

شاخص‌های پیش‌بینی صدا در اماکن بسته متداول

رستم گل‌محمدی

استاد

دانشگاه علوم پزشکی همدان، دانشکده بهداشت

golmohamadi@umsha.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۸

چکیده

مواجهه با آلودگی صدا در اماکن بسته شغلی و غیرشغلی می‌تواند سبب اختلال در رفاه، آسایش و سلامت انسان گردد. شاخص تراز فشار صوت (L_p) داخل بنا، متأثر از توان صوتی منابع خارج و داخل بنا و تشدید ناشی از بازتابش سطوح داخلی است. برای پیش‌بینی تراز فشار صوت داخل بنا، لازم است ابتدا خصوصیات نشر صوتی منابع خارج و سپس نقش سازه در افت انتقال صدای خارج به داخل بنا تعیین گردد. در این محاسبات میزان انرژی صوتی داخل بنا ناشی از این منابع حقیقی داخل و خارج بنا مشخص می‌گردد. برای تعیین اثر سطوح بازتابشی داخلی به‌عنوان منبع مجازی صدا، بر تشدید انرژی در محیط بسته و بالتبع تشدید تراز فشار صوت، لازم است مدل‌هایی برای محاسبات پیش‌بینی تراز فشار صوت نهایی ارائه گردد. مدل‌های محاسباتی موجود نشان می‌دهد که مداخله کنترلی بر روی سطوح داخلی بنا از طریق مصالح جاذب صوت، به‌صورت نظری می‌توانند تا 30 dB و به‌صورت عینی تا 20 dB سبب کاهش صدای محیط گردد. تاکنون مدل معتبری برای تفکیک نقش سطوح داخل بنا در میزان تشدید صدای مجموع منابع حقیقی ارائه نگردیده است. در این مقاله ضمن معرفی شاخص‌های تحلیل آکوستیکی داخل بنا، شاخص اتاق (RI) برای تعیین میزان نقش منبع مجازی در تشدید صدای داخل بنا معرفی و یک مدل تجربی برای تعیین این شاخص ارائه می‌گردد.

واژگان کلیدی: تراز فشار صوت، صدا، پیش‌بینی، شاخص، مدل

۱. مقدمه

مواجهه شغلی و غیرشغلی با آلودگی صدا در اماکن بسته می‌تواند سبب اختلال در رفاه، آسایش و سلامت انسان گردد. شاخص تراز فشار صوت (L_p) در داخل بناها، علاوه بر اثر منابع خارج بنا مانند صدای ترافیک، صدای مشاغل و خدمات شهری، متأثر از توان صوتی منابع داخل بنا مانند تجهیزات خانگی، اداری یا صنعتی باشد.

علاوه بر آن بازتابش صدا توسط سطوح داخلی نیز می‌تواند سبب تشدید صدای منابع گردد [۱-۴]. به‌طور متداول، برای پیش‌بینی تراز فشار صوت داخل بنا، لازم است ابتدا خصوصیات نشر صوتی منابع خارج و همچنین نقش دیوارهای سازه در افت انتقال صدای خارج به داخل بنا تعیین گردد. بنابراین همواره تراز فشار صوتی به‌صورت زمینه (L_{pb}) در داخل بنا ناشی از منابع خارجی وجود خواهد داشت.

