نیاز است، اما دارای مزایای زیادی از جمله کاهش هزینه و زمان و نیاز به نیروی انسانی کم است. از سوی دیگر در این رویکرد امکان تولید نقشه‌های پوششی آلودگی صوتی در محیط‌های مختلف وجود دارد. این امر دستیابی به شناخت و ادراک فضایی مناسب از وضعیت آکوستیکی محیط‌های شهری را امکان پذیر می‌سازد. این نقشه‌ها ابزاری قدرتمند برای تعیین جمعیت در معرض خطر آلودگی صوتی محسوب می‌شوند [۱۹]. به صورتی که از طریق همپوشانی اطلاعات جمعیتی با نقشه آلودگی صوتی امکان شناسایی جمعیت در معرض ریسک بالا فراهم می‌شود.

در این مطالعه بر اساس رویکرد دوم، آلودگی صوتی ناشی از شبکه حمل و نقل ریلی در شهر تهران مدلسازی می‌گردد. از ویژگی‌های این مطالعه می‌توان به جنبه مکانی بودن مدلسازی و تولید نقشه آلودگی صوتی اشاره کرد. از سوی دیگر در این مطالعه به‌منظور مدلسازی آلودگی صوتی استاندارد محاسبه و اندازه‌گیری آلودگی صوتی ناشی از ترافیک ریلی[1] (RMR) و استاندارد ایزو ۲-۱-۹۶۱۳ با یکدیگر تلفیق شده‌اند. استاندارد RMR به‌منظور محاسبه تراز فشار صدا در محل منبع صوت (مسیر خط ریل) و استاندارد ایزو ۲-۱-۹۶۱۳ به منظور مدلسازی انتشار و میرایی امواج صوتی در محیط مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین این مطالعه به ارزیابی و تعیین میزان آلودگی صوتی در محیط بیرون از قطار و در نواحی مسکونی مجاور خط ریل می‌پردازد.

۲- پیشینه تحقیق

طی دهه‌های اخیر، در اکثر کشورهای جهان توجه خاصی نسبت به مسئله صدا و آلودگی ناشی از آن بوجود آمده که منجر به تدوین آئین نامه‌ها و اجراء قوانین خاص مبارزه با آلودگی صوتی در آن کشورها شده است [۳، ۵ و ۲۰]. مطالعات زیادی نیز در این رابطه بویژه از دهه ۱۹۸۰ در کشورهای توسعه یافته انجام شده است. نقطه عطف این مطالعات را می‌توان تهیه استانداردهای مربوط به آلودگی صوتی توسط سازمان بین المللی استاندارد[2] (ISO) دانست. این سازمان در زمینه مطالعه، اندازه‌گیری، توسعه الگوریتم برای تخمین آلودگی صوتی و اقدامات لازم جهت کنترل و کاهش آلودگی صوتی، استانداردهای مختلفی تهیه نموده است. بر اساس این استانداردها کشورهای مختلفی به توسعه الگوریتم‌های انتشار صوت متناسب با شرایط خاص خود (ویژگی‌های منابع انتشار صوت و شرایط اتمسفری) پرداخته‌اند [۵]. در بریتانیا روشی برای محاسبه آلودگی صوتی ناشی از ترافیک جاده‌ای[3] (CRTN) توسعه داده شده است [۱۳]. در ایالات متحده اداره فدرال بزرگراه[4] مدلی برای تخمین آلودگی صوتی ناشی از ترافیک[5] (TNM) توسعه داده است [۵]. در کشورهای اروپایی روشی برای محاسبه آلودگی صوتی ناشی از ترافیک جاده‌ای با نام روش مرسوم ارزیابی آلودگی صوتی در اروپا[6] (CNOSSOS-EU) توسعه داده شده است [۲۱]. علاوه بر الگوریتم‌های

[1] Reken-en Meetvoorschrift Railverkeerslawaai (Calculation and Measurement Regulations Rail Traffic Noise)

[2] International standard organization
[3] Calculation of road traffic noise (CRTN)
[4] Federal highway administration (FHWA)
[5] Traffic noise model
[6] Common Noise Assessment Methods in Europe

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-10]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.145]

توسعه داده شده برای مدلسازی انتشار صوت از منابع جاده‌ای، الگوریتم‌هایی نیز برای مدلسازی انتشار صوت از منابع ریلی [۲۲]، هوایی [۲۳] و منابع صنعتی [۳۰] توسعه داده شده است. این الگوریتم‌ها با در نظر گرفتن ویژگی‌های متفاوت منبع انتشار توسعه یافته‌اند. استاندارد RMR استانداری است که در هلند مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۲]. این استاندارد با تقسیم بندی قطارها به گروه‌های مختلف تراز صدای منتشر شده از آنها را مدلسازی می‌کند.

در سالهای اخیر مطالعات متعددی در زمینه آلودگی صوتی با اهداف و رویکردهای مختلف انجام شده است که اکثر آنها از استانداردها و الگوریتم‌های ذکرشده برای ارزیابی و مدلسازی آلودگی صوتی استفاده کرده‌اند. در شهر کوریتیبا[1] برزیل از آنجا که مسیر ریل از داخل شهر عبود می‌کند جمعیت زیادی را در معرض نویز قرار می‌دهد. بنابراین مطالعه‌ای در این شهر به منظور ارزیابی تراز صدا و تولید نقشه آلودگی صوتی انجام شد. با شناخت حاصل شده از این مطالعه پیشنهاداتی شامل استفاده از قطارهای مناسب و ایجاد مانع صوتی در بخش‌هایی از مسیر ریل به‌منظور کاهش آلودگی صوتی ارائه شد [۲۴]. نقش خودروهای الکتریکی در آلودگی صوتی ترافیک جاده‌ای در پژوهشی مورد مطالعه قرار گرفته است [۲۵]. خودروهای الکتریکی به خاطر سازگاری با محیط زیست بهتران جایگزین خودروهای رایج محسوب می‌شوند. از اینرو افزایش استفاده از این خودروها می‌تواند به کاهش آلودگی صوتی شهرها کمک کند. اما این نوع خودروها نیز بخشی از ترافیک محسوب می‌شوند و بر آلودگی صوتی کلی تاثیر می‌گذارند. در این مطالعه از طریق فرآیندی تجربی آلودگی صوتی ناشی از این نوع خودروها مدلسازی شده است. در مطالعه‌ای نقشه‌های آلودگی صوتی با دیدگاه مردم شهر پوزان[2] نسبت به مسئله آلودگی صوتی در محیط زندگی آنها مقایسه شده است. نتایج حاصل شده نشان داد که فراتر رفتن تراز صدا از حد مجاز برای یک منبع صوت، ضرورتا به این معنا نیست که آزار دهنده ترین منبع برای ساکنین مجاور است. آنها دریافتند زمانی‌که بیشتر از یک منبع صدا در محلی وجود دارد، می‌تواند شرایط آزار دهنده‌تری ایجاد شود. اگاهی از دیدگاه ساکنین مجاور، در شناسایی و تعیین اولویت برای حذف منبع آزارنده می‌تواند مفید باشد [۲۶]. روش‌های درونیابی نیز به‌عنوان رویکردی برای تهیه نقشه آلودگی صوتی همواره مورد استفاده بوده است. هرمن[3] و همکاران کارایی روشهای درونیابی معکوس فاصله[4]، کریجنینگ[5] و درونیابی چند وجهی[6] را برای تولید نقشه آلودگی صوتی ارزیابی کرده‌اند. در بین سه روش استفاده شده، روش کریجینگ کارایی و دقت بهتری داشته است [۲۷]. مطالعات دیگری به ارزیابی تغییر آلودگی صوتی در بازه‌های زمانی کوتاه مدت پرداخته اند. زامبن[7] و همکاران نقشه‌های آلودگی صوتی را به عنوان ابزاری قدرتمند برای تعیین جمعیت در معرض آلودگی صوتی معرفی کرده‌اند. آنها به‌منظور تسهیل به روز رسانی نقشه‌های آلودگی صوتی شهری مدلی را طراحی کردند که به‌صورت آنی تراز صدا را در سطح خیابان اندازه‌گیری کرده و با نقشه آلودگی صوتی ترکیب می‌کنند [۱۹]. در مطالعه‌ای دیگر تغییرات آلودگی صوتی در بازه‌های زمانی کوتاه مدت مورد مطالعه قرار گرفت. از آنجا که تغییرات تراز صدا در طی ساعات روز می‌تواند تاثیرات متفاوتی در اختلال خواب و آزردگی صوتی داشته باشد، مدلی به‌منظور

[1] Curitiba

[2] Poznan
[3] Harman
[4] IDW
[5] Kriging
[6] Multiquadratic
[7] Zambon

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-10]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.145]

به‌روز رسانی نقشه آلودگی صوتی با فاصله زمانی ۱۵ دقیقه بر اساس اندازه‌گیری‌های مکرر پیشنهاد گردید [۲۸].

در ایران بیشتر مطالعات به صورت توصیفی به مطالعه آلودگی صوتی پرداخته‌اند و برخی نیز به‌صورت تجربی به دنبال بررسی ارتباط آلودگی صوتی با سلامت انسان بویژه در ارتباط با فشار خون و بیماری‌های قلبی و عروقی بوده‌اند. از جمله مطالعات انجام شده می‌توان به مطالعه تاثیر آلودگی صوتی بر سلامت انسان [۲۹ و ۳۰]، ارزیابی و اندازه گیری آلودگی صوتی در فضای باز [۳۱ و ۳۲]، ارزیابی آلودگی صوتی در محیط‌های بسته (کارگاه ها یا کارخانه‌ها) [۳۳ و ۳۴]، نقش فضای سبز در کاهش آلودگی صوتی [۳۵]، نقش برنامه‌ریزی کالبدی در کاهش آلودگی صوتی [۳۶] و تهیه نقشه آلودگی صوتی با استفاده از روش‌های درونیابی اشاره نمود [۳۷]. در ادامه مطالعاتی که در ایران و بویژه در تهران در رابطه با آلودگی صوتی انجام شده به‌طور اجمالی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

کیانی صدر و همکاران در مطالعه‌ای به بررسی آلودگی صوتی شهر خرم آباد و ارائه راهکارهای اجرایی برای کنترل و کاهش آن پرداخته اند. آنها با اندازه‌گیری میزان تراز صدا در ۳۸ ایستگاه و با درونیابی مقادیر اندازه‌گیری شده در نرم‌افزار ArcGIS نقشه آلودگی صوتی شهر خرم آباد را تهیه کرده‌اند [۳۸]. در مطالعه‌ای دیگر فتحی و همکاران با اندازه‌گیری و درونیابی آلودگی صوتی، نقشه آلودگی صوتی بخش‌هایی از مناطق ۵ و ۶ شهر تهران را تهیه و با یکدیگر مقایسه کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که آلودگی صوتی در منطقه ۶ بیشتر بوده است. همچنین در هر دو منطقه، تراز فشار صدا در کاربری تجاری بیشتر از کاربری مسکونی بوده است [۳۹]. آلودگی صوتی در منطقه ۱۴ تهران از طریق اندازه‌گیری تراز صدا در نقاط مختلف این منطقه ارزیابی شده و با درونیابی داده های اندازه گیری شده نقشه پهنه بندی آلودگی صوتی تهیه شده است. اندازه گیری‌های انجام شده تفاوت تراز صدا را در روزهای کاری و روزهای پایان هفته نشان می‌دهد. مقایسه نتایج این مطالعه با استاندارد آلودگی صوتی ایران نشان دهنده بالا بودن تراز فشار صدا از حد استاندارد است [۴۰]. حمیدی و همکاران در مطالعه ای به بررسی آلودگی صوتی در راه آهن شهری و حومه تهران پرداخته‌اند. در این مطالعه وضعیت صدا در کابین راهبرها و داخل واگن مسافری قطارهای متروی تهران و حومه پرداخته شده است. به این منظور آنها تراز صدا را در قطارهای خطوط مختلف متروی شهر تهران طی یک هفته در ۳۵۴ نقطه اندازه‌گیری کرده‌اند. نتایج این‌مطالعه نشان می دهد که تراز صدا در داخل واگن‌ها (۷۱.۹ دسیبل) بیشتر از حد استاندارد (۶۵ دسیبل) و در داخل کابین راهبر قطار (۷۳.۳ دسیبل) کمتر از حد استاندارد (۸۵ دسیبل) است [۴۱]. تاثیر سروصدای ناشی از تردد هواپیماها در نواحی اطراف فرودگاه مشهد به‌عنوان یکی از منابع اصلی ایجاد آلودگی صوتی در این شهر مورد مطالعه قرار گرفته است. در این مطالعه به‌روش تحلیل آماری اطلاعات حاصل از پرسشنامه، میزان تاثیرگذاری آلودگی صوتی بر اختلال خواب، بیماری‌های جسمی، استرس، و بیماری روحی، تداخل در گفتار، ترس از برخورد و تاثیر بر قیمت املاک بررسی شده است [۴۲]. ایمان پور و همکاران در پژوهشی به برآورد سطح آلودگی صوتی در محدوده بزرگراه کردستان (تهران) و ارائه راهکارهای مدیریتی جهت کاهش آن پرداخته است. در این مطالعه با استفاده از نرم افزار Sound plan آلودگی صوتی در نواحی اطراف این بزرگ راه مدلسازی و نقشه آن تهیه شده است [۴۳]. رنجبر و همکاران بر اساس مدل نویز مورد استفاده در آلمان (SMM1) به مدلسازی سه بعدی آلودگی صوتی در شهر تهران پرداخته‌اند. در واقع در این مطالعه مدل نویز با مدل سه بعدی شهر در محیط GIS تلفیق شده و میزان تراز فشار صدا در طبقات بالایی ساختمان های مجاور بزرگراه برآورد گردیده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده،

