نشریه علمی علوم و فنون نقشه برداری، دوره نهم، شماره ۴، خرداد ماه ۱۳۹۹ - مقاله پژوهشی

تهیه نقشه پراکنش آلودگی صوتی در محیط سه بعدی شهری با بهره گیری از سیستم اطلاعات مکانی و مدل پیش‌بینی نویز CORTN

امین زمین گرد روزبهانی[۱]، علیرضا وفایی‌نژاد[۲*]

[۱] کارشناس ارشد سنجش‌ازدور و GIS - دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست - دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات - تهران
amin_zamingard@yahoo.com

[۲]دانشیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست - دانشگاه شهید بهشتی
a_vafaei@sbu.ac.ir

(تاریخ دریافت دی ۱۳۹۸، تاریخ تصویب بهمن ۱۳۹۸)

چکیده

رشد و پیشرفت جوامع شهری به سمت صنعتی شدن در کنار تمام مزایایی که به همراه آورده مشکلات مهمی را نیز به دنبال داشته است. یکی از مهمترین مشکلات در این زمینه به وجود آمدن پدیده ترافیک و به دنبال آن بروز آلودگی صوتی در مناطق شهری می‌باشد. امروزه آلودگی صوتی یکی از مهم‌ترین مشکلاتی است که ساکنین نواحی پر رفت‌وآمد شهری با آن دست‌وپنجه نرم می‌کنند. بنابراین با توجه به اهمیت این موضوع لزوم توجه به آن و انجام تحقیقات در این زمینه امری ضروری است. در این تحقیق به دنبال آن هستیم تا مدلی سه‌بعدی از یک منطقه شهری ارائه کرده که در آن میزان آلودگی صوتی ناشی از ترافیک برروی وجوه ساختمان‌ها به صورت نقشه‌های رنگی مشخص گردند. برای این منظور ابتدا با بررسی‌های انجام شده مدل محاسباتی CORTN به عنوان مدل پیش‌بینی نویز انتخاب گردید. سپس با ایجاد مجموعه نقاط نمونه سه‌بعدی در سطح منطقه و انجام سه مرحله پالایش برروی تعداد آنها، میزان نویز در تمامی نقاط محاسبه شد. با انجام این سه مرحله پالایش، تعداد نقاط نمونه از ۸۹۶ هزار نقطه اولیه به ۱۱۴۵۶ نقطه کاهش پیدا نمود. با استفاده از مدل درون‌یابی کریجینگ نیز نقشه‌های درون‌یابی نقاط ایجاد شده و این نقشه‌ها بر وجوه ساختمان‌ها ادغام گردید و درنهایت مدل ساخته شده در محیط سیستم اطلاعات مکانی نمایش داده شد.

واژگان کلیدی: آلودگی صوتی، مدل‌های درون‌یابی، بهینه‌سازی، سیستم اطلاعات مکانی ، CORTN

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

ترافیک به عنوان عنصر جدانشدنی شهرهای بزرگ و پرجمعیت، همواره یکی از مهمترین مسائل در بحث‌های مدیریت شهری محسوب گردیده است. عوامل تاثیرگذار برروی این مقوله مواردی همچون وجود وسائط نقلیه فراوان، معابر غیراستاندارد، مکان‌یابی‌های غیر اصولی برای مراکز مختلف و مواردی از این قبیل می‌باشد[۱و۴]. مقوله ترافیک تاثیرات زیادی برروی کیفیت زندگی شهری دارد. از جمله این آثار می‌توان به افزایش زمان سفرهای درون‌شهری، افزایش میزان مصرف سوخت و به دنبال آن افزایش میزان آلاینده‌ها و همچنین بروز آلودگی صوتی در مناطق شهری اشاره نمود[۲و۶]. آلودگی صوتی ناشی از ترافیک نه تنها سبب بروز اختلال در کیفیت زندگی شهری شده بلکه می‌تواند سلامتی انسان‌ها را نیز تحت‌تاثیر قراردهد که از جمله می‌توان به کاهش تمرکز، کاهش سطح یادگیری، بروز اختلال در سیستم‌های آموزشی مانند مدارس و دانشگاه‌ها و مواردی ازین قبیل اشاره نمود.

تهیه نقشه از وضعیت آلودگی ها همواره یکی از بهترین راه‌کارها به منظور تحلیل دقیق آن بوده است. شاید بتوان گفت یکی از بهترین علومی که می‌تواند در تهیه چنین نقشه‌های موضوعی[۱] به کارآید دانش سیستم اطلاعات مکانی[۲] (GIS) می‌باشد[۶]. این سامانه نه‌تنها می‌تواند چنین نقشه‌هایی را به بهترین شکل ممکن تهیه نماید بلکه قادر است با تجزیه و تحلیل آن‌ها اطلاعات مهم و باارزشی را در اختیار قراردهد[۵].

در بیشتر مواقع نقشه‌های آلودگی صوتی ناشی از ترافیک برای سطح تهیه می‌شود[۳]. به عبارت‌دیگر این‌گونه فرض شده که در یک نقطه خاص با تغییر ارتفاع، تغییر زیادی در میزان آلودگی صوتی ترافیکی رسیده به آن نقطه اتفاق نمی‌افتد. این تحقیق به دنبال آن است که با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات مکانی سه‌بعدی[۳] (3D GIS)، سطوح سه‌بعدی مناطق شهری[۴] (DSM) و روش‌ها و الگوهای پیش‌بینی ترازهای صوت، نشان‌دهد که در میزان آلودگی صوتی ترافیکی رسیده به یک نقطه در ارتفاعات مختلف چه میزان تفاوت وجود دارد و این تفاوت در نقاط واقع بر وجوه مختلف ساختمان‌ها چگونه است. در واقع می‌توان مدل سه‌بعدی که از منطقه شهری ساخته می‌شود و ساختمان‌هایی که وجوهشان بیان‌گر میزان صوت هستند را خروجی و هدف نهایی این پروژه دانست.

در زمینه مدل‌سازی آلودگی صوتی با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی تحقیقات محدودی صورت گرفته است. پیشینه بررسی و اجرای تلفیق سیستم‌های اطلاعات مکانی و مدل‌های انتشار صوت به منظور مدل‌سازی آلودگی صوتی با استفاده از آمار ترافیکی را می‌توان در تحقیق Stoter(۱۹۹۹) جستجو نمود[۱۸]. و به دنباله آن محققین مختلفی از جمله Kluijver (۲۰۰۳) و Kurakula(۲۰۰۸) به ارائه راهکارهای متفاوت در این رابطه پرداختند [۱۹و۲۰]. افراد مذکور از طریق تلفیق نرم افزارهای انتشار صوت و سیستم‌های اطلاعات مکانی به مدلسازی آلودگی صوتی در حاشیه خیابان‌های پرگذر، از طریق آمارهای ترافیکی و باستناد مدل استاندارد انتشار صوت در منطقه مورد مطالعه خود پرداخته‌اند. استفاده از چنین ابزارهایی در تحقیقات این افراد، تا حدود زیادی به آماده سازی داده‌ها و درون یابی نقاط نمونه، منحصر شده است. از جمله تحقیقات دیگر می‌توان به مطالعه‌ای در کشور چین اشاره نمود که در سال ۲۰۱۴ اقدام به تهیه نقشه آلودگی صوتی ناشی از ترافیک در شهر گوانگ ژو نموده است[۳] . در این تحقیق نقشه آلودگی صوتی از طریق یک مدل غیرخطی بهینه شده در طول روز و شب تهیه شده است. C,Ming و همکاران (۲۰۱۴) در این تحقیق فرایند بهینه‌سازی مدل را در ۳ مرحله اجرا نموده که با این کار از حجم اطلاعات اضافی کم کرده و بر سرعت و دقت پردازش افزوده است. درنهایت با بررسی‌های میدانی نیز دقت مدل استفاده شده کمتر از دو دسی‌بل اندازه‌گیری شده است. نتایج حاصل شده از این تحقیق تنها مختص به سطح زمین(تا ارتفاع ۱,۵ متری) بوده و نمی‌توان نتایج آن را برای ارتفاعات مختلف نیز تعمیم داد. به منظور محاسبه میزان آلودگی صوتی برای هر نقطه از یک مدل غیرخطی استفاده شده که با دریافت اطلاعات ترافیکی نظیر حجم تردد وسایل نقلیه و میانگین سرعت و .... اقدام به پیش بینی نویز می‌نماید. بهینه سازی و پالایش نقاط نمونه به منظور افزایش دقت و کاهش تعداد نقاط، یکی از ایده های جالبی بوده که از این تحقیق استخراج شده و با یک سری تغییرات اساسی در این پژوهش به کار گرفته شده است.

---

۱ Thematic map
۲ Geospatial information system
۳ 3 Dimensional geospatial information system
٤ Digital surface model

تحقیق شاخص دیگر در این زمینه مطالعه ای است که در شهر تهران اقدام به تهیه نقشه‌های آلودگی صوتی در ارتفاع نموده است[۷]. ranjbar و همکاران(۲۰۰۷) در این پژوهش به منظور مدل‌سازی آلودگی صوتی از مدل استاندارد محاسباتی اول (SCM1[۱]) آلمان استفاده کرده‌اند. سپس با اندازه‌گیری تعدادی نقاط کنترل درستی این مدل مورد ارزیابی قرار گرفته و پس از آن مدل‌سازی صورت پذیرفته و نتایج آن در محیط سیستم اطلاعات مکانی ارائه گردیده است. در این پژوهش به منظور ارزیابی موثر اثر نویز حاصل از ترافیک محدوده مطالعاتی، مدل نویز با مدل سه بعدی محدوده تلفیق گردید. این مدل در محیط GIS به منظور بصری‌سازی اثر نامرئی نویز به اثری قابل تحقیق در غالب منحنی های رنگی نویز توسعه داده شد. سیستم شبکه بندی ارائه شده برای تخمین نویز حاصل از ترافیک در این مطالعه، تصاویری واضح از تغییر نویز بر روی ساختمان‌ها را ارائه می نماید [۷].

نتایج این مدل برای منطقه مورد مطالعه گویای ناامن بودن نمای جلو و امن بودن وجوه پشتی ساختمان‌ها برای کاربری‌های مسکونی و تجاری می‌باشد. هر دو وجه کناری در مقایسه با وجه جلوی ساختمان آرام‌تر بوده، اما ترازهای نویز در این نواحی هم چنان از ترازهای استاندارد برای کاربری‌های مسکونی و تجاری بسیار بالاتر هستند.

