دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "حفاظت زیست بوم گیاهان"
دوره یازدهم، شماره بیست و دوم
http://pec.gonbad.ac.ir

مدل‌سازی تاثیر درختان کنار جاده بر کاهش صدای ترافیک (مطالعه موردی: پارک جنگلی نور)

میثم علی پور[1*]، محمدرضا آذرنوش[2]، علیرضا صادقی پویا[3]، مجید اسحق نیموری[2]، علی کیالاشکی[4]، شعبان قلندرآیشی[5]

[1]دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد چالوس
[2]استادیارگروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد چالوس
[3]استادیار گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نوشهر
[4]دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد چالوس
[5]استادیار گروه ریاضی و آمار، دانشکده علوم پایه و مهندسی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۳

چکیده

رشد جمعیت و همچنین افزایش مهاجرت به شهرها در دهه‌های اخیر منجر به افزایش تراکم جمعیت و همچنین وسعت شهرهای بزرگ شده است. آلودگی صوتی یکی از معضلات زیست‌محیطی شهرهای بزرگ است که سلامت انسان را از جنبه‌های مختلف روانی و جسمی به مخاطره می‌اندازد. با این حال، این نوع آلودگی کمتر از سایر آلاینده‌ها مورد توجه قرار گرفته است. این تحقیق با هدف بررسی و مدل‌سازی اثر گونه‌های درختی بر میزان آلودگی صوتی جاده انجام شد. این مطالعه در پارک جنگلی نور انجام شد که در آن ۶ ایستگاه شامل ۵ توده درختی متفاوت و یک منطقه بدون پوشش برای مطالعه انتخاب شدند. اندازه‌گیری آلودگی صوتی در هر ایستگاه با ۵ تکرار در فواصل ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰ متر از منبع صوت با دو فرکانس ۲۵۰ و ۵۰۰ هرتز و در دو فصل زمستان و تابستان انجام شد. مشخصه های مورد مطالعه شامل گونه‌های درختی، فاصله از منبع صوت، فصل رویش (تابستان و زمستان) و ویژگی‌های توده شامل میانگین قطر برابر سینه، میانگین ارتفاع توده، سطح مقطع در هکتار و سطح مقطع کل درختان در هر ایستگاه ثبت و اندازه‌گیری شد. بر اساس معیارهای انتخاب مدل، مدل‌خطی بهترین برازش را برای مدل‌سازی عوامل محیطی بر میزان آلودگی صوتی نشان داد. بر اساس نتایج، تاثیر فاصله، گونه، فصل، شدت آلودگی صوتی و سطح مقطع کل درختان بر میزان آلودگی صوتی معنی‌دار شد. فاصله از منبع آلودگی صوتی و سطح مقطع کل درختان رابطه معکوس با میزان آلودگی صوتی نشان دادند. بیشترین آلودگی صوتی مربوط به مناطق شاهد و کمترین آن مربوط به توده‌های آمیخته لیلکی-توسکا بود. می‌توان نتیجه گرفت که با طراحی بهینه از طریق جنگل‌کاری توده‌های آمیخته به‌طوری‌که گونه‌ها اشکوبهای مختلفی را به‌خصوص در ارتفاع نزدیک به سطح زمین پوشش دهند، می‌توان آلودگی صوتی را به طور موثرتری کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: **آلودگی صوتی، سطح مقطع، دسی بل ، فاصله، فرکانس**

مقدمه

رشد جمعیتی و توسعه شهری منجر به افزایش آلودگی محیط زیست بر اثر فعالیت‌های انسانی شده است. یکی از آلودگی‌های خطرناک محیط زیست که متاسفانه به‌دلیل مشهود نبودن عوارض، توجه زیادی به آن نمی‌شود، آلودگی صوتی است (محمدیان و همکاران، ۲۰۱۵). براساس اطلاعات و بررسی‌های آژانس محیط زیست اروپا (European Environment Agency, 2014) آلودگی صوتی یک مشکل عمده بهداشت محیطی است که عمدتا ناشی از ترافیک جاده است که منجر به ۱۰۰۰۰ مورد مرگ زودرس در اروپا در سال می‌شود. این آلودگی همچنین موجب آزار شدید ۲۰ میلیون بزرگسال شده و سبب ابتلای ۸ میلیون نفر به اختلال خواب شده است. از دیگر عوارض آلودگی صوتی، گزارش بیش از ۹۰۰۰۰۰ مورد فشار خون بالا و پذیرش ۴۳۰۰۰ بیمار در بیمارستان‌های اروپا در سال ناشی از سر و صدای محیطی است. ساختارهای شهری و

*نویسنده مسئول: alipoor_meisam@yahoo.com

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-21]

فضای سبز نقش به‌سزایی در کاهش این آلودگی در محیط هایی همچون اماکن مسکونی، آموزشی، تجاری، تفرجی و بیمارستانی دارند (Moshtaghi et al., 2013). کمربندهای سبز در شاه‌راه‌ها و خیابانها به‌عنوان عوامل محافظت‌کنندهٔ اماکن مسکونی از آلودگی صدای ناشی از تردد انواع وسائط نقلیه از مهم ترین خدمات شهری به شمار می‌آیند. درختان در مقایسه با سایر موانع مانند اراضی مزروعی و موانع مصنوعی در تقلیل آلودگی صدا قابلیت بیشتری دارند و موثرتر عمل می‌کنند (مجنونیان، ۱۳۶۹). در این خصوص برزگر و نوری (۱۳۹۹) در تحقیقی با عنوان بررسی تاثیر فاصله و عرض کاشت گونه‌های درختی فضای سبز شهر آباده در کنترل آلودگی صوتی عنوان کردند هرچه فاصله از خیابان و تعداد ردیف درخت‌های کاشته شده بیشتر باشد میزان کاهش صدا بیشتر خواهد بود.

مسلماً میزان تأثیر درختان و درختچه‌ها در کاهش آلودگی صدا متفاوت است. اگرچه خود صدا ممکن است رشد گیاه را به مخاطره اندازد؛ چنان‌که کاهش رشدی در حدود ۴۱ درصد در مزرعه تنباکو دیده شد که در معرض صدای شدید قرار گرفت (دبیری ۱۳۷۹). لیکن کیفیت و کمیت کاهش صدا در درختان و درختچه‌ها بر حسب اندازه برگ، تراکم شاخه و برگ، گونه و بلندی درختان متفاوت است (Maleki.and Hosseini, 2011; Samara and Tsitsoni, 2011). بررسی‌ها نشان می‌دهد که کاهش صدا معمولاً در فرکانس‌های متوسط (۲۰۰۰ ـ ۲۵۰ هرتز) نسبت به فرکانس‌های کوتاه (۲۵۰ ـ ۱۲۵ هرتز) و یا در فرکانس‌های بلند (۴۰۰۰ ـ ۲۰۰۰ هرتز)، بیشتر است. همچنین کاهش صدا بر روی جنگل نسبت به داخل جنگل کمتر است که این خود، اثر پدیده توپوگرافی و یا شکل زمین را پیش می‌آورد. برای نمونه تپه‌های پوشیده از درخت در کاهش صدا مؤثرتر از تپه‌های بی‌درخت یا دشت‌های پر درخت‌اند (دبیری ۱۳۷۹).

