مهندسی ساختمان و علوم مسکن، دوره سیزدهم، شماره ۲۵، زمستان ۱۳۹۹
فصلنامه علمی
مهندسی ساختمان و علوم مسکن behs.bhrc.ac.ir
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

بررسی پارتیشن‌های فضاهای اداری با هدف بهبود عملکرد آکوستیکی

نسترن عبدالله‌زاده[۱]، محمدجعفر هدایتی[۲]، محمد تحصیلدوست[۳]، زهراسادات زمردیان[۴*]

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، معماری و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی
۲. کارشناس فیزیک، بخش آکوستیک، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
۳. عضو هیأت علمی، گروه ساختمان، دانشگاه شهید بهشتی
۴. عضو هیأت علمی، گروه ساختمان، دانشگاه شهید بهشتی
* تهران، پست الکترونیکی: z_zomorodian@sbu.ac.ir

چکیده

امروزه فضاهای اداری پلان باز به دلیل مزایای بی‌شماری که ارایه می‌دهند، به صورت گسترده‌ای در طرح‌های معماری مورد استفاده قرار می‌گیرند. اگرچه رضایت محیطی متصرفین این فضاها نسبت به دفاتر بسته و دارای اتاق‌های جداگانه، به علت فقدان محرمیت صوتی، کمتر بوده است، وجود صدای گفتار غیرقابل کنترل متصرفین، به عنوان منبع اصلی نارضایتی در فضاهای اداری پلان باز شناخته می‌شود. بنابراین، طراحی و چیدمان داخلی این فضاها بر اساس عملکرد آکوستیکی فضا امری ضروری است. از این رو در این پژوهش، تأثیر ارتفاع و مصالح پارتیشن‌های جداکننده، با ارزیابی ۸ گزینه‌ی طراحی شده برای ارتفاع و ۵ گزینه برای مصالح پنل‌ها، بر عملکرد آکوستیکی یک فضای اداری پلان باز ارزیابی شده است. در این پژوهش از نرم‌افزار شبیه‌سازی ادئون و شاخص ارزیابی تراگسیل گفتار[۱] و دیگر شاخص‌های ارایه شده در ایزو 3-3382 استفاده شده است. بر اساس نتایج، با افزایش ارتفاع پارتیشن‌ها، شیب نمودار تغییرات شاخص تراگسیل گفتار و تراز فشار صدا[۲] نسبت به تغییرات فاصله افزایش یافته، و محرمیت صوتی افزایش می‌یابد. در واقع با افزایش ارتفاع پارتیشن‌ها این دو شاخص به میزان بیشتری کاهش می‌یابند. با این حال، تغییر ارتفاع پارتیشن‌ها از 1.6 به 1.8 متر تأثیر چشمگیری در شرایط آکوستیکی فضای اداری ندارد. همچنین، افزودن جدار شیشه‌ای به قسمت بالای پارتیشن‌ها می‌تواند تا 37.36٪ بر بهبود عملکرد آکوستیکی دفاتر پلان باز تأثیرگذار باشد. این در حالی است که تغییر متریال پنل‌ها و افزایش ضریب جذب آنها به میزان 0.2 تنها 3.6٪ نتایج را بهبود می‌بخشد.

کلیدواژگان

عملکرد آکوستیکی، فضاهای اداری پلان باز، طراحی پارتیشن‌های اداری، محرمیت گفتار

Partition Evaluation based on Acoustic Quality in Open-Offices

Nastaran Abdollahzadeh[1], Mohammad Jafar Hedayati[2], Mohammad Tahsildoost[3], Zahra Sadat Zomorodian[4*]

1. Master in Architecture and Energy, Department Construction, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
2. Bachelor of physics, Road, Housing and Urban Development Research Center, Tehran, Iran
3. Associate Professor, Department of Construction, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
4. Assistant Professor, Department of Construction, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
*E-mail: z_zomorodian@sbu.ac.ir

Abstract

Due to the profitability of open-plan office layout, they have become the dominant format of office spaces. Noise and lack of privacy are widely acknowledged as the key sources of occupants' dissatisfaction in open-plan offices given that open offices seem to have been more disruptive owing to the uncontrollable audible and intelligible speech from co-workers. Therefore, the acoustic-based design of these spaces is of high importance. Therefore, in this research, the effect of partitions height and material on the open-office acoustic quality is evaluated, through presenting eight alternatives for partition height and five for material, utilizing Odeon Combined V.14.05 software and evaluating results are by using Speech Transmission Index and the other metrics presented in ISO 3382-3. Based on the results, by increasing the height of the partitions, the changes in the speech transmission index (STI) and the level of sound pressure (Lp) are improved compared to the changes. In fact, by increasing the height of the partitions, these two parameters are reduced to a greater amount. However, changing the height of the partition from 1.6 to 1.8 did not significantly improve the acoustic condition of the office space. Also, installing additional glass to partitions improved the acoustic quality of the open-offices by 37.36%, while an increase of 0.2 of absorption coefficient could improve the results only 3.6%.

Keywords

Acoustic Quality, Open-Offices, Partition Design, Speech Privacy

[1] Speech Transmission Index (STI)
[2] Lp

۱- مقدمه

طبق مطالعات پیشین، شرایط فیزیکی یک فضا بر متصرفین آن تأثیر می‌گذارد، و یکی از عوامل تعیین‌کننده‌ی میزان این تأثیرگذاری، مدت زمانی است که در آن فضا صرف می‌شود. با در نظر گرفتن ساعات بیداری انسان، حدود 50٪ زمان افرادی که کار می‌کنند، در محل کار، جایی که شرایط فیزیکی داخلی آن بر افکار، ادراک و عملکرد آنها تأثیر می‌گذارد، سپری می‌گردد [1].

فضاهای اداری پلان باز امروزه به صورت گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. این دفاتر توسط پارتیشن‌های متحرکی که بخش‌های کاری را از یکدیگر جدا می‌سازند، تعریف می‌گردند. طبق مطالعات انجام شده، بیش از 70٪ کارمندان، در این نوع از دفاتر مشغول به کار هستند. استدلال اصلی برای افزایش استفاده از پلان باز در طراحی فضاهای اداری، بهبود روابط متصرفین و تقویت تعاملات است که منجر به افزایش بهره‌وری نیز می‌گردد [2]. به همین علت، دفاتر اداری به سرعت در حال تبدیل شدن به بخش‌های چند کاربره و فضاهای پلان باز هستند.

مشترک کردن فضاها، جدای از مزایای آن، می‌تواند منجر به ایجاد عدم آسایش و عدم وجود محرمیت گردد [4] ,[3] ، و تأثیر سوء بر عملکرد کارکنان داشته باشد [4]. علاوه بر آن، کار کردن در دفاتر اداری پلان باز، میزان رضایت شغلی را کاهش می‌دهد [3]، که میزان وابستگی رضایت و عملکرد در کارهای پیچیده بیشتر بوده است. این امر بر اهمیت توجه به کیفیت محیط داخلی دفاتر کار تأکید می‌کند [5]. طبق پژوهشی که بر روی موضوع ارتباط کیفیت محیط داخلی با رضایت متصرفین در فضاهای اداری تمرکز کرده است، رضایت نسبت به میزان فضا، سطح نوفه و آسایش بصری، به عنوان مهمترین پارامترها گزارش شده‌اند. در واقع، شرایط آکوستیکی یکی از جنبه‌های کیفیت محیط داخلی است که بر بهره‌وری، سلامت کاربران و بیماری‌هایی مانند استرس و افسردگی تأثیرگذار است [6]. بهبود شرایط آکوستیکی فضا (براساس استانداردهای ایزو)، با میزان اختلال، حواس‌پرتی و استرس نسبت مستقیم دارد [7].

