دوفصلنامه مطالعات بین‌رشته‌ای در تعالی معماری و شهرسازی

دوره ۲، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۲
DOI: 10.30495/jisaud.2023.1998384.1102

# مطالعات تطبیقی آکوستیک کتابخانه قرائت‌خانه‌های دختران و پسران (نمونه موردی کتابخانه مرکزی تبریز)[۱]

**مریم میرزابابالو[۲]، عباس غفاری*[۳]، سید بهشید حسینی[۴]، هوتن ایروانی[۵]**

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۹

*نوع مقاله: پژوهشی*

*صفحه ۴۷ تا ۶۱*

## چکیده

در فضاهایی مانند کتابخانه که مرزهای کالبدی کم‌رنگ‌تر می‌شود، حریم‌های غیر دیداری هویدا می‌شوند. جایگاه صدا در معماری گذشته مورد اهمیت بوده است و با ایجاد عناصر معماری در فضاها صدا کنترل و آسایش صوتی ایجاد می‌گردید، به طوری‌که در حال حاضر به علمی نوین تبدیل شده است. مسئله توزیع مناسب صدا در کتابخانه‌ها منجر شد این پژوهش مطالعات تطبیقی بین صدا و معماری در قرائت‌خانه‌های کتابخانه را مورد بررسی قرار دهد. هدف اصلی پژوهش دریافت آسایش صوتی و کاهش انعکاس‌های مضر صدا در این فضاها جهت ایجاد حریم خصوصی گفتار است. برای دستیابی به این هدف ارتباط بین انتقال و توزیع صدا با بررسی هندسه سالن‌ها و مصالح مصرفی مورد تحلیل قرار گرفته است، هدف نهایی پژوهش بررسی تأثیر جنسیت صدای دختران و پسران در سالن‌ها است. این تحقیق به روش تجربی، با اندازه‌گیری شدت صدا در قرائت‌خانه‌های دختران و پسران کتابخانه مرکزی تبریز به‌وسیله دستگاه صوت سنج B&K ۲۲۶۰ و ریکوردر H8 انجام شده است. نمودارهای حاصله از دستگاه صوت سنج در نرم‌افزار اکسل مستخرج شده و نمودارهای ریکوردر در نرم‌افزار متلب مورد تحلیل قرار گرفت، سرانجام با نمودار استاندارد NC مقایسه شد. نتایج کلی پژوهش نشان داد که تفاوت جنسیتی صدا در فضاها نیاز به تمهیدات خاص دارد به‌ویژه در قرائت‌خانه‌های دختران باتوجه‌به طیف فرکانس‌های وسیع استفاده از الیاف و پوسته‌ها در سطوح را ضروری می‌کند. با تقویت شاخصه‌های معماری در حوزه صدا، امکان تدوین اصولی در طراحی معماری کتابخانه‌ها و آکوستیک توأمان ممکن می‌شود.

**واژگان کلیدی:** معماری، آکوستیک، کتابخانه، حریم خصوصی گفتار، جنسیت صدا

---

[۱] این مقاله برگرفته از رساله دکتری خانم "مریم میرزابابالو" با عنوان "تبیین ارتباط صدا در ارتقا حس مکان جهت بکارگیری در الگوهای طراحی معماری کتابخانه" است و به راهنمایی آقای دکتر "بهشید حسینی" و آقای دکتر "عباس غفاری" در دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردستان، در حال انجام است.

[۲] دانشجوی دکتری معماری، گروه معماری، واحد اردستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اردستان، ایران.

[۳] دانشیار دانشکده معماری وشهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران. (نویسنده مسئول) ghaffari@tabriziau.ac.ir

[۴] استاد دانشکده معماری و شهر سازی، دانشگاه هنر تهران، تهران، ایران.

[۵] استادیار گروه معماری، واحد اردستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اردستان، ایران.

## ۱. مقدمه

امروزه مشکلاتی چون آلودگی‌های صوتی در محیطزیست مطرح است. در راستای بروز این مشکلات مباحثی چون تأمین آسایش صوتی و توزیع مناسب صدا در فضاهای معماری جایگاه ویژه‌ای پیدا می‌کند. بسته به کاربری فضاها درجه اهمیت این مسئله متفاوت است. در فضاهایی چون کتابخانه‌ها مراتب دسترسی به آسایش صوتی جزو الویت‌ها قرار می‌گیرد. از الزامات فضایی مطلوب در کتابخانه از منظر صدا آماده‌کردن زمینه‌ای نسبتاً آرام بدون مزاحمت‌های اضافی (مثل ترافیک، تهویه داخلی، همهمه افراد) و مهار نوفه است. توزیع مناسب صدا در سالن مطالعه با بیان مسئله حریم خصوصی گفتار و در سالن‌های جلسات با بیان مسئله وضوح گفتار، مورد توجه این پژوهش قرار دارد. بیان حریم خصوصی گفتار و ایجاد حس قلمرو در کتابخانه‌ها مسئله مهمی است، صدای نا مطلوب در فضایی جهت تمرکز برای کاربر این مشکل را متبلور می سازد. چگونگی انتشار صدا بسته به میزان کشسانی و چگالی محیط واسطه تعیین می‌گردد و در نهایت محرک حس شنوایی آن را دریافت می‌کند (کینزلر، ۱۳۹۷). در این میان باتوجه‌به حجم، مصالح، فضای باز و یا بسته ای که در آن این امواج مکانیکی منتشر می‌شود، صدای تولید شده به دو صورت خواسته و ناخواسته (نوفه) انتشار می‌یابد. اگر نوفه قابل کنترل نباشد امواج محیط به شنونده تحمیل می‌شود (مانند صدای محیط بیرونی، هر گونه حرکت در داخل فضا، عطسه، سرفه، قلم وغیره). برخورد صدا با سطوح مختلف باعث تراگسیل، جذب، انعکاس و پراکندگی می‌شود. این بحث در کتابخانه‌ها با ایجاد هرگونه صدای نا خواسته باعث عدم تمرکز می‌شود که نتیجه توزیع نا مناسب صداست، در کتابخانه‌ها تداخل حریم‌های فیزیکی و حریم خصوصی گفتار باعث می‌شود تحلیل عناصر معماری (فرم و مصالح) و تاثیر متغیرهای آکوستیک بر آن از مسائلی باشدکه درکتابخانه ها مورد بحث قرار می‌گیرد. آسایش صوتی و امنیت از نویزها و انعکاس‌های مضر و ضرورت وجود حس مکان و حس تعلق کاربران در میزان کیفیت و مطلوب بودن کتابخانه از مسائل این تحقیق است. از منظر آکوستیک اگر محیط کتابخانه ایزوله نباشد و عایق‌بندی صوتی نشده باشد، نوفه محیط باعث مزاحمت برای آنها می‌شود (ام دیوید اگان، ۱۴۰۲). با بیان مسئله حریم خصوصی گفتار جهت ایجاد آسایش صوتی، که در آن وجود نوفه و صداهای ناخواسته باعث مزاحمت کاربر نشود ملاحظات اولیه معماری شامل الگوهای فرم و مصالح تاثیر گذار است. مشکلاتی چون آلودگی‌های صوتی در محیطزیست از طریق صداهای کوبه ای، هوابرد، نوفه زمینه در ساختمان ها وجود دارد. وضوح صدا و توزیع مناسب صدا در فضاهای معماری همچنین ایجاد حریم خصوصی گفتار، جایگاه ویژه‌ای داشته و درجه اهمیت وضرورت آن در تأمین آسایش صوتی کتابخانه‌ها دوچندان است. درمحیط کتابخانه‌ها، حفظ حریم خصوصی گفتار، ایجاد زمان واخنش بهینه، کاهش تراز فشار صدا از متغیر های آکوستیک ایجاد آسایش صوتی است. شاخص های الگوهای معماری مصالح و فرم کالبدی، این فضاها از ضرورتهای اولیه موضوع است. با نبود مرزهای فیزیکی و ارتباط بین کاربران، ایجاد آسایش صوتی، حریم خصوصی گفتار و زمان واخنش بهینه در کتابخانه‌ها بازدهی و عملکرد حس مکان را ایجاد می‌کند. بررسی فرمهای معماری در سطوح مختلف سقف، کف، دیوار فضای کتابخانه و بررسی ضرایب جذب مصالح مصرفی (جاذبها، عایقها، پخشاگرها) در این سطوح ضرورتی است که با ترکیب بندی فرم مناسب و مصالح با ضریب جذب مناسب موجب تأمین نیاز دستیابی آسایش صوتی است. لزوم توجه به سکوت و ناخوشایندی صدا در فضای آرام کتابخانه جهت تمرکز و ارتقای بازدهی فضا از ضرورتهای تحقیق است. آسایش صوتی و امنیت از انعکاس‌های مضر با وجود حس مکان و حس تعلق برای کاربران درکتابخانه در میزان مطلوب بودن محیط از اهداف این تحقیق است. بررسی فرمها در حجم کلی و سطوح کف و دیوار و سقف و پرداختن به مصالح با ضرایب جذب مناسب وایجاد حریم خصوصی گفتار و شنیدار از دیگر اهداف تحقیق است. هدف نهایی پژوهش بررسی ترکیب طیف فرکانسی و تأثیر جنسیت صدای دختران و پسران در سالن‌ها و طرح راهکار معماری در صورت تلفیق طیف فرکانسی است.

