Presentation and verification of a simple mathematical model for identification of the areas behind noise barrier with the highest performance

Mohammad Reza Monazzam[1]

Received: June 17, 2009 Revised: July 16, 2009 Accepted :August 9, 2009

Abstract

Background and aims: Traffic noise barriers are the most important measure to control the environmental noise pollution. Diffraction from top edge of noise barriers is the most important path of indirect sound wave moves towards receiver.Therefore, most studies are focused on improvement of this kind.

Method: T-shape profile barriers are one of the most successful barrier among many different profiles. In this investigation the theory of destructive effect of diffracted waves from real edge of barrier and the wave diffracted from image of the barrier with phase difference of radians is used. Firstly a simple mathematical representation of the zones behind rigid and absorbent T- shape barriers with the highest insertion loss using the destructive effect of indirect path via barrier image is introduced and then two different profile reflective and absorption barrier is used for verification of the introduced model

Findings: The results are then compared with the results of a verified two dimensional boundary element method at 1/3 octave band frequencies and in a wide field behind those barriers. A very good agreement between the results has been achieved. In this method effective height is used for any different profile barriers.

Conclusion: The introduced model is very simple, flexible and fast and could be used for choosing the best location of profile rigid and absorptive barriers to achieve the highest performance.

Keywords: Noise barriers, BEM, Acoustical performance, Environment noise pollution, BEM

1. Tehran University of Medical Sciences, School of Public Health, Occupational Health Dept. Tehran, Iran.
E-mail: mmonazzam@hotmail.com Tel/Fax: +9821 88992663

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-14]

ارائه یک مدل ریاضی ساده و اعتبار سنجی آن جهت تعیین بهترین حوزه عملکرد موانع صوتی

محمدرضا منظم[۱]

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۱/۲۷ تاریخ ویرایش: ۱۳۸۸/۴/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۵/۱۸

چکیده

زمینه و هدف: مانع های صوتی یکی از مهمترین روشهای کنترل صدا در بسیاری از بخش های مختلف صنعتی و محیط زیستی می باشد. در بین راه های غیر مستقیم مهم ترین راه رسین موج از فرستنده به گیرنده از طریق انکسار از لبه بالائی مانع می باشد. بطوری که در خصوص مانع های جزئی بیشترین تمرکز بر روی این روش می باشد.

روش بررسی: یکی از پر راندمان ترین مانع ها، مانع های چند لبه ای T شکل می باشد. در این تحقیق بر اساس تئوری اثرات مخرب موج پراش شده از لبه بالائی مانع و موج غیر مستقیم از تصویر مانع با اختلاف فاز رادیان نواحی مشخصی در ناحیه صوتی با بالا ترین عملکرد آکوستیکی و یا بعبارتی با بیشترین میزان اثرات مخرب صوتی مورد بررسی قرار گرفتند. ابتدا با عنایت به تئوری های فیزیکی موجود مدل ریاضی ساده ای جهت تعیین ناحیه بهترین عملکرد مانع با توجه به شرایط هندسی مانع و محل گیرنده و منبع صوتی ارائه گردید. و آنگاه جهت اعتبار سنجی مدل ارائه شده از دو نوع مانع شکل دار صلب و جاذب دار استفاده گردید.

یافته ها: نتایج حاصل از روش عنصر مرزی بخوبی مدل ساده ریاضی ارائه شده را تائید نمود. در این روش بجای ارتفاع مانع از ارتفاع معادل مانع صوتی استفاده گردید.

نتیجه گیری: این روش جهت طراحی و استقرار بهینه مانع های صوتی با قدرت انعطاف و دقت بالا بخوبی قابل استفاده می باشد.

