مدل‌سازی انتشار آلودگی صوتی ناشی از کنارگذر غرب اصفهان در پناهگاه حیات وحش قمیشلو با استفاده از مدل SPreAD-GIS

حسین مددی*[۱،۲]، حسین مرادی[۱] ، سیما فاخران[۱]، مجتبی جوکار[۱]، تکتم مکی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۲/۱۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۸/۲۰)

چکیده

یکی از مهم‌ترین اثرات جاده، ایجاد اختلال در ارتباطات آکوستیک جانوران بر اثر آلودگی صوتی است. مدل‌سازی الگوهای مکانی انتشار صوت می‌تواند در درک بهتر و پیش‌بینی نحوه اثرگذاری آلودگی صوتی بر گونه‌ها مؤثر باشد. یکی از مدل‌های مناسب جهت شبیه‌سازی نحوه انتشار صوت در اکوسیستم‌های طبیعی مدل SPreAD-GIS می‌باشد. در این تحقیق برای اولین بار در کشور از این مدل برای شبیه-سازی انتشار صوت ناشی از کنارگذر غرب اصفهان در محدوده پناهگاه حیات‌وحش قمیشلو استفاده شده است. در این شبیه‌سازی از نقشه کاربری اراضی، داده‌های هواشناسی، نقشه توپوگرافی و خصوصیات منابع صوتی به‌عنوان ورودی مدل استفاده گردید. نتایج حاصل از شبیه‌سازی ۵۸ خودرو که به‌طور تصادفی در طول جاده در داخل پناهگاه انتخاب شدند نشان داد که دامنه تغییرات، شدت صوت بین ۰ تا ۵۲/۵ دسی‌بل می‌باشد. در مناطقی که میزان شدت صوت کمتر از ۲۰ دسی‌بل است گونه‌های جانوری هیچ‌گونه واکنشی نشان نداده و منطقه "آرامش" برای گونه‌ها محسوب می‌شود و در مقابل مناطق با شدت صوت بیشتر به‌عنوان منطقه "تنش و واکنش" گونه‌های موردمطالعه می‌باشد. مقایسه واکنش آهوی ایرانی (*Gazella gazella subgutturosa*) و قوچ و میش اصفهانی(*Ovis orientalis isphahanica*) نشان داد که میزان کناره‌گیری گونه قوچ و میش نسبت به گونه آهو کمتر می‌باشد که دلیل آن را می‌توان در نوع زیستگاه انتخابی آنها دانست.

واژه‌های کلیدی: آلودگی صوتی، مدل‌سازی، جاده، پناهگاه حیات‌وحش قمیشلو

۱. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۲. دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکیhosein.madadi@gmail.com

مقدمه

سروصدا به هر نوع صدای ناخواسته و نامطلوب اطلاق می‌شود. سروصدا به معنی پیامی است که هیچ‌گونه اطلاعاتی را در بر نداشته و شدت آن در طول زمان به‌صورت اتفاقی تغییر می‌کند. در علم آکوستیک، سروصدا را به‌عنوان انرژی صوتی قابل شنیدن تعریف می‌کنند که بر سلامت جسمی و روانی موجودات زنده اثر معکوس و منفی دارد (۲۶). توسعه شهری، صنعتی و شبکه‌های حمل و نقل منجر به افزایش سطح سروصدا در سرتاسر جهان گردیده است که این امر باعث ایجاد اثرات سوء بر گونه‌های مختلف در اکوسیستم‌های خشکی و دریایی می‌شود (۸). به‌طور مداوم در معرض سروصدا قرار گرفتن می‌تواند باعث اثرات زیان‌آور فیزیولوژیکی و رفتاری نظیر افزایش سطح استرس و کاهش زادآوری گردد(۱۶). اجتناب از منابع سر و صدا می‌تواند الگوی توزیع مکانی جانوران را تغییر داده و در نتیجه باعث کاهش مطلوبیت زیستگاه و فراوانی گونه گردد(۱۴). صدای ناخواسته در محیط طبیعی باعث ایجاد آشفتگی در سیستم‌های ارتباطی جانوران شده و امکان تشخیص علائم مخابره شده از افراد هم نوع، جهت برقراری ارتباط را مختل می‌کند (۲۳). عوامل محیطی مختلفی بر الگوی انتشار صوت در اکوسیستم‌های طبیعی تأثیر گذار است که از آن جمله می‌توان به وضعیت توپوگرافی، شرایط هواشناسی و نوع کاربری سرزمین اشاره نمود (۲ و ۲۶).

انرژی صوتی بر اثر عملکرد ارتفاع، دمای هوا و رطوبت هوا توسط اتمسفر جذب می‌شود (۲، ۶ و ۱۷). علاوه بر این، گرادیان دما و باد باعث انکسار و انحراف امواج صوتی شده و الگوی مکانی انتشار صوت را تغییر می‌دهد. صوت هم‌چنین توسط زمین نیز جذب می‌شود (۱۸). سطوح صاف و سخت نظیر جاده شوسه صدای کمی را جذب می‌کنند، درحالی‌که سطوح نرم و متخلخل نظیر علفزارها و خاک لخت سطوح صوت را تضعیف می‌کنند. هم‌چنین گیاهان باعث جذب امواج صوتی می‌گردد. میزان تضعیف شدت صوت بستگی به ساختار، گستره و تراکم پوشش گیاهی دارد (۲۱). عوارض سطح زمین تعیین‌کننده اهمیت نسبی آن در مقابل اثرات اتمسفر می‌باشد. میزان تضعیف صدای پخش‌شده از قله یا از میان دره در درجه اول بستگی به انتشار هندسی و جذب اتمسفری دارد. از سوی دیگر یال‌ها می‌توانند با ایجاد زون سایه به‌عنوان موانع صوت عمل کنند، به‌طوری‌که امواج نمی‌توانند به‌طور مستقیم پراکنده شوند (۱۴). در نهایت شدت و فرکانس آشفتگی صوتی بستگی به خصوصیات منبع صوت دارد. برای مثال صدای پخش شده در اطراف جاده‌های تفرجی بستگی به تعداد و نوع وسایل نقلیه عبوری از نظر نوع موتور و سرعت آنها دارد. هم‌چنین صدای ناشی از دو یا چند وسیله نقلیه دقیقاً به‌صورت تجمعی نمی‌باشد، حجم ترافیک در طول مسیر بر سطح کلی صدا تأثیر می‌گذارد.