### ۱-۲. سوالات تحقیق

۱- کاهش نوفه در فضای کتابخانه‌ها چه تأثیری در روند حریم خصوصی گفتار برای کاربران دارد؟

۲- کاهش نوفه با ترکیب طیف فرکانسی متفاوت (صدای دختران و پسران) در سالن‌های مطالعه چه ارتباطی دارد؟

## ۲. پیشینه پژوهش

طبیعتاً در کتابخانه از لحاظ کاربری توجه به نور و همچنین آسایش صوتی از اهمیت بالایی برخوردار است. در اکثر کتاب‌های بنیادین علم آکوستیک اتاق به این کاربری در قالب قسمتی از فضاهای آموزشی پرداخته شده و محدوده صدای پس‌زمینه استاندارد در این فضا ۳۵-۴۰ دسی بل مقرر شده است (کوتروف ، ۲۰۱۷). منا و همکارش در مقاله Achieving acoustic comfort in the library: a sound masking initiative در سال ۲۰۲۳ به بررسی منابع تولید نویز در یک کتابخانه و پیشنهاد اجرای یک سیستم پوشش صدا برای ارائه راحتی صوتی، حفظ حریم خصوصی گفتار و ایجاد محیطی جذاب تر برای کاربران پرداخته است. این مطالعه تلاش می‌کند تا شیوه‌های کنونی پذیرش سیستم پوشش صدا را در کتابخانه‌ها نشان دهد و خواندن مشارکتی را با ایجاد محیط کتابخانه‌ای متأثر از طراحی آکوستیک برای کنترل نویز و طنین و ارائه یک محیط خواندن راحت ترویج می‌کند (منا و همکارش، ۲۰۲۳). در مقاله منظره صوتی کتابخانه‌های قرن بیست و یکم که توسط سیه بین و همکارانش در سال ۲۰۲۰ منتشر شده است به ارائه نمونه های طراحی موفق کتابخانه‌ها و راه حل های مناسب می پردازد و نشان می‌دهد که فضاهای بزرگ و باز با کاربردهای متعدد کتابخانه قرن بیست و یکم نیازمند طراحی آکوستیک با استفاده از پالت کامل استراتژی‌های طراحی منظره صوتی برای دستیابی به نتایج مناسب است. اینها می تواند شامل همکاری صوتی با معمار در هر یک از پنج سطح طراحی منظره صوتی باشد: الهام، برنامه ریزی، ساختار مفهومی، تکتونیک و جزئیات (سیه بین وهمکارانش، ۲۰۲۰). در سال ۲۰۱۷، جین وو و همکارش به بررسی شرایط صوتی فضاهای مطالعه در یک کتابخانه عمومی در ملبورن با دو روش اندازه‌گیری صوتی و نظرسنجی چهره به چهره با کاربران پرداخته و به این نتیجه دست یافتند که اگرچه سه منبع اصلی سر و صدا "صدای قدم زدن"، "زمزمه مردم" و "کشیدن صندلی" در فضاهای مطالعه یافت شد ولی کاربران کتابخانه محیط صوتی خود را بدون توجه به استفاده از فضا و فعالیت اصلی آنها در کتابخانه، "دلپذیر"، "مناسب" و "آرام" توصیف کردند (جین وو و همکارانش، ۲۰۱۷).

مقاله دیگری در این زمینه در سال ۲۰۱۶ توسط شیائو و آلتا برای بررسی استراتژی‌های طراحی برای راحتی صوتی در کتابخانه‌های عمومی مدرن، مطالعه موردی کتابخانه بیرمنگام، پرداخته است که به نتیجه مشابهی مانند مقاله بررسی سالن مطالعه دانشگاه شلفید رسیده اند که کیفیت کلی منظره صوتی هر طبقه متفاوت است و لزوماً با تناسب کلی و سطح فشار صدا تعیین نمی‌شود؛ شرکت کنندگان در این مطالعه تحت تاثیر شناخت منظره صوتی از فضاها از طریق ادراک بصری و صوتی و همچنین اهدافشان از استفاده از فضا قرار می گیرند (شیائو و آلتا، ۲۰۱۶). در مطالعه آکوستیک دو سالن مطالعه دانشگاه شلفید که توسط کانگ و دو در سال ۲۰۰۳ صورت‌گرفته اندازه‌گیری‌ها در دو اتاق مطالعه معمولی نشان می‌دهند که تضعیف شدت فشار صدا (SPL)[۱] با فاصله قابل‌توجه است، زمان واخنش (RT)[۲] نسبتاً کوتاه است و نویز کلی پس‌زمینه زیاد نیست. با این حال، راحتی صوتی تنها در سطح متوسط یا کمتر رضایت بخش است و به نظر می رسد که هیچ ارتباطی بین سطح صدا و ارزیابی راحتی صوتی وجود ندارد. این تناقض در طراحی محیط آکوستیک در چنین فضاهایی تعادل بین حریم خصوصی و مزاحمت آشکار می‌شود؛ به همین منظور استفاده از صدای پوشاننده دلپذیر راه مفیدی برای رسیدن به این تعادل خواهد بود که صدای آب جاری بهتر از سایر صداهای مورد مطالعه از جمله باران، باد، باران و تهویه است (کانگ و دو، ۲۰۰۳).

در مقاله «آشنایی و زمینه کار، استفاده از اطلاعات صوتی در ادراک هویت صدا» به بررسی صدای آشنا و ناآشنا باهدف تأثیر بر حریم صوتی و تأثیرات درون‌فردی در درک هویت صدا به این مقوله پرداخته‌اند. نتیجه حاصله می‌گوید که صدابخشی از ادراک محیطی و هویتی است میزان وابستگی و استراتژی در زمینه ادراک ذهنی به صدای آشنا بیشتر است و رابطه قوی بین ادراک هویت صدا و شباهت صوتی وجود دارد (Lavan, Kreitewolf, Obleser & McGettigan, 2020). در مقاله «ارزیابی کیفیت آکوستیک در گنبد خانه نظام الملک مسجد جامع اصفهان» باهدف بررسی معماری مساجد ایرانی از منظر مهندسی و درک پارامترهای مؤثر در قابلیت‌های

سازه‌ای و عملکردی وضعیت صوتی بر این شدند که رمزگشایی هندسی معماری مساجد ایرانی از منظر مهندسی و درک پارامترهای مؤثر در قابلیت‌های سازه‌ای و عملکردی آنها را در گنبد خانه نظام الملک مسجد جامع اصفهان ارزیابی کنند. نتیجه حاکی از این است که استفاده از مصالح بخش تحتانی با جذب صوت بالا به این امر در فضاهای فوقانی کمک می‌کند و کاهش انرژی صدا توسط مصالح جاذب دارای خلل و فرج بین آجرها وضوح گفتار مطلوب در این فضا را تأمین می‌کند (افشین مهر و همکاران، ۱۴۰۰). در مقاله «زمان طنین مشابه در دو اتاق یکسان وجود ندارد» هدف کار ایجاد آسایش صوتی و بررسی زمان واخنش بهینه و وضوح گفتار معرفی کرده‌اند و سؤال خود را «آیا انتقال گفتاری خوب در اتاق‌های آموزشی و یادگیری معمولی مؤثر است؟ بیان کرده‌اند. نتیجه حاصله این‌ست که جذب صدا در سقف و دیوار، امکان برقراری ارتباط گفتاری بهینه را به‌وجود می‌آورد (Campbella, Nilssona & Svenssona, 2015). در مقاله «ادراک تباین صوتی در تجربهٔ حرکت در فضاهای بازار تبریز» هدف روشن کردن تجربهٔ شنیداری فرد در حین حرکت در گونه‌های مختلف فضایی بازار تبریز است. سؤالی که مطرح شده این است که آیا گونه‌بندی ساختار فضایی منجر به مناظر صوتی متفاوتی خواهد شد؟ بیان ادراک تجربه شنیداری فرد در انتخاب مسیر حرکت در فضاهای بازار تبریز تئوری است که تحقیق در آن راستا پیموده شده است. تراز فشار صوت و زمان واخنش دو مؤلفه سنجش رفتار آکوستیکی سرا، راسته بازار و تیمچهٔ هستند. چنین استنباط می‌شود که حرکت در امتداد گونه‌های مختلف فضایی در بازار تبریز سبب بروز تباین صوتی می‌شود که کیفیت احساسی و ادراکی حاصل از تجربهٔ شنیداری فرد در حال حرکت است و وابسته به ویژگی‌های خاص کالبدی فضاها، منابع و رویدادهای صوتی است (غفاری و همکاران، ۱۴۰۰). «بررسی مقدماتی در مورد نشانه‌های وابسته به فرکانس برای احساسات انسانی» مقاله‌ای‌ست که درک روابط اساسی بین احساسات و نشانه‌های حسی تبدیل شده، در آکوستیک، روان‌شناسی، روانپزشکی، عصب شناسی و بیوشیمی را نشان داده است. از اهداف اصلی این مطالعه ایجاد یک رابطه متقابل وابسته به فرکانس است درنظرگرفتن تنها احساسات اولیه (شاد، غمگین، خشم و آرامش) به نتایج اجازه داده عمومی‌تر و به طور گسترده قابل اجرا شود. نویسندگان به دنبال پاسخ به این سؤال بودند که اهمیت شناسایی عواطف انسانی از نشانه‌های حسی مختلف چه ارتباطی با فرکانس‌های صدا دارد؟ نتایج نشان می‌دهد که یک نقطه متقاطع برای چهار احساسات اولیه در محدوده فرکانس ۴۱۷–۴۴۰ هرتز نهفته است. محدوده فرکانس ۴۴۰–۴۳۲ هرتز از دیدگاه احساسات انسان خنثی است. همچنین مشاهده می‌شود که روابط وابسته به فرکانس بین احساسات زوج شاد – غمگین و خشم – آرام – از نظر ماهیت تقریباً آینه‌ای متقارن هستند. صداهای ترجیحی (مانند لحن مورد علاقه شنونده – بدون وابستگی به یک احساس خاص) که در محدوده فرکانس ۲۱۰–۵۴۰ هرتز قرار دارد و ادراک احساسات می‌تواند بر سایر پارامترهای فیزیکی (تغییر در شدت صدا، تغییر جهت و سایر ویژگی‌های فضایی و معماری) مؤثر باشد (Kumar, Abhayapala & Samarasinghe, 2022). در مجموع، مطالعات اخیر که بخشی از آنها در متن آورده شده است، حاکی از آن است که بیشترین متغیرهای مورد بحث در مقالات، خصوصیات فیزیکی که شامل ضریب جذب مصالح مصرفی در سطوح جداره‌ها و کف و سقف است. همچنین به ابعاد هندسی و احجام مختلف داخل فضاهای بزرگ مانند سالن‌های مطالعه نیز اشاره شده است. ضریب جذب مصالح در سالن‌هادیوارها،کف و سقف مورد سنجش قرار گرفته است. در مقالاتی جامعه آماری به متغیرهای آسایش یا آلودگی صوتی پرداخته است و متغیرهایی که در این دو بازه بررسی شده است؛ نوفه زمینه، وجود صدای آشنا و غیر آشنا و صدای گفتاری و غیر گفتاری در سالن‌های مطالعه بوده است. احساساتی که در این زمینه مطرح شده و به فرکانس‌های بالا و پایین مرتبط است از متغیرهای جالبی بوده که در مقالات بررسی شده است و از آن شرایط آرامش محیطی از نظر آکوستیکی و احتمالاً افزایش یا کاهش نوفه مورد ارزیابی قرار گرفته است (قلی‌زاده وهمکاران، ۱۴۰۱) و (غفاری و همکاران، ۱۳۹۶) و (Kose Hassan & Ezzeldin, 2022) و (Dogan, 2015 Brothánek, Jandák & 2020) و (Kamal, Lotfy, M. ) و (Hin Lia, Wub & Suc, 2018) و (Jiříček, Dami´an-Ch´avez, 2021) و (Mattern, 2007). در نتیجه این متغیرها در پژوهش حاضر سنجش متغیر نوفه زمینه، که کاهش یا افزایش آن ممکن است شرایط آکوستیکی بهینه