کلیدواژه ها: موانع صوتی، مدل دو بعدی عنصر مرزی، بهترین عملکرد آکوستیکی، مانع T شکل

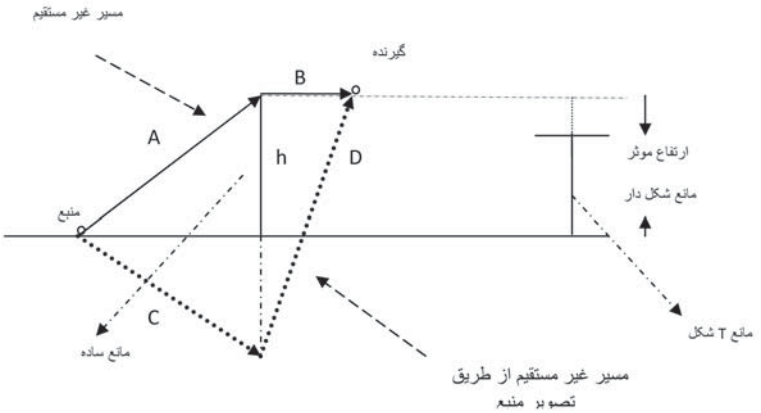
مقدمه

موانع صوتی یکی از مهمترین ابزارهای کاهش صدا در بسیاری از بخشها می باشد. در این ارتباط مطالعات زیادی انجام شده است که حاکی از آن است که در میان مانع های چند لبه ای، مانع T شکل یکی از موثرترین مانع ها می باشد. به عنوان مثال، ایشی زوکا و فوجیوارا با مطالعه بر روی مانع بیان می دارند که کارایی مانع T شکل با ارتفاع ۳ متر معادل مانع ساده با ارتفاع ۱۰ متر می باشد [۱].

تلاشهای زیادی برای افزایش کارایی مانع T شکل با به کار بستن سطوح بالایی متفاوت انجام شده است [۲-۴]. با وجود اینکه بسیاری از مطالعات با انتخاب مکان مناسب بر حسب شرایط گیرنده و خصوصیات منبع

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

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-14]



شکل ۱-شکل هندسی امواج غیر مستقیم مانع و تصویر مطابق با ارتفاع موثر مانع T شکل

صدا، سعی در حفظ کارایی مانع های صوتی دارند ولی برای کاهش هزینه آنها این سری مطالعات کم بوده است.

ابتدا در این مطالعه، برای پیش بینی بالاترین افت صدا در میدان پشتی مانع های صوتی یک مدل ریاضی ساده معرفی شد. سپس یک تعداد از نتایج محاسبات اعتبار سنجی شده مانع های شکل دار جاذب و سفت با هم مقایسه شدند.

روش بررسی

برای محاسبه کارایی انواع مانع های صوتی با اشکال پیچیده و سطوح پوشیده شده از مواد مختلف از روش عددی عنصر مرزی استفاده شد [۵و۶]. جزئیات بیشتر در خصوص این روش در مقاله منظم و همکاران قابل دسترس می باشد [۷]. در محاسبات عددی، برای نمایش سطح فشار وارده بر هر المان، بعد هر المان را کمتر از در نظر می گیرند[۶].

برای انجام محاسبات اثر سطوح جذبی، از ماده فیبری استفاده شد که جهت محاسبه مقاومت این مواد از فرمول تجربی دلنی و بازلی استفاده شد [۸]. در تمام مانع ها، برای جلوگیری از تداخلات امواج انعکاسی ناشی از زمین، منبع خطی بر روی زمین سفت در فاصله ۵ متری از مانع (در مختصات ۵و۰) قرار داده شد. همچنین میزان افت صدا نیز در مراکز فرکانسهای ۱/۳ اکتاوباند بین ۲۵۰ تا ۸۰۰ در گیرنده های مختلف محاسبه گردید.

ارائه فرمول ریاضی ساده

هرگاه موج غیر مستقیم ناشی از لبه مانع با موج غیر مستقیم تصویر مانع دارای اختلاف فاز π باشند اثر تخریبی اتفاق می دهد. بدین صورت خط موربی با بیشترین تاثیر را می توان تشخیص داد که این اثر برای مانع هایی که ارتفاع یکسان دارند مشابه می باشد. بنابراین موقعیت این اثر برای انواع مانع های چند لبه ای یکسان خواهد بود. از این رو یافتن این ناحیه برای هر نوع مانع از طریق رابطه ریاضی هدف کلی این تحقیق در نظر گرفته شد برای حل این مسئله از شمای ارائه شده در شکل ۱ استفاده شد.

