

مطالعه‌ی گونه‌های گیاهی مناسب نمای سبز به منظور کاهش تراز شدت صوت

اکرم حسینی*^۱

Akram.hosseini@um.ac.ir

هاشم امینی طوسی^۲

تاریخ پذیرش: ۹۴/۷/۲۱

تاریخ دریافت: ۹۴/۲/۲۱

چکیده

زمینه و هدف: آلودگی صوتی یکی از شایع‌ترین و مهم‌ترین انواع آلودگی‌های زیست‌محیطی در محیط‌های شهری است، به نحوی که بخش قابل توجهی از جمعیت شهرها در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه در معرض آن قرار دارند. یکی از مهم‌ترین آورده‌های مفاهیم و مبانی توسعه پایدار در معماری و شهرسازی امروز، استفاده وسیع و آگاهانه از گیاهان در طراحی ساختمان‌ها و در مقیاس دیگر، در طراحی شهرها می‌باشد. صرف نظر از امتیازات متعددی که استفاده از گیاهان می‌تواند به دنبال داشته باشد، در طراحی نماهای سبز به منظور بهره‌گیری از امتیازات عملکرد صوتی پوشش گیاهی، باید به انتخاب نوع گیاه و طرح پوسته‌ی سبز با توجه به بسامد صوتی مورد نظر، توجه کرد.

روش بررسی: در مقاله‌ی پیش‌رو شناخت گونه‌های گیاهی مناسب برای کاهش تراز شدت صدای ناخواسته و همچنین تراز شدت صدای کاهش‌یافته توسط گونه‌های گیاهی به عنوان دو هدف اصلی در نظر گرفته شد.

یافته‌ها: پس از اندازه‌گیری و تحلیل، نتایج بررسی قابلیت ده درختچه متفاوت، در کاهش تراز شدت صدای مبنا در نمای ساختمان به تفکیک نوع درختچه و تراز شدت صدای مبنا ارائه گردید.

بحث و نتیجه‌گیری: نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد درختچه پیراکانتا در تراز شدت صدای مبنا ۸۰، ۸۵ و ۱۰۰ دسی‌بل با تراز شدت صدای حذف شده‌ی ۴۲، ۴۴ و ۳۷ دسی‌بل، بهترین عملکرد را داشته است. از طرفی در شدت صدای مبنا ۹۰ دسی‌بل، درختچه‌های پیراکانتا، سنجد، ترون و یوکای باغی با شدت صدای حذف شده‌ای در حدود ۴۰ دسی‌بل، در شدت صدای مبنا ۹۵ دسی‌بل، درختچه‌های سنجد و ختمی با شدت صدای حذف شده‌ای در حدود ۴۰ دسی‌بل و در شدت صدای مبنا ۱۰۵ دسی‌بل نیز، درختچه یوکا باغی با تراز شدت صدای حذف شده در حدود ۴۰ دسی‌بل عملکرد بهتری در مقایسه با سایر گونه‌ها داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: آلودگی صوت، تراز شدت صوت، ساختمان، گونه‌ی گیاهی، نمای سبز.

۱- استادیار دانشکده معماری، شهرسازی و هنر اسلامی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران* (مسوول مکاتبات).
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد معماری و انرژی، دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

A Research on Appropriate Plant Species for Green Facades to Reduce the Sound Level

Akram Hosseini^{1*}

Akram.hosseini@um.ac.ir

Hashem Amini Toosi²

Abstract

Background and Objective: Noise pollution is one of the most important kinds of environmental pollution in urban areas and a large number of people in developing countries are exposed to it. One of the most important concepts and fundamentals of sustainable development in Architecture and urban planning is to utilize plants and vegetation in Building architecture. In a different scale in urban architecture, in recent years, sustainable cities have found that greenery is a key element in reducing noise pollution. The use of vegetation has become an essential aspect in urban planning nowadays. In densely built-up city centers, building envelope greening is often the only possibility to meet this demand.

Method: The ability and potential of plants in reducing noise level is noticeable, significant and effective. It is important that which kinds of plants to be used. Two questions are selected and picked to answer as the objectives of this research.

Findings: One is measuring the ability in sound level reduction of 10 different shrubs that can be used in the balconies of buildings, and second is to compare these shrubs in this potential in different sound levels. The results are presented in relevant diagrams for each shrub and different sound levels.

Discussion and Conclusion: The results show the *Pyracantha* had the best performance in 80^{db}, 85^{db} and 100^{db} by 42^{db}, 44^{db} and 37^{db} sound level reduction, also in 90^{db} sound level, *Pyracantha*, *Elaeagnus angustifolia*, *LigustrumVulgare* and *Yucca elephantipes* had the best performance by approximately 40^{db} reduction in sound level. In 95^{db}, *Elaeagnus angustifolia* and *Althaea officinalis* had a sound level reduction near to 40^{db} and in 105^{db} *Yucca elephantipes* had the best performance by 40^{db} sound level reduction in comparison with other plant species.

Key words: Noise pollution, sound level, Building, appropriate plant, green facade.

1- Assistant Professor, Faculty of Architecture, Urbanism and Islamic Art, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran *(Corresponding Author).

2- MA student in Architecture and Energy, Faculty of Architecture, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran.

مقدمه

پیامدهای ناشی از توسعه‌ی شهرنشینی و افزایش جمعیت شهری، سبب آلوده شدن محیط زیست با آلودگی‌های زیست-محیطی بسیار، از جمله آلودگی صوتی گشته است. گزارشات سازمان بهداشت جهانی^۱، حاکی از وجود و تعدد بیماری‌هایی است که به علت قراردادن در معرض آلودگی صوتی در زمان-های طولانی ایجاد می‌شود (۱، ۲).

بر اساس گزارشات، بیش از ۴۰ درصد ساکنان کشورهای عضو اتحادیه‌ی اروپا، در معرض آلودگی صوتی با تراز بیش از ۵۵ دسی‌بل و از این میان بیش از ۱۰ درصد در معرض تراز شدت صوت بیش از ۶۵ دسی‌بل زندگی می‌کنند (۳). در کلان-شهرهای ایران نیز وضعیت مشابهی وجود دارد. بررسی‌های صورت‌گرفته در شریان‌ها و خیابان‌های تهران، نشان‌گر این واقعیت است که بخش قابل‌توجهی از جمعیت شهر تهران در معرض آلودگی صوتی با تراز صوتی فراتر از حد آسایش انسانی قرار دارد (۴، ۵، ۶). علاوه بر این، توسعه‌ی شریان‌های ارتباطی در شهرها در بسیاری از موارد، منجر به قرارگیری ساختمان‌های مسکونی، اداری و آموزشی در مجاورت بزرگراه‌ها با آلودگی صوتی بسیار بالا شده است. به دلیل این که گسترش و افزایش تراکم شهرها اجتناب‌ناپذیری نماید، ارایه راه‌کارهایی جهت چگونگی طراحی عناصری که ضمن ارتقاء جذابیت و زیبایی بصری، منجر به خلق ارزش‌هایی نظیر بهبود شرایط آسایش صوتی ساکنین شهرها شود، ضروری به نظر می‌رسد.

