This file has been cleaned of potential threats.

To view the reconstructed contents, please SCROLL DOWN to next page.

Bi-Quarterly Journal of Interior Architecture Research
Vol. 3 - No. 3 - Autumn 2024 & Winter 2025
Review Paper, Pages 72 - 87
DOI: 10.30480/intand.2024.5504.1015

Review on Solutions for Improving the Acoustic Condition of Residential Apartment Interior

Mohammad Javad Abbaszadeh[1]

Received Date: 23 September, 2024 Accepted Date: 12 January, 2025

Abstract

The wide range of studies on the role of sound in indoor spaces has led to the development of relevant regulations in many countries, the results of which are the preparation of standards in the area of acoustic comfort. Although the studies of recent years show that reducing the sound in the source does not necessarily mean an increase in sound comfort, and in most cases, the discomfort caused by the sound is not only determined by the frequency content or by the equivalent level value of the sound, but the user's perception can also be effective. The present article, with the aim of categorizing the literature on the subject, tries to unify the theoretical foundations of the topic of acoustics and housing, which in fact can be used to find suitable solutions to the problem of spatial arrangements in the interior architecture of residential spaces of the apartment type, which The type of upstream goals is around the present topic. As mentioned, the wide range of studies on the role of sound in indoor spaces has led to the development of relevant regulations in many countries, the results of which are the preparation of standards in the area of acoustic comfort. Although the studies of recent years show that reducing the sound in the source does not necessarily mean an increase in sound comfort, and in most cases, the discomfort caused by the sound is not only determined by the frequency content or by the equivalent level value of the sound, but the user's perception can also be effective.. The purpose of this research, which is a review article; the classification of studies in the field of acoustic optimization in contemporary apartment housing is actually done in terms of methodology. The first category is known as spatial simulation, so that in the simulation, building elements or architectural spaces are considered by the researcher. Another group of simulation researchers, whose main focus is different from the simulation of building forms or architectural spaces, is on active noise control methods, which are actively focused on sound structures and related equipment, including microphones, etc. . However, some of the related researches that take the third approach of acoustic simulation, their main focus is on the material. Finally, after categorizing the studies carried out in this field, it can be pointed out which of the approaches to find a solution to the problem has more theoretical scope than other approaches and which of the approaches, according to the current situation in the country.

Keywords: optimization, acoustics, sound comfort, housing, apartment

1. Assistant Professor, Faculty of Architecture, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.
Email: Mj_abbaszadeh@iust.ac.ir

دوفصلنامهٔ اندیش‌نامهٔ معماری داخلی
دوره سوم، شماره سوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۳
مقاله مروری، صفحات ۷۲ تا ۸۷
DOI: 10.30480/intand.2024.5504.1015

مروری بر راهکارهای بهبود وضعیت آکوستیکی فضای داخلی آپارتمان‌های مسکونی*

محمدجواد عباس زاده[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۳

چکیده

گستردگی مطالعات نقش صوت در فضاهای داخلی، سبب تدوین آیین‌نامه‌های مربوط در بسیاری از کشورها شده است که از نتایج آن تهیه استانداردهای حوزه آسایش صوتی است. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که کاهش صوت منبع الزاماً به معنی افزایش آسایش صوتی نیست و ادراک کاربر بسیار مؤثر است. عوامل مهم در ارزیابی آسایش صوتی در فضاهای مسکونی، شامل جنبه‌های ادراکی کاربران، جنبه‌های اجتماعی و فرهنگی و هم‌چنین ارزیابی جنبه‌های فیزیکی صوت است. مقاله حاضر ـ با بررسی منابع متقن ـ عمدتاً مقالات منتشر شده در نشریات بین‌المللی در بازه زمانی ۱۰ سال اخیر و درعین حال پر استنادترین مقالات و همچنین با رویکرد انفعالی[۱]، نگاشته شده است. هدف از این مقاله ارائه گزارشی از تحقیقات موجود در این حوزه و دسته‌بندی آنها است. با بررسی و تحلیل منابع فوق، سه دسته پیشنهاد شده است؛ اولین دسته، پژوهش‌هایی هستند که رویکردی شبیه‌سازی داشته‌اند به‌گونه‌ای که در شبیه‌سازی، عناصر ساختمانی و یا فضاهای معماری مد نظر محقق قرار گرفته است. دسته دوم، شامل پژوهش‌هایی است که رویکرد شبیه‌سازی آنها متفاوت از شبیه‌سازی فرم‌های ساختمانی و یا فضاهای معماری است، بلکه بر روش‌های فعال کنترل نوفه متمرکز هستند، به‌طوری که بر ساختارهای صوتی صدا و تجهیزات مرتبط با آن مانند میکروفن‌ها مبتنی هستند. و در آخر، تمرکز اصلی دسته سوم رویکرد شبیه‌سازی آکوستیک بر پژوهش‌هایی است که بر مصالح مبتنی هستند. به عنوان مثال استفاده از ساختارهای سبز گیاهان و یا استفاده از رزین‌های خاص موضوع اصلی این دسته از پژوهش‌ها است که در واقع، بر فرم، تراکم، جنس (مصالح) تمرکز می‌کنند. در مقاله حاضر، پس از دسته‌بندی پژوهش‌های صورت گرفته در این حوزه، این امر به بحث گذاشته شده است که کدام یک از رویکردهای یافتن حل مسئله، نسبت به سایر رویکردها، از وسعت نظری بیشتری برخوردار است و کدام یک از رویکردها، با توجه به وضعیت موجود در کشور، می‌تواند کاربرد داخلی مناسب‌تری داشته باشد.

واژگان کلیدی: بهینه سازی، آکوستیک، آسایش صوتی، مسکن، آپارتمان

۱. استادیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.
Email: Mj_abbaszadeh@iust.ac.ir

مقدمه

رضایت‌مندی ساکنانِ آپارتمان‌های مسکونی یکی از مهمترین مواردی است که در سال‌های اخیر مورد توجه طراحان قرار گرفته است. در این میان، نقش آسایش صوتی بسیار تعیین کننده است. گستردگی مطالعات نقش صوت در فضاهای داخلی منجر به تدوین آیین‌نامه‌های مربوطه در بسیاری از کشورها شده است که از نتایج آن تهیه استانداردهای حوزه آسایش صوتی است. عوامل مؤثر در ارزیابی آسایش صوتی در فضاهای مسکونی، شامل جنبه‌های ادراکی کاربران و هم‌چنین ارزیابی جنبه‌های فیزیکی صوت است. مقاله حاضر با هدف دسته‌بندی پیشینه موضوع در این میان سعی در منسجم نمودن مبانی نظری پیرامون مبحث آکوستیک و مسکن دارد.

تلاش‌های زیادی در حوزه پژوهش درباره آکوستیک و بهبود عملکرد آکوستیکی در مسکن انجام شده است که هر یک از راهکار و استراتژی خاصی نیز تبعیت کرده‌اند. تمامی این پژوهش‌ها را می‌توان در چند دسته، تقسیم‌بندی نمود. در واقع، بررسی پیشینه موضوع در تحقیق حاضر به لحاظ دسته‌بندی استراتژی صورت یافته است که همگی آنها از هدفی واحد (بهینه سازی آکوستیکی واحدهای مسکونی) تبعیت نموده‌اند.

روش تحقیق

در پژوهش حاضر، روش تحقیق توصیفی ـ تحلیلی است. درحقیقت، با مطالعه کتابخانه‌ای و اسناد مرتبط، و بر اساس مرور پیشینه و متون و مستندات مهم در این زمینه، مفاهیم اولیه استخراج گردیده است. در واقع مبانی نظری موضوع حاضر ـ با استفاده از منابع متقن ـ عمدتا از مقالات منتشر شده در نشریات بین المللی در بازه زمانی ۱۰ سال اخیر و درعین حال پر استنادترین مقالات و همچنین با رویکرد انفعالی[۱]، مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته است. به عبارت بهتر، روش کتابخانه‌ای و اسنادی جهت مطالعه پیشینه موضوع، مبانی نظری و دسته‌بندی‌های آن و در واقع بررسی تئوری‌های موجود در مورد زمینه بحث حاضر، استفاده گردیده است و عمده منابع این بخش، از مقالات و کتب نگارش شده مرتبط با موضوع بهبود وضعیت آکوستیکی در مسکن آپارتمانی هستند.

