

کاربرد سطوح پخش کننده در افزایش راندمان آکوستیکی مانع های موازی شیب دار T شکل

محمد رضا منظم^۱، پروین نصیری^۲، نیلوفر جاوید روزی^۳

تاریخ پذیرش: ۸۸/۱/۳۱

تاریخ ویرایش: ۸۸/۱/۱۶

تاریخ دریافت: ۸۷/۹/۱۰

چکیده

زمینه و اهداف: این مقاله عملکرد آکوستیکی مانع های شیب دار با سطوح و لبه های پخش کننده دار را مورد بررسی قرار می دهد. عملکرد پوشش های جاذب و همچنین سخت نیز با یکدیگر مقایسه گردیده است.

روش بررسی: در این تحقیق روش شبیه سازی دو بعدی عنصر مرزی به منظور پیش بینی افت صدا در مانع ها بکار گرفته شده است. استفاده از سطوح پخش کننده شیار دار QRD روی لبه های سطوح و صفحات همه ی مدلهای مانع های شیب دار در این مقاله مورد مطالعه قرار گرفته تا افزایش اثر بخشی مانع ها را با موانع موازی کاملاً جاذب در موقعیت شنونده مورد مقایسه قرار گیرد.

یافته ها: نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد سطوح پخش کننده شیار دار با فرکانس طراحی ۴۰۰ هرتز در مانع های شیب دار با شیب ۵ درجه، عملکرد کلی موانع سخت معادل آنها را به اندازه ی ۱/۸ دسی بل در شبکه ی وزنی A افزایش می دهد. علت افزایش عملکرد کلی مانع های شیار دار نیز کار آئی بهتر آنها در فرکانس های پائین می باشد. همچنین مشخص گردید که تمامی مانع های طراحی شده با ۱۰ درجه شیب عملکرد کلی بهتری دارند.

نتیجه گیری: اقتصادی ترین موانع موازی سرو صدای ترافیک که عملکرد بالای قابل توجهی نیز دارند، بوسیله ی پوشش QRD و شیب دار کردن ۱۰ درجه ای بدست آمده اند. به طور میانگین، افت صدا در این مانع ها ۱۶/۳ دسی بل در شبکه ی وزنی A پیش بینی شده است.

کلید واژه ها: موانع موازی شیب دار، سطوح پخش کننده، شبیه سازی دو بعدی عنصر مرزی

مقدمه

ممکن است بوسیله ی نصب مانع های آکوستیکی که از رسیدن صدای ترافیک به شنونده ای که در منطقه ی سایه قرار گرفته است جلوگیری می کند، به طور موثری حاصل شود.

در مناطق مسکونی و یا مکانهای شهری که در دو سمت جاده ها واقع شده اند، معمولاً از موانع صوتی

در سالهای اخیر، ترافیک جاده ای به ویژه در شهرکها و حتی شهرهای بزرگ به سرعت افزایش پیدا کرده است، که خود بعنوان یکی از مهم ترین منابع آلودگی صوتی شناخته شده است. کاهش مواجهه با صدا

۱- (نویسنده مسئول) استادیار گروه بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران mmonazzam@hotmail.com

۲- استادیار گروه بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

۳- دانشجوی کارشناسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران



می شود. در این مورد، فوجی وارا در سال ۱۹۹۰ مانع های راکتیورابمنظور از بین بردن اثر لبه هادر مانع های صوتی تکی منعکس کننده معرفی کرد. او کارایی مانع های نرم رادر محدوده ی فرکانس بوسیله ی پایین آوردن فشار سطحی بیش از ۱۰ دسی بل افزایش داد. [۹] عملکرد آکوستیکی جفت مانع های عمودی کنار جاده ای پخش کننده، توسط کلادیو و همکاران، در سال ۲۰۰۷، بطور تجربی در یک مدل قیاسی آزمایش شده و با مانع های عمودی انعکاسی مقایسه شده است. فواید تضعیف صدای قابل ملاحظه ای نه تنها در پشت منطقه ی سایه، بلکه در بالای آن نیز کشف شده بود. لذا مشخص شد که سطوح پخش کننده ی مانع های عمودی ترافیکی می تواند بطور موثری به کاهش اثر انعکاسهای متعدد کمک کند [۱۰]. همچنین کاربرد سطوح پخش کننده بر مانع های عمودی تکی انعکاسی توسط منظم و همکاران بررسی شده است که بهترین شکل آن، استفاده از نوع T شکل می باشد. [۵] هیچ تحقیقی تاکنون در خصوص عملکرد مانع های موازی شیبدار با سطوح پخش کننده انجام نشده است. این مقاله اثر پخش کننده های شیاردار بر روی عملکرد مانع های صوتی موازی شیبدار را بررسی می کند. پخش کننده های شیاردار در این تحقیق، QRD بوده که رایجترین نوع پخش کننده ی شرودر می باشد.

در این تحقیق، مانع انعکاسی تکی یک مانع T شکل سخت شیبدار می باشد. در این مورد بوسیله ی تحقیقات بیشماری نشان داده شده است که یک مانع T شکل عمودی سخت، یک مانع با عملکرد بالا است و همچنین بهترین شکل استفاده ی آن نیز کنار هم قرارگیری عناصر جاذب و پخش کننده ها می باشد [۵ و ۳]. در این گزارش عملکرد مانع های صوتی موازی شیبدار مختلف با کاربرد سطوح پخش کننده ی شیاردار، بر بالای سطوح وسطوح جانبی مانع ها با طراحی فرکانس ها و خصوصیات متفاوت با استفاده از روش شبیه سازی دوبعدی عنصر مرزی برآورد شده است. افت صدا در فرکانس مرکزی ۱۱/۳ کتاوباند محاسبه شده است.

نتایج همچنین با مانع های موازی شیبدار جاذب دار و سطوح سخت مقایسه شده اند تا نشان دهند که

موازی استفاده می شود اما انعکاس های متعدد بین آنها باعث تنزل معنی دار اثربخشی هر کدام از آنها به تنهایی می شود [۲ و ۱]. به منظور افزایش اثربخشی مانع های صوتی تکی، مطالعات تئوری و تجربی فراوانی انجام شده است [۳، ۴ و ۵].

هر چند تلاش های اندکی از کاهش اثر انعکاسات متعدد مانع های صوتی مختلف گزارش شده است، با این حال نگرانی در مورد پیامد و احتیاجات گسترده ی موانع ترافیکی شناخته شده رو به افزایش است. بررسی جزء به جزء مقالات پیشین در مورد انعکاسات متعدد مانع های موازی نشانگر اینست که بیشتر تحقیقات گذشته بر روی تنزل قابل سنجش افت صدا در مانع دوم تمرکز کرده اند [۶].