را میسر کند در بررسی شدت صدا از نتیجه حاصله از اندازه‌گیری به‌وسیله صوت سنج ۲۲۶۰ و ریکوردر در نرم‌افزار متلب دریافت شده است، اثبات ارتباط آن در اندازه‌گیری‌ها گواه یکدیگر می‌شود. ترکیب طیف فرکانسی (جنسیت صدا) که کمتر به آن پراخته شده است، از نوآوریهای تحقیق است.

## ۳. روش تحقیق

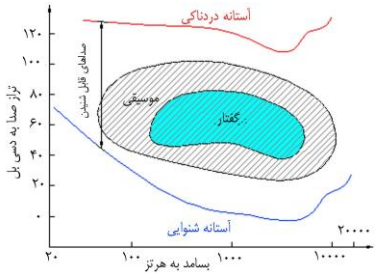
روش تحقیق تجربی است در این روش تمام داده ها برمبنای اندازه‌گیری درست و روش شناسی هایی که قبلا تجربه شده است استوار است. ابتدا از طریق ابزار کتابخانه ای روش شناسی قیاسی و قیاس نظریات و تجمیع نظریات بررسی می‌شود. جامعه نمونه از آخرین مقالاتی که مرتبط با بهینه سازی آکوستیک در کتابخانه‌ها و فضاهای آموزشی بوده استخراج شده است و در (پیوست A) به برخی از آنها اشاره شده است، به تفکیک روشهای تحقیق مورد بررسی قرارگرفته و غالب ترین روش انتخاب و با روشهای دیگر ترکیب و با انطباق با نمودارهای NC روش نوین حاصل شده است. باتوجه‌به تجمیع روش و استنتاج **صدا؛** از به ارتعاش در آمدن یک محیط ارتجاعی مانند هوا، آب، اکثر مصالح ساختمانی و زمین به وجود می‌آید و محیط ارتجاعی پس از برداشتن نیرو به حالت اولیه خود باز می‌گردد. در نمودار (۱) به انواع کیفیت صدا اشاره شده است. **انواع صدا؛** ۱) صداهای هوابرد: هرگاه جداکننده‌ای به‌وسیله امواج صوتی هوابرد به ارتعاش درآید نحوه انتقال صدا از آن به ساختمان را انتقال صدای هوابرد می‌گویند. ۲) صداهای پیکری (کوبه‌ای): هرگاه جداکننده‌ای به‌وسیله یک شی به ارتعاش درآید نحوه انتقال صدا از آن به ساختمان را صدای کوبه‌ای گویند (مقررات ملی ساختمان، مبحث هجدهم، ۱۳۹۶). رفتار صدا شامل انعکاس، عبور جذب و دیفیوز است.

**صوت؛** شکلی از انرژی است که توسط مکانیسم شنوایی قابل تشخیص است. امواج صوتی شکلی از امواج مکانیکی طولی هستند که عموماً در هوا منتشر شده و در برخورد با گوش انسان احساس شنیدن را ایجاد می‌کنند. **فرکانس؛** زمان صرف شده برای یک سیکل کامل، دوره و تعداد سیکل‌های کامل در ثانیه، فرکانس ارتعاش نامیده می‌شود. در نتیجه دوره و فرکانس با یکدیگر رابطه‌ای مستقیم دارند. فرکانس بر مبنای سیکل بر ثانیه اندازه‌گیری می‌شود و واحد از مطالعات بهترین روش استخراج و با پردازش تبیین روش شده است. روش به‌این‌ترتیب است که با استفاده از اندازه‌گیری دو دستگاه ریکوردر و ۲۲۶۰ صورت میگیرد. در اندازه‌گیری میدانی با دستگاه ۲۲۶۰ تجمیع مقادیر در اکسل وارد می‌شود و بر اساس نمودارهای استاندارد نمودار خروجی ترسیم می‌گردد. در نرم‌افزار ریکوردر H8 خروجی ریکوردر که فرمت آن wave است در نرم‌افزار متلب وارد می‌شود. و این دو خروجی را باهم مقایسه کرده و نتایج اولیه حاصل می‌شود. در نهایت خروجی هر بخش تحلیل و مقایسه و منطبق شده است. به ترتیب نمودارهای خروجی دستگاه ۲۲۶۰ در اکسل انجام شده و خروجی دستگاه ریکوردر در نرم‌افزار متلب تحلیل شده است و هردویا نمودارهای NC منطبق شده است. همزمان در قرائت‌خانه‌های دختران و پسران نمودارهای حاصله باهم مقایسه شده است و تفاوت و مشکلات جنسیت صدا در دو سالن مشخص شده است (لیندا گروت، ۱۳۹۸).

## ۴. مبانی نظری

اندازه‌گیری آن هرتز (hz)[۳] نام دارد. بیشتر منابع صدا، شامل انرژی‌هایی با بسامد فرکانس‌های متنوع هستند. برای اندازه‌گیری، تحلیل و تعیین مشخصات صدا، دامنهٔ فرکانس را به بخش‌های مختلف (که باند نامیده می‌شوند) تقسیم می‌کنند. از تقسیمات استاندارد، تقسیم باند به ۱۰ اکتاو است که هر قسمت با فرکانس میانی‌اش مشخص می‌شود:

۳۱,۵ و ۶۳ و۱۲۵ و۲۵۰ و۵۰۰ و ۱۰۰۰ و۲۰۰۰ و۴۰۰۰ و۸۰۰۰ و۱۶۰۰۰ هرتز. در تحلیل صدا هر اکتاو باند، از صدا سنج‌ها استفاده می‌شود (مارشال لانگ، ۲۰۱۴).




نمودار۱. آستانه شنوایی انسان (ام دیوید اگان، ۱۴۰۲)

**نغمه ناب؛** ارتعاشی است که در یک فرکانس ثابت تولید می‌شود. موسیقی سمفونیک شامل نغمه‌های بی‌شماری با

فرکانس‌ها و فشارهای مختلف است که به آن نغمه‌های هم‌آوا می‌گویند (ام دیوید اگان، ۱۴۰۲).

**نغمه:** به صداهایی گفته می‌شود که منحنی نمایش دامنه آنها برحسب زمان تکراری ولی سینوسی نباشد.

**نوفه (غوغا):** چنانچه در پالایش صدایی دیگر رابطه‌ای میان نغمات آن نباشد شنوایی آن صدا گوشخراش و نامطبوع است وآن را نوفه یا صدای آزاردهنده می‌نامند. نغمه شامل صدای انسان، موزیک و صدای طبیعت است و صدای طبیعت صداهای بیوفونی، آنتروفونی و ژئوفونی را شامل می‌شود (لیاقتی، ۱۳۷۰). انواع نوفه عبارت‌اند از: نوفه پیوسته، نوفه کوبنده و نوفه تپنده، هر۵ دسی بل افزایش نوفه، کارایی ساعت کاری را به نصف کاهش می‌دهد. صداهای ناخواسته یا آزاردهنده بر فعالیت‌های روزانه ما اثر می‌گذارد. اگر نوفه را به حدی پایین بیاوریم که حذف شده تلقی شود، آنگاه آستانه شنوایی بسیار پایین آمده و صداهای درون بدن مانند گردش خون و تپش قلب را خواهیم شنید، که در طول زمان غیرقابل تحمل خواهد بود. پس حذف نوفه نیز، علاوه بر هزینه سنگین، شرایط نامطلوبی را ایجاد خواهد کرد. به همین دلیل تراز نوفه حتی برای آرام‌ترین فضاها، علاوه بر حداکثر مجاز، حداقل نیز دارد (هاشمی، ۱۳۸۹).

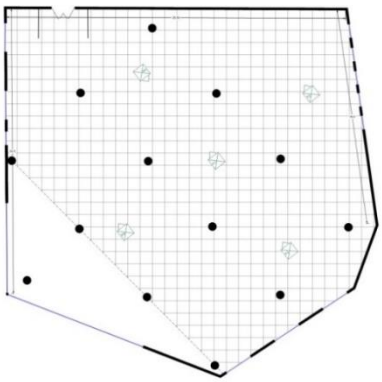
**تراز فشار صدا (SPL):** مقدار انرژی که در فاصله معینی از منبع بر حسب دسی‌بل توسط گیرنده دریافت می‌شود. دسی‌بل هم ۱۰ برابر لگاریتم نسبت فشار صدا به فشار صدای مرجع (یعنی ۲۰ میکروپاسکال) است.