ایجاد نماهای سبز در ساختمان‌هایی که در مراکز و نقاط متراکم جمعیتی شهرها قرار گرفته‌اند و یا حرکت به سوی ساخت ساختمان‌هایی به صورت باغ‌های عمودی^۲، می‌تواند از مهم‌ترین راهکارها جهت نیل به این اهداف باشد. از آن‌جا که گیاهان متفاوت قابلیت‌های زیادی جهت کنترل آلودگی صوتی دارند (۶ و ۷)، در این تحقیق به مطالعه و پیشنهاد گونه‌های گیاهی با بالاترین قابلیت در راستای تامین اهداف مورد نظر، پرداخته خواهد شد.

چارچوب نظری تحقیق

پاسخ‌گویی به سؤالاتی نظیر تراز شدت صدای کاهش یافته در اثر وجود نماهای سبز و یا شناسایی بهترین گونه‌ی گیاهی جهت استفاده در نماهای سبز، پیش‌نیاز طراحی مناسب و دقیق نماهای سبز برای رسیدن به بالاترین مرتبه در کنترل آلودگی صوتی ساختمان می‌باشد. از بررسی مطالعات پیشین می‌توان نتیجه گرفت که نوع پوشش گیاهی، ضخامت و بافت برگ‌ها، ضخامت و عرض جداره و نمای سبز، چیدمان و تراکم و هم-پوشانی برگ‌ها، از عوامل مؤثر بر عملکرد نمای سبز در کاهش تراز شدت صوت فرود آمده به سطح نما به‌شمار می‌رود. در این تحقیق با در نظر گرفتن پارامترهای فوق، اندازه‌گیری بر روی گونه‌های گیاهی منتخب به منظور شناسایی و مقایسه گونه‌های مناسب برای استفاده در نمای سبز با هدف کاهش تراز شدت صدای ناخواسته، صورت گرفته است. عوامل دیگری نظیر انطباق گونه‌های گیاهی در اقلیم‌های متفاوت و یا نیاز به حد آبیاری این گونه‌ها، می‌تواند در پژوهش‌های آتی مورد توجه قرار گیرد.

تعاریف

صوت: در علم فیزیک، صوت به انتشار ارتعاش یک موج مکانیکی قابل شنیدن در یک محیط واسط نظیر هوا و یا آب اطلاق می‌شود. آلودگی صوتی هم‌چنین به وجود صداهای اضافی و آزاردهنده‌ای گفته می‌شود که می‌تواند باعث اختلال در فعالیت‌های انسان گردد (۸).

تراز شدت صوت^۳: تراز شدت یک صوت عبارت است از لگاریتم (در پایه ۱۰) نسبت شدت آن صوت به شدت صوت مبنا. به منظور درک حسی از مقیاس مقادیر شدت صدا، در جدول ۱،

۳- تراز شدت صدا: تراز صدا بر اساس رابطه مقابل تعریف می‌شود.

[۲۴]

$$L1=10 \text{ Log } I/I0$$

L1 : تراز شدت صدا به مقیاس دسی‌بل

I : شدت صدای مورد نظر بر حسب وات بر متر مربع

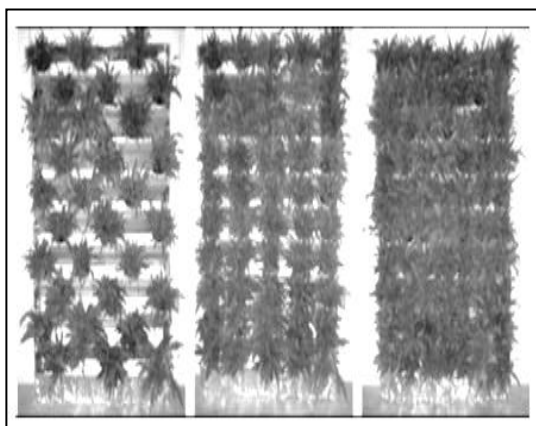
I0 : شدت صدای مبنا 10^{-12} W/m^2

1- World Health Organization (WHO)

۲- مراجعه شود به پروژه Bosco Verticale اثر Stephano

Boeri در شهر میلان- ایتالیا

ساختمان‌هایی با بام سبز، تحقیقاتی در زمینه‌ی عملکرد صوتی آن‌ها صورت گرفته که به اثر کاهش ۵ تا ۲۰ دسی‌بل تراز شدت صدا در ساختمان‌هایی با بام سبز، در مقایسه با دیگر ساختمان‌ها اشاره دارد (۱۴). پژوهش دیگری، قابلیت کاهش تراز شدت صدا در بام‌های سبز در بسامد صوتی ۵۰ تا ۲۰۰۰ هرتز را در حدود ۸ تا ۱۲ دسی‌بل برآورد کرده و نشان داده، در بسامدهای بالاتر تا ۴۰۰۰ هرتز، این کاهش ۲ تا ۸ دسی‌بل افزایش خواهد داشت (۱۵). رابطه‌ی بین بسامد و ضریب جذب صوت^۳ یک جداری ساخته شده با پوشش گیاهی، در پژوهش دیگری بدین گونه بیان شده که با افزایش بسامد صدای مینا، ضریب جذب نیز افزایش یافته و تاثیر تراکم پوشش گیاهی در بسامد بالاتر از ۱۰۰۰ هرتز قابل توجه است. (تصویر ۱، نمودار (۱) (۷)).



تصویر ۱- جداره‌های ساخته شده با درصد پوشش متفاوت (۷)

Fig.1- Constructed green walls with different coverage ratio (7)

۳- ضریب جذب یک جدا کننده : ضریب جذب برای یک جدار از رابطه زیر تعیین می شود. [۲۴]

$$a = I_a / I_i$$

a : ضریب جذب جداکننده

I_a : شدت صدای جذب شده توسط جداکننده برحسب وات بر متر مربع

I_i : شدت صدای فرود آمده بر یک طرف جداکننده برحسب وات بر متر مربع

تراز شدت صوت برخی صداهای موجود در یک فضای شهری ارایه می‌گردد (۹).