آلودگی صوتی حاصل از ترافیک در بسیاری از مطالعات و تحقیقات پیشین به صورت ترازهای رقومی مدلسازی شده اند، این نوع از مدلسازی امکان بررسی اثرات نویز را در همه ی جهات ممکن نمیسازد [۱۷]. به منظور یافتن راه حلی بهتر برای حل این مسائل، داشتن یک نقشه ی آلودگی صوتی که می تواند اطلاعات کاملی را ازتاثیر آلودگی صوتی در همه‌ی جهات ارائه نماید، ضروری به نظر می‌آید. این امر با داشتن مدل ۳ بعدی آلودگی صوتی ممکن می‌گردد.

تحقیقات ذکر شده اگر چه همگی به دنبال تهیه نقشه‌های آلودگی صوتی ناشی از ترافیک بوده اند اما آنچه که سبب وجود تفاوت و برتری این پژوهش با آن‌ها می‌شود این نکته است که در این تحقیق ما سعی بر ارائه نقشه سه بعدی آلودگی صوتی حاصل از ترافیک داشته‌ایم به نحوی که با مشکلات تحقیقات قبل مواجه نشویم. مثلا در تحقیق ranjbar و همکاران(۲۰۰۷) که اساس و پایه انجام این تحقیق نیز به شمار می‌رود، افزونگی داده و زیاد شدن بیش از حد تعداد نقاط نمونه یکی از مشکلات اساسی پیش روی محقق بوده است [۷].

در این تحقیق ما سعی کرده ایم با فیلتر نمودن نقاط غیرضرور این مشکل را تا حد زیادی برطرف نماییم و نقاط نمونه برای پیش بینی نویز را از یک تعداد بسیار زیاد به یک تعداد معقول و منطقی برسانیم.

یکی دیگر از مهمترین وجوه تمایز این تحقیق با تحقیقات انجام شده ارائه یک واسط گرافیکی کاربری مختص به مدل پیش بینی نویز ارائه شده می‌باشد که چنین برنامه ای در ارتباط با این مدل تا کنون تولید نشده است. در واقع این نوآوری حاصل چندین صفحه کدنویسی در نرم افزار متلب[۲] بوده که سبب ایجاد چنین واسط گرافیکی گردیده است. همچنین می‌توان استفاده از نرم افزار ArcGIS در بیشتر مراحل مدل سازی تحقیق فوق را یکی دیگر از تفاوت های اساسی بین این تحقیق و تحقیقات مشابه دانست. چراکه در تحقیقات مشابه تنها از ArcGIS به منظور نمایش و بصری سازی استفاده گردیده حال آنکه در این تحقیق علاوه بر نمایش و بصری سازی، انجام محاسبات و تولید داده نیز در این نرم افزار صورت پذیرفته است.

۲- روش اجرای تحقیق

همان‌گونه که اشاره شد بر خلاف این باور که تهیه نقشه‌های آلودگی صوتی در ارتفاعات مختلف امری ساده و به دور از پیچیدگی است، اما این‌گونه نیست. می‌بایست چندین مرحله فرایند پیچیده کنار هم قرار گیرند تا نیل به این هدف محقق گردد. فرایندهایی که خود هر کدام شامل چندین زیرشاخه و مرحله می‌باشند. اساسا تهیه چنین نقشه‌هایی نیاز به یک سلسله فرایندهای پیوسته به هم دارد و چنان‌چه یکی از مراحل حذف گردد و یا به درستی نتایج را ارائه ندهد اصولا هدف تحقیق محقق نخواهد شد. این فرایند در قالب شکل (۱) ارائه گردیده است.

۲-۱- انتخاب مدل مناسب پیش‌بینی نویز

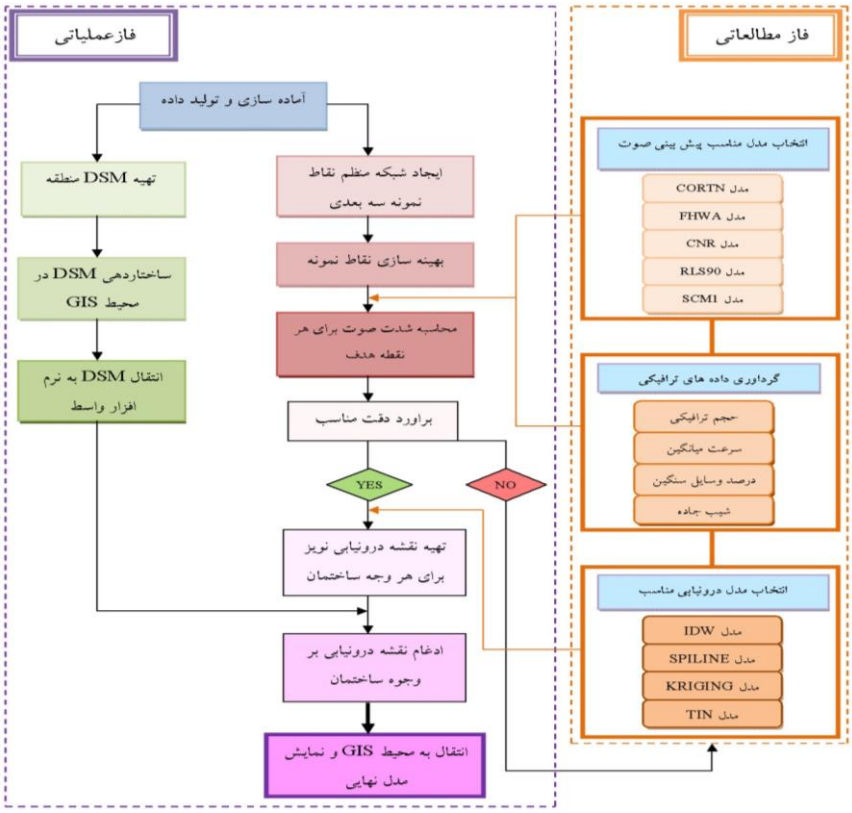
برای تهیه نقشه‌های آلودگی صوتی معمولا باید از منطقه مورد نظر تعداد زیادی نقطه نمونه‌برداری گردد و به

۱ Standard calculation method 1

۲ Matlab

صورت مستقیم مورد اندازه‌گیری قرار گیرد و نهایتا با استفاده از مدل‌های درون‌یابی ترازهای صوت به دست آید.

این امر دارای محدودیت‌ها و موانع پیش روی زیادی بوده که از جمله این محدودیت‌ها می‌توان به هزینه‌بر بودن، زمان‌بر بودن، عدم دسترسی به تمام منطقه و مواردی از این قبیل اشاره نمود. یکی از بهترین راه‌کارهای حل این مشکل این است که از یک‌سری مدل‌های محاسباتی که قادرند ترازهای صوت را در هر نقطه دلخواه پیش‌بینی کنند استفاده شود. این مدل‌ها که تحت عنوان مدل‌های انتشار صوت ناشی از ترافیک و یا مدل‌های پیش‌بینی نویز شناخته می‌شوند، قادرند ترازهای صوت ناشی از جاده‌های پیرامون یک منطقه را برای هر نقطه دلخواه تخمین زده و پیش‌بینی کنند[۸و۹].



شکل ۱- فرایند کلی اجرای تحقیق

چنین مدل‌هایی در دو دسته اصلی قرار می‌گیرند. دسته‌ای که قادرند ترازهای صوت را در سطح زمین پیش‌بینی کنند و دسته‌ای دیگر که قادرند این ترازها را برای هر ارتفاع دلخواه تخمین بزنند. از جمله مهمترین این مدل‌ها می‌توان به مدل‌های CORTN[۱]، FHWA[۲]، CNR[۳]، RLS90[۴]، SCM1[۵] اشاره نمود[۸و۹].

مدل FHWA اولین بار در سال ۱۹۷۸ توسط شرکت بزرگراه‌های کشور آمریکا به وجود آمد[۱۰] . در این مدل، وسایل نقلیه که در واقع همان منابع ایجادکننده آلودگی صوتی هستند به سه دسته تقسیم می‌شوند که همین امر را می‌توان یکی از نقاط ضعف آن برشمرد.[۱۰]. رابطه این مدل مطابق رابطه (۱) می‌باشد.

۱ Calculation of road traffic noise
۲ Federal highway administration
۳ Contrast noise ratio
۴ Richtlinien Lärmschutz Straben
۵ Standard calculation method 1
۶ Traffic noise model

$$Leq_{(h)i} = \left(\overline{L_o}\right)_{Ei} + 10\log_{10}\left(\frac{N_i \pi D_o}{S_i T}\right) + 10\log_{10}\left(\frac{D_o}{D}\right)^{1+\propto} + 10\log_{10}\left(\frac{\psi_\propto(\varphi_1,\varphi_2)}{\pi}\right) \quad (۱)$$

مدل مطرح دیگر در این زمینه RLS90 است. این مدل آلمانی بوده که از توسعه مدل قدیمی RLS81 به وجود آمده است. این مدل به لحاظ گستردگی و توسعه مانند مدل FHWA نیست اما به هرحال یکی از رایج ترین و مهمترین مدل‌های استفاده شده در کشور آلمان می‌باشد. ایراد بزرگ این آن نیز عدم توانایی محاسبه ترازهای نویز واقع در ارتفاعات مختلف است که همین امر سبب می‌شود تا برای این تحقیق مورد استفاده قرارنگیرد[۱۱]. رابطه اصلی این مدل نیز مطابق رابطه (۲) است.

$$L_m = L_{M,E} + R_{SL} + R_{RS} + R_{RF} + R_E + R_{DA} + R_{GA} + R_{TB} \quad (۲)$$

یکی دیگر از این مدل‌ها CNR است که ایتالیایی بوده و بر اساس توسعه و تصحیح مدل آلمانی RLS90 به وجود آمده است **[۹]**. همانند مدل‌های قبلی این مدل نیز قادر به محاسبه نویز در ارتفاع نبوده و برای انجام این تحقیق مناسب نیست. زیرا اصلی ترین فاکتور به منظور انتخاب یک مدل مناسب پیش بینی نویز برای این تحقیق امکان پیش بینی نویز در ارتفاعات مختلف است که مدل‌های ذکر شده هیچ کدام این قابلیت را دارا نیستند. رابطه اصلی این مدل نیز به صورت رابطه (۳) می‌باشد.

$$L_{AEq} = \propto + 10\log_{10}(\varphi_L + \beta_{\varphi p}) - 10\log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + \Delta L_V + \Delta L_F + \Delta L_B + \Delta L_S + \Delta L_G + \Delta L_{VB} \quad (۳)$$

باتوجه به بررسی‌های صورت گرفته بر روی چندین مدل مطرح، مدل CORTN به دلیل ساده بودن و قابل محاسبه بودن تمامی پارامترهای آن و همچنین قابلیت آن در محاسبه ترازهای نویز در ارتفاعات مختلف به عنوان مدل نهایی پیش‌بینی نویز در این تحقیق انتخاب گردیده است. در واقع می‌توان گفت روابط نسبتا ساده این مدل و امکان برنامه‌نویسی روابط آن در محیط های نرم‌افزاری این امکان را نیز فراهم می‌آورد تا اقدام به ساخت برنامه‌های نرم‌افزاری و واسط‌های گرافیکی به منظور محاسبه خودکار میزان نویز در این مدل نمود.

