

The Effect of Sleep on Response to Happy and Sad Images

Ateke Goshvarpour, Ataollah Abbasi*, Atefeh Goshvarpour

Department of Biomedical Engineering, Faculty of Electrical Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

Article Info:

Received: 28 Apr 2016

Revised: 3 Sep 2016

Accepted: 29 Oct 2016

ABSTRACT

Introduction: Studies show that changes in the average of sleep duration has unpleasant effects on physiological and cognitive functions of individuals. On the other hand, recording and analysis of biological signals are one of the safest methods for studying emotional responses, that participant is rarely able to fake them voluntarily. Given that the effects of sleep on the physiological parameters of individuals in response to emotion is not considered sufficiently, this study has attempted to provide a comprehensive evaluation on signal analysis methods, to examine the differences in autonomic parameters, including the electrocardiogram and galvanic skin response (GSR). **Materials and Methods:** Autonomic signals of 47 students while watching the happy and sad images were collected and analyzed. For this purpose, a wide range of linear and nonlinear characteristics were extracted from the signals and the differences between the two groups were evaluated by means of the non-parametric Mann–Whitney test. **Results:** 22 of the participants, had normal sleep (mean age 21.32 ± 1.67 years) while 25 subjects had insufficient sleep (mean age 21.88 ± 1.64 years). The results of present study show that physiological responses to emotional stimuli depend on the duration of sleep. The highest percentage of discrimination devote to the non-linear characteristics of GSR signal in response to the sad images. of these, the Poincare indices revealed significant differences between the two groups. The results of linear analysis also indicated better performance of GSR signal in illustrating the difference between emotional responses of two groups with different amount of sleep. **Conclusion:** There is a significant relation between the amount of sleep and emotional behavior of the participants. Analysis of autonomic parameters enable us to investigate this relationship. However, the results are depended on the type of stimulation and the methodology applied for data analysis.

Key words:

1. Emotions
2. Nonlinear Dynamics
3. Sleep

*Corresponding Author: Ataollah Abbasi

E-mail: ata.abbasi@sut.ac.ir

تأثیر خواب در پاسخ به تصاویر شاد و غم

عاتکه گشوارپور، عطاله عباسی^{*}، عاطفه گشوارپور

گروه مهندسی پزشکی، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ پذیرش: ۸ آبان ۱۳۹۵

اصلاحیه: ۱۲ شهریور ۱۳۹۵

تاریخ دریافت: ۹ اردیبهشت ۱۳۹۵

چکیده

مقدمه: مطالعات نشان می‌دهد که تغییرات در مدت زمان متوسط خواب تأثیرات ناخوشایندی بر عملکردهای فیزیولوژی و شناختی افراد دارد. به عبارت دیگر ثبت و تحلیل سیگنال‌های بیولوژیکی یکی از مطمئن‌ترین روش‌ها برای مطالعه پاسخ‌های احساسی هستند که شرکت‌کننده به‌ندرت قادر است آن‌ها را به طور داوطلبانه جعل کند. تأثیرات خواب بر پارامترهای فیزیولوژیکی افراد در پاسخ به احساسات به اندازه کافی در نظر گرفته نشده است، این مطالعه تلاش کرده است یک سنجش جامع از روش‌های تحلیل سیگنال، جهت آزمون اختلاف‌ها در پارامترهای خودمختار شامل الکتروکاردیوگرام و هدایت الکتریکی پوست فراهم کند. **مواد و روش‌ها:** سیگنال‌های خودمختار ۴۷ دانشجو در هنگام تماشای تصاویر شاد و غمگین جمع‌آوری و تحلیل شد. برای این منظور، طیف وسیعی از ویژگی‌های خطی و غیرخطی از سیگنال‌ها استخراج گردید و تفاوت میان دو گروه با استفاده از آزمون ناپارامتری من ویتنی مورد ارزیابی قرار گرفت. **یافته‌ها:** ۲۲ نفر از شرکت‌کننده‌ها خواب طبیعی داشتند (میانگین سن $21/32 \pm 1/67$ سال) در حالی که ۲۵ نفر از افراد خواب ناکافی (میانگین سن $21/88 \pm 1/64$ سال) داشتند. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که پاسخ‌های فیزیولوژیکی به تحریکات احساسی به طول مدت خواب بستگی دارد. بالاترین درصد تفکیک به ویژگی‌های غیرخطی سیگنال GSR در پاسخ به تصاویر غمگین اختصاص دارد. از این میان شاخص‌های پوانکاره تفاوت معنی‌داری را میان دو گروه نشان داد. نتایج تحلیل خطی نیز بیانگر عملکرد بهتر سیگنال GSR در نشان دادن تفاوت میان پاسخ‌های احساسی دو گروه با مقدار متفاوت خواب بوده است. **نتیجه‌گیری:** یک ارتباط معنی‌داری میان میزان خواب و رفتار احساسی شرکت‌کننده‌ها وجود دارد. تحلیل پارامترهای خودمختار ما را قادر به بررسی این رابطه می‌سازد. اگرچه نتایج به نوع تحریک و روش‌شناسی مورد استفاده برای تحلیل داده‌ها بستگی دارد.

کلید واژه‌ها:

۱. احساسات
۲. دینامیک‌های غیرخطی
۳. خواب

^{*} نویسنده مسئول: عطاله عباسی

آدرس الکترونیکی: ata.abbasi@sut.ac.ir

مقدمه

در مسیرهای اولیهٔ پردازش بینایی و نواحی لیمبیک^۲ به همراه داشته است. شوان و همکاران نشان دادند که زمان پاسخ به محرک پس از کمبود خواب به مدت دو شبانه روز، کوتاه‌تر می‌شود (۱۷)؛ زیرا اطلاعات بینایی بدون آنکه از قشر بینایی عبور کند از آمیگدال می‌گذرد و این احتمال وجود دارد که مسیر هدایت آن نقش مهمی در تغییر در پاسخ‌های احساسی به محرک‌های بصری پس از اختلال خواب داشته باشد (۱۹، ۱۸).

مدت زمان کوتاه یا طولانی خواب بر سیستم عصب خودمختار و نشانه‌های حیاتی اثرگذار است. به طور خاص، افزایش فشار خون دیاستولیک و میانگین مقدار مقاومت پوست به علت کم‌خوابی گزارش شده است (۲۰). با بررسی تحقیقات می‌توان دریافت که تلاش بسیار کمی در زمینهٔ عوارض احساسی خواب کم مبتنی بر سیگنال‌های فیزیولوژی صورت گرفته است و اثر خواب زیاد در آن‌ها عموماً نادیده گرفته شده است. تنها در مطالعهٔ گشواری و همکاران، اثر میزان خواب بر پاسخ‌های احساسی افراد که با تحریک موسیقی ایجاد شده بود، با اندازه‌های فرکانسی سیگنال‌های خودمختار مورد بررسی قرار گرفت (۲۱). نتایج حاکی از آن بود که صرف‌نظر از نوع تحریک احساسی، بیشینهٔ توان سیگنال‌های خودمختار در هنگام گوش کردن به قطعات موسیقی افزایش می‌یابد که این مقادیر برای افرادی که خواب کافی داشته‌اند، بالاتر بوده است. به علاوه، تمایز بین گروه افراد با خواب طبیعی و افرادی که میزان خواب ناکافی داشته‌اند در پاسخ به تحریکات احساسی در سیگنال الکتروکاردیوگرام (ECG)^۳ مشهودتر بوده است.

پیش از این، روش‌های مختلفی برای پردازش سیگنال‌های بیولوژیکی در پاسخ به احساسات ارائه شده است. بیشتر اطلاعات بشر از رفتارهای احساسی و رفتارهای سیستم‌های بدن با استفاده از روش‌های حوزهٔ زمان و فرکانس (که اصطلاحاً به آن‌ها روش‌های خطی یا استاندارد گویند) حاصل شده است. برخی از شاخص‌های خطی نظیر توان‌های فرکانسی سیگنال HRV و LF/HF^۴ در مسئلهٔ تنظیم احساسات و ارتباط آن با پارامترهای فیزیولوژی مورد بررسی قرار گرفته است (۲۲). از این ویژگی‌ها در مسئلهٔ بازشناسی احساسات نیز استفاده شده است. پیکارد و همکاران ویژگی‌های آماری پنج سیگنال فیزیولوژی را تحلیل کردند و توانستند هشت کلاس احساسی را با نرخ بازشناسی ۸۱٪ تفکیک نمایند (۲۳). در مطالعهٔ دیگری، با به کارگیری ویژگی‌های طیفی، دامنه، میانگین، بیشینه و انحراف معیار سیگنال‌های قلبی، بالاترین نرخ ۷۸/۴٪ و ۶۱/۸٪ به ترتیب در تفکیک سه و چهار حالت احساسی گزارش شده است (۲۴).

خواب حالتی برگشت‌پذیر است که با سکون، بی‌حرکتی نسبی و افزایش در آستانهٔ پاسخ به تحریکات محیطی نسبت به حالت بیداری مشخص می‌گردد. در بسیاری از متون علمی بر رابطهٔ نزدیک میان احساسات و میزان خواب اشاره شده است (۱، ۲). پیش از این، اثرات منفی کمبود خواب بر سطوح مختلف کارکردی، به‌ویژه بر شناخت و رفتار و همچنین بر فرایند تنظیم احساسات گزارش شده است (۳-۶). اگرچه عوارض احساسی خواب کم بر پارامترهای فیزیولوژی در مقالات چندان مورد توجه قرار نگرفته است؛ یکی از نتایج کلی به دست آمده، افزایش احساسات منفی به علت کمبود خواب بوده است. افزایش در اضطراب، پریشانی، خستگی و نشانه‌های افسردگی به علت کمبود خواب مشاهده شده است (۷، ۸). شرکت‌کنندگان با خواب کم دارای شدت و میزان احساسات مثبت کمتری بوده‌اند. کم‌خوابی، حتی برای مدت زمانی کوتاه (یک شب یا دو شب)، نیز منجر به کاهش احساسات مثبت و افزایش اضطراب می‌شود (۹، ۱۰). کمبود خواب در کودکان ۳۰ تا ۳۶ ماهه، موجب کاهش ۳۴٪ در پاسخ به احساسات مثبت و افزایش ۳۱٪ در پاسخ به احساسات منفی شده است (۱۱).

با ارزیابی حالات چهره، کاهش در بیان احساسات پس از کم‌خوابی گزارش شده است (۱۲). تحلیل قطر مردمک چشم، بیانگر آن است که افراد دارای کمبود خواب، در هنگام نگاه کردن به تصاویر منفی در مقایسه با تصاویر مثبت و خنثی، قطر مردمک بزرگ‌تری داشته‌اند (۱۳).

