

بررسی کارایی سطوح پخش کننده شیار دار در افزایش بازده آکوستیکی مانع های موازی T شکل

محمد رضا منظم^۱ (مسئول مکاتبات)

mmonazzam@hotmail.com

پروین نصیری^۲

نیلوفر جاوید روزی^۳

تاریخ پذیرش: ۸۶/۲/۳۰

تاریخ دریافت: ۸۵/۱۱/۱۵

این مقاله نتایج تحقیق انجام گرفته در مورد عملکرد آکوستیکی مانع های موازی ساده با سطوح و لبه های پخش کننده شیاردار را ارائه می نماید. در این تحقیق روش شبیه سازی عددی سطحی به منظور پیش بینی افت صدا در مانع ها به کار گرفته شده است. میزان افت صدا در مراکز باندهای ۱/۳ اکتاو باند در محل گیرنده های مختلف در فواصل بیست تا صد متر از سطح زمین تا ارتفاع ۷/۵ متر در مانع های پخش کننده دار برآورد و با نتایج مانع های موازی معادل با پوشش های جاذب و همچنین سخت مقایسه گردید. یکی از موانع در ساختار مانع های موازی همواره به شکل T انتخاب شده است. در این تحقیق همچنین میزان افت کلی صدا در شبکه وزنی A برای گیرنده های مختلف در مانع های موازی طراحی شده محاسبه گردید. استفاده از سطوح پخش کننده شیار دار روی لبه های سطوح و سطوح جانبی همه انواع مدل های مانع های موازی ساده طراحی شده در این تحقیق باعث افزایش عملکرد مانع های معادل با سطوح سخت گردید. همچنین مشخص گردید با کاهش فرکانس طراحی سطوح پخش کننده می توان عملکرد کلی مانع های موازی پخش کننده دار را افزایش داد. موثرترین مدل مانع های موازی ساده طراحی شده در این تحقیق برای صدای ترافیک ، مانع موازی پخش کننده دار با فرکانس طراحی ۴۰۰ هرتز می باشد. روی هم رفته، عملکرد افزایشی موانع موازی پخش کننده دار در مقایسه با مانع موازی معادل سخت آن ها ۵/۸ دسی بل پیش بینی شده است. هرچند کاهش عرض سطوح پخش کننده مورد استفاده در موانع موازی به کار گرفته شده ، ضریب جذب سطوح را بهبود بخشیده است، اما این افزایش ضریب جذب، تاثیر شیارها را در کارایی آکوستیکی مانع پخش کننده دار کاهش داده و روی هم رفته ، افت صدای مانع ها را در شبکه وزنی A کاهش می دهد.

واژه های کلیدی: مانع موازی ، پخش کننده ، شبیه سازی عددی سطحی

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

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

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

مقدمه

دریافتند که مانع هایی که ۱۸ متر فاصله دارند به طور میانگین، افت عبور را به همراه استفاده از مواد جاذب، تقریباً ۶ دسی بل در همان فاصله افزایش می دهند(۲).

در سال ۱۹۸۰، Hjak با آزمایش مانع های موازی ۳ متری که ۷۴ متر از هم فاصله داشتند، هیچ کاهشی را در عملکرد آکوستیکی مشاهده نکرد. این مساله به علت فاصله ی زیاد بین آن ها توصیف شد و با توجه به مطالعه ی Slutsky و Bertonی در کاهش اثربخشی جاذب ها و مانع های سفت با افزایش فاصله، چنین نتیجه ای منطقی به نظر می رسد(۴).

در سال ۱۹۸۶، bowlby یک برنامه معتبر را معرفی کرد که کاهش افت عبور را هنگامی که مانع های موازی صوتی در جهت مخالف هم در بزرگراه ها قرار می گرفتند، پیش بینی می کرد. مطالعه نشان داد که هر کاهشی در عملکرد می تواند با استفاده از مانع های صوتی جاذب ارزیابی شود(۵). یک روش رایج در کاهش انعکاس های متعدد، استفاده از مواد جاذب صوتی است. اخیراً تحقیقات بسیاری در زمینه پیشرفت عملکرد مانع های موازی صوتی به وسیله ترکیب عناصر جاذب انجام گرفته است. در این مورد Watts و Godfrey با یک تحقیق اندازه گیری، پیشرفت با اهمیتی را با تعویض سطح مانع ها از حالت انعکاسی به جاذب های صوتی نشان دادند(۶).

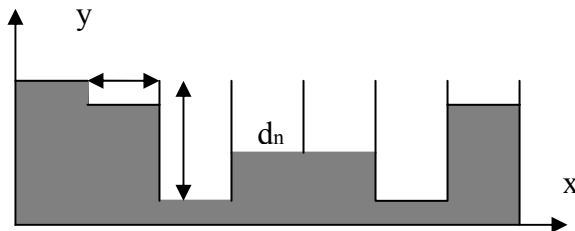
یکی از بیشترین حالت های انعکاس متعدد، اثر ساختمان های متعدد بر عملکرد مانع ها است. در این مورد یک مدل موجی توسط Li و Tang برای پیش بینی افت عبور مانع هایی که جلوی ساختمان های بلند قرار می گرفتند معرفی شد. این مدل شامل تاثیر پراش و انعکاس های متعدد بود که نقش مهمی را در تعیین تراز فشار صوت کلی گیرنده هایی که بین ساختمان و مانع قرار داشتند، ایفا می کرد. آن ها یک ارتباط منطقی بین محدوده فرکانسی پهن و اندازه گیری های زمینه ای نشان دادند و با روش شبیه سازی عددی سطحی مقایسه کردند. (۷)

استفاده از موانع صوتی جهت کنترل صدای ترافیک تا به حال موضوع مطالعات زیادی بوده است(۱). ولی گزارش های معدودی در مورد مانع های صوتی موازی در اشکال گوناگون وجود دارد. در هر حال اهمیت موضوع کنترل صدای ترافیکی رو به افزایش است. در این خصوص مشکل انعکاس های متعدد صدا در موانع نصب شده در دو طرف بزرگراه ها اولویت اول تحقیقات FHWA^۱ را به خود اختصاص داده است. انعکاس های متعدد صدا بین دو سطح موازی مانع های صوتی یا دیوارهای نگه دارنده در هر دو طرف جاده می تواند به طور بالقوه، کارایی مانع های تکی را کاهش دهد. به هر حال تاثیر انعکاس های متعدد بین دو مانع صوتی موازی در عملکرد آکوستیک هر کدام از موانع یک موضوع قابل توجه است.

تحقیقات زیست محیطی نشان می دهد که انعکاسات متعدد ایجاد شده در بین مانع های موازی موجب افزایش معنی دار تراز صوت در پشت موانع می گردد. در سال ۱۹۹۰ Nelson و Tobutt در مورد اثربخشی عملکرد جاذب ها در مانع های موازی با ارتفاع ۳ متر و فاصله ۴۵ متر از یکدیگر مطالعه کرده و نتایج را با استفاده از مدل های کامپیوتری آرایه نمودند. تفاوت افت عبور، با تاثیر جاذب ها و بدون آن ها در فضای پشت مانع هایی که بین ۷۰-۲۰ متر طول و بیشتر از ۴/۵ متر ارتفاع داشتند، ۳-۱/۵ دسی بل بود. (۱)

چند سال بعد، Bertonی و Slutsky مدل خاصی را برای پیش بینی تاثیر رفتار جاذب ها و موانع زاویه داری که تحت عنوان مانع های موازی به کار برده می شدند، ایجاد کردند. آن ها همچنین برتری استفاده از مواد جاذب را در سطوح مانع های صوتی ترافیکی اثبات کردند. در این مورد آن ها کشف کردند که مانع های با ارتفاع ۴/۵ متر و فاصله ۴۵ متر از یکدیگر با مواد جاذب، تراز صدا را در ۴۵ متری پشت مانع، ۴/۵ دسی بل کاهش می دهند. هرچند که این تحقیق ارتفاع گیرنده را به دست نمی دهد، اما به طور مطلوبی با نتایج تحقیق Nelson و Tobutt قابل مقایسه است. آن ها همچنین

درجه) پخش نماید. شکل ۱ سطح مقطع یک بعدی یک QRD با عدد اول ۷ را نشان می دهد.



شکل ۱- سطح مقطع یک بعدی یک QRD با عدد اول ۷

همان گونه که در شکل نیز دیده می شود هر پخش کننده دارای تعداد مشخصی شیار می باشد که این تعداد را عدد اول انتخابی توسط طراح تعیین می کند. در شکل ۱ تعداد شیارها ۷ عدد می باشد که البته عمق یکی از شیارها صفر است. لازم به ذکر است که در این نوع پخش کننده (یعنی QRD) همواره عمق یکی از شیارها صفر می باشد. که البته برخی از طراحان این شیار را به دو نیم تقسیم کرده و در دو طرف پخش کننده قرار می دهند که در این تحقیق این کار صورت نگرفته و در تمام موارد همان شکل اصلی پخش کننده استفاده گردیده است. در هر پخش کننده یک شماره ترتیب^۲ تعریف می شود که با داشتن این شماره در واقع می توان نحوه قرارگیری شیارها کنار همدیگر را طراحی نمود. البته با داشتن همین نحوه ترتیب می توان با استفاده از روابط بعدی عمق هر شیار را با توجه به فرکانس طراحی پخش کننده تعیین نمود. بر اساس تعریف شماره ترتیب از فرمول زیر به دست می آید:

$$s_n = n^2 \bmod N \quad \text{معادله ۱:}$$

که در آن N عدد اول انتخابی توسط طراح می باشد که در واقع تعداد شیار هر پخش کننده نیز می باشد و \bmod یک عمل ریاضی که می توان آن را هم به طور دستی و هم با استفاده از نرم افزارهای ریاضی تعیین نمود. در واقع \bmod حداقل باقی مانده غیر منفی است. به عنوان مثال برای موقعی

Li و همکارانش همچنین در سال ۲۰۰۸ یک مدل اشعه ای را برای پیش بینی افت مانع های موازی سخت که در جلوی خط ساختمان های بلند یا در خیابان قرار می گرفتند، اعتبارسنجی کردند(۸).

