مقاله علمی ترویجی

اثرپذیری وضوح گفتار از تغییرات طول و عرض کلاس‌های درس با حجم فضایی مشابه

سیدآرش نبوتی فومنی*
دانشجو دکتری
دانشکده معماری و شهرسازی
دانشگاه علم و صنعت ایران
arashnabovvati@gmail.com

فرهنگ مظفر
دانشیار گروه معماری
دانشکده معماری و شهرسازی
دانشگاه علم و صنعت ایران
m.mozaffar@aui.ac.ir

سید رضا مرتضایی
استادیار گروه طراحی صنعتی
دانشکده معماری و شهرسازی
دانشگاه علم و صنعت ایران
mortezaei@iust.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۲۳

چکیده

تعامل میان دانش‌آموز و معلم و به تبع آن عملکرد آموزشی در کلاس درس به میزان قابل توجهی تحت تأثیر وضوح گفتار معلم توسط دانش‌آموز است. با توجه به تأثیرپذیری شاخص تراگسیل گفتار[1] از شرایط کالبدی فضا در کنار عوامل انسانی، می‌توان انتظار داشت که ایجاد شرایط محیطی مطلوب در این فضاها به منظور ایجاد شرایط آکوستیکی مناسب، موجب بهبود سنجه‌های کمّی مرتبط با وضوح گفتار و در نتیجه ارتقا عملکرد فضاهای آموزشی گردد. در مطالعات پیشین اغلب توجه محققین معطوف به تراز نوفه زمینه به عنوان یک عامل بیرونی و یا کاربرد مواد عایق و جاذب صوت در دیوارها و یا سطوح داخلی بوده و به تأثیر تغییرات طول و عرض فضاها در شرایط حجمی یکسان که دارای زمان واخنش[2] برابر از نظر محاسباتی هستند، کمتر پرداخته شده است. بنابراین، اثرپذیری وضوح گفتار شنوندگان، با شرایط و موقعیت قرارگیری یکسان نسبت به منبع صدا در فضاهایی با طول و عرض متفاوت ولی با مساحت و حجم یکسان، هدف این مقاله است. در تحقیق حاضر تلاش گردیده با رویکردی توصیفی-تحلیلی از طریق شبیه‌سازی با نرم‌افزار ادئون[3] جهت تولید داده لازم برای آزمون‌های آماری و به ویژه آزمون همبستگی به منظور بررسی اثرپذیری مقادیر شاخص تراگسیل گفتار نقاط گیرنده ثابت در فضاهایی با طول و عرض مختلف پرداخته شود. طبق یافته‌های حاصل از آزمون‌های آماری مشخص گردید که افزایش طول و همچنین افزایش فاصله بین محل گیرنده و سطوح جانبی، در فضاهای با مساحت و حجم یکسان موجب کاهش مقادیر شاخص تراگسیل گفتار شدند.

واژگان کلیدی: شاخص تراگسیل گفتار، کلاس درس، ابعاد فضایی، شبیه‌سازی صوتی، ادئون

۱. مقدمه

یادگیری اصلی‌ترین عملکرد فضاهای آموزشی است که خود تحت تأثیر سه دسته عامل اصلی محیطی؛ انگیزشی و آموزشی قرار دارد [۱]. عوامل محیطی به عنوان فیزیکی‌ترین عوامل مؤثر بر یادگیری ، دربرگیرنده کیفیت دمایی، روشنایی، صوتی و کیفیت هوا است [۲] که شرایط صوتی و آکوستیکی به عنوان یکی از عوامل محیطی تأثیرگذار بر کیفیت یادگیری در تحقیق حاضر مورد توجه قرار گرفته است. وضوح گفتار معلم در کلاس درس توسط دانش‌آموز به عواملی نظیر ویژگی‌های گفتار، مهارت گوینده، مهارت شنونده و نبود هرگونه نقص شنوایی، نوفه و آکوستیک کلاس بستگی دارد [۳، ۴، ۵].

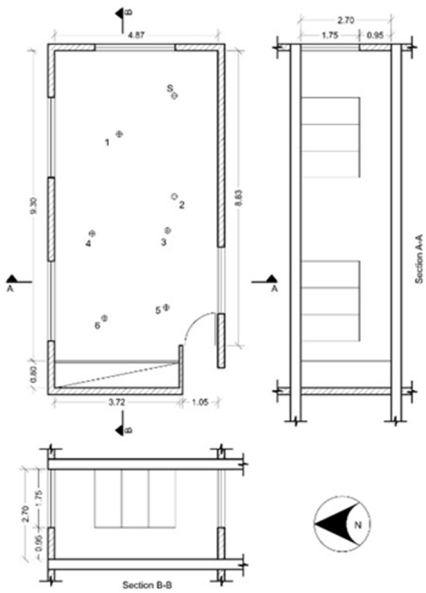
وضوح گفتار[۴] بنا به تعریف، درصدی از محتوای گفتار[۵] است که به درستی توسط شنونده تشخیص داده می‌شود. وضوح گفتار به واسطه آزمون‌های وضوح گفتار که جزء آزمون‌های ذهنی[۶] قابل طبقه‌بندی هستند به صورت مستقیم مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرد و یا اینکه می‌توان آن را توسط سنجه‌هایی کمّی[۷] که جزء آزمون‌های عینی[۸] قابل طبقه‌بندی هستند مورد پیش‌بینی قرار داد. شاخص تراگسیل گفتار به عنوان یک سنجه کمّی، بدین منظور ایجاد گردیده تا تأثیرات آکوستیک فضا بر وضوح گفتار را پیش‌بینی نماید [۶، ۷، ۸ ،۹]. وضوح گفتار با افزایش نسبت تراز صدای گفتار به نوفه زمینه افزایش می‌یابد و با افزایش زمان واخنش، از آن کاسته می‌شود [۸، ۱۰، ۱۱]؛ با این حال باید توجه نمود که در مراحل اولیه طراحی و انجام محاسبات عددی بر پایه فرمول‌های پایه و به خصوص در زمان محاسبه اولیه زمان واخنش براساس فرمول سابین و ایرینگ[۹]، تفاوت ابعادی فضا بین دو کلاس با حجم یکسان مدنظر قرار نگرفته و تأثیرات احتمالی آن مغفول واقع می‌گردد. به بیان دیگر، پیش از اجرا مشخص نیست که اگر دو کلاس درس با مساحت و حجم کاملاً یکسان و حتی با وجود سطوح جاذب مشابه و یک ضریب جذب کلی برابر، به لحاظ طول و عرض متفاوت باشند آیا این تفاوت ابعادی در وضوح گفتار در این دو کلاس تغییری ایجاد خواهد نمود یا خیر. پرسش اساسی در اینجا حساسیت و یا عدم وجود حساسیت مقادیر شاخص تراگسیل صدا در نقاط مشابه در فضاهایی با حجم و جذب کلی مشابه با ابعاد طول و عرض متفاوت است.