برای مشخص کردن چگونگی ارتباط خواب با احساسات، برخی مطالعات شبکه‌های مغزی را مورد بررسی قرار داده‌اند (۱۴-۱۶). فقدان خواب منجر به کاهش قدرت کنترل احساسات منفی می‌شود که این امر به علت در هم گسیختگی عملکرد قشر جلوی پیشانی به وجود می‌آید (۱۴). مطالعات تصویربرداری مغزی نشان می‌دهد که کم‌خوابی منجر به افزایش فعالیت آمیگدال (۶۰٪ دامنهٔ بزرگ‌تر) در پاسخ به تحریکات احساسی منفی می‌گردد (۱۵). همچنین، اتصالات میان آمیگدال و قشر میانی جلوی پیشانی در گروه کم‌خواب کاهش می‌یابد. اگرچه در این گروه، اتصالات بیشتری میان آمیگدال و مراکز فعالسازی اعصاب خودمختار در هستهٔ لوکوس سرولئوس وجود داشته است. اثر تحریکات احساسی مثبت بر کم‌خواب‌ها، بیانگر تقویت شبکه‌های مغزی مزولیمبیک در پاسخ به تصاویر احساسی مثبت بوده است (۱۶). این افزایش وابسته به کاهش اتصالات در قشر میانی و قشر حدقه‌ای پیشانی^۱ بوده و اتصالات بیشتری

^۱ Orbitofrontal^۲ Limbic areas^۳ Electrocardiogram^۴ Heart rate variability^۵ Low-frequency to high-frequency ratio

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، نقش میزان خواب بر پاسخ‌های احساسی مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، تصاویر احساسی در دو کلاس غم و شادی از طریق تصاویر استاندارد به فرد نشان داده شد و هم‌زمان سیگنال‌های ECG و GSR شرکت‌کنندگان اخذ گردید (اخذ دادگان). سیگنال ECG نشان دهنده عملکرد قلب و پاسخ گالوانیک پوست (GSR) نشان دهنده تغییرات مقاومت پوستی ناشی از فعالیت غدد عرقی در پوست است که با سیستم عصب سمپاتیک کنترل می‌شوند. این فعالیت به‌عنوان شاخصی از برانگیختگی سایکولوژیکی یا فیزیولوژی در نظر گرفته می‌شود. در موقعیت‌هایی نظیر فعالیت‌های فیزیکی و یا برانگیختگی احساسی رطوبت پوست افزایش و مقاومت الکتریکی پوست کاهش می‌یابد. در نتیجه هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد. تغییر هدایت الکتریکی پوست بین دو انگشت (یا دو نقطه از بدن که عموماً انگشتان، کف دست یا پا است) با قرار دادن دو الکترود در طول زمان اندازه‌گیری می‌شود. این دو الکترود غالباً به بند دوم انگشت اشاره و انگشت میانه و یا انگشت اشاره و انگشت انگشتی متصل می‌شوند. زیرا فرض می‌شود این مکان‌ها بیشترین حساسیت را به پاسخ‌های برانگیختگی دارند. سپس، این سیگنال‌ها به طور جامع با استخراج ویژگی‌های مختلف در حوزه‌های زمان، فرکانس و غیرخطی مورد تحلیل قرار گرفت (استخراج ویژگی). در نهایت برای بررسی معنی‌داری تفاوت میان پاسخ‌های بیولوژیکی در افراد با میزان خواب طبیعی و خواب غیرطبیعی از آزمون آماری استفاده گردید (تحلیل آماری).

اخذ دادگان

این مطالعه از نوع مقطعی است. سیگنال‌های بیولوژیکی ۴۷ دانشجوی دانشگاه صنعتی سهند به طور تصادفی جمع‌آوری شد. پیش از آزمایش، شرکت‌کنندگان رضایت خود را برای شرکت در آزمایش به صورت کتبی اعلام کردند. به‌علاوه، از آن‌ها خواسته شد اطلاعاتی در مورد کیفیت و مدت زمان خواب خود به صورت کلی و برای شب قبل از آزمایش ارائه دهند. معیار طبیعی یا غیرطبیعی بودن خواب افراد بر اساس مطالعه قبل بوده است (۲۱). بر این اساس، معیار انتخاب این دو گروه بر اساس آستانه‌گذاری بر نسبت خواب شب قبل به میزان خواب طبیعی (I) افراد بوده است.

$$I = \frac{\text{previous night sleep hours of the subject}}{\text{general night sleep hours of the subject}}$$

الگوهای متفاوت از پاسخ‌های فیزیولوژی به فیلم‌های ترس‌آور و غمگین با تحلیل پارامترهای ساده خطی از سیگنال‌های قلبی-عروقی، هدایت پوست و تنفس حاصل شد (۲۵). در تحقیقی دیگر، ترکیب خطی شش متغیر خطی در متمایز کردن حالت خنثی از اضطراب با نرخ طبقه‌بندی ۸۳/۳٪ به کار گرفته شد (۲۶). تبدیل فوریه سریع سیگنال‌های مغزی در تفکیک دو و سه سطح از ابعاد ارزش و برانگیختگی استفاده شده است (۲۷). میانگین صحت دو سطح در ابعاد ارزش و برانگیختگی به ترتیب ۷۰/۹٪ و ۷۰/۱٪ بود که نرخ تفکیک در سه سطح به مقدار ۵۵/۴٪ و ۵۵/۲٪ کاهش یافت. ویژگی‌های حوزه زمان و فرکانس چند سیگنال فیزیولوژی در مطالعه اخیر لی و همکاران در مسئله بازشناسی احساسات با بیشینه صحت ۷۳٪ به کار گرفته شد (۲۸).

اخيراً، استفاده از شاخص‌های غیرخطی در فرایند استخراج ویژگی از سیگنال‌های حیاتی توجه بسیاری از محققان را به خود جلب نموده است. آفتاناس و همکاران نشان دادند که یک رابطه مستقیم میان تخمین دینامیک پیچیدگی و شدت احساس درک شده توسط فرد وجود دارد و مقادیر آنتروپی (ENTR)^۶ کلموگروف و نمای لیپانوف^۷ به تغییرات EEG در هنگام القای احساسات حساس هستند (۲۹، ۳۰). آنتروپی به‌عنوان شاخصی غیرخطی از سیگنال EEG برای مشخص نمودن باندهای فرکانسی و کانال‌های دارای اهمیت در بازشناسی احساسات استفاده شده است (۳۱). محققین به بالاترین نرخ صحت ۸۶/۶۵٪ در بازشناسی سه دسته احساس مثبت، منفی و خنثی دست یافتند. پیش‌تر، بعد جاسازی، زمان تأخیر، بعد همبستگی، آنتروپی تخمین و نمای لیپانوف سیگنال GSR^۸ برای تفکیک احساسات تحلیل شده است (۳۲). با تحلیل شاخص‌های پلات پوانکاره، الگوهای متفاوتی از سیگنال HRV در پاسخ به محرک برانگیزاننده گزارش شد (۳۳، ۳۴). شاخص‌های پوانکاره در مطالعه ناردلی و همکاران با موفقیت برای تفکیک کلاس‌های احساسی به کار رفت (۳۵).

علی‌رغم اینکه روش‌های تحلیل خطی و غیرخطی بسیاری برای ارزیابی سیگنال‌های بیولوژیکی در پاسخ‌های احساسی بررسی شده‌اند، رابطه میان میزان خواب با احساسات از منظر پاسخ‌های فیزیولوژی و روش‌های تحلیل سیگنال یا بررسی نشده و یا چندان مورد توجه قرار نگرفته است. در مطالعه حاضر، رابطه میان اثر نسبت خواب در پاسخ به تصاویر احساسی (غم و شادی) به طور جامع بر سیگنال‌های الکتروکاردیوگرام و هدایت الکتریکی پوست مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

^۶ Entropy^۷ Lyapunov exponents^۸ Galvanic skin response

۴۰۰ (AD Instruments; Australia) با نرخ نمونه‌برداری ۴۰۰ هرتز جمع‌آوری شدند. برای تمام شرکت‌کنندگان، شرایط ثبت داده از قبیل نور اتاق، دما (۲۵-۲۳ درجه سانتی‌گراد) بدون تغییر در نظر گرفته شد. نور صفحه برای هر فرد به طور جداگانه تنظیم شد. فیلتر ناچ برای حذف نوسانات خط توان در ۵۰ هرتز فعال گردید (۳۷).

استخراج ویژگی

ویژگی‌های خطی

تحلیل حوزه زمان بر اساس پارامترهای میانگین، انحراف معیار، بیشینه، کمینه، میانه، مد، ریشه میانگین مربعات (RMS)^{۱۰}، گشتاورهای مرتبه دوم، سوم و چهارم انجام شد. به علاوه، تحلیل حوزه فرکانس با استفاده از تخمین طیف توان با روش فوریه انجام شد (۳۸). میانگین و بیشینه مقادیر توان و همچنین فرکانسی که در آن این مقادیر رخ می‌دهد، استخراج گردید.

تحلیل‌های غیرخطی

پیچیدگی: در این مطالعه از تحلیل پیچیدگی ارائه شده توسط لمپل و زیو استفاده شده است (۳۹). اجرای الگوریتم مطابق با روش توضیح داده شده در مطالعه ژانگ و ژو محقق شد (۴۰).

تحلیل نوسانات روند زدایی شده (DFA)^{۱۱}: دو پارامتر از تحلیل DFA، شامل نمای مقیاس (α) و بعد فرکتال $(D=3-\alpha)$ در این مطالعه تحلیل شد (۴۱).

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 مطابق زیر حاصل می‌شود (۴۲):

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

که در آن τ تأخیر محاط و m بعد جاسازی است.

آنتروپی: روش‌های مختلفی از آنتروپی به عنوان مقداری از پیچیدگی ارائه شده است (۴۳). 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}, \dots, X_i به یک فضای دوبعدی نگاشت می‌شوند (۴۴). با برازش یک بیضی بر شکل پوانکاره، می‌توان شاخص‌هایی برای کمی سازی آن استخراج نمود. قطرهای بزرگ و کوچک از بیضی برازش شده $(SD1)$ و $(SD2)$ از همبستگی و میانگین نقاط X با تأخیرهای صفر و یک حاصل می‌گردد. وابستگی میان

خواب طبیعی و در غیر این صورت (<0.9 و >1.1) در گروه خواب غیرطبیعی قرار می‌گرفتند.

برای ایجاد احساسات در شرکت‌کنندگان، تصاویری از پایگاه تصویر IAPS^۹ انتخاب شد که تصاویر توسط شرکت‌کنندگان آمریکایی در ابعاد احساسات بر مقیاسی نه نقطه‌ای (از ۱ تا ۹) ارزیابی شده است و برای تمام ابعاد احساسات، میانگین و واریانس نمرات شرکت‌کنندگان محاسبه و گزارش گردیده است (۳۶). در این مطالعه بر اساس بعد ارزش (مثبت و منفی)، دو کلاس احساسی متناظر با احساس شادی و غم در نظر گرفته شد. برای کلاس شادی تصاویری انتخاب شدند که برانگیختگی آن‌ها در بازه ۵ تا ۷/۵ (بالا) و ارزش آن‌ها در بازه ۶/۵ تا ۹ (بالا) باشد. برای کلاس غم نیز از تصاویری استفاده شد که دارای برانگیختگی ۲ تا ۵ (پایین) و ارزش ۱ تا ۳/۵ (پایین) بود.