میزان تأثیر شدت صوت بر انسان‌ها یا گونه‌های حیات‌وحش بستگی به شرایط صدای زمینه و هم‌چنین حساسیت شنوایی دارد. شرایط صدای زمینه بسته به ساعت، روز هفته و فصل می‌تواند متغییر باشد. برای مثال تغییرات دمایی بین روز و شب می‌تواند جهت انکسار امواج صوت را تغییر داده و سطح صدا را در نزدیک سطح زمین افزایش دهد، به‌همین خاطر است که در شب صداهای دوردست قابل شنیدن هستند. به‌طور مشابه شرایط زمینه اغلب در زمستان آرام‌تر بوده چون سطوح پوشیده از برف صدای بیشتری را از سایر سطوح جذب می‌کند (۲۳). برای گونه‌های حیات‌وحش آشفتگی‌های صوتی بر حسب اثرات‌زیان آور بیولوژیکی تعریف می‌شود. برای مثال آشفتگی‌های صوتی می‌تواند باعث افزایش سطح استرس یا دیگر اثرات فیزیولوژیکی در حیوانات شده یا باعث اختلال در سیگنال‌های ارتباطی بین جانوران شده و یا باعث کاهش کیفیت جمعیت‌ها گردد (۲۱ و ۲۳). در دهه‌های اخیر توجه به اثرات اکولوژیکی جاده‌ها و ترافیک جاده‌ای به‌طور دائم در حال افزایش می‌باشد (۱۵، ۱۶، ۲۵ و ۲۸). بیشترین اثرات منفی گزارش‌شده از جاده‌ها و زیرساخت‌های ارتباطی شامل نابودی زیستگاه‌ها، نفوذ اثرات حاشیه‌ای به مناطق بکر و طبیعی، جدایی جمعیت‌ها بر اثر ایجاد موانع در مسیر انتشار، مرگ و میر

جاده‌ای و افزایش دسترسی انسان به مناطق طبیعی می‌باشد (۶، ۱۵، ۲۶، ۲۷ و ۲۸). تمام این اثرات ممکن است بر زیستایی دراز مدت جمعیت‌ها و در نهایت بر تنوع‌زیستی اثرگذار باشد (۸). بررسی‌های کیفی، درک وسیعی از اثرات اکولوژیکی جاده‌ها را فراهم می‌سازد با این وجود شواهد کمّی ناچیزی در این زمینه وجود دارد (۷،۱۵ و ۲۸). با این حال تلاش‌های اندکی برای کمّی‌سازی اثرات زیرساخت‌ها یا مدل‌سازی آسیب‌پذیری جمعیت‌های جانوری بر اثر توسعه راه‌ها انجام پذیرفته است (۹).

یکی از مهم‌ترین اثرات جاده و ترافیک جاده‌ای، ایجاد اختلال در ارتباطات آکوستیک جانوران بر اثر آلودگی صوتی می‌باشد (۱۲ و ۱۹). بسیاری از جانوران نظیر حشرات، دوزیستان، پرندگان و پستانداران از طریق علائم صوتی با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند (۱۹). چنین ارتباطات صوتی بین جانوران در فضایی با عنوان فضای مؤثر (Active Space) صورت می‌پذیرد. فضای مؤثر یک سیگنال صوتی عبارت است از حداکثر فاصله از جانورِ در حال ایجاد صوت که هم‌نوع آن قادر به تشخیص و رمزگشایی سیگنال ارسالی باشد (۲۸). پرندگان از استراتژی‌های مختلفی برای به حداکثر رساندن فضای مؤثر سیگنال‌های خود، نظیر آوازخوانی در فرکانس‌های بالاتر از فرکانس ترافیک در زیستگاه‌ها استفاده می‌کنند (۱۰). واحد اندازه‌گیری تراز صوتی دسی‌بل است. صفر دسی بل تقریباً همان آستانه شنوایی در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز است و ۱۲۰ دسی بل، سطحی است که صدا بسیار بلند بوده و شروع به آسیب رساندن می‌کند (۱۴). مطالعات بر روی پستانداران خشکی زی نشان می‌دهد که تراز صوتی ۱۲۰ دسی بل باعث آسیب جدی به شنوایی پستانداران شده و تراز صوتی ۹۵ دسی بل منجر به کاهش دائمی قدرت شنوایی می‌گردد(۱۱). سم‌داران وحشی (نظیر بوفالوی آمریکایی، گوزن آمریکای شمالی و گوسفند وحشی bighorn) نسبت به سم‌داران اهلی حساسیت بسیار بالاتری به آشفتگی صوتی دارند (۲۸). پناهگاه‌های حیات‌وحش، زیستگاه‌های نمونه گونه‌های جانوران وحشی هستند که از اهمیت زیست محیطی و ملی برخوردارند. این مناطق، محیط‌های مناسبی برای فعالیت‌های آموزشی و پژوهشی به ویژه در ارتباط با جانوران وحشی به‌شمار می‌آیند. بهره برداری مصرفی و سازگار وهم‌چنین فعالیت‌های گردشگری کنترل شده در پناهگاه‌ها مجاز است.

مطالعه اکولوژی صوت از اواخر دهه ۱۹۷۰ شروع شد و طی این مدت مشخص گردید که این گونه مطالعات می‌تواند یکی از ابزارهای مناسب برای تعیین مطلوبیت زیستگاه‌ها باشد (۲۲). مدل‌سازی الگوهای مکانی انتشار صوت می‌تواند در درک بهتر و پیش‌بینی نحوه اثرگذاری آلودگی صوتی بر گونه‌ها و اکوسیستم‌ها مؤثر باشد (۲۲). یکی از مدل‌های مناسب جهت شبیه‌سازی نحوه انتشار صوت در اکوسیستم‌های طبیعی، ابزاری تحت عنوان System for the Prediction of Acoustic Detectability (SPreAD-GIS) می‌باشد. پناهگاه حیات وحش قمیشلو با داشتن ۱۵۲ گونه جانوری و ۳۴۴ گونه گیاهی که ۴۶ مورد آن آندمیک هستند از ارزش اکولوژیکی و ژنتیکی بالایی برخوردار می‌باشد (۳). وجود دشت‌ها، کوه‌ها و تپه ماهورهای متعدد در این پناهگاه، آن را تبدیل به زیستگاه بسیار مناسبی برای گونه‌هایی نظیر قوچ و میش اصفهانی و آهوی ایرانی نموده است. در این بین احداث و بهره برداری از آزادراه کنارگذر غرب اصفهان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تهدید زیستگاه این گونه‌ها به‌شمار می‌رود؛ زیرا باعث دو تکه شدن منطقه گردیده و زیستگاه‌های حساس قوچ و میش و آهو را از هم جدا ساخته است (۳ و۴). هم‌چنین تردد متخلفین از طریق همین بزرگراه به سادگی امکان‌پذیر می‌گردد. از نقطه نظر آلودگی‌های زیست محیطی مهم‌ترین نوع آلودگی در منطقه را می‌توان آلودگی صوتی دانست. احداث و بهره برداری از آزادراه کنار گذر غربی اصفهان در سال‌های اخیر که بخشی از آن در داخل پناهگاه حیات وحش قمیشلو قرار دارد، به‌عنوان مهم‌ترین منبع آشفتگی صوتی در داخل این منطقه می‌باشد.

هدف از این تحقیق معرفی این مدل به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ابزارهای موجود جهت ارزیابی و سنجش صوت در اکوسیستم‌های طبیعی می‌باشد. این مدل برای اولین بار در کشور

ایران برای شبیه‌سازی انتشار صوت در زیستگاه‌های طبیعی در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به‌این‌که ساخت جاده‌ها در مناطق حفاظت شده جزء مهم‌ترین منابع آلودگی صوتی به شمار می‌روند، مدل‌سازی انتشار صوت ناشی از ترافیک جاده‌ای در این گونه مناطق و کمّی‌سازی آثار سوء جاده‌ها بر حیات‌وحش این مناطق بسیار حائز اهمیت می‌باشد. لذا مهم‌ترین هدف این تحقیق شبیه‌سازی انتشار صوت ناشی از این آزادراه بر وضعیت زیستگاه‌های مهم گونه‌های کلیدی جانوری در پناهگاه حیات وحش قمیشلو شامل زیستگاه آهو و قوچ و میش می‌باشد.

