Karafan

Quarterly Scientific Journal of Technical and Vocational University

Winter 2023, Vol. 19, No. 4, p. 283-307

Journal Homepage: https://karafan.tvu.ac.ir/?lang=en

TVU

doi:10.48301/KSSA.2023.361415.2281

Assessment of Acoustic Satisfaction at Metro Stations from an Objective and Subjective Point of View (Case Study: Metro of Tehran and Tabriz)

Paria Meshkabadi[1], Abbas Ghaffari[2*], Elham Nazemi[3], Narges Dehghan[4]

[1]PhD Student, Department of Architecture, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.
[2]Visiting Professor, Department of Architecture, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran
And Associate Professor, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran.
[3]Assistant Professor, Department of Urban Planning, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.
[4]Assistant Professor, Department of Architecture, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.

ARTICLE INFO

Article Type:
Original Research

Received: 10.05.2022
Revised: 12.09.2022
Accepted: 01.15.2022

Keyword:
Acoustic Satisfaction
Metro Station
Speech Intelligibility
Sound Pressure Level
Reverberation Time

***Corresponding Author:**
Abbas Ghaffari
Email: *ghaffari@tabriziau.ac.ir*

ABSTRACT

The provision of sound comfort and speech intelligibility in metro stations also contribute to the mental and physical discussions of individuals in addition to safety and security. In acoustics, an objective evaluation alone is not sufficient to determine acoustic satisfaction and there is a need for subjective evaluation. Therefore, the purpose of this research was evaluation of acoustical satisfaction in metro stations in terms of quantity and quality with descriptive-experimental methods. The required data was collected through field studies that included measurement of physical parameters (SPL and RT) as well as questionnaires to better understand the audience and measure their satisfaction with the five effective components in acoustic quality (auditory, speech, human, functional and architecture) and analyzed in two EXCEL and SPSS software. A comparison with international standards was made in the scope of physical measurements and recognition of the underlying variables to determine the satisfaction, the relationship between the factors influencing the acoustic satisfaction with the demographic variables which research in humanities is looking for. The analysis of the collected data indicated that the SPL and RT did not follow the relevant standards. The main factors of dissatisfaction from people's points of views included mechanical, dynamic and speech reflection in metro stations, which produce significant noise, and have a great impact on safety and security and the performance of public address systems. Furthermore, satisfaction of users had a significant correlation with variables such as gender, age, number of trips during the day, and auditory ability of each individual.

[1] This article is extracted from the first author`s doctoral dissertation entitled "an Acoustic model for Metro Stations in order to Auditory Satisfaction (Case studies: Cities of Tehran, Tabriz and Isfahan)" which was undertaken under supervision of the second and the third authors and advice of the fourth author at Islamic Azad University, Najaf Abad Branch.

©2023 the authors. Published by Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC License) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

E-ISSN: 2538-4430
ISSN: 2382-9796

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Noise pollution is an environmental pollutant that is known as a real threat to human health and quality of life. The minimum damage that noise can cause is impair performance. Speech intelligibility is seen as the main factor in the legibility of space due to exposure to noise coverage. Considering the importance of sound comfort and speech intelligibility in users` satisfaction and listening massages in metro stations, it is necessary to investigate the acoustical satisfaction of metro stations from objective and subjective dimension to improve acoustical conditions. In fact, the question addressed in the present research is related to level of user satisfaction with the acoustical quality of metro stations and the elements included. In addition, the relationship between user satisfaction and physical parameters is also addressed.

Methodology

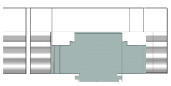
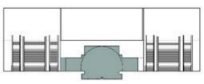
This research used a descriptive-analytical method and its data was obtained using measurement tools and a questionnaire. Two effective physical parameters on the determination of acoustic performance (Sound Pressure Level and Reverberation Time) were measured using sound level meter (2260 B&K), omni directional speaker and amplifier at two case samples in the city of Tehran and two case samples in the city of Tabriz.

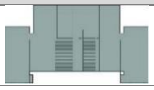
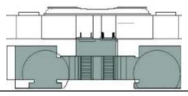
Figure 1. Right: 2260 B&K Sound level meter; Left: omni directional speaker.

The questionnaire evaluated the subjective factors affecting acoustic satisfaction from the point of view of people present. The questionnaire was designed and prepared in the form of closed questions with a Likert scale ranging from completely agree to completely disagree in two parts of demographics and survey.

The selection of case studies was based on the volume and type of the architectural design (side or island) in order to classify and evaluate the results.

Table 1. Properties of metro stations (Source: Authors).

Type of Metro station	Volume	Case study	Area (m^2)	Width (m)	Higth (Platform-Rail)	Section
Side	Small	Khayyam (Tabriz)	4900	15	4.76-8.1	
	Large	Valiasr square (Tehran)	42000	13.5	2.5-6.05	

Type of Metro station	Volume	Case study	Area (m^2)	Width (m)	Higth (Platform-Rail)	Section
Island	Small	Azadegan (Tehran)	8000	17.5	8.80-6	
	Large	Saat (Tabriz)	10600	21.20	3-5.4	

Results and discussion

The findings of the study were based on the survey and analysis of the questionnaire through SPSS software and related tests and extracting the plots from field measurements with Excel software. The questionnaire data was investigated in two terms of descriptive and inferential statistics, and field measurements of sound pressure level and reverberation time were expressed by determining the minimum, median and maximum data.

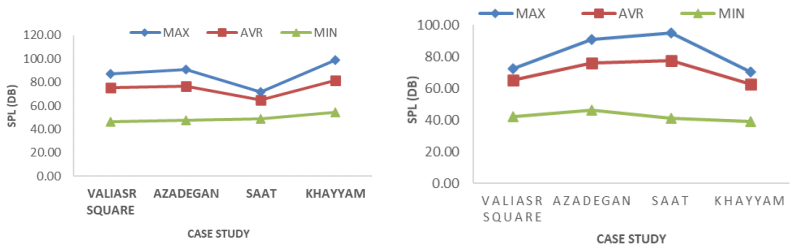


Figure 2. Maximum, median and minimum sound pressure level in two empty stations mode (right) and full mode (left).

The research findings revealed that metro stations in an empty state (without the train), have background noise higher than international standards in the field of sound pollution (55 dB), and this is in conflict with the sound comfort of the users and particularly the personnel. Excessive background noise causes the mask of sound massages in emergency situations and creates fear and stress.

The human auditory limits range between 500 to 4000 Hz. Due to the higher level of the sound pressure of the metro stations, in this frequency domain, the acoustic satisfaction which is derived from the five components of audio, speech, functional, human and architectural space was reduced. Humans hear at low- frequency sounds ranging from 500 and over 4000 Hz to less intensity, and the closer the hearing range, the greater the amount of irritation caused by noise.

The longer the echoes, the longer the time needed to completely cut off the sound; and the longer the time, the higher the level of speech intelligibility due to the interference of words. The measured data shows that the mean and maximum reverberation time was above 2 seconds, so the reverberation time is quantitatively non-standard and not within conventional range.

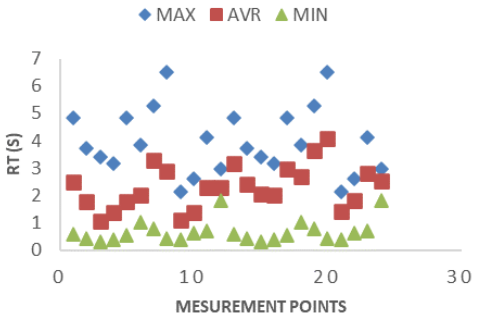


Figure 3. Aggregation of maximum, median and minimum reverberation time in case studies.

Since metro stations are very long compared to their width and height, with the movement of the train and the sound waves hit the smooth and polished surfaces and create many reflections along the length of the space. In this case, the acoustic performance and satisfaction of users of space are directly related and can be one the factors of dissatisfaction and confusion.

The results of the survey also confirmed that the users of the metro stations were dissatisfied with the acoustic performance and their satisfaction was due to mechanical, dynamic and speech reflection factors in space and other factors are in the lower order. This indicated that the level of background noise, the sound of the train, and the reverberation time are quantitatively similar to subjective assessment.

Conclusion

Physical components were used in quantitative and objective evaluations and human components were used in qualitative and subjective evaluation of environmental conditions. Speech intelligibility, which is caused by noise or high sound pressure level, affects the performance and quality of the environment and causes dissatisfaction among users. Headaches, confusion, lack of communication with others and focus on the environment, and hearing loss are caused by physical and psychological damage due to equipment noise, movement and brake of trains, human components, reflection of all sounds in large spaces and not considering acoustic levels in architectural designs.

Comparing the results of sound harvesting at metro stations with the opinions of users of the spaces indicate that both types of metro stations under study were higher than international standards in terms of sound pressure level and reverberation time and thus unacceptable. Therefore, their acoustical quality was low which could lead to people`s dissatisfaction. In island stations, depending on the size, the type of platform placement and communication devices and air conditioning in the space, the possibility of controlling and reducing the noise was more limited than the side platforms, and due to the increasing use of this type of platforms in the metro industry, it requires a great deal of attention.

To improve the acoustic conditions, it is recommended to use architectural elements that reduce the volume of space and the reverberation time in order to reduce and control the noise according to the architecture of the space. The materials with low absorption coefficients should not be used as much as possible. Porous, hollow surfaces and special absorbers should be increased. Additionally, forms that concentrate sounds should be used less so as not to prevent sounds from leaving.

کارفن
فصلنامه علمی دانشگاه فنی و حرفه‌ای
زمستان ۱۴۰۱، دوره ۱۹، شماره ٤، ۳۰۷-۲۸۳
آدرس نشریه: https://karafan.tvu.ac.ir/
doi:10.48301/KSSA.2023.361415.2281

ارزیابی رضایتمندی آکوستیکی در ایستگاه‌های مترو از منظر عینی و ذهنی (مطالعهٔ موردی: مترو تهران و تبریز)

پریا مشک آبادی[۱]، عباس غفاری[۲*]، الهام ناظمی[۳]، نرگس دهقان[۴]

۱- پژوهشگر دوره‌ی دکتری، گروه معماری، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد ، ایران.
۲- استاد مدعو، گروه معماری، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران
و دانشیار، دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی، تبریز، ایران.
۳- استادیار، گروه شهرسازی، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران.
۴- استادیار، گروه معماری، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۷/۱۳
بازنگری مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۱۸
پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۲۵

کلید واژگان:
رضایتمندی آکوستیکی
ایستگاه مترو
وضوح گفتار
تراز فشار صوتی
زمان واخنش

***نویسنده مسئول:** عباس غفاری
پست الکترونیکی:
ghaffari@tabriziau.ac.ir

چکیده

تأمین آسایش صوتی و وضوح گفتار در ایستگاه‌های مترو علاوه بر ایجاد ایمنی و امنیت، در بحث‌های روانی و جسمانی افراد نیز نقش دارد. در آکوستیک، ارزیابی‌های عینی به تنهایی در تعیین رضایت آکوستیکی کافی نبوده و نیاز به ارزیابی ذهنی نیز وجود دارد. لذا هدف این پژوهش، سنجش رضایتمندی آکوستیکی در ایستگاه‌های مترو به لحاظ کمی و کیفی با روش توصیفی-تجربی است. داده‌های مورد نیاز از طریق برداشت‌های میدانی که شامل اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی (تراز فشار صوتی و زمان واخنش) و نیز پرسش‌نامه برای درک بهتر مخاطبان و سنجش میزان رضایتمندی آنان در رابطه با پنج مؤلفه تأثیرگذار در کیفیت آکوستیکی (شنیداری، گفتاری، انسانی، عملکردی و معماری) جمع‌آوری گردیده و با دو نرم‌افزار اکسل و اس.پی.اس.اس مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته‌اند. مقایسه با استانداردهای بین‌المللی در حیطهٔ ارزیابی فیزیکی و شناسایی متغیرهای اساسی، تعیین میزان رضایتمندی و معناداری رابطه بین مؤلفه‌های تأثیرگذار در رضایت آکوستیکی با متغیرهای جمعیت‌شناسی از جمله مواردی است که پژوهش انسانی به دنبال آن است. آنالیز داده‌های جمع‌آوری شده نشان می‌دهد تراز فشار صوتی و زمان واخنش از استانداردهای مربوطه تبعیت نمی‌کنند و عوامل اصلی نارضایتی از منظر مخاطبان به ترتیب شامل صداهای مکانیکی، دینامیکی و انعکاس گفتار در ایستگاه‌های مترو هستند که نوفه‌های قابل توجهی تولید کرده، قابلیت شنیداری فضا را کاهش داده، تأثیر بسزایی در ایمنی و امنیت دارد و نیز عملکرد سیستم‌های اطلاع‌رسانی را دچار مشکل کند. همچنین میزان رضایتمندی کاربران ارتباط معناداری با متغیرهایی همچون جنس، سن، ساعت مراجعه، تعداد سفرها در طول روز، توانایی شنیداری هر فرد دارد.

