بررسی اثرات بهبود ناشی از کاربرد جاذب‌های مختلف بر وضوح گفتار در یک سالن سخنرانی

سمیه امینی نسب*[۱]، زینب سهرابی‌کیا[۲]

[۱] *ایران، تهران، بزرگراه شیخ فضل ا... نوری، خیابان نارگل، خیابان حکمت، مرکز تحقیقات راه مسکن و شهرسازی، بخش آکوستیک، کد پستی ۱۴۶۴۷۳۸۸۳۱* S.AminiNasab@bhrc.ac.ir ؛

[۲] *ایران، تهران، خیابان شریعتی، خیابان مجتبایی، خیابان کاویان شرقی، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده فیزیک، کد پستی ۱۶۳۱۵۱۶۱۸*

چکیده

بی‌تردید یکی از مهمترین مسائل در خصوص طراحی سالن‌های سخنرانی مسئله آکوستیک آن‌ها می‌باشد. در این صورت این سوال مطرح می‌شود که چه معیارهایی بیانگر نحوه عملکرد یک سالن در خصوص کیفیت و توزیع صدا در آن می‌باشند. یکی از مهمترین پارامترهای مطرح در علم آکوستیک کمیت جذب است. در این پژوهش تأثیر استفاده از جذب‌کننده‌های مختلف بر بهبود شاخص‌های آکوستیکی مطرح یعنی زمان واخنش و وضوح گفتار نشان داده شده است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری و مدل‌سازی نشان می‌دهد که نوع جاذب، مکان استفاده و میزان استفاده از آن می‌تواند در کیفیت اکوستیکی آن فضا بسیار تأثیرگذار باشد. استفاده بیش از نیاز از یک جاذب و یا جانمایی نادرست می‌تواند اثرات منفی و حتی مخرب داشته باشد. در نهایت با فرض رفع مشکلات نوفه زمینه ناشی از سیستم‌های سرمایشی و تهویه، سه مدل‌سازی (طرح آکوستیکی) مختلف با استفاده از انواع مختلف جاذب، ترکیب مناسب جذب کننده‌های آکوستیکی و جانمایی‌های متفاوت آن‌ها بررسی و تحلیل شد. نتایج نشان می‌دهد استفاده مناسب از نوع جذب کننده، مقدار آن و مکان قرارگیری آن، امکان دستیابی به شرایط ایده‌آل اکوستیکی را میسر می‌سازد.

کلمات کلیدی: جذب‌کننده آکوستیکی؛ زمان واخنش؛ وضوح گفتار؛ سالن سخنرانی.

۱- مقدمه

هنگامی که صدای پیوسته در محیط بسته‌ای ایجاد شود، میدان‌های صوتی به وجود خواهد آمد. در صورتی که صدا، نغمه یا نوفه پیوسته نباشد و از صداهای گسسته‌ی به دنبال هم که حامل پیام هستند، مانند گفتار یا موسیقی، تشکیل شده باشد، در این صورت لازم است آن فضا به گونه‌ای طراحی شود که این صدا به‌وضوح شنیده شود. این همان چیزی است که به طراحی آکوستیک اتاق یا هر فضای بسته‌ای معنا می‌دهد. آکوستیک را می‌توان طراحی فضاها، بناها و سیستم‌های مکانیکی مطابق با نیازهای شنوایی دانست که با طراحی صحیح می‌توان صدای مطلوب را شنید و صداهای ناخواسته را تا حد قابل قبول کاهش داد. بدین منظور تحقیقات و مطالعات گسترده‌ای در جهت شناخت و تعیین پارامترهای مؤثر بر چگونگی آکوستیک سالن‌ها، چه از نظر ذهنی و چه از نظر عینی صورت گرفته است[۳-۱]. امروزه با معرفی تکنولوژی‌های محاسباتی و روش‌های شبیه‌سازی، بسته‌های شبیه‌سازی گوناگونی توسعه یافته است که نرم افزار Odeon یکی از کاربردی‌ترین آنها برای طراحی و یا اصلاح آکوستیک فضا است [۴]. این نرم‌افزار برمبنای یک