منابع متنوع داخلی نیز برای هر محیط اعم از مسکونی، اداری، تجاری یا شغلی و صنعتی نیز هر یک دارای توان انتشار صوت (L_{ws}) و تراز نشر صوتی (L_{ps}) مربوط به خود هستند و در هر محیط لازم است توان صوتی (و تراز توان صوتی) مجموع این منابع تعیین گردد [۱، ۵]. به صورت مبنایی، لازم است که سازندگان و تامین کنندگان علاوه بر برچسب انرژی، برچسب صوتی هر تجهیز را تعیین و گواهی آن را به مشتریان عرضه نمایند. در حال حاضر متأسفانه به جز در خصوص برخی لوازم خانگی، در سایر موارد استفاده این برچسب گذاری انجام نمی‌شود. استانداردهای معتبر روش‌هایی را برای تعیین تراز توان صوتی منابع ارائه نموده‌اند (ایزوهای ۳۷۴۳، ۳۷۴۵، ۳۷۴۶، ۹۶۱۴) که بر پایه اندازه‌گیری تراز فشار یا تراز شدت صوت در اطراف منبع در آزمایشگاه یا محل نصب آنها است. بدین صورت می‌توان حتی در محل نصب تجهیزات، تراز توان صوتی آنها را تعیین نمود [۷-۱۰]. در محاسبات مربوط پس از انجام اندازه‌گیری و براساس محاسبات مدل، میزان انرژی صوتی داخل بنا ناشی از این منابع حقیقی مشخص می‌گردد. بنابراین همواره تراز فشار صوت ناشی از منابع حقیقی در داخل بنا قابل فرض خواهد بود.

سطوح داخلی بنا نیز می‌توانند براساس جنس و خصوصیات خود سبب بازتابش مکرر^۱ صدای منابع گردند. مهم‌ترین عامل در تعیین اثر سطوح بازتابشی در تشدید صدا، تعیین ضریب جذب آکوستیکی مصالح داخلی است. استانداردهایی برای تعیین ضریب جذب صوتی مصالح و همچنین محاسبه متوسط این ضریب با استفاده از اتاق بازآوا^۲ و دستگاه لوله امپدانس^۳ ارائه گردیده است (ایزوهای ۳۵۴، و ۱۰۵۳۴) که می‌توان با استفاده از آنها، نمونه‌های مختلف مصالح را آزمایش و ضریب جذب در بیناب صوتی را اندازه‌گیری و شاخص متوسط این ضریب را در فرکانس‌های مورد نظر محاسبه نمود [۱۲-۱۱]. علاوه بر متوسط ضریب جذب صوتی مصالح^۴ (NRC) مستندات علمی متعددی بر اثر عوامل دیگری مانند حجم اتاق،

مساحت سطوح داخلی، زمان بازآوایی^۵، فرکانس صوت و دمای محیط نیز اشاره نموده‌اند [۳-۱].

برای تعیین اثر سطوح بازتابشی داخلی به‌عنوان منبع مجازی صدا، بر تشدید انرژی در محیط بسته و بالتبع تشدید تراز فشار صوت، لازم است مدل‌هایی برای محاسبات برآورد تراز فشار صوت ناشی از این پدیده ارائه گردد. برخی از مدل‌های محاسباتی نظیر اودتون^۶ یا کامسول^۷ می‌توانند براساس ردیابی امواج یا محاسبات عددی، میدان انتشار صوت را در یک محیط شبیه‌سازی نمایند [۱۴-۱۳]، لیکن برای کاربران عادی ارائه یک مدل تجربی معتبر برای برآورد دقیق تراز به‌عنوان تراز تشدید صدا توسط سطوح داخلی معرفی نشده است، لذا همواره این سوال مطرح است که پتانسیل بازتابشی هر محیط که مستقل از منابع صوتی مستقر در آن است در تشدید صدا چند دسی‌بل است؟ به همین منظور لازم است که برای تعیین و تفکیک اثر سطوح بازتابشی داخلی به‌عنوان منبع مجازی صدا، بر تشدید انرژی در محیط بسته و بالتبع تشدید تراز فشار صوت، مدلی ارائه شود تا بتوان با کمک آن وضعیت موجود را از نظر آکوستیکی تحلیل نمود و از آن مهم‌تر اینکه بتوان با استفاده از آن محاسبات پیش‌بینی تراز فشار صوت در یک محیط بسته را ارائه نمود. تاکنون مدل معتبر تجربی برای تفکیک نقش سطوح داخل بنا در میزان تشدید صدای منابع حقیقی برای استفاده مهندسين صدا ارائه نگردیده است. در این مقاله ضمن معرفی شاخص‌های تحلیل آکوستیکی داخل بنا، شاخص اتاق (RI) برای تعیین میزان نقش منبع مجازی در تشدید صدای داخل بنا معرفی و یک مدل تجربی برای تعیین این شاخص ارائه می‌گردد.