جدول ۱- برخی صداهای موجود در یک فضای شهری (۹)

Table 1- Sound level in an urban area (9)

تراز صدا بر حسب دسی‌بل	نوع صدا
۱۳۰	آستانه‌ی دردناکی گوش
۱۱۰	کارگاه صنعتی
۸۵	بزرگراه
۵۰	محله‌ی مسکونی آرام
۳۰	نجوا در فاصله یک متری
۰	آستانه شنوایی

پیشینه‌ی تحقیق

در زمینه‌ی تأثیر پوشش گیاهی بر کاهش تراز شدت صدا و کنترل آلودگی صوتی تحقیقات بسیاری انجام شده است. در این تحقیقات، عملکرد صوتی بام‌های سبز مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، ولی در مقایسه تحقیقات کمتری در زمینه‌ی عملکرد صوتی نماهای سبز صورت گرفته است (۷ و ۱۰) در پژوهشی که در نبراسکای جنوبی^۱ صورت گرفت، تأثیر درختان در کاهش تراز شدت صوت وابسته به عرض کمربند درختی ساخته شده تا ۱۰ دسی‌بل اندازه‌گیری شد (۱۱). هم‌چنین اندازه‌گیری‌های دیگر نشان می‌داد، تراز شدت صوت ناشی از صدای قطارهای عبوری در پشت یک کمربند درختی به عرض ۵۰ متر، ۸ تا ۹ دسی‌بل کمتر از حالتی است که زمین‌های اطراف فقط با چمن پوشیده شده باشند (۱۲). در تحقیقات دیگری، اثر گیاهان در انتشار صوت، به بسامد صدای تولید شده نسبت داده شده است. در این تحقیقات نشان داده شده که این تأثیر در بسامدهای کمتر از یک کیلوهرتز تقریباً وجود ندارد و در بسامدهای بالاتر، میرایی صوت^۲ در اثر اندرکنش تأثیر پراکندگی و جذب صوت در گیاهان، به دست می‌آید (۱۳ و ۷). با توجه به توسعه‌ی

1- South Nebraska

2- Sound Attenuation

توانند امتیازات متعددی را به همراه آورند. در ذیل به بعضی از این موارد اشاره می گردد:

۱- بهبود عملکرد حرارتی پوسته ی ساختمان و کاهش جزایر گرمایی در شهر: پژوهش های انجام شده نشان می دهد که استفاده از سیستم های عمودی سبز ساخته شده با گیاهان می تواند به بهبود عملکرد تهویه و کاهش دمای فضاهای داخلی ساختمان منجر شود (۱۵، ۱۶ و ۱۷).

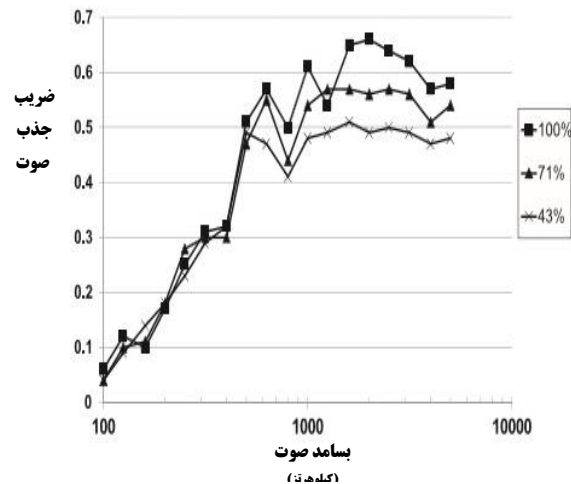
۲- ایفای نقش به عنوان مانعی در برابر کج باران ها: نماهای سبز و همچنین بام سبز در اقلیم ها و خرد اقلیم هایی که بارندگی زیاد و نیز کج باران های شدیدی را در طول سال تجربه می کنند، می توانند به عنوان راه حلی قابل قبول و مؤثر در کنترل نفوذ بارندگی به فضای داخل و کنترل روان آب های ناشی از آن استفاده شوند (۱۸ و ۱۹).

۳- بهبود کیفیت هوای داخل ساختمان: پژوهش های تجربی معدودی در این زمینه در سال های اخیر صورت گرفته که بیان گر میزان قابلیت گیاهان در جذب آلاینده های هوا نظیر دی اکسید کربن می باشد و از این رو تأثیر استفاده از گیاهان در بام و نمای سبز ساختمان بر بهبود کیفیت هوای داخل ساختمان موضوعی اثبات شده است (۲۰ و ۲۱).

۴- افزایش تنوع گونه های گیاهی در شهر: اگرچه ساخت و نگه داری نماهای سبز با دشواری و پیچیدگی همراه است، اما راه کاری مناسب برای کاهش آثار نامناسب توسعه ناموزون کلان شهرها، به خصوص از نقطه نظر تنوع منظر شهری و ایجاد آسایش روحی و روانی شهروندان می باشد (۱۱ و ۲۲).

۵- قابلیت نماهای سبز در کاهش انتقال صدای ناخواسته از خارج به داخل ساختمان: استفاده از گیاهان در نمای سبز ساختمان ها به علت وجود دو مکانیزم جذب و پراکنش امواج صوت توسط برگ های گیاهان می تواند به کاهش تراز شدت صدا در طرف دیگر نما، منجر شود. اما طراحی نمای سبز بدین منظور و انتخاب گونه های گیاهی مناسب، نیازمند مطالعه و بررسی قابلیت های متفاوت گونه های گیاهی مختلف است.

برحسب این که هدف از طراحی نمای سبز کدام یک از موارد فوق باشد، طرح های متنوعی جهت تأمین مقاصد



نمودار ۱- ضریب جذب صوت برای نمونه های سه گانه در مقابل بسامد صوتی ۱۰۰ تا ۱۰۰۰۰ کیلو هرتز (۷)

Diagram 1- Sound absorption coefficient for samples in frequencies 100 kHz to 1000kHz (7)

روش شناسی تحقیق

روش به کار گرفته شده در این تحقیق از نوع تجربی یا آزمایشگاهی می باشد. از خصوصیات روش تجربی این است که ضمن تغییر یا مداخله در متغیرها و کنترل شرایط تحقیق، نتایج به دست آمده مورد مشاهده قرار می گیرند. به دلیل این که هدف تحقیق پیش رو، بررسی تأثیر محرک ها، روش ها و یا شرایط خاص محیطی - گیاهان گوناگون مورد استفاده در نمای سبز- بر روی یک گروه آزمودنی-نمای ساختمان- می باشد، استفاده از روش تحقیق تجربی، به آزمون دقیق و کارآمد فرضیه های تحقیق، خواهد انجامید. برای این پژوهش از میان درختچه های متعدد، تعداد ۱۰ درختچه که از نظر ابعاد، قابلیت استفاده در نمای ساختمان های معمولی را داشته و نیز از انواع گونه های رایج در شهرها باشند، مورد بررسی قرار گرفت.