رهیافت هیبریدی است که ترکیبی از روش تصویر منبع[1] با یک روش خاص ردگیری پرتو/رادیوزیتی[2] می‌باشد. اطلاعات مربوط به اندازه سطوح بازتابنده و ضرایب جذب نیز به عنوان یک قسمت از محاسبات هستند و برای تعیین این که آیا باید یک تغییر فاز برای بازتاب به کار برده شود یا خیر، استفاده می‌شوند. یک پس‌پردازش[3] از بازتاب‌ها برای ساخت یک پاسخ ضربه دوگوشی به کار برده می‌شود. کمیت جذب یکی از مهمترین پارامترهای مطرح در آکوستیک خطی است. جذب صوت از سه طریق امکان‌پذیر است: با استفاده از مواد متخلخل، از طریق پانل‌ها و از طریق رزوناتورها (همنواگرها). موادی که ضرایب جذب بالایی دارند (معمولاً بزرگتر ار ۰/۵)، به‌عنوان مواد جاذب صدا و موادی که ضرایب جذب پایینی دارند (معمولاً کوچکتر از ۰/۲)، به‌عنوان مواد بازتابنده صدا در نظر گرفته می‌شوند[۵]. به‌علت تفاوت در ضرایب، طبق جدول (۱) گوش انسان نیز این تغییرات را با استفاده از یک روش مشخص ذهنی، تمیز می‌دهد. اکثر اوقات معیار متداول کیفیت آکوستیکی در فضاهای بسته توسط افت انرژی صدا در فضا تعیین می‌شود، که به‌عنوان واخنش معرفی شده است. واخنش یک اتاق با زمان واخنش توصیف می‌شود. خصوصیات واخنش یک فضای بسته مستقیماً با حجم فضای بسته و جذب کلی اتاق در ارتباط است [۶]. براساس این واقعیت که ضرایب جذب در هر بسامد متفاوت خواهد بود، مقادیر RT متفاوتی بدست خواهد آمد. بنابراین، زمان واخنش که به‌عنوان یک تک عدد استفاده می‌شود، مقادیر مربوط به بازه بسامدی میانی است که بین ۵۰۰ Hz تا ۲۰۰۰ Hz میانگین‌گیری می‌شود. یکی دیگر از پارامترهای تعیین کننده کیفیت آکوستیکی فضا، وضوح گفتار است. برای پیش‌بینی وضوح گفتار از طریق پاسخ ضربه، شاخص تراگسیل گفتار[4]،STI ، به‌کار برده می‌شود. این پارامتر هر دو جنبه تأثیرگزار بر وضوح صدا، یعنی نسبت سیگنال به نویز و پاسخ ضربه را در برمی‌گیرد. برای وضوح مناسب گفتار، لازم است احاطه سیگنال حفظ شود. این کار کمک می‌کند تا مشارکت مختلف بندهای بسامدی گوناگون در کیفیت گفتار و هم چنین برای پوشش متقابل بین بندهای بسامدی مجاور در سیستم شنوایی ما در نظر گرفته شود [۷]. رابطه میان STI و وضوح را می‌توان به صورت جدول(۲) بیان کرد[۸]. طبق مرجع [۶]، در سالن‌های سخنرانی، کنسرت، اپرا، سینما، تئاتر و استودیوها، STI باید بیش از ۰/۶ باشد.

جدول ۱. ارزیابی ذهنی تغییرات ضریب جذب توسط گوش انسان [۵]

تفاوت در ضریب	اثر اکثر وضعیت‌ها
< ۰/۱	کم (معمولاً قابل تشخیص نیست)
۰/۱ تا ۰/۴	قابل تشخیص
> ۰/۴	قابل توجه

جدول ۲. رابطه میان STI و وضوح [۸]

وضوح گفتار	مقدار STI
بد	۰- ۰/۳۲
ضعیف	۰/۳۲- ۰/۴۵
متوسط	۰/۴۵- ۰/۶۰
خوب	۰/۶۰- ۰/۷۵
عالی	۰/۷۵- ۱/۰

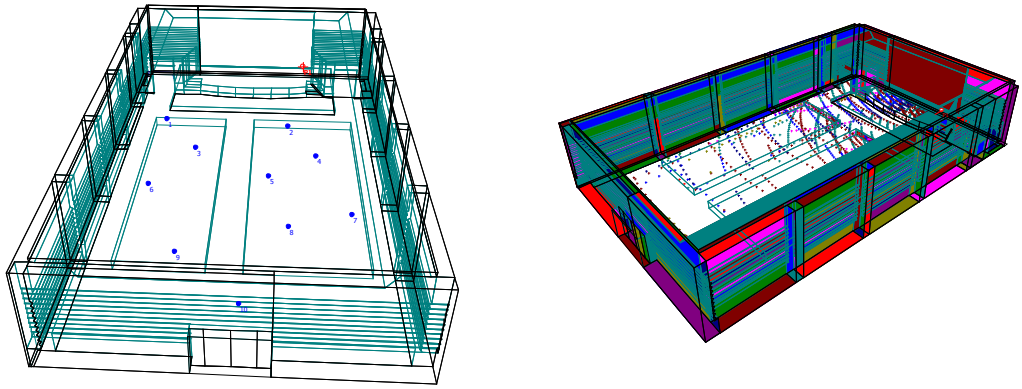
۲- روش پژوهش

در این پژوهش کیفیت آکوستیکی سالن سخنرانی شهید دلبری واقع در دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی که طراحی آکوستیکی آن توسط زنده یاد دکتر لیاقتی انجام شده است، با حجم تقریبی ۲۰۰۰ متر مکعب و تعداد ۱۹۵ صندلی مورد مطالعه قرار گرفت. مبنای انجام این پژوهش، روش‌های اندازه‌گیری و انجام محاسبات با استفاده از روش‌های شبیه‌سازی، با در نظر گرفتن جذب کننده‌های آکوستیکی مختلف می‌باشد. اندازه‌گیری‌ها بر طبق روش‌های استاندارد ملی و بین‌المللی با استفاده از مجموعه دستگاه‌های منطبق بر الزامات استاندارد و محاسبات و مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار Odeon انجام شد. دیوارهای پیرامونی سالن از جنس چوب صیقلی است که به صورت زاویه‌دار نصب شده و در پشت آن الیاف معدنی قرار داده شده است، جنس کف سالن سرامیک با روکش صیقلی و صندلی‌ها چوبی با پایه‌های فلزی است. راه ورود و خروج این سالن یک در چوبی بدون آستانه است که

[1] Image source
[2] Ray-tracing/Radiosity
[3] Post-processing
[4] Speech Transmission Index