بررسی و تحلیل پژوهش‌های موجود

در میان پژوهش‌های صورت گرفته در حوزه بهبود وضعیت آکوستیکی واحدهای مسکونی، می‌توان رویکردهای مختلفی وجود دارد. نگرش گروه اول به حوزه ادراکات و احساسات[۲] انسان مرتبط است، در واقع هر آن چیزی که در مبحث صوت با انسان به عنوان استفاده‌کننده از فضا و دریافت‌کننده، مرتبط است، در این استراتژی، جا می‌گیرد. ابزار اصلی برای سنجش این بخش، پرسشنامه[۳] و مصاحبه[۴] است در واقع به عبارت دیگر، اثربخشی عمل طراحی از طریق نظرسنجی از ساکنان با روش ارزیابی پس از بهره‌برداری (POE)[۵] و با تمرکز بر ارزیابی گزارش سطح سر و صدا و حفظ حریم خصوصی صدا، بررسی می‌شود (Torresin et al. 2020). شایان ذکر است این دسته منطبق بر مباحث «آکوستیک روانی» هستند. محققان مدت‌هاست که درباره تأثیر معیارهای فعلی (شاخص‌های آکوستیکی) و روش‌های اندازه‌گیری در بازنمایی ادراک افراد، پرسش می‌کنند. (Hongisto, Mäkilä, and Suokas 2015; de la Prida et al. 2020; Vardaxis and Bard 2018; Vardaxis, Bard, and Persson Waye 2018)

با توجه به تاریخچه تحقیقات در این زمینه، نتایج شناسایی و ادغام منابع آزاردهنده و سنجش ادراکات ساکنان به روش POE، نشان می‌دهند که ناکافی بودن ساختمان‌هایی با توانایی ایجاد محیط‌های صوتی رضایت‌بخش برای ساکنین، به ویژه در حوزه ساختمان‌های مسکونی، کاملاً محرز است؛ و این امر گواه بر ضرورت تحقیق پیش‌رو است (Graham, Parkinson, and Schiavon 2021). در واقع، تحلیل و بررسی پاسخ‌های ادراکی انسان به محیط صوتی، پایه و اساسی است برای پر کردن شکاف بین عملکرد صوتی پیش‌بینی شده و تجربه عملی ساکنین پس از استفاده از محیط‌های ساخته شده (Torresin et al. 2020).

در مقاله حاضر، سه روش شبیه‌سازی در میان پژوهش‌های حاضر مورد بررسی قرار می‌گیرد. این روش‌ها در سه دسته قابل تبیین هستند: دسته اول، کاملاً مرتبط با مقوله فیزیکی صدا است که در این دسته، مسائلی همچون اندازه‌گیری[۶] صوت توسط ابزارهای سنجش و همین‌طور مسئله شبیه‌سازی[۷] مطرح می‌شود. از حدود ۱۰۰ سال

گذشته تلاش زیادی برای ادراک صدا در اتاق‌ها و توصیف کیفیت صوتی اتاق با استفاده از اقدامات فیزیکی صورت گرفته است. دانش کافی درباره عوامل اصلی تأثیر آکوستیک اتاقی چندبعدی برای کاربردهای مختلف مانند طراحی معماری، مهندسی صدا و صنعت سرگرمی ضروری است، البته در صورتی که بتوان این عوامل را به طوری شبیه‌سازی نمود که دیگر نیازی به ساخت فضای اصلی نباشد (Vorländer, 2013). این تحقیقات خود به دسته‌های دیگری تقسیم‌بندی می‌شود که توسط نگارنده در این تحقیق به صورت کامل انجام یافته است. اولین دسته با رویکرد شبیه‌سازی صورت پذیرفته است، به این ترتیب که فضایی معماری با حدود و ثغوری مشخص شبیه‌سازی شده و تحقیقات در مورد شیوه‌های کاهش انتقال صدا بین جداره‌ها مد نظر قرار گرفته است. گزارش مربوط به جدول ۱ از این دست مطالعات است:

جدول ۱. مطالعات انجام یافته در حوزه شبیه سازی مرتبط با فضاهای معماری و عناصر ساختمانی

منبع: نگارنده

ردیف	عنوان مقاله	عنصر معماری مورد بحث	نتایج مهم
۱	Environmental noise control during its transmission phase to protect buildings. Design model for acoustic barriers based on arrays of isolated scatterers	موانع صوتی کنار خیابان	در این تحقیق، نسل جدیدی از موانع صوتی معرفی می‌شود که توانایی تولید انبوه را دارد. در این مقاله از روش‌های مدل‌سازی و شبیه سازی از موانع خیابانی صوتی و بهینه‌سازی ساختارهای مصالح و پوشش آنها استفاده شده است. روش اصلی به صورت آزمایشگاهی روی مدل‌های مختلفی از موانع صوتی و همین طور بهینه‌سازی آنها انجام شده و مشخص گردیده که نوع استوانه‌ای با پوشش‌های رزینی خاص و متراکم، بهینه‌ترین حالت جهت کاهش انتقال صدا است. (Castiñeira-Ibañez, Rubio, and Sánchez-Pérez 2015)
۲	Finding optimal geometries for noise barrier tops using scaled experiments	سطوح موانع کنار خیابان	از آزمایش‌های مقیاس آکوستیک صوتی برای توسعه روش برای به دست آوردن مشخصات صوتی طرح‌های مختلف استفاده شده است تا هندسه‌هایی که ممکن است نسبت به صفحه عمودی نازک سنتی به کار روند، شناسایی شود. ایده استفاده از یک پالس صوتی کروی کوتاه نکته‌ای است که در این مقاله مد نظر قرار گرفته است. نتایج چنین آزمایش‌هایی در اینجا برای موانعی با شش هندسه مختلف گزارش شده است. با استفاده از تجزیه و تحلیل طیفی، تلفات صوتی به عنوان توابع فرکانس برای موقعیت‌های مختلف گیرنده منبع و بالای مانع محاسبه شده است. نتایج سپس برای موانع ترافیکی در اندازه کامل مجدداً مقیاس‌بندی شده و با استفاده از یک طیف سر و صدای معمولِ ترافیکی، رتبه‌بندی تک عددی عملکرد مانع بدست آمده است که کاملاً مورد قبول است. (Barbaro, Caracausi, and Rapin 2001)
۳	A preliminary study on the performance of indoor active noise barriers based on 2D simulations	موانع صفحه‌ای آکوستیکی	سیستم‌های کنترل فعال می‌توانند سبب شوند تا ایجاد نوفه در فضای باز در محدوده فرکانس پایین کمتر شود، بنابراین امکان استفاده از آن برای بهبود عملکرد موانع داخلی در این مقاله بررسی شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که هنگامی که فشار صوت در کل منطقه مشاهده به حداقل می‌رسد، با سیستم کنترل فعال می‌توان حدود ۱۰ دسی بل کاهش انتقال صوتی محدوده زیر ۵۰۰ هرتز را حاصل نمود. (Huang, Zou, and Qiu 2015)
۴	Control of Acoustical Quality of Indoor Spaces: Thorough Analysis of the Influence of Façade Typologies	فرم‌های وابسته به نمای ساختمان	این مقاله روی شکل ساختمان که یکی از متغیرهای دستیابی به بهینه‌سازی آکوستیکی است متمرکز است. پرداختن به تأثیر معماری نما بر کیفیت صوتی داخلی یکی از اهداف مقاله حاضر است. (Barbaro, Caracausi, and Rapin 2001)