هرگاه معادله موج مسقیم بشکل زیر باشد:

(۱)

$$P = e^{j(\omega t - kx)}$$

که در آن عدد k موج و ω فرکانس زاویه است

اگر بخواهیم ترکیب دو موج صوتی حداقل باشد باید بین این دو موج اختلاف فاز به اندازه ۱۸۰ درجه برقرار باشد بعبارتی موج انعکاسی بایستی بشکل رابطه زیر باشد:

$$P' = e^{j(\omega t - kx + \pi)} \qquad (۲)$$

لذا برای دستیابی به بیشترین اثر تخریب وجود شرط زیر الزامی می باشد:

(۳)

$$kx = kx + \pi$$

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-14]

یا

(۴)

$$\left[k\times(A+B)+\pi=k\times(C+D)\Rightarrow(C-A)+(D-B)=\frac{\pi}{k}\right]$$

تمام متغیر ها در شکل ۱ معرفی شده اند . در صورتیکه منبع بر روی زمین قرار داده شود (محاسبات مربوط به صدای لاستیک)، فاصله گیرنده (X_R) از محور مرکزی مانع (با هر نوع ارتفاع و شکلی) با بیشترین اثر تخریبی را می توان از فرمول زیر محاسبه نمود.

(۵)

$$x_R=\sqrt{\frac{16h^2y_R^2}{\lambda^2}+\frac{\lambda^2}{16}-h^2-y_R^2}\qquad y_R\geq\frac{\lambda}{4}$$

در این معادله "γ_R" ارتفاع گیرنده و "h" نیز ارتفاع موثر مانع می باشد.

نتایج

برای نمایش رفتار صوتی مانع های لبه دار در میدان‌های نزدیک و دور، با استفاده از روش دو بعدی عنصر مرزی میزان افت صدا در دو مانع T شکل جاذب و سفت در منطقه وسیع پشت تصویر مانع پیش بینی شد. تعداد ۲۵۰۰ نقطه گیرنده از فاصله ۲ تا ۲۵۰ متری از سطح زمین تا ارتفاع ۱۰ متری در پشت مانع در نظر گرفته شد.

ارتفاع کلی هر دو مانع ۳ متر در نظر گرفته شد. ضخامت پایه و لبه بالائی (کلاهک) به ترتیب ۰/۱ و ۰/۳ متر می باشد در حالیکه طول کلاهک در هر دو مانع ۱ متر در نظر گرفته شد. قابل ذکر است که تمام ابعاد انتخاب شده نظیر مطالعات قبل در نظر گرفته شده است [۹ و ۱۰].

دو نوع سطح مختلف در مانع ها استفاده شده است که شامل:

۱. سطح سفت: در این دسته کلیه سطوح دارای ادمیتانس صفر می باشند (بر اساس شرایط مرزی نیومن)

۲. سطح جاذب: در این دسته سطح بالایی کلاهک با ماده جاذبی الیافی پوشیده شده است. مقامت شاره ای ماده جاذب $20000\,Ns/m^4$ در نظر گرفته شده است. ضخامت و عرض ماده جاذب نیز به ترتیب ۰/۲۴۴۵ و ۰/۸۴ متر ثابت شد.