۱-۱- چارچوب نظری

شایع‌ترین مشکل صوتی در محیط‌های اداری، به گوش رسیدن ناخواسته‌ی صدای مکالمات همکاران با یکدیگر و یا صحبت کردن از طریق تلفن بوده است [8]. بیش از 50٪ از متصرفین فضاهای اداری پلان باز معتقدند که مشکلات آکوستیکی با توانایی کاری آنها تداخل دارد [9]. مطالعات روان‌شناسی نشان می‌دهد که ارزیابی ذهنی از شرایط آکوستیکی دفاتر، به تراگسیل گفتار وابسته است و هرچه صداهای ناخواسته راحت‌تر قابل شنیدن باشند، شرایط آکوستیکی فضا ضعیفتر شناخته می‌شود [10]. در واقع، محیط‌های صوتی که حاوی گفتار و صداهای قابل فهم هستند، بیش از صداهای بدون مضمون اطلاعاتی، ناراحت‌کننده و مزاحم بوده [11] و منجر به اختلال و حواس‌پرتی می‌گردند [12]. همچنین، صداهایی که تراز فشار آنها تغییرات کمی در طول زمان دارند، مانند صدای سیستم تهویه، اختلال و حواس‌پرتی کمتری را برای متصرفین ایجاد می‌کنند [10]. بنابراین، هدف از طراحی آکوستیکی در دفاتر پلان باز، کاهش حواس‌پرتی و افزایش حریم خصوصی است [10].

۱-۲- مروری بر پیشینه‌ی پژوهش

مطالعات اخیر نشان داده‌اند که مهمترین عامل مؤثر بر رضایت محیطی در دفاتر، پیکره‌بندی مبلمان و طراحی پارتیشن‌هاست [15]–[13]. بنابراین به منظور افزایش حداکثری رضایت کاربران، لازم است طراحان در زمینه‌های وابسته به کیفیت محیط داخلی از جمله محرمیت، به چیدمان فضاهای اداری توجه داشته باشند [13].

طراحی اصولی آکوستیکی در فضای اداری پلان باز بسیار چالش‌برانگیزتر از فضاهای اداری دارای اتاق‌های مجزا و بسته است. علت اصلی این امر، عدم وجود امکان دستیابی به شرایط ایزوله مناسب از نظر صوتی، به خاطر انکسار صدا در فضا و انعکاس از دیوارها و سقف است. بنابراین، بایستی پنل‌های جداکننده‌ی بخش‌های کاری[3] همانند سقف و دیوارها با مصالح جاذب صدا تجهیز گردند [16]. لذا، لازم است از پارتیشن‌های شیشه‌ای بلند و عایق صوت در میان بخش‌های کاری، به منظور ایزوله‌سازی استفاده گردد [3].

درک ذهنی از محرمیت و درجه‌ی بسته بودن فضا به‌طور چشمگیری به عوامل مداخله‌گری مانند مساحت فضای کار، ارتفاع پارتیشن‌ها، و تعداد آنها وابسته است [17]. این عوامل طراحی می‌توانند رضایت محیطی و نیاز به محرمیت را تحت تأثیر قرار دهد [18]. طبق یافته‌ی محققان، حداقل ارتفاع پارتیشن‌ها با میزان رضایت کلی محیطی نسبت عکس دارد [19] و افزایش ارتفاع پارتیشن‌ها بیش از 1.7 متر تأثیر کمی بر شاخص تراگسیل گفتار دارد [20].

مطالعات پیشین اظهار می‌دارند که کاربران بخش‌های کاری جداسازی شده توسط پارتیشن‌هایی به ارتفاع 1.4 متر و دارای قسمت شیشه‌ای، بیشترین میزان رضایت را نسبت به فضای کاری خود داشته‌اند، این امر ممکن است به علت وجود محرمیت بصری و صوتی بیشتر و به حداقل‌رسانی اختلال و حواس‌پرتی بوده باشد. بنابراین، ارتباط میان ارتفاع پنل‌ها و درصد سطح شیشه‌ای آنها، از دیگر عواملی هستند که باید در طراحی پارتیشن‌ها در نظر گرفته شوند. به‌طور کلی، یافته‌ها نشان می‌دهد که پارتیشن‌های بلند مطلوب‌تر از نوع کوتاه آن بوده‌اند [21].

طبق پژوهش بردلی در سال 2003 بر روی فضاهای اداری پلان باز، از میان پارامترهای تأثیرگذار بر شاخص وضوح گفتار[4] (ضریب جذب سقف و کف، لوازم سیستم روشنایی، ارتفاع کف تا سقف، سطح صدای گفتار، صدای محیط)، چهار پارامتر ارتفاع، ضریب جذب، ضریب تراگسیل صدا[5] و ابعاد بخش‌های کاری، وابسته به طراحی پارتیشن‌های این فضاها هستند. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش ضریب جذب پارتیشن‌ها از 0.6 به 0.9، شاخص تراگسیل گفتار، از 0.19 تا 0.22 افزایش یافته‌اند و استفاده از پنل‌های غیرجاذب، این عدد را به 0.29 رسانده‌اند. اگرچه که استفاده از سطوح جاذب حایز اهمیت است، اما اختلاف میان میزان تغییر ایجاد شده در محرمیت صوتی توسط یک جاذب معمولی با جاذب‌هایی با عملکرد بالا، کم است [20].

[3] Work Stations
[4] Speech Intelligibility Index (SII)
[5] Speech Transmission Coefficient (STC)

طبق پژوهشی دیگر که فضایی اداری را در شرایط مختلف آکوستیکی (با میزان جذب متفاوت، صفحات با ارتفاع‌های متفاوت، و تراز صدای پوششی مختلف) ارزیابی و شبیه‌سازی کرده بود، شعاع محرمیت و شعاع اختلال، هردو با افزایش ارتفاع صفحات و پنل‌ها کاهش یافته بود. یافته‌ها نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع پارتیشن‌ها از 1.25 به 1.50 و 1.75 متر، شاخص تراگسیل گفتار (STI) در نزدیک‌ترین ردیف پارتیشن‌ها تنها 0.01 تغییر کرده و از 0.68 به 0.67 می‌رسد [22].

یکی دیگر از انواع پارتیشن‌بندی فضاهای اداری پلان باز، استفاده از اتاقک‌هایی با سقف باز است. اگرچه که این نوع پارتیشن‌بندی نسبت به نصب پنل‌های جداکننده به صورت تکی مزایای صوتی بیشتری را ارایه می‌دهند، اما همچنان می‌توانند صدا را از طریق انعکاس با سقف به خارج از اتاقک‌ها انتقال دهند. لذا، برای دستیابی به محرمیت گفتار در دفاتر اداری لازم است تا فاکتورهای مختلفی در نظر گرفته شوند و با ارزیابی تنها یک فاکتور تأثیرگذار ممکن است، تنها بهبود جزیی در شرایط آکوستیکی فضا ایجاد شود [23].

استفاده از سطوح جاذب بر روی سقف یکی از راهکارهایی است که می‌تواند منجر به افزایش شاخص نرخ فضایی افت تراز فشار صدا به ازای هر دو برابر شدن فاصله (DL_2)[6] گردد. استفاده از پنل‌های جداکننده نیز این شاخص را به‌طور چشمگیری افزایش داده و منجر به بهبود شرایط آکوستیکی گشته است. اگرچه در پژوهش رایش و دیگر محققان در سال 2012، نشان داده شده است، زمانی که پنل‌های جداکننده در دفتر مورد ارزیابی نصب شده‌اند، تغییر مصالح سقف و کف نمی‌تواند تأثیر چندانی بر تراز فشار صدا و شاخص شعاع اختلال (rD)[7] داشته باشد [24].