۲-۱-۱- مدل پیش‌بینی نویز CORTN

مدل CORTN اولین بار در سال ۱۹۷۵ در اسکاتلند مورد استفاده و آزمایش قرارگرفت. پس از آن توسط وزارت حمل‌ونقل این کشور و آزمایشگاه‌های تحقیقات جاده مورد تجدید نظر واقع گردید [۱۳-۱۵] . برای محاسبه ترازهای نویز در این مدل نیاز به انجام چندین مرحله فرایندهای محاسباتی می‌باشد.

مرحله اول: ابتدا خیابان مورد نظر با توجه به معیارهای مشخص شده به چندین بخش تقسیم‌بندی گردد.

مرحله دوم: با توجه به رابطه اصلی مدل اقدام به محاسبه نویز منتشر شده پایه می‌گردد که میزان این نویز از چندین عامل سنجیده می‌شود.

مرحله سوم: تصحیحات مختلفی همچون فاصله، وجود موانع و انعکاس برروی نویز پایه ایجاد شده اعمال می‌گردد.

مرحله چهارم: تمامی نتایج باهم ترکیب شده تا ترازهای نویز برای هر نقطه هدف تعیین گردد.

اولین اقدام در استفاده از این مدل به منظور محاسبه ترازهای نویز تقسیم‌بندی خیابان مورد نظر به چند قسمت است. این قسمت‌ها می‌توانند هم‌اندازه و یا متفاوت از هم باشند. محل‌هایی که جریان ترافیکی تغییر می‌کند و یا شیب متفاوت می‌شود و یا انحنا به وجود می‌آید را می‌توان محل جداسازی این قسمت‌ها در نظر گرفت. نکته مهم این است که تفاوت شدت نویز در هر قسمت با قسمت دیگر نباید از ۲ دسی‌بل بیشتر باشد. پس از تقسیم‌بندی خیابان نیز باتوجه به مدل‌های محاسباتی و رابطه اصلی این مدل نسبت به محاسبه ترازهای نویز در هرقسمت اقدام صورت می‌گیرد[۱۳-۱۵].

رابطه ریاضی اصلی این مدل در رابطه (۴) نشان داده شده است. معمولا رابطه ریاضی تمامی این مدل‌ها از دو بخش اصلی تشکیل شده است. بخش اول که میزان نویز پایه تولید شده از وسایل نقلیه را بسته به پارامترهای معرفی شده ترافیکی بیان می‌کند و بخش دوم که تصحیحاتی را به منظور کاستن از این نویز ایجاد شده برروی رابطه اصلی اعمال می‌نماید[۱۳-۱۵] .

$$L_{A10,1h} = L_o + \Delta_f + \Delta_g + \Delta_p + \Delta_d + \Delta_s + \Delta_\alpha + \Delta_r \quad (۲)$$

در این رابطه

L_o میزان نویز منتشر شده از منبع صوت برای یک فاصله مرجع ۱۰ متری بوده که از روابط (۵) و (۶) به دست می‌آید.

$$L_o = 42.2 + 10\log_{10}q \qquad (۵)$$

$$L_o = 29.1 + 10\log_{10}Q \qquad (۶)$$

رابطه (۵) میزان نویز منتشر شده از منبع صوت برای مدت یک ساعت و رابطه (۶) میزان نویز منتشر شده از منبع صوت به صورت میانگین برای مدت ۱۸ ساعت را محاسبه می‌کند. منظور از ۱۸ ساعت یعنی بازه زمانی بین ساعت ۶ صبح تا ۲۴ بامداد. در این روابط q میزان حجم ترافیک در مدت زمان یک ساعت می‌باشد. منظور از حجم ترافیک یعنی تعداد وسایل نقلیه عبوری که در مدت یک ساعت از محل مورد نظر عبور می‌کنند. Q نیز کل حجم ترافیکی از ساعت ۶ تا ۲۴ است.

Δ_f میزان تصحیح ناشی از جریانات ترافیکی بوده که به صورت رابطه (۷) حاصل می‌گردد.

$$\Delta_f = 33\log_{10}\left(v + 40 + \frac{500}{v}\right) + 10\log_{10}\left(1 + \frac{5p}{v}\right) - 68.8 \qquad (۷)$$

v میانگین سرعت حجم ترافیکی در مدت یک ساعت بر حسب کیلومتر بر ساعت است.

F حجم ترافیکی وسایل نقلیه سنگین در مدت یک ساعت می‌باشد. در این مدل منظور از وسایل نقلیه سنگین یعنی وسایل نقلیه‌ای که دارای وزنی بیش از ۱۵۲۵ کیلوگرم می‌باشند.

P درصد وسایل نقلیه سنگین است که مطابق رابطه(۸) به دست می‌آید [۱۳-۱۵].

$$p = \frac{100f}{q} \qquad (۸)$$

Δ_g تصحیح ناشی از وجود شیب بوده که مطابق رابطه(۹) حاصل می‌گردد [۱۳-۱۵] . در واقع مقدار شیب جاده نیز می‌تواند در شدت نویز ایجاد شده تاثیرپذیر باشد. چراکه زمانی که جاده دارای شیب سربالایی باشد وسیله نقلیه نیازمند افزودن دور موتور خواهد بودکه همین امر افزایش میزان نویز را به دنبال خواهد داشت.

$$\Delta_g = 0.3\ G \qquad (۲)$$

Δ_p تصحیح ناشی از تاثیر جنس سطح جاده است. نوع جنس راه نیز می‌تواند یکی از عواملی باشد که سبب ایجاد نویز بیشتر گردد. درواقع به دلیل ایجاد اصطکاک بین لاستیک اتومبیل و جاده، این پارامتر نیز می‌تواند سبب ایجاد نویز بیشتر و یا کمتر گردد. به عبارت دیگر این پارامتر زمانی اهمیت دارد که در یک جاده چندین نوع سطح وجود داشته باشد. جنس این سطوح می‌تواند سبب ایجاد تغییرات در میزان نویز دریافتی گردد. میزان تاثیر این عامل نیز از روابط ذیل حاصل می‌گردد[۱۳-۱۵] .

$$\Delta_p = 10\log_{10}(90TD + 30) - 20 \qquad (۱۰)$$

$$\Delta_p = 10\log_{10}(20TD + 60) - 20 \qquad (۱۱)$$

رابطه (۱۰) برای سطوح بتنی و رابطه (۱۱) نیز برای سطوح آسفالتی است که در آن ها TD عمق سطح مورد نظر می‌باشد. زمانی که سطح مورد نظر آسفالت با عمق ۲ سانتی‌متر باشد میزان این پارامتر ۰ خواهد بود[۱۳-۱۵].

Δ_d تصحیح ناشی از فاصله منبع نویز تا نقطه هدف است. شاید بتوان گفت مهمترین عاملی که بیشترین میزان تصحیح را برروی شدت نویز ایجاد شده از منبع می‌گذارد وجود فاصله بین نقطه هدف تا منبع تولید نویز است. از آنجاکه این مدل قابلیت آن را دارد که میزان نویز را هم در سطح و هم در ارتفاع محاسبه کند پس طبیعتا در این بخش با دو نوع فاصله سروکار خواهیم داشت، فاصله افقی و فاصله مایل که به نوعی بیان‌کننده همان ارتفاع است. میزان این تصحیح مطابق روابط زیر حاصل می‌گردد.

$$\Delta_d = -10\log_{10}\left(\frac{d'}{13.5}\right) \qquad (۱۲)$$

d' فاصله مایل بین منبع نویز تا نقطه هدف است که به صورت رابطه (۱۳) به دست می‌آید.

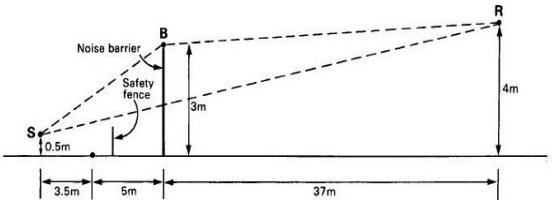
$$d' = [(d + 3.5)^2 + h^2]^{\frac{1}{2}} \qquad (۱۳)$$

d فاصله افقی بین نقطه هدف تا لبه ۳,۵ متری از مرکز خیابان می‌باشد. H نیز ارتفاع نقطه هدف تا فاصله نیم متری از لبه خیابان است[۱۳-۱۵] .

Δ_s تصحیح ناشی از وجود مانع بین منبع نویز تا نقطه هدف است. میزان این تصحیح باتوجه به فاصله و ارتفاع مانع نسبت به نقطه هدف و منبع نویز و طی چند مرحله محاسبات حاصل می‌گردد. ابتدا باتوجه به فاصله و ارتفاع

مانع نسبت به نقطه هدف و منبع نویز ضریبی تحت عنوان δ با توجه به شکل(۲) به دست می‌آید.

$$\delta = SB + BR - SR \quad (۱۴)$$



شکل ۲- وجود مانع بین منبع نویز و نقطه هدف

پس از محاسبه مقدار δ، مطابق روابط و جدول زیر میزان تصحیح محاسبه می‌شود.

$$\Delta_s = A_0 + A_1 x + A_2 x^2 + \cdots A_n x^n \quad (۱۵)$$

$$x = \log_{10} \delta \quad (۱۶)$$

جدول۱- مقادیر ضرایب ثابت در تصحیح میزان نویز به دلیل وجود مانع زمانی که $-3 \le x \le +1.2$

A0	-15.4
A1	-8.26
A2	-2.787
A3	-0.831
A4	-0.198
A5	+0.1539
A6	+0.12248
A7	+0.02175

اگر چنان چه مقدار x در محدوده مشخص شده نباشد میزان تصحیح به‌صورت مستقیم و مطابق روابط زیر محاسبه خواهد شد[۱۰-۱۲].

$$X < -3 , \quad A = -5 \text{ dB} \quad (۱۷)$$

$$X > 1.2 , \quad A = -30 \text{ dB} \quad (۱۸)$$

Δ_a تصحیح ناشی از زاویه دید نقطه هدف می‌باشد و مطابق رابطه (۱۹) به دست می‌آید.

$$\Delta_\alpha = 10\log_{10}(\frac{\theta}{180}) \quad (۱۹)$$

Δ_r تصحیح ناشی از وجود چندین ساختمان در یک منطقه است. زمانی‌که ارتفاع یک ساختمان حداقل یک و نیم متر بالاتر از سطح زمین باشد این امر سبب انعکاس نویز رسیده به سایر قسمت‌ها خواهد شد. میزان این تصحیح به صورت رابطه زیر حاصل می‌شود.