[۱] مقاله حاضر مستخرج از رساله دکتری نگارنده اول با عنوان "ارائه مدل آکوستیکی برای ایستگاه‌های مترو به منظور رضایتمندی شنیداری (نمونه موردی: شهرهای تهران، تبریز و اصفهان)" است که به راهنمایی نگارندگان دوم و سوم و مشاوره نگارنده چهارم در دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد در حال انجام است.

شاپای الکترونیکی: ۲۵۳۸-۴۴۳۰
شاپای چاپی: ۲۳۸۲-۹۷۹۶

©2023 the authors. Published by Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC License) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

مقدمه

کیفیت آکوستیکی در یک فضا تحت تأثیر سه جنبه فیزیکی (میدان صوتی)، سایکوآکوستیکی (ادارک شنیداری) و روانشناسی (ارزیابی شنوایی) بررسی می‌شود. نوفه و آلودگی صوتی موضوعاتی هستند که بر تمام جنبه‌های کیفی آکوستیک اثر می‌گذارند. نوفه صدایی است که در محدوده فرکانس‌های شنوایی انسان ایجاد می‌شود که سکوت و درک صدا را مختل می‌سازد، باعث آزار و اذیت شده و سلامتی انسان را به خطر می‌اندازد. حتی یک رویداد صوتی می‌تواند بدون ایجاد اختلال در قوهٔ شنوایی یا تجربهٔ نوفه، تصور ناخوشایندی ایجاد کند. بنابراین می‌توان گفت کیفیت آکوستیکی زمانی منفی است که رویداد صوتی یک رویداد شنیداری ایجاد کند که ناخوشایند، آزاردهنده یا مزاحم تلقی شود [۱]. نوفه یا سر و صدا در زندگی ما نقش مهمی داشته که متاسفانه غیر قابل اجتناب از فن‌آوری کنونی است. گرایش به استفاده از تجهیزات خودکار، ماشین‌آلات ساختمانی بزرگ، افزایش تعداد وسایل نقلیهٔ زمینی و هوایی، به تدریج نوفه را به عنوان محصول جانبی پیشرفت‌ها اضافه کرده است. با این وجود، مطالعات مختلف پایش نوفه و بررسی‌های جامعه‌شناختی در سال‌های اخیر، نیاز به کاهش نوفه را نشان داده‌اند. آلودگی صوتی یک آلاینده محیطی است که رسماً به عنوان تهدیدی واقعی برای سلامت انسان و کیفیت زندگی شناخته شده است. شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد حداقل نوفه می‌تواند کارایی را مختل کند، بر سلامت انسان تأثیر بگذارد، میزان تصادفات را افزایش دهد. در سطوح بالاتر، نوفه می‌تواند به سرعت به شنوایی آسیب برساند و در سطوح پایین‌تر، ممکن است سبب اختلال تدریجی شنوایی گردد [۲].

واکنش‌های ادراکی و عاطفی برانگیخته شده از شرایط محیط، جزء شاخص‌های مؤثر به شمار می‌آیند. معیار اندازه‌گیری این تأثیرات، سنجش میزان رضایتمندی و یا احساس آزردگی شخص نسبت به شرایط تعریف شده است [۳]. واکنش افراد به قابلیت درک گفتار یا به عبارتی وضوح گفتار نیز وابسته است. وضوح گفتار به عنوان عامل اصلی در خوانایی فضا به علت قرار گرفتن در زیر پوشش نوفه کاهش می‌یابد. نوفه بیش از حد از دیدگاه روان‌شناسی، به ناراحتی، اختلال در تمرکز حواس، کاهش کارایی، بدرفتاری و اشتباه می‌انجامد. از طرفی، واضح‌ترین اثر فیزیولوژیکی، کاهش شنوایی است و می‌تواند در کارکرد دستگاه گوارش، اندام‌های تنفسی، گردش خون و سیستم عصبی اختلال دائمی یا موقتی پدید آورد [۴]. با توجه به این‌که قابلیت فهم یا وضوح گفتار در ایستگاه‌های مترو برای هشدار خطر و یا اطلاعات دیگر منجر به اتخاذ سیستم‌های اطلاع‌رسانی عمومی پیشرفته شده است که با این حال نیز به ندرت حداقل استانداردهای صوتی برای ایستگاه‌های مترو به کار می‌رود [۵] در ساختمان اغلب صداها به جای یک کیفیت برنامه‌ریزی شده و طراحی شده، به عنوان یک مشکل حل نشده باقی می‌مانند [۶]. بنابراین وجود نوفه و عدم وضوح گفتار می‌تواند مطلوبیت آن فضا را کاهش داده و سبب نارضایتی کاربران شود.

با توجه به اهمیتی که آسایش صوتی و وضوح گفتار در میزان رضایتمندی کاربران و شنیدن پیام‌های صوتی در ایستگاه‌های مترو دارد، بررسی رضایت آکوستیکی ایستگاه‌های مترو از بعد عینی و ذهنی، به منظور بهبود شرایط آکوستیکی ضرورت دارد. در واقع آنچه در این تحقیق مورد سوال و بررسی قرار گرفته است این است که رضایت آکوستیکی ایستگاه‌های مترو به لحاظ کمی و کیفی چگونه است؟ میزان رضایتمندی کاربران از کیفیت آکوستیکی ایستگاه‌های مترو چقدر است؟ و چه مؤلفه‌هایی را در بر می‌گیرد؟ چه ارتباطی بین رضایتمندی کاربران با پارامترهای فیزیکی وجود دارد؟ از آنجایی که سنجش کیفیت آکوستیکی نیاز به تخصص و ابزارهای حرفه‌ای دارد و از طرفی ایستگاه‌های مترو به عنوان فضاهایی پرکاربرد و نوین نیازمند واکاوی و رسیدگی به این موضوع حساس را دارند که تاکنون توجه آنچنانی بدان نشده است، بدیع بودن مطالعه حاضر را نشان می‌دهد.

مبانی نظری

چارچوب نظری تحقیق

قانون کنترل آلودگی در اکتبر سال ۱۹۷۲ منتشر شده است. بر اساس این قانون، آژانس حفاظت از محیط زیست (EPA)[1] به شناسایی اثرات نوفه بر سلامت و رفاه عمومی در تمام محیط‌ها پرداخته و محدوده کاهش نوفه برای حفاظت و ایمنی را مشخص نموده است. تعریف اولیه از شناسایی این سطوح در مارس ۱۹۷۴ منتشر شد. بر طبق این تعریف تقریباً تمام جمعیت در برابر فقدان شنوایی در طول عمر محافظت شده و در طی ۲۴ ساعت شبانه روز باید در معرض صداهای کمتر از یا ۷۰ dB(A) قرار گیرند. در حالت کلی نیز سطح نوفه بیشتر از ۵۰ dB(A) را علت ناراحتی عنوان کرده است. در تمام اهداف عملی، نوفه ممکن است به عنوان صدای ناخواسته تعریف شود. ویژگی‌های نوفه در اصل همان ویژگی‌های صوتی هستند. جدول (۱) زمان‌های مجاز برای قرارگیری در معرض سطوح مختلف صدا یا نوفه را نشان می‌دهد.

جدول ۱. میزان مجاز قرار گیری در معرض آلودگی صوتی با سطوح ثابت [۷].

تراز صدا (dBA)	زمان مجاز (ساعت دقیقه)	تراز صدا (dBA)	زمان مجاز (ساعت دقیقه)
۸۵	۰-۱۶	۱۰۲	۳۱-۱
۸۹	۱۱-۹	۱۰۴	۹-۱
۹۰	۰-۸	۱۰۶	۵۲-۰
۹۲	۴-۶	۱۰۸	۴۰-۰
۹۴	۳۶-۴	۱۱۰	۳۰-۰
۹۶	۲۹-۳	۱۱۲	۲۳-۰
۹۸	۵۰-۲	۱۱۴	۱۷-۰
۱۰۰	۰-۲	۱۱۵	۱۵-۰

آزردگی صوتی، احساس ناخواسته‌ای از اختلال و آشوب و یا ناراحتی ناشی از یک صدای خاص تعریف می‌شود. چیزی که آزاردهنده تلقی می‌شود بستگی به ترجیحات صوتی کاربران دارد و از فردی به فرد دیگر فرق می‌کند. هیچ پارامتر اندازه‌گیری وجود ندارد، اما روش‌هایی از قبیل معناشناسی به محققان کمک می‌کند تا رفتارهای کاربران را تحت شرایط مختلف درک کنند. در حقیقت، تأثیر محیط صوتی بر مسافران یا کاربران را سنجش و آزاردهندگی و ناراحت-کنندگی آن را بررسی می‌کنند [۸]. احساس آزردگی به مثابهٔ نوعی احساس نارضایتی، همراه با هر عامل یا شرایطی که به نظر می‌رسد تأثیر بدی بر روی فرد و یا یک گروه می‌گذارد، تعریف شده است [۹]. نلسون بیان می‌کند که به‌طور کلی ۶ جنبه بر میزان آزردگی فرد از سر و صدا، اثر می‌گذارد که شامل؛ ترس، علت سر و صدا، میزان حساسیت به سر و صدا، فعالیت، ادراک همسایگی یا نزدیکی و ادراک جهانی از محیط است [۱۰]. تعریف دیگری از سر و صدا را می‌توان به این شکل بیان کرد؛ زمانی‌که اطلاعات صوتی موجود در محیط به دلیل نامفهوم بودن و یا گم و ناشناس بودن تبدیل به ضد اطلاعات شوند و ما نتوانیم هیچ یک از این اطلاعات را به درستی از محیط دریافت کنیم [۱۱]. آزمایش‌ها نیز نشان داده‌اند که به شکل کلی، آزردگی ناشی از نوفه: ۱-متناسب با بلندی نوفه است. ۲-در فرکانس‌های بالاتر بیش از فرکانس‌های پایین است. ۳- در نوفه‌های منقطع بیش از نوفه پیوسته است. ۴-نوفه‌هایی که منبع آنها متحرک است بیش از نوفهٔ ناشی از منبع ثابت است. مانند نوفهٔ خودروها .۵- در نوفه‌ها با کلمات معنی دار، بیش از نوفه‌های بدون معنی و کلام است [۱۲].

