Advances in Cognitive Sciences
Vol 25, No. 1, Spring 2023
Research Article
Pages 108-122

Development of a cognitive machine for the evaluation of emotions in the Iranian musical Dastgahs using brain emotional learning

Maryam Jandaghian[1], Saeed Setayeshi[2*], Farbod Razzazi[3], Arash Sharifi[4]

1. PhD Student of Artificial Intelligence, Department of Computer Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Associate Professor, Department of Energy Engineering and Physics, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran
3. Associate Professor, Department of Electrical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
4. Assistant Professor, Department of Computer Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Recieved: 8 Nov. 2022
Revised: 14 Apr. 2023
Accepted: 8 May. 2023

Keywords
Cognitive modeling
Evaluation of emotions
Iranian musical Dastgah
Brain emotional learning
RADIF of Mirza Abdollah

Corresponding author
Saeed Setayeshi, Associate Professor, Department of Energy Engineering and Physics, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

Email: Setayesh@aut.ac.ir

doi.org/10.30514/icss.25.1.108

Abstract

Introduction: The Radif of Iranian traditional music consists of seven Dastgahs, each of which evokes specific emotions in the listener. Many famous music experts have qualitatively explained the emotional features of each Iranian Dastgah based on experience. However, not only experts, but also the general public disagree on the specific emotions and intensity evoked by a particular Dastgah.because people's emotional backgrounds differ. The present study aims to introduce a cognitive model that can quantitatively predict the emotional features of any musical Dastgah for a specific listener.

Methods: This research introduced an emotional learning model of the brain to determine the emotional pattern of Dastgahs based on Thayer's psychological model and the specific features of Iranian traditional music. The "RADIF of Mirza Abdollah" was used. Furthermore, this study selected 52 participants to evaluate all 12 emotions of the Thayer model for each music piece.

Results: The system's performance was evaluated by mean square error for the participant based on the Dastgah of music pieces. Besides, by summarizing the participants' results , a general assessment of the emotional features of the Iranian musical Dastgah was presented.

Conclusion: The investigation of the proposed system leads us to the conclusion that a kind of uncertainty caused by the emotional background of people lies in the behavioral and physiological function of emotions in the brain.

Citation: Jandaghian M, Setayeshi S, Razzazi F, Sharifi A. Development of a cognitive machine for the evaluation of emotions in the Iranian musical Dastgahs using brain emotional learning. Advances in Cognitive Sciences. 2023;25(1):108-122.

Extended Abstract

Introduction

Iranian traditional music includes Dastgahs and Avazes, which can evoke different emotions. Many sources have divided Iranian musical Dastgahs into seven types (Shur, Mahur, Segah, Chahargah, Raste-Panjgah, Homayun, Nava) (12, 13). In recent years, several studies have been used for mood recognition or classification of music pieces based on Dastgah (14-16). Nevertheless, considering this collection wide range of emotions, diversity,

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

and richness, it is necessary to examine the quantitative value of the different emotions evoked by the Dastgah of Iranian music. Famous musicians have qualitatively described the emotional features evoked by each Dastgah. For example, the sadness of the Segah (17) and the motivation and pleasure of Mahur (18, 19) have been emphasized. But there are two problems. Initially, a qualitative description is provided, with a limited number of studies focusing on the quantification of emotions evoked by Iranian musical Dastgahs. Secondly, not only musical experts but also ordinary people do not agree with the evoked emotions by each Dastgah. People's emotional backgrounds vary, influencing their comments on a particular Dastgah. Their musical knowledge also plays a role in shaping their opinions. Therefore, musical Dastgah can evoke different emotions in different individuals. The main goal of the current study is to predict the quantitative values of all the emotional features of Iranian musical Dastgahs, considering the emotional background of a specific person and the musical features of an Iranian music piece.

Methods

The design of the proposed system was based on the parallel processing of emotions in the brain (28). The Brain Emotional Learning (BEL) model expresses emotional learning based on the interaction of four neural regions of the brain, including the orbitofrontal, amygdala, thalamus, and cortex (25). Thayer's emotional model describes 12 emotions using two dimensions called arousal and valence (29). Based on Thayer's model, the emotional studied components are in order: pleased, happy, excited, annoyed, angry, nervous, sad, bored, sleepy, calm, peaceful, and relaxed.

According to the proposed structure, pieces of music enter the thalamus, and the thalamus removes the noise, converts the MIDI file to a matrix, and extracts the features based on the structure of Iranian traditional music. The output of the thalamus was sent to all the emotional parts for processing. Based on Thayer's model, the proposed structure included 12 emotional parts, each responsible for evaluating one of the emotions from the input matrix. The most impressive feature was the type of musical Dastgah (including one of the seven Dastgahs) directly imported from the thalamus to the amygdala. Dimensions of the Thayer model helped us to adjust the reinforcement signals. Arousal was used as a signal to the amygdala, and valence as a reinforcement signal to the orbitofrontal.

This study used “RADIF of Mirza Abdollah,” published with the composition and playing of Setar (an Iranian musical instrument) by Dariush Talaei (31). The researchers asked 52 participants to evaluate each piece’s 12 emotions of Thayer's emotional model. The simulation environment was MATLAB. The cross-validation method was used to evaluate each person's feelings. In this way, the samples were divided into seven equal parts with the normal distribution of parts based on the type of Dastgah, so five parts were used as training samples, and two parts were used as test samples. Twenty-one replications were performed to cover all possible scenarios.

Results

The proposed system was evaluated in two stages. In the first stage, the system’s overall performance compared to Anfis was reported so that the system’s output was confirmed with an acceptable error. Furthermore, this study used the coefficient of determination or R-Squared as another standard to evaluate the performance of the proposed system. In the second stage, the average emotions of all fifty-two participants were summarized and normalized based on the musical Dastgahs shown in Figure 1. Considering no similar study to compare the system's performance, referring to the qualitative description of the Khaleghi can confirm the results (17).