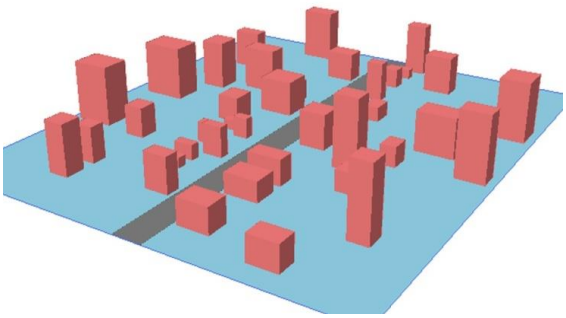
$$\Delta_r = 1.5\,(\frac{\acute{\theta}}{\theta}) \quad (۲۰)$$

$\acute{\theta}$ مجموع زوایای تشکیل شده بین محدود هر ساختمان با نقطه هدف می‌باشد. θ نیز زاویه بین ابتدا و انتهای هر بخش پیرامونی نقطه هدف است.

۲-۲- تولید و گردآوری داده‌های مورد نیاز

۲-۲-۱- ساخت مدل سه‌بعدی شهر

با توجه به آن‌که بایستی ترازهای نویز بر وجوه مختلف ساختمان‌های سه‌بعدی نمایش داده شوند بنابراین ابتدا می‌بایست اقدام به ساخت مدلی سه‌بعدی از منطقه مورد نظر نمود.



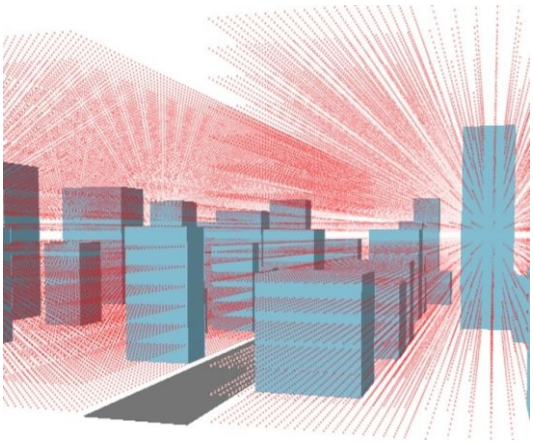
شکل۳- مدل سه‌بعدی ایجاد شده از منطقه

باتوجه به این که در این تحقیق هدف نمایش نقشه‌های نویز است بنابراین وجود جزییات کامل در هر ساختمان امری ضروری نیست و تنها کافی است شکلی مکعبی و هم‌ابعاد با ساختمان مورد نظر ایجاد شده تا بتوان نقشه‌های نویز ایجاد شده را بر وجوه آن منطبق نمود. در منطقه مورد مطالعه نیز وضعیت ابعاد مسطحاتی ساختمان‌ها با استفاده از نقشه‌های اتوکدی موجود از منطقه در محیط نرم‌افزار ArcGIS ترسیم شده و ارتفاع هر ساختمان نیز با اندازه‌گیری میدانی به دست می‌آید. این ارتفاع به عنوان فیلدی توصیفی برای هر ساختمان در محیط نرم افزار معرفی می‌گردد. باتوجه به ترسیمات انجام شده و قابلیت‌های نرم‌افزار ArcGIS در نمایش سطوح سه‌بعدی، مدلی سه‌بعدی از منطقه تهیه می‌شود.

۲-۲-۲- ایجاد نقاط نمونه

برای ایجاد نقشه‌های پیوسته مانند نقشه‌های آلودگی صوتی، اولین داده مورد نیاز یک‌سری نقاط نمونه هستند که در سرتاسر منطقه پراکنده شده باشند تا بتوان با

استفاده از مدل‌های پیش‌بینی نویز ترازهای نویز را در آن‌ها محاسبه نمود. نقاطی که می‌توانند یا به صورت منظم و یا به صورت نامنظم در سطح منطقه پراکنده گردند. شاید ایجاد مجموعه نقاط نامنظم برای این هدف مناسب نباشد، چراکه معمولا نقاط نامنظم برای تهیه نقشه‌های توپوگرافی ارتفاعی ایجاد می‌گردند. نقشه‌هایی که تغییرات ارتفاعی در آن‌ها با هیچ سازوکاری قابل پیش‌بینی نیست. اما با توجه به آن‌که می‌توان تغییرات نویز را با توجه به مدل‌های پیش‌بینی کننده آن مشخص نمود پس لازم است که از یک مجموعه نقاط منظم سه‌بعدی که دارای فواصل طولی، عرضی و ارتفاعی از قبل مشخص شده ای نسبت به یکدیگر باشند بهره جست.



شکل۴- ایجاد نقاط منظم سه‌بعدی

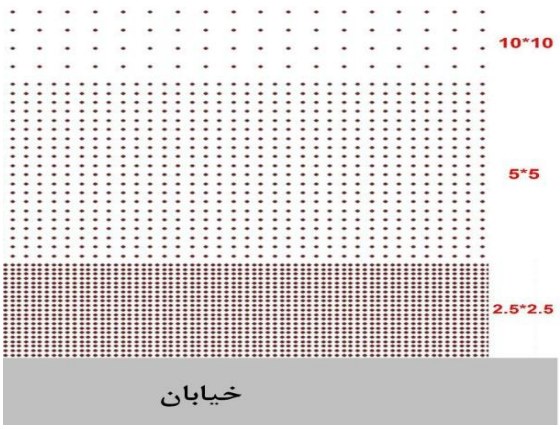
ایجاد چنین مجموعه نقاط منظمی اگرچه امری ساده و به دور از پیچیدگی است اما زمانی که وسعت منطقه زیاد باشد سبب بروز مشکلاتی می‌گردد. دلیل وجود مشکل این است که به خاطر کم بودن فواصل طولی، عرضی و ارتفاعی نقاط از یکدیگر، تعداد نقاط بسیار زیاد شده که این امر سبب بروز مشکلات زیادی می‌شود. از جمله این مشکلات می‌توان به کند شدن محاسبات، افزایش زمان محاسبات و... اشاره نمود. بنابراین می‌توان با اعمال سه مرحله پالایش به شکل قابل‌توجهی از تعداد نقاط کاست.

۲-۲-۳- پالایش نقاط نمونه

مرحله اول:

در حالت عادی نشان داده شد که برای ایجاد یک شبکه از نقاط سه‌بعدی می‌توان با در نظر گرفتن فواصل ثابت طولی، عرضی و ارتفاعی، اقدام به ایجاد یک شبکه از نقاط نمود. اما در روش ارائه شده می‌توان با توجه به میزان تاثیر منبع ایجاد نویز در فواصل مختلف، اقدام به افزایش فواصل طولی و عرضی نقاط از یکدیگر نمود. این‌که تعیین حدود و مرزی که فواصل گریدبندی تغییر می‌کند چگونه باید مشخص شود بستگی به میزان تاثیر منبع ایجاد نویز در فواصل مشخص دارد. با انتخاب چند نقطه نمونه در فواصل مختلف از منبع نویز و انجام محاسبات مربوط به پیش‌بینی ترازهای نویز در آن نقاط، می‌توان به صورت تجربی این مرز را پیدا نمود.

بنابراین با توجه به میزان تفاوت نویز رسیده به نقاط مختلف که توسط مدل CORTN تخمین زده می‌شود، فواصل شبکه‌های گریدبندی در سه حالت ۲,۵ در ۲,۵ ، ۵ در۵ و ۱۰ در ۱۰ متر مشخص می‌گردد. تا فاصله ۵۰ متری از گوشه کناری خیابان، این گریدبندی‌ها به صورت شبکه ۲,۵ در ۲,۵ متر خواهد بود. از فاصله ۵۰ تا ۱۵۰ متر از گوشه خیابان فواصل گریدبندی‌ها ۵ متر در ۵ متر خواهد بود و از فاصله ۱۵۰ تا ۲۰۰ متری از گوشه خیابان این فواصل ۱۰ متر در ۱۰ متر خواهند بود. با توجه به مدل CORTN، میزان تصحیح نویز منبع تا فاصله ۵۰ متری ۶- دسی بل، تا فاصله ۱۵۰ متری ۱۰,۵- دسی بل و تا فاصله ۲۰۰ متری ۱۱,۷- دس بل می‌باشد.



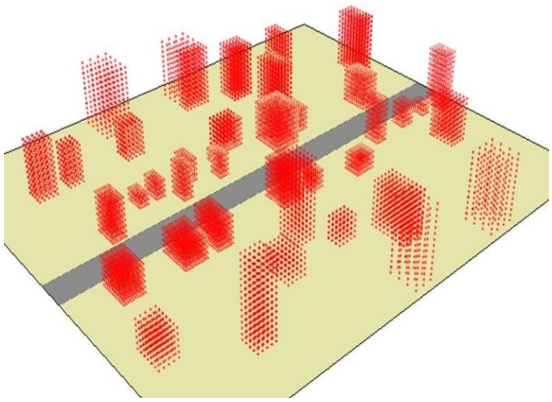
شکل۵- تغییر فواصل گریدبندی در نقاط نمونه

این نتایج حاکی از سیر نزولی تاثیرپذیری نویز منبع بر فواصل دورتر است که همین امر سبب می‌شود تا از تراکم نقاط نمونه در فواصل دورتر از منبع نویز کاسته شود.

مرحله دوم:

با انجام مرحله اول به تعداد قابل توجهی از نقاط کاسته می‌شود و نقاط نمونه در سرتاسر منطقه گسترده می‌شوند. اما نکته‌ای که وجود دارد این است که در مناطقی که هیچ‌گونه ساختمانی وجود ندارد طبیعتا نیازی

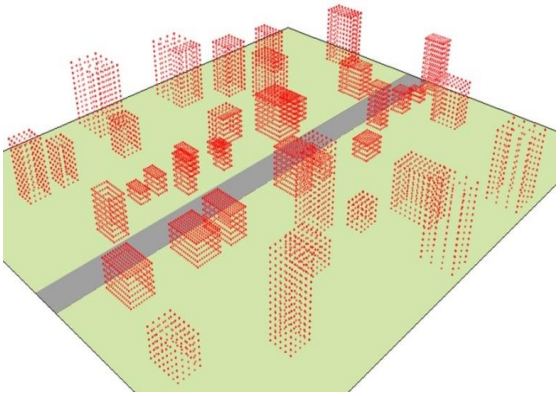
به وجود نقاط نمونه نیست. زیرا هدف تحقیق نمایش آلودگی صوتی بر وجوه مختلف ساختمان‌ها است و محاسبه نویز در مناطقی غیر از آن امری غیرضروری است. برای انجام این مرحله از فرایند بهینه‌سازی کافی است هم‌زمان شبکه نقاط ایجاد شده و مدل سه‌بعدی ساخته شده را وارد محیط ArcGIS کرده و بین آن‌ها با استفاده از تابع تقاطع[1] یک تقاطع سه‌بعدی ایجاد نمود. انجام این مرحله از فرایند پالایش علاوه بر اینکه نقاط غیرضروری را از مجموعه نقاط ایجاد شده حذف می‌کند بلکه تعداد قابل توجهی نیز از آن‌ها کاسته می شود.



