Journal of Health and Safety at Work 2022; 12(3): 459-482

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Different Colors of Noise and Their Application in Psychoacoustics: A Review Study

Shoaib Ghasemi[1], Fatemeh Fasih-Ramandi[2], Mohammad Reza Monazzam-Esmaeelpour[2], Soheila Khodakarim Ardakani [3*]

[1] Student Research Committee, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[2] Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[3] Department of Biostatistics, School of Health and safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Received: 2020-10-27 Accepted: 2022-6-20

ABSTRACT

Introduction: The study of noise has always been of interest to occupational health professionals as a harmful physical factor in the workplace. However, the psychological and psychoacoustic aspects of noise in the workplace have been less studied. This study has dealt with different colors of noise and their applications in psychoacoustics.

Material and Methods: This review study was conducted by searching the databases of Google Scholar, ProQuest, Science Direct, PubMed, and Scopus to extract the articles related to the research subject within a 50-year interval from 1970 to 2020.

Results: Based on the results of the present study, colored noises and white noise seem to have the potential to be used as acoustic stimuli to improve the sleep of employees, especially shift workers, to improve memory and attention, especially in jobs that require high care and attention. Colored noise and white noise have potential applications to improve cognitive function in different occupations to reduce the activity of the sympathetic nervous system and anxiety and stress, especially in jobs with high job stress. Also, these noises are helpful for people's privacy, especially in the open workplace, for noise masking and noise control purposes, as well as for medicine and treatment of disorders such as tinnitus, ADHD, and hyperacusis.

Conclusion: Paying attention to the colors of noise and their psychoacoustic impacts shows us that the noise impacts are not limited to their undesirable and damaging effects. Instead, their positive and applied aspects should also note. Familiarity with such aspects and their introduction can identify the existing information gaps in this field and pave the way to fill them.

Keywords: *Noise, Colors of noise, White noise, Psychoacoustic, Occupational health*

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Ghasemi Sh, Fasih-Ramandi F, Monazzam-Esmaeelpour MR, Khodakarim Ardakani S. Different Colors of Noise and Their Application in Psychoacoustics: A Review Study. J Health Saf Work. 2022; 12(3): 459-482.

1. INTRODUCTION

The study of noise has always been of interest to occupational health professionals as a harmful physical factor in the workplace. The focus on the physical aspects of noise, such as power, pressure, and intensity of sound, and the study of auditory and physiological effects of exposure to it, has been considered in many studies and evaluations related to employees' health. However, the psychological and psychoacoustic aspects of noise in the workplace have been less studied. Contrary to the impression that the effects of noise were limited to unpleasant and harmful effects, sometimes positive psychoacoustic effects are also expected.

* Corresponding Author Email: *skhodakarim@sums.ac.ir*

Copyright © 2022 The Authors.
Published by Tehran University of Medical Sciences

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.3.7]

Identifying the types of noise, especially its different colors, is necessary to identify these effects. Hence, the present study, as a review one, introduces types of sound focusing on the different colors of noise, their properties, and characteristics, and also application potentials in psychoacoustic fields and occupational health.

2. MATERIAL AND METHODS

This review study was conducted by searching the databases of Google Scholar, ProQuest, Science Direct, PubMed, Scopus, Iranian Scientific Information Database (SID), Magiran, and IranDoc to extract the articles related to the research subject within a 50-year interval since 1970 to 2020.

In this study, keywords included noise, psychoacoustic, types of noise, colored noise, sound quality, white noise, pink noise, purple/violet noise, blue/azure noise, red/brown noise, gray noise, black noise, orange noise, green noise, industrial noise, and so on. The present study studied original, review, and systematic review articles, case controls, and leading articles. The inclusion criterion was at least one keyword in the title, abstract, and keywords of articles for selecting them. Since the article focused mainly on the types of noise and their different colors and applications in the psychoacoustic field, the studies on colors of noise in the fields related to geophysics, electronics, climate, computer sciences, and other unrelated fields were excluded. Finally, after the summarization and final selection, 49 out of 72 searched articles in the full text were included by the inclusion and exclusion criteria.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In the discussion on signal processing, noise can have different statistical properties commensurate with its source and production method, classified based on these statistical properties. Among the most important characteristics are the power spectral densities (power distribution in frequency spectrum), which are the most crucial determining parameter of the noise color. The most well-known color of noise is the white noise, of which the power spectrum is within the wide frequency range, and it is so-called because of its similarity to the visible frequency spectrum in white noise. Colored noises exist in various types: pink, brown/red, blue/azure, violet/purple, grey, orange, green and black. These colors are obtained through the subtraction process of white noise using the band-pass filters and mathematical calculations, each of which has its properties and application.

The difference in the power spectral density and consequently in the color of noise waves results in wide applications. In recent decades, concepts on the color of sound and its application have expanded in different sciences such as medical, psychological, psychoacoustic, ergonomic sciences, and control engineering. Therefore, the color of noise and its types is a multidisciplinary subject. Some colors are more associated with the medical sciences, while others are applied in other sciences. These results are summarized in Table 1. As is seen in this table, among the different colors of noise, white, pink, and grey noises seem to be more applied in psychoacoustic sciences. Although till this study, the information on other

Table 1. Colors of noise and frequency content and their application

Colors of noise	Frequency content	Application
White noise	1	Noise masking, study of natural sounds, medicine and treatment of tinnitus and ADHD, improve sleep and privacy, improve cognitive function, emergency vehicle, building acoustics and modeling of environmental phenomena
Violet / Purple noise	f^2	When very high energy is required at high frequencies
Blue / Azure noise	f	Audio programs for Dithering, computer graphics
Pink noise	1/f	Noise masking, sound engineering and testing of sound systems, ecological and biological systems, medicine and induction of hormone secretion, psychoacoustics and induction of sleep, improving attention and concentration and memory
Brown / red noise	$1/f^2$	Studies on natural noise, climate, meteorology and astronomy
Gray noise	-	Psychoacoustic equal loudness curve, Hyperacusis
Unofficial colors (Orange, red, green, black)	-	Music, background noise of the world, environmental process modeling, active noise control system

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.3.7]

noises, mainly purple, and their application in psychoacoustic, have been limited. However, based on what is expressed as the study findings in the field of noise application in a workplace, colored noises and white noise can be potentially applied as acoustic stimuli to improve the sleep status of employees, especially shift workers. They can help enhance the status of memory, attention, and focus, particularly in jobs needing high accuracy and attention, improve people's cognitive function in different occupations, and reduce the activity of the sympathetic nervous system, anxiety, and stress, especially in particular highly-stressed jobs. Also, they keep the people's privacy, particularly in working stations next to each other. Furthermore, noise-masking properties and application in sound control objectives can be helpful for the medical field and treatment of disorders such as Tinnitus, ADHD, and hyperacusis. We hope researchers will consider the issues existed in research and applied fields in future studies.

4. CONCLUSION

This review study has discussed the different colors of noise and their applications from a psychoacoustic point of view. Based on the findings, noise impacts are not limited to the auditory and physiological effects, and the more attention to its physical quantity in the workplace does not suffice. However, it is necessary to consider the qualitative and psychoacoustic noise criteria as a critical issue for the researchers. Paying attention to the colors of noise and their psychoacoustic impacts shows us that the noise impacts are not limited to their undesirable and damaging effects. Instead, their positive and applied aspects should also note. Familiarity with such aspects and their introduction can identify the existing information gaps in this field and pave the way to fill them.

5. ACKNOWLEDGMENT

This study is related to project NO. 1399/60929 From Student Research Committee, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

We also appreciate the "Student Research Committee" and "Research & Technology Chancellor" at Shahid Beheshti University of Medical Sciences for their financial support of this study.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.3.7]

رنگ‌های مختلف صدا و کاربرد آن‌ها از دیدگاه سایکوآکوستیک: مطالعه مروری

شعیب قاسمی[۱]، فاطمه فصیح رامندی[۲]، محمدرضا منظم اسماعیل پور[۲]، سهیلا خداکریم اردکانی[۳]*

[۱] کمیته پژوهشی دانشجویان، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

[۲] گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

[۳] گروه اپیدمیولوژی، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۰۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۳۰

چکیده

مقدمه: مطالعه بر روی صدا به عنوان یک عامل فیزیکی زیان آور در محیط کار همواره مورد توجه متخصصان بهداشت حرفه ای بوده است. لیکن، جنبه های روانی و سایکوآکوستیکی صدا کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. از این رو، مطالعه حاضر به رنگ‌های مختلف صدا و کاربرد آن‌ها در حوزه سایکوآکوستیک پرداخته است.

روش کار: پژوهش حاضر یک مطالعه مروری است که با جستجو در پایگاه‌های اطلاعاتی Google Scholar، PubMed، Science Direct، ProQuest و Scopus برای استخراج مقالات مرتبط با موضوع تحقیق در فاصله زمانی ۵۰ ساله از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۲۰ انجام شد.

یافته ها: بر اساس نتایج پژوهش، به نظر می‌رسد صداهای رنگی و نیز صدای سفید، پتانسیل کاربرد بعنوان محرک های آکوستیکی در زمینه بهبود وضعیت خواب شاغلین به ویژه نوبت کاران، بهبود وضعیت حافظه، توجه و تمرکز به ویژه در مشاغل نیازمند به دقت و توجه بالا، بهبود عملکرد شناختی افراد در مشاغل مختلف، کاهش فعالیت سیستم اعصاب سمپاتیک و اضطراب و استرس به ویژه در مشاغل با استرس شغلی بالا، حفظ حریم خصوصی افراد بخصوص در ایستگاه های کاری در مجاورت یکدیگر، خاصیت پوشانندگی صدا و کاربرد در اهداف کنترل صوت و نیز درمان اختلالاتی چون بیماری تینیتوس، ADHD و هایپراکوزیس و غیره را دارا می باشند.

نتیجه گیری: توجه به رنگ‌های صدا و تأثیرات سایکوآکوستیکی آن نشان می‌دهد که اثرات صدا محدود به اثرات نامطلوب و مخرب آن نمی باشد. بلکه، جنبه های مثبت و کاربردی آن نیز می بایست مورد توجه قرار گیرد. آشنایی با چنین جنبه ها و معرفی آنها می تواند خلأهای اطلاعاتی موجود در این زمینه را شناسایی و راه را برای مرتفع کردن آنها هموار نماید.

کلمات کلیدی: *سروصدا، رنگ‌های صدا، صدای سفید، سایکوآکوستیک، بهداشت حرفه‌ای*

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: *skhodakarim@sums.ac.ir*

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.3.7]

مقدمه

از دیرباز صدای (سروصدا[1]) محیط به‌عنوان یک عامل زیان‌آور فیزیکی در محیط‌های کاری و زندگی افراد شناخته شده است که می‌تواند علاوه بر مشکلات جسمی و روانی، مشکلاتی در آسایش و راحتی افراد ایجاد نماید. همه ما حداقل یک مورد از اختلال خواب و اختلال در توجه و تمرکز که به دلیل صداهای محیط اطراف ایجاد شده است را در طول زندگی خود تجربه کرده‌ایم. بااین‌وجود علیرغم تصوری که از صدا به‌عنوان یک عامل مختل‌کننده خواب وجود دارد، به‌وفور تجربه شده است که مسافران در قطار، مترو یا هواپیما که اغلب به‌عنوان محیط‌های پر سروصدا شناخته می‌شوند خواب خوبی دارند. از طرف دیگر بسیاری از صداها در طبیعت وجود دارد که علیرغم شدت‌های نسبتاً بالا، نه‌تنها برای انسان آزاردهنده نیستند، بلکه اثرات آرامش‌بخش و لذت‌بخشی را به ارمغان می‌آوردند، مانند صدای امواج دریا، پرندگان، رودخانه‌های جاری و غیره (۱, ۲). همچنین ورود مباحث مربوط به محرک‌های آکوستیکی در علوم پزشکی و روان‌شناسی (۳-۵) و نیز بحث مربوط به کنترل فعال صوت و عملیات پوشانندگی صدا (۶-۸)، همواره مؤید این واقعیت است که در به‌کارگیری واژه "صدا/سروصدا"، به نظر می‌رسد توجه صرف به ویژگی‌های فیزیکی و کمی آن گمراه‌کننده باشد، به‌ویژه در محیط‌های شغلی که اغلب معیارهای کمّی چون تراز فشار، شدت و توان صوت مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. از طرف دیگر، تجربه مطالعات مختلف بر روی صداها و انواع آن، ثابت کرده است که صداهای مختلف ممکن است اثرات متفاوتی بر سیستم شنوایی، فیزیولوژیکی و عملکرد مغز انسان یا حیوان داشته باشد (۹, ۱۰)، که این اثرات گاه ناخوشایند و آسیب‌رسان و گاه اثرات مثبت و بهبوددهنده سلامت را دارا بوده است. به‌عنوان نمونه، نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که صداهای ثابت و یکنواخت می‌تواند اثرات مثبت بر خواب داشته باشد و انسان راحت‌تر به آن عادت می‌کند و خواب راحت‌تری خواهد داشت، درحالی‌که صداهای متناوب چنین نیستند و به‌عنوان یک عامل منفی بر خواب تلقی می‌شوند (۱, ۲). ابرهارت و همکاران مطالعه‌ای در بررسی تأثیر صدای مداوم و متناوب ناشی از ترافیک جاده‌ای بر مراحل مختلف خواب انجام و نشان دادند که نوع صدا و شدت آن اثرات متفاوتی بر مراحل خواب و بیدار شدن دارد (۱۱). بنابراین آنچه به نظر دارای اهمیت می‌رسد آشنایی با انواع صدا، ماهیت هر یک و کاربردهای آن در مباحث مربوط به سایکوآکوستیک[2] است.