طراحی نمای سبز

امروزه استفاده از گیاهان یک رهیافت مهم در طراحی محیط مصنوعی شمرده می شود. در این میان ساختمان های برخوردار از نمای سبز به خصوص در نقاط متراکم جمعیتی می-

زیبایی‌شناختی تا عملکردی و در مقیاس‌های متفاوت ارایه می‌گردد. رایج‌ترین حالت را می‌توان در طراحی بالکن‌ها و پیش‌آمدگی‌هایی در نمای ساختمان مشاهده کرد که امکان قرارگیری گونه‌های گیاهی مورد نظر را فراهم می‌کند.

همان‌طور که در بخش بررسی پیشینه‌ی پژوهش ذکر شد، قابلیت نماهای سبز در کاهش تراز شدت صدای ناخواسته در مقایسه با بام‌های سبز کمتر مورد بررسی قرار گرفته است، لیکن همان تعداد از پژوهش‌ها، بر قابلیت بالای این رهیافت تأکید داشته‌اند. با پذیرش این موضوع، مسأله‌ی مطرح دیگر این است که گونه‌های گیاهی مختلف با قابلیت کاربرد در نماهای سبز در ایران، در مقایسه با هم، چه سطحی از کاهش تراز شدت صدا را از خود نشان می‌دهند که این موضوع در برداشتهای میدانی پیش‌رو مورد بررسی قرار گرفت.

همان‌گونه که بیان گردید، هدف این تحقیق ارایه‌ی گونه‌های گیاهی مناسب جهت کاربست در نمای ساختمان‌ها به منظور کاهش تراز شدت صدا و در نهایت کنترل آلودگی صوتی می‌باشد. قبل از ورود به بحث توجه به نکاتی الزامی به نظر می‌آید:

امواج صوتی به دفعات از نمای ساختمان‌ها و مصالح تشکیل دهنده‌ی ساختمان‌ها که عموماً رفتار صلبی در برابر صوت دارند- نظیر سنگ، بتن، شیشه- در حال بازتاب هستند. در حالی که از نمای سبز و پوشش گیاهی استفاده شود، میرایی امواج صوتی افزایش و زمان واخنش^۱ و بازتاب‌ها کاهش می‌یابد که منجر به ایجاد محیطی مطلوب‌تر می‌شود (۲).

از آن‌جا که در نمای سبز، پوشش گیاهی بر روی جبهه‌ی اصلی ساختمان قرار گرفته و موجب کاهش نفوذ نور روز به داخل ساختمان می‌شود، بنابراین نکته مهم دیگری که در طراحی این‌گونه نماها باید مد نظر قرار گیرد، توجه به تأمین حداقل روشنایی نور روز در فضاهای داخلی است که باید با تمهیداتی مناسب، استانداردهای مربوطه را رعایت کند (تصویر ۲).

۱- زمان واخنش: عبارت است از مدت زمانی که پس از قطع منبع صدا، تراز فشار صدا ۶۰ دسی‌بل افت کند (۲۴).



تصویر ۲- استفاده از درختچه‌ها در نمای ساختمان، مأخذ: [www.gebaeudekuehlung.de,9/24/2014]

Fig.2- Application of shrubs in a building façade [www.gebaeudekuehlung.de,9/24/2014]

یافته ها و نتایج

در این پژوهش، برداشت‌های میدانی با اندازه‌گیری تراز شدت صوت به وسیله‌ی دستگاه دسی‌بل‌سنج قابل حمل، مدل Genius با محدوده‌ی اندازه‌گیری بین ۱۰ دسی‌بل تا ۱۲۰ دسی‌بل و بسامد ۲۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ هرتز و دقت اندازه‌گیری یک دسی‌بل صورت گرفت. همچنین در این بررسی‌ها، از یک بلندگو مدل Genius با بسامد ۲۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ هرتز و با شدت صوت ۴۰ تا ۱۲۰ دسی‌بل به عنوان منبع صوت، استفاده شد. گزینش گونه‌های مورد نظر برای بررسی و مقایسه قابلیت کاهش تراز شدت صدا در این پژوهش بر مبنای انتخاب گونه‌هایی است که با توجه به ابعاد، قابلیت استفاده در نمای سبز ساختمان‌ها را داشته باشند، با این شرایط تعداد ۱۰ درختچه برای بررسی انتخاب شدند. (تصویر ۳)

نوع گیاهان اعم از این که خزان‌پذیر و یا همیشه سبز باشند، نیز تحت تأثیر اقلیم مورد نظر قرار دارد. از این رو در طراحی نماهای سبز، باید توجه گردد که جلوگیری از ورود صداهای ناخواسته منجر به کاهش دریافت انرژی خورشیدی به خصوص در اقلیم سرد و در فصل سرما نگردد. در این خصوص توجه به زاویه‌ی تابش خورشید در عرض جغرافیایی مورد نظر در طراحی ابعاد پنجره‌ها، عمق بالکن و ارتفاع درختچه‌ها، تراکم برگ‌ها و میزان نور عبوری از بین برگ‌های درختچه، به منظور امکان نفوذ تابش خورشید از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. بدیهی است استفاده از گیاهان خزان‌پذیر برای این منظور با کاهش سطح عملکرد صوتی آن‌ها در فصول سرما- فصول برگ‌ریزی- همراه خواهد بود.

هم‌چنین، پوسته‌ی سبز، با فاصله‌ی محدودی از نمای اصلی ساختمان قرار گرفته، به منظور پاسخ به نیاز سبک‌سازی و نصب و برچینش آسان، اجزای آن از مصالح سبک و متخلخل ساخته شده که خود موجب بهبود عملکرد صوتی آن در جذب امواج صوتی می‌گردد.