۲. نتایج و بحث

شکل‌های ۱ و ۲ به صورت نمادین مفهوم موقعیت دریافت کننده صدا را در یک مکان بسته نسبت به منبع صوت و سطوح بازتابشی در دو محیط اداری و صنعتی را نشان می‌دهد.

$$D = D_R + D_D = \frac{4W}{cR} + \frac{QW}{4\pi r^2 c}$$

$$= \frac{W}{c} \left(\frac{4}{R} + \frac{Q}{4\pi r^2} \right) \quad (5)$$

$$= \frac{p^2}{\rho_0 c^2}$$

NRC

$$= \frac{\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000}}{4} \quad (6)$$

D : چگالی انرژی صوتی در میدان بسته (w)

D_D : چگالی انرژی صوتی منابع حقیقی (w)

D_R : چگالی انرژی صوتی ناشی از بازتابش (w)

m : انرژی کاهش یافته توسط هوای محیط

r : فاصله منبع و شنونده (m)

W : توان منبع صوتی (w)

c : سرعت صوت در هوا (m/s)

Q : ضریب جهت وابسته به موقعیت منبع و سطوح مجاور

R : ثابت جذب صوتی اتاق

p : فشار موج صوتی (Pa)

p_0 : چگالی هوا

α : ضریب جذب صوت مصالح (نسبتی از یک)

در شرایطی که تراز فشار صوت یکنواخت و با تغییرات محدود

باشد می توان رابطه فوق را به صورت زیر ساده و برای رسیدن

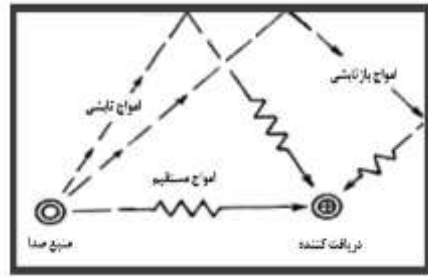
به تراز فشار صوت ناشی از اثر همه عوامل در داخل اتاق ارائه

نمود [۲]:

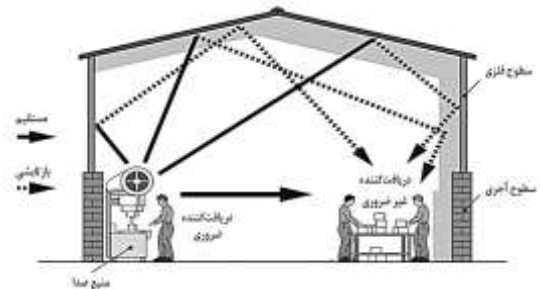
$$p^2 = \rho_0 c W \left(\frac{4}{R} + \frac{Q}{4\pi r^2} \right) \quad (7)$$

$$\frac{p^2}{p_{\text{ref}}^2} = \frac{W}{W_{\text{ref}}} \left(\frac{4}{R} + \frac{Q}{4\pi r^2} \right) \frac{\rho_0 c W_{\text{ref}}}{p_{\text{ref}}^2} \quad (8)$$

$$L_p = L_w + 10 \log_{10} \left(\frac{4}{R} + \frac{Q}{4\pi r^2} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{\rho_0 c W_{\text{ref}}}{p_{\text{ref}}^2} \right) \quad (9)$$



شکل ۱. میدان انتشار صوت در یک اتاق اداری



شکل ۲. میدان انتشار صوت در یک محیط صنعتی

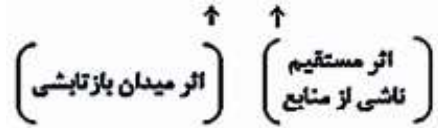
اثر سطوح بازتابی بر تشدید صدا یک عامل مستقل و ثابت در تعیین تراز فشار صوت داخل بناها است. بنابراین سطوح داخلی یک بنا براساس خصوصیات مصالح خود همواره دارای یک پتانسیل ثابت برای تشدید صدا است که همواره با تراز فشار صوت ناشی از منابع جمع می گردد. به طور ساده می توان میدان انرژی صوتی را در داخل یک بنا (در محل شنونده) به صورت زیر فرض نمود [۲]:

$$D = D_D + D_R \quad (1)$$

$$D_D = \frac{QW e^{-mr}}{4\pi c r^2} \quad (2)$$

$$D_R = \frac{4W}{cR} \quad (3)$$

$$R = \frac{S \overline{NRC}}{1 - NRC} \quad (4)$$



در رابطه ۹، تراز فشار صوت در داخل یک بنا تابعی از تراز توان منبع (یا منابع) صوتی، اثر افزایشی میدان بازتابی $\left(\frac{4}{R}\right)$ ، اثر میدان مستقیم $\left(\frac{Q}{4\pi r^2}\right)$ به صورت تابعی از فاصله و همچنین اثر مقاومت صوتی هوا است. عبارت آخر مربوط به مقاومت هوا است که در شرایط دما و فشار متعارف حدود 0.1 dB برآورد شده است. لذا می توان رابطه ۹ را به صورت زیر ساده نمود [۳-]:

$$L_p = L_w + 10 \log_{10} \left(\frac{4}{R} + \frac{Q}{4\pi r^2} \right) + 0.1 \quad (10)$$

روابط فوق بر مبنای شاخص اتاق^۹ تدوین شده است. به همین ترتیب می توان برای شاخص آکوستیکی سایرین^{۱۰} و شاخص زمان بازآوایی^{۱۱} نیز این روابط را به صورت زیر بیان نمود [۳-]:

$$L_p = L_w + 10 \log_{10} \left(\frac{4 \cdot (1 - \overline{NRC})}{S \cdot \overline{NRC}} + \frac{Q}{4\pi r^2} \right) + 0.1 \quad (11)$$

$$L_p = L_w + 10 \log_{10} V + 10 \log_{10} RT_i + 14.1 \quad (12)$$

L_w : تراز توان صوتی منبع یا منابع (dB)

V : حجم اتاق (m^3)

RT_i : زمان بازآوایی (S)

S : مساحت سطوح داخلی (m^2)

\overline{NRC} : متوسط ضریب جذب صوتی سطوح داخلی

Q : ضریب جهت

r : فاصله شنونده از منبع صوتی

با توجه به سه رابطه انتشار صوت مذکور، عبارت های بعد از L_w ، به نوعی بیان کننده اثر سطوح بازتابی در تشدید صدای

داخل بنا هستند. در منابع معتبر اثر مداخله بهبود متوسط ضریب جذب در کنترل صدای داخل بنا معرفی شده است که خلاصه آنها براساس سه معادله فوق به صورت زیر است [۱]:

$$\Delta L_p (\text{dB}) = 10 \log_{10} \frac{RT_1}{RT_2} \quad (13)$$

$$\Delta L_p (\text{dB}) = 10 \log_{10} \frac{R_2}{R_1} \quad (14)$$

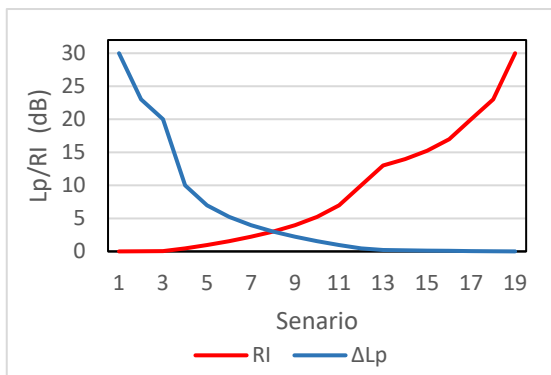
$$\Delta L_p (\text{dB}) = 10 \log_{10} \left[1 + \frac{S \cdot \overline{NRC}_2}{S \cdot \overline{NRC}_1} \right] \quad (15)$$

در روابط فوق ΔL_p ، تفاضل تراز فشار صوت قبل و بعد از مداخله کنترل صدا یا میزان کاهش صدا در اثر مداخله به روش جذب صوتی، اندیس ۱ مربوط به شرایط شاخص قبل از مداخله و اندیس ۲ مربوط به شرایط شاخص بعد از مداخله است.

