

# بررسی تفاوت‌های پاسخ به تحریکات تصویری دارای بار احساسی در زنان و مردان با استفاده از آزمون آماری ویلکاکسون

عاتکه گشوارپور<sup>۱</sup>، دانشجوی دکتری؛ عطاله عباسی<sup>۲</sup>، دانشیار؛ عاطفه گشوارپور<sup>۳</sup>، دانشجوی دکتری

۱، ۲، ۳- آزمایشگاه علوم اعصاب محاسباتی - دانشکده مهندسی برق - دانشگاه صنعتی سهند - تبریز - ایران

ak\_goshvarpour@sut.ac.ir<sup>۱</sup> - ata.abbasi@sut.ac.ir<sup>۲</sup> - af\_goshvarpour@sut.ac.ir<sup>۳</sup>

**چکیده:** بازشناسی احساسات یکی از موضوعات چالش‌برانگیز در بین محققان بخصوص در حوزه محاسبات عاطفی محسوب می‌شود. هرچند موفقیت‌هایی در این زمینه حاصل شده است، اما هنوز الگوریتمی ارائه نشده که بتواند احساسات بشر را به‌طور کامل بازشناسی نماید. یکی از دلایل آن، ممکن است عدم توجه به تفاوت افراد در پاسخ‌دهی به یک محرک عاطفی باشد. از این میان، مهم‌ترین عامل تفاوت‌های جنسیتی در پاسخ به احساسات است. مطالعه حاضر با ارائه رویکردی جامع از روش‌های تحلیل سیگنال، تفاوت‌های جنسیتی را در پارامترهای الکتروکاردیوگرام (ECG)، هدایت الکتریکی پوست (GSR) و پالس انگشت مورد بررسی قرار داده است. سیگنال‌های خودمختار ۴۷ دانشجو (میانگین سن: زنان  $21.9 \pm 1.7$  و مردان  $21.1 \pm 1.48$  سال) در هنگام تماشای تصاویر احساسی شادی، غم، ترس و آرامش جمع‌آوری گردید. طیف وسیعی از ویژگی‌ها از سه سیگنال استخراج شد و تفاوت میان پاسخ سیگنال‌های خودمختار زنان و مردان با آزمون آماری ویلکاکسون مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که تفاوت‌های معناداری میان پاسخ‌های فیزیولوژیکی زنان و مردان در هنگام تماشای تصاویر احساسی وجود دارد که قابلیت پاسخ‌های قلبی نسبت به GSR بالاتر است. همچنین، اهمیت و نقش ویژه شاخص‌های غیرخطی در تحلیل سیگنال‌های حیاتی دو جنس در پاسخ به تصاویر احساسی نشان داده شد. بیشترین تفاوت معنادار در ویژگی‌های استخراج‌شده از دو گروه مربوط به احساس غم بوده است. نتایج این تحقیق، بر نقش جنسیت به‌عنوان یک عامل مهم در مسئله بازشناسی احساسات تأکید دارد و پیشنهاد می‌کند که در هنگام طراحی سیستم بازشناسی احساسات تفاوت‌های فردی لحاظ گردد.

**واژه‌های کلیدی:** احساسات، جنسیت، سیگنال‌های خودمختار، تحلیل خطی و غیرخطی، ویلکاکسون.

## Men and Women Differences in Response to Affective Visual Stimuli using Wilcoxon Statistical Test

A. Goshvarpour<sup>1</sup>, PhD Student; A. Abbasi<sup>2</sup>, Associate Professor; A. Goshvarpour<sup>3</sup>, PhD Student

1, 2, 3- Computational Neuroscience Laboratory, Department of Biomedical Engineering, Faculty of Electrical Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran,

Emails: ak\_goshvarpour@sut.ac.ir<sup>1</sup>, ata.abbasi@sut.ac.ir<sup>2</sup>, af\_goshvarpour@sut.ac.ir<sup>3</sup>

**Abstract:** Emotion recognition is one of the challenging issues among researchers, particularly in the field of affective computing. Although some success has been achieved in this area, but still no algorithm has been suggested that can recognize human emotions perfectly. Lack of attention to individual differences in response to an emotional stimulus may be one of the reasons. Among them, the most important factor is gender differences in response to emotions. The present study investigated the gender differences through electrocardiogram (ECG), galvanic skin response (GSR), finger pulse signals by considering comprehensive signal processing approaches. The autonomic signals of 47 students (mean age: women  $21.9 \pm 1.7$ , and men  $21.1 \pm 1.48$  years) were recorded while watching happy, sadness, fear, and relaxed images. A wide range of features has been extracted from the three signals and differences between autonomic responses of men and women were evaluated by means of Wilcoxon statistical test. The results showed that there are significant differences in physiological responses of men and women while watching affective pictures, where the capability of heart responses is much higher than the GSR. In addition, the importance and effective role of nonlinear indices in the analysis of bio-signals of two genders in response to affective pictures has been proved. The most significant difference in the features extracted from two groups was related to the sadness. The results of this study emphasize on the gender role as an important factor in the problem of emotion recognition and suggest that individual differences should be considered in designing an emotion recognition system.

**Keywords:** Autonomic signals, emotion, gender, linear and nonlinear analysis, Wilcoxon.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۵/۰۲/۲۸

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۵/۰۵/۲۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۷/۳۰

نام نویسنده مسئول: عطاله عباسی

نشانی نویسنده مسئول: ایران - تبریز - شهر جدید سهند - دانشگاه صنعتی سهند - دانشکده مهندسی برق.

## ۱- مقدمه

در زندگی روزمره، تعاملات اجتماعی و ارتباطات بشر نواحی خاصی از مغز که به پردازش احساسات اختصاص می‌یابد در زنان نسبت به مردان بزرگ‌تر است [۱۶-۱۴] و پردازش‌های احساسات در مغز بین دو جنس متفاوت است [۱۷، ۱۸]. به‌علاوه، مدارات عصبی متفاوتی در زنان و مردان در هنگام پردازش احساسات درگیر است [۱۹].

همچنین تفاوت‌های جنسیتی به احساسات مختلف از طریق خودارزیابی‌ها و پارامترهای مرکزی و محیطی گزارش شده است [۲۲-۲۰]. در ارزش‌گذاری ارزش و برانگیختگی، زنان تصاویر منفی را برانگیزاننده‌تر و ناخوشایندتر از مردان گزارش کردند؛ در حالی که مردان تصاویر مثبت را برانگیزاننده‌تر و خوشایندتر از زنان ارزیابی نموده‌اند [۲۱]. همچنین، زنان فعالیت ماهیچه‌ای عضلات صورت، دامنه چشم‌کزن و فعالیت الکتریکی پوست بیشتری به تصاویر منفی داشته‌اند و فعالیت الکتریکی پوست به تصاویر محرک در مردان بیشتر بوده است [۲۰]. مطالعات fMRI نشان می‌دهد که واکنش زنان به تصاویر منفی و مردان به تصاویر مثبت بیشتر است [۲۲].

اگرچه تفاوت‌های جنسیتی بارزی در مقادیر و اندازه‌گیری‌های مختلف مشاهده شده است، اما در این مطالعات اثر جنسیت در پاسخ‌های احساسی سیگنال‌های خودمختار به‌طور صریح و مشخص بررسی نشده است. سیگنال‌های خودمختار ابزاری مؤثر در کمی‌سازی پاسخ‌های عاطفی هستند و می‌توان آن‌ها را به‌سادگی، به‌صورت غیرتهاجمی و با هزینه پایین جمع‌آوری نمود. نمونه‌هایی از سیگنال‌های خودمختار عبارتند از سیگنال هدایت الکتریکی پوست، سیگنال الکتروکاردیوگرام، نرخ ضربان قلب و پالس انگشت. تحلیل این سیگنال‌ها به‌صورت بصری مطلوب نبوده و به‌جای آن روش‌های تحلیل سیگنال‌های بیولوژیکی برای استخراج اطلاعات جزئی و دقیق از آن‌ها به خدمت گرفته می‌شود. به‌طور مرسوم، از برخی روش‌های ساده زمانی و فرکانسی برای تحلیل سیگنال‌ها در مواجهه با رویدادهای عاطفی استفاده می‌شود [۲۳]. همچنین، تحلیل‌های زمانی - فرکانسی یا ویولت در تحلیل احساسات بکار گرفته شده‌اند [۲۴، ۲۵]. اخیراً، توجه خاصی بر تحلیل دینامیک‌های غیرخطی و برخی اندازه‌های آشوب در تحلیل‌های مرتبط با احساسات شده است [۳۳-۲۶]. هرچند، در اغلب این مطالعات، تنها چند ویژگی محدود از یک یا دو سیگنال تحلیل شده و نظر جامعی راجع به اینکه کدام ویژگی یا کدام سیگنال می‌تواند بهترین و مناسب‌ترین نقش را در تحلیل‌ها داشته باشد، وجود ندارد.