درزبندی آن به درستی انجام نشده است. سرمایش سالن توسط کولر تأمین می‌شود که مسیر کانال‌های کولر از پنجره‌های سالن می‌باشد. ارتفاع سقف در قسمت‌های مختلف سالن متفاوت بوده و از تایل‌های چرمی به عنوان سقف کاذب استفاده شده است. به‌منظور بررسی نوفه زمینه سالن، اندازه‌گیری تراز فشار صدای معمول شده در شبکه وزنی A در بندهای یک سوم هنگامی و یک هنگامی به ازای ۱۸ نقطه سالن در دو حالت روشن و خاموش سیستم‌های تهویه مطابق با روش شرح داده شده استاندارد ISO 1996:2016 و اندازه‌گیری زمان واخنش مطابق روش شرح داده شده در استاندارد ISO 3382:2008 ، به‌ازای ۱۸ نقطه برای جایگاه میکروفون‌ها و با در نظر گرفتن دو موقعیت برای جایگاه بلندگو مطابق با شکل (۱) انجام شد. سپس برای بررسی دقیق‌تر شرایط آکوستیکی سالن و دستیابی به پارامترهای ضروری (زمان واخنش و شاخص تراگسیل گفتار)، نقشه فضای مذکور به نرم‌افزار Odeon منتقل شد و برای کاهش خطاهای احتمالی هندسه فضا تا حد ممکن ساده‌سازی شد. پس از انجام تست بررسی نشتی احتمالی فضای شبیه‌سازی شده، موقعیت بلندگو و میکروفون‌ها مطابق همان موقعیت‌های اندازه‌گیری، مطابق شکل(۲)، تعیین شدند. تعداد ۱۰ موقعیت برای جایگاه گیرنده‌ها و یک موقعیت برای بلندگو در نظر گرفته شد.

شکل ۱. اندازه‌گیری نوفه زمینه و زمان واخنش در سالن شهید دلبری

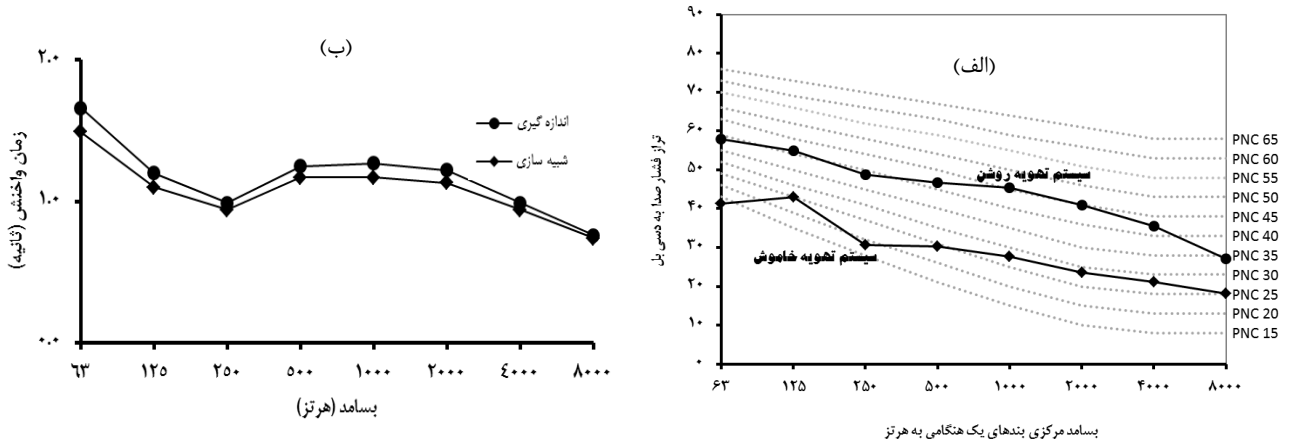


شکل ۲. نمای شماتیک از فضای شبیه‌سازی شده سالن شهید دلبری در نرم‌افزار Odeon

۳- یافته‌های پژوهش

نتایج اندازه‌گیری نشان داد میزان نوفه زمینه در این سالن در حالتی که سیستم گرمایشی و سرمایشی روشن و خاموش است به ترتیب برابر با ۴۹٫۹ dBAو ۳۳٫۶ dBA است. همان‌طور که مشخص است، یکی از مشکلات این سالن نوفه زمینه بالا می‌باشد که ناشی از وجود درزهایی در پنجره‌ها و درب ورودی سالن و نیز سیستم سرمایشی و گرمایشی نامناسب است. همچنین طبق نمودار شکل (۳-الف) شاخص برسنج ترجیحی سالن شهید دلبری برای دو حالت سیستم تهویه خاموش و روشن به ترتیب ۳۰ و ۵۰ بدست آمده است و بنابراین در صورت روشن نمودن سیستم تهویه در این سالن مقدار نوفه زمینه بالاتر از حد مجاز ذکر شده در مبحث هجدهم مقررات ملی ساختمان، ۳۵ dBA، می‌باشد. زمان واخنش این سالن با استفاده از نرم‌افزار ODEON نیز محاسبه شد. مقایسه نتایج حاصل از اندازه‌گیری و شبیه‌سازی در جدول (۳) و نمودارهای شکل (۳-ب) نشان داده شده است. مقایسه نتایج حاصل از