مواد و روش‌ها

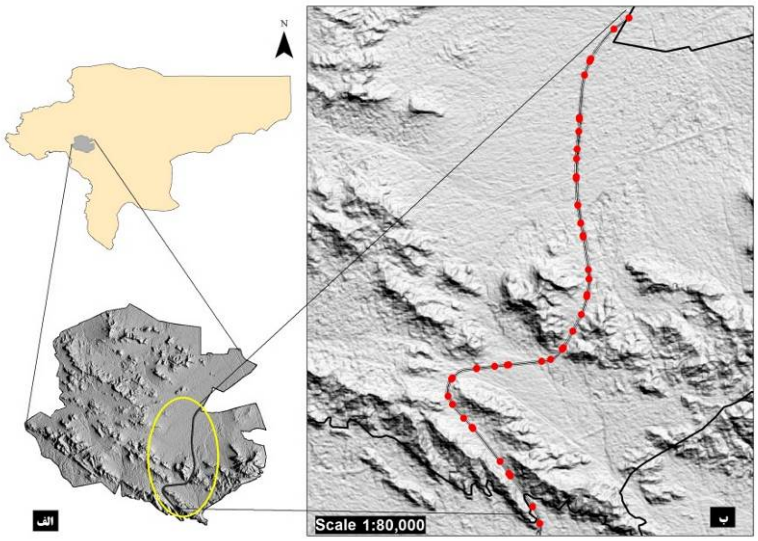
منطقه مورد مطالعه

پناهگاه حیات‌وحش قمیشلو در شمال غربی اصفهان در فاصله ۲۵ کیلومتری اصفهان و ۱۵ کیلومتری شهر تیران و در محدوده جغرافیایی ′۲۷ °۵۱ تا ′۰۰ °۵۱ شرقی و عرض جغرافیایی ′۰۵ °۳۳ تا ′۴۳ °۳۲ جنوبی واقع است. ۳۰۰۶۹ هکتار از مساحت ۱۱۳۷۷۴هکتاری منطقه پارک ملی و مابقی، پناهگاه حیات‌وحش می‌باشد. پناهگاه حیات وحش قمیشلو دارای آب و هوای معتدل متمایل به گرم بوده و در منطقه‌ای نیمه صحرایی واقع گردیده است. متوسط بارندگی سالیانه ۱۹۰ـ۱۸۰ میلی‌متر می‌باشد که مشخصه منطقه خشک با بارندگی کم است. متوسط کمترین رطوبت ۱۶ درصد در تابستان و متوسط بیشترین آن ۷۶ درصد در فصل زمستان می‌باشد. حداکثر درجه حرارات ۴۱/۵ درجه سانتی‌گراد در مردادماه و کمترین آن ۱۸/۵ــ درجه سانتی‌گراد در بهمن ماه است که نتیجه این مطالعات نشان می‌دهد اقلیم منطقه سرد و خشک است. عرصه‌های طبیعی قمیشلو را دشت‌ها، کوه‌ها و تپه ماهورهای متعددی تشکیل می‌دهد. مهم‌ترین گونه‌های جانوری منطقه قوچ و میش اصفهانی (*Ovis orientalis isfahanica*) به‌عنوان گونه غالب منطقه و آهوی ایرانی (*Gazella subgutturosa subgutturosa*) می‌باشند که جزء جاذبه‌های توریستی پناهگاه به‌شمار می‌روند.

از تعارضات و تهدیدات مهم پناهگاه حیات وحش قمیشلو، عبورکنار گذر غرب اصفهان از منطقه و تقسیم آن به دو بخش شرقی و غربی می‌باشد. طول این کنارگذر ۹۴ کیلومتر با عرض ۳۰/۳۵ متر است. بزرگراه کنارگذر غرب اصفهان در ادامه آزادراه کاشان – نطنز – اصفهان از تقاطع آن محور با بزرگراه اصفهان – تهران در جنوب مورچه خورت آغاز و پس از گذر از غرب شهرهای خمینی‌شهر، نجف‌آباد و فولادشهر به آزادراه ذوب‌آهن و شرق زرین‌شهر و عبور از زاینده‌رود به چهارراه کرکوند در مسیر زرین‌شهر- مبارکه ختم می‌شود. این آزادراه محوری استراتژیک و کنارگذری برای اتصال شمال کشور به سمت غرب استان اصفهان است و کل تردد بار کارخانه‌های سیمان سپاهان و اصفهان، ذوب‌آهن و فولاد مبارکه به سمت مرکز و شمال ایران از این مسیر می‌گذرد(۱). ۲۷ کیلومتر از این آزاد راه از داخل پناهگاه حیات وحش قمیشلو عبور کرده و آن را به دو بخش شرقی و غربی تقسیم می‌کند (شکل ۱ – الف).

مدل SPreAD-GIS

این مدل به‌صورت افزونه سازگار با نرم افزار ArcGIS تحت عنوان SPreAD-GIS در سال ۲۰۰۲ میلادی توسط Sarah E. Reed و همکاران وی در دانشگاه ایالتی کلرادو توسعه یافت. مدل SPreAD در اوایل دهه ۱۹۸۰، توسط سازمان خدمات جنگلداری آمریکا USFS, United States Forest Service و EPA, Environmental Protection Agency برای پیش‌بینی اثرات صدای فعالیت‌های تفرجی بر حیات وحش ایجاد شد. SPreAD برای مدل‌سازی اینکه چگونه انتشار صوت در اکوسیستم‌های طبیعی صورت می‌پذیرد، طراحی شد. این مدل با هدف برآورد صدای ناشی از وسایل نقلیه موتوری شکل گرفت. بر همین اساس فرآیند محاسباتی این مدل شامل فاکتورهای مؤثر و مهم در انتشار صوت در محیط شامل اثرات باد و اتمسفر، اثرات سطح زمین و پوشش گیاهی، و خصوصیات منبع صوتی می‌باشد(۲۲و۲۳). با توجه به حجم بالای محاسبات در این مدل از یک سو و شکل‌گیری و توسعه



شکل ۱.الف)، موقعیت پناهگاه حیات وحش قمیشلو در استان اصفهان و نقشه سایه روشن پستی و بلندی منطقه همراه با موقعیت آزادراه کنار گذر غرب اصفهان در داخل منطقه. ب)، موقعیت انواع وسائل نقلیه که با توجه به حجم ترافیک بطور تصادفی در طول آزادراه توزیع شده‌اند.

سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) به‌عنوان ابزاری قدرتمند در اخذ، ذخیره‌سازی، به‌هنگام‌سازی، بازیافت، پردازش و نمایش اطلاعات جغرافیایی در فرمت‌های متنوع در سال‌های اخیر از سوی دیگر، این مدل به‌صورت یک افزونه قابل‌اجرا در محیط GIS طراحی گردید. افزونه SPreAD-GIS در مقایسه با سایر نرم‌افزارهای موجود جهت مدل‌سازی انتشار صوت ناشی از مناطق شهری و صنعتی (نظیر CadnaA, LIMA, Noise Map و Sound PLAN) و یا هواپیما و ترافیک آزادراه‌ها (مانند INM, NMSim و TNM) که غالباً یا گران بوده و یا جهت هدف خاصی طرح‌ریزی شده‌اند، کاملاً رایگان بوده و به‌صورت هدفمند جهت شبیه‌سازی انتشار صوت در اکوسیستم‌های طبیعی طرح ریزی شده است (۲۰). این مدل ساده و در عین حال کارا با در اختیار قرار دادن امکانات متنوعی نظیر تعیین خصوصیات منبع یا منابع صوتی، ویژگی‌های فیزیکی و اکولوژیکی منطقه موردنظر می‌تواند در فرکانس‌های مختلفی نحوه‌انتشار صوت را شبیه‌سازی نماید. با توجه به‌این‌که اساس شکل‌گیری این مدل بر مبنای انتشار صوت در محیط‌های طبیعی می‌باشد لذا این مدل پتانسیل بالایی در تحقیقات مربوط به زیست پژواک شناسی (Bioacoustics) و بوم شناسی آوای منظر (Soundscape Ecology) می‌تواند داشته باشد. این مدل کاربرد گسترده‌ای در شبیه سازی انتشار صوت ناشی از جاده‌ها، فعالیت‌های تفرجی، توسعه‌های شهری، فعالیت‌های کانکنی، ایستگاه‌های پمپ خطوط انتقال نفت و گاز و خطوط انتقال نیرو در محیط‌های طبیعی می‌تواند داشته باشد(۲۳).