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

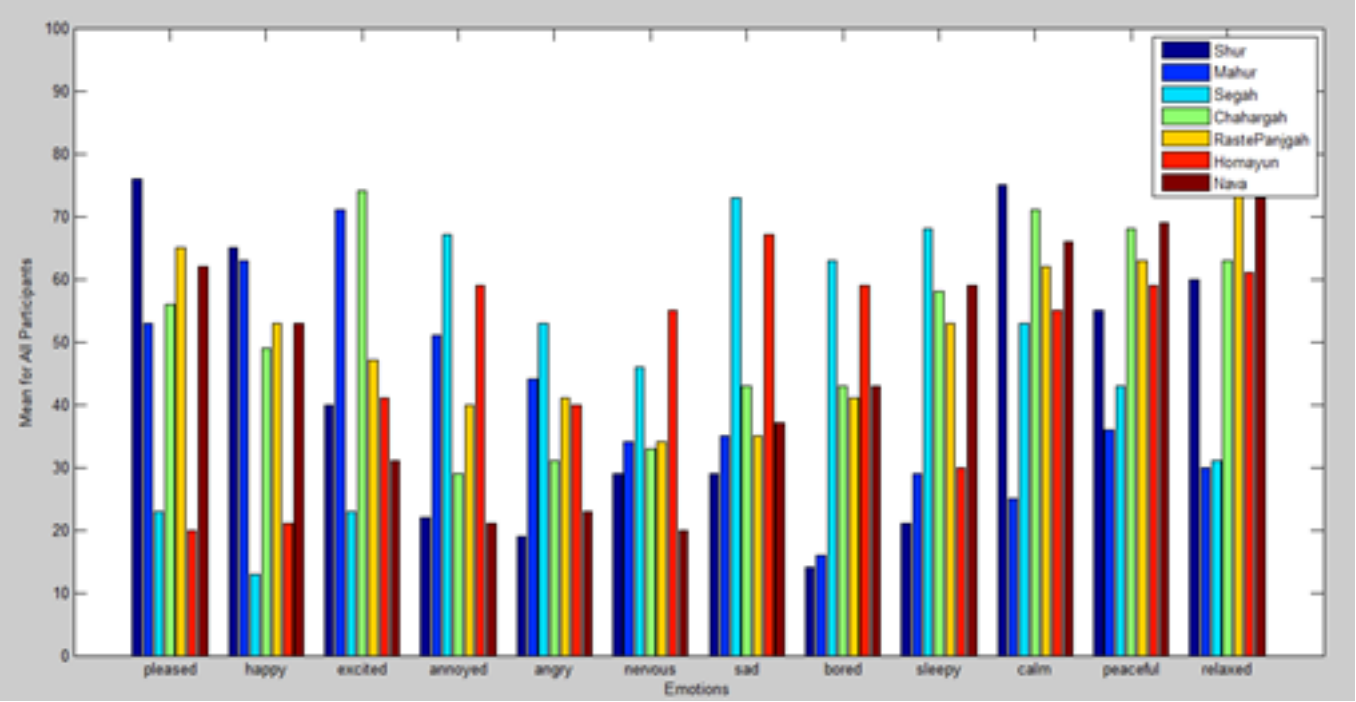


Fig. 1. Average emotions of all participants based on Dastgah

Overall, listeners were more successful in identifying arousal levels in the Dastgahs, but they struggled to discern the valence pattern because arousal is more comprehensible to humans than capacity. The ultimate outcome demonstrated that Dastgahs with higher arousal power, such as Shur and Mahur, had a lower average system error. Conversely, Dastgahs with lower valence power, like Nava and Raste-Pangah, experienced a higher error rate.

Conclusion

This study was conducted to evaluate individual emotions of Iranian musical Dastgahs. This research tried to propose a model with special attention to the features of Iranian traditional music and the emotional background of the individual. The proposed model included 12 parts, each responsible for processing one emotion of Thayer's emotional model. All 12 parts worked in parallel with each other. Each part included four areas: orbitofrontal, amygdala, thalamus, and cortex. The most impressive feature was the type of Dastgah that entered the amygdala directly from the thalamus. Thayer's model has two dimensions: valence and arousal. The proposed model used valence to regulate the amygdala reinforcement signal and arousal to regulate the orbitofrontal reinforcement signal. The analysis of the results leads us to the existence of uncertainty caused by people's emotional background lies in the behavioral and physiological function of emotions in the brain.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

The present study was conducted following ethical principles, including the consent of all participants, respect for the confidentiality of participants' information, and freedom to leave the research process.

Authors' contributions

All four authors prepared the study; the first author designed the model and the computational framework. The second author analyzed the data. The third and fourth authors did sample preparation. All of the authors contributed to the interpretation of the results.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

Funding

No financial support has been received from any organization for this research.

Acknowledgments

The authors would like to thank all 52 participants in this study, as well as the respected professors who guided this work.

Conflict of interest

All authors certify that they have no affiliations with or involvement in any organization or entity with any interest or non-financial interest in the subject matter or materials discussed in this manuscript.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

مجله تازه‌های علوم شناختی
دوره ۲۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲
صفحات ۱۲۲-۱۰۸
مقاله پژوهشی

توسعه یک ماشین شناختی جهت ارزیابی عاطفی دستگاه‌های موسیقی ایرانی با استفاده از مدل یادگیری هیجانی مغز

مریم جندقیان[۱]، سعید ستایشی[۲*]، فربد رزازی[۳]، آرش شریفی[۴]

۱. دانشجوی دکتری هوش مصنوعی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
۲. دانشیار گروه مهندسی پرتو پزشکی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
۳. دانشیار دانشکده مکانیک، برق و کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
۴. استادیار دانشکده مکانیک، برق و کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۷
اصلاح نهایی: ۱۴۰۲/۰۱/۲۵
پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۸

واژه‌های کلیدی
مدل‌سازی شناختی
ارزیابی عاطفی
دستگاه موسیقی ایرانی
یادگیری عاطفی مغز
ردیف میرزاعبدالله

نویسنده مسئول
سعید ستایشی، دانشیار گروه مهندسی پرتو پزشکی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
ایمیل: Setayesh@aut.ac.ir

doi.org/10.30514/icss.25.1.108

چکیده

مقدمه: ردیف موسیقی سنتی ایران شامل هفت دستگاه با نام‌های شور، ماهور، سه‌گاه، چهارگاه، راست‌پنجگاه، همایون، نوا است که هر کدام عواطف خاصی را به شنونده انتقال می‌دهد. بسیاری از صاحب‌نظران عرصه موسیقی، ویژگی‌های عاطفی ادراک شده از هر دستگاه موسیقی سنتی ایرانی را بر اساس تجربه به صورت کیفی تشریح کرده اند. ولی نه تنها آنان، بلکه افراد عادی هم در خصوص نوع و اندازه عواطف حاصل از یک دستگاه موسیقی توافق ندارند. زیرا پیش‌زمینه عاطفی افراد متفاوت است. هدف از این مطالعه معرفی یک مدل شناختی است که قادر باشد ویژگی‌های عاطفی هر دستگاه موسیقی را برای شنونده مشخص به صورت کمی پیش‌بینی نماید.

روش کار: در این مطالعه یک مدل بهینه یادگیری عاطفی مغز معرفی شد که با مدل روان‌شناختی Thayer ادغام گشت تا بر اساس ویژگی‌های خاص موسیقی دستگاهی ایرانی، الگوی عاطفی دستگاه‌ها را کشف نماید. ما از ردیف میرزاعبدالله به روایت داریوش طلایی استفاده کردیم و از ۵۲ داوطلب خواستیم تا ارزش ۱۲ احساس مدل عاطفی Thayer را برای هر قطعه تعیین کنند.

یافته‌ها: برای بررسی عملکرد سیستم، میانگین مربعات خطای سیستم برای داوطلبان بر اساس دستگاه به دست آمد. همچنین با جمع‌بندی نتایج داوطلبان، یک ارزیابی کلی از ویژگی‌های عاطفی دستگاه‌های موسیقی ایرانی ارائه دادیم.

نتیجه‌گیری: بررسی سیستم پیشنهادی ما را به این نتیجه می‌رساند که نوعی عدم قطعیت ناشی از پیش‌زمینه ادراکی افراد در عملکرد رفتاری و فیزیولوژیکی احساسات در مغز نهفته است.

مقدمه

بحث در مورد ماهیت موسیقی و احساسات موضوعی اساسی است که مورد مناقشه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. دو رویکرد متضاد در مورد چگونگی درک انسان از موسیقی وجود دارد: رویکرد شناخت‌گرایی و رویکرد احساس‌گرایی. بر اساس رویکرد شناخت‌گرایی، اگرچه ساختار موسیقی می‌تواند احساسات را بیان کند، اما آن را به شنونده القا نمی‌کند (۱). بر اساس رویکرد احساس‌گرایی، شنونده تمام احساسات بیان شده توسط آهنگ‌ساز موسیقی را درک می‌کند (۲). هر چند بسیاری از مطالعات از ترکیب این دو رویکرد استفاده کرده‌اند (۳). همچنین اثبات شده است که ادراک موسیقی متاثر از زمینه عاطفی افراد است (۴). از سوی دیگر، استخراج و بازیابی ویژگی‌های موسیقی عموماً بر دو نوع تحلیل استوار است: پردازش سیگنال و تحلیل نمادین. اکثر پژوهش‌ها از پردازش سیگنال‌های صوتی استفاده کردند (۵-۸).

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

روش‌های تحلیل نمادین با کشف رابطه بین نت‌های یک قطعه موسیقی، ویژگی‌های موسیقی را نشان می‌دهند. اگرچه تحلیل نمادین سطح اساسی‌تری از تجربه عاطفی در مغز را در مقایسه با سیگنال صوتی نشان می‌دهد، پژوهش‌های کمتری در این زمینه انجام شده است (۱۱-۹).