یانگ و همکاران (Yang et all., 2011) بیان کردند گیاهان به‌عنوان ارزان‌ترین و طبیعی‌ترین عناصر برای کاهش آلودگی صوتی محیط در مقایسه با عناصر سخت از جمله سیمان، فلز، پلاستیک و مصالح دیگر مورد توجه قرار گرفته اند. ارتعاش امواج صوتی به وسیله برگها و شاخه‌های درختان جذب می‌شود و عواملی نظیر نور و دیواره‌های متخلخل انعطاف‌پذیر در جذب صدا موثر هستند. به همین سبب درختان در جذب صداهای ناخوشایند با داشتن ویژگی های فوق تاثیر می‌گذارند. انبوه بودن درختان، چرمی بودن برگها و انعطاف‌پذیری شاخه‌ها اجازه می‌دهد که صداهای ناهنجار جذب درختان شوند. درختان در پخش و درهم شکستن صداها نیز موثرند.

گری و دنکه (Grey and Deneke, 1987) دریافتند که در مناطق جنگلی در هر فاصله ۳۰ متری از منبع صدا میزان صدا تا ۷ دسی بل کاهش می‌یابد. همچنین مطرح کردند که سه عامل می‌توانند در چگونگی کنترل صدا به‌وسیله گیاهان تاثیرگذار باشند: ۱) نوع گونه‌ها، ارتفاع گیاه، تراکم و فاصله آن از منبع صوت. ۲) عوامل آب و هوایی (سرعت باد، دما و رطوبت) ۳) نوع صدا، منشأ و میزان شدت صوت. در همین راستا لیون (Lyon, 1977) بیان می‌کند که گیاهان قادرند میزان صدا به را به‌وسیله اندامهای گیاهی همچون تنه‌ها، شاخه‌ها و برگها انعکاس داده و پخش نمایند. گیاهان با فاصله بسیار نزدیک به‌هم از نظر فرم تاج و شاخه‌های درخت رو به پایین و بالا، منجر به کاهش شدت صدای پخش شده از منبع صدا می‌شوند. در مطالعه دیگری که در فضای سبز دو منطقه شهری در برزیل انجام شد تراکم و تعداد درختان همبستگی بسیار زیادی با مقادیر دسی بل مسدود شده نشان دادند و پوشش گیاهی به‌عنوان مانعی کارآمد در کاهش آلودگی صوتی معرفی شد و منطقه با کمترین مقدار پوشش گیاهی کمترین مقادیر تضعیف صدا را نشان داد (Oliveira et al., 2022). کراگه (Krag, 1979) نیز بیان کرد کمربندهای سبز به عنوان مانعی میان منبع صدا و گیرنده عمل می‌کنند تا سطح صدایی که به‌وسیله گیرنده دریافت می‌شود را کاهش دهند. فانگ و لین (Fang and Ling, 2003) برای اندازه‌گیری تاثیر فضای سبز بر کاهش صدای ایجاد شده، ۳۵ درخت حاشیه‌ای (کمربند سبز) همیشه سبز را بررسی کردند. صدای ترافیک شهری ضبط شده به‌عنوان منبع صدا در این آزمایش استفاده شد. منبع نقطه‌ای صدا در جلوی درختان کمربند سبز قرار داده شد و میزان صدا در نقاط مختلف در کمربندهای سبز با یک صوت‌سنج اندازه‌گیری شد. عامل‌های کلیدی برای بررسی اثر کمربند سبز بر کاهش صدا عبارت از پهنا (عرض)، ارتفاع و طول کمربندهای سبز بود. در همین خصوص ایرینگ (Eyring, 1946) و کوک و هاوربرکه (Cook, and Haverbeke, 1974) بیان کردند که تراکم، ارتفاع، طول و پهنای کمربندهای سبز عامل‌های

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-21]

مهمی در کاهش صوت نسبت به ویژگیهای اندازه برگ و شاخه هستند. در تحقیقی دیگر فانگ و لین (Fang and Ling, 2005) میزان تاثیر ۶ منطقه درختکاری شده را بر کاهش صدا بررسی کردند. در این پژوهش پارامترهای ارتفاع، پهنای کمربند سبز، ارتفاع گیرنده و منبع صدا و فاصله ما بین منبع صدا و گیرنده مطالعه شد و مدل رگرسیون برازش داده شده تاثیر معنی‌دار این پارامترها را بر کاهش آلودگی صوتی نشان داد. هدف نهایی کنترل آلودگی صوتی، افزایش آسایش، رضایت‌مندی و سلامتی افراد ساکن شهرها است. به‌عبارتی کمربندهای سبز در شاهراه‌ها، خیابان‌ها به عنوان عوامل محافظت کننده اماکن مسکونی از آلودگی صوتی ناشی از تردد انواع وسائل نقلیه از مهم‌ترین خدمات شهری فضای سبز بشمار می‌آید (حامی و خدایاری، ۱۴۰۰).

در مطالعه حاضر تلاش بر این است تاثیر گونه‌های درختی و ساختار توده‌های جنگلی در تیپ‌های درختی مختلف پارک نور در دو فصل تابستان و زمستان بر کاهش آلودگی صوتی بررسی و مدل‌سازی شود. در این راستا سوالات تحقیق شامل موارد زیر است:

۱. آیا آلودگی صوتی جاده توسط پوشش گیاهی کاهش می‌یابد؟

۲. ویژگی‌های پوشش گیاهی (نوع، ساختار) که بر کاهش صدای جاده تاثیر می‌گذارد، کدامند؟

۳. از بین گونه‌ها و ترکیب‌های گیاهی موجود کدامیک تاثیر بیشتری بر کاهش آلودگی صوتی دارند؟