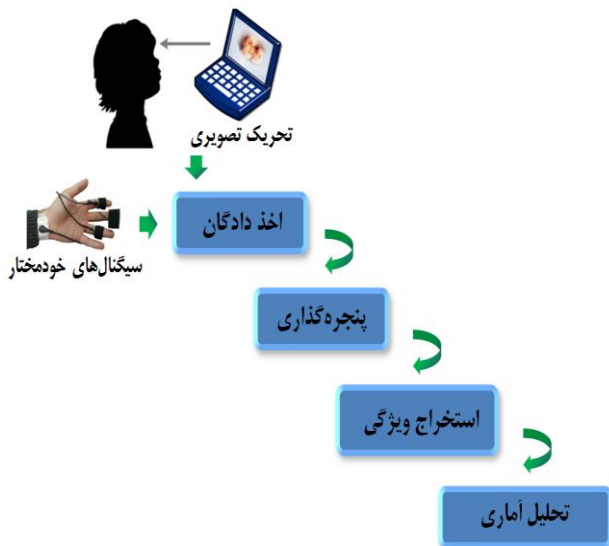
برای تحلیل تغییرات در سیگنال‌های بیولوژیکی بین دو حالت مبنا و تحریک احساسی از آزمون‌های آماری مختلف استفاده شده است. هیلز و همکاران [۲۳] پس از نشان دادن توزیع نرمال دادگان با آزمون کلموگروف-اسمیرنوف، تحلیل واریانس (MANOVA) را بکار گرفتند تا تفاوت آماری میان ویژگی‌های فرکانسی دو گروه را بیازمایند. برخی مطالعات دیگر نیز برای بررسی معناداری تفاوت میان پارامترهای استخراجی از سیگنال‌های بیولوژیکی در کلاس‌های مختلف احساسی از

در زندگی روزمره، تعاملات اجتماعی و ارتباطات بشری تحت تأثیر احساسات قرار می‌گیرد. همچنین، احساسات در یادگیری و عملکردهای شناختی اثرگذار بوده، درک و تصمیم‌گیری مستدل را آسان می‌نماید و جایگاه ویژه‌ای در شکل‌گیری ایده‌ها و تفکرات دارد [۱، ۲]. هرچند در بین محققان توافق خاصی راجع به تعریف احساسات حاصل نشده است، اما مدل‌های مختلفی از آن ارائه گردیده است. از این میان، دو مدل احساسات ابعدی و گسسته دو نظریه غالب از ساختارهای عاطفی هستند که در بیشتر تحقیقات از آن‌ها استفاده می‌شود. در مدل اول، دو یا چند بُعد برای نشان دادن حالات عاطفی افراد مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مدل دو بُعدی، تمام احساسات درون فضای دوبعدی با محورهای ارزش (مثبت در برابر منفی) و برانگیختگی (آرام در برابر انگیزنده) نگاشت می‌شوند [۳]. در مقابل، در مدل دوم، احساسات پایه و اساسی به‌صورت گسسته، شامل شش یا تعداد بیشتر احساس می‌باشند که عبارتند از شادی، غم، ترس، خشم، تعجب و نفرت [۴]. به‌طور کلی، احساسات به‌طور لفظی از طریق کلمات احساساتی یا از طریق نشانه‌های غیرلفظی نظیر تون صدا، حالات چهره و حرکات و ژست‌های دست و بدن تجلی می‌یابد. همچنین، بیان و درک احساسات متناظر با تغییرات فیزیولوژیکی (یعنی افزایش یا کاهش سرعت تنفسی و قلبی - عروقی، گرفتگی عضلانی و غیره) است که برای دنبال کردن این تغییرات می‌توان از روش‌های مانیوتورینگ بدن، بخصوص ثبت سیگنال‌های فیزیولوژیکی استفاده نمود.

مطالعات پیشین نشان می‌دهد که درک حالات عاطفی مرتبط با برخی از بخش‌های تخصص‌یافته مغزی است [۵]. همچنین، سایر پارامترهای فیزیولوژیکی، به‌ویژه سیستم اعصاب مرکزی تحت تأثیر احساسات قرار می‌گیرند [۶]. از طرفی، برخی از محققان بر این باورند که عوامل متعددی نظیر ویژگی‌های افراد بر این پاسخ‌ها تأثیرگذار هستند. از این میان، بر نقش جنسیت در رفتارهای عاطفی افراد تأکید بسیار شده است [۷، ۸]. مروری بر تحقیقات انجام‌شده در زمینه احساسات نشان می‌دهد که تفاوت‌های قابل توجهی میان مردان و زنان در ارتباط با دنیای احساسی وجود دارد. به‌طور خاص، اولین دیدگاه‌ها در این زمینه بیانگر آن بود که زنان نسبت به مردان احساسات مثبت و منفی را با شدت بیشتر تجربه می‌کنند [۹]. هرچند هنوز هم این دیدگاه وجود دارد که زنان نسبت به مردان احساسی‌تر هستند [۱۰]. همچنین، تفاوت‌های زنان و مردان در بازشناسی، درک و پاسخ‌دهی به احساسات مختلف بررسی شده است [۱۱]. زنان قادر به تشخیص احساسات با صحت بالاتر نسبت به مردان هستند [۱۲].

عوامل بیولوژیکی و فاکتورهای اجتماعی توضیحی برای این دیدگاه‌های احساسی زنانه هستند [۱۳]. از این میان، تفاوت‌های جنسیتی موضوع بسیاری از تحقیقات فیزیولوژیکی و سایکولوژیکی قرار گرفته است. در تأیید فرضیه عوامل بیولوژیکی نشان داده شده است که

گردید (اخذ دادگان). سپس، پنجره‌های با طول‌های مختلف شامل ۵ ثانیه، ۷/۵ ثانیه، ۱۵ ثانیه بدون همپوشانی و ۱۰ ثانیه با همپوشانی ۵۰ درصد بر دادگان اعمال شد (پنجره‌گذاری). به‌طور جامع، ویژگی‌های مختلفی از سیگنال‌های ذکر شده در حوزه‌های زمانی، فرکانس، ویولت و غیرخطی استخراج و مورد تحلیل قرار گرفت (استخراج ویژگی). در نهایت برای بررسی معناداری تفاوت میان پاسخ‌های بیولوژیکی در زنان و مردان از آزمون آماری استفاده گردید (تحلیل آماری). دیاگرام مراحل انجام تحقیق در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱: شمای کلی از مراحل انجام تحقیق.

## ۲-۱- جمع‌آوری داده

در این مطالعه، سیگنال‌های بیولوژیکی ۴۷ دانشجوی دانشگاه صنعتی سهند (میانگین سن  $1/6 \pm 21/5$  سال) جمع‌آوری شد. از این میان، ۳۱ شرکت‌کننده خانم (بازه سنی: ۱۹-۲۵ سال و میانگین سن  $1/7 \pm 21/9$  سال) و ۱۶ شرکت‌کننده آقا (بازه سنی: ۱۹-۲۳ سال و میانگین سن  $1/48 \pm 21/1$  سال) بوده است. برای ایجاد احساسات در سوژه‌ها، تصاویری از پایگاه تصویر IAPS انتخاب شد [۱۲] که تصاویر توسط سوژه‌های آمریکایی در ابعاد احساسات، بر مقیاسی نه نقطه‌ای ارزیابی شده است و برای تمام ابعاد احساسات، میانگین و واریانس ارزیابی شرکت‌کنندگان محاسبه و گزارش گردیده است [۳۴]. چهار کلاس احساسی متناظر با هر یک از چهار ربع در ابعاد ارزش و برانگیختگی، متناظر با احساس آرامش، شادی، غم و ترس در نظر گرفته شد و برای هر کلاس ۳۵ تصویر انتخاب گردید.

