مقاله

بررسی شرایط اکوستیکی کلاس‌های درسی با استفاده از نرم‌افزار ادئون (مطالعهٔ موردی)

زینب سهرابی‌کیا*
کارشناس ارشد فیزیک، بخش اکوستیک
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
zeinabsohrabikia@gmail.com

محمدجعفر هدایتی
کارشناس فیزیک، بخش اکوستیک
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
mj.hedayati@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۴/۱۲

چکیده

صحبت‌کردن و شنیدن مهم‌ترین رفتارهای ارتباطی در اکثر محیط‌های آموزشی هستند. به‌طور کلی شرایط اکوستیکی مناسب در یک فضای آموزشی را می‌توان راحتی ارتباط صوتی در آن فضا بین دانش‌آموزان با هم و نیز بین آموزگار و دانش‌آموز دانست. مشخصه‌های فیزیکی اساسی در اکوستیک کلاس درس که تعیین‌کنندهٔ وضوح گفتار هستند، بر میزان دریافت، تمرکز شنوندگان و به‌طور کلی یادگیری تأثیرگذارند. مهم‌ترین این مشخصه‌ها شامل نوفهٔ زمینه، زمان واخنش و شاخص انتقال گفتار می‌باشند. در این پژوهش به‌منظور بررسی مشخصه‌های تعیین‌کنندهٔ کیفیت اکوستیکی کلاس درس، نوفهٔ زمینه و زمان واخنش اندازه‌گیری شد. برای بررسی بیشتر شرایط اکوستیکی از روش مدلسازی هم استفاده می‌کنیم. نرم‌افزار مورد استفاده در این پژوهش نرم‌افزار ادئون است. به‌علت نزدیک‌بودن نتایج زمان واخنش به‌دست آمده از روش شبیه‌سازی و اندازه‌گیری، می‌توان از ادئون برای پیشگویی زمان واخنش محیط‌های آموزشی استفاده کرد. همچنین با استفاده از این نرم‌افزار، شاخص انتقال گفتار را در کلاس درس تعیین می‌کنیم. مقدار تعیین‌شده نشان می‌دهد با اینکه زمان واخنش در این کلاس در حد مجاز است، وضوح گفتار در حد متوسط می‌باشد.

واژگان کلیدی: نرم‌افزار ادئون[1]، کلاس درس، زمان واخنش[2]، نوفهٔ زمینه

۱. مقدمه

شاید بتوان مهم‌ترین نقش علوم تجربی را بهبود کیفیت زندگی انسان دانست. بخشی از این بهبود را باید در شرایطی جست‌وجو کرد که افراد در آن به زندگی و کار می‌پردازند. از این‌روست که امروزه، به‌ویژه در کشورهای غنی به تعیین مشخصه‌هایی برای ساختمان‌های مسکونی، اداری، و آموزشی مناسب توجه شده است. در کلاس‌های

درس، بخش عمده‌ای از فراگیری از راه سامانهٔ شنوایی انجام می‌شود. بنابرین یک محیط اکوستیکی قابل قبول به‌طور چشم‌گیری می‌تواند بر کیفیت آموزش اثر بگذارد. شرایط اکوستیکی ضعیف کلاس‌ها می‌تواند اختلالاتی در محاوره و تمرکز دانش‌آموزان به‌وجود آورد و بر یادگیری آنها تأثیر نامطلوب داشته باشد. علاوه بر این، آموزگاران نیز در معرض آسیب ناشی از شرایط بد اکوستیکی هستند [۱-۲]. مطالعات نشان داده است که معلمان چهار برابر شاغلان در حرفه‌های دیگر به درمانگاه‌های شنوایی- گفتاری مراجعه می‌کنند [۳]. همچنین در میان معلمان، زنان بیش از مردان دچار اختلالات گویشی می‌شوند [۴]. شرایط بد اکوستیکی می‌تواند سبب خسارات و هزینه‌های آموزشی شود. افرادی که با وجود اختلالات صوتی به تدریس ادامه می‌دهند، مجبورند شیوهٔ تدریس خود را تغییر دهند تا از این طریق میزان فشاری را که بر صدایشان وارد می‌شود کاهش دهند [۵]. باتوجه به آن‌چه گفته شد، تعیین شرایط اکوستیکی مناسب برای یک فضای آموزشی از جمله مسائل با اهمیتی است که باید به آن پرداخت. در چنین فضایی، صداهای ناخواسته مانند نوفه‌های خارجی، تهویهٔ داخلی، همهمهٔ افراد و جز این‌ها نباید از حد مشخصی فراتر رود و صداهای خواسته همچون گفتار معلم، باید با بلندا و وضوح کافی به گوش تمامی فراگیران برسد.