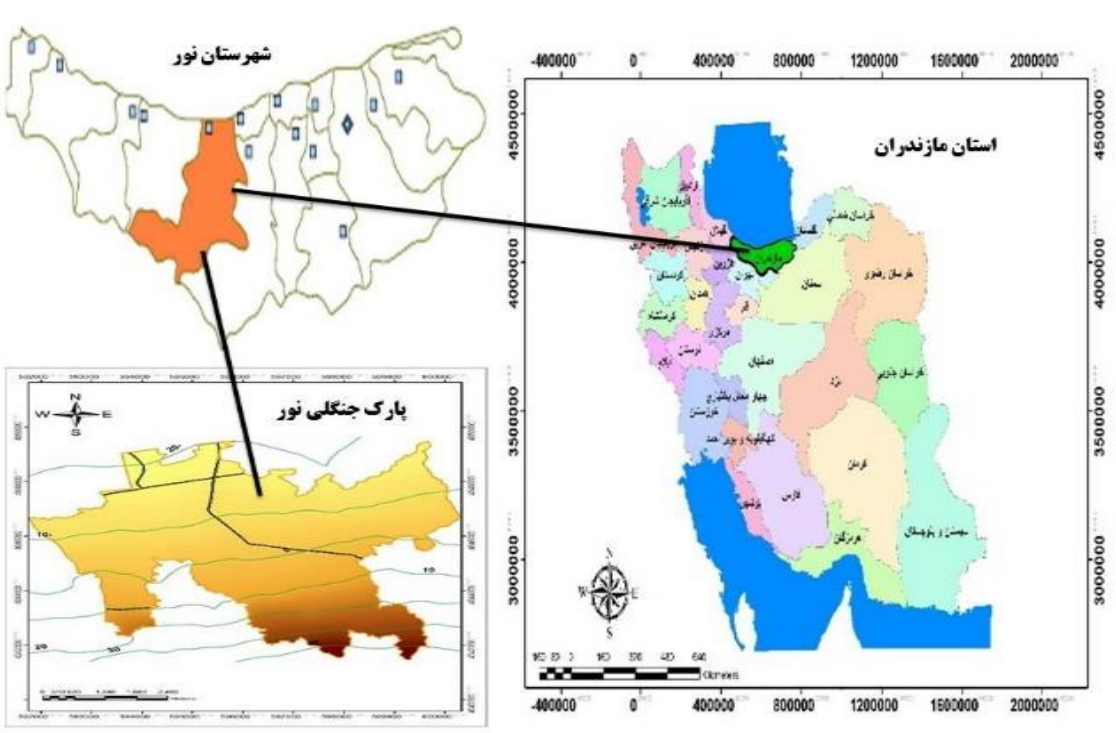
نتایج حاضر از این این مطالعه می‌تواند به طراحان و برنامه-ریزان شهری در طراحی بهینه فضاهای سبز در جهت کاهش آلودگی صوتی کمک کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پارک جنگلی نور که در شرق شهرستان نور در استان مازندران قرار گرفته، جزو آخرین باقیمانده جنگل‌های جلگه‌ای در ایران است. این پارک که در سال ۱۳۵۱ احداث گردیده است، دارای دو دریاچه بزرگ، رستوران، پارک بازی و جانبه‌های دیگری همچون آلاچیق‌های زیبا، مسیر دوچرخه سواری و پیاده روی است. از طرفی با توجه به موقعیت و امکانات تفرجی موجود در پارک، سالانه گردشگران زیادی از آن استفاده می کنند و برای کاهش آلوگی صوتی و حفظ سلامتی این افراد حفظ پوشش پارک اهمیت بالایی دارد. این پارک، بزرگترین پارک جنگلی ایران و خاورمیانه است و با مساحتی بالغ بر ۳۶۰۰ هکتار در محدوده جغرافیایی "۳۰ '۲ °۵۲ تا "۰ '۷ °۵۲ درجه طول شرقی و "۳۰ '۳۱ °۳۶ تا "۰ '۳۵ °۳۶ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). حداقل ارتفاع حوضه ۲۰ متر از سطح دریا در بخش شمالی آن و حداکثر آن ۴۰ متر در منتهی‌الیه جنوبی شهر نور واقع شده است. میانگین دمای متوسط سالیانه در سطح منطقه ۱۶/۴ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه در سطح حوضه برابر با ۸۶۹/۳ میلی‌متر در سال است و بر اساس روش آمبرژه نوع اقلیم در سطح حوضه از نوع نیمه‌مرطوب است.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-21]



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه واقع در شهرستان نور

جمع‌آوری داده‌ها

تحقیق حاضر از نوع اندازه‌گیری کمی است و جامعه آماری آن توده‌های جنگلی طبیعی پهن برگ در شش ایستگاه شامل ۵ توده آمیخته، یک توده خالص و منطقه بدون پوشش به‌عنوان ایستگاه شاهد است. در این مطالعه آلودگی صوتی با دو فرکانس ۲۵۰ و ۵۰۰ هرتز از منبع صوت منتشر شد که شدت آن در دو فصل تابستان و زمستان اندازه‌گیری گردید. شدت صوت در گیرنده در فواصل ۱۰ تا ۱۰۰ متر، در هریک از توده‌ها توسط دستگاه صوت‌سنج مدل (CEM DT -95) با ۵ تکرار ثبت گردید. شایان ذکر است برای اندازه‌گیری اثرات ویژگی‌های ساختاری توده‌ها از روش نمونه‌برداری قطعات نمونه با مساحت متغیر برای برداشت توده جنگلی استفاده شد؛ به‌طوری‌که ضلع ثابت قطعه نمونه در امتداد جاده و ضلع متغیر آن که عمود بر محور جاده بوده برابر فاصله گیرنده از منبع صوت بوده است. ضلع ثابت قطعه نمونه برابر ۱۴ متر انتخاب گردید. به‌طوری‌که بیانگر اثر توده‌های جنگلی بر کاهش آلودگی صوتی باشد؛ زیرا امواج صوتی لزوما مسیر مستقیمی را طی نمی‌کنند؛ حتی اگر منبع صوت در یک نقطه مشخص باشد. با توجه به فاصله ۱۰ متر بین نقاط استقرار گیرنده صوتی از یکدیگر تا فاصله ۱۰۰ متر از جاده، روش پیاده نمونه قطعات نمونه در کنار هم به گونه ای بوده که می‌توان گفت مجموع آنها در هر ایستگاه همانند ۱۰ قطعه نمونه مستطیلی شکل با ابعاد ۱۰*۱۴ متر و در امتداد هم بوده است. در هر یک از این قطعات نمونه ۱۰*۱۴ متر مشخصه‌های گونه، قطر برابر سینه، و ارتفاع درختان اندازه‌گیری و ثبت شد. با وجود این، در هنگام محاسبه مشخصه‌های توده مانند میانگین قطر، میانگین ارتفاع و سطح مقطع کل درختان با توجه به فاصله گیرنده از فرستنده، کل درختان موجود در مساحت متغیر بین گیرنده و فرستنده در نظر گرفته شدند. برای دقت بیشتر ثبت فرکانس‌ها، مدت زمان اندازه‌گیری هر فرکانس ۲۵۰ و ۵۰۰ هرتز برای فواصل مختلف ۳ دقیقه در نظر گرفته شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای بررسی ارتباط بین میزان آلودگی صوتی و ویژگی‌های مورد مطالعه پس از محاسبه آماره‌های توصیفی و انجام تجزیه و تحلیل های اکتشافی، با توجه به نرمال نبودن متغیرها از ضریب همستگی اسپیرمن استفاده گردید. پیش‌آزمون‌های اولیه شامل رسم نقاط پراکنش، نمودار جعبه‌ای و مقایسه نتایج مدل‌های رگرسیونی خطی، نمایی، توانی و نیمه لگاریتمی بوده است. ملاک انتخاب مدل مناسب نیز الگوی باقیمانده‌ها، نرمال بودن آنها و همگنی

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-21]

واریانس باقیمانده‌ها بوده است. بعد از انتخاب مدل مناسب، ساده سازی مدل بر اساس روش پسرونده انجام شد. معنی‌داری متغیرها بر اساس روش والد و همچنین نسبت درست‌نمایی بررسی شد و سطح معنی‌داری نیز ۵ درصد انتخاب شد. شایان ذکر است با توجه با ساختار خوشه‌ای داده‌های جمع‌آوری‌شده از مدل‌های خطی آمیخته برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. عملکرد و توان مدل نیز با استفاده از روش اعتبار سنجی متقابل ۱۰ برابری[۲] بررسی شد و آماره‌های ضریب تبیین مدل (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) محاسبه گردید (Ghalandarayeshi, 2015). تمامی تجزیه و تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار R نسخه 4.1.2 انجام شد.

نتایج

ویژگی‌های رویشگاهی پارک نور در جدول ۱ نشان داده شده است. بیشترین سطح مقطع در هکتار مربوط به توده بلوط-ممرز و کمترین آن مربوط به توده ممرز- انجیلی است. همچنین بیشترین میانگین قطر مربوط به توده بلوط-ممرز به مقدار ۳۹/۹۴ سانتی‌متر و کمترین آن مربوط به توده ممرز- انجیلی با میانگین قطر ۲۹/۴۵ سانتی‌متر است.

