

نقش فضای سبز در کاهش آلودگی صوتی



مهندس نسیم صابر معاش

کارشناس بخش تحقیقات اداره کل حفاظت محیط زیست گیلان

مقدمه

بباره شدن افکار، کم حوصلگی، عصبی بودن و بروز بیماریهای روانی از عوارض ناخواسته صداست. سبک شدن خواب، کاهش زمان خواب عمیق که جزء آلودگیهای ناخودآگاه هستند، کاهش مدت رویا، پریدن از خواب بر اثر صداهای ناهنجار که آلودگی آگاه شمرده می شوند.

واکنشهای فوق بدون تردید کاهش بازده قدرت فکری و جسمی را در پی دارد. بعلاوه واکنشهای اعصاب نباتی انسان نیز نسبت به آلودگی متفاوت است:

الف- کاهش ضربان قلب و ناراحتی در آهنگ قلب و چرخه خون (افزایش احتمال سکه قلبی)

ب- واکنشهای ناشی از فشار عصبی در نتیجه تولید بیش از حد هورمون فرار آدرنالین و هورمون حمله نورآدرنالین می گردد.

ج- دگرگونی آهنگ تنفس و نبض
د- کاهش گرمای پوست

ه- کاهش واکنش مقاومت به صوت
و- تنگی عروق

ز- اختلال در نظم متابولیسم بدن

ح- آلودگی صوتی غیرقابل تحمل که خود موجب انحراف سیستم اعصاب نباتی و حرکتی شده که در نتیجه این اختلال بر کل بدن مؤثر است.

به طور کلی در طی ۳۰ سال اخیر میزان سروصدا در دنیا بیش

یکی از بزرگترین مشکلات بشر امروز سروصداست. سروصدا نیز مانند آب آلوده و هوای آلوده عاملی است که زندگی بشر را دچار خطرات فراوان کرده است. تحقیقات نشان می دهند که صدای ناشی از زندگی ماشینی موجب چنان ناراحتیهای جسمی و روحی می شود که امروزه در جهان برای مبارزه با آن هزینه های هنگفتی صرف می شود. این مشکل در اکثر شهرهای صنعتی در شمار مهمترین موضوعات تلقی شده و حتی به عنوان یک عامل اساسی در شهرسازی، ساختمان، طراحی ماشین آلات و طراحی کارخانجات وارد شده است. در گزارش های مختلف کشورهای صنعتی ارقام فراوانی از عوارضی که سروصدا در انسان ایجاد می کند، ذکر گردیده است.

اثرات زیست محیطی منفی صوت

صدا بر موجودات زنده اثرات متفاوتی دارد. صداهای ملایم عکس العملهای خاصی را در انسان پدید می آورند. هنگامی که شدت صدا به ۷۰ یا ۸۰ دسی بل می رسد، تأثیرات سروصدا می تواند ایجاد کم شنوایی موقتی یا دائمی کند و این در حالی است که سلولهای گیرنده گوش به طور شدیدی در معرض صدا قرار گیرند. این تأثیرات بر انسان به طور مستقیم صورت می گیرد. تأثیرات غیرمستقیم صدای ناخواسته بر انسان غیرقابل لمس است. بی خوابی،

نقش فضای سبز در رابطه با کاهش آلودگی صوتی

در مورد کاهش آلودگی صوتی توسط گیاهان غالباً مبالغه می‌شود. در این خصوص همانند آلودگی هوا بایستی مقابله را از منشأ و محل انتشار آغاز نمود و با علت به مبارزه پرداخت نه با معلول. از این رو توجه به مسأله آلودگی صوتی بایستی دقیقاً در مرحله برنامه‌ریزی شهری و تهیه طرحهای جامع شهری صورت گیرد.

آنچه استفاده از گیاهان را به‌عنوان ابزار جلوگیری از آلودگی صوتی با اهمیت می‌سازد، تأثیر روانی است که بر رهگذر و یا بیننده هنگام عبور از کنار این دیوارهای سبز بجای می‌گذارد. بدینسان اثر روانی دیوارهای سبز صوت‌شکن روی بیننده بسیار بیش از تأثیر مقدار دسی‌بل کاهش آلودگی صوتی است که در شرایط ایده‌آل ممکن است صورت گیرد.