در طول فرایند ثبت داده، از شرکت‌کنندگان خواسته شد که تا حد امکان آرام و بی‌حرکت باشند، به‌ویژه دست، انگشتان و پای خود را که الکترودها به آن‌ها متصل است، تکان ندهند. در طول ثبت، هر فرد در مقابل صفحه لپ‌تاپ ۱۵/۵ اینچی نشست و الکترودهای اخذ داده به او متصل گردید. کل فرایند ثبت سیگنال، حدود ۱۵ دقیقه بود که تصاویر پس از دو دقیقه اندازه‌گیری ثبت مینا (در حالی که شخص به صفحه خالی نگاه می‌کرد) نشان داده می‌شد. ۲۸ بلوک از تحریک تصویری بر روی صفحه با ترتیب تصادفی پخش شد که هر بلوک شامل ۵ تصویر از احساسات با کلاس مشابه بود. در نهایت ۱۴۰ تصویر احساسی استفاده شد. توالی تصاویر برای تمام شرکت‌کنندگان یکسان بوده است. مدت زمان پخش هر بلوک ۱۵ ثانیه بود که پس از آن به مدت ۱۰ ثانیه یک صفحه خالی نمایش داده می‌شد. صفحه خالی برای اطمینان از بازگشت تغییرات فیزیولوژی به وجود آمده از هر تحریک احساسی به حالت مینا قرار داده شد. بلافاصله پس از آن یک صفحه خالی با علامت مثبت در وسط، نشان داده شد تا تمرکز فرد به مرکز صفحه جلب شده و برای دیدن بلوک بعد آماده گردد.

به طور هم‌زمان، سیگنال‌های ECG و GSR از شرکت‌کنندگان اخذ گردید. برای مانیتور کردن سیگنال GSR، الکترودهای دو قطبی به انگشتان اشاره و انگشتی دست چپ متصل شد. سیگنال ECG نیز از لید I اخذ شد.

تمام ثبت‌ها در آزمایشگاه علوم اعصاب محاسباتی در دانشگاه صنعتی سهند انجام شده است. سیگنال‌های ECG و GSR با استفاده از سیستم پاورلب ۱۶ کانال

⁹ International affective picture system

¹⁰ Root mean square

¹¹ Detrended fluctuation analysis

خطی میان دو گروه نشان داده شده است.

نتایج تحلیل خطی نشان می‌دهد که سیگنال GSR نسبت به سیگنال ECG بهتر توانسته است تفاوت میان پاسخ‌های احساسی دو گروه افراد با میزان خواب مختلف را نشان دهد. از میان ویژگی‌های خطی، ویژگی‌های زمانی عملکرد بهتری نسبت به ویژگی‌های فرکانسی داشته‌اند. تمام ویژگی‌های زمانی سیگنال GSR بجز گشتاورهای مرتبه سوم و چهارم معنی‌داری تفاوت میان گروه‌ها را نشان می‌دهد. از میان ویژگی‌های حوزه فرکانس، در دو ویژگی بیشینه توان و میانگین توان سیگنال تفاوت معنی‌داری میان دو گروه مشاهده شد. به طور کلی، با در نظر گرفتن تحلیل‌های خطی سیگنال‌های هدایت الکتریکی پوست و الکتروکاردیوگرام، تفاوت‌های معنی‌دار بیشتری در بین افراد با خواب طبیعی و غیرطبیعی در هنگام احساس شادی نسبت به غم مشاهده می‌شود.

نتایج تحلیل غیرخطی برای دو سیگنال در جدول‌های ضمیمه ۲ و ۳ آورده شده است. به طور خاص، جدول‌های ضمیمه ۲ و ۳ به ترتیب میانگین و انحراف معیار ویژگی‌های غیرخطی در سیگنال‌های هدایت الکتریکی پوست و الکتروکاردیوگرام را نشان می‌دهند. همچنین در این جدول‌ها معنی‌داری پارامترهای غیرخطی بین دو حالت خواب طبیعی و غیرطبیعی نشان داده شده است.

از میان ویژگی‌های غیرخطی سیگنال GSR، نمای لیپانوف، آنتروپی شانون و شاخص‌های پوانکاره توانسته‌اند رفتارهای بیولوژیکی مختلف در پاسخ به تحریکات شاد و غمگین را میان افراد با میزان خواب متفاوت نشان دهند. این تفاوت برای ویژگی‌های نوسانات روند زدایی شده، نمای لیپانوف و بعد جاسازی سیگنال ECG معنی‌دار بوده است. به طور کلی، جدول‌های ضمیمه ۲ و ۳ نشان می‌دهند که سیگنال GSR نسبت به سیگنال ECG در نمایش تفاوت میان دو گروه عملکرد بهتری داشته است که این تفاوت در نمایش حالت غم مشهودتر بوده است.

مطابق با نتایج گزارش شده در جدول‌های ضمیمه ۱ تا ۳، تصویر ۱ درصد معنی‌داری ویژگی‌های استخراج شده بین دو گروه با خواب طبیعی و غیرطبیعی را در هر یک از سیگنال‌ها نشان می‌دهد.

نتایج بیانگر آن است که بیشترین تفاوت معنی‌دار بین ویژگی‌های خطی در پاسخ‌های فیزیولوژی بین دو گروه برای احساس شادی وجود دارد (جدول ضمیمه ۱ و تصویر ۱ الف). ۷۱/۴۳٪ ویژگی‌های خطی سیگنال GSR و ۵۰٪ ویژگی‌های خطی سیگنال ECG در حالت شادی تفاوت معنی‌دار میان دو گروه با خواب طبیعی و

متغیرها با تأخیر زمانی کنترل می‌شود. با ترکیب SD1 و SD2 می‌توان شاخص‌های دیگری به دست آورد. شاخص‌هایی که علاوه بر SD1 و SD2 در این مطالعه تحلیل شدند عبارتند از: نسبت میان SD1 و SD2 (SD12)؛ مساحت بیضی برآزش شده بر نمودار پوانکاره (S) و واریانس کل سری زمانی (SDRR) (۴۶) (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، روش تخمین واقعی از نمای لیپانوف در این تحقیق فراهم گردید (۴۷).

تحلیل کمی‌سازی بازگشتی (RQA)^{۱۲}: هفت شاخص از RQA شامل نرخ بازگشت (RR)^{۱۳}، قطعیت (DET)^{۱۴}، متوسط طول خطوط قطری (L)، آنتروپی، لایه‌ای بودن (LAM)^{۱۵}، بیشینه طول خط قطری (Lmax)، بیشینه طول خطوط قائم (Vmax) مورد مطالعه قرار گرفت. برای اطلاع بیشتر به مطالعه ماروان و همکاران مراجعه شود (۴۸).

فضای فاز مثلثی: این روش مبتنی بر الگوریتم ارائه شده توسط محرری و همکاران صورت پذیرفت (۴۹). پس از آن، بر اساس توزیع نقاط یک چند جمله‌ای درجه چهار بر آن برآزش شد که ضرایب چند جمله‌ای (A, B, C, D, E) بردار ویژگی را ایجاد کردند.

تحلیل آماری

در این مطالعه، به منظور تحلیل تفاوت میان پاسخ‌های فیزیولوژی به تصاویر شاد و غم در دو گروه افراد با خواب طبیعی و گروه با خواب غیرطبیعی، آزمون ناپارامتری من ویتنی استفاده شده است. تمام تحلیل‌ها با نرم‌افزار MATLAB انجام شده است.

یافته‌ها

هدف این مطالعه، تحلیل تفاوت‌های بیولوژیکی افراد با میزان خواب مختلف در پاسخ به تحریک‌های احساسی غم و شادی با استفاده از روش‌های پردازش سیگنال است. شرکت‌کنندگان (میانگین سن $21/5 \pm 1/6$ سال) به دو گروه با خواب طبیعی شامل ۲۲ نفر (میانگین سن $21/32 \pm 1/67$ سال) و گروه با خواب غیرطبیعی (پرخواب یا کم خواب) شامل ۲۵ نفر (میانگین سن $21/88 \pm 1/64$ سال) دسته‌بندی شدند.

جدول ۱ مقادیر پارامترهای زمانی (Mean \pm SD) در دو گروه با خواب طبیعی و غیرطبیعی در دو تحریک شاد و غم و در دو سیگنال ECG و GSR را نشان می‌دهد. همچنین در این جدول تفاوت آماری روش‌های تحلیل

¹² Standard deviation of RR intervals

¹³ Recurrence quantification analysis

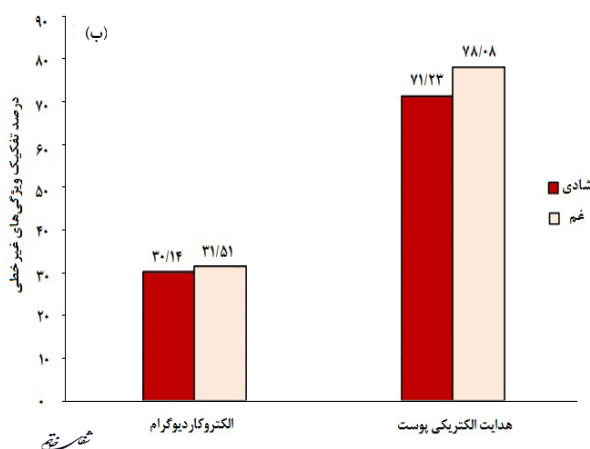
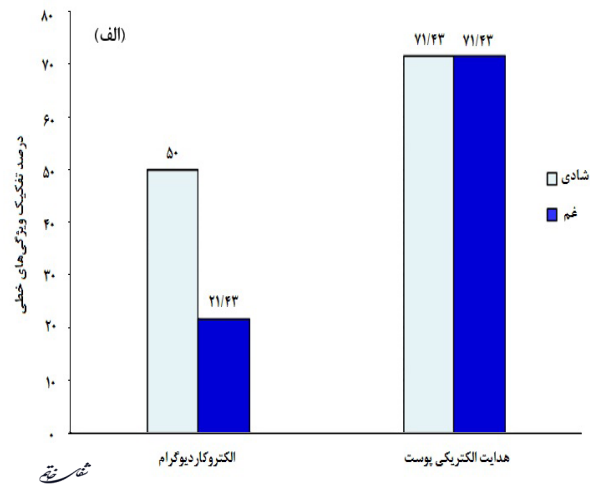
¹⁴ Recurrence rate

¹⁵ Recurrence rate

¹⁶ Laminarity

مختلف بر موضوع فعالسازی سیستم اعصاب خودمختار (ANS)^{۱۷} در احساسات می‌باشند. در سال ۲۰۱۰، کریبیک در مقاله مروری خود با استناد به ۱۳۴ مقاله معتبر، اثر پاسخ‌های فیزیولوژی به احساسات مختلف را گردآوری نموده است (۵۰). نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که احساساتی که بیشتر مورد بررسی قرار گرفته‌اند، عبارتند از: خشم، ترس، غم، نفرت و شادی. آزمایشات تجربی غالباً برای ایجاد احساسات در شرکت‌کنندگان از کلیپ‌های فیلم، به یادآوری‌های شخصی، نشان دادن تصاویر و تصویرسازی‌های ذهنی استاندارد استفاده کرده‌اند. به‌علاوه، این تحقیق نشان می‌دهد که در بررسی احساس غم الگوی غیرمتجانسی از فعالیت هم‌زمان سمپاتیک-پاراسمپاتیک گزارش شده است. پاسخ فیزیولوژی به غم (بدون گریه) با عدم فعالیت سمپاتیک با استفاده از نمایش فیلم، قطعه موسیقی و تصویرسازی ذهنی استاندارد شده مشخص می‌گردد. کاهش در نرخ ضربان قلب همراه با کاهش در فعالیت الکتریکی پوست (کاهش میزان هدایت پوست)، افزایش فعالیت تنفسی (افزایش نرخ تنفس)، افزایش یا کاهش عمق تنفس، کاهش تغییرات نرخ ضربان قلب و کاهش دامنه پالس انگشت و دمای انگشت در هنگام تماشای کلیپ فیلم غمگین نشان داده شده است. مشاهده تصویر برای ایجاد غم منجر به افزایش نرخ ضربان قلب، عدم تغییر در HRV و تهویه، کاهش نرخ ضربان قلب، زمان دم، حجم ضربه‌ای، افزایش سیکل تنفسی، زمان بازدم و تغییرات نرخ ضربان قلب، عدم تغییر در پاسخ هدایت پوست (تصاویری با محتوای افسرده‌کننده، مانند قبرستان، سقوط هواپیما، قربانی جنگ و یا یک مرغابی در روغن)، یا افزایش کم نرخ تنفس، کاهش دمای انگشت، پاسخ هدایت پوست کوچکتر (تصاویری از چهره‌های غمگین) می‌شود.

