استفاده از دیوارهایی از جنسِ ورق‌های گسترده‌ی فلزی برای کاهشِ صدای ناشی از عبور خط راه‌آهن در نزدیکی مناطق مسکونی

سید پارسا هیبت‌اللهی

کارشناس ارشد شرکت تولیدی و صنعتی ورق مشبک آرین مبین

parsa_haibatollahi@rail.iust.ac.ir

چکیده

اهمیت آلودگی صوتی ناشی از خط راه‌آهن شهری و ایستگاه پایانه‌ی بین‌شهری یکی از مشکلات اصلی در آلودگی صدای ناشی از حمل‌ونقل شهرهاست. استفاده از دیوارهای عمودی بین خط راه‌آهن و مناطق مسکونی یکی از راه‌های جذب و کاهش صدای ناشی از این خطوط است. این قابلیتِ کاهش صدا بستگی زیادی به جنس این دیوارها دارد. این دیوارها از نظر زیبایی‌شناختی باید با محیط اطراف خود همگون و سازگار باشند. ازنقطه‌نظر کاهش صدا کلیه‌ی موانع در صورت واجد بودن شرایط مذکور قابلیت کاهش صدا را به‌صورت مؤثری دارا خواهند بود. در این پژوهش به بررسی اثر جذب و کاهش صدای دیوارهایی از جنس ورق گسترده‌ی فلزی در حدفاصل یک منطقه مسکونی و خط راه‌آهن می‌پردازیم. درنهایت به نتایج قابل قبولی مبنی بر مؤثر واقع‌شدن دیوارهای جاذب صوت از جنس ورق گسترده‌ی فلزی پی خواهیم برد همچنین با توجه به‌صرفه‌ی اقتصادی داشتن این‌گونه ورق‌ها نسبت به ورق‌های پانچی و سایر گونه‌های مشابه، استفاده از این ورق‌ها برای مصارفی از این قبیل قابل‌تأمل است.

کلمات کلیدی : آلودگی صوتی؛ ورق گسترده‌ی فلزی؛ کاهش صدا؛ خط راه‌آهن.

۱- مقدمه: صدا به‌عنوان دومین آلوده‌کننده‌ی محیط‌زیست پس از آلودگی هوا به‌اندازه‌ی کافی موردتوجه قرار نمی‌گیرد درحالی‌که برخی تأثیرات مخرب صدای بلند به‌صورت پایدار باقی خواهد ماند. کاهش صدا توسط یک مانع به اختلاف مسیر موج صدا، وقتی‌که از مانع عبور می‌کند و به دریافت‌کننده می‌رسد در مقایسه باحالتی که کاملاً در مسیر مستقیم حرکت کرده و به دریافت‌کننده می‌رسد، بستگی دارد. هنگامی‌که میزان سروصدا بیش از ۹۰ دسی‌بل باشد کارها به سه شکل تغییر می‌کنند: الف) بازده‌ی کار ثابت می‌ماند ولی اشتباهات بیشتری صورت می‌گیرد به‌ویژه در کاری که نیاز به توجه بصری بیشتری وجود دارد، ب) در تشخیص زمان اختلال ایجاد می‌شود، ج) حفظ حالت هوشیاری و آگاهی نیاز به کوشش بیشتری پیدا می‌کند [۱].

جدول ۱: حد مجاز تحمل سروصدا برای انسان [۱]

زمان مواجهه (ساعت)	۸	۴	۲	۱	۰,۵	۰,۲۵
میزان تراز فشار صوت (dB)	۹۰	۹۵	۱۰۰	۱۰۵	۱۱۰	۱۱۵

هدف از تدوین این پژوهش به حداقل رساندن نوفه در ساختمان است تا ضمن تأمین سلامت و آسایش ساکنان، شرایط مناسب شنیداری نیز فراهم گردد.