موسیقی سنتی ایران جایگاه بروز عواطف و احساسات مردمان این سرزمین است. این موسیقی شامل دستگاه‌ها و نغمه‌ها و آوازهایی است که هر کدام حال و هوای خاص خودشان را دارند و می‌توانند شنونده را تحت تاثیر عواطف مختلف قرار دهند. دستگاه موسیقی ایرانی، دارای توالی خاصی از پرده‌های مختلف موسیقی ایرانی است و بر همین اساس بیشتر منابع، دستگاه‌های موسیقی ایرانی را به هفت دستگاه (شور، ماهور، سه‌گاه، چهارگاه، راست‌پنجگاه، همایون، نوا) تقسیم‌بندی کرده‌اند (۱۲، ۱۳). در سال‌های اخیر مطالعات چندی در خصوص طبقه‌بندی کلی دستگاه‌های موسیقی صورت گرفته است (۱۶-۱۴). ولی نظر به گستردگی احساسات، تنوع , وسعت و غنی بودن این مجموعه، لزوم بررسی عواطف مختلف برآمده از موسیقی دستگاهی ایران آشکار می‌شود. این موضوع همواره مورد توجه صاحب‌نظران عرصه موسیقی بوده است و اساتید موسیقی در طول دوران به صورت سلیقه‌ای و پراکنده خصوصیات ادراکی حاصل از هر دستگاه را به صورت کیفی تشریح کرده‌اند، برای نمونه بر حزین و غم‌انگیز بودن سه‌گاه (۱۷) و طرب‌انگیز و مسرت‌آور بودن ماهور (۱۸، ۱۹) تاکید دارند. ولی در این رابطه دو مشکل عمده دارد. اول آن که این بیان به صورت کیفی و به صورت زبانی تشریح شده است و مطالعات انگشت‌شماری در خصوص کمی‌سازی احساسات حاصل از موسیقی دستگاهی ایران وجود دارد. دوم آن که به سبب نادقیق بودن این بیان تشریحی، نه تنها صاحب‌نظران عرصه موسیقی، بلکه افراد عادی هم در خصوص نوع و اندازه ادراکات حاصل از یک دستگاه موسیقی توافق ندارند. علت این امر آن است که پیش‌زمینه عاطفی افراد متفاوت است و افراد بسته به پیش‌زمینه عاطفی خود و حتی دانش موسیقایی خود، در خصوص دستگاه‌ها اظهارنظر می‌کنند. بنابراین تاثیر دستگاه‌های موسیقی بر روی افراد می‌تواند متفاوت باشد و نیاز به شخصی‌سازی و کمی‌سازی ارزیابی‌ها می‌باشد.

از اندک مطالعات موجود در خصوص بررسی عواطف موسیقی دستگاهی ایران، می‌توان به مطالعه‌های زاده محمدی (۱۳۷۷) اشاره کرد (۲۰، ۲۱). ولی کمبود سیستمی مکانیزه که بتواند به صورت خودکار عواطف برانگیخته شده از یک دستگاه موسیقی مشخص را بر اساس پیش‌زمینه عاطفی شنونده به طور کمی بیان کند، مشهود است. با توجه به آن که ادراک موسیقی در مغز رخ می‌دهد، توجه ویژه به چگونگی ادراک موسیقی در مغز می‌تواند ما را به سمت مدل‌سازی شناختی ادراک موسیقی دستگاهی سوق دهد.

Koelsch اثرات موسیقی را در فعالیت ساختارهای مغزی مرتبط با احساسات بررسی کرد و «نظریه چهارگانه احساسات انسانی» را ارائه کرد (۲۲). مطالعاتی وجود دارند که برای کشف احساسات موسیقی فعالیت الکتریکی نواحی مغز را بررسی می‌کنند (۲۳، ۲۴). در همین راستا Moren و Balkenius یک مدل محاسباتی به نام یادگیری هیجانی مغز (Brain Emotional Learning (BEL)) ارائه کردند (۲۵). این مدل مبنای مطالعاتی در زمینه‌های مختلف شد (۲۶). حال این سوال مطرح می‌شود که آیا می‌توان مدل BEL را برای تشخیص احساسات موسیقی دستگاهی ایران تغییر داد؟

هدف اصلی پژوهش حاضر پیش‌بینی ارزش‌های کمی همه ویژگی‌های عاطفی دستگاه‌های موسیقی است که ما را به سمت ایجاد یک مدل عاطفی بر اساس معماری شناختی مغز هدایت می‌کند که از پیش‌زمینه عاطفی فرد، تحلیل نمادین موسیقی و یک مدل روان‌شناسی استفاده می‌کند.

روش کار

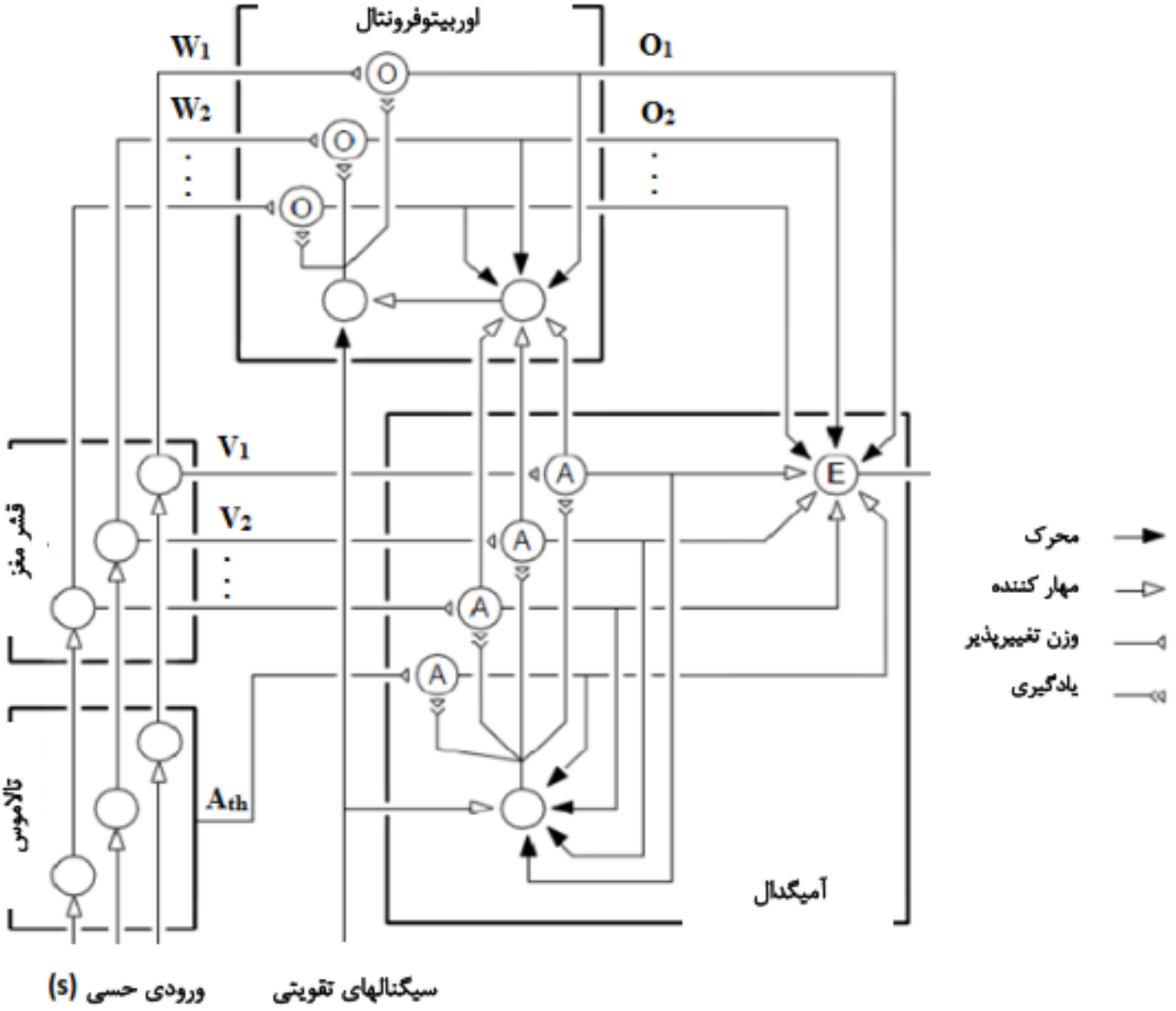
در این مطالعه هدف ارزیابی کمی احساسات برآمده از هفت دستگاه موسیقی سنتی ایرانی می‌باشد که تاکنون توسط اساتید موسیقی به صورت کیفی شرح داده شده و سیستم مکانیزه‌ای برای این ارزیابی ارائه نشده است. در روان‌شناسی، پردازش موازی مغز به معنای توانایی مغز برای پردازش محرک‌های ورودی به طور همزمان است (۲۷). Rumelhart و McClelland یک نظریه شناختی به نام اتصال‌گرایی را توصیف کردند که مدل پردازش توزیع شده موازی (parallel distributed processing) مغز را ارائه داد (۲۸). طراحی سیستم ما بر اساس پردازش موازی احساسات در مغز است که تاکنون در تشخیص احساسات موسیقی به آن توجه نشده است. از سوی دیگر این طراحی مبتنی بر ترکیب رویکرد شناخت‌گرایانه و احساس‌گرایانه است، بنابراین ما به ترکیب ساختار موسیقی آهنگ‌ساز و زمینه عاطفی شنونده توجه ویژه‌ای داریم. در ضمن ما از مشخصه‌های احساسی معرفی شده بر اساس مدل Thayer استفاده می‌کنیم و با ترکیب مدل BEL و Thayer ماشینی ارائه می‌نماییم که توانای پردازش سریع مغز را القا کند.