دیدن دیوار سبز این تفکر را به بیننده القا می‌نماید که کسی به فکر اوست و این دیوار به خاطر حفظ سلامت او احداث گردیده است. در این حالت فرد در برابر آلودگی صوتی احساس ایمنی و آسایش می‌نماید.

گرچه خود صدا ممکن است رشد گیاهان را به مخاطره اندازد ولی به هر حال درختان و درختچه‌های مختلف برحسب اندازه برگ، تراکم شاخ و برگ و ارتفاعشان بر آلودگی صوتی مؤثرند. متخصصان شهرسازی از دیرباز به دلیل آگاه بودن به ابعاد مسأله، اقداماتی جهت کاهش آلودگی صوتی در اختیار داشته‌اند. مثلاً در ساخت فرم فیزیکی خانه‌ها به موارد مختلف که بر آلودگی صوتی مؤثرند، توجه می‌کرده‌اند. مانند دوجداره کردن شیشه‌ها یا موانع گیاهی که خیلی بهتر و ارزاتر از سایر موارد می‌تواند با آلودگی صوتی مبارزه کند. اصولاً ارتعاش امواج صوتی توسط برگها و شاخه‌های درختان جذب می‌گردد و عواملی مانند اندازه برگ (در پهن‌برگان) و تراکم شاخه‌ها، ارتفاع درختان، دیواره‌های متخلخل، انعطاف‌پذیری، انبوهی و تراکم، چرمی بودن برگها و خمش‌پذیری شاخه‌ها، سن گیاهان، قطر تنه و میزان صمغ در میزان جذب صوت مؤثرند. در واقع نوع گونه تأثیر بیشتری در کاهش آلودگی صدا دارد. ویژگیهای دیگر مثلاً توده کهنسال بلوط و افرا و مرز با این که دارای قطر تنه‌ای به‌طور متوسط ۹۰ سانتیمتر و ارتفاع حدود ۲۲ متر است، دامنه تراکم آنها ۵۰٪ است. این گونه توده‌ها نسبت به توده‌هایی مثل افاقیا و چنار تأثیر کمتری در کاهش آلودگی صوتی دارند. اصولاً هر قدر ارتفاع درخت و تراکم توده‌ای بیشتر باشند، اثر کاهش‌دهنده‌ی گونه بیشتر است و در این میان درختان پهن‌برگ در مقایسه با سوزنی‌برگان به دلیل سطح وسیع شاخ و برگ تأثیرات بهتری دارند. البته به شرطی که پهن‌برگان خزان‌نکرده و دائمی باشند و هنگام خزان تأثیرات سوزنی‌برگان به مراتب بیشتر است. در میان پهن‌برگان، گونه‌ای که برگهای بهتری دارند بهتر از

از دوبرابر شده است. صدای شدید و ناگهانی ممکن است سبب کوری، لکنت زبان و حتی بیماری صرع گردد. انسان ممکن است در محیط کار خود کم‌کم به سروصدا عادت کند و حتی ممکن است پس از مدتی در یک کارخانه پرسروصدا به خواب عمیقی نیز فرو رود ولی مسلماً از این سروصدا زیانهای روحی و جسمی بزرگی خواهد دید.