کل فرآیند ثبت سیگنال، حدود ۱۵ دقیقه بود که تصاویر پس از دو دقیقه اندازه‌گیری ثبت مبنا (در حالی که سوژه به صفحه خالی نگاه می‌کرد) نشان داده می‌شدند. ۲۸ بلوک از تحریک‌های تصویری بر روی صفحه نمایش با ترتیب تصادفی پخش شدند که هر بلوک شامل ۵ تصویر از احساسات با کلاس مشابه بود. مدت زمان پخش هر بلوک ۱۵ ثانیه بود که پس از آن به مدت ۱۰ ثانیه یک صفحه خالی نمایش داده

تحلیل واریانس (ANOVA) استفاده نموده‌اند [۲۷، ۲۸]. با نشان دادن غیرنرمال بودن توزیع دادگان، مقایسه ویژگی‌های غیرخطی نمای لیپانوف و آنتروپی بین دو گروه مبنا و حالت عاطفی با آزمون غیرپارامتری ویلکاکسون انجام شد [۲۹]. آزمون‌های غیرپارامتری دیگری نیز در مطالعات بر بازشناسی احساسات استفاده شده است. به‌عنوان مثال، در مطالعه اخیر بر بازشناسی احساسات با تحریک صوتی [۳۲]، آزمون غیرپارامتری فریدمن بکار گرفته شده است. از معایب این آزمون آن است که تعداد افراد در نمونه‌ها باید یکسان باشد. با توجه به اینکه در مطالعه حاضر، تعداد نمونه‌های دو گروه خانم‌ها و آقایان یکسان نیست و توزیع دادگان شرایط آزمون‌های پارامتری را برآورده نمی‌سازد، از آزمون غیرپارامتری ویلکاکسون استفاده شده است.

بازشناسی احساسات یکی از موضوعات چالش‌برانگیز در بین محققان بخصوص در حوزه محاسبات عاطفی محسوب می‌شود. اهمیت آن را می‌توان در کاربردهای پاتولوژیکی نظیر مداخله در بیماری‌هایی نظیر افسردگی، اسکیزوفرنی و اوتیسم و کاربردهای تکنولوژیکی نظیر بازی‌های رایانه‌ای، تبلیغات، روبات‌های انسان‌نما نشان داد. اگرچه، موفقیت‌هایی در این زمینه حاصل شده است، اما محققان هنوز نتوانسته‌اند الگوریتمی ارائه دهند که بتواند احساسات بشر را با صحت بالا بازشناسی نماید. با توجه به اینکه افراد مختلف به یک محرک عاطفی، پاسخ‌های متفاوتی می‌دهند، مطالعه حاضر سعی کرده است که یکی از فاکتورهای مهم در تفاوت میان افراد (جنسیت) را بررسی و نقش آن را در پاسخ‌های احساسی تحلیل نماید. به‌طور کلی، هدف مطالعه حاضر، کمک به مطالعات آتی در این زمینه است تا بتوانند راهکاری مناسب برای انتخاب مؤثر ویژگی‌ها ارائه دهند. با این هدف، از میان سیگنال‌های خودمختار، سیگنال‌های الکتروکاردیوگرام، هدایت الکتریکی پوست و پالس انگشت انتخاب شد. طیف وسیعی از روش‌های تحلیل سیگنال مبتنی بر روش‌های خطی، غیرخطی و ویولت در زنان و مردان تحلیل و تفاوت‌های میان آن‌ها ارزیابی شد. به نظر می‌رسد که ترکیب روش‌های متداول با روش‌های غیرخطی، اطلاعات جدیدی ارائه دهد که در پردازش‌های قبلی دسترسی به آن‌ها میسر نبود. از این‌رو، این فرضیه نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

ساختار و رئوس مطالب مقاله به‌شرح زیر است: جزئیات روش پیشنهادی شامل، پایگاه داده جمع‌آوری شده و روش‌های استخراج و تحلیل ویژگی در بخش ۲ توضیح داده می‌شود. نتایج تجربی در بخش ۳ آورده شده است و در نهایت در بخش ۴ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری از تحقیق ارائه می‌گردد.

## ۲- روش تحقیق

در این تحقیق، تفاوت‌های جنسیتی در پاسخ‌های احساسی مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، تصاویر احساسی در چهار دسته، غم، شادی، ترس و آرامش از طریق تصاویر استاندارد به فرد نشان داده شد و همزمان سیگنال‌های ECG، GSR و پالس شرکت‌کنندگان اخذ

### ۲-۲-۱- ویژگی‌های خطی

تحلیل حوزه زمان بر اساس پارامترهای میانگین، انحراف معیار، ماکزیمم، مینیمم، میانه، مد، ریشه میانگین مربعات (RMS)، گشتاورهای مرتبه دوم، سوم و چهارم بوده است. بعلاوه، تحلیل حوزه فرکانس با استفاده از تخمین طیف توان با روش فوریه [۳۵] انجام شد. میانگین و ماکزیمم مقادیر توان و همچنین فرکانسی که در آن این مقادیر رخ می‌دهد، استخراج گردید.

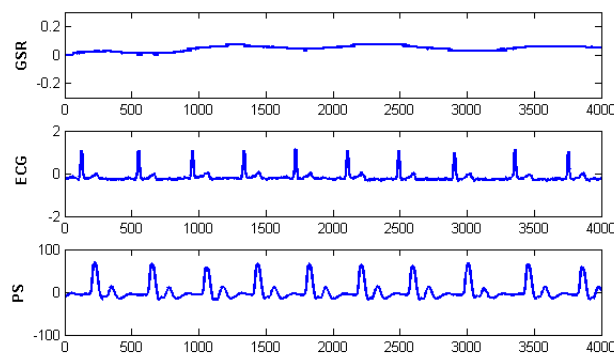
### ۲-۲-۲- تحلیل زمان-فرکانس

در روش ویولت، با عبور سیگنال از فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر، سیگنال به سطوح مختلف شکسته می‌شود و ضرایب تقریب (فیلتر پایین‌گذر) و ضرایب جزئی (فیلتر بالاگذر) از آن حاصل می‌گردد [۳۶]. در مطالعه حاضر، ویولت‌های مادر دابجیز، کافلت و سایملت در سطوح مختلف ارزیابی شدند و بهترین نتایج برای سطح ۸ حاصل شد. در نهایت، ضریب A8، آخرین سطح از ضریب تقریب سیگنال و ضرایب جزئی سطح اول تا سطح هشتم (D1-D8) استخراج گردید. برای هر ضریب، ۱۵ ویژگی شامل میانگین، انحراف معیار، ماکزیمم، مینیمم، میانه، نما، آنتروپی، RMS، گشتاورهای دوم، سوم و چهارم، میانگین و ماکزیمم مقدار توان هر ضریب مورد ارزیابی قرار گرفت.

### ۲-۲-۳- تحلیل‌های غیرخطی

• پیچیدگی  
در این مطالعه از تحلیل پیچیدگی ارائه‌شده توسط لمپل و زیو [۳۷] استفاده شده است. اجرای الگوریتم مطابق با روش توضیح داده‌شده در [۳۸] محقق شد.