۱. مروری بر روش یادگیری هیجانی مغز

مدل BEL یادگیری عاطفی را بر اساس تعامل چهار ناحیه عصبی مغز شامل اوربیتوفرونتال، آمیگدال، تالاموس و قشر مغز بیان می‌کند.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

تالاموس پیش‌پردازش اولیه را روی ورودی حسی از جمله حذف نویز انجام می‌دهد. قالب‌بندی ورودی مهمترین وظیفه تالاموس است. خروجی تالاموس ورودی مورد نیاز حسگر قشر مغز است که وظیفه استخراج ویژگی دارد. اگر بردار ویژگی را «S» بنامیم، خروجی قشر به آمیگدال و اوربیتوفرونتال می‌رود. A بردار خروجی گره‌های آمیگدال با وزن V است، در حالی که O بردار خروجی گره‌های اوربیتوفرونتال با وزن W است. خروجی مدل از اختلاف بین مجموع خروجی‌های آمیگدال و ناحیه اوربیتوفرونتال حاصل می‌شود.

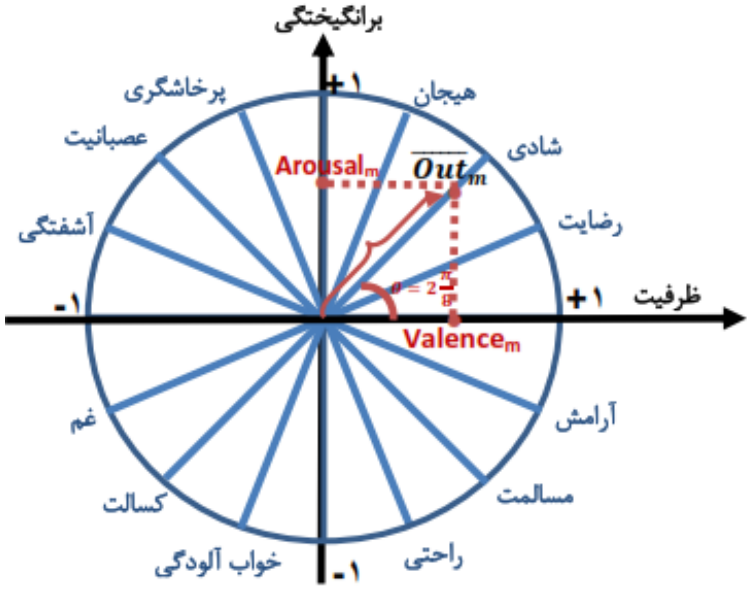


شکل ۱. مدل BEL بر اساس سیستم لیمبیک (۲۵)

۲. مروری بر مدل عاطفی Thayer

مدل عاطفی Thayer به عنوان یک استاندارد جهانی برای طبقه‌بندی مشخصه‌های احساسی پذیرفته شده است (۲۹). در مدل Thayer، احساسات با استفاده از دو بعد عمود بر هم به نام‌های برانگیختگی (Arousal) و ظرفیت (Valence) توصیف می‌شوند. محور افقی نشان‌دهنده ظرفیت و محور عمودی نشان‌دهنده برانگیختگی است که از کم به زیاد تغییر می‌کنند. بنابراین، چهار دسته اصلی از احساسات شکل می‌گیرد که ۱۲ مشخصه احساسی را قابل درک برای انسان معرفی می‌کند که در شکل ۲ زیر نمایش داده شده است.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License



شکل ۲. فضای ظرفیت‌برانگیختگی مدل Thayer (۲۹)

۳. ساختار ماشین عاطفی پیشنهادی

بر اساس ساختار ارائه شده، در هر مرحله آموزش، آهنگ ورودی (Music) به تالاموس وارد می‌شود و تالاموس با حذف نویز و تبدیل فایل midi به ماتریس و استخراج ویژگی‌ها، ماتریس حاصل را برای پردازش به تمام بخش‌های ادراکی می‌فرستد. با توجه به آن که مدل Thayer دارای ۱۲ مشخصه ادراکی است، ساختار پیشنهادی شامل ۱۲ بخش ادراکی می‌باشد. بخش m ($0<=m<=12$) وظیفه پردازش یک مشخصه ادراکی از ماتریس ورودی را بر عهده دارد. این مشخصه‌ها عبارتند از رضایت، شادی، هیجان، پرخاشگری، عصبانیت، آشفتگی، غم، کسالت، خواب آلودگی، راحتی، مسالمت و آرامش. بخش ادراکی m وظیفه کشف اندازه مشخصه ادراکی m را بر عهده دارد.

ترکیب ویژگی‌ها با هم در قالب برداری به نام $S_{i,m}$ وظیفه کورتکس ادراکی m است که $1<=i<=n$ و n تعداد ورودی به هر بخش ادراکی می‌باشد. بردار ویژگی با قالب $[S_1,S_2,\ldots, S_n]$ از بخش ادراکی m وارد دو بخش آمیگدال و اوربیتافرانتال می‌گردد. A_{th} که در قالب تاثیرگزارترین گره حسی، مستقیما از تالاموس وارد آمیگدال می‌شود. با توجه به آن که سیستم ما توجه ویژه‌ای به نوع دستگاه قطعه موسیقی دارد، ما مهمترین ویژگی را اولین مولفه بردار ویژگی استخراج شده یعنی نوع دستگاه موسیقی (S_1) در نظر می‌گیریم.

هر مقدار تحریک $S_{i,m}$ یک گره آمیگدال بنام $A_{i,m}$ با وزن $V_{i,m}$ (بجز گره تحریک تالاموسی) در نظر گرفته می‌شود. برای هر مقدار تحریک $S_{i,m}$ یک گره اوربیتافرانتال به نام $O_{i,m}$ با وزن $W_{i,m}$ در نظر گرفته می‌شود. سیگنال تحریک هیجان از طریق آمیگدال محاسبه می‌شود. خروجی هر نود عبارتست از:

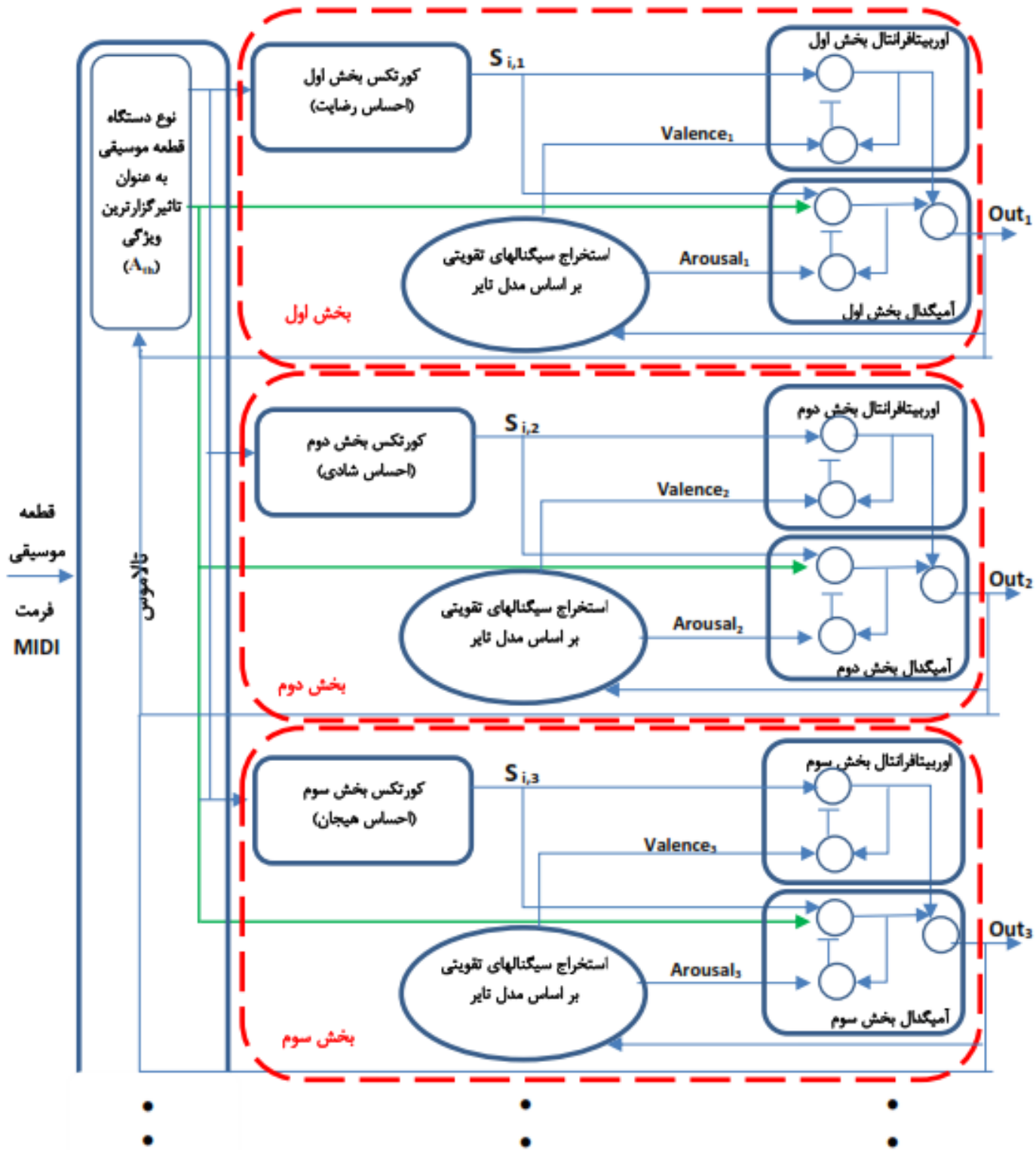
$$\mathbf{A_{i,m} = S_{i,m} * V_{i,m}} \quad (۱)$$

$$\mathbf{O_{i,m} = S_{i,m} * W_{i,m}} \quad (۲)$$

گره Out_m اندازه گره خروجی برای مشخصه ادراکی m در مدل Thayer بر اساس رابطه ۳ تعیین می‌گردد.

$$\boldsymbol{Out_m = \sum_{i=1}^{n} A_{i,m} - \sum_{i=1}^{n} O_{i,m}} \quad (۳)$$

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License



شکل ۳. ساختار مدل محاسباتی سیستم پیشنهادی

V هرگز کاهش نمی‌یابد. زیرا در آمیگدال فراموشی رخ نمی‌دهد و یادگیری آن دائمی است. به عبارتی وظیفه اوربیتافرانتال کاهش شدت هیجان نامطلوب است.

بروزرسانی وزن‌ها بر اساس رابطه ۴ و ۵ انجام می‌شود که α و β ضرایب ثابت بین 0 و ۱ است و $Arousal_m$ به عنوان سیگنال تقویتی(Reinforcement signal) ورودی آمیگدال و $Valence_m$ به عنوان سیگنال تقویتی ورودی اوربیتافرانتال بخش m و $Target_m$ خروجی مورد انتظار می‌باشد.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

$$\Delta V_{i,m} = error_m * \alpha(S_{i,m}\, max(0, Arousal_m - \sum_{j=1}^{n} A_{j,m}) \quad (۴)$$

$$\Delta W_{i,m} = error_m * \beta(S_{i,m} \sum_{j=1}^{n} (O_{j,m} - Valence_m) \quad (۵)$$

$$error_m = Target_m - (\sum_{i=1}^{n} A_{i,m} - \sum_{i=1}^{n} O_{i,m} \quad (۶)$$

جهت تنظیم سیگنال‌های تقویتی از ابعاد مدل Thayer کمک می‌گیریم. مطابق شکل ۲ اندازه شعاع دایره ادراکی Thayer یک واحد در نظر گرفته شده است. اگر $\overline{Out}_m$ میانگین خروجی داده‌های آموزشی بخش ادراکی m در یک مرحله از فرایند آموزش باشد، واضح است که فاصله این نقطه از مرکز دایره (0,0) برابر $\overline{Out}_m$ است که بر اساس خاصیت فیثاغورس قابل محاسبه است.

$$Valence_m^{\,2} + Arousal_m^{\,2} = \overline{Out}_m^{\,2} \quad (۷)$$

$$tan(\theta) = \frac{Arousal_m}{Valence_m} \quad (۸)$$

از $Arousal_m$ و $Valence_m$ در مرحله بعدی آموزش استفاده می‌گردد. زیرا آمیگدال مشتاق دریافت هیجانات و اوربیتافرانتال مشتاق دریافت خاصیت مهارکنندگی است. بنابراین ورود این دو سیگنال به آمیگدال و اوربیتافرانتال باعث سرعت بیشتر همگرایی خواهد شد. پاسخ نهایی از آمیگدال بوده و سیگنال پاداش یک رویکرد با آموزش تقویتی است. با تغییر وزن‌ها در طول دفعات تکرار، شبکه یاد می‌گیرد و می‌تواند سیگنال آشوب را در زمان خاصی پیش‌بینی کند.

۴. استخراج بردار ویژگی موسیقی ایرانی

ویژگی‌های موسیقایی در حالت کلی به دو نوع تقسیم می‌شوند:

۱) ویژگی‌های کلی آهنگ شامل نوع دستگاه موسیقی، سرعت، گام، مجموع شدت بلندی نت‌ها، تعداد نت‌ها در هر ضرب، ضریب همبستگی توزیع نوع نت در ماتریس مطابق با گام، توزیع نوع نت مرتبه اول، توزیع نوع نت مرتبه دوم، توزیع کشش نت مرتبه اول، توزیع کشش نت مرتبه دوم و توزیع فواصل نت‌ها است.

۲) ویژگی‌های حاصل از قطعه‌بندی آهنگ شامل ماتریس اندازه شباهت نوع نت بین قطعات و ماتریس اندازه شباهت کشش نت بین قطعات است که هر درایه آن عددی بین ۰ تا ۱ می‌باشد. در این پژوهش هر ۵ ثانیه از هر آهنگ به عنوان یک قطعه در نظر گرفته می‌شود. این کار امکان مقایسه قطعات را با یکدیگر فراهم می‌کند. با توجه به آن که این ماتریس‌ها قرینه می‌باشند فقط از اطلاعات بخش پایین مثلثی آن استفاده می‌گردد.

جهت کاهش ابعاد داده غیر خطی از روش NLPCA استفاده کردیم که تعداد ویژگی‌ها را به ۱۳۲ خلاصه کرد.