شبیه‌سازی و اندازه‌گیری نشان می‌دهد که مقادیر زمان واخنش هر دو روش تطبیق خوبی با یکدیگر دارند. مقدار میانگین زمان واخنش اندازه‌گیری شده در این سالن برابر با ۱٫۲۵ s به‌دست آمد که با در نظر گرفتن حجم سالن و با توجه به مرجع [۶] این مقدار باید در محدوده ۰٫۹۰s- ۰٫۸۰ قرار گیرد. پس می‌توان نتیجه گرفت که زمان واخنش این سالن نیز بالاتر از مقدار استاندارد می‌باشد و نیاز به اصلاح دارد. همچنین مقدار شاخص تراگسیل گفتار در حالت روشن و خاموش سیستم سرمایش به ترتیب برابر با ۰٫۴۸ و ۰٫۵۸ بدست آمد. این مقادیر نشان می‌دهد که نوفه زمینه بالا در حالتی که سیستم سرمایشی روشن است بر وضوح گفتار سالن به شدت تأثیر می‌گذارد. بنابراین به منظور دست‌یابی به شرایط بهتر آکوستیکی، ضروری است که سیستم سرمایشی دیگری در این سالن مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۳. الف) نوفه زمینه و نمودارهای برسنج ترجیحی نوفه (PNC) ب) نمودار مقایسه مقادیر زمان واخنش سالن شهید دلبری در بندهای یک هنگامی

جدول ۳. مقایسه مقادیر زمان واخنش اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده سالن شهید دلبری

بسامد مرکزی بندهای یک هنگامی	نتایج اندازه‌گیری	نتایج شبیه‌سازی
۶۳	۱/۶۶	۱/۴۹
۱۲۵	۱/۲۰	۱/۱۰
۲۵۰	۰/۹۹	۰/۹۴
۵۰۰	۱/۲۵	۱/۱۷
۱۰۰۰	۱/۲۷	۱/۱۷
۲۰۰۰	۱/۲۲	۱/۱۳
۴۰۰۰	۰/۹۹	۰/۹۴
۸۰۰۰	۰/۷۶	۰/۷۴
میانگین	**۱/۲۵**	**۱/۱۶**

با بررسی نوفه زمینه، زمان واخنش و شاخص تراگسیل صدای سالن در نقاط مختلف به ازای بسامدهای مختلف، چندین اصلاح از جمله استفاده از جاذب هایی در کف (مانند موکت و صندلی) و سقف (آکوستیک تایل و ...) برای این سالن در نظر گرفته شد و تمامی این موارد با جزییات کامل بررسی و نتایج حاصل در بندهای ۳-۱ تا ۳-۳ نشان داده شده است. لیست و مشخصات تمامی جاذب‌های مورد استفاده در جدول (۴) ارایه شده است.

جدول ۴. مشخصات جذب‌کننده‌های اکوستیکی بررسی شده در نرم افزار Odeon

صندلی شماره ۱	جنس روکش: پارچه‌ای - جنس پایه فلز، جنس دسته چوبی (تولید داخل)
صندلی شماره ۲	جنس روکش: پارچه ای - جنس پایه و بخشی از دسته صندلی فلزی- با در نظر گرفتن حضار (تولید داخل)
صندلی شماره ۳	جنس روکش: پارچه ای
صندلی شماره ۴	جنس روکش: پارچه ای - با در نظر گرفتن حضار

ادامه جدول ۴. مشخصات جذب‌کننده‌های اکوستیکی بررسی شده در نرم افزار Odeon

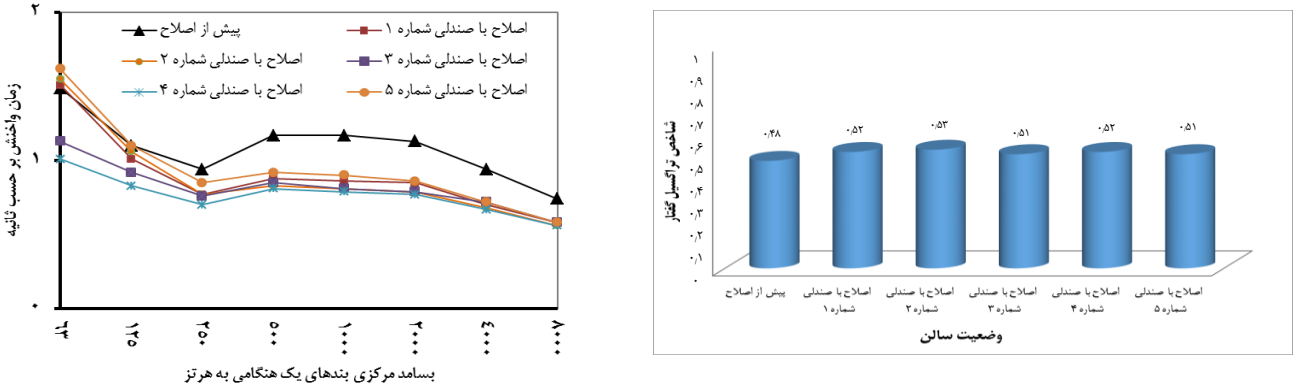
صندلی شماره ۵	جنس روکش: پارچه ای - جنس پایه و بخشی از دسته صندلی: فلزی تولید داخل- بدون در نظر گرفتن حضار (تولید داخل)
موکت شماره ۱	موکت پرزبلند با زیره لاستیکی
موکت شماره ۲	موکت پرز کوتاه با زیره لاستیکی
موکت شماره ۳	موکت پرز کوتاه با زیره غیر قابل نفوذ و پلاستیکی
موکت شماره ۴	موکت پرزدار به ضخامت ۹ میلیمتر با زیره نمدی
سقف شماره ۱	چوب فشرده با فاصله هوایی ۱۵ سانتیمتری
سقف شماره ۲	تخته های الیاف معدنی به ضخامت ۱۶ میلیمتر با فاصله هوایی ۲ سانتیمتری
سقف شماره ۳	تخته های الیاف معدنی به ضخامت ۱۶ میلیمتر با فاصله هوایی ۲۱ سانتیمتری
سقف شماره ۴	۵۰ درصد از مساحت سقف از متریال شماره ۳ و ۵۰ درصد بدون تغییر
سقف شماره ۵	۵۰ درصد از مساحت سقف بدون تغییر و ۵۰ درصد تخته های الیاف معدنی به ضخامت ۱۶ میلیمتر با فاصله هوایی ۲ سانتیمتری
سقف شماره ۶	۶۵ درصد تخته های الیاف معدنی به ضخامت ۱۶ میلیمتر با فاصله هوایی ۲۱ سانتیمتری و ۳۵ درصد تخته گچی ۱ سانتیمتری
سقف شماره ۷	آکوستیک تایل سوراخ دار (تولید داخل)
سقف شماره ۸	۵۰درصد بدون تغییر و ۵۰ درصد آکوستیک تایل شماره ۷