۲- ورق‌های گسترده‌ی فولادی: ورق‌های گسترده‌ی فولادی، ورق‌هایی با شبکه‌ی لوزی شکل می‌باشند که با انجام عملیات برش و کشش روی ورق فولادی تولید می‌شوند. ازجمله مزیت‌های این دسته از ورق‌ها می‌توان به مقاومت زیاد نسبت به وزن آن، مقاومت بالای خوردگی در صورت گالوانیزه کردن، انعطاف‌پذیری برای شکل‌دهی و برش، سطح بدون لغزش، نسوز بودن، یکپارچه بودن محصول و دسترسی به طیف وسیعی از اندازه‌های دلخواه نام برد. ویژگی بارز ورق‌های گسترده‌ی فولادی نسبت به ورق‌های مشبک پانچی، مقرون‌به‌صرفه بودن آن است چون در فرآیند ساخت این محصول هیچ دورریزی نخواهیم داشت [۲].

مصارف این ورق‌های گسترده‌ی فولادی در پنل‌های صوتی، مسلح‌سازی بتون، سقف کاذب، حصارکشی، پنل-های تصفیه، فیلترهای صنعتی و جاذب موج دریا می‌باشد.

۳- استانداردهای صدا در محیطزیست:

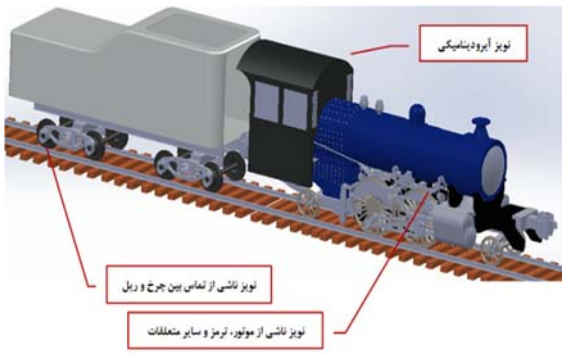
استاندارد صدا در هوای آزاد و فضای داخل اماکن، وابسته به نتایج مطالعات و محدودیت‌های اقتصادی و توسعه‌ی اجتماعی هر کشور است. در جدول زیر، حدود مجاز صدا در داخل بناهای شهری که در مقررات ملی ساختمان توسط وزارت مسکن و شهرسازی و مصوب شورای عالی محیطزیست، تدوین گردیده است، آمده است.

جدول ۲: تراز فشار صوت مجاز برحسب مناطق مختلف [۳]

نوع منطقه	تراز فشار صوت مجاز		
	روز	صبح و غروب	شب
بیمارستان و آسایشگاه	۴۵	۴۵	۳۵
مسکونی	۵۰	۴۵	۴۰
تجاری	۶۰	۵۵	۵۰
صنعتی	۷۰	۷۰	۶۵

٤- صدای خط راه‌آهن:

اگرچه طبق مدل‌هایی که در برخی کشورها استفاده می‌شود می‌توان برای ارزیابی صدای ناشی از خط آهن از تراز معادل استفاده نمود، لیکن با توجه به منقطع بودن تراز فشار صوت ناشی از عبور قطار، بهتر است که از تراز فشار پیک حداکثر صدا استفاده شود زیرا این تراز به‌خوبی می‌تواند برای هر بار عبور قطار، حداکثر تراز فشار صوتی‌ای که ایجاد می‌کند را ثبت کند. بدیهی است که سازه‌های مجاور باید بتوانند در این حالت افت انتقال کافی برای رساندن این مقدار به حد مجاز را داشته باشند. برای این بحث، از مدلی که در فرانسه متداول است استفاده می‌کنیم. در این مدل ابتدا تراز پیک فشار صوت برای هر نوع قطار معلوم و در مرحله‌ی بعدی تراز معادل برای آن‌ها برآورد می‌شود.