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-10]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.145]

ساخت دیوار صوتی شفاف سرکج به ارتفاع ۷ متر در فاصله نزدیک به لبه بیرونی بزرگراه به‌عنوان راهکاری موثر برای کاهش نویز پیشنهاد شده است [۴۴].

به‌طورکلی مطالعات انجام شده در رابطه با آلودگی صوتی را از نظر روش ارزیابی و اندازه گیری می‌توان در سه گروه مجزا طبقه بندی نمود. گروه اول مطالعاتی هستند که با استفاده از تجهیزات اندازه‌گیری صوت، تراز صدا را در نقاط معین اندازه‌گیری و ثبت نموده‌اند. هدف عمده این نوع مطالعات ارزیابی تراز فشار صدا در مقایسه با حدود مجاز استاندارد آلودگی صوتی و بررسی تاثیر آلودگی صوتی بر سلامت انسان در محیط‌های مختلف شهری، کارگاهی و یا در داخل وسایل حمل و نقل مانند قطار بوده است. این نوع مطالعات صرفا به‌صورت آماری انجام شده و به‌دنبال تعیین رعایت یا عدم رعایت حد مجاز آلودگی صوتی بوسیله یک منبع مشخص (کارگاه و صنایع، ترافیک، قطار و غیره) در مکانی معین بوده‌اند. گروه دوم شامل مطالعاتی هستند که از طریق درونیابی داده‌های اندازه‌گیری شده در محیط سیستم اطلاعات مکانی به دنبال پهنه‌بندی آلودگی صوتی در محدوده جغرافیایی معین و تجزیه و تحلیل مکانی آن بوده‌اند. خروجی این مطالعات به صورت نقشه آلودگی صوتی ارائه شده است. اما از آنجاکه پارامترهای زیادی بر نحوه انتشار صوت از منبع به محیط مجاور آن تاثیر می‌گذارند، روش‌های درونیابی نمی‌توانند خروجی قابل اعتمادی فراهم کنند. در واقع در این مطالعات نقش عواملی که موجب میرایی یا تضعیف صوت می‌گردد همانند تاثیر واگرایی هندسی با فاصله گرفتن از منبع، جذب اتمسفری، اثر سطح زمین و جذب صوت توسط پوشش زمین نادیده گرفته شده است. هر یک از این عوامل با توجه به ویژگی‌های محل منبع صوت و گیرنده (هر نقطه دلخواه در محدوده جغرافیایی مورد مطالعه) و موقعیت و فاصله گیرنده نسبت منبع، تاثیر متفاوتی بر میزان میرایی صوت خواهند داشت. از اینرو می توان گفت درونیابی داده‌های اندازه‌گیری شده، خروجی صحیحی از وضعیت آلودگی صوتی ارائه نمی‌دهد. اما گروه سوم مطالعاتی هستند که به مدلسازی مکانی آلودگی صوتی بر اساس استانداردها و الگوریتم‌های ارائه شده از سوی مراجع معتبر مانند ایزو[1] می‌پردازند. از آنجاکه ویژگی‌های صوت و پارامترهای موثر بر انتشار و میرایی صوت در این استانداردها لحاظ شده است، نتایج این نوع مطالعات امکان شناختی صحیح از وضعیت آلودگی صوتی در محیط‌های مختلف فراهم می‌کنند. با توجه به پیچیدگی و نیاز به دانش و مهارت فنی کافی و همچنین نیاز به وجود داده‌های دقیق در پیاده‌سازی این الگوریتم‌ها، مطالعات کمتری (بویژه در ایران) با استفاده از این رویکرد به مطالعه و ارزیابی آلودگی صوتی پرداخته‌اند. مطالعات انجام شده در این زمینه نیز در ایران عمدتا به مدلسازی آلودگی صوتی ناشی از ترافیک جاده‌ای پرداخته [۴۳ و ۴۴] و سایر منابع آلودگی صوتی شامل حمل و نقل ریلی و هوایی و منابع صنعتی و کارگاهی مورد توجه قرار نگرفته‌اند.

از این‌رو این مطالعه استفاده از الگوریتم‌های انتشار صوت را که بر اساس ویژگی‌های منبع و عوامل موثر بر انتشار صوت به مدلسازی آلودگی صوتی می‌پردازند، مورد توجه قرار داده است. از سوی دیگر با توجه به اهمیت منابع مختلف آلودگی صوتی، در اینجا منبع ریلی که در مطالعات انجام شده به‌ویژه در ایران کمتر مورد توجه بوده است، مورد مطالعه قرار گرفته است. هدف این مطالعه (برخلاف مطالعه انجام شده در متروی تهران که تراز صدای داخل واگن‌ها و کابین راهبر قطار را اندازه‌گیری کرده است[۴۱])، مدلسازی مکانی آلودگی صوتی در محیط اطراف خط ریل و تعیین جمعیت در معرض خطر آلودگی صوتی بالا در نواحی مسکونی مجاور راه آهن تهران می‌باشد.

[1] International standard organization

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-10]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.145]

۳- متدولوژی

در این بخش الگوریتم‌های مورد استفاده برای محاسبه تراز فشار صدا در منبع (استاندارد RMR) و مدلسازی انتشار و میرایی آلودگی صوتی (استاندارد ایزو ۹۶۱۳-۲) در محیط مجاور بیرون از قطار، تشریح می‌شود. تراز فشار صدا در محل منبع صوت بر اساس پارامترهایی نظیر نوع قطار، سرعت، میانگین تعداد تردد و غیره محاسبه می شود. از سوی دیگر انتشار مکانی آلودگی صوتی بر اساس ویژگی‌های هندسی منبع صوت، پارامترهای مکانی، شرایط اقلیمی و جنس و پوشش زمین مدلسازی می‌گردد. این الگوریتم می‌تواند برای برآورد تراز فشار صدا در موقعیت تعداد معینی از نقاط دلخواه (گیرنده) مورد استفاده قرار گیرد. همچنین می‌توان به‌منظور تهیه نقشه پوششی کامل آلودگی صوتی ریلی در محدوده جغرافیایی معین از این الگوریتم استفاده کرد.

۳-۱- الگوریتم محاسبه انتشار آلودگی صوتی ناشی از منابع ریلی

انتشار آلودگی صوتی از هر منبعی در دو مرحله محاسبه می‌گردد. ابتدا بر اساس ویژگی‌های منبع صوت، میزان تولید صدا در محل منبع محاسبه می‌شود. سپس با توجه به ویژگی‌های محیط انتشار، نحوه انتشار و تضعیف صوت با استفاده از الگوریتم جداگانه‌ای در محیط باز محاسبه می‌گردد. تراز فشار صدا در موقعیت گیرنده (L_p) با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود [۵]. تراز فشار صدا میزان صدا در واحد دسیبل است که از یک یا چند منبع صوت مشخص، به گیرنده یا فردی در فاصله معین از منبع می‌رسد.

$$L_p = L_w - A_{tot} \quad [dB(A)]$$

رابطه (۱)

در اینجا، L_w تراز فشار صدا در محل منبع صوت و A_{tot} تضعیف کلی صوت را در مسیر بین منبع صوت تا گیرنده (فاصله دلخواه از منبع) نشان می‌دهد [۵]. dB(A) واحد اندازه گیری صوت (دسیبل) است که در همه روابط موجود در متن این مطالعه به این صورت ارائه شده است. در ادامه نحوه محاسبه Lw و Atot به ترتیب در بخش های ۳-۳-۱ و ۳-۳-۲ شرح داده شده است.

۳-۱-۱- محاسبه تراز فشار صدا در محل منبع (مجاورت خط ریل)

نوفه ناشی از حرکت چرخ‌ها روی ریل[1]، منبع اصلی تولید صدا است و در سرعت بین ۳۰ تا ۲۰۰ کیلومتر در ساعت، بر سایر صداهای تولید شده توسط قطار چیره می‌شود [۴۵]. این نویز در اثر تعامل چرخ‌های قطار و سطح ریل تولید می‌شود. روش‌های محاسبه نوفه ناشی از منبع ریلی تا حدودی با روش‌های مورد استفاده برای نوفه ناشی از ترافیک جاده‌ای متفاوت است. به‌طورکلی سطوح تولید نوفه (ساطع شدن) بر اساس نوع قطار به چند کلاس نقسیم‌بندی می‌شود که نسبت به ترافیک جاده‌ای تنوع بیشتری دارد. اگرچه مدلهای محاسبه میزان نوفه خارج شده از منابع ریلی متنوع‌اند، اما مدل انتشار از همان اصول مورد استفاده در مدلهای انتشار ترافیک جاده‌ای، پیروی می‌کند. RMR استاندارد آلودگی صوتی با منبع ریلی است که در هلند مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۲]. در این استاندارد دو روش متفاوت برای محاسبه آلودگی صوتی ارائه شده است. روش اول شامل محاسبات ساده‌تری است، ولی روش دوم جزئیات بیشتری را برای محاسبه آلودگی صوتی در نظر می‌گیرد. مدل انتشار RMR قطارها را به ۱۰ نوع یا گروه تقسیم می‌کند که عموما از نظر سیستم ترمز چرخ‌ها و واحد رانش[2]

[1] Rolling Noise

[2] Drive unit

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-10]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.145]

متفاوت هستند. مشخصات این ۱۰ گروه قطار بر اساس استاندارد مذکور مطابق با جدول (۱) می‌باشد. قطارهای موجود در سیستم حمل و نقل ریلی ایران، در گروه‌های ۲، ۴، ۷ و ۹ اشاره شده در جدول (۱) قرار می‌گیرند. قطارهای بررسی شده در این مطالعه شامل قطارهای مسافربری، باری، حومه‌ای و ترنست هستند که به‌ترتیب با گروه‌های ۲، ۴، ۷ و ۹ در جدول (۱) همخوانی دارند

جدول ۱: انواع مختلف قطار [۲۲]

گروه	توصیفات
۱	قطارهای مسافر بری با سیستم ترمز مانع چدنی[1]
۲	قطارهای مسافربری با سیستم ترمز مانع چدنی و ترمز صفحه‌ای[2]
۳	قطارهای مسافر بری با سیستم ترمز صفحه‌ای
۴	قطارهای باری با سیستم ترمز مانع چدنی
۵	قطار های دیزیل با سیستم ترمز مانع چدنی
۶	قطار های دیزیل با سیستم ترمز صفحه‌ای
۷	قطارهای حومه‌ای و تراموای سریع (قطارهای برقی) با سیستم ترمز صفحه‌ای
۸	قطارهای شهری و سرعت پایین با سیستم ترمز صفحه‌ای
۹	قطارهای با سرعت بالا با سیستم ترمز صفحه‌ای و ترمز مانع چدنی
۱۰	قطارهای با سرعت بالا از نوع ICE-3 (M) (HST East)