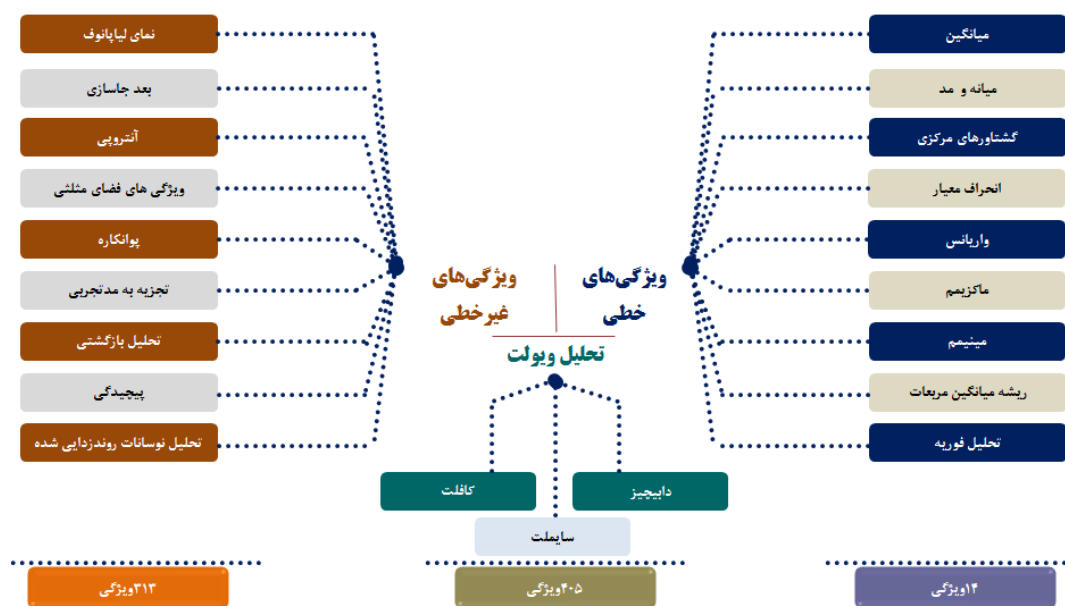
می‌شد. به‌طور هم‌زمان سیگنال‌های الکتروکاردیوگرام، پالس انگشت (با سنسور پیزوالکتریک) و هدایت الکتریکی پوست از سوژه‌ها اخذ گردید. شکل ۲، ده ثانیه از سیگنال‌های اخذشده در هنگام استراحت را نشان می‌دهد. تمام ثبت‌ها در آزمایشگاه علوم اعصاب محاسباتی در دانشگاه صنعتی سهند با استفاده از سیستم پاورلب ۱۶ کانال (ADInstruments; Australia) با نرخ نمونه‌برداری ۴۰۰ هرتز جمع‌آوری شد. فیلتر ناچ برای حذف نوسانات خط توان در ۵۰ هرتز فعال گردید. جزئیات بیشتر راجع به نحوه ثبت سیگنال و پروتکل جمع‌آوری داده در [۳۱] آورده شده است.



شکل ۲: نمونه‌ای از سیگنال‌های اخذشده (قاب بالا) GSR، (قاب میانی) ECG و (قاب پایین) پالس انگشت (سوژه ۱). محور افقی بر حسب نمونه است.

### ۲-۲-۴- استخراج ویژگی

ویژگی‌های متعددی در حوزه‌های زمان، فرکانس، ویولت و غیرخطی از سیگنال‌های بیولوژیکی استخراج گردید. بلوک دیاگرام شکل ۳ به‌طور خلاصه تحلیل‌های انجام‌شده در حوزه زمان، ویولت و غیرخطی را نشان می‌دهد. در زیربخش‌های بعدی در مورد این شاخص‌ها توضیحات بیشتر ارائه می‌گردد.



شکل ۳: شمای کلی از ویژگی‌های استخراجی از سه سیگنال ECG, GSR و پالس انگشت.

هفت شاخص از RQA شامل نرخ بازگشت (RR)، قطعیت (DET)، متوسط طول خطوط قطری (L)، آنتروپی (ENTR)، لایه‌ای بودن (LAM)، ماکزیمم طول خط قطری ( $L_{max}$ )، ماکزیمم طول خطوط قائم ( $V_{max}$ ) مورد مطالعه قرار گرفت. برای اطلاع بیشتر به [۴۷] مراجعه شود. تحلیل‌های RQA با استفاده از جعبه افزار [۴۷] نرم‌افزار MATLAB انجام شد.

#### • فضای فاز مثلثی

این روش مبتنی بر الگوریتم ارائه شده توسط محرری و همکاران [۴۸] صورت پذیرفت. پس از آن، بر اساس توزیع نقاط یک چندجمله‌ای درجه چهار بر آن برازش شد که ضرایب چندجمله‌ای (A, B, C, D, E) بردار ویژگی را ایجاد کردند.

### ۲-۳- تحلیل آماری

در این مطالعه، به منظور تحلیل تفاوت‌های پاسخ‌های فیزیولوژیکی در دو جنس زن و مرد آزمون غیرپارامتری ویلکاکسون مورد ارزیابی قرار گرفته است. از این آزمون برای ارزیابی همانندی دو نمونه وابسته با مقیاس رتبه‌ای استفاده می‌شود. در مطالعات پزشکی، هنگامی که امکان استفاده از روش‌های متداول مبتنی بر توزیع نرمال (روش‌های پارامتری) وجود ندارد یا از چگونگی توزیع داده اطلاعی در دسترس نیست، از روش‌های غیرپارامتری استفاده می‌شود. آزمون ویلکاکسون، برای مقایسه یک متغیر کمی غیرنرمال بین دو وضعیت وابسته یا مقایسه یک متغیر کمی غیرنرمال بین دو گروه همسان شده انفرادی بکار می‌رود [۴۹]. این آزمون، مناسب وضعیت‌های قبل و بعد از مداخله بوده و جانشین مناسبی برای آزمون t زوجی، در هنگام مقایسه متغیرهای غیرنرمال است.

### ۳- نتایج

هدف این مطالعه، تحلیل تفاوت‌های بیولوژیکی زنان و مردان در مواجهه با تحریک‌های احساسی با استفاده از روش‌های پردازش سیگنال‌های خودمختار است. پس از استخراج ویژگی‌های ذکر شده در بخش‌های قبل از سه سیگنال ECG، GSR و پالس، در چهار حالت احساسی شادی، غم، ترس و آرامش، آزمون آماری ویلکاکسون برای بررسی معناداری تفاوت ویژگی‌ها در زنان و مردان بکار گرفته شد. شایان ذکر است همان‌طور که در بخش قبل ذکر شد، تحلیل‌ها در پنجره‌هایی با طول‌های مختلف شامل ۵ ثانیه، ۷/۵ ثانیه، ۱۵ ثانیه بدون همپوشانی و ۱۰ ثانیه با همپوشانی ۵۰ درصد انجام شد که بهترین نتایج با پنجره‌هایی به طول ۱۰ ثانیه با همپوشانی ۵۰ درصد صورت پذیرفت که در ادامه تنها نتایج این پنجره‌گذاری آورده شده است. درصد معناداری تفاوت‌های جنسیتی در پاسخ‌های احساسی در ویژگی‌های خطی، ویولت و غیرخطی در شکل ۴ آورده شده است.

نتایج بیانگر آن است که به‌طور کلی، ۷۰/۱ درصد ویژگی‌های سیگنال ECG، ۶۳/۷۶ درصد ویژگی‌های GSR و ۷۱/۴۹ درصد ویژگی‌های پالس انگشت قادر به نمایش تفاوت‌های بیولوژیکی زنان و

#### • تحلیل نوسانات روندزدایی شده (DFA)

دو پارامتر از تحلیل DFA [۳۹]، شامل نمای مقیاس ( $\alpha$ ) و بعد فرکتال ( $D = 3 - \alpha$ ) در این مطالعه تحلیل شد.

#### • بعد جاسازی

سری زمانی  $\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$  را در نظر بگیرید، که در آن  $x_i$  یک نمونه از داده است. بستر جذب بازسازی شده از سیگنال [۴۰] مطابق زیر حاصل می‌شود:

$$\underline{X}(i) = \{x_i, x_{i+\tau}, x_{i+2\tau}, \dots, x_{i+(m-1)\tau}\} \quad (1)$$

که در آن  $\tau$  تأخیر محاط و  $m$  بعد جاسازی است.