توجه به اکوستیک کلاس درس در سال‌های اخیر افزایش یافته است و به‌همین منظور ضوابطی از سوی مؤسسات استاندارد برای تعیین کیفیت اکوستیکی کلاس‌های درس تدوین شده است [۶-۱۰]. مؤسسهٔ ملی استاندارد امریکا[۳] در سال ۲۰۰۲ م استانداردی را به‌عنوان ضابطهٔ اجرایی و نیازهای طراحی اکوستیکی برای کلاس درس و دیگر محیطهای یادگیری تدوین کرد [۶]. این استاندارد طی سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ م بازنگری شد [۷-۸]. انگلیس نیز با تدوین آئین‌نامه‌ای، الزاماتی را برای محیطهای متنوع آموزشی در مقاطع مختلف تحصیلی تدوین کرده است [۹]. در ایران نیز برخی پارامترهای تعیین‌کنندهٔ شرایط اکوستیکی محیطهای آموزشی و همچنین حدود قابل‌قبول آنها در مبحث هجدهم مقررات ملی ساختمان تعیین شده است [۱۰].

۲. روش پژوهش

هدف از انجام این پژوهش به‌طور کلی شناخت فراسنج‌هایی است که وضوح گفتار در یک محیط آموزشی را تعیین می‌کنند. منظور از شناخت، تعیین نوع این فراسنج‌ها و روش‌های محاسبه یا اندازه‌گیری آنها، و نیز یافتن حدود قابل قبول برای آنها برمبنای استانداردهای معتبری است که به این مقوله پرداخته‌اند. ضابطهٔ ملی موجود در این زمینه مبحث هجدهم از مقررات ملی ساختمان (عایق‌بندی و تنظیم صدا) می‌باشد که در آن مقادیر بهینهٔ زمان واخنش، نوفهٔ زمینه، افت صدای هوابرد و کوبه‌ای (پیکری) برای دستیابی به شرایط مطلوب اکوستیکی اماکن گوناگون، از جمله محیطهای آموزشی پرداخته شده است [۱۰]. علاوه بر این مشخصه‌ها، فراسنج دیگری که شاخص انتقال گفتار[۴] نامیده می‌شود به‌عنوان مشخصه‌ای کلیدی در تعیین شرایط اکوستیکی کلاس‌های درسی شناخته شده است. این شاخص با نوفهٔ زمینه و زمان واخنش یک فضا ارتباط دارد. برای بررسی شرایط اکوستیکی کلاس‌های درسی، در قالب یک مطالعهٔ موردی، کلاسی را انتخاب کردیم. کف کلاس موزائیک و سقف به‌طور کامل با تایل اکوستیکی پوشیده شده است. ابتدا زمان واخنش و نوفهٔ زمینه را اندازه گرفتیم. در مرحلهٔ بعد، با استفاده از نرم‌افزار ادئون فضای کلاس را شبیه‌سازی کرده و زمان واخنش را با روش شبیه‌سازی به‌دست آوردیم [۱۱]. در نهایت مقدار شاخص انتقال گفتار را با استفاده از این نرم‌افزار در کلاس مورد مطالعه تعیین نمودیم.

۲-۱. زمان واخنش

زمان واخنش مشخصه‌ای مهم در تعیین اکوستیک اتاق است. هر نوع اتاق (کلاس درس، سالن تئاتر و مسجد) باید

دارای زمان واخنش در حدود معینی باشند. این حدود برای محیطهای آموزشی ایران در مبحث هجدهم مقررات ملی تعیین شده است. برای اندازه‌گیری زمان واخنش از استاندارد ایـزو ۳۴۵ استفاده شد [۱۲]. بدین منظور یک نوفهٔ تصادفی صورتی با تراز صدای حداقل ۴۰ دسی‌بل بالاتر از صدای زمینه با استفاده از یک بلندگوی همه‌جهته پخش شد. صدای پخش‌شده از طریق میکروفن همه‌جهته متصل به دستگاه تحلیلگر اکوستیکی دریافت و توسط این دستگاه تحلیل شد. میانگین حسابی زمان‌های واخنش نقاط مختلف اتاق در هر فرکانس محاسبه شد و نهایتاً با استفاده از رابطهٔ ۱ زمان واخنش به‌دست آمد.

$$RT = \frac{T_{500} + T_{1000} + T_{2000}}{3} \qquad (۱)$$

شکل ۱ نمایی از فضای مورد بررسی و مکان قرارگیری بلندگو و یکی از مکان‌های میکروفون را نمایش می‌دهد.