سایکوآکوستیک یک رشته علمی است که دارای پیشینه بیش از ۲۵۰۰ سال می‌باشد. از زمان فیثاغورث مباحث مربوط به سایکوآکوستیک مطرح شد و سایکوآکوستیک مدرن نیز با الهام از روش‌هایی که فیثاغورث اعمال کرده بود و با به‌کارگیری الگوریتم‌های پیشرفته پردازش سیگنال به ارزیابی کیفیت صدا و اثرات روانی آن می‌پردازد. در سایکوآکوستیک صدا به‌عنوان یک محرک فیزیکی وارد عمل می‌شود و اثرات ذهنی و درک ناشی از آن مورد قضاوت قرار می‌گیرد (۱۲). به‌عبارت‌دیگر سایکوآکوستیک معیارهای کیفی صدا را مورد ارزیابی قرار می‌دهد، معیارهایی چون بلندی[3]، تیزی[4]، زبری[5]، قدرت نوسان[6] و رنگ صدا. معیارهای کیفی صدا برای بیان احساس ذهنی افراد نسبت به صدا و درواقع برای درک رابطه پیچیده مقادیر فیزیکی و ادراکی صدا است. به بیان ساده‌تر سایکوآکوستیک، ویژگی‌های فیزیکی صدا را به احساس و درک برخاسته از آن مربوط می‌سازد و درک ذهنی انسان از صداهایی که به گوش می‌رسند را مورد ارزیابی قرار می‌دهد (۱۳). رنگ صدا یکی از مهم‌ترین ارکان مطرح در سایکوآکوستیک می‌باشد. اصطلاح رنگ صدا برای اشاره به صداهایی با نسبت لگاریتمی قدرت به فرکانس استفاده می‌شود و غالباً از طیف معادل فرکانس‌های امواج نور نشأت می‌گیرد (۲). آشنایی با رنگ‌های مختلف صدا و پتانسیل‌های کاربردی آن می‌تواند توجه محققان به‌ویژه محققان حوزه سلامت

1 Noise

2 Psychoacoustic
3 Loudness
4 Sharpness
5 Roughness
6 Fluctuation strength

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.3.7]

شغلی را به جنبه‌های مثبت صدا معطوف نماید.

مرور ادبیات و تحقیقات صورت گرفته در حوزه صدا به‌ویژه توسط پژوهشگران بهداشت حرفه‌ای کشور چه در محیط‌های صنعتی و چه در محیط‌زیست مؤید آن است که تمرکز بسیاری از این تحقیقات بر جنبه‌های فیزیکی و اثرات شنوایی صدا بوده است (۱۴, ۱۵) و توجه به مسائل روانی و سایکوآکوستیکی در کمتر مطالعه‌ای به چشم می‌خورد (۱۶, ۱۷). درزمینهٔ مبحث مربوط به رنگ صدا و انواع آن نیز تا زمان انجام مطالعه حاضر، مطالعه‌ای در کشور یافت نشد. این در حالی است که توجه به مسائل روان‌شناختی از قبیل بهبود توجه و تمرکز، کیفیت خواب، کاهش حواس‌پرتی و آسایش صوتی کارکنان شاغل در محیط‌های صنعتی و اداری همواره از دغدغه‌های متخصصان بهداشت حرفه‌ای، ایمنی و ارگونومی می‌باشد و عدم توجه بر این مسائل می‌تواند زمینه‌ساز خطرات مرتبط با سلامت و ایمنی کارکنان باشد و از طرفی نیز کاهش بهره‌وری در محیط‌های شغلی را به همراه داشته باشد. بنابراین نظر به مباحث عنوان‌شده، آنچه مسلم و مستلزم توجه می‌باشد، آشنایی با انواع صدا و کاربرد آن از دیدگاه سایکواکوستیک می‌باشد؛ تا بتوان از این طریق در جهت کاهش اثرات روانی صداهای ناخواسته و به‌تبع آن بهبود عملکرد افراد در محیط‌های اداری، شغلی و حتی محیط زندگی افراد بهره برد. لذا مطالعه حاضر در قالب یک مطالعه مروری به معرفی انواع صدا با تمرکز ویژه بر رنگ‌های مختلف صدا، خصوصیات و ویژگی‌های آن‌ها و نیز کاربردشان در حوزه سایکوآکوستیک، پرداخته است.

روش کار

پژوهش حاضر یک مطالعه مروری می‌باشد که با جستجو در پایگاه‌های اطلاعات Google Scholar، PubMed، Science Direct،ProQuest، Scopus، پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)، پایگاه نشریات کشور(Magiran) و پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (IranDoc) به‌منظور استخراج مقالات مرتبط با موضوع تحقیق در بازه زمانی ۵۰ ساله از سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۲۰ انجام شد. در این مطالعه، جستجو با کلیدواژه‌های فارسی چون سروصدا، نوفه، صدای صنعتی، رنگ صدا، انواع صدا، سایکوآکوستیک، آکوستیک روانی، روانشناسی صدا، صدای سفید، کیفیت صدا، کنترل صدا، پوشش صدا، صداهای رنگی (صورتی، بنفش، قرمز، آبی، قهوه‌ای و غیره) و کلیدواژه‌های انگلیسی چون Noise، Psychoacoustic، Types of noise، Colored noise، Sound quality، White noise، Pink noise، Purple/ violet noise ، Blue / Azure noise، Brown / red noise، Gray noise، Black noise، Orange noise، Green noise، Industrial noise و غیره انجام شد. ازآنجایی‌که تمرکز اصلی مطالعه بر روی رنگ‌های مختلف صدا بود و بر اساس نتایج جستجو تعداد مقالات نسبتاً کمی در این زمینه در دسترس بود از فهرست منابع مقالات موردبررسی نیز برای یافتن مجلات و مقالات مرتبط با هدف مطالعه استفاده شد.

در این مطالعه مقالات اصیل، مروری، مرور نظام‌مند، مورد شاهدی و سرمقاله موردبررسی قرار گرفتند، مواردی از قبیل کتاب، نامه به سردبیر، نامه به نویسندگان، یادداشت نویسندگان، موارد خبری، کلام آخر و متون عمومی موردبررسی قرار نگرفتند. معیار ورود به مطالعه داشتن حداقل یکی از کلیدواژه‌ها در بخش عنوان، چکیده و واژگان کلیدی مقالات برای گزینش آن‌ها در نظر گرفته شد. برای نیل به این هدف و گزینش درست مقالات، مروری اجمالی از طریق خواندن عنوان، چکیده و واژگان کلیدی به عمل آمد. نظر به اینکه تمرکز مقاله بر انواع صدا و رنگ‌های مختلف آن و کاربرد آن‌ها در حوزه سایکوآکوستیک بود، مطالعاتی که به موضوع رنگ صدا در زمینه‌های مربوط به ژئوفیزیک، الکترونیک، اقلیم و هواشناسی، علوم کامپیوتری و دیگر زمینه‌های غیر مرتبط با موضوع مطالعه پرداخته بودند، از روند مطالعه خارج شدند. درنهایت پس از جمع‌بندی و گزینش نهایی، از بین ۷۲ مقاله جستجو شده به‌صورت متن کامل و مطابق با معیارهای ورود و خروج مطالعه، درمجموع تعداد ۴۹ مقاله

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.3.7]

وارد مطالعه شدند. مقالات انتخاب‌شده بر اساس نوعِ رنگ صدا دسته‌بندی و بخش‌های مختلف مقاله به‌طور دقیق موردبررسی قرار گرفت و استخراج اطلاعات انجام شد.

یافته ها

ماهیت صدا و انواع آن (Noise)

Noise یا سروصدا که در این مطالعه به‌اختصار صدا نامیده می‌شود، یک نوع نوسان تصادفی است که ویژگی اغلب سیستم‌های فیزیکی در طبیعت می‌باشد. در اکثر زمینه‌های علمی، صدا به‌عنوان یک بی‌نظمی ظاهری یا بی‌نظمی دوره‌ای در نظر گرفته می‌شود (۱۸). از سال ۱۸۲۶ علاقه به مطالعه بر روی حرکت براونی که به‌طور غیرمستقیم تأییدکننده وجود اتم‌ها و مولکول‌ها بوده و متعاقب آن مطالعه بر روی صدا و نوسانات تصادفی، افزایش یافته است (۱۹, ۲۰). به‌طوری‌که امروزه در بسیاری از علوم ازجمله آکوستیک، الکترونیک، ارتباطات، بیولوژی و اکولوژی و بسیاری از علوم دیگر تمایل به تجزیه‌وتحلیل نوسانات تصادفی مشهود است. این نوسانات ناخواسته در علوم الکترونیک به‌عنوان هرگونه اختلال در سیگنال‌های الکتریکی، در علوم ارتباطات به‌عنوان انرژی‌های مزاحم و عامل خطا و در سایر علوم نیز اغلب به‌عنوان هر نوع سیگنال غیرمفید که در اثر تداخل دمایی، آلودگی، پرتوها، فاز ماده و غیره نشات گرفته، در نظر گرفته می‌شوند (۱۹). بااین‌وجود، بسته به شرایط، اثرات صدا می‌تواند متفاوت باشد، صدا در برخی موارد عملکرد سیستم را بهبود می‌بخشد و به‌اصطلاح اثر سازنده دارد و بالعکس در برخی موارد اثرات آن مخرب و ویران‌کننده است (۱۹, ۲۱). بنابراین همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، صدا یک مفهوم کلی است که سنجش الگوهای سیگنال آن می‌تواند اطلاعات ارزشمندی از عملکرد یک سیستم را نشان دهد (۱۹, ۲۰). لیکن آنچه در این بررسی به آن پرداخته شده است، مفهوم صدا از دیدگاه آکوستیک و سایکوآکوستیک می‌باشد.

با ورود ماشین‌آلات و تجهیزات صنعتی به محیط کار و زندگی افراد، توجه به صدا و اثرات آن بر سلامت بیش‌ازپیش موردتوجه قرار گرفت. به‌طوری‌که آلودگی صوتی ناشی از صدا در صنایع و محیط‌زیست به شناخته‌شده‌ترین زمینه مطالعاتی و به‌عنوان یکی از مهم‌ترین معضلات پیش‌رو در جوامع انسانی تبدیل شد. همچنین، صدا به‌عنوان پدیده‌ای ناخواسته و ناخوشایند که موجب صدمات جسمی و روانی بر انسان ازجمله افت شنوایی دائم و موقت، اختلال در سیستم تعادلی بدن، ایجاد ناراحتی‌های عصبی و روانی، کاهش بازده کار و افزایش ریسک حوادث و آثار فیزیولوژیکی چون افزایش ضربان قلب، فشارخون، مصرف اکسیژن و غیره می‌شود، موردمطالعه قرار گرفت (۲, ۲۲, ۲۳). از طرفی نیز، گزارش‌هایی از تأثیر صدا بر سیستم قلبی عروقی، سیستم حرکتی، سیستم غدد درون‌ریز و عملکردهای حسی به‌غیراز اثرات شنوایی آن مورد تأیید متخصصان قرار گرفت (۱۸, ۲۴, ۲۵). به همین ترتیب طی سالیان متمادی روند مطالعات حوزه صدا و اثرات آن بر انسان به سمت اثرات مخرب آن پیش رفته که البته امری بدیهی و لازم‌الاجرا می‌باشد و دست‌آوردهای کنونی در حوزه آکوستیک و کنترل صوت نیز مرهون نتایج چنین تحقیقات ارزشمندی بوده است (۱۰, ۱۵, ۲۶-۳۷). لیکن باید متذکر شد که صدا محدود به اثرات مخرب در محیط‌های صنعتی نمی‌باشد و همان‌طور که نتایج مطالعات در حوزه موسیقی‌درمانی و سایکوآکوستیک نشان داده است (۳۸-۴۱)، می‌توان از جنبه‌های مثبت صدا نیز بهره گرفت.

در رابطه با صدا و انواع آن طبقه‌بندی‌های مختلفی ارائه شده است (۱۹). مواردی چون صدای دوره‌ای یا غیر دوره‌ای، یکنواخت یا غیریکنواخت، طبیعی یا صنعتی، پیوسته یا ضربه‌ای و غیره همگی از طبقه‌بندی‌های مختلف صدا است که به‌خوبی نزد متخصصان ایمنی و بهداشت حرفه‌ای شناخته‌شده می‌باشد. لیکن، تقسیم‌بندی دیگری از صدا نیز موجود است که بر اساس رنگ آن بوده و صدا را در دو گروه صدای سفید و صداهای رنگی قرار می‌دهد. صدای سفید صدایی که در تمام فرکانس‌ها از قدرت یکسانی برخوردار است و صدای رنگی صدای غیر سفید یا هرگونه صدایی که طیف آن دارای شکل

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.3.7]

غیر مسطح است، می باشد (۴۲, ۴۳). صدای سفید در حیطه صداهای پایدار و صدای رنگی مانند صدای صورتی در حیطه صداهای یکنواخت یا صدای با باند پهن قرار می‌گیرد که در فرکانس‌های پایین با نور صورتی قابل قیاس است (۳, ۴۴). در ادامه بیشتر به مفهوم رنگ صدا و انواع آن پرداخته می‌شود.