**حریم خصوصی و شاخص های آن؛** در کتابخانه‌ها تداخل حریم‌های فیزیکی و حریم خصوصی گفتار از لحاظ روان‌شناسی محیط مورد توجه واقع می‌شود، ایجاد حس قلمرو در کتابخانه‌ها وعدم وجود صدای نامطلوب در فضا جهت تمرکز کاربر از شاخص های آن است، تضعیف صوت گفتار با افزایش فاصله، در این فضاها تأثیرگذار است و از طرف دیگر در بعضی بناها ایجاد فاصله جهت تضعیف صدا امکان‌پذیر نیست و به وجود صفحات جدا کننده و موانع بستگی دارد. نوع فرم و مصالح سقف، دیوار، کف و تجهیزات مستقر درآن از عوامل مؤثر است. در محیط کتابخانه‌ها، حفظ حریم خصوصی گفتار، ایجاد کاهش تراز فشار صدا از متغیرهای آکوستیک ایجاد آسایش صوتی است. شاخص‌های الگوهای معماری مصالح و فرم کالبدی این فضاها از دیگر شاخص ها محسوب می‌شود. با نبود مرزهای فیزیکی و ارتباط بین کاربران، ایجاد آسایش صوتی، در کتابخانه‌ها بازدهی و عملکرد حس مکان را ایجاد می‌کند.

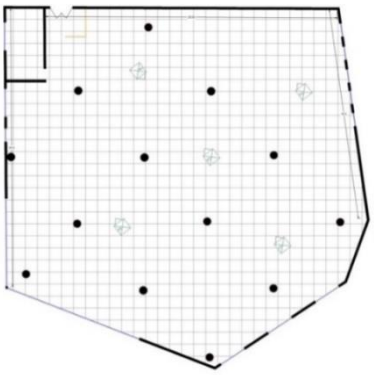
از نظر مفهومی، آسایش صوتی با بررسی متغیرهای وابسته (حریم خصوصی گفتار، کاهش تراز فشار صدا و نوفه) نیازمند بررسی اولیه متغیرهای مستقل معماری ازجمله (فرم حجم و سطوح، ضریب جذب، صیقلی و بافت‌دار بودن مصالح) است و وجود این ضرورت‌ها تضمین بهبود نتیجه و کاهش هزینه‌های ثانویه است. توجه به سکوت و ناخوشایندی صدا در فضای آرام کتابخانه و کشف رابطه متغیرهای وابسته و مستقل تحقیق منجربه آسایش صوتی و ارتقای بازدهی فضای کتابخانه می‌شود.

## ۵. بحث

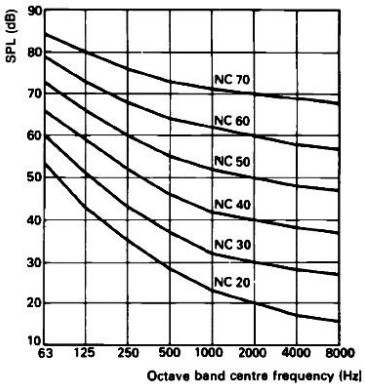
در این بخش با اندازه‌گیری میزان شدت صدا در سالن‌های مطالعه دختران و پسران با دستگاه صوت سنج۲۲۶۰ و ضبط صدا به‌وسیله ریکوردر H8 و تحلیل آن بانرم افزارمتلب پرداخته و سپس مقادیرو نمودارها با مقایسه و تطبیق بر نمودار NC یکدیگر را تأیید کرده‌اند. کتابخانه تبریز دارای سالن مخزن در فضای جداگانه است و سالن مطالعه دختران و پسران در ساختمانی دیگر و دو طبقه روی هم است که یک فضای مشترک در حجم فضا در آن وجود دارد. به ترتیب نقشه های این فضاها سالن‌های دختران (شکل۱)، پسران (شکل۲) در ذیل آمده است.



شکل ۱. پلان سالن دختران کتابخانه مرکزی تبریز



شکل ۲. پلان سالن پسران کتابخانه مرکزی تبریز




شکل ۳. منحنی معیارهای نویز (NC) (Acoustic & Noise Control, 1996)

## ۵-۱. یافته های دستگاه صوت سنج ۲۲۶۰ در سالن دختران و پسران

با برداشت میزان شدت صوت در فرکانس‌های زیر شرایط نقاط مختلف سالن‌ها سنجیده شده است با ثبت این مقادیر (از ۵۰ هرتز تا ۱۰۰۰۰هرتز) در تصویر جداول و انتقال آن به نرم‌افزار اکسل (شکل ۴ و ۵) نمودارهای اطلاعات بر مبنای فرکانس‌های مذکورکه واحد آن هرتز است در محور افقی نمودار و میزان شدت صدا با واحد دسی بل در محور عمودی آن استخراج شده است. در نهایت برآیند نمودارهای هر سالن در یک نمودار مشخص شده و هرکدام از نمودارهای برآیند با نمودار NC تطبیق داده شده است.

فرم سنجش صوتی توسط دستگاه ۲۲۶۰

| تاریخ: ۰۵/۱۱/۱۴۰۱ | ساعت: ۳۰/۱۶ | دما: ۳درجه سانتی گراد | وضعیت ارتفاعی گیرنده: ۱,۲۰ متر |
|---|---|---|---|

سالن دختران کتابخانه مرکزی تبریز

| Point | F | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | 8000 | 10000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سالن دختران | F1 | 57 | 52/9 | 46/3 | 42/4 | 44 | 43/4 | 39/8 | 43/1 | 40/6 | 43/5 | 40/9 | 42 | 41/5 | 40/8 | 40/1 | 39/6 | 38/5 | 36/7 | 34/7 | 32/7 | 31/2 | 29/8 | 29 | 29/7 |
| | F2 | 57 | 52/9 | 47/9 | 48/7 | 46/9 | 46/2 | 45/3 | 43/7 | 44/9 | 45/5 | 43/5 | 44 | 41/8 | 41/2 | 40/4 | 39/7 | 38/9 | 36/1 | 34/1 | 32/5 | 30/1 | 29/1 | 29/1 | 30 |
| | F3 | 60/8 | 53/2 | 48 | 43/9 | 43/6 | 44/3 | 42/7 | 48/1 | 46/7 | 47/8 | 44/3 | 47/5 | 43/8 | 43 | 40 | 38/7 | 37/3 | 34/9 | 32/7 | 31/5 | 31/4 | 30/2 | 29/8 | 30/6 |
| | F4 | 52/6 | 50/3 | 45/5 | 45/6 | 45/6 | 44/4 | 41/3 | 43/11 | 44 | 45/5 | 44/3 | 42/7 | 42/9 | 42/7 | 40/8 | 39/8 | 38/5 | 35/8 | 32/4 | 30/5 | 28/4 | 27/5 | 27/9 | 29/3 |
| | F5 | 61/7 | 52/9 | 46/7 | 43/3 | 44/5 | 47/4 | 43/6 | 44/2 | 41/3 | 44 | 41/3 | 41/7 | 40/4 | 39/6 | 38/8 | 38/1 | 37/2 | 34/5 | 32/1 | 29/9 | 28/7 | 28 | 28/2 | 29/5 |

شکل ۴. تصویر اطلاعات اندازه‌گیری با دستگاه ۲۲۶۰ در سالن دختران

فرم سنجش صوتی توسط دستگاه ۲۲۶۰

| تاریخ: ۰۵/۱۱/۱۴۰۱ | ساعت: ۳۰/۱۴ | دما: ۳درجه سانتی گراد | وضعیت ارتفاعی گیرنده: ۱,۲۰ متر |
|---|---|---|---|

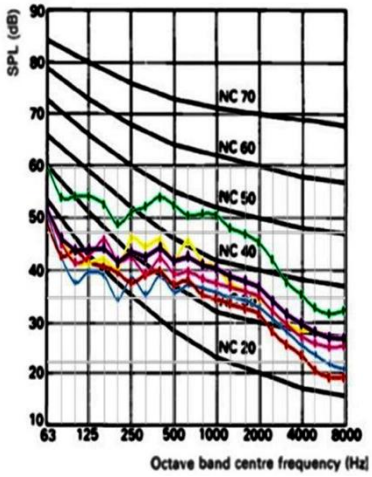
سالن پسران کتابخانه مرکزی تبریز

| Point | F | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | 8000 | 10000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سالن پسران | F1 | 52/7 | 46/5 | 44/6 | 42/2 | 43/5 | 43/6 | 41/3 | 45/9 | 44/4 | 48/2 | 45/3 | 44/8 | 43/7 | 41/3 | 39/2 | 38/2 | 36/8 | 34/3 | 32/6 | 31/9 | 31/1 | 29/7 | 29/3 | 30/1 |
| | F2 | 50/5 | 46/8 | 44/2 | 44/6 | 43/7 | 44/2 | 43/9 | 43/4 | 41/5 | 43/7 | 42/9 | 41/7 | 41/4 | 40 | 39/8 | 39/6 | 39/2 | 37/2 | 35/6 | 34/4 | 32/7 | 31/2 | 30/3 | 30/6 |
| | F3 | 52/6 | 47/7 | 47/4 | 43/7 | 45/1 | 47/8 | 45/4 | 45/2 | 42/1 | 45/6 | 44/5 | 42/8 | 44/3 | 46/6 | 41/4 | 42/3 | 41/8 | 41/3 | 40/1 | 37/5 | 34/3 | 32/8 | 31/4 | 31/4 |
| | F4 | 53/7 | 44/8 | 43/8 | 42/3 | 43/7 | 45/3 | 40/1 | 40/8 | 41 | 44/4 | 42/4 | 41/5 | 41/7 | 39/8 | 38/6 | 37/8 | 36/2 | 33/9 | 31/9 | 30/6 | 29/7 | 28/8 | 29/3 | 30/3 |
| | F5 | 51/7 | 47/6 | 50/6 | 46/5 | 46/9 | 49/4 | 45/2 | 53/3 | 50/4 | 48/9 | 47/7 | 50/1 | 51/6 | 44/9 | 41/9 | 40/4 | 37/6 | 34/5 | 32/3 | 31/3 | 29/6 | 28/6 | 29/1 | 30 |