شکل ۱. نمایی از فضای کلاس و موقعیت میکروفون و بلندگو

۲-۲. تراز نوفهٔ زمینه

هدف از اندازه‌گیری هر نوع نوفه این است که اثر نهایی نوفهٔ زمینه‌ای را، که در محیط زیست انسان باقی می‌ماند، مشخص کنیم. وقتی محل اندازه‌گیری، وضعیت نهایی و پایدار خود را دارد، نوفهٔ اندازه‌گیری شده همان نوفهٔ باقی‌مانده‌ای خواهد بود که در معرض آن قرار می‌گیریم. در این پژوهش برای اندازه‌گیری نوفهٔ زمینه، مکان میکروفن‌ها طبق استاندارد در جایی‌که معمولاً شنوندگان حضور دارند به فاصلهٔ یک متری از کف و با رعایت فاصلهٔ الزامی از دیگر سطوح انتخاب شدند. سپس نوفهٔ زمینه با استفاده از دستگاه ترازسنج صدا در مدت زمان پنج دقیقه برای هر نقطه اندازه‌گیری می‌شود و میانگین تراز فشار صدای اتاق طبق رابطهٔ ۲ به‌دست می‌آید.

$$L = 10\ \log \frac{p_1^2 + p_2^2 + \ldots + p_{\mathrm{n}}^2}{\mathrm{n}p_0^2} \qquad (۲)$$

به‌طوری‌که در این رابطه $p_1, p_2, \ldots, p_{\mathrm{n}}$ فشارهای صدای مؤثر در n مکان مختلف در اتاق و p_0 فشار صدای مبنا و برابر با ۲۰ میکروپاسکال است. در مرحلهٔ بعد جمع ترازهای فشار صدای ممتد وزن‌یافته A در تمام بازهٔ فرکانسی با استفاده از رابطهٔ ۳ شاخص تک‌عددی تراز نوفهٔ زمینه را می‌دهد،

$$L = 10\ \log \sum_{i=1}^{n} 10^{\frac{L_i}{10}} \qquad (۳)$$

به‌طوری‌که در این رابطه L_i ترازهای فشار صدا L_1 تا L_n در n فرکانس مختلف بند یک هنگامی می‌باشد.

۲-۳. شاخص انتقال گفتار

هنگامی‌که در یک فضا سیگنال گفتاری پخش می‌شود، این سیگنال در مسیر انتقال دچار تغییراتی شده و به گوش شنونده می‌رسد. اصلی‌ترین پارامترهای شناخته‌شده که روی سیگنال صدا اثرگذارند، نوفهٔ زمینه و واخنش موجود در فضا می‌باشند. روند اندازه‌گیری شاخص انتقال گفتار بر اساس استانداردهای ایزو ۹۹۲۱ و آی.ای.سی. ۱۶-۶۰۲۶۸[5] و با استفاده از نرم‌افزار ادئون انجام می‌شود [۱۳-۱۴]. برای اندازه‌گیری شاخص انتقال گفتار ابتدا باید یک سیگنال گفتار مصنوعی تولید شود. با در نظر گرفتن شرایط میدان آزاد مقادیر تراز صدای گفتار در هر نقطه از اتاق تعیین می‌شود. در این پژوهش تراز گفتار گوینده در حالتی که به‌صورت معمولی صحبت می‌کند (تراز فشار صدای اندازه‌گیری شده در فاصلهٔ یک متری از مقابل دهان گوینده برابر با ۶۰ دسی‌بل) در نظر گرفته شده است. اندازه‌گیری و

محاسبهٔ شاخص انتقال گفتار عددی بین صفر تا یک را خواهد داد. معیاری که بیانگر کیفیت گفتار در یک کلاس درس است وضوح گفتار نامیده می‌شود. در جدول ۱ رابطهٔ میان مقادیر شاخص انتقال گفتار و میزان وضوح گفتار ذکر شده است.