رنگ صدا

در بحث مربوط به پردازش سیگنال، صدا می‌تواند ویژگی‌های آماری متفاوتی متناسب با منبع و نحوه تولید آن داشته باشد، که بر اساس همین ویژگی‌های آماری نیز طبقه‌بندی می‌شود. یکی از مهم‌ترین این خصوصیات، چگالی طیفی توان[7] (توزیع نیرو در طیف فرکانس) می‌باشد، که به‌عنوان مهم‌ترین پارامتر تعیین‌کننده رنگ صدا نیز شناخته می‌شود. رنگ‌های مختلفی که برای صدا تعریف شده است، برخی به دنیای فیزیکی و مادی و برخی دیگر به زمینه‌های روانی و سایکوآکوستیکی مرتبط می‌باشند (۱۹). شناخته‌شده‌ترین رنگ صدا "صدای سفید" است که طیف توان آن در دامنه فرکانسی مسطح است و به دلیل شباهت آن به طیف فرکانس‌های قابل‌مشاهده در نور سفید، به این اسم نام‌گذاری شده است. در یک دیدگاه کلی، اغلب نام‌های رنگی که برای صدا مورداستفاده قرار گرفته است از قیاس بین طیف فرکانس‌های امواج صدا و طیف معادل فرکانس‌های امواج نور ناشی شده است. به این معنی که اگر الگوی امواج یک رنگ خاص از صدا به امواج نور ترجمه شوند، نور حاصل به همان رنگ خواهد بود. صداهای رنگی انواع مختلفی دارند که شامل صدای صورتی، قهوه‌ای/ قرمز، آبی/ لاجوردی، بنفش/ ارغوانی، خاکستری، نارنجی، سبز و سیاه می‌باشند. این رنگ‌ها از طریق فرآیند تفریق از صدای سفید با استفاده از فیلترهای باند گذر و محاسبات ریاضیاتی حاصل می‌شوند و هریک ویژگی‌ها و کاربرد خاصی دارند. به‌عنوان نمونه صدای صورتی برای توصیف صداهای با فرکانس پایین، صدای آبی برای توصیف فرکانس‌های بالا و صدای قهوه‌ای برای صداهایی با طیف مرتبط با حرکت براونی مورداستفاده قرار می‌گیرد. واژه‌نامه ارتباطات از راه دور استاندارد فدرال C1037 نیز طبقه‌بندی از رنگ صدا ارائه می‌دهد که در آن به صدای سفید، صورتی، آبی و سیاه اشاره شده است (۴۵-۴۷).

همان‌طور که پیش‌تر نیز بیان شد، چگالی طیفی توان به‌عنوان مهم‌ترین ویژگی در مدل کردن رنگ‌های مختلف صدا مورداستفاده قرار می‌گیرد. چگالی طیفی به توزیع قدرت سیگنال‌های صدا می‌پردازد و با بهره‌گیری از قاعده توان صوت، قدرت سیگنال نسبت به فرکانس را نشان می‌دهد. به‌این‌ترتیب که اگر مشابه با آنچه برای طیف امواج نور لحاظ شده است، طیفی از رنگ‌ها برای امواج صدا نیز در نظر گرفته شود، چگالی توان صداهای مختلف در پهنای باند فرکانسی از قاعده f^{β} در یک انتهای طیف و قاعده $1/f^{\beta}$ در انتهای دیگر آن تبعیت می‌کند. در این مدل، مقادیر β بین ۰ تا ۲ متغیر می باشد. β برابر با صفر که منجر به چگالی توان برابر با ۱ می‌گردد، متعلق به صدای سفید بوده و در مرکز طیف قرار می‌گیرد. سراسر طیف بر اساس مقادیر β از صدای بنفش تا صدای قرمز/ قهوه‌ای متفاوت خواهد بود. به‌عنوان‌مثال، در نسبت $1/f^{\beta}$، اگر β برابر با ۱ باشد، بیانگر صدای صورتی و اگر در همان نسبت، β برابر با ۲ باشد نشان‌دهنده صدای قهوه‌ای می‌باشد. درنتیجه، صداهای صورتی، قهوه‌ای و قرمز متعلق به خانواده صداهای $1/f$ و صداهای بنفش، ارغوانی و آبی متعلق به خانواده صداهای f در نظر گرفته می‌شوند (۴۸, ۴۹).

درزمینهٔ صداهای صنعتی نیز، برخی از محققان پیشنهاد کرده‌اند که به‌منظور توصیف راحت‌تر، صدای صنعتی به‌عنوان صدای سفید در نظر گرفته شود. درحالی‌که برخی دیگر خاطرنشان کرده‌اند که صدای رنگی نزدیک‌تر به واقعیت می‌باشد. بنابراین این سؤال که آیا صداهای صنعتی، صدایی سفید یا رنگی و یا ترکیبی از هر دو می‌باشند، همچنان بدون پاسخ باقی‌مانده است (۵۰). بااین‌وجود در رابطه با رنگ صدا و تولید آن، مطالعات ارزشمندی در دست می‌باشد (۱۹, ۴۳). برخی

7 Power spectral densities

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.3.7]

از محققان الگوریتم‌های پیچیده‌ای را برای تولید دقیق سیگنال صداهای شناخته‌شده (صدای سفید، صورتی و قهوه‌ای) پیشنهاد کرده و ویژگی‌های آن‌ها را موردمطالعه قرار داده‌اند (۵۰). لابلون و شامپاین در مطالعه خود از صداهای رنگی در تقویت سیگنال‌های گفتار و بهبود عملکرد سیستم‌هایی چون هدفون و هندزفری[8] که به‌طور قابل‌توجهی عملکردشان در محیط‌های صوتی نامطلوب تنزل می‌یابد استفاده کرده‌اند و نشان داده‌اند که بهره‌گیری از صداهای رنگی در تقویت گفتار و بهبود عملکرد چنین سیستم‌هایی شایسته است (۹, ۵۱). همچنین، از صدای سفید و صداهای رنگی در زمینه‌های مختلف علوم مانند پزشکی، روان‌شناسی، سایکوآکوستیک و مهندسی کنترل صوت استفاده شده است که در ادامه به آن‌ها پرداخته می‌شود.

صدای سفید (White Noise)

صدای سفید نوعی از صداست که از ترکیب شدن صداهایی با فرکانس‌های متفاوت ایجاد می‌شود و انرژی آن به‌طور آماری، در باندهای تفاضلی یکسان برابر است. اگر تمام صداهای قابل‌تصور که یک انسان می‌تواند بشنود با همدیگر ترکیب شوند، صدای سفید ایجاد خواهد شد. صفت سفید به دلیل شباهت آن به نور سفید که تمامی طول‌موج‌های مرجع نور (رنگ‌ها) را دارا می‌باشد، برای توصیف این نوع صدا که تمامی فرکانس‌های مختلف صوتی را شامل می‌شود، استفاده می‌شود (۱۹, ۴۴). صدای سفید نمونه مهمی از صدای با طیف پیوسته است و در یک مفهوم کلی برای توصیف هر فرآیندی که ارکان آن به به‌طور یکسان اما به ترتیب غیرقابل‌پیش‌بینی اتفاق می‌افتد، استفاده می‌شود (۵۲).

انسان در طول زندگی خود، به‌صورت آگاه یا ناخودآگاه، به‌کرات از صدای سفید استفاده کرده است (۵۲). به‌عنوان نمونه، زمانی که افراد در یک هتل مشغول استراحت هستند و صداهایی از اتاق‌های مجاور آرامش آن‌ها را به هم می‌زند، معمولاً با روشن کردن یک پنکه، به خواب و استراحت خود کمک می‌کنند و یا در ظهر تابستان زمانی که کولر روشن است، افراد خواب باکیفیت‌تری خواهند داشت. همچنین، معمولاً زمانی که افراد تحت تأثیر صدای ناشی از بارش باران یا امواج دریا قرار می‌گیرند، احساس آرامش بیشتری خواهند داشت. پنکه و کولر با ایجاد صدای سفید، صداهای مزاحم اطراف را حذف یا پوشش می‌دهند. برای توضیح بهتر، به این مثال توجه کنید؛ زمانی که دو نفر هم‌زمان با شما در حال صحبت هستند، مغز شما می‌تواند حرف‌های یکی از آن‌ها را دنبال کند و اگر سه نفر با شما صحبت کنند نیز این جریان صادق است. ولی تصور کنید هزار نفر به‌صورت هم‌زمان با شما در حال صحبت هستند، در این حالت مغز شما قادر به تشخیص درست هیچ صدایی نخواهد بود. در مورد پنکه و کولر نیز جریان همین‌طور است، پنکه یا کولر هزار نوع فرکانس صوتی مختلف ایجاد می‌کند که با صدای اتاق‌های مجاور، به اصطلاح هزار و یک نوع صدا می‌شود، بنابراین مغز شما از دنبال کردن صدای اتاق‌های مجاور ناتوان می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، باوجود صدای سفید و تأثیر پوشانندگی[9] آن، صداهای دیگر نمی‌توانند به مغز نفوذ کنند (مگر اینکه شدت آن‌ها بیشتر باشد)، و درنتیجه افراد خواب راحت‌تر و آرامش بیشتری خواهند داشت (۸, ۵۳, ۵۴).

صداهایی از قبیل صدای آژیر آمبولانس، بوق خطر، تصادم امواج دریا، بارش باران، فعالیت هواکش، کولر و پنکه و نیز صدای استاتیک تلویزیون[10]، همگی نمونه‌هایی ساده و ملموس از صدای سفید هستند (۶, ۴۴, ۵۳, ۵۵). بااین‌حال، فیزیکدانان و تکنسین‌های صدا از تعریف بسیار مشخص‌تری استفاده می‌کنند. آن‌ها بیان می‌کنند که، صدای سفید ترکیبی از سیگنال‌های تصادفی است که دارای چگالی طیفی مسطح و شدت یکسان در کل محدوده فرکانس‌های قابل‌شنیدن (۲۰ تا ۲۰۰۰۰ هرتز) می‌باشد. به‌عبارت‌دیگر، پهنای باند صدای سفید نامحدود است و برای کاربردهای صوتی تا حد بالاترین فرکانس قابل‌شنیدن استفاده می‌شود. انرژی صدای سفید در تمام

8 Hands-free telephony

9 Masking noise

10 Television static

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.3.7]

فرکانس‌ها یکسان و طیف آن خطی است. به‌عنوان‌مثال انرژی تمام فرکانس‌هایی که در محدوده ۴۰ الی ۶۰ هرتز قرار دارند با انرژی فرکانس‌هایی که در محدوده ۴۰۰۰ تا ۴۰۲۰ هرتز قرار دارند، برابر است. ازآنجایی‌که این صدا شامل ترکیبی از فرکانس‌های شنیداری است، اغلب از آن برای پوشش صداهای دیگر استفاده می‌شود و دستگاه‌ها و سیستم‌های صوتی مختلفی نیز بر این اساس ساخته شده است (۴۴).

صدای سفید به دلیل رفتار و ویژگی‌های خاص آن، کاربردهای متفاوتی در علوم مختلف دارد (۴۳). از مدت‌ها قبل صدای سفید برای کمک به کودکان و بزرگ‌سالانی که از بیماری وزوز گوش یا تینیتوس[11] رنج می‌بردند، استفاده شده است (۴۴). بیماری تینیتوس اختلالی است که در آن نوعی صدای زنگ زدن، وزوز و یا صداهای دیگر در گوش احساس می‌شود، بدون اینکه منبع صدای خارجی وجود داشته باشد. این اختلال بسیار آزاردهنده و غیرقابل‌تحمل برای فرد به‌خصوص در هنگام خواب می‌باشد. برای درمان این بیماری از نوعی سمعک خاص استفاده می‌شود که به‌طور دائم فرکانس‌های صوتی خاصی (صدای سفید) ایجاد می‌کند که باعث کمتر شنیده شدن صداهایی می‌شود که بیمار در گوش خود احساس می‌کند (۱۶, ۵۶-۵۸). مشابه این سمعک‌ها که به‌طور ویژه به‌عنوان ماسکرهای وزوز گوش[12] نیز شناخته می‌شوند، دستگاه‌هایی جهت بهبود وضعیت خواب و حفظ حریم خصوصی افراد ساخته شده است که در آن‌ها از صدای سفید به‌عنوان رایج‌ترین منبع صدای مصنوعی استفاده می‌شود (۶, ۴۳, ۵۴). همچنین در آژیرهای وسایل نقلیه اضطراری برای کمک به یافتن آسان‌تر آمبولانس، اتومبیل‌های پلیس و آتش‌نشانی از صدای سفید، با توجه به ویژگی آن در حذف صداهای زمینه‌ای استفاده می‌شود (۴۴). در آکوستیک ساختمان نیز از صدای سفید در سیستم آدرس‌دهی عمومی (PA[13]) استفاده می‌شود، به‌این‌ترتیب که به‌منظور برقراری حالت تعادل صوتی در یک اتاق، ساختمان یا سالن کنفرانس، صدای سفید به نقاط مختلف ساختمان ارسال می‌شود و مهندس ارزیاب می‌تواند آکوستیک ساختمان را موردبررسی قرار دهد. از صدای سفید در شبیه‌سازی زلزله، مدل‌سازی شرایط جاده و سیستم تعلیق خودرو و بسیاری از علوم دیگر استفاده شده است (۴۳). در علوم پزشکی و بهداشت نیز از صدای سفید کاربردهای زیادی به چشم می‌خورد. به‌طوری‌که پژوهش‌هایی تأثیر صدای سفید را در بهبود خواب، توجه، تمرکز و حافظه موردمطالعه قرار داده‌اند (۵, ۵۹-۶۱). در مطالعاتی نیز اثرات مثبت صدای سفید بر عملکرد شناختی افراد و بهبود اختلال توجه و بیش‌فعالی (ADHD[14]) مورد تأیید قرار گرفته است (۴۳, ۶۲).