شکل۱- منابع نویز در قطار

شرایط پیش فرضی که حاکم بر مسئله است عبارت‌اند از: حداکثر فاصله‌ی بین خط راه‌آهن و منطقه‌ی مسکونی:۲۵۰ متر، سرعت قطار در بازه‌ی ۴۰ تا ۲۰۰ کیلومتر در ساعت، میدان صوتی آزاد و سطح زمین سخت. همچنین در این مدل طول قطار، نسبت ارتفاع شنونده به خط راه‌آهن، عامل اصلاح بلوک‌های ساختمانی و موانع، مدت‌زمان عبور قطار و تعداد آن نیز لحاظ شده است.

جدول ۳: طبقه‌بندی قطارها [٤]

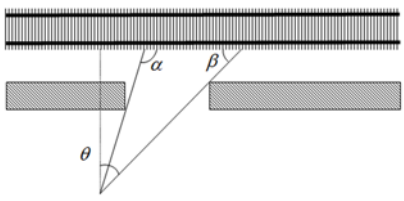
نوع قطار	طول قطار	سرعت قطار
زیرزمینی	حداکثر ۲۰۰	حداکثر ۱۲۰
کوتاه	حداکثر ۲۵۰	۱۴۰ تا ۲۰۰
باری	۴۰۰ تا ۷۵۰	۸۰ تا ۱۰۰
تک محرکه	۵۰ تا ۱۰۰	حداکثر ۱۶۰

۳- محاسبات صدا:

از فرمول زیر برای محاسبه‌ی تراز پیک فشار صوت برای هر گروه قطار، فاصله از شنونده و سرعت آن معرفی می‌شود:

$$L_{\max}(dBA) = L_0 - K.\log(\frac{d}{d_0}) + 30.\log(\frac{v}{v_0}) - K_d - 10.\log(\frac{\cos\alpha + \cos\beta}{2}) \quad (۱)$$

که در آن L_0 تراز فشار صوت مرجع برحسب dBA است که از جدول ۵ خوانده می‌شود، d فاصله‌ی شنونده تا خط راه‌آهن برحسب متر، d_0 فاصله‌ی مرجع برحسب متر است که از جدول ۵ خوانده می‌شود، K عامل بی‌بعد اصلاح طول است که از جدول ۴ خوانده می‌شود، v سرعت قطار برحسب کیلومتر در ساعت، v_0 سرعت مرجع برحسب کیلومتر در ساعت که از جدول ۴ خوانده می‌شود. α و β زوایای مربوط به وجود مانع در بین خط راه‌آهن و منطقه‌ی مسکونی است و K_d عامل بی‌بعد تصحیح اختلاف سطح است که از جدول ۶ خوانده می‌شود.



شکل۲- زوایای α، β و θ

جدول ٤: داده‌های ورودی فرمول (۱) [٤]

نوع قطار	سرعت مرجع $v_0(Km/h)$	عامل اصلاح طول K
کوتاه	۶۰	۱۷
مترو	۶۰	۱۴–۱۶
اکسپرس	۲۰۰	۱۵
پرسرعت	۱۴۰	۱۵
باری کم‌سرعت	۸۰	۱۲
باری سریع	۱۰۰	۱۲

جدول ٥: داده‌های ورودی فرمول (۱) [٤]

نوع قطار	تراز فشار صوت پایه $L_0(dBA)$		
	فواصل مرجع $d_0(m)$		
	۷٫۵	۱۵	۲۵
کوتاه	۷۹	۷۵	۷۲
مترو	۷۹	۷۵	۷۲
اکسپرس	۱۰۴	۱۰۰	۹۷
پرسرعت	۹۷	۹۴	۹۲
باری کم‌سرعت	۹۳	۸۹	۸۶
باری سریع	۹۶	۹۲	۸۹
تک محرکه	۹۲	۸۸	۸۵
ماشین خط	۹۶	۹۱	۸۹

جدول ٦: داده‌های ورودی فرمول (۱) [٤]