با در نظر گرفتن موانع موازی جاده ای قدیمی، موانع صوتی جدید به طور عمده بر دو اصل اساسی استوار هستند. اصل اول شامل کاربرد جاذب های صوتی و یا سطوح و لبه های پخش کننده ی مانع های موازی است. اصل دوم نیز شامل استفاده از شکل جدید مانع هایی است که بر تغییر زوایای مانع دلالت می کنند و تحت عنوان موانع موازی شیب دار معرفی می شوند. اخیرا تحقیقات متعددی مبنی بر افزایش اثربخشی موانع موازی صوتی ترافیکی با استفاده از عناصر جاذب، ارائه شده است. در این مورد واتس و گادفری در یک تحقیق میدانی، پیشرفت بااهمیتی را با تعویض سطح مانع ها از حالت انعکاسی به جاذب های صوتی نشان دادند [۷].

عقیده ی شیبدار کردن موانع، اصلی است که امواج را رو به بالا هدایت می کند بنابر این اثرات مجازی مانع های موازی را کاهش می دهد. واتس، اثربخشی هر دو مانع موازی عمودی و مانع شیبدار ساده صوتی را بررسی کرده و نشان داد که جاذب های صوتی و موانع شیبدار، هر دو، اثربخشی موانع موازی را افزایش می دهند، همچنین آنها در کاهش اثربخشی مانع های تکی که به ایجاد انعکاسات ناخواسته مربوط می شود، موثر می باشند [۸].

یک اصل مهم در مورد مانع های صوتی موازی این است که، هنگامی که این مانع ها در دو طرف جاده نصب می شوند، همیشه استفاده از سطوح سخت آکوستیکی نسبت به سطوح جاذب، ترجیح داده

به منظور شبیه سازی اثر سطوح جاذب، مواد جاذب فیبری در برخی مدل ها استفاده شده و برای محاسبه ی امپدانس ویژه مواد فیبری از فرمول تجربی دلانی و بیبلی استفاده شده است [۱۲]. امپدانس ویژه ی معمولی شیارهای QRD بوسیله ی روش معرفی شده توسط واو محاسبه شده است [۱۳]. همچنین در این روش تاثیرات دما و ویسکوزیته در داخل شیارها مدنظر قرار گرفته است هر چند که معمولاً، از اثر چسبندگی و گرما صرف نظر می شود.

سطوح پخش کننده مورد استفاده از نوع شیار دار شرودر بوده و یکی از مشهور ترین آنها یعنی پخش کننده QRD (Quadratic Residue Diffuser) مورد استفاده قرار گرفت.

QRD یک پخش کننده است که شامل ردیفهایی از شیارها با پهنا ی یکسان و عمق متفاوت می باشد. شیارها بوسیله ی تیغه های نازکی از هم جدا شده اند. بین هر تناوب، عمق شیارها بوسیله ی باقیمانده ی توان دوم توالی کنترل می شود. در هر چاه موج ایجاد شده و موج انعکاسی آن فازهای حرکتی متفاوتی مطابق با طول مسیر متفاوت طی شده دارند. اگر تفاوت فازها به اندازه ی کافی زیاد باشد، تفرق قابل توجه موج انعکاسی همراه با مشخصات تفرق وابسته به عمق عناصر ایجاد خواهد کرد. در بهترین وضعیت و طراحی، یک QRD، باید یک زمینه ی پراکنندگی یکنواختی را بین محدوده ی فرکانس طراحی بوجود آورد. اطلاعات بیشتر همراه با جزئیات بیشتر در مورد طراحی، خصوصیات جاذب و پخش کننده ی این نوع سطوح را می توانید در کتاب کوکس و آنتونیو و مقاله ی اخیر منظم، بیابید [۱۴ و ۱۵].

در این تحقیق همواره منبع صوتی بسیار نزدیک به سطح زمین در نظر گرفته شده است. علت این امر نیز حذف تداخلات امواج مستقیم و خیر مستقیم تابش شده از منبع صوتی و تصویر آن می باشد. مختصات قرار گیری منبع صوتی در این تحقیق همواره (۵، ۰/۰۲) متر می باشد. یعنی منبع بفاصله ۵ متر از خط مرکزی مانع شماره ۱ در ارتفاع ۲ سانتی متری بالای سطح زمین می باشد. جزئیات قرارگیری منبع صوتی در شکل ۱ نشان داده شده است.

همچنین در این تحقیق همواره جنس زمین سخت

استفاده از سطوح شیبدار به جای عناصر جاذب در مانع های موازی شیبدار بمنظور از بین بردن اثر انعکاس های متعدد در اینگونه موارد موثر می باشد.

روش بررسی

در این بررسی جهت برآورد افت صدا در موانع موازی شیبدار از روش شبیه سازی دو بعدی عنصرمرزی (Boundary Element Method=BEM) استفاده گردید. در روش دو بعدی مانع صوتی موازی شیبدار با طول نامتناهی روی یک سطح قرار می گیرد و فرض بر این است که خصوصیات آکوستیکی و شکل سطح مانع های آکوستیکی در سرتاسر طول مسیر تغییر نمی کند. در این شرایط محور Z موازی امتداد مانع در طول جاده خواهد بود. بنابراین، معادله ی هلم هولتز همراه با معادله ی انتگرال مرزی در یک فرکانس مشخص با استفاده از روش BEM حل خواهد شد. جزئیات کامل این روش در منبع شماره ۵ قابل دسترسی می باشد. استفاده از روش دو بعدی بسیار کم هزینه تر از روش سه بعدی بوده مضافاً اینکه در بسیاری از پژوهشهای قبلی دقت قابل قبول روش دو بعدی به اثبات رسیده است. مرور وسیعی بر مطالعات انجام شده در این زمینه و اعتبارسنجی های میدانی و مقیاسی انجام شده که در این منبع قابل مشاهده می باشد [۱۱]. در صحت نتایج بدست آمده از روش شبیه سازی عنصر مرزی، ابعاد المنتها اهمیت زیادی دارند. در این خصوص هر چه ابعاد المنت ها کمتر باشد دقت نتایج بالاتر خواهد بود. در این خصوص عمده محققین نشان داده اند که طول المنت کمتر از $\lambda/5$ می تواند فشار سطحی پایداری را بطور منطقی ارائه داده و نتایج بدست آمده از صحت و دقت مناسبی برخوردار خواهند بود. لذا در این تحقیق طول المنت ها کوچکتر از $\lambda/5$ کوتاه ترین طول موج مورد بررسی انتخاب گردیدند. در این خصوص چون بالاترین فرکانس مورد بررسی ۴۰۰۰ هرتز بود لذا با در نظر گرفتن سرعت صوت ۳۴۳ متر بر ثانیه کوتاه ترین طول موج مورد بررسی $\lambda/5$ سانتی متر بوده و طول المنت ها کمتر از $\lambda/4$ سانتی متر انتخاب گردیدند. بدیهی است بمنظور حفظ دقت بالا این طول المنت برای طول موج های بلندتر نیز در نظر گرفته شد.