۵. مجموعه نمونه‌ها و روش ارزیابی

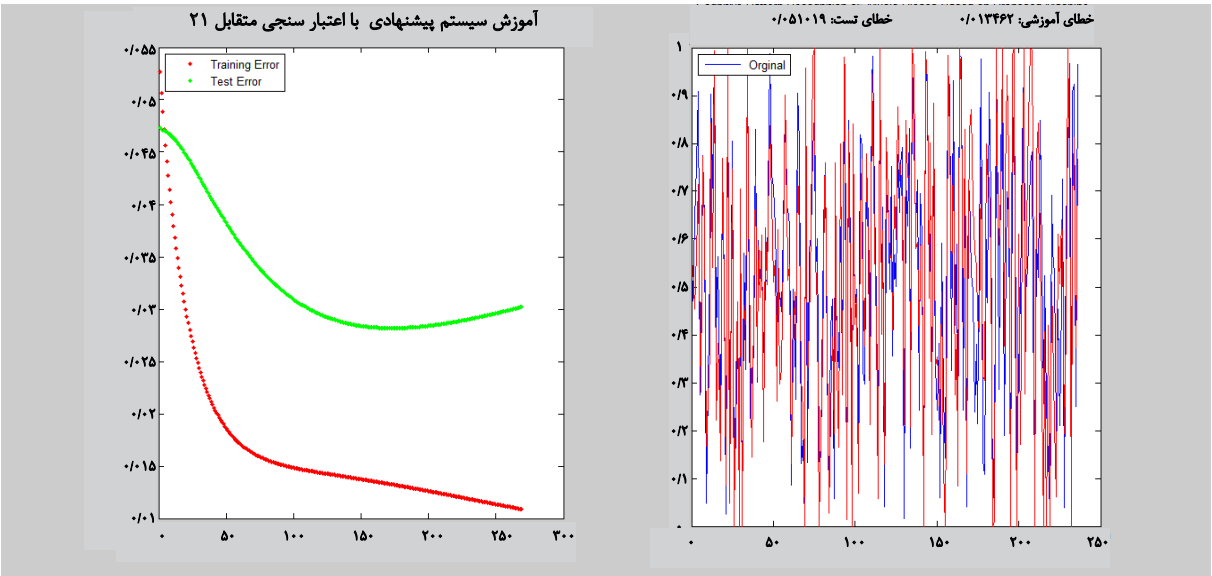
ردیف میرزاعبدالله قدیمی‌ترین و معتبرترین روایت از مجموعه دستگاه‌های موسیقی سنتی ایرانی است (۳۰). داریوش طلایی نوازنده ممتاز تار و سه‌تار، نت‌نویسی و نوازندگی ردیف میرزاعبدالله را انجام داده و رایج‌ترین مجموعه ردیف‌های موسیقی ایرانی را ایجاد کرده است (۳۱). بسیاری از مطالعات در زمینه موسیقی سنتی ایران بر اساس این روایت صورت گرفته است (۳۲-۳۵). این مجموعه شامل ۱۹۳ قطعه متعلق به مجموعه هفت دستگاه موسیقی اصیل ایرانی است. از آنجایی که سیستم پیشنهادی مبتنی بر موسیقی دستگاهی می‌باشد، ما از فرمت MIDI این ۱۹۳ قطعه برای تحلیل نمادین استفاده کردیم.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

سیستم پیشنهادی بر اساس شخصی‌سازی احساسات طراحی شد و بنابراین پژوهش حاضر بر مطالعه افراد مختلف با حالات عاطفی مختلف تاکید داشت. ما ۵۲ شرکت‌کننده ایرانی با زمینه‌های عاطفی مختلف شامل ۱۹ زن و ۳۳ مرد با سن بین ۱۵ تا ۶۵ سال، انتخاب کردیم. ۱۸ شرکت‌کننده گزارش کردند که حداقل ۴ سال تخصص موسیقی فعال داشتند و ۳۴ شرکت‌کننده دانش موسیقی نداشتند یا فعالیت‌های موسیقی آنها از ۴ سال کمتر بود. همه آنها هنگام پخش آهنگ در یک محیط ایزوله و ساکت در آرامش بودند و با کیفیت صدای یکسان به موسیقی گوش دادند. از هر داوطلب خواسته شد که هر یک از قطعات ردیف میرزاعبدالله را گوش کند و پس از شنیدن هر قطعه، ۱۲ احساس مدل Thayer را با یک عدد اعشاری بین ۰ و ۱ ارزیابی کند. این مقدار نشان‌دهنده ارزش کمی هر احساسی است که قطعه در داوطلب برانگیخته است. محیط شبیه‌سازی مورد استفاده MATLAB بود. برای ارزیابی عواطف هر فرد، داده‌ها به طور تصادفی به هفت قسمت مساوی تقسیم شدند به طوری که از پنج قسمت به عنوان داده‌های آموزشی و دو قسمت به عنوان داده‌های آزمون استفاده شد. برای ارزیابی نتایج از روش اعتبارسنجی متقابل استفاده شد به طوری که ۲۱ تکرار برای پوشش تمام سناریوهای ممکن برای انتخاب دو قسمت از هفت قسمت انجام شد. خطای سیستم برای هر فرد، میانگین مربعات خطا (MSE) در ۲۱ تکرار بود. ما تمام ۱۲ احساس ۵۲ شرکت‌کننده را ارزیابی کردیم که خطای سیستم، میانگین خطای احساسات ۵۲ نفر بود.

یافته‌ها

سیستم پیشنهادی در دو مرحله بررسی شد. در مرحله اول عملکرد کلی سیستم در مقایسه با انفیس ارزیابی شد تا خروجی سیستم با خطای قابل قبول تایید گردد. جهت تست عملکرد کلی، ما سیستم پیشنهادی را برای هر داوطلب اجرا کردیم. یک نمونه از خروجی سیستم در شکل ۴ نمایش داده شده است.



شکل ۴. خطای آموزشی و خطای تست سیستم پیشنهادی برای احساس رضایت یک داوطلب در یک تکرار روش اعتبارسنجی متقاطع

برای هر داوطلب روش اعتبارسنجی متقابل ۲۱ بار تکرار شد و این سیستم برای ارزیابی دقیق‌تر برای تمام داوطلبین اجرا شد. همچنین، ما از ضریب تعیین یا R^2 به عنوان معیار استاندارد دیگری برای ارزیابی سیستم پیشنهادی در مقایسه با انفیس استفاده کردیم. R^2=۱ به این معنی است که مدل کاملاً با داده‌ها مطابقت دارد، در حالی که مقدار منفی R^2 به این معنی است که مدل حتی بدتر از میانگین نمونه است. نتایج حاصل از عملکرد هر دو سیستم بر اساس نوع دستگاه گروه‌بندی و در جدول ۱ گزارش شده است. ضمن آن که سیستم پیشنهادی عملکرد بهتری داشت، به صورت کلی مشاهده شد که شنوندگان در تشخیص برانگیختگی در دستگاه‌ها توافق بیشتری داشتند، اما کشف الگوی ظرفیت برای آنها دشوار بود. زیرا برانگیختگی در مقایسه با ظرفیت برای انسان قابل درک‌تر است. نتیجه نهایی آن که میانگین خطای سیستم برای دستگاه‌های با قدرت برانگیختگی بالاتر مانند شور و ماهور کمتر و برای دستگاه‌های با قدرت ظرفیت پایین مانند نوا و راست‌پنجگاه بیشتر می‌باشد.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

جدول ۱. میانگین نتایج داوطلبان بر اساس نوع دستگاه در مقایسه با انفیس

		شور	ماهور	سه گاه	چهارگاه	راست‌پنجگاه	همایون	نوا
سیستم پیشنهادی	میانگین مربعات خطا	۰/۰۴۵	۰/۰۴۳	۰/۰۵۲	۰/۰۵۱	۰/۰۵۴	۰/۰۴۶	۰/۰۵۷
	ضریب تعیین در بعد برانگیختگی	۰/۶۸	۰/۷۰	۰/۵۹	۰/۶۱	۰/۶۵	۰/۶۸	۰/۶۱
	ضریب تعیین در بعد ظرفیت	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۳۵	۰/۳۷	۰/۳۹	۰/۳۲	۰/۴۳
انفیس	میانگین مربعات خطا	۰/۰۶۲	۰/۰۶۶	۰/۰۷۲	۰/۰۷۱	۰/۰۶۹	۰/۰۶۷	۰/۰۷۳
	ضریب تعیین در بعد برانگیختگی	۰/۶۰	۰/۶۱	۰/۵۸	۰/۵۲	۰/۵۱	۰/۵۹	۰/۵۳
	ضریب تعیین در بعد ظرفیت	۰/۱۹	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۲۵	۰/۲۰	۰/۲۷

بهترین نتایج به صورت زیر به دست آمد: R^2(برانگیختگی)=۰/۸۰ برای غم، R^2(ظرفیت)=۰/۵۵ برای آرامش. بدترین نتایج به دست آمد: R^2(برانگیختگی)=۰/۵۹ برای پرخاشگری و R^2(ظرفیت)=۰/۲۵ برای شادی. موسیقی سنتی ایرانی به موسیقی غمگین و آرام معروف است (۳۰). نتایج نشان داد که شنوندگان در تشخیص غم و احساسات آرامش‌بخش در آهنگ‌ها توافق بیشتری داشتند، اما کشف الگوی شادی برای داوطلبان دشوار بود. از این رو، خطای سیستم در این احساس بیشتر بود. همچنین بهترین نتایج MSE=۰/۰۴۳ برای آرامش بود که دور از انتظار نیست (جدول ۲ و ۳).