زاویه‌ی بین خط افق هم‌تراز قطار و ارتفاع شنونده (درجه) θ	عامل تصحیح اختلاف سطح $K_d(dBA)$
۱۰	۰
۲۰	۰
۳۰	۰
۴۰	۱٫۵
۵۰	۳
۶۰	۴٫۵
۷۰	۶
۸۰	۷٫۵
۹۰	۹

پس از محاسبه‌ی $L_{\max}(dBA)$ برای هر گروه قطار می‌توان تراز معادل صوتی $L_{eq}(dBA)$ را طبق فرمول (۲) محاسبه نمود.

$$L_{eq}(dBA)=10\log\left[\frac{t_e}{T}.10.\log\frac{L_{\max}}{10}\right] \qquad (۲)$$

که در آن T زمان مرجع محاسبه یا برآورد تراز معادل و t_e مدت‌زمان مواجهه‌ی شنونده با صدای قطار است. درصورتی‌که تراز فشار صوت در شروع و خاتمه‌ی آن $10dBA$ کمتر از تراز حداکثر $L_{\max}$ باشد، برای محاسبه‌ی t_e می‌توان از فرمول (۳) استفاده نمود.

$$t_e=\frac{3.6l}{V}+\frac{6d}{100} \qquad (۳)$$

که در آن l طول قطار برحسب متر، V سرعت قطار برحسب کیلومتر در ساعت و d فاصله‌ی شنونده تا قطار برحسب متر است.

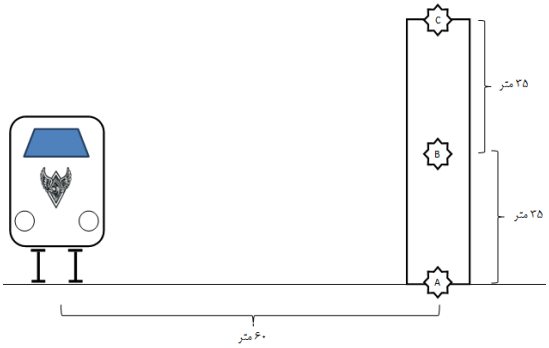
در انتها برای محاسبه‌ی تراز معادل حاصل از کل گروه‌های قطار، از رابطه‌ی (۴) استفاده می‌شود. این تراز بیان‌کننده‌ی اثر کلی صدای ناشی از تردد قطارها در نقطه‌ای خاص است.

$$L_{eq(t)}(dBA)=10.\log\sum_{i=1}^{N}\left[n_i.10^{(0.1Leq)}\right] \qquad (۴)$$

که در آن n_i تعداد قطار عبوری از هر نوع در دوره‌ی زمانی مرجع و N تعداد گروه‌های قطار است.

٤- مطالعه‌ی موردی:

فرض کنیم خط راه آهنی به فاصله‌ی ۶۰ متر از ساختمانی به ارتفاع ۷۰ متر عبور می‌کند. می‌خواهیم تراز نویز پیش‌بینی‌شده برای نقاط A، B و C را با فرض این‌که محدوده‌ی نویز غالب قطار 30Hz-3KHz است، یافته و سپس دیواری از جنس ورق گسترده‌ی فولادی را به‌عنوان مانع صوتی طراحی نماییم.



شکل۳- شماتیک مطالعه‌ی موردی

از این خط راه‌آهن، سه نوع قطار با مشخصات زیر طی ۲۴ ساعت عبور می‌کند.

جدول ۷: داده‌های قطار عبوری از خط راه‌آهن

نوع	سرعت Km/h	پریود tr/h	طول هر واگن m	تعداد واگن
مسافری	۱۳۰	۴	۲۵	۱۰
سریع‌السیر	۱۵۰	۲	۲۵	۴
باری	۷۰	۳	۲۵	۲۰

۵- محاسبه‌ی تراز نویز:

حال با استفاده از داده‌های این مطالعه‌ی موردی و جاگذاری آن‌ها در فرمول (۱) تا (۴)، به محاسبه‌ی تراز نویز پیش‌بینی‌شده می‌پردازیم که نتایج آن در جداول ۸ و ۹ آمده است.