الگوی پاسخ خودمختار به شادی با افزایش فعالیت قلبی به علت عدم فعالیت واگ، گشاد شدن عروق، افزایش فعالیت پاسخ الکتریکی پوست و افزایش فعالیت تنفسی مشخص می‌گردد. به‌طور خاص، پاسخ فیزیولوژی به شادی شامل تغییر نرخ ضربان قلب و افزایش فشار خون است. هر چند، استفاده از پروتکل‌های تحریک متفاوت برای ایجاد شادی منجر به ایجاد پاسخ‌های فیزیولوژی متفاوتی گردیده است: کاهش نرخ ضربان قلب و افزایش میزان هدایت پوست در پاسخ به تصاویری از صورت‌های شاد حاصل شده است. برای شادی به دست آمده از طریق تصاویر IAPS کاهش فعالیت قلبی و کاهش فعالیت تنفسی گزارش شده است. کاهش نرخ ضربان قلب و میزان هدایت پوست در کودکان در پاسخ به یک صحنه شاد از فیلم کارتون به دست آمده است. همچنین مشاهده فیلمی که یک اسکیت باز برنده مدال طلای المپیک شده



تصویر ۱- درصد تفاوت معنی‌دار بین ویژگی‌های استخراج شده از دو گروه با خواب طبیعی و غیرطبیعی با تحلیل سیگنال‌های الکتروکاردیوگرام و هدایت الکتریکی پوست در پاسخ به تحریکات احساسی غم و شادی (الف) روش‌های خطی و (ب) روش‌های غیرخطی.

غیرطبیعی را نشان می‌دهد. در حالی که در حالت غم، ۷۱/۴۳٪ ویژگی‌های خطی سیگنال GSR این تفاوت را بیان می‌کند و سهم سیگنال ECG در نشان دادن تفاوت میان دو گروه تنها ۲۱/۴۳٪ بوده است.

همچنین نتایج تحلیل‌های غیرخطی (جدول‌های ضمیمه ۲ و ۳ و تصویر ۱ ب) نشان می‌دهد که ۳۰/۱۴٪ ویژگی‌های غیرخطی سیگنال ECG و ۷۱/۲۳٪ ویژگی‌های غیرخطی GSR قادر به نمایش تفاوت‌های بیولوژیکی افراد با میزان خواب مختلف به تصاویر با بار احساسی شاد بوده‌اند. از طرفی، این تفاوت میان دو گروه در هنگام مشاهده تصاویر غمگین ۳۱/۵۱٪ و ۷۸/۰۸٪ به ترتیب برای سیگنال‌های ECG و GSR بوده است.

بحث و نتیجه‌گیری

تاکنون تحقیقات گسترده‌ای در زمینه احساسات و تغییرات سیگنال‌های بیولوژیکی انجام شده است. در نتیجه این مطالعات محققان معاصر دارای نظریات

¹⁷ Autonomic nervous system

بود، منجر به کاهش نرخ ضربان قلب گردید.

در تحقیق حاضر، تفاوت‌های پاسخ‌های خودمختار افراد با میزان مختلف خواب شب قبل به تحریکات احساسی مورد مطالعه قرار گرفت. طبیعی یا غیرطبیعی بودن خواب شب قبل افراد با توجه به اطلاعات اخذ شده از طریق پرسشنامه و بر اساس روش ارائه شده در مطالعه قبل تعیین گردید (۲۱). دو احساس شادی و غم با استفاده از تحریکات تصویری در فرد ایجاد شد و سیگنال‌های ECG و GSR با روش‌های خطی و غیرخطی سیگنال‌های بیولوژیکی تحلیل گردید. به‌منظور بررسی معنی‌دار بودن تفاوت‌های پاسخ‌های احساسی دو گروه با میزان خواب طبیعی و غیرطبیعی، آزمون ناپارامتری من ویتنی بین دو گروه انجام شد. تا جایی که محققین اطلاع دارند این اولین مطالعه است که اثر میزان خواب شب قبل افراد بر پاسخ‌های فیزیولوژی در هنگام تماشای تصاویر احساسی را بررسی می‌کند.

به طور کلی، نتایج مطالعه حاضر بیانگر وابستگی پاسخ‌های احساسی افراد به میزان خواب شب قبل با تحلیل‌های خطی و غیرخطی است. با تحلیل‌های مبتنی بر حوزه فرکانس نیز نشان داده شد که پاسخ‌های فیزیولوژی افراد به موسیقی‌های احساسی وابسته به میزان خواب شب قبل است (۲۱). به‌علاوه، نشان داده شده است افرادی که میزان خواب نامناسب دارند، بار احساسی تصاویر را درست تشخیص نمی‌دهند و بیشتر آن‌ها را در دسته احساسات منفی قرار می‌دهند (۱۱). نتایج تحلیل‌های خطی و غیرخطی در تحقیق حاضر بیانگر آن است که سیگنال GSR نسبت به سیگنال ECG بهتر توانسته است تفاوت میان دو گروه را نشان دهد. هر چند اثر میزان خواب در پاسخ به تحریکات صوتی، در تحلیل‌های فرکانسی سیگنال ECG نسبت به سیگنال GSR مشهودتر بوده است (۲۱). علت آن می‌تواند به دلیل متفاوت بودن پاسخ‌های فیزیولوژی به تحریکات مختلف اعمال شده (صوتی و تصویری) در افراد باشد.

همچنین نتایج مطالعه حاضر بیانگر آن است که بیشترین درصد تفکیک مربوط به شاخص‌های غیرخطی سیگنال GSR بوده است (۰/۷۸/۰۸). اختلاف میان بالاترین نرخ

تفکیک ویژگی‌ها میان ویژگی‌های غیرخطی و خطی حدود ۶/۵ درصد بوده است. در نتیجه، بر اهمیت نقش شاخص‌های غیرخطی در تحلیل سیگنال‌های خودمختار برای نشان دادن تفاوت‌های بین دو گروه در پاسخ به تصاویر احساسی تأکید شده است. این یافته‌ها منطبق بر نتایج مطالعات قبلی است. اهمیت و کارایی به کارگیری روش‌های تحلیل غیرخطی بر پارامترهای فیزیولوژی در مسئله بازشناسی احساسات پیش از این تأیید شده است (۵۳-۵۱، ۳۷، ۳۵). پارامتر هرست به‌عنوان یک ویژگی غیرخطی برای دسته‌بندی اطلاعات احساسی از سیگنال الکتروکاردیوگرام به کار رفت (۵۱). بالاترین صحت ۹۲/۸۷٪ در تفکیک شش کلاس احساسی به دست آمد. ناردلی و همکاران شاخص‌های پوانکاره را همراه با ویژگی‌های استاندارد و غیرخطی دیگر برای تفکیک چهار سطح برانگیختگی و دو سطح ارزش به کار گرفتند (۳۵). برای ابعاد ارزش و برانگیختگی به ترتیب صحت بازشناسی ۸۴/۷۲٪ و ۸۴/۲۶٪ حاصل شد. علت موفقیت روش‌های غیرخطی، 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.

با توجه به اینکه عدم تشخیص صحیح احساسات بر تعاملات افراد به‌شدت اثرگذار است، از نتایج مطالعه حاضر می‌توان در درک بهتر تغییرات فیزیولوژی ناشی از عوارض اختلالات خواب در بازشناسی احساسات استفاده نمود. در این تحقیق تفاوت‌های موجود در پاسخ‌های شرکت‌کنندگان با میزان خواب طبیعی و غیرطبیعی مورد ارزیابی قرار گرفته است. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی تفاوت پاسخ‌های احساسی ECG و GSR در گروه‌های با خواب کم و زیاد مورد بررسی قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

محققین از آزمایشگاه علوم اعصاب محاسباتی دانشگاه صنعتی سهند که در آن داده‌ها جمع‌آوری شده است و همچنین افرادی که در ثبت‌ها شرکت نموده‌اند، کمال تشکر را دارد.

جدول ضمیمه ۱- تغییرات میانگین \pm انحراف معیار (Mean \pm SD) و تفاوت‌های آماری در پاسخ‌های احساسی دو گروه افراد با خواب طبیعی و غیرطبیعی با به کارگیری روش‌های تحلیل خطی بر دو سیگنال هدایت الکتریکی پوست و الکتروکاردیوگرام در دو حالت شادی و غم.