برای رفع نقایص و مشکلات و یا دستیابی به حد مطلوب و استاندارد در کیفیت صوتی محیط داخلی کلاس‌های درس، دو رویکرد متداول و زمینه اصلی تحقیقات پیشین در خصوص عایق‌های صوتی و یا جاذب‌های صوتی است [۱۲] و به نقش کالبد اصلی فضا و محیط داخلی و تأثیر آن بر شرایط صوتی یا توجه نشده است و یا به برخی کاربری‌های دیگر نظیر استودیوهای ضبط و یا مانند آن معطوف گردیده است. با توجه به تأثیر شناخته شده تناسبات و ابعاد فضا بر امواج حاصل از بازتاب صدا در محیط‌های بسته [۱۳، ۱۴]، مجدداً تأکید می‌گردد که مسئله اصلی طرح شده در این تحقیق بررسی تأثیر ابعاد مختلف کلاس‌های درس با حجم و ظرفیت تعداد دانش‌آموز یکسان براساس ضوابط و استانداردهای عمومی طراحی کلاس‌های مدارس ابتدایی بر شاخص تراگسیل گفتار در این فضاها است. با درنظر گرفتن مسائل پیش گفته در خصوص اهمیت و ضرورت موضوع تحقیق، می‌توان هدف کلی تحقیق را فراهم آوردن وضوح گفتار مطلوب از طریق انتخاب طول و عرض بهینه در طراحی معماری فضای آموزشی به منظور تسهیل فرایند یادگیری عنوان کرد. به این منظور و در چهارچوب یک تحقیق کاربردی ، از محیط شبیه‌سازی نرم‌افزار ادئون نسخه ۱۴ جهت توصیف و تحلیل و بررسی مقادیر شاخص تراگسیل گفتار چهار گروه کلاس درس با ظرفیت، مساحت و حجم یکسان استفاده گردید. در هر گروه، چهار نمونه با ابعاد طول و عرض مختلف و با ارتفاع یکسان تولید و مدل‌سازی شد. به منظور اطمینان از نتایج به‌دست آمده، ابتدا نرم‌افزار ادئون

اعتبارسنجی گردید و سپس جهت تحلیل نتایج و اجرای آزمون‌های آماری و همبستگی، از نرم‌افزار اس پی اس اس[10] نسخه ۲۵ استفاده شد و در پایان بر اساس یافته‌های به‌دست آمده نتیجه‌گیری به عمل آمد.

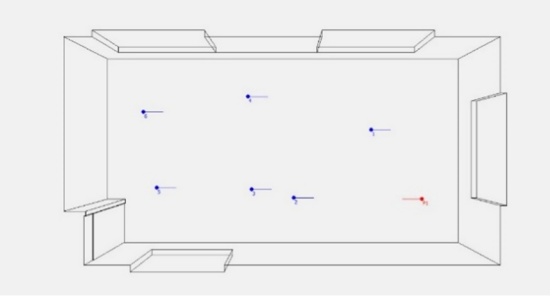
۲. اعتبارسنجی نرم‌افزار ادئون

با توجه به استفاده از شبیه‌سازی در این تحقیق به منظور تولید داده شاخص تراگسیل گفتار و استفاده از یک نرم‌افزار تجاری بدین منظور، ضروری است جهت قابل اعتماد بودن مقادیر داده‌ها نسبت به اعتبارسنجی نرم‌افزار اقدام گردد. به منظور اعتبارسنجی نرم‌افزار شبیه‌ساز، با بررسی پیشینه موضوع در تحقیقات پیشین [۵، ۱۵–۲۹]، اجرای آزمون اندازه‌گیری زمان واخنش بر اساس استاندارد ایزو[11] ۳۳۸۲ [۳۰] به صورت میدانی در یک فضا واقعی همانند شکل ۱ و ۲، و تطبیق نتایج مربوط به زمان واخنش در بسامدهای مختلف با نتایج حاصله از شبیه‌سازی نرم‌افزار از همان فضا که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، انجام گرفت. مشخصات فضای مورد آزمون به این شرح است؛ طول کلی معادل ۹/۳ متر، عرض ۴/۸۷ و ارتفاع مفید ۲/۷ متر؛ اتاق دارای یک در ورودی به عرض ۱/۰۵ متر و ارتفاع ۲/۲ متر از جنس کلاف چوبی و رویه تخته سه لایی با رنگ مات و بدون پاشنه و همچنین چهار پنجره در سه وجه بود. دو پنجره در ضلع شمال و یک پنجره در ضلع شرق اتاق قرار داشتند. عرض این سه پنجره معادل ۲/۴ متر، ارتفاع ۱/۷۵ متر و فاصله از کف برابر با ۰/۹۵ متر بود. پنجره چهارم در ضلع جنوبی و به صورت مشترک با اتاق اداری مجاور قرار داشت. عرض این پنجره برابر با ۲ متر و سایر ابعاد مشابه سه پنجره دیگر بود. کلیه پنجره‌ها دارای چهارچوب و قاب و لنگه از جنس UPVC[12] و شیشه‌های دو جداره بود. پنجره ضلع شرقی به‌طور کامل به‌وسیله پرده ضخیم مخملی پوشیده شده و پرده نمایش جهت ویدئو پروژکتور در مقابل آن قرار داشت. سایر پنجره‌ها مجهز به پرده لوردراپه بودند اما در زمان اجرای آزمون پرده آنها جمع شد تا سطح پنجره‌ها به صورت کامل نمایان گردد. کف اتاق از جنس سرامیک به ابعاد ۰/۶ × ۰/۶ متر پوشیده و پوشش سقف از تایل آکوستیک بدون فاصله هوایی و چسبیده شده به سقف وجنس پوشش دیوارها از اندود گچ و رنگ شده به صورت مات بود. در ضلع غربی اتاق کمد دیواری به صورت سرتاسری به عمق ۰/۸ متر با چهارچوب چوبی و رویه تخته سه‌لایی با رنگ مات (مشابه در ورودی) پوشیده شده است.