#### • تجزیه به مد تجربی

روش تجزیه به مد تجربی (EMD) سری زمانی را به تعداد محدودی تابع مد ذاتی (IMF) تقسیم می‌کند [۴۱]. با استفاده از روش EMD، چهار IMF به همراه سیگنال مانده از هر بخش سیگنال استخراج گردید. به علاوه، تمام ترکیب IMFها صورت پذیرفت. سپس، ۱۶ پارامتر از هر IMF و تمام ترکیبات آن‌ها استخراج گردید. این پارامترها به دقت از مطالعات چاپ شده در این زمینه انتخاب شدند که عبارتند از: میانگین، انحراف معیار، ماکزیمم، مینیمم، نما، میانه، واریانس، چولگی، کشیدگی، ماکزیمم و میانگین مقادیر طیف توان، میانگین و ماکزیمم فرکانس‌های طیف توان، میانگین ریشه مربعات، آنتروپی شانون و آنتروپی نمونه.

#### • آنتروپی

روش‌های مختلفی از آنتروپی به‌عنوان مقداری از پیچیدگی ارائه شده است [۴۲]. در مطالعه حاضر، آنتروپی تخمین، شانون، لگاریتم انرژی و نمونه تخمین زده شده است.

#### • منحنی‌های پوانکاره تأخیردار

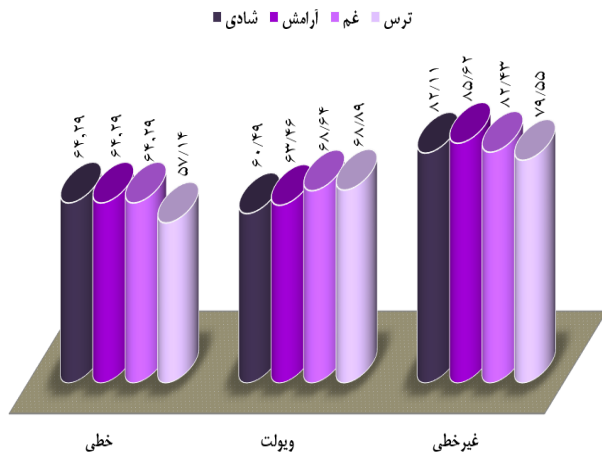
نمایش هندسی سری زمانی با منحنی‌های پوانکاره، میسر می‌شود که در آن فواصل متوالی از  $X_i, X_{i+1}, X$  به یک فضای دوبعدی نگاشت می‌شوند [۴۳]. با برازش یک بیضی بر شکل پوانکاره، می‌توان شاخص‌هایی برای کمی‌سازی آن استخراج نمود. قطرهای بزرگ و کوچک از بیضی برازش شده ( $SD_1$  و  $SD_2$ ) از همبستگی و میانگین نقاط  $x$  با تأخیرهای صفر و یک حاصل می‌گردد. وابستگی میان متغیرها با تأخیر زمانی کنترل می‌شود. با ترکیب  $SD_1$  و  $SD_2$  می‌توان شاخص‌های دیگری به دست آورد. شاخص‌هایی که علاوه بر  $SD_1$  و  $SD_2$  در این مطالعه تحلیل شدند، عبارتند از: نسبت میان  $SD_1$  و  $SD_2$  ( $SD_{12}$ ) [۴۴]؛ مساحت بیضی برازش شده بر نمودار پوانکاره (S) [۴۴] و واریانس کل سری زمانی (SDRR) [۴۵]. به علاوه، نمودارهای پوانکاره در ۱۰ تأخیر مختلف ترسیم شد و تمام شاخص‌های ذکر شده از نمودارهای پوانکاره برای هر تأخیر محاسبه گردید.

#### • نمای لیپانوف

مطابق با روش ارائه شده توسط روزنستین و همکاران [۴۶]، روش تخمین واقعی از نمای لیپانوف در این تحقیق فراهم گردید.

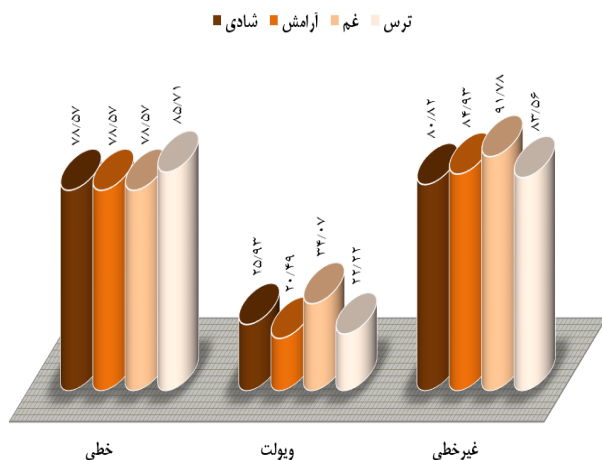
#### • تحلیل کمی‌سازی بازگشتی (RQA)

تفکیک ویژگی در ویژگی‌های ویولت ۱۶/۷ درصد و در ویژگی‌های خطی به میزان ۲۱/۳۳ درصد کاهش می‌یابد.



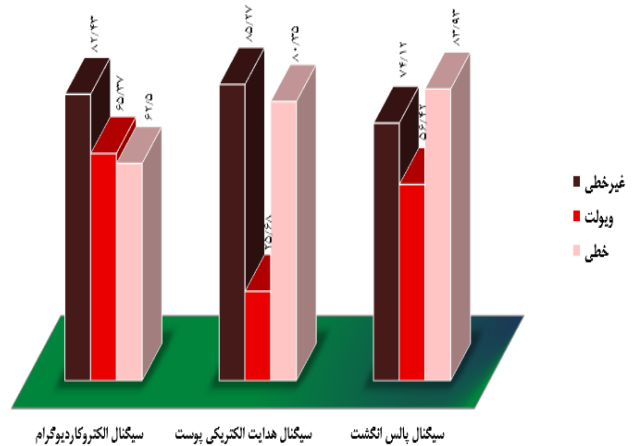
شکل ۶: درصد تفکیک ویژگی‌ها در نشان دادن تفاوت‌های جنسیتی به تصاویر با بار احساسی شادی، ترس، غم و آرامش برای سیگنال ECG.

بالاترین درصد ویژگی‌هایی که تفاوت‌های جنسیتی را در پاسخ به احساسات نشان دادند برای سیگنال GSR مجدداً به ویژگی‌های غیرخطی اختصاص یافت (شکل ۷). با این تفاوت که در این حالت، احساس غم و سپس آرامش بیشترین نرخ تمایز بین دو گروه را داشتند. ویژگی‌های خطی در رده دوم قرار گرفتند که بارزترین تفاوت بین دو جنس در حالت ترس حاصل شد. اختلاف میان بالاترین نرخ تفکیک ویژگی‌ها میان ویژگی‌های غیرخطی و خطی حدود ۶ درصد بود. هرچند در سیگنال پالس (شکل ۸)، عملکرد ویژگی‌های خطی نسبت به سایر ویژگی‌ها بهتر بوده است. هر سه کلاس آرامش، غم و شادی بین دو جنس با نرخ ۸۵/۷۱ درصد قابل تمیز دادن بوده است. پس از آن، ویژگی‌های غیرخطی با ماکزیمم درصد تفکیک ۷۴/۴۴ درصد برای احساس غم قرار گرفتند.