ضخامت پایه در مانع شماره ۱ برابر ۱۰ سانتی متر و در مانع شماره ۲ برابر ۳۰ سانتی متر در نظر گرفته شده است. همچنین ضخامت قسمت T (لبه بالایی) مانع شماره ۱ نیز ۳۰ سانتی متر است. علت آن است که جهت نصب پخش کننده در سطح بالایی مانع شماره ۱ و همچنین سطح داخلی مانع شماره ۲ در برخی موارد نزدیک به ۳۰ سانتی متر فضا جهت ایجاد شیار نیاز می باشد لذا بمنظور حفظ یکنواختی در کلیه موارد این ضخامت حفظ گردید. همچنین طول لبه بالایی مانع ۱ برابر ۱ متر در نظر گرفته شده که با بسیاری از تحقیقات انجام شده برای مانع تکی T شکل همخوانی دارد.

تعداد ۱۶ نقطه در سمت چپ مانع شماره ۱ بعنوان گیرنده های صوتی در نظر گرفته شده که از سطح زمین تا ارتفاع ۷/۵ متری یعنی تقریباً یک ساختمان ۳ طبقه مدل شده است. فاصله شنونده ها از ۲۰ تا ۱۰۰ متر در نظر گرفته شده که بهترین فواصل جهت مدل کردن شرایط واقعی است. محل گیرنده های صوتی نیز در شکل ۱ نشان داده شده است.

سطوح مورد استفاده در این مانع ها شامل سطوح سخت با ادمیتانس صفر، سطوح جاذب با مقاومت شاره ای 20000 Ns/m^4 و ضخامتی معادل ۰/۲۴۵ متر و سطوح پخش کننده شیاردار با فرکانس طراحی ۴۰۰ هرتز و عرض شیار ۱۲ سانتیمتر می باشند. ضخامت مواد جاذب مورد استفاده متناسب با بزرگترین عمق سطح پخش کننده انتخاب گردیده است. عمیق ترین

در نظر گرفته می شود. فرکانس های مورد مطالعه از ۵۰ تا ۴۰۰ هرتز در مراکز ۱/۳ اکتاو باند می باشد. میزان افت صدانیز در هر فرکانس از رابطه ی زیر بدست آمد:

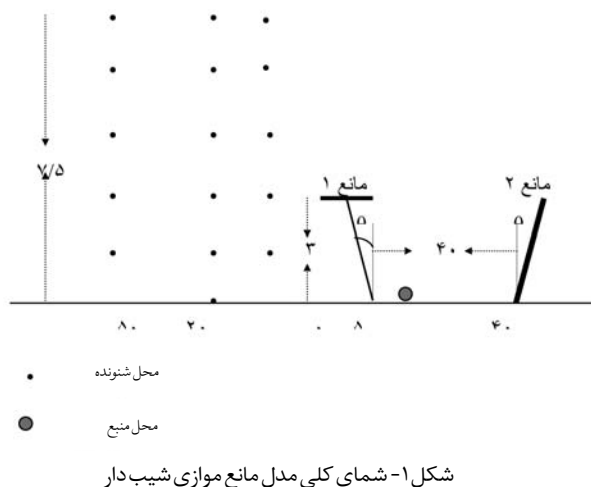
$$IL = -20 \log_{10} \left| \frac{P_b}{P_f} \right| \text{ (dB)}$$

که در آن P_b میزان فشار صوت وارده از منبع به محل شنونده در حالی که مانع صوتی بین منبع و شنونده وجود دارند و P_f میزان فشار صوت ناشی از منبع صوت در محل شنونده در زمانی که مانع صوتی بین منبع و شنونده وجود ندارد. همچنین جهت محاسبه کارائی کلی موانع صوتی از بیناب شبکه A صدای ترافیک استفاده خواهد شد. بدین منظور از متد استاندارد BS EN 1793-3:1997 استفاده گردید [۱۶]. شرح کامل این روش در منبع شماره ۱۱ ارائه گردیده است.

نتایج

در این نوع مانع موازی هر دو مانع استفاده شده با سطح زمین دارای زاویه می باشند. مانع شماره ۱ یک مانع شیبدار T شکل بوده که در مبدا مختصات قرار گرفته و مانع مقابل آن یک مانع ساده ی شیبدار که در فاصله ی ۴۰ متری سمت راست مانع شماره ۱ قرار گرفته است. شمای کلی مانع موازی موازی شیبدار در شکل ۱ نشان داده شده است.

همانگونه که در شکل نشان داده شده است، ارتفاع کلی هر دو مانع با یکدیگر یکسان و برابر ۳ متر می باشد.



مستقیم کمتر بوده و به همین دلیل نتایج با تداخل های کمتر قابل مشاهده است. همانطور که از شکل ۳ دیده می شود استفاده از ماده جاذب در سطح بالائی مانع ۱ در این نوع مانع موازی با شیب ۵٪ تقریباً در فرکانس های پائین و میانه هیچ گونه تاثیری نداشته و تنها در فرکانس های بالای ۱۲۵۰ هرتز افزایش کارائی مشهود است. افزایش خاصیت جذب با افزایش فرکانس در مواد جاذب فیبری یک امر طبیعی است ولی عدم تاثیر این مواد جاذب در فرکانس های پائین بدلیل شکل شیب دار سطوح مانع و کاهش جاروب نمودن سطح فوقانی مانع شماره ۱ با امواج انعکاسی از مانع شماره ۲ می باشد. قاعدتاً در این نوع مانع اگر بخواهیم میزان جذب را به سمت فرکانس های پائین تر سوق دهیم لازم است عرض لبه بالائی مانع شماره ۱ را افزایش دهیم.

استفاده از مواد جاذب در هر دو مانع شماره ۱ و ۲ تا حدود بیشتری کار آئی مانع را نسبت به مانع بازتاب دهنده افزایش خواهد داد. سطح رو به منبع مانع شماره ۲ ابعاد بیشتری برخوردار بوده و جاذب کردن آن سطح می تواند بمیزان موثری از انعکاسات کاسته و عملکرد مانع را تقریباً از فرکانس های ۵۰۰ هرتز به بالاتر افزایش دهد. بعبارتی با استفاده از سطح بیشتر ماده جاذب طیف فرکانسی موثر وسیع تر و همچنین به سمت فرکانس های پائین تر سوق داده شده می شود. این نتایج در شکل ۴ به وضوح دیده می شود.