شکل ۱. پلان فضای آزمون به همراه موقعیت منبع و نقاط گیرنده

شکل۲. اندازه‌گیری زمان واخنش در فضای واقعی



شکل۳. مدل شبیه‌سازی شده از فضای آزمون در محیط ادئون

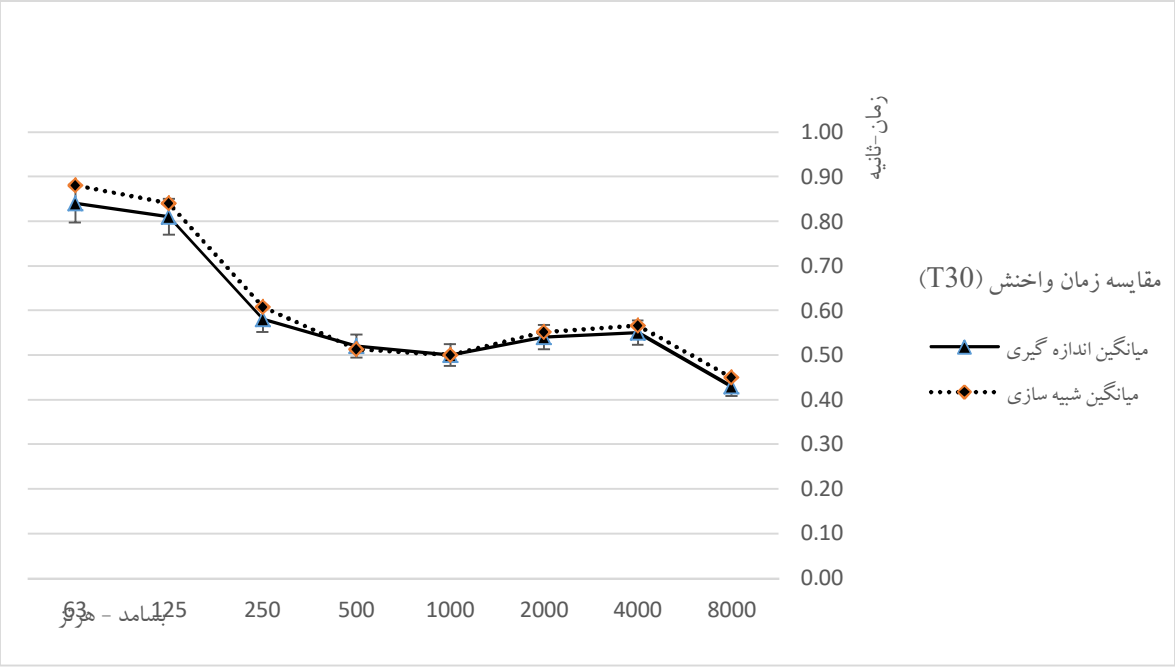
با توجه به کاربری آموزشی اتاق، تعداد ۹ میز دانشجو به ابعاد ۰/۷۴ × ۱/۴ × ۰/۷۶ متر به همراه ۳۲ صندلی دانشجو و ۲ صندلی مدرس با روکش چرم مصنوعی و قاب و فریم پلاستیکی در داخل اتاق قرار داشت. سیستم گرمایش و سرمایش اتاق به صورت سه دستگاه فن‌کویل ایستاده دیواری بود. شماره‌گذاری نقاط ارتباطی به ترتیب اندازه‌گیری نداشته و با توجه به لزوم رعایت فاصله حداقل ۲ متر و یا معادل یک دوم طول موج، فاصله بین گیرنده‌ها تعیین گردید. تلاش گردید موقعیت منبع صدا در محل آموزگار و موقعیت‌های گیرنده در محل شنوندگان در شرایط واقعی باشد.

روش نوفه منقطع[۱۳] به عنوان یکی از روش‌های پیشنهادی استاندارد ایزو ۳۳۸۲ و استاندارد ملی ۲-۱۲۵۱۹ جهت تحریک اتاق به منظور اندازه‌گیری زمان واخنش مورد استفاده قرار گرفت. منبع صدا یک بلندگو دوازده وجهی مدل ۴۲۹۶ Dodecahedron Loudspeaker Type و یک دستگاه آمپلی فایر مدل۲۷۱۶ Power Amplifier Type هر دو ساخت شرکت Bruel & Kjaer به عنوان منبع صدای همه جهتی مورد استفاده قرار گرفت. جهت اندازه‌گیری تراز صدا در نقاط مختلف اتاق آزمون از یک دستگاه تحلیلگر[۱۴] دستی با مدل۲۲۵۰ Hand-held Analyzer Type مجهز به میکروفون خازنی ساخت شرکت Bruel & Kjaer به عنوان گیرنده به‌کار گرفته شد. به منظور اندازه‌گیری دما و رطوبت نسبی اتاق در حین انجام آزمون، از دستگاه نمایشگر شرایط محیطی مدل ۶۲۲ Scientific Ambient Monitor ساخت شرکت testo استفاده شد.

زمان انجام آزمون صبح زود و قبل از آغاز ساعت کار اداری انتخاب گردید و در زمان انجام آزمون، اتاق خالی از حضور کاربران بود. ارتفاع منبع صدا از کف ۱/۵ متر و ارتفاع گیرنده معادل ۱/۲ متر از کف تعیین شد. رطوبت نسبی در زمان شروع آزمون ۲۸٪ و دمای محیط برابر با ۲۵ درجه سیلسیوس اندازه‌گیری و ثبت شد. تراز نوفه زمینه در ۵ نقطه از اتاق و در دو حالت تأسیسات روشن و خاموش اندازه‌گیری شد. میانگین تراز نوفه در شبکه وزنی A در حالت تأسیسات روشن معادل ۴۴/۲dB و در حالت تأسیسات خاموش معادل ۳۲/۶dB به‌دست آمد. با توجه به دستورالعمل مندرج در بخش ۵ استاندارد ملی ایران ۲-۱۲۵۱۹ و ایزو ۳۳۸۲ زمان واخنش (T۳۰) در نقاط مختلف اتاق و در بسامدهای مرکزی باندهای یک سوم اکتاوی اندازه‌گیری و با تبدیل به بسامدهای مرکزی باندهای یک اکتاوی به صورت میانگین کل فضا گزارش گردید.