جدول ۲. نتایج به دست آمده برای نیمه بالایی دایره تایر در سیستم پیشنهادی

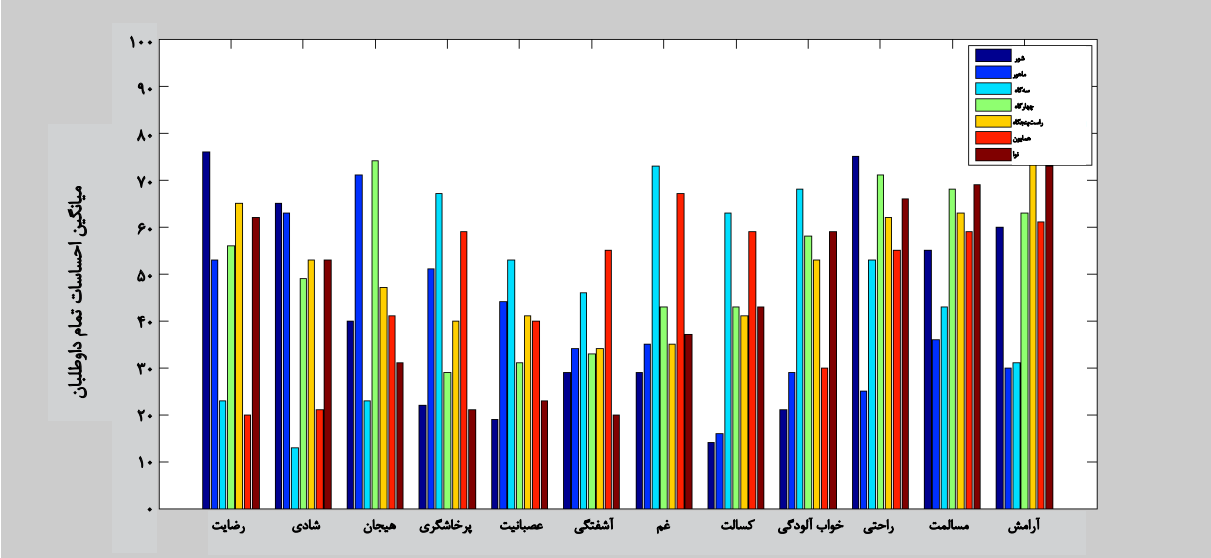
دایره تایر	ربع اول			ربع دوم		
احساس	رضایت	شادی	هیجان	پرخاشگری	عصبانیت	آشفتگی
میانگین مربعات خطا	۰/۰۴۵	۰/۰۵۲	۰/۰۵۴	۰/۰۵۸	۰/۰۵۳	۰/۰۵۹
میانگین تکرار	۲۳۲	۲۵۱	۲۴۲	۲۵۴	۲۵۷	۲۳۲
ضریب تعیین در بعد برانگیختگی	۰/۷	۰/۶۳	۰/۶۲	۰/۵۹	۰/۶۳	۰/۶۶
ضریب تعیین در بعد ظرفیت	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۳۴	۰/۴

جدول ۳. نتایج به دست آمده برای نیمه بالایی دایره تایر در سیستم پیشنهادی

دایره تایر	ربع سوم			ربع چهارم		
احساس	غم	کسالت	خواب آلودگی	راحتی	مسالمت	آرامش
میانگین مربعات خطا	۰/۰۵۲	۰/۰۵۱	۰/۰۴۴	۰/۰۴۷	۰/۰۴۸	۰/۰۴۳
میانگین تکرار	۲۴۳	۲۱۲	۲۵۲	۲۴۴	۲۶۵	۲۳۱
ضریب تعیین در بعد برانگیختگی	۰/۸	۰/۷۷	۰/۷۱	۰/۶۴	۰/۷۸	۰/۷۶
ضریب تعیین در بعد ظرفیت	۰/۴۲	۰/۳۴	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۵۱	۰/۵۵

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

در مرحله دوم، میانگین احساسات حاصل از قطعات ردیف میرزاعبدالله بر اساس دستگاه موسیقی آنها برای ۵۲ داوطلب جمع‌بندی و نرمال‌سازی شد. با توجه به آن که مطالعه مشابه در خصوص ارزیابی کمی نتایج وجود ندارد، جهت مقایسه عملکرد سیستم می‌توان به توصیف کیفی خالقی از دستگاه‌های موسیقی مراجعه کرد (۱۷) (نمودار ۱).



نمودار ۱. میانگین احساسات داوطلبان بر اساس دستگاه

بحث

هدف اصلی مطالعه حاضر طراحی یک سیستم ارزیابی احساسات برانگیخته شده از دستگاه‌های موسیقی ایرانی بر اساس سیستم لیمبیک مغز بود. از آنجایی که درک موسیقی در مغز اتفاق می‌افتد، شبیه‌سازی ساختار مغز بر اساس دانش عصب‌روان‌شناسی می‌تواند راهی برای طراحی این سیستم باشد که تاکنون مطالعه نشده است. در این مطالعه، ماشینی بر اساس ترکیب مدل BEL و مدل Thayer پیشنهاد شده است تا پارامترهای Thayer بتواند در ارائه سیگنال‌های ورودی BEL کمک کند. این ماشین به گونه‌ای طراحی شد که توانایی پردازش سریع مغز را القا کند. همچنین از آنجایی که مغز به عنوان یک ساختار مجزا پیاده‌سازی شد، برای هر فرد بر اساس پیش‌زمینه عاطفی همان فرد عمل می‌کند. سیستم پیشنهادی دارای معماری ساده‌تر، آموزش آسان‌تر و وزن‌های یادگیری کمتر تنها با وزن‌های V و W بود. از این رو، پیچیدگی محاسباتی این شبکه عصبی پیش‌خور در هر بخش O(n) باقی ماند و بخش‌های عاطفی موازی، پیچیدگی محاسباتی مدل را افزایش نداد. بنابراین ویژگی پاسخ‌دهی سریع و دقیق را برآورده کرد. اگر تاثیر هر دستگاه موسیقی سنتی ایرانی بر روی هر شخص مشخص باشد، گزینش موسیقی از بین دستگاه‌های مختلف برای افراد با توجه به خصوصیات فردی آنها ساده‌تر است و حتی می‌تواند در موسیقی درمانی کمک کننده باشد. از سوی دیگر نتایج نشان داد که با توجه به آن که موسیقی سنتی ایرانی به موسیقی غمگین و آرام معروف است، داوطلبان الگوی غم و احساسات آرامش‌بخش را نسبت به شادی آسانتر تشخیص دادند. همچنین، این مطالعه به آهنگ‌سازان پیشنهاد می‌کند که به جای توجه صرف به تجزیه و تحلیل موسیقی نمادین، به عملکرد روان‌شناختی مخاطبان خود بیشتر توجه کنند. دلیل آن این است که شناخت خوب زمینه عاطفی مخاطبان می‌توانند به عنوان یک منبع ارزشمند عمل کنند و به بهبود عملکرد سیستم کمک کنند.