اثر QRD:

یکی از اهداف اصلی این تحقیق بررسی نحوه و میزان تاثیر سطوح پخش کننده QRD روی بخشهای مختلف مانع موازی شیب دار می باشد. در این قسمت از تحقیق اثر نصب QRD روی لبه بالائی مانع شماره ۱ مورد بررسی قرار گرفته است. همانطور که از شکل ۵ مشاهده می شود، مانع مدل PGS که یک مانع موازی شیب دار با زوایه شیب ۵ درجه بوده و روی لبه بالائی مانع شماره ۱ یک QRD با فرکانس طراحی ۴۰۰ هرتز نصب شده نسبت به مانع موازی معادل بازتاب دهنده خود در تعدادی از فرکانس های بالاتر از ۳۱۵ هرتز افزایش محسوسی در عملکرد آکوستیکی از خود نشان می دهد. هر چه فرکانس منبع صوتی بالاتر می

شمار در بین مانع های شیاردار طراحی شده ۲۴۵/۰ متر بوده که مربوط به پخش کننده های با فرکانس طراحی ۴۰۰ هرتز است. عرض شیاردار تمامی سطوح شیاردار یکسان و برابر ۱۲ سانتی متر انتخاب گردید.

با شرایط ذکر شده فوق با نصب و استفاده از شرایط مختلف روی هر یک از دو مانع ۱ و ۲ مدل های متفاوتی از مانع های موازی شیب دار طراحی گردید. در جدول ۱ خصوصیات و جزئیات طراحی مدل های مختلف مانع های موازی شیب دار مورد مطالعه، ارائه گردیده است.

اثر انعکاسات متعدد بر مانع شیب دار T شکل

یکی از راههای افزایش عملکرد مانع های موازی شیب دار کردن آنها تحت زوایای مختلف به طرف پیاده روی می باشد. در واقع در این روش امواج انعکاسی به سمت بالا منتشر شده و در کل انعکاسات سرازیر شده به سمت سایه صوتی را کاهش میدهد. در این قسمت از تحقیق میزان تاثیر یک مانع شیب دار ساده با زوایای مختلف در مقابل یک مانع T شکل شیب دار با زوایای مشابه مورد بررسی قرار گرفت. لذا به این منظور مقایسه عملکرد مانع موازی شیب دار PRS با مانع تکی T شکل شیب دار بنام مانع مدل RS که دقیقاً شرایط مانع شماره ۱ را در مدل مانع موازی PRS دارا می باشد در فرکانس های ۱/۳ اکتاو باند در محل شنونده شماره ۱ (مختصات (۰، -۵۰)) در شکل ۲ نشان داده شده است. در مانع مدل RS تمام مشخصات ابعادی، جنس سطوح و همچنین محل قرار گیری منبع صوتی دقیقاً همچون مانع موازی مدل PRS می باشد. همانگونه که از شکل دیده می شود در میانه طیف در فاصله بین فرکانس های ۸۰ تا ۱۰۰۰ هرتز بطور محسوسی کار آئی مانع با نصب مانع شیب دار موازی کاهش پیدا نموده است.

اثر ماده ی جاذب

به منظور بررسی تاثیر مواد جاذب روی سطوح مختلف مانع موازی شیب دار ابتدا سطح فوقانی مانع T شکل (مانع شماره ۱) توسط مانع جاذب پوشانده شد و مانع موازی شیب دار مدل PAS طراحی گردید. در شنونده روی سطح زمین بدلیل عدم وجود تصویر شنونده بر زمین میزان تداخل های امواج مستقیم و غیر

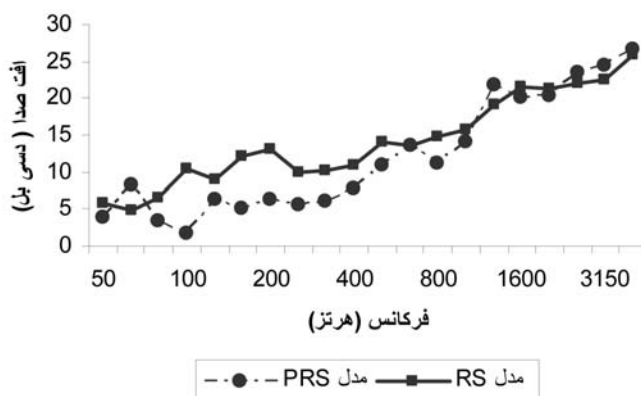
مدل	زاویه شیب (درجه)	مانع ۱	مانع ۲
PRS	۵	سخت (منعکس کننده)	سخت (منعکس کننده)
PAS	۵	قسمت بالائی T با ماده جاذب پوشیده شده	سخت (منعکس کننده)
PAAS	۵	قسمت بالائی T با ماده جاذب پوشیده شده	قسمت رو به منبع با ماده جاذب پوشانده شده
PGS	۵	قسمت بالائی T با پخش کننده پوشیده شده ، فرکانس طراحی ۴۰۰ هرتز	سخت (منعکس کننده)
PGGS	۵	قسمت بالائی T با پخش کننده پوشیده شده ، فرکانس طراحی ۴۰۰ هرتز	قسمت رو به منبع با ۳ تا پخش کننده پوشانده شده، فرکانس طراحی ۱۰۰۰ هرتز
PRST	۱۰	سخت (منعکس کننده)	سخت (منعکس کننده)
PAST	۱۰	قسمت بالائی T با ماده جاذب پوشیده شده	سخت (منعکس کننده)
PAAST	۱۰	قسمت بالائی T با ماده جاذب پوشیده شده	قسمت رو به منبع با ماده جاذب پوشانده شده
PGST	۱۰	قسمت بالائی T با پخش کننده پوشیده شده ، فرکانس طراحی ۴۰۰ هرتز	سخت (منعکس کننده)
PGGST	۱۰	قسمت بالائی T با پخش کننده پوشیده شده ، فرکانس طراحی ۴۰۰ هرتز	قسمت رو به منبع با ۳ تا پخش کننده پوشانده شده، فرکانس طراحی ۱۰۰۰ هرتز

جدول ۱- خصوصیات و جزئیات مدل‌های متفاوت مانع‌های موازی شیب دار استفاده شده در این تحقیق

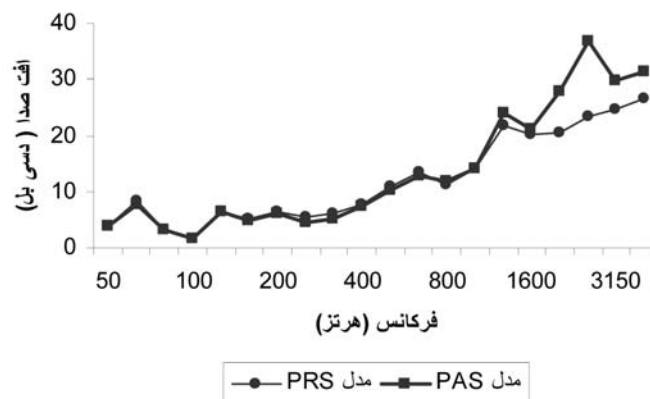
عکس سطوح پخش کننده در فرکانس طراحی عملکرد کمتری داشته و در سایر فرکانس‌های طیف موثر فرکانسی کارآئی آنها به میزان موثری بالا می‌باشد.