شکل۶- وضعیت پراکندگی نقاط در سطح منطقه پس از مرحله دوم پالایش تعداد نقاط

مرحله سوم:

با انجام مرحله قبل تنها نقاطی باقی می‌ماند که به نوعی منطبق بر وجوه بیرونی ساختمان‌ها و یا درون آن‌ها قرار گرفته‌اند. باتوجه به این‌که هدف تحقیق تهیه نقشه ترازهای نویز واقع بر وجوه بیرونی ساختمان‌ها است پس طبیعتا نیازی به وجود نقاط درون ساختمان‌ها نیست. می‌توان با استفاده از تابع پرسشگری[2] در محیط ArcGIS این نقاط غیرضروری را نیز حذف نمود.



شکل۷- وضعیت پراکندگی نقاط در سطح منطقه پس از مرحله سوم

[1] Intersect
[2] Query

از آن‌جا که گستردگی نقاط در سطح منطقه به صورت شبکه منظم صورت پذیرفته پس جداسازی نقاط واقع بر دیواره ها امری پیچیده نیست. به شکل‌های مختلفی می‌توان این جداسازی را انجام داد. مثلا بین ساختمان ها و نقاط تقاطعی ایجاد نمود به شرط آنکه نقاط شمول درون ساختمان ها به حساب نیایند. یا اینکه با بررسی تک تک ساختمان ها از نظر مختصات طول و عرض نقاط واقع بر دیواره ها، با به کار گیری تابع پرسشگری اقدام به انتخاب نقاطی از ساختمان مورد نظر نمود که دارای مختصات طولی و یا عرضی یکسان به شرط واقع شدن بر دیواره ساختمان باشند.

با انجام این سه مرحله پالایش مطابق آنچه که در جدول (۲) نمایش داده شده است تعداد قابل توجهی از نقاط کاسته می‌شود که این امر نه‌تنها در دقت تهیه نقشه‌های آلودگی صوتی تاثیر منفی قابل توجهی ندارد بلکه سبب بهبود عملکرد سیستم محاسباتی نیز خواهد شد.

جدول۲- تعداد نقاط کاهش یافته پس از مراحل بهینه‌سازی

مراحل پالایش	تعداد نقاط پس از پالایش	درصد کاهش یافته نقاط نسبت به۸۹۶هزار نقطه اولیه
مرحله اول	۲۱۸۳۳۸	۴۱۰ ٪
مرحله دوم	۱۸۱۰۰	۴۹۵۰ ٪
مرحله سوم	۱۱۴۵۶	۷۸۲۱ ٪

۲-۲-۴- گردآوری داده‌های ترافیکی

با توجه به عدم وجود سیستم‌های خودکار ثبت داده‌های ترافیکی در منطقه مورد مطالعه، تهیه این داده‌ها به صورت مستقیم و حضوری انجام می‌پذیرد. نخستین داده موردنیاز مدل CORTN به منظور محاسبه ترازهای نویز حجم تردد وسایل نقلیه عبوری در مدت یک ساعت است. منظور از حجم تردد وسایل نقلیه عبوری یعنی تعداد وسیله‌ای که در مدت یک ساعت از خیابان مورد نظر عبور کرده باشند. این تعداد وسایل نقلیه عبوری در تاریخ ۶ام اسفند ماه ۱۳۹۴ در بازه زمانی ۱۲ تا ۱۳ به صورت مشاهده حضوری ثبت گردید.

پارامتر دیگر ترافیکی موردنیاز در این مدل درصد وسایل نقلیه سنگین عبوری در این مدت است. با توجه به توضیحات این مدل منظور از وسایل نقلیه سنگین وسایلی هستند که دارای وزنی بیش از ۱۵۲۵ کیلوگرم باشند. این درصد عبوری نیز به همان روش مشاهده حضوری ثبت گردید.

نکته مهمی که در این زمینه قابل ذکر است این است که وجود موتورسیکلت‌های قدیمی در سطح شهر و آلایندگی صوتی بسیار زیاد آن‌ها سبب می‌شود تا نتوان آن‌ها را جزو وسایل نقلیه سبک به حساب آورد. بنابراین این دسته از موتورسیکلت‌ها نیز جزو وسایل نقلیه سنگین به حساب آورده شده و در محاسبات مدل اعمال می‌شود.

جدول۳: پارامترهای ترافیکی گرداوری شده از منطقه مورد مطالعه

شیب خیابان (برحسب درصد)	میانگین سرعت وسایل نقلیه (برحسب درصد)	نسبت وسایل نقلیه سنگین عبوری (برحسب درصد)	حجم تردد وسایل نقلیه عبوری (برحسب درصد)	پارامتر ترافیکی
۰	۶۰	۱۰	۴۰۰۰	مقدار

دیگر پارامتر مهم ترافیکی در این مدل میانگین سرعت وسایل نقلیه عبوری است. طبیعتا به دلیل عدم وجود دوربین‌های خودکار ثبت سرعت در سطح منطقه مطالعه، محاسبه این پارامتر نیز به صورت مستقیم و حضوری صورت می‌پذیرد. با انتخاب تعداد ۴۰ وسیله نقلیه و ثبت سرعت آن‌ها با استفاده از دستگاه‌های تعیین موقعیت جهانی[۱] (GPS) و نهایتا میانگین‌گیری از سرعت‌های ثبت شده نیز این پارامتر محاسبه گردید. نتایج حاصل از ثبت داده‌های ترافیکی در جدول (۳) قابل مشاهده است.

۲-۳- انتخاب مدل درون‌یابی مناسب

پس از این‌که تمامی نقاط گسترده شده در سطح منطقه از نظر میزان نویز مورد محاسبه قرار گرفتند حال می‌باید این مجموعه نقاط برای هر یک از وجوه ساختمان‌ها دسته‌بندی گردند و سپس بین آنها درون‌یابی صورت گرفته تا از یک حالت گسسته به یک حالت پیوسته تبدیل شوند. از آن‌جا که قصد داریم فرایند درون‌یابی را در محیط ArcGIS انجام دهیم بنابراین نمی‌توانیم درون‌یابی را به شکل معمول خود و برای هروجه ساختمان انجام دهیم. چراکه ArcGIS تنها قادر است درون‌یابی را تنها بین نقاط واقع بر سطوح افقی انجام دهد(یعنی در یک نگاه از بالا نقاط بر یکدیگر منطبق نباشند) و از انجام درون‌یابی بین نقاط واقع بر سطوع عمودی عاجز است. بنابراین نقاط واقع بر دیواره های کناری ساختمان برروی یکدیگر منطبق شده و عملا امکان درون‌یابی بین آن ها وجود نخواهد داشت.

برای رفع این مشکل ابتدا نقاط واقع بر هروجه ساختمان جداسازی شده و این نقاط در فرمت تکست خروجی گرفته می‌شوند. سپس بسته به وضعیت قرارگیری وجه مورد نظر، جای ستون طول و یا عرض با ستون ارتفاع جابه‌جا شده تا نقاط واقع بر وجه مورد نظر بر روی یک سطح افقی تصویر شوند. پس از این کار نقاط مجددا وارد نرم افزار ArcGIS می‌شوند و امکان انجام درون‌یابی بین آن ها فراهم می‌گردد.

نکته مهم این است این تصویر کردن هیچ‌گونه اعوجاج و یا تغیری در ابعاد و اندازه وجه مورد نظر پدید نمی‌آورد.

برای انجام درون‌یابی دو مدل وزن‌دهی بر اساس معکوس فاصله[۲] (IDW) و کریجینگ[۳] بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند و کاربردهای بیشتری دارند[۱۶]. طبیعتا سایر مدل های درون یابی نیز از دقت قابل قبولی برخوردار هستند اما آنچه که در این تحقیق بیش از دقت روش های درونیابی اهمیت دارد این است که اساسا چنین فرایند پیچیده ای بتواند به تهیه نقشه های آلودگی صوتی در ارتفاعات مختلف بینجامد. به همین دلیل بررسی مدل های مختلف درون یابی و انتخاب مدل مناسب در حد محدودی صورت پذیرفته است. حال برای این‌که بتوانیم به درستی انتخاب کنیم که از کدام یک از این دو مدل درون یابی استفاده نماییم بهتر است با انتخاب تعدادی نقاط تست برای هر کدام از این دو مدل فرایند صحت‌سنجی[۴] را انجام داده و با مقایسه نتایج حاصل از آن‌ها مدلی که دقت بهتری را ایجاد می‌کند به عنوان مدل اصلی درون‌یابی انتخاب کنیم.

بدین منظور نقاط واقع بر یکی از وجوه جلویی ساختمان‌های منطقه انتخاب شده و مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. ۲۰ درصد از نقاط به عنوان نقاط تست انتخاب شده و نقشی در درون‌یابی نخواهند داشت و تنها به منظور صحت‌سنجی مدل مورد استفاده قرار خواهند گرفت. همان‌طور که در جداول(۴) و (۵) مشاهده می‌گردد مدل درون‌یابی کریجینگ با دقت بهتری نسبت به مدل درون‌یابی

۱ Global positioning system

۲ Inverse distance weight
۳ Kriging
۴ Validation

وزن‌دهی بر اساس معکوس فاصله فرایند درون‌یابی را انجام می‌دهد. درواقع انحراف‌معیار نقاط پیش‌بینی شده در مدل کریجینگ بسیار کمتر از مدل وزن‌دهی بر اساس معکوس فاصله است و این امر نشان از دقت بهتر این مدل دارد.