یکی دیگر از راهکارهایی که به منظور دستیابی به شرایط صوتی مطلوب در دفاتر پلان باز استفاده می‌گردد، استفاده از سیستم‌های تولیدکننده‌ی صدای پوششی است که در واقع، صدای زمینه را افزایش و وضوح گفتار را کاهش می‌دهند. بر اساس پژوهش لن و دیگر پژوهشگران در سال 2020، چیدمان بخش‌های کاری، یکی از فاکتورهایی است که باید در تعیین تراز صدای پوششی مناسب در دفاتر در نظر گرفته شوند [25].

۲- روش تحقیق

در این پژوهش تأثیر پارامترهای ارتفاع و مصالح پارتیشن‌ها بر شرایط آکوستیکی یک فضای اداری پلان باز در تهران سنجیده شده است (شکل ۱). ابعاد این فضای اداری 15 در 17 مترمربع، و دارای ارتفاع 3.5 متر است که جدارهای خارجی آن مطابق با استانداردهای مقررات ملی ساختمان (مبحث ۱۸) ساخته شده است [26].

Fig. 1 Case Study Office

شکل ۱ فضای اداری مورد ارزیابی

طرح‌های پارتیشن ارایه شده به منظور ارزیابی ارتفاع آنها شامل پنل‌های 1، 1.2، 1.3، 1.4، 1.5، 1.6، 1.7 و 1.8 متری و گزینه‌های مصالح شامل سه نوع پارتیشن با ضریب جذب 0.1، 0.3 و 0.55 بوده است. همچنین، دو حالت برای ارزیابی تأثیر نصب جدار شیشه‌ای بر روی پنل‌ها با افزودن شیشه 6 میلی‌متری به ارتفاع‌های 0.4 و 0.6 متر به پارتیشن‌های ام دی اف (ضریب جذب 0.3) 1.4 متری در نظر گرفته شده اند (جدول ۱).

شبیه‌سازی آکوستیکی این فضای اداری پلان باز با استفاده از نرم‌افزار ادئون (نسخه‌ی 15.04) که ابزاری معتبر بوده و نتایجی نزدیک به شرایط واقعی ارایه می‌دهد [27]، انجام شده است. نتایج با استفاده از شاخص‌های آکوستیکی ارایه شده توسط ایزو 3-3382 شامل: شاخص انتقال و شمردگی گفتار در نزدیک‌ترین بخش کاری[8]، شعاع اختلال[9]، شعاع محرمیت[10]، نرخ افت فشار صدا به ازای هر دو برابر شدن فاصله[11]، فشار صدا در شبکه وزنی A و در فاصله 4 متری از منبع صوتی[12] و فشار صدای زمینه در شبکه وزنی A[13]، ارزیابی شده‌اند. همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، طبق این استاندارد، دفاتر پلان باز دارای شعاع اختلال > 10 متر، نرخ افت فشار صدا به ازای هر دو برابر شدن فاصله < 5 دسی بل، فشار صدا در شبکه وزنی A و در فاصله 4 متری از منبع صوتی > 50 دسی بل، فضایی با عملکرد آکوستیکی ضعیف و دفاتر دارای حدود شعاع اختلال≥ 5 متر، نرخ افت فشار صدا به ازای هر دو برابر شدن فاصله ≥ 7 دسی بل، فشار صدا در شبکه وزنی A و در فاصله 4 متری از منبع صوتی ≥ 48 دسی بل، فضایی با شرایط آکوستیکی خوب شناخته می‌شود.

شاخص تراگسیل گفتار، کمیتی فیزیکی است که بیانگر کیفیت انتقال صدای گفتار با درنظرگرفتن وضوح گفتار است. شاخص تراگسیل گفتار (نزدیک‌ترین)، میزان این شاخص را در نزدیک‌ترین بخش کاری، اندازه‌گیری می‌کند. شعاع اختلال و شعاع محرمیت نیز، بیانگر فاصله‌ای از منبع است که شاخص تراگسیل گفتار در آن به ترتیب کمتر از 0.5 و 0.2 می‌باشد. همچنین، شاخص تراز فشار صدای وزن یافته در فاصله 4 متری از منبع صوتی، بر اساس منبع صوتی‌ای همه جانبه و شبیه‌ساز طیف صدای گفتار معمولی است، که با استفاده از منحنی رگرسیون

[6] Spatial decay of sound pressure levels per distance doubling
[7] Distraction distance

[8] STI (nearest)
[9] Distraction distance (rD)
10 Privacy distance (rP)
[11] Spatial decay rate of speech (D2,S)
[12] A-weighted SPL at 4 m distance (Lp,A,S,4 m)
[13] Background noise level (L,p,A,B)

نقاط اندازه‌گیری شده به‌دست آمده است. بر اساس آخرین نسخه‌ی استاندارد ایزو 3-3382، اکثر فضاهای اداری پلان باز شرایط آکوستیکی ضعیفی دارند. شایان ذکر است که به دلیل عدم امکان اندازه‌گیری میدانی ضریب جذب مصالح، این مقادیر از استانداردهای موجود در مقررات ملی ساختمان با توجه به نوع جدارها استخراج شده و محاسبات آکوستیکی تنها توسط شبیه‌سازی کامپیوتری انجام گشته است. فرضیات شبیه‌سازی در جدول ۳ به تفصیل توضیح داده شده است.

جدول ۱ متغیرهای طراحی

Table 1 Design Variables

مشخصات فیزیکی پارتیشن‌ها		ضریب جذب وزن یافته (αw)	بسامد بر حسب هرتز							
			8000	4000	2000	1000	500	250	125	63
مصالح	جدار شیشه‌ای 6 میلیمتر	0.05	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.06	0.18	0.18
	ام دی اف	0.30	0.18	0.18	0.27	0.43	0.62	0.68	0.49	0.15
	پنل‌ها با ضریب جذب 0.1	0.10	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.14	0.60	0.56
	پنل‌ها با لایه میانی پشم معدنی	0.50	0.42	0.42	0.54	0.70	0.87	0.46	0.03	0.03
ارتفاع	(متر)	1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	

جدول ۲ حد شاخص‌های ارزیابی فضاهای اداری پلان باز با شرایط آکوستیکی خوب و ضعیف (ایزو 3-3382)

Table 2 Open-offices with Good and Weak Acoustic quality (ISO 3382-3)

شاخص‌های ارزیابی	ضعیف	خوب
نرخ افت صدا D2,s	<5 dB	≥7 dB
تراز فشار صدا در فاصله‌ی ۴ متری Lp,A,S,4m	>50 dB	≤48 dB
شعاع اختلال rD	>10 m	≤5 dB

جدول ۳ فرضیات شبیه‌سازی شرایط آکوستیکی

Table 3 Acoustics assumptions

			ضریب جذب وزن یافته[14]	بسامد بر حسب هرتز							
				8000	4000	2000	1000	500	250	125	63
مصالح	سقف	تایل آکوستیکی با فاصله‌ی هوایی	0.75	0.80	0.80	0.85	0.85	0.65	0.70	0.75	0.75
	کف	پوشش لنولیوم روی کف	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
	دیوار	گچ رنگ شده	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
	پنجره	دوجداره (2- 3 میلی‌متر شیشه+10 میلی‌متر فاصله هوایی)	0.05	0.02	0.02	0.02	0.03	0.05	0.07	0.10	0.10
	درب	چوب	0.10	0.10	0.10	0.08	0.06	0.10	0.14	0.14	0.14
	صندلی	پارچه (با در نظر گرفتن متصرفین)	0.80	0.83	0.83	0.80	0.75	0.54	0.51	0.51	0.51
	مانیتور	شیشه تک جداره 6 میلی‌متر	0.05	0.02	0.02	0.03	0.04	0.06	0.18	0.18	0.18
	صفحه کیبورد	فایبر گلس	0.05	0.07	0.07	0.04	0.20	0.52	0.06	0.06	0.06
	پایه میز و صندلی	ورق فلزی	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
نوع منبع صوتی			ISO 3382-3_OMNI. SO8								
ارتفاع منبع صوتی و گیرنده‌ها			متر 1.2								

[14] αw

در این پژوهش، تراز فشار صدای زمینه با توجه به استاندارد ایزو 3382-3، برای تمامی حالات برابر با 38.04 دسی بل است. صدای زمینه، تراز فشار صدا در بندهای هنگامی، بدون در نظر گرفتن صدای گفتگوی افراد در طول ساعات کاری است، که به‌طور میانگین در بخش‌های پارتیشن‌بندی شده درنظرگرفته شده است. در واقع، صدای زمینه، تمامی صداهای ناشی از سیستم تأسیساتی، تجهیزات دفاتر، صدای ترافیک و شلوغی محیط و غیره را بدون درنظرگرفتن صدای افراد شامل می‌شود.