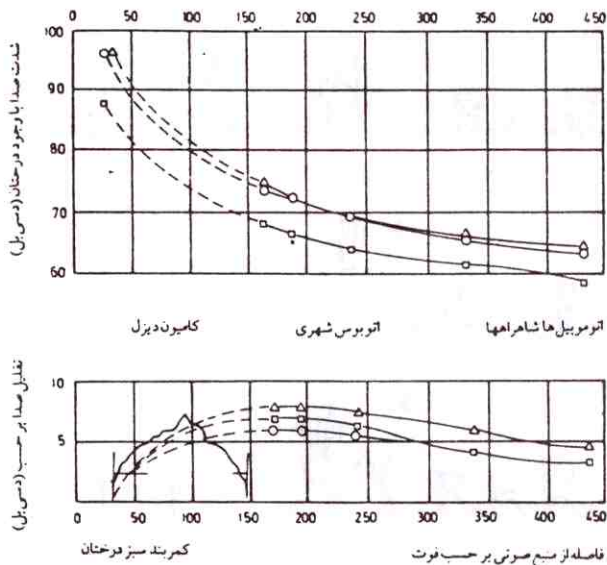
دکتر جانسن (Jansen) از انستیتو ماکس پلانک آلمان در آزمایشی که روی هزاران کارگر کارخانجات آلمان که در محیط پرسروصدا کار می‌کردند به‌عمل آورد، ملاحظه کرد ضربان قلب این کارگران تندتر و نامنظم‌تر از ضربان قلب افراد عادی است. همچنین مشاهده کرد که آنها چهاربرابر بیش از کارگران عادی با سرکارگر خود مشاجره می‌کنند.

او در آزمایش دیگری نوسانات امواج مغزی افراد را ثبت کرد و مشاهده کرد هنگام پرواز هواپیماها و عبور وسایل نقلیه هرچند ممکن است این افراد از خواب بیدار نشوند ولی نوسانات امواج مغزی آنها نامنظم می‌شود. او از اینجا نتیجه گرفته که این تحرکات از خواب عمیق جلوگیری می‌کند و باعث خستگی و فرسودگی می‌شود.

در انگلستان راننده اتومبیلهایی را که موتور آنها سروصدای زیاد دارد تا ۵۰ پوند جریمه می‌کنند. در محله‌های پرجمعیت و پرسروصدای شهرهای بزرگ بهره‌هوشی جوانان و نوجوانان کمتر از بهره‌هوشی جوانان قسمتهای کم‌سروصدا و خلوت شهر است.

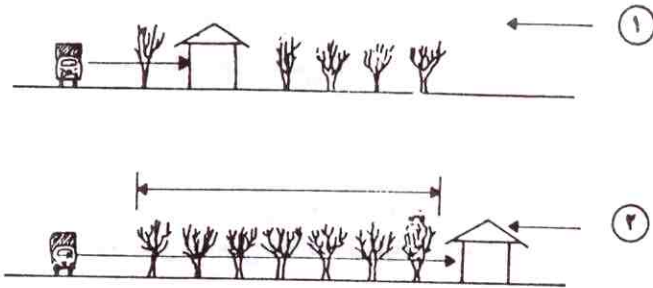
یکی از مواردی که ذکر آن جالب است این که در یکی از روزهای سال ۱۹۶۵ در امریکا خانمی رادیوی ترانزیستوری خود را در اتوبوس روشن کرده و با صدای بلند آن را گوش می‌کرد. یکی از مسافران که از سروصدای رادیو ناراحت شده بود آن را از دستش می‌گیرد و با چنان شدتی به سر او می‌کوبد که رادیو و سر صاحب آن هر دو می‌شکند. خانم از این مرد به دادگاه شکایت می‌کند ولی دادگاه رای بر بیگناهی او می‌دهد و جالبتر این که از ۳۰۰ نفری که در این مورد نظرخواهی شد ۲۹۹ نفر رای دادگاه را تأیید کردند.

نکته جالب دیگر آن که بشر از دیرباز به اثر سوء صداهای بلند و ناهنجار پی برده و همواره درصدد پیشگیری و مقابله با آن بوده است. نخستین مقررات مربوط به کنترل منابع تولیدکننده صداهای مزاحم به بیش از ۱۰۰۰ سال پیش برمی‌گردد که "جولیس کاسر" رفت‌وآمد اربابه‌های آهنین چرخ رومی را در ساعات شب ممنوع ساخت. هم‌اکنون نیز در کشورهای پیشرفته و صنعتی جهان قوانین ویژه‌ای برای کنترل سروصدا وضع گردیده و مقررات شدیدی برای سنجش و اندازه‌گیری صداهای بلند و مزاحم و همچنین راههای جلوگیری از بوجود آمدن این نوع صداها و مبارزه با منابع تولید آنها به اجرا گذاشته شده است. در این جوامع حتی برای جبران خسارهای ناشی از سروصدا غرامت پرداخت می‌شود.