مدل محاسباتی سایرین که در رابطه ۱۵ آورده شد، نشان می دهد که می توان با به کارگیری مصالح جاذب صوت در سطوح داخلی بنا به صورت نظری می توان تا 30 dB و به صورت عملی تا 20 dB تشدید صدای ناشی از سطوح را کاهش داد. این عبارت بیان کننده این اصل است که سطوح داخلی می توانند به همین میزان در تشدید صدا نقش داشته باشند. در این مقاله، شاخص اتاق (RI) برای تعیین میزان نقش منبع مجازی (سطوح داخلی) در تشدید صدای داخل بنا بر مبنای معکوس نمودن معادله سایرین، معرفی و تحلیل می گردد. معادله زیر از طریق معکوس نمودن معادله ۱۵ (سایرین) در کنترل صدای ناشی از بازتابش تدوین گردیده است:

$$RI (\text{dB}) = 10 \log_{10} \left[1 + \frac{1 - \overline{NRC}}{\overline{NRC}} \right] \quad (16)$$

حال برای تست مدل داده های متوسط ضریب جذب و ضریب بازتابش صوتی یک اتاق مطابق جدول ۱ از کمترین تا بیشترین مقادیر ممکن در مدل وارد می شود و نتایج دو معادله ۱۵ و ۱۶ مورد مقایسه قرار می گیرد. نمودار شکل ۳ این مقادیر را برای حالات مختلف به خوبی نشان می دهد و مطابق انتظار نمودار



شکل ۳. روند تغییرات دو شاخص RI و ΔLp در مقادیر مختلف متوسط ضرایب جذب و بازتابش صوتی

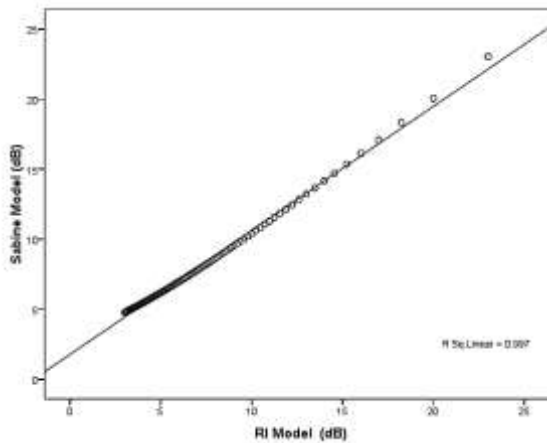
در مباحث کنترل صدا بر مبنای جذب صوتی می‌توان از این رابطه تجربی برای برآورد میزان تشدید صدای پایه هم محیط توسط سطوح داخلی دست یافت و بر مبنای آن حجم مشکل تعیین می‌شود تا بتوان با استفاده از روش‌های مداخله فنی میزان کاهش صدا را برآورد نمود. به طور مثال برای یک سوله صنعتی که متوسط ضرایب جذب سطوح داخلی $NRC_{avg}=0.035$ باشد، شاخص اتاق $RI_1=14.56$ dB برآورد می‌شود و اگر بتوان با مداخلات آکوستیکی متوسط ضرایب جذب را به $NRC_{avg}=0.18$ رساند، از طریق معادله ساین (معادله ۱۵)، میزان شاخص اتاق به $RI_2=7.45$ dB می‌رسد که به معنای کاهش $\Delta Lp = 7.11$ dB است. براساس مدل مداخله ۱۵ ساین اثر این مداخله با فرض ثابت بودن مساحت سطوح داخلی $\Delta Lp = 7.88$ dB خواهد شد. در این مثال خطای مدل پیشنهادی کمتر از یک دسی‌بل (0.77 dB) است.