در تحقیق دیگری اثر توام سطوح پخش کننده در مانع شماره ۱ و ۲ مانع موازی با شیب ۵ درجه با طراحی مانع موازی مدل PGGS مورد بررسی قرار گرفت. در این بخش از بررسی عملکرد این مانع در شنونده‌های مختلف مورد برآورد قرار گرفته و عملکرد آن در محل شنونده شماره ۱ با مانع معادل بازتاب خود در شکل ۶ مقایسه گردیده است. همانطور که به وضوح دیده می‌شود افزایش بسیار قابل توجهی در عملکرد مانع مخصوصاً در فرکانس‌های بالاتر از ۲۵۰ هرتز دیده می‌شود.

رود بر میزان کارآئی مانع پخش کننده دار افزوده می‌شود که البته این روند تا انتهای طیف موثر فرکانسی QRD ادامه داشته و سپس مجدداً عملکرد مانع پخش کننده دار کاهش می‌یابد. این نتیجه نقش و تاثیر سطوح پخش کننده در عملکرد اکوستیکی مانع را نشان می‌دهد. ضمناً همانطور که در این نوع مانع نیز دیده می‌شود در فرکانس‌هایی که برابر یا مضربی از فرکانس طراحی هستند کاهش عملکرد دیده می‌شود که در این قسمت نقش بخش مجازی ادمیتانس سطوح شیارها حائز اهمیت بوده که مکانیسم آن برای مانع‌های تکی قبلاً توسط منظم در منبع شماره ۱۱ توضیح داده شده است. لذا در این تحقیق نیز این تئوری تأیید می‌گردد که مانع‌های پخش کننده دار بر



شکل ۲- مقایسه افت صدا در دو مانع مدل RS و PRS در محل شنونده (۵۰،۰-)

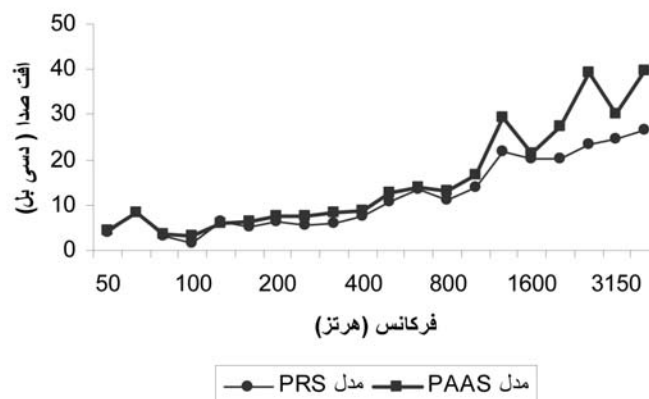


شکل ۳- مقایسه افت صدا در دو مانع مدل PAS و PRS در محل شنونده (۵۰،۰-)

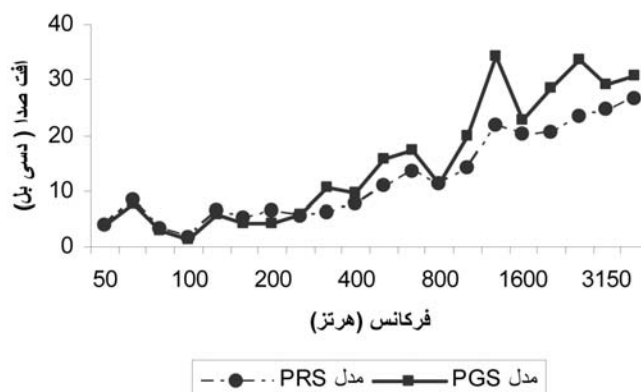
با شیب های ۵،۰ و ۱۰ درجه مد نظر قرار گرفتند. تنها اختلاف این سه مانع در شیب آنهاست، تعداد پخش کننده و نوع آن و همچنین محل قرار گیری آن در هر سه مانع یکسان است. افت صدا در این سه مانع که عبارتند از مانع های مدل PG (مانع موازی دارای پخش کننده در سطح بالائی مانع شماره ۱ با زاویه شیب صفر)، مانع مدل PGS (مانع موازی دارای پخش کننده در سطح بالائی مانع شماره ۱ با زاویه شیب ۵ درجه) و مانع مدل PGST (مانع موازی دارای پخش کننده در سطح بالائی مانع شماره ۱ با زاویه شیب ۱۰ درجه) در فرکانس های ۱/۳ اکتاو باند در محل شنونده شماره ۱ که روی زمین قرار داشته و به فاصله ۵۰ متر از مانع شماره ۱ می باشد مورد مقایسه قرار گرفت. شکل ۷ نتیجه این بخش از تحقیق را نمایش می دهد. همانگونه که از شکل نیز پیداست با افزایش شیب، عملکرد مانع های

شود. در این نوع مانع پخش کننده دار نیز فرکانس طراحی همان ۴۰۰ هرتز بوده و همچنان که به وضوح دیده می شود ضعف این مانع نیز در فرکانس های معادل و یا مضارب صحیح این فرکانس می باشد و در سایر فرکانس ها کار آئی بسیار بهتری برآورد گردیده است. نکته مهم دیگر سطح بزرگتر سطوح پخش کننده مورد استفاده در روی سطح روبه منبع مانع شماره ۲ باعث کشیده شدن فرکانس موثر از ۳۱۵ هرتز به فرکانس های پائین تر تا حدود ۲۵۰ هرتز گردیده است. که قطعاً این امر باعث افزایش کار آئی کلی عملکرد این مانع خواهد گردید.

اثر میزان شیب در مانع های پخش کننده دار
 بمنظور بررسی تاثیر شیب مانع در مانع های پخش کننده دار سه مدل مختلف مانع های پخش کننده دار



شکل ۴- مقایسه افت صدا در دو مانع مدل PRS و PAAS در محل شنونده (۵۰،۰-)



شکل ۵- مقایسه افت صدا در دو مانع مدل PGS و PRS در محل شنونده (۵۰،۰-)

پخش کننده QRD می توان عملکرد مانع را به مانع موازی شیبدار نزدیک نمود.