نرم‌افزار ادئون بر پایه یک رویکرد ترکیبی طراحی شده است. در این رویکرد، روش منبع تصویر[۱۵] با روش پرتویابی[۱۶] و پرتو افشانی[۱۷] ترکیب شده است [۳۱، ۳۲]. به منظور مدل‌سازی سه بعدی، ابتدا پلان دو بعدی در محیط نرم‌افزار اتوکد[۱۸] ترسیم گردید و با توجه به پیشنهاد شرکت سازنده نرم‌افزار در راهنمای کاربری[۱۹] آن و به دلیل سازگاری حداکثری موجود میان این نرم‌افزار با مدل‌های سه بعدی تولید شده در محیط نرم‌افزار اسکچاپ[۲۰]، پلان تهیه شده در نرم‌افزار اتوکد به صورت دو بعدی وارد محیط نرم‌افزار اسکچاپ گردید. در گام بعدی، در محیط نرم‌افزار ادئون تخصیص مصالح به سطوح مدل شبیه‌سازی شده سه بعدی در تطابق حداکثری با وضع موجود در فضای نمونه صورت پذیرفت. طبق نتایج حاصله و بررسی مقایسه‌ای بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر حاصل از شبیه‌سازی، مندرج در شکل ۴ و جدول ۱، مشخص گردید که تفاوت

بین مقادیر کمتر از ۵٪ است. بر این اساس، با توجه به مجاز بودن مقدار ۵٪ تفاوت قابل توجه[۲۱] طبق استاندارد ایزو ۳۳۸۲ از یک سو و همچنین تطابق شکلی قابل قبول تغییرات در شکل ۴ بین مقادیر به‌دست آمده در فرکانس‌های مختلف، اعتبار نتایج حاصل از شبیه‌سازی تأیید گردید.



شکل۴ . مقایسه تطبیقی زمان واخنش در دو حالت اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی

جدول۱. مقایسه تطبیقی زمان واخنش T30 بر حسب ثانیه–اندازه‌گیری و شبیه‌سازی

باند بسامد یک اکتاوی	۸۰۰۰	۴۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۲۵۰	۱۲۵	۶۳
میانگین اندازه‌گیری	۰/۴۳	۰/۵۵	۰/۵۴	۰/۵۰	۰/۵۲	۰/۵۸	۰/۸۱	۰/۸۴
میانگین شبیه‌سازی	۰/۴۵	۰/۵۷	۰/۵۵	۰/۵۰	۰/۵۱	۰/۶۱	۰/۸۴	۰/۸۸
تفاوت – درصد	-۴/۷	-۳	-۲/۲	۰	۱/۳	-۴/۹	-۳/۷	-۴/۸

جدول۲ .کلیات گروه‌بندی نمونه‌های کلاس درس ابتدایی بر اساس جمع‌بندی منابع و ضوابط

گروه	ظرفیت (نفر)	سرانه مساحت (مترمربع)	سرانه حجم (مترمکعب)	مساحت کلاس (مترمربع)	حداقل حجم قابل قبول (مترمکعب)	ارتفاع مفید (متر)	حجم تأمین شده (مترمکعب)
۱	۲۴	۱/۷۵	۳/۶	۴۲	۸۶/۴	۳/۲	۱۳۴/۴
۲	۲۶	۱/۷۵	۳/۶	۴۵/۵	۹۳/۶	۳/۲	۱۴۵/۶
۳	۲۸	۱/۷۵	۳/۶	۴۹	۱۰۰/۸	۳/۲	۱۵۶/۸
۴	۳۰	۱/۷۵	۳/۶	۵۲/۵	۱۰۸	۳/۲	۱۶۸

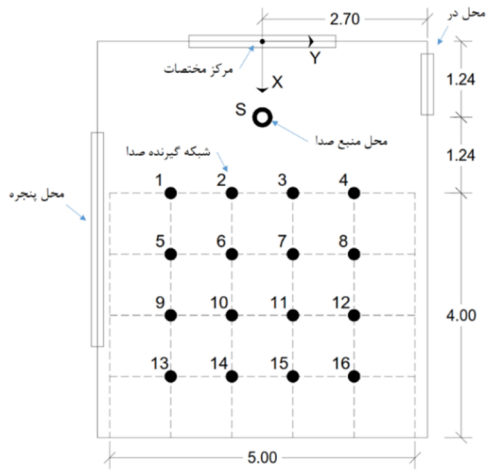
جدول۳. ابعاد تفکیکی نمونه‌های شانزده‌گانه جهت مدل‌سازی و استفاده در شبیه‌سازی

گروه	نمونه۱ (طول)	نمونه۱ (عرض)	نمونه۲ (طول)	نمونه۲ (عرض)	نمونه۳ (طول)	نمونه۳ (عرض)	نمونه۴ (طول)	نمونه۴ (عرض)
۱	۶/۴۸	۶/۴۸	۷	۶	۷/۳۷	۵/۷	۷/۷۸	۵/۴
۲	۶/۷۵	۶/۷۵	۷/۵۸	۶	۷/۹۸	۵/۷	۸/۴۳	۵/۴
۳	۷	۷	۸/۱۷	۶	۸/۶	۵/۷	۹/۰۷	۵/۴
۴	۷/۲۵	۷/۲۵	۸/۷۵	۶	۹/۲۱	۵/۷	۹/۷۲	۵/۴

۳. فضاهای نمونه جهت آزمون

با توجه به ضوابط و استانداردهای موجود در خصوص ابعاد کلاس درس [۱، ۳۳-۴۷]، مدل‌سازی نمونه‌ها و انجام آزمون‌های آکوستیکی در محیط شبیه‌سازی شده نرم‌افزار ادئون صورت گرفت. لازم به ذکر است، بر پایه اطلاعات به‌دست آمده از منابع و ضوابط موجود و در قالب یک گروه‌بندی چهارگانه (جدول ۲)، در هر گروه با حفظ مساحت پایه همان گروه و با تغییر در ابعاد طول و عرض، چهار نمونه فضا ایجاد گردید که در جدول ۳ آمده است. شانزده نمونه به‌دست آمده از کلاس درس جهت شبیه‌سازی تولید گردید. مقدار ارتفاع فضاهای نمونه به صورت ثابت و بدون تغییر درنظر گرفته شد تا امکان بررسی تأثیر تغییرات ابعاد طول و عرض بر شاخص تراگسیل گفتار به عنوان سنجه اصلی و متغیر وابسته تحقیق حاضر فراهم شود. نوفه زمینه معادل ۳۵ دسی‌بل تنظیم شد [۴۵-۴۹]. مصالح شماره ۲ بانک مصالح پیش فرض در نرم‌افزار ادئون با ضریب جذب یکسان ۰/۲ در کلیه باند بسامدهای یک اکتاوی به کلیه سطوح داخلی تخصیص داده شد تا به ضریب جذب کلی یکسان در کلیه نمونه‌های درون یک گروه دست یابیم و نقش این عامل نیز کنترل گردد.

به منظور مقایسه‌پذیر بودن داده‌های به‌دست آمده از نقاط شبیه‌سازی در نقاط گیرنده، یک شبکه جانمایی موقعیت گیرنده و منبع صدا در کلیه نمونه‌ها تعریف شد که در شکل ۵ مشاهده می‌شود. براساس استانداردهای ANSI۱۲/۶ S و ۹۳BB [۴۸، ۴۹].