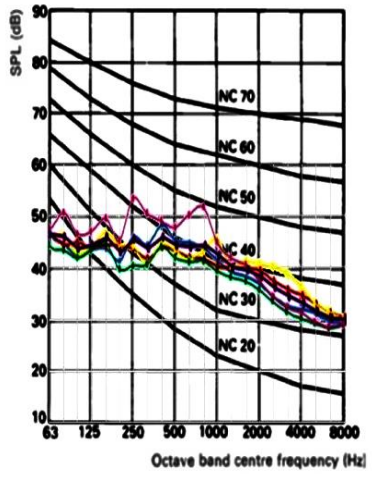
شکل ۵. تصویر اطلاعات اندازه‌گیری با دستگاه ۲۲۶۰ در سالن پسران

تحلیل نمودار ۲۲۶۰ در موقعیت‌های مشخص شده در پلان، بعد از اندازه‌گیری و بررسی این نتیجه را به ما می‌دهد که بدون استثنا در همه نمودارها در بازه فرکانس ۲۰-۶۳ هرتز که جزو فرکانس‌های پایین است، به دلیل بالا بودن شدت صدا و منطبق نبودن با شیب نمودار استاندارد NC در سالن‌های کتابخانه و مطالعه مشکل وجود دارد و نبودن کاواک و تعداد حفره‌های کافی در فضای قرائت‌خانه حس می‌شود. یعنی زیر فرکانس ۳۱۵ هرتز میزان تراز مشکلی ندارد ولی هم‌ترازی شدت فرکانس‌ها منطبق بر NC نیست. به‌عنوان مثال در فرکانس ۵۰ یا ۶۳ هرتز باید نمودار نزولی و طبق نمودار NC باشد، که در سالن دختران و پسران این حالت میسر نشده است. در نتیجه این عدم تطابق نمودار هم‌ترازی در این بازه فرکانسی نشان‌دهنده این است که طراحی معماری در فضا از حفره و کاواک به میزان کافی یا اصلاً استفاده نشده است و در این سالن به دلیل نبود کاواک در خروجی صداهای بم آسایش صوتی وجود ندارد. فرکانس‌های بین ۲۰۰-۲۵۰ هرتز که شامل پچ پچ افراد است، صدای غالب انسان‌ها در فضای قرائت خانه بوده که معمولاً حاکم بر صداهای دیگر می‌شود. در فاصله بین ۲۵۰-۴۰۰۰ هرتز که بیشتر صدای آنها صدای مردم (Human Voice) است بدون استثنا در اختلاف ترازی که فرکانس‌ها دارند مشکل وجود دارد که موجب نا مفهومی یا نویز در محیط می‌شود ولی شدت صدا مشکلی ندارد.

توجه به تجمیع داده‌ها در نمودار استاندارد NC یک همبستگی را نشان می‌دهد که در حوزه فرکانسی بین ۲۵۰ تا ۴۰۰ مقادیر زیر استاندارد بوده و عملاً از حد آسایش صوتی هم پایین‌تر است و توسط صدای فرکانس‌های دیگر ماسکه شده است. همچنین نمودار در حوزه فرکانس‌های ۴۰۰ تا ۴۰۰۰ که محدوده حوزه تولید صدای انسانی است، مقادیر حدوداً استاندارد بوده ولی منطق حاکم بر نمودار NC برعکس استاندارد را نشان می‌دهد و عمل ماسکه شدن فرکانس‌های پایین‌تر از ۸۰۰ هرتز توسط فرکانس‌های بالای ۸۰۰ اتفاق می‌افتد. در حالی که تجمیع فرکانس‌های بالای ۸۰۰ تا ۱۰۰۰۰ توزیع متناسبی را دارند. در نقاط مختلف سالن اختلافاتی در حوزه استاندارد محدوده ۳۰ تا ۴۰ دسی بل را نشان می‌دهد که حاکی از استاندارد بودن فضا بوده و توزیع فرکانس‌های صدا حدودا منطبق بر استاندارد NC است. در شکل ۶ و ۷ نمودار شدت صدای تمامی نقاط اندازه‌گیری شده در سالن پسران و برآیند آن در دستگاه صوت سنج ۲۲۶۰ و انطباق آن بر نمودار NC نشان داده شده است. از بعد شدت صدا در سالن دختران بر عکس سالن پسران پراکندگی تفکیک فرکانسی حاکم است به جز در موارد خاص که در منحنی نمودار سبز نشان داده است. عموماً شدت صدا در فرکانس‌های مختلف این سالن پایین‌تر از سالن پسران است. ولی اختلاف تراز در سالن دختران خیلی بالاتر است. در عین حال فرکانس ۸۰۰ به پایین از حد استاندارد کمتر است و همچنین در حوزه فرکانس‌های بالاتر از ۲۰۰۰ همچنان مقادیر کمتر از حد نصاب استاندارد NC را نشان می‌دهد. صدای غالب سالن عموماً بین فرکانس ۸۰۰ تا۲۰۰۰ بوده و بقیه فرکانس‌ها توسط این بازه فرکانسی ماسکه می‌شود.




شکل ۶. نمودار برآیند اندازه‌گیری ۲۲۶۰ سالن دختران



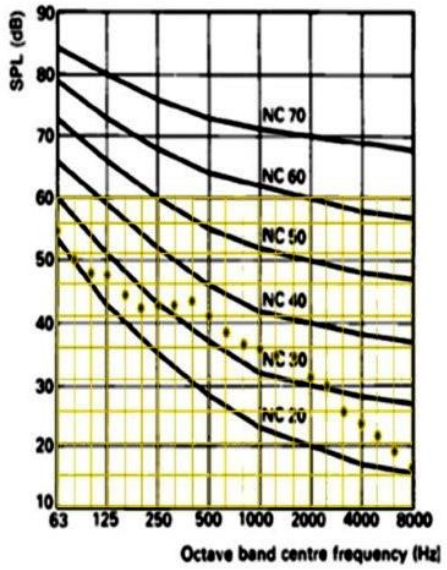

شکل ۷. نمودار برآیند اندازه‌گیری ۲۲۶۰ سالن پسران

در هر دو سالن مشکل از شدت صدا نیست؛ بلکه از نوع و جنسیت تولید صداست که منجر شده منحنی نزولی نباشد و

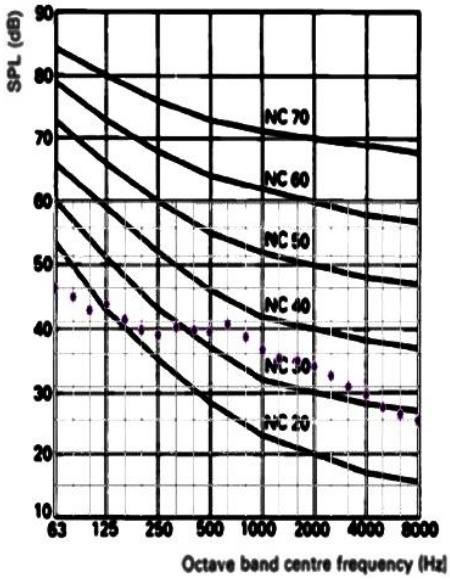
پیک افزایشی ایجاد شده و منحنی محدب شده است. دلیل این اتفاق دو مسئله می‌تواند باشد. ابتدا اینکه باید به پیک افزایشی دقت کنیم که بین ۵۰۰-۱۰۰۰ هرتز شروع به نزولی شدن نمودار شده و باید در طراحی فضاها به این بازه فرکانسی توجه شود. قبل از فرکانس ۵۰۰ هرتز نیز نمودار باید صعودی باشد و اگر صعودی باشد نشان‌دهنده این است که این فضا درست طراحی شده است.و از نقطه ۵۰۰ هرتز به بالا نیز باید نمودار نزولی باشد.اگر در حوزه فرکانسی پیک را در همه نمودارهای موقعیت های اندازه‌گیری شده سالن‌های دختران و پسران را مشاهده کنیم نشان‌دهنده این است که از الیاف کمتر استفاده شده است و اگر در دیوار و سقف از الیاف[۴] استفاده شود شرایط صوتی کتابخانه مقبول تر می‌شود.در طراحی قرائت‌خانه‌های کتابخانه پیک ۵۰۰ هرتز به پائین را تأکید بر استفاده از پوسته و ۱۰۰۰هرتز به بالا را استفاده از الیاف را بر معماران جهت بهبود آکوستیک لازم می دارد. میزان اختلافات نشان‌دهنده این است که در بازه ۳۱۵-۱۰۰۰ هرتز استفاده از پوسته ها[۵] این شرایط را تلطیف تر می‌کند و از ۱۰۰۰هرتز به بالا استفاده از الیاف بهبود دهنده شرایط آکوستیکی فضا خواهد بود.

## ۵-۲. یافته های نرم‌افزار متلب سالن دختران و پسران

در خروجی نرم‌افزار متلب که از ریکورد H8 با فرمت wave استفاده شده است. در مقایسه سالن دختران و پسران مشاهده می‌شود در فرکانس‌های بالا و پائین نمودار منطبق بر نمودار NC است؛ ولی در فرکانس‌های میانی بین ۱۰۰۰-۶۳ هرتز مهم‌ترین مشکل را مطرح می‌کند که نمودار به‌صورت محدب بوده و حالت نزولی ندارد که در سالن دختران این شدت بیشتر بوده است و در سالن پسران نسبتاً نرمال نمایان شده است. دلیل آن همان‌طور که در خروجی نرم‌افزار ۲۲۶۰ گزارش شده است به دلیل نوع و جنسیت صدای تولید شده در سالن دختران است. باتوجه‌به اینکه نوع سنجش‌های میدانی با ریکوردر H8 به میزان یک دقیقه بوده و آنالیزها در نرم‌افزار متلب وارد شده، شواهد نشان می‌دهد که احتمال دقت به‌اندازه ۲۲۶۰ نیست؛ ولی زمان اندازه‌گیری ۶ برابر دستگاه صوت سنج ۲۲۶۰ بود، برای راستی‌آزمایی لازم به نظر می‌رسید. مقادیر ثبت شده در شکل ۸ سالن دختران و شکل ۹ سالن پسران، حاکی از تأیید شرایط اندازه‌گیری ۲۲۶۰ است، لذا مقادیر تمامی شرایط را تأیید می‌کند و اعتبار و تعمیم‌پذیری (روایی و پایایی) پژوهش محقق شده است.