۳-۱ صندلی

به دلیل نامناسب بودن صندلی‌های موجود در سالن، یکی از عمده اصلاحاتی که می‌توان جهت بهبود زمان واخنش انجام داد تغییر صندلی‌های سالن متناسب با کاربری آن است. بدین منظور از داده‌های موجود در کتابخانه ادئون و همچنین اطلاعات مربوط به ضرایب جذب صندلی‌های اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه آکوستیک مرکز تحقیقات راه, مسکن و شهرسازی استفاده شد و نتایج در جدول (۵) و نمودارها شکل (۴) نشان داده شده است.

جدول ۵. زمان واخنش سالن شهید دلبری پیش و پس از اصلاح صندلی- محاسبه شده با نرم افزار ODEON

بسامد مرکزی بندهای یک هنگامی	۴۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۲۵۰	۱۲۵	۶۳
زمان واخنش پیش از اصلاح	۰/۹۴	۱/۱۳	۱/۱۷	۱/۱۷	۰/۹۴	۱/۱	۱/۴۹
زمان واخنش پس از اصلاح با صندلی شماره ۱	۰/۷۰	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۸۸	۰/۷۷	۱/۰۱	۱/۵۱
زمان واخنش پس از اصلاح با صندلی شماره ۲	۰/۶۸	۰/۷۹	۰/۸۱	۰/۸۳	۰/۷۷	۱/۰۶	۱/۵۵
زمان واخنش پس از اصلاح با صندلی شماره ۳	۰/۷۲	۰/۷۹	۰/۸۱	۰/۸۵	۰/۷۶	۰/۹۲	۱/۱۳
زمان واخنش پس از اصلاح با صندلی شماره ۴	۰/۶۷	۰/۷۷	۰/۷۹	۰/۸۱	۰/۷۰	۰/۸۳	۱/۰۱
زمان واخنش پس از اصلاح با صندلی شماره ۵	۰/۷۲	۰/۸۶	۰/۹۰	۰/۹۲	۰/۸۵	۱/۱	۱/۶۲



شکل ۴. مقایسه مقادیر زمان واخنش و STI سالن شهید دلبری پیش و پس از اصلاح صندلی‌های سالن

با اصلاح صندلی‌ها در نرم افزار تغییرات زمان واخنش بررسی شد. همانطور که ملاحظه می‌شود تمامی موارد انتخاب شده در بسامدهای میانی و بالا بسیار نزدیک به هم هستند اما در اصلاح شماره ۳ و ۴ زمان واخنش در بسامدهای بم نیز کاهش یافته است و

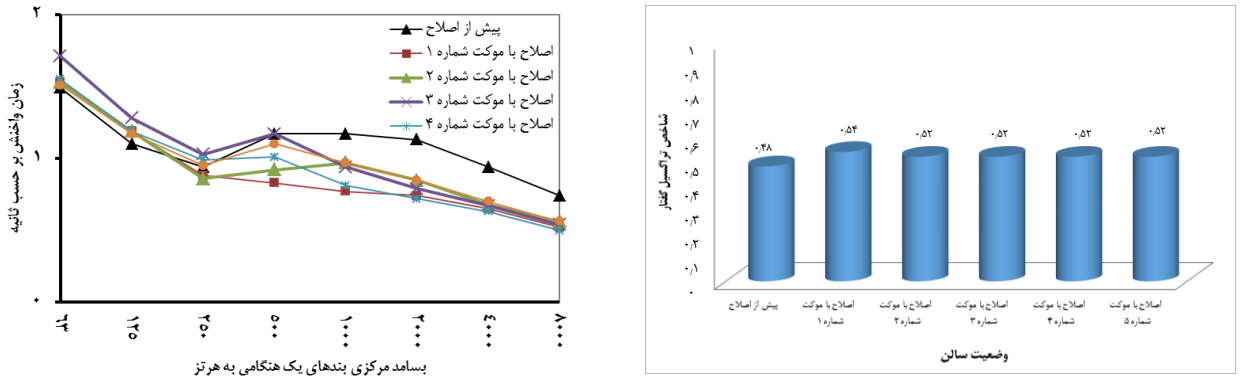
بنابراین این دو گزینه می‌توانند انتخاب‌های مناسب‌تری نسبت به گزینه‌های دیگر باشتد. همان‌گونه که در بخش‌های قبل نیز ذکر شد زمان واخنش میانگین با توجه به حجم سالن باید در بازه ۰/۸-۰/۹ قرار گیرد. وضوح گفتار نیز با این اصلاح بهبود یافته است اما همچنان در حد متوسط قرار دارد.