پس از بررسی تاثیر مانع های انعکاسی، مانع های راکتیو نیز به وسیله Fujiwara در سال ۱۹۹۰ معرفی شد. او کارایی مانع های نرم را در محدوده فرکانس به وسیله پایین آوردن فشار سطحی بیش از ۱۰ دسی بل افزایش داد(۹).

کاربرد سطوح پخش کننده شیار دار بر روی مانع های انعکاسی توسط منظم و Lam نیز بررسی شده است که بهترین شکل آن، استفاده از نوع T شکل است. به هر حال استفاده از سطوح پخش کننده که صدا را در جهات بسیاری با افت انرژی کم منتشر می کند، به خوبی شناخته شده است. همچنین مطالعات معدودی نشان داده است که آن ها می توانند مثل یک جاذب عمل کنند(۱۰).

در این گزارش عملکرد مانع های صوتی موازی ساده با کاربرد سطوح پخش کننده شیار دار با پخش کننده با عمق متناوب بر اساس حداقل باقی مانده توان دوم اعداد اول (QRD^۱) بر بالای سطوح و کنار جاده ها با طراحی فرکانس و خصوصیات متفاوت با استفاده از روش شبیه سازی عددی عنصر مرزی دو بعدی پیش بینی شده است. افت عبور در فرکانس مرکزی ۱/۳ اکتاو باند محاسبه شده است. نتایج همچنین با انعکاس دهنده ها و مانع های موازی ساده جاذب دار بر سطوح سخت مقایسه گردیده است.

پخش کننده با تناوب عمق بر اساس حداقل باقی مانده

توان دوم اعداد اول

یکی از مشهورترین پخش کنند های شرودر QRD است که تناوب عمق شیارها یا شیارها بر اساس حداقل باقی مانده توان دوم اعداد اول می باشد. به طور ایده آل یک QRD باید سطح موج صوتی رابه طور کاملاً یکنواخت در محدوده فرکانس طراحی خود در یک میدان زاویه وسیعی (تقریباً ۱۸۰

این پخش کننده دیگر عمل نخواهد کرد چون در طول موج های پایین موج تخت در داخل شیار به موج کروی تبدیل خواهد شد. لذا حداقل طول موج (محدوده عملکردی پخش کننده) به طور تقریبی از رابطه زیر تعیین می شود.

$$\lambda_{\min} = 2W, \quad \text{معادله ۳:}$$

که در آن W عرض شیار می باشد. (شکل ۱).
به منظور کسب اطلاعات بیشتر در زمینه ی جزئیات طراحی، پخش کننده ها و مواد جاذب در این نوع سطوح می توانید به منابع ۱۱ و ۱۲ رجوع کنید.

روش های مورد استفاده در تحقیق

در این تحقیق جهت برآورد کارایی آکوستیکی موانع موازی از روش مدل سازی عددی عنصر مرزی دو بعدی استفاده گردید. در این مدل فرض بر این است که مانع صوتی موازی ساده، بی نهایت بلند بوده و موازی منبع خطی ادامه دارد. همچنین فرض بر این است که خصوصیات آکوستیکی سطح مانع در طول مسیر تغییر نمی کند. تنها تغییرات در عرض می باشد. با فرضیات فوق حال می توان مسئله را به یک مسئله دو بعدی تقلیل و در محورهای مختصات دو بعدی آن را مورد بررسی قرار داد. در این شرایط محور Z موازی طول مانع و همچنین منبع خطی خواهد بود و کلیه خصوصیات آکوستیکی مانع و شکل ظاهری آن در طول این محور ثابت می باشد. اطلاعات کامل این روش در منبع شماره ۱۰ ارایه شده است.

در این تحقیق همواره از دو مانع موازی که به فاصله ۴۰ متری از یکدیگر قرار گرفته اند استفاده شده است. فاصله ۴۰ متر بین دو مانع به خوبی می تواند شرایط واقعی مانع های موازی در بزرگراه ها را مدل سازی نماید. ضمناً سطح زمین و تمام سطوح تا زمانی که اختصاصاً عنوان نشده به صورت سفت (مقاومت آکوستیکی بی نهایت) در نظر گرفته شده است. یکی از دو مانع مورد استفاده همواره T شکل است و به عنوان مانع شماره ۱ معرفی خواهد گردید. محل قرار گیری این مانع در مبدا مختصات می باشد. بقیه فواصل در سمت راست با مختصات مثبت و یا در قسمت منفی با مختصات منفی (جهت

که N برابر ۷ باشد شماره ترتیب عبارت خواهد بود از $S_n = \{0,1,4,2,2,4,1\}$ و هنگامی که N برابر ۱۱ باشد شماره ترتیب برابر است با $S_n = \{0,1,4,9,5,3,3,5,9,4,1\}$ اعداد به دست آمده در شماره ترتیب فقط یک عدد بوده و بمعنی عمق شیار های مختلف نمی باشند بلکه نسبت آن ها را تعیین می کنند. به عنوان مثال اگر شیاری که شماره یک شماره ترتیب آن است عمقی برابر ۲ سانتی متر داشته باشد، شیار بعدی با شماره ترتیب ۴، عمقی ۴ برابر شیار با شماره ترتیب ۱ خواهد داشت یعنی عمق آن ۸ سانتی متر خواهد بود.

پخش کننده به عنوان یک مجموعه عمل کننده در یک مجموعه فرکانسی می باشد. هر پخش کننده دارای یک فرکانس طراحی می باشد که در واقع به عنوان حداقل فرکانس عملکردی این پخش کننده تلقی می شود. نکته ضروری و لازم به ذکر در اینجا اینست که این فرکانس خیلی قطعی نیست و فقط به عنوان یک محدوده عملکرد تلقی می شود. با استفاده از فرکانس طراحی f_0 که البته معمولاً راحت تر است که طول موج مد نظر قرار گیرد λ_0 می توان عمق هر یک از شیار ها را به شکل زیر تعیین نمود:

$$d_n = \frac{S_n \lambda_n}{2N}, \quad \text{معادله ۲:}$$

که در آن S_n شماره ترتیب که قبلاً نحوه تعیین آن شرح داده شد، λ_n طول موج طراحی برای شیار مورد نظر (حداکثر طول موجی که این شیار در آن به عنوان پخش کننده عمل خواهد کرد) و N نیز تعداد شیار های پخش کننده و یا عدد اول انتخاب شده توسط طراح می باشد. بنابر این عمق شیار ها بین صفر (وقتی شماره ترتیب صفر است) و تقریباً نصف طول موج طراحی متغیر می باشد. در واقع فرکانس طراحی اولین فرکانسی است که پخش کننده در آن فرکانس سطح موج پخش شده یکنواختی را ایجاد می نماید. ذکر این نکته نیز ضروری است که طراحی پخش کننده نیز تا حدی درست است که درون شیار ها موج تخت در حال انتشار باشد به عبارتی از یک طول موج به پایین تر که بسته به عرض شیار خواهد داشت

$$IL = -20 \log_{10} \left| \frac{p_b}{p_f} \right| \quad (dB) \quad \text{معادله ۴}$$

که در آن p_b میزان فشار صوت وارد شده از منبع به محل گیرنده در حالی که مانع صوتی در بین منبع و گیرنده قرار دارد و p_f میزان فشار صوت ناشی از منبع صوت در محل گیرنده در صورتی که مانع صوتی بین منبع و گیرنده وجود نداشته باشد.

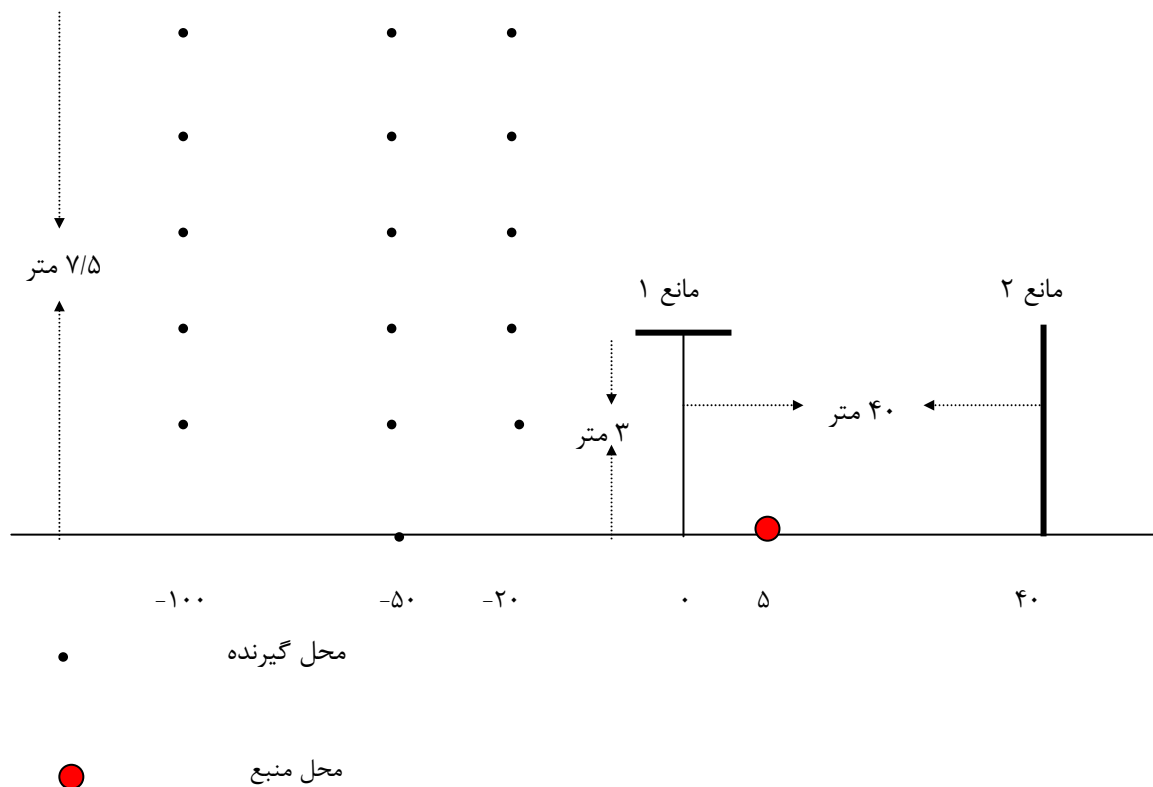
نتایج

در این نوع مانع موازی هر دو مانع استفاده شده عمود بر سطح زمین می باشند. مانع شماره ۱ یک مانع T شکل است که در مبدا مختصات قرار گرفته و مانع مقابل آن یک مانع ساده که در فاصله ۴۰ متری سمت راست مانع شماره ۱ قرار گرفته است. شمای کلی مانع موازی ساده در شکل ۲ نشان داده شده است.