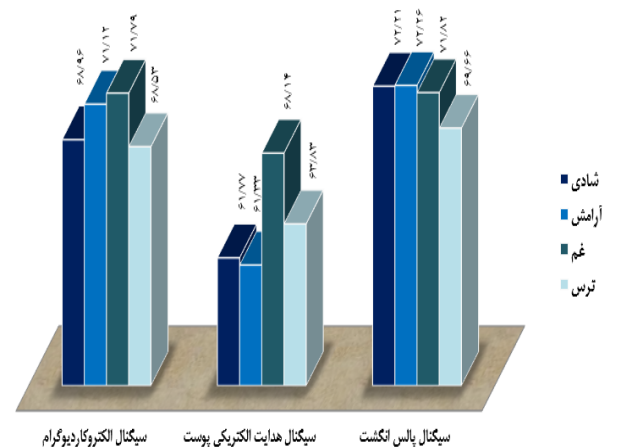
شکل ۷: درصد تفکیک ویژگی‌ها در نشان دادن تفاوت‌های جنسیتی به تصاویر با بار احساسی شادی، ترس، غم و آرامش برای سیگنال GSR.

مردان به تصاویر احساسی بوده‌اند. بنابراین، سیگنال پالس به نسبت سایر سیگنال‌ها عملکرد بهتری داشته است. به علاوه، بیشترین درصد تفکیک مربوط به شاخص‌های غیرخطی بوده است.



شکل ۴: درصد معناداری ویژگی‌های سیگنال‌های خودمختار برای نشان دادن تفاوت‌های جنسیتی در پاسخ به تحریکات تصویری.

شکل ۵ درصد تفکیک کلاس‌های احساسی را در سه سیگنال مذکور نشان می‌دهد. تحلیل‌های آماری بیانگر آن است که تصاویر احساسی با محتوای غم نسبت به سایر احساسات در دو جنس راحت‌تر شناسایی می‌گردد. در حدود ۷۲ درصد از شاخص‌های سیگنال‌های پالس و ECG و ۶۸ درصد ویژگی‌های GSR این تفاوت بارز بوده است. درصد تفکیک ویژگی‌ها با توجه به کلاس‌های احساساتی در سیگنال ECG، GSR و پالس به ترتیب در شکل‌های ۶، ۷ و ۸ نمایش داده شده است.

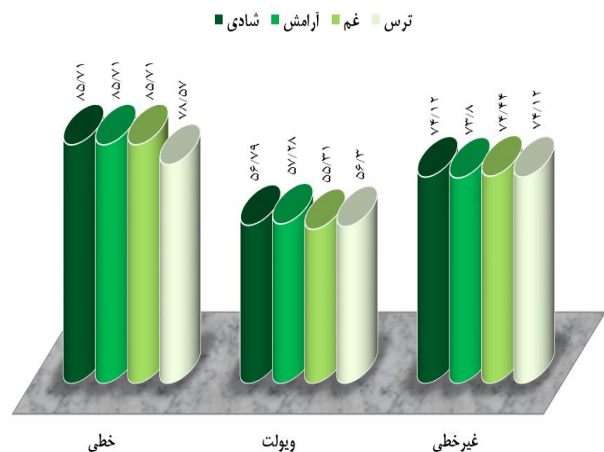


شکل ۵: درصد معناداری کلاس‌های احساسی در پاسخ به تحریکات تصویری در دو جنس برای سیگنال‌های خودمختار مختلف.

شکل ۶ نشان می‌دهد که ویژگی‌های غیرخطی سیگنال الکتروکاردیوگرام شاخص‌هایی مناسب در نمایش تفاوت‌های جنسیتی در مواجهه با حالات احساسی هستند. به طور خاص، بیشترین درصد تفکیک دو جنس برای حالات آرامش و غم با توجه به شاخص‌های غیرخطی بوده است. در حالی که نسبت به این مقدار، بالاترین درصد

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، تفاوت‌های جنسیتی به تحریکات احساسی از منظر تحلیل و پردازش پاسخ‌های خودمختار مورد مطالعه قرار گرفت. به‌طور خاص، چهار کلاس احساسی، شادی، ترس، آرامش و غم با استفاده از تحریکات تصویری در شرکت‌کنندگان ایجاد شد و سیگنال‌های ECG، GSR و پالس افراد، به‌طور جامع با روش‌های مبتنی بر تحلیل‌های خطی، ویولت و غیرخطی در سیگنال‌های بیولوژیکی مورد تحلیل قرار گرفت. به‌منظور، بررسی معنادار بودن تفاوت‌های پاسخ‌های احساسی در زنان و مردان، آزمون آماری ویلکاکسون بین دو گروه انجام شد. سپس درصد معناداری ویژگی‌ها در هر گروه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که تفاوت‌های معناداری در پاسخ‌های خودمختار زنان و مردان در هنگام تماشای تصاویر احساسی وجود دارد. این نتایج مطابق با برخی مطالعات پیشین است که در آن‌ها تفاوت در واکنش به احساسات مختلف میان زنان و مردان گزارش شده است [۱۱، ۴۹].



شکل ۸: درصد تفکیک ویژگی‌ها در نشان دادن تفاوت‌های جنسیتی برای سیگنال پالس به تصاویر با بار احساسی شادی، ترس، غم و آرامش.

به‌طور خاص، نشان داده شد که پاسخ‌های قلبی، شامل پالس و ECG عملکرد بهتری نسبت به سیگنال GSR داشته‌اند. هرچند بر اساس نتایج مطالعات پیشین، فعالیت GSR به‌عنوان یک پارامتر مطمئن و حساس در مشخص‌سازی تغییرات برانگیختگی‌های سمپاتیکی وابسته به احساسات، شناخت و توجه معرفی شده است [۵۱]. مطالعات تصویربرداری مغزی نیز تولید و سطح فعالیت الکتریکی پوست را به نواحی خاصی از مغز مرتبط کرده‌اند [۵۱، ۵۲] که به رفتارهای احساسی وابسته است. این یافته‌ها، ارتباط نزدیک اندازه‌های مرکزی و محیطی از برانگیختگی، تأکید مجددی بر ارتباط نزدیک فعالیت الکتریکی پوست، برانگیختگی و احساسات است.

از دیگر نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه، نقش مهم و ویژه شاخص‌های غیرخطی در تحلیل سیگنال‌های خودمختار برای نشان دادن تفاوت‌های جنسیتی در پاسخ به تصاویر احساسی است. به‌طور

کلی، ۸۰/۶۱ درصد ویژگی‌های غیرخطی قادر به بیان این تفاوت بوده‌اند. این یافته‌ها منطبق بر نتایج مطالعات قبلی است. با به‌کارگیری تحلیل غیرخطی هرست بر سیگنال ECG با روش اعتبارسنجی مستقل از سوژه، نرخ بازشناسی ۷۶/۴۵ درصد در تفکیک شش کلاس احساسی حاصل شد که با استفاده از روش اعتبارسنجی تصادفی، نرخ صحت تا ماکزیمم مقدار ۹۲/۸۷ درصد افزایش یافت [۲۷]. به‌منظور مشخص‌سازی پیچیدگی غیرخطی HRV در هنگام تحریکات بصری عاطفی، نمای لیاپانوف و آنتروپی تخمین ارزیابی شد [۲۹]. تفاوت‌های معنادار آماری در پارامترهای غیرخطی تحلیلی در هنگام برانگیختگی احساسی در مقایسه با خنثی گزارش شد. این تیم تحقیقاتی در مطالعه دیگر [۳۰] دینامیک‌های ضربان‌های قلبی را در مسئله بازشناسی احساسات تحلیل نمودند که ماکزیمم صحت ۸۳/۵۵ درصد در تفکیک بعد برانگیختگی و ۷۹/۱۵ درصد در جداسازی بعد ارزش حاصل شد. تفکیک اصوات احساسی به چهار سطح برانگیختگی و دو سطح ارزش با تحلیل دینامیک‌های HRV مورد مطالعه قرار گرفت [۳۲] که صحت بازشناسی ۸۴/۷۲ درصد در بعد ارزش و ۸۴/۲۶ درصد در بعد برانگیختگی گزارش شد. علاوه بر تحقیقات ذکرشده، اهمیت و کارایی کاربرد روش‌های تحلیل غیرخطی پارامترهای فیزیولوژیکی در مسئله بازشناسی احساسات در تحقیقات دیگر نیز تأیید شده است [۵۲، ۵۴]. علت آن می‌تواند ماهیت آشوب‌گونه و غیرخطی سیگنال‌های بیولوژیکی باشد. کشف اطلاعات جزئی و پیچیدگی‌های نهفته در سیگنال، با روش‌های مرسوم خطی میسر نبوده و در مقابل روش‌های غیرخطی پردازش سیگنال به خدمت گرفته می‌شوند. کارآمدی تحلیل‌های غیرخطی سیگنال‌های بیولوژیکی در سایر کاربردهای پزشکی نظیر تشخیص‌های پاتولوژیکی و سایکولوژیکی نیز اثبات شده است [۵۷-۵۵].