ورودی‌های مدل

داده‌های موردنیاز جهت مدل‌سازی صوت ناشی از ترافیک آزادراه کنارگذر غرب اصفهان شامل چهار مورد می‌باشند که در ادامه به تشریح آنها پرداخته می‌شود.

مدل رقومی ارتفاع

با توجه به‌این‌که وضعیت توپوگرافی در انتشار صوت عامل تأثیرگذاری است؛ از مدل رقومی ارتفاع در ساختار رس‌تری جهت معرفی به مدل استفاده می‌گردد. این داده براساس مرز پناهگاه حیات وحش قمیشلو از مدل رقومی ارتفاع Aster با اندازه تفکیک مکانی تقریباً ۳۰ متر، تهیه گردید. با توجه به‌این‌که واحدهای اندازه گیری در مدل مورداستفاده بر اساس سیستم انگلیسی می‌باشند لذا باید ابعاد سلول در مدل رقومی ارتفاع که

برحسب متر و با ابعاد دقیق ۲۸/۵ متر می‌باشند به ابعاد ۱۰۰ فوت تغییر یابند. دامنه ارتفاعی محدوده مورد نظر برای شبیه سازی صوت ۱۶۱۵ متر تا ۲۵۳۹ متر می‌باشد.

نقشه کاربری اراضی

کاربری اراضی از عوامل تعیین‌کننده صدای زمینه می‌باشد، تعیین میزان صدای زمینه جهت تعیین مقدار تاثیرگذاری منبع آلاینده صوتی و مدل‌سازی نقش دارد. با توجه به‌این‌که نوع کاربری منطقه، مرتع و حفاظت می باشد، لذا براساس مقادیر از قبل تعیین‌شده در راهنمای مدل برای چنین مناطقی و هم‌چنین طبق بازدید میدانی صورت گرفته که در شرایط عدم وجود هرگونه منبع صوتی در منطقه بسیار آرام بوده است، میزان شدت صوت زمینه ۲۰ دسی‌بل درنظر گرفته شد.

خصوصیات منبع صوتی

از آنجاکه هدف از انجام این تحقیق بررسی نحوه انتشار صوت ناشی از آزادراه کنارگذر غرب اصفهان واقع در پناهگاه حیات‌وحش قمیشلو می‌باشد، لذا منبع آلاینده صوتی جاده، به‌صورت یک خط خواهد بود. اما با توجه به محدودیت مدل برای معرفی لایه خطی به آن این منبع براساس وسایل نقلیه‌ای که بر روی آن در حرکت می‌باشند را می‌توان به‌صورت نقطه‌ای در نظر گرفت. از سوی دیگر با توجه به‌این‌که مدل موجود یک مدل ایستا می‌باشد اما وسایل نقلیه به‌عنوان منابع صوت به‌صورت متحرک می‌باشند لذا برای غلبه بر این محدودیت می‌توان از داده‌های حجم ترافیک استفاده نمود. وجود ایستگاه پرداخت عوارضی آزادراه، در قسمت شمالی آزادراه و درست قبل از ورود به داخل پناهگاه و در نزدیکی روستای جهادآباد به‌عنوان مهم‌ترین منبع گردآوری حجم ترافیک به‌حساب می‌آید. با استفاده از داده‌ای به‌دست آمده از حجم ترافیک سالانه از ایستگاه مذکور باید به‌توان وضعیت وسایل نقلیه را به‌گونه‌ای طرح ریزی نمود تا صوت منتشرشده از وسایل نقلیه در آزادراه نشان‌دهنده مجموع صوت آزاد راه باشد. با توجه به‌این‌که طول آزادراه در داخل منطقه ۲۷ کیلومتر می‌باشد، و از سوی دیگر به‌دلیل ایستا بودن مدل باید متوسط تعداد از هر نوع وسیله نقلیه که در یک لحظه می‌توانند در منطقه حضور داشته باشند را به‌دست آورد. بیشترین میزان ترافیک مربوط به خودروهای سواری و تریلر می‌باشند (جدول ۱). با توجه به‌این‌که میزان حجم ترافیک در طول روز به مراتب بیشتر از شب می‌باشد لذا میزان ۲/۳ از حجم ترافیک برای ۱۰ ساعت از روز در بازه زمانی ۷ صبح تا ۵ بعدازظهر در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن سرعت متوسط ۸۰ کیلومتر در ساعت برای وسایل نقلیه و طول ۲۷ کیلومتری جاده در داخل پناهگاه مدت زمان ورود هر وسیله به داخل منطقه تا زمان خروج آن ۲۱ دقیقه خواهد بود.

به این ترتیب به‌طور متوسط و در آنِ واحد باید حدود ۵۸ وسیله نقلیه داخل منطقه حضور داشته باشد. جهت صحت سنجی این مقدار از تصاویر ماهواره ای Google Earth و Bing Maps استفاده شد. با توجه به‌این‌که این تصاویر در زمانی بین ۱۰ تا ۱۲ صبح تصویربرداری شده و از قدرت تفکیک بالایی برای تشخیص خودرو و حتی نوع خودرو برخوردار بوده و وضعیت جاده را در لحظه نشان می‌دهند لذا می توانند منابع اطلاعاتی مناسبی جهت صحت‌سنجی باشند. نتایج حاصل از شمارش تعداد انواع وسائل نقلیه از روی تصاویر فوق، نشان داد که تعداد و نوع خودروهای مشاهده شده به مقادیر محاسباتی بسیار نزدیک می‌باشد. با توجه به‌این‌که آزادراه در دو مسیر رفت و برگشت می‌باشد لذا بر اساس متوسط تعداد بر حسب نوع خودرو نیمی از این تعداد در مسیر رفت و نیم دیگر در مسیر برگشت و به‌صورت کاملاً تصادفی در طول آزادراه (یعنی ۵۸ خودرو در طول ۲۷۰۰۰ متر) توزیع گردید (شکل ۱ – ب). بر این اساس، فاصله بین خودروها در طول مسیر بر حسب متر در جدول ۱ نشان داده شده است. برای شبیه سازی صوت، تعیین میزان فرکانس مهم می‌باشد. با بررسی منابع مختلف این مقدار برای ترافیک جاده ۱۰۰۰ هرتز در نظر گرفته شد(۱ و ۸) شدت صوت هر وسیله نقلیه برای انواع مختلف با استفاده از دستگاه صوت سنج مدل 2239A محصول شرکت Brüel & Kjær