نقاط ارزیابی نیز، شبکه‌ای 1.2 در 1.2 مترمربع بوده که در ارتفاع 1.2 متر از سطح زمین، برابر با ارتفاع افراد در حالت نشسته (ارایه شده توسط ایزو) در نظر گرفته شده است. شکل ۲ نمایانگر موقعیت منبع صوتی و گیرنده‌ها در این فضای اداری پلان باز است.

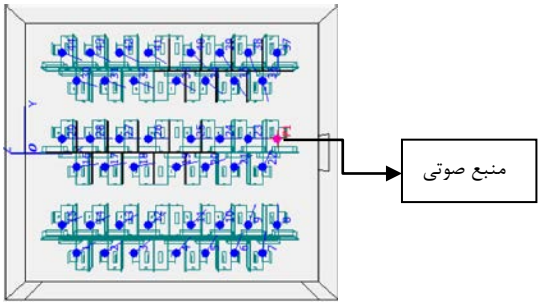

Fig. 2 Sound source and receivers' position

شکل ۲ موقعیت منبع صوتی و گیرنده‌ها

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تأثیر ارتفاع پارتیشن‌ها

بر اساس نمودار تغییرات STI، در تمامی حالات در نظر گرفته شده برای ارتفاع پارتیشن‌ها، با افزایش فاصله از منبع صوتی شاخص تراگسیل گفتار STI، کاهش و محرمیت گفتار افزایش می‌یابد. اما، میزان حساسیت این متغیر به فاصله و در واقع شیب نمودار در گزینه‌های طراحی شده برای ارزیابی ارتفاع پارتیشن‌ها، متفاوت است. طبق نتایج شبیه‌سازی، با افزایش ارتفاع پارتیشن‌ها شیب نمودار در تمامی حالات (ارتفاع 1.2، 1.3، 1.4، 1.5، 1.6، 1.7، 1.8)، به‌جز زمانی که ارتفاع پارتیشن‌ها یک متر بوده و در واقع جداسازی فضایی خاصی صورت نگرفته است، بیشتر شده و میزان کاهش شاخص تراگسیل گفتار با افزایش فاصله بیشتر شده است (شکل ۳).

بیشترین میزان تراگسیل گفتار در نزدیک‌ترین میز که در واقع میزکاری مقابل گوینده است، در حالتی که ارتفاع پارتیشن‌ها 1 متر است اتفاق افتاده، که برابر با 0.65 است، و با افزایش آن به 1.2، 1.3، 1.4، 1.5، 1.6، 1.7، 1.8 متر برابر با 0.45، 0.56، 0.52، 0.52، 0.55، 0.54 و 0.54 می‌شود. همان‌طور که دیده می‌شود، تغییر ارتفاع پارتیشن‌ها تأثیر چشمگیری بر آسایش صوتی در نزدیک‌ترین میز کاری به منبع صوت نداشته است، و اما میزان این تأثیرپذیری با افزایش فاصله از منبع به حداکثر خود می‌رسد. به‌طوری که تغییر ارتفاع پارتیشن‌ها از 1.2 متر به 1.8 متر می‌تواند شاخص تراگسیل گفتار را از 0.33 به 0.20 برساند. در واقع، افزایش نسبت ارتفاع پارتیشن‌ها به ارتفاع سقف از 0.34 به 0.51، منجر به بهبود محرمیت گفتار تا 17.30 درصد می‌گردد. همان‌طور که در مطالعات پیشین اظهار شده است، افزایش ارتفاع پارتیشن‌ها از 1.7 متر بیشتر، تأثیر چندانی بر شاخص تراگسیل گفتار ندارد [20].

شعاع اختلال در حالتی که ارتفاع پارتیشن‌ها 1.2 متر است، در کمترین حالت خود قرار دارد و برابر با 1.33 است و در ارتفاع 1 متری پارتیشن‌ها به بیشترین مقدار یعنی 6.28 متر می‌رسد. این شاخص، در حالاتی که پارتیشن‌ها با ارتفاع 1.3، 1.4، 1.5، 1.6، 1.7 و 1.8 در نظر گرفته شده‌اند، برابر با 2.45، 2.26، 2.52، 2.42، 2.54 و 2.21 متر است. با افزایش نسبت ارتفاع پارتیشن‌ها به سقف از 0.37 به 0.51، شعاع اختلال 9.79 درصد بهبود می‌یابد.

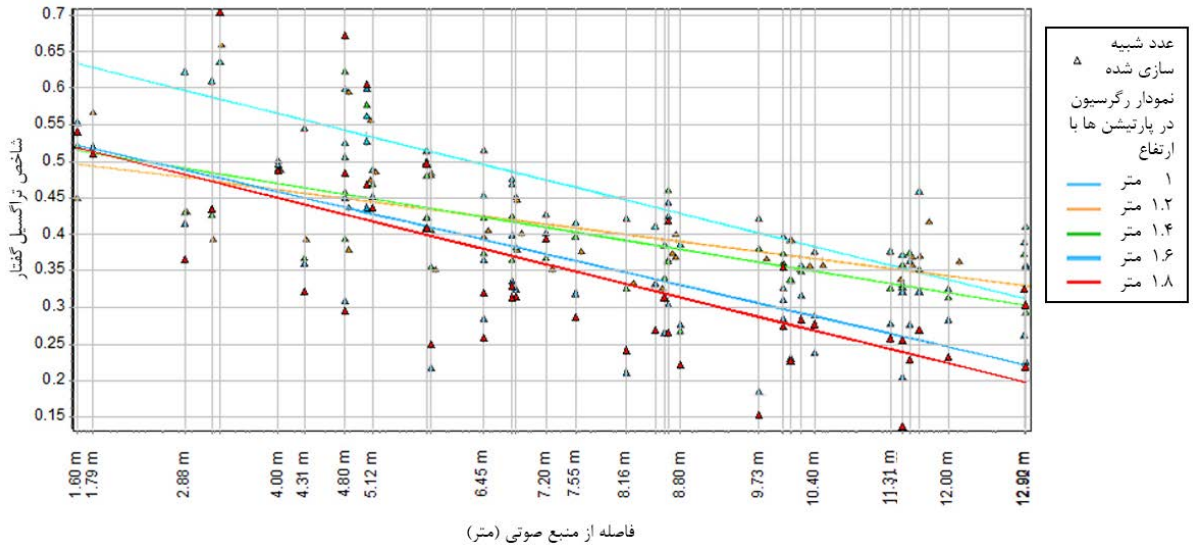

Fig. 3 STI versus Distance, considering partitions height

شکل ۳ تغییرات شاخص STI نسبت به فاصله با در نظر گرفتن ارتفاع پارتیشن‌ها

بر اساس استاندارد ایزو 3-22832، پارامتر شعاع محرمیت در حالتی که ارتفاع پارتیشن‌ها 1.8 متر است، به کمترین میزان یعنی 12.8 متر رسیده است و پس از آن در پنل‌ها با ارتفاع 1.7، 1.6، 1، 1.5، 1.4، 1.3 و 1.2 متر به 13.02، 13.07، 16.7، 16.8، 18.34، 20.71 و 21.21 متر می‌رسد. همچنین، این شاخص می‌تواند با افزایش 33.3 درصدی نسبت ارتفاع به سقف، 8.41 متر کاهش یابد (شکل ۴، تصویر چپ).