سیگنال	ویژگی	شادی			غم		
		خواب غیر طبیعی	خواب طبیعی	p	خواب غیر طبیعی	خواب طبیعی	p
هدایت الکتریکی پوست	انحراف معیار	۰/۱۰۷ \pm ۰/۱۶۷	۰/۱۳۲ \pm ۰/۱۷۳	۰/۰۱۰۲*	۰/۰۸۳ \pm ۰/۱۲۳	۰/۱۰۶ \pm ۰/۱۲۹	۰/۰۳۸۳*
	میانگین	-۲/۰۵۶ \pm ۴/۵۶۶	-۰/۴۵۶ \pm ۳/۶۵۴	***	-۲/۱۸۱ \pm ۴/۵۵۳	-۰/۴۷۲ \pm ۳/۶۷۲	***
	پیشینه	-۱/۸۵۷ \pm ۴/۶۸۴	-۰/۲۱ \pm ۳/۷۸۸	***	-۲/۰۲ \pm ۴/۵۹۴	-۰/۲۷۹ \pm ۳/۷۵۸	***
	کمینه	-۲/۲۳۲ \pm ۴/۴۹۲	-۰/۶۶۴ \pm ۳/۵۶۴	***	-۲/۳۲۱ \pm ۴/۵۲	-۰/۶۴۷ \pm ۳/۵۹۳	***
	مد	-۲/۰۷۲ \pm ۴/۵۵۳	-۰/۴۹۶ \pm ۳/۶۳	***	-۲/۱۹۵ \pm ۴/۵۶	-۰/۴۷۹ \pm ۳/۶۸۵	***
	میانه	-۲/۰۶۵ \pm ۴/۵۶	۰/۴۶۷ \pm ۳/۶۴۸	***	۲/۱۸۴ \pm ۴/۵۵۴	-۰/۴۷۵ \pm ۳/۶۷۴	***
	واریانس	۰/۰۳۹ \pm ۰/۱۳۵	۰/۰۴۸ \pm ۰/۱۲۶	۰/۰۱۰۲*	۰/۰۲۲ \pm ۰/۰۹۲	۰/۰۲۸ \pm ۰/۰۷۱	۰/۰۳۸۳*
	گشتاور سوم	۰/۰۵۵ \pm ۰/۵	۰/۱۳۷ \pm ۰/۵۹۸	۰/۰۶۳۸	۰/۰۳۶ \pm ۰/۵۱۸	۰/۰۹۴ \pm ۰/۵۳۲	۰/۳۲۶۵
	گشتاور چهارم	۲/۳۰۱ \pm ۰/۸۶۸	۲/۴ \pm ۱/۱۸۳	۰/۶۸۷	۲/۲۸۸ \pm ۰/۸۱۹	۲/۳۰۳ \pm ۱/۱۵۱	۰/۹۱۳۴*
	ریشه میانگین مربعات	۳/۸۵۳ \pm ۳/۲	۲/۹۷۷ \pm ۲/۱۷۱	۰/۰۲۴۲*	۳/۹۳۲ \pm ۳/۱۶۴	۲/۹۸۴ \pm ۲/۱۹۱	۰/۰۰۲۸*
	پیشینه توان	۰/۳۵۷ \pm ۶/۴۲	۵/۹۲۵ \pm ۴/۳۶	۰/۰۲۳۷*	۷/۸۶ \pm ۶/۳۳	۵/۹۵ \pm ۴/۴	۰/۰۰۲۵*
	میانگین توان	۰/۰۰۱ \pm ۰/۰۰۷	۰/۰۰۷ \pm ۰/۰۰۵	۰/۰۲۲۴*	۰/۰۰۹ \pm ۰/۰۰۸	۰/۰۰۷ \pm ۰/۰۰۵	۰/۰۰۳۵*
	فرکانس پیشینه توان	۰/۰۰۴ \pm ۰/۰۱۵	۰/۰۰۱ \pm ۰/۰۱۳	۰/۱۲۹	۰/۰۰۱ \pm ۰/۰۱۱	۰/۰۰۲ \pm ۰/۰۱۲	۰/۸۳۹۴
	فرکانس میانگین توان	۰/۰۰۴ \pm ۰/۰۱۶	۰/۰۰۱ \pm ۰/۰۱۴	۰/۱۲	۰/۰۰۱ \pm ۰/۰۱۲	۰/۰۰۲ \pm ۰/۰۱۲	۰/۸۳۹۴
الکتروکاردیوگرام	انحراف معیار	۰/۱۰۷ \pm ۰/۰۴۱	۰/۱۱ \pm ۰/۰۵۳	۰/۸۴۱۵	۰/۱۰۶ \pm ۰/۰۴۱	۰/۱۰۷ \pm ۰/۰۴۷	۰/۹۲۵۸
	میانگین	-۰/۱۷۹ \pm ۰/۰۴۵	-۰/۱۷۸ \pm ۰/۰۴۴	۰/۱۴۹۴	-۰/۱۷۹ \pm ۰/۰۴۴	-۰/۱۸۱ \pm ۰/۰۳۹	۰/۶۱۸۸
	پیشینه	۰/۳۱۹ \pm ۰/۲۷۵	۰/۳۲۴ \pm ۰/۲۸۶	۰/۴۲۷	۰/۳۱۶ \pm ۰/۲۷۸	۰/۳۱۴ \pm ۰/۲۸۳	۰/۵۷۵۹
	کمینه	-۰/۴۲۱ \pm ۰/۱۳۱	-۰/۴۵۴ \pm ۰/۱۶۵	۰/۰۰۵*	-۰/۴۱۸ \pm ۰/۱۲۹	-۰/۴۳۹ \pm ۰/۱۳۵	۰/۰۰۸۲*
	مد	-۰/۲۲۱ \pm ۰/۰۵۱	-۰/۲۱۷ \pm ۰/۰۶	۰/۰۳۲*	-۰/۲۲۱ \pm ۰/۰۵	-۰/۲۲ \pm ۰/۰۵۶	۰/۰۱۸*
	میانه	-۰/۲۰۳ \pm ۰/۰۴۸	-۰/۲ \pm ۰/۰۵۱	۰/۰۰۵*	-۰/۲۰۴ \pm ۰/۰۴۷	-۰/۲۰۴ \pm ۰/۰۴۷	۰/۰۵۵
	واریانس	۰/۰۱۳ \pm ۰/۰۱۱	۰/۰۱۵ \pm ۰/۰۲۱	۰/۸۴۱۵	۰/۰۱۳ \pm ۰/۰۱	۰/۰۱۴ \pm ۰/۰۱۶	۰/۹۲۵۸
	گشتاور سوم	۱/۵۳۴ \pm ۱/۳۰۹	۱/۲۱ \pm ۱/۵۱۵	۰/۰۲۲۴*	۱/۵۶۸ \pm ۱/۲۹۱	۱/۳۱۴ \pm ۱/۴۷۷	۰/۱۱۲۷
	گشتاور چهارم	۸/۱۰۵ \pm ۵/۱۴۶	۸/۲۶۲ \pm ۴/۵۸۳	۰/۰۴۵۶*	۸/۱۴۶ \pm ۵/۰۶۵	۸/۳۸۲ \pm ۴/۶۳۷	۰/۰۳۸۶*
	ریشه میانگین مربعات	۰/۲۱۲ \pm ۰/۰۴۳	۰/۲۱۴ \pm ۰/۰۵۴	۰/۱۳۳	۰/۲۱۲ \pm ۰/۰۴۱	۰/۲۱۳ \pm ۰/۰۴۷	۰/۲۲۹۴
	پیشینه توان	۰/۳۵۷ \pm ۰/۰۹	۰/۳۵۸ \pm ۰/۰۸۶	۰/۱۸۸۹	۰/۳۵۷ \pm ۰/۰۸۸	۰/۳۶۲ \pm ۰/۰۷۸	۰/۶۱۹۳
	میانگین توان	۰/۰۰۱ \pm ۳/۹ \times ۱۰	۰/۰۰۱ \pm ۳/۸ \times ۱۰	۰/۲۸۱۷	۰/۰۰۱ \pm ۳/۹ \times ۱۰	۰/۰۰۱ \pm ۳/۷ \times ۱۰	۰/۱۸۶۷
	فرکانس پیشینه توان	±۰	۰/۰۱ \pm ۰/۱۱	۰/۰۱۶۹*	±۰	-۴ \pm ۰/۰۰۵ ۳/۱۷ \times ۱۰	۰/۶۳۸۲
	فرکانس میانگین توان	±۰	۰/۰۱ \pm ۰/۱۲	۰/۰۱۶۹*	±۰	-۴ \pm ۰/۰۰۶ ۳/۱۷ \times ۱۰	۰/۶

* = $P < ۰/۰۵$; ** = $P < ۰/۰۰۱$

جدول ضمیمه ۲- مقدار میانگین \pm انحراف معیار (Mean \pm SD) و معنی داری تفاوت آماری ویژگی های غیرخطی هدایت الکتریکی پوست در دو حالت خواب طبیعی و غیرطبیعی و برای دو کلاس احساسی شادی و غم (مقادیر در ۱۰-۳ ضرب شوند).