روش عنصر مرزی

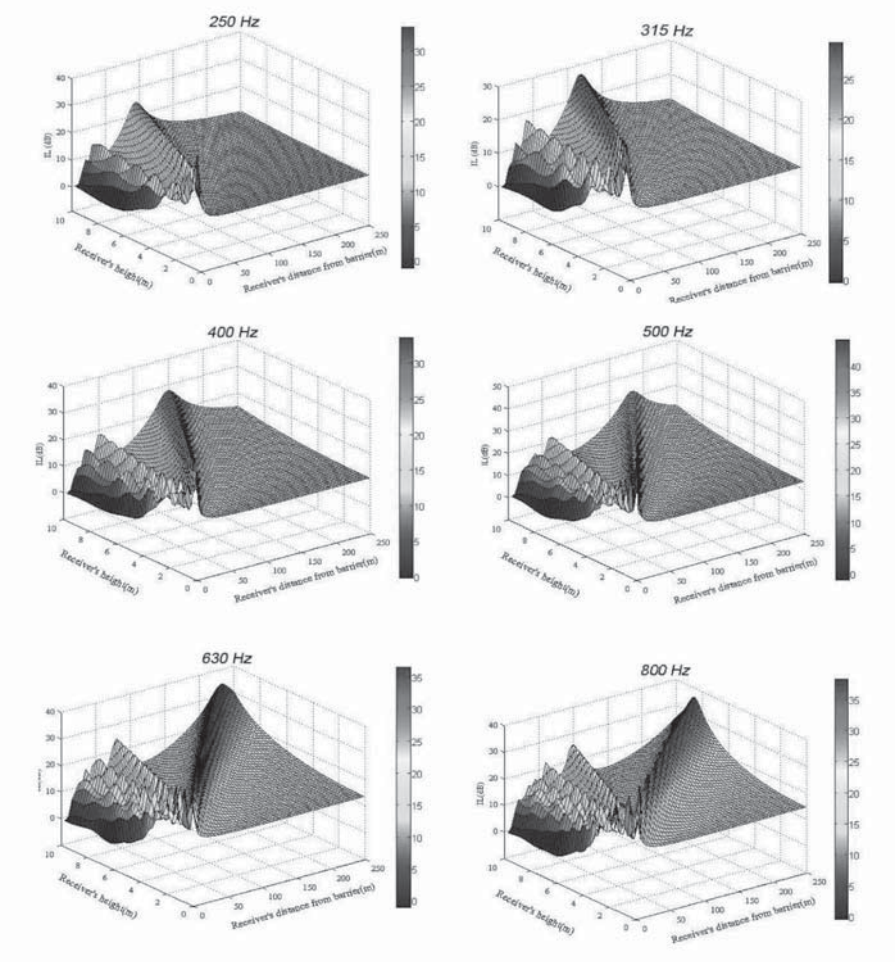
یک مانع T شکل سفت با مانع جاذب معادل آن (به عنوان مرجع) در نظر گرفته شد. شکل ۲ نتایج افت صدا را در منطقه پشت مانع T شکل سفت در فرکانس های ۱/۳ اکتاو باند بین ۲۵۰ تا ۸۰۰ هرتز را بصورت نمودار سطحی نشان می دهد. روند مشترک افت صدا در فرکانسهای مختلف بیان کننده وجود خطی کلی است که در هر فرکانس بالاترین کارایی را نشان می دهد. زمانی که فرکانس افزایش می یابد، خط مورد نظر نیز به زمین نزدیک تر می شود. این مسئله به دلیل مسیر انتشار امواج تصویر مانع و اثر تخریبی آن به همراه مسیر موج مستقیم می باشد.

این مسئله نیز مشخص است که با افزایش فرکانس کارایی کلی مانع نیز افزایش می یابد. زمانی که فرکانس افزایش می یابد محدوده مثلث شکل در برگیرنده زمین، به زمین نزدیک تر می شود. به این معنی که کارایی اکوستیکی در نواحی نزدیک به زمین افزایش می یابد. درحقیقت زمانی که اثر خطی بیشینه رخ می دهد محدوده مورد نظر نیز با افزایش فرکانس به سمت زمین منحرف می شود. میزان اختلاف افت صدا بین بیشترین کارایی و محدوده وسیع نزدیک زمین بین ۱۳ تا ۱۷ دسی بل A بر آورد گردید.

در شکل ۳ نمودار سطحی افت صدا مانع مرجع در فرکانس های ۱/۳ اکتاو باند بین ۲۵۰ تا ۸۰۰ هرتز را نشان داده شده است. با یک نگاه کلی به این شکل دیده می شود که روند کلی افت صدا در ناحیه سایه اکوستیکی بسیار شبیه به مانع T شکل سفت می باشد.

در مانع مرجع اختلاف افت صدا در تمام نواحی سایه اکوستیکی بیشتر از مانع T شکل سفت می باشد. میزان اختلاف افت صدا بین بیشترین کارایی و محدوده وسیع نزدیک زمین در حدود ۱۲ تا ۱۸ دسی بل A بر آورد گردید که این محدوده نسبت به مانع T شکل سفت تا حدودی بیشتر است.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-14]



شکل ۲ - نمودار سطحی افت صدا در فرکانس های ۱/۳ اکتاو باند بین ۲۵۰ تا ۸۰۰ هرتز در ۲۵۰۰ گیرنده در میدان وسیعی پشت مانع T شکل