[1] Environmental Protection Agency

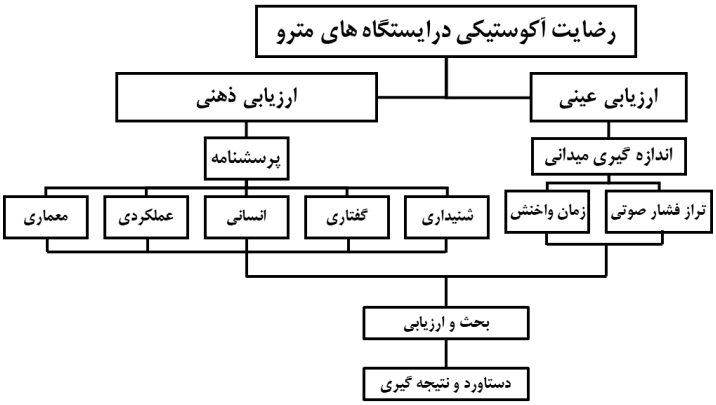
در حالت کلی، دو دسته از عوامل در مطالعهٔ آزردگی ناشی از نوفه وجود دارد:-۱ عوامل مرتبط با صوت – کمیات فیزیکی صوت) نوع نوفه، تراز نوفه، مدت زمان قرار گرفتن در معرض نوفه، طیف فرکانسی)، زمان روز یا هفته، ماه، سال زمانی که مواجهه با نوفه رخ می‌دهد و تجربهٔ پیشین از منبع نوفه-۲ عوامل مرتبط با فرد شامل عوامل فیزیولوژیکی، روانی و اجتماعی که ادراک از نوفه را تحت تاثیر قرار می‌دهد و فعالیت‌ها (ارتباطات، تمرکز، خواب، تفریح یا استراحت) را مختل می‌کند [۱۳].

تحولات تکنولوژی موجب تغییرات روزافزون در بسیاری از عرصه‌های صنعت ساختمان شده است که در چهار حوزهٔ «طراحی»، «ساخت»، «نگهداری، تعمیر و بهره‌برداری» و «مدیریت» جای می‌گیرند [۱۴]. در طراحی معماری، تأمین آسایش صوتی با توجه به مشکلاتی چون آلودگی‌های صوتی در محیط زیست و وضوح صدا و توزیع مناسب صدا جایگاه ویژه‌ای دارد [۱۵]. در طراحی ساختمان‌ها باید ملاحظات اصلی آکوستیکی در نظر گرفته شود که تحت عنوان آسایش صوتی طبقه‌بندی می‌شوند [۱۶]. اصطلاح آسایش صوتی در ادبیات تعریف گسترده‌تر و متفاوت‌تری دارد [۱۷] و یک شاخص کلیدی در ارزیابی منظرصوتی فضاهای داخلی به حساب می‌آید [۱۸]. در بسیاری از مطالعات، بهبود آسایش صوتی به عنوان بهبود کلی صوت معرفی شده که در آن پارامترهای عینی و یا روم آکوستیک[1] جهت کاهش تراز فشار صوتی اندازه‌گیری می‌شوند [۱۹; ۲۰]. مطالعات دیگر، آسایش صوتی را با ارزیابی ذهنی تعریف کرده‌اند [۱۷; ۲۱-۲۳]. که ارتباط بیشتری با تراز فشار صوتی دارد [۲۳]. در واقع احساس رفاه و آسایش در ساختمان نسبت به محیط صوتی تعریف می‌شود که می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر کاربران یا ساکنان ساختمان داشته باشد. آکوستیک ضعیف در کاهش بهره‌وری محیط، از دست دادن حریم خصوصی و مسائل امنیتی، افزایش سطح استرس و بیماری‌های قلبی و عروقی نقش دارد. چندین عامل مرتبط به هم بر آسایش صوتی ساختمان تأثیر می‌گذارند که شامل هندسه فضا، متریال‌های جاذب، انتقالی و منعکس‌کننده صدا و همچنین وجود منابع صوتی در داخل و خارج است [۱۶].

رضایت آکوستیکی، آسایش محیطی و احساس کنترل با بهره‌وری در محیط کاری همبستگی مثبتی دارند [۲۴] و هاپاکانگاس نشان داده است که همبستگی بالایی بین آشفتگی به دلیل سر و صدا و آشفتگی توسط گفتار وجود دارد [۲۵]. نوفه صدایی است که گیرنده تمایلی به شنیدن آن ندارد. فقدان کنترل در کلمه نوفه ضمنی است. ارتباط افراد با محیط می‌تواند مهمتر از ویژگی‌های فیزیکی آن باشد. کنترل نوفه هدفی برای افزایش رضایت از شرایط محیطی است [۲۴]. هانک، شکاف دانش بین رویکردهای محیطی و علوم اجتماعی را توصیف می‌کند. دیدگاه علوم محیطی بر نقش محیط فیزیکی در ایجاد آسایش و بهره‌وری تأکید می‌کنند و در مقابل، رویکرد علوم اجتماعی بر فرآیندهای روانی تمرکز دارد. در نظر گرفتن روابط مستقل این عوامل از یکدیگر منجربه درک ناقص بهره‌وری و رفاه در محیط می‌شود. این امر به ویژه در سنجش میزان سر و صدا، عمدتاً به عنوان یک عامل فیزیکی در نظر گرفته می‌شود که کافی نیست [۲۶].

با توجه به آنچه بیان شد، لزوم توجه به بحث‌های آکوستیکی در فضاهای عمومی-خدماتی همچون ایستگاه‌های مترو به جهت تأمین آسایش صوتی و وضوح گفتار اهمیت دارد لذا در این جستار، بررسی مؤلفه‌هایی جهت ارزیابی شرایط به لحاظ فیزیکی و عینی با دستگاه‌های مربوطه و سنجش رضایتمندی از منظر انسانی و ذهنی از طریق پرسش‌نامه مد نظر است. سنجش کیفیت آکوستیکی شاخص‌های زیادی دارد که بنا بر هدف موضوع با سه شاخص آسایش صوتی، وضوح گفتار و کالبد فضا در ارتباط است. آسایش صوتی به جنبه‌های شنیداری و انسانی مربوط می‌شود. وضوح گفتار نیز جنبه‌های گفتاری و عملکردی بحث آکوستیک را شامل می‌شود و در آخر جنبه‌های کالبدی ایستگاه‌های مترو است که در زیرگروه معماری قرار می‌گیرد. رضایت کاربران از شرایط آکوستیکی در ایستگاه‌های مترو مبتنی بر رضایت جنبه‌های پنجگانهٔ فوق است که هر کدام نیز زیرمجموعه‌هایی دارد که در پرسش‌نامه مورد سنجش قرار گرفته است. در تصویر (۱)، مدل مفهومی تحقیق به منظور درک بیشتر چارچوب تحقیق، به‌صورت خلاصه ترسیم شده است:

[1] Room Acoustic



تصویر ۱. مدل مفهومی تحقیق.

پیشینهٔ تحقیق

در دههٔ اخیر با توجه به نمایان شدن اهمیت صوت در کیفیت فضا و تأثیر آن بر رفتار فضا و فرد سعی شده است تحقیقاتی در زمینهٔ بررسی شاخص‌های آکوستیکی و آسایش صوتی در ایستگاه‌های مترو انجام گیرد و نشان می‌دهد این تحقیقات بیشتر از روش ترکیبی برای رسیدن به هدف استفاده می‌کنند که شامل ارزیابی‌های عینی و ذهنی می‌شود. ارزیابی‌های عینی با سنجش صوت به‌صورت میدانی و یا شبیه‌سازی با نرم‌افزار انجام می‌شود و ارزیابی‌های ذهنی شامل نظرسنجی و سنجش میزان صوت در فضا و یا درک گفتار است. با توجه به این‌که ابزارهای استفاده شده در سنجش نوفه، همچنین موقعیت و کالبد فضا نقش به‌سزایی در ایجاد و انتشار صوت در محیط دارد اما در مقایسه با استانداردها، میزان شاخص‌های آکوستیکی از حد مجاز فراتر رفته و فضا از نظر آکوستیکی ضعیف ارزیابی می‌شود. در جدول (۲) به اختصار ویژگی‌های تحقیقات انجام شده در این زمینه آورده شده است.

جدول۲. مروری بر پیشینهٔ تحقیقات انجام شده در رابطه با موضوع تحقیق.

نام محقق	سال	عنوان مطالعه	نتیجه
قطبی و همکارانش [۲۷]	۲۰۱۲	بررسی آلودگی صوتی ایستگاه امام خمینی تهران	روش: تجربی ابزار: اندازه‌گیری میدانی با SLM و تحلیل با نرم‌افزار SPSS هدف: سنجش میزان آلودگی صوتی در دو طبقه ایستگاه مترو با ارزیابی عینی نتیجه: بالاترین سطح نوفه در ایستگاه مترو مربوط به زمان ورود، خروج و توقف قطار است.
براردی و همکارانش [۵]	۲۰۱۵	خصوصیات آکوستیکی چهار ایستگاه مترو در شهر نپال ایتالیا	روش: ترکیبی ابزار: اندازه‌گیری میدانی و شبیه‌سازی هدف: ارزیابی عینی شاخص‌های آکوستیکی به منظور بهبود ویژگی‌های آکوستیکی نتیجه: زمان واخنش، مقادیر وضوح گفتار و شاخص انتقال صوت از استانداردهای شنیداری فاصله دارند.
یلمازر و بورا [۸]	۲۰۱۷	ادراک منظر صوتی داخلی در فضاهای حمل و نقل عمومی	روش: ترکیبی ابزار: اندازه‌گیری میدانی و پرسشنامه هدف: بررسی رابطه بین شناخت فضا و نشانه‌های صوتی از طریق ارزیابی عینی و ذهنی

نام محقق	سال	عنوان مطالعه	نتیجه
			نتیجه: حس شنیداری در فضاهای مختلف متفاوت است و هر فضا نیازهای آکوستیکی خاصی دارد.
وو، کنگ و همکارانش [۲۸]	۲۰۱۸	بررسی محیط آکوستیکی ایستگاه‌های راه‌آهن چین	روش: ترکیبی ابزار: اندازه‌گیری میدانی، شبیه‌سازی و پرسش‌نامه هدف: ارزیابی عینی و ذهنی آسایش و محیط آکوستیکی نتیجه: منابع صوتی موجود در سکوهای انتظار بر میزان درک سطح آسایش و روانی افراد تأثیر می‌گذارد.
وو، کنگ و همکارانش [۲۹]	۲۰۲۰	آسایش صوتی در ایستگاه-های ریلی بزرگ	روش: ترکیبی ابزار: اندازه‌گیری میدانی و پرسش‌نامه هدف: ارزیابی عینی و ذهنی آسایش صوتی نتیجه: تفاوت در منابع صدای غالب در فضاهای مختلف منجربه ارزیابی مختلفی از آسایش آکوستیکی می‌شود.
لیو و همکارانش [۳۰]	۲۰۲۰	تأثیر صدا بر تعامل بصری در ایستگاه‌های ریلی بزرگ	روش: ترکیبی ابزاز: اندازه‌گیری میدانی و پرسش‌نامه هدف: ارزیابی عینی و ذهنی صدا بر تعامل بصری نتیجه: تفاوت بین سطوح صدای ناشی از سیگنال‌های صوتی و نوفه زمینه باعث افزایش تغییر در میزان توجه و ارزیابی محیط صوتی می‌شود. صدایی که با محرک بصری مطابقت دارد بیشترین تأثیر را بر توجه بصری دارد.
اندریانی و همکارانش [۳۱]	۲۰۲۱	تحلیل تراز نوفه قطار در ایستگاه بندر خلیفه	روش: تجربی ابزار: اندازه‌گیری میدانی با صوت‌سنج سنجه: ارزیابی عینی سطح نوفه در ایستگاه قطار نتیجه: حداقل نوفه‌ها در هنگام صبح و عصر و میزان نوفه بالاتر از استاندارد

روش‌شناسی

تحقیق حاضر از حیث هدف، کاربردی بوده و از حیث نحوۀ گردآوری داده‌ها از نوع تحقیقات توصیفی و از شاخۀ مطالعات میدانی به شمار می‌آید. روش انجام تحقیق به‌صورت پیمایشی بوده که شامل مجموعه روش‌هایی است که هدف آنها توصیف کردن شرایط پدیده‌های مورد بررسی، بدون تلاش در جهت تغییر و یا تأثیر در وضعیت موجود و مورد مطالعه است که از مزایای آن قابلیت تعمیم نتایج می‌باشد.