جدول ۱. حجم ترافیک سالانه و روزانه انواع خودرو (شرکت آزادراه غرب اصفهان)

	سواری	وانت	اتوبوس	کامیون	تریلر
تعداد سالیانه هر نوع	۹۶۲۱۲	۱۴۹۹۴	۲۵۵۹۰	۳۶۱۱۱	۷۶۸۴۴
درصد روزانه	۳۸/۵	۶	۱۰/۲	۱۴/۵	۳۰/۸
دو سوم ترافیک در روز	۲۵.۸	۴	۶/۹	۹/۷	۲۰/۶
۱۰ ساعت فعالیت روزانه	۶۴/۵	۱۰	۱۷/۱	۲۴/۲	۵۱/۵
تعداد خودرو در لحظه با فرض سرعت ۸۰ کیلومتر بر ساعت	۲۱/۵	۳/۳	۵/۷	۸/۱	۱۷/۲
فاصله خودروها در طول یک مسیر رفت یا برگشت برحسب متر	۱۲۵۶/۶	۸۰۶۲/۹	۴۷۲۴/۴	۳۳۴۷/۹	۱۵۷۳/۳
تعداد در هر مسیر رفت یا برگشت در لحظه	۱۱	۲	۳	۴	۹
متوسط شدت صوت اندازه گیری شده (dB)	۷۳/۷	۷۷/۹	۷۶	۷۸/۱	۷۷/۷

کشور دانمارک و در فاصله ۵ متری از کنار آزادراه برای هر نوع خودرو یک‌بار و در ۸ نقطه در طول مسر و در بازه زمانی بین ۸ صبح تا ۱۷ بعدازظهر اندازه گیری شد. با توجه به سرعت حرکت وسایل نقلیه میزان شدت صوت حداکثر لحظه ای مورد استفاده قرار گرفت. که مقادیر متوسط آن برای انواع خودروها در جدول (۱) ارائه شده است.

شرایط هواشناسی

نزدیک‌ترین ایستگاه سینوپتیک به منطقه مطالعاتی، ایستگاه سینوپتیک مورچه‌خورت واقع در ۱۵ کیلومتری شمال شرقی مرز پناهگاه می‌باشد، بنابراین این ایستگاه به‌منظور کسب داده‌های هواشناسی مورد نیاز در مدل انتخاب گردید. لذا داده‌های هواشناسی شامل؛ دمای هوا به درجه فارنهایت، رطوبت نسبی به درصد، جهت باد غالب به درجه و سرعت باد برحسب مایل بر ساعت برای منطقه موردنظر استفاده گردید. با توجه به‌این‌که زمان اندازه‌گیری مقادیر صوت در فصل زمستان بوده است لذا متوسط داده‌های هواشناسی برای فصل زمستان مورداستفاده قرار گرفت. با توجه به‌این‌که به‌طور معمول حیات‌وحش منطقه شامل قوچ و میش اصفهانی و آهوی ایرانی در فصل زمستان جهت تامین غذا به مناطق پست‌تر و به جاده نزدیک‌تر می‌شوند، لذا انتظار می رود که تاثیرات اکولوژیکی ناشی از انتشار صوت در فصول سرد سال بیشتر باشد. (جدول ۲).

جهت ارزیابی نتایج حاصل مدل می‌بایست اطلاعات و محدوده‌های انتشار گونه‌های جانوری در بازه زمانی قبل از احداث آزادراه و بعد از احداث آن در سال ۱۳۸۵مورد تحلیل قرار گیرند. برای این منظور از نتایج مطالعه ارزیابی بوم شناختی کنارگذر غرب اصفهان بر پناهگاه حیات وحش قمیشلو با استفاده از روش HEP که توسط مکی و همکاران در سال ۱۳۹۱ انجام شده بود استفاده گردید.(۳و۵) در این مطالعه با استفاده از گزارشات طرح جامع مدیریت منطقه، مراجعه به اداره کل محیط زیست استان اصفهان، اداره تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، شرکت سیمین سپاهان (همکار شرکت آزادراه غرب اصفهان) و هم‌چنین بازدید منطقه‌ای، اطلاعات اولیه شامل نقشه‌های توپوگرافی در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰، مرز جدید و قدیمی پناهگاه حیات وحش قمیشلو، نقشه پوشش گیاهی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، نقاط حضور گونه موردمطالعه، جمع آوری گردید. علاوه بر این با استفاده از مشاهدات میدانی گسترده و ثبت نقاط حضور گونه‌های آهوی ایرانی و قوچ و میش توسط GPS در طی چهار فصل انجام نقشه پراکنش گونه در بازه زمانی پس از احداث آزادراه تهیه گردید. هم‌چنین به‌منظور شناسایی محل‌های پراکنش گونه‌ها در بازه زمانی قبل از احداث آزادراه با استفاده از روش پرسش‌نامه‌ای و تکمیل آنها توسط محیط بانان و کارشناسان محیط زیست آشنا به منطقه تهیه گردید (۳ و ۵).

جدول ۲. داده‌های هواشناسی استفاده شده در شبیه سازی صوت

فصل	دما به فارنهایت	درصد رطوبت نسبی	جهت باد غالب	سرعت باد غالب (مایل بر ساعت)
زمستان	۴۳/۶	۵۶/۵	۱۳۵	۵/۷