جدول ۱. رابطهٔ بین وضوح گفتار و شاخص انتقال گفتار [۹]

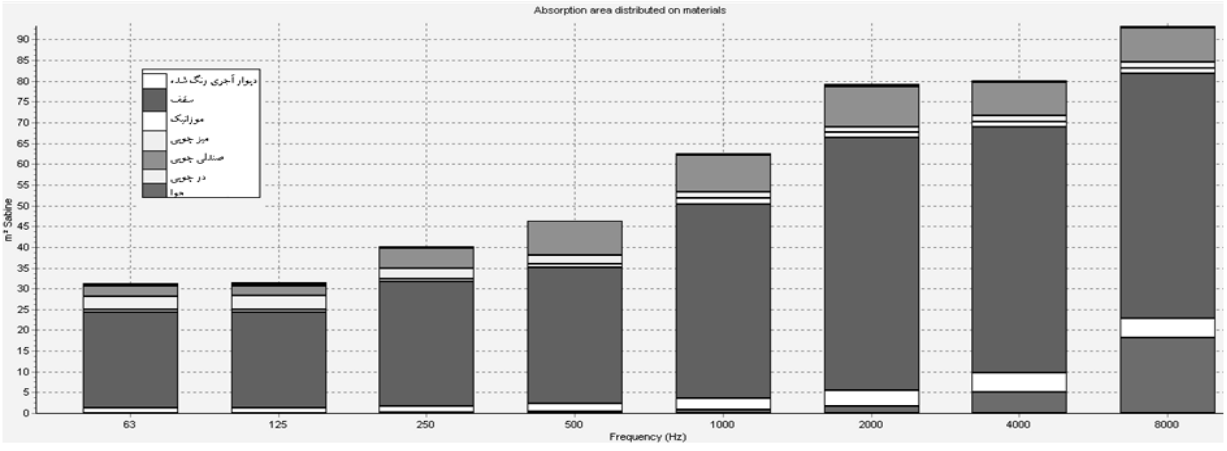
وضوح گفتار	شاخص انتقال گفتار
بد	۰/۳ – ۰/۱
ضعیف	۰/۴۵ – ۰/۳
متوسط	۰/۶ – ۰/۴۵
خوب	۰/۷۵ – ۰/۶
عالی	۱ – ۰/۷۵

۲-۴. نرم‌افزار ادئون

ادئون از جمله کاربردی‌ترین نرم‌افزارهای شبیه‌ساز اکوستیکی برای طراحی و یا اصلاح آکوستیک فضا می‌باشد. این نرم‌افزار بر مبنای یک رهیافت هیبریدی است که ترکیبی از روش تصویر منبع[۶] با یک روش خاص ردگیری پرتو – رادیوزیتی[۷] می‌باشد. اطلاعات مربوط به اندازهٔ سطوح بازتابنده و ضرایب جذب نیز به‌عنوان قسمتی از محاسبات‌اند و برای تعیین اینکه آیا باید یک تغییر فاز برای بازتاب به‌کار برده شود یا خیر، استفاده می‌شوند. یک پس‌پردازش[۸] از بازتاب‌ها برای ساخت یک پاسخ ضربهٔ دوگوشی به‌کار برده می‌شود [۱۱].

در این پژوهش فضای کلاس را در ادئون شبیه‌سازی می‌کنیم. بدین منظور ابتدا نقشهٔ فضای اتاق در نرم‌افزار تعریف و سپس مواد اکوستیکی متناسب با فضای واقعی برای سطوح مختلف انتخاب می‌شود. در شکل ۲ مواد به‌کار رفته برای شبیه‌سازی فضای کلاس به‌همراه ضرایب جذبشان در فرکانس‌های مرکزی بند یک هنگامی نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است، بیشترین جذب این فضا مربوط به سقف است که در همهٔ بازهٔ فرکانسی به دیگر مواد غلبه دارد.

در مرحلهٔ بعد، جایگاه بلندگو و میکروفن‌ها مطابق حالت اندازه‌گیری مشخص شد. بلندگوی به‌کار رفته برای این شبیه‌سازی بلندگوی همه‌جهته است که برای غلبه بر نوفهٔ زمینه مقدار بهرهٔ کلی آن ۷۰ دسی‌بل تنظیم شد. مکان گیرنده‌ها و منابع طبق اندازه‌گیری تعیین شد. سپس مشخصه‌های اکوستیکی مانند زمان واخنش و شاخص انتقال گفتار محاسبه شد. تطبیق نسبی نتایج صحت شبیه‌سازی را نشان داد.