روش انجام پژوهش

این تحقیق دارای روشی توصیفی-تجربی است و داده‌های آن با استفاده از ابزارهای اندازه‌گیری و پرسش‌نامه به‌دست آمده است. دو پارامتر فیزیکی مؤثر بر تعیین رضایت عینی آکوستیکی (تراز فشار صوتی و زمان واخنش) با استفاده از دستگاه صوت‌سنج B&K ۲۲۶۰ به همراه آمپلی فایر و بلندگوی ده وجهی در دو نمونۀ موردی از تهران و دو نمونۀ موردی از تبریز اندازه‌گیری شدند.

تصویر ۲. راست: دستگاه صوت‌سنج B&K ۲۲۶۰ و چپ: بلندگوی ده وجهی.

پرسش‌نامه نیز به ارزیابی ذهنی مؤلفه‌های تأثیرگذار در ایجاد رضایت آکوستیکی از دیدگاه افراد حاضر پرداخته است. پرسش‌نامه در قالب سؤالات بسته با طیف لیکرت از مقیاس کاملاً موافق تا کاملاً مخالف در دو بخش جمعیت‌شناختی و نظرسنجی طراحی و تهیه گردید. در بخش اول پرسش‌نامه سؤالات جمعیت‌شناسی در رابطه با مشخصات کاربران: سن، جنس، میزان تحصیلات، زمان، ساعت، تعداد، مقصد، قشر، همراهان و توانایی شنیداری آنان مطرح شده است. در بخش دوم نیز در رابطه با پنج مؤلفه تأثیرگذار در رضایت آکوستیکی فضاها (شنیداری، گفتاری، انسانی، عملکردی و معماری) سوال شده است که بعد از انجام ۳۰ نمونه پاسخ از طریق آزمون آلفای کرونباخ پایایی آن سنجیده و بعد از اطمینان از صحت آن، در بین ۳۸۴ نمونهٔ آماری به‌صورت تصادفی پر شدند. برای بررسی میزان پایایی پرسش‌نامه از آزمون آلفای کرونباخ استفاده شده است. هر چه مقدار آلفا به یک نزدیک‌تر باشد، پایایی پرسش‌نامه بیشتر است. همان‌طور که جدول (۳) نشان می‌دهد، مقدار آلفای کرونباخ این پرسش‌نامه ۰/۸۲۷ به‌دست آمد که نشان می‌دهد پایایی خوبی دارد. کفایت نمونه‌گیری نیز با آزمون بارتلت و کی.ام.او[1] انجام شده است. این آزمون کوچک بودن همبستگی جزئی بین متغیرها را بررسی می‌کند و این‌که آیا واریانس متغیرهای تحقیق تحت تأثیر واریانس مشترک برخی عوامل اساسی و پنهان است یا خیر. این شاخص در فاصله بین ۰ تا ۱ قرار دارد هر چه این مقدار به ۱ نزدیک‌تر باشد داده‌ها برای تحلیل عاملی مناسب هستند. چون مقدار آماره‌ی کی.ام.او برابر با ۰/۷۳۳ است پس داده‌ها برای انجام تحلیل عاملی مناسب هستند. همچنین نتایج آزمون کرویت بارتلت نیز معنی‌دار است به این مفهوم که فرض مخالف تأیید می‌شود یعنی بین متغیرها همبستگی معناداری می‌تواند وجود داشته باشد.

جدول۳. پایایی و روایی پرسش‌نامه.

پایایی پرسش‌نامه		روایی پرسش‌نامه		
تعداد متغیر	آلفای کرونباخ	آزمون کفایت نمونه گیری کی.ام.او		۰/۷۳۳
۲۰	۰/۸۲۷	آزمون کرویت بارتلت	Approx. Chi-Square	۲۸۴۴/۱۰۷
			df	۱۹۰
			.Sig	۰/۰۰۰

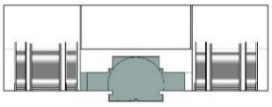
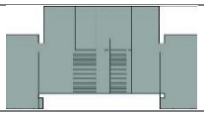
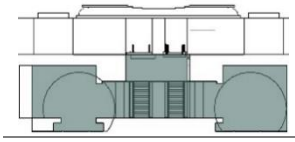
تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز با استفاده از نرم افزارهای اکسل و اس.پی.اس.اس نسخه ۲۶ انجام گردیده و در نهایت نتایج اندازه‌گیری‌ها با داده‌های آماری و استنباطی مستخرج از پرسش‌نامه مورد قیاس و بحث قرار گرفتند.

[1] KMO

نمونه‌های مورد مطالعه

ایستگاه‌های مترو براساس نوع سکوها دو گونه هستند: ۱. سکوهای جانبی یا طرفینی: در طرفین مسیر رفت و برگشت قطارها قرار می‌گیرند. ۲.سکوهای مرکزی یا جزیره‌ای: در میان دو مسیر رفت و برگشت قطارها هستند [۳۲]. مبنای انتخاب نمونه‌های موردی بر اساس شاخص حجم و نوع طراحی معماری از نظر سکوی انتظار (طرفینی و جزیره‌ای) بوده است تا بتوان نتایج را دسته‌بندی و مورد مقایسه و ارزیابی قرار داد. نمونه‌های موردی برگزیده شده با حجم کوچک دارای دو طبقه و ایستگاه‌های حجیم سه طبقه بوده و ایستگاهی متقاطع هستند. دو ایستگاه از خط ۳ متروی تهران و دو ایستگاه از خط ۱ متروی تبریز در نظر گرفته شده است که مشخصات آنها در جدول (۴) آمده است.

جدول۴. مشخصات ایستگاه‌های مترو مورد مطالعه (مأخذ: نویسندگان).

نوع ایستگاه	حجم	نمونه موردی	مساحت (m^2)	عرض (m)	ارتفاع (سکو- ریل)	مقطع عرضی از سالن انتظار
طرفینی	کوچک	خیام (تبریز)	۴۹۰۰	۱۵	۸/۱ - ۴/۷۶	
	بزرگ	میدان ولیعصر (تهران)	۴۲۰۰۰	۱۳/۵	۶/۰۵ – ۲/۵	
جزیره‌ای	کوچک	آزادگان (تهران)	۸۰۰۰	۱۷/۵	۶-۸/۸۰	
	بزرگ	ساعت (تبریز)	۱۰۶۸۰	۲۱/۲۰	۵/۴ – ۳	

یافته‌های تحقیق

یافته‌های تحقیق شامل بررسی و تحلیل پرسش‌نامه از طریق نرم‌افزار اس.پی.اس.اس و آزمون‌های مربوطه بوده و استخراج نمودارهای حاصل از اندازه‌گیری‌های میدانی با نرم‌افزار اکسل می‌باشد. داده‌های پرسش‌نامه به دو صورت آمار توصیفی و استنباطی مورد بررسی قرار گرفته و اندازه‌گیری‌های میدانی تراز فشار صوتی و زمان واخنش با تعیین حداقل، میانه و حداکثر داده‌ها بیان شده‌اند.

آمار توصیفی پرسش‌نامه

آمار توصیفی پرسش‌نامه شامل بررسی شاخص‌های توصیفی جامعه از دو بعد جمعیت‌شناختی و کیفیت‌سنجی است و نیز توصیف متغیرهای جمعیت‌شناختی به منظور آشنایی با خصوصیات جامعه مورد مطالعه انجام شده است.

جدول (۵) طی آمار به‌دست آمده نشان می‌دهد ۴۶/۶ درصد افراد پاسخ دهنده به سؤالات پرسش‌نامه را زنان و ۵۳/۴ درصد را مردان تشکیل می‌دهند. سن پاسخ‌دهندگان بیشتر در بازۀ (۳۰-۴۰) و (۲۰-۳۰) سال بوده است. بیشتر

از نصف پاسخ‌دهندگان (۶۹/۸ درصد) دارای تحصیلات دانشگاهی بوده و یا مدرک دیپلم (۲۱/۶ درصد) داشتند. تقریبا نصف افراد (۴۶/۱ درصد) مراجعه روزانه به مترو داشته و سپس بیشترین آمار بعد از مراجعه روزانه مربوط به مراجعه هفتگی و ماهانه است. در تمام ساعات روز ایستگاه‌های مترو مراجعه‌کننده دارند و درصدها خیلی نزدیک هستند. اکثر پاسخ‌دهندگان اظهار داشتند حداقل یک یا دو بار در طی یک روز از مترو استفاده می‌کنند. کارمندان و کارگران و نیز محصلان جزء اقشاری بودند که از مترو زیاد استفاده می‌کنند. مقصد مسافران مترو، بیشتر کار، خرید و تفریح و یا محل تحصیل است. پاسخ‌دهندگان اظهار داشتند که اکثر مواقع با دوستان یا همکاران و یا بدون همراه از مترو استفاده می‌کنند. نمره‌ای که به توانایی شنیداری خود دادند اکثراً ۵ و ۴ و سپس ۳ می‌باشد. البته کسانی (۴/۴ درصد) نیز بودند که نمره ۱ داده‌اند.

جدول ۵. توصیف متغیرهای جمعیت‌شناسی.

مولفه	متغیر	فراوانی	درصد	مولفه	متغیر	فراوانی	درصد
جنس	زن	۱۷۹	۴۶/۶	تعداد سفر در روز	یک بار	۱۶۲	۴۲/۲
	مرد	۲۰۵	۵۳/۴		دو بار	۱۶۳	۴۲/۴
					سه بار	۳۲	۸/۳
					چهار بار	۲۲	۵/۷
					بیشتر از چهار بار	۵	۱/۳
سن	۲۰-۱۰	۲۰	۵/۲	قشر	مسافر یا توریست	۴۵	۱۱/۷
	۳۰-۲۰	۱۲۷	۳۳/۱		محصل	۹۶	۲۵
	۴۰-۳۰	۱۷۷	۴۶/۱		اهل کسبه	۱۶	۴/۲
	۵۰-۴۰	۳۵	۹/۱		کارمند یا کارگر	۱۰۶	۲۷/۶
	بالای ۵۰ سال	۲۵	۶/۵		سایر	۱۲۱	۳۱/۵
میزان تحصیلات	ابتدایی	۱۳	۳/۴	مقصد	کار یا قرار ملاقات	۱۴۷	۳۸/۳
	راهنمایی	۲۰	۵/۲		دانشگاه یا مدرسه	۸۱	۲۱/۱
	متوسطه	۸۳	۲۱/۶		خانه	۲۰	۵/۲
	لیسانس	۱۷۲	۴۴/۸		تفریح یا خرید	۹۸	۲۵/۵
	فوق لیسانس یا دکتری	۹۶	۲۵		سایر	۳۸	۹/۹
زمان مراجعه	روزانه	۱۷۷	۴۶/۱	همراهان	کودک یا فرزند	۱۱	۲/۹
	هفتگی	۱۰۷	۲۷/۹		اعضای خانواده	۶۹	۱۸
	ماهانه	۶۱	۱۵/۹		دوست یا همکار	۱۵۶	۴۰/۶
	ایام تعطیل یا مناسبات ویژه	۲۴	۶/۳		بدون همراه	۱۳۸	۳۵/۹
	کارمند ثابت	۱۵	۳/۹		سایر	۱۰	۲/۶
ساعت مراجعه	۶ تا ۹	۶۵	۱۶/۹	توانایی شنیداری	۱	۱۷	۴/۴
	۹ تا ۱۲	۷۸	۲۰/۳		۲	۲۴	۶/۳
	۱۲ تا ۱۵	۸۹	۲۳/۲		۳	۵۹	۱۵/۴
	۱۵ تا ۱۸	۹۹	۲۵/۸		۴	۱۴۰	۳۶/۵
	۱۸ تا ۲۱	۵۳	۱۳/۸		۵	۱۴۴	۳۷/۵

آمار استنباطی پرسش‌نامه

این بخش از تحلیل پرسش‌نامه که در واقع آزمون‌سازی است در ابتدا به بررسی نقش متغیرهای آکوستیکی در ایجاد رضایت شنیداری مخاطبان و شناسایی متغیرهای اساسی از طریق تحلیل عاملی پرداخته است. در گام دوم میزان رضایت از شاخص‌های آکوستیکی با انجام آزمون‌های t تک نمونه‌ای و رتبه‌بندی فریدمن سنجیده و در حوزه‌های پنجگانه کیفیت‌سنجی اولویت‌بندی کرده و در نهایت رابطهٔ معناداری بین شاخص‌های آکوستیکی با متغیرهای جمعیت‌شناختی را با استفاده از تحلیل واریانس آنوا[1] بررسی شده است.