۳-۲ موکت

یکی دیگر از انواع جذب کننده‌های رایج در سالن‌های سخنرانی استفاده از موکت در کف سالن است. بدین منظور در این پژوهش نیز از انواع مختلف موکت موجود در کتابخانه ادئون استفاده شده است. نتایج حاصل در جدول (۶) و نمودارهای شکل (۵) نشان داده شده است.

جدول ۶. زمان واخنش سالن شهید دلبری پیش و پس از اصلاح با استفاده از موکت- محاسبه شده با نرم افزار ODEON

بسامد مرکزی بندهای یک هنگامی	٤٠٠٠	٢٠٠٠	١٠٠٠	٥٠٠	٢٥٠	١٢٥	٦٣
زمان واخنش پیش از اصلاح	۰/۹۴	۱/۱۳	۱/۱۷	۱/۱۷	۰/۹۴	۱/۱۰	۱/۴۹
زمان واخنش پس از اصلاح با موکت شماره ۱	۰/۶۵	۰/۷۴	۰/۷۷	۰/۸۳	۰/۸۸	۱/۱۹	۱/۵۳
زمان واخنش پس از اصلاح با موکت شماره ۲	۰/۶۸	۰/۸۵	۰/۹۷	۰/۹۲	۰/۸۶	۱/۱۹	۱/۵۳
زمان واخنش پس از اصلاح با موکت شماره ۳	۰/۶۷	۰/۷۹	۰/۹۴	۱/۱۷	۱/۰۳	۱/۲۰	۱/۷۱
زمان واخنش پس از اصلاح با موکت شماره ۴	۰/۶۳	۰/۷۲	۰/۸۱	۱/۰۱	۰/۹۹	۱/۱۹	۱/۵۵
زمان واخنش پس از اصلاح با موکت شماره ۵	۰/۷۰	۰/۸۵	۰/۹۷	۱/۱۰	۰/۹۵	۱/۱۷	۱/۵۱



شکل ۵. مقایسه مقادیر زمان واخنش و STI سالن شهید دلبری پیش و پس از اصلاح سالن با استفاده از موکت

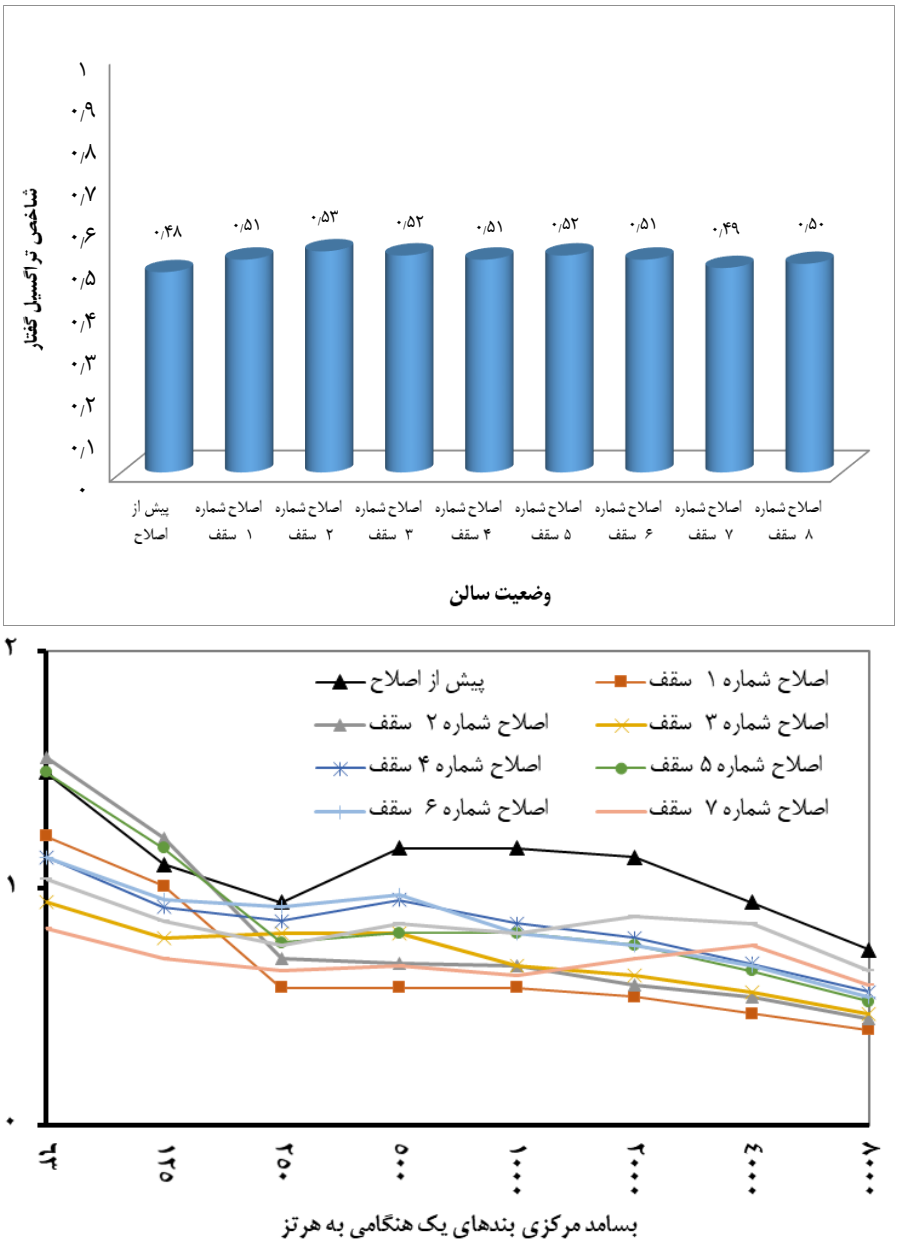
نتایج حاصل بهبود هر دو پارامتر را نشان می‌دهد اما وضوح گفتار همچنان متوسط است.