ردیف	عنوان مقاله	عنصر معماری مورد بحث	نتایج مهم
۵	Façade Elements for Natural Ventilation and Sound Insulation	دیافراگم‌های نمای ساختمان	مطالعه حاضر با هدف توسعه عناصر با دیافراگم برای کاهش تعارض بین نیازهای راحتی حرارتی_صوتی انجام شده است.. چهار نوع عنصر پیشنهاد شده است که از نظر صوتی در پایه‌های مختلف روی نمای دیوار، ارزیابی می‌شوند. نتایج نشان می‌دهد که کنترل انتقال صدا در فرکانس‌های پایین در نماهای با دیافراگم بسیار دشوار است، با این حال، با یک نوع نصب، نتایج عایق صدای رضایت بخشی بدست آمد، که به عنوان تفاوت وزن سطح استاندارد، مقدار ۲۷ دسی بل می‌تواند به کاهش انتقال صدا کمک کند لازم به ذکر است شبیه‌سازی‌های CFD نشان می‌دهد که به دلیل ویژگی‌های هندسی، این نصب بهترین شرایط جریان را برای تهویه طبیعی داخلی فراهم می‌کند. (de Araújo and Bistafa 2012)
۶	Effect of Façade Shape for the Acoustic Protection of Buildings	فرم نمای ساختمان	به طور خاص، تأثیر نما برای تعدادی از تیپولوژی‌های ساختمان به عنوان تابعی از جهت کلی صدای ورودی و ضریب جذب صوتی سطح زیر سطوح بالکن ارزیابی می‌شود. در این مقاله، نتایج یک مطالعه در مورد تأثیر شکل نما بر صدای ورودی با اشاره به تعداد زیادی از انواع مختلف نمای ساختمان به صورت استفاده از روش‌های شبیه‌سازی رایانه‌ای ارزیابی می‌شود. این مطالعه با استفاده از یک نرم افزار پیش بینی بر اساس ردیابی پرتو انجام شده است. علاوه بر این، برخی از پیکربندی‌های تجزیه و تحلیل شده با نرم افزار پیش‌بینی نیز در یک مدل مقیاس آزمایش شده است. با اشاره به یک پیکربندی معمولی شهری، نتایج به صورت اختلاف سطح بین نمای ساده صفحه و نما با نوع محافظ متفاوت بیان می‌شوند. (Busa, Secchi, and Baldini 2010)
۷	Simulating the effect of acoustic treatment types for residential balconies with road traffic noise	بالکن	در این تحقیق که در آن رگرسیون خطی چند متغیره منظور نظر نگارنده بوده است، روش رسیدن به حالت بهینه بالکن به لحاظ تناسبات در طراحی مد نظر قرار گرفته است. بهترین رگرسیون تناسب بدست آمده یک معادله خطی چند متغیره شامل معادلات نمایی اصلاح شده در هر یک از نه متغیر تعیین‌کننده است. متغیرهایی که نویسنده به آن دست یافته است عبارتند از: ۱. اختلاف مسیر پراش، ۲. نسبت کل انرژی خاص به انرژی مستقیم، ۳. از دست دادن فاصله بین موقعیت مرجع و موقعیت گیرنده، ۴. فاصله از مبدأ تا نمای بالکن، ۵. ارتفاع کف بالکن بالاتر از خیابان، ۶. عمق بالکن، ۷. ارتفاع ساختمان‌های مقابل، ۸. ضریب انتشار ساختمان‌ها و ۹. ضریب جذب متوسط بالکن به صورت کلی. (Naish, Tan, and Demirbilek 2014)
۸	The acoustical influence of balcony depth and parapet form: experiments and simulations	بالکن و دیوار محافظ	عمق بالکن و فرم یا زاویه دیوار محافظ از مسائلی است که روی عملکرد نمای ساختمان در مواجهه با سروصدای کنار خیابان، تأثیر دارد. در این تحقیق، عمق‌های متفاوت بالکن در یک ساختمان ۸ طبقه‌ای با ابعاد مختلف مورد شبیه‌سازی قرار گرفته است. روش شبیه‌سازی بر اساس فرم اشعه تابشی هرمی شکل مبنای کار قرار داده شده است. تأثیر عمق بالکن در این تحقیق به لحاظ میزان بهینه سازی آکوستیکی، حدود ٤ تا ۸ دسی‌بل ارزیابی شده که نسبت به سایر روش‌های بهینه‌سازی می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. (Dien and Woloszyn 2005)
۹	Acoustic performance of balconies having inhomogeneous ceiling surfaces on a roadside building facade	فرم سقف بالکن‌های ساختمان‌های مسکونی	بالکن‌ها، هنگامی که برای تهویه طبیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند توانایی کنترل نفوذ صدای خیابان به داخل را پیدا می‌کنند. این مقاله بر این مسئله تمرکز دارد که اگر مصالح و فرم‌های متنوعی در سقف بالکن‌ها به کار برده شود تأثیر کاهش صدای چشمگیری در انتقال از بیرون به درون خواهد داشت. در این تحقیق، عملکرد صوتی بهتر یک بالکن با سطح سقف ناهمگن از نظر تئوری توسط مدل‌سازی ردیابی پرتو تأیید می‌شود. تمام نتایج پیش بینی شده توسط این تئوری با شبیه‌سازی‌های عددی با استفاده از روش دو بعدی محدود انجام یافته است (Wang, et al. 2015)

ردیف	عنوان مقاله	عنصر معماری مورد بحث	نتایج مهم
۱۰	Combining noise mapping and ventilation performance for non-domestic buildings in an urban area	نوع و میزان تناسبات پنجره‌ها در جداره‌های خارجی یک ساختمان	این مطالعه اهمیت رویکردی یکپارچه را برای مواجهه با صدا و عملکرد تهویه در ساختمانهای شهری نشان می‌دهد. میزان عرض پنجره مورد شبیه سازی واقع شده و با استراتژی‌های تهویه خنک‌کننده حالت ترکیبی (طبیعی و مکانیکی) مدل‌سازی شده‌اند. این اقدام، این امکان را فراهم می‌کند تا ملاحظات سر و صدا از نظر تهویه ساختمان و استفاده از انرژی برای سرمایش ساختمان، به صورت عددی بیان شود. برای ورودی سر و صدا جاده داخلی میزان صدای ۳۴ دسی بل، مشخص گردیده است که مصرف انرژی خنک‌کننده برای ساختمان‌های نمونه که در مکان‌هایی با سر و صدای کمتر وجود داشتند، نسبت به ساختمان‌هایی در بافت پر سر و صدا، کاهش ۲۲ تا ۴۵ درصدی داشته است. مهم‌تر از همه، کاهش سر و صدا معادل ۱۰ دسی بل، سبب کاهش در مصرف انرژی خنک‌کننده از ۲۸ تا ۴۵ درصد شده است. (Barclay, Kang, and Sharples 2012)
۱۱	Design-focused acoustic analysis of curved geometries using a differential raytracing technique	سطوح منحنی داخلی ساختمان	سطوح منحنی تأثیر عمده‌ای در انتشار صدا در اتاق‌ها دارند. سطوح محدب همواره سبب بازتاب ضعیف‌شده در یک منطقه بزرگ‌تر می‌شوند، در حالی که سطوح مقعر بسته به موقعیت منبع و گیرنده نسبت به سطح منحنی، باعث تقویت یا کاهش بازتاب می‌شوند. در این مقاله، یک روش هندسی به صورت معادلات دیفرانسیل ارائه شده است و اجازه می‌دهد تا محاسبه مستقیم تقویت یا میرایی ایجاد شده توسط یک سطح منحنی انجام گیرد. این روش کاملاً هندسی را می‌توان به صورت شبیه‌سازی در بازتاب‌های مرتبه بالاتر، به منظور کمک به شناسایی مشکلات بازتاب و لرزش ایجاد شده توسط چندین مسیر بازتابی به کار برد. (Wulfrank, Jurkiewicz, and Kahle 2014)
۱۲	The constraints satisfaction problem approach in the design of an architectural functional layout	چیدمان فضایی	سیستم پشتیبانی طراحی با استراتژی جدید برای یافتن پیکربندی‌های بهینه اتاق برای طرح‌های معماری ارائه شده است. در این مقاله، نتایج مشابه نقشه‌های عملکردی واقع‌گرایانه است. دراین تحقیق نمونه‌ای از مشکلات اندازه واقعی، در سه آپارتمان با مجموع ۲۰ اتاق نشان داده شده است، جایی که راه حل تولید شده می‌تواند به عنوان پایه‌ای برای طرح معماری واقع‌گرایانه استفاده شود. نمونه‌هایی از رتبه‌بندی تعاملی پیکربندی‌های «مناسب» با توجه به چندین معیار و انتخاب «بهترین» ارائه شده است. چارچوب پیشنهادی کلی و بین‌المللی است ــ معیارها، پارامترها و وزنها را می‌توان به صورت جداگانه توسط کاربر تعریف کرد و الگوریتم جستجو را با یک مسئله خاص تنظیم کرد. (Zawidzki, Tateyama, and Nishikawa 2011)

دسته دوم از پژوهش‌های شبیه‌سازی، به عنوان رویکرد دوم شناخته می‌شوند، که تمرکز اصلی آنها متفاوت از شبیه‌سازی فرم‌های ساختمانی و یا فضاهای معماری است. این پژوهش‌ها درباره روش‌های فعال کنترل نوفه[۹] است که به صورت‌های فعال روی ساختارهای صوتی صدا و تجهیزات مرتبط با آن از جمله میکروفون‌ها و ... تمرکز یافته‌اند. این موضوع مرتبط با مقاله حاضر نبوده و صرفاً تعدادی از منابع و روش کاری آنها توضیح داده می‌شود. این روش به جای تمرکز بر جلوگیری از انتقال صدا به وسیله فضاهای معماری یا به وسیله مصالح جاذب، بر کنترل‌کننده‌های فعال تمرکز دارد. مشکلی که در مواجهه با صدای ترافیک در ساختمان‌های مسکونی مشکل‌ساز است، محدوده فرکانس‌های پایین است که پنجره‌های معمولی، به صورت رایج نمی‌تواند این حوزه فرکانسی را کنترل کند (Naticchia and Carbonari 2007).