بررسی نقش متغیرهای آکوستیکی در ایجاد رضایت شنیداری مخاطبان در ایستگاه‌های مترو و شناسایی متغیرهای اساسی (تحلیل عاملی): این آزمون برای یافتن کمیت‌های مؤثر، کاهش حجم داده‌ها و کمیت‌ها و نیز متغیرهایی که با یکدیگر همبستگی بالایی دارند به‌کار می‌رود. در ستون مقادیر ویژه[2]؛ مقادیر ویژهٔ اولیه برای هر یک از عامل‌ها در قالب مجموع واریانس تبیین شده برآورد می‌شود. واریانس تبیین شده برحسب درصدی از کل واریانس و درصد تجمعی است. مقدار ویژه هر عامل، نسبتی از واریانس کل متغیرهاست که توسط آن عامل تبیین می‌شود. مقدار ویژه از طریق مجموع مجذورات بارهای عاملی مربوط به تمام متغیرها در آن عامل قابل محاسبه است. از این رو مقادیر ویژه، اهمیت اکتشافی عامل‌ها را در ارتباط با متغیرها نشان می‌دهد. پایین بودن این مقدار برای یک عامل به این معنی است که آن عامل نقش اندکی در تبیین واریانس متغیرها داشته است. در ستون استخراج[3]؛ واریانس تبیین شده عامل‌هایی ارائه شده است که مقادیر ویژه آنها بزرگتر از عدد یک باشد. در ستون سوم نیز مقادیر ویژه عوامل استخراجی با چرخش[4]؛ مجموعه مقادیر عامل‌های استخراج شده بعد از چرخش را نشان می‌دهد. همچنان که در جدول شماره (۶) مشاهده می‌شود هفت عامل قابلیت تبیین واریانس‌ها را دارند.

[1] ANOVA
[2] Initial
[3] Extraction
[4] Rotation

جدول ۶. واریانس‌های تشریح شده[1].

عامل	مقادیر ویژه			مقادیر ویژه عوامل استخراجی			مقادیر ویژه عوامل استخراجی با چرخش		
	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی
۱	۵/۳۲۳	۲۶/۶۱۴	۲۶/۶۱۴	۵/۳۲	۲۶/۶۱۴	۲۶/۶۱۴	۲/۵۹۸	۱۲/۹۸۸	۱۲/۹۸۸
۲	۱/۹۶۳	۹/۸۱۷	۳۶/۴۳۱	۱/۹۶۳	۹/۸۱۷	۳۶/۴۳۱	۲/۲۹۲	۱۱/۴۶۱	۲۴/۴۵۰
۳	۱/۶۱۲	۸/۰۶۱	۴۴/۴۹۲	۱/۶۱۲	۸/۰۶۱	۴۴/۴۹۲	۲/۱۸۰	۱۰/۸۹۸	۳۵/۳۴۸
۴	۱/۳۹۴	۶/۹۷۰	۵۱/۴۶۲	۱/۳۹۴	۶/۹۷۰	۵۱/۴۶۲	۲/۱۷۲	۱۰/۸۵۹	۴۶/۲۰۶
۵	۱/۲۰۹	۶/۰۴۷	۵۷/۵۰۹	۱/۲۰۹	۶/۰۴۷	۵۷/۵۰۹	۱/۶۱۹	۸/۰۹۳	۵۴/۲۹۹
۶	۱/۱۴۷	۵/۷۳۵	۶۳/۲۴۵	۱/۱۴۷	۵/۷۳۵	۶۳/۲۴۵	۱/۵۲۱	۷/۶۰۵	۶۱/۹۰۴
۷	۱/۰۳۶	۵/۱۷۹	۶۸/۴۲۴	۱/۰۳۶	۵/۱۷۹	۶۸/۴۲۴	۱/۳۰۴	۶/۵۲۰	۶۸/۴۲۴
۸	۰/۹۲۳	۴/۶۱۴	۷۳/۰۳۸						
۹	۰/۸۵۴	۴/۲۷۲	۷۷/۳۱۰						
۱۰	۰/۸۵۶	۳/۷۹۹	۸۱/۰۸۹						
۱۱	۰/۶۴۱	۳/۲۰۴	۸۴/۲۹۳						
۱۲	۰/۵۷۸	۲/۸۸۸	۸۷/۱۸۱						
۱۳	۰/۵۵۶	۲/۷۷۹	۸۹/۹۶۰						
۱۴	۰/۴۳۴	۲/۱۶۹	۹۲/۱۲۸						
۱۵	۰/۳۶۶	۱/۸۲۹	۹۳/۹۵۷						
۱۶	۰/۲۹۹	۱/۴۹۷	۹۵/۴۵۴						
۱۷	۰/۲۶۶	۳۲۸۱	۹۶/۷۸۲						
۱۸	۰/۲۲۶	۱/۱۳۰	۹۷/۹۱۲						
۱۹	۰/۲۱۶	۱/۰۷۸	۹۸/۹۹۱						
۲۰	۰/۲۰۲	۱/۰۰۹	۱۰۰						

عامل‌های یک تا هفت دارای مقادیر ویژه بزرگتر از یک هستند و در تحلیل باقی مانده‌اند. با توجه به ستون واریانس تجمعی نسبی، این هفت عامل ۶۸/۴۲۴ درصد از تغییرپذیری متغیرها را توضیح می‌دهند.

اگر عامل‌های به‌دست آمده با روش واریمکس چرخش داده شوند هر متغیر در عاملی قرار می‌گیرد که با آن عامل همبستگی بالای معناداری دارد. از طرفی هر چه قدر مطلق این ضرایب بیشتر باشد عامل مربوطه نقش بیشتری در کل تغییرات واریانس مورد نظر دارد. جدول (۷) سهم متغیرها را در عامل‌ها بعد از چرخش را نشان می‌دهد. هفت عامل به عنوان عامل‌های اصلی بر روی بیست متغیر تعیین‌کننده رضایت آکوستیکی، شناسایی شده که به ترتیب زیر است:

۱- صدای مکانیکی دستگاه‌ها، صدای دینامیکی قطار، انعکاس گفتار در فضا
۲- آسیب جسمانی، آسیب روحی و روانی، عدم تمرکز بر محیط
۳- صدای انسان‌ها، وضوح پیام‌های صوتی فضا، وضوح پیام‌های صوتی تلفن همراه
۴- فرم فضا، مصالح مناسب، مبلمان نصب شده
۵- انعکاس صداها در فضا، حجم فضا، سطوح صاف و براق، ابعاد فضا

[1] Total Variance Explained

۶- برقراری ارتباط با دیگران، ایمنی و امنیت، شرایط فردی
۷- صدای زمینهٔ ایستگاه خالی

جدول ۷. ماتریس چرخیده شده اجزا[1].

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۱	**۰/۶۹۹**	-۰/۰۳۱	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	-۰/۰۲۸	۰/۰۴۶	**۰/۸۳۱**
۲	۰/۲۳۰	۰/۲۳۱	۰/۱۶۷	۰/۰۱۰	۰/۰۱۳	۰/۱۷۳	۰/۲۵۹
۳	**۰/۷۲۸**	۰/۱۶۰	**۰/۶۵۶**	-۰/۰۱۱	۰/۰۸۵	۰/۱۲۲	-
۴	**۰/۶۸۸**	-۰/۰۶۳	۰/۲۴۹	۰/۰۸۶	۰/۰۷۲	۰/۰۸۵	۰/۰۱۸
۵	۰/۰۲۸	۰/۱۱۴	۰/۲۸۳	۰/۳۳۳	۰/۰۲۸	۰/۰۸۲	۰/۰۶۷
۶	۰/۳۰۴	-۰/۱۲۴	۰/۰۵۶	-۰/۲۳۲	**۰/۶۸۸**	-	-
۷	۰/۰۴۴	-۰/۰۱۰	**۰/۶۹۵**	۰/۰۳۰	۰/۰۰۷	۰/۰۴۸	۰/۲۴۴
۸	۰/۵۳۷	۰/۲۲۶	**۰/۸۲۴**	۰/۱۲۲	۰/۰۷۷	۰/۱۱۰	۰/۱۸۱
۹	۰/۱۰۴	**۰/۵۷۹**	۰/۱۶۱	-۰/۱۷۵	۰/۰۹۸	-	۰/۰۴۷
۱۰	۰/۳۶۷	**۰/۷۹۷**	۰/۲۷۷	۰/۰۴۰	-۰/۰۲۳	۰/۰۷۲	۰/۰۴۹
۱۱	۰/۰۲۵	۰/۴۲۸	۰/۳۲۷	-۰/۰۷۵	۰/۰۸۶	۰/۰۶۷	-
۱۲	-	۰/۱۹۲	۰/۰۱۲	۰/۰۷۲	-۰/۰۳۲	۰/۰۹۷	۰/۰۴۷
۱۳	۰/۰۳۰	**۰/۷۳۵**	۰/۰۷۱	۰/۲۵۰	۰/۱۲۶	**۰/۵۶۵**	۰/۱۶۹
۱۴	۰/۳۵۷	-۰/۳۱۸	-۰/۰۲۵	۰/۲۰۰	۰/۲۷۳	۰	-
۱۵	۰/۲۰۱	۰/۱۲۲	۰/۰۰۴	**۰/۸۰۵**	۰/۱۰۴	**۰/۸۶۷**	۰/۱۴۴
۱۶	۰/۰۳۳	-۰/۰۴۶	۰/۱۱۷	**۰/۷۴۸**	-۰/۰۸۰	۰	۰/۰۵۵
۱۷	-	۰/۲۶۰	۰/۴۲۲	۰/۲۲۳	**۰/۵۹۶**	۰/۱۱۱	-
۱۸	۰/۰۰۵	۰/۱۳۷	-۰/۰۳۳	۰/۳۲۴	**۰/۵۲۲**	**۰/۵۵۳**	۰/۱۰۹
۱۹	-	۰/۲۷۹	-۰/۰۷۷	**۰/۵۵۵**	۰/۲۳۴	۰	۰/۲۷۲
۲۰	۰/۴۶۷	۰/۳۴۱	۰/۰۱۱	۰/۴۱۱	**۰/۵۶۲**	۰/۰۱۸	۰/۱۹۴
	۰/۳۴۷					۰/۱۱۴	۰/۱۷۸
	۰/۰۱۴					۰/۱۳۷	-
						۰/۰۱۵	۰/۱۴۰
						-	-
						۰/۰۱۹	۰/۱۱۸
						۰/۰۶۷	-
						-	۰/۴۱۱
							۰/۱۸۰
							-

سنجش میزان رضایت از شاخص‌های آکوستیکی در ایستگاه‌های مترو مورد بررسی با انجام آزمون‌های t تک نمونه‌ای و رتبه‌بندی فریدمن: هدف از آزمون t، ارزیابی رضایت و کیفیت صوتی ایستگاه‌های مترو از دیدگاه مخاطبان است. چنانچه در این آزمون سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ باشد، فرض صفر رد (رضایت زیاد) می‌شود و فرض

[1] Rotated Component Matrix

تحقیق (رضایت کم) تأیید می‌شود. در رتبه‌بندی فریدمن نیز متغیرهایی که میانگین رتبهٔ آنها کوچکتر و مساوی ۳ هستند، بیانگر رضایت زیاد در نظر گرفته شده و متغیرهایی که بزرگتر از ۳ هستند، بیانگر رضایت کمتر می‌باشد.