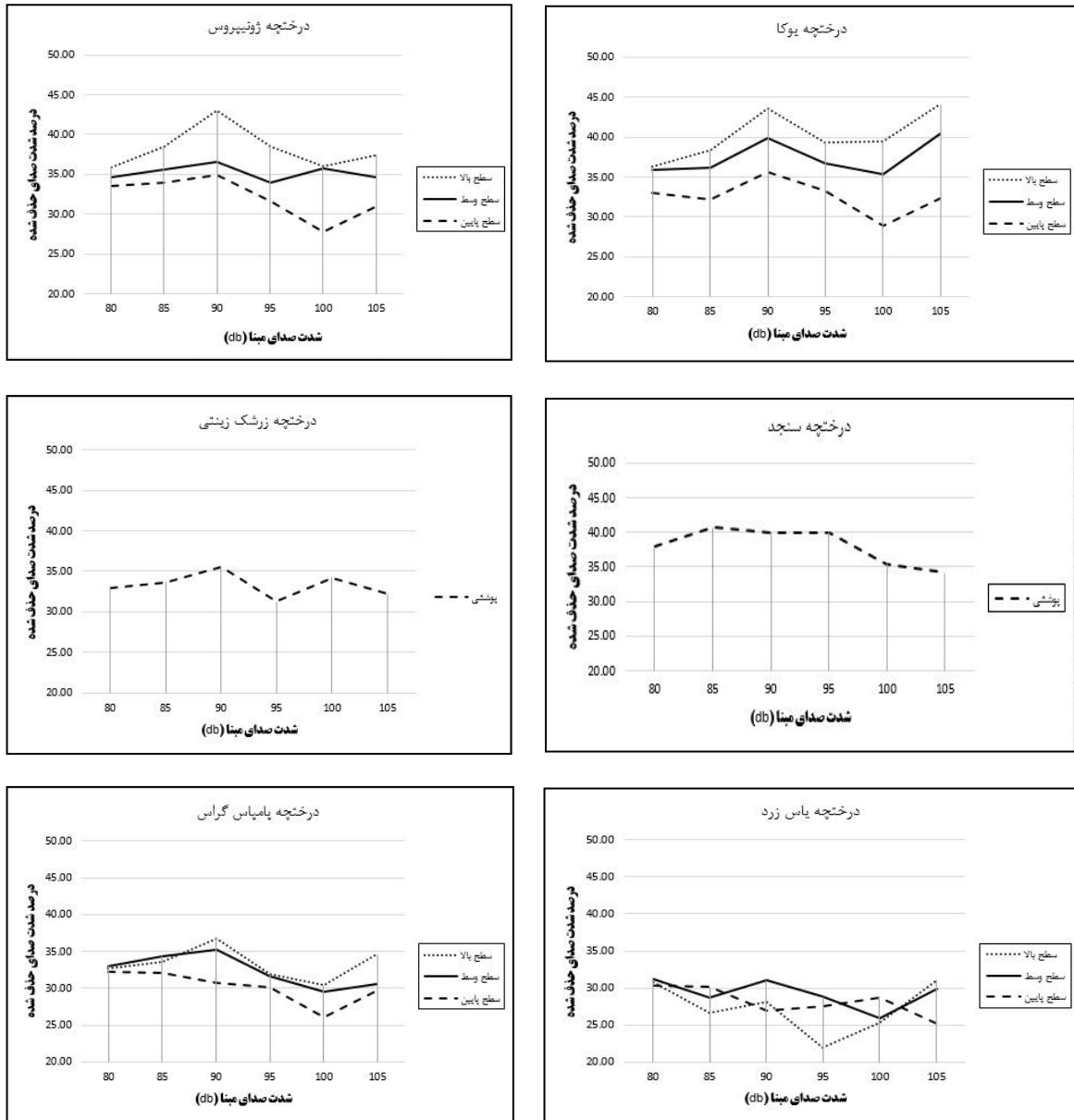
تصویر ۳- درختچه‌های مورد بررسی، از راست به چپ از بالا به پایین : پیراکانتا، سنجد، زرشک زینتی، ختمی، ترون، کاج تویی، پامپاس گراس، یوکا باغی، ژونیپروس، یاس زرد منبع: [نگارندگان]

Fig.3- Shrubs in this study, Right to left: Pyracantha, Elaeagnus angustifolia, Berberis thunbergii, Althaea officinalis, **Ligustrum Vulgare**, Pinus mugo, Cortaderia selloana, **Yucca elephantipes**, Juniperus virginiana cedar, Gelsemium sempervirens [Authors]

باشد. در این نمودارها، محور افقی تراز شدت صدای مبنا و محور عمودی میزان تراز شدت صدای کاهش یافته-هر دو بر حسب دسی‌بل- را نشان می‌دهد. بررسی و مقایسه نمودارهای به دست آمده، نشان‌دهنده استقلال نسبی درصد کاهش تراز شدت صوت از تراز شدت صدای مبنا است. (نمودارهای ۳ و ۲)

البته در برخی گونه‌های گیاهی اندازه‌گیری‌ها نشان‌دهنده کاهش درصد تراز شدت صدای کاهش یافته، در مقابل افزایش تراز شدت صدای مبنا می‌باشد.

اندازه‌گیری شدت صدا در دو طرف نمونه، صورت گرفت و شدت صوت فرودآمده بر جداره‌ی سبز گیاهی و شدت صوت تقلیل یافته در طرف دیگر اندازه‌گیری شد. این آزمایش در بسامد صوتی ۱۰۰۰۰ هرتز و برای شدت صوت ۸۰ دسی‌بل تا ۱۰۵ دسی‌بل صورت گرفت. حاصل کار در نمودارهایی که نشان‌گر عملکرد جداره‌های ساخته شده با گیاهان مختلف است، نمایش داده شد. هدف از ترسیم این نمودارها تبیین و مقایسه قابلیت گیاهان مورد نظر در کاهش تراز شدت صدای فرودآمده می-

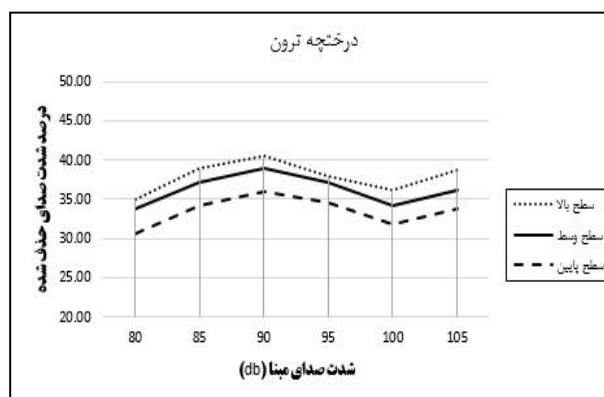
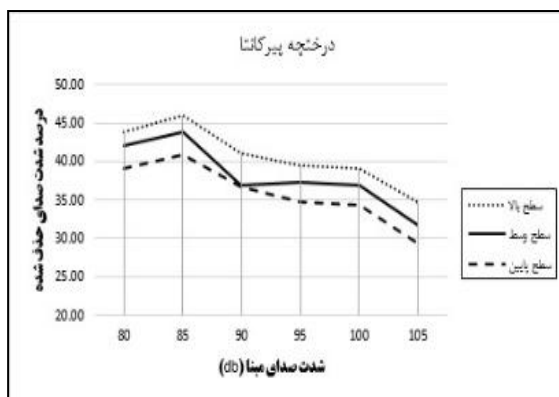
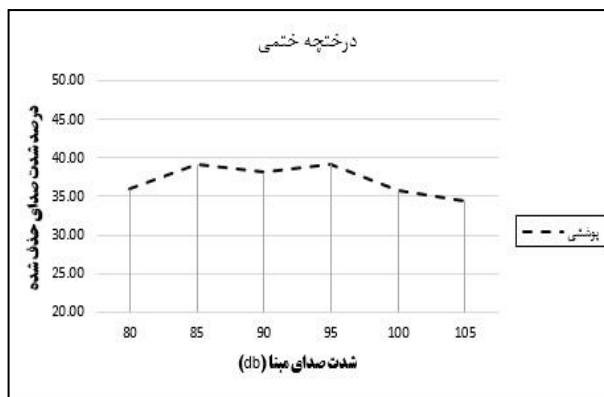
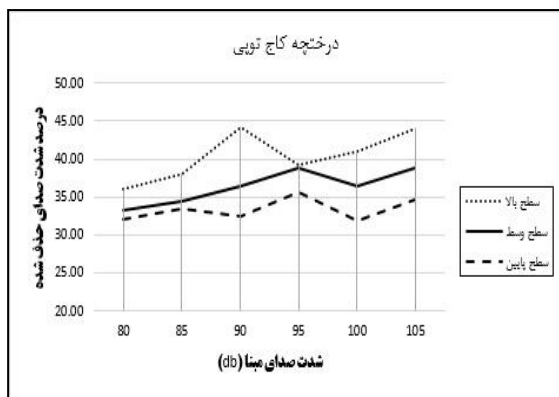