سیستم‌های صوتی فعال یک روش جایگزین برای کنترل تجربه ذهنی ارائه می‌دهند. آن‌ها از میکروفون‌ها، پردازنده‌های الکترونیکی و بلندگوها برای ایجاد بازتاب و طنین علاوه بر صدای تولید شده توسط میدان صوتی طبیعی، استفاده می‌کنند. خصوصیات صوتی را می‌توان فوراً تغییر داد، و خصوصیات صوتی تقویت شده سالن را می‌توان به طور معمول در دامنه وسیع‌تری از آنچه با تکنیک‌های غیرفعال متغیر تولید می‌شود، تغییر داد. طراحی آکوستیک فعال از رویکردهای غیرفعال پیروی می‌کند، اما به جای آرایش فیزیکی سطوح اتاق، با یک فضای منفعل موجود با حداقل شرایط صوتی آغاز می‌شود و به ترتیب میکروفون‌ها برای تشخیص صدای مربوطه

و انتخاب پردازنده‌ها و موقعیت بلندگو برای هدایت مفید آن به داخل اتاق برای تولید مجموعه‌ای دلخواه از پارامترهای صوتی، فعال می‌شوند (Poletti 2011).
البته این روش برای اولین بار در سال ۲۰۰۱ ابداع گردید و هم اکنون نیز در حال بهینه‌سازی است ولی ایرادی که دارد این است که مانند روش‌های کنترل غیر فعال[۱۰] گران و هزینه‌بر است. البته لازم به ذکر است که با این روش، برنامه‌هایی برای کاهش سطح صدا در داخل اتومبیل‌ها و هواپیماها شناخته شده‌اند. نسبت به استفاده از سیستم‌های کنترل صوتی فعال سازه‌ای (ASAC)[۱۱]، این سیستم‌ها بر اساس کاهش ارتعاشات ساختاری از طریق استفاده از محرک‌های متصل به سطوح ارتعاشی، هدایت شده توسط یک سیستم کنترل خودکار است که وظیفه آن به حداقل رساندن این ارتعاشات و صدای تابش شده به عنوان نتیجه است. در این کار، نشان داده شده است که محرکهای متصل به سطوح ارتعاشی، که توسط یک سیستم کنترل خودکار هدایت می‌شوند، قادر به کاهش چشمگیر آن ارتعاشات و در نتیجه صدای تابش شده هستند. فناوری پیشنهادی از طریق آزمایشات و شبیه‌سازی‌های عددی برای محاسبه کاهش سر و صدای داخلی که می‌تواند با استفاده از محرک‌های پیزوالکتریک[۱۲] دنبال شود، آزمایش شده است (Naticchia and Carbonari 2007).
تکنولوژی‌های به کار برده شده در کنترل فعال نوفه در ساختمان روز به روز در حال ارتقا است به طوری که هم‌اکنون بر کیفیت صدا هم اقداماتی انجام شده است. در سالیان متمادی، هدف از طراحی سنتی کنترل نوفه به صورت فعال، کاهش انرژی نوفه باقیمانده است که در حوزه فرکانس گوش‌خراش است. با این حال، برای برآورده ساختن نیازهای ادراک انسان در برخی از برنامه‌ها، لازم است نوفه باقیمانده با یک طیف مشخص حفظ شود. در مقاله‌ای که در سال ۲۰۱۸ تکمیل شده است، به طور خلاصه درباره تکامل روند کنترل نوفه فعال و کیفیت صدا بحث شده است. این مقاله بر پیشرفت روش کنترل نوفه فعال در دهه‌های گذشته از نظر افزایش کیفیت صدا تأکید دارد (Jiang and Li 2018)، که البته بیشتر می‌تواند در حوزه وضوح گفتار مؤثر باشد.
علاوه بر دو رویکرد شبیه‌سازی مذکور، رویکرد سوم شبیه‌سازی آکوستیکی نیز وجود دارد که تمرکز اصلی تعدادی از تحقیقات مرتبط را به خود اختصاص می‌دهد؛ این شبیه‌سازی مبتنی بر مصالح است. به عنوان مثال استفاده از ساختارهای سبز گیاهان و یا استفاده از رزین‌های خاص که روی فرم، تراکم، جنس (مصالح) متمرکزند، مورد توجه است. (جدول ۲)

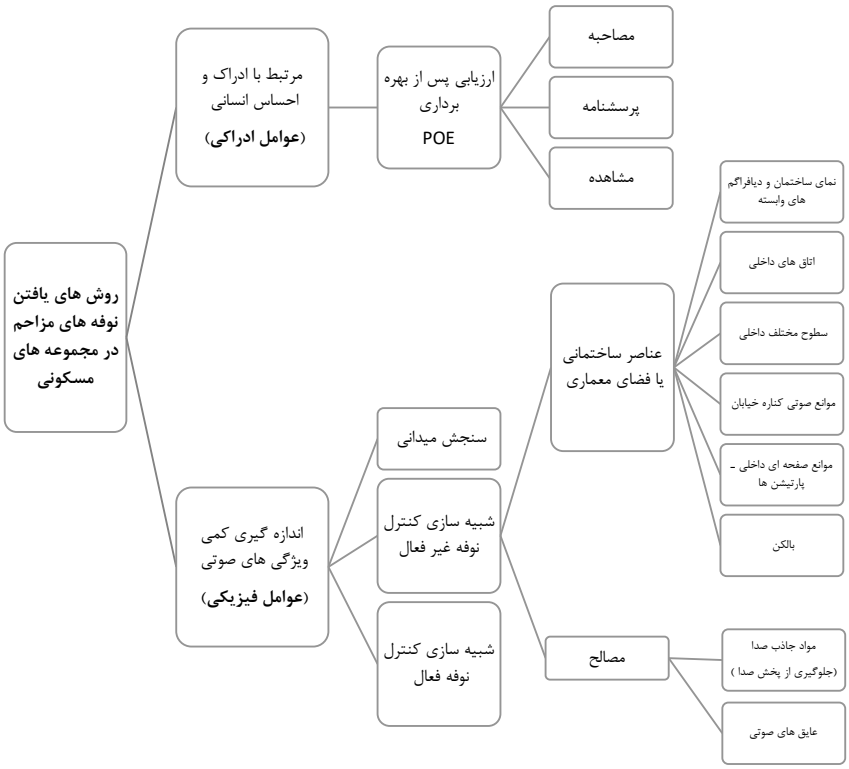
جدول ۲. پژوهش‌های انجام یافته در حوزه مواد و مصالح مرتبط با معماری
منبع: نگارنده