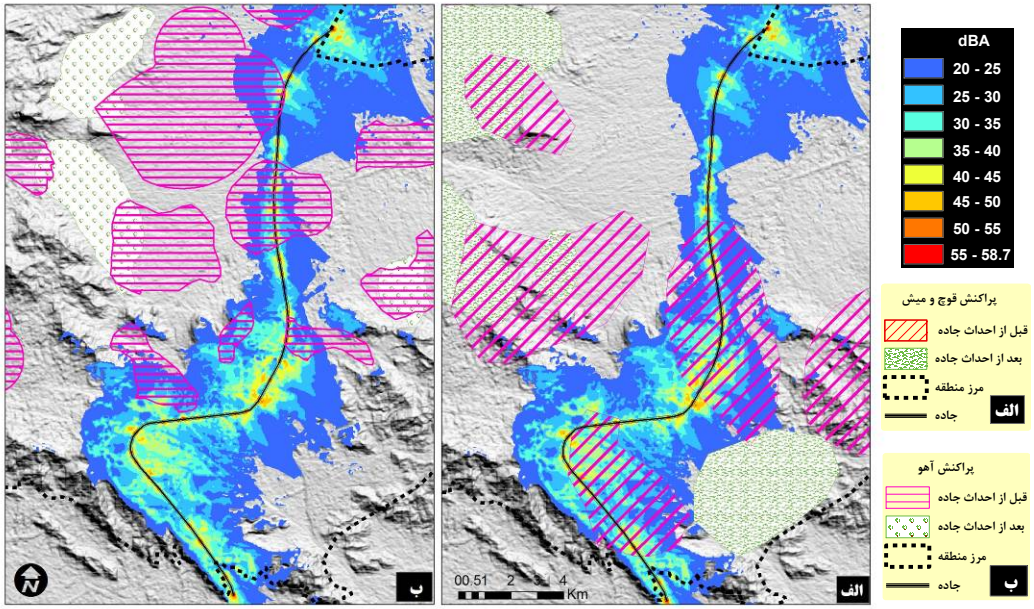
نتایج

نتیجه حاصل از شبیه سازی ۵۸ خودرو باهم، که به‌طور تصادفی در طول جاده در داخل پناهگاه انتخاب شده است در شکل ۲ نشان داده شده است. دامنه تغییرات شدت صوت بین ۰ تا ۵۸/۷ دسی‌بل می‌باشد. به‌منظور بررسی نحوه تأثیر صوت ناشی از ترافیک آزادراه بر ویژگی اکولوژیکی منطقه باید بتوان شاخص مناسبی جهت میزان این تأثیرپذیری یافت. با توجه به‌این‌که گونه‌های شاخص پناهگاه حیات‌وحش قمیشلو آهوی ایرانی و قوچ و میش اصفهانی می‌باشد، لذا می‌توان از این دو گونه به‌عنوان شاخص‌هایی جهت بررسی اثر صوت بر وضعیت اکولوژیکی منطقه استفاده نمود. برای این منظور بررسی زیستگاه‌های پراکنش این گونه‌ها در این تحقیق موردبررسی قرار گرفته است. با توجه به‌این‌که آستانه حساسیت گونه‌های مذکور و به‌طور کلی پستانداران در محیط های طبیعی کمتر از در حدود ۲۰ دسی بل می‌باشد (۱۵). لذا باید نقشه حاصل از شبیه‌سازی صوت بر اساس این آستانه تهیه گردد. نقشه ۲ محدوده انتشار صوت ناشی از ترافیک جاده را در دامنه صوتی بین ۲۰تا ۵۲/۵ دسی‌بل نشان می‌دهد. در واقع این نقشه نشان می‌دهد در مناطقی که میزان شدت صوت کمتر از ۲۰ دسی‌بل می‌باشد گونه‌های جانوری هیچ‌گونه واکنشی نشان نداده و منطقه آرامش برای گونه‌ها محسوب می‌شود و به‌همین‌دلیل نیازی به نمایش در نقشه نمی باشد، اما در مقابل مناطق با شدت صوت بیش از این مقدار به‌عنوان منطقه تنش و واکنش گونه خواهد بود. نقشه ۲. الف و نقشه ۲. ب نشان دهنده محدوده‌های زیستگاهی قبل و بعد از احداث آزادراه به‌ترتیب برای گونه قوچ و میش و گونه آهوی ایرانی می‌باشد. علاوه بر این در نقشه‌های مذکور وضعیت محدوده انتشار صوت ناشی از ترافیک آزادراه و نحوه تاثیرگذاری آن بر زیستگاه گونه‌ها، قابل‌مشاهده می‌باشد. نقشه شماره ۳ نشاندهنده فاصله زیستگاه های قوچ و میش وآهوی ایرانی از آزادراه می‌باشد. این نقشه گویای فواصل زیستگاه ها تا آزادراه در بازه‌های زمانی قبل و پس از احداث آزادراه می باشد.

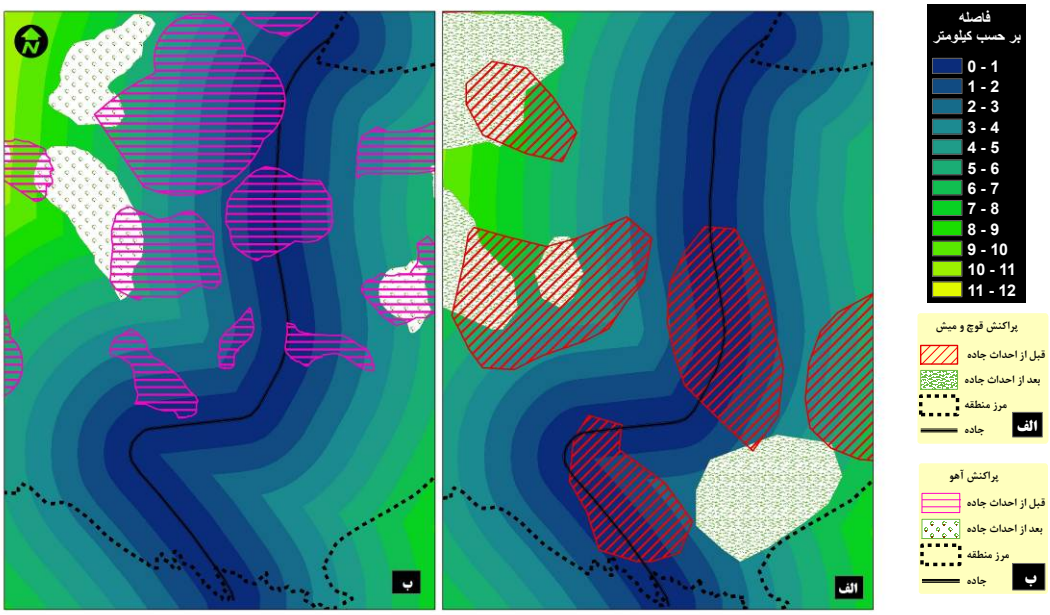
با توجه به شکل در جنوب منطقه که با پستی و بلندی همراه است بیشترین مقادیر و دامنه گسترش شدت صوت وجود داشته و این در حالی است که در بخش شمالی منطقه که منطقه دشتی می‌باشد با توجه به پروفیل عرض جاده در بخشی که جاده در منطقه گودال مانندی از دشت قرار دارد این مقادیر کمتر می‌باشد. شکل ۴ نشان‌دهنده این موضوع می باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

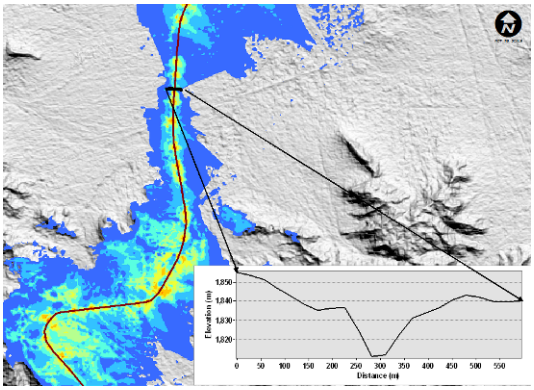
بر اساس آمار و اطلاعات موجود، تردد وسایل نقلیه به‌ویژه وسائل نقلیه سنگین که دارای شدت صوت بالایی می‌باشند، با حجم ترافیک بالایی از پناهگاه حیات‌وحش قمیشلو صورت می‌پذیرد. با توجه به‌این‌که مسیر آزادراه از هر سه نوع عرصه دشتی، تپه ماهوری و کوهستانی عبور می‌کند، لذا انتشار صوت ناشی از ترافیک جاده، گونه‌های آهو و قوچ و میش را با شدت‌های مختلف تحت تأثیر قرار می‌دهد. مقایسه نقشه شماره ۲. الف و ۲. ب نشان می‌دهد که میزان اجتناب از جاده گونه قوچ و میش نسبت به گونه آهو کمتر می‌باشد که دلیل آن را می‌توان در نوع زیستگاه انتخابی آنها دانست. گونه قوچ ومیش در منطقه تپه ماهوری واقع بوده و لذا وجود پستی و بلندی‌های متعدد می‌تواند به‌عنوان عامل موثری در پناه گرفتن گونه قوچ و میش در دامنه‌های پشت به صوت باشد و از سوی دیگر وجود این موانع طبیعی قابلیت دید وسایل نقلیه عبوری از آزاد راه را کاهش داده و در مجموع دامنه اجتناب به شدت تحت تأثیر شدت صوت شنیده شده توسط قوچ و میش خواهد بود. اما در



نقشه۲. محدوده انتشار صوت ناشی از ترافیک آزادراه کنارگذر غربی اصفهان در پنا هگاه حیات وحش قمیشلو. الف)، تلفیق نقشه زیستگاه گونه قوچ و میش قبل و بعد از احداث آزادراه با نقشه انتشار صوت ب)، محدوده زیستگاهی گونه آهو قبل و بعد از احداث آزادراه همراه با نقشه انتشار صوت.