شکل ۸. نمودار اندازه‌گیری متلب سالن دختران

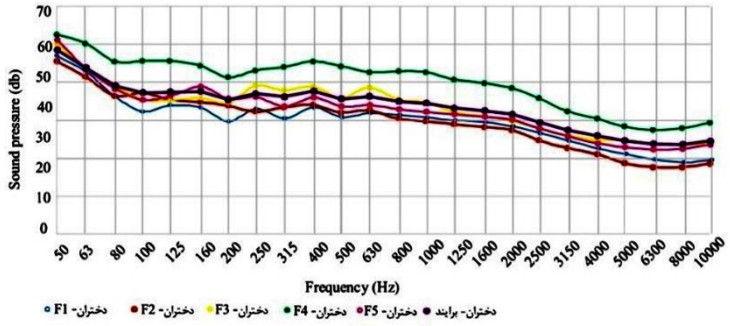



شکل ۹. نمودار اندازه‌گیری متلب سالن پسران

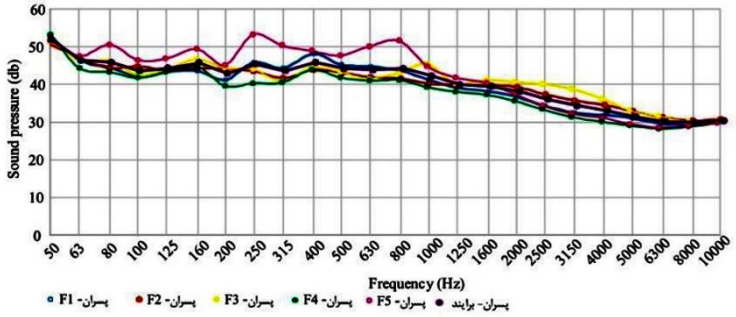
## ۵-۳. مقایسه آزمونها

نمودارها نشان‌دهنده و تائیدس کننده خروجی‌های دستگاه صوت سنج است در هر دو روش آزمون ملاحظه می‌شود که در فرکانس‌های پائین از ۲۵۰ هرتز به پائین نبود و کمبود حفره‌های در دیوار یا کاواک در طراحی معماری مشاهده می‌شود و به دلیل هزینه بالا طراحی داخلی و دکوراسیون خاص و عدم امکان

لحاظ‌کردن حفره‌ها توسط طراحان توجیه‌کننده این تفسیر است. در فرکانس‌های بالا از حدود ۲۰۰۰ یا ۴۰۰۰ هرتز بالاتر عدم انطباق دقیق با نمودار NC مشهود است این بازه، شامل صدای شهر است که قابل‌جذب در دیوارهاست و موجب آزار صوتی در محیط نمی‌شود. بحث اصلی در فرکانس‌های میانی است که از ۲۵۰ تا ۲۰۰۰ هرتز است. جهت احراز شرایط آکوستیکی در بازه میانی طبق تحلیل آزمون قبلی نیاز استفاده از الیاف و پوسته را تأیید می‌نماید. به‌این‌ترتیب بهتر است از مصالحی که دارای الیاف و ضرایب جذب بالاتر است، استفاده گردد. در پوسته‌ها از صفحاتی در طراحی داخلی توصیه می‌شود که با دیوار فاصله داشته باشند؛ مانند تابلوها و پرده‌های ضخیم که در هر دو سالن استفاده نشده بود. اگر بازه فرکانسی بین ۸۰۰–۲۵۰ هرتز را در مقایسه خروجی نرم‌افزار ۲۲۶۰ و متلب بررسی کنیم. ملاحظه می‌شود که تفاوت‌هایی وجود دارد. دلیل این اختلافات میکروفون‌های H8 و تفاوت آن با میکروفون‌های ۲۲۶۰ است که به دلیل حساسیت‌های متفاوت میکروفون‌ها این اختلافات جزئی که طبیعی است ایجاد شده است. هدف ما فرکانس‌های بین ۴۰۰۰–۱۲۵ هرتز است که در متلب رکورد را تأیید کرده است و نمودارها مطابقت خود را با دستگاه ۲۲۶۰ نشان می‌دهد در اینجا هم باید الیاف و پوسته در این بازه فرکانسی تقویت شود. باتوجه‌به اینکه دستگاه ۲۲۶۰ در تمامی مطالعات و مقالات حوزه آکوستیک معماری گذشته به آن استناد شده است و دستگاه کالیبره شده و اعتبار دارد. نرمال‌سازی متلب راهم بر اساس نمودارهای ۲۲۶۰ انجام شده است و این دستگاه را معتبر و مبین قرار داده شده است. نرمال‌سازی صورت‌گرفته ممکن است بالا و پائین باشد و مقداری در ارقام تفاوت مشاهده شود که دلیل آن زمان دستگاه‌هاست، در ۲۲۶۰ زمان روی ۱۰ ثانیه بوده و در متلب زمان روی ۶۰ ثانیه بررسی شده است و طبیعی است که بین آنها اختلافات کوچکی دیده شود. ولی ساختار هر دو یکی است و روایی و پایای دستگاه‌ها هم دیگر را تأیید کرده‌اند.



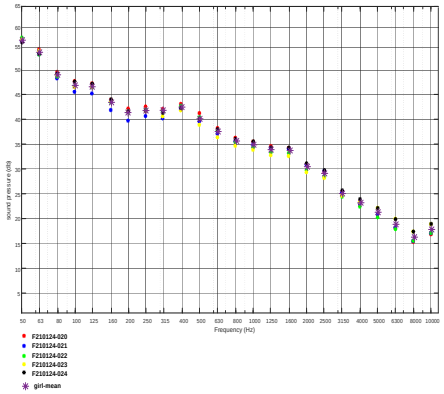

شکل ۱۰. برآیند میزان شدت صدا در سالن مطالعه دختران با دستگاه۲۲۶۰



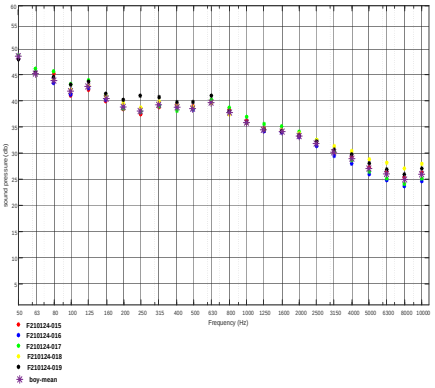

شکل ۱۱. برآیند میزان شدت صدا در سالن مطالعه پسران با دستگاه۲۲۶۰

در خروجی دستگاه ۲۲۶۰ سالن دختران (شکل ۱۰) دارای شدت صدای بیشتری است. و صدای سالن پسرها (شکل ۱۱) پایین‌تر است. همین نسبت در تحلیل نرم‌افزار متلب در سالن دختران و پسران نیز راستی آزمائی و اثبات می‌شود (شکل ۱۲ و ۱۳). در تفکیک فرکانس به این نتیجه رسیدیم که در فرکانس‌های پایین‌تر از ۱۲۵ هرتز نیازمند طراحی کاواک یا حفره است و از فرکانس ۱۲۵هرتز به بالا باید پوسته و الیاف اضافه شود یعنی تأکید بر ضریب جذب $\alpha$ شود. بعضاً امکان استفاده کافی از

پوسته و الیاف نیست که در آن صورت تأکید معماری به افزایش سطح **S** خواهد بود. نتیجه گرفتیم که معماران در سالن‌های تفکیک، مشکلات برای معماری خاص را باتوجه‌به جنسیت کاربران در طراحی مورد هدف قرار دهند. اگر جنسیت دختر و پسر به‌صورت مخلوط باشد، استاندارد NC کافی است و فضا از نظر توزیع صدا تعدیل می‌شود. ولی همچنان نیازمند افزایش ۱۰-۲۵درصد سطوح پوسته و ۷۵-۶۵ درصد سطوح الیاف خواهد بود.




شکل ۱۲. برآیند سالن‌های دختران در نرم‌افزار متلب شکل




۱۳. برآیند سالن‌های دختران در نرم‌افزار متلب

برای بهینه‌سازی فضا در طراحی کتابخانه‌ها جهت آسایش صوتی می‌توان آیین‌نامه‌ای را تدوین کرد. عموماً در ایجاد آسایش صوتی در سالن‌های مطالعه باید افزایش پوسته و الیاف را در نظر گرفت. مناسب‌ترین حالت افزایش ۱۵-۲۵ درصد پوسته در سطوحی که سالن را تشکیل می‌دهند و ۷۵-۶۵ درصد الیاف در سطوح دیوار و سقف است. در فضاهایی که روش‌های قبل قابل اجرا نیست معمار این کار را با افزایش سطح می‌تواند جبران کند.