نمودار ۱- تأثیر درختکاری روی تقلیل صدای سه نوع وسیله نقلیه

درختان با ارتعاشات برگها و شاخه‌های خود امواج صوتی را شکسته و یا جهت آنها را تغییر می‌دهند و اگر در دو طرف منبع تولید صدا، سطح شیب‌دار قرار داشته باشد، به خصوص اگر در قسمت بالا پوشیده از گیاهان رونده و پیچیده و چمنی باشد، صدا را ۸ الی ۱۰ دسی بل کاهش می‌دهند. البته اگر درختکاریها کم‌عرض باشد بهتر است از سوزنی‌برگان استفاده شود تا مسأله ریزش برگ پهن‌برگان پیش نیاید و در ضمن از تراکم زیاد سوزنی‌برگان نهایت استفاده به عمل آید.



شکل ۲-۱- درختکاری تنک و فاصله کم بین اماکن مسکونی و شاهراهها، ثمربخشی درختان را در تقلیل صدا کاهش می‌دهد.
 ۲-۲- برای ثمربخشی درختان در تقلیل صدا انتخاب فاصله متناسب و درختکاری انبوه و عریض بسیار مؤثر است.

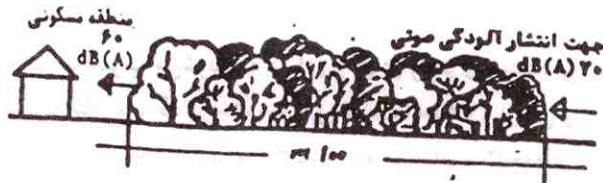
شکل ۳ نشانگر سه حالت از طراحی محیط جهت مبارزه با آلودگی صدا می‌باشد که سه حالت عبارتند از:
 ۱- ثمربخشی درختان در تقلیل صدا کم است و نیاز به درختکاری در ردیف‌های بیشتری است.
 ۲- انتخاب مناسب مکانی تأثیر درختکاری را در تقلیل صدا

گونه‌هایی محسوب می‌شوند که دارای برگهای ریزتری هستند. از آن گذشته شاخ و برگ درختان به دلیل قابلیت انعطاف و نرمش و صاف بودن صدا را جذب می‌کنند و تنه درختان و شاخه‌های سنگین باعث انحراف صدا می‌شوند و اگر زمین پوشیده از چمن باشد امواج شکسته شده به سطح زمین برخورد کرده و مقدار قابل توجهی از اصوات شکسته شده جذب می‌گردند. در غیر این صورت مقداری از اصوات منعکس می‌شوند. جنگلها می‌توانند صدایی با فرکانس ۱۰۰۰ هرتز در هر ۱۰۰ فوت را تا ۷ دسی بل کاهش دهند. زیرا انرژی صوتی با افزایش مساحت کاهش یافته و وقتی انرژی صوتی اندازه‌گیری شده در ۲۵ فوتی و حتی در ۱۲۵ فوتی دوباره اندازه‌گیری می‌شود، ۱۴ دسی بل کاهش را نشان می‌دهد. به هر صورت اگر بین منبع صدا و گیرنده به میزان ۱۰۰ فوت جنگل قرار گرفته باشد، میزان تقلیل صدا تا ۲۱ دسی بل می‌رسد و اگر چنانچه جنگلی وجود نداشته باشد، برای این که شدت صدا به همین مقدار کاهش یابد باید بعد مسافت ۲۵۰ فوت باشد. جنگل به علت داشتن نقش حفاظتی در برابر صدا این مسافت را بسیار کوتاهتر می‌کند.