منفی محور X ها) معرفی خواهند شد. علت استفاده از مانع T شکل به عنوان یکی از مانع های ثابت، عملکرد خوب این مانع در تحقیقات قبلی به عنوان مانع تکی است. لذا در این تحقیق به عنوان مانع موازی مورد تحقیق قرار می گیرد.

ضمناً محل منبع صوتی باید تا حد امکان به زمین نزدیک باشد. علت آن هم اجتناب از مشکل تداخل امواج مسقیم و غیر مستقیم تابش شده از منبع و تصویر آن می باشد. شاید در این گونه مدل سازی ها بهتر است منبع روی زمین قرار گیرد تا از آن کاملاً اجتناب شود ولی در این طرح چون سطح زمین حد فاصل بین دو مانع نیز باید مدل می شد، لذا منبع به میزان ۲ سانتی متر از سطح زمین بالاتر در نظر گرفته شد. (البته در عمل معمولاً منبع اصلی کمی بالاتر از این میزان نسبت به سطح زمین است). به هر شکل در تمامی مدل های طراحی شده محل منبع ثابت در نظر گرفته شده و مختصات منبع صوتی مورد استفاده همواره (۵، ۰/۰۲) می باشد. یعنی منبع به فاصله ۵ متر از منبع شماره ۱ و ۲ سانتی متر بالاتر از سطح زمین می باشد.

فرکانس های مورد مطالعه از ۵۰ تا ۴۰۰۰ هرتز در مراکز ۱/۳ اکتاو باند می باشد. میزان افت صدا در هر فرکانس از رابطه زیر به دست خواهد آمد:



شکل ۲- شمای کلی مدل مانع موازی ساده

برای مانع تکی T شکل همخوانی دارد. تعداد ۱۶ نقطه در سمت چپ مانع شماره ۱ به عنوان گیرنده صوتی در نظر گرفته شده که از سطح زمین تا ارتفاع ۷/۵ متری یعنی تقریباً یک ساختمان ۳ طبقه مدل شده است. فاصله گیرنده ها از ۲۰ تا ۱۰۰ متر در نظر گرفته شده که بهترین فواصل جهت مدل کردن شرایط واقعی است. همان طور که قبلاً نیز ذکر شده محل منبع در مختصات (۰/۲ و ۵) می باشد. مختصات محل گیرنده های مشخص شده در شکل فوق در جدول ذیل آورده شده است.

همان گونه که در شکل نشان داده شده است ارتفاع کلی هر دو مانع با یکدیگر یکسان و ۳ متر می باشد. ضخامت پایه در مانع شماره یک ۱۰ سانتی متر و در مانع شماره دو ۳۰ سانتی متر در نظر گرفته شده است. ضخامت قسمت T (لبه بالایی) مانع شماره ۱ نیز ۳۰ سانتی متر است. علت آن، این است که جهت نصب پخش کننده در برخی موارد تا حدود نزدیک به ۳۰ سانتی متر نیاز به ایجاد شیار روی این سطوح می باشد. لذا به منظور حفظ یکنواختی در کلیه موارد این ضخامت حفظ گردیده است. طول لبه بالایی مانع شماره یک، ۱ متر در نظر گرفته شده که با بسیاری از تحقیقات انجام شده

جدول ۱- مختصات محل گیرنده های مورد بررسی در این تحقیق

شماره نقاط	محور X ها	محور y ها	شماره نقاط	محور X ها	محور y ها
۱	-۵۰	۰	۹	-۵۰	۴/۵
۲	-۲۰	۱/۵	۱۰	-۱۰۰	۴/۵
۳	-۵۰	۱/۵	۱۱	-۲۰	۶
۴	-۱۰۰	۱/۵	۱۲	-۵۰	۶
۵	-۲۰	۳	۱۳	-۱۰۰	۶
۶	-۵۰	۳	۱۴	-۲۰	۷/۵
۷	-۱۰۰	۳	۱۵	-۵۰	۷/۵
۸	-۲۰	۴/۵	۱۶	-۱۰۰	۷/۵

تمامی پخش کننده ها دارای طول کلی یکسان هستند گرچه طراحی آن ها از نظر تعداد شیار، عمق و عرض شیار متفاوت است. در واقع طراحی های مختلف مورد استفاده قرار گرفته اند تا تاثیر عوامل مختلف اکوستیکی پخش کننده های صوتی روی مانع ها مورد بررسی قرار گیرد.

عمیق ترین شیار در بین مانع های شیار دار طراحی شده ۰/۲۴۵ متر بوده که مربوط به پخش کننده های با فرکانس طراحی ۴۰۰ هرتز است.

با شرایط کلی ذکر شده مدل های متفاوتی از مانع های موازی ایجاد گردید که خصوصیات و جزئیات طراحی آن ها در جدول ۲ ارائه گردیده است.

سطوح مورد استفاده در این مانع ها را می توان به سه دسته زیر تقسیم نمود:

۱. سطوح سخت (صلب): در این دسته کلیه سطوح دارای ادمیتانس صفر می اشد.

۲. سطوح جاذب: در این دسته لبه بالایی انع با استفاده از مواد جاذب با مقاومت شاره ای 20000 Ns/m^4 و ضخامتی معادل ۰/۲۴۵ متر پوشانده شده است. این ضخامت معادل بیشترین عمق شیارها در مانع های شیار دار می باشند. ضمناً سطح ماده جاذب نیز به اندازه سطح کلی سطوح پخش کننده خواهد بود.

۳. مانع های شیاردار: در این دسته از مانعها سطوح فوقانی مانع های مورد اشاره با استفاده از سطوح شیار دارپخش کننده QRD پوشانده شده است.

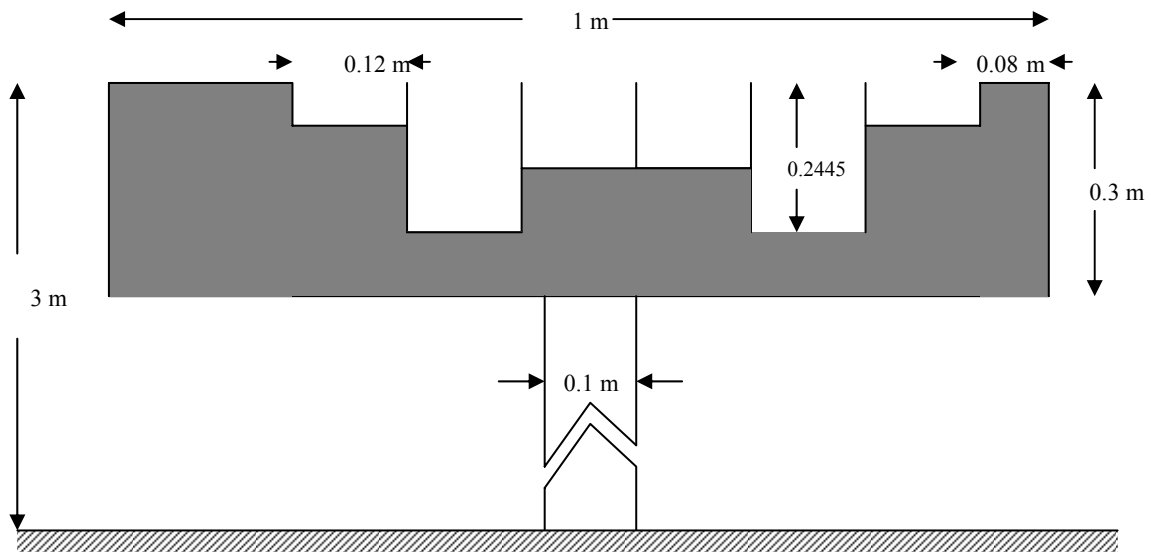
جدول ۲- خصوصیات و جزئیات مدل های متفاوت مانع های موازی ساده استفاده شده در این تحقیق

مدل	مانع ۱	مانع ۲
PT	سفت (منعکس کننده)	سفت (منعکس کننده)
PAT	قسمت بالایی T با ماده جاذب پوشیده شده	سفت (منعکس کننده)
PAAT	قسمت بالایی T با ماده جاذب پوشیده شده	قسمت رو به منبع با ماده جاذب پوشانده شده
PG	قسمت بالایی T با پخش کننده پوشیده شده ، فرکانس طراحی ۴۰۰ هرتز و عرض شیارها ۱۲ سانتی متر است	سفت (منعکس کننده)
PGA	قسمت بالایی T با پخش کننده پوشیده شده ، فرکانس طراحی ۴۰۰ هرتز و عرض شیارها ۱۲ سانتی متر است	قسمت رو به منبع با ۳ تا پخش کننده پوشانده شده، فرکانس طراحی ۱۰۰۰ هرتز و عرض شیار ۱۲ سانتی متر
PGG	قسمت بالایی T با پخش کننده پوشیده شده ، فرکانس طراحی ۴۰۰ هرتز و عرض شیارها ۱۲ سانتی متر است	قسمت رو به منبع با ۳ تا پخش کننده پوشانده شده، فرکانس طراحی ۴۰۰ هرتز و عرض شیار ۱۲ سانتی متر
PAA	قسمت بالایی T با پخش کننده پوشیده شده ، فرکانس طراحی ۱۰۰۰ هرتز و عرض شیارها ۱۲ سانتی متر است	قسمت رو به منبع با ۳ تا پخش کننده پوشانده شده، فرکانس طراحی ۱۰۰۰ هرتز و عرض شیار ۱۲ سانتی متر
PHH	قسمت بالایی T با ۲ تا پخش کننده پوشیده شده ، فرکانس طراحی ۴۰۰ هرتز و عرض شیارها ۶ سانتی متر است	قسمت رو به منبع با ۶ تا پخش کننده پوشانده شده، فرکانس طراحی ۴۰۰ هرتز و عرض شیار ۶ سانتی متر
PII	قسمت بالایی T با ۶ تا پخش کننده پوشیده شده ، فرکانس طراحی ۴۰۰ هرتز و عرض شیارها ۲ سانتی متر است	قسمت رو به منبع با ۱۲ تا پخش کننده پوشانده شده، فرکانس طراحی ۴۰۰ هرتز و عرض شیار ۲ سانتی متر

توضیح ۳: ضخامت ماده جاذب مورد استفاده با عمیق ترین شیار پخش کننده مورد استفاده در هر مدل برابر است. مشخصات مانع شماره ۱ یکی از مدل های مانع موازی شیاردار به نام مانع مدل PG در شکل ۳ نشان داده شده و بقیه مانع های شماره ۱ در چارچوبی شبیه این مانع قرار گرفته اند.