جدول ۱- ویژگی‌های رویشگاهی منطقه مورد مطالعه

گونه ها	شیب(٪)	سطح مقطع در هکتار (m^2/ha)	میانگین ارتفاع (m)	میانگین قطر (cm)
توسکا	۵	۸۱/۰۶۲	۲۷/۹۱۷	۳۶/۸۱۵
ممرز - توسکا	۵	۸۳/۷۸۱	۲۴/۱۹۴	۳۹/۱۸۹
ممرز - انجیلی	۵	۵۸/۳۷۷	۱۸/۹۱۶	۲۹/۴۵۸
بدون پوشش	۵	۰	۰	۰/۰۰
توسکا - لیلکی	۵	۶۴/۵۵۵	۲۰/۷۸۰	۳۳/۳۰۰
بلوط - ممرز	۵	۱۰۳/۷۶۶	۱۳/۲۷۰	۳۹/۹۴۰

آماره‌های توصیفی میزان آلودگی صوتی در توده‌های مختلف جنگلی نیز در جدول ۲ نشان داده شده است. بیشترین میانگین آلودگی صوتی مربوط به منطقه بدون پوشش و کمترین آن مربوط به توده آمیخته توسکا-لیلکی است. بیشترین ضریب تغییرات میزان آلودگی صوتی نیز مربوط به منطقه بدون پوشش بوده و کمترین آن مربوط به توده آمیخته توسکا-لیلکی می‌باشد.

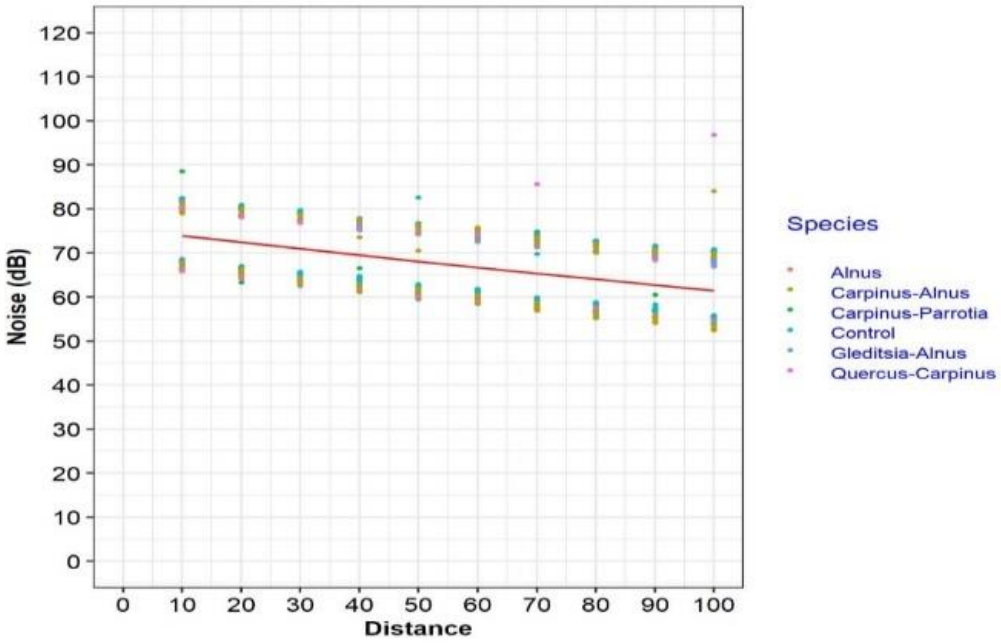
جدول ۲- آماره‌های توصیفی میزان آلودگی صوتی (dB) در پارک نور

گونه ها	کمترین	بیشترین	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات
توسکا	۵۳/۶	۸۱/۹	۶۷/۷۷	۷/۹۷	۱۱/۷۶
ممرز - توسکا	۵۲/۵	۸۴/۱	۶۷/۴۳	۸/۴۳	۱۲/۵۱
ممرز - انجیلی	۵۳/۵	۸۸/۶	۶۷/۸۲	۸/۱۵	۱۲/۰۱
بدون پوشش	۵۵/۵	۹۸/۶	۷۱/۱۶	۱۰/۲۱	۱۴/۳۵
توسکا - لیلکی	۵۲/۵	۸۱/۹	۶۷/۱۹	۸/۲۸	۱۲/۳۳
ممرز - بلوط	۵۴/۱	۹۶/۸	۶۸/۰۵	۸/۲۴	۱۲/۱۱

اثر توام گونه و فاصله بر میزان آلودگی صوتی در شکل ۲ نشان داده شده است. بر اساس این نمودار با افزایش فاصله از منبع صوتی میزان آلودگی صوتی بطور خطی کاهش می‌یابد.

[۱] 10-fold cross validation

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-21]



شکل ۲- آلودگی صوتی در ارتباط با فاصله برای گونه‌های مختلف براساس پیش بینی مدل

جدول ۳ نیز همبستگی اسپیرمن متغیرهای کمی مورد مطالعه را با میزان آلودگی صوتی نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، میزان آلودگی صوتی همبستگی منفی معنی‌داری در سطح ۵ درصد با متغیرهای فاصله، میانگین قطر، میانگین ارتفاع و سطح مقطع کل درختان داشته، اما با شدت آلودگی صوتی همبستگی مثبتی دارد.

جدول۳- ضریب همبستگی اسپیرمن بین میزان آلودگی صوتی(dB) و متغیرهای کمی مورد مطالعه

متغیر اول	متغییر دوم	ضریب همبستگی اسپرمن	سطح معنی‌داری
فاصله	میزان آلودگی صوتی	-۰/۴۸	۰/۰۰
شدت	میزان آلودگی صوتی	۰/۸۴	۰/۰۰
میانگین قطر	میزان آلودگی صوتی	-۰/۰۵	۰/۰۴
میانگین ارتفاع	میزان آلودگی صوتی	-۰/۰۵	۰/۰۵
مجموع سطح مقطع	میزان آلودگی صوتی	-۰/۳۵	۰/۰۰
سطح مقطع در هکتار	میزان آلودگی صوتی	۰/۰۱۵	۰/۵۹

مدل سازی اثرات گونه و عوامل رویشگاهی بر میزان آلودگی صوتی

برای مدل‌سازی اثرات گونه، فاصله از منبع صوت، میزان و قدرت آلودگی صوتی، فصل و ویژگی‌های توده شامل میانگین قطر برابر سینه، میانگین ارتفاع توده، سطح مقطع در هکتار و سطح مقطع کل درختان بر میزان آلودگی صوتی از مدل خطی آمیخته استفاده گردید. معادله خط متغیرهای معنی‌دار بر کاهش آلودگی صوتی در رابطه ۱ نشان داده شده است.