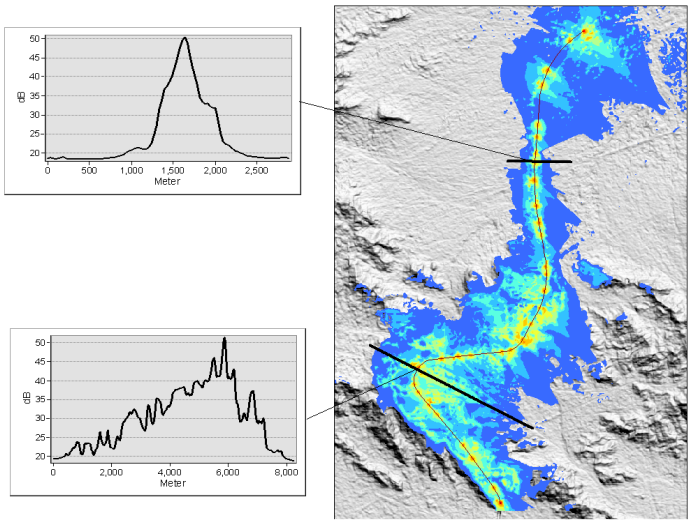
شکل ۳. نقشه فاصله جاده از زیستگاه‌ها پس از احداث آزاد راه. الف، قوچ ومیش ب، آهو



شکل ۴. پروفیل مقطع عرضی جاده بر اساس وضعیت توپوگرافی

مناطق دشتی این موضوع تا حدودی حالت عکس پیدا می‌کند. با توجه به نقشه شماره ۳ میزان اجتناب آهو از آزادراه به مراتب بیشر از گونه قوچ و میش می‌باشد. مهم‌ترین دلیل این امر را در درجه اول می‌توان در قابلیت دید بالای وسایل نقلیه از فاصله دور در مناطق دشتی نسبت به مناطق کوهستانی و در درجه دوم شنیدن سروصدا ترافیک دانست. همان‌گونه که از نقشه شماره ۲ بر می‌آید شدت آشفتگی صوتی در مناطق تپه ماهوری به‌دلیل وجود پژواک صوت نسبت به مناطق دشتی به مراتب بیشتر می‌باشد (۱۳). شکل ۴ این موضوع را تأیید می‌کند. در این شکل نمودار بالا مربوط به خطی بطول ۶ کیلومتر که عمود بر جاده در منطقه دشتی می‌باشد و نمودار پایین مربوط به خطی با همان طول و عمود بر جاده اما در منطقه تپه ماهوری می‌باشد. لذا چنین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که سر وصدا ناشی از ترافیک جاده ای در پناهگاه حیات وحش قمیشلو یکی از عوامل مهم در ایجاد تنش و آشفتگی در منطقه به‌شمار رفته و گونه‌های جانوری قوچ و میش و آهو تنها استراتژی دوری گزیدن از محدوده آشفتگی صوتی را در پیش می‌گیرد. این تحقیق نشان داد که مدل SpreAD-GIS به‌عنوان مدل بسیار مناسبی جهت شبیه‌سازی انتشار صوت ناشی از وسایل نقلیه در مناطق طبیعی می‌باشد. این مدل به‌دلیل سازگاری با سامانه اطلاعات جغرافیایی ArcGIS به‌صورت یک افزونه کاربرپسند بوده که نسبت به سایر نرم افزارهای موجود کاملاً رایگان می‌باشد(۱). این افزونه برخلاف بسیاری از نرم افزارهای تجاری که طیف فرکانس را در یک سیگنال واحد که براساس شنوایی انسان تنظیم و خلاصه می‌سازد (یعنی سطح صدای وزنی A)، فرآیند محاسباتی SPreAD-GIS انتشار فرکانس‌های مختلف در فضا را دنبال می‌کند. این موضوع اهمیت زیادی در پیش‌بینی اثرات سروصدا بر حیات وحش دارد زیرا گونه‌های جانوری دارای حساسیت صوتی متفاوتی می‌باشند. مدلSPreAD-GIS الگوی انتشار صوت را می‌تواند در محدوده فرکانس بین ۱۲۵ تا ۲۰۰۰ هرتز شبیه سازی نماید (۲۳).

یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های این مدل را می‌توان در عدم اعتبار سنجی نتایج حاصل از شبیه سازی با استفاده از مقادیر اندازه گیری شده در محیط‌های طبیعی دانست. البته شایان ذکر است که این محدودیت در غالب نرم افزارهای مدل‌سازی صوت نیز وجود دارد (۱ و ۸). این مدل می‌تواند صوت را در دامنه فرکانسی ۱۲۵ تا ۲۰۰۰ هرتز شبیه سازی نماید که با وجود این‌که دامنه مناسبی جهت مطالعات زیست محیطی می‌باشد اما به‌دلیل حساسیت گونه‌های مختلف به دامنه‌هایی حتی کمتر و یا بیشتر از این مقدار، این موضوع را نیز می‌توان به‌عنوان محدودیت دیگر برای این مدل دانست (۱). در حین انجام این تحقیق برخی محدودیت‌های دیگر این مدل مشخص گردید که در ادامه به آنها اشاره می‌گردد. با توجه به‌این‌که مدل SPreAD-GIS یک مدل ایستا می‌باشد لذا نتایج حاصل از شبیه‌سازی در واقع نشان دهنده محدوده انتشار صوت در لحظه می‌باشد و این موضوع در خصوص منابع صوت



شکل ۵- نمودار مقطع عرضی جاده بر اساس شدت صوت در منطقه دشتی به عنوان زیستگاه آهوی ایرانی (بالا) و منطقه کوهستانی به‌عنوان زیستگاه قوچ و میش اصفهان (پایین)

پایدار اهمیت چندانی ندارد اما در خصوص منابع صوتی متحرک نظیر وسایل نقلیه می‌تواند به‌خوبی احساس شود. از سوی دیگر با استفاده از این مدل تنها می‌توان منابع نقطه‌ای را شبیه‌سازی کرد لذا برای شبیه سازی منابع خطی دارای محدودیت می‌باشد. با توجه به‌این‌که در این مدل واحدهای اندازه گیری به‌کار رفته بر اساس سیستم انگلیسی می‌باشد لذا کاربر مجبور است تمامی واحدهای مورداستفاده نظیر داده‌های هواشناسی و اندازه سلول نقشه‌ها را بجای این‌که براساس سیستم متداول متریک تهیه کند از سیستم انگلیسی استفاده نماید. این مدل در مقایسه با سایر مدل‌های موجود که همگی با هدف پیش‌بینی اثرات صوت بر انسان در محیط‌های شهری و صنعتی پایه ریزی شده‌اند به‌طور خاص به‌منظور بررسی تأثیر صوت بر حیات‌وحش در زیستگاه‌های طبیعی طرح‌ریزی گردیده‌اند. لذا با توجه به تاثیرات روز افزون بشر در محیط‌های طبیعی، این مدل می‌تواند در پیش‌بینی محدوده‌هایی از مناطق طبیعی و بکر که با مشکل آلودگی صوتی مواجه هستند کاربرد داشته باشد. از سوی دیگر به‌دلیل اجرای مدل در محیط GIS، نمایش بسیار مناسب نتایج و نقشه‌ها با توجه به پتانسیل بالای سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی از دیگر مزایای این مدل می‌باشد. هم‌چنین سادگی کار با این نرم افزار می‌تواند از نقاط قوت دیگر آن به‌شمار آید.