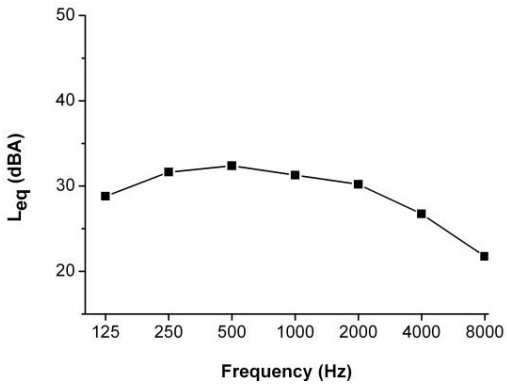


شکل ۲. نمودار ستونی جذب مواد موجود در فضا نسبت به سطوح اتاق

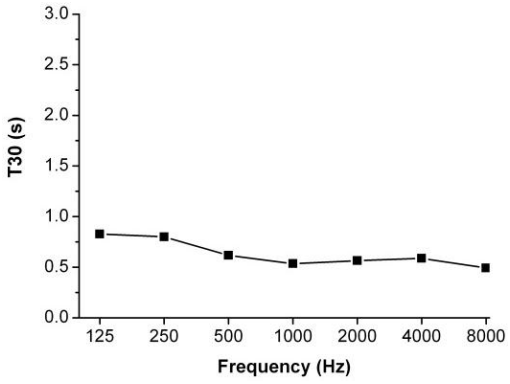
۳. یافته‌های پژوهش

نمودار مربوط به مقادیر اندازه‌گیری شده تراز نوفهٔ زمینه و زمان واخنش در شکل ۳ نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که تراز نوفهٔ زمینه در این کلاس در حدود قابل قبولی است. میانگین تراز نوفهٔ زمینه ۳۸/۵ دسی‌بل به‌دست آمد. طبق قسمت ب از شکل ۳، زمان واخنش در این کلاس در همهٔ فرکانس‌ها مقداری کمتر از یک ثانیه و میانگین آن برابر با ۰/۵۷ ثانیه می‌باشد. این مقدار با توجه به ضابطهٔ موجود در مبحث هجدهم از مقررات ملی ایران، بیانگر میزان قابل قبولی از این مشخصه است.

در جدول ۲ مقادیر زمان واخنش به‌دست آمده از روش‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی ذکر شده است. شکل ۴ نشان می‌دهد که روند نمودار زمان واخنش به‌دست آمده از اندازه‌گیری و محاسبه یکسان هستند و در نتیجه می‌توان از ادئون برای پیش‌بینی زمان واخنش استفاده کرد.



(الف)

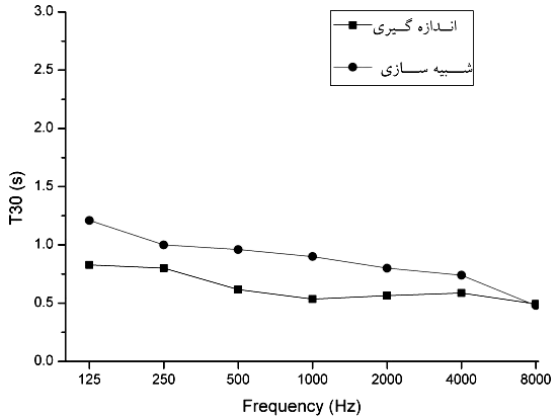


(ب)

شکل۳. تغییرات مقادیر الف) تراز نوفهٔ زمینه، ب) زمان واخنش نسبت به فرکانس

جدول ۲. مقادیر زمان واخنش با استفاده از روش‌های شبیه‌سازی و اندازه‌گیری

فرکانس (هرتز)		۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	۸۰۰۰
زمان واخنش (ثانیه)	شبیه‌سازی	۱/۲۱	۱	۰/۹۶	۰/۹۰	۰/۸۰	۰/۷۴	۰/۴۸
	اندازه‌گیری	۰/۸۳	۰/۸۰	۰/۶۲	۰/۵۴	۰/۵۷	۰/۵۹	۰/۴۹



شکل ۴. مقایسه زمان واخنش اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده

پس از اطمینان از صحت شبیه‌سازی مقدار شاخص انتقال گفتار را برای گفتار یک گوینده مرد با تلاش صوتی[۹] معمولی به‌دست آوردیم. مقدار میانگین این مشخصه برابر با ۰/۵۶ به‌دست آمد. طبق جدول ۱ می‌توان بیان کرد که وضوح گفتار در این کلاس در حد متوسط است.