در همین راستا، استانچینا و همکاران در سال ۲۰۰۵ مطالعه‌ای با هدف بررسی تأثیر صدای سفید بر خواب بیماران بستری در بخش ICU انجام دادند. در این مطالعه از صدای سفید با شدت ۶۲ دسی‌بل، در یک محیط شبیه‌سازی‌شده آزمایشگاهی که در آن صدای ضبط‌شده ICU پخش می‌شد، استفاده کردند؛ و آزمایش‌های پلی‌سومنوگرافی[15] را تحت شرایط اعمال یا عدم اعمال صدای سفید، به‌منظور بررسی تأثیر آن اجرا کردند. نتایج مطالعه نشان داد که صدای سفید با کاهش تفاوت بین صدای زمینه و صدای پیک، آستانه برانگیختگی را در افراد عادی که در معرض صدای ضبط‌شده ICU قرار داشتند، افزایش داد. به‌عبارت‌دیگر، اضافه کردن صدای سفید به اتاق فرد، به‌طور قابل‌توجهی اختلال خواب را که ناشی از صدای ضبط‌شده در ICU بود، کاهش داد و مشخص شد که باوجود صدای سفید، خواب افراد تکمیل‌تر و برانگیختگی ناشی از صدا، بسیار کمتر اتفاق می‌افتد (۵). تأثیر صدای سفید بر خواب نوزادان تازه متولدشده (بین ۲ تا ۷ روز سن) نیز توسط اسپنسر و همکاران موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در پاسخ به صدای سفید ۸۰ درصد نوزادان گروه هدف، ظرف ۵ دقیقه به خواب رفتند، درحالی‌که تنها ۲۵ درصد از نوزادان گروه کنترل طی این مدت، به‌طور خودبه‌خود به

11 Tinnitus
12 Tinnitus masker
13 Public Addressing
14 Attention Deficit / Hyperactivity Disorder
15 Polysomnography

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]
[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.3.7]

خواب رفتند. بنابراین اعمال صدای سفید در اتاق‌خواب نوزادان، احتمال خوابیدن آن‌ها را بیش از سه برابر افزایش می‌دهد و می‌تواند برای مادرانی که با مسئله دشواری خواب نوزاد روبه‌رو هستند، کمک‌کننده باشد (۴۲). در مطالعه دیگری از صدای سفید در بررسی حافظه ضمنی[16] افراد مبتلابه اختلال هراس[17] استفاده شد. در این مطالعه با اعمال صدای سفید در شدت‌های مختلف، حافظه ضمنی آزمودنی‌ها (بیماران) و گروه کنترل پس از شنیدن یک سری جملات خنثی و جملات هراس‌آور، موردمطالعه قرار گرفت. آزمودنی‌ها می‌بایست جملات را می‌شنیدند و تکرار می‌کردند و پاسخ آن‌ها به‌منظور بررسی دقت در تکرار جملات ضبط می‌شد. نتایج نشان داد که با اعمال صدای سفید، جملات خنثی با دقت بیشتری نسبت به جملات هراس‌آور تکرار می‌شدند و نیز دقت تکرار جملات تحت صدای سفید با شدت‌های کم، بیشتر از شدت‌های بالا بود. در مقایسه آزمودنی‌ها با گروه کنترل نیز مشخص شد که آزمودنی‌ها پاسخ مثبتی نسبت به گروه کنترل در سوگیری حافظه ضمنی نشان دادند. بنابراین، نتایج این مطالعه از سودمندی صدای سفید به‌عنوان یک معیار اندازه‌گیری حافظه ضمنی در بیماران اختلال هراس پشتیبانی می‌کند (۶۳).

کاربرد صدای سفید در بررسی عملکردهای شناختی و حافظه در مطالعات دیگر نیز موردتوجه قرار گرفته است. بطوریکه سودرلوند و همکاران در سال ۲۰۱۰ از تأثیر صدای سفید بر عملکرد حافظه دانش‌آموزان بی‌توجه استفاده کردند. محققان این مطالعه از معیارهایی چون ماتریس پیشرونده ریون[18] در ارزیابی توانایی یادگیری و حل مسئله، ارزیابی حافظه کوتاه مدت و حافظه کاری، ارزیابی بیش فعالی[19]، مهارت خواندن و عملکرد در مدرسه برای ارزیابی وضعیت حافظه و توجه دانش‌آموزان استفاده کردند. همه شرکت‌کنندگان می‌بایست یک آزمون فراخوان اپیزودیک (مکرر) کلامی را انجام می‌دادند که در آن ترکیبی از جملات اسمی-فعلی، تحت شرایط صدای کم (بدون اعمال صدای سفید) و صدای زیاد (صدای سفید با شدت ۷۸ دسی‌بل) برای افراد خوانده می‌شد. نتایج مطالعه نشان داد که مواجهه با صدای سفید عملکرد کودکان بی‌توجه را بهبود بخشید، لیکن باعث افت عملکرد در کودکان دیگر (کودکان بدون مشکل کمبود توجه) شد و اختلاف حافظه اپیزودیک بین کودکان عادی و کودکان بی‌توجه را حذف کرد. بنابراین، داده‌های این مطالعه مشخص کرد که عملکرد شناختی می‌تواند با تحریک به‌وسیله صدای سفید در مشارکت‌کنندگان بی‌توجه تعدیل شود (۶۲). پیش‌تر نیز در مطالعه‌ای که در سال ۱۹۹۳ انجام شد، تأثیر صدای سفید بر گفتار و عملکرد شناختی افراد موردمطالعه قرار گرفت. بطوریکه در این مطالعه عملکردهای حافظه کوتاه‌مدت، بلندمدت و یادگیری به‌عنوان متغیرهای وابسته و ۵ نوع صدا که یکی از آن‌ها صدای سفید بود، به‌عنوان متغیرهای مستقل مورد آزمون قرار گرفتند. نتایج مربوط به بررسی صدای سفید نشان داد که این نوع صدا باعث افزایش عملکرد در کارهایی با نیازهای حافظه کوتاه‌مدت ترتیبی می‌شود (۶۴).

فرضیه‌هایی از تأثیر صدای سفید بر تقویت عملکرد حافظهٔ شناختی و تعدیل فعالیت مغزمیانی و بخش دوپامینرژیک و درنتیجه بهبود حافظه و یادگیری مطرح است. بر این اساس، یافته‌های پژوهشی نشان داد که پردازش اطلاعات ذهنی را می‌توان با افزودن سطح بهینه‌ای از صدای سفید تسهیل نمود. بطوریکه اثرات مثبت این صدا بر یادگیری، به تعدیل نورونی دوپامینرژیک و تقویت اتصال بین مغزمیانی و شیار فوقانی قشر گیجگاهی که یک بازیگر کلیدی در تعدیل تمرکز است، بستگی دارد (۶۵). بنایی‌زاده و همکاران نیز در مطالعه خود که در سال ۱۳۹۹ با هدف ارزیابی تأثیر صدای سفید بر یادگیری واژه‌های جدید، حافظه فعال دیداری و توجه انتخابی دانش‌آموزان انجام شد، نشان دادند که صدای سفید بر یادگیری واژه‌های جدید در دانش‌آموزان ابتدایی تأثیر معناداری دارد و می‌توان برای افزایش یادگیری دانش‌آموزان در مقطع ابتدایی از صدای

16 Implicit memory bias
17 Panic disorder
18 Raven's progressive matrices test
19 Hyperactivity

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.3.7]

سفید استفاده کرد (۶۱). پیش‌تر نیز آنگوین و همکاران بیان کرده بودند، افرادی که حین یادگیری لغات جدید به صدای سفید گوش می‌دهند بسیار دقیق‌تر از کسانی که در سکوت مطالعه می‌کنند، لغات را به خاطر می‌آورند (۶۶). همچنین هریسون و کِلی در مطالعه خود که به ارزیابی تأثیر مواجهه با صدای سفید به‌عنوان یک شرایط حسی جدید بر عملکرد شناختی و پاسخ قلبی عروقی در افراد جوان و بزرگ‌سال پرداختند، به این نتیجه رسیدند که اعمال صدای سفید (۸۰ دسی‌بل) در مقایسه با تست در محیط آرام (۵۲ دسی‌بل) عملکرد شناختی افراد (هم جوانان و هم افراد بزرگ‌سال) را بهبود می‌بخشد (۶۷). نتایج برخی از مطالعات نیز مؤید آن بوده است که صدای سفید همراه با طنین آرام‌بخش خود می‌تواند باعث کاهش فعالیت سیستم سمپاتیک گردد. بطوریکه تأثیر آن بر کاهش اضطراب در بیماران بستری در بخش مراقبت‌های ویژه قلبی و بیماران تحت بی‌حسی نخاعی در اتاق عمل به ترتیب در مطالعه محمودی در سال ۲۰۱۴ (۴) و سِنسِر و همکاران در سال ۲۰۱۰ (۶۸) مورد تأیید قرار گرفته است. فرخ نژاد افشار و همکاران نیز طی یک مطالعه نیمه‌تجربی، تأثیر صدای سفید بر علائم حیاتی بیماران سالمند بستری را موردبررسی قرار دادند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که پخش صدای سفید با شدت ۵۰ تا ۶۰ دسی‌بل در فضای واحد بستری می‌تواند منجر به کاهش معنادار تعداد ضربان قلب بیماران گردد (۶۹).

نظر به مباحث مطرح‌شده و با استناد بر نتایج مطالعات انجام‌شده، درزمینهٔ کاربرد صدای سفید در محیط‌های کار اداری و صنایع، کاربردهای مختلفی متصور است؛ خاصیت پوشانندگی صدای سفید و کاربرد آن در ماسکه شدن صداهای محیطی، می‌تواند به‌عنوان رایج‌ترین حیطه کاربرد صدای سفید در محیط کار مطرح باشد؛ لیکن، علیرغم مطالعات گسترده در سراسر جهان، در کمتر مطالعه‌ای در کشور موردتوجه قرار گرفته است. با توجه به معضل آلودگی صوتی در محیط‌های شغلی که همواره دغدغه متخصصان بهداشت حرفه‌ای کشور بوده است، امید است که در مطالعات آینده به‌طور جدی‌تر به این موضوع پرداخته شود. کاربرد صدای سفید در بهبود و درمان بیماری‌ها (بیماری تینیتوس و اختلال توجه و بیش‌فعالی)، به‌ویژه برای شاغلینی که از این بیماری‌ها رنج می‌برند، می‌تواند راه‌گشا و به‌عنوان یک اقدام کنترلی و درمانی موردتوجه قرار گیرد. از طرفی نیز بهبود وضعیت خواب، حافظه، توجه و تمرکز که براساس نتایج مطالعات، به‌عنوان دست‌آوردهای به‌کارگیری صدای سفید ذکر شده است، می‌تواند درزمینهٔ بهداشت حرفه‌ای و حفظ سلامت شاغلین بسیار موردتوجه باشد. به‌عنوان نمونه، کاربرد صدای سفید در بهبود کیفیت و کمیت خواب نوبت‌کاران در مراکز بهداشتی-درمانی و بیمارستان‌ها و نیز صنایعی که کارکنان به‌صورت شیفتی مشغول فعالیت می‌باشند، به نظر می‌رسد که می‌تواند نقش مؤثری بر کاهش اختلال خواب و خستگی مفرط و به‌تبع آن کاهش مشکلات مربوط به فرسودگی شغلی و استرس ناشی از کار را به همراه داشته باشد. همچنین، از خواص آرامش‌بخش صدای سفید می‌توان به‌عنوان یک راهکار کنترلی در کاهش استرس و اضطراب در مشاغلی که کارکنان از استرس ناشی از شغل رنج می‌برند استفاده کرد. از سویی نیز، کاربرد صدای سفید در بهبود توجه، تمرکز و حافظه در مشاغل نیازمند به‌دقت بالا مانند مونتاژ، کنترل عملیات و فرآیند، تأسیسات هسته‌ای و تسلیحاتی، رانندگی در خطوط هوایی، زمینی و دریایی و غیره و نیز مشاغلی که در آن‌ها خطای انسانی، غفلت و حواس‌پرتی ممکن است پیامدهای غیرقابل جبرانی به همراه داشته باشد، می‌تواند به‌عنوان یک زمینه مطالعاتی در تحقیقات آتی موردتوجه محققان این حوزه قرار گیرد.

صدای صورتی (Pink Noise)

صدای صورتی، صدای سوسو زدن[20]، یا صدای 1/f نوعی نوسان است که چگالی قدرت آن به‌طور معکوس متناسب با فرکانس است و انرژی آن به‌طور آماری، در باندهای هندسی یکسان برابر است. نام صدای صورتی از طیف توان آن در نور مرئی اقتباس شده است، چراکه

20 Flicker

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.3.7]

صدای صورتی شبیه به نوری است که به سمت پایین طیف نور مرئی متمایل است. صدای صورتی را می‌توان به‌وسیله عبور صدای سفید از یک فیلتر پایین گذر با شیب ۳ دسی‌بل در هر اکتاو و یا عبور از یک فیلتر صورتی[21] که هر چه فرکانس افزایش می‌یابد، انرژی بیشتری را از بین می‌برد، تولید کرد. طیف فرکانس صدای صورتی در فضای لگاریتمی خطی است و دارای دامنه‌ای ثابت در هر اکتاو از باند فرکانسی می‌باشد. چگالی توان صدای صورتی در مقایسه با صدای سفید، ۳ دسی‌بل در هر اکتاو کاهش می‌یابد (۱۹, ۴۴, ۷۰)؛ بنابراین، صدای صورتی شبیه صدای آبشار[22]، یا امواج در حال سقوط ساحل به نظر می‌رسد (۵۵).

صدای صورتی ازاین‌جهت که در آن همه فرکانس‌ها به‌طور یکسان اتفاق نمی‌افتند با صدای سفید تفاوت دارد، لیکن در مقایسه صدای سفید و صدای صورتی نمی‌توان گفت که صدای صورتی در تضاد کامل با صدای سفید است، چراکه هر دو صدای صورتی و صدای سفید حاوی تمامی فرکانس‌های قابل‌شنیدن در انسان هستند اما شیوه‌ای که قدرت سیگنال در بین فرکانس‌ها توزیع می‌شود متفاوت است. صدای سفید دارای قدرت برابر در تمام فرکانس‌ها است، درحالی‌که با افزایش فرکانس، قدرت در صدای صورتی کاهش می‌یابد. درنتیجه، فرکانس‌های پایین‌تر در صدای صورتی بلندتر و شفاف‌تر بوده و قدرت بیشتری نسبت به فرکانس‌های بالاتر در صدای صورتی و نیز قدرت بیشتری نسبت به فرکانس‌های پایین در صدای سفید دارند. به‌عبارت‌دیگر صدای صورتی بم‌تر از صدای سفید شنیده می‌شود و در طیف فرکانسی خود دارای شدت نزولی است. بااین‌حال، اکثر مردم صدای صورتی را یکنواخت[23] یا مسطح درک می‌کنند، زیرا قدرت برابر در هر اکتاو دارد (۴۳, ۵۵). همان‌طور که پیش‌تر نیز بیان شد برخلاف صدای سفید که در فضای خطی کار می‌کند، صدای صورتی در فضای لگاریتمی کار می‌کند، درنتیجه، همین تفاوت در نوع فضا باعث می‌شود که صداهای متفاوتی نسبت به یکدیگر تولید کنند. علاوه بر این، لگاریتمی بودن صدای صورتی باعث می‌شود که پهنای باند متناسبی در سراسر طیف داشته باشد. ازآنجایی‌که سیستم شنوایی انسان فرکانس‌ها را به‌صورت لگاریتمی پردازش می‌کند، ازاین‌رو صدای صورتی به‌مثابه صوت[24] در فرکانس‌های شنیداری انسان درک می‌شود. لذا گوش دادن به صدای صورتی جالب‌تر از گوش دادن به صدای سفید است (۶). از طرف دیگر، برخی از منابع، صدای صورتی (چگالی $1/f$) را واسطه‌ای بین صدای سفید، کمیتی با چگالی طیفی $1/f^0$ و صدای قهوه‌ای کمیتی با چگالی طیفی $1/f^2$ (در بخش‌های بعدی به‌تفصیل به آن پرداخته می‌شود) می‌دانند و نیز بیان می‌کنند که صدای سفید تغییرات سریع و تصادفی و صدای قهوه‌ای تغییرات آهسته و قابل پیش‌بینی را نشان می‌دهد، در حالیکه صدای صورتی دارای یک رفتار میانه با برخی از همبستگی‌ها در تمام مقیاس‌های زمانی است و تعادل بین تصادفی بودن و همبستگی را در کلیه مقیاس‌های زمان نشان می‌دهد (۵۲, ۵۵).