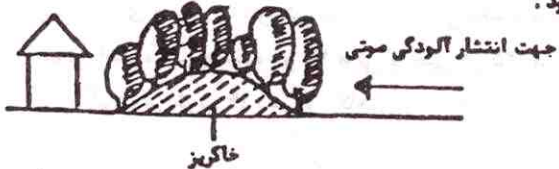
مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که درختکاری می‌تواند اصوات ناخوشایند را تا ۷ دسی بل کاهش دهد. یک پرچین درختی از سرو به عمق ۲ فوت به اندازه ۴ دسی بل صدا را کاهش می‌دهد.

قابلیت گیاهان در رابطه با صداهای مختلف فرق می‌کند. صداهایی با ۴۰۰۰ هرتز در هر ۱۰۰ فوت جنگل با شاخ و برگ انبوه، ۵ دسی بل کاهش می‌یابد، در حالی که صدا با ۱۰۰۰ سیکل در ثانیه در ۱۰۰ فوت جنگل فوق ۲ دسی بل کاهش می‌یابد. نوع درختکاری در کنترل صداهای ناهنجار و همچنین تراکم و عرض درختکاری در تقلیل صدا مؤثر است. آزمایشات نشان می‌دهند که اگر چه بیشتر درختکاریهای حفاظتی ضربه‌گیر، حایل و در تقلیل صدا مؤثر می‌باشند، اما با افزایش عمق درختکاری این نسبت به همان سرعت افزایش پیدا نمی‌کند. عمق متعارف درختکاریها بین ۲۰ تا ۵۰ فوت متغیر است. علاوه بر تراکم، ارتفاع درختان نیز مؤثر بوده و اگر در درختکاری از گونه‌های کوچک‌اندام و کم‌رشد استفاده گردد، برای این که در برابر آلودگی صوتی صدا ثمربخشی لازم را کسب کنند، به زمان زیادتری نیاز دارند.

اثر حفاظتی کمر بند سبز عریض با درختان بلند به کاهش آلودگی صدا بیشتر است، چرا که صدا در بالای یک سطح وسیع انتشار می‌یابد و سطحی که صدا روی آن انتقال می‌یابد، خود در تقلیل صدا مؤثر است. صاف و زبر و سخت بودن سطحی که صدا از روی آن عبور می‌کند، به یقین در تقلیل صدا مؤثر است. برای کاهش صدا در اطراف شاهراهها باید در حد امکان عرض درختکاری را ۵۰ فوت انتخاب کرد و دیواره متراکمی که به وسیله درختان مختلف از لحاظ ارتفاع هر گونه بسیار سودمند می‌باشد.



فضای سبز و بهنگاری بوسه یک ردیف درخت و یک ردیف درختچه امواج صوتی در نتیجه تماس با هر یک از ردیف ها از بار آلودگی شان کاسته می شود.

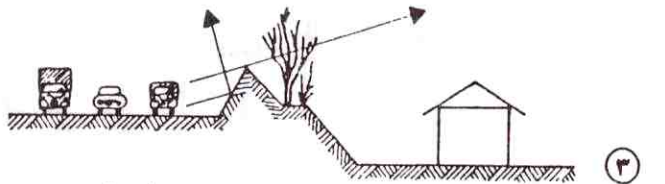
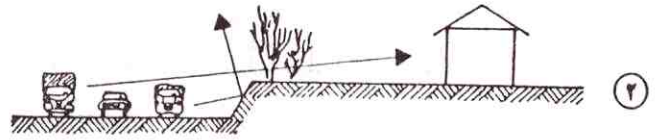
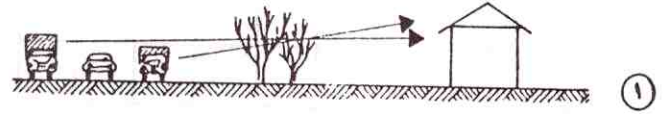


در اینجا (روش تلفیقی) ایجاد خاکریز هم کاهش بار آلودگی صوتی را تقویت می کند و هم موجبات کاسته شدن از مساحت مورد نیاز جهت احداث فضای سبز می گردد.