توضیح ۱: در هر حالت به هر میزان که اضافه سطح چه در لبه بالایی مانع T شکل و چه در قسمت رو به منبع مانع بعد از نصب پخش کننده داشته باشیم میزان اضافی از ماده سفت (بازتاب دهنده) استفاده شده است.

توضیح ۲: میزان سطح کل ماده جاذب مورد استفاده در مدل هایی که ماده جاذب دار هستند با سطح کل پخش کننده مورد استفاده یکسان است.

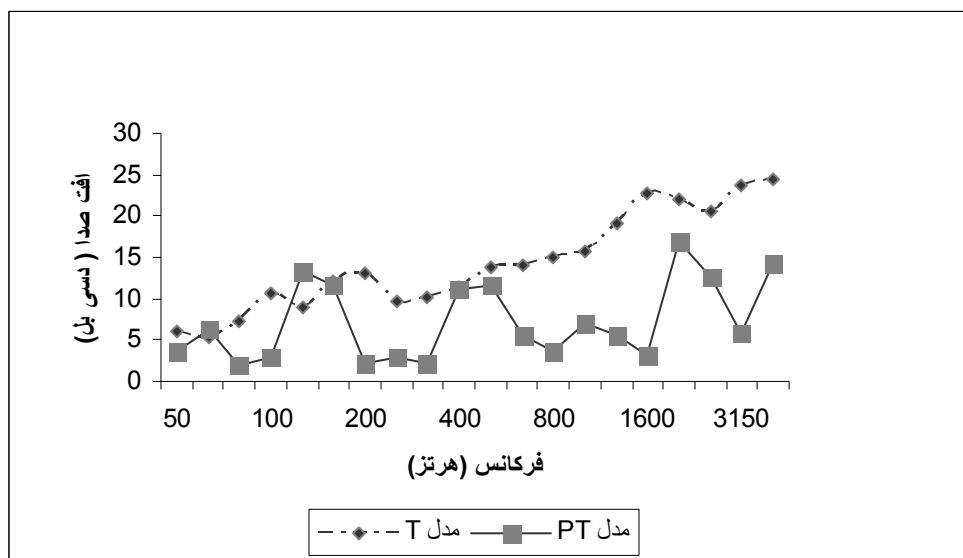


شکل ۳- ابعاد یک مانع T شکل با یک پخش کننده با $N=7$ و فرکانس طراحی $f_r = 400$ هرتز.

اثر مانع دوم بر مانع تکی T شکل

همان گونه که از قبل پیش بینی می شد قرار دادن یک مانع به موازات هر مانع صوتی دیگر می تواند به شدت در کارآیی آن تاثیر منفی ایفا نماید. در این خصوص در ابتدای کار تحقیق لازم بود هم به منظور چک کردن عملکرد مدل و هم وضعیت تاثیر مانع شماره ۲ در مانع شماره ۱ (مانع T شکل) تحقیق لازم صورت پذیرد. لذا به این منظور مقایسه عملکرد

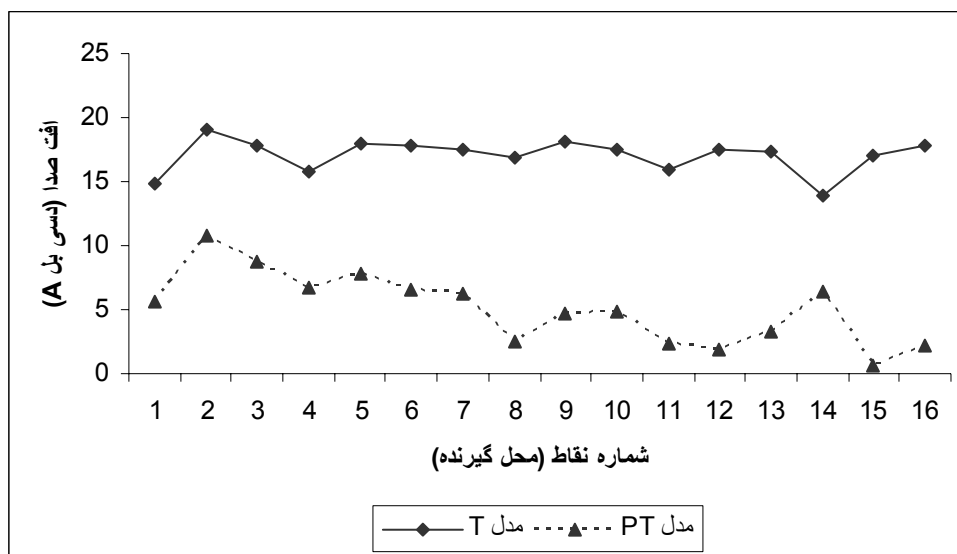
مانع موازی ساده PT با مانع T شکل تکی که دقیقاً شرایط مانع شماره ۱ را در مدل مانع موازی PT دارا می باشد در فرکانس های ۱/۳ اکتاو باند در محل گیرنده شماره ۱ مختصات (۰، -۵۰) در شکل ۴ نشان داده شده است. در مانع مدل T تمام مشخصات ابعادی، جنس سطوح و همچنین محل قرار گیری منبع صوتی دقیقاً همچون مانع موازی مدل PT می باشد.



شکل ۴- مقایسه افت صدا در دو مانع مدل T و PT در محل گیرنده (۰، -۵۰)

وانعکاسی به وجود آید و نتیجتاً کارایی در این فرکانس و مضارب زوج آن مادامی که تاثیرات مخرب مضارب فرد $1/4$ طول موج غالب نباشد بسیار کاهش یافته است. بدیهی است تغییر در محل منبع و یا فاصله دو مانع و یا ارتفاع آن ها محل این نقاط کاهش شدید کارایی مانع تکی را تغییر خواهد داد. در فرکانس 125 هرتز اختلاف فاصله مستقیم و غیر مستقیم حدود 100 برابر $1/4$ طول موج است که می تواند تاثیر مخرب داشته و به همین دلیل افزایش عملکرد مانع علی رغم وجود مانع شماره 2 دیده می شود. بهتر است جهت مقایسه این موانع با یکدیگر تراز کلی صدا را در شبکه A معیار قرار داده و آن گاه در نقاط مختلف این مقایسه را انجام داد. این کار در این تحقیق انجام یافته و نتایج آن برای دو مانع مدل T و مدل PT در شکل 5 ارایه شده است.

همان گونه که در شکل به وضوح دیده می شود، تقریباً در تمام فرکانس ها به جز فرکانس 125 هرتز کاهش شدید در کارایی مانع دیده می شود. با افزایش فرکانس تاثیرات منفی عملکرد مانع شماره 2 بر مانع شماره 1 در مانع موازی مدل PT افزایش می یابد. علت کاهش اضافی ایجاد شده در عملکرد مانع موازی در فرکانس های بالاتر به دلیل افزایش احتمال تاثیرات سازنده امواج مستقیم و غیر مستقیم در فرکانس های بالاتر می باشد. این امر کاملاً پذیرفته شده و به راحتی قابل توجیه است. 50 هرتز طول موجی 10 برابر اختلاف فاصله موج مستقیم از منبع تا لبه بالایی مانع اول و متوسط فاصله موج انعکاسی از منبع و از طریق مانع شماره 2 تا لبه بالایی مانع شماره 1 دارا می باشد. این امر باعث گردیده تا در این فرکانس و مضارب زوجی از این فرکانس ترکیب سازنده ای بین دو موج مستقیم



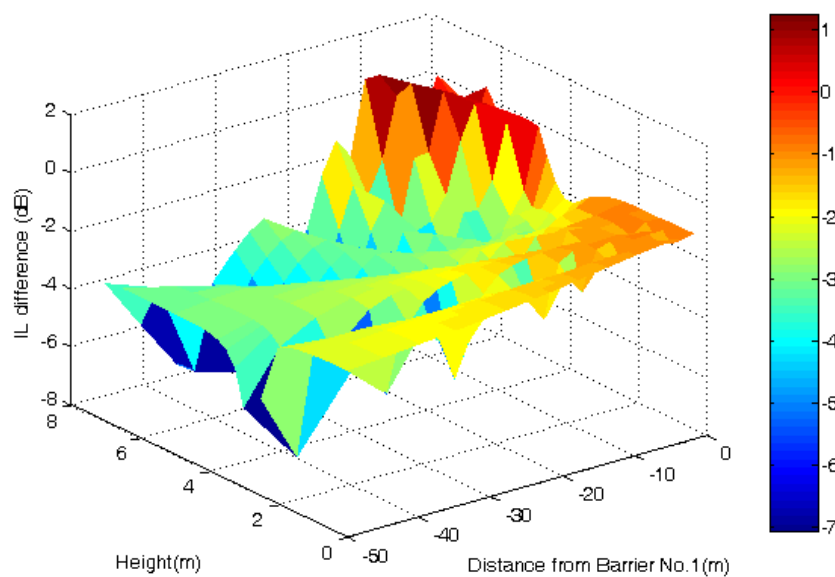
شکل ۵ - مقایسه افت صدا بر حسب دسی بل A در دو مانع مدل T و PT در محل گیرنده های مختلف