جدول ۸: L_{eq} برای یک واگن در حالات مختلف

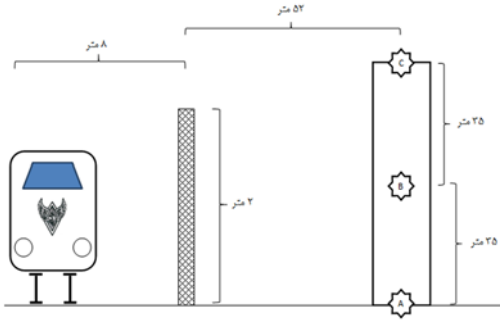
	$L_{eq}(dB)$		
محل محاسبه	A	B	C
مسافری	۱۲,۲	۱۲,۲	۱۲,۲
سریع‌السیر	۸,۳۴	۸,۳۴	۸,۴۲
باری	۱۵,۰۳	۱۵,۰۳	۱۵,۱

جدول ۹: $L_{eq}(total)$ برای یک خط قطار در حالات مختلف

$L_{eq}(total)$		
A	B	C
۳۵,۵۸	۳۵,۵۸	۳۵,۶۶

۶- طراحی مانع صوتی از جنس ورق گسترده‌ی فولادی:

می‌خواهیم یک مانع صوتی از جنس ورق گسترده‌ی فولادی در فاصله‌ی بین خط راه‌آهن و منطقه مسکونی که در مثال قبل ذکر شد، قرار دهیم. هندسه‌ی نحوه‌ی قرارگیری این مانع صوتی در شکل ۴ آمده است.



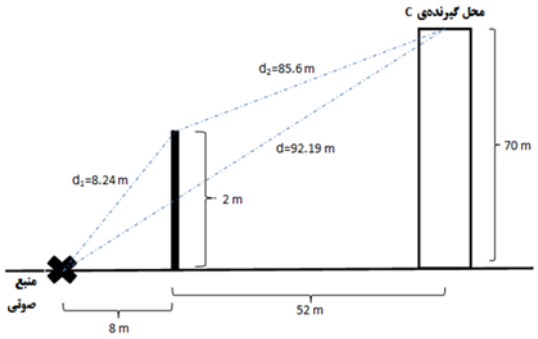
شکل٤- شماتیک هندسه‌ی قرارگیری مانع صوتی

شکل۵- دیوارهای جاذب صوت از جنس ورق گسترده

برای دانستن میزان کاهش هر مانع صوتی، یک عدد بی‌بُعد به نام عدد فرسنل تعریف می‌گردد که به هندسه‌ی قرارگیری مانع در بین منبع صدا و گیرنده‌ی صدا بستگی دارد. این عدد از فرمول (۵) قابل‌محاسبه است.

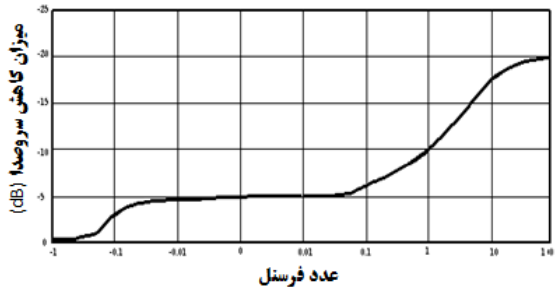
$$N = \frac{2}{\lambda}(d_1 + d_2 - d) \qquad (۵)$$

که در آن $\lambda = 340/f$ و مقادیر دیگر بر اساس هندسه‌ی مسئله مشخص می‌گردد. به‌طور مثال برای محاسبه‌ی عدد فرسنل در نقطه‌ی C، داریم:



شکل۵- مقادیر d، d_1 و d_2 برای نقطه‌ی C

از نمودار شکل ۶ استفاده نموده و مقدار کاهش نویز را برحسب عدد فرسنل به دست می‌آوریم.