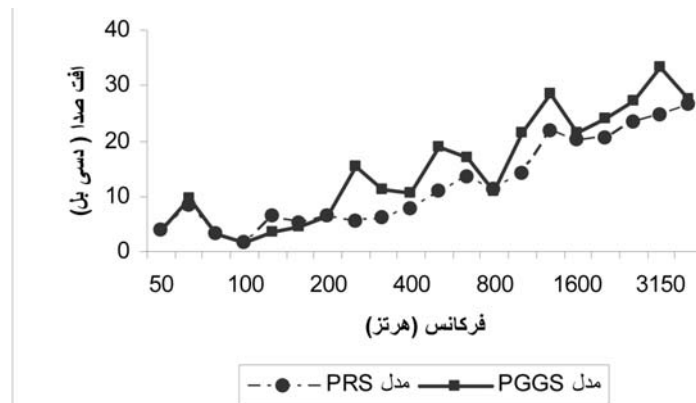
همچنین نتایج مربوط به عملکرد کلی در شبکه A نشان داد که در صورت استفاده از سطوح پخش کننده روی سطوح موانع شیبدار موازی عملکرد کلی را می توان تا حد قابل قبولی افزایش داد، در این شرایط میزان اختلاف عملکرد کلی مانع پخش کننده دار با شیب صفر درجه PGG بمیزان ۳/۴ دسی بل از مانع پخش کننده دار با شیب ۵ درجه PGGS و ۴/۵ دسی بل از مانع پخش کننده دار با شیب ۱۰ درجه PGGST کمتر می باشد. که این اختلاف از همه انواع مانع های مورد بررسی کمتر است. بعبارتی بیشترین تاثیر در مانع های موازی را استفاده از سطوح پخش کننده روی هر دو مانع به همراه خواهد داشت.

عملکرد کلی مانع های موازی شیب دار در شبکه A
در این بخش کار آئی کلی تمام موانع موازی شیبدار طراحی شده در مقیاس دسی بل A که از بین ۱۶ نتیجه عملکرد مرتبط با ۱۶ نقطه شنونده بدست آمده در اشکال ۹ و ۱۰ مورد مقایسه قرار گرفته است. در این اشکال شنونده ها بدو دسته تقسیم شده اند شنونده های با ارتفاع کمتر از ارتفاع مانع (ارتفاع شنونده ۳ متر و کمتر از آن) و میانگین کل شنونده های کمتر از ۷/۵ متر.

همانطور که از شکل ۹ که مربوط به مانع های بازوایه شیب ۵ درجه است، بوضوح مشخص است قاعدتا بهترین عملکرد کلی مربوط به مانع تکی RS است و

پخش کننده دار در فرکانس های بالاتر از ۲۰۰ هرتز افزایش می یابد. با افزایش فرکانس نیز بر میزان تاثیر شیب در مانع های موازی پخش کننده دار افزوده می شود. روند تغییر در مانع های پخش کننده دار و جاذب دار و حتی بازتاب دهنده بسیار به یکدیگر شباهت داشته و این نشان دهنده این مطلب است که تاثیر شیب در مواقعی که فقط سطح بالائی مانع شماره ۱ با ماده جاذب و یا پخش کننده پوشانده می شود تغییر آنچنانی و محسوسی در روند عملکرد و تاثیر میزان شیب مانع های موازی ایجاد نمی گردد. البته لازم بذکر است که عملکرد کلی با تغییر روبروست که در اشکال ۹ و ۱۰ این موضوع قابل مشاهده می باشد.

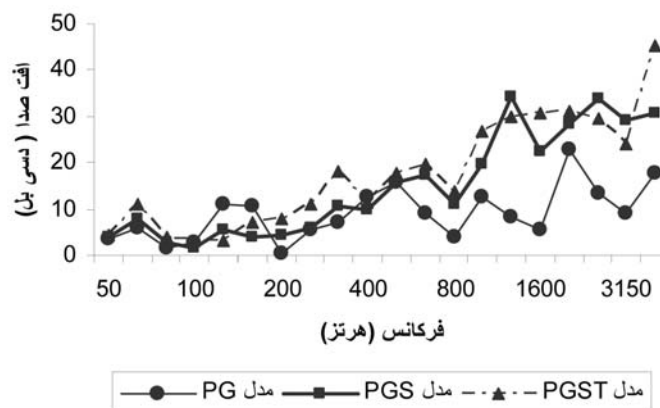
وضعیت در مواقعی که هر دو مانع با پخش کننده پوشانده می شوند با شرایط قبل که فقط در مانع شماره ۱ از پخش کننده استفاده شده بود کاملاً متفاوت است. همانطور که از شکل ۸ برداشت می شود در این شرایط تا حدود زیادی عملکرد مانع های با شیب های مختلف در فرکانس های مختلف به یکدیگر نزدیک گردیده اند یعنی سطوح پخش کننده در این شرایط قادر بوده اند تا حدود زیادی اثر شیب را تحت الشعاع قرار دهند. این شرایط در مانع های جاذب دار کامل نیز تقریباً مشاهده شد. دلیل این امر در مانع با پخش کننده کامل نیز در آنست که سطح بزرگتر پخش کننده از میزان انعکاسات و رسیدن امواج زیاد مستقیم و غیر مستقیم به محل شنونده کاسته و تداخلهای سازنده این امواج نیز کاسته شده اند. یا بعبارت دیگر می توان اینگونه نتیجه گرفت که با پوشاندن سطوح دیوارها در مانع های موازی با



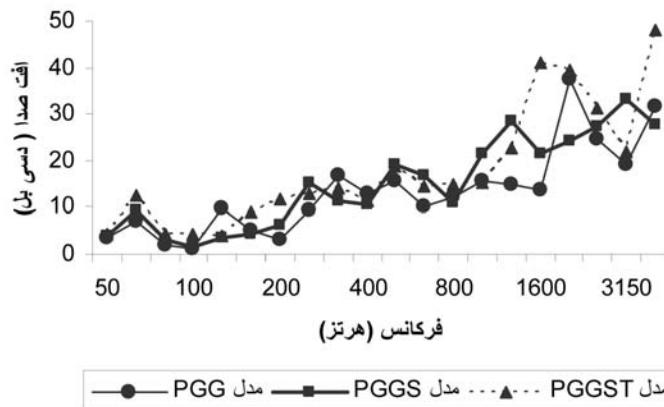
شکل ۶- مقایسه افت صدا در دو مانع مدل PRS و PGGS در محل شنونده (۵۰،۰-)

کل شنونده ها از سطح زمین تا ارتفاع ۷/۵ متر تقریباً ۰/۱- دسی بل A نسبت به مانع موازی بازتاب دهنده ساده می باشد. از شکل ۱۰ که مربوط به مانع های با زاویه شیب ۱۰ درجه است، می توان بوضوح دید که همچنان بهترین عملکرد کلی مربوط به مانع تکی RST است و هیچکدام از اشکال و طراحی ها قادر به حذف کلیه مشکلات ناشی از افزودن مانع اضافی در مقابل مانع تکی نمی باشند. میزان تغییر در میانگین کلی عملکرد در شنونده های با ارتفاع کمتر از ارتفاع مانع و میانگین کل شنونده تقریباً در اکثر مانع ها بجز مانع مدل PRST و PGGS بسیار جزئی و قابل صرف نظر کردن می باشد که این خود نشانگر پخش کنندگی خوب سطوح شیاردار و همچنین سطوح مورد استفاده در این مانع ها می باشد.