P	خواب غیر طبیعی	خواب طبیعی		P	خواب غیر طبیعی	خواب طبیعی	
SD2			↓ تأخیر	SD1			طرح پوانکاره ↓ تأخیر
*	۱۵۱/۸۶±۲۳۵/۴	۱۸۶/۴۸±۲۴۵/۲	۱	Ns	۱/۷۲±۳۷/۳۸	۱/۶۹±۳۱/۹۴	۱
*	۱۵۱/۸۳±۲۳۵/۴	۱۸۶/۴۶±۲۴۵/۲	۲	Ns	۲/۱۹±۵۵/۹۳	۲/۱۴±۳۸/۱۷	۲
*	۱۵۱/۸۲±۲۳۵/۵	۱۸۶/۴۵±۲۴۵/۲	۳	Ns	۲/۴۷±۷۵/۲۹	۲/۴۱±۵۲/۶۵	۳
*	۱۵۱/۸۱±۲۳۵/۵	۱۸۶/۴۴±۲۴۵/۲	۴	Ns	۲/۶۷±۹۷/۲۳	۲/۶۲±۶۹/۰۲	۴
*	۱۵۱/۸±۲۳۵/۵	۱۸۶/۴۴±۲۴۵/۲	۵	Ns	۲/۸۳±۱/۲	۲/۷۹±۸۶/۸۴	۵
*	۱۵۱/۸±۲۳۵/۵	۱۸۶/۴۳±۲۴۵/۲	۶	Ns	۲/۹۷±۱/۴	۲/۹۳±۱/۱	۶
*	۱۵۱/۸±۲۳۵/۵	۱۸۶/۴۳±۲۴۵/۲	۷	Ns	۳/۰۶±۱/۷	۳/۰۵±۱/۳	۷
*	۱۵۱/۸±۲۳۵/۴	۱۸۶/۴۳±۲۴۵/۲	۸	*	۳/۱۳±۲	۳/۱۴±۱/۵	۸
*	۱۵۱/۷۹±۲۳۵/۴	۱۸۶/۴۳±۲۴۵/۲	۹	Ns	۳/۲۷±۲/۲	۳/۰۳±۱/۷	۹
*	۱۵۱/۷۹±۲۳۵/۴	۱۸۶/۴۳±۲۴۵/۲	۱۰	Ns	۳/۳۴±۲/۵	۳/۴۴±۱/۹	۱۰
Area				SD1/ SD2			
*	-۰/۹۷±۲	۱/۱۳±۱/۸	۱	*	۴۹/۳۶±۵۴/۴	۴۰/۵±۴۷/۳	۱
*	۱/۳±۳	۱/۴۸±۲/۵	۲	*	۶۱/۹۵±۶۷/۸	۵۰/۳۵±۵۸/۶	۲
*	۱/۵۶±۴	۱/۷۴±۳	۳	*	۶۸/۲۸±۷۳/۵	۵۵/۸۶±۶۵/۱	۳
*	۱/۸±۵/۱	۱/۹۸±۳/۷	۴	*	۷۱/۸۷±۷۶/۶	۵۹/۶۱±۶۹/۸	۴
*	۲/۰۲±۶/۲	۲/۲±۴/۳	۵	*	۷۴/۹۳±۷۹/۵	۶۲/۱۳±۷۲/۷	۵
*	۲/۲۴±۷/۳	۲/۴۲±۴/۹	۶	*	۷۶/۷۱±۸۱	۶۴/۱۳±۷۵/۱	۶
*	۲/۴۵±۸/۴	۲/۶۳±۵/۶	۷	*	۷۶/۴±۷۹/۴	۶۴/۹۸±۷۵/۹	۷
*	۲/۶۶±۹/۵	۲/۸۳±۶/۳	۸	*	۷۵/۲۹±۷۷	۶۴/۸۹±۷۵/۱	۸
*	۲/۸۷±۱۰/۶	۳/۰±۷	۹	*	۷۸/۰۱±۸۰/۱	۶۶/۷۵±۷۶/۹	۹
*	۳/۱±۱۱/۷	۳/۲۹±۷/۷	۱۰	*	۷۹/۶۷±۷۹/۴	۶۷/۸۶±۷۷/۷	۱۰
RQA			↓ اندیس	SDXX			
*	۶/۶±۲/۳	۷±۲/۵	RR	*	۱۰۷/۴۱±۱۶۶/۵	۱۳۱/۸۸±۱۷۳/۴	۱
Ns	۱۷/۲±۴/۱	۱۸/۱±۴/۳	قطعی	*	۱۰۷/۴۱±۱۶۶/۵	۱۳۱/۸۸±۱۷۳/۴	۲
Ns	۱۱۷/۳±۱۷/۹	۱۳۱/۸±۲۸/۴	L	*	۱۰۷/۴۱±۱۶۶/۵	۱۳۱/۸۸±۱۷۳/۴	۳
Ns	۳۱۶/۷±۱۴۱	۳۴۷/۳±۲۱۶/۹	Lmax	*	۱۰۷/۴۱±۱۶۶/۵	۱۳۱/۸۸±۱۷۳/۴	۴
*	۴۳/۲±۱۱/۳	۴۵/۵±۱۲/۶	آنتروپی	*	۱۰۷/۴۱±۱۶۶/۵	۱۳۱/۸۸±۱۷۳/۴	۵
Ns	۱۵/۶±۶/۴	۱۵/۷±۶/۱	LAM	*	۱۰۷/۴۱±۱۶۶/۵	۱۳۱/۸۸±۱۷۳/۴	۶
Ns	۲۱۴/۳±۱۱۰/۲	۲۲۷±۱۳۹/۲	Vmax	*	۱۰۷/۴۱±۱۶۶/۵	۱۳۱/۸۸±۱۷۳/۴	۷
*	۱۶۳±۴۶/۵	۱۵۶/۴±۳۹	TI	*	۱۰۷/۴۱±۱۶۶/۵	۱۳۱/۸۸±۱۷۳/۴	۸
Ns	۳۹±۰/۵	۳۹±۰/۴۸	Trans	*	۱۰۷/۴۱±۱۶۶/۵	۱۳۱/۸۸±۱۷۳/۴	۹
				*	۱۰۷/۴۱±۱۶۶/۵	۱۳۱/۸۸±۱۷۳/۴	۱۰
ضرایب چندجمله‌ای			↓ اندیس				↓ آنتروپی
Ns	-۳۳/۴±۵۵۲/۸	-۳/۱±۶۲/۶	A	Ns	-۱۴۸/۷±۱۲۵/۲	-۱۵۳/۹±۱۲۵	تخمین
Ns	-۲/۲±۴۴۶/۳	۲/۶±۳۲۱/۷	B	*	-۴/۰۳×۱۰ ^{-۸} ±۶/۷۲×۱۰ ^{-۸}	-۱/۷۹×۱۰ ^{-۸} ±۳/۳۶×۱۰ ^{-۸}	شانون
Ns	۹۰۵/۸±۴۵۶/۴	۹۵۱/۷±۴۴۸/۳	C	*	۶/۹۲×۱۰ ^{-۶} ±۹/۰۷×۱۰ ^{-۶}	۵/۶×۱۰ ^{-۶} ±۸/۲×۱۰ ^{-۶}	اثری لگاریتمی
**	۴×۱۰ ^{-۴} ±۰/۹×۱۰ ^{-۴}	۷۲۵/۱±۷/۱۵×۱۰ ^{-۴}	D	*	۵۲/۶±۴۷/۸	۴۱/۵±۳۵/۲	نمونه
*	۲/۴۷×۱۰ ^{-۵} ±۳/۵×۱۰ ^{-۵}	۱/۳۲×۱۰ ^{-۵} ±۱/۸۵×۱۰ ^{-۵}	E				
ضرایب DFA			↓ اندیس	*	۳۳۱/۸±۱۷۶/۷	۲۸۶/۶±۱۷۱/۵	نمای لیاپانوف
*	-۰/۱۴×۱۰ ^{-۴} ±۲۹۱/۳	-۰/۱۳×۱۰ ^{-۴} ±۳۰۸/۵	D	Ns	۴۶۹/۵±۳۰۱/۹	۴۷۴/۴±۲۴۹/۴	پسیدگی
*	-۰/۱۴×۱۰ ^{-۴} ±۲۹۱/۳	-۰/۱۷×۱۰ ^{-۴} ±۳۰۸/۵	α	Ns	۱×۱۰ ^{-۴} ±۵۳/۵	۱×۱۰ ^{-۴} ±۰	بعد جاسازی
SD2			↓ تأخیر	SD1			طرح پوانکاره ↓ تأخیر
*	۱۱/۸±۱۷۳/۴	۱۵۰/۲±۱۸۲/۳	۱	*	۱/۷±۰/۳	۱/۷±۰/۲۲	۱
*	۱۱/۷۹±۱۷۳/۴	۱۵۰/۲±۱۸۲/۳	۲	*	۲/۱±۰/۴۲	۲/۱±۰/۳۴	۲
*	۱۱/۷۹±۱۷۳/۴	۱۵۰/۲±۱۸۲/۳	۳	*	۲/۴±۰/۵۴	۲/۴±۰/۴۳	۳
*	۱۱/۷۹±۱۷۳/۴	۱۵۰/۲±۱۸۲/۳	۴	*	۲/۵±۰/۶۸	۲/۶±۰/۵۱	۴
*	۱۱/۷۹±۱۷۳/۴	۱۵۰/۲±۱۸۲/۳	۵	*	۲/۷±۰/۸۳	۲/۷±۰/۵۹	۵
*	۱۱/۷۹±۱۷۳/۴	۱۵۰/۲±۱۸۲/۳	۶	*	۲/۸±۰/۹۹	۲/۸±۰/۶۸	۶
*	۱۱/۷۹±۱۷۳/۴	۱۵۰/۲±۱۸۲/۳	۷	*	۲/۸±۱/۲	۲/۹±۰/۷۹	۷
*	۱۱/۷۹±۱۷۳/۴	۱۵۰/۲±۱۸۲/۳	۸	*	۲/۹±۱/۳	۲/۹±۰/۹۱	۸
*	۱۱/۷۹±۱۷۳/۴	۱۵۰/۲±۱۸۲/۳	۹	*	۳±۱/۵	۳±۱	۹

۴	۱۰	۳/۱±۱/۲	۳/۱±۱/۲	۱۰	۱۱/۷۹±۱۷۳/۴	۱۵۰/۲±۱۸۲/۳	*
	SD1/ SD2		Area				
	۱	۴۷/۵±۴۹/۳	۴۵/۲±۵۱/۹	۱	-/۶۹±۱/۳	-/۸۵±۱/۲	*
	۲	۵۹/۴±۶۱/۲	۵۶/۴±۶۴/۹	۲	-/۹±۱/۹	۱/۱±۱/۵	*
	۳	۶۵/۲±۶۵/۸	۶۲/۵±۷۱/۸	۳	۱/۱±۲/۴	۱/۳±۱/۸	*
	۴	۶۸/۶±۶۸/۵	۶۶/۶±۷۶/۵	۴	۱/۲±۳	۱/۴±۲/۱	*
	۵	۷۱/۹±۷۱/۹	۶۹/۳±۷۹/۹	۵	۱/۳±۳/۶	۱/۵±۲/۳	*
	۶	۷۳/۹±۷۳/۷	۷۱/۲±۸۲/۴	۶	۱/۴±۴/۲	۱/۶±۲/۶	*
	۷	۷۳/۸±۷۳/۷	۷۱/۹±۸۲/۹	۷	۱/۵±۸	۱/۷±۲/۹	*
	۸	۷۳/۶±۷۰/۴	۷۱/۳±۸۱/۵	۸	۱/۶±۵/۴	۱/۸±۳/۱	*
۵	۹	۷۵/۴±۷۳/۶	۷۳±۸۳/۱	۹	۱/۷±۶	۱/۹±۳/۴	*
	۱۰	۷۷/۴±۷۵/۷	۷۴/۱±۸۳/۹	۱۰	۱/۸±۶/۶	۲±۳/۷	*
	SDXX		RQA				↓ اندیس
	۱	۸۳/۴±۱۲۲/۶	۱۰۶/۳±۱۲۸/۹	RR	۳۴/۷±۳/۴	۳۴/۷±۳/۵	Ns
	۲	۸۳/۴±۱۲۲/۶	۱۰۶/۳±۱۲۸/۹	قطعی	۳۹/۵±۰/۵۲	۳۹/۶±۰/۴۴	Ns
	۳	۸۳/۴±۱۲۲/۶	۱۰۶/۳±۱۲۸/۹	L	۷۵۶/۴±۱۷۲/۹	۷۷۰/۸±۱۷۴/۷	Ns
	۴	۸۳/۴±۱۲۲/۶	۱۰۶/۳±۱۲۸/۹	Lmax	۱۶۲۸/۱±۲۴۱/۱	۱۶۴۸/۱±۲۳۵/۸	Ns
	۵	۸۳/۴±۱۲۲/۶	۱۰۶/۳±۱۲۸/۹	آنتروپی	۱۳۳/۲±۱۴/۲	۱۳۴/۵±۱۳/۳	Ns
	۶	۸۳/۴±۱۲۲/۶	۱۰۶/۳±۱۲۸/۹	LAM	۳۹/۹±۰/۲۵	۳۹/۹±۰/۲۲	Ns
	۷	۸۳/۴±۱۲۲/۶	۱۰۶/۳±۱۲۸/۹	Vmax	۱۶۱۷/۵±۲۱۷/۸	۱۶۳۰±۲۰/۳	Ns
۶	۸	۸۳/۴±۱۲۲/۶	۱۰۶/۳±۱۲۸/۹	T1	۴۵/۲±۳/۳	۴۴/۷±۲/۸	Ns
	۹	۸۳/۴±۱۲۲/۶	۱۰۶/۳±۱۲۸/۹	Trans	۳۹/۱±۰/۳۵	۳۹/۱±۰/۴۵	Ns
	۱۰	۸۳/۴±۱۲۲/۶	۱۰۶/۳±۱۲۸/۹				
			ضرایب چندجمله‌ای				↓ اندیس
	تخمین	-۱۶۲/۵±۱۱۸/۸	-۱۵۴/۸±۱۲۵/۶	A	۱۹۳/۹±۰/۴۲×۱۰ ^{-۴}	۵۷/۹±۸۲۸/۱	Ns
	شانون	-۱/۸×۱۰ ^{-۸} ±۲/۸۸×۱۰ ^{-۸}	-۴/۰۸×۱۰ ^{-۸} ±۶/۷×۱۰ ^{-۸}	B	-۱۳۴/۲±۰/۳×۱۰ ^{-۴}	-۲۱۴/۹±۰/۲۶×۱۰ ^{-۴}	*
	انرژی لگاریتمی	۵/۳۳×۱۰ ^{-۴} ±۸/۸۴×۱۰ ^{-۴}	۷/۳۸×۱۰ ^{-۴} ±۸/۹۲×۱۰ ^{-۴}	C	۹۹۳/۵±۰/۱×۱۰ ^{-۴}	۰/۱×۱۰ ^{-۴} ±۰/۳۸×۱۰ ^{-۴}	Ns
	نمونه	۴۷/۷±۴۱/۶	۵۱/۷±۴۱	D	۰/۴×۱۰ ^{-۴} ±۰/۹۲×۱۰ ^{-۴}	۶۷/۸±۰/۸۹×۱۰ ^{-۴}	**
				E	۲/۵×۱۰ ^{-۵} ±۳/۴×۱۰ ^{-۵}	۱/۲×۱۰ ^{-۵} ±۱/۸۹×۱۰ ^{-۵}	**
	نمای لیپاتوف	۳۰۴/۳±۱۷۲/۳	۳۵۳/۶±۱۶۹/۸	**	DFA ضرایب		↓ اندیس
۷	پیچیدگی	۴۴۷/۹±۱۸۲/۷	۴۲۷/۳±۲۱۷/۱	D	۰/۱۴×۱۰ ^{-۴} ±۲۸۷	۰/۱۴×۱۰ ^{-۴} ±۳۰۸/۴	Ns
	بعد جاسازی	۱۰۰±۰	۱۰۰±۰	a	۰/۱۶×۱۰ ^{-۴} ±۲۸۷	۰/۱۶×۱۰ ^{-۴} ±۳۰۸/۴	Ns

معنی دار نبودن: Ns; **: P<۰/۰۰۱; *: P<۰/۰۵

جدول ضمیمه ۳- مقدار میانگین \pm انحراف معیار (Mean \pm SD) و معنی‌داری تفاوت آماری ویژگی‌های غیرخطی الکتروکاردیوگرام در دو حالت خواب طبیعی و غیرطبیعی و برای دو کلاس احساسی شادی و غم (مقادیر در ۱۰-۳ ضرب شوند).