۳-۳ سقف

یکی دیگر از گزینه‌های پیشنهادی برای بهبود پارامترهای آکوستیکی استفاده از جذب‌کننده‌های صدا در سقف این سالن می‌باشد. بدین منظور از اطلاعات موجود در کتابخانه ODEON و آزمایشگاه آکوستیک مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی استفاده شد و چندین اصلاح با استفاده از این موارد و همچنین ترکیب آنها بررسی شد. نتایج در جدول (۷) و نمودارهای شکل (۶) نشان داده شده است. نتایج حاصل از به کارگیری انواع جاذب‌ها نشان می‌دهد که زمان واخنش به میزان ایده‌ال خود می‌رسد اما وضوح گفتار در حد متوسط قرار دارد که به دلیل نوفه بالای ناشی از سیستم‌های سرمایشی و تهویه است.

جدول ۷. زمان واخنش سالن شهید دلبری پیش و پس از اصلاح سقف- محاسبه شده با نرم افزار ODEON

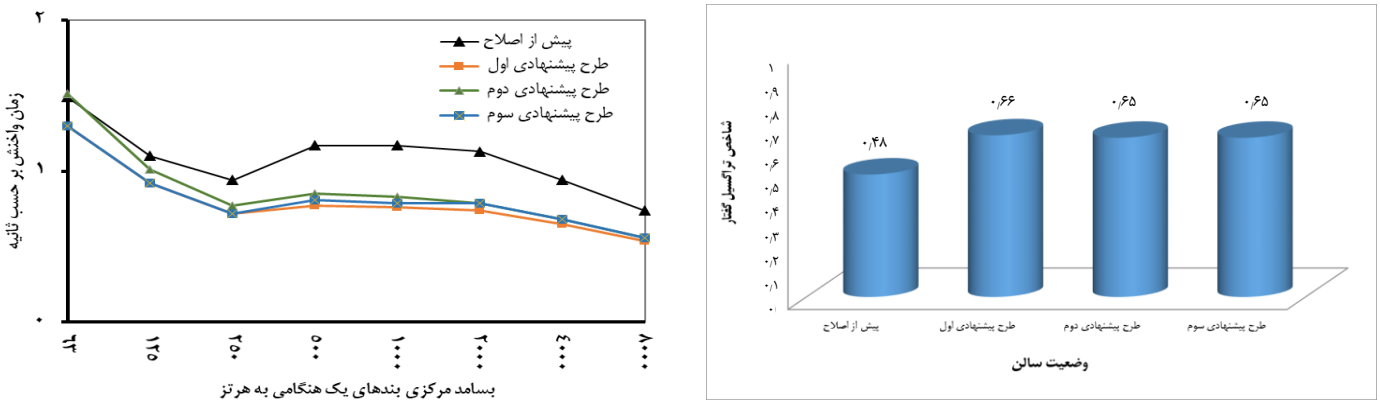
بسامد مرکزی بندهای یک هنگامی	٤٠٠٠	٢٠٠٠	١٠٠٠	٥٠٠	٢٥٠	١٢٥	٦٣
زمان واخنش پیش از اصلاح	۰/۹۴	۱/۱۳	۱/۱۷	۱/۱۷	۰/۹۴	۱/۱۰	۱/۴۹
زمان واخنش پس از اصلاح شماره ۱سقف	۰/۴۷	۰/۵۴	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۵۸	۱/۰۱	۱/۲۲
زمان واخنش پس از اصلاح شماره ۲سقف	۰/۵۴	۰/۵۹	۰/۶۷	۰/۶۸	۰/۷۰	۱/۲۱	۱/۵۵
زمان واخنش پس از اصلاح شماره ۳سقف	۰/۵۶	۰/۶۳	۰/۶۷	۰/۸۱	۰/۸۱	۰/۷۹	۰/۹۴
زمان واخنش پس از اصلاح شماره ۴سقف	۰/۶۸	۰/۷۹	۰/۸۵	۰/۹۵	۰/۸۶	۰/۹۲	۱/۱۳
زمان واخنش پس از اصلاح شماره ۵ سقف	۰/۶۵	۰/۷۶	۰/۸۱	۰/۸۱	۰/۷۷	۱/۱۷	۱/۴۹
زمان واخنش پس از اصلاح شماره ۶ سقف	۰/۶۷	۰/۷۶	۰/۸۱	۰/۹۷	۰/۹۲	۰/۹۵	۱/۱۳
زمان واخنش پس از اصلاح شماره ۷ سقف	۰/۷۶	۰/۷۰	۰/۶۳	۰/۶۷	۰/۶۵	۰/۷۰	۰/۸۳
زمان واخنش پس از اصلاح شماره ۸ سقف	۰/۸۵	۰/۸۸	۰/۸۱	۰/۸۵	۰/۷۶	۰/۸۶	۱/۰۴