هیچکدام از اشکال و طراحی ها قادر به حذف کلیه مشکلات ناشی از افزودن مانع اضافی در مقابل مانع تکی نمی باشند ولی در بین مانع های طراحی شده بهترین کار آئی مربوط به مانع مدل PGGS می باشد. عبارتی استفاده از مانع پخش کننده دار تقریباً کار آئی برابر با مانع کاملاً جذب دار مدل PAAS داشته و همچنین تقریباً به اندازه ۲ دسی بل A بیشتر از مانع موازی بازتاب دهنده قادر به بهبود وضعیت عملکرد مانع موازی شیب دار می باشد. تمام طرح های ارائه شده به مقادیر قابل توجهی کار آئی مانع موازی بازتاب دهنده را بهبود بخشیدند که کمترین افزایش ایجاد شده توسط مانع موازی مدل PAS می باشد. کمترین میزان افزایش ایجاد شده توسط این مانع بوده که برای شنونده های با ارتفاع زیر ۳ متر ۰/۲ دسی بل A و برای



شکل ۷- مقایسه افت صدا در سه مانع مدل PG و PGS و PGST در محل شنونده (۵۰،۰-)



شکل ۸- مقایسه افت صدا در سه مانع مدل PGG و PGGG و PGGST در محل شنونده (۵۰۰-)

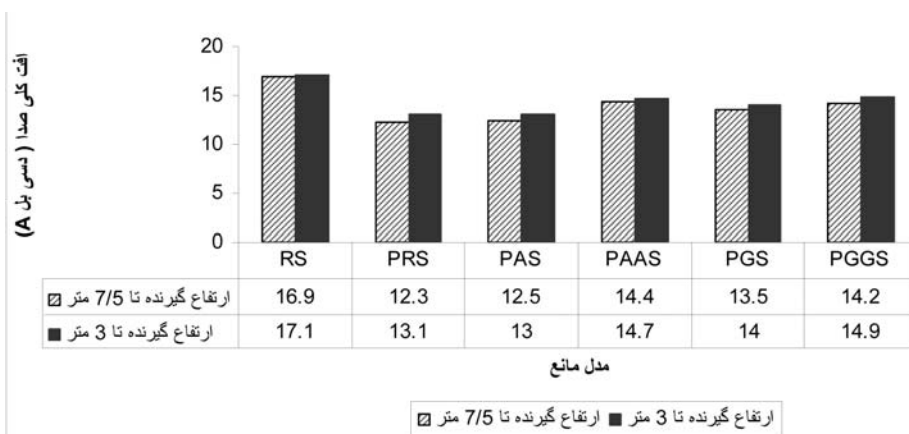
۸۰ تا ۱۰۰۰ هرتز به طور محسوسی کار آئی مانع کاهش پیدامی کند. گرچه با شیبدار کردن وابستگی فرکانسی مانع موازی تا حد زیادی کاهش یافته ولی همچنان به دلیل تداخل های سازنده و مخرب بین امواج مستقیم و انعکاسی روی مانع شماره ۱ انتخابی بودن فرکانس در عملکرد این دسته از مانع ها نیز بویژه در فرکانس های بالا دیده می شود. کاهش عملکرد مانع موازی در مقایسه با مانع تکی به دلیل افزوده شدن یک منعکس کننده در مقابل مانع گرچه به شکل شیبدار باعث کاهش چشمگیر عملکرد کلی مانع موازی در مقیاس دسی بل A می گردد. میزان کاهش افت کلی در مانع موازی شیبدار با شیب ۵ درجه نسبت به مانع تکی معادل بطور متوسط ۴ دسی بل A بر آورد گردید.

۲- در این دسته از موانع با شیب ۵ درجه نصب ماده

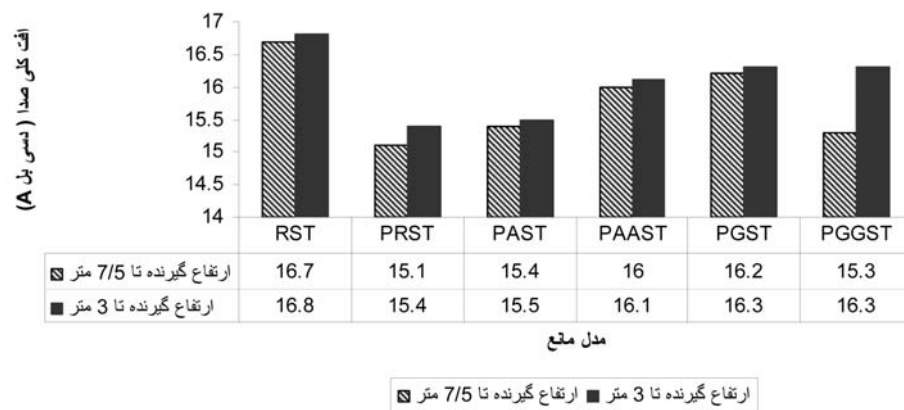
بحث و نتیجه گیری

کنترل صدا با استفاده از سطوح پخش کننده شیاردار در مانع های موازی شیب دار به وسیله ی روش شبیه سازی دو بعدی عنصر مرزی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین کاهش صدای باند پهن در موقعیت شنونده در ۱۱/۳ اکتاوپاندر شبکه ی وزنی A از ۵۰ تا ۴۰۰ هرتز می باشد. عملکرد سه سطح مختلف سفت، جاذب و پخش کننده روی مانع های شیبدار با شیبهای متفاوت نیز ارزیابی شد. همچنین عملکرد مانع های پخش کننده با مانع های سخت و جاذب مقایسه شده است که نتایج به شرح زیر می باشد:

۱- با نصب یک مانع شیبدار در مقابل مانع تکی T شکل شیبدار در میانه طیف در فاصله بین فرکانسهای



شکل ۹- مقایسه عملکرد کلی کلیه مانع های طراحی شده موازی با شیب ۵ درجه در دوسری شنونده های متفاوت بر حسب dB(A)



شکل ۱۰- مقایسه عملکرد کلی کلیه مانع های طراحی شده موازی با شیب ۱۰ درجه در دوسری شنونده های متفاوت بر حسب dB(A)

دهد و همچنین استفاده از سطوح پخش کننده در هر دو مانع بمیزان ۱/۸ دسی بل کار آئی مانع معادل بازتاب دهنده را افزایش می دهد.