از میان کلاس‌های احساسی مطالعه شده، بیشترین تفاوت معنادار میان پاسخ‌های خودمختار خانم‌ها و آقایان در احساس غم مشاهده شد که حدود ۷۰/۵۸ درصد ویژگی‌ها این تمایز را نشان دادند. پس از آن احساس آرامش با ۶۸/۲۴ درصد در رتبه دوم قرار گرفت. پیش از این نیز نشان داده شده است که غم، پاسخ‌های فیزیولوژیکی و نورولوژیکی متفاوتی در زنان و مردان ایجاد می‌کند [۵۸]. از طرفی، در مطالعات تصویربرداری مغزی نشان داده شده است [۵۹] که پرخاشگری (که شاید بتوان آن را نقطه مقابل آرامش در نظر گرفت)، همبستگی‌های نورواناتومیکی خاصی در پسران ایجاد می‌کند که برای دختران صادق نیست که خود بیانگر تفاوت‌های جنسیتی به این نوع خاص از تحریک احساسی است.

نتایج این تحقیق، بر اهمیت در نظر گرفتن جنسیت به‌عنوان یک فاکتور مهم در مسئله بازشناسی احساسات تأکید دارد و پیشنهاد می‌کند که به‌منظور افزایش نرخ صحت، در طراحی یک سیستم بازشناسی احساسات، تفاوت‌های فردی (به‌عنوان مثال جنسیت) لحاظ گردد. همچنین، تحقیق حاضر می‌تواند بینشی جدید به محققان ارائه



- [16] R. C. Gur, F. Gunning-Dixon, W. Bilker and R. E. Gur, "Sex differences in temporo-limbic and frontal brain volumes of healthy adults," *Cerebral Cortex*, vol. 12, pp. 998-1003, 2002.
- [17] A. Craig, Y. Tran, G. Hermens, L. M. Williams, A. Kemp, C. Morris and E. Gordon, "Psychological and neural correlates of emotional intelligence in a large sample of adult males and females," *Personality and Individual Differences*, vol. 46, pp. 111-115, 2009.
- [18] N. Jausovec and K. Jausovec, "Differences in induced gamma and upper alpha oscillations in the human brain related to verbal/performance and emotional intelligence," *International Journal of Psychophysiology*, vol. 56, pp. 223-235, 2005.
- [19] A. Aleman and M. Swart, "Sex differences in neural activation to facial expressions denoting contempt and disgust," *Plos One*, vol. 3, pp. 1-7, 2008.
- [20] M. M. Bradley, M. Codispoti, D. Sabatinelli and P. J. Lang, "Emotion and motivation II: sex differences in picture processing," *Emotion*, vol. 1, pp. 300-319, 2001.
- [21] M. M. Bradley and P. J. Lang, *Emotion and Motivation*. In: Handbook of Psychophysiology, J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary, G. G. Berntson (Eds.), Cambridge, UK, Cambridge University Press, pp. 581-607, 2007.
- [22] J. S. Stevens and S. Hamann, "Sex differences in brain activation to emotional stimuli: a meta-analysis of neuroimaging studies," *Neuropsychologia*, vol. 50, pp. 1578-1593, 2012.
- [23] M. Hilz, P. Stadler, T. Gryc, J. Nath, L. Habib-Romstoeck, B. Stemper, S. Buechner, S. Wong and J. Koehn, "Music induces different cardiac autonomic arousal effects in young and older persons," *Autonomic Neuroscience*, vol. 183, pp. 83-93, 2014.
- [24] Y. Xu and G-Y. Liu, "A method of emotion recognition based on ECG signal," *IEEE International Conference on Computational Intelligence and Natural Computing*, pp. 202-205, Wuhan, 6-7 June 2009.
- [25] G. Xianhai, "Study of emotion recognition based on electrocardiogram and RBF neural network," *Procedia Engineering*, vol. 15, pp. 2408-2412, 2011.
- [26] F. Agrafioti, D. Hatzinakos and A. K. Anderson, "Ecg pattern analysis for emotion detection," *IEEE Transactions on Affective Computing*, vol. 3(1), pp. 102-115, 2012.
- [27] S. Jerritta, M. Murugappan, K. Wan and S. Yaacob, "Classification of emotional states from electrocardiogram signals: a non-linear approach based on hurst," *BioMedical Engineering OnLine*, vol. 12, no. 44, 2013.
- [28] S. Jerritta, M. Murugappan, K. Wan and S. Yaacob, "Electrocardiogram-based emotion recognition system using empirical mode decomposition and discrete Fourier transform," *Expert Systems*, vol. 31, pp. 110-120, 2014.
- [29] G. Valenza, P. Allegrini, A. Lanata and E. Scilingo, "Dominant Lyapunov exponent and approximate entropy in heart rate variability during emotional visual elicitation," *Frontiers in Neuroengineering*, vol. 5, pp. 1-7, 2012.
- [30] G. Valenza, L. Citi, A. Lanata, E. Scilingo and R. Barbieri, "Revealing real-time emotional responses: a personalized assessment based on heartbeat dynamics," *Scientific Reports*, vol. 4, no. 4998, 2014.
- [31] A. Goshvarpour, A. Abbasi and A. Goshvarpour, "Affective visual stimuli: characterization of the picture sequences impacts by means of nonlinear approaches," *Basic and Clinical Neuroscience*, vol. 6, pp. 209-221, 2015.
- [32] M. Nardelli, G. Valenza, A. Greco, A. Lanata and E. P. Scilingo, "Recognizing emotions induced by affective
- دهد که در یک مسئله نمونه می‌توانند از چه روش‌های پردازشی برای افزایش نرخ بازشناسی کمک بگیرند. به‌طور کلی، نتایج مطالعه حاضر می‌تواند در یک سیستم بازشناسی احساسات خودکار و همچنین در درک تفاوت‌های فیزیولوژیکی و سایکولوژیکی دو جنس در پاسخ به تحریکات احساسی بکار رود. به‌علاوه، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی مطالعه‌ای انجام شود که در آن بر اساس تغییرات مشاهده‌شده در الگوهای فیزیولوژیکی در احساسات و هیجانات مختلف، جنسیت افراد تشخیص داده شود.

## مراجع

- [1] K. R. Scherer, "Vocal communication of emotion: A review of research paradigms," *Speech Communication*, vol. 40, no.1-2, pp. 227-256, 2003.
- [2] A. R. Damasio, *Descartes Error: Emotion, Reason, and the Human Brain*. New York, NY, Putnam/Grosset Press, 1994.
- [3] K. R. Scherer, *Emotion, the Psychological Structure of Emotions. International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*. Oxford, Harvard Libraries, 2002.
- [4] C. Darwin, *The Expression of the Emotions in Man and Animals*. Whitefish, MT, Kessinger Publishing, 2005.
- [5] Evd. Plas, A. Boes, J. Wemmie, D. Tranel and P. Nopoulos, "Amygdala volume correlates positively with fearfulness in normal healthy girls," *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, vol. 5, pp. 424-431, 2010.
- [6] S. Kreibig, "Autonomic nervous system activity in emotion: a review," *Biological Psychology*, vol. 84, pp. 394-421, 2010.
- [7] B. Guntekin and E. Basar, "Gender differences influence brain's beta oscillatory responses in recognition of facial expressions," *Neuroscience Letters*, vol. 424, pp. 94-99, 2007.
- [8] U. Nater, E. Abbruzzese, M. Krebs and U. Ehlert, "Sex differences in emotional and psychophysiological responses to musical stimuli," *International Journal of Psychophysiology*, vol. 62, pp. 300-308, 2006.
- [9] M. Grossman and W. Wood, "Sex differences in intensity of emotional experience: a social role interpretation," *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 65, pp. 1010-1022, 1993.
- [10] D. Grewal and P. Salovey, "Feeling smart: the science of emotional intelligence," *American Scientist*, vol. 93, pp. 330-339, 2005.
- [11] A. Kring and A. Gordon, "Sex differences in emotion: expression, experience, and physiology," *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 74, pp. 686-703, 1998.
- [12] J. F. Thayer and B. H. Johnsen, "Sex differences in judgement of facial affect: A multivariate analysis of recognition errors," *Scandinavian Journal of Psychology*, vol. 41, pp. 243-246, 2000.
- [13] S. Nolen-Hoeksema and B. Jackson, "Mediators of the gender difference in rumination," *Psychology of Women Quarterly*, vol. 25, pp. 37-47, 2001.
- [14] S. Baron-Cohen, "The extreme male brain theory of autism," *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 6, pp. 248-254, 2002.
- [15] S. Baron-Cohen, *The Essential Difference: The Truth about the Male and Female Brain*. New York, Basic Books, 2003.