گونه های مؤثر گیاهان در کاهش آلودگی صوتی

همان طور که گفته شد در مورد خصوصیات فیزیکی گیاهان در مقابله با آلودگی صوتی اشاره شد. باید گفت که گونه های گیاهی در مقابل تأثیرات صوت و واکنشهای متفاوتی از خود نشان می دهند. مثلاً در توده کهنسال بلوط، افرا و مرز با این که قطر توده ۶۰ سانتیمتر بوده ارتفاع آن ۲۲۰۰ و تراکم آن ۵۰٪ است، نقش کمتری در کاهش آلودگی صدا از خود نشان داده است تا به عنوان مثال توده افرا، اقاچیا، چنار و غیره. ممکن است این تصور پیش آید که تأثیر کم توده کهنسال به نسبت تراکم کمتر این توده نسبت به سایر ایستگاهها باشد، اما با اشاره به نقش کاهندگی محسوس سرو شیراز با تراکم ۴۰٪ این گمان از بین می رود. با این حال نباید تأثیر ارتفاع درخت و یا تراکم توده را به کلی نادیده گرفت، چرا که گونه کاج تهران با ارتفاع ۱۴ متر بهتر از چنین گونه هایی با ارتفاع ۱۰ متر در کاهش صدا مؤثر بوده است.

به هر حال چنین به نظر می رسد که هر قدر ارتفاع درخت و تراکم توده بیشتر باشد، اثر کاهندگی گونه بیشتر است. شاید بتوان تأثیر بهتر زمینهای شیب دار را نسبت به زمین های بدون شیب با تأثیر ارتفاع بیشتر مقایسه کرد و به نتیجه ای رسید. در مورد خود گونه ها چنین می توان دریافت که در میان پهن برگان، گونه هایی که دارای برگهای ریزتری باشند در کاهش آلودگی مؤثرترند. باید گفت که ترکیب افرا، اقاچیا و چنار اثر کاهندگی بیشتری نسبت به ترکیب چنار خالص یا اقاچیا خالص دارد و یا در ترکیب افرا، بلوط و مرز وجود درخت افرا با برگ بهتر توانسته است تأثیر برگهای ریزتر در گونه دیگر را کاملاً پوشاند. در حالی که در ترکیب افرا، چنار و اقاچیا این مهم به طور آشکار دیده می شود. در میان سوزنی برگان می بینیم که هر قدر تراکم برگها فشرده تر (سرو



شکل ۳- سه حالت از طراحی محیط جهت مبارزه با آلودگی صدا

افزایش داده است.

۳- وضعیت اخیر از دو حالت فوق مطلوبتر است.

یک روش دیگر طراحی فضای سبز را می توان به سه دسته کلی تقسیم نمود:

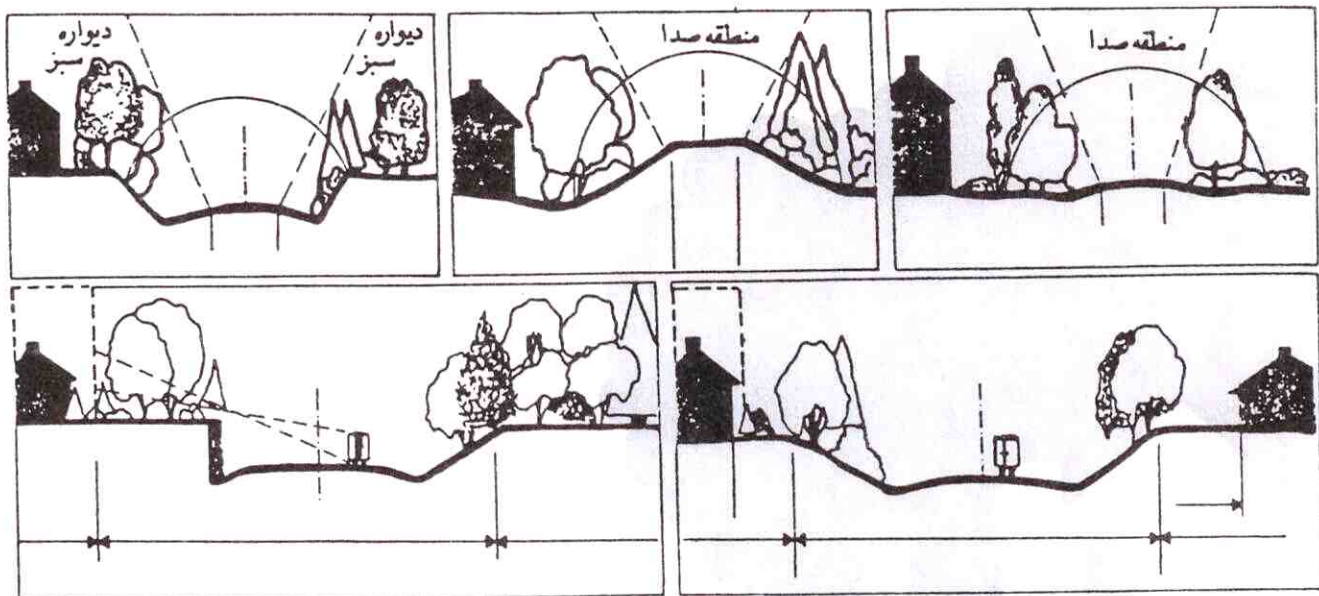
الف- احداث فضای شبه جنگلی

ب- احداث ردیفکاریهای متوالی

ج- استفاده از روشهای تلفیقی به کمک فضای سبز شبه جنگلی متشکل از درختان و درختچه های متناسب با ساختی فشرده می توان به ازای هر ۱۰۰ متر عرض فضای سبز (یا عمق آن) به حداکثر ۱۰ dB(A) کاهش آلودگی دست یافت.

باتوجه به مساحت وسیعی که بایستی در اختیار این نوع دیوارهای سبز مهارکننده آلودگی صوتی قرار گیرد و نیز با مدنظر قرار دادن مسأله کمبود زمین در شهرهایی چون تهران ایجاد فضای سبز به منظور کاهش آلودگی صوتی مقرون به صرفه نخواهد بود. مگر آن که چنین فضاهایی قبلاً در طرحهای جامع شهری انتخاب شده و در عمل نیز به فضای سبز اختصاص داده شوند. تنها در این صورت است که می توان به نحو احسن از بازدهی فضای سبز در رابطه با کاهش آلودگی صوتی و نیز بازدهی اقلیمی و تفرجگاهی آن بهره جست. در مورد ردیفکاریهای متوالی نیز به علت نیاز بیشتر به زمین، مشکل مشابهی همانند مورد اول وجود دارد.

از احداث فضای سبز روی تپه ای از خاکریز می توان نتایج بهتری کسب نمود. در این گونه روشهای تلفیقی (یعنی استفاده از مصالح ساختمانی گیاهی و غیر گیاهی) به عنوان مکمل گیاهان می توان بهره گرفت. در این حالت هم مساحت کمتری مورد نیاز خواهد بود و هم کارایی و بازدهی بیشتری حاصل خواهد شد.



شکل ۵- نحوه تأثیر درختان روی آلودگی صدا در شاهراهها در حالت‌های مختلف از نظر ارتفاع سطح جاده نسبت به اماکن مسکونی یا هتلهای

۶- کمربند سبز که به صورت موازی و به طور متوالی ایجاد شده بیشترین تأثیر را دارد.

۷- بهترین گونه‌ها: افرا، افاقیا، چنار، سرو شیراز و کاج تهران

۸- بهترین ترکیب گونه‌ها افرا، افاقیا، چنار یا ترکیب بیشتری از گونه‌هایی با برگ بهتر و یا با میزان صمغ بیشتر و تراکم سوزنی برگها است.