طرح یوانکاره ↓ تأخیر	خواب طبیعی	خواب غیرطبیعی	P	خواب طبیعی	خواب غیرطبیعی	P	طرح یوانکاره ↓ تأخیر
	SD1			SD2			
۱	۱۸/۳ \pm ۲/۷	۱۵۴/۵ \pm ۷۴/۸	*	۱	۱۵-/۲ \pm ۵۸/۲	Ns	
۲	۲۳/۳ \pm ۷/۲	۱۵۳/۸ \pm ۷۴/۵	*	۲	۱۴۹/۴ \pm ۵۷/۳	Ns	
۳	۳۶/۲ \pm ۱۰/۲	۱۵۱/۱ \pm ۷۴/۵	*	۳	۱۴۶/۵ \pm ۵۶/۶	Ns	
۴	۴۳/۶ \pm ۱۴/۱	۱۴۹ \pm ۷۴/۱	*	۴	۱۴۴/۴ \pm ۵۵/۳	Ns	
۵	۵۴/۳ \pm ۱۷	۱۴۵/۲ \pm ۷۳/۹	*	۵	۱۴-/۷ \pm ۵۴/۵	Ns	
۶	۶۰/۶ \pm ۲۰/۴	۱۴۲/۵ \pm ۷۳/۴	*	۶	۱۳۸/۳ \pm ۵۳/۳	Ns	
۷	۶۸/۸ \pm ۲۲/۷	۱۳۸/۴ \pm ۷۳/۲	*	۷	۱۳۴/۵ \pm ۵۲/۵	Ns	
۸	۷۳/۳ \pm ۲۵/۵	۱۳۶ \pm ۷۳/۶	*	۸	۱۳۲/۱ \pm ۵۱/۲	Ns	
۹	۷۹/۳ \pm ۲۷/۳	۱۳۲/۳ \pm ۷۲/۵	*	۹	۱۲۸/۳ \pm ۵۰/۳	Ns	
۱۰	۸۳ \pm ۲۹/۵	۱۳۰/۵ \pm ۷۱/۹	Ns	۱۰	۱۲۶/۲ \pm ۴۹	Ns	
	SD1/ SD2			Area			
۱	۱۳۵/۸ \pm ۳۱/۵	۹/۳ \pm ۶/۶	Ns	۱	۹/۳ \pm ۶/۶	Ns	
۲	۱۶۰/۶ \pm ۳۱/۱	۱۲/۴ \pm ۱۱/۵	*	۲	۱۲/۹ \pm ۱۰/۷	Ns	
۳	۲۵۷/۹ \pm ۵۱/۲	۱۸/۹ \pm ۱۷/۱	*	۳	۱۹/۳ \pm ۱۴/۹	Ns	
۴	۳۱۱/۹ \pm ۶۲/۹	۲۲/۷ \pm ۲۱/۸	*	۴	۲۲/۹ \pm ۱۸/۳	Ns	
۵	۴۰۰/۷ \pm ۸۳/۱	۲۷/۴ \pm ۲۶/۴	*	۵	۲۷/۲ \pm ۲۱	Ns	
۶	۴۵۴/۶ \pm ۹۷/۷	۳۰/۲ \pm ۲۰/۱	*	۶	۲۹/۶ \pm ۲۳/۱	Ns	
۷	۵۳۵/۸ \pm ۱۱۹/۳	۳۳/۴ \pm ۲۳/۵	*	۷	۳۲/۳ \pm ۲۴/۸	Ns	
۸	۵۷۹/۲ \pm ۱۳۳/۵	۳۵ \pm ۳۶/۱	*	۸	۳۳/۷ \pm ۲۶/۲	Ns	
۹	۶۴۸/۷ \pm ۱۵۳/۸	۳۶/۹ \pm ۳۸/۳	*	۹	۳۵/۴ \pm ۲۷/۳	Ns	
۱۰	۶۷۷/۷ \pm ۱۶۵	۳۷/۷ \pm ۴۰	Ns	۱۰	۳۶/۲ \pm ۲۸/۲	Ns	
	SDXX			RQA			
۱	۱۰۷/۱ \pm ۴۱/۱	۷/۱ \pm ۲/۷	Ns	۱	۶/۷ \pm ۲/۳	*	
۲	۱۰۷/۱ \pm ۴۱/۱	۱۸/۴ \pm ۴/۴	Ns	۲	۱۷/۹ \pm ۴	Ns	
۳	۱۰۷/۱ \pm ۴۱/۱	۱۲۳/۶ \pm ۳۲/۸	Ns	۳	۱۱۷/۷ \pm ۱۷/۷	Ns	
۴	۱۰۷/۱ \pm ۴۱/۱	۳۶۱/۲ \pm ۲۳۸/۳	Ns	۴	۳۲۰/۴ \pm ۱۴۱/۵	Ns	
۵	۱۰۷/۱ \pm ۴۱/۱	۴۶/۲ \pm ۱۳	Ns	۵	۴۴/۱ \pm ۱۱	Ns	
۶	۱۰۷/۱ \pm ۴۱/۱	۱۶/۱ \pm ۶/۱	Ns	۶	۱۵/۶ \pm ۶/۳	Ns	
۷	۱۰۷/۱ \pm ۴۱/۱	۲۳۵/۱ \pm ۱۴۹/۸	Ns	۷	۲۱۸ \pm ۱۰۹/۷	Ns	
۸	۱۰۷/۱ \pm ۴۱/۱	۱۵۳/۹ \pm ۳۷/۳	Ns	۸	۱۶۰/۷ \pm ۴۴	Ns	
۹	۱۰۷/۱ \pm ۴۱/۱	۲۶/۸ \pm ۱/۳	Ns	۹	۲۶/۶ \pm ۱/۲	Ns	
۱۰	۱۰۷/۱ \pm ۴۱/۱	۲۶/۸ \pm ۱/۳	Ns	۱۰	۲۶/۸ \pm ۱/۳	Ns	
	SDXX			ضرایب چندجمله‌ای			
تخمین	-۱۳۴/۱ \pm ۱۰۴/۵	-۱۲۵/۹ \pm ۱۰۹/۹	Ns	A	-۱ \pm ۹/۰۵ \times ۱۰ ^{-۱۱}	Ns	
شانون	۵/۰۱ \times ۱۰ ^{-۵} \pm ۱/۳۲ \times ۱۰ ^{-۵}	۵/۰۹ \times ۱۰ ^{-۵} \pm ۱/۲۳ \times ۱۰ ^{-۵}	*	B	-۲/۱ \times ۱۰ ^{-۱۱}	Ns	
انرژی لگاریتمی	-۱/۴۵ \times ۱۰ ^{-۶} \pm ۲/۴۹ \times ۱۰ ^{-۶}	-۱/۴۴ \times ۱۰ ^{-۶} \pm ۲/۵۲ \times ۱۰ ^{-۶}	Ns	C	۱۰۰۰ \pm ۸/۹۵ \times ۱۰ ^{-۱۲}	Ns	
نمونه	۴۴۶/۵ \pm ۱۵۷/۴	۴۶۰ \pm ۱۶۲/۹	Ns	D	۳۵۷/۱ \pm ۸۸/۲	Ns	
				E	۳۳/۸ \pm ۱۱/۹	Ns	
نمای لیباپانوف	۷۱۶/۴ \pm ۴۶/۳	۶۹۶/۸ \pm ۵۵/۲	**	DFA	۳۳/۸ \pm ۱۱/۹	Ns	
پیچیدگی	-۰/۶۱ \times ۱۰ ^{-۳} \pm ۲۳۲/۲	-۰/۶۱ \times ۱۰ ^{-۳} \pm ۲۱۸/۵	Ns	D	-۰/۲۴ \times ۱۰ ^{-۳} \pm ۲۶۴/۲	**	
بعد جاسازی	۱/۸۲ \times ۱۰ ^{-۶} \pm ۱/۴ \times ۱۰ ^{-۶}	۲/۴۷ \times ۱۰ ^{-۶} \pm ۱/۸۶ \times ۱۰ ^{-۶}	**	α	۵۷۸/۱ \pm ۲۶۴/۲	**	
طرح یوانکاره ↓ تأخیر	SD1			SD2			