۳- مدل‌سازی سه‌بعدی آلودگی صوتی با استفاده از مدل پیش‌بینی نویز CORTN

۳-۱- منابع تولید نویز ترافیکی

در مناطق شهری عوامل بسیار زیادی می‌توانند منجر به تولید نویز گردند. از جمله این عوامل می‌توان به صنعت، ترافیک ریلی، ترافیک جاده ای، ترافیک هوایی، کارهای ساختمانی و عمومی و مواردی از این قبیل اشاره نمود. اما طبیعتا در بیشتر مناطق مسکونی شهری عامل ترافیک جاده‌ای دارای نقش پررنگ‌تری در ایجاد آلودگی صوتی می‌باشد. خودروها اعم از سبک و سنگین و موتورسیکلت‌ها عامل ایجاد این نوع از آلودگی هستند. میزان نویزی این وسایل تولید می‌کنند بسته به نوع وسیله و عمر آن عددی بین ۷۰ تا ۱۰۰ دسی بل می‌باشد [۷]. این محدوده جزو محدوده‌های نسبتا مضر برای شنوایی انسان بوده که سبب بروز مشکلات شنوایی برای انسان می‌گردد.

جدول۴- نتایج حاصل از صحت‌سنجی مدل درون‌یابی وزن‌دهی بر اساس معکوس فاصله

خطا	نویز پیش‌بینی شده	نویز واقعی	Y	X	شماره نقطه
۰,۳۵۹	۷۴,۸۹۱۵	۷۴,۸۵۵۵	۳۷۵۳۹۵۲	۲۹۱۸۷۰,۵	۱
-۰,۷۷۸	۷۵,۲۸۶۷	۷۵,۳۶۴۵	۳۷۵۳۹۵۲	۲۹۱۸۲۰	۲
-۰,۵۷۱	۷۵,۰۰۸۷	۷۵,۰۶۵۹	۳۷۵۲۹۶۲	۲۹۱۸۲۰	۳
-۰,۰۱۹۴	۷۴,۷۶۷۵	۷۴,۷۸۶۹	۳۷۵۲۹۶۲	۲۹۱۸۳۰	۴
۰,۱۲۹۳	۷۴,۳۱۳۱	۷۴,۱۸۳۷	۳۷۵۲۹۶۷	۲۹۱۸۰۵	۵
۰,۰۲۰۹	۷۴,۴۸۴۲	۷۴,۴۶۳۳	۳۷۵۲۹۶۷	۲۹۱۸۱۰	۶
-۰,۰۳۴۱	۷۴,۴۴۸۰	۷۴,۴۸۲۲	۳۷۵۲۹۶۷	۲۹۱۸۳۰	۷
۰,۰۰۱۴	۷۴,۰۹۸۱	۷۴,۰۹۶۷	۳۷۵۲۹۷۲	۲۹۱۸۱۰	۸
۰,۰۱۹۰	۷۳,۷۹۳۲	۷۳,۷۷۴۲	۳۷۵۲۹۷۵	۲۹۱۸۱۲,۵	۹
۰,۰۸۵۴	۷۳,۹۱۵۴	۷۳,۸۳۰۰	۳۷۵۲۹۷۵	۲۹۱۸۱۵	۱۰

جدول۵- نتایج حاصل از صحت‌سنجی مدل درون‌یابی کریجینگ

خطا	نویز پیش‌بینی شده	نویز واقعی	Y	X	شماره نقطه
-۰,۰۱۲۹	۷۴,۸۴۲۵	۷۴,۸۵۵۵	۳۷۵۳۹۵۲	۲۹۱۸۷۰,۵	۱
-۰,۰۱۶۸	۷۵,۳۴۷۷	۷۵,۳۶۴۵	۳۷۵۳۹۵۲	۲۹۱۸۲۰	۲
-۰,۰۰۶۳	۷۵,۰۵۹۵	۷۵,۰۶۵۹	۳۷۵۲۹۶۲	۲۹۱۸۲۰	۳
-۰,۰۰۷۸	۷۴,۷۷۹۱	۷۴,۷۸۶۹	۳۷۵۲۹۶۲	۲۹۱۸۳۰	۴
۰,۰۲۸۹	۷۴,۲۱۲۷	۷۴,۱۸۳۷	۳۷۵۲۹۶۷	۲۹۱۸۰۵	۵
-۰,۰۱۰۹	۷۴,۴۵۲۳	۷۴,۴۶۳۳	۳۷۵۲۹۶۷	۲۹۱۸۱۰	۶
-۰,۰۱۶۶	۷۴,۴۶۵۵	۷۴,۴۸۲۲	۳۷۵۲۹۶۷	۲۹۱۸۳۰	۷
-۰,۰۰۳۸	۷۴,۰۹۲۹	۷۴,۰۹۶۷	۳۷۵۲۹۷۲	۲۹۱۸۱۰	۸
-۰,۰۱۵۰	۷۳,۷۵۹۱	۷۳,۷۷۴۲	۳۷۵۲۹۷۵	۲۹۱۸۱۲,۵	۹
-۰,۰۰۷۹	۷۳,۸۲۲۱	۷۳,۸۳۰۰	۳۷۵۲۹۷۵	۲۹۱۸۱۵	۱۰

مدل‌های پیش‌بینی کننده نویز معمولا با تفکیک وسایل نقلیه به دو نوع سبک و سنگین روابط جداگانه ای را برای پیش‌بینی نویز مربوط به هریک ارائه می‌نمایند. مثلا در مدل CORTN وسایل نقلیه با وزن کمتر از ۱۵۲۵ کیلوگرم وسایل سبک محسوب می‌شوند و وسایل با وزن بیشتر از این عدد جزو وسایل سنگین به حساب می‌آیند.

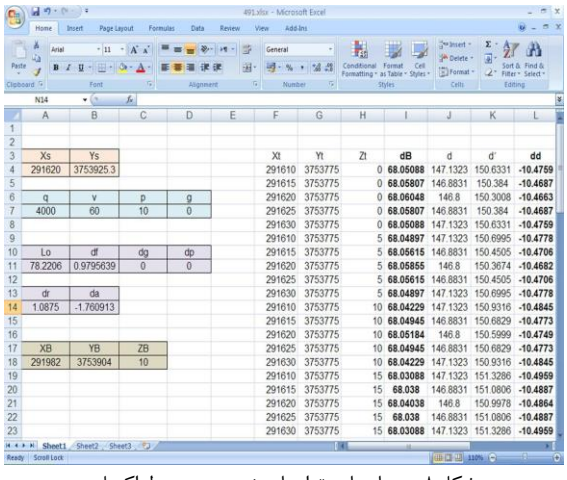
۳-۲- محاسبه میزان نویز

همان‌گونه که گفته شد مدل CORTN وظیفه محاسبه ترازهای نویز در نقاط هدف را در این تحقیق بر عهده دارد. با توجه به این که منطقه دارای وسعت است و تعداد نقاط بسیار زیاد هستند(۱۱۴۵۶ نقطه) پس عملا محاسبات

ریاضی به صورت دستی امکان‌پذیر نیست و نیاز به یک محیط نرم‌افزاری یا برنامه‌نویسی وجود دارد که بتواند با سرعت عمل بیشتر و بهتری ترازهای نویز در هزاران نقطه از قبل مشخص شده را محاسبه نماید.

همانند مدل FHWA که دارای یک برنامه نرم‌افزاری تحت عنوان TNM است و می‌تواند ترازهای نویز را برای نقاط هدف محاسبه نماید، مدل CORTN نرم‌افزار تخصصی یا برنامه از پیش نوشته شده‌ای ندارد که بتواند ترازهای نویز را برای نقاط هدف محاسبه کند. بنابراین می‌بایست تک‌تک روابط آن در یک محیط نرم‌افزاری برنامه‌نویسی و فرمول‌نویسی گردد تا با سرعت بیشتری محاسبات انجام پذیرد.

برای انجام این محاسبات می‌توان از محیط‌های فرمول‌نویسی مختلفی همچون متلب[۱]، اکسل[۲]، C++ و محیط‌هایی مانند آن استفاده نمود. اما با توجه به این‌که در بیشتر مراحل تحقیق نیاز است نقاط محاسبه شده وارد نرم افزار ArcGIS گردد و یا از محیط آن خارج گردد طبیعتا باید نقاط دارای فرمتی باشند که انجام این کار به سهولت صورت گیرد و نیاز به صرف زمان زیاد برای تغییر فرمت نقاط نباشد. با توجه به این‌که محیط نرم‌افزاری اکسل محیطی با پیچیدگی کمتر و سادگی بیشتری نسبت به سایر محیط‌های نرم‌افزاری گفته شده است و همچنین قابلیت خروجی گرفتن نقاط محاسبه شده با فرمت تکست[۳] را داراست، بنابراین نرم‌افزار اکسل به عنوان محیط اصلی فرمول‌نویسی برای انجام محاسبات ترازهای نویز در نقاط هدف انتخاب می‌گردد.

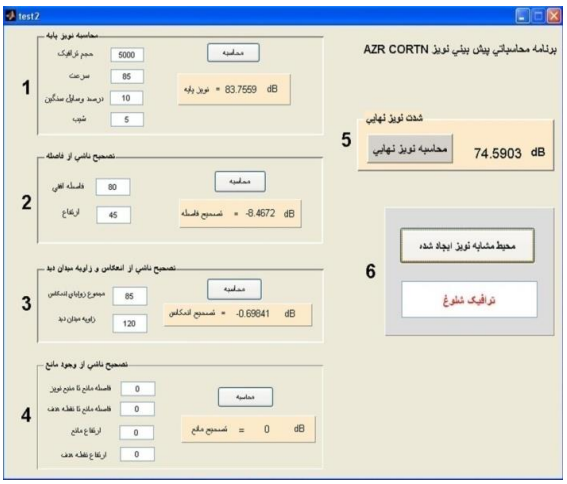


شکل۸- محاسبات ترازهای نویز در محیط اکسل

۱ Matlab
۲ Exel
۳ Txt

این نرم‌افزار مانند سایر نرم‌افزارهای برنامه‌نویسی از تمامی توابع و عملگرهای ریاضی پشتیبانی کرده و دارای زبان واحدی برای این توابع با سایر نرم‌افزارهای برنامه‌نویسی می‌باشد. مزیت مهم آن در این است که هم‌زمان امکان دیدن نتایج محاسبات با کوچک‌ترین تغییر اعمال شده در مقادیر ورودی نیز وجود دارد و نیازی به اجرای جداگانه برنامه وجود ندارد. این امر سبب می‌شود بتوان در همان لحظه محاسبه نتایج را مشاهده نمود و در صورت لزوم تصحیحات موردنیاز را اعمال کرد.