مدل ریاضی

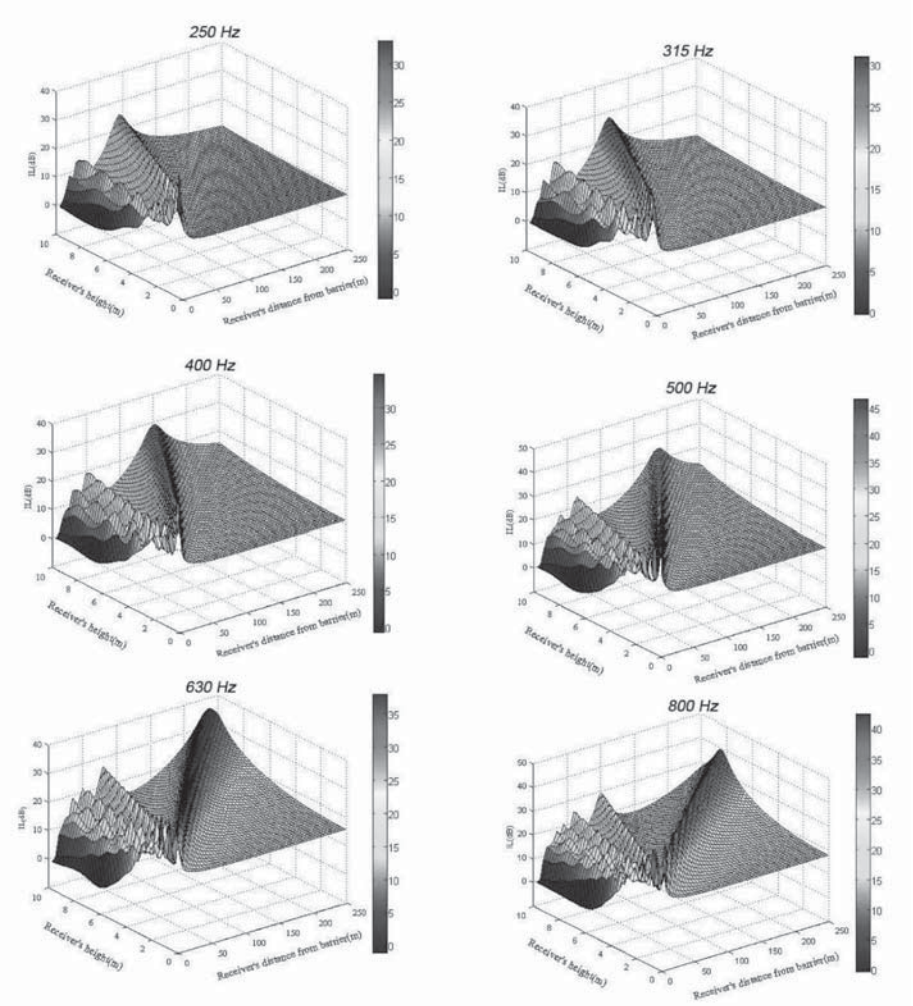
موقعیت حداکثر اثر برای یک مانع با ارتفاع ۳.۳۳ متر (یا یک مانع T شکل با ارتفاع ۳ متر و طول لبه بالائی (قسمت T) ۱ متر) در فرکانسهای مختلف با استفاده از فرمول شماره ۵ محاسبه شد و نتایج آن در شکل ۴ ارائه گردید.

همان طور که نمودار نشان می دهد، در ارتباط با موقعیت کارائی حداکثر برای مانع های چند لبه ای بین نتایج روش عنصر مرزی و معادله ریاضی ارائه شده یک همخوانی خوبی وجود دارد.