بر اساس نتایج شبیه‌سازی، شاخص افت صدای گفتار در فضا به ازای هر دو برابر شدن فاصله از منبع، با افزایش ارتفاع پارتیشن‌ها افزایش یافته و در ارتفاع 1.8 به بعد به میزان 5.09 دسی بل رسیده، که در واقع در محدوده‌ی قابل قبول قرار گرفته است. در تمامی دیگر حالات، پارتیشن‌ها با ارتفاعات کمتر از 1.8 متر، عملکرد شرایط آکوستیکی فضا از نظر این شاخص، ضعیف شناخته می‌شود (شکل 4، تصویر وسط).

شاخص تراز فشار صدای وزن یافته در فاصله 4 متری از منبع صوتی، نیز در حالات پنل‌ها با ارتفاع 1.8، 1.7، 1.6، 1.5، 1.4، 1.3، 1.2 و 1 متر برابر با 42.29، 42.88، 43.18، 43.95، 44.23، 45.05، 45.19 و 48.06 است که در تمامی حالات، حد قابل قبول کمتر مساوی 48 دسی‌بل برای یک شرایط آکوستیکی خوب را برآورده کرده‌اند. طبق نتایج، در گزینه‌ای که پارتیشن‌ها حداقل ارتفاع را دارند، تراز فشار صدا در فاصله‌ی 4 متری از منبع صوت به بیشترین مقدار خود رسیده و در حالتی که ارتفاع پارتیشن‌ها 1.8 متر است، این شاخص حدود 12 درصد بهبود یافته است (شکل ۴، تصویر راست).

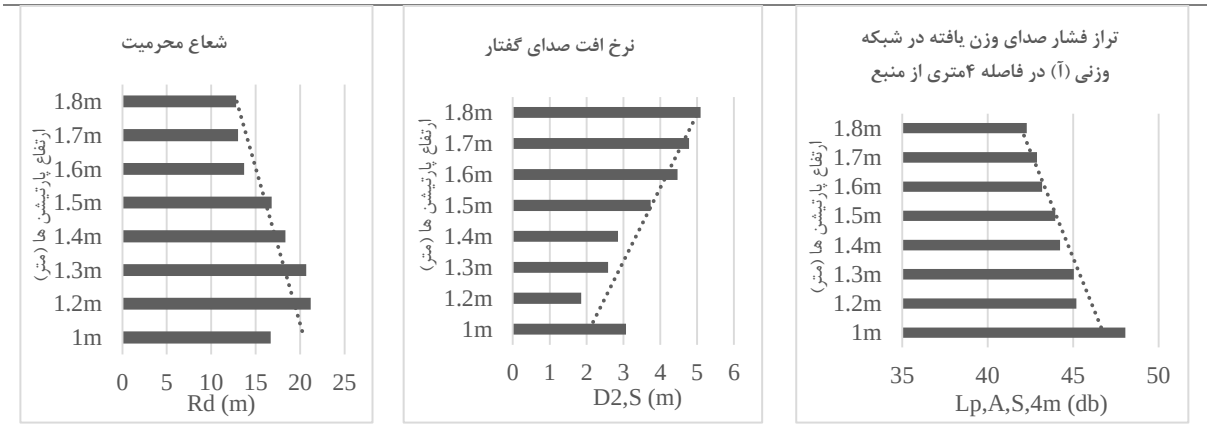

Fig. 4 ISO presented indexes versus partitions height

شکل ۴ تغییرات شاخص‌های ارزیابی ایزو 3-3382 با تغییر ارتفاع پارتیشن‌ها

همان‌طور که در شکل ۵ دیده می‌شود، شیب نمودار منحنی افت فشار صدا با افزایش فاصله از منبع صوتی، با افزایش ارتفاع پنل‌ها افزایش یافته است. بدین معنی که تغییرات تراز فشار صدا با افزایش ارتفاع پارتیشن‌ها بیشتر شده و حساسیت پارامتر تراز فشار صدا به فاصله از منبع صوتی افزایش می‌یابد. در حالتی که پارتیشن‌ها با ارتفاع 1 متر در نظر گرفته شده‌اند، افزایش فاصله از منبع صوتی (گوینده)، نسبت به حالات دیگر تغییر کمتری کرده و در دورترین فاصله تنها حدود 9 دسی‌بل افت داشته است. این در حالی است که در گزینه پنل‌ها با ارتفاع 1.8 متر، این عدد دو برابر شده و به 18 دسی‌بل می‌رسد.

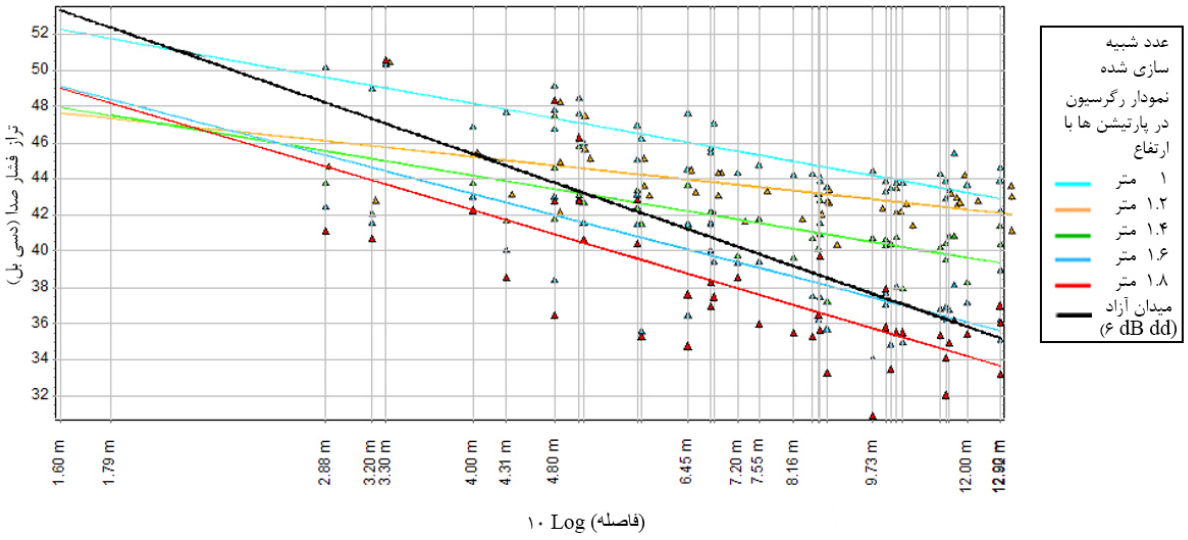

Fig. 5 Lp versus Distance, considering partitions height

شکل ۵ تغییرات تراز فشار صدا نسبت به فاصله با در نظر گرفتن ارتفاع پارتیشن‌ها

۳-۲- تأثیر مصالح پارتیشن‌ها

مصالح ساخت یک جدار و در واقع ضریب جذب آن در بسامدهای مختلف می‌تواند بر شرایط آکوستیکی فضا تأثیر گذارد. در این بخش از شبیه‌سازی، پارتیشن‌ها با ارتفاع ثابت 1.4 متر در نظر گرفته شده و تأثیر 5 مصالح مختلف (ام دی اف، پنل‌ها با ضریب جذب 0.1، پنل‌های پر شده با عایق معدنی، تک جدار شیشه‌ای افزوده شده به ارتفاع 0.4 و 0.6 متر) بر شاخص کیفیت و انتقال گفتار، ارزیابی شده است.