با توجه به خلاء نرم‌افزاری موجود درزمینه مدل CORTN این ایده به ذهن رسید تا با ایجاد یک واسط نرم‌افزاری گرافیکی این خلاء نرم‌افزاری تاحدودی جبران شود تا استفاده‌کنندگان و محققین در این زمینه با مشکلات کمتری بتوانند به محاسبه نویز در نقاط دل‌خواه اقدام نمایند. در این مدل برای محاسبه ترازهای نویز در هر نقطه نیاز به استفاده از روابط ریاضی بسیار زیادی است که تک‌تک پارامترها را محاسبه و تعیین می‌کند. بروز خطا و اشتباه در هر مرحله از محاسبه سبب بروز نتایج اشتباه خواهد شد و نویز به دست آمده متفاوت از مقدار واقعی محاسباتی خود خواهد بود. بنابراین برای جلوگیری از بروز این مشکل و جلوگیری از مواجهه مستقیم کاربران با روابط سنگین و پیچیده این مدل، واسط گرافیکی کاربری تحت عنوان AZR CORTN[۴] با استفاده از محیط برنامه‌نویسی متلب تولید شده تا کاربران با اطمینان بیشتر و صرف زمان بسیار کمتر بتوانند ترازهای نویز را در هر نقطه دل‌خواه و با هر شرایط ترافیکی و یا محیطی محاسبه نمایند.



شکل۹- واسط گرافیکی محاسبه نویز

۴ Amin Zamingard Rouzbahani Cortn

۳-۳- نمایش و بصری‌سازی نقشه‌های آلودگی صوتی در محیط سیستم اطلاعات مکانی

در تهیه هر نقشه و یا مدل نرم‌افزاری، واقعیت‌پذیری و کاربرپسند بودن یکی از مهمترین شاخصه‌ها به منظور فهم راحت‌تر می‌باشد. زمانی یک مدل قابلیت نمایش بهتری را فراهم می‌کند که المان‌ها، عناصر و جزییات به کاررفته در فرایند ایجاد آن به درستی انتخاب شده و به درستی در تولید مدل به کار برده شوند. با توجه به هدف تحقیق که همانا ایجاد مدلی سه‌بعدی از یک منطقه است که وجوه ساختمان‌ها بیان‌گر میزان نویز رسیده باشد بنابراین با یک مدل‌سازی ساده سه‌بعدی مواجه نیستیم. مدل سه‌بعدی نهایی تولید شده در یک مرحله و توسط یک نرم‌افزار قابل تهیه شدن نیست، بلکه با توجه به مطالب گفته شده نیاز به طی یک فرایند چند مرحله‌ای بوده که در این راستا از چندین نرم‌افزار مختلف نیز بهره گرفته می‌شود.

از آن‌جا که ما به دنبال این هستیم که تا حد امکان از نرم‌افزار ArcGIS برای انجام مراحل مدل‌سازی این تحقیق استفاده کنیم بنابراین جهت نمایش و تهیه مدل نهایی در این نرم‌افزار با مشکلاتی مواجه هستیم که می‌بایست این مشکلات برطرف شده تا بتوان مدل نهایی را در محیط این نرم‌افزار نمایش داد. با توجه به آن که نقشه‌های درون‌یابی شده وجوه مختلف ساختمان‌ها به‌صورت عکس‌های دو بعدی تهیه گردیده و همچنین مدل سه بعدی ساختمان‌های منطقه نیز در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شده بنابراین تنها کافی است تصاویر تهیه شده بر وجوه مختلف ساختمان‌ها منطبق گردند تا مدل نهایی تولید شود. چنین فرایندی در محیط این نرم‌افزار امکان‌پذیر نیست.

قابلیت‌های سه‌بعدی این نرم‌افزار در زمینه تولید، ترسیم، ویرایش و مدیریت نقشه‌های سه‌بعدی آنقدر گسترده و پیشرفته نیست که بتوان هر نوع فرایند سه‌بعدی را درآن اجرا و مدیریت نمود. در واقع این نرم‌افزار در زمینه ترسیمات و طراحی اشکال سه‌بعدی از برنامه‌هایی همچون اتوکد[۱] و تری‌دی‌مکس[۲] ضعیف‌تر بوده و دارای خلاء می‌باشد. حال با توجه به این مشکل و لزوم استفاده از نرم‌افزار ArcGIS برای نمایش مدل نهایی پس نیازمند استفاده از نرم‌افزار واسطی هستیم که قادر باشد داده ورودی مورد نیاز این نرم‌افزار را ساخته و آماده نماید.

نرم‌افزار اسکچ‌آپ[۳] یکی از ساده‌ترین و البته پرکاربردترین نرم‌افزارهای تولید شده در زمینه تهیه نقشه‌های سه‌بعدی است. توانایی این نرم‌افزار در بکارگیری بیشتر فرمت‌های برداری و رستری در دو حالت دوبعدی و سه‌بعدی آن را به یکی از قدرت‌مندترین نرم‌افزارهای تولید داده‌های سه‌بعدی تبدیل نموده است. از جمله فرمت‌هایی که این نرم‌افزار پشتیبانی می‌کند می‌توان به Jpg، Tiff، Dwg، Skp، 3ds، Kmz ، Kml اشاره نمود. نرم‌افزار اسکچ‌آپ قادر است فرمت‌های گفته شده را هم به عنوان داده ورودی بپذیرد و هم اینکه نقشه‌های تولید شده را در این فرمت‌ها خروجی گرفته و ذخیره نماید.

در این تحقیق برای تولید مدل نهایی ابتدا ساختمان‌های سه‌بعدی ایجاد شده در نرم‌افزار ArcGIS را به محیط اسکچ‌آپ منتقل کرده، سپس تصاویر دوبعدی نقشه‌های درون‌یابی شده را بر وجوه مورد نظر هر ساختمان ادغام می‌کنیم و درنهایت نقشه نهایی را با فرمت Skp ذخیره کرده و برای نمایش نهایی وارد محیط ArcScene می‌نمایم. استفاده از نرم افزار ArcScene سبب می‌شود بتوان هرگونه تغیر و تحول از نظر ارتفاعی و یا ساخت المان‌های شهری را به منظور فهم بهتر مدل سه بعدی، با کیفیت و دقت بالاتری نسبت به سایر نرم‌افزارهای نمایش سه بعدی ارائه داد. به عنوان مثال با استفاده از ابزار animation در این نرم افزار می‌توان بصورت کاملا شبیه‌سازی شده بر فراز مدل سه بعدی پرواز کرده و اقدام به تهیه فیلم از این مدل نمود. که این امر در بصری سازی و نمایش مدل ساخته شده به منظور فهم بهتر، امری بسیار حائز اهمیت می باشد.

۴- نتایج و پیشنهادات

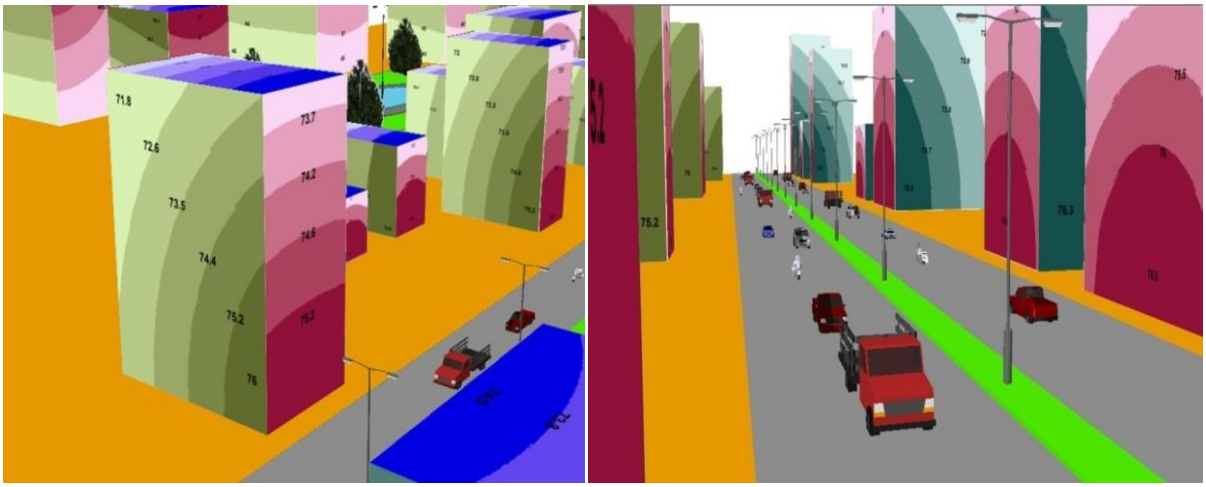
این تحقیق قصد داشت با بهره گرفتن از کاستی های تحقیقات انجام شده مشابه در زمینه مدل سازی سه‌بعدی آلودگی صوتی اقدام به تهیه نقشه های سه بعدی آلودگی صوتی نماید به نحوی که سادگی در مدل‌سازی و صحت نتایج در آن حاصل گردد. بر همین اساس ابتدا با مطالعات صورت گرفته مدل پیش بینی نویز CORTN انتخاب گردید تا برای پیش‌بینی نویز نقاط واقع بر منطقه مورد مطالعه به کار گرفته شود. نتایج حاصل از بررسی‌های

۱ Autocad
۲ 3D max
۳ Sketchup

میدانی نیز حاکی از این داشت که انتخاب این مدل به درستی صورت پذیرفته است. سپس با ایجاد مجموعه نقاط نمونه و انجام پالایش بر روی تعداد آن‌ها و همچنین ساخت مدل سه‌بعدی از منطقه، نقشه‌های سه‌بعدی آلودگی صوتی در نرم افزار ArcGIS ارائه گردید.

می‌توان ادعا نمود در این تحقیق روش‌ها و متدهایی ارائه شد که نه تنها تولید چنین نقشه‌هایی را آسان‌تر می‌کند بلکه زمان انجام آن را کاهش می‌دهد، هزینه تولید را کم می‌کند، سرعت تولید نقشه را زیاد می‌کند و از همه مهم‌تر این که نقشه‌ها را به شکلی کاربرپسند و ساده به منظور استفاده همگانی تولید می‌کند. همچنین می‌توان حل این موضوع که اساسا تهیه نقشه‌های آلودگی صوتی در محیط‌های سه‌بعدی از طریق سیستم اطلاعات مکانی امکان‌پذیر است را یکی از نتایج مهم این تحقیق برشمرد.

در این تحقیق راه‌کارهایی ارائه گردید تا بتوان از تعداد نقاط نمونه به میزان قابل توجهی کاست تا مانع از کندشدن سیستم محاسباتی به دلیل افزایش تعداد نقاط شود. مشکلی که سایر تحقیقات مشابه با آن سر و کار داشتند اما در این تحقیق با انجام پالایش بر روی تعداد نقاط، کاهش بسیار قابل توجهی در تعداد این نقاط رخ داد به نحوی که در درستی نقشه‌ها و نتایج خللی وارد نشود. همچنین با استفاده از مدل درون‌یابی کریجینگ درونیابی بین نقاط نمونه صورت پذیرفت که پس از بررسی دقت درون یابی و مقایسه آن با روش های دیگر مشخص گردید که این مدل درون‌یابی نیز به درستای انتخاب گردیده است و نتایج حاصل از آن مطابقت بسیار زیادی با مقادیر واقعی دارد.