رسید. که این خود نشان دهنده میزان و شدت تاثیرات منفی مانع های اضافی در مقابل مانع های تکی می باشد. نکته قابل ذکر دیگر این است که با افزایش ارتفاع گیرنده از $1/5$ متر به بالا میزان افت ایجاد شده در مانع موازی نسبت به مانع تکی افزایش پیدا می کند. همان طور که در شکل 5 دیده می شود نتایج نقطه شماره 14 استثنا بوده که این امر فقط به شرایط خاص هندسی و فاصله این نقطه با مانع شماره 2 و همچنین

نتایج به وضوح نشان می دهد که تقریباً در تمام نقاط گیرنده های مورد بررسی در این بخش از تحقیق کاهش محسوسی در عملکرد مانع ایجاد می شود. در میدان وسیعی پشت مانع شماره 1 به طور متوسط حدود 12 دسی بل A کاهش کارایی در عملکرد مانع T شکل بعد از نصب یک مانع دیگر در ضلع مقابل بزرگراه ایجاد خواهد شد. به عبارت دیگر تقریباً کارایی مانع تکی T شکل به $1/3$ اندازه اولیه خود خواهد

با مراجعه به اشکال ۴ و ۵ یکی از فرکانس‌هایی که تقریباً کمترین تاثیر مانع موازی در نقاط گیرنده مورد بررسی در دو شکل یاد شده می‌باشد، فرکانس ۵۰۰ هرتز است که همچنین این فرکانس یکی از فرکانس‌های عمده تشکیل دهنده صدای ترافیک می‌باشد. لذا در طول این تحقیق این فرکانس جهت بررسی وضعیت عملکرد مانع‌های متفاوت در میدان وسیعی در پشت مانع شماره ۱ انتخاب گردید. در این فرکانس در ۴۰۰ نقطه پشت مانع شماره ۱ از فاصله ۲ متری تا ۵۰ متری در ارتفاع‌های صفر تا ۷ متری از سطح زمین عملکرد کلیه مانع‌ها برآورد شد که نتیجه مقایسه عملکرد مانع تکی T شکل با مانع موازی مدل PT در شکل ۶ شکارایه شده است.

تاثیرات مخرب امواج تابشی و انعکاسی در مانع شماره ۲ و تصویر گیرنده می‌باشد. همانطور که دیده می‌شود با جابه‌جایی این نقطه از فاصله ۲۰ متری به فاصله ۵۰ متری این تاثیرات مخرب دیده نشده و افت کارایی مانع موازی همچنان دیده شده و تقریباً بیشترین افت کارایی نیز در همین نقطه دیده می‌شود. همان‌گونه که دیده می‌شود به جز در محل گیرنده شماره ۱۴ به دلیل شرایط خاص ابعادی در سایر موارد با افزایش ارتفاع و همچنین فاصله از مانع، میزان تاثیر مانع شماره ۲ روی مانع T شکل تکی افزایش پیدا می‌کند. این امر در بحث کنترل صدای ترافیک اهمیت ویژه‌ای دارد. چون معمولاً فاصله مناطق مسکونی از بزرگراه نسبتاً بیشتر است و ارتفاع آن‌ها نیز معمولاً زیاد است.



شکل ۶- میزان تغییر در افت صدا در فرکانس ۵۰۰ هرتز در مانع مدل T بعد از نصب مانع شماره ۲ در مانع موازی مدل PT در

میدان وسیعی پشت مانع مدل T

موازی قابل توجه است، لذا با تغییر در فاصله بین دو مانع قطعاً این نتیجه حاصل نخواهد گردید. نتیجه واضح در میدان وسیعی پشت مانع شماره ۱ در فواصل دورتر مخصوصاً در ارتفاعات بالاتر این است که در این مناطق تا میزان ۷ دسی بل کاهش کارایی در فرکانس ۵۰۰ هرتز دیده می‌شود. لازم به یاد آوری

همان‌گونه که در شکل دیده می‌شود در فواصل بسیار نزدیک به مانع در این فرکانس تاثیر منفی مانع شماره ۲ در مانع موازی مدل PT معنی‌دار نبوده و حتی در ارتفاعات تا حدودی افزایش کارایی نیز در این فرکانس ایجاد گردیده که باز با تاثیرات مخرب امواج مستقیم و انعکاسی در این شرایط مانع

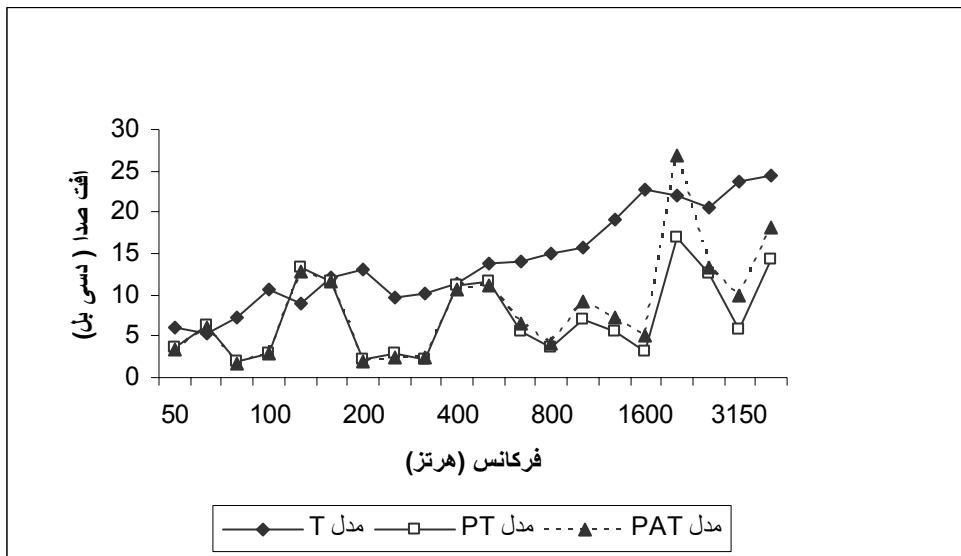
است لذا پیش بینی می شود که با این مدل بتوان افزایش کارایی خوبی را در این دسته از موانع ایجاد کرد.

در شکل ۷ عملکرد مانع موازی مدل PAT (مانع موازی که در آن لبه بالایی مانع شماره ۱ با ماده جاذب پوشانده شده است) با کارایی مانع موازی PT و یک مانع تکی T شکل در فرکانس های ۱/۳ اکتاو باند در محل گیرنده شماره ۱ مقایسه شده است. همان طور که در شکل دیده می شود به جز در فرکانس های بالاتر از ۱۰۰۰ هرتز تقریباً استفاده از مواد جاذب در سطح فوقانی مانع شماره ۱ هیچ گونه افزایش قابل ملاحظه ای در مانع موازی مدل PT ایجاد نمی کند. این خود نشانگر این نکته است که تاثیر سطح داخلی مانع شماره ۲ همچنان در این دسته از موانع غالب بوده و حتی تاثیرات سازنده و مخرب (انتخابی بودن عملکرد مانع های موازی در فرکانس های مختلف) امواج انعکاسی نیز تقریباً ثابت مانده است. بهترین پاسخ مربوط به فرکانس ۲۰۰۰ هرتز می باشد که در حالت مانع موازی منعکس کننده نیز به دلیل تداخل های مخرب در این فرکانس کارایی مانع موازی از فرکانس های جانبی خود بسیار بالاتر بوده است. لذا می توان این گونه نتیجه گرفت که لبه بالایی مانع T شکل با عنایت به ابعادی که دارد در فرکانس ۲۰۰۰ هرتز در این شکل از مانعها موثر بوده است بگونه ای که در این فرکانس کارایی مانع موازی حتی از مانع تکمی نیز بیشتر شده است.

است که این فرکانس همان فرکانسی است که در دو شکل مربوط به گیرنده های روی زمین (گیرنده شماره ۱) و گیرنده شماره ۱۶ کم ترین میزان تغییر در کارایی مانع موازی نسبت به مانع تکی دیده شد. ولی این نمودار نشان می دهد که در نقاط دیگر و سطوح وسیع تری حتی در همین فرکانس نیز تاثیرات منفی انعکاسات دیده می شود.

اثر ماده جاذب

در این تحقیق به دوشکل تاثیر استفاده از مواد جاذب در مانع موازی مورد بررسی قرار گرفت. در حالت اول لبه بالایی مانع T شکل با ماده جاذب پوشانده شد. در واقع در این حالت تاثیر لبه بالایی مانع T شکل در ایجاد انعکاسات حذف و فقط سطح داخلی مانع شماره ۲ ماده منعکس کننده بوده و انعکاسات ناشی از این سطح در محاسبات دخالت خواهد کرد. در حالت دوم هر دو سطح لبه بالایی مانع شماره ۱ و سطح داخلی (سطح رو به منبع یا سطحی که توسط منبع صوتی دیده می شود) توسط ماده جاذب پوشانده شد. در این حالت به میزان زیادی اثر انعکاسات حذف شده و به صورت نظری می بایست به میزان زیادی در کارایی مانع موازی بهبود حاصل گردد. با عنایت به این که ضریب جذب ماده جاذب به کار برده شده در بسیاری از فرکانس ها بسیار خوب و حتی بالاتر از ۹۵٪

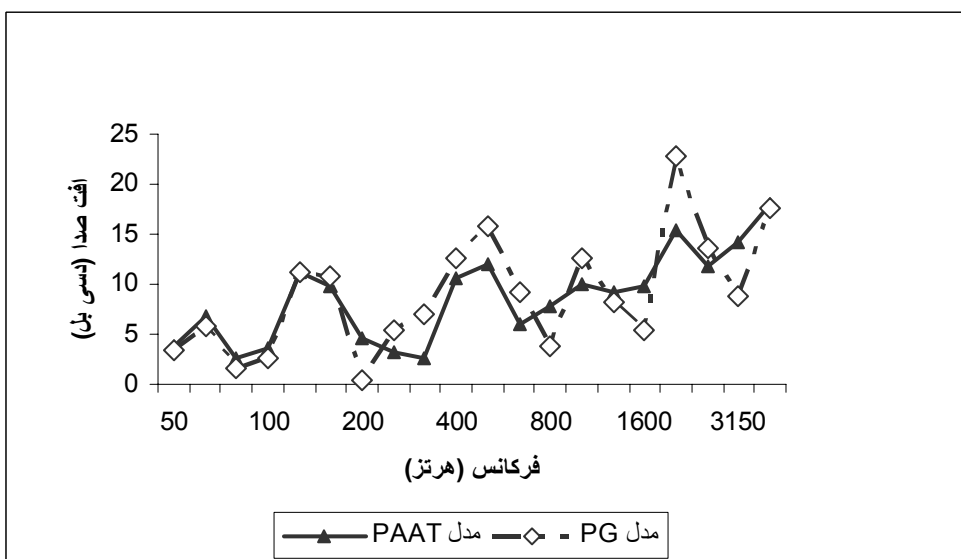


شکل ۷- مقایسه افت صدا در سه مانع مدل T و PT و PAT در محل گیرنده (۰، ۵۰-)

اثر سطوح شیاردار

پوشانیده شد و در روش دوم علاوه بر سطح بالایی مانع شماره ۱، سطح رو به منبع مانع شماره ۲ نیز با استفاده از سطوح پخش کننده شیاردار پوشیده شد. جهت نشان دادن میزان کارایی این دسته از سطوح روی مانع های موازی، عملکرد آن ها با بهترین مانع جاذب یعنی PAAT در محل گیرنده شماره ۱ در شکل ۸ مقایسه شده است.