از این گروه‌ها برای برآورد مقدار صدای ایجاد شده، E، برای هر نوع وسیله نقلیه ریلی استفاده می‌شود. ذکر این نکته ضروری است که مقدار صدای خارج شده از منبع، معادل قدرت صوت در واحد طول یا سطح فشار صدا در فاصله‌ای مشخص نیست، بلکه عددی است که به‌عنوان یک ورودی، برای برآورد میانگین آلودگی صوتی در بازه‌ای بلند مدت و در موقعیت گیرنده (با فاصله مشخص از منبع) به مدل وارد می‌شود [۴۶]. میزان صدای تولید شده با استفاده از رابطه (۲ و ۳) محاسبه می‌شود [۲۲].

$$E_{nr,c} = a_c + b_c \log_{10} v_c + 10\log_{10} Q_c + C_{b,c} \quad [dB(A)]$$ رابطه (۲)

$$E_{r,c} = a_{r,c} + b_{r,c} \log_{10} v_c + 10\log_{10} Q_{r,c} + C_{b,c} \quad [dB(A)]$$ رابطه (۳)

در اینجا ؛ $E_{nr,c}$ میزان صدای ایجاد شده در هر گروه از وسایل حمل و نقل ریلی برای قطارها در حالت غیر فعال بودن سیستم ترمز، $E_{r,c}$ میزان صدای ایجاد شده برای قطارها در حالت فعال بودن سیستم ترمز و c نوع قطار است ($E_{nr,c}$ و $E_{r,c}$ معادل تراز فشار صدا در محل منبع صوت L_w ذکرشده در رابطه (۱) هستند).

a_c، b_c، $a_{r,c}$ و $b_{r,c}$ مقادیر ثابتی هستند که در استاندارد مذکور آمده است. مقادیر ثابت مذکور برای قطارهای موجود در سیستم حمل و نقل ریلی ایران در جدول (۲) آمده است. این مقادیر ثابت که در استاندارد RMR ذکر شده است، به‌صورت تجربی از اعمال روابط رگرسیونی بر داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های

[1] Block braked (cast-iron brakes)
[2] Disc braked

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-10]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.145]

میدانی به‌دست آمده است. Q_c تعداد میانگین قطار (با سیستم ترمز غیر فعال) در هر یک از گروه‌های ده‌گانه در بازه زمانی دلخواه، $Q_{r,c}$ تعداد میانگین قطار (با سیستم ترمز فعال) در هر یک از گروه‌های ده‌گانه و v_c سرعت متوسط قطار (کیلومتر بر ساعت) است. $C_{b,c}$ یک فاکتور تصحیح است که تابعی از نوع (گروه) قطار و نوع ریل است. این فاکتور برای تمام قطارهایی که روی خطوط ریلی نوع اول (خط ریل با یک قطعه یا دو قطعه (متصل) با زیرسازی شن و ماسه) تردد می‌کنند برابر با صفر است. بنابراین این نوع ریل می‌تواند به‌عنوان ریل مرجع استاندارد در نظر گرفته شود [۲۲]. مقادیر مربوط به انواع خطوط ریل در استاندارد مذکور ارائه شده است.

جدول ۲: مقادیر ثابت انتشار برای انواع مختلف قطار [۲۲]

گروه، C	سیستم ترمز غیر فعال		سیستم ترمز فعال	
	ac	bc	ar,c	br,c
۲	۱۸٫۸	۲۳٫۳	۱۹٫۶	۲۳٫۹
۴	۲۴٫۳	۲۰	۲۳٫۸	۲۲٫۴
۷	۱۸	۲۲	۱۸	۲۲
۹	۲۲	۱۸٫۳	۲۲	۱۸٫۳

میانگین و حداکثر سرعت برای انواع قطارها مشخص است. اما هنگام شروع حرکت و در زمان توقف قطار، سرعت متغیر بوده و در فواصل مشخص از مبدأ تغییر می‌کند. برای محاسبه سرعت قطار در فواصل مشخص از مبدا حرکت از رابطه (۴ و ۵) استفاده می‌شود

$$v^2 = 2ax \iff v = \sqrt{2ax}$$

رابطه (۴)

در اینجا؛ v سرعت حداکثر (متر بر ثانیه)، a شتاب و x فاصله از مبدا می‌باشد. شتاب عبارت است از نسبت تغییرات سرعت (متر بر ثانیه) به تغییرات زمان (زمان مورد نیاز رسیدن به حداکثر سرعت (ثانیه)). فاصله از مبدا که در آن سرعت به حداکثر می‌رسد با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود. در اینجا سرعت اولیه (در زمان شروع حرکت قطار) صفر در نظر گرفته شده است

$$x = \frac{v^2}{2a}$$

رابطه (۵)

۳-۱-۲- محاسبه میزان تضعیف[1] (میرایی) صوت در محیط انتشار (محل گیرنده)

هنگامی‌که صدا از یک منبع در فضای باز منتشر می‌شود، توسط مکانیسم‌های میرایی مختلف تضعیف می‌شود. روش‌های محاسباتی مختلفی برای برآورد میزان تضعیف صدا استفاده می‌شود. به‌طورکلی در هر یک از روش‌های محاسبه مجموعه‌ای از روابط تئوریک و تجربی تعریف می‌شود و فرآیند تعیین تراز صدا در منبع و نحوه تضعیف آن در هنگام انتشار بر اساس آن تنظیم می‌شود. اگرچه روش‌های مختلف دارای تفاوت‌های اندکی هستند، اما همه آنها در فرآیند عمومی انتشار صوت با یکدیگر مطابقت دارند. در اینجا میرایی صوت

[1] Attenuation

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-10]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.145]

در هنگام انتشار بر اساس استاندارد ایزو ۹۶۱۳-۲ مدلسازی شده است. میرایی کلی (A_{tot}) حاصل مجموع میرایی ناشی از عوامل مختلف است و با استفاده از رابطه (۶) قابل محاسبه است [۵]. در اینجا، A_{tot} میرایی یا تضعیف کلی، A_{div} میرایی ناشی از واگرایی هندسی، A_{atm} میرایی ناشی از جذب اتمسفری، A_{ground} میرایی ناشی از اثر سطح زمین، $A_{diffraction}$ میرایی ناشی از انکسار یا پراکنش صوت و A_{cov} میرایی ناشی از جذب پوشش زمین است [۵]. dB(A) واحد اندازه‌گیری صوت (دسیبل) است.

$$A_{tot} = A_{div} + A_{atm} + A_{ground} + A_{diffraction} + A_{\mathrm{cov}} \quad [dB(A)]$$

رابطه (۶)

۳-۱-۲-۱- واگرایی هندسی

وقتی صوت از منبعی منتشر می‌شود، در طول مسیر، انرژی آن حفظ می‌شود؛ اما در محدوده وسیع‌تری پراکنده می‌شود. در مورد منبع نقطه‌ای، با انتشار یکسان صوت در همه جهات، انرژی منبع در سطحی کروی به مساحت $4\pi r^2$ پراکنده می‌شود. میرایی ناشی از واگرایی هندسی (A_{div}) با استفاده از رابطه (۷) محاسبه می‌شود [۵]

$$A_{div} = 10\log_{10}(4\pi r^2) \quad [dB(A)]$$

رابطه (۷)

در اینجا؛ r فاصله منبع تا گیرنده را نشان می‌دهد. در استاندارد ایزو ۹۶۱۳-۲ پارامتر واگرایی هندسی به‌صورت رابطه (۸) ارائه شده است. این رابطه معادل با رابطه (۷) است؛ زمانی‌که r = d و d0 = 1 m باشد [۵]. به‌عبارت دیگر برای فواصل معین نتیجه رابطه (۷ و ۸) یکسان است. و هر کدام از این روابط می‌تواند برای محاسبه میرایی ناشی از واگرایی هندسی در منابع نقطه‌ای مورد استفاده قرار گیرد

$$A_{div} = 20\log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right)+11 \quad [dB(A)]$$

رابطه (۸)

از آنجا که ریل منبعی خطی است، نحوه انتشار صوت به‌اطراف، با منبع نقطه‌ای متفاوت است. در منابع خطی امواج صوتی به صورت استوانه‌ای منتشر می‌شوند [۵]. در منابع خطی، تضعیف ناشی از واگرایی هندسی یا فاصله اریب بین منبع (مسیر ریل) و گیرنده با استفاده از رابطه (۹) محاسبه می‌شود [۱۳].

$$A_{div} = -10Log_{10}(d'/13.5) \quad [dB(A)]$$

رابطه (۹)

d' کوتاه‌ترین فاصله اریب بین منبع و گیرنده (هدف) می‌باشد و از رابطه (۱۰) قابل محاسبه است [۱۳]

$$d' = \left[\left(d+3.5\right)^2 + h^2\right]^{0.5}$$

رابطه (۱۰)

در اینجا؛ d کوتاه‌ترین فاصله بین منبع و گیرنده و h اختلاف ارتفاع منبع و گیرنده در روی زمین است. ضریب تصحیح فاصله یا میرایی ناشی از واگرایی هندسی (A_{div}) تنها جایی که $d \geq 4m$ باشد قابل استفاده است. جایی که d کوچکتر از ۴ متر ($d < 4m$) باشد، برابر با ۴ در نظر گرفته می‌شود.

۳-۱-۲-۲- میرایی ناشی از جذب اتمسفری

میرایی ناشی از جذب اتمسفری با استفاده از رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود

$$A_{atm} = -\frac{\alpha d}{1000} \quad [dB(A)]$$

رابطه (۱۱)

در اینجا؛ α ضریب میرایی مستخرج از استاندارد ایزو ۹۶۱۳-۲ و d فاصله از منبع تا گیرنده است [۴۷]. این ضریب (α) بر اساس فرکانس صوت، درجه حرارت، رطوبت و فشار هوا با استفاده از رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود [۴۸].

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-10]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.145]

رابطه (۱۲)

$$\alpha = 869 \times f \left\{ 1.84 \times 10^{-11} \left(\frac{T}{T_0}\right)^{1/2} + \left(\frac{T}{T_0}\right)^{-5/2} \left[0.01275 \frac{e^{-2239.1/T}}{F_{r,O} + f^2 / F_{r,O}} + 0.1068 \frac{e^{-3352/T}}{F_{r,N} + f^2 / F_{r,N}} \right] \right\}$$

$$F_{r,O} = 24 + 4.04 \times 10^4 h \frac{0.02 + h}{0.391 + h}$$

$$F_{r,N} = \left(\frac{T}{T_0}\right)^{-1/2} \left(9 + 280h \times e^{\left\{ -4.17 \left[\left(\frac{T}{T_0}\right)^{-1/3} - 1 \right] \right\}} \right)$$

در اینجا؛ f فرکانس صوت، T دمای هوا در واحد کلوین، T_0 ۲۹۳.۱۵ درجه کلوین و h رطوبت نسبی (به درصد) است [۴۸].

۳-۱-۲-۳- میرایی ناشی از اثر سطح زمین

میرایی ناشی از اثر سطح زمین عمدتا حاصل انعکاس صدا در نتیجه برخورد امواج صوتی با سطح زمین و پدیده‌ها و موانع موجود بین منبع صوت و گیرنده است. انحنای متمایل به پایین در مسیر انتشار امواج، باعث می‌شود که این نوع میرایی عمدتا در نزدیک منبع و گیرنده اتفاق بیافتد. بنابراین میرایی ناشی از اثر سطح زمین در سه ناحیه مجزا اتفاق می‌افتد [۴۷].

۱- ناحیه منبع[1]: این ناحیه، از محل منبع تا فاصله $30h_s$ متر دورتر از منبع به سمت گیرنده را شامل می‌شود. h_s ارتفاع منبع است.

۲- ناحیه گیرنده[2]: این ناحیه، فاصله گیرنده تا $30h_r$ متر قبل از رسیدن به گیرنده را شامل می‌شود. h_r ارتفاع گیرنده است.