شکل ۶. مقایسه مقادیر زمان واخنش و STI سالن شهید دلبری پیش و پس از اصلاح سقف سالن

در نهایت با فرض اصلاح مشکلات ناشی از سیستم تهویه سالن، مانند استفاده از سیستم‌های اسپلیت کم صدا و خارج نمودن کانال‌های کولر تعبیه شده در پنجره‌های سالن، نصب پنجره‌های مناسب و استفاده از در آکوستیکی در قسمت ورودی سالن به طوری که شاخص PNC سالن به میزان بهینه و مجاز ۳۵ dBA برسد، پس از چندین مدل‌سازی‌های و بررسی خروجی‌های داده‌های نرم‌افزار سه طرح با استفاده از جاذب های مختلف، جانمایی های متفاوت و مقادیر متفاوتی از هر جاذب پیشنهاد شد و پارامترهای آکوستیکی ذکر شده حاصل از این تغییرات مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت.

در پیشنهاد اول، ۱۲ درصد از کف سالن، راهروی بین صندلی‌ها از در ورودی تا ابتدای سن، با موکت شماره ۱ پوشیده شده است و ۲۰ درصد از سقف (۱۰ درصد در دو طرف سالن) از آکوستیک تایل‌ها ی شماره۷ جدول (۴) استفاده شده است. همچنین صندلی‌های سالن با صندلی شماره ۱ جدول (۴) جایگزین شده است. در پیشنهاد دوم ۱۲ درصد از کف سالن، راهروی بین صندلی‌ها از در ورودی تا ابتدای سن، با موکت شماره ۱ پوشیده شده است و همچنین صندلی‌های سالن با صندلی شماره ۱ جدول (۴) جایگزین شده است. تغییری در سقف سالن داده نشده است. در پیشنهاد سوم ۲۰ درصد از سقف وسط سالن از آکوستیک تایل ها ی شماره ۱ جدول(۴) استفاده شده است و همچنین صندلی‌های سالن با صندلی شماره ۱ جایگزین شده است. نتایج حاصل در نمودارهای شکل (۷) نشان داده شده است.



شکل ۷. مقایسه مقادیر زمان واخنش و STI سالن شهید دلبری پیش و پس از اصلاح سقف سالن

با توجه به شکل (۷) ملاحظه می‌شود که هر دو پارامتر زمان واخنش و وضوح گفتار بهبود چشمگیری یافته و در وضعیت قابل قبول و بهینه قرار گرفته‌اند.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش تأثیر استفاده از جذب‌کننده‌های مختلف در کف و سقف سالن سخنرانی بر بهبود دو پارامتر مهم زمان واخنش و وضوح گفتار بررسی شد. پیش از جانمایی این جاذب‌ها هر دو پارامتر در وضعیت غیرقابل قبول قرار داشت. میانگین زمان واخنش ۱/۲۵ ثانیه و شاخص تراگسیل گفتار ۰/۴۸ بدست آمد که با الزامات موجود در مرجع [۶]، مبحث هجدهم مقررات ملی ساختمان "عایق بندی و تنظیم صدا"، مغایرت داشت. تغییرات انجام شده بر روی صندلی، کف و سقف سالن مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل از مدل‌سازی نشان داد که نوع جاذب، جانمایی مناسب و میزان استفاده از آن در یک فضا می‌تواند در کیفیت اکوستیکی آن فضا بسیار تأثیرگذار باشد. با فرض رفع مشکلات نوفه زمینه ناشی از سیستم‌های سرمایشی و تهویه، سه طرح آکوستیکی مختلف با استفاده از انواع مختلف جاذب بررسی و تحلیل شد. نتایج نشان می‌دهد با استفاده مناسب از نوع جذب کننده، مقدار آن و مکان قرارگیری آن، هر دو پارامتر آکوستیکی بهبود یافته و وضوح گفتار افزایش قابل قبول و چشمگیری داشته است. با انجام این اصلاحات میانگین زمان واخنش در محدوده مورد نظر یعنی در حدود ۰/۸۵ و وضوح گفتار در وضعیت خوب گزارش شد.

مراجع

1. Lukáš Zelem, Vojtech Chmelík, and Monika Rychtáriková, Comparison of subjective and objective assessment of acousticcomfort in restaurant,4 th International Conference on Applied Technology, Belgium, 2016.

2. Marin Milković, Miljenko Krhen, Siniša Fajt, Correlation between subjective and objective acoustic quality parameters of professional sound control room, Tehnički vjesnik 24, 2(2017).

3. L F Sari, S S Utami and J Sarwono, Objective and subjective acoustics measurement of audience seating areas in a medium size auditorium, Journal of Physics: Conference Series, 2018.

4. Yilmaz, T. Acoustical, Analysis of a Multipurpose Hall by Computer Simulation Method: Metu Northern Cyprus Campus Auditorium (NCCA) as a Case Study, Master of Science Thesis in Building Science in Architecture,2012.

5. Cowan, J., "Architectural Acoustics Design Guide", Mc-Graw Hill, NewYork, 2000

۶. مبحث هجدهم مقررات ملی ساختمان "عایق بندی و تنظیم صدا"

7. Kuttruff, H., "Room Acoustics", 4th Ed, Elsevier Science Publishers, NewYork, 1991.

8. Beranek, Leo L. "Acoustical Measurements", 3rd Edition, New York,ASA, 1998