رابطه ۱

$$\begin{aligned} Noise = {} & 54.9889 - 0.1379(distance) \\ & + 0.0557(intensity) \\ & - 0.0222(sum.BA) \\ & + 1.2146\ (winter) \\ & - 0.9961(Alnus) \\ & - 1.4533(Carpinus - Alnus) \\ & - 0.9791(Carpinus \\ & - Parrotia) \\ & - 1.5382(Gleditsia - Alnus) \\ & - 1.1109(Quercus \\ & - Carpinus) \end{aligned}$$

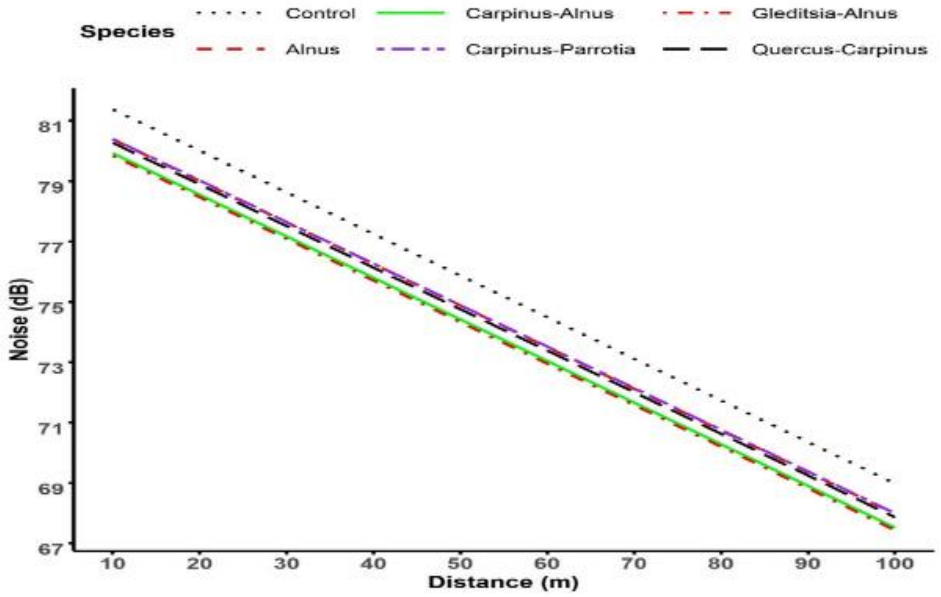
[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-21]

در رابطه (۱)، سطح مقطع کل درختان بر حسب متر مربع، شدت آلودگی صوتی بر حسب دسی بل و فاصله بر حسب متر می‌باشد. فصول و گونه‌ها متغیر کیفی می‌باشند. بطوری که اگر هدف برآورد برای یک گونه مشخص باشد، کافی است به‌جای نام آن گونه عدد ۱ و در غیر این‌صورت عدد ۰ قرار داده شود. برای متغیر فصل نیز با توجه به اینکه اندازه‌گیری در دو فصل تابستان و زمستان انجام شده است، اثر فصل تابستان در مقدار عرض از مبدا مدل لحاظ شده است. لذا اگر هدف برآورد برای فصل تابستان باشد با قرار دادن عدد صفر ضریب فصل حذف می‌شود. اما برای برآورد آلودگی صوتی در فصل زمستان، کافی است به‌جای نام فصل عدد یک قرار گیرد که در نتیجه به میزان ۱/۲۱۴۶ دسی بل بر میران آلودگی صوتی افزوده می شود. ضریب تبیین مدل (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) بر اساس روش اعتبار سنجی متقابل ۱۰ برابری به ترتیب برابر ۰/۹۹ و ۰/۴۸ به‌دست آمد که بیانگر عملکرد مناسب مدل پیشنهادی در بیان تغییرات آلودگی صوتی است. جدول آنالیز کوواریانس مدل خطی برازش شده شامل اثرات فاصله، گونه، فصل، شدت آلودگی صوتی و سطح مقطع کل درختان بر میزان آلودگی صوتی و سطوح معنی داری آنها در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴- نتایج آنالیز کوواریانس برای بررسی اثر متغیرهای مورد مطالعه بر میزان آلودگی صوتی

منبع تغییرات	درجه آزادی	F	سطح معنی‌داری
فاصله	۱	۵۲۲۳۴/۷۳	۰/۰۰۰***
شدت آلودگی صوتی	۱	۴۰۸۸۸/۶۳	۰/۰۰۰***
مجموع سطح مقطع (متر مربع)	۱	۷۱/۸۱	۰/۰۰۰***
فصل	۱	۳۱۰/۳۵	۰/۰۰۰***
گونه	۵	۳۴/۲۱	۰/۰۰۰***

بر اساس ضرایب مدل خطی برازش داده شده (رابطه ۱) و همچنین نتایج آنالیز کوواریانس، فاصله از منبع آلودگی صوتی اثر معنی داری بر میزان آلودگی صوتی دارد. به‌طوری‌که با افزایش فاصله از منبع صوتی، میزان آلودگی صوتی در توده‌های مختلف جنگلی و همچنین شاهد بطور خطی و معکوس کاهش می‌یابد (شکل ۳).

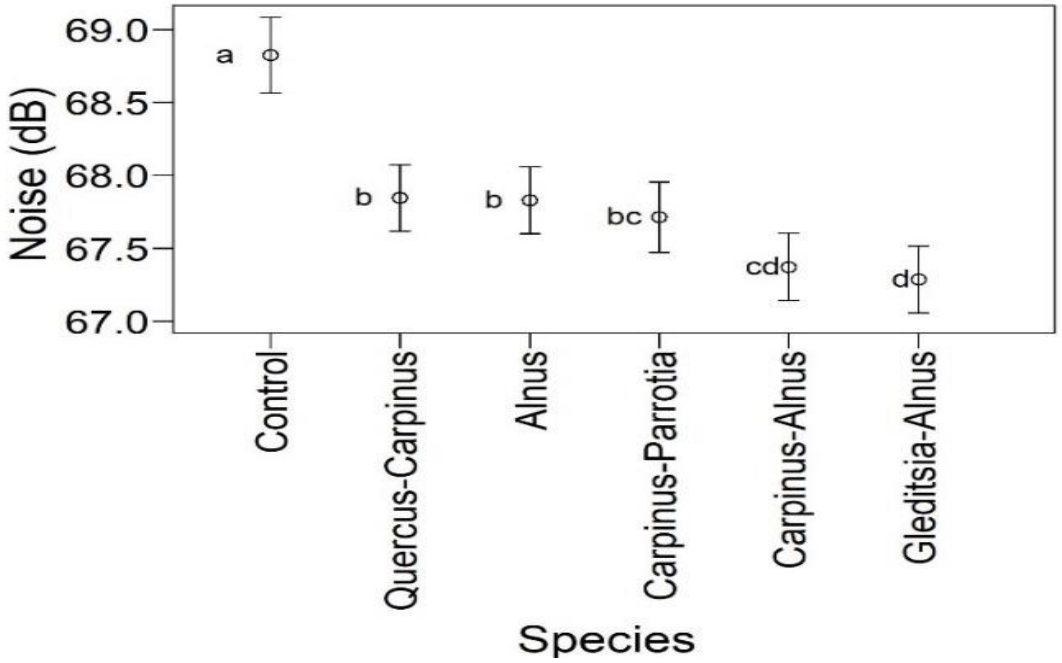


شکل۳- مقایسه اثر گونه‌های مختلف در کاهش میزان آلودگی صوتی

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-21]

بر اساس نتایج مدل، با افزایش شدت آلودگی صوتی ایجاد شده توسط منبع تولید صوت، میزان آلودگی صوتی ثبت شده در توده‌های مختلف جنگل طبیعی و همچنین بدون پوشش به‌طور خطی افزایش می‌یابد. با افزایش سطح مقطع کل درختان واقع بین منبع تولید آلودگی صوتی و محل ثبت آلودگی صوتی، میزان آلودگی صوتی ثبت شده به‌طور خطی کاهش می‌یابد.