ردیف	عنوان مقاله	عنصر شبیه‌سازی شده	نتایج مهم
۱	Sound reduction in samples of environmentally friendly building materials and their compositions	مصالح سنتی از جمله خشت، نی و	به منظور کاهش تأثیر منفی بر محیط، مواد سازگار با محیط زیست بیشتر و بیشتر برای ساخت و ساز ساختمان انتخاب می‌شوند. مصالح ساختمانی که امروزه بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد، خاک رس، کاه و نی است. این مقاله بیشترین شاخصهای کاهش صدا RW را که در محفظه نیمه غیرهوایی اندازه‌گیری شده و در هنگام شبیه‌سازی تعیین شده است، ارائه می‌دهد. مشخص شده است که خشت، نی فشرده و نی (جهت گیری موازی با انتقال صدا) برای عایق صدا با فرکانس پایین مناسب هستند. طبق مدلسازی ها و شبیه سازی های صورت گرفته شاخص کاهش صدا RW دیواره خشتی با ضخامت ۲۰۰ میلی متر تا ۴۳ دسی بل رسید. (Januševičius, Mažuolis, and Butkus 2016)
۲	Acoustic properties of green walls: Absorption and insulation	پانل‌های سبز متصل شده روی نمای فرضی	خصوصیات حرارتی این سیستم دیواره‌های سبز به خوبی مورد مطالعه قرار گرفته است، با این حال مطالعات کمی در مورد پتانسیل صوتی آنها انجام شده است. در این مقاله نتایج آزمایشی تست‌های جذب صدا و عایق صدا برای یک سیستم مدولار پانل‌های سبز به صورت شبیه‌سازی مورد آزمایش قرار گرفته است. هر ماژول از یک پایه مجهز به کیسه‌هایی از جنس ژئوتکستایل[۱۳] تشکیل شده بود که در آن بستر قرار داده می‌شد و گیاه رشد می‌کرد. نتایج نشان داده است که افزایش ضریب جذب صدا در کل طیف هنگام ورود بستر و پوشش گیاهی در صفحات پایه در هر شرایط. هم اختلاف سطح استاندارد شده و هم اختلاف سطح استاندارد وزنی، نسبت به پانل‌های ساده، بهبود کمی در عایق بندی نمونه با پوشش گیاهی را نشان داده است. (Thomazelli, Caetano, and Bertoli 2016)
۳	Experimental characterization of rigid porous material via the first ultrasonic reflected waves at oblique incidence	مواد متخلخل اشباع شده از هوا	این مقاله جهت ارزیابی پارامترهای صوتی مواد متخلخل اشباع شده از هوا ارائه شده است. این روش بر اساس مسئله مستقیم و معکوس انعکاس یک موج تصادفی مورب از سطح محیط متخلخل با قاب صلب استوار است. اثر متقابل نبض صدا با مواد متخلخل توسط مدل سیال معادل با استفاده از رویکرد (Johnson-Champoux-Allard (JCA برای توصیف اثرات اتلاف ویسکو- اینرسی و اثرات حرارتی درون محیط متخلخل توصیف شده است. (Sadouki 2018)
۴	Scale-model method for measuring noise reduction in residential buildings by vegetation	قالب‌های گیاهی به صورت پانلی	برای ارزیابی کاهش سر و صدای ترافیک جاده‌ای، یک منبع خطی برای یک مدل در مقیاس ۱:۱۰ تولید شده است که فرکانس‌های زیادی از ۱ کیلوهرتز تا ۴۰ کیلوهرتز تولید می‌کند. بر این اساس، اثرات افزودن نماهای سبز در مدل به صورت یک خیابان فرضی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج مدل با نتایج شبیه سازی رایانه‌ای هندسی مقایسه شده است و هر دو روش ارزیابی نتایج مشابهی را نشان داده‌اند. روش مدلسازی پیشنهادی با توجه به ویژگی‌های واقع‌گرایانه مانند جذب، پراکندگی و پراش مرتبط با مواد و منابع صوتی با توجه به شکل پوشش گیاهی، می‌تواند برای ارزیابی کاهش صدا در دره‌های خیابانی توسط پوشش گیاهی مفید باشد. (Jang, Kim, and Jeon 2015)

ردیف	عنوان مقاله	عنصر شبیه‌سازی شده	نتایج مهم
۵	Absorption performance optimization of perforated plate using multiple-sized holes and a porous separating partition	پانل‌های سوارخ دار برای بررسی میزان جذب صدا	این تحقیق نوع جدیدی از صفحه سوراخ‌دار جاذب صدا را با سوراخ‌های چند اندازه و یک پارتیشن جدا کننده متخلخل در تلاش برای گسترش پهنای باند جذب صدا پیشنهاد می‌کند. پس از ساخت مدل اجزای محدود، نمودارهای ضریب جذب صفحات سوراخ دار با سوراخ‌های دو و چهار سوراخ با توجه به انواع پارتیشن‌بندی جدا شده تجزیه و تحلیل شده است: بدون پارتیشن، پارتیشن سخت و پارتیشن متخلخل. برای افزایش عملکرد جذب، مقدار مقاومت جریان و ضخامت یک پارتیشن جدا کننده متخلخل و همچنین اندازه سوراخ بهینه شده‌اند. از تجزیه و تحلیل و نمونه‌های طراحی، تأیید شده است که صفحه سوراخ‌دار با استفاده از سوراخ‌های چند اندازه و یک پارتیشن جداکننده متخلخل می‌تواند یک دامنه فرکانس مداوم از ضریب جذب بالا را در مقایسه با صفحه سوراخ دار با یک پارتیشن سفت و سخت معمولی ایجاد کند. (Kim and Yoon 2017)
۶	Retrofitting masonry and cavity brick façades for different noise zones using laboratory simulations	مصالح معمول به کار رفته در دیوار از جمله، دیوارهای خارجی سنگی و حفره‌های آجری، ملات، تخته گچ و پشم معدنی	در این مطالعه، شاخص کاهش صدا در دیوارهای خارجی سنگی و حفره‌های آجری، ملات، تخته گچ و پشم معدنی و از انواع پنجره‌های معمولی تشکیل شده است، تمامی مصالح یاد شده در اتاق‌های آزمایش عایق صدا اندازه گیری می‌شود. نمای سنتی دیوار آجری و مقاوم سازی احتمالی این نماها برای عایق صوتی اتاق خواب و اتاق نشیمن در مناطق مختلف صدا، ۵۵، ۶۰، ۶۵، ۷۰ و ۷۵ دسی بل، با نسبت‌های مختلف شفافیت مورد شبیه‌سازی واقع شده است و نتایج خوبی نیز به دست آمده است. (Demirkale and Ascigil-Dincer 2017)
۷	Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls	پانل‌های سبز عمودی	در سال‌های اخیر، شهرهای پایدار دریافته‌اند که استفاده از پنل های سبز یک عامل اصلی در مقابله با آلودگی صوتی است و باعث محبوبیت سیستم‌های سبز عمودی (VGS) شده است. این تحقیق دو هدف دارد. اولین مورد شامل مطالعه هشت سیستم مختلف سبز عمودی (شبیه سازی شده) برای ارزیابی تأثیرات صوتی آنها است. آزمایش میرایی قوی‌تری را در فرکانس‌های پایین تا میانی به دلیل اثر جذب بیشتر نشان می‌دهد در حالی که در فرکانس‌های بالا به دلیل پراکندگی از فضای سبز، میرایی کوچکتر مشاهده شده است. علاوه بر این، با افزایش فرکانس‌ها، ضریب جذب صدا افزایش می‌یابد. همچنین، مشاهده شده است که ضریب جذب صدا با پوشش بیشتر سبز افزایش می‌یابد. (Wong et al. 2010)
۸	Effects of ceiling phase gradients on the acoustic environment on roadside balconies	مصالح پوشش سقف بالکن	اثر انعکاسی بالکن کنار جاده به دلیل بازخورد صدا از سقف آن، بطور قابل توجهی شدید می‌شود. با این وجود، می‌توان با هدایت مصنوعی صدای منعکس شده از نمای ساختمان، این اشکال را برطرف کرد، که با استفاده از مصالح ناهمگن، مانع بزرگی در انتقال صدای بیرون به داخل ایجاد می‌گردد. در این مقاله بررسی مفصلی در مورد تأثیر شیب فاز یک سطح سقف در غربالگری سر و صدای خارجی، به لحاظ نظری و عددی با استفاده از روش‌های شبیه سازی و اندازه‌گیری دقیق ارائه شده است. با ایجاد تعادل در قابلیت هدایت صدا و سطح نوسان عملکرد، سقف مورد اشاره در مقاله، ممکن است بتواند به طور گسترده در ساختمان‌های کنار جاده استفاده شود. (Wang et al. 2017)