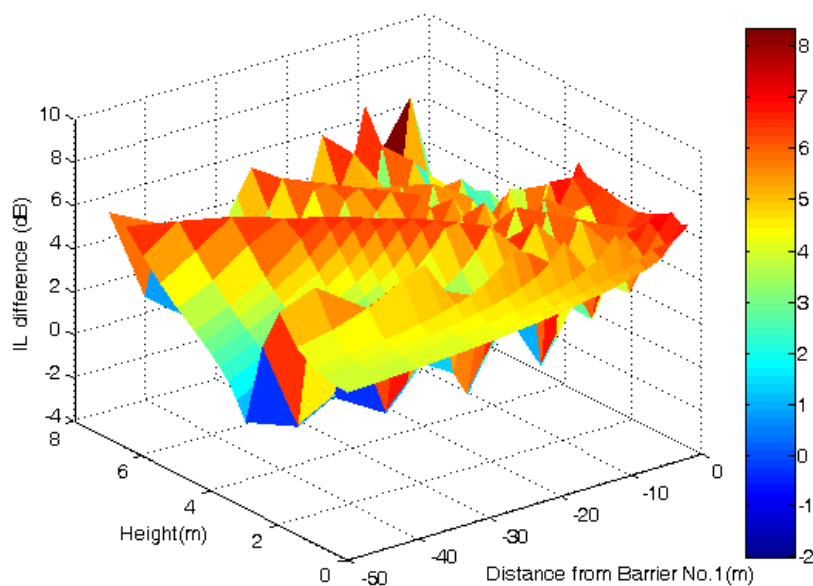
جهت کاهش مشکلات مربوط به تداخلات سازنده امواج انعکاسی از لبه مانع شماره ۲ در لبه مانع شماره ۱ و یا در نقاط دیگر پشت مانع شماره ۱ در این تحقیق استفاده از سطوح پخش کننده شیاردار پیشنهاد گردید که در این مورد نیز دو روش استفاده از این پخش کننده ها همچون روش های مورد استفاده در بخش مواد جاذب مورد بررسی قرار گرفت. در روش اول فقط سطح بالایی مانع شماره ۱ با سطح پخش کننده



شکل ۸ - مقایسه افت صدا در دو مانع مدل PAAT و PG در محل گیرنده (۰، ۵۰-)

صوتی به طور تقریب موازی قرار می گیرند بسیار پیچیده است که از حوصله این طرح خارج است. کارایی مانع در فرکانس ۵۰۰ هرتز یکی از ملاک های خوب جهت مقایسه ی عملکرد مانع های مختلف موازی مطرح گردیده است که به دلایل آن قبلاً اشاره شد. در خصوص مانع موازی پخش کننده دارمدل PG در مقایسه با مانع کاملاً جاذب دار مدل PAAT به طور معنی داری افزایش کارایی تقریباً در کل طیف در این فرکانس دیده می شود (شکل ۹). اگر کل مقادیر افزایش و کاهش را در کل میدان وسیع پشت مانع شماره ۱ میانگین گیری نمائیم، میزان افزایش کارایی در این فرکانس بالغ بر ۴ دسی بل است. از نقاط ضعف این موانع باید به عملکرد ضعیف آن ها در ارتفاع حدود ارتفاع مانع اشاره نمود که این می تواند با پخش رو به بالای انرژی صوتی توسط لبه بالایی مانع شماره ۱ توجیه گردد.

همان گونه که در شکل می توان به وضوح دید در برخی فرکانس ها مخصوصاً در فرکانس های بالاتر از ۳۱۵ هرتز کارایی مانع های پخش کننده دار به مراتب بهتر از مانع کاملاً جاذب PAAT می باشد. در فرکانس های ۸۰۰ و ۱۶۰۰ هرتز که مضارب صحیحی از فرکانس طراحی پخش کننده (فرکانس طراحی مورد استفاده در پخش کننده این مانع ۴۰۰ هرتز می باشد) می باشد کارایی مانع پخش کننده دار کاهش پیدا نموده است. این کاهش کارایی با عملکرد راکتیو سطح پخش کننده مربوط می باشد. مکانیسم کامل آن توسط منظم در منبع شماره ۱۳ توضیح داده شده است. هر پخش کننده شیاردار دارای محدوده عملکردی است که قبل و بعد از آن عملکرد این سطوح به عنوان پخش کننده قابل توجه نمی باشد. در فرکانس های طراحی و مضاربی از آن ها سطوح صوتی پخش شده یکنواخت ایجاد می گردد. لازم به ذکر است که توضیح در خصوص نحوه عملکرد این سطوح وقتی با منبع



شکل ۹- میزان تغییر در افت صدا در فرکانس ۵۰۰ هرتز در مانع مدل PG نسبت به مانع مدل PAAT در میدان وسیعی

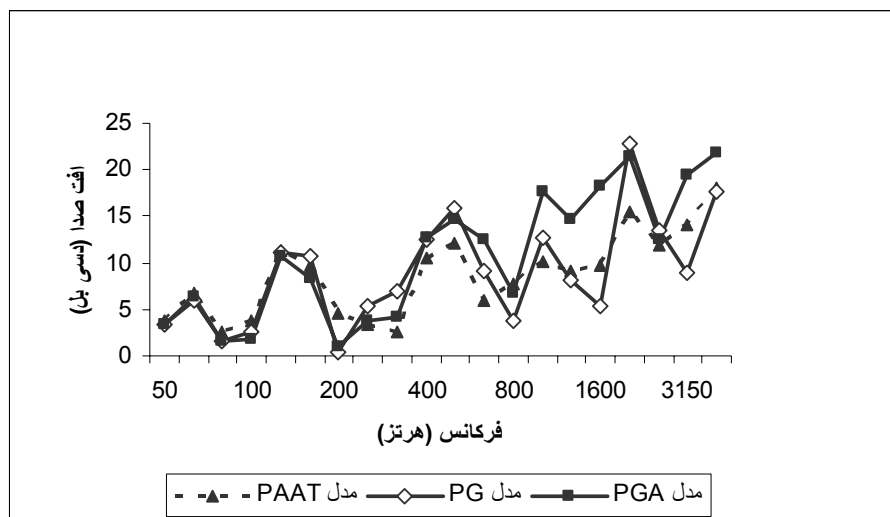
پشت مانع شماره ۱

PGA دارای دو نوع سطح پخش کننده شیاردار با فرکانس طراحی های مختلف می باشد. سطح پخش کننده استفاده شده روی مانع شماره ۱ دارای فرکانس طراحی ۴۰۰ هرتز و سطح پخش کننده مورد استفاده در سطح رو به منبع مانع شماره ۲

به منظور بهبود عملکرد مانع های پخش کننده دار یکی از روش های مورد استفاده در این تحقیق استفاده از دو نوع سطوح پخش کننده با فرکانس طراحی های مختلف می باشد. در این بخش از تحقیق مانع موازی طراحی شده مدل

ترکیب دو طیف عملکردی فرکانس ۴۰۰ و ۱۰۰۰ هرتز حاصل شده که در نتایج عملکردی کل مانع نیز به وضوح مشهود است. استفاده از سطح پخش کننده با فرکانس بالا عملکرد مانع را در فرکانس های پایین نه تنها بهبود نداده بلکه نسبت به مانع مدل PG تا حدودی کاهش نیز یافته است. که این به دلیل تاثیر غالب سطح پخش کننده جدید با طیف موثر فرکانس بالاتر می باشد.