نمودار ۲ - درصد تراز شدت صدای حذف شده برای درختچه های یوکا، ژونیپروس، سنجد، زرشک زینتی، یاس زرد، پامپاس گراس

Diagram 2- Reduced sound level percentage for: *Yucca elephantipes*, *Juniperus virginiana* cedar, *Elaeagnus angustifolia*, *Berberis thunbergii*, *Gelsemium sempervirens*, *Cortaderia selloana* (Authors)

یکنواختی در تراکم برگ‌های درختچه و تأثیرات متفاوت آن بر مکانیزم پراکنش و جذب امواج صوتی نسبت داده شود.

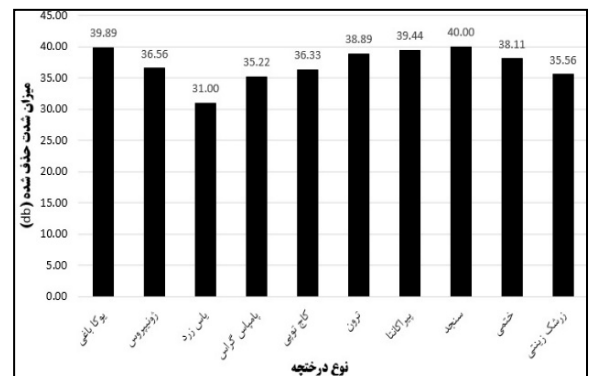
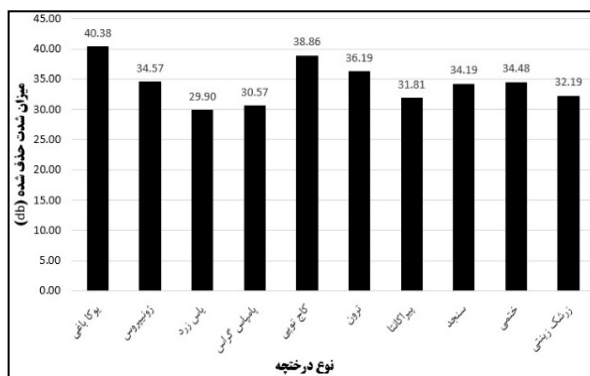
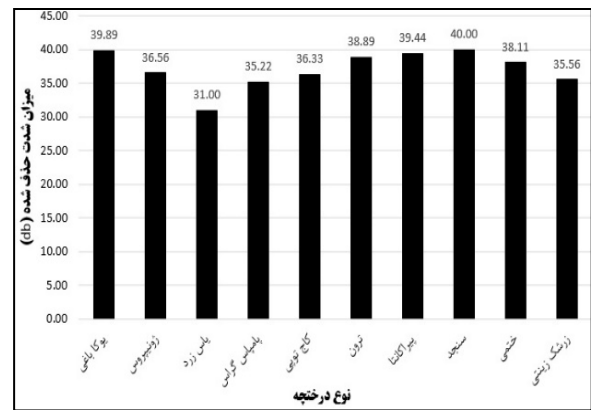
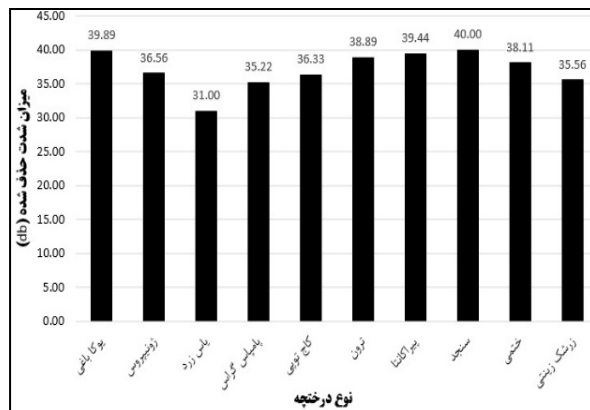
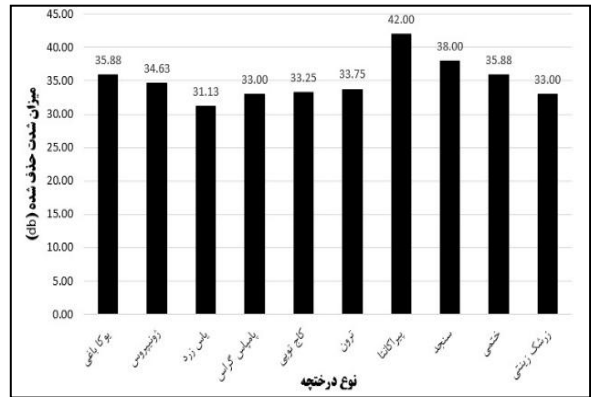
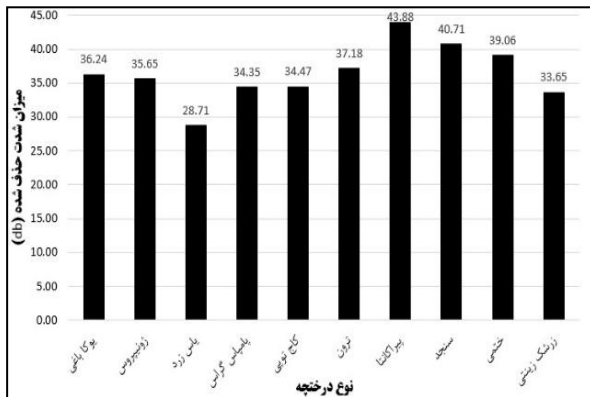
همان گونه که مشاهده می‌شود، بیشترین حساسیت به تراز شدت صدای مبنا، مربوط به درختچه‌ی پیراکانتا است. در برخی موارد، روند نمودار برای اندازه‌گیری‌های صورت گرفته در سطح بالا، وسط و پایین نمودار یکنواخت نیست که می‌تواند به عدم