شیراز) و یا میزان صمغ داخل برگها بیشتر باشند (که این پدیده در مورد کاج صدق می‌کند)، نقش کاهندگی درخت در مورد آلودگی صدا بیشتر است. با مقایسه پهن‌برگان و سوزنی‌برگان درمی‌یابیم که پهن‌برگان بیشتر از سوزنی‌برگان در کاهش آلودگی صدا نقش دارند. به هر حال تأثیر کاهندگی محسوس سرو شیراز، کاج و کاج تهران را نباید نادیده گرفت.

نکات لازم در احداث فضای سبز برای حذف آلودگی صوتی

۱- اگر فضای سبز به عنوان حایل منازل از سروصدا در شهر ایجاد می‌شود باید حداقل عرض آن معادل ۱۵ متر باشد تا نتیجه مطلوب بدست آید.

۲- بهترین شکل زمین، زمین شیب‌داری است که در کنار شاهراهها وجود دارد و جهت شیب آن رو به جاده و پوشیده از گیاهان سطحی (مثل چمن) باشد و در منتهی‌الیه آن وجود گیاهان بلند مثل درختچه‌ها و درختان نتیجه خوبی بدست می‌دهد.

۳- هر قدر ارتفاع و تراکم دیوار سبز بیشتر باشد، کاهش آلودگی بیشتر است.

۴- هر قدر برگهای درخت بهتر یا تراکم برگها بیشتر و یا تراکم صمغ در سوزنی‌برگان بیشتر باشد، در کاهش آلودگی صدا تأثیر قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت.

۵- هر قدر زاویه قرار گرفتن برگها نسبت به شاخه و شاخه نسبت به ساقه تندتر باشد، نتیجه کار بهتر است. در واقع انبوهی درختان در بخش بیرونی که در معرض برخورد اصوات قرار دارد، ضروری است و بهتر است انبوهی شاخه و برگ از پایین به بالا امتداد داشته باشد.



منابع

- ۱- روزنامه اطلاعات، شماره‌های ۲۰۱۵، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷- تیرماه ۱۳۷۵
- ۲- ارتفاعی ابراهیم، محیط زیست هواپیمایی، دی‌ماه ۱۳۷۴
- ۳- ماهنامه دانشجو، تأثیرات ناخوشایند صدا بر محیط زیست، سال دوم- شماره ۱۰- اردیبهشت ۱۳۷۱
- ۴- ماهنامه دانشجو، آلودگی صوتی و دهها مرض جسمی و روانی، سال سوم- شماره ۲۷- مهرماه ۱۳۷۲
- ۵- رشد آموزش فیزیک، موضوعات کلی زیست محیطی مرتبط با فیزیک سال یازدهم- شماره ۴۱- پاییز ۱۳۷۵
- ۶- دکتر سپهری هوشنگ، ترجمه دانشنامه، جلد دوم
- ۷- فصلنامه علمی سازمان حفاظت محیط زیست، دوره سوم- شماره اول
- ۸- گوهری علی، بلای سروصدا، از سری نشریات ایران را تمیز نگهداریم پیرامون فعالیتهای پیشاهنگی در بهداشت و حفظ محیط زیست
- ۹- لارنس ای، مبانی آکوستیک، ۱۳۵۰
- ۱۰- مکانیک مینا، نقشه ترازبندی سروصدا در شهر تهران، دی‌ماه ۱۳۶۴
- ۱۱- دکتر محرم‌نژاد ناصر، آلودگی صوتی در تهران از گذشته تاکنون (گزارشی از سازمان حفاظت محیط زیست)
- ۱۲- مخدوم مجید، بررسی گونه‌های گیاهی ایران برای کاهش آلودگی صدا، (دومین سمینار فضای سبز تهران) ۱۳۷۰

13- Environmental Science 2nd ed. 1987, by Bernard J. Nebel, Prentice Hall Inc.

14- Principales of Environmental Physics, 2nd ed. 1990, by J. L. Monteith and N. L. Uns Wroth, Edward Arnold Inc.

15- Ontroduction to Environmental Engineering and Science, by Gilbert M. Masters, Prentice Hall Inc. 1991