ردیف	عنوان مقاله	عنصر شبیه‌سازی شده	نتایج مهم
۹	Experimental evaluation of the sound absorption and insulation of an innovative coating through different testing methods	مواد نانو جاذب صدا	هدف از این تحقیق دستیابی به ماده‌ای با ویژگی‌های جذب صدای بالاتر در مقایسه با گچ‌های معمولی و همچنین عملکردهای عایق حرارتی و صوتی است. در هر دو مرحله طراحی و آزمایش به صورت اندازه‌گیری و استفاده از روش‌های شبیه‌سازی، شناسایی و اندازه‌گیری پارامترهای اصلی صوتی بسیار تأثیرگذار است. در این مقاله خصوصیات مواد جدید از نظر جذب صدا و عایق بندی با استفاده از اتاق طنین، لوله امپدانس، اتاق‌های انتقال صدا و اندازه‌گیری‌های دیگر، همراه با بحث در مورد محدودیت‌ها و قابلیت اطمینان روش‌های مختلف در رابطه با خاص دامنه فرکانس و ویژگی‌های ماده مورد آزمایش قرار گرفته است و نتایجی نیز حاصل شده است. (Scamoni, Piana, and Scrosati 2017)
۱۰	More than just a Green Facade: The sound absorption properties of a vertical garden with and without plants	قطعات سبز به صورت عمودی یا افقی	این مقاله درصدد بررسی کارایی سیستم‌های سبز روی زمین یا نمای ساختمان‌های مسکونی است. علاوه بر شبیه سازی فضایی توسط رایانه‌های قدرتمند، پیکربندیهای فضایی نیز به صورت واقعی انجام گردیده است. هر پیکربندی با قطعاتی که فقط با مصالح بستر (بتن) پر شده و با قطعاتی پر از لایه‌هایی با سرخس‌های پر تراکم، آزمایش شده است. ضریب جذب صوتی میزان بروز تصادفی وزن ماژولهایی که به طور متراکم با سرخس کاشته شده‌اند برابر با ۱/۰۰ است. این نوع فناوری ساختمان برای کاربردهایی که باید صدا کاهش یابد بسیار مناسب است و زمینه را برای استفاده از سیستم‌های عمودی باغ به عنوان ابزاری برای بهبود آکوستیک فضاهای داخلی یا میادین شهری فراهم می‌کند. (Davis et al. 2017)

با توجه به موارد گفته شده در بررسی رویکرد پژوهش‌های موجود در زمینه بهبود وضعیت آکوستیکی واحدهای مسکونی، نمودار روش‌های به کار گرفته شده در این‌باره در شکل ۱ دسته‌بندی شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در این نمودار، بهبود وضعیت آکوستیکی واحدهای مسکونی، ابتدا در دو رویکرد کلی «مرتبط با ادراک و احساس انسان» و «اندازه‌گیری کمی ویژگی‌های صوتی» دسته‌بندی می‌شود. دسته دوم که مربوط به عوامل فیزیکی است، در سه دسته شبیه‌سازی قابل تفکیک هستند: دسته اول، سنجش میدانی؛ دسته دوم، شبیه سازی کنترل نوفه غیر فعال؛ و دسته سوم، شبیه‌سازی کنترل نوفه فعال. در این نمودار راهکارها و ابزارهای لازم برای دست‌یافتن به هر یک از روش‌ها بیان شده است.



شکل ۱. نمودار انواع روش‌های مطالعاتی در تحقیقات مرتبط با حوزه بهینه‌سازی آکوستیکی واحدهای مسکونی
منبع: نگارنده

بحث

منابعی که توسط نگارنده در حوزه بهینه سازی آکوستیک در واحدهای مسکونی، بررسی شده است، بر اساس شکل ۱ می‌تواند به دسته‌هایی تقسیم‌بندی شود که در دو قسمت فعال و غیرفعال تقسیم‌بندی می‌گردند. مطالعات فعال در حوزه بهینه‌سازی مسکن، در معماری جایگاهی نداشته و به صورت کلی در تالارهای سخنرانی، سالن‌های کنسرت و ... می‌تواند کاربرد داشته باشد چرا که وضوح گفتار، هدف اصلی این گونه مطالعات را شکل می‌دهد. اما در میان مطالعات غیر فعال، بر اساس تحقیقاتی که صورت گرفته و مطالعه منابع موجود، می‌توان گفت که عمده پژوهش‌ها در حوزه عایق کاری محدود می‌گردند (Barbaro et al. 2001; Kurra and Dal 2012; Prato, Schiavi, and Ruatta 2016; Şentop and Bayazit 2016; Yeon, Kim, and Yang 2017; Zhisheng et al. 2007)، حال این عایق می‌تواند در کف بررسی شود یا در دیوار و میان جداره بیرونی و داخلی، تعدادی از مطالعات بررسی شده نیز در حوزه بهینه سازی جداره‌ها، پنجره‌ها، نمای ساختمان (Blasco, Belis, and De Bleecker 2011; Buratti, Barelli, and Moretti 2013; Casini et al. 2016; Miskinis et al. 2015; Scrosati, Scamoni, and Zambon 2015; Wang et al. 2021)و همین طور کف یا سقف واحدهای ساختمانی، تمرکز یافته‌اند که باز در حوزه عایقکاری محدود می‌شوند.

حوزه مطالعاتی دیگر در مورد بهینه‌سازی مصالح موجود ـ آن هم در ارتقای جذب صوت ـ است (Asdrubali, Schiavoni, and Horoshenkov 2012; Cho et al. 2018; Iannace 2017; Kylliäinen et al. 2016; Martins et al. 2015; Scamoni et al. 2017) به صورتی که این موارد نیز به صورت تخصصی در مسکن بررسی نشده‌اند که البته این امر نیز با توجه به طراحی و ساخت، ممکن است صرفه اقتصادی نداشته باشد چرا که الیاف به‌خصوصی باید به کار گرفته شود که ممکن است ترکیب طراحی مصالح داخلی را نیز تحت تأثیر قرار دهد؛ این امر قابل استفاده بودن این راهکار را در کشور با توجه به مشکلات اقتصادی در حوزه ساخت

مسکن، زیر سوال می‌برد. اما نکته‌ای که می‌توان از آن در بهینه‌سازی صوتی واحدهای مسکن آپارتمانی به کار گرفت، تحلیل رفتار و بر اساس آن بهبود وضعیت آکوستیکی در مسکن بر اساس عوامل فیزیکی مانند فرم، چیدمان و مصالح است که نمونه تحقیقاتی نیز در دنیا پیرامون این موضوع انجام یافته است (Low, Liu, and Oh 2008; Zawidzki and Szklarski 2020; Zawidzki et al. 2011). شایان ذکر است رویکرد اخیر بیشتر در حوزه اداری یا تاسیسات زیرساختی ساختمان‌های غیر مسکونی (Huang et al. 2015; Lee 2010; Liang and Chao 2008) مورد توجه بوده است تا در بخش مسکن.

بر اساس آنچه گفته شد، می توان اظهار داشت، نسبت به سایر موضوعات مورد بررسی، تحقیقات بسیار اندکی در مورد سازمان فضایی مسکن آپارتمانی و تاثیری که چیدمان فضایی در حوزه بهینه‌سازی آکوستیکی دارد، انجام یافته است و از این بابت می‌توان گفت یکی از ارزن‌ترین شیوه‌های مداخله در فضای معماری با هدف بهینه‌سازی صوتی واحدهای آپارتمانی مداخله در طراحی قبل از بهره‌برداری و یافتن گزینه بهینه (راهکارهای بهینه‌سازی غیرفعال[۱۴]) است.

در ایران، یکی از مباحث مهم در حوزه آسایش صوتی، مبحث مربوط به مقررات ملی ساختمان است که تحت عنوان مبحث ۱۸ تدوین شده است. هدف از تدوین مباحث مربوط به این حوزه، تعیین حداکثر مجاز صدای ناخواسته و زمان واخنش بهینه در راستای فراهم آوردن صدارسانی مطلوب در ساختمان‌ها است تا سلامت و آسایش و شرایط مناسب شنیداری برای ساکنان تأمین شود. با نگاهی دقیق‌تر می‌توان اشاره داشت، در این مبحث، در بخش اول، مقررات آکوستیکی انواع ساختمان‌ها بر اساس انواع تصرف‌های ساختمانی ذکر شده است و در قسمت پیوست‌ها نیز، روش‌های تعیین شاخص کاهش صدای یک جدا کننده مرکب، مقادیر ضریب جذب مواد گوناگون، مقادیر صدابندی هوابرد جداکننده‌ها و در نهایت، مقادیر صدابندی کوبه‌ای و هوابرد در کف و سقف‌ها ذکر شده است و صرفاً به مسئله کاهش انتقال صدا از طریق ایجاد عایق پرداخته شده است. همچنین در رابطه با شهرهای مختلف صحبتی به میان نیامده است و صرفاً تمرکز اصلی را بر جداکننده‌ها (آن هم تمرکز بر مصالح) قرارداده است.