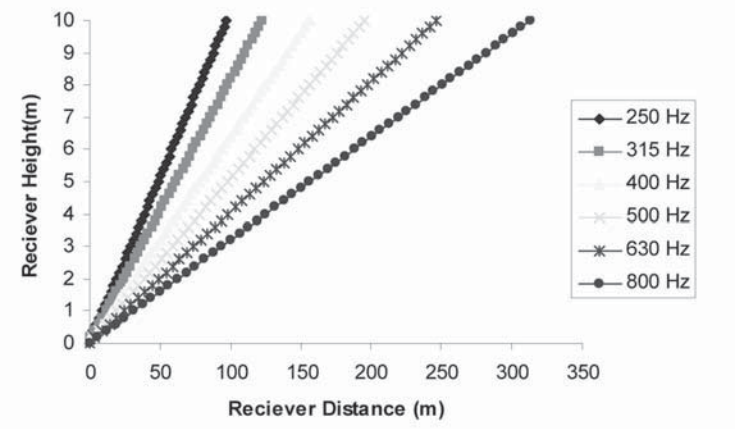
بحث و نتیجه گیری

دو سطح مختلف در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. اگرچه مانع جاذب بواسطه پخش کنندگی کمتر لبه دارای کارائی بالاتری می باشد اما به دلیل یکسان بودن شرایط هندسی روند کلی در میدانهای نزدیک و دور بسیار شبیه مانع سفت می باشد. یعنی با اینکه با استفاده از سطوح جاذب می توان کارائی را افزایش داد ولی روند کلی بستگی به شرایط هندسی و اثر تخریبی موج غیر مستقیم تصویر مانع دارد. برای پیش بینی کارائی آکوستیکی در میدان پشتی مانع های چند لبه ای با کارائی حداکثر می توان یک مدل ساده و سریع ریاضی استفاده نمود. مدل سازی عددی نشان داد که در سایه صوتی مانع های مختلف تست شده میدان های صوتی با حداکثر کارآئی وجود دارند که بصورت یک خط مورب در پشت مانع ها توسعه می یابند. در صورت قرارگیری گیرنده ها در این میدان های صوتی کمترین میزان صدا دریافت می شود. صحت اعتبارات این مطالعه نشان می دهد

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-14]



شکل ۳- نمودار سطحی افت صدا در فرکانس های ۱/۳اکتاو باند بین ۲۵۰ تا ۸۰۰ هرتزدر ۲۵۰۰ گیرنده در میدان وسیعی پشت مانع مرجع



شکل ۴- موقعیت کارایی حداکثر یک مانع با ارتفاع ۳/۳۳ متر در فرکانسهای مختلف

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-14]

که این معادله می تواند راهنمای مناسبی برای طراحان مانع های صوتی باشد تا بدین وسیله با انتخاب بهترین مکان برای مانع های صوتی به بهترین کارایی دست یابند. این روش برای هر نوع سطح و موقعیت هندسی آسان و عملی می باشد.

منابع

1. Ishizuka T. and Fujiwara K., "Performance of noise barriers with various edge shapes and acoustical conditions". Applied Acoustics, (2004), 65 ,125-141.

2. Hajek. J. J. and Blaney C. T., "Evaluation of T-profile noise barriers"., Transportation Research Record, (1984), 983 , 8-17.

3. Hothersall D.C., Crombie D.H.and Chandler-wild S.N., "The performance of T-shape profile and associated noise barrier". (1991b), Applied Acoustics 32, 269-281.

4. May D. N. and Osman M. M., "The performance of sound absorptive, reflective and T-profile noise barriers in Toronto"., Journal of Sound and Vibration, (1980), 71,65-71.

5. Chandler-Wild S.N. and Hothersall D.C., "Efficient calculation of the Green's function for acoustic propagation above a homogenous impedance plane"., Journal of Sound and Vibration, (1995), 180, 705-724.

6. Hothersall D.C, Chandler-wild S.N and Hajmirzae N.M , "Efficiency of single noise barriers". Journal of Sound and Vibration, (1991a), 146(2), 303-321.

7. Monazzam, M. R. and Nassiri, P., performance of profiled vertical reflective parallel noise barriers with quadratic residue diffusers. International journal of Environmental Research, (2009), 3(1): 69-84.

8. Delany M.E and Bazely E.N, " Acoustical properties of fibrous absorbent materials" Applied Acoustics (1970), 3, 105-116.

9. Crombie D.H, Hothersall D.C and Chandler-Wilde S.N, "Multiple- edge noise barrier", Applied acoustics, (1995), 44, 353-367.

10. Fujiwara K, Hothersall D.C and Kim C.H, "Noise barriers with reactive surfaces", Applied acoustics, (1998), 53 (4), 225-272.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-14]