صدای صورتی به‌طور گسترده در رفتار زمانی سیستم‌های مختلف مانند لوله‌های خلاء، جریان رودخانه، جریان ترافیک، سریال‌های زمانی زیست‌محیطی (اکولوژیکی) و سیستم‌های بیولوژیکی تشخیص داده شده است. در حوزه آکوستیک نیز رفتار $1/f$ در تراکم طیفی-زمانی موسیقی، گفتار و صداهای مختلف طبیعی مشاهده شده است (۵۵, ۷۱). پژوهشی در سال ۲۰۱۵ با هدف بررسی صدای $1/f$ در برخی از صداهای طبیعی و شهری انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد که از بین صداهای مختلف موردبررسی (صدای جوی آب، رودخانه، امواج دریا، صدای باد در بین درختان، صدای پرندگان در جنگل، چمنزار، تالاب‌ها، زمین‌های کشاورزی و ساحل، صداهای ناقوس کلیسا، فواره‌ها، موسیقی خیابان، ماشین‌های نظافت خیابانی و بارگیری سطل‌های زباله، ماشین‌آلات ساختمانی، صدای ترافیک، صدای انسان در مناطق شهری) تنها صدای امواج دریا، صدای

21 Pinking filter
22 Waterfall
23 As being even
24 Sound

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]
[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.3.7]

پرندگان و صدای مناطق شهری مانند گفتار، ترافیک و صدای ماشین‌های نظافت خیابانی به‌طورکلی، رفتار صدای 1/f را در مقیاس زمانی کوتاه و یا متوسط نشان می‌دهند (۵۵). در حوزه سیستم‌های بیولوژیک نیز رفتار صدای صورتی موردبررسی قرار گرفته است. بطوریکه از سیگنال‌های ضربان قلب و فعالیت نورون‌ها به‌عنوان نمونه‌های بیولوژیک سیگنال‌های صدای صورتی نام برده شده است. گزارش‌های آزمایشگاه تحقیقاتی گیلدن که یک مرکز تحقیقاتی در دانشگاه آستین در تگزاس می‌باشد، الگوی ریتم ضربان قلب و جریان ترافیک را مشابه با الگوی سیگنال‌های صدای صورتی می‌داند (۱۹, ۴۴, ۷۰). صدای صورتی بر اساس فرضیه‌هایی به‌عنوان آنچه در سیگنال‌های مغزی اتفاق می‌افتد نیز بیان شده است (۴۷). از طرف دیگر، صدای صورتی به دلیل داشتن فرکانس‌هایی مشابه با فرکانس‌های قابل‌شنیدن برای انسان، صدایی مفید در کاربردهای سایکوآکوستیکی می‌باشد. به همین خاطر از صدای صورتی به‌عنوان محرکی مفید در ارزیابی‌های پزشکی و روان‌شناختی و نیز به‌عنوان سیگنالی کاربردی در آزمایش دستگاه‌های صوتی مانند بلندگوها و تقویت‌کننده‌ها در اتاق‌ها و سالن‌ها استفاده شده است. همچنین صدای صورتی اغلب به‌عنوان یک سیگنال مرجع در مهندسی صدا کاربرد دارد. در سال‌های اخیر نیز، صدای صورتی در محیط‌های تجاری رایج شده است، بطوریکه در کاربردهای مربوطه به پوشش صدا به‌ویژه کنترل صدای زمینه با فرکانس پایین با هدف افزایش بهره‌وری و تمرکز در بین کارکنان مورد استفاده قرار گرفته است (۱۹, ۴۴, ۷۰).

بر اساس بررسی‌های انجام‌شده در رابطه با ادبیات پژوهش، گمانه‌زنی‌هایی از تأثیر صدا بر القای ترشح هورمون‌ها به چشم می‌خورد. بطوریکه برخی مطالعات حیوانی به تأیید این موضوع پرداخته‌اند که سروصدا می‌تواند ترشح هورمون کورتیکوتروپین(ACTH[25]) را فعال کند (۷۲). لیکن در مطالعه انجام‌شده توسط براندنبرگر بر روی ۸ مرد که به ارزیابی اصلاح در الگوی زمانی سطح کورتیزول پلاسما در اثر مواجهه با صداهای مختلف به‌ویژه صدای صورتی با شدت، فرکانس و زمان مواجهه متفاوت پرداخته بود، مشخص شد که ارتباط آماری معنی‌داری بین مواجهه با صدای صورتی و غلظت کورتیزول پلاسما وجود ندارد. در این مطالعه از صدای صورتی با باند پهن (۲۰-۲۰۰۰۰ هرتز) در شدت‌های مختلف dB(A) ۹۶ و ۹۹ به‌صورت مداوم برای ۶۰ دقیقه و نیز شدت‌های dB(A) ۱۰۵ و ۴۵ به‌صورت متناوب (۱۰ ثانیه به ازای هر ۳۰ دقیقه) استفاده شد. همچنین اثر فرکانس نیز در یک‌سوم اکتاو در دو فرکانس مرکزی که ۴۰۰۰۰ و ۸۰۰۰ هرتز بود موردبررسی قرار گرفت. نحوه اجرای مطالعه به‌این‌ترتیب بود که بعد از اعمال صدا از طریق هدفون به گوش افراد تغییر در آستانه شنوایی و سطح کورتیزول پلاسما اندازه‌گیری می‌شد. درنهایت نتایج آزمون‌های آماری در بررسی ارتباط سطوح کورتیزول پلاسمایی و مواجهه با صدای صورتی، رابطه معنی‌داری را نشان نداد (۷۳). یافته‌های این مطالعه همسو با یافته‌های مطالعه فاوینو و همکاران بود که نشان دادند مواجهه با صدای صنعتی با شدت ۹۰ دسی‌بل به‌صورت مداوم و به مدت ۵ ساعت بر روی انسان، تنها تغییر بسیار جزئی در غلظت‌های کورتیزول پلاسما را باعث می‌شود (۷۴). بنابراین به نظر می‌رسد فرضیه مربوط به تأثیر صدا (صدای صورتی) بر القای ترشح هورمون‌ها در مطالعات حیوانی مغایر با مطالعات انجام‌شده بر روی انسان می‌باشد. شاید یکی از دلایل این مغایرت را بتوان به تفاوت در حساسیت شنوایی انسان نسبت به حیوان و عدم رعایت سطوح خطر آسیب شنوایی در مطالعات حیوانی نسبت به مطالعات انسانی نسبت داد.

یافته‌های محققان در دهه‌های اخیر مؤید آن بوده است که تحریک آکوستیک به خواب و حافظه کمک می‌کند (۷۵-۷۷). از صدای صورتی (مانند صدای سفید) به‌عنوان یک عامل محرک آکوستیکی در القای خواب، بهبود وضعیت حافظه، توجه و تمرکز در کودکان به‌ویژه افراد دچار اختلال ADHD استفاده شده است. بااین‌وجود، در رابطه با تأثیر صدای صورتی بر توجه و

25 Activate corticotropin

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.3.7]

تمرکز، به‌ویژه تأثیر آن بر بهبود وضعیت افراد مبتلا به اختلال ADHD اطلاعات ضدونقیض می‌باشد. در حالیکه برخی از مطالعات به تأیید تأثیر مثبت صدای صورتی بر توجه و تمرکز و بهبود عملکرد شناختی در افراد مبتلا به ADHD نسبت به گروه کنترل پرداخته‌اند، مطالعات دیگر حکایت از عدم تأثیر این نوع صدا بر وضعیت کودکان و بزرگسالان مبتلا به این اختلال دارد. بطوریکه در مطالعه ماری که به بررسی تأثیر صدای صورتی بر علائم ADHD پرداخته بود، هیچ‌گونه تأثیری از اعمال صدای صورتی بر عملکرد افراد مشاهده نشد (۷۸)، همچنین مطالعه Metin و همکاران که به بررسی تأثیر صدای صورتی بر انتخاب انگیزشی[26] در کودکان دچار اختلال ADHD پرداخته بود، نشان داد که اضافه کردن صدای صورتی باعث کاهش انتخاب انگیزشی در کودکان دچار این اختلال نمی‌شود (۳). این در حالی است که نتایج مطالعه واسرمن و سگول بر روی ۲۷ نفر نشان داد که علیرغم اینکه تصور می‌شود مواجهه با صدای زمینه اثر مختل‌کننده‌ای بر توجه افراد دارد، اعمال صدای صورتی به‌عنوان صدای زمینه می‌تواند اثرات مثبتی بر توجه مشارکت‌کنندگان داشته باشد. درواقع در این مطالعه از سه نوع صدای زمینه که صدای صورتی، صدای محیطی[27] و صدای آهنگ تلویزیون بود استفاده شد و نتایج نشان داد سطح توجه افراد زمانی که در معرض صدای صورتی قرار گرفته بودند به‌طور قابل‌توجهی نسبت به زمانی که در معرض صدای محیطی قرار داشتند افزایش یافت، ولی در مقایسه صدای تلویزیون و صدای محیطی هیچ تفاوتی بر توجه افراد مشاهده نشد (۵۹). نتایج این مطالعه از این فرضیه حمایت می‌کند که تأثیر صداهای مختلف بر توجه و تمرکز افراد یکسان نمی‌باشد و صدای صورتی می‌تواند اثرات مثبتی بر بهبود توجه افراد داشته باشد. در پژوهشی دیگر از صدای صورتی با شدت ۶۰ دسی‌بل به‌صورت مداوم در بررسی تأثیر آن بر القای خواب یک مرد جوان و تعدادی از دانشجویان استفاده شد. بطوریکه در این مطالعه در ابتدا ۱۰ پلیگرام از خواب شبانه مرد جوان به‌عنوان نمونه کنترل و سپس پلیگرام پنج شب پیاپی همان مرد که در مواجهه با صدای صورتی (60 dB (A)) بود، ثبت شد. در آزمایش دیگری در این مطالعه پلیگرام‌های چهار دانشجو که در معرض همان صدا قرار گرفته بودند و نیز پلیگرام‌های کنترل این افراد ثبت شد. صدای صورتی مورداستفاده در این مطالعه از یک ژنراتور تولیدکننده صدا مدل SF-05 تأمین و از طریق یک بلندگو که در ارتفاع ۲ متری و در بالای سر افراد قرار گرفته بود، اعمال می‌شد. در بررسی وضعیت خواب، الگوهای الکتروانسفالوگرام (EEG[28])، الکترومیوگرام (EMG[29]) و الکتروکلوگرام (EOG[30]) افراد موردمطالعه، با استفاده از سیستم تله‌متری[31] ثبت شد. نتایج این مطالعه نشان داد که مواجهه با صدای صورتی منجر به کوتاه شدن تأخیر خواب می‌گردد، بطوریکه در آزمایش مربوطه به مرد جوان ۴/۲ دقیقه و در آزمایش مربوط به دانشجویان ۹/۵ دقیقه زمان به خواب رفتن در افراد کوتاه‌تر شد، به‌نحوی‌که میانگین زمان تأخیر خواب در نمونه‌های کنترل دانشجویان ۲۳ دقیقه بود که پس از مواجهه با صدای صورتی به ۱۳/۵ دقیقه کاهش پیدا کرد. این کاهش ۵۸/۷ درصدی، ادعای مربوطه به تأثیر مثبت صدای صورتی در القای خواب را مورد تأیید قرار داد و مشخص شد که افراد باوجود مواجهه با صدای صورتی خواب آسان‌تری داشته‌اند. سرعت بخشیدن به القای خواب با صدای صورتی با شدت ۶۰ دسی‌بل (A) به‌صورت مداوم، نه‌تنها ناشی از تأثیر پوشانندگی صدای زمینه می‌باشد، بلکه ممکن است به مکانیسم‌های احتمالی القای خواب که به نظر می‌رسد در ۶۰ دسی‌بل وجود داشته است، مرتبط باشد (۷۹). بنابراین، یافته‌های مطالعاتی ازاین‌دست می‌تواند چراغ راهی باشد برای متخصصین بهداشت حرفه‌ای و ارگونومی و کلیه افرادی که در امر سلامت کار شاغلین به‌ویژه افراد نوبت‌کار فعالیت دارند، که با برنامه‌ریزی و اجرای مطالعاتی دامنه‌دار به بررسی اثرات مثبت صدای صورتی بر القای خواب شاغلین نوبت‌کار به‌ویژه مشاغلی

26 Impulsive choice
27 Ambient noise
28 Electroencephalogram
29 Electromyogram
30 Electrooculogram
31 Telemetry

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]
[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.3.7]

که در آن‌ها تمایل به بی‌خوابی روانی-فیزیولوژکی با مشکل عمده در به خواب رفتن افراد وجود دارد، بپردازند و در صورت تأیید ادعای فوق، از صدای صورتی به‌عنوان یک راهکار کنترلی در بهبود وضعیت نوبت‌کاری و القای خواب در شاغلین صنعتی و خدماتی بهره گیرند. همچنین از طرف دیگر، مشخص شده است که صدای صورتی علاوه بر القای خواب، به حفظ خواب نیز کمک می‌کند. بطوریکه سوزوکی و همکاران در مطالعه خود این موضوع را مورد تأیید قرار دادند که صدای صورتی مداوم منجر به خواب عمیق‌تر در افراد موردمطالعه شده است (۷۹, ۸۰). بنابراین به نظر می‌رسد استفاده از صدای صورتی برای افرادی که از بی‌خوابی ناشی از نوبت‌کاری یا استرس ناشی از کار رنج می‌برند، گزینه‌ای مستلزم توجه با اثرات احتمالی مثبت باشد، که امید است در مطالعات آتی موردتوجه قرار گیرد.