۳- ناحیه میانی[3]: این ناحیه بین ناحیه منبع و ناحیه گیرنده امتداد می‌یابد. اگر فاصله منبع تا گیرنده کوچکتر از مسافت ناحیه منبع و ناحیه گیرنده باشد، این دو ناحیه همپوشانی خواهند داشت و ناحیه میانی وجود نخواهد داشت. میرایی ناشی از اثر سطح زمین عمدتا به ویژگی‌های ناحیه منبع و گیرنده وابسته است و با افزایش مسافت ناحیه میانی افزایش نمی‌یابد. برای محاسبه میرایی ناشی از اثر سطح زمین از رابطه (۱۳) استفاده می‌شود [۴۷].

$$A_{ground} = -(A_s + A_r + A_m)$$ رابطه (۱۳)

در اینجا، A_s، A_r و A_m به ترتیب میرایی ناشی از اثر سطح زمین در ناحیه منبع، ناحیه گیرنده و ناحیه میانی هستند.

میرایی ناشی از اثر سطح زمین در ناحیه منبع و گیرنده (A_s و A_r) با استفاده از رابطه (۱۴) قابل محاسبه است [۴۷].

$$A_s or A_r = 1.5 + G * a'(h)$$ رابطه (۱۴)

$a'(h)$ با استفاده از رابطه (۱۵) محاسبه می‌شود.

[1] Source region
[2] Receiver region
[3] Middle region

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-10]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.145]

$$a'(h)=1.5+3*e^{-0.12(h-5)^2}(1-e^{-d_p/50})+5.7*e^{-0.09h^2}(1-e^{-2.8*10^{-6}*d_p{}^2})$$

رابطه (۱۵)

در اینجا، h ارتفاع منبع و گیرنده و d_p فاصله از منبع تا گیرنده است [۴۷].

میرایی ناشی از اثر سطح زمین در ناحیه میانی (A_m) با استفاده از رابطه (۱۶) محاسبه می‌شود [۴۷].

$$A_m=3q(1-G_m)$$

رابطه (۱۶)

ویژگی‌های آکوستیکی سطح زمین از طریق فاکتور G در محاسبات لحاظ می‌شود. سطوح انعکاسی را به‌طور کلی می‌توان در سه گروه طبقه بندی نمود.

۱- سطوح سخت: شامل آسفالت، سنگفرش، آب، یخ، بتون و سطوح دیگری که تخلخل کمی دارند. فاکتور G برای سطوح سخت، صفر در نظر گرفته می‌شود.

۲- سطوح متخلخل: شامل سطوح پوشیده شده با چمن، درخت یا سایر گیاهان و همچنین سطوحی که برای رشد گیاهان مناسب هستند مانند اراضی کشاورزی و مزارع. فاکتور G برای سطوح متخلخل برابر با ۱ است.

۳- سطوح مخلوط: برای مکان‌هایی که ترکیبی از هر دو نوع سطوح سخت و متخلخل هستند، فاکتور G بین صفر تا یک در نظر گرفته می‌شود. این مقدار معادل نسبت مساحت منطقه متخلخل به کل مساحت محدوده مورد نظر است. مؤلفه q با استفاده از رابطه (۱۷) محاسبه می‌شود [۴۷].

$$q=\begin{cases}0 & \text{when} \quad d_p \le 30(h_s+h_r)\\ 1-\dfrac{30(h_s+h_r)}{d_p} & \text{when} \quad d_p > 30(h_s+h_r)\end{cases}$$

رابطه (۱۷)

در اینجا، h_s ارتفاع منبع، h_r ارتفاع گیرنده و d_p فاصله از منبع تا گیرنده است.

۳-۱-۲-۴- انکسار یا پراکنش[1]

موانع یکی دیگر از عواملی هستند که با انکسار یا پراکنش امواج صوتی، موجب تضعیف صوت در مسیر انتشار می‌شوند. یک پارامتر مهم انکسار، اختلاف طول مسیر (δ) است. این پارامتر عبارت است از اختلاف طول مسیر بین منبع، نقطه بالای مانع و گیرنده با مسیر مستقیم بین منبع و گیرنده (در صورت عدم وجود مانع). این پارامتر اثربخشی و کارایی موانع را کنترل می‌کند. به طور کلی هر چه اختلاف طول مسیر بیشتر باشد، کارایی مانع نیز بیشتر می‌شود. زمانی موانع اثربخشی بیشتری دارند که در فاصله نزدیک به منبع یا گیرنده قرار گیرند. نسخه‌ای ساده از محاسبات میرایی ناشی از وجود مانع در رابطه (۱۸) ارائه شده است. در اینجا فرض بر این است که هیچ صدایی از اطراف مانع منتشر و خارج نمی‌شود. در واقع مانع بی‌نهایت طولانی در نظر گرفته شده است [۴۷].

رابطه (۱۸)

$$A_{diffraction}=-10\log_{10}\left(3+\frac{40\delta}{\lambda}\right) \quad [dB(A)]$$

در اینجا؛ λ طول موج صدا و δ اختلاف طول مسیر را نشان می‌دهند.

۳-۱-۲-۵- میرایی ناشی از جذب پوشش زمین

A_{cov} ضریب تصحیح برای پوشش زمین (پوشش‌گیاهی) است و از رابطه (۱۹) به‌دست می‌آید [۱۳].

[1] Diffraction

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-10]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.145]

$$A_{\text{cov}}=\begin{cases}-5.2I\,Log_{10}\left[(6H-1.5)/(d+3.5)\right] \;\; [dB(A)] \;\; For \;\; 0.75\le H<(d+5)/6\\ -5.2I\,Log_{10}\left[3/(d+3.5)\right] \;\; [dB(A)] \;\; For \;\; H<0.75\\ 0 \;\; [dB(A)] \;\; For \;\; H\ge(d+5)/6\end{cases}$$

رابطه (۱۹)

در اینجا؛ H میانگین ارتفاع انتشار (متر)، d فاصله از لبه جاده تا گیرنده و I ضریبی است که بر اساس درصد جذب پوشش زمین بین منبع و گیرنده تعیین می‌شود. ارزش این ضریب برای مناطق دارای کمترین و بیشترین میزان جذب بین صفر تا ۱ متغیر است. میرایی ناشی از جذب پوشش زمین در فاصله صفر تا ۲۰۰ متر اولیه از منبع متغیر است. اما از فاصله ۲۰۰ متر به بعد ثابت می شود. به عبارتی برای محاسبه ضریب تصحیح جذب پوشش زمین پارامتر d یا فاصله از منبع در رابطه (۱۹) برای فواصل بیشتر از ۲۰۰ متر از منبع، معادل با ۲۰۰ متر در نظر گرفته می‌شود.

۳-۲- تجمیع و محاسبه تراز فشار صدای کلی ناشی از همه انواع قطارها

به‌منظور محاسبه آلودگی صوتی کلی، تراز صدای گروه‌های مختلف قطار ($L_1, L_2 \dots L_n$) با استفاده از رابطه (۲۰) با یکدیگر ترکیب می‌شوند [۵]. در واقع پس از محاسبه و تهیه نقشه تراز فشار صدای هر یک از گروه‌های قطار به‌صورت جداگانه، تراز صدای همه آنها (۴ گروه قطار مورد مطالعه) با استفاده از رابطه (۲۰) تجمیع شده و آلودگی صوتی کلی ناشی از تردد قطار در محورهای ریلی شهر تهران محاسبه و نقشه‌سازی می‌گردد.

$$L=10\,Log_{10}\left[\sum_{1}^{n}10^{L_i/10}\right] \;\; dB(A)$$

رابطه (۲۰)

در اینجا؛ L تراز صدای برآوردشده از n منبع آلودگی و Li تراز فشار صدای ناشی از هر یک از گروه های مختلف قطار است [۵].

۴- پیاده‌سازی الگوریتم و نتایج مدلسازی

در این بخش ابتدا منطقه مورد مطالعه از نظر ویژگی‌های جمعیتی و وضعیت شبکه حمل و نقل ریلی معرفی می‌گردد. سپس داده‌های مورد نیاز برای مدلسازی آلودگی صوتی ناشی از حمل و نقل ریلی، ویژگی‌ها و منابع این داده‌ها توصیف می‌شود. در ادامه بر اساس الگوریتم‌های تشریح شده در بخش‌های ۳-۱-۱ و ۳-۱-۲، تراز صدای ترافیک ریلی در محل منبع و نحوه تضعیف و انتشار آن در محیط مجاور خط ریل مدلسازی می‌گردد. خروجی مدلسازی، میانگین تراز صدای روزانه (۱۸ ساعته (ساعات ۶ تا ۲۴)) را در محیط باز (محیط بیرون[1]) نشان می‌دهد. برای پیاده‌سازی محاسبات ذکر شده و تهیه نقشه آلودگی صوتی از نرم‌افزار ArcGIS استفاده گردید. بدین منظور ابتدا تراز صدا برای هر قطاع ریل با ویژگی های معین (سرعت، تعداد تردد، نوع قطار) در جدول اطلاعات توصیفی لایه مسیر ریل محاسبه گردید. سپس با استفاده از تابع نزدیک‌ترین همسایه‌ها[2]، تراز صدای قطاع‌های ریل به حریم ۱۰۰۰ متری از مسیر ریل تعمیم داده شد. از آنجا که نقشه نهایی آلودگی صوتی یک لایه رستری است، تراز فشار صدای اولیه قطارها باید به لایه‌ای رستری تبدیل شود تا بتوان ضرایب میرایی را از آن کسر نمود. ضرایب میرایی با اعمال روابط مربوطه بر لایه‌های اولیه شامل فاصله از ریل، لایه پوشش گیاهی و فاکتور G به‌صورت جداگانه محاسبه می‌شود. لایه‌های فاصله از ریل با استفاده از تابع فاصله، پوشش گیاهی با استفاده از اعمال شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده[3] (NDVI) بر تصاویر ماهواره لندست ۸ و فاکتور G از طریق انتساب مقدار G به هر کلاس پوشش زمین بر اساس اطلاعات ارائه شده در

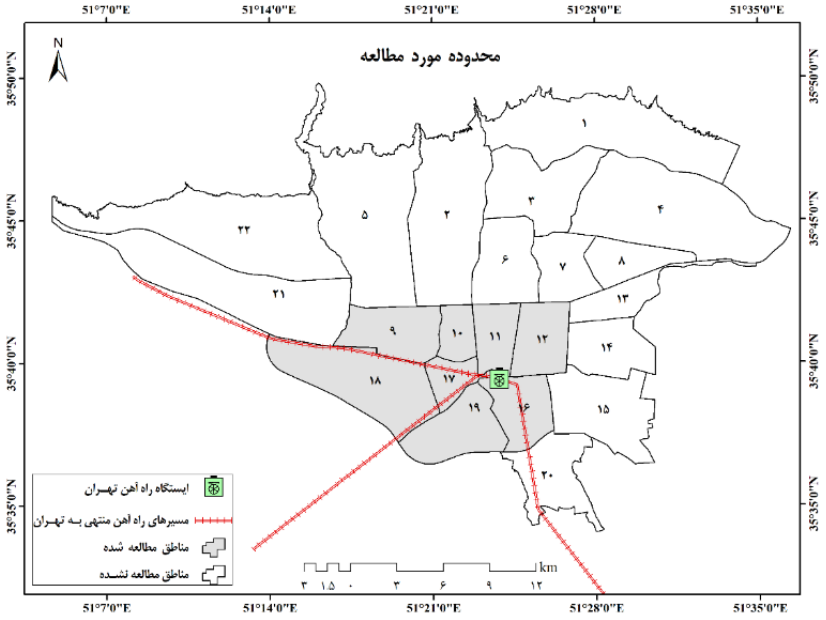
[1] Outdoor
[2] Nearest neighbors
[3] Normalized difference vegetation index

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-10]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.145]

بخش ۳-۱-۲-۳ به‌صورت رستری تولید شدند. پس از محاسبه ضرایب میرایی (به‌صورت لایه‌های رستری)، این ضرایب از تراز فشار صدای اولیه ۴ گروه قطار مورد بررسی کسر گردید و نقشه آلودگی صوتی ۴ نوع قطار در حریم ۱۰۰۰ متری ریل تولید شد (تعیین حریم ۱۰۰۰ متری به این دلیل است که شدت صدا در فاصله بیشتر از آن ناچیز می‌شود). در نهایت این نقشه‌ها به‌منظور تولید نقشه آلودگی صوتی کلی ناشی از همه انواع قطارها، با استفاده از رابطه (۲۰) با یکدیگر تجمیع شدند.