## ۷. نتیجه‌گیری

تطبیق اندازه‌گیری دستگاه صوت سنج ۲۲۶۰ با نمودار NC، نشان می‌دهد فرکانس‌های زیر ۱۲۵ هرتز و بالای۴۰۰۰ هرتز عموماً صدای انسان نیست. تفاوت آنها حاصل از صدای شهر[۶] و تجهیزات الکتریکال و مکانیکال و هر چیز دیگری به غیر از انسان است. با بررسی نمودار برآیند اندازه‌گیری ۲۲۶۰ در سالن دختران و پسران و تطبیق آن با نمودار NC آنچه مشاهده می‌شود، گویاست زیر ساخت طراحی معماری آکوستیک در سالن‌ها، دیده نمی‌شود. به عبارتی در معماری آسایش صوتی را در فرکانس‌های مختلف فراهم ننموده است. در حقیقت این نوع فضا در فرکانس‌های ۸۰۰-۱۰۰۰ هرتز به بالا به خصوص بازه بین ۸۰۰-۲۰۰۰ هرتز منطبق بر نمودار NC است و دارای شیب مناسب است و از ۲۰۰۰هرتز به بالا دارای شیب تند است و نشان‌دهنده این است که این نوع صداها به خوبی شنیده نمی‌شود و معماری به این بازه فرکانسی از ۲۰۰۰ هرتز به بالا پاسخ نداده است. معماران در این بخش می‌توانند با استفاده از پخشاگرها شرایط آکوستیکی را بهینه کنند. از طرفی هم بنا به شرایط در تعریف این فرکانس چون برای اکثر افراد آزار دهنده است، می‌توان گفت که مثبت عمل کرده و حذف این صدا در محیط کتابخانه بهتر است ولی در فضاهایی مانند کلاس آموزش مقبول نیست. مورد مهم که بیشتر مورد توجه است صداها در این بازه همدیگر را خفه کرده‌اند و قابل شنیدن نیستند. به عبارتی در معماری لخت که فاقد هرگونه طراحی صوتی است (تاقچه، پخشگر، کاواک، پوسته، الیاف) و هیچگونه تدابیر آکوستیکی در آن ملاحظه نشده است، فرکانس‌های ۱۰۰۰-۲۰۰۰ به‌دلیل قدرت زیادی که برای شنیده شدن دارندمصون هستند. این بازه فرکانس اشترکات صدایی بین دختران و پسران است و قابل تعمیم است که در همه فضاها یکسان فرض می‌شود. درنتیجه صداهای بین ۸۰۰-۲۰۰۰ هرتز صداهای منطقی در معماری لخت هستند و در اکثر فضاها خود را مصون نگه می‌دارند. صداهای زیر ۸۰۰ هرتز عموماً خفه می‌شوند و صداهای بم و صداهای آقایان به خوبی شنیده نمی‌شود. همان‌طور که در نمودارها ملاحظه می‌شود در این بازه همانند نمودار NC نیست و به‌صورت نزولی بوده است در حالیکه باید در این بخش صعودی می‌شد. این مشکل قابل حل کردن با معماری است به طوری که صداها تقویت و کنترل شوند. ولی برعکس فضا برای فرکانس‌های ۸۰۰ هرتز به پایین دارای

مشکل است و این مورد نیز قابل رفع با معماریست. به فرض با افزایش ارتفاع یا تغییرات فرم و نصب پخشگرها صدا باقی می‌ماند در صورتی که در این بخش به دلیل ارتفاع پایین‌تر صدا به سطوح برخورد می‌کند و حذف می‌شود و نشان‌دهنده این است که معماری هیچگونه تدابیر آکوستیکی را لحاظ نکرده است و هر دو سالن دارای این مشکل هستند و هیچ کدام به نفع جنسیت صدا طراحی نشده است.

در پاسخ به سؤال کاهش نوفه در فضای کتابخانه‌ها چه تأثیری در روند حریم خصوصی گفتار برای کاربران دارد؟ مشخص می‌شود درنظرگرفتن تمهیدات معماری (کاواک، پوسته، الیاف) منجر به جذب صدا در بازه‌های فرکانسی مختلف می‌شود و کاهش تراز فشار صدا و کاهش نوفه ایجاد می‌گردد در نتیجه حریم خصوصی گفتار برای کاربران ارتقا پیدا می‌کند.

در سؤال؛ کاهش نوفه با ترکیب طیف فرکانسی متفاوت (صدای دختران و پسران) در سالن‌های مطالعه چه ارتباطی دارد؟ در نتایج تحقیق مشاهده شد که اگر هدف تفکیک سالن‌ها نباشد، طیف فرکانسی صدا در دختران دارای اختلاف تراز بیشتری بوده است و جزو دسته صداهای زیر محسوب می‌شود و صدای آقایان جزو دسته صداهای بم است. در برآیند میزان شدت صدا در قرائت‌خانه‌های دختران و پسران این هم‌ترازی صداها کمک به‌اعتدال فرکانسی می‌کند، در نتیجه میزان نوفه زمینه کاهش می‌یابد.

## ۸. دستاورد پژوهش

در سالن‌های مطالعه شده در سراسر جهان حضور دختران و پسران با طیف فرکانسی متفاوت به‌صورت ترکیب و مخلوط است و باتوجه‌به تفکیک سالن‌های مطالعه در ایران و بررسی جداگانه آن به پارادایم‌های جدیدی دست پیدا کردیم که در مطالعات مشابه به آن پرداخته نشده بود. زیرا که در اکثر کتابخانه‌های دنیا سالن‌ها به‌صورت ترکیبی بوده و تفکیک جنسیتی صدا با طیف فرکانسی متفاوت صورت نگرفته است در این پژوهش با تبیین متغیرهای مطرح شده باتوجه‌به تفکیک جنسیتی منطبق بر اهداف پژوهش قرار گرفت و منجر به دستاورد جدید شد. در این پژوهش نتایج به سمت‌وسوی دیگری هدایت شدند و باتوجه‌به تفکیک جنسیتی سالن‌ها و متفاوت‌بودن طیف فرکانسی صدای دختران و پسران این دستاورد ارائه شد که نوفه زمینه سالن‌های دختران بالاتر از سالن پسران است و پژوهش تأکید می‌کند در طراحی کلاس‌ها و فضاهای آموزشی و مطالعاتی دختران و پسران توجه بیشتری به استفاده از سطوح دارای الیاف و پوسته‌ها در فضاها و بخش‌هایی استفاده از کاواک و حفره گردد.

پیوست A

| | عنوان مقاله | روش تحقیق و روش کار |
|---|---|---|
| ۱ | تأثیر ساختار کالبدی و پیکربندی فضایی بر کیفیت تجربه منظر صوتی عابران پیاده در فضاهای عمومی با استفاده از واقعیت مجازی | از روش اکتشافی – تحلیلی و روابط علی – معلولی و از طریق پرسش‌نامه مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. |
| ۲ | ارزیابی کیفیت محیطی داخلی (IEQ) کتابخانه‌های دانشگاه نیجریه: یک مطالعه آزمایشی | روش عینی، اندازه‌گیری توصیفگرهای اصلی |
| ۳ | طراحی آکوستیک معماری برای یک سالن چندمنظوره، سالن Le Serre در مرکز همایش ویلا اربا، ایتالیا | روش کمی – شبیه‌سازی |
| ۴ | ارزیابی صوتی فضاها و ساختمان‌های تجاری | روش تجربی |
| ۵ | ماسک صورت در دوره کرونا چقدر بر درک گفتار در کلاس‌های درس تأثیر می‌گذارد | روش کمی |
| ۶ | مدلی در آموزش معماری داخلی: از کتابخانه کویون اوغلو به موزه شهر قونیه | روش تجربی شبیه‌سازی |
| ۷ | کتابخانه‌های دانشگاهی به‌عنوان فضاهای یادگیری غیررسمی در معماری فضای آموزشی | روش کیفی با تکنیک استقرایی |
| ۸ | آکوستیک معماری و خوانایی گفتار در محیط دانشگاه مطالعه موردی | روش کمی |
| ۹ | بهبود ویژگی‌های صوتی کلیسای جامع گوتیک | روش کمی |
| ۱۰ | یک بررسی پارامتریک در زمینه آکوستیک عملکرد مساجد معاصر | روش کمی |
| ۱۱ | اهمیت طراحی آکوستیک در مساجد نسبت به آسایش نمازگزاران | روش کیفی |

| | | |
|---|---|---|
| ۱۲ | بهینه‌سازی آکوستیک کلاس درس تمرین موسیقی | روش کمی |
| ۱۳ | تحلیل تأثیر چیدمان فضایی بر میزان آسایش آکوستیکی در واحدهای مسکونی آپارتمانی معاصر | روش تحقیق به‌صورت توصیفی – تحلیلی بوده است. |
| ۱۴ | تحلیل وضعیت معماری مراکز آموزشی ناشنوایان و کم‌شنوایان | پژوهش حاضر با استفاده از روش تحقیق توصیفی – تحلیلی |
| ۱۵ | اثرات محیط آکوستیک بر عملکرد طراحی بر اساس عملکرد شناختی بصری چندکاره در فضای اداری | آزمایش شناختی – رفتاری بصری |
| ۱۶ | انتظارات محیط صوتی در کتابخانه ملی فناوری – (NTK) مطالعه موردی | روش کمی و کیفی |
| ۱۷ | بررسی بازسازی آکوستیک کلیسای سنگی توف در کاپادوکیا | روش کمی |
| ۱۸ | ویژگی‌های آکوستیک سالن سخنرانی دانشکده ساختمان در کلوژ – ناپوکا | روش کمی |
| ۱۹ | یک رویکرد منظره صوتی برای بررسی استراتژی‌های طراحی برای آسایش صوتی در کتابخانه‌های عمومی مدرن: مطالعه موردی کتابخانه بیرمنگام | این تحقیق روش تجربی "Soundwalk" |
| ۲۰ | عملکرد صوتی کتابخانه‌های عمومی معاصر: ارزیابی کتابخانه‌های عمومی در ملبورن، استرالیا | روش تحقیق کمی |
| ۲۱ | پیش‌بینی پارامترهای صوتی کلاس درس برای شرایط اشغال شده از اشغال نشده | روش کمی |
| ۲۲ | شناسایی عوامل مؤثر بر حس تعلق به مکان در فضاهای دانشگاهی شهر تهران | روش تحقیق توصیفی بوده و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از روش‌های همبستگی و تحلیل عامل اکتشافی انجام شده است. |

## پی‌نوشت

۱. Sound pressure Level

۲. Reverberation Time

۳. Hertz

۴. الیاف: تایلهای آکوستیک، چوب کوبیده شده، گچ کوبیده شده که دارای حفره می باشند را شامل می‌شود.