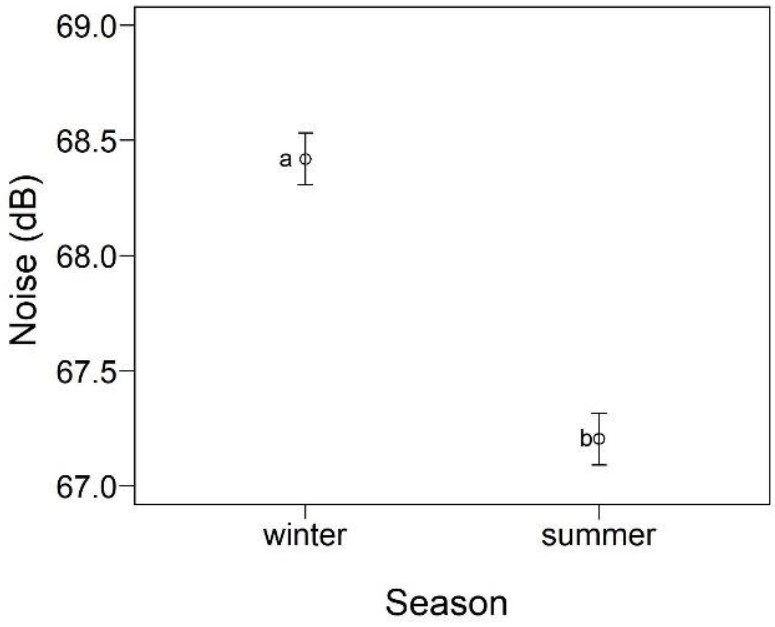
مطابق نتایج آنالیز کوواریانس و همچنین نتایج آزمون پسین بانفرونی (شکل ۴) اثر گونه بر میزان انتقال آلودگی صوتی معنی دار شد. به‌طوری‌که میزان آلودگی صوتی در مناطق بدون پوشش به طور معنی‌داری بیشتر از مناطق دارای توده جنگلی است. کمترین میزان آلودگی صوتی نیز مربوط به توده آمیخته لیلکی-توسکا است.



شکل ۴- نتایج آزمون پسین بانفرونی برای مقایسه میانگین آلودگی صوتی ثبت شده پس از عبور گونه‌های مختلف. حروف متفاوت تفاوت معنی‌دار میانگین گونه‌ها در سطح پنج درصد را نشان می‌دهد.

اثر فصل خزان و رویش بر میزان آلودگی صوتی در شکل ۵ نشان داده شده است. همانطور که قابل مشاهده است میزان آلودگی صوتی ثبت شده در فصل زمستان بیشتر از آلودگی صوتی در فصل تابستان است.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-21]



شکل۵- نتایج آزمون پسین بانفرونی برای مقایسه میانگین آلودگی صوتی ثبت شده در دو فصل تابستان و زمستان حروف متفاوت تفاوت معنی دار میانگین آلودگی صوتی را در سطح پنج درصد نشان می‌دهد.

.

بحث و نتیجه‌گیری

مقایسه عملکرد گونه‌ها و توده‌های مختلف با منطقه شاهد (منطقه بدون پوشش گیاهی) نشان داد که تمامی توده‌ها و گونه‌ها اختلاف معناداری با شاهد دارند. که با نتایج مشتاقی و همکاران (Moshtaghi et al., 2013) که عنوان نمودند فضای سبز نقش بسزایی در کاهش آلودگی صوتی دارد، مطابقت دارد. از طرفی نتایج این تحقیق با مطالعه مجنونیان (۱۳۶۹) در مورد نحوه تاثیر درختان در کنترل آلودگی صوتی در شاهراه‌ها و خیابان‌ها، هم‌راستا است. در مطالعه‌ای دیگر، اندرسون (Anderson et al., 1984) بیان کرد که شهرها نیاز به نوارهای کاشت وسیع در نزدیکی منبع صدا برای کاهش صدای آلودگی صوتی ناشی از ترافیک دارند. حامی و خدایاری (۱۴۰۰) نیز در مطالعه خود بر روی عملکرد گیاهان در کاهش اثرات آلودگی صوتی با تاکید بر ویژگی‌های بصری نتیجه‌گیری کردند که درختان نسبت به سایر موارد هم ردیف خود در کاهش آلودگی صوتی از قابلیت بهتری برخوردار بوده و به‌عنوان یکی از عوامل مهم در کاهش آلودگی صوتی در محیط های شهری عمل می-کنند. اوو و گوش (Ow and Ghosh, 2017) نیز بیان کردند که موانع مصنوعی هم از نظر روانی و هم از نظر کاهش مقادیر مطلق آلودگی صوتی عملکرد ضعیف تری نسبت به کمربند درختی دارند.

مقایسه میانگین آلودگی صوتی در ایستگاه‌های مورد مطالعه در دو فصل تابستان و زمستان نشان داد میانگین آلودگی صوتی در فصل زمستان به‌طور معنی‌داری بیشتر از فصل تابستان است. این اختلاف مربوط به وجود برگ درختان در فصل تابستان است که به‌عنوان یک عامل بازدارنده در برابر آلودگی صوتی عمل می‌کند و در نتیجه درختان بدون برگ در زمستان عملکرد ضعیف‌تری در برابر کاهش آلودگی صوتی دارند. در واقع در فرآیند میرایی آلودگی صوتی، برگ گیاه با انتقال انرژی جنبشی مولکول هوای در حال ارتعاش در میدان صوتی به الگوی ارتعاش برگ‌ها انرژی صوتی را جذب می‌کند (Gratani et al., 2013). بنابراین، انرژی ارتعاش از میدان صوتی حذف می-شود و بخشی از این انرژی نیز در حین انتقال از طریق اصطکاک برگ از بین می رود (Lercher, 1995). این نتایج هم‌راستا با مطالعات لیون (Lyon, 1977) است که بیان کردند که که گیاهان قادرند امواج صوتی را به‌وسیله اندام-های خود همچون تنه‌ها، شاخه‌ها و برگ‌ها انعکاس داده و پخش نمایند.