۴-۱- منطقه مورد مطالعه

تهران به‌عنوان بزرگترین شهر کشور از نظر جمعیت و وسعت، در دهه‌های اخیر با مشکلات عدیده‌ای از جمله آلودگی هوا، ترافیک، کمبود منابع آب و غیره مواجه شده است. یکی از مشکلات دیگری که با ترافیک و آلودگی هوا نیز در ارتباط است آلودگی صوتی می‌باشد. عمده ترین منابع آلودگی صوتی در شهر تهران عبارت‌اند از: ترافیک جاده‌ای، ترافیک ریلی، ترافیک هوایی و منابع صنعتی و کارگاهی. در حال حاضر به دلیل توسعه شبکه حمل و نقل ریلی و افزایش تردد قطار در ناوگان ریلی کشور، آلودگی صوتی ناشی از ترافیک ریلی (بعد از ترافیک جاده‌ای) به‌عنوان مهم ترین منبع آلودگی صوتی محسوب می‌شود. اهمیت این معضل زمانی بیشتر می‌شود که بدانیم مسیر ریلی حدود ۴۵ کیلومتر از میان مناطق مسکونی در جنوب و غرب تهران می‌گذرد. به‌عبارت دیگر ۱۰ منطقه از مناطق شهرداری تهران تحت تاثیر سروصدای ناشی از تردد قطار قرار دارند. با توجه به تعداد و تراکم جمعیت ساکن در این مناطق، ۸ منطقه (مناطق ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۶، ۱۷، ۱۸ و ۱۹) برای مدلسازی آلودگی صوتی در مسیر عبور خط ریل انتخاب شد (شکل (۱)). بر اساس اطلاعات سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۰ حدود ۲.۲۰۰.۰۰۰ نفر در این ۸ منطقه زندگی‌می‌کنند [۴۹]. از این بین حدود ۴۰۵.۰۰۰ نفر در فاصله ۵۰۰ متر از خط ریل و حدود ۷۸۰.۰۰۰ نفر در فاصله ۱۰۰۰ متر از مسیر ریل ساکن هستند که تحت تاثیر آلودگی صوتی آن قرار دارند.



شکل ۱: محدوده مورد مطالعه

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-10]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.145]

۴-۲- داده‌ها

داده‌های مورد نیاز برای مدلسازی مکانی آلودگی صوتی را می‌توان به سه گروه اصلی تقسیم نمود. در مورد آلودگی صوتی با منبع ریلی، هندسه منبع انتشار شامل موقعیت مکانی خط ریل به‌صورت لایه‌ای خطی است. ویژگی‌های منبع انتشار شامل نوع قطار، تعداد تردد، سرعت و نوع ریل، ویژگی‌هایی هستند که بر میزان صدای منتشر شده از منبع تاثیر مستقیم دارند. گروه سوم ویژگی‌های محیط انتشار هستند که بر نحوه انتشار و تضعیف صوت در محیط تاثیر می‌گذارند. نوع پوشش زمین، عوامل جذب صوت (پوشش گیاهی)، موانع، شرایط اقلیمی و فاصله از منبع عواملی هستند که موجب تضعیف صوت در محیط انتشار می‌شوند. داده‌های مذکور به همراه منبع تهیه داده در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳: داده‌های مورد استفاده برای مدلسازی انتشار آلودگی صوتی از منبع ریلی

نوع داده	داده	منبع داده
هندسه منبع انتشار	لایه مکانی مسیر ریل	شرکت راه آهن جمهوری اسلامی ایران
ویژگی‌های منبع انتشار	نوع قطار	شرکت راه آهن جمهوری اسلامی ایران
	تعداد تردد قطار در بازه زمانی معین	شرکت راه آهن جمهوری اسلامی ایران
	سرعت قطار	شرکت راه آهن جمهوری اسلامی ایران
	نوع ریل	شرکت راه آهن جمهوری اسلامی ایران
ویژگی‌های محیط انتشار	نوع پوشش زمین	تصاویر ماهواره لندست ۸ (قدرت تفکیک ۱۵ متر)
	عوامل جذب (پوشش گیاهی)	تصاویر ماهواره لندست ۸ (قدرت تفکیک ۱۵ متر)
	پارامترهای اقلیمی (حرارت، رطوبت و فشار هوا)	سازمان هواشناسی کشور
	فاصله از منبع صدا	تولید لایه مکانی فاصله در محیط نرم افزار ArcGIS
	موانع	شهرداری تهران

میانگین تعداد تردد روزانه انواع قطار در تابستان ۱۳۹۶ و حداکثر سرعت قطار در مسیرهای ریلی محدوده شهر تهران در جدول (۴) ارائه شده است. تعداد تردد، مسیرهای رفت و برگشت قطارها را شامل می‌شود. مسیر تهران - گرمسار با مجموع تردد ۱۰۶ قطار در شبانه روز، پر تردد ترین مسیر منتهی به شهر تهران است. در بین انواع قطارها بیشترین سرعت مربوط به قطارهای ترنست با حداکثر سرعت ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت و کمترین سرعت مربوط به قطارهای باری با حداکثر سرعت ۶۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد.

جدول ۴: میانگین تعداد تردد روزانه و حداکثر سرعت قطار در مسیرهای ریلی محدوده شهر تهران (منبع داده: شرکت راه آهن جمهوری اسلامی ایران، تابستان ۱۳۹۶)

مسیر	قطار باری	قطار مسافری	قطار حومه‌ای	قطار ترنست	مجموع	حداکثر سرعت باری	حداکثر سرعت مسافری	حداکثر سرعت حومه	حداکثر سرعت ترنست
تهران- قزوین	۸	۳۰	۱۶	۴	۵۸	۶۰	۱۲۰	۱۲۰	۱۶۰
تهران - قم	۱۲	۲۰	۳۲	۲	۶۶	۶۰	۱۲۰	۱۲۰	۱۶۰
تهران-گرمسار	۸	۷۸	۲۰	۰	۱۰۶	۶۰	۱۴۰	۱۴۰	۱۶۰

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-10]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.145]

۴-۳- محاسبه تراز فشار صدا در محل منبع (مجاور خط ریل)

اولین مرحله مدلسازی انتشار آلودگی صوتی، محاسبه تراز صدا در منبع صوت است. تراز صدا در مجاورت ریل بر اساس نوع قطار، سرعت، تعداد تردد در بازه زمانی معین و نوع ریل محاسبه می‌شود. به این منظور از الگوریتم ارائه شده در استاندارد RMR (رابطه (۲ و ۳)) استفاده گردید. در اینجا تراز صدا برای چهار گروه مختلف قطار محاسبه گردیده است. این گروه‌ها از نظر تعداد تردد و حداکثر سرعت متفاوت هستند. بنابراین تراز صدای ساطع شده از آنها نیز متفاوت خواهد بود. در این مرحله تراز صدای انواع مختلف قطار در تمام قطاع‌های ریل (با سرعت و تعداد تردد معین) بر اساس رابطه (۲ و ۳) محاسبه شده است. نمونه‌هایی از این موارد در جدول (۵) ارائه شده است. بر اساس اطلاعات جدول (۵) تراز صدای قطار باری با تعداد میانگین روزانه ۱۲ تردد (مسیر تهران-قم) بین ۵۷ تا ۷۴ دسیبل در سرعت‌های ۱۰ تا ۶۰ کیلومتر بر ساعت متغیر است. در میان انواع قطارها، قطار مسافری (معمولی) با تعداد میانگین روزانه ۷۸ تردد در مسیر تهران-گرمسار، در سرعت‌های بین ۲۰ تا ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت، بیشترین تراز صدا (۷۰.۸ تا ۸۹ دسیبل) را به خود اختصاص داده است. تراز صدای قطارهای حومه‌ای و ترنست نیز با میانگین تعداد تردد و سرعت معین در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول ۵: تراز صدای ساطع شده مربوط به گروه‌های مختلف قطار با سرعت‌های معین در مجاورت ریل (محاسبات نویسندگان)

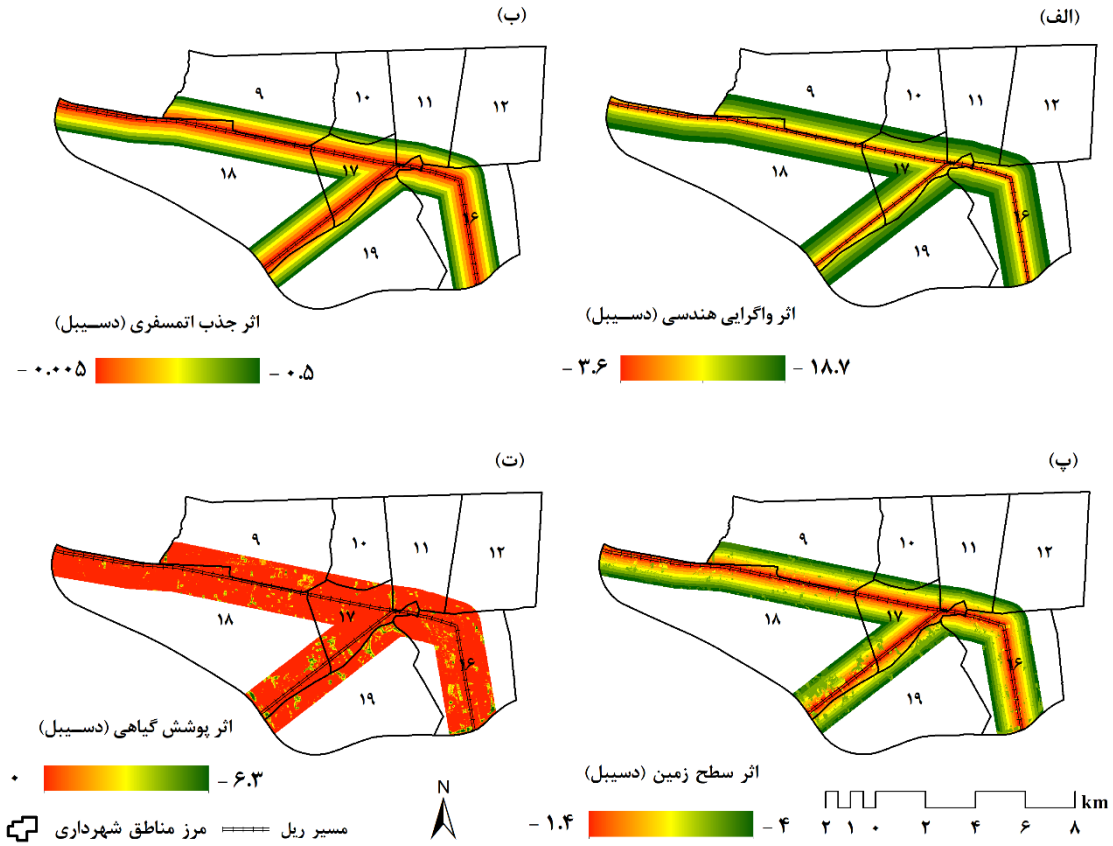
قطار باری (۱۲ تردد)		قطار مسافری (۷۸ تردد)		قطار حومه ای (۲۰ تردد)		قطار ترنست (۴ تردد)	
سرعت	تراز صدا	سرعت	تراز صدا	سرعت	تراز صدا	سرعت	تراز صدا
۱۰	۵۷/۱	۲۰	۷۰/۸	۲۰	۵۹/۸	۱۰	۴۶/۲
۲۰	۶۳/۸	۳۰	۷۴/۸	۳۰	۶۳/۶	۳۰	۵۵/۳
۳۰	۶۷/۷	۴۰	۷۷/۸	۵۰	۶۸/۴	۵۰	۵۹/۱
۴۰	۷۰/۰	۵۰	۸۰	۶۰	۷۰/۱	۶۰	۶۰/۶
۵۰	۷۲/۷	۶۰	۸۱/۸	۷۰	۷۱/۶	۸۰	۶۲/۸
۶۰	۷۴/۴	۷۰	۸۳/۵	۹۰	۷۴	۹۰	۶۳/۷
–	–	۸۰	۸۴/۸	۱۰۰	۷۵	۱۰۰	۶۴/۶
–	–	۹۰	۸۶	۱۲۰	۷۶/۸	۱۲۰	۶۶/۱
–	–	۱۰۰	۸۷/۱	۱۳۰	۷۷/۵	۱۴۰	۶۷/۳
–	–	۱۲۰	۸۹	۱۴۰	۷۸/۲	۱۶۰	۶۸/۴