همان‌طور که انتظار می‌رود، با افزایش ضریب جذب مصالح پارتیشن‌ها شرایط آکوستیکی فضای اداری بهبود یافته است و در واقع، شعاع اختلال کاهش و شعاع محرمیت افزایش می‌یابد. همچنین، تراز فشار صدای وزن یافته در فاصله 4 متری از منبع، که یکی دیگر از پارامترهای پیشنهاد شده توسط ایزو برای ارزیابی فضاهای اداری پلان باز است، کاهش یافته است. بنابراین، با انتخاب مناسب پارتیشن‌ها، نه تنها می‌توان عملکرد آکوستیکی دفاتر را افزایش داد، بلکه می‌توان محرمیت محیط را بهبود بخشید.

بر اساس نتایج با افزایش ضریب جذب پارتیشن‌ها، شعاع اختلال کاهش یافته است. اما، با افزودن جدارهای شیشه‌ای به ارتفاع 0.4 و 0.6 متر به پارتیشن‌ها، این شاخص از 1.74 به 2.94 و 2.70 متر افزایش یافته است که در مقایسه با تأثیر افزایش ضریب جذب، مقداری چشمگیر است. شعاع محرمیت نیز، در حالتی که ضریب جذب مصالح پارتیشن‌ها 0.1 است، در بیشترین حالت خود قرار دارد و برابر با 20.39 متر است. در حالی که افزودن جدار شیشه‌ای به ارتفاع 0.6 به پارتیشن‌های ام دی اف، این عدد را به کمترین مقدار یعنی13.17 متر می‌رساند.

بر اساس نتایج شبیه‌سازی، نرخ افت صدای گفتار در فضا، با افزایش ضریب جذب پنل‌ها و با افزودن جدار شیشه‌ای به قسمت بالای آنها افزایش یافته است. شایان ذکر است که این پارامتر در تمامی حالات کمتر از حد قابل قبول 5 متر برای یک دفتر اداری با شرایط آکوستیکی خوب می‌باشد. با افزایش ضریب جذب پارتیشن‌ها از 0.1 به 0.3 و 0.5 می‌توان افت صدای گفتار در فضا را از 2.68 به 2.85 و 2.89 افزایش داد. باید این نکته را در نظر داشت که افزودن جدار شیشه‌ای تأثیر بیشتری بر افت صدای گفتار در شبکه وزنی A به ازای هر دو برابر شدن فاصله دارد. با افزودن جدار شیشه‌ای به ارتفاع 0.4 و 0.6 متر به پارتیشن‌های ام دی اف، می‌توان این شاخص را به 4.55 و 4.95 رساند و تا حد زیادی عملکرد آکوستیکی فضا را بهبود بخشید و آن را به محدوده‌ی قابل قبول نزدیک گردانید.

شاخص تراز فشار صدا در فاصله‌ی 4 متری از منبع صوتی در شبکه‌ی وزنی A، در تمامی حالات کمتر از 48 دسی‌بل بوده و فضای اداری در شرایط آکوستیکی مناسبی به‌سر می‌برد. با افزایش ضریب جذب و افزودن جدار شیشه‌ای، این پارامتر کاهش یافته و افزایش ارتفاع قسمت شیشه‌ای پارتیشن‌ها از 0.4 به 0.6، تأثیر چندانی بر بهبود شرایط آکوستیکی از نظر این شاخص نداشته است.

همان‌طور که در شکل ۶ دیده می‌شود، شیب نمودار تغییرات شاخص تراگسیل گفتار در حالاتی که شیشه‌ی تک جداره به پارتیشن‌های ام دی اف با ارتفاع 1.4 متر اضافه شده است، بیشتر است. بدین معنا که افزایش ارتفاع پارتیشن‌ها و تغییر مسیر امواج صوتی تأثیر بیشتری نسبت به افزایش ضریب جذب آنها دارد. با افزودن این جدار، شاخص تراگسیل گفتار به میزان 32 درصد، در دورترین فاصله کاهش یافته است و این در حالی است که در گزینه‌های دیگر و در واقع، زمانی که ضریب جذب مصالح تا 0.55 افزایش داده شده است، در بهترین حالت به 26 درصد می‌رسد.

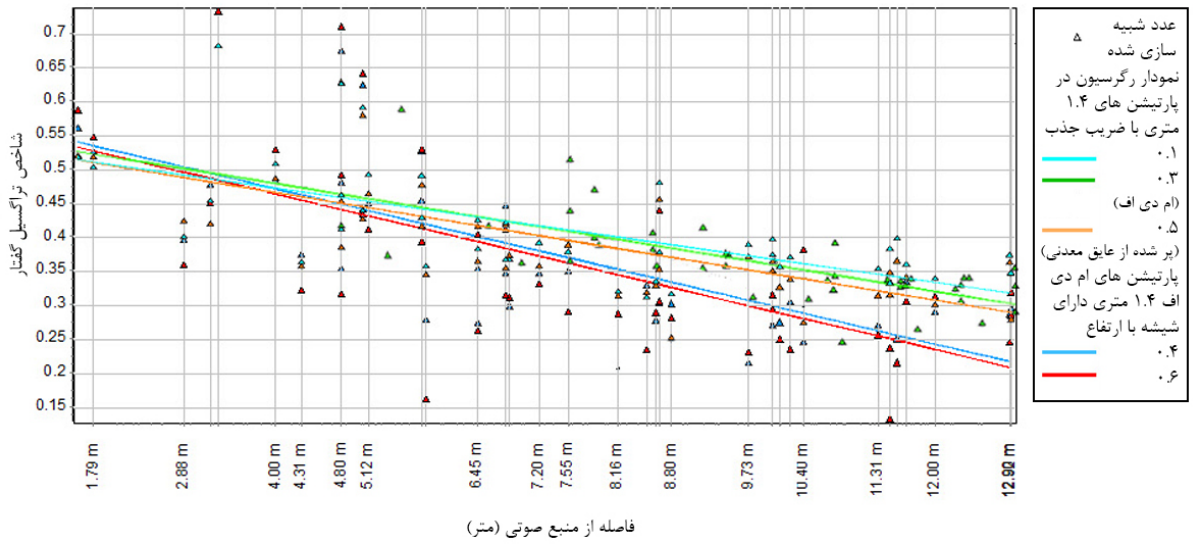

Fig. 6 Lp versus Distance, considering partitions material

شکل ۶ تغییرات تراز فشار صدا نسبت به فاصله با در نظر گرفتن مصالح پارتیشن‌ها

به‌طور کلی، تراز فشار صدا با افزایش فاصله از منبع کاهش می‌یابد. بر اساس یافته‌ها، تغییرات فشار صدای وزن یافته در حالاتی که به پارتیشن‌ها جدار شیشه‌ای افزوده شده از دیگر حالات بیشتر بوده است (شکل ۷). با این حال، افزایش ارتفاع این جدار شیشه‌ای به میزان 0.2 متر تأثیر چشمگیری بر این تغییرات نداشته است. در حالتی که پارتیشن‌ها از جنس ام دی اف (با ضریب جذب 0.3)

بوده‌اند کمترین تغییرات نسبت به افزایش فاصله مشاهده می‌شود و تراز فشار صدا در دورترین میز کاری نسبت به نزدیک‌ترین میز کاری به منبع صوتی، تغییر کمتری کرده است. پس از آن، دو گزینه‌ی پنل‌ها با ضریب جذب 0.1 و پنل‌های حاوی عایق معدنی با ضریب جذب 0.55 نسبتا با شیب یکسانی تغییر کرده، و تراز فشار صدا در فاصله‌ی 4 متری از منبع صوتی در شبکه‌ی وزنی A، در بهترین حالت 10 دسی‌بل افت داشته است. شایان ذکر است که پنل‌های پر شده با عایق معدنی نسبت به پنل‌ها با ضریب جذب 0.1، تراز فشار صدا را به میزان 4 تا 5 دسی‌بل بیشتر کاهش داده‌اند.