نتایج تحقیق حاضر همچنین بیان‌کننده تفاوت معنی‌دار عملکرد توده‌های درختی مختلف خالص و آمیخته در

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-21]

کاهش آلودگی صوتی است. بر اساس نتایج، بیشترین آلودگی صوتی مربوط به مناطق شاهد یا فاقد پوشش و کمترین آن مربوط به توده‌های آمیخته لیلکی-توسکا است. از آنجا که اغلب اوقات منبع آلودگی صوتی در ارتفاع زیر تاج پوشش و نزدیک سطح جاده قرار دارد، شکل تاج می تواند عامل موثری در کارآمدی پوشش گیاهی در کاهش آلودگی صوتی باشد. بنابراین کارایی بالای توده آمیخته لیلکی-توسکا در کاهش آلودگی صوتی را می‌توان به خصوصیات اکولوژیک این دو گونه، فرم شاخه دوانی و ارتفاع متفاوت آنها نسبت داد. به‌طوری‌که می‌توان گفت که این دو گونه در کنار یکدیگر اشکوب‌های مختلفی را بخصوص در ارتفاع نزدیک به سطح زمین اشغال می‌کنند و در نتیجه نسبت به سایر توده‌های آمیخته در این مطالعه سد طبیعی نفوذ ناپذیرتری در برابر انتشار صوت تشکیل می‌دهند. در مطالعه دیگری نیز که به منظور تعیین اثرات شاخه‌ها، برگ-ها و تاج پوشش درختان در کاهش آلودگی صوتی در پارک جنگلی چیتگر انجام شد، بیشترین کاهش آلودگی صوتی در توده آمیخته و کمترین میزان کاهش در توده خالص مشاهده شد (Maleki and Hosseini, 2011). در همین راستا وان رنترقم و همکاران (Van Renterghem et al., 2015) بیان نمودند که درختان سوزنی برگ به دلیل شکل مثلثی تاج خود کارآمدتر از پهن برگان هستند؛ زیرا بیشتر زیست توده این درختان در نزدیکی پایین تاج قرار دارد. آنها همچنین بیان کردند که تغییرات در ریز اقلیم به‌دلیل سایبان‌های متراکم‌تر و با ارتفاع کمتر بر ویژگی‌های محیط انتشار صوت تاثیر می‌گذارد که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. بر اساس نتایج دبیری (۱۳۷۹) نیز کیفیت و کمیت کاهش صدا در درختان و درختچه‌ها بر حسب اندازه برگ، تراکم شاخه و برگ، گونه درخت و بلندی درخت متفاوت است. در مطالعه‌ای دیگر نصیری و همکاران (Nasiri et al., 2015)، میزان کاهش آلودگی صوتی ایجاد شده توسط گونه‌های درختی سوزنی برگ و پهن برگ را در کنار جاده‌های جنگلی خزر بررسی کردند. بر اساس نتایج مطالعه آنها، میزان کاهش آلودگی صوتی برای گونه‌های پهن برگ در فواصل ۲۰، ۱۰۰، ۲۰۰ متر به ترتیب ۱۰/۶۰ و ۱۴/۵ و ۱۹/۴ دسی بل و برای سوزنی برگان در فواصل مذکور ۱۰/۴ و ۱۴/۳ و ۱۶/۸ دسی بل برآورد گردید.

بر اساس نتایج مطالعه حاضر سطح مقطع کل درختان به عنوان معیار مناسبی از ویژگی ساختاری توده‌ها در کاهش آلودگی صوتی تشخیص داده شد و در حضور این متغیر سایر متغیرها مانند میانگین قطر، میانگین ارتفاع و میانگین سطح مقطع و سطح مقطع در هکتار معنی‌دار نشدند. بر اساس ضرایب مدل و همچنین مقدار ضریب همبستگی، بین سطح مقطع کل درختان و میزان آلودگی صوتی رابطه منفی معنی‌داری وجود دارد. به عبارت دیگر با افزایش سطح مقطع کل درختان، آلودگی صوتی کاهش می‌یابد. بر اساس نتایج مطالعه الیورا و همکاران (Oliveira et al., 2015) نیز که در فضای سبز دو منطقه شهری در برزیل انجام شد، تراکم و تعداد درختان همبستگی بسیار زیادی با مقادیر دسی بل مسدودشده نشان دادند و پوشش گیاهی به‌عنوان مانعی کارآمد در کاهش آلودگی صوتی معرفی شد. در مطالعه دیگری که به‌منظور تعیین تأثیر پوشش گیاهی کنار جاده بر کاهش صدای ترافیک جاده‌ای با تراکم‌های مختلف کاشت انجام شد، میانگین سطوح آلودگی صوتی مشاهده شده در مناطق بدون پوشش ۷۸ دسی بل بود، و موانع رویشی (با تراکم متوسط تا متراکم) توانستند به طور میانگین، صدای ترافیک را ۹ تا ۱۱ دسی بل کاهش دهند و یک رابطه خطی بین کاهش سر و صدای ترافیک و قطر تنه در تراکم‌های مختلف کاشت مشاهده شد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (Ow and Ghosh, 2017). در همین راستا بر اساس نتایج مطالعه ساکیه و همکاران (Sakieh et al., 2017) در شهر کرج که به مدل-سازی رابطه بین آلودگی صوتی و الگوی مکانی ساختارهای شهری و پوشش گیاهی پرداختند، الگوی پیوسته‌تر و فشرده‌تر فضای سبز نزدیک به مراکز آلودگی می‌تواند به‌طور قابل ملاحظه‌ای از انتشار سر و صدا بکاهد. به‌عبارت دیگر هر چه فضای سبز فشرده‌تر و پیچیده‌تری در حاشیه‌ها خیابان‌ها وجود داشته باشد، آلودگی صوتی کمتری ایجاد می‌شود. یافته‌های این مطالعه همچنین نشان‌دهنده ظرفیت رویکرد اکولوژی سیمای منظر به‌عنوان یک نمونه برنامه-ریزی موثر برای طراحی شهرهای سبزتر و آرام‌تر است. یانگ و گان (Yang and Gan, 2001) نیز بیان کردند درختان به‌عنوان ارزانترین عناصر برای کاهش آلودگی صوتی، ارتعاش امواج صوتی را با برگها و شاخه‌ها جذب می‌کنند و انبوهی درختان عامل موثری در کاهش آلودگی صوتی است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

کاهش آلودگی صوتی همچنین با افزایش فاصله از منبع صوت نیز اتفاق می‌افتد. به‌طوری‌که با افزایش فاصله به علت

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-21]

اصطکاک و مقاومت هوا، شدت صدا کاهش می‌یابد. در همین راستا برزگر و نوذری (۱۳۹۹) در تحقیق خود بیان کردند که همبستگی منفی معنی‌داری بین میانگین تراز شدت صوت با افزایش فاصله از منبع صوت و تعداد ردیف درختان کاشته شده وجود دارد و این بدین معنا است که هرچه فاصله از خیابان و تعداد ردیف‌های درخت کاشته‌شده (تراکم پوشش درختی) بیشتر باشد، میزان کاهش صدا بیشتر خواهد بود که با نتایج مطالعه حاضر منطبق است.

شایان ذکر است که بیان ریاضی روابط بین متغیرهای محیطی و مشخصه‌های زیستی و فیزیکی تنها کمکی برای ساده‌سازی تفسیر مشاهدات میدانی است؛ زیرا در اکوسیستم‌های طبیعی به‌دلیل پویایی عوامل زیستی، حتی قویترین روابط همبستگی نیز نمی‌تواند قطعی فرض شود. از نتایج به‌دست‌آمده از این دست مطالعات می‌توان در طراحی فضای سبز شهری و معماری شهری استفاده نمود. به‌طور کلی و با توجه به نتایج مطالعه حاضر نتیجه‌گیری می‌شود که با طراحی بهینه از طریق جنگل‌کاری توده‌های آمیخته به‌طوری‌که گونه‌ها اشکوب‌های مختلفی را به‌خصوص در ارتفاع نزدیک به سطح زمین پوشش دهند، می‌توان آلودگی صوتی را به طور موثرتری کاهش داد. بدیهی است در اکوسیستم‌های طبیعی علاوه بر خصوصیات رویشی درختان و درختچه‌ها و ویژگی‌های ساختاری توده‌ها عوامل بسیار دیگری نیز وجود دارند که بر انتشار آلودگی صوتی موثرند. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده تاثیر شیب عرصه و شکل زمین نیز در جذب آلودگی صوتی بررسی شود.