عملاً کاربرد این مدل برای مکان‌هایی است که به دلیل بازتابش بالا، نیاز به مداخله کنترلی دارند. این گونه مکان‌ها دارای متوسط ضرایب جذب صوتی $NRC < 0.1$ هستند.

روندی شبیه به هم و معکوس دارند. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد این مدل تنها وابسته به متوسط ضرایب جذب صوتی سطوح داخلی بوده و به سایر متغیرها مانند حجم اتاق و مساحت سطوح نیاز ندارد.

جدول ۱. نتایج محاسبه میزان شاخص RI و ΔLp در مقادیر مختلف متوسط ضرایب جذب و بازتابش صوتی

No.	NRC	r_{Avg}	RI (dB)	ΔLp (dB)
۱	۰/۹۹۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴۳	۳۰/۰۰۰۰
۲	۰/۹۹۵	۰/۰۰۵	۰/۰۲۱۸	۲۳/۰۱۰۳
۳	۰/۹۹	۰/۰۱	۰/۰۴۳۶	۲۰/۰۰۰۰
۴	۰/۹	۰/۱	۰/۴۵۷۶	۱۰/۰۰۰۰
۵	۰/۸	۰/۲	۰/۹۶۹۱	۶/۹۸۹۷
۶	۰/۷	۰/۳	۱/۵۴۹۰	۵/۲۲۸۸
۷	۰/۶	۰/۴	۲/۲۱۸۵	۳/۹۷۹۴
۸	۰/۵	۰/۵	۳/۰۱۰۳	۳/۰۱۰۳
۹	۰/۴	۰/۶	۳/۹۷۹۴	۲/۲۱۸۵
۱۰	۰/۳	۰/۷	۵/۲۲۸۸	۱/۵۴۹۰
۱۱	۰/۲	۰/۸	۶/۹۸۹۷	۰/۹۶۹۱
۱۲	۰/۱	۰/۹	۱۰/۰۰۰۰	۰/۴۵۷۶
۱۳	۰/۰۵	۰/۹۵	۱۳/۰۱۰۳	۰/۲۲۲۸
۱۴	۰/۰۴	۰/۹۶	۱۳/۹۷۹۴	۰/۱۷۷۳
۱۵	۰/۰۳	۰/۹۷	۱۵/۲۲۸۸	۰/۱۳۲۳
۱۶	۰/۰۲	۰/۹۸	۱۶/۹۸۹۷	۰/۰۸۷۷
۱۷	۰/۰۱	۰/۹۹	۲۰/۰۰۰۰	۰/۰۴۳۶
۱۸	۰/۰۰۵	۰/۹۹۵	۲۳/۰۱۰۳	۰/۰۲۱۸
۱۹	۰/۰۰۱	۰/۹۹۹	۳۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۴۳



شکل ۴. مقایسه بین مقادیر مدل پیشنهادی RI و مدل مداخله کنترل ساین

۳. نتیجه گیری

شاخص تراز فشار صوت داخل بنا، متأثر از توان صوتی منابع خارج و داخل بنا و تشدید ناشی از بازتابش سطوح داخلی آن است. برای تعیین اثر تشدید سطوح بازتابشی داخلی به عنوان منبع مجازی صدا، بر تراز فشار صوت منابع حقیقی، لازم است مدل‌های محاسباتی ارائه گردد. در این مقاله ضمن معرفی شاخص‌های تحلیل آکوستیکی داخل بنا، شاخص اتاق (RI) برای تعیین میزان نقش منبع مجازی در تشدید صدای داخل بنا معرفی و یک مدل تجربی برای تعیین این شاخص با اعتبار بالا ارائه گردید. هرچند این مدل تا حد زیادی می‌تواند نیاز مهندسیین صدا را برای طراحی آکوستیکی به منظور کنترل صدا برپایه مصالح جاذب صوت را تسهیل نماید، لیکن پیشنهاد می‌گردد برای به حداقل رساندن خطای مدل مطالعات گسترده‌تری انجام و به‌علاوه مدل‌های دیگری نیز بر مبنای شاخص‌های ثابت اتاق و زمان بازآوایی توسعه یابد.