۵- اثر شیب در مانع های موازی شیبدار نیز مقایسه گردید و مشخص شد که با افزایش شیب از ۰ تا ۱۰ درجه می توان به میزان زیادی از افت عملکرد در مانع های موازی کاست. و همچنین با افزایش شیب از میزان تاثیر عملکرد سطوح جاذب و همچنین سطوح پخش کننده می کاهش. در این خصوص گرچه عملکرد کلی مانع تکی با شیب ۱۰ درجه به میزان ۰/۳ دسی بل از مانع تکی با شیب ۵ درجه کمتر است ولی مانع موازی معادل بازتاب دهنده با شیب ۱۰ درجه به میزان ۲/۳ دسی بل از مانع موازی بازتاب دهنده معادل با شیب ۵ درجه کار آئی بیشتری دارد. به عبارتی افزایش شیب تاثیر مانع مقابل را بمیزان ۲/۶ دسی بل کاهش داده است. به همین ترتیب کلیه اشکال مختلف مانع های موازی با شیب ۱۰ درجه از مانع های موازی با شیب ۵ و ۰ درجه کار آئی بالاتری را از خود نشان می دهند. در این خصوص بهترین و اقتصادی ترین مانع با میزان افت صدای معادل ۱۶/۳ دسی بل A مانع موازی پخش کننده دار با شیب ۱۰ درجه (مانع مدل PGST) بوده که کار آئی آن فقط به میزان ۰/۵ دسی بل از مانع تکی بازتاب دهنده معادل خود کمتر می باشد.

جاذب روی لبه بالائی مانع شماره ۱ به دلیل کم بودن سطح ماده جاذب تاثیر زیادی در افزایش کار آئی مانع های موازی شیب دار مخصوصا در فرکانس های کم نداشته و تا حدودی در فرکانس های بالا افزایش کار آئی مشاهده گردید. میزان افزایش در افت کلی مانع موازی ساده باز تاب دهنده با این روش بطور متوسط فقط ۰/۱ دسی بل A تعیین شد.

۳- در موانع موازی شیب دار با شیب ۵ درجه، نصب ماده جاذب روی هر دو مانع، سطح جاذب شده مانع ها را افزایش داده و تا حدود زیادی فرکانس های موثر را به سمت فرکانس های پائین تر سوق می دهد. به عبارتی در این دسته از موانع با افزایش سطح جاذب در قسمت های مختلف مانع می توان فرکانس های موثر را به سمت فرکانس های متوسط و پائین سوق داده و در نتیجه عملکرد کلی مانع را بالا برد در این خصوص میزان افزایش متوسط برآورد شده نسبت به مانع معادل موازی بازتاب دهنده ۱/۶ دسی بل A بر آورد گردید. در این دسته از مانع ها میزان بهبود عملکرد تقریباً در کیله فواصل از جمله دور و نزدیک و ارتفاعات مختلف تقریباً یکسان بود.

۴- جهت بهبود عملکرد مانع های موازی شیبدار از سطوح پخش کننده استفاده شد. نتایج بدست آمده در این دسته از مانع ها نشانگر افزایش کار آئی کلی مانع و همچنین در محدوده طیف فرکانسی سطوح شیار دار می باشد. در این خصوص استفاده از سطوح پخش کننده در سطح بالائی مانع شماره ۱ به میزان ۰/۹ دسی بل A کار آئی مانع بازتاب دهنده معادل را افزایش می



16. BS EN 1793-3:1998 (1998). Road traffic noise reducing devices- Test method for determining the acoustic performance, Part 3. Normalized traffic noise spectrum.

منابع

1. Bowlby, W. & Cohn, L. (1986). A model for insertion loss degradation for parallel highway noise barriers. *J Acoust Soc Am.* 80 (3), pp. 855-868.
2. Slutsky, S. & Bertoni, H.L. (1998). Analysis and programs for assessment of absorptive and tilted parallel barriers. *Transportation Research Record* 1176, Washington.
3. Hothersall, D.C. & Crombie, D.H. & Chandler-Wilde, S.N. (1991). The performance of T-shape profile and associated noise barriers. *Applied Acoustics* 32(4), pp.269-281.
4. Ishizuka, T. Fujiwara, K. (2004). Performance of noise barriers with various edge shapes and acoustical conditions. *Applied Acoustic*, 65, pp.125-41.
5. Monazzam, M. R. Lam, Y. W. (2005). Performance of profile single noise barriers covered with quadratic residue diffusers. *Applied Acoustics* 66, pp.709-730.
6. Bowlby, W. (1984). Analysis and Control of multiple reflections between parallel Traffic Noise Barrier. Ph.D dissertation, Vanderbilt University, Nashville, TN
7. Watts G.R. and Godfrey N.S., "Effects on roadside noise levels of sound absorptive materials in noise barriers", *Applied Acoustics* 58, 385-402 (1999).
8. Watts G.R., "Acoustic performance of an Interference -Type noise barrier profile"., *Applied Acoustics* 49, 1-16 (1996).
9. Fujiwara, K. (1990). Sound shielding efficiency of a barrier with soft surface. *Proc. Inter noise*, 90, pp. 343-346.
10. Claudio, C. & Massimo, C. & Lucia, F. (2007). Experimental verification of the acoustic performance of diffusive roadside noise barriers. *Applied acoustics*, 68, pp.1357-1372.
11. Monazzam, M. R. (2005) Application of diffuser surfaces on single profile environmental noise barriers: Evaluation, Theory and optimization. PhD Thesis, University of Salford
12. Delany, M.E. & Bazely, E.N. (1970). Acoustical properties of fibrous absorbent material. *Applied Acoustic*;3(2), pp.105-16.
13. Wu, T. & Cox, T. J. & Lam, Y. W. (2001). From a profiled diffuser to an optimized absorber. *J. Acoust. Soc. Am* 119 (6), pp.3064-3070.
14. Cox, T. J. & D'Antonio, P. (2004). *Acoustic Absorber and Diffusers: Theory, design and application.* (Spon Press, Taylor and rancies Group, London and N.Y. USA)
15. Monazzam, M.R. & Lam, Y.W. (2008). Performance of T-shape barriers with top surface covered with absorptive quadratic residue diffusers. *Applied Acoustics*, 69(2), pp.93-109.