شکل۵. شبکه منبع صدا و نقاط گیرنده با مختصات ثابت

فضاهای نمونه به صورت خالی شبیه‌سازی و مورد بررسی قرار گرفتند. منبع صدا در حد فاصل بین ردیف اول نقاط گیرنده و دیوار مقابل، با فاصله ۱/۲۴ متر از دیوار و بر روی محور مرکزی صفحه شبکه و با ارتفاع ۱/۶۵ متر از کف تعریف گردید. تراز صدای منبع در حالت صدای عادی[۲۲] طبق استاندارد ۹۳BB و معادل ۶۸ دسی‌بل انتخاب شد (مشابه صدای معلم به عنوان گوینده). در نمونه‌هایی که دارای حجم برابر بودند و در یک گروه قرار می‌گرفتند، با یکسان‌سازی ضریب جذب کلیه سطوح به منظور بی‌اثر کردن تأثیر ضریب جذب و حجم، امکان مقایسه میان داده‌های نقاط گیرنده مشابه در نمونه‌های هر گروه به‌وجود آمد. بر این اساس مقادیر شاخص تراگسیل گفتار بین نقاط

گیرنده مشابه در نمونه‌های هر گروه به نسبت فاصله هر نقطه از منبع قابل مقایسه گردید. با توجه به توضیحات ارائه شده و نظر به اینکه تنها تفاوت نمونه‌های داخل هر گروه، طول و عرض آنها است، لذا از این طریق تأثیر تغییرات این دو عامل بر شاخص تراگسیل گفتار در هر گروه از نمونه‌ها استخراج گردید.

٤. یافته ها

بر پایه گروه‌بندی‌های صورت گرفته، بررسی آماری میان مقادیر شاخص تراگسیل گفتار در قالب چهار گروه و شانزده نمونه، تحت شرایط ابعادی مختلف فضاها با استفاده از نرم‌افزار اس پی اس اس به انجام رسید. داده‌های به‌دست آمده از فرایند شبیه‌سازی به عنوان شرکت‌کنندگان آزمون درنظر گرفته شدند به‌گونه‌ای که تغییرات مقادیر شاخص تراگسیل گفتار در هر یک از نقاط گیرنده واقع بر روی شبکه طراحی شده، تحت تأثیر ابعاد مختلف فضا، به عنوان داده‌های متغیر وابسته آزمون فرض آماری وارد شدند و شرایط هر یک از فضاهای نمونه شانزده‌گانه که ناشی از تغییر در ابعاد بود به عنوان داده‌های متغیر مستقل مورد توجه واقع شدند.

ابتدا با استفاده از نرم‌افزار اس پی اس اس ورژن ۲۵، وضعیت توزیع داده‌ها به لحاظ چولگی[۲۳] و کشیدگی[۲۴] بررسی و سپس آزمون کولموگروف–اسمیرنف[۲۵] در داخل هر گروه به عمل آمد. ابتدا، مقادیر داده به‌دست آمده از شاخص تراگسیل گفتار مربوط به هر یک از نقاط شانزده‌گانه در فضاهای نمونه هر گروه، به‌دست آمده از نتایج گزارشات نرم‌افزار ادئون، در نرم‌افزار اس پی اس اس وارد گردید. کلیه داده‌ها به صورت کمّی پیوسته[۲۶] و دارای مقیاس اندازه‌گیری نسبی[۲۷] بودند. مشاهده گردید که مقادیر چولگی و به‌ویژه کشیدگی در اغلب موارد دارای مقادیری بیش از محدوده مورد قبول (۲+ الی ۲–) برای توزیع نرمال هستند. با این حال به منظور تأیید این مسئله، آزمون کولموگروف–اسمیرنف نیز در خصوص داده‌ها انجام و طبق نتایج با سطح معناداری قابل قبول ($p<۰/۰۵$) عدم احراز شرایط توزیع نرمال و به تبع آن ناپارامتریک بودن داده جهت انتخاب آزمون آماری تأیید گردید. همچنین با توجه به کمّی بودن مقادیر شاخص تراگسیل گفتار و به دلیل عدم وجود توزیع نرمال و نیز درنظر گرفتن حضور مکرر شانزده نقطه گیرنده در کلیه نمونه‌ها که مؤید شرایط نمونه وابسته[۲۸] است، آزمون انتخابی جهت تحلیل وضعیت مقادیر شاخص تراگسیل گفتار، آزمون آماری فریدمن[۲۹] و آزمون تعقیبی[۳۰] ویلکاکسن[۳۱] تعیین گردید. براساس نتایج این آزمون، تفاوت معنادار آماری بین مقادیر شاخص تراگسیل گفتار در بین نمونه‌های داخلی گروه دوم (df=۳، sig=۰/۰۰۱، chi-square=۱۵/۸۸) و چهارم (df=۳، sig=۰/۰۲۹، chi-square=۹) مشاهده شد، که میزان معناداری فرض صفر آزمون کمتر از ۰/۰۰۵ بود ($p<۰/۰۰۵$). آزمون ویلکاکسن به صورت زوجی در میان فضاهای نمونه چهارگانه هریک از گروه‌های دوم و چهارم به‌کار رفت. با استفاده از روش اصلاحی بنفرونی[۳۲]، مقدار سطح معناداری آماری برای آزمون ویلکاکسن معادل ۰/۰۱۲۵ به‌دست آمد. بر این اساس مقادیر میانگین رتبه‌های مربوط به شاخص تراگسیل گفتار برای شش مقایسه زوجی در داخل گروه دوم و چهارم استخراج گردید. در این میان، تنها مقادیر مربوط به مقایسه زوجی فضای دوم از گروه دوم با فضای چهارم از گروه دوم دارای معناداری آماری با توجه به سطح معناداری ۰/۰۱۲۵ و معرف کاهش مقادیر شاخص تراگسیل گفتار با نه رتبه منفی از ۱۶، در مقابل افزایش طول و کاهش عرض فضا در عین حفظ مساحت و حجم آن بود (sig =۰/۰۱۴، Z= –۲/۴۴۹).

به منظور بررسی تأثیر فاصله نقاط شانزده‌گانه گیرنده نسبت به منبع صدا بر مقادیر شاخص تراگسیل گفتار در فضاهای نمونه با ابعاد مختلف، تحلیل همبستگی با استفاده از آزمون

اسپیرمن[۳۳]، به دلیل ناپارامتریک بودن داده‌ها و مقیاس فاصله‌ای مقادیر، با استفاده از نرم‌افزار اس پی اس اس به انجام رسید که در جدول ۴ آمده است. نقاط گیرنده ۱ الی ۴ در ردیف اول، ۵ الی ۸ در ردیف دوم، ۹ الی ۱۲ در ردیف سوم، ۱۳ الی ۱۶ در ردیف چهارم قرار داشتند. براساس نتایج آزمون، همبستگی بین تغییر فاصله و تغییر مقادیر شاخص تراگسیل گفتار در نمونه چهارم از گروه دوم، نمونه اول از گروه سوم، نمونه دوم از گروه سوم، نمونه سوم از گروه سوم، نمونه چهارم از گروه سوم، نمونه اول از گروه چهارم، نمونه دوم از گروه چهارم، نمونه سوم از گروه چهارم و نمونه چهارم از گروه چهارم به لحاظ آماری معنادار بود ($p<۰/۰۵$).