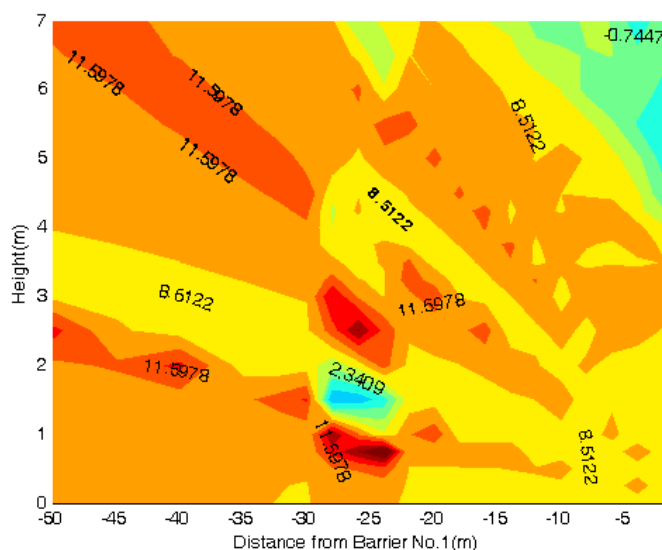
دارای فرکانس طراحی ۱۰۰۰ هرتز می باشد. لازم به توضیح است انتخاب این دو نوع فرکانس کاملاً اتفاقی بوده و هیچگونه عمدی در انتخاب آن ها نبوده است. البته بهینه سازی ترکیب دو فرکانس مورد استفاده می تواند به عنوان طرح تحقیقاتی کاملاً کاربردی برای علاقمندان این زمینه تحقیقاتی باشد. نتایج عملکرد مانع موازی دارای دو نوع پخش کننده در شکل ۱۰ در فرکانس های ۱/۳ اکتاو باند برای گیرنده شماره ۱ ارایه شده است. وضعیت عملکرد مانع جدید از فرکانس ۵۰۰ هرتز به بالا نسبت به مانع پخش کننده داری که فقط یک نوع پخش کننده دارد، افزایش نشان می دهد. فرکانس ۵۰۰ هرتز در واقع از



شکل ۱۰ - مقایسه افت صدا در دو مانع مدل PAAT و PG در محل گیرنده (۰، ۵۰-)

افزایش می یابد که این نکته در تایید نتایج سایر بررسی ها نیز می باشد. با یک میانگین گیری از کل داده های به دست آمده در این فرکانس در میدان وسیع در پشت مانع شماره ۱ می توان دریافت که مانع طراحی شده مرکب پخش کننده دار می تواند بالغ بر ۸/۵ دسی بل کارایی مانع کاملاً جاذب دار را افزایش دهد. که این خود به معنی دو برابر کردن کارایی آن مانع نیز می باشد.

گرچه مانع مدل PGA قادر به افزایش عملکرد در فرکانس های پایین نمی باشد ولی به دلیل تاثیر قابل توجه در فرکانس های بالاتر از ۵۰۰ هرتز میزان عملکرد کلی مانع را تا حدود زیادی افزایش داده است. این امر می تواند به عنوان یکی از ویژگی های مانع های پخش کننده دار مطرح شود. همان گونه که در شکل ۱۱ دیده می شود به جز در فواصل نزدیک و ارتفاعات بالا تقریباً در تمام طیف افزایش بسیار چشمگیری در عملکرد مانع موازی پخش کننده دار مرکب در فرکانس ۵۰۰ هرتز دیده می شود. با افزایش فاصله و ارتفاع میزان عملکرد نیز

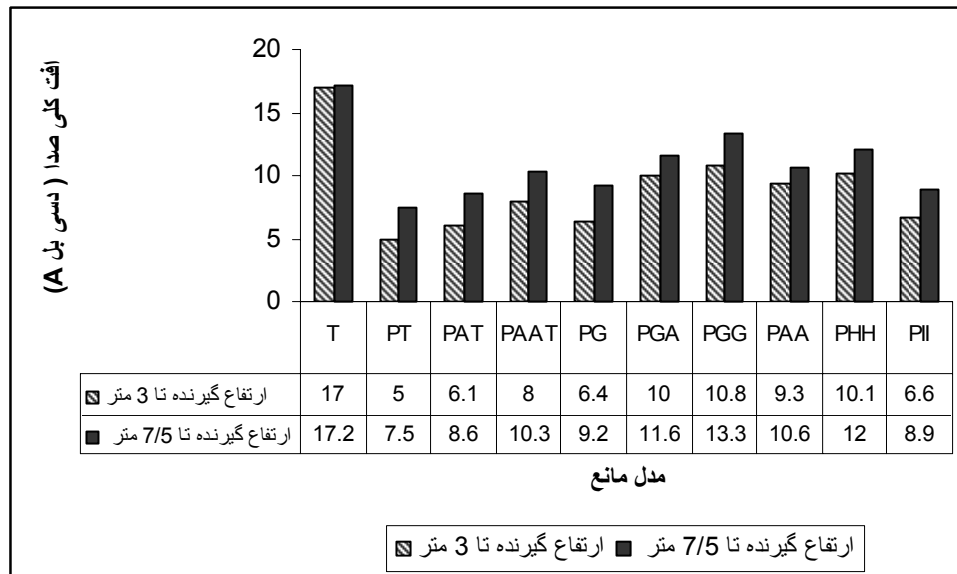


شکل ۱۱- میزان تغییر در افت صدا در فرکانس ۵۰۰ هرتز در مانع مدل PAAT نسبت به مانع مدل PGA بر حسب دسی بل A در میدان وسیعی پشت مانع شماره ۱

جمع بندی عملکرد کلی مانع های موازی ساده

در بخش مانع های موازی ساده مانع های متعددی مورد طراحی و بررسی قرار گرفتند که در این قسمت کارایی کلی آن ها در مقیاس دسی بل A که از بین ۱۶ نتیجه عملکرد مرتبط با ۱۶ نقطه گیرنده به دست آمده در شکل ۱۲ مورد مقایسه قرار گرفته است. در این شکل گیرنده ها به دو دسته تقسیم شده اند: گیرنده های با ارتفاع کمتر از ارتفاع مانع (ارتفاع گیرنده ۳ متر و کمتر از آن) و میانگین کل گیرنده های کمتر از ۷/۵ متر. همان طور که در شکل به وضوح مشخص است قاعدتاً بهترین عملکرد کلی مربوط به مانع تکی T شکل است و هیچ کدام 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 کارایی مربوط به مانع مدل PGG می باشد. به عبارت دیگر استفاده از مانع پخش کننده دار حتی به میزان ۳ دسی بل A بهتر از مانع کاملاً جاذب دار مدل PAAT و همچنین ۵/۸ دسی بل A بیشتر از مانع موازی بازتاب دهنده ساده قادر به بهبود وضعیت عملکرد مانع موازی می باشد. نکته قابل ذکر دیگر این که تمام

طرح های مانع موازی در ارتفاعات بالای ۳ متر (ارتفاع مانع) عملکردشان از نقاط نزدیک به زمین بیشتر می باشد که این خود نشانگر این است که اساساً در مانع های موازی بخش بیشتری از انرژی صوتی به سمت سایه صوتی پشت مانع جریان می یابد. تمام طرح های ارایه شده به مقادیر قابل توجهی کارایی مانع موازی بازتاب دهنده ساده را بهبود بخشیدند که کمترین افزایش ایجاد شده توسط مانع موازی مدل PII می باشد که باریک نمودن عرض شیارها در سطح رو به منبع مانع شماره ۲ تقریباً عملکرد آن سطح را به مانع بازتاب دهنده نزدیک کرده (کارایی شیارهای در حال تشدید در آن سطح را تقریباً از بین برده است) و عملکرد این مانع را بسیار شبیه به مانع مدل PG که در آن فقط روی سطح مانع شماره ۱ از پخش کننده استفاده گردیده، نزدیک نموده است. به هر شکل کمترین میزان افزایش ایجاد شده توسط این مانع بوده که برای گیرنده های با ارتفاع زیر ۳ متر ۱/۶ دسی بل A و برای کل گیرنده ها از سطح زمین تا ارتفاع ۷/۵ متر، ۱/۴ دسی بل A نسبت به مانع موازی بازتاب دهنده ساده می باشد.



شکل ۱۲ - مقایسه عملکرد کلی کلیه مانع های طراحی شده در دو سری گیرنده های متفاوت بر حسب dB(A)

بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش اثر استفاده از مانع دوم در مقابل مانع تکی T شکل مورد بررسی قرار گرفت، به عبارت دیگر میزان تاثیر کاهش دهندگی عملکرد مانع موازی در مقایسه با مانع تکی بررسی شد.

اثر سطوح جاذب در مانع و همچنین سطوح پخش کننده در مانع های موازی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج در فرکانس های ۱/۳ اکتاو باند در نقاط مختلف گیرنده و همچنین افت کلی صدا در شبکه A ارایه و مقایسه شد. ضمناً عملکرد مانع های مختلف در میدان وسیعی پشت مانع شماره ۱ (مانع T شکل) در فرکانس ۵۰۰ هرتز محاسبه و نتایج به صورت کنتور و یا گراف سطحی ارایه و عملکرد مانع های مختلف مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج به دست آمده از این تحقیق را می توان به شرح زیر خلاصه نمود:

۱. با نصب یک مانع موازی عمود بر سطح زمین در مقابل مانع تکی T شکل عمود بر سطح زمین کاهش شدید در عملکرد مانع ایجاد شده و کارایی آن به شدت به فرکانس وابسته می شود در حالی که در مانع تکی با افزایش فرکانس (مخصوصاً در شرایطی که اثر تصویر منبع و گیرنده حذف شده باشد)

استفاده از سطوح پخش کننده شیاردار با اعماق متفاوت روی مانع های موازی به منظور افزایش کارایی آن ها و به عنوان یک روش کنترل صدا در شرایط مختلف محیط زیست در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت. براساس مروری که بر کلیه تحقیقات و فعالیت های علمی و پژوهش های انجام یافته در سطح دنیا در خصوص افزایش کارایی مانع های صوتی انجام گرفت، مشخص شد که سطوح پخش کننده به عنوان یکی از روش های مورد علاقه محققان دنیا در حال حاضر مطرح می باشد البته فعالیت های انجام یافته اثر کنترل کنندگی این ابزارها را فقط روی مانع های تکی مورد بررسی قرار داده که این تحقیق در نوع خود در دنیا برای اولین بار انجام گردیده است.

روش مورد استفاده در این تحقیق روش شبیه سازی عنصر مرزی دو بعدی بوده که با استفاده از روش ساده اعتبار سنجی شده جعبه های با امیدانس متغیر برنامه اجرائی آن تهیه و تعداد زیادی از طرح ها و مدل ها با سرعت بیشتر و انعطاف پذیری بیشتر مورد بررسی قرار گرفتند. در این تحقیق مانع موازی ساده که بر سطح زمین عمود می باشد مورد بررسی قرار گرفت.