برای اعتبارسنجی مدل مقادیر جدول ۱ مجدداً برای حالات مداخله کنترل صدا برای اتاق‌های با متوسط ضریب جذب صوتی کمتر از ۰/۱ که در تقسیم‌بندی اتاق‌ها به‌عنوان نسبتاً پربازتابش^{۱۲} و پربازتابش^{۱۳} محسوب می‌گردند، جدولی شامل یکصد داده از بیشترین مقدار $NRC=0.1$ تا کمترین مقدار $NRC=0.001$ به فاصله‌های 0.01 تعریف و نتایج محاسبات مجدد با هم مقایسه گردید. سناریو برای مداخله رسیدن به متوسط ضریب جذب صوتی $NRC=0.2$ تعیین شد. نتایج مقایسه میانگین‌ها و انحراف معیارها در دو روش (همانند مثال فوق) به شرح جدول ۲ است. شکل ۴ نیز نمودار پراکنش مقایسه بین مقادیر مدل پیشنهادی و مدل مداخله کنترل صدای ساین را نشان می‌دهد. نتایج اعتبارسنجی نشان داد که میانگین‌ها به هم نزدیک بوده و نتایج دارای اختلاف میانگین $RMSD = 1.07$ و $R^2=0.997$ و ضریب تعیین 0.95 dB و خطای $P = 0.001$ برای برآورد میزان تشدید صدای ناشی از سطوح داخلی بناها قابل قبول است.

جدول ۲. شاخص‌های پراکنندگی نتایج مقایسه مدل پیشنهادی RI با

مدل مداخله ساین

شاخص	تعداد نمونه	میانگین تراز کاهش یافته ΔLP (dB)	انحراف معیار
نتایج مدل ساین	۱۰۰	۸/۱۶	۳/۵۷
نتایج مدل پیشنهادی	۱۰۰	۷/۲۱	۴/۰۳

۴. مأخذ

- [۱] گلمحمدی، رستم، "مهندسی صدا و ارتعاش در صنعت و محیط زیست"، چاپ هشتم، انتشارات دانشجو، همدان، ۱۳۹۸.
- [2] Barron, Randall F., "Industrial noise control and acoustics", CRC Press, 2002.
- [3] Bies, David A., Colin H. Hansen, and Carl Q. Howard, "Engineering noise control", CRC press, 2017.
- [4] Crocker Malcolm J., "Noise & Noise Control", Vol.1, Ohio: CRC Press, 2007.

- [5] Everest, F. Alton, and C. Ken, "*Master Handbook of Acoustics*", McGraw-Hill; 5th edition, 2009.
- [6] Harris, Cyril M., "*Handbook of acoustical measurements and noise control*", New York: McGraw-Hill, 1991.
- [7] <https://www.iso.org/standard/52054.html>, visit at 4/1/2023.
- [8] <https://www.iso.org/standard/21750.html>, visit at 4/1/2023.
- [9] <https://www.iso.org/standard/9242.html>, visit at 4/1/2023.
- [10] <https://www.iso.org/standard/24012.html>, visit at 4/1/2023.
- [11] International Organization for Standardization, "*Acoustics: Measurement of sound absorption in a reverberation room*", ISO, 2003.
- [12] <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:10534:-1:ed-1:v1:en>, visit at 4/1/2023.
- [13] Christensen, Claus Lynge, "Investigating room acoustics by simulations and measurements", *Noise & Vibration Worldwide*, 2013, Vol.44, no.8, pp.21-27.
- [14] Khrystoslavenko, Olga, and Raimondas Grubliauskas, "Simulation of Room Acoustics Using Comsol Multiphysics", In *Proceedings of the 20th Conference for Junior Researchers,, Science–Future of Lithuania*, 2017.

پی نوشت:

1. Reverberation
2. Reverberant Room
3. Impedance Tube
4. Noise Reduction Coefficient
5. Reverberation Time (RT)
6. ODEON
7. COMSOL
8. Density
9. Room Index
10. Sabine index
11. Reverberation Index
12. Semi Reverberant Room
13. Reverberant Room