به‌طور خلاصه می‌توان گفت، در هر یک از گروه‌های چهارگانه، چهار فضای نمونه با حجم و مساحت یکسان اما با طول و عرض متفاوت مورد مقایسه از نظر تغییر معنادار مقادیر شاخص تراگسیل گفتار قرار گرفتند. پس از بررسی و انجام آزمون آماری در خصوص وجود و یا عدم وجود تفاوت معنی‌دار آماری، به جستجو وجود و یا عدم وجود رابطه همبستگی بین فاصله و ردیف قرارگیری نقاط گیرنده نسبت به منبع صدا پرداخته شد.

جدول۴. نتایج آزمون همبستگی اسپیرمن

فضا	ضریب همبستگی (rho) فاصله (STI)	Sig	جهت و میزان همبستگی	ضریب همبستگی (rho) ردیف (STI)	Sig	جهت و میزان همبستگی	
R1-1	-۰/۳۲۷	۰/۲۱۶	-	-۰/۱۴۲	۰/۶۰	-	گروه ۱
R1-2	-۰/۲۲۵	۰/۴۰۲	-	-۰/۰۵۱	۰/۸۵	-	
R1-3	-۰/۲۲۵	۰/۴۰۲	-	-۰/۰۵۱	۰/۸۵	-	
R1-4	-۰/۳۲۷	۰/۲۱۶	-	-۰/۱۴۲	۰/۶۰	-	
R2-1	-۰/۳۹۹	۰/۱۲۶	-	-۰/۱۹۸	۰/۴۶۳	-	گروه ۲
R2-2	-۰/۲۲۵	۰/۴۰۲	-	-۰/۰۵۱	۰/۸۵۰	-	
R2-3	-۰/۴۸۱	۰/۰۵۹	-	-۰/۳۲۴	۰/۲۲۱	-	
R2-4	-۰/۵۴۵	۰/۰۲۹	منفی- متوسط	-۰/۴۱۹	۰/۱۰۶	-	
R3-1	-۰/۶۵۵	۰/۰۰۶	منفی- متوسط	-۰/۵۴۳	۰/۰۳۰	منفی- متوسط	گروه ۳
R3-2	-۰/۶۳۴	۰/۰۰۸	منفی- متوسط	-۰/۵۱۷	۰/۰۴۰	منفی- متوسط	
R3-3	-۰/۷۰۶	۰/۰۰۲	منفی- قوی	-۰/۶۰۳	۰/۰۱۳	منفی- متوسط	
R3-4	-۰/۸۴۴	۰/۰۰	منفی- قوی	-۰/۷۰۳	۰/۰۰۱	منفی- قوی	
R4-1	-۰/۶۲۷	۰/۰۰۹	منفی- قوی	-۰/۵۰۳	۰/۰۴۷	منفی- متوسط	گروه ۴
R4-2	-۰/۷۳۰	۰/۰۰۱	منفی- قوی	-۰/۵۸۰	۰/۰۱۹	منفی- متوسط	
R4-3	-۰/۹۰۲	۰/۰۰	منفی- قوی	-۰/۸۱۰	۰/۰۰	منفی- قوی	
R4-4	-۰/۸۹۱	۰/۰۰	منفی- قوی	-۰/۷۹۴	۰/۰۰	منفی- قوی	

۵. نتیجه‌گیری

به عنوان اولین نتیجه مشهود ناشی از یافته‌های آزمون‌های آماری، مشخص گردید که می‌بایست در هنگام طراحی معماری کلاس‌های درس و در زمان انتخاب ابعاد طول و عرض این فضاها در مرحله فاز ۱ طراحی، علاوه‌بر رعایت سرانه‌ها و ظرفیت کلاس‌ها طبق استانداردهای مربوطه، به‌طور ترجیحی از فضاهایی با طول و عرض برابر و دارای تناسب مربع استفاده شود و در صورت به‌کارگیری پلان

مستطیل شکل برای کلاس درس، تا حد امکان از طول فضا کاسته شود؛ البته این مسئله نیازمند تحقیق و بررسی بیشتر در شرایط و موقعیت‌های مختلف است. توضیح اینکه، بر پایه نتایج به‌دست آمده از آزمون‌های آماری، ایجاد تغییر در ابعاد طول و عرض در میان چهار نمونه داخلی از گروه دوم با مساحت ۴۵/۵ مترمربع و حجم ۱۴۵/۶ مترمکعب، با معناداری آماری قابل توجهی بر تغییر مقادیر شاخص تراگسیل گفتار در نقاط گیرنده مشابه بین نمونه‌ها تأثیرگذار بوده است. تأثیر منفی افزایش طول و کاهش عرض در مقادیر شاخص تراگسیل گفتار در نمونه دوم از گروه دوم (R۲-۲) و نمونه چهارم از همان گروه (R۲-۴) کاملا مشهود بود.

به عنوان دومین نتیجه قابل ارائه حاصل از تحقیق حاضر و براساس یافته‌های آزمون همبستگی مشخص گردید که با افزایش مساحت، نقاط گیرنده قرار گرفته در ردیف چهارم شبکه نقاط، باکاهش مقادیر شاخص تراگسیل گفتار روبه‌رو شدند. این مسئله در مقایسه درون گروهی که مساحت و حجم نمونه‌ها ثابت است نیز مشاهده می‌گردد؛ به خصوص افزایش ضریب همبستگی با ضریب منفی در گروه چهارم، ناشی از افزایش طول و کاهش عرض، و به‌ویژه همبستگی منفی قوی در نمونه های دوم، سوم و چهارم این گروه، این فرضیه را مطرح می‌کند که افزایش فاصله از سطوح پیرامونی می‌تواند موجب کاهش بازتاب‌های اولیه مفید و در نتیجه کاهش مقادیر شاخص تراگسیل گفتار در نقاط گیرنده مشابه در فضاهای با طول بیشتر نسبت به فضاهای با طول کمتر و با مساحت و حجم یکسان گردد که انجام مطالعات و بررسی‌های بیشتر در این خصوص ضروری است.