منابع

برزگر، م.، نوذری، ه. ۱۳۹۹. بررسی تاثیر فاصله و عرض کاشت گونه‌های درختی فضای سبز شهر آباده در کنترل آلودگی صوتی، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، ۷: ۲۸۶-۲۷۵.

حامی، ا.، خدایاری، ن. ۱۴۰۰. عملکرد گیاهان در کاهش آلودگی صوتی با تاکید بر ویژگی‌های بصری، فصلنامه انسان و محیط زیست، ۵۶: ۶۵-۵۱.

دبیری، م. ۱۳۷۵. آلودگی محیط زیست :هوا – آب- خاک- صوت. تهران : اتحاد، ۳۹۹ ص.

محمدیان، م.، فهیم، م.، پلارک، د. ۱۳۹۴. بررسی میزان صدا در شهر ارومیه در سال ۱۳۹۲. مجله دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان. ۱۴: ۹۷۶-۹۶۵.

مجنونی‌ان، ه. ۱۳۶۹. درختان و محی‌ط زی‌ست، سازمان حفاظت محی‌ط زی‌ست، ۵۸۳ ص.

Anderson, L. M, Mulligan, B.E, Goodman, L. S. 1984. Effects of vegetation on human response to sound. Journal of Arboriculture. 10 (2): 45-49

European Environment Agency, Noise in Europe 2014, Luxembourg: Publications Office of the European Union. 62 pp. doi:10.2800/763331.

Cook, D. I., Haverbeke, D. F. V. 1974. Trees and shrubs for noise abatement. University of Nebraska College of agriculture Experiments Bulletin, RB246.

Eyring, C. F. 1946. Jungle acoustics. The Journal of the Acoustical Society of America. 18: 257–270.

Fang, C. F., Ling, D.L., 2003. Investigation of the noise reduction provided by tree belts. Landscape and Urban Planning 63:187–195.

Fang, C.F., Ling D.L., 2005. Guidance for noise reduction provided by tree belts. Landscape and Urban Planning 71: 29–34.

Ghalandarayeshi, S., 2015. Characterizing stand structure and growth of natural beech forests for the development of sustainable forest practices. Department of Geosciences and Natural Resource Management, Faculty of Science, University of Copenhagen.

Gratani, L., Varone, L., 2013. Carbon sequestration and noise attenuation provided by hedges in Rome: the contribution of hedge traits in decreasing pollution levels. Atmospheric Pollution Research, 4: 315-322.

Grey, G.W., Deneke, F.J. 1978. Urban Forestry, John Willey and Sons, New York.

Krag, J. 1979. Pilot study on railway noise attenuation by belts of trees. Journal of Sound and Vibration, 66(3): 407–415.

Lercher, P., 1995. Environmental noise and health: an integrated research perspective. Environmental International, 22: 117-129.

Lyon, R. 1977. Evaluating Effects of Vegetation on the Acoustical Environment by Physical Scale Modeling, Proc. of the Conference on Metropolitan Physical Environment, USDA Forest Service General Technical Report.

Maleki, K., Hosseini, S. M., 2011. Investigation of the effects of leaves, branches and canopies of trees on noise pollution reduction. Ann Environ Sci 5:2–7.

Moshtaghi, M., Kaboli, M., Karami, M., Kasmaee, Z., Samaee, Z. 2013. Predicting the

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-21]

Sakieh, Y., Jaafari, S., Ahmadi, M., Danecar, A., 2017. Green calm: Modeling the relationships between noise pollution propagation and spatial patterns of urban structures and green covers. Urban Forestry and Urban Greening. 24: 195-211.

Samara, T., Tsitsoni, T., 2011. The effects of vegetation on reducing traffic noise from a city ring road. Noise Control Engineering Journal. 59. 68-74. 10.3397/1.3528970.

Van Renterghem, T., Forssén, J., Attenborough, K., Jean, P., Defrance, J.,Hornikx, M., Kang, J., 2015. Using natural means to reduce surface transport noise during propagation outdoors. Applied Acoustics, 92: 86-101.

Yang, J., Gan, W.S. 2001. On The Actively Controlled Noise Barrier. Journal of Sound and Vibration. 240(3):592-597.

situation of noise pollution in the underpasses of life and construction under construction in Khojir National Park. Environmental Science and Technology, 15(3): 13-22.

Nasiri, M., Fallah, A., Nasiri, B., 2015. The effects of tree species on reduction of the rate of noise pollution at the edge of Caspian forest roads. Environmental Engineering & Management Journal, 11(5): 1021-1026.

Oliveira, J.D.D., Biondi, D., Reis, A.R.N.D., 2022. The role of urban green areas in noise pollution attenuation. Dyna, 89(220):.210-215.

Ow, L.F., Ghosh, S., 2017. Urban cities and road traffic noise: Reduction through vegetation. Applied Acoustics, 120:15-20.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-21]

Modeling the effect of roadside trees on reducing traffic noise (a case study: Noor Park)

Meisam Alipour [*1], Mohammad Reza Azarnoosh [2], Alireza Sadeghi Pooya[3], Majid Eshaq Nimuri [2], Ali Kialashki[4], Shaban Ghalandarayeshi[5]

[1]PhD Student of Rangeland Science, , University of Islamic Azad University, Chalus branch
[2]Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University, Chalus Branch
[3]Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Environment, Islamic Azad University, Nowshahr Branch
[4]Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University, Chalus Branch
[5]Assistant Professor, Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Basic Sciences and Engineering, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous

Received: 2022/08/15; Accepted: 2023/06/13

Abstract

Population growth as well as increasing migration to cities in recent decades has led to increased population density as well as the area of large cities. Noise pollution is one of the environmental problems in big cities, which endangers human health in various psychological and physical aspects. However, this type of pollution has received less attention than other pollutants. This research was conducted with the aim of investigating and modeling the effect of tree species on road noise pollution. The present study was carried out in Noor Forest Park in which 6 stations including 5 different tree stands and one control area were selected for the study. Measurement of noise pollution was performed in each station with 5 replications at distance intervals of 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, and 100 meters from the sound source with two noise frequencies of 250 and 500 Hz in two seasons of winter and summer. The studied characteristics include tree species, distance from the sound source, growing season (summer and winter), and stand attributes including mean diameter at breast height, the average height of the stand, basal area per hectare, total basal area of trees from the sound source to the location of receiver. Based on the model selection criteria, the linear model showed the best fit for modeling the effect of environmental factors on the amount of noise pollution. Based on the results, the effect of distance, species, season, intensity of noise pollution and total basal area of trees on the amount of noise pollution were significant. The distance from the source of noise pollution and the total basal area of the trees showed an inverse relationship with the amount of noise pollution. The highest noise pollution was related to the control areas without trees and the lowest was related to the Gleditsia-Alnus mixed stands. It can be concluded that noise pollution can be reduced more effectively with optimal design through afforestation of mixed stands so that the species cover different floors, especially at a height close to the ground.

***Keywords*:** Decibel, Noise pollution, Basal area, Distance, Frequency

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-21]

*Corresponding author: alipoor_meisam@yahoo.com