جدول ۸. سنجش میزان رضایت از مؤلفه‌های تأثیرگذار بر کیفیت آکوستیکی با استفاده از آزمون‌های t و رتبه‌بندی فریدمن.

کیفیت / آزمون‌ها / متغیرها	شاخص‌های توصیفی			آزمون t تک‌نمونه‌ای			آزمون رتبه‌بندی فریدمن		
	N	M	SD	T	Df	Sig	میانگین رتبه	رتبه بندی رضایت	آماره خی دو - سطح معناداری
شنیداری	صدای زمینه	۳۸۴	۳/۱۹	۱/۰۹۰	۳۸۳	۰/۰۰۱	۲/۱۹	۲	۳۱۱/۴۳۶ - ۰/۰۰۰
	صدای تجهیزات (مکانیکی)	۳۸۴	۳/۱۱	۱/۰۹۲	۳۸۳	۰/۰۴۰	۱/۹۷	۱	
	صدای افراد حاضر (انـ	۳۸۴	۴/۳۵	۰/۷۵۳	۳۸۳	۰/۰۰۰	۳/۳۵	۴	
	صدای قطار (دینامیکی)	۳۸۴	۳/۵۴	۱/۱۹۸	۳۸۳	۰/۰۰۰	۲/۴۹	۳	
	نمره کل	۳۸۴	۳/۵۴	۱/۰۳	۳۸۳	۰/۰۱			
گفتاری	انعکاس گفتارها در فضا	۳۸۴	۴/۰۹	۰/۸۲۴	۳۸۳	۰/۰۰۰	۲/۹۹	۴	۲۱۰/۸۱۵ - ۰/۰۰۰
	انعکاس صداها در فضا	۳۸۴	۳/۱۸	۰/۹۷۳	۳۸۳	۰/۰۰۰	۱/۹۶	۱	
	وضوح پیام‌های صوتی ایستگاه	۳۸۴	۳/۵۲	۱/۱۱۹	۳۸۳	۰/۰۰۰	۲/۳۲	۲	
	وضوح پیام‌های صوتی تلفن همراه	۳۸۴	۳/۸۸	۰/۹۴۹	۳۸۳	۰/۰۰۰	۲/۷۳	۳	
	نمره کل	۳۸۴	۳/۶۶	۰/۹۶	۳۸۳	۰/۰۰۰			
انسانی	آسیب‌های جسمانی (سردرد و ...)	۳۸۴	۳/۳۸	۱/۱۴۷	۳۸۳	۰/۰۰۰	۱/۷۴	۱	۶۵/۸۷۸ - ۰/۰۰۰
	آسیب‌های روانی (استرس و ...)	۳۸۴	۳/۸۵	۱/۰۱۶	۳۸۳	۰/۰۰۰	۲/۰۸	۲	
	تأثیر شرایط فردی	۳۸۴	۳/۹۵	۰/۸۹۶	۳۸۳	۰/۰۰۰	۲/۱۸	۳	
	نمره کل	۳۸۴	۳/۷۲	۱/۰۱	۳۸۳	۰/۰۰۰			
عملکردی	ارتباط با دیگران	۳۸۴	۳/۹۹	۰/۸۲۲	۳۸۳	۰/۰۰۰	۱/۸۷	۱	۴۹/۳۵۷ - ۰/۰۰۰
	تمرکز بر محیط	۳۸۴	۴/۳۴	۰/۶۷۳	۳۸۳	۰/۰۰۰	۲/۱۹	۳	
	ایمنی و امنیت	۳۸۴	۴/۰۸	۰/۸۰۹	۳۸۳	۰/۰۰۰	۱/۹۴	۲	
	نمرهٔ کل	۳۸۴	۴/۱۳	۰/۷۶	۳۸۳	۰/۰۰۰			
معماری	تأثیر فرم بر بهبود کیفیت صدا	۳۸۴	۴/۲۳	۰/۷۲۸	۳۸۳	۰/۰۰۰	۴/۲۹	۵	۴۹۷/۹۹۶ - ۰/۰۰۰
	تأثیر مصالح بر کاهش نویز	۳۸۴	۴/۴۴	۰/۶۵۶	۳۸۳	۰/۰۰۰	۴/۶۸	۶	

کیفیت / متغیرها	آزمون‌ها	شاخص‌های توصیفی			آزمون t تک‌نمونه‌ای			آزمون رتبه‌بندی فریدمن		
		N	M	SD	T	Df	Sig	میانگین رتبه	رتبه بندی رضایت	آماره خی دو- سطح معناداری
	ارتباط حجم با وضوح صدا	۳۸۴	۳/۴۲	۰/۹۸۲	۸/۳۱۵	۳۸۳	۰/۰۰۰	۲/۷۵	۱	
	تأثیر سطوح صاف بر انعکاس صدا	۳۸۴	۳/۵۹	۰/۸۰۶	۱۴/۳۰۴	۳۸۳	۰/۰۰۰	۲/۹۹	۲	
	تأثیر مبلمان در جذب صدای مزاحم	۳۸۴	۳/۶۱	۱/۰۵۳	۱۱/۴۳۳	۳۸۳	۰/۰۰۰	۳/۱۲	۳	
	تأثیر ابعاد فضا در تأمین آسایش	۳۸۴	۳/۶۹	۱/۰۰۷	۱۳/۳۷۶	۳۸۳	۰/۰۰۰	۳/۱۸	۴	
	نمرهٔ کل	۳۸۴	۳/۸۲	۰/۸۷	۲۰/۶۲	۳۸۳	۰/۰۰۰			
میزان رضایت مخاطبان از شرایط آکوستیکی ایستگاه‌های مترو		۳۸۴	۳/۷۷	۰/۹۲	۱۸/۲۳	۳۸۳	۰/۰۰۲			

جدول فوق (۸) نشان می‌دهد سطح معناداری برای متغیرها کمتر از ۵ درصد است بنابراین فرض صفر رد می‌شود. در رابطه با میزان رضایت کلی مخاطبان از شرایط و عوامل آکوستیکی در ایستگاه‌های مترو (نمره کل)، نتایج نشان می‌دهد با توجه به مقدار T رضایت کلی مخاطبان از شرایط آکوستیکی ایستگاه‌های مترو (۱۸/۲۳)، تفاوت آماری معناداری بین میانگین رضایت کلی مخاطبان از شرایط آکوستیکی ایستگاه‌های مترو و میانگین نظری وجود دارد. همچنین مقدار میانگین رضایت کلی مخاطبان (۳/۷۷) از مقدار میانگین نظری پایین‌تر است و فرض پژوهش مبنی بر تفاوت بین این دو میانگین مورد تأیید بوده و می‌توان گفت میزان رضایت کلی مخاطبان از شرایط و عوامل آکوستیکی در ایستگاه های مترو، کمتر از سطح متوسط است.

نتایج آزمون رتبه‌بندی فریدمن و نیز ارزش میانگین با یکدیگر مشابه هستند بنابراین اولویت عوامل مورد بررسی بر میزان رضایتمندی به تفکیک گروه‌ها را چنین نشان می‌دهد.

- رتبه‌بندی آیتم‌های در**حوزهٔ کیفیت شنیداری** برای سنجش شرایط آکوستیکی و رضایتمندی مخاطبان به ترتیب: صدای تجهیزات، صدای زمینه، صدای قطار و صدای انسان‌ها است.
- در **حوزهٔ کیفیت گفتاری**: انعکاس صداها در فضا، وضوح پیام‌های صوتی در فضا، وضوح پیام‌های صوتی تلفن همراه و انعکاس گفتارها در فضا است.
- در **حوزهٔ کیفیت انسانی**: آسیب‌های جسمانی، روانی و شرایط فردی است.
- در **حوزهٔ کیفیت عملکردی**: ارتباط با دیگران، ایمنی و امنیت و تمرکز بر محیط است.
- در **حوزهٔ کیفیت طراحی معماری**: توجه به حجم فضا، استفاده از سطوح صاف و براق، نقش مبلمان نصب شده، ابعاد فضا، فرم و مصالح آکوستیکی است.

بررسی رابطهٔ معناداری بین شاخص‌های آکوستیکی با متغیرهای جمعیت‌شناختی با استفاده از آنالیز واریانس آنوا[1]

فرضیه: بین رضایت شنیداری مخاطبان از شرایط آکوستیکی ایستگاه‌های مترو با توجه به متغیرهای جمعیت‌شناختی آنها (جنس، سن، سطح تحصیلات، قشر، تعداد سفر، زمان و ساعت مراجعه، مقصد، همراهان و توانایی شنیداری)، تفاوت معناداری وجود دارد. چنانچه سطح معناداری برای هر یک از متغیرها کوچک‌تر از ۰/۰۵ باشد نشان‌دهنده وجود تفاوت معنادار بین متغیرهاست. در این آزمون فرض صفر عدم وجود تفاوت بین میانگین‌ها و فرض تحقیق مبنی بر وجود تفاوت بین میانگین‌ها است.

با بررسی‌هایی که انجام شد در کل می‌توان بیان کرد با توجه به مقادیر F بدست آمده در آنالیز واریانس آنوا، از بین متغیرهای جمعیت‌شناختی متغیرهای میزان تحصیلات، زمان مراجعه، قشر، مقصد، همراهان با شاخص‌های آکوستیکی رابطهٔ معناداری نداشته اما جنس، سن، شهر، ساعت مراجعه، تعداد سفرها و توانایی شنیداری هر فرد با رضایتمندی آکوستیکی او ارتباط دارد.

جدول ۹.آنالیز واریانس آنوا بر حسب متغیرهای جمعیت‌شناختی.