اخیراً مطالعه‌ای توسط آکوستا و همکاران در سال ۲۰۱۹ تحت عنوان "چرا صدای صورتی برای تقویت خواب و حفظه بهترین است" انجام شد. این مطالعه به تمثیل از فعالیت ماهیچه‌های بدن و عملکرد ذهن، به این موضوع اشاره می‌کند که، همان‌طور که ورزش ماهیچه‌های مختلف بدن نسبت به ورزش یک ماهیچه خاص برای سلامت کل بدن مفیدتر است و نیز همان‌طور که انجام فعالیت‌های مختلف ذهنی نسبت به تکرار یک فعالیت خاص برای عملکرد ذهن بهتر است، اعمال یک صدا در دامنه فرکانسی بهتر از اعمال یک سیگنال واحد در یک فرکانس واحد است. همچنین بیان می‌کند منطقی است که انتظار داشته باشیم پردازش فرکانس‌های مختلف نسبت به پردازش فقط یک فرکانس بهتر کار کند. این مقاله در پاسخ به این سؤال که چرا صدای صورتی بهتر است؟ بیان می‌کند که هنگامی‌که محققان از صدای صورتی استفاده کرده‌اند، بهترین نتایج تحریک به دست آمده است. ازنظر بیولوژیکی نیز این تعجب‌آور نیست، زیرا صدای صورتی رایج‌ترین سیگنال در سیستم‌های بیولوژیکی است، و توصیف خوبی از سیگنال‌های مربوط به فعالیت‌های ذهنی را نشان می‌دهد و از طرفی نیز صدایی است که به‌طورکلی در طبیعت فراگیر است. بااین‌وجود، از دیدگاه علمی، کارایی صدای صورتی در تحریک خواب و حافظه همچنان به‌صورت یک راز باقی مانده است (۸۱).

صدای قهوه‌ای یا قرمز (Brown (or Red) Noise)

صدای قهوه‌ای یکی دیگر از انواع صداهای رنگی می‌باشد. به صدای قهوه‌ای صدای براونی نیز گفته می‌شود. علت این نام‌گذاری به تحقیقات دانشمندی به نام رابرت براون برمی‌گردد که در دهه ۱۸۰۰ حرکت براونی[32] (حرکت ذرات تصادفی) را کشف کرد. با توجه به این ویژگی و ازآنجایی‌که سیگنال صوتی در طی زمان تغییر می‌کند و تغییر آن از یک‌لحظه به لحظه دیگر تصادفی است، نوع جدیدی از صدا تحت عنوان صدای قهوه‌ای معرفی شد. لذا، برخلاف انواع صداهای دیگر، صدای قهوه‌ای به خاطر طیف انرژی آن قهوه‌ای نامیده نمی‌شود، بلکه دلیل نام‌گذاری این صدا، تولید آن توسط حرکت براونی است (۴۴). صدای قهوه‌ای یک سیگنال تصادفی است که به‌منظور تولید سطح انرژی بالا در فرکانس‌های پایین فیلتر شده است. در طیف فرکانسی صدای قهوه‌ای هر اکتاو به‌اندازه دو اکتاو بالای آن انرژی دارد. به‌عنوان نمونه، پهنای باند ۲۰ هرتز بین ۲۰ هرتز و ۴۰ هرتز (یک اکتاو) دارای قدرت صدا برابر با پهنای باند ۱۲۰ هرتز بین ۴۰ هرتز و ۱۶۰ هرتز (دو اکتاو بعدی) خواهد بود (۶). چگالی طیفی صدای قهوه‌ای متناسب با فرکانس و برعکس آن می‌باشد (چگالی متناسب با $1/f^2$). این بدان معناست که با افزایش فرکانس، قدرت صدای قهوه‌ای به‌وضوح کاهش می‌یابد (۶ دسی‌بل در هر اکتاو)؛ بنابراین، در فرکانس‌های پایین‌تر، انرژی آن به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از فرکانس‌های بالا می‌باشد. لذا صدای قهوه‌ای در تقابل با صدای سفید و صدای بنفش می‌باشد، چراکه برای صدای سفید چگالی طیفی در تمامی فرکانس‌ها برابر است و برای صدای بنفش انرژی در هر اکتاو به‌اندازه ۶ دسی‌بل افزایش می‌یابد. این در حالی است که درک گوش انسان از صداهای قهوه‌ای و سفید

32 Brownian motion

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.3.7]

تقریباً مشابه است، با این تفاوت که صدای قهوه‌ای بسیار عمیق‌تر حس می‌شود (مانند صدای غرش اما با شدت کمتر)، ولی صدای سفید به‌اندازه صدای قهوه‌ای عمیق نیست (مانند صدای یک آبشار قوی). صدای قهوه‌ای به صدای امواج قدرتمند اقیانوس که حس آرامش‌بخش به همراه دارد، تشبیه شده است و گفته می‌شود که صدای قهوه‌ای صدای گرم‌تری نسبت به صدای سفید یا صورتی ایجاد می‌کند (۶). از طرفی، با توجه به اینکه صدای قرمز[33] دارای فرکانس‌های پایین می‌باشد، در برخی موارد صدای قهوه‌ای به‌عنوان صدای قرمز و یا معادل آن در نظر گرفته می‌شود (۱۹, ۴۴). صدای قرمز به‌وفور در مطالعات مربوط به اقلیم و تغییرات آب و هوایی در جو زمین مورداستفاده قرار گرفته است (۸۲, ۸۳). همچنین از آن در مطالعات مربوط به نجوم و ترانزیت سیاره‌ای نیز استفاده شده است (۸۴).

صدای آبی یا لاجوردی (Blue (Azure) Noise)

صدای آبی یک سیگنال تصادفی است که به‌منظور تولید انرژی در فرکانس‌های بالا فیلتر شده است. ازآنجاکه رنگ آبی انتهایی‌ترین بخش طیف فرکانس نوری مرئی است، از صدای آبی به‌عنوان صدای لاجوردی نیز یاد شده است. چگالی توان صدای آبی (چگالی متناسب با f) با افزایش فرکانس۳ دسی‌بل در هر اکتاو افزایش می‌یابد. این بدان معنی است که با افزایش فرکانس، انرژی و قدرت سیگنال افزایش می‌یابد. صدای آبی به‌عنوان صدای سفید با فرکانس بالا نیز در نظر گرفته می‌شود، که انرژی زیادی را در بالاترین فرکانس‌ها قرار می‌دهد، بطوریکه هر اکتاو به‌اندازه دو اکتاو زیر آن انرژی دارد. همین تمایل صدای آبی نسبت به فرکانس‌های بالاتر باعث شده است که صدای آبی به‌صورت صدایی با پیچ (کوک) بالا و بدون هرگونه بأس (بم بودن)[34] شنیده شود. بنابراین صدای آبی بسیار شارپ (تیز) و شبیه به صدای اسپری، به نظر می‌رسد و گوش دادن به آن آن‌چنان آرامش‌بخش نیست. به همین دلیل در ارزیابی‌های مربوط به سایکوآکوستیک کمتر مورداستفاده قرار می‌گیرد. در عوض می‌تواند در برنامه‌های شنیداری صدای خوبی برای اهداف Dithering باشد، فرایندی که در آن صدا به یک آهنگ اضافه می‌شود تا صدا را صاف کرده و شنیدن اعوجاج را کمتر کند. در گرافیک‌های رایانه‌ای نیز گاهی اوقات از صدای آبی به‌عنوان صدایی با حداقل اجزای با فرکانس کم در انرژی استفاده می‌شود. گفته می‌شود سلول‌های شبکیه در یک الگویی شبیه به صدای آبی قرار گرفته‌اند، که وضوح تصویر خوبی را به نمایش می‌گذارند (۶, ۱۹, ۴۴, ۸۵).

صدای بنفش یا ارغوانی (Violet Noise or Purple Noise)

صدای بنفش که به آن صدای ارغوانی نیز گفته می‌شود، نسخه شدیدتری از صدای آبی می‌باشد و درنتیجه تمایز سیگنال‌های صدای سفید ایجاد می‌شود، به همین دلیل به آن صدای سفید متمایز شده نیز گفته می‌شود (۱۹). چگالی توان صدای بنفش متناسب با فرکانس می‌باشد (چگالی متناسب با f^2) و با افزایش فرکانس در یک بازه محدود ۶ دسی‌بل در هر اکتاو افزایش می‌یابد. بنابراین صدای بنفش در فرکانس‌های بالاتر انرژی بسیار بالایی ایجاد می‌کند. صدای بنفش نیز مانند صدای آبی یک صدای شارپ یا تیز[35] است و گوش دادن به آن آن‌چنان آرامش‌بخش نیست، مگر اینکه حجم[36] آن بسیار کم باشد (۶).

صدای خاکستری (Grey Noise)

صدای خاکستری در سراسر طیف فرکانسی کار می‌کند و منحنی بلندی معادل سایکوآکوستیک[37] را تحت کنترل قرار می‌دهد. بنابراین صدایی است که از دیدگاه سایکوآکوستیک اهمیت بیشتری دارد. برخلاف صدای سفید که دارای قدرت برابر در مقیاس خطی فرکانس‌ها می‌باشد، صدای خاکستری دارای بلندی برابر در طیف

33 Red Niose
34 High-pitched hiss and lacking any bass
35 Sharp
36 Volume
37 Psychoacoustic equal loudness curve

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]
[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.3.7]

فرکانسی می‌باشد. به‌عبارت‌دیگر صدای سفید به دلایل سایکوآکوستیکی و نیز به خاطر بایاس در کانتورهای بلندی معادل انسان[38] یکسان درک نمی‌شود، این در حالی است که صدای خاکستری نسبتاً مسطح و در تمامی فرکانس‌ها با بلندی یکسان شنیده می‌شود. صدای خاکستری با عبور صدای سفید از طریق فیلترهای خاصی ایجاد می‌شود تا منحنی حساسیت فرکانس معکوس شود و همین عامل باعث می‌شود که صدای خاکستری به‌صورت مسطح و شبیه به صدای سفید پوشیده شده[39] شنیده شود (۶). علاوه بر کاربردی که صدای خاکستری در مباحث مربوط به سایکوآکوستیک و منحنی‌های بلندی معادل دارد، از صدای خاکستری به‌عنوان عاملی در کمک به بهبود بیماری هایپراکوزیس[40] یا حساسیت بیش‌ازحد شنوایی و نیز درمان بیماری تنیتوس استفاده می‌شود (۸۶).