شکل٦- نمودار میزان کاهش سروصدا برحسب عدد فرسنل [٥]

و درنهایت میزان کاهش سروصدا با استفاده از مانع صوتی از جنس ورق گسترده‌ی فولادی در سه‌نقطه‌ی A، B و C در ساختمان به‌قرار زیر است:

جدول ۱۰: میزان کاهش سروصدا در سه‌نقطه‌ی مختلف

	d_1 (m)	d_2 (m)	d (m)	عدد فرسنل	میزان کاهش صدا (dB)
A	۸,۲۴	۵۲,۰۳	۶۰	۱,۵۴	۱۰
B	۸,۲۴	۶۱,۵۸	۶۹,۴۶	۲,۰۵	۱۱
C	۸,۲۴	۸۵,۶	۹۲,۱۹	۵,۳۴	۱۳

بر اساس مطالعات انجام‌شده، اصواتی که شدت آن‌ها بین ۳۵ تا ۵۵ دسی‌بل هستند، تقریباً صداهای طبیعی می‌باشند که برای انسان آزاردهنده نیست و به نظر صدای عادی و معمولی می‌آید. همچنین حد قابل‌تحمل سروصدا در کار فکری ۷۵ دسی‌بل و در کار غیر فکری ۸۵ دسی‌بل پیشنهاد گردیده است [۶].

نتیجه‌گیری: در این پژوهش به بررسی کاربرد ورق‌های گسترده‌ی فلزی در ساخت جاذب‌های صوتی پرداختیم. ابتدا به بررسی نحوه‌ی محاسبه‌ی استانداردهای صدا در محیطزیست پرداخته و سپس با استفاده از محاسبات استانداردهای صدا در راه‌آهن، به محاسبه‌ی میزان صدای کاهش‌یافته در اثر استفاده‌ی یک مانع صوتی از جنس ورق‌های گسترده‌ی فلزی در حدفاصل بین یک خط راه‌آهن و یک منطقه‌ی مسکونی پرداختیم. میزان کاهش سروصدا در نقاط مختلف ساختمان محاسبه گردیده و نتایج بسیار قابل‌قبول بود. امید است با توجه به مزایای ورق‌های گسترده‌ی فلزی نسبت به محصولات مشابه موجود در بازار، استفاده از این ورق‌ها در جاذب‌های صوتی رونق بگیرد.

تقدیر و تشکر: در انتها بایستی از سرکار خانم هانیه رحیمی، مدیرعامل شرکت تولیدی ورق مشبک آرین مبین و مرحوم سیاوش مبین بابت تمامی کمک‌ها و مساعدت‌هایشان در حین انجام این پروژه، تشکر نمایم.

مراجع:

۱- عباسپور، مجید، مدل‌سازی آلودگی هوا، موسسه‌ی انتشارات دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۹۰.
۲- هیبت‌اللهی، سید پارسا، استفاده از ورق‌های گسترده‌ی فولادی در ساخت سازه‌های پایدارکننده، دومین کنگره‌ی بین‌المللی سازه، معماری و توسعه‌ی شهری، تبریز، ۱۳۹۳.
۳- مقررات ملی ساختمان ایران مبحث هجدهم عایق‌بندی و تنظیم صدا، وزارت مسکن و شهرسازی معاونت امور مسکن و ساختمان، ۱۳۸۸.
۴- رستم گل محمدی، ایرج محمد فام، مهندسی صدا و ارتعاش اندازه‌گیری، ارزیابی، جنبه‌های بهداشتی و کنترل در صنعت و محیطزیست، انتشارات دانشجو، ۱۳۹۲، فصل هشتم.
5- R. N. Foss, “Noise Barrier Screen Measurements”, Washington State Highway Department Research Program, Report Number 24.1.
۶- احمدزاده، احمد، آلودگی صدا، مجله‌ی محیط‌شناسی، شماره‌ی ۱۳، ۱۳۷۵.