۴-۴- محاسبه فاکتورهای میرایی ناشی از عوامل محیط انتشار

عواملی که در منطقه موجب تضعیف و میرایی صوت در محیط انتشار می‌شوند عبارت اند از: واگرایی هندسی (در نتیجه افزایش فاصله از منبع صوت)، اثر سطح زمین، جذب اتمسفری و پوشش گیاهی موجود در مسیر انتشار. به منظور محاسبه میرایی ناشی از عوامل مذکور، ابتدا لایه‌ها و اطلاعات مورد نیاز استخراج گردید و سپس ضرایب میرایی بر اساس آنها محاسبه شد. شکل (۲) تضعیف صوت را تحت تاثیر عوامل فوق در محیط انتشار نشان می‌دهد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-10]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.145]



شکل ۲: عوامل تضعیف تراز صدا در محیط انتشار. الف) تضعیف ناشی از واگرایی هندسی (افزایش فاصله از منبع)، ب) تضعیف ناشی از جذب اتمسفری، پ) تضعیف ناشی از اثر سطح زمین، ت) تضعیف ناشی از جذب پوشش زمین (پوشش گیاهی)

با افزایش فاصله از منبع، در اثر واگرایی هندسی، تراز صدا در فاصله صفر تا ۱۰۰۰ متر از منبع صوت، بین ۰ تا ۱۸.۷ دسیبل کاهش می‌یابد (شکل ۲-الف). همانطور که در متدولوژی ذکر گردید، جذب اتمسفری تحت تاثیر پارامترهای دما، رطوبت نسبی، فشار هوا و فرکانس صدا قرار دارد. بر اساس داده‌های سازمان هواشناسی میانگین ماهانه دما، رطوبت نسبی و فشار هوا برای تیرماه به ترتیب برابر با ۳۰ درجه سانتیگراد، ۳۰ درصد و ۱۰۱۴ هکتو پاسکال بوده است. طبق استاندارد ایزو ۹۶۱۳-۲ ضریب میرایی جذب اتمسفری (a) در رابطه (۱۱) با در نظر گرفتن این مقادیر در فرکانس ۱۲۵ هرتز، معادل ۰/۵۰۱ محاسبه شده است. میرایی ناشی از جذب اتمسفری در فواصل نزدیک به منبع، ناچیز است و در فواصل دور از منبع آشکار می‌گردد. تراز صدا در اثر جذب اتمسفری بین ۰/۰۱ تا ۰/۵ دسیبل تضعیف می‌شود (شکل(۲-ب)). تضعیف ناشی از اثر سطح زمین به نوع پوشش زمین و فاکتور G وابسته است. مقدار فاکتور G برای سطوح متخلخل، مخلوط و سخت بین صفر تا ۱ در نظر گرفته شده است. تضعیف ناشی از اثر سطح زمین بین ۱/۴ تا ۴/۱ دسیبل تغییر می‌کند (شکل (۲-پ)). پوشش گیاهی دیگر عاملی است که با جذب بخشی از امواج صوتی موجب تضعیف آن می‌شود. هرچقدر تراکم پوشش گیاهی در مسیر انتشار امواج بیشتر باشد، میزان میرایی صوت نیز بیشتر می‌شود. به‌منظور تعیین ضریب I (رابطه (۱۹)) ابتدا شاخص NDVI نرمال گردید و مقدار صفر به نواحی بدون پوشش گیاهی و مقدار ۱ به متراکم‌ترین

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-10]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.145]

نـواحی اختصـاص داده شـد. میرایـی ناشـی از جـذب پوشش گیاهی بین صفر دسیبل در نواحی بدون پوشش گیـاهی تـا ۶.۳ دسـیبل در نـواحی بـا پوشـش متـراکم متغیر است (شکل (۲-ت)). انکسـار یـا پـراکنش دیگـر عامل میرایی صـوت اسـت. عـاملی کـه موجـب انکسـار صوت می‌شود وجود موانع در مسـیر انتشـار مـی‌باشـد. احـداث دیـوار صـوتی بـین منبـع و گیرنـده از عمـده‌تـرین مـوانعی کـه جهـت تضـعیف صـوت استفاده می‌شود. از آنجا که در مسـیر محورهـای ریلـی واقع در محدوده شهر تهران دیوار صوتی وجود نـدارد و در ارتباط با وجود سایر موانـع در ایـن محورهـا، داده و اطلاعـات قابـل اطمینـان در دسـترس نبـود، امکـان اعمال تصحیح مربوطه میسر نگردید.

۴-۵- آلودگی صـوتی ناشـی از انـواع قطارهـای مسافری، باری، حومه‌ای و ترنست

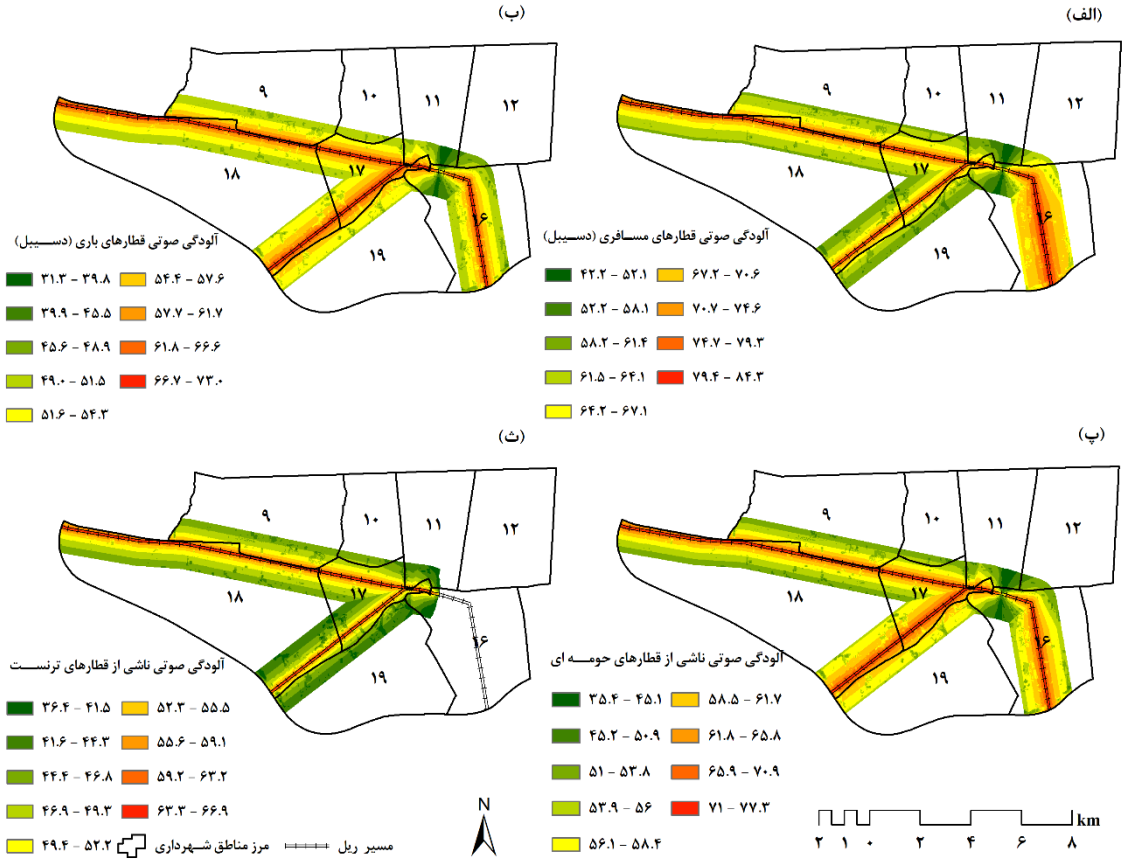
با توجه به تفاوت قطارهای مختلف از نظر سرعت، تعداد تردد و مشخصات فنی، آلودگی صوتی آنها نیز متفـاوت بوده و باید به‌صورت جداگانه مدلسازی گردند. به منظور مدلسازی مکانی و محاسـبه آلـودگی صـوتی در فاصـله مشخص از منبع، مـی‌بایسـت میرایـی ناشـی از عوامـل مختلف، از تراز صدای اولیه در منبع صوت کسر گـردد. آلودگی صوتی قطارهای مورد بررسـی (محـدوده ۱۰۰۰ متری مسیر ریل) در شکل (۳) نمایش داده شده است. در بین ۴ نوع قطار مورد بررسی، قطارهای مسـافری بـا دامنه تغییرات ۴۲.۲ تا ۸۸.۳ دسیبل، بیشترین میانگین تـراز صـدای روزانـه را بـه خـود اختصـاص داده‌انـد (شکل (۳-الف)). دلیل این امر عمدتا ناشی از تردد زیاد این نوع قطار نسبت به سایر قطارها بوده اسـت. پـس از آن قطارهـای حومـه‌ای (شـکل (۳-پ)) بـا ترازصـدای ۳۵.۴ تا ۷۷.۳ دسیبل، آلودگی صوتی بیشتری نسبت به قطارهای باری و ترنست داشـته‌انـد. قطارهـای ترنسـت علـی رغـم سـرعت بـالا (حـداکثر سـرعت ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت)، بـه دلیـل تعـداد تـردد محـدود، بـا میـانگین تـراز صـدای ۳۶.۴ تـا ۶۶.۹ دسـیبل، کمتـرین آلـودگی صـوتی را ایجـاد کـرده‌انـد (شکل (۳-ت)). این نـوع قطارهـا در بـازه زمـانی مـورد مطالعـه (تابسـتان ۱۳۹۶) در مسـیر تهـران-گرمسـار تردد نداشته‌اند. میانگین تراز صدای قطارهای باری نیـز بین ۳۱٫۳ تا ۷۳ دسیبل متغیر است (شکل (۳-ب))

۴-۶- محاسـبه آلـودگی صـوتی کلـی ناشـی از ترافیک ریلی

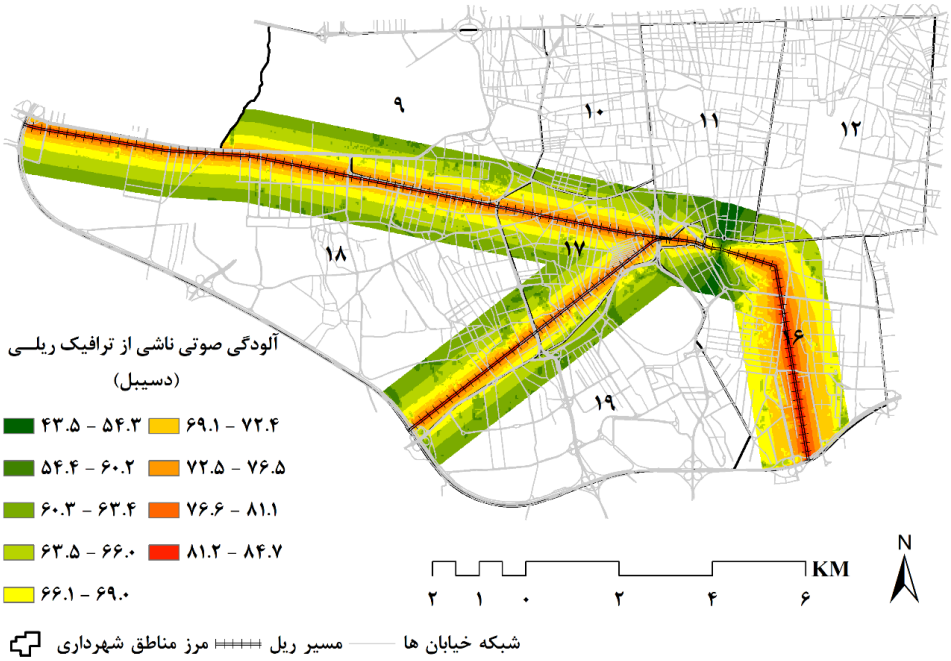
آلودگی صوتی کلی، حاصل مجموع صـدای منتشرشـده از انواع قطارهای مـورد بررسـی اسـت. بـه ایـن منظـور تـراز صـدای ناشـی از ۴ گـروه قطـار (شـکل (۳)) بایـد با اسـتفاده از تـابعی نمـایی (رابطـه (۲۰)) بـا یکـدیگر جمع گردند. شکل (۴) نقشه نهایی آلودگی صوتی ناشی از ترافیک ریلی را نشـان مـی‌دهـد. آلـودگی صـوتی در محدوده مطالعه بین ۴۳.۵ تا ۸۸.۷ دسیبل متغیر است. کمترین میزان آلودگی صـوتی، بـه‌دلیـل پـایین بـودن سـرعت قطارهـا در مجـاورت ایسـتگاه راه آهـن منتشـر مـی‌شـود. بـه‌طـورکلی مسـیر تهـران-گرمسـار (سمت راست تصویر) نسبت به مسیرهای تهران- قـم و تهـران- قـزوین، بـه‌دلیـل تـردد بیشـتر قطـار، تراز صدای بالاتری دارد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-10]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.145]