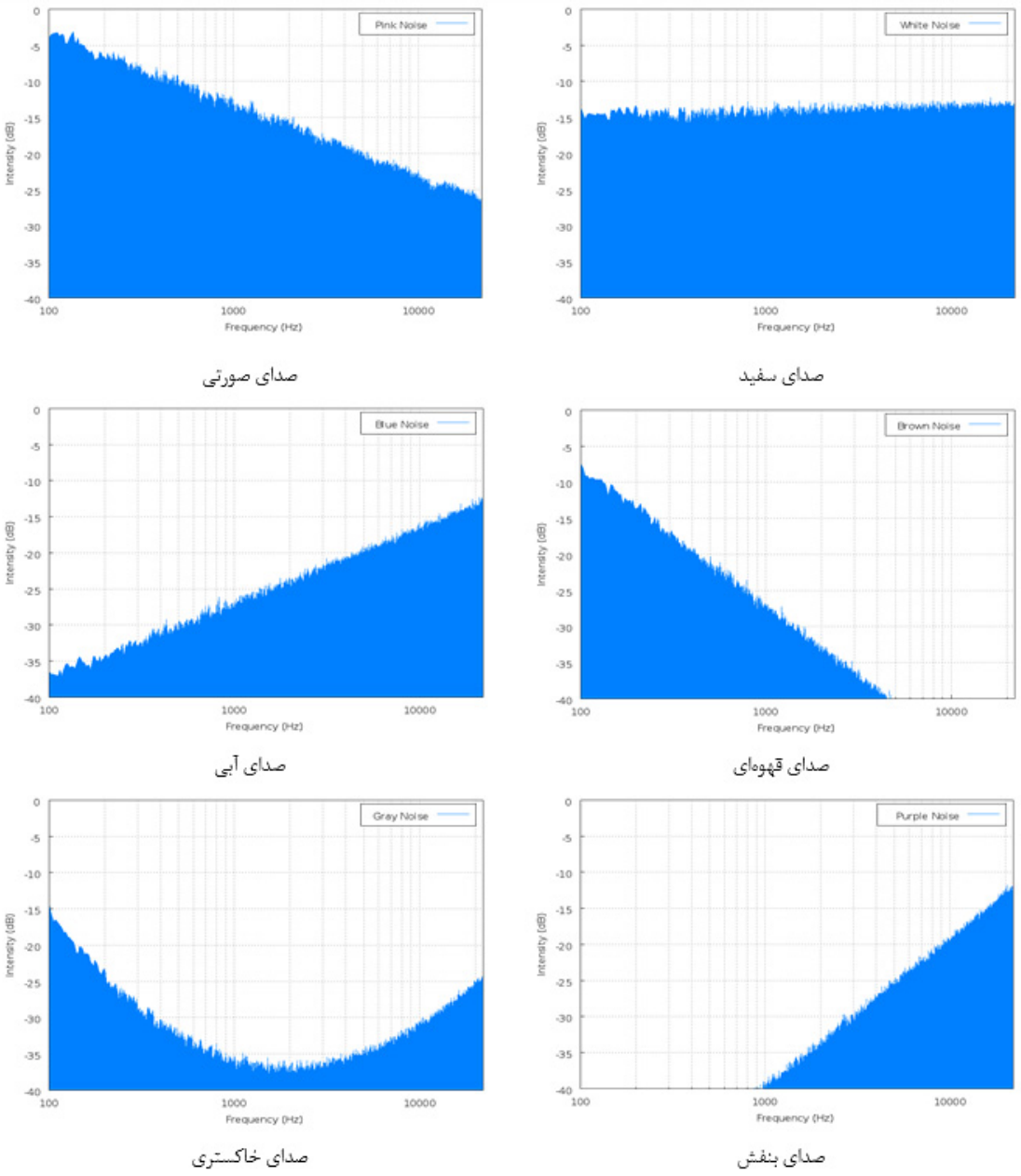
رنگ‌های غیررسمی

گاها در برخی متون از رنگ‌های دیگری از صدا، به‌عنوان صداهای غیررسمی، نام برده شده است. این صداهای رنگی شامل صدای نارنجی[41]، قرمز، سبز[42] و صدای سیاه[43] می‌باشند که غالباً به دلیل شباهت به طیف انرژی آن‌ها به این اسامی نام‌گذاری شده‌اند. صدای نارنجی یک صدای شبه ایستا می‌باشد که طیف توان آن محدود به تعدادی از باندهای کوچک با انرژی صفر می‌باشد که به‌صورت پراکنده در سراسر طیف یافت می‌شود. این باندهای انرژی صفر به فرکانس نت‌های موسیقی در هر مقیاس موردنظر متمرکز هستند. صدای قرمز معادل با صدای قهوه‌ای است و پیش‌تر به آن پرداخته شده است. ظاهراً صدای سبز، صدای پس‌زمینه جهان است که به‌عنوان صدای قهوه‌ای کراندار[44] نیز شناخته می‌شود. صدای سیاه را نیز صدای خاموش[45] می‌گویند که در مدل‌سازی فرایندهای مختلف محیطی مورداستفاده قرار می‌گیرد. همچنین، صدای سیاه آنچه را که از یک سیستم کنترل نویز فعال خارج می‌شود، توصیف می‌کند. به عبارتی خروجی یک سیستم کنترل صدای فعال که صداهای موجود را خنثی می‌کند، صدای سیاه می‌باشد (۷). یک اظهارنظر مهم توسط تسیرلسون در رابطه با صدای سیاه بیان شده است که می‌گوید صداهایی در واحد زمان وجود دارند که ازنظر صداهای کلاسیک (صدای سفید و صداهای رنگی مرسوم) ایزومورف نیستند. او بیان می‌کند صدای سیاه، صدایی است که حاوی هیچ‌یک از صداهای کلاسیک و زیرمجموعه‌های مربوطه نباشد، بنابراین صدای سیاه به‌عنوان یک صدای غیر کلاسیک مطرح می‌باشد. نمونه‌ای از صدای سیاه برای اولین بار توسط تسیرلسون و ورشیک بیان شد است (۸۷). واتانابه نیز در مطالعه خود اثبات دیگری از صدای سیاه که اثباتی ساده‌تر می‌باشد را مطرح کرده است (۸۸).

شکل شماره ۱ نمونه‌ای از نمودارهای مربوط به چگالی طیفی توان رنگ‌های مختلف صدا را به‌عنوان تابعی از فرکانس نشان می‌دهد (۴۴). همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌گردد، طیف فرکانسی صدای سفید مسطح می‌باشد، درحالی‌که صداهای صورتی و قهوه‌ای روندی نزولی و صداهای آبی و بنفش روندی صعودی با افزایش فرکانس را نشان می‌دهند. بطوریکه این روند نزولی و صعودی به ترتیب در صدای قهوه‌ای با شدت بیشتری نسبت به صدای صورتی و نیز در صدای بنفش با شدت بیشتری نسبت به صدای آبی (با توجه به رابطه چگالی توان با فرکانس) همراه بوده است. از طرف دیگر، همان‌طور که در نمودارها ملاحظه می‌گردد صدای بنفش متمرکز به فرکانس‌های بالای طیف و صدای قهوه‌ای به فرکانس‌های پایین طیف متمرکز می‌باشد، لیکن صدای خاکستری در سراسر طیف، پاسخ فرکانسی داشته است، با این تفاوت که انرژی آن در فرکانس‌های بالا و پایین بیشتر و در فرکانس‌های میانی محدودتر بوده است.

38 Human equal-loudness contour.
39 Muffled white noise
40 Hyperacusis
41 Orange noise
42 Green noise
43 Black noise
44 Bounded brownian noise
45 Silent

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]
[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.3.7]



شکل ۱. طیف فرکانسی رنگ‌های مختلف صدا (۴۴)

نتیجه گیری

مطالعه حاضر در قالب یک مطالعه مروری به موضوع رنگ‌های مختلف صدا و کاربرد آن‌ها از دیدگاه سایکوآکوستیک پرداخته است. همان‌طور که بر اساس یافته‌های مطالعه بیان شد، اثرات صدا بر انسان، محدود به اثرات شنوایی و فیزیولوژیکی نبوده و توجه صرف به موضوع کمیات فیزیکی آن در محیط کار به نظر ناکافی می‌باشد، بلکه لازم است معیارهای کیفی و سایکوآکوستیکی صدا نیز به‌عنوان موضوعی مهم مورد توجه محققان قرار گیرد. بطوریکه، با تمرکز بر مبحث رنگ‌های صدا و اثرات سایکوآکوستیکی هر یک بتوان پتانسیل‌های کاربردی انواع صداهای رنگی در حوزه سلامت و بهداشت حرفه‌ای را نمایان ساخت؛ و از

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]
[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.3.7]

جدول ۱. رنگ‌های مختلف صدا، محتوای فرکانسی و کاربرد آن‌ها

رنگ صدا	محتوای فرکانسی	کاربرد	منابع
صدای سفید	1	پوشانندگی صدا، مطالعه صداهای طبیعی، پزشکی و درمان بیماری تینیتوس و اختلال ADHD، بهبود وضعیت خواب و حفظ حریم خصوصی افراد، بهبود عملکرد شناختی، آژیر وسایل نقلیه اضطراری، آکوستیک ساختمان و مدل‌سازی پدیده‌های محیطی	(۴-۶, ۸, ۱۶, ۱۹, ۴۲-۴۴, ۵۲-۶۹)
صدای بنفش/ارغوانی	f^2	مواقعی که نیاز به انرژی بسیار بالا در فرکانس‌های بالا است	(۶, ۱۹)
صدای آبی/لاجوردی	f	برنامه‌های شنیداری با اهداف Dithering، گرافیک‌های رایانه‌ای	(۶, ۱۹, ۴۴, ۸۵)
صدای صورتی	1/f	سیستم‌های اکولوژیکی و بیولوژیکی، مهندسی صدا و تست سیستم‌های صوتی، پوشانندگی صدا، پزشکی و القای ترشح هورمون‌ها، سایکوآکوستیک و القای خواب، بهبود توجه و تمرکز و حافظه	(۳, ۱۹, ۴۳, ۴۴, ۴۷, ۵۲, ۵۵, ۵۹, ۸۱-۷۰)
صدای قهوه‌ای/قرمز	$1/f^2$	مطالعات مربوط به صداهای طبیعی، اقلیم، هواشناسی و نجوم	(۱۹, ۴۴, ۸۴-۸۲)
صدای خاکستری	-	منحنی‌های بلندی معادل سایکوآکوستیک، هایپراکوزیس	(۶, ۸۶)
رنگ‌های غیررسمی (نارنجی، قرمز، سبز و سیاه)	-	موسیقی، صدای پس‌زمینه جهان، مدل‌سازی فرآیندهای محیطی، سیستم کنترل فعال صدا	(۷, ۸۷, ۸۸)

طریق آن تا حدودی شکاف‌های اطلاعاتی موجود را مشخص و گامی مؤثر در جهت مرتفع کردن آن‌ها باشد.

تفاوت در چگالی طیفی توان و به‌تبع آن تفاوت در رنگ امواج صدا، کاربردهای متفاوتی را منجر شده است. در دهه‌های اخیر، مفاهیم مربوط به رنگ صدا و کاربرد آن در علوم مختلف ازجمله علوم پزشکی، بهداشت، روانشناسی، سایکوآکوستیک، ارگونومی و مهندسی کنترل صوت گسترش یافته است. بنابراین رنگ صدا و انواع آن یک موضوع چند رشته‌ای می‌باشد. برخی از رنگ‌ها مرتبط‌تر به علوم پزشکی و بهداشت و برخی دیگر دورتر و در سایر علوم کاربردی‌تر هستند. این نتایج به‌طور خلاصه در جدول شماره ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول شماره ۱ ملاحظه می‌گردد، از بین رنگ‌های مختلف صدا، به نظر می‌رسد صدای سفید، صورتی و خاکستری بیش از صداهای دیگر در علوم بهداشت و سایکوآکوستیک قابل کاربرد هستند. هرچند تا زمان انجام مطالعه حاضر، اطلاعات درزمینهٔ صداهای دیگر به‌ویژه صدای بنفش و کاربرد آن در سایکوآکوستیک محدود بوده است. بااین‌وجود، بر اساس آنچه به‌عنوان یافته‌های مطالعه درزمینهٔ کاربرد صدا در محیط کار بیان شده است، به نظر می‌رسد صداهای رنگی و نیز صدای سفید پتانسیل کاربرد به‌عنوان محرک‌های آکوستیکی درزمینهٔ بهبود وضعیت خواب شاغلین به‌ویژه نوبت‌کاران، بهبود وضعیت حافظه، توجه و تمرکز به‌ویژه در مشاغل نیازمند به دقت و توجه بالا، بهبود عملکرد شناختی افراد در مشاغل مختلف، کاهش فعالیت سیستم اعصاب سمپاتیک، اضطراب و استرس به‌ویژه در مشاغل با استرس شغلی بالا، حفظ حریم خصوصی افراد بخصوص در ایستگاه‌های کاری در مجاورت یکدیگر، خاصیت پوشانندگی صدا و کاربرد در اهداف کنترل صوت و نیز پزشکی و درمان اختلالاتی چون بیماری تینیتوس، ADHD و هایپراکوزیس و غیره را دارا می‌باشد. امید است که موارد مطرح‌شده، در مطالعات آتی به‌عنوان زمینه‌های تحقیقاتی و کاربردی موردتوجه محققان این حیطه قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل طرح مصوب شورای پژوهشی کمیته پژوهشی دانشجویان دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی به شماره ثبت ۶۰۹۲۹/ص/۱۳۹۹ می‌باشد. از کمیته پژوهشی دانشجویان، و معاونت تحقیقات و فن‌آوری دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی برای حمایت مالی از این مطالعه قدردانی می‌شود.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.3.7]

REFERENCES

1. Fastl H, E Z. Psychoacoustics: facts and models. Springer Science & Business Media. J Sound Vib. 2006.
2. Lashgari M. Analysis of noise annoyance using sound quality criteria. J Sound Vib. 2016;5(10):107-16.
3. Metin B, Roeyers H, Wiersema JR, van der Meere JJ, Gasthuys R, Sonuga-Barke E. Environmental stimulation does not reduce impulsive choice in ADHD: A "pink noise" study. J Atten Disord. 2016;20(1):63-70.
4. Farokhnezhad-Afshar P, Khajali Z, Azarfarin R, A M. Effect of white noise on anxiety in patients admitted to the cardiac care unit. Iranain journal of cardiovascular nursing. 2014;3(2):48-55. [Persian]
5. Stanchina ML, Abu-Hijleh M, Chaudhry BK, Carlisle CC, Millman RP. The influence of white noise on sleep in subjects exposed to ICU noise. Sleep medicine. 2005;6(5):423-8.
6. Labrosse J-P, Sullivan S, Schneider MN. Sound management systems for improving workplace efficiency. Google Patents; 2018.
7. Christoph M. Active noise control system. Google Patents; 2012.
8. Zickmantel F. Masking noise. Google Patents; 2014.
9. Jabloun F, Champagne B, editors. A perceptual signal subspace approach for speech enhancement in colored noise. 2002 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing; 2002: IEEE.
10. Keyvani S, Monazzam Esmaielpour M, Fasih-Ramandi F, Ahmadi Asour A, Kolahdouzi M, Hashemi Z. Impact of Layout Sequence of the Natural and Synthetic Adsorbents in Double-Layered Composites on Improving the Natural Fiber Acoustic Performance Using the Numerical Finite Element Method. Journal of Health and Safety at Work. 2021;11(03):368-83. [Persian]
11. Eberhardt J, Ståle L-O, Berlin M. The influence of continuous and intermittent traffic noise on sleep. J Sound Vib. 1987;116(3):445-64.
12. Fastl H. Psychoacoustics of sound quality. Communication Acoustics Blauret J Springer. 2005;1(1):140-62.
13. Allen P. Acoustics and psychoacoustics. Audiology Diagnosis. 1st edition. New York: Thieme Medical Publisher Inc.2000.
14. Giv MD, Sani KG, Alizadeh M, Valinejadi A, Majdabadi HA. Evaluation of noise pollution level in the operating rooms of hospitals: A study in Iran. Interv Med Appl Sci. 2017;9(2):61-6.
15. Lotfi M, Monazzam Esmaielpour MR, Mansouri N, Ahmadi S. Investigating noise pollution induced by diesel generators in building construction activities in one of the district of Tehran city. Journal of Health and Safety at Work. 2018;8(2):149-62. [Persian]
16. Delphi M, Aghajani Z, Bakhit M, Hosseinzadeh S, Nilforoush MH. The Relationship Between Psychoacoustics Characteristic Of Tinnitus And Consequent Occupational Handicap In Isfahan Steel Company'S Work Men. Journl of research in rehabilitation sciences. 2013;9(4):649-57. [Persian]
17. Mousavi Kordmiri SH, Monazzam MR, Abbasi M, Mousavi Kordmiri SA. Association between Noise Exposure and Sensitivity and Psychological Distress. Archives of Occupational Health. 2019;3(3):400-8.
18. Fruhstorfer B, Fruhstorfer H, Grass P. Daytime noise and subsequent night sleep in man. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1984;53(2):159-63.
19. Azizi A, P.G.. Y. Introduction to Noise and its Applications. Computer-Based Analysis of the Stochastic Stability of Mechanical Structures Driven by White and Colored Noise (Chapter2). SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology, editor2019.
20. Selvam AM. Noise or random fluctuations in physical systems: a review. Self-organized Criticality and Predictability in Atmospheric Flows: Springer; 2017. p. 41-74.
21. Abbott D. Overview: Unsolved problems of noise and fluctuations. Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science. 2001;11(3):526-38.
22. Passchier-Vermeer W, Passchier WF. Noise exposure and public health. Environmental health perspectives. 2000;108(1):123-31.
23. Freitas E, Mendonça C, Santos JA, Murteira C, JP F. Traffic noise abatement: How different pavements, vehicle speeds and traffic densities affect annoyance levels. Transp Res D Transp Environ. 2012;17(4):326-1.
24. Borg E. Physiological and pathogenic effects of sound. Acta Otolaryngol Case Rep. 1981;92(381):1-64.
25. Monazzam MR, Zakerian SA, Kazemi Z, Ebrahimi MH, Ghaljahi M, Mehri A, et al. Investigation of occupational noise annoyance in a wind turbine power plant. Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control. 2019;38(2):798-807.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.3.7]