بنابراین با توجه به موارد ذکر شده فوق و همچنین مطالعات صورت گرفته در رابطه با موضوع حاضر در کشور، در رابطه با موثرترین رویکرد (تأثیر چیدمان فضایی در بهبود وضعیت صوتی در مسکن آپارتمانی) تحقیقات چندان زیادی صورت نگرفته است و روش‌شناسی تحقیقات مرتبط با آکوستیک در حوزه مسکن نیز شاهد این ادعاست.

نتیجه‌گیری

عوامل مؤثر در ارزیابی آسایش صوتی در فضاهای مسکونی، شامل جنبه‌های ادراکی کاربران، جنبه‌های اجتماعی و فرهنگی و هم‌چنین ارزیابی جنبه‌های فیزیکی صوت است. همان‌طور که پیش‌تر و در بخش بحث و بررسی نیز به این موضوع پرداخته شد، با نگاهی دقیق‌تر به پیشینه موضوع بهبود وضعیت آکوستیکی در مسکن آپارتمانی، به نظر می‌رسد سیاست‌گذاری معماری واحدهای مسکونی در مجتمع‌های آپارتمانی به صورت غیر فعال و در مرحله طراحی (قبل از بهره‌برداری) کاراترین شیوه برای بهبود وضعیت آسایش صوتی در مسکن معاصر در کشور است. چرا که به دلیل غیر فعال بودن ارائه راهکارها، بررسی این پارامتر به لحاظ اقتصادی بدون هزینه بوده و می‌توان با ارائه انواع چیدمان فضایی در واحدهای همسایگی از انتقال بیشتر نوفه بیرونی یا داخلی به فضاهای استراحت یا کار، در داخل واحدهای مسکونی جلوگیری کند. این امر نیازمند تحقیقات دیگر راجع به چگونگی استفاده از این رویکرد نسبت به حل مسئله صوتی در آپارتمان‌های مسکونی معاصر است. نگارنده تحقیقات مرتبط را با استفاده از روش‌های مرسوم اندازه‌گیری صوتی در پلان‌های مسکونی انجام داده است که خروجی آنها در مقالات آتی به چاپ خواهد رسید.

پی‌نوشت‌ها

1. passive
2. passive
3. Perception

4. Questionnaires
5. Interview
6. Post-Occupancy Evaluation
7. Measurement
8. Simulation
9. Active noise control
10. Passive noise control
11. active structural acoustic control
12. Piezoelectric

۱۳. پارچه‌های نفوذناپذیر چندمنظوره

14. Passive

فهرست منابع

de Araújo, B. C. D. & Bistafa S. R. (2012). Façade Elements for Natural Ventilation and Sound Insulation. *Building Acoustics*, 19(1), 25–43. doi: 10.1260/1351-010X.19.1.25.

Asdrubali, F., Schiavoni, S., & Horoshenkov, K. V. (2012). A Review of Sustainable Materials for Acoustic Applications, *Building Acoustics,* 19(4), 283–311. doi: 10.1260/1351-010X.19.4.283.

Barbaro, S., Rosario, C., & Rapin, J. M. (2001). Control of Acoustical Quality of Indoor Spaces: Thorough Analysis of the Influence of Façade Typologies, *Building Acoustics*, 8(3), 161–77. doi: 10.1260/1351010011501885.

Barclay, M., Kang, J., & Sharples, S. (2012). Combining Noise Mapping and Ventilation Performance for Non-Domestic Buildings in an Urban Area. *Building and Environment*, 52, 68–76. doi: 10.1016/j.buildenv.2011.12.015.

Bassuet, A., Rife, D., & Dellatorre, L. (2014). Computational and Optimization Design in Geometric Acoustics. *Building Acoustics*, 21(1), 75–85. doi: 10.1260/1351-010X.21.1.75.

Blasco, M., Belis, J., & De Bleecker, H. (2011). Acoustic Failure Analysis of Windows in Buildings, *Engineering Failure Analysis,* 18(7), 1761–74. doi: 10.1016/j.engfailanal.2011.03.027.

Buratti, C., Barelli, L., & Moretti, E. (2013). Wooden Windows: Sound Insulation Evaluation by Means of Artificial Neural Networks, *Applied Acoustics*, 74(5), 740–45. doi: 10.1016/j.apacoust.2012.12.001.

Busa, L., Secchi, S., & Baldini S. (2010). Effect of Façade Shape for the Acoustic Protection of Buildings, *Building Acoustics,* 17(4), 317–38. doi: 10.1260/1351-010X.17.4.317.

Casini, D., Cellai, G., Fogola, J., F., & Secchi, S. (2016). Correlation between Facade Sound Insulation and Urban Noise: A Contribution to the Acoustic Classification of Existing Buildings. *Building Acoustics,* 23(3–4), 145–58. doi: 10.1177/1351010X16670173.

Castiñeira-Ibañez, S., Rubio, C., & Sánchez-Pérez, JV. (2015). Environmental Noise Control during Its Transmission Phase to Protect Buildings. Design Model for Acoustic Barriers Based on Arrays of Isolated Scatterers, *Building and Environment,* 93(P2), 179–85. doi: 10.1016/j.buildenv.2015.07.002.

Cho, W. H., Guon Ih, J., Katsumata, T., & Toi, T. (2018), Best Practice for Positioning Sound Absorbers at Room Surface. *Applied Acoustics*, 129, 306–15. doi: 10.1016/j.apacoust.2017.08.015.

Davis, M. J. M., Tenpierik, M. J., Ramírez, F. R., & Pérez, M. E. (2017). More than Just a Green Facade: The Sound Absorption Properties of a Vertical Garden with and without Plants, *Building and Environment*, 116, 64–72. doi: 10.1016/j.buildenv.2017.01.010.

Demirkale, S. Y., and Ascigil-Dincer, M. (2017). Retrofitting Masonry and Cavity Brick Façades for Different Noise Zones Using Laboratory Measurements, *Building Acoustics,* 24(2), 77–100. doi: 10.1177/1351010X17693399.

Dien, H. H. E., & Woloszyn, P. (2005). The Acoustical Influence of Balcony Depth and Parapet Form : Experiments and Simulations, 66, 533–51. doi: 10.1016/j.apacoust.2004.09.004.

Graham, L. T., Parkinson, T., & Schiavon, S. (2021). Where Do We Go Now? Lessons Learned from 20 Years of CBE's Occupant Survey, **Error! Hyperlink reference not valid.**, 2(1), 166–184.

Hongisto, V., Mäkilä, M., & Suokas, M. (2015). Satisfaction with Sound Insulation in Residential Dwellings—The Effect of Wall Construction, *Building and Environment,* 85, 309–20.

Huang, X., Zou, H., & Qiu, X. (2015). A Preliminary Study on the Performance of Indoor Active Noise Barriers Based on 2D Simulations, *Building and Environment*, 94, 891–99. doi: 10.1016/j.buildenv.2015.06.034.

Iannace, G. (2017). The Acoustic Characterization of Green Materials, *Building Acoustics* 24(2), 101–13. doi: 10.1177/1351010X17704624.

Jang, H. S., Kim, H. J., & Jeon, J. Y. (2015). Scale-Model Method for Measuring Noise Reduction in Residential Buildings by Vegetation, *Building and Environment*, 86, 81–88. doi: 10.1016/j.buildenv.2014.12.020.

Januševičius, T., Mažuolis, J., & Butkus, D. (2016). Sound Reduction in Samples of Environmentally Friendly Building Materials and Their Compositions, *Applied Acoustics,* 113, 132–36. doi: 10.1016/j.apacoust.2016.06.014.

Jiang, J. & Li, Y. (2018). Review of Active Noise Control Techniques with Emphasis on Sound Quality Enhancement, *Applied Acoustics*, 136(February), 139–48. doi: 10.1016/j.apacoust.2018.02.021.

Kim, K. H. & Yoon, G. H. (2017). Absorption Performance Optimization of Perforated Plate Using Multiple-Sized Holes and a Porous Separating Partition, *Applied Acoustics*, 120, 21–33. doi: 10.1016/j.apacoust.2017.01.004.

Kurra, S. & Dal, L. (2012). Sound Insulation Design by Using Noise Maps, *Building and Environment*, 49(1), 291–303. doi: 10.1016/j.buildenv.2011.07.006.