نمودار ۳- درصد تراز شدت صدای حذف شده برای درختچه‌های، ختمی، کاج توپی، ترون، پیراکانتا منبع: [نگارندگان]
Diagram 3- Reduced sound level percentage for: *Althaea officinalis*, *Pinus mugo*, *Ligustrum Vulgare*, *Pyracantha* (authors)

توان مناسب‌ترین گونه‌ی گیاهی را برای کاهش آلودگی صوتی در مقایسه با سایر گونه‌ها شناسایی کرد. نمودار (۴)

و به منظور مقایسه‌ی عملکرد گونه‌های مختلف در کاهش تراز شدت صدا ارایه شده اند. در این نمودارها، تراز شدت صدای کاهش یافته توسط هر درختچه به ازای ترازهای متفاوت شدت صدای مبنا ترسیم شده است. با استفاده از این نمودارها می-



نمودار ۴- تراز شدت صدای حذف شده توسط درختچه ها در تراز شدت صداهای مبنای متفاوت، از راست به چپ از بالا به پایین : تراز شدت صدای مبنا ۸۰ دسی بل، ۹۰ دسی بل، ۹۵ دسی بل، ۱۰۰ دسی بل، ۱۰۵ دسی بل (منبع: نگارندگان)

Diagram 4- Reduced sound level by shrubs in 80db, 85db, 90db, 95db, 100db, 105db (Right to left) [Authors]

شدت صدای حذف شده‌ای در بازه ی ۳۳ تا ۳۸ دسی بل را نتیجه داده اند.

در شدت صدای مبنای ۸۵ دسی بل، درختچه پیراکانتا با شدت صدای حذف شده ای بیش از ۴۴ دسی بل، بهترین عمل کرد و درختچه یاس زرد با شدت صدای حذف شده ای در حدود

در شدت صدای مبنای ۸۰ دسی بل، درختچه پیراکانتا با تراز شدت صدای حذف شده ای در حدود ۴۲ دسی بل، بهترین عمل کرد و درختچه یاس زرد با شدت صدای حذف شده ای کمتر از ۳۲ دسی بل، ضعیف ترین عمل کرد را نشان داده اند. در شدت صدای مبنای ۸۰ دسی بل اکثر درختچه های مورد بررسی

حدود ۲۷/۵ دسی بل، ضعیف ترین عمل کرد را نشان داده اند. در شدت صدای مبنای ۹۵ دسی بل اکثر گونه ها نتایجی در بازه ۳۱ تا ۳۶ دسی بل را به دست داده اند.

در شدت صدای مبنای ۱۰۰ دسی بل اکثر درختچه های مورد بررسی شدت صدای حذف شده ای در بازه ۳۲ تا ۳۵ دسی بل را نتیجه داده اند. در شدت صدای مبنای ۱۰۰ دسی بل، درختچه پیراکانتا با شدت صدای حذف شده ۳۷ دسی بل، بهترین عمل کرد و پس از آن نیز درختچه های ختمی، سنجد، ترون، ژونیپروس و یوکای باغی با شدت صدای حذف شده ای در حدود ۳۵ دسی بل عمل کرد کاملاً مشابهی را بروز داده اند. هم-چنین درختچه یاس زرد با شدت صدای حذف شده ای در حدود ۲۶ دسی بل، ضعیف ترین عمل کرد را داشته است.

۲۹ دسی بل، ضعیف ترین عمل کرد را نشان داده اند. در شدت صدای مبنای ۸۵ دسی بل اکثر درختچه های مورد بررسی شدت صدای حذف شده ای در بازه ۳۴ تا ۴۰ دسی بل را نتیجه داده اند.

در شدت صدای مبنای ۹۰ دسی بل، درختچه های پیراکانتا، سنجد، ترون و یوکای باغی با شدت صدای حذف شده ای در حدود ۴۰ دسی بل، بهترین و درختچه یاس زرد با شدت صدای حذف شده ای در حدود ۳۱ دسی بل، ضعیف ترین عمل کرد را داشته اند.

در شدت صدای مبنای ۹۵ دسی بل، درختچه های سنجد و ختمی با شدت صدای حذف شده ای در حدود ۴۰ دسی بل، بهترین و درختچه کاج توپی با شدت صدای حذف شده ای در

جدول ۲- نمودار روند بررسی های صورت گرفته بر عملکرد صوتی درختچه های مورد نظر، منبع: [نگارندگان]

Table2- Steps of acoustic performance evaluation of selected shrubs [Authors]

انتخاب درختچه های مورد بررسی	
بهترین عملکرد در کاهش تراز شدت صدای مبنا	تراز شدت صدای مبنا
درختچه ی پیراکانتا	صدای مبنا ۸۰ دسی بل
درختچه ی پیراکانتا	صدای مبنا ۸۵ دسی بل
درختچه ی پیراکانتا، سنجد، ترون، یوکا باغی	صدای مبنا ۹۰ دسی بل
درختچه ی سنجد، ختمی	صدای مبنا ۹۵ دسی بل
درختچه ی پیراکانتا	صدای مبنا ۱۰۰ دسی بل
درختچه ی یوکا باغی	صدای مبنا ۱۰۵ دسی بل

شاخص آلودگی صوت در آن‌ها به ۸۰ تا ۱۰۰ دسی‌بل می‌رسد، راه حل مناسبی برای دستیابی به محیط زندگی آرام‌تر باشد.