۵. پوسته‌ها: پرده، تابلو، سطوحی که با صفحات فاصله گرفته از دیوار اضافه شود را شامل می‌شود.

۶. Sound City

## تعارض منافع

نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی برای اعلام ندارند.

## منابع


- افشین مهر وحید، غفاری عباس و زمانی ریحانه. تابستان ۱۴۰۰. ارزیابی کیفیت آکوستیک در گنبد خانه نظام الملک مسجد جامع اصفهان. فصلنامه پژوهش های معماری اسلامی، ۲: ۱۲۳-۱۴۰.
- اگان، ام دیوید ۱۴۰۲.آکوستیک در معماری. ترجمه بهشیدحسینی، مریم میرزابابالو، تهران: دانشگاه هنر.
- غفاری عباس، قلعه نویی محمود و محسن حقیقی نسرین. تابستان ۱۳۹۶. منظر صوتی مثبت در فضای شهری. مجله منظر، ۳۹: ۳۰-۳۸.
- غفاری عباس، میرغلامی مرتضی و شفائی بیتا. مهر ۱۴۰۰. ادراک تباین صوتی در تجربهٔ حرکت در فضاهای بازار تبریز. نشریهٔ علمی باغ نظر، ۱۰۰: ۵۹-۷۸.
- فورر، ویلی.۲۰۲۱. آکوستیک در معماری. ترجمه غلامعلی لیاقتی. تهران: انتشارات دانشگاه شهید بهشتی. دانلود و به‌روزرسانی ۲۰۲۱ 02-11-قابل‌دسترس در:/https://dehlinks.ir/fa/book
- قلی‌زاده فرزانه، غفاری عباس و کی‌نژاد محمدعلی. تابستان ۱۴۰۱. تأثیر هندسه شکلی و ساختاری مساجد بر کیفیت آکوستیک معماری بررسی موردی :مساجد تاریخی تبریز. نامه معماری شهرسازی، ۳۵: ۹۵-۱۱۰.

- کینزلر،لارنس، فری، آستین آر، بی.کوپنز، آلن و جیمز وی.سندرز. ۱۳۹۷. مبانی آکوستیک. ترجمه معصومه پور صادق قاضی جهانی. تهران: انتشارات دانشگاه صدا و سیما.
- مقررات ملی ساختمان، عایق‌بندی و تنظیم صدا. ۱۳۹۶.تهران: انتشارات نشر توسعه ایران.
- وانگ دیوید، گروت لیندا. ۱۳۹۸. روش‌های تحقیق در معماری. ترجمه علیرضا عینی فر. تهران: دانشگاه تهران.
- Brothánek. M., Jandák. V & Jiříček. O. December 2020. Expectations of the acoustic environment in the national library of technology – Case study. *Applied Acoustics*. Volume 170.
- Campbella. C., Nilssona. E & Svenssona. C. November 2015. The Same Reverberation Time in Two Identical Rooms does not Necessarily Mean the Same Levels of Speech Clarity and Sound Levels when We Look at Impact of different Ceiling and Wall Absorbers. *Energy Procedia*. Volume 78. 1635-1640.
- Everest, F. A., & K. C. Pohlmann. 2022. *Master handbook of acoustics*. McGraw-Hill Education.
- Gary W. Siebein, Keely M. Siebein, Marylin Roa & Hyun G. Paek , The Soundscape of TwentyFirst-Century Libraries, ©2020 Acoustical Society of America , Winter 2020 , Volume 16, issue 4. https://doi.org/10.1121/AT.2020.16.4.57.
- Hin Lia. L., Wub. F & Suc. B. November 2018. Impacts of Library Space on Learning Satisfaction – An Empirical Study of University Library Design in Guangzhou, China. *The Journal of Academic Librarianship*. Volume 44. 724-737.
- Kose Dogan. R. July 2015. A Model in Interior Architecture Education: From Koyunoglu Library to Konya City Museum. Procedia - *Social and Behavioral Sciences*. Volume 197. 1997-2003.
- Kumar. M., D. Abhayapala. T & Samarasinghe. P. May 2022. A Preliminary Investigation on Frequency Dependant Cues for Human Emotions. *Acoustics*. Volume 4. 460-468.
- Lavan. N., Kreitewolf. J., Obleser. J & McGettigan. C. February 2020. Familiarity and task context shape the use of acoustic information in voice identity perception. *Cognition.* Volume 97.
- M. Dami´an-Ch´avez. M., E. Ledesma-Coronado. P., Drexel-Romo. M., I. Ibarra-Z´arate. D & María Alonso-Valerdi. L. November 2021. Environmental noise at library learning commons affects student performance and electrophysiological functioning. *Physiology & Behavior*. Volume 241.
- Manna, D & De Sarkar, T. (2023), "Achieving acoustic comfort in the library: a sound masking initiative", Library Hi Tech News, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. https://doi.org/10.1108/LHTN 06-2023-0110
- Marshall, Long. 2014. *in Architectural Acoustics* (Second Edition).
- Mattern. S. 2007. Resonant Texts: Sounds of the American Public Library. *The Senses and Societ*y. Volume 2. 277-302.
- W. Lotfy. M., Kamel. S., K. Hassan. D & Ezzeldin. M. November 2022. Academic libraries as informal learning spaces in architectural educational environment. *Ain Shams Engineering Journal*. Volume 13.
- Xiao. J & Aletta. F. 2016. A soundscape approach to exploring design strategies for acoustic comfort in modern public libraries: a case study of the Library of Birmingham. *journal Noise Mapping*. Volume 0018.

JISAUD
Journal of Interdisciplinary Studies in Architecture and Urbanism Development
Islamic Azad University, Tabriz Branch

Volume 2, Issue 2, Autumn & Winter 2023
DOI: 10.30495/jisaud.2023.1998384.1102

# Comparative studies of library acoustics with the review of Noise and the level of sound pressure in the hall for girls and boys (Case example of Tabriz Central Library)[1]

Maryam Mirzababaloo[2], Abbas Ghaffari*[3], Seyed Behshid Hosseini[4], Houtan Irvani[5]

(Receive Date: 09 October 2023 Revise Date: 11 November 2023 Accept Date: 10 December 2023)

*Research Article*

**Extended Abstract**

**Introduction:** Nowadays, there are problems such as noise pollution in the environment. In line with the emergence of these problems, topics such as providing sound comfort and proper distribution of sound in architectural spaces find a special place. Depending on the use of spaces, the degree of importance of this issue is different. In spaces such as libraries, access to sound comfort is among the priorities. One of the optimal space requirements in the library from the sound point of view is to prepare a relatively quiet environment without additional disturbances (such as traffic, internal ventilation, noisy people) and noise control. The proper distribution of sound in the study hall by expressing the issue of speech privacy and in meeting halls by expressing the issue of speech clarity is the focus of this research.

**Methodology:** Research method: This research was conducted experimentally by measuring the sound intensity in the reading rooms of the girls and boys of Tabriz Central Library using the 2260B&K sound meter and the H8 recorder. The graphs obtained from the sound meter were extracted in Excel software and the recorder graphs were analyzed in MATLAB software. Finally, it has been adapted to the NC standard graph.

**Results:** Statement of the problem: In the matted spaces of the library, where the physical boundaries become fainter, non-visual boundaries become visible. The place of sound has been important in the architecture of the past so that it has become a modern science. The problem of proper distribution of sound in libraries led this research to examine comparative studies between sound and architecture in library reading rooms. The purpose of the research: The main purpose of the research is to create sound comfort and reduce harmful sound reflections in these spaces to create speech privacy. To achieve this goal, the relationship between the transmission and distribution of sound has been analyzed by examining the geometry of the halls and the materials used. The final goal of the research is to investigate the effect of the gender of the voices of girls and boys in the halls. Research questions 1- What effect does the reduction of noise in the library space have on the process of speech privacy for users?

**Conclusion:** Conclusion: The general results of the research showed that the gender difference of sound in spaces requires a special architecture, especially in the girls' reading houses, due to the wide range of frequencies, necessitates the use of fibers and shells on the surfaces. Sound comfort and security are harmful reflections, despite the sense of place and sense of belonging for users in the library, in the degree of the environment's desirability, is one of the goals of this research. Examining the forms in the overall volume and surfaces of the floor, wall and ceiling and dealing with materials with appropriate absorption coefficients and creating speech and hearing privacy are the other research goals. The final goal of the research is to examine the combination of the frequency spectrum and the effect of the gender

[1] This article is part of "maryam mirzababaloo" Ph. D. thesis entitled: "Explaining the connection of sound in improving the sense of place for use in the library of architectural design patterns", under the supervision of Dr. Behshid Hosseini and Dr. Abbas Ghaffari at Azad Islamic University, Ardestan Branch, Iran.

[2] PhD student, Department of Architecture, Islamic Azad University, Ardestan Branch, Ardestan, Iran.
[3] Associate Professor of Technology, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Arts University, Tabriz, Iran. (Responsible author) ghaffari@tabriziau.ac.ir
[4] Professor, Faculty of Architecture and Urbanism, Tehran Arts University, Tehran, Iran.
[5] Assistant Professor, Department of Architecture, Islamic Azad University, Ardestan Branch, Ardestan, Iran.

of girls' and boys' voices in the halls and to design an architectural solution in case of combining the frequency spectrum. By strengthening the architectural features in the field of sound, it becomes possible to formulate principles in the architectural design of libraries and acoustics.
**Conflict of intrest:** None declared.
**Keywords:** Architecture, acoustics, library, speech privacy, voice gender