Kylliäinen, M., Takala, J., Oliva, D., & Hongisto, V. (2016). Justification of Standardized Level Differences in Rating of Airborne Sound Insulation between Dwellings. *Applied Acoustics*, 102, 12–18. doi: 10.1016/j.apacoust.2015.08.007.

de la Prida, D., Pedrero, A., Navacerrada, M. Á., & Díaz-Chyla, A. (2020). An Annoyance-Related SNQ for the Assessment of Airborne Sound Insulation for Urban-Type Sounds, *Applied Acoustics,* 168, 107432.

Lee, Y. S. (2010). Office Layout Affecting Privacy, Interaction, and Acoustic Quality in LEED-Certified Buildings, *Building and Environment*, 45(7), 1594–1600. doi: 10.1016/j.buildenv.2010.01.007.

Liang, L. Y. & Chao, W. C. (2008). The Strategies of Tabu Search Technique for Facility Layout Optimization, *Automation in Construction*, 17(6), 657–69.

Low, S. P., Liu, J. Y., & Hiong Oh, K. (2008). Influence of Total Building Performance, Spatial and Acoustic Concepts on Buildability Scores of Facilities, *Facilities,* 26(1–2), 85–104. doi: 10.1108/02632770810840327.

Martins, C., Santos, P., Almeida, P., Godinho, L., & Dias, A. (2015). Acoustic Performance of Timber and Timber-Concrete Floors. *Construction and Building Materials*, 101, 684–91. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.10.142.

Miskinis, K., Dikavicius, V., Bliudzius, R., & Banionis, K. (2015). Comparison of Sound Insulation of

Windows with Double Glass Units, *Applied Acoustics*, 92, 42–46. doi: 10.1016/j.apacoust.2015.01.007.

Naish, D. A., Tan, A. C. C., & Demirbilek, F. N. (2014). Simulating the Effect of Acoustic Treatment Types for Residential Balconies with Road Traffic Noise, *Applied Acoustics*, 79, 131–40. doi: 10.1016/j.apacoust.2013.12.021.

Naticchia, B. & Carbonari, A. (2007). Feasibility Analysis of an Active Technology to Improve Acoustic Comfort in Buildings, *Building and Environment*, 42(7), 2785–96. doi: 10.1016/j.buildenv.2006.07.040.

Poletti, M. A. (2011). Active Acoustic Systems for the Control of Room Acoustics, *Building Acoustics,* 18(3–4), 237–58. doi: 10.1260/1351-010X.18.3-4.237.

Prato, A., Schiavi, A., & Ruatta, A. (2016). A Modal Approach for Impact Sound Insulation Measurement at Low Frequency, *Building Acoustics,* 23(2), 110–19. doi: 10.1177/1351010X16641253.

Sadouki, M. (2018). Experimental Characterization of Rigid Porous Material via the First Ultrasonic Reflected Waves at Oblique Incidence, *Applied Acoustics,* 133(August 2017), 64–72. doi: 10.1016/j.apacoust.2017.12.010.

Scamoni, F., Piana, E. A., & Scrosati, C. (2017). Experimental Evaluation of the Sound Absorption and Insulation of an Innovative Coating through Different Testing Methods, *Building Acoustics,* 24(3), 173–91. doi: 10.1177/1351010X17728596.

Scrosati, C., Scamoni, F., & Zambon, G. (2015). Uncertainty of Façade Sound Insulation in Buildings by a Round Robin Test, *Applied Acoustics,* 96, 27–38. doi: 10.1016/j.apacoust.2015.03.002.

Şentop, A. & Bayazit, N. T. (2016). A Tool to Support the Integration of Noise Control Criteria in Building Design, *Building Acoustics,* 23(2), 92–109. doi: 10.1177/1351010X16645972.

Thomazelli, R., Caetano, F. D. N., & Bertoli, S. R. 2016. Acoustic Properties of Green Walls: Absorption and Insulation, 015017, 015017. doi: 10.1121/2.0000426.

Torresin, S., Albatici, R., Aletta, F., Babich, F., Siboni, S., & Kang, J. (2020). Indoor Soundscape Assessment: A Principal Components Model of Acoustic Perception in Residential Buildings, *Building and Environment,* 107152. doi: 10.1016/j.buildenv.2020.107152.

Vardaxis, N. & Bard, D. (2018). Review of Acoustic Comfort Evaluation in Dwellings: Part II—Impact Sound Data Associated with Subjective Responses in Laboratory Tests, *Building Acoustics,* 25(2), 171–92.

Vardaxis, N., Bard, D., & Waye, K. P. (2018). Review of Acoustic Comfort Evaluation in Dwellings—Part I: Associations of Acoustic Field Data to Subjective Responses from Building Surveys, *Building Acoustics,* 25(2), 151–70.

Vorländer, M. (2013). Simulation and Evaluation of Acoustic Environments, *Proc. of International Symposium on Room Acoustics* (*ISRA*), 21(1), 11–20.

Voropayev, S. I., Ovenden, N. C., Fernando, H. J. S., & Donovan, P. R. (2017). Finding Optimal Geometries for Noise Barrier Tops Using Scaled Experiments, *The Journal of the Acoustical Society of America,* 141(2), 722–36. doi: 10.1121/1.4974070.

Wang, S., Chen, B., Suo, J., & Zhao, J. R. (2021). Impact of Building Morphology and Outdoor Environment on Light and Thermal Environment in Campus Buildings in Cold Region during Winter. *Building and Environment*, 204(June), 108074. doi: 10.1016/j.buildenv.2021.108074.

Wang, X., Yu, W., Zhu, X., Jiang, Z., & Mao, D. (2017). Effects of Ceiling Phase Gradients on the Acoustic Environment on Roadside Balconies. *Journal of the Acoustical Society of America*, 141(2). doi: 10.1121/1.4976192.

Wang, X., Mao, D., Yu, W., & Jiang, Z. (2015). Acoustic Performance of Balconies Having

Inhomogeneous Ceiling Surfaces on a Roadside Building Façade, *Building and Environment*, 93(P2), 1–8. doi: 10.1016/j.buildenv.2015.06.027.

Wong, N. H., Tan, A. Y. K., Tan, P. Y., Chiang, K., & Wong, N. C. (2010). Acoustics Evaluation of Vertical Greenery Systems for Building Walls, *Building and Environment,* 45(2), 411–20.

Wulfrank, T., Jurkiewicz, Y., & Kahle, E. (2014). Design-Focused Acoustic Analysis of Curved Geometries Using a Differential Raytracing Technique, *Building Acoustics,* 21(1), 87–95. doi: 10.1260/1351-010X.21.1.87.

Yeon, J. O., Kim, K. W., & Yang, K. S. (2017). A Correlation between a Single Number Quantity and Noise Level of Real Impact Sources for Floor Impact Sound, *Applied Acoustics,* 125, 20–33. doi: 10.1016/j.apacoust.2017.03.019.

Zawidzki, M., & Szklarski, J. (2020). Multi-Objective Optimization of the Floor Plan of a Single Story Family House Considering Position and Orientation, *Advances in Engineering Software*, 141(January), 102766. doi: 10.1016/j.advengsoft.2019.102766.

Zawidzki, M., Tateyama, K., & Nishikawa, I. (2011). The Constraints Satisfaction Problem Approach in the Design of an Architectural Functional Layout, *Engineering Optimization* (October 2014), 37–41. doi: 10.1080/0305215X.2010.527005.

Zhisheng, L., Dongmei, L., Sheng, M., Guoqiang, Z., & Jianlong, L. (2007). Noise Impact and Improvement on Indoors Acoustic Comfort for the Building Adjacent to Heavy Traffic Road, *Chinese Journal of Population Resources and Environment,* 5(1), 17–25. doi: 10.1080/10042857.2007.10677482.

نحوهٔ ارجاع به این مقاله

عباس زاده، محمدجواد (۱۴۰۳). مروری بر راهکارهای بهبود وضعیت آکوستیکی فضای داخلی آپارتمان‌های مسکونی. *اندیش‌نامه معماری داخلی*، ۳(۳)، ۷۲ـ۸۷.

Abbaszadeh, M. J. (2025). Review on Solutions for Improving the Acoustic Condition of Residential Apartment Interior. *Andišnāme-ye Me'māri-ye Dāxeli*, 3(3), 72-87.

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)