به عنوان پیشنهاد برای تحقیقات آتی می‌توان علاوه‌بر مطالعات بیشتر پیرامون تأثیرات بازتاب‌های مفید بر شاخص تراگسیل گفتار به انجام بررسی‌های میدانی و انجام آزمایشات تجربی بیشتر، افزایش تعداد نمونه‌ها و تأمین تنوع بیشتر ابعاد طول و عرض نمونه‌ها در جامعه آماری به منظور قابلیت بررسی مضاعف و تعمیق و تعمیم بیشتر یافته‌ها اشاره نمود. همچنین، محدود بودن امکانات و تجهیزات و همچنین در دسترس نبودن طیف مختلفی از کلاس‌های درس واقعی با ابعاد و اندازه‌های متنوع، جزء محدودیت‌های تحقیق حاضر هستند.

٦. قدردانی

لازم به ذکر است کلیه دستگاه‌های مورد استفاده در اندازه‌گیری زمان واخنش فضای واقعی متعلق به آزمایشگاه آکوستیک مرکز تحقیقات راه، ساختمان و مسکن بوده و کلیه مراحل انجام آزمون زمان واخنش با همکاری متخصصان و کارشناسان همان مرکز صورت پذیرفت. همچنین فضای آزمون از یکی از کلاس های واقع در ساختمان آموزش مرکز تحقیقات راه، ساختمان و مسکن انتخاب گردید بدین‌وسیله از همکاری صورت گرفته قدردانی و سپاسگزاری به عمل می‌آید. لازم به ذکر است نتایج حاصل از آزمون اندازه‌گیری زمان واخنش در خصوص فضای منتخب طی گزارش رسمی شماره ۰۱-۲۹۷-۹۷-AC-TR از سوی بخش آکوستیک مرکز تحقیقات راه، ساختمان و مسکن ارائه شده است.

۷. مآخذ

[۱]. محمودی، محمد مهدی، *"طراحی فضاهای آموزشی با رویکرد انعطاف پذیری"*، انتشارت دانشگاه تهران،۱۳۹۱.

[۲]. دیده‌بان، محمد و دیگران، "ارزیابی شرایط آکوستیکی کلاس های درس با روش ارزیابی پس از بهره برداری"، *نشریه صوت و ارتعاش*، شماره ۱۳، ۱۳۹۷.

[3] Hodgson, Murray, and Eva-Marie Nosal. "Effect of noise and occupancy on optimal reverberation times for speech intelligibility in classrooms", *The Journal of the Acoustical Society of America,* 2002, Vol.111, no.2, pp.931-939.

[4] Zannin, Paulo Henrique Trombetta, C. R. M. Passero, and D. P. Z. Zwirtes. "Assessment of acoustic quality in classrooms based on measurements, perception and noise control", *Noise Control, Reduction and Cancellation Solutions in Engineering,* 2012.

[5] Nowoświat, Artur, and Marcelina Olechowska, "Estimation of reverberation time in classrooms using the residual minimization method", *Archives of Acoustics,* 2017, Vol.42.

[6] Steeneken, Herman JM, and Tammo Houtgast, "A physical method for measuring speech-transmission quality", *The Journal of the Acoustical Society of America,* 1980, Vol.67, no.1 pp.318-326.

[7] Houtgast, T. A. M. M. O., Herman JM Steeneken, and R. Plomp, "Predicting speech intelligibility in rooms from the modulation transfer function. I. General room acoustics", *Acta Acustica united with Acustica,* 1980, Vol.46, no.1, pp.60-72.

[8] Steeneken, Herman JM, and Tammo Houtgast, "A physical method for measuring speech-transmission quality", *The Journal of the Acoustical Society of America,* Vol.67, no.1, pp.318-326.

[9] Bradley, John S. "Predictors of speech intelligibility in rooms, "*The Journal of the Acoustical Society of America,* 1986, Vol.80, no.3, pp.837-845.

[10] Ahnert, Wolfgang, Stefan Feistel, and Oliver Schmitz, "Modern tools in acoustic design of concert halls and theatres-use and limitations of computer simulation and auralisation", *XIII Session of the Russian Acoustical Society Moscow,* 2003.

[11] Bradley, J. S., R. Da Reich, and S. G. Norcross, "On the combined effects of signal-to-noise ratio and room acoustics on speech intelligibility", *The Journal of the Acoustical Society of America,* 1999, Vol.106, no.4, pp.1820-1828.

[12] Bistafa, Sylvio R., and John S. Bradley "Reverberation time and maximum background-noise level for classrooms from a comparative study of speech intelligibility metrics", *The Journal of the Acoustical Society of America,* 2000, Vol.107, no.2, pp.861-875.

[13] Dockrell, J., "Children's Perceptions of Environmentar Noise in Classrooms", *Proc. of the Institute of Acoustics,* 2002, Vol.24, no.2.

[14] Cox, Trevor J., and Peter D'antonio, "*Acoustic absorbers and diffusers: theory, design and application",* Crc Press, 2009.

[15] Cox, Trevor J., Peter D'Antonio, and Mark R. Avis, "Room sizing and optimization at low frequencies", *Journal of the Audio Engineering Society,* 2004, Vol.52, no.6, pp.640-651.

[16] Naylor, Graham M., "ODEON—another hybrid room acoustical model", *Applied Acoustics,* 1993, Vol.38, no. 2-4, pp.131-143.

[17] Zeng, Xiangyang, Claus Lynge Christensen, and Jens Holger Rindel, "Practical methods to define scattering coefficients in a room acoustics computer model", *Applied acoustics,* 2006, Vol.67, no.8, pp.771-786.

[18] Astolfi, Arianna, Vincenzo Corrado, and Alessia Griginis, "Comparison between measured and calculated parameters for the acoustical characterization of small classrooms", *Applied Acoustics,* 2008, Vol.69, no.11, pp.966-976.

[19] Liu, Jacob Chia-chun, and Po-Chien Lu, "Sound field prediction in long enclosures with branches: A combined method", *Applied acoustics,* 2010, Vol.71, no.4, pp.306-314.

[20] Passero, Carolina Reich Marcon, and Paulo Henrique Trombetta Zannin, "Statistical comparison of reverberation times measured by the integrated impulse response and interrupted noise methods, computationally simulated with ODEON software, and calculated by Sabine, Eyring and Arau-Puchades' formulas", *Applied Acoustics,* 2010, Vol.71, no.12, pp.1204-1210.

[21] Roy, K. P.,and Browne,S.D., “Classroom Acoustics and Green Schools” *proceeding of the international symposium on room acoustics, ISRA 2010,* Melbourne, Australia, 2010.

[22] Rychtáriková, Monika, Tim Van den Bogaert, Gerrit Vermeir, and Jan Wouters, "Perceptual validation of virtual room acoustics: Sound localisation and speech understanding", *Applied Acoustics,* 2011, Vol.72, no.4, pp.196-204.