- exponents from small data sets,” *Physica D: Nonlinear Phenomena*, vol. 65, pp. 117–134, 1993.
- [47] N. Marwan, M. Romano, M. Thiel and J. Kurths, “Recurrence plots for the analysis of complex systems,” *Physics Reports*, vol. 438, pp. 237–329, 2007.
- [48] S. Moharreri, S. Rezaei, N. Dabanloo and S. Parvaneh, “Extended parabolic phase space mapping (EPPSM): novel quadratic function for representation of heart rate variability signal,” *Computers in Cardiology*, vol. 41, pp. 417–20, 2014.
- [49] L. M. Williams, M. J. Barton, A. H. Kemp, B. J. Liddell, A. Peduto, E. Gordon and R. A. Bryant, “Distinct amygdala-autonomic arousal profiles in response to fear signals in healthy males and females,” *NeuroImage*, vol. 28, no. 3, pp. 618–626, 2005.
- [۵۰] محمد اصغری جعفرآبادی و سیده مؤمنه محمدی، «سری آمار: روش‌های متداول ناپارامتری»، *مجله دیابت و متابولیسم ایران*، دوره ۱۴، شماره ۳، صفحه ۱۴۵–۱۶۲، اسفند ۱۳۹۳.
- [51] E. Critchley, “Electrodermal responses: what happens in the brain,” *Neuroscientist*, vol. 8, no. 2, pp. 132–142, 2002.
- [52] Y. Nagai, H. D. Critchley, E. Featherstone, P. B. Fenwick, M. R. Trimble and R. J. Dolan, “Brain activity relating to the contingent negative variation: an fMRI investigation,” *Neuroimage*, vol. 21, no. 4, pp. 1232–1241, 2004.
- [53] A. Goshvarpour, A. Abbasi and A. Goshvarpour, “Dynamical analysis of emotional states from electroencephalogram signals,” *Biomedical Engineering Applications, Basis and Communications*, vol. 28, no. 2, 1650015, 2016.
- [54] A. Goshvarpour, A. Abbasi and A. Goshvarpour, “Combination of sLORETA and nonlinear coupling for emotional EEG source localization,” *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*, vol. 20, no. 3, pp. 353–368, 2016.
- [55] K. Lehnertz, “Epilepsy and nonlinear dynamics,” *Journal of Biological Physics*, vol. 34, no. 3–4, pp. 253–266, 2008.
- [56] U.R. Acharya, V.K. Sudarshan, H. Adeli, J. Santhosh, J.E. Koh, S.D. Puthankatti and A. Adeli, A novel depression diagnosis index using nonlinear features in EEG Signals, *European Neurology*, vol. 74, no. 1–2, pp. 79–83, 2015.
- [۵۷] سیدعابد حسینی، محمدباقر نقیعی سیستانی و محمدرضا اکبرزاده توتونچی، «ارتباط مغز-رایانه دوبعدی مبتنی بر توجه انتخابی دیداری به کمک سیگنال‌های MEG»، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، جلد ۴۵، شماره ۲ (پیاپی ۷۲)، صفحه ۶۵–۷۴، تابستان ۹۴.
- [58] M. S. George, T. A. Ketter, P. I. Parekh, P. Herscovitch and R. M. Post, “Gender differences in regional cerebral blood flow during transient self-induced sadness or happiness,” *Biological Psychiatry*, vol. 40, pp. 859–871, 1996.
- [59] A. D. Boes, D. Tranel, S. W. Anderson and P. Nopoulos, “Right anterior cingulate: a neuroanatomical correlate of aggression and defiance in boys,” *Behavioral Neuroscience*, vol. 122, no. 3, pp. 677–684, 2008.
- sounds through heart rate variability,” *IEEE Transactions on Affective Computing*, vol. 6, no. 4, pp. 385–394, 2015.
- [۳۳] سیدعابد حسینی، محمدعلی خلیل زاده، سیدمه‌هران همام و مهدی آذرینوش، «آشکارسازی فشار هیجانی به کمک ویژگی‌های غیرخطی و طیف مرتبه بالای سیگنال مغزی»، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، جلد ۳۹، شماره ۲ (پیاپی ۵۸)، صفحه ۱۴–۲۵، زمستان ۱۳۸۸.
- [34] P. Lang, M. Bradley and B. Cuthbert, *International Affective Picture System (IAPS): Affective Ratings of Pictures and Instruction Manual*, Gainesville, FL, University of Florida, 2005.
- [35] J. G. Proakis and D. G. Manolakis, *Digital Signal Processing Principles, Algorithms, and Applications*. New Jersey, Prentice-Hall, 1996.
- [36] I. Daubechies, “The wavelet transform, time frequency localization and signal analysis,” *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 36, pp. 961–1005, 1990.
- [37] A. Lempel and J. Ziv, “On the complexity of finite sequences,” *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 22, pp. 75–81, 1976.
- [38] X-S. Zhang and Y-S. Zhu, “Detecting ventricular tachycardia and fibrillation by complexity measure,” *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 46, pp. 548–555, 1999.
- [39] C. K. Peng, S. V. Buldyrev, S. Havlin, M. Simons, H. E. Stanley and A. L. Goldberger, “Mosaic organization of DNA nucleotides,” *Physical Review E*, vol. 49, no. 2, pp. 1685–1689, 1994.
- [40] F. Takens, *Detecting Strange Attractor in Turbulence*, In: *Lecture Notes in Mathematics*. D. A. Rand and L. S. Young (Eds.), Berlin, Springer, pp. 366–381, 1981.
- [41] N. E. Huang, Z. Shen, S. R. Long, M. C. Wu, H. H. Shih, Q. Zheng, N. C. Yen, C. C. Tung and H. H. Liu, “The empirical mode decomposition and Hilbert spectrum for nonlinear and nonstationary time series analysis,” *Proceedings of the Royal Society of London*, vol. 454, pp. 903–995, 1998.
- [42] S. M. Pincus, “Approximate entropy as a measure of system complexity,” *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, vol. 88, pp. 2297–2301, 1991.
- [43] M. Tulppo, T. Makikallio, T. Takala, T. Seppanen and H. Huikuri, “Quantitative beat to beat analysis of heart rate dynamics during exercise,” *American Journal of Physiology*, vol. 271, pp. H244–H252, 1996.
- [44] P. Guzik, J. Piskorski, T. Krauze, R. Schneider, K. H. Wesseling, A. Wykretowicz and H. Wysocki, “Correlations between the Poincare plot and conventional heart rate variability parameters assessed during paced breathing,” *Journal of Physiological Sciences*, vol. 57, pp. 63–71, 2007.
- [45] J. Piskorski and P. Guzik, “Filtering poincare plots,” *Computational methods in science and technology*, vol. 11, pp. 39–48, 2005.
- [46] M. T. Rosenstein, J. J. Collins and C. J. DeLuca, “A practical method for calculating largest Lyapunov