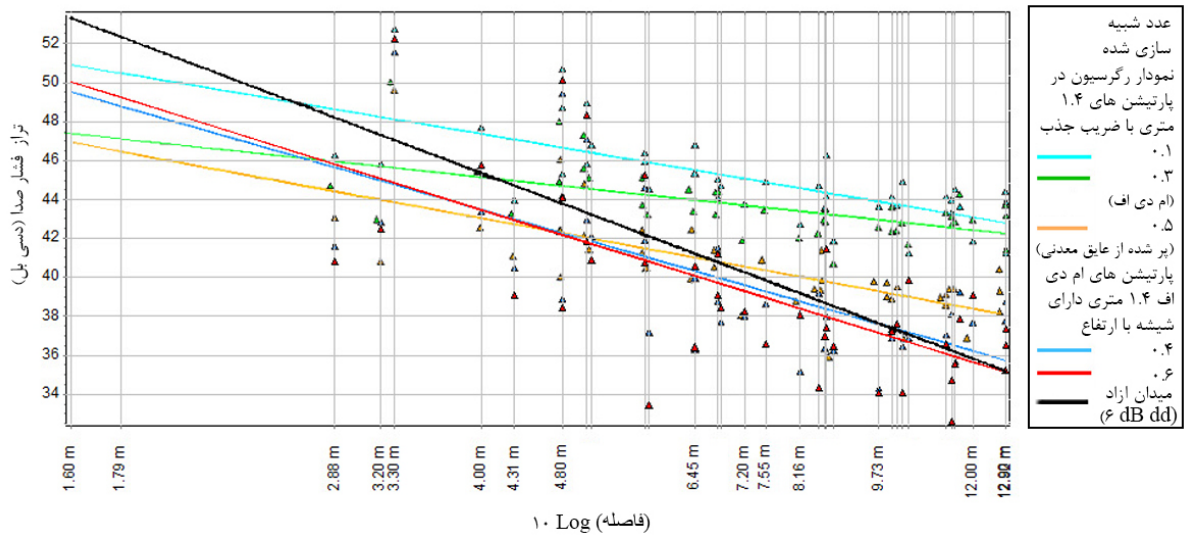

Fig. 7 Lp versus Distance, considering partitions height

شکل ۷ تغییرات تراز فشار صدا نسبت به فاصله با در نظر گرفتن ارتفاع پارتیشن‌ها

۴- نتیجه‌گیری

وجود نوفه و صدا در دفاتر اداری پلان باز، به دلیل عدم وجود دیوارهای جداکننده، از مشکلات اصلی کاربران این فضاها بوده است. از آن جایی که بیشترین میزان اختلال و حواس‌پرتی در این نوع از دفاتر مربوط به تراگسیل گفتار مکالمات و عدم وجود محرمیت گفتاری است، این پژوهش به ارزیابی طراحی پارتیشن‌ها بر اساس این پارامتر پرداخته است.

تأثیر دو پارامتر ارتفاع و مصالح پارتیشن‌ها بر شاخص‌های ارایه شده توسط ایزو 3-3382، که در واقع شرایط آکوستیکی فضاهای اداری پلان باز را تعریف می‌کنند، با استفاده از شبیه‌سازی کامپیوتری بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهند که افزایش ارتفاع پنل‌ها نسبت به اصلاح مصالح آنها، نقش مؤثرتری بر بهبود عملکرد آکوستیکی محیط اداری دارد.

طبق یافته‌ها، با افزایش ارتفاع پارتیشن‌ها، شیب منحنی تغییرات شاخص تراگسیل گفتار نسبت به تغییر فاصله از منبع صوتی، افزایش یافته است. بدین معنا که اختلاف صدای گفتار در نزدیک‌ترین بخش کاری با دورترین میز، زمانی که ارتفاع پارتیشن‌ها حداکثر است (1.8 متر)، زیاد شده و تراگسیل گفتار کاهش و محرمیت صوتی افزایش می‌یابد. همچنین، نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان داده که افزایش ارتفاع پارتیشن‌ها از 1.6 متر بیشتر تأثیر چندانی بر شاخص تراگسیل گفتار در این محیط نداشته است. اگرچه که شاخص نرخ افت صدای گفتار در فضا به ازای هر دو برابر شدن فاصله، تنها در گزینه‌ی پنل‌ها با ارتفاع 1.8 به حد قابل قبول رسیده و در دیگر گزینه‌های طراحی، عملکرد شرایط آکوستیکی فضا از نظر این شاخص، ضعیف شناخته می‌شود.

شیب نمودار منحنی افت فشار صدا نسبت به افزایش فاصله از منبع صوتی نیز، با افزایش ارتفاع پارتیشن‌ها افزایش می‌یابد و در بهترین گزینه حدود 2 برابر بدترین گزینه است.

بر اساس داده‌های حاصل از شبیه‌سازی پارتیشن‌ها با مصالح مختلف، افزایش ضریب جذب پنل‌ها نیز می‌تواند تا حدی منجر به کاهش شاخص تراگسیل گفتار و افزایش محرمیت صوتی گردد. با وجود این، در گزینه‌هایی که جدار شیشه‌ای به پارتیشن‌های ام دی اف با ارتفاع 1.4 متر افزوده شده است، با اینکه نوع آن تک جداره بوده و ضریب جذب پایینی دارد، تأثیر بیشتری نسبت به افزایش ضریب جذب پنل‌های 1.4 متری داشته است. این امر به علت تأثیر جدار شیشه‌ای در انحراف مسیر حرکت صوت و اولویت صدای هوابرد نسبت به انتقال صدا از جدار پارتیشن‌ها، بالاخص در این نوع از چیدمان‌های باز و فاقد درب جداکننده است و در واقع، افزایش ارتفاع پارتیشن‌ها می‌تواند تاثیر چشمگیرتری بر بهبود عملکرد آکوستیکی و کاهش شاخص تراگسیل گفتار نسبت به افزایش ضریب جذب داشته باشد. لذا با طراحی اصولی پارتیشن‌ها، کیفیت آکوستیکی این فضاها افزایش یافته و این امر باعث افزایش رضایت و آسایش صوتی متصرفین شده و بهبود عملکرد آنها را در پی خواهد داشت.

به‌طورکلی، طبق نتایج حاصل از بررسی 13 گزینه طراحی پژوهش، می‌توان تأثیر هر یک از پارامترهای ارتفاع، ضریب جذب پارتیشن‌ها، افزودن جدار شیشه‌ای (تک جدار 6 میلی‌متر به ارتفاع 0.4 متر) و افزایش ارتفاع آن (جدار شیشه‌ای) به میزان 0.2 متر، بر نرخ افت

فشار صدا را به ترتیب، 15.07، 3.60 و 7.70 درصد برآورد نمود. این پژوهش، مطالعات قبلی را تصدیق کرد و بر اساس آن، بدون در نظر گرفتن پارتیشن‌های بهبود یافته از نظر آکوستیکی، مصالح جاذب و یک صدای پوششی زمینه مناسب، دسترسی به محرمیت گفتار قابل قبول آسان نخواهد بود [28].