شاخص جمعیتی	F	سطح معناداری	رابطه
جنس	-۱/۱۲۸۴	۰/۴۱	دارد
سن	۷/۷۱۲۸	۰/۰۰۱۲	دارد
میزان تحصیلات	۳/۷۶۴	۰/۱۰	ندارد
شهر	۵/۴۶۰۲	۰/۰۱۱	دارد
زمان مراجعه	۱/۹۲۹۶	۰/۴۳۳۶	ندارد
ساعت مراجعه	۴/۲۹۵	۰/۰۰۲۸	دارد
تعداد سفرها	۸/۰۸۲۶	۰/۰۰۰	دارد
قشر	۳/۳۲۱۲	۰/۰۶۳۶	ندارد
مقصد	۴/۶۴۳۸	۰/۰۰۴۸	ندارد
همراهان	۴/۳۲۸	۰/۰۹۵۴	ندارد
توانایی شنیداری	۳/۹۲۸	۰/۰۴۲۶	دارد

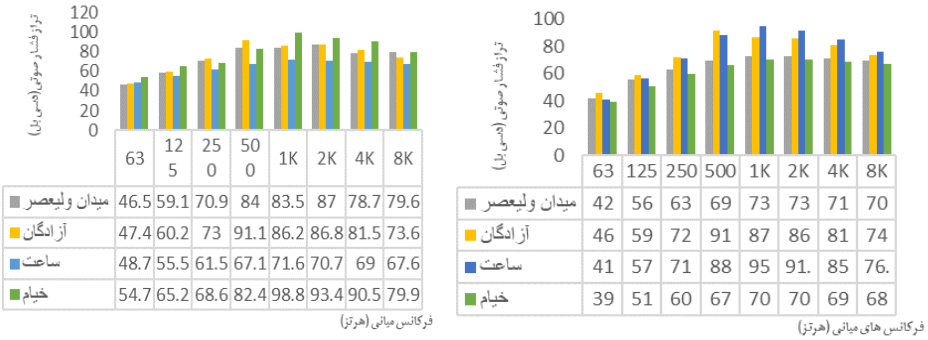
سنجش برداشت‌های میدانی

از آنجایی که تحقیقات ارزیابی متضمن سنجش و قیاس با داده‌های واقعی است. بدین منظور اقدام به اندازه‌گیری میدانی تراز فشار صوتی و زمان واخنش برای ارزیابی کمی آکوستیکی ایستگاه‌های مترو شده است. نمونه‌های مورد مطالعه از دو شهر تهران و تبریز انتخاب و با صوت‌سنج B&K ۲۲۶۰ در دو حالت ایستگاه خالی (بدون قطار) برای اندازه‌گیری نوفه زمینه و ایستگاه پر (با قطار) برای به‌دست آوردن حداکثر تراز فشار صوتی اندازه‌گیری شدند. همچنین با پخش صدای با دو شدت ۰ و ۱۰- برای اندازه‌گیری زمان واخنش استفاده شده است که در زیر نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری دو پارامتر کمی آکوستیکی آمده است:

[1] ANOVA

تراز فشار صوتی

در نمودارهای (۱) و (۲) تراز فشار صوتی در محدودهٔ فرکانس‌های میانی برای دو حالت ایستگاه خالی و ایستگاه پر در نمونه‌های موردی آمده است و همان‌طور که مشاهده می‌شود در هر دو حالت بالاترین تراز در فرکانس انسانی ۱۰۰۰ هرتز نزدیک ۱۰۰ دسی‌بل اندازه‌گیری شده است.



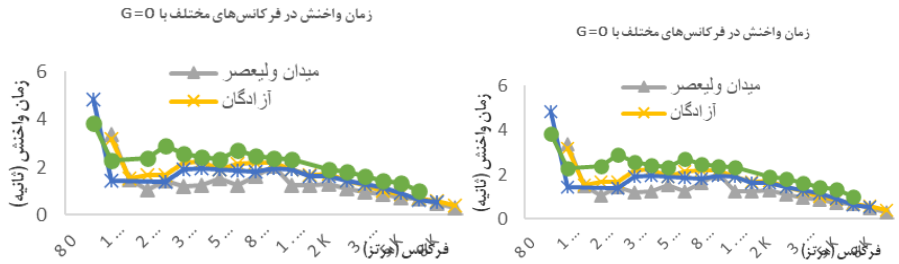
نمودار ۱و۲. تراز فشار صوتی سالن انتظار در محدودهٔ فرکانس‌های میانی در ایستگاه خالی (راست) و پر (چپ).

نمودارهای (۳) و (۴) حداقل، میانه و حداکثر تراز فشار صوتی در ایستگاه‌های مترو اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است ایستگاه‌ها در هر دو حالت و در مقادیر میانه و حداکثر در آستانه یا بالاتر از مقادیر استانداردهای بین‌المللی قرار گرفته‌اند.

نمودار ۳و۴. حداکثر، میانه و حداقل تراز فشار صوتی در فرکانس‌های میانی در دو حالت ایستگاه خالی (راست) و پر (چپ).

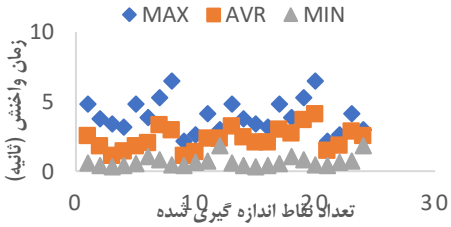
زمان واخنش

نمودارهای زیر زمان واخنش اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌ها را با دو شدت (G=۰, -۱۰) و در بازه فرکانس‌های باند اوکتاوی نشان می‌دهد. سیر نمودار در تمام ایستگاه‌ها یکسان بوده و تفاوت‌های اندکی وجود دارد. اما می‌توان گفت در محدودهٔ فرکانس‌های انسانی تمام ایستگاه‌ها بالاتر از ۱/۵ ثانیه زمان واخنش داشتند.



نمودارهای ۵ و۶. زمان واخنش در فرکانس‌های مختلف با G = ۱۰-,۰ در سالن انتظار ایستگاه‌های مورد بررسی.

در نمودار (۷) که مربوط به تجمیع حداقل، میانگین، حداکثر زمان واخنش است، مشاهده می‌شود حداقل زمان واخنش در بازه ۰ تا ۲ ثانیه است که فراوانی آن تا ۱ ثانیه بیشتر است. بازه میانگین زمان واخنش از حدود ۱ تا ۴ ثانیه بوده که در بازه ۱ تا ۳ ثانیه بیشترین فراوانی را دارد. بازه حداکثر زمان واخنش از حدود ۲ تا ۷ ثانیه است و تا ۵ ثانیه دارای فراوانی بیشتری است.



نمودار۷. تجمیع حداکثر، میانه و حداقل زمان واخنش در نمونه‌های موردی.

بحث و ارزیابی

آنچه در بخش یافته‌های تحقیق به‌دست آمد نشان‌دهنده این است که ایستگاه‌های مترو مورد مطالعه با وجود تفاوت در نوع و موقعیت ایستگاه‌ها، از نظر آکوستیکی در حالت ایده‌آل و بهینه قرار ندارند. چنانچه ایستگاه‌های مترو در حالت خالی یعنی بدون حضور قطار در سالن دارای نوفه ثابت بالاتر از استانداردهای بین‌المللی در حوزهٔ آلودگی صوتی (۵۵ دسی‌بل) قرار دارند و این با آسایش صوتی کاربران و به خصوص پرسنل در تناقض می‌باشد. این امر در سکوهای جزیره‌ای که منابع ثابت صوتی مانند سیستم‌های تهویه، وسایل ارتباطی بین طبقات همچون پله برقی و آسانسور در وسط سکوها می‌باشد بیشتر از سکوهای طرفینی است که این عوامل در خارج از محل‌های انتظار افراد قرار گرفته‌اند و توسط دیوارها پوشانده شده‌اند. وجود نوفه زمینه یا ثابت بیش از حد علاوه بر برهم زدن آسایش صوتی سبب ماسکه نمودن پیام‌های صوتی در مواقع اضطراری و ایجاد ترس، استرس و غیره می‌شود. حرکت قطار و صداهای ناشی از چرخ و ترمز قطار، منابع صوتی دینامیکی در ایستگاه‌های مترو هستند که اضافه شدن این‌گونه صداها بر نوفه زمینه، ایمنی و امنیت فضا را دچار خدشه می‌نماید. بالاترین تراز فشار صوتی زمانی اتفاق می‌افتد که قطار وارد ایستگاه شده و می‌ایستد و یا شروع به حرکت می‌کند تا از ایستگاه خارج شود. در این مواقع، استانداردهای بین‌المللی حداکثر ۸۰ تا ۸۵ دسی‌بل را قابل قبول می‌دانند که بر طبق سنجش‌های انجام گرفته نشان می‌دهد تراز فشار صوتی تا ۱۰۰ دسی‌بل در ایستگاه‌های مترو مورد بررسی وجود دارد که حتی کمتر از نوفه موجود برداشت شده است زیرا اندازه‌گیری حداکثر تراز فشار صوتی با توجه به سرعت

بالای قطار از لحظه ورود تا توقف امکانپذیر نبوده و باز شدن درب‌های قطار مقادیر قابل توجهی از صدا را جذب نموده و باعث کاهش تراز فشار صوتی می‌شود که دلیلی بر پایین بودن حداکثر تراز فشار صوتی در ایستگاه پر نسبت به ایستگاه خالی است.

محدوده شنوایی انسان در بازۀ بین فرکانس‌های میانی ۵۰۰ تا ۴۰۰۰ هرتز قرار دارد که با توجه به بالاتر بودن تراز فشار صوتی ایستگاه‌های مترو مورد مطالعه در این بازۀ فرکانسی و در هر دو حالت پر و خالی، رضایت آکوستیکی که برگرفته از پنج مؤلفه شنیداری، گفتاری، عملکردی، انسانی و معماری فضاست کاهش می‌یابد. انسان صداهای با فرکانس پایین از ۵۰۰ و بالاتر از ۴۰۰۰ هرتز را با شدت کمتری می‌شنود و هر چه به محدودۀ شنوایی نزدیکتر می‌شود میزان آزردگی ناشی از نوفه افزایش می‌یابد.

زمان واخنش به عنوان یکی از شاخص‌های اصلی در ارزیابی آکوستیکی و تعیین وضوح گفتار در فضا نقش مهمی دارد. هر چه انعکاسات صدا بیشتر باشد زمان طولانی‌تری برای قطع کامل صدا نیاز است و هر چه زمان واخنش بالاتر رود میزان فهم گفتار به خاطر تداخل کلمات کاهش می‌یابد. استانداردهای بین‌المللی APTA [1] زمان واخنش بهینه برای ایستگاه‌های مترو را حداکثر تا ۲ ثانیه مجاز دانسته و بالاتر از آن را غیر قابل قبول تلقی کرده است. نمودار (۷) نشان می‌دهد میانه و حداکثر زمان واخنش بالاتر از ۲ ثانیه بوده بنابراین زمان واخنش از نظر کمی بر طبق استانداردها و محدوده‌های متعارف غیراستاندارد است. از آنجایی که ایستگاه‌های مترو طول زیادی نسبت به عرض و ارتفاع دارند، با حرکت قطار و تولید صدا در حین حرکت امواج صوتی به سطوح صاف و صیقلی برخورد نموده و انعکاسات فراوانی در امتداد طولی فضا ایجاد می‌کنند که در این شرایط هر چقدر شدت پیام‌های صوتی را نیز افزایش دهند کلمات پخش شده از وضوح کافی برخوردار نبوده و افراد قادر به تشخیص و فهم اطلاعات نخواهند بود. این امر با کیفیت آکوستیکی و رضایتمندی کاربران فضا ارتباط مستقیمی داشته و می‌تواند یکی از عوامل نارضایتی و سردرگمی باشد.

چنانچه از طریق نظرسنجی نیز می‌توان این امر را اثبات کرد که افراد استفاده کننده از ایستگاه‌های مترو از نظر آکوستیکی رضایت‌خاطر ندارند و میزان رضایت آنان از کیفیت آکوستیکی متوسط رو به پایین ارزیابی شده است که این نارضایتی ناشی از عوامل مکانیکی، دینامیکی و انعکاس گفتار در فضا بوده و دیگر عوامل در مرتبه پایین‌تر قرار دارند. بنابراین نشان می‌دهد بالاتر بودن صدای زمینه، صدای قطار و زمان واخنش به لحاظ کمی با ارزیابی ذهنی نیز نتیجه یکسانی دارد.

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت نوفه و کنترل آن از روش ترکیبی برای ارزیابی، سنجش شرایط و میزان رضایتمندی آکوستیکی در ایستگاه‌های مترو بهره گرفته شده است. وجود کیفیت آکوستیکی در ایستگاه‌های مترو از مهمترین عوامل ایجاد ایمنی و آسایش کاربران به شمار می‌رود ولی بر طبق نظرسنجی انجام گرفته میزان رضایت کلی مخاطبان از شرایط و عوامل آکوستیکی در ایستگاه های مترو، کمتر از سطح متوسط به‌دست آمده است.