26. Nassiri P, Zare S, Monazzam MR, Pourbakht A, Azam K, Golmohammadi T. Modeling signal-to-noise ratio of otoacoustic emissions in workers exposed to different industrial noise levels. Noise & health. 2016;18(85):391.
27. Monazzam MR, Abbasi M, Yazdanirad S. Performance evaluation of T-shaped noise barriers covered with oblique diffusers using boundary element method. Archives of Acoustics. 2019;44.
28. Jabbari K, Nassiri P, Monazzam Esmaeelpour MR, Azam K, Faridan M, Heidari L. The Relationship between Occupational Noise Exposure and Noise Induced Hearing Loss (NIHL) in Small-Scale Industries: A Case Study in the City of Damavand, Iran. Biotechnology and Health Sciences. 2016;3(4):49-56.
29. Naderzadeh M, Arabalibeik H, Monazzam MR, Ghasemi I. Comparative Analysis of AHP-TOPSIS and Fuzzy AHP Models in Selecting Appropriate Nanocomposites for Environmental Noise Barrier Applications. Fluctuation and Noise Letters. 2017;16(04):1750038.
30. Moradi G, Monazzam M, Habibi P. The effect of the angle upper edge in shaped noise barriers with a T-shaped upper edge. Iranian Journal of Health and Environment. 2019;12(1):31-46. [Persian]
31. Moradi G, Nassiri P, Ershad-Langroudi A, Monazzam MR. Acoustical, damping and thermal properties of polyurethane/poly (methyl methacrylate)-based semi-interpenetrating polymer network foams. Plastics, Rubber and Composites. 2018;47(5):221-31.
32. Hashemi Z, Monazzam MR. Study the effect of shape on acoustic performance of micro perforated absorber at low frequencies. International Journal of Occupational Hygiene. 2019;11(3):164-78.
33. Moradi G, Nassiri P, Ershad-Langroudi A, Monazzam MR. Preparation of Sound Absorption Material Based on Interpenetrating Polymer Network (PU/PMMA IPN). Health Scope. 2019;8(2).
34. Ahmadinejad P, Monazzam MR. 3D Simulation of Impedance Tube: Effect of Mesh Size on Sound Absorption Characteristic. International Journal of Computer Science and Network Security. 2018;18(1):179-82.
35. Naderzadeh M, Ghasemi I, Monazzam MR, Arabalibeik H. An Investigation on Transparency and Mechano-Acoustic Properties of Poly Methyl Methacrylate/ Polycarbonate Based Nanocomposites. J Polym Environ. 2018;26(6):2640-9.
36. Naderzadeh M, Monazzam MR, Ghasemi I, Arabalibeik H. Investigation on Sound Absorption Function and Mechanical Behavior of Polycarbonate/Nanosilica-based Nanocomposites. Polym Plast Technol Eng. 2018;57(5):387-93.
37. Soltani Gerdfaramarzi R. Noise control of saab dyamples using enclosure method in Behsaram Granite Company in Kashan. Occupational Medicine Quarterly Journal. 2016;8(3):67-75.
38. Sheibani Tazraji F, Pakdaman S, Dadkhah A, Hasanzadeh Tavakoli M R. The Effect of Music Therapy on Depression and Loneliness in Old People. Salmand: Iranian Journal of Ageing. 2010;5(2):54-60. [Persian]
39. Keykhani S, Dadfar R, Heydari Moghadam R. The effect of music therapy on reducing addiction, anxiety and depression in drug addicts. Medical History. 2013;4(13):107-25. [Persian]
40. Hajizadegan M, Ashayeri H, Alipour A, Shaghaghi F, Tashvighi M. The effectiveness of active music therapy on social problems in children with leukemia. Psychological sciences. 2017;16(63):402-12. [Persian]
41. Eskandary S, Aguilar Marchen M E, Azadfallah P, Forogh B. Studying the effectiveness of neurologic music therapy in cognitive rehabilitation of stroke patients. Psychological sciences. 2019;18(80):913-22. [Persian]
42. Spencer J, Moran D, Lee A, Talbert D. White noise and sleep induction. Arch Dis Child. 1990;65(1):135-7.
43. Azizi A, P.G.. Y. White Noise: Applications and Mathematical Modeling: Computer-Based Analysis of the Stochastic Stability of Mechanical Structures Driven by White and Colored Noise (Chapter 3). SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology, editor2019.
44. Castro J. What Is white/ Pink/blue/brown Noise? https://www.livescience.com/38464-what-is-pink-noise.html. 2013. https://en.wikipedia.org/wiki/Colors_of_noise.
45. Ulichney RA. Dithering with blue noise. Proceedings of the IEEE. 1988;79(1):56-79.
46. Rodriguez JB, Arce GR, DL L. Blue-noise multitone dithering. IEEE Transactions on Image Processing. 2008;17(8):1368-82.
47. Bogen J. Noise in the World. Philosophy of Science. 2010;77(5):778-91.
48. Azizi A. Computer-based analysis of the stochastic stability of mechanical structures driven by white and

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]
[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.3.7]

colored noise. Sustainability. 2018;10(10):3419.
49. Halley JM, Kunin WE. Extinction risk and the 1/f family of noise models. Theor Popul Biol. 1999;56(3):215-30.
50. Lv M, Zhang X, Chen H, Zhou Y, Li J. Chaotic and multifractal characteristic analysis of noise of thermal variables from rotary kiln. Nonlinear Dynamics. 2020:1-23.
51. Jabloun F, Champagne B. Incorporating the human hearing properties in the signal subspace approach for speech enhancement. IEEE Trans Speech Audio Process. 2003;11(6):700-8.
52. Benjafield JG. Between pink noise and white noise: A digital history of The American Journal of Psychology and Psychological Review. American Journal of Psychology. 2017;130(4):505-19.
53. Krishnan S, Leech R, Aydelott J, Dick F. School-age children's environmental object identification in natural auditory scenes: Effects of masking and contextual congruence. Hearing Research. 2013;300:46-55.
54. Gelfand S, Levitt H. Hearing—an introduction to psychological and physiological acoustics Marcel Dekker. New York[Google Scholar]. 2004.
55. Yang M, De Coensel B, J K. Presence of 1/f noise in the temporal structure of psychoacoustic parameters of natural and urban sounds. J Acoust Soc Am. 2015;138(2):916-27.
56. Hoffman HJ, Reed GW. Epidemiology of tinnitus. Tinnitus: Theory and management. 2004;16:16-41.
57. Vanneste S, Plazier M, Van Der Loo E, Van de Heyning P, Congedo M, De Ridder D. The neural correlates of tinnitus-related distress. Neuroimage. 2010;52(2):470-80.
58. Searchfield G, Kobayashi K, Sanders M. An adaptation level theory of tinnitus audibility. Front Syst Neurosci. 2012;6:46.
59. Wasserman CS, Segool N. Working in and with noise: the impact of audio environment on attention. J Neurother. 2013;17(4):203-12.
60. Cook A, Johnson C, Bradley-Johnson S. White noise to decrease problem behaviors in the classroom for a child with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD). Child & Family Behavior Therapy. 2015;37(1):38-50.
61. Saeed BZ, Askar AA, Maktabi G. The effectiveness of white noise on learning new words, visual working memory and selective attention in elementary students. Journal of psychological science. 2020;19(85):25-32. [Persian]
62. Söderlund GB, Sikström S, Loftesnes JM, Sonuga-Barke EJ. The effects of background white noise on memory performance in inattentive school children. Behavioral and brain functions. 2010;6(1):55.
63. Amir N, McNally RJ, Riemann BC, Clements C. Implicit memory bias for threat in panic disorder: Application of the 'white noise'paradigm. Behaviour Research and Therapy. 1996;34(2):157-62.
64. Baker MA, Holding DH. The effects of noise and speech on cognitive task performance. J Gen Psychol. 1993;120(3):339-55.
65. Rausch VH, Bauch EM, Bunzeck N. White noise improves learning by modulating activity in dopaminergic midbrain regions and right superior temporal sulcus. J Cogn Neurosci. 2014;26(7):1469-80.
66. Angwin AJ, Wilson WJ, Arnott WL, Signorini A, Barry RJ, DA C. White noise enhances new-word learning in healthy adults. Sci Rep. 2017;7(1):6-1.
67. Harrison DW, Kelly PL. Age differences in cardiovascular and cognitive performance under noise conditions. Percept Mot Skills. 1989;69(2):547-54.
68. Senser E, Koylu N, Ustun F, Kocamanoglu S, Ozkan F. The effects of music, white noise and operating room noise on perioperative anxiety in patients under spinal anesthesia: 8AP3–3. Eur J Anaesthesiol. 2010;27(47):133.
69. Farokhnezhad Afshar P, Mahmoudi A, Abdi A. The effect of white noise on the vital signs of elderly patients admitted to the cardiac care unit. Journal of Gerontology. 2016;1(1):11-8. [Persian]
70. Szendro P, Vincze G, Szasz A. Pink-noise behaviour of biosystems. Eur Biophys J. 2001;30(3):227-31.
71. De Coensel B, Botteldooren D, T. DM. 1/f noise in rural and urban soundscapes. Acta Acust United Acust. 2003;89(2):287-95.
72. Makara G, Stark E, Palkovits M, Revesz T, Mihaly K. Afferent pathways of stressful stimuli: corticotrophin release after partial deafferentation of the medial basal hypothalamus. Journal of Endocrinology. 1969;44(2):187-93.
73. Brandenberger G, Follenius M, C T. Failure of noise exposure to modify temporal patterns of plasma cortisol in man. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1977;36(4):239-46.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.3.7]

74. Favino A, Maugeri U, Kauchtschischvili G, Della Cuna GR, G N. Radioimmunoassay measurements of serum cortisol, thyroxine, growth hormone and luteinizing hormone with simultaneous electroencephalographic changes during continuous noise in man. J Nucl Biol Med. 1973:pp. 119-22.
75. Ong JL, Lo JC, Chee NI, Santostasi G, Paller KA, Zee PC, et al. Effects of phase-locked acoustic stimulation during a nap on EEG spectra and declarative memory consolidation. Sleep Medicine. 2016;1(20):88-97.
76. Ngo HV, Martinetz T, Born J, M M. Auditory closed-loop stimulation of the sleep slow oscillation enhances memory. Neuron. 2013;78(3):545-53.
77. Papalambros NA, Santostasi G, Malkani RG, Braun R, Weintraub S, Paller KA, et al. Acoustic enhancement of sleep slow oscillations and concomitant memory improvement in older adults. Front Hum Neurosci. 2017;7(11):109.
78. Marie D. The effect of pink noise and event rate on effort allocation in regards to ADHD symptomatology in adults: Ghent University; 2019.
79. Kawada T, Suzuki S. Sleep induction effects of steady 60 dB (A) pink noise. Industrial health. 1993;31(1):35-8.
80. Suzuki S, Kawada T, Ogawa M, Aoki S. Sleep deepening effect of steady pink noise. J Sound Vib. 1991;151(3):407-14.
81. Acosta G, Smith E, Kreinovich V. Why pink noise is best for enhancing sleep and memory: system-based explanation. 2019.
82. Masato G, Hoskins BJ, Woollings TJ. Can the frequency of blocking be described by a red noise process?. J Atmos Sci. 2009;66(7):2143-9.
83. Overland JE, Percival DB, Mofjeld HO. Regime shifts and red noise in the North Pacific. Deep Sea Res 1 Oceanogr Res Pap. 2006;53(4):582-8.
84. Pont F, Zucker S, Queloz D. The effect of red noise on planetary transit detection. Mon Not R Astron Soc. 2006;373(1):231-42.
85. Ulichney RA. Dithering with blue noise. Proceedings of the IEEE. 1988;76(1):56-79.
86. Björn O, Hofman-bang D, Philipsson M, Roug JA, Hansen JN, Jones G. Method and apparatus for controlling a hearing instrument to relieve tinitus, hyperacusis, and hearing loss. Google Patents; 2020.
87. Tsirelson BS, Vershik AM. Examples of nonlinear continuous tensor products of measure spaces and non-Fock factorizations. Reviews in Mathematical Physics. 1998;10(1):81-145.
88. Watanabe S. A simple example of black noise. Bulletin des sciences mathematiques. 2001;1:125(6-7):605-22.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.3.7]