نتیجه‌گیری

نوآوری این مطالعه در شبیه‌سازی ساختار مغز بر اساس دانش روان‌شناسی برای ادراک موسیقی می‌باشد. چنین سیستمی تاکنون مورد مطالعه قرار نگرفته بود. مزیت اصلی مدل ما این است که ساختاری هماهنگ را با استفاده از ترکیب مدل BEL و مدل روان‌شناسی Thayer ارائه می‌دهد که قادر به شبیه‌سازی پردازش موازی و سریع مغز است. یکی از چالش‌های BEL تنظیم سیگنال‌های ورودی آمیگدال و اوربیتوفرونتال است. مدل پیشنهادی ما از بعد ظرفیت در مدل Thayer برای تنظیم سیگنال تقویت آمیگدال و از بعد برانگیختگی در مدل Thayer برای تنظیم سیگنال تقویتی اوربیتوفرونتال استفاده کرد. با توجه به آن که

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

تاکنون مطالعات سیستماتیک بسیار کمی در خصوص ارزیابی عواطف در دستگاه‌های موسیقی ایرانی صورت گرفته است، این مطالعه با هدف پیش‌بینی احساسات فردی از هفت دستگاه موسیقی ایرانی انجام شد. بررسی سیستم پیشنهادی ما را به این نتیجه می‌رساند که نوعی عدم قطعیت در عملکرد رفتاری و فیزیولوژیکی احساسات در مغز نهفته است که ناشی از پیش‌زمینه عاطفی افراد است.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق در پژوهش

پژوهش حاضر با رعایت اصول اخلاقی از جمله رضایت کلیه شرکت‌کنندگان، رعایت اصل محرمانه بودن اطلاعات آنها و آزادی خروج از فرآیند پژوهش انجام شده است.

مشارکت نویسندگان

این مطالعه توسط چهار نویسنده تهیه شده است. نویسنده اول مدل و چارچوب محاسباتی را طراحی کرد و نویسنده دوم داده‌ها را تجزیه و تحلیل نمود. نویسنده سوم و چهارم آماده‌سازی نمونه را انجام دادند. همه نویسندگان در تفسیر نتایج مشارکت داشتند.

منابع مالی

هیچ‌گونه حمایت مالی از هیچ سازمانی برای انجام این پژوهش دریافت نشده است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از تمامی ۵۲ شرکت‌کننده در این پژوهش و همچنین اساتید محترمی که در این کار راهنمایی کردند، تشکر می‌کنند.

تعارض منافع

نویسندگان مقاله حاضر اعلام می‌کنند که هیچ‌گونه تعارض منافعی در نگارش این پژوهش وجود ندارد.

References

1. Meyer LB. Emotion and meaning in music. Chicago:University of Chicago Press;1956.

2. Davies S. Musical meaning and expression. Ithaca, New York and London:Cornell University Press;1994.

3. Vempala NN, Russo FA. Modeling music emotion judgments using machine learning methods. *Frontiers in Psychology*. 2018;8:2239.

4. Aljanaki A, Wiering F, Veltkamp RC. Studying emotion induced by music through a crowdsourcing game. *Information Processing & Management*. 2016;52(1):115-128.

5. Campobello G, Dell'Aquila D, Russo M, Segreto A. Neuro-genetic programming for multigenre classification of music content. *Applied Soft Computing*. 2020;94:106488.

6. Grekow J. Music emotion recognition using recurrent neural networks and pretrained models. *Journal of Intelligent Information Systems*. 2021;57(3):531-546.

7. Orjesek R, Jarina R, Chmulik M. End-to-end music emotion variation detection using iteratively reconstructed deep features. *Multimedia Tools and Applications*. 2022;81(4):5017-5031.

8. Panda R, Malheiro RM, Paiva RP. Audio features for music emotion recognition: A survey. *IEEE Transactions on Affective Computing*. 2020;14(1):68-88.

9. Beim Graben P, Blutner R. Quantum approaches to music cognition. *Journal of Mathematical Psychology*. 2019;91:38-50.

10. Xiaobin T. Fuzzy clustering based self-organizing neural network for real time evaluation of wind music. *Cognitive Systems Research*. 2018;52:359-364.

11. Ferreira L, Whitehead J. Learning to generate music with sentiment. arXiv preprint arXiv:2103.06125. 2021.

12. Khaleghi, R. The history of Persian music. Vol I-III. Tehran:Mahoor Institute of Culture & Arts;2002. (Persian)

13. Douring J. Making radifs in traditional Persian music. Sayyar P, trans. Tehran:Soroush Press;1991. (Persian)

14. Beigzadeh B, Koochesfahani MB. Classification of Iranian traditional musical modes (DASTGAH) with artificial neural network. *Journal of Theoretical and Applied Vibration and Acoustics*. 2016;2(2):107-118.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

15. Heydarian P, Bainbridge D. Dastgah recognition in Iranian music: Different features and optimized parameters. 6th International Conference on Digital Libraries for Musicology; 2019 November 9; New York, NY, USA; Hague, Netherlands:ACM Press;2019. pp. 53-57.

16. Baba Ali B, Gorgan Mohammadi A, Faraji Dizaji A. Nava: A Persian traditional music database for the dastgah and instrument recognition tasks. *Advanced Signal Processing*. 2019 22;3(2):125-134. (Persian)

17. Khaleghi R. Theory of Persian music. Tehran:Rahrovan-e Pooyesh cultural Inst;2007. (Persian)

18. Beeman WO. Music and song in Persia. *The Art of Avaz by Lloyd Clifton Miller Iranian Studies*. 2003;36(1):135-136.

19. Farhat H. The dastgah concept in Persian music. Cambridge:Cambridge University Press;1990.

20. Zade Mohammadi A, Kheirodin M. Studying emotional features of Iranian traditional music. *Honar*. 1998;37:145-160. (Persian)

21. Zade Mohammadi A. Music therapy applications. 1st ed. Tehran:Asrare Danesh Publication;2009. (Persian)

22. Koelsch S. Investigating the neural encoding of emotion with music. *Neuron*. 2018;98(6):1075-1079.

23. Hasanzadeh F, Annabestani M, Moghimi S. Continuous emotion recognition during music listening using EEG signals: A fuzzy parallel cascades model. *Applied Soft Computing*. 2021;101:107028.

24. Garg A, Chaturvedi V, Kaur AB, Varshney V, Parashar A. Machine learning model for mapping of music mood and human emotion based on physiological signals. *Multimedia Tools and Applications*. 2022;81(4):5137-5177.

25. Moren J, Balkenius C. A computational model of emotional learning in the amygdala. In: Meyer JA, Berthoz A, Floreano D, Roitblat HL, Wilson SW, editors. Proceedings of the 6th International Conference on the Simulation of Adaptive Behaviour. MIT Press:Cambridge, UK;2000. pp. 115-124.

26. Farhoudi Z, Setayeshi S. Fusion of deep learning features with mixture of brain emotional learning for audio-visual emotion recognition. *Speech Communication*. 2021;127:92-103.

27. LaBerge D, Samuels S. Toward a theory of automatic information processing in reading. *Cognitive Psychology*. 1974;6(2):293-323.

28. Rumelhart DE, McClelland JL. Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition: Foundations. Cambridge, UK:MIT Press;1986.

29. Thayer RE. The biopsychology of mood and arousal. New York:Oxford University Press;1989.

30. Zonis E. Classical Persian music: An Introduction. Cambridge, MA:Harvard University Press;1973.

31. Dariush Tala'i. Traditional Persian art music, the Radif of Mirza Abdollah. Costa Mesa, CA, USA:Mazda Publishers;2000. p. 617.

32. Abbasi Layegh M, Haghipour S, Najafi Sarem Y. Classification of the Radif of Mirza Abdollah a canonic repertoire of Persian music using SVM method. *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*. 2013;1(4):57-66.

33. Jafari NZ, Arvand P. The function of education in codification of Radif in Iranian Dastgahi music. *Journal of Literature and Art Studies*. 2016;6(1):74-81.

34. Sharafbayani H. Sources of Foroutan Radif. *Journal of Dramatic Arts and Music*. 2017;7(13):131-145. (Persian)

35. Sahabi S. Study of changing notes root and functions in dastgah Homayun from Radif of Mirza-Abdollah. Talai D, trans. *Journal of Dramatic Arts and Music*. 2022;12(27):35-47. (Persian)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License