شکل ۳: آلودگی صوتی قطارهای مختلف. الف) قطارهای مسافری ب) قطارهای باری پ) قطارهای حومه‌ای ت) قطارهای ترنست



شکل ۴: نقشه نهایی آلودگی صوتی ناشی از ترافیک ریلی

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-10]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.145]

جهت اطمینان از صحت و درستی نتایج، تراز صدای برآورد شده (بر اساس الگوریتم انتشار) می‌بایست با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه شود. به این منظور از داده‌های ایستگاه‌های سنجش آلودگی صوتی شهرداری تهران استفاده گردید. در مناطق مورد مطالعه ۱۲ ایستگاه سنجش آلودگی صوتی وجود دارد. از این بین ۴ ایستگاه در محدوده ۱۰۰۰ متری مسیر ریل قرار دارند. عاملی که ارزیابی صحت را با مشکل مواجه می‌کند، تداخل صدای ناشی از سایر منابع (ترافیک جاده ای و صنایع و کارگاه‌ها) با صدای ناشی از ترافیک ریلی در ایستگاه‌های سنجش آلودگی است. از آنجاکه دو ایستگاه (میدان راه آهن و بلوار بعثت-میدان بهمن) در نزدیکی ایستگاه راه‌آهن قرار دارند، به‌دلیل کاهش سرعت قطار، تراز صدای برآورد شده در موقعیت این ایستگاه‌ها (۵۱.۵ و ۵۹ دسیبل) نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده (۷۳.۳ و ۷۱.۱ دسیبل) کمتر است. در واقع این تفاوت زیاد به‌دلیل غالب بودن صدای ناشی از سایر منابع بویژه ترافیک جاده‌ای در محل این ایستگاه‌ها است که به صدای قطارها اضافه می‌شود. اما مقایسه مقادیر برآورد شده با مقادیر اندازه‌گیری شده در دو ایستگاه دیگر (میدان بهشت و میدان بهاران) نتایج قابل قبولی را نشان می‌دهد. تفاوت تراز صدای اندازه‌گیری شده و برآورد شده در ایستگاه میدان بهشت که در فاصله ۳۹۰ متری از مسیر ریل واقع شده است ۱.۲۵ دسیبل است. این تفاوت در ایستگاه واقع در میدان بهاران ۵.۶ دسیبل است. این تفاوت نیز نسبتا زیاد بوده که دلیل آن از سویی کاهش تراز صدای برآورد شده در فاصله حدود ۷۰۰ متر از مسیر ریل و از سوی دیگر اضافه شدن صدای ناشی از ترافیک جاده‌ای به تراز صدای اندازه‌گیری شده است. با این وجود، خطای مجذور میانگین مربعات[1] (RMSE) برای دو ایستگاه آخر ۳.۵ دسیبل و قابل قبول است.

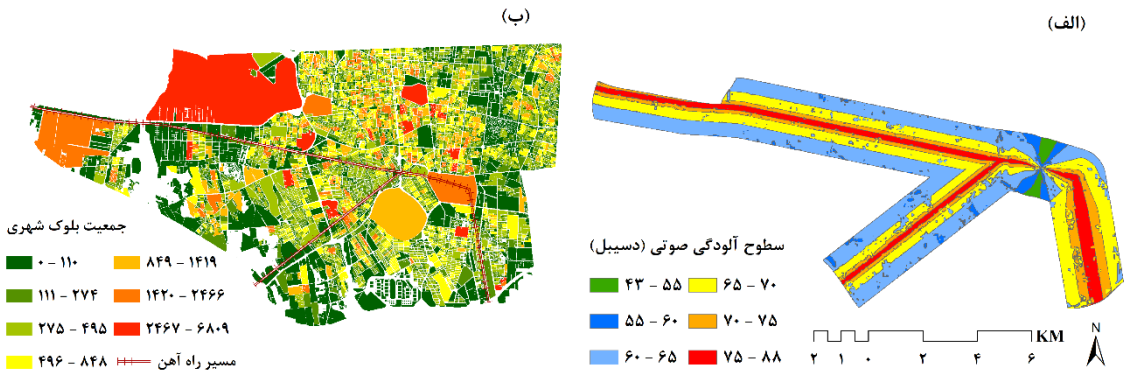
۵- بحث

آنچه که در رابطه با آلودگی صوتی حائز اهمیت است، تراز صدا از یک سو و جمعیت در معرض خطر آلودگی صوتی از سوی دیگر می‌باشد. در واقع اهمیت موضوع زمانی بیشتر می‌شود که جمعیت زیادی به‌طور دائم در معرض آلودگی صوتی قرار داشته باشند. این امر ریسک ناشی از آلودگی صوتی را افزایش می‌دهد. درمحدوده مورد مطالعه، حدود ۷۸۰ هزار نفر درمحدوده ۱۰۰۰ متری از مسیر ریل ساکن هستند. به‌منظور تعیین جمعیت در معرض سطوح مختلف آلودگی صوتی، لایه بلوک‌های جمعیتی با لایه آلودگی صوتی همپوشانی شد. شکل (۵-الف) سطوح آلودگی صوتی و شکل (۵-ب) جمعیت ساکن در بلوک‌های شهری را نشان می‌دهد. بر اساس تحلیل انجام شده، جمعیتی بین ۷۳ تا ۱۰۰ هزار نفر در معرض آلودگی صوتی بیشتر از ۷۵ دسیبل قرار دارند. همچنین جمعیتی حدود ۲۰۰ هزار نفر، ۴۷۵ هزار نفر، ۷۳۰ هزار نفر و ۷۶۰ هزار نفر به ترتیب در معرض آلودگی صوتی بیشتر از ۷۰، ۶۵، ۶۰ و ۵۵ دسیبل قرار دارند. در واقع به جز محدوده کوچکی در مجاورت ایستگاه راه آهن، سایر نقاط در معرض آلودگی صوتی بیشتر از ۵۵ دسیبل قرار دارند. با توجه به تحلیل انجام شده، در صورت عدم برخورداری منازل مسکونی از عایق صوتی مناسب، سلامت جمعیت زیادی از ساکنین مجاور مسیر ریل با خطر جدی مواجه است.

[1] Root mean square error

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-10]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.145]



شکل ۵: جمعیت در معرض سطوح مختلف آلودگی صوتی. الف) سطوح آلودگی صوتی ب) جمعیت بلوک‌های شهری (۱۳۹۰)

ارزیابی صحت یا اعتبارسنجی همواره یکی از مسائل حائز اهمیت در مباحث مدلسازی بوده است. مقایسه تراز صدای برآورد شده حاصل از مدلسازی مکانی آلودگی صوتی در این مطالعه با مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های سنجش آلودگی صوتی، RMSE ۳.۵ دسیبل را نشان داد. اگرچه ارزیابی صحت مدل، بر قابل اعتماد بودن نتایج تاکید دارد، اما ذکر نکاتی در این رابطه الزامی است. آلودگی صوتی منتشر شده در محیط‌های شهری، ترکیبی پیچیده از صدای تولید شده توسط منابع متفاوت و متنوع می‌باشد. مهم‌ترین این منابع عبارت‌اند از ترافیک جاده‌ای، ریلی و هوایی، کارگاه‌ها، صنایع، مراکز تجمع افراد و سایر منابع موجود در محیط‌های مسکونی. در واقع صدای منتشرشده از همه منابع به صورت نمایی به صدای منبع اصلی (منبع مورد بررسی) اضافه شده و تراز صدای واقعی را شکل می‌دهند. برای اینکه بتوان صحت مدل را به‌طور کامل و به درستی ارزیابی نمود، دو راه حل وجود دارد. ابتدا اینکه صدای منتشرشده از همه منابع موجود در محیط، محاسبه و مدلسازی شود و سپس با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه گردد. یا اینکه اندازه‌گیری‌ها در نقاطی انجام شود که تنها صدای ساطع شده از منبع مورد بررسی (شبکه ریل) روی گیرنده‌ها تاثیر بگذارد؛ یا حداقل اینکه، صدای منبع مورد نظر صدای غالب باشد. به طوریکه صدای ثانویه موجب افزایش صدای رسیده به گیرنده نشود (در صورتی که صدای ثانویه ۱۰ دسیبل از صدای منبع اصلی کمتر باشد، چیزی به تراز صدای ساطع شده از منبع اصلی اضافه نخواهد شد [۴۸]). با توجه به هدف و محدودیت‌های موجود در مطالعه حاضر، تنها تراز صدای ناشی از ترافیک ریلی مدلسازی گردید. از سوی دیگر برداشت و اندازه‌گیری در نقاط دلخواه، به دلیل نیاز به تجهیزات و هزینه بالا، خارج از توان و امکانات این مطالعه بوده است. بنابراین در مرحله ارزیابی صحت به استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های سنجش آلودگی شهرداری تهران اکتفا شد.

۶- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، مسئله آلودگی صوتی به عنوان یکی از مهم‌ترین معضلات زندگی شهری مورد مطالعه قرار گرفت. سیستم حمل و نقل ریلی به‌عنوان یکی از منابع اصلی آلودگی صوتی نقش مهمی در آزردگی ساکنین مجاور ریل دارد. از این رو آگاهی از تراز آلودگی صوتی و جمعیت در معرض خطر در محدوده مجاور شبکه ریلی ضروری است. در این مطالعه آلودگی صوتی ناشی از حمل و نقل ریلی در شهر تهران مدلسازی گردید. به این منظور از استانداردهای RMR و ایزو ۹۶۱۳-۲ استفاده گردید. نتایج حاصله، نشان از بالا بودن تراز صدا در محیط مجاور ریل دارد. به طوریکه تراز صدا در مجاورت خط

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-10]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.145]

ریل به بیش از ۸۰ دسیبل و در برخی قطاع ریل به ۸۸ دسیبل می‌رسد. همپوشانی اطلاعات جمعتی منطقه با نقشه آلودگی صوتی ریلی نشان می‌دهد که حدود ۲۰۰ هزار نفر در معرض آلودگی صوتی بیش از ۷۰ دسیبل و حدود ۷۳۰ هزار نفر در معرض آلودگی صوتی بیشتر از ۶۰ دسیبل قرار دارند. قرار داشتن چنین جمعیتی در معرض تراز صدای بالای شبکه ریلی به صورت دائمی، در صورت عدم اتخاذ تمهیدات لازم، آسیب‌زایی آن را دوچندان می‌کند.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح جمهوری اسلامی ایران انجام شده است. لذا نویسندگان وظیفه خود می‌دانند از این سازمان به خاطر حمایت‌های مادی و معنوی قدردانی نمایند. همچنین از شرکت راه آهن جمهوری اسلای ایران به‌خاطر در اختیار گذاشتن داه‌ها و اطلاعات مورد نیاز پژوهش تشکر می نماییم.