[23] Rychtáriková, Monika, Vojtech Chmelík, Daniel Urbán, and Andrea Vargová, "Acoustic conditions in the atrium of Slovak philharmonic", In *International Symposium on “Novel Structural Skins: Improving sustainability and efficiency through new structural textile materials and designs”, Procedia Engineering*, 2016, Vol.155, pp. 464-471.

[24] Eldakdoky, Soha, and Ahmed Elkhateeb, "Acoustic improvement on two lecture auditoria: Simulation and experiment", *Frontiers of Architectural Research,* 2017, Vol.6, no.1, pp.1-16.

[25] Zhu, Peisheng, Fangshuo Mo, Jian Kang, and Guofeng Zhu, "Comparisons between simulated and in-situ measured speech intelligibility based on (binaural) room impulse responses", *Applied Acoustics,* 2015, Vol.97, pp.65-77.

[26] Zhao, Sipei, Xiaojun Qiu, Eva Cheng, Ian Burnett, Nick Williams, Jane Burry, and Mark Burry, "Sound quality inside small meeting rooms with different room shape and fine structures", *Applied Acoustics,* 2015, Vol.93, pp.65-74.

[27] Urbán, Daniel, Vojtech Chmelík, Peter Tomašovič, and Monika Rychtáriková, "Analysis of the acoustic conditions in a tent structures", *Energy Procedia,* 2015, Vol.78, pp.489-494.

[28] Yu, Jingxia, Shuping Wang, Xiaojun Qiu, Abu Shaid, and Lijing Wang, "Contributions of various transmission paths to speech privacy of open ceiling meeting rooms in open-plan offices", *Applied Acoustics,* 2016, Vol.112, pp.59-69.

[29] Visentin, Chiara, Nicola Prodi, Francesca Cappelletti, Simone Torresin, and Andrea Gasparella, "Using listening effort assessment in the acoustical design of rooms for speech", *Building and Environment,* 2018, Vol.136, pp.38-53.

[۳۰] سهرابی‌کیا، زینب، هدایتی، محمدجعفر، " بررسی شرایط آکوستیکی کلاس‌های درسی با استفاده از نرم‌افزار ادئون (مطالعه موردی)" *نشریه صوت و ارتعاش*، شماره ۷، ۱۳۹۴.

[31] ISO: International Organization For Standardization. ISO 2-3382: Acoustics - measurement of room acoustic parameters. Part 2, Reverberation time in ordinary rooms, 2008.

[32] Rindel, Jens Holger, "The use of computer modeling in room acoustics", *Journal of vibroengineering,* 2000, Vol.3, no.4, pp.219-224.

[33] DE CHIARA, J., CROSBIE, M. J., “Time saver standards for building types”, *Whitehouse Station, McGraw-Hill,* 2001.

[34] Picard, Michel, and John S. Bradley, "Revisiting Speech Interference in Classrooms: Revisando la interferencia en el habla dentro del salón de clases", *Audiology,* 2001, Vol.40, no.5, pp.221-244.

[35] "DES: Department for Education & Skills. BB103: Building Bulletin 103. UK 2014.

[۳۶] استاندارد ملی ۲۰۸۶ ، بهداشت مدارس، سازمان ملی استاندارد ایران،۱۳۸۱.

[۳۷] ضوابط و معیارهای طراحی فضاهای آموزشی (ویرایش سوم) *سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس کشور*،۱۳۸۶.

[۳۸] غفاری، علی، "اصول و مبانی طراحی فضاهای آموزشی"، (جلد ششم)، *سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس کشور* ،۱۳۷۷.

[۳۹] طبائیان، سیده مرضیه، نیک روش، ریحانه، "نگاهی نو به معماری محیط آموزشی کودکان"، *دانشگاه آزاد اسلامی*،۱۳۹۶.

[40] Darmody,M., Smyth,E., Doherty,C., “*Designing Primary Schools for the Future*”, The Economic and Social Research Institute (ESRI), Irelan, 2010.

[۴۱] مهندسین مشاور ابنیه طراحان البرز، "*اصول و ضوابط طراحی مدولار مبلمان و تجهیزات فضاهای آموزشی و پرورشی*"، ۱۳۹۲.

[42] DoDEA, Design Process & Procedures to Provide Outstanding Schools, Department of Defense Education Activity, 2010

[۴۳] سازمان برنامه و بودجه، "*ضوابط طراحی ساختمان‌های آموزشی (برنامه‌ریزی معماری همسان مدارس ابتدایی و متوسطه)*"، ۱۳۹۵.

[۴۴] دفتر تدوین مقررات ملی ساختمان ایران ، "مبحث ۱۸ مقررات ملی ساختمان:عایق بندی و تنظیم صدا"، *مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی: تهران*، ۱۳۹۶.

[۴۵] استاندارد ملی شماره ۷۳۳۱، "کلاس مدارس ابتدایی"، *سازمان ملی استاندارد ایران*، ۱۳۸۲.

[۴۶] مبحث ۱۸ مقررات ملی ساختمان، "عایق بندی و تنظیم صدا"، *دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان: تهران*، ۱۳۹۶.

[۴۷] "راهنمای طراحی آکوستیکی فضاهای آموزشی"، *مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن: تهران*، ۱۳۸۵، نشریه شماره ۳۴۳.

[۴۸] نصیری، پروین، "مبانی آکوستیک در ساختمان‌ها"، *مرکز تحقیقات راه، ساختمان و مسکن: تهران*، ۱۳۸۹.

[49] DES: Department for Education and Skills. Building Bulletin 93. Acoustic Design of Schools, 2003.

[50] ANSI: American National Standards Institute. Standard S12.60-2016, Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools, 2016.

پی‌نوشت:

1. Speech Transmission Index(STI)
2. Reverberation
3. ODEON
4. Speech Intelligibility
5 . Speech Material
6 . Subjective
7 . Quantitative measurements
8 . Objective
9. Sabine and Eyring formula
10 . Statistical Package for the Social Sciences(SPSS)
11 . International Organization for Standardization(ISO)
12 . Unplasticized PolyVinyl Chloride
13 . Interupted Noise Method
14 . Sound Level Meter Analyzer
15. Image Source
16. Ray Tracing
17. Ray Radiosity Method(RRM)
18 . AutoCAD
19 . User Manual
20 . SketchUp
21 . Just noticeable difference (JND)
22 . Normal
23 . Skewness
24 . Kurtosis
25. Kolmogorov-Smirnov(K-S)
26 . Continues
27 . Ratio Scale
28 . Relative sample
29 . Friedman
30 . Post hoc
31 . Wilcoxon
32 . Bonferroni
33 . Spearman