از آن جایی که این پژوهش گزینه‌های محدودی را ارزیابی کرده است، نباید به‌عنوان ملاک نهایی تعیین ارتفاع پارتیشن‌بندی در نظر گرفته شود، و هدف مهم این مقاله، رعایت اصول آکوستیک در فضای اداری پلان باز است، تا حریم خصوصی افراد حفظ شود و تمرکز کاری اشخاص از دست نرود.

تعیین ارتفاع قطعی برای پارتیشن‌ها در هر فضا وابسته به مساحت کل فضا و مساحت بخش‌های کاری است. همچنین، نقش انعکاس‌های سقف و کف (سطوح داخلی) در فضاهای اداری پلان باز بسیار مهم است، که در این پژوهش ارزیابی نشده‌اند و هدف آن صرفا ارزیابی پارتیشن‌ها بوده است. لذا لازم است در پژوهش‌های آتی این عوامل تأثیرگذار نیز بررسی گردند.

۵- تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از پژوهش پایان‌نامه دوره کارشناسی‌ارشد معماری و انرژی مصوب و دفاع شده در دانشگاه شهید بهشتی است. لذا، مراتب تشکر و قدردانی خود را از تمامی استادان راهنما در این پژوهش اعلام می‌داریم.

۶- منابع

[1] J. A. Veitch, “Workplace design contributions to mental health and well-being,” *Heal. Pap*, Vol. 11 Spec No, pp. 38–46, 2011.

[2] A. Maher, C. Von Hippel, “Individual differences in employee reactions to open-plan offices,” *J. Environ. Psychol.*, Vol. 25, No. 2, pp. 219–229, 2005.

[3] E. M. de Croon, J. K. Sluiter, P. P. F. M. Kuijer, M. H. W. Frings-Dresen, “The effect of office concepts on worker health and performance: A systematic review of the literature,” *Ergonomics*, Vol. 48, No. 2, pp. 119–134, 2005.

[4] I. Balazova, G. Clausen, J. H. Rindel, T. Poulsen, D. P. Wyon, “Open-plan office environments: A laboratory experiment to examine the effect of office noise and temperature on human perception, comfort and office work performance,” *Indoor air 2008*, No. August, pp. 17–22, 2008.

[5] T. A. Judge, J. E. Bono, C. J. Thoresen, G. K. Patton, “The job satisfaction-job performance relationship: A qualitative and quantitative review,” *Psychol. Bull.*, Vol. 127, No. 3, pp. 376–402, 2001.

[6] A. Singh, M. Syal, S. C. Grady, S. Korkmaz, “Effects of green buildings on employee health and productivity,” *Am. J. Public Health*, Vol. 100, No. 9, pp. 1665–1668, 2010.

[7] A. Seddigh, E. Berntson, F. Jönsson, C. B. Danielson, H. Westerlund, “Effect of variation in noise absorption in open-plan office: A field study with a cross-over design,” *J. Environ. Psychol.*, Vol. 44, pp. 34–44, 2015.

[8] J. Pejtersen, L. Allermann, T. S. Kristensen, O. M. Poulsen, “Indoor climate, psychosocial work environment and symptoms in open-plan offices,” *Indoor Air*, Vol. 16, No. 5, pp. 392–401, 2006.

[9] K. L. Jensen, E. Arens, L. Zagreus, “Acoustical Quality in Office Workstations , As Assessed By Occupant Surveys,” *Indoor Air 10th Int. Conf. indoor air Qual. Clim.*, pp. 2401–2405, 2005.

[10] J. S. Keränen, P. Virjonen, V. O. Hongisto, “Characterization of acoustics in open offices: four case studies,” *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 123, No. 5, pp. 2971–2971, 2008.

[11] N. Venetjoki, A. Kaarlela-Tuomaala, E. Keskinen, V. Hongisto, “The effect of speech and speech intelligibility on task performance,” *Ergonomics*, Vol. 49, No. 11, pp. 1068–1091, 2006.

[12] E. Sundstrom, J. P. Town, R. W. Rice, D. P. Osborn, “Office noise, satisfaction, and performance,” *Environ. Behav.*, Vol. 26, No. 2, pp. 195–222, 1994.

[13] M. Frontczak, S. Schiavon, J. Goins, E. Arens, H. Zhang, P. Wargocki, “Quantitative relationships between occupant satisfaction and satisfaction aspects of indoor environmental quality and building design,” *Indoor Air*, Vol. 22, No. 2, pp. 119–131, 2012.

[14] J. A. Veitch, K. E. Charles, K. M. J. Farley, G. R. Newsham, “A model of satisfaction with open-plan office conditions: COPE field findings,” *J. Environ. Psychol.*, Vol. 27, No. 3, pp. 177–189, 2007.

[15] R. W. Marans, X. Yan, “LIGHTING QUALITY AND ENVIRONMENTAL SATISFACTION IN OPEN AND ENCLOSED OFFICES,” *Archit. Plan. Res.*, Vol. 6, No. 2, pp. 118–131, 1989.

[16] R. K. Herbert, “Open-office acoustics: history, projects, and standards,” *Noise News International*, Vol. 21, No. 1, pp. 14–19, 2013.

[17] M. J. O’Neill, P. Carayon, “THE RELATIONSHIP BETWEEN PRIVACY , CONTROL , AND STRESS RESPONSES IN OFFICE WORKERS,” in *the HUMAN FACTORS AND ERGONOMICS SOCIETY 37th ANNUAL MEETING*, pp. 479–483, 1993.

[18] C. J. G. Marquardt, J. A. Veitch, K. E. Charles, “Environmental Satisfaction with Open-plan Office Furniture Design and Layout,” *Natl. Res. Counc. Canada*, No. September, p. 26, 2002.

[19] K. . Charles, J. A. Veitch, “Environmental Satisfaction in Open-Plan Environments: 2. Effects of Workstation Size, Partition Height and Windows,” *Natl. Res. Counc. Canada, Inst. Res. Constr.*, No. Report No. IRC-IR-845, 2002.

[20] J. S. Bradley, “The acoustical design of conventional open plan offices,” *Can. Acoust.*, Vol. 27, No. 3, pp. 23–31, 2003.

[21] K. Yildirim, A. Akalin-Baskaya, M. Celebi, “The effects of window proximity, partition height, and gender on perceptions of open-plan offices,” *J. Environ. Psychol.*, Vol. 27, No. 2, pp. 154–165, 2007.

[22] J. H. Rindel, C. L. Christensen, “Acoustical simulation of open-plan offices according to ISO 3382-3,” *Euronoise*, pp. 1–6, 2012.

[23] J. Yu, S. Wang, X. Qiu, A. Shaid, L. Wang, “Contributions of various transmission paths to speech privacy of open ceiling meeting rooms in open-plan offices,” *Appl. Acoust.*, Vol. 112, pp. 59–69, 2016.

[24] C. Reich, M. Passero, P. Henrique, T. Zannin, “Acoustic evaluation and adjustment of an open-plan office through architectural design and noise control,” *Appl. Ergon.*, Vol. 43, No. 6, pp. 1066–1071, 2012.

[25] L. Lenne, P. Chevret, J. Marchand, “Long-term effects of the use of a sound masking system in open-plan offices : A field study,” *Appl. Acoust.*, Vol. 158, p. 107049, 2020.

[26] N. B. R. of Iran, “Insulation and Sound Regulation, Issue 18,” 2017.

[27] L. M. Wang, M. C. Vigeant, “Evaluations of output from room acoustic computer modeling and auralization due to different sound source directionalities,” Vol. 69, pp. 1281–1293, 2008.

[28] E. Sundstrom, “Work places,” *New York: Cambridge University Press*, CUP Archive, 1986.