با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق که برای اولین بار در ایران صورت پذیرفته است و مقایسه آن با شرایط واقعی صورت گرفته در پناهگاه حیات‌وحش قمیشلو، یعنی مطابقت محدوده‌های انتشار صوت و جدایی زیستگاه آهو و قوچ و میش در منطقه، پشنهاد می‌شود تا به‌منظور بررسی اثر آلودگی صوت ناشی از جاده‌های موجود در دیگر مناطق تحت مدیریت سازمان حفاظت محیط زیست از این مدل استفاده گردد. هم‌چنین این مدل می‌تواند ابزار مناسبی در خدمت متخصصین ارزیابی آثار توسعه جهت پیش‌بینی و کمی‌سازی اثرات توسعه ای به‌ویژه در محیط‌های طبیعی باشد.

منابع مورد استفاده

۱. صفارزاده، م و ف. رحیمی. ۱۳۸۲. آلودگی صوتی در سیستم‌های حمل و نقل. سازمان حفاظت محیط زیست، تهران.

۲. غریبی، ش.، ع. س. ماهینی و ح. وارسته. ۱۳۹۱. ارزیابی صدا و بررسی عوامل موثر بر انتشار آلودگی صوتی ناشی از ترافیک جاده ای در پارک ملی گلستان. *فصلنامه مدیریت و برنامه ریزی محیط زیست*۴(۲): ۵۵-۴۱.

۳. مکی، ت.، س. فاخران، ح. مرادی، م. ایروانی و م. فرهمند. ۱۳۹۱. ارزیابی اثرات بوم‌شناختی کنارگذرغرب اصفهان بر پناهگاه حیات‌وحش قمیشلو با استفاده از روش HEP.. مجله علمی – پژوهشی بوم *شناسی کاربردی* ۱(۲): ۵۱-۳۹.

۴. موحدی نجف آبادی، م. و ب. بلمکی. ۱۳۹۱. بررسی عوامل تهدید زیستگاهی قوچ و میش در پناهگاه حیات‌وحش قمیشلو اصفهان، دومین کنفرانس برنامه–ریزی و مدیریت محیط زیست، ۲۶ اردیبهشت ۱۳۹۱، تهران، ایران.

۵. مکی، ت. ۱۳۹۰. ارزیابی اثرات بوم‌شناختی کنارگذرغرب اصفهان بر پناهگاه حیات وحش قمیشلو با استفاده از روش HEP، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

6. American National Standards Institute (ANSI). 1995. Method for Calculation of The Absorption of Sound by the Atmosphere. Acoustical Society of America, New York.
7. Andrews, A. 1990. Fragmentation of habitat by roads and utility corridors: a review. *Australian Zoologist* 26: 130-141.
8. Barber, J. R., C. L. Burdett, S. E. Reed, K. R. Crooks, D. M. Theobald and K. M. Fristrup. 2011. Anthropogenic noise exposure in protected natural areas: estimating the scale of ecological consequences. *Landscape Ecology* 26: 1281-1295.
9. Benítez-López, A., R. Alkemade and P. A. Verweij. 2010. The impacts of roads and other infrastructure on mammal and bird populations: A meta-analysis. *Biological Conservation* 143: 1307-1316.
10. Brumm, H. 2004.The impact of environmental noise on song amplitude in a territorial bird. *Journal of Animal Ecology* 73:434-440.
11. Dufour, P. A. 1980. Effects of Noise on Wildlife and Other Animals: Review of Research since 1971. U.S. Environmental Protection Agency.
12. Embleton, T. F. W. 1996. Tutorial on sound propagation outdoors. *The Journal of the Acoustical Society of America* 100: 31-48.
13. Farina, A. 2014.Soundscape Ecology Principles Patterns, Methods and Applications. Springer Science. Dordrecht, 328 p.
14. Forman, R. T. T., B. Reineking and A. Hersperger. 2002. Road traffic and nearby grassland bird patterns in a suburbanizing landscape. *Environmental Management* 29: 782-800.
15. Forman, R. T. T., D. Sperling, J. Bissonette, A. Clevenger, C. Cutshall, V. Dale, L. Fahrig, R. France, C. Goldman, K. Heanue, J. Jones, F. Swanson, T. Turrentine and T. Winter. 2003. Road Ecology: Science and Solutions. Island Press. Washington D.C., USA, 481 p.
16. Habib, L., E. M. Bayne and S. Boutin. 2007. Chronic industrial noise affects pairing success and age structure of ovenbirds *Seiurus aurocapilla*. *Journal of Applied Ecology* 44: 176-184.
17. Harris, C. M. 1966. Absorption of sound in air versus humidity and temperature. *Journal of the Acoustical Society of America* 40: 148-159.
18. Ingard, U. 1953. A review of the influence of meteorological conditions on sound propagation. *Journal of the Acoustical Society of America* 25: 405-411.
19. Parris, K. M. and A. Schneider 2008. Impacts of traffic noise and traffic volume on birds of roadside habitats. *Ecology and Society* 14(1): 29.
20. Patricelli, G. L. and J. L. Blickley. 2006. Avian communication in urban noise: causes and consequences of vocal adjustment. *The Auk Journal* 123(3): 639-649.
21. Pijanowski, B. C., L. J. Villanueva-Rivera, S. L. Dumyahn, A. Farina, B. L. Krause, B. M. Napoletano, S. H. Gage and N. Pieretti. 2011. Soundscape ecology: the science of sound in the landscape. *BioScience* 61(3): 203-216.
22. Reed, S. E., J. L. Boggs and J. P. Mann. 2010. SPreAD-GIS: an ArcGIS toolbox for modeling the propagation of engine noise in a wildland setting.Version 2.0. The Wilderness Society, San Francisco. CA, 27 pp.
23. Sarah, E. R., J. L. Boggs and J. P. Mann. 2012. A GIS tool for modelling anthropogenic noise propagation in natural ecosystems. *Environmental Modelling & Software* 37: 1-5.

24. Slabbekoorn, H. and E. A. P. Ripmeester. 2008. Birdsong and anthropogenic noise: implications and applications for conservation. *Molecular Ecology* 17(1):72-83.
25. Spellerberg, I. F. 1998. Ecological effects of roads and traffic: a literature review. *Global Ecology and Biogeography Letters* 7: 317–333.
26. Tervo, O. M., M. F. Christoffersen, M. Simon, L. A. Miller and F. H. Jensen. 2012. High source levels and small active space of high-pitched song in bowhead whales (balaena mysticetus). *PLOS ONE Journal* 12: 52-72.
27. Trombulak, S. C. and C. A. Frissell. 2000. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology* 14:18-30.
28. Weisenberger, M. E., P. R. Krausman, M. C. Wallace, D. W. De Young, and O. E. Maughan. 1996. Effects of simulated jet aircraft noise on heart rate and behavior of desert ungulates. *Journal of Wildlife Management*, 60(1): 52-61.