٤. نتیجه‌گیری

در این مقاله بررسی شرایط اکوستیکی کلاس درسی مطالعه شد. بدین منظور تراز نوفهٔ زمینه و زمان واخنش برای یک کلاس درس اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد، زمان واخنش و شاخص انتقال گفتار برای این کلاس به روش شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار ادئون به‌دست آمد. تطبیق نسبتاً خوب نتایج حاصل از اندازه‌گیری زمان واخنش با مقادیر به‌دست آمده از روش شبیه‌سازی نشان داد که برای بررسی، بهبود یا اصلاح شرایط اکوستیکی کلاس‌ها می‌توان از این نرم‌افزار استفاده کرد. اندازه‌گیری‌ها نشان داد که در این کلاس تراز نوفهٔ زمینه در حد قابل قبولی است و همچنین تغییرات زمان واخنش در این اتاق روند نسبتاً مطلوبی دارد و در فرکانس‌های میانی که برای گفتار فرکانس‌های مهمی محسوب می‌شوند، این پارامتر تغییر اندکی دارد. همان‌طور که انتظار می‌رفت افزایش جاذب‌های اکوستیکی باعث کاهش زمان واخنش شد، اما کوتاه‌بودن زمان واخنش به‌تنهایی نمی‌تواند سبب افزایش میزان شاخص انتقال گفتار شود. برای دسترسی به میزان قابل قبول شاخص انتقال گفتار نیاز است که به‌صورت همزمان زمان واخنش و نوفهٔ زمینه کنترل شوند. میزان وضوح گفتار در حد متوسطی به‌دست آمد. این موضوع می‌تواند ناشی از جذب بالای اتاق باشد.

۵. مآخذ

[۱] مجیری، فریبا، فائزه اعظمیان، احمد صالحی، "بررسی ارتباط میان شکایات صوتی و ویژگی اکوستیکی فرکانس پایه در معلمان دوره ابتدائی شهر اصفهان"، *پژوهش در علوم توانبخشی*، س. ۷، ش. ۳، آذر و دی ۱۳۹۰.

[۲] گلمحمدی، رستم، فرشید قربانی، حسین محجوب، زهره دانش‌مهر، "مطالعه شاخص‌های آلودگی صدا و خصوصیات اکوستیکی بنای مدارس شهر تهران"، *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، دوره دوازدهم، ش. ۱، بهار ۱۳۸۹.

[3] Williams, N. R., P. Carding, *Occupational Voice Loss*, Informal Healthcare, 2005.

[4] Andrews, M. L., Manual of voice treatment: Pediatrics through geriatrics, 3rd ed., Delmar Cengage Learning, 2006.

[5] Mattiske, J. A., J. M.Oates, K. M. Greenwood, "Vocal problems among teachers: a review of prevalence, causes, prevention, and treatment." *Journal of voice: official Journal of the Voice Foundation* 12(4), pp. 489-499, 1998.

[6] ANSI S12.60:2002. Acoustical performance criteria, design requirements, and guidelines for schools, 2002.

[7] ANSI S12.60-2010/part 1: Permanent schools. Acoustical performance criteria, design requirements and guidelines for schools, 2010.

[8] ANSI S12.60-2009/part 2: Relocatable classroom factors, Acoustical performance criteria, design requirements and guidelines for schools, 2009.

[9] Building Bulletin 93, United Kingdom, 2003.

[۱۰] مقررات ملی ساختمان، مبحث هجدهم. عایق بندی و تنظیم صدا. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. ۱۳۹۱.

[11] ODEON homepage. http://www.dat.dtu.dk/_odeon (accessed September 01, 2015).
[12] ISO 354: 2003, Acoustics, Measurement of sound absorption in a reverberation room, 2003.
[13] BS EN 60268-16:2003. Sound system equipment, Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index, 2003.
[14] BS EN ISO 9921:2003 Ergonomics-Assessment of speech communication, 2003.

پی‌نوشت

1. ODEON ®
2. reverberation time
3. ANSI
4. speech transmission index
5. IEC 60268-16
6. image source
7. ray-tracing/radiosity
8. post-processing
9. vocal effort