شکل ۱۰- مدل نهایی تولید شده در محیط ArcScene

اما اگر بخواهیم یکی از دست‌اوردهای مهم این تحقیق را ذکر کنیم می‌توان به ساخت واسط گرافیکی کاربری اشاره نمود که امکان پیش بینی نویز با استفاده از مدل CORTN را بدون انجام کوچکترین محاسبه دستی امکان‌پذیر می‌سازد. چنین واسطی این امکان را فراهم می‌آورد تا بدون نیاز به محاسبات سنگین این مدل از میزان نویز موجود در نقطه مورد نظر با واردکردن پارامترهای مورد نیاز اطلاع حاصل نمود.

اگر بخواهیم نتایج عددی حاصل از مدل پیش بینی نویز را مورد بررسی قرار دهیم می‌توانیم بگوییم با توجه به نتایج به دست‌آمده مشخص شد که تغییر ارتفاع دارای تاثیر مستقیم بر روی میزان نویز رسیده به نقطه است. اما نکته مهم این است که هرچه ساختمان مورد نظر به منبع ایجاد نویز نزدیک‌تر باشد افزایش ارتفاع تاثیر بیشتری بر روی کاهش میزان نویز رسیده به نقطه دارد. و هرچه این فاصله بیشتر باشد این تاثیر کمتر است. دلیل این امر نیز کاملا واضح است. زمانی که ساختمان نزدیک به منبع نویز باشد فاصله مایل بین نقطه هدف تا منبع نویز به اندازه نسبتا زیادی بیشتر از فاصله افقی بین نقطه هدف تا منبع نویز است و زمانی که ساختمان دور از منبع نویز باشد این دو فاصله تقریبا با هم یکسان هستند.

با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد که نقاط واقع در وجوه پشتی ساختمان‌ها کاهش نویزی بین ۱۰ تا ۳۰ دسی‌بل نسبت به نقاط واقع بر سایر وجوه ساختمان‌ها دارند. بر خلاف وجوه جلویی ساختمان‌ها که با افزایش ارتفاع نویز کاهش می‌یابد در وجوه پشتی این امر کاملا

بالعکس است. یعنی اینکه در وجوه پشتی ساختمان‌ها هرچه به سمت پشت بام بالا برویم میزان نویز افزایش پیدا می‌کند. میزان کاهش نویز وجوه پشتی ساختمان‌ها وابسته به ارتفاع ساختمان است. در ساختمان‌های مرتفع تر این کاهش نویز بیشتر از ساختمان‌های با ارتفاع کمتر است و حتی به کاهشی به اندازه ۳۰ دسی‌بل نیز منجر می‌شود.

با توجه به این تاثیرات نویز بر روی ارتفاعات مختلف می‌توان گفت وجوه جلویی ساختمان‌ها درمعرض بیشترین میزان آلودگی صوتی قرار دارند و این وجوه به هیچ وجه مناسب استفاده مسکونی نیست. تنها در ساختمان‌های مرتفع می‌توان از طبقات پایانی در وجوه جلویی برای کاربری‌های مسکونی استفاده نمود. همچنین با توجه به کاهش ۱۰ تا ۳۰ دسی‌بلی نویز در وجوه پشتی ساختمان‌ها، این وجوه بهترین مناطق برای کاربری‌های مسکونی یا آموزشی می‌باشد. به خصوص در طبقات پایین‌تر میزان آلودگی صوتی بسیار کم بوده و منطقه از نظر آلودگی صوتی ایمن است. وجود موانع نیز به شکل قابل‌توجهی از میزان آلودگی صوتی کم می‌کند. مثلا با توجه به مدل ارائه شده وجود یک دیوار با ارتفاع ۳ متری در جلوی یک ساختمان می‌تواند به اندازه ۱۰ دسی‌بل از میزان نویز بکاهد. بنابراین ایجاد دیوارهایی در حاشیه خیابان‌ها می‌تواند تاثیر بسیار زیادی در کاهش میزان نویز رسیده به ساختمان‌ها داشته باشد.

با توجه به مطالب گفته شده ذکر این نکته نیز ضروری است که تحقیق فوق به مانند هر تحقیق دیگری دارای نقاط قوت و ضعف می‌باشد. نقاط قوت و نوآوری‌های این تحقیق تا حدودی اشاره شد اما اگر بخواهیم به کاستی‌ها و نقاط ضعف این تحقیق نیز اشاره کنیم می‌توانیم بگوییم کوچک بودن و سادگیه منطقه مورد مطالعه یکی از ضعف‌های این تحقیق بوده است. اگر منطقه دارای گستردگی بیشتر و پیچیدگی‌های بیشتری می‌بود طبیعتا نقشه‌های تولید شده از کیفیت بیشتری برخوردار بود و امکان انجام تحلیل‌های بیشتر برروی ساختمان‌ها و اثر نویز بر روی آن‌ها فراهم می‌گشت.

یکی دیگر از نقاط ضعف و مشکلات عمده ای که می‌توان برای این تحقیق برشمرد نیاز بودن به حضور اپراتور برای انجام بیشتر مراحل مدل‌سازی است. مشکلی که سبب می‌شود تا خطاهای انسانی وارد فرایند مدل‌سازی گردد و هزینه و زمان بیشتری صرف شود. می‌توان با توسعه مدل‌های هوشمند این حضور را کاهش داد تا بیشتر مراحل مدل‌سازی به صورت خودکار صورت پذیرد که این امر افزایش دقت را نیز به همراه خواهد داشت.

روش ها و فرایندهای ارائه شده در این تحقیق را می‌توان تعمیم داد و از آن‌ها به منظور مدل سازی سایر آلودگی های زیست محیطی و یا مصنوعی بهره گرفت. به عنوان نمونه می‌توان با بکارگیری این روش‌ها اقدام به تولید نقشه‌های سه‌بعدی اتلاف گرمایی ساختمان‌ها نمود و امکان تحلیل دقیق‌تر این امر را با استفاده از توابع سیستم اطلاعات مکانی فراهم آورد.

مراجع

[1] R,Hunjae, P,In Kwon ,C,Bum Seok, C,Seo Il, (2017)." Spatial statistical analysis of the effects of urban form indicators on road-traffic noise exposure of a city in South Korea", Applied Acoustics, doi: dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.08.025.

[2] D,Karda, B, Yayat , B, Kombaitan, Pradono ,H, Heru, (2016)." Traffic impact assessment practice in Indonesia ", Procedia - Social and Behavioral Sciences , doi: 10.1016/j.sbspro.2016.06.045.

[3] C,Ming, Z,Jingfang, X, Jiemin Xie, ,(2015) "Road traffic noise mapping in Guangzhou using GIS and GPS", doi: dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2014.06.005.

[4] Rad D. P, Vafaeinejad A. R, (2015). "Using a GIS Based Decision Support System to Aid Earthquake Crisis Management with Site Selection of Temporary Housing Case Study: District 8of Isfahan Municipality". JGST. 5 (2):231 246.

[5] Moradi Seloushi B, Vafaeinejad A R.(2017). "Using Geospatial Information System (GIS) to Determine the Capacity of Iran Railway Networks." JGST. 6 (3) :15-22.

[6] Sargolzaei A, Vafaeinejad A R.(2017). "Finding Shortest Path in a Network by Using Cuckoo Optimization Algorithm and GIS". JGST. 6 (4):231-239.

[7] A, Ranjbar,(2012). "A GIS-based approach for 3D modeling of noise by using 3D city models (Case Study: parts of the third region of Tehran)", Msc, Science and Research branch, Islamic Azad University of Tehran.

[8] lin Dai B , long He Y, hu Mu F, Xu N, Wu Z,(2014)." Development of a traffic noise prediction model on inland waterway of China using the FHWA", Science of the Total Environment, doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.06.019.

[9] J, Quartieri, N, Mastorakis, G, Iannone, C, Guarnaccia, S, D'Ambrosio, A, Troisi,(2005). "A Review of Traffic Noise Predictive Models", THEORETICAL MECHANICS.

[10] Ning Shu , Louis F. Coh N , Roswell A, Harris , Teak K, Kim , Wensheng Li,(2007)" Comparative evaluation of the ground reflection algorithm in FHWA Traffic Noise Model (TNM 2.5)", Applied Acoustics, doi:10.1016/j.apacoust.2006.07.004.

[11] Gómez D, Carvajal J, -Rodríguez V, García J,(2015). "Assessment of the RLS 90 calculation method for predicting road traffic noise in Colombian conditions", Revista Facultad de Ingeniería, doi: 10.17533/udea.redin.n75a17 .

[12] Geissler A, Gartus A, Foki T Tahamtan A, Beisteiner R, Barth M,(2007). " Contrast-to-Noise Ratio (CNR) as a Quality Parameter in fMRI, JOURNAL OF MAGNETIC RESONANCE IMAGING, 25:1263–1270,.

[13] Department of transport WELSH office,(1988). "Calculation of Road Traffic Noise", .

[14] Givargis SH, Mahmoodi M,(2008). " Converting the UK calculation of road traffic noise (CORTN) to a model capable of calculating LAeq,1h for the Tehran's roads", Applied Acoustics, doi:10.1016/j.apacoust.2007.08.003.

[15] Givargis Sh, Karimi H,(2010). " A basic neural traffic noise prediction model for Tehran's roads", Journal of Environmental Management , doi:10.1016/j.jenvman.2010.07.011.

[16] Ilker Harman B, Koseoglu H, Ozer Yigit C,(2016). " Performance evaluation of IDW, Kriging and multiquadric interpolation methods in producing noise mapping: A case study at the city of Isparta Turkey", Applied Acoustics, doi: 10.1016/j.apacoust.2016.05.02

[17] Seong, J.C., Park, T.H., Ko, J.H., Chang, S.I., Kim, M., Holt, J.B., Mehdi, M.R. (2011)." Modeling of Road Traffic Noise and Estimated Human Exposure in Fulton County, Georgia, USA", Environment International, Vol. 37, pp. 1336–1341.

[18] Stoter, J., (1999) "a, Noise Prediction Models and Geographic Information Systems", A Sound Combination. SIRC 99-The 11th Annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre University of Otago Dunedin, New Zealand.

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

[20] Kurakula, V., (2007), "A Gis-based Approach for 3D Noise Modeling Using 3D City Models, Msc Thesis, ITC, Enschende, The Netherland", GEM Thesis member: 2005-04.