مؤلفه‌های فیزیکی در ارزیابی کمی- عینی و مؤلفه‌های انسانی در ارزیابی کیفی- ذهنی از شرایط محیطی کاربرد دارند. وضوح گفتاری که در اثر نوفه یا بالا بودن تراز فشار صوتی از بین می‌رود در واقع عملکرد و کیفیت محیط را تحت تأثیر قرار داده و سبب ایجاد نارضایتی در کاربران می‌شود. سردرد، گیجی، ناخوانایی، عدم ارتباط با دیگران و تمرکز بر محیط، کاهش شنوایی و غیره از آسیب‌های جسمانی و روانی ناشی از نوفه تجهیزات، حرکت و ترمز قطارها، مؤلفه‌های انسانی، انعکاس تمام صداها در فضاهای حجیم و در نظر نگرفتن سطوح آکوستیکی در طراحی‌های معماری است.

[1] American Public Transportation Association

در بحث کیفی آکوستیک همان‌طور که گفته شد عوامل متعددی اثرگذار هستند. در این پژوهش با توجه به شرایط فردی و محیطی کاربران، پنج مؤلفه‌ی شنیداری، گفتاری، انسانی، عملکردی و معماری در رابطه با کیفیت صوتی ایستگاه‌های مترو نظرسنجی شد و متغیرهای هر یک از مؤلفه‌ها مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفته و رتبه‌بندی شدند اما آنچه اهمیت دارد تطبیق داده‌های حاصل از برداشت صوتی در ایستگاه‌های مترو با نظرات کاربران فضاها است که نشان می‌دهد که ایستگاه‌های مترو مورد مطالعه از نظر فشار صوتی و زمان واخنش بالاتر از استانداردهای بین‌المللی بوده و از نظر آکوستیکی غیر قابل قبول هستند. کیفیت صوتی آنان در سطح پایینی قرار دارد و نارضایتی افراد را به دنبال دارد. در ایستگاه‌های جزیره‌ای بنا بر وسعت، نوع قرارگیری سکو و وسایل ارتباطی و تهویه در فضا، امکان کنترل و کاهش نوفه محدودتر از سکوهای طرفینی است و با توجه به کاربرد روزافزون این نوع سکوها در صنعت مترو، توجه فراوانی را می‌طلبد.

همان‌طور که بیان شد هدف از این تحقیق ارزیابی عینی و ذهنی رضایتمندی آکوستیکی در ایستگاه‌های مترو مورد مطالعه در جهت بهبود شرایط آنها بود که در واقع بهتر است قبل از اجرا و در مرحلهٔ طراحی شبیه‌سازی آکوستیکی صورت گرفته و نقاط حساس از نظر ایمنی و نقاط کور از نظر شنوایی شناسایی گردیده تا در راستای حل مشکل آکوستیکی آنها راهکارهایی ارائه شود که بر اساس اولویت‌ها و رتبه‌بندی‌هایی که کاربران در تعیین متغیرهای آکوستیکی مؤثر در ایجاد رضایت شنیداری عنوان کردند می‌توان وضعیت ایستگاه‌های مترو را بهبود بخشید. اما در کل پیشنهاد می‌گردد به منظور کاهش و کنترل نوفه بر طبق نوع معماری فضا، از عناصر معماری که حجم فضا و زمان واخنش را کاهش می‌دهند بیشتر استفاده گردد. مصالحی که ضرایب جذب پایینی دارند تا حد امکان به کار گرفته نشوند. سطوح متخلخل، حفره‌دار و نیز جذب‌کننده‌های خاص افزایش یابند و همچنین فرم‌هایی که صداها را متمرکز می‌کنند کمتر استفاده شوند تا مانع خروج صداهای اضافی نشوند.

References

[1] Genuit, K. (1996). Objective evaluation of acoustic quality based on a relative approach. *Proceedings-Institute Of Acoustics*, *18*, 3233-3238. https://www.researchgate.net/publication/267400527_OBJECTIVE_EVALUATION_OF_ACOUSTIC_QUALITY_BASED_ON_A_RELATIVE_APPROACH

[2] Wang, L. K., Pereira, N. C., & Hung, Y-T. (2005). *Advanced air and noise pollution control*. Humana. https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-59259-779-6

[3] Poll, H. F. P. M. V. (1997). *The perceived quality of the urban residential environment: a multi-attribute evaluation* [Doctoral, University of Groningen]. Netherlands. https://research.rug.nl/en/publications/the-perceived-quality-of-the-urban-residential-environment-a-mult

[4] Maekawa, L. (2010). *Environmental and architectural acoustics* (M. Shah Verdian, Trans.). University publishing center. https://www.adinehbook.com/gp/product/9640113776/ref =qs

[5] Berardi, U., Giordano, G., & Iannace, G. (2015, August 9-12). *Acoustic characteristics of four subway stations in Naples, Italy*. The 44th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, San Francisco, California, United States of America. https://www.researchgate.net/publication/282186553_Acoustic_Characteristics_of_Four_Subway_Stations_in_Naples_Italy

[6] Maag, T., Bosshard, A., & Anderson, S. (2021). Developing sound-aware cities: a model for implementing sound quality objectives within urban design and planning processes. *Cities & Health*, *5*(1-2), 103-117. https://doi.org/10.1080/23748834.2019.1624332

[7] American National Standards Institute. (1983). *American National Standard Specification for Sound Level Meters* (ANSI S1.4-1983). ANSI. https://webstore.ansi.org/standards/asa/ansis11983r20064a1985

[8] Yilmazer, S., & Bora, Z. (2017). Understanding the indoor soundscape in public transport spaces: A case study in Akköprü metro station, Ankara. *Building Acoustics*, *24*(4), 325-339. https://doi.org/10.1177/1351010X17741742

[9] Lindvall, T., & Radford, E. P. (1973). Measurement of annoyance due to exposure to environmental factors: The fourth Karolinska institute symposium on environmental health. *Environmental Research*, *6*(1), 1-36. https://doi.org/10.1016/0013-9351(73)90014-5

[10] Kang, J. (2006). *Urban sound environment*. Chemical Rubber Company Press. https://doi.org/10.1201/9781482265613

[11] Shobeiri Nejad, M. (2009). *Managing the sound landscape of the city with the help of urban design. Guide to urban design focused on the sound landscape* [Master, Shahid Beheshti]. Tehran, Iran. https://ganj.irandoc.ac.ir//#/articles/6f6844198e441127e8f783a3cdb90ce6

[12] Dargheh, M. (2005). *The Sound and Light Engineering in Architecture*. Hejbar. https://www.adinehbook.com/gp/product/9647279191/ref=qs

[13] Jakovljevic, B., Paunovic, K., & Belojevic, G. (2009). Road-traffic noise and factors influencing noise annoyance in an urban population. *Environment International*, *35*(3), 552-556. https://doi.org/10.1016/j.envint.2008.10.001

[14] Marzban, M., Eghbali, S. R., & Asadi Malekjahan, F. (2022). Explaining key technological factors affecting the future of the construction industry using structural analysis. *Karafan Quarterly Scientific Journal*,-(-), -. https://doi.org/10.48301/kssa.2022.334225.2046

[15] Mirzababaloo, R., & Iravani, H. (2022). Architectural Design Principles in the Acoustic Performance of Studios. *Karafan Quarterly Scientific Journal*, *18*(4), 363-374. https://doi.org/10.48301/kssa.2021.270094.1364

[16] Sajjadian, S. M., Tupenaite, L., & Barlow, C. (2021). Four angles of using timber in tall buildings. In J. Littlewood, R. J. Howlett, & L. C. Jain (Eds.), *Sustainability in Energy and Buildings 2020 (Smart Innovation, Systems and Technologies, 203)*. Springer. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-8783-2_15

[17] Taghipour, A., Sievers, T., & Eggenschwiler, K. (2019). Acoustic comfort in virtual inner yards with various building facades. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(2), 1-20. https://doi.org/10.3390/ijerph16020249

[18] Long, M. (2005). *Architectural acoustics*. Elsevier. https://www.elsevier.com/books/architectural-acoustics/long/978-0-08-052755-0

[19] Thomas, P., Aletta, F., Vander Mynsbrugge, T., Filipan, K., Dijckmans, A., De Geetere, L., Botteldooren, D., Petrovic, M., De Vriendt, P., & Van De Velde, D. (2018, May 27-31). *Evaluation and improvement of the acoustic comfort in nursing homes: a case study in Flanders, Belgium.* 11th European congress and exposition on Noise Control Engineering (Euronoise 2018). Ceret, Greek island. https://www.researchgate.net/publication/325451514_Evaluation_and_improvement_of_the_acoustic_comfort_in_nursing_homes_a_case_study_in_Flanders_Belgium

[20] 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. *Noise Mapping*, *3*(1), 264-273. https://doi.org/10.1515/noise-2016-0018

[21] Battaglia, P. L. (2014, October 27-31). *Achieving acoustical comfort in restaurants.* 168th Meeting of the Acoustical Society of America, Indianapolis, Indiana. https://doi.org/10.1121/2.0000019

[22] Kang, J., & Zhang, M. (2010). Semantic differential analysis of the soundscape in urban open public spaces. *Building and Environment*, *45*(1), 150-157. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.05.014

[23] Yang, W., & Kang, J. (2005). Acoustic comfort evaluation in urban open public spaces. *Applied Acoustics*, *66*(2), 211-229. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2004.07.011

[24] Harvie-Clark, J., & Hinton, R. (2021, June 14-17). *The value of control for acoustic satisfaction in open plan offices: a case study*. The 13th International Commission on Biological Effects of Noise Congress on Noise as a Public Health Problem, Karolinska Institutet, Stockholm, Swede. https://doi.org/10.25144/13757

[25] Haapakangas, A., Hongisto, V., Eerola, M., & Kuusisto, T. (2017). Distraction distance and perceived disturbance by noise—An analysis of 21 open-plan offices. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *141*(1), 127-136. https://doi.org/10.1121/1.4973690

[26] Hanc, M-L. (2019). *Productivity and wellbeing in the 21st century workplace: Implications of choice* [Doctoral, University College London]. England, United Kingdom. https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10073396/1/MH_Final-thesis-approved_26April2019.pdf

[27] Ghotbi, M. R., Monazzam, M. R., Baneshi, M. R., Asadi, M., & Fard, S. M. B. (2012). Noise pollution survey of a two-storey intersection station in Tehran metropolitan subway system. *Environmental Monitoring and Assessment*, *184*(2), 1097-1106. https://doi.org/10.1007/s10661-011-2024-8

[28] Wu, Y., Kang, J., & Zheng, W. (2018). Acoustic environment research of railway station in China. *Energy Procedia*, *153*, 353-358. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.10. 038

[29] Wu, Y., Kang, J., Zheng, W., & Wu, Y. (2020). Acoustic comfort in large railway stations. *Applied Acoustics*, *160*, 107137. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.107137

[30] Liu, C., Kang, J., & Xie, H. (2020). Effect of sound on visual attention in large railway stations: A case study of St. Pancras railway station in London. *Building and Environment*, *185*(1), 107177. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107177

[31] Indrayani, Yani, M., Amiruddin, A., Arnita, & Billy. (2020, November 3). *Analysis of train noise level at bandar khalipah station, deli serdang using sound level meter 130 dB*. The 2nd International Conference on Sciences and Technology Applications, Medan City, Indonesia. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1811/1/012017

[32] Salahshour, N. (2010). *Architectural design of urban train stations*. Karvar. https://www.adinehbook.com/gp/product/6005476095/ref=qs