مراجع

research, Vol.164 pp. 516-521, 2018.

[9] L.A. Gille, C. Marquis-Favre, and R. Weber, "Aircraft noise annoyance modeling: Consideration of noise sensitivity and of different annoying acoustical characteristics", Applied Acoustics, Vol.115, pp. 139-149, 2017.

[10] C. Munteanu, M.L. Mihaela, D.R. Tămaş-Gavrea, N. Cobîrzan, R. Chiuzbaian, and R. Fernea, "Protection to railway traffic noise in the case of a multilevel residential building from the city of Cluj-Napoca", Procedia Manufacturing, Vol.22, pp. 339-346, 2018.

[11] R. Pieren, K. Heutschi, J.M. Wunderli, M. Snellen, and DG. Simons, "Auralization of railway noise: Emission synthesis of rolling and impact noise", Applied Acoustics, Vol.127 pp. 34-45, 2017.

[12] J. Gulliver, D. Morley, D. Vienneau, F. Fabbri, M. Bell, P. Goodman, S. Beevers, D. Dajnak, F.J. Kelly, and D. Fecht, "Development of an open -source road traffic noise model for exposure assessment", Environmental Modelling and Software, pp. 1-11, (2015).

[13] K. Yoon, D.Y. Gwak, C. Chun, Y. Seong, J. Hong, and S. Lee, "Analysis of frequency dependence on short-term annoyance of conventional railway noise using sound quality metrics in a laboratory context", Applied Acoustics. Vol.138 pp. 121-132, 2018.

[1] H. Buhaug, and H. Urdal, "An urbanization bomb? Population growth and social disorder in cities", Global Environment Change, Vol.23, pp. 1-10, 2013.

[2] J.V. Henderson, and W.H. Gun, "Urbanization and city growth: the role of institutions", Reg. Sci. Urban Econ, Vol.37, pp. 283-313, 2007.

[3] J.M.B. Morillas, D.M. González, and G.R. Gozalo, "A review of the measurement procedure of the ISO 1996 standard. Relationship with the European Noise Directive", Science of the Total Environment, Vol.565: pp. 595-606, 2016.

[4] E. Murphy, and E.A. King, Environmental noise pollution: Noise mapping, public health, and policy. New York: Elsevier, 2014.

[5] CALM, Research for a quieter Europe in 2020. Strategy paper of the 519 CALM II net-work. Brussels: European Commission, 2007.

[6] WHO, Burden of disease from environmental noise. Copenhagen: World Health Organisation, 2011.

[7] E. Murphy, E.A. King, and H.J. Rice, "Estimating human exposure to transport noise in central Dublin, Ireland", Environ. Int., Vol.35 (2), pp. 298–302, 2009.

[8] M. Ögren, P. Molnár, and L. Barregard, "Road traffic noise abatement scenarios in Gothenburg 2015-2035". Environmental

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-10]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.145]

[14] T. Istamto, D. Houthuijs, and L. Lebret, "Willingness to pay to avoid health risks from road-traffic-related air pollution and noise across five countries", Science of the Total Environment, Vol.497-498, 420-429, 2014.

[15] G. Travaini, and D. Schut, Rail route 2050: The sustainable backbone of the single European transport area. Brussels: the European rail Research advisory council, 2012.

[16] European Commission, Commission to the European Parliament and the Council on the implementation of the Environmental Noise Directive, Brussels, 2011.

[17] ISO 1996-1, Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 1: Basic quantities and assessment procedures. 2016.

[18] G. Zambon, R. Benocci, A. Bisceglie, H. E. Roman, and P. Bellucci, "The LIFE DYNAMAP project: Towards a procedure for dynamic noise mapping in urban areas", Applied Acoustics, Vol.124, pp. 52-60, 2017.

[19] D.M. González, J.B. Morillas, L. Godinho, and P. Amado-Mendes, "Acoustic screening effect on building façades due to parking lines in urban environments. Effects in noise mapping", Applied Acoustics, Vol.130 pp. 1-4, 2018.

[20] S. Kephalopoulos, M. Paviotti, and F. Anfosso-Ledee, Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU). European Commission Joint Research Centre, Luxembourg publications Office of the European Union, 2012.

[21] Wolfel, Adaptation and revision of the interim noise computation methods for the purpose of strategic noise mapping. Work package 3.2.1. Calculation and measurement guidelines for rail transport noise 1996 - translation. Commissioned by European commission, DG environment, 2003.

[22] ECAC.CEAC, 3rd edition, Report on the standard method of computing noise contours around civil airports. Vol.1: Applications guide, European civil aviation conference, 2016.

[23] F. Bunn, and P.H.T. Zannin, "Assessment of railway noise in an urban setting", Applied acoustics, V.104, pp. 16-23, 2016.

[24] H. Campello-Vicente, R. Peral-Orts, N. Campillo-Davo, and E. Velasco-Sanchez, "The effect of electric vehicles on urban noise maps" Applied Acoustics, Vol.116, pp. 59-64, 2017.

[25] J. Felcyn, A. Preis, P. Kokowski, and M. Gałuszka, "A comparison of noise mapping data and people's assessment of annoyance: How can noise action plans be improved?", Transportation Research Part D: Transport and Environment, Vol.63, pp. 72-120, 2018.

[26] B.I. Harman, H. Koseoglu, and C.O. Yigit, "Performance evaluation of IDW, Kriging and multiquadric interpolation methods in producing noise mapping: A case study at the city of Isparta, Turkey", Applied Acoustics, Vol.112, pp. 147-157, 2016.

[27] W. Wei, T.V. Renterghem, B.D. Coensel, D. Botteldooren, "Dynamic noise mapping: A map-based interpolation between noise measurements with high temporal resolution", Applied acoustics, V.101, pp. 127-140, 2016.

[28] R. Tajik, A. Ghadami, and F. Ghamari, "Noise pollution assessment and its impacts on workers hearing system in the metallic industries, Arak", Zahedan medicine sciences, Vol.10 (4), 2008.

[29] R. Vazirinezhad, A. Esmaeili, A. Abdolrezaei, and S. Behzadi, "Assessment of relationship between noise exposing with decrease hearing", Researcher journal, Vol.12 (6), pp. 491-497, 2007.

[30] N. Moasheri, M.R.M. Esmaeilpour, V. Abolhasan nezhad, M. Abbaszadeh, and E. Movahedi, "assessment of noise index in the Birjand old areas", Journal of Birjand

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-10]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.145]

Medicine scinces university, Vol.19 (4), pp. 439-447, 2010.

[31] K. Naddafi, M. yousefian, A.R. Mesdaghniya, A.H. Mahvi, and E. Asgari, "Assessment of noise pollution in Zanjan", Journal of Zanjan Medicine scinces university, Vol.16 (62), pp. 85-96, 2007.

[32]P. Nasiri, H. Mehravaran, and R. Ghowsi, "Measurement and modelling of noise level (Leq) and determination of critical places (case study: a pharmacy manufacture)", Journal of environment technology and sciences, Vol.9 (4), pp. 47-56, 2007.

[33]M.M. Rouzbahani, P. Nasiri, and F. Golbabaei, "Noise pollution assessment in Broujerd loom manufactory", Journal of environment technology and sciences, Vol.9 (4), pp. 149-158, 2007.

[34] N. Sabermaash, "Impact of green space in attenuation of noise", Journal of hearing, Vol.7 (1 and 2), pp. 145-150, 1999.

[35]R. Mohammadzadeh, "study of physical planning impact on noise reducing", Journal of human and environment, Vol.8 (2), pp. 21-28, 2010.

[36]S. Fathi, P. Nasiri, M.R.M. Esmaeilpour, R. Moradi, and F. Razaghi, "assessment of noise level in Tehran (region 5)", Journal of environment technology and sciences, Vol.17 (2), pp. 1-8, 2015.

[37]M. Kyani-sadr, P. Nasiri, M.S. sekhavatjoo, and M. Abbaspour, "Noise assessment and management in Khoram Abad", Environment, Vol.50, pp. 83-96, 2009.

[38] S. Fathi, M.R.M. Esmaeilpour, and F. Razzaqi, "comparing noise in the regions 5 and 6 in Tehran", Environmental sciences, Vol.12 (2), pp.111-118, 2014.

[39]E. Karimi, P. Nasiri, M. Abbaspour, and M.R.M. Esmaeilpour, L. Taqavi, "Noise assessment in region 14 Tehran", Human and environment, Vol.23, pp. 1-12, 2012.

[40]M. Hamidi, A. Kavoosi, P. Nasiri, A. Hamedani, S. Kyani, and H.R. Dehqan, "Noise assessment in urban railway of Tehran in 2010", Iran work health, Vol.9(2), pp. 76-81, 2011.

[41] M. Ajza-shokoohi, and E. qaffari, "Impact of aircraft noise on residential areas in Mashhad", first conference of urban services and environment, 2013.

[42]I. Imanpour, "Noise level estimation and management in urban areas (case study: Teran, region 6)", Master dissertation, Environment faculty, University of Tehran, 2013.

[43]H.R. Ranjbar, A.R. qaragozlu, A.R. Vafaeinejad, and H.D. Kluijver, "GIS-based approach for 3D modelling of noise using urban 3D models (case study: Tehran region 3)", Environment, Vol.38(4), pp. 125-140, 2012.

[44]U. Clausen, C. Doll, F. Franklin, G. Franklin, H. Heinrichmeyer, J. Kochsiek, W. Rothengatter, N. Sieber, "Reducing railway noise pollution, Directorate General for Internal Policies", European Parliament, Brussels, 2012.

[45]P. De Vos, "Railway noise. In: Noise Mapping in the EU, Models and Procedures", CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, Florida, 2012.

[46] ISO 9613-2, Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation. 1996.

[47]ISO 9613-1, Acoustic – Attenuation of sound during propagation outdoors – part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere, 1993.

[48] Iranian statistic center, "General census of house and population", 2011

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-10]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.145]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.7 No.1, Spring 2019

Research Paper

Spatial modelling of railway noise propagation

Ali Kazemzadeh.[1], Ilia Laali Niyat*[2]

1- Master of Remote sensing and GIS, university of Tehran
2- Phd candidate, geography and urban planning, Kharazmi university of Tehran

Abstract

In recent decades, population growth and progress of technology have shaped large and compact urban settlements. Existence of huge transportation systems and developed urban infrastructures are among the most important properties of modern cities. In spite of prompt transit and facilitated daily activities, development of transportation systems causes many problems, including traffic, air and noise pollutionand so on. Noise pollution as one of the most important human health threats can cause annoyance, sleep disturbance, decreased learning ability and even cardiovascular problems and blood pressure in long time. Sound is caused by a wide range of activities and processes. Road traffic, railways, airplanes landing, workrooms, industries and communicate places are the most important noise sources. Awareness of the noise emission status in urban environments and the identification of people at risk are primary steps that should be taken in planning as a basic information to reduce vulnerability. Currently, trains running along railways, after traffic jams, are ecoming the crucial source of noise pollution. This is especially important in a large city such as Tehran, which crosses the rails a long way in residential areas. In this study, a spatial approach was used to model the noise pollution caused by railway transport in Tehran. To this end, the RMR standard was used to calculate the noise level generated in the source of sound (rail path). The noise emission and its attenuation in the environment was also modeled based on the method presented in ISO 9613-2. According to the results, the railway noise range in the studied area varies from 43 to 88 dB. The comparison of the estimated noise level with the measured values indicates a 3.5 dB RMSE. The overlapping of the noise map with the demographic data indicates that around 200,000 people are exposed to noise pollution of more than 70 dB and about 730,000 are exposed to noise pollution greater than 60 dB. Obviously, in the absence of proper residential insulation, the health of a large population of residents adjacent to the railway is at serious risk.

Keywords: noise pollution, rail transportation, spatial modelling, noise propagation algorithm.

Key words: *Urban Land-use Allocation, Grid-based NSGA-II, Multi-objective Optimization, Spatial Planning Support Systems.*

Correspondence Address. *Geography and urban planning group, Department of Human Geography, Faculty of Geographical sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran*
Tel: *+98 939 0297035*
Email: *ilia_laali@yahoo.com*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-10]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.145]