داده و در نتیجه عملکرد کلی مانع را بالا برد. در این خصوص میزان متوسط افزایش برآورد شده نسبت به مانع معادل موازی بارتاب دهنده حدود ۳ 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 کاهش مشکلات مربوط به تداخلات سازنده امواج انعکاسی در این تحقیق استفاده از سطوح پخش کننده شیار دار پیشنهاد گردید که در این مورد نیز دو روش استفاده از این پخش کننده ها همچون روش های مورد استفاده در بخش مواد جاذب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده به وضوح نشان داد که در برخی فرکانس ها مخصوصاً در فرکانس های بالاتر از ۳۱۵ هرتز کارایی مانع های پخش کننده دار به مراتب بهتر از حتی مانع کاملاً جاذب PAAT می باشد. در فرکانس های ۸۰۰ و ۱۶۰۰ هرتز که مضارب صحیحی از فرکانس طراحی پخش کننده مورد استفاده می باشند کارایی مانع پخش کننده دار کاهش پیدا نموده است که این کاهش کارایی با عملکرد راکتیو سطح پخش کننده مربوط می باشد. نظر به این که پخش کننده با فرکانس طراحی ۴۰۰ هرتز باعث پایین آوردن حیطه فرکانس موثر گردیده است، عملکرد کلی مانع موازی پخش کننده دار را در مقیاس دسی بل A حتی از عملکرد کلی مانع جاذب دار نیز بالاتر برده است. نکته بسیار جالب در نتیجه این تحقیق این است که با افزایش فاصله و ارتفاع میزان کارایی نیز افزایش می یابد. میزان افزایش کارایی مانع موازی پخش کننده دار (مدل اول پخش کننده روی مانع شماره ۱) نسبت به مانع موازی بازتاب دهنده ساده معادل بطور متوسط ۱/۷ دسی بل A و میزان افزایش کارایی مانع موازی پخش کننده دار (مدل دوم پخش کننده روی هر

افزایش کارایی وجود دارد، در حالی که در مانع موازی با تغییر در فرکانس عملکرد مانع نیز تغییر خواهد کرد. فرکانس هایی که در آن وضعیت کارایی بهتر و یا بدتر است به تداخل های مخرب و سازنده امواج مستقیم و انعکاسی از مانع مقابل وابسته است. لذا ابعاد و شرایط قرار گرفتن موانع و منبع و گیرنده تاثیر زیادی در عملکرد مانع دارد ولی آنچه مسلم است تاثیر منفی شدید در افت کلی صدا در این مانع ها به وضوح دیده می شود. میزان کاهش افت کلی در مانع موازی ساده نسبت به مانع تکی بین ۸/۳ تا ۱۶/۵ دسی بل A و بطور متوسط ۱۲ دسی بل A بر آورد گردید. میزان کاهش در افت کلی در فواصل نزدیک کم بوده که با افزایش فاصله این میزان بیشتر می شود.

۲. نصب ماده جاذب روی لبه بالایی مانع شماره ۱ به دلیل کم بودن سطح ماده جاذب تاثیر زیادی در افزایش کارایی مانع های موازی ساده مخصوصاً در فرکانس های کم نداشت و تا حدودی در فرکانس های بالا افزایش کارایی مشاهده گردید. میزان افزایش در افت کلی مانع موازی ساده باز تاب دهنده با این روش بطور متوسط فقط حدود ۱ دسی بل A تعیین شد. میزان افزایش کارایی تقریباً در فواصل نزدیک و ارتفاع کمتر تا حدودی از سایر نقاط بیشتر بود که خود نشان دهنده تاثیر میدان نزدیک سطح کم جاذب شده مانع شماره ۱ می باشد.

۳. نصب ماده جاذب روی هر دو مانع ، سطح جاذب دار شده مانع های ساده (عمود بر سطح زمین) را افزایش داده و تا حدود زیادی فرکانس های موثر را به سمت فرکانس های پایین تر سوق داد. به عبارت دیگر مشخص شد با افزایش سطح جاذب در قسمت های مختلف مانع می توان فرکانس های موثر را به سمت فرکانس های متوسط و پایین سوق

پخش کننده دار مرکب در فرکانس ۵۰۰ هرتز دیده می شود. با افزایش فاصله و ارتفاع میزان عملکرد نیز افزایش می یابد که این نکته نیز در تایید نتایج سایر بررسی ها می باشد. با یک میانگین گیری از کل داده های به دست آمده در این فرکانس در میدان وسیع در پشت مانع شماره ۱ می توان دریافت که مانع طراحی شده مرکب پخش کننده دار می تواند بالغ بر ۸/۵ دسی بل کارایی مانع کاملاً جاذب دار را در فرکانس ۵۰۰ هرتز افزایش دهد.

۷. اثر فرکانس طراحی سطوح پخش کننده مورد استفاده در مانع های موازی نیز مورد بررسی قرار گرفت. در این قسمت پخش کننده های با فرکانس طراحی ۴۰۰ هرتز به صورت تکی و ترکیبی با یکدیگر در موانع موازی مختلف مورد آزمایش قرار گرفتند. مانع های با سطوح پخش کننده با فرکانس طراحی کمتر، عملکرد مناسب شان از فرکانس های کمتر شروع شده و نتیجتاً عملکرد مانع را در فرکانس های پایین افزایش می دهند. این امر باعث افزایش عملکرد کلی مانع ها نیز می گردد در این خصوص عملکرد کلی مانع موازی مدل PGG (که دارای پخش کننده هائی با فرکانس طراحی ۴۰۰ هرتز است) به میزان ۲/۷ دسی بل A از عملکرد مانع موازی مدل PAA (که دارای پخش کننده هائی با فرکانس طراحی ۱۰۰۰ هرتز است) بیشتر می باشد.

۸. تغییر در عرض شیارهای پخش کننده مورد استفاده در مانع های صوتی نیز مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد کاهش بسیار زیاد عرض شیارها به دلیل کاهش عملکرد شیار های در حال تشدید، عملکرد مانع را کاهش می دهد. لذا انتخاب درست عرض شیار در طراحی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. در این خصوص عملکرد کلی مانع مدل PGA (که عرض شیارهای پخش کننده مورد استفاده در

دو مانع در مانع نوع PGG) نسبت به مانع موازی بازتاب دهنده ساده معادل بطور متوسط ۵/۸ دسی بل A می باشد.

۵. کارایی مانع در فرکانس ۵۰۰ هرتز یکی از ملاک های خوب جهت مقایسه عملکرد مانع های مختلف موازی مطرح گردید. در خصوص مانع موازی پخش کننده دار مدل PG در مقایسه با مانع کاملاً جاذب دار مدل PAAT بطور معنی داری افزایش کارایی تقریباً در کل میدان در این فرکانس دیده می شود. میزان افزایش کارایی در این فرکانس بالغ بر ۴ دسی بل است.

۶. به منظور بهبود عملکرد مانع های پخش کننده دار یکی از روش های مورد استفاده در این تحقیق استفاده از دو نوع سطوح پخش کننده با فرکانس طراحی های مختلف بوده است. نتایج این دسته از بررسی ها نشان داد که وضعیت عملکرد مانع جدید از فرکانس ۵۰۰ هرتز به بالا نسبت به مانع پخش کننده دار که فقط یک نوع پخش کننده دارد افزایش نشان می دهد. لازم به ذکر است که فرکانس ۵۰۰ هرتز در واقع از ترکیب دو طیف عملکردی فرکانس ۴۰۰ و ۱۰۰۰ هرتز حاصل شده که در نتایج عملکردی کل مانع نیز به وضوح مشهود است. استفاده از سطح پخش کننده با فرکانس بالا عملکرد مانع را در فرکانس های پایین نه تنها بهبود نداده بلکه نسبت به مانع مدل PG تا حدودی کاهش نیز یافته است که این به دلیل تاثیر غالب سطح پخش کننده جدید با طیف موثر فرکانس بالاتر می باشد. این امر می تواند به عنوان یکی از ویژگی های مانع های پخش کننده دار مطرح شود که اکنون در این حالت در مانع های پخش کننده دار مرکب نیز به وضوح مشهود است. همچنین مشخص شد به جز در فواصل نزدیک و ارتفاعات بالا تقریباً در تمام طیف افزایش بسیار چشمگیری در عملکرد مانع موازی

- absorptive materials in noise barriers. *Applied Acoustics*, 58, pp.385-402.
- 7- Li, K. M. & Tang S. H. (2003). The predicted barrier effects in the proximity of tall buildings. *J. Acoust. Soc. Am.* 114 (2), pp. 821-823.
- 8- Li, K. M. & Man, P. K. & Ming, K. L. (2008). A ray model for hard parallel noise barriers in high-rise cities. *J Acoust Soc Am.* 123(1), pp.121-32.
- 9- Fujiwara, K. (1990). Sound shielding efficiency of a barrier with soft surface. *Proc. Inter noise*, 90, pp. 343-346.
- 10- Monazzam, M. R. & Lam, Y. W. (2005). Performance of profile single noise barriers covered with quadratic residue diffusers. *Applied Acoustics* 66, pp.709-730.
- 11- 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.
- 12- Cox, T. J. & D'Antonio, P. (2004). *Acoustic Absorber and Diffusers: Theory, design and application.* (Spon Press, Taylor and rancies Grounp, London and N.Y.USA).
- 13- Monazzam, M. R. (2005) Application of diffuser surfaces on single profile environmental noise barriers: Evaluation, Theory and optimization. PhD Thesis, University of Salford.
- آن ۱۲ سانتی متر است) به میزان ۲/۷ دسی بل A از مانع معادل پخش کننده دار خود با عرض شیار ۲ سانتی متر (مانع مدل PII) کارایی بیشتری دارد. البته این به این معنی نیست که عرض زیاد باعث افزایش کارایی می شود بلکه عرض مناسب برای هر طرح بایستی انتخاب شود.

منابع

- 1- Kurze, U.J. (1974). Noise reduction by barriers. *J.Acoust.Soc.Am.*55, pp.504-518.
- 2- Tobutt, D.C. & Nelson, P.M. (1990). A model to calculate traffic noise levels from complex highway cross – sections. *Transport Research Laboratory Report RR245*, Crowthorne, UK.
- 3- Slutsky, S. & Bertoni, H.L. (1998). Analysis and programs for assessment of absorptive and tilted parallel barriers. *Transportation Research Record* 1176, Washington.
- 4- Hajak, J.J. (1980). Performance of parallel noise barriers Yonge Street to Bayview Avenue. Ontario Ministry of Transportation and Communication, Ottawa.
- 5- 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.
- 6- Watts, G. R. & Godfrey, N. (1999). Effects on roadside noise levels of sound