منابع

1. WHO Regional Office for Europe, (2011) noise equantification of healthy life years lost in Europe.
2. Van Renterghem a,*, Maarten Hornikx b, Jens Forssen c, Dick Botteldooren a, (2013) The potential of building envelope greening to achieve quietness, Building and Environment 61 (2013) 34e44
3. Mohamadhasan Ehrampush, (2012), Noise pollution in urban enviroments: a study in Yazd city, Iran. Pol.J.Environ. Stud. Vol.21, (2012), 1095-1100
۴. کریمی. الهام، نصیری. پروین، عباس‌پور. مجید، منظم. محمدرضا و تقوی. لعبت، ۱۳۹۱، بررسی وضعیت آلودگی صوتی در منطقه ۱۴ تهران، فصل- نامه انسان و محیط زیست، شماره ۲۳، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات.
۵. محرم نژاد. ناصر و صفری‌پور. مهسا، ۱۳۸۷، تأثیر توسعه شهری بر روند آلودگی صوتی در منطقه یک تهران و ارائه راهکارهای مدیریتی برای بهبود شرایط، علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره دهم، شماره چهارم، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات.
6. Mostafa Refat Ismail, (2013) Quiet environment: Acoustics of verticalgreen wall systems of the Islamic urban form, Frontiers of Architectural Research (2013)2, 162–177
7. NyukHien Won, Alex Yong Kwang Tan, PuayYok Tan, Kelly Chiang, Ngian Chung Wong, (2010) Acoustics evaluation of vertical greenery systems

در شدت صدای مبنای ۱۰۵ دسی‌بل، درختچه یوکا باغی با شدت صدای حذف شده‌ای در حدود ۴۰ دسی‌بل، بهترین عمل‌کرد و درختچه‌های یاس زرد و پامپاس گراس با شدت صدای حذف شده‌ای در حدود ۳۰ دسی‌بل، ضعیف‌ترین عمل-کرد را نشان داده‌اند. در شدت صدای مبنای ۱۰۵ دسی‌بل اکثر درختچه‌های مورد بررسی شدت صدای حذف شده‌ای در بازه ی ۳۲ تا ۳۶ دسی‌بل را نتیجه داده‌اند.

بحث و نتیجه گیری

در طراحی نماهای سبز به منظور بهره‌گیری از امتیازات عملکرد صوتی پوشش گیاهی، باید به انتخاب نوع گیاه و طرح پوسته‌ی سبز با توجه به بسامد صوتی مورد نظر و همچنین تراز شدت صدای مبنا توجه کرد، در واقع دو پارامتر ذکر شده در انتخاب نوع گیاه و ضخامت جداره‌ی سبز و نیز درصد پوشش سطح پوسته با پوشش گیاهی مؤثر است. علاوه بر این، عوامل دیگری نظیر جنس و بافت برگ‌های گیاه مورد استفاده و رطوبت گیاه در زمان آزمایش نیز می‌تواند از موارد تاثیر گذار باشد که خود قابل اندازه‌گیری و تحلیل است. اندازه‌گیری‌ها در این پژوهش به منظور تعیین قابلیت گونه‌های گیاهی در جذب و کاهش تراز شدت صدای مبنا، برای هر درختچه به طور مجزا صورت گرفت. بدیهی است با توجه به نوع و شکل درختچه‌ها، در صورت استفاده ترکیبی و چیدمان پوششی گیاهان در ردیف‌های موازی با طول، عرض و ارتفاع متفاوت می‌توان نتایج بهتری به دست آورد که طراحی نما بر این اساس با توجه به محدودیت‌های ابعادی و اجرایی در نمای ساختمان، صورت می‌گیرد.

در پژوهش حاضر عمل‌کرد گیاهان و نمای سبز ساختمان در بسامد ثابت و تراز شدت صوت متفاوت نیز مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن به تفکیک تراز شدت صدای مبنا، مقایسه شد و بهترین عملکرد در میان گیاهان مشخص گردید. با توجه به اندازه‌گیری‌های صورت گرفته و قابلیت گونه‌های گیاهی مورد نظر در کاهش تراز شدت صوت مبنا تا ۴۰ دسی‌بل، به نظر می‌رسد استفاده از این گونه‌های گیاهی در نمای ساختمان در نقاط متراکم شهری و مناطق مسکونی مجاور بزرگراه‌ها که

- systems for buildings as passive systems for energy savings. *Appl Energy* 2011; 88:4854e9.
17. Jaffal I, Ouldboukhitine S, Belarbi R. (2012) A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. *Renewable Energy* 2012; 43:157e64.
 18. Berndtsson J. (2010) Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: a review. *EcolEng*; 36:351e60.
 19. Metselaar K. (2012) Water retention and evapotranspiration of green roofs and possible natural vegetation. *ResourConservRecycl* 2012; 64:49e55.
 20. Getter K, Rowe D, Robertson G, Cregg B, Andresen J. (2009) Carbon sequestration potential of extensive green roofs. *Environ SciTechnol* 2009; 43:7564e70.
 21. Lia J, Waib O, Lib Y, Zhana J, Hoc Y, Lid J, et al. (2010) Effect of green roof on ambient CO₂ concentration. *Build Environ* 2010; 45:2644e51.
 22. MacIvor J, Lundholm J. (2011) Insect species composition and diversity on intensive green roofs and adjacent level-ground habitats. *Urban Ecosystem* 2011; 14:225e41.
 23. Perini K, Ottel  M, Fraaij A, Haas E, Raiteri R. (2011) Vertical greening systems and the effect on airflow and temperature on the building envelope. *Build Environ* 2011; 46:2287e94.
۲۴. وزارت مسکن و شهرسازی، ۱۳۸۸، مبحث هجدهم، عایق‌بندی و تنظیم صدا، دفتر امور مقررات ملی ساختمان.
8. Senate Public Works Committee, (1972) Noise Pollution and Abatement Act of 1972, S. Rep. No. 1160,
 9. Stein, Benjamin; Reynolds, Johns. (2000) "Mechanical and Electrical Equipment for Buildings", Wiley 8 Sons, USA, 2000.
 10. Yang H, Kang J, Choi M. (2012) Acoustic effects of green roof systems on a low profiled structure at street level. *Build Environ* 2012; 50:44e55
 11. Cook-Patton S, Bauerle T (2012). Potential benefits of plant diversity on vegetated roofs: a literature review. *J Environ Manage* 2012; 106:85e92.
 12. Connelly M, Hodgson M. (2008) Sound transmission loss of green roofs, Vancouver, British Columbia, Canada. In: Proceedings of the sixth annual greening rooftops for sustainable communities conference; 2008.
 13. Bullen R, Fricke F. (1982) Sound propagation through vegetation. *Journal of Sound and Vibration*; 80(1):11–23.
 14. Lagstrom J. (2004) Do extensive green roofs reduce noise? *International Green Roof Institute*; 2004
 15. Badruzaman Jaafar, Ismail Said, Mohd Nadzri Md Reba, Mohd Hisyam Rasidi (2013), Impact of Vertical Greenery System on Internal Building Corridors in the Tropic, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 105, 3 December 2013, Pages 558–568
 16. Pérez G, Rinc n L, Vila A, González J, Cabeza L. (2011) Green vertical