شماره

Ns	۱۴۸/۳±۵۷/۵	۱۴۹/۴±۶۵/۸	۱	*	۱۹±۵	۱۸/۳±۲/۷	۱
Ns	۱۴۷/۵±۵۶/۶	۱۴۸/۷±۶۵/۵	۲	*	۲۴±۱۲/۲	۲۳/۱±۷/۲	۲
Ns	۱۴۴/۶±۵۵/۹	۱۴۶±۶۵/۴	۳	*	۳۷/۲±۱۶/۳	۳۶/۱±۱۰/۲	۳
Ns	۱۴۲/۵±۵۴/۶	۱۴۳/۹±۶۴/۸	۴	*	۴۴/۱±۲۱/۱	۴۳/۴±۱۴/۱	۴
Ns	۱۳۸/۹±۵۳/۷	۱۴۰/۱±۶۴/۵	۵	*	۵۴/۳±۲۳/۶	۵۳/۹±۱۶/۹	۵
Ns	۱۳۶/۵±۵۲/۴	۱۳۷/۴±۶۳/۸	۶	*	۵۹/۸±۲۶/۹	۶۰/۳±۲۰/۲	۶
Ns	۱۳۲/۷±۵۱/۶	۱۳۳/۳±۶۳/۵	۷	*	۶۷/۶±۲۹	۶۸/۵±۲۳/۶	۷
Ns	۱۳۰/۴±۵۰/۲	۱۳۰/۸±۶۲/۷	۸	*	۷۱/۶±۳۲/۲	۷۲/۹±۲۵/۳	۸
Ns	۱۲۶/۵±۴۹/۳	۱۲۷±۶۲/۴	۹	*	۷۸±۳۴/۱	۷۹±۳۷/۱	۹
Ns	۱۲۴/۵±۴۷/۸	۱۲۵/۲±۶۱/۶	۱۰	*	۸۰/۹±۳۶/۹	۸۱/۷±۲۹/۲	۱۰
Area			SD1/ SD2				
Ns	۹/۵±۵/۹	۹±۶	۱	Ns	۱۳۷/۳±۳۱/۶	۱۳۴/۱±۳۲/۳	۱
Ns	۱۲/۸±۱۰/۷	۱۲±۱۰/۶	۲	*	۱۶۱/۴±۴۱/۲	۱۶۲/۹±۲۸/۳	۲
Ns	۱۹/۱±۱۴/۸	۱۸/۳±۱۵/۷	۳	Ns	۲۶۰/۵±۵۶/۳	۲۶۲/۱±۴۷/۷	۳
Ns	۲۲/۶±۱۸/۳	۲۱/۸±۲۰/۱	۴	*	۳۰۷±۷۲/۹	۳۱۶/۵±۵۷/۱	۴
Ns	۲۶/۹±۲۱	۲۶/۴±۲۴/۱	۵	*	۳۹۲/۶±۷۹/۹	۴۰۷/۲±۷۶/۲	۵
Ns	۲۹/۲±۲۳/۲	۲۹/۱±۲۷/۵	۶	*	۴۳۶/۳±۹۴/۹	۴۶۱/۸±۸۸/۷	۶
Ns	۳۱/۹±۲۴/۹	۳۲±۳۰/۵	۷	**	۵۱۲/۷±۱۰۸/۴	۵۴۵/۳±۱۰۸/۷	۷
Ns	۳۳/۲±۲۶/۳	۳۳/۶±۳۳/۸	۸	**	۵۴۹/۲±۱۲۹/۳	۵۸۹/۴±۱۳۱/۳	۸
Ns	۳۵±۲۷/۵	۳۵/۴±۳۴/۷	۹	*	۶۱۹/۲±۱۴۳/۹	۶۶۱/۳±۱۴۰/۴	۹
Ns	۳۵/۷±۲۸/۴	۳۶/۱±۳۶/۱	۱۰	*	۶۴۸/۵±۱۶۳/۴	۶۹۱/۲±۱۵۰/۱	۱۰
RQA			↓ اندیس	SDXX			
Ns	۶/۶±۲/۳	۷±۳/۵	RR	Ns	۱۰۵/۸±۴۰/۷	۱۰۶/۵±۴۶/۵	۱
Ns	۱۷/۷±۴/۱	۱۸/۱±۴/۳	قطعی	Ns	۱۰۵/۸±۴۰/۷	۱۰۶/۵±۴۶/۵	۲
Ns	۱۱۷/۳±۱۷/۹	۱۲۱/۸±۲۸/۴	L	Ns	۱۰۵/۸±۴۰/۷	۱۰۶/۵±۴۶/۵	۳
Ns	۳۱۶/۷±۱۴۱	۳۴۷/۳±۲۱۶/۹	Lmax	Ns	۱۰۵/۸±۴۰/۷	۱۰۶/۵±۴۶/۵	۴
Ns	۴۳/۷±۱۱/۳	۴۵/۵±۱۲/۶	آنتروپی	Ns	۱۰۵/۸±۴۰/۷	۱۰۶/۵±۴۶/۵	۵
Ns	۱۵/۳±۶/۴	۱۵/۷±۶/۱	LAM	Ns	۱۰۵/۸±۴۰/۷	۱۰۶/۵±۴۶/۵	۶
Ns	۲۱۴/۳±۱۱۰/۲	۲۲۷±۱۳۹/۲	Vmax	Ns	۱۰۵/۸±۴۰/۷	۱۰۶/۵±۴۶/۵	۷
Ns	۱۶۳±۴۶/۵	۱۵۶/۴±۳۹	TI	Ns	۱۰۵/۸±۴۰/۷	۱۰۶/۵±۴۶/۵	۸
Ns	۲۶/۶±۱/۳	۲۶/۸±۱/۳	Trans	Ns	۱۰۵/۸±۴۰/۷	۱۰۶/۵±۴۶/۵	۹
				Ns	۱۰۵/۸±۴۰/۷	۱۰۶/۵±۴۶/۵	۱۰
ضرایب چندجمله‌ای			↓ اندیس				↓ آنتروپی
Ns	$10^{-11} \pm 1/49 \times 10^{-10}$	$10^{-12} \pm 1/3 \times 10^{-10}$	A	Ns	$-132 \pm 1.3/3$	$-134/9 \pm 1.6/8$	تخمین
*	$10^{-11} \pm 6/55 \times 10^{-10}$	$10^{-11} \pm 4/77 \times 10^{-10}$	B	Ns	$5/0 \times 10^{-5} \pm 1/24 \times 10^{-5}$	$5/0 \times 10^{-5} \pm 1/19 \times 10^{-5}$	شانون
Ns	$10^{-11} \pm 1/14 \times 10^{-11}$	$10^{-12} \pm 9/96 \times 10^{-11}$	C	Ns	$-1/44 \times 10^{-7} \pm 2/36 \times 10^{-7}$	$-1/44 \times 10^{-7} \pm 2/5 \times 10^{-7}$	انرژی لگاریتمی
Ns	$356/9 \pm 87/8$	$361/8 \pm 77/9$	D	Ns	$463/7 \pm 159/5$	$454/6 \pm 163/8$	نمونه
Ns	$33/8 \pm 11/5$	$34/2 \pm 11$	E				
DFA ضرایب			↓ اندیس	**	$698/6 \pm 54/6$	$717/8 \pm 45/2$	نمای لیاپاتوف
*	$10^{-7} \pm 24 \times 10^{-7} \pm 177/8$	$10^{-7} \pm 24 \times 10^{-7} \pm 228/4$	D	Ns	$10^{-7} \pm 20 \times 10^{-7} \pm 5/2$	$10^{-7} \pm 214/1$	پیچیدگی
*	$10^{-6} \pm 50 \times 10^{-6} \pm 177/8$	$10^{-6} \pm 54 \times 10^{-6} \pm 228/4$	α	**	$10^{-6} \pm 2/5 \times 10^{-6} \pm 1/83 \times 10^{-6}$	$10^{-6} \pm 1/75 \times 10^{-6} \pm 1/45 \times 10^{-6}$	بعد جاسازی

معنی دار نبودن: Ns; $P < 0.05$; *: $P < 0.01$; **: $P < 0.001$

منابع

1. Walker MP, Harvey AG. Obligate symbiosis: sleep and affect. *Sleep Med Rev*. 2010; 14(4): 215-7.
2. Baloochi Anaraki M, Rahimi S. Dream and sleep disorders: psychological and pathophysiological aspects. *Shefaye Khatam*. 2015; 3: 99-111.
3. Astill RG, Van der Heijden KB, Van Ijzendoorn MH, Van Someren EJ. Sleep, cognition, and behavioral problems in school-age children: a century of research meta-analyzed. *Psychol Bull*. 2012; 138(6): 1109-38.
4. Lim J, Dinges DF. A meta-analysis of the impact of short-term sleep deprivation on cognitive variables. *Psychol Bull*. 2010; 136(3): 375-89.
5. Eshaghabadi A, Sahab Negah S. Sleepiness in road accidents. *Shefaye Khatam*. 2016; 3(4): P13.
6. Palmer CA, Alfano CA. Sleep and emotion regulation: an organizing, integrative review. *Sleep Med Rev*. 2016; 31: 6-16.
7. Dinges DF, Pack F, Williams K, Gillen KA, Powell JW, Ott GE, et al. Cumulative sleepiness, mood disturbance, and psychomotor vigilance performance decrements during a week of sleep restricted to 4-5 hours per night. *Sleep*. 1997; 20(4): 267-77.
8. Alfano CA, Ginsburg GS, Kingery JN. Sleep-related problems among children and adolescents with anxiety disorders. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*. 2007; 46(2): 224-32.
9. Franzen PL, Siegle GJ, Buysse DJ. Relationships between affect, vigilance, and sleepiness following sleep deprivation. *J Sleep Res*. 2008; 17(1): 34-41.
10. Talbot L, McGlinchey E, Kaplan K, Dahl R, Harvey A. Sleep deprivation in adolescents and adults: changes in affect. *Emotion*. 2010; 10(6): 831-41.
11. Berger R, Miller A, Seifer R, Cares S, Lebourgeois M. Acute sleep restriction effects on emotion responses in 30- to 36-month-old children. *J Sleep Res*. 2012; 21(3): 235-46.
12. Minkel J, Htaik O, Banks S, Dinges D. Emotional expressiveness in sleep deprived healthy adults. *Behav Sleep Med*. 2011; 9(1): 5-14.
13. Franzen P, Buysse D, Dahl R, Thompson W, Siegle G. Sleep deprivation alters pupillary reactivity to emotional stimuli in healthy young adults. *Biol Psychol*. 2009; 80(3): 300-5.
14. Dahl R, Lewin D. Pathways to adolescent health sleep regulation and behavior. *J Adolesc Health*. 2002; 31(6): 175-84.
15. Yoo S, Hu P, Gujar N, Jolesz F, Walker M. A deficit in the ability to form new human memories without sleep. *Nat Neurosci*. 2007; 10(3): 385-92.
16. Gujar N, Yoo S, Hu P, Walker M. Sleep deprivation amplifies reactivity of brain reward networks, biasing the appraisal of positive emotional experiences. *J Neurosci*. 2011; 31(12): 4466-74.
17. Swann C, Yelland G, Redman J, Rajaratnam S. Chronic partial sleep loss increases the facilitatory role of a masked prime in a word recognition task. *J Sleep Res*. 2006; 15(1): 23-9.
18. Pessoa L, Adolphs R. Emotion processing and the amygdala: from a 'low road' to 'many roads' of evaluating biological significance. *Nature Rev Neurosci*. 2010; 11(11): 773-83.
19. Whalen P, Rauch S, Etcoff N, McInerney S, Lee M, Jenike M. Masked presentations of emotional facial expressions modulate amygdala activity without explicit knowledge. *J Neurosci*. 1998; 18: 411-8.
20. Ogawa Y, Kanbayashi T, Saito Y, Takahashi Y, Kitajima T, Takahashi K, et al. Total sleep deprivation elevates blood pressure through arterial baroreflex resetting: a study with microneurographic technique. *Sleep Med*. 2003; 26(8): 986-9.
21. Goshvarpour A, Abbasi A, Goshvarpour A. Evaluating autonomic parameters: the role of sleep duration in emotional responses to music. *Iran J Psychiatry*. 2016; 11(1): 59-63.
22. Demaree H, Schmeichel B, Robinson J, Everhart D. Behavioural, affective, and physiological effects of negative and positive emotional exaggeration. *Cogn Emot*. 2004; 18: 1079-97.
23. Picard RW, Vyzas E, Healey J. Toward machine emotional intelligence: analysis of affective physiological state. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*. 2001; 23(10): 1175-91.
24. Kim K, Bang S, Kim S. Emotion recognition system using short-term monitoring of physiological signals. *Med Biol Eng Comput*. 2004; 42(3): 419-27.
25. Kreibig S, Wilhelm F, Roth W, Gross J. Cardiovascular, electrodermal, and respiratory response patterns to fear and sadness-inducing films. *Psychophysiology*. 2007; 44(5): 787-806.
26. Blechert J, Lajtman M, Michael T, Margraf J, Wilhelm F. Identifying anxiety states using broad sampling and advanced processing of peripheral physiological information. *Biomed Sci Instrum*. 2006; 42: 136-41.

27. Yoon H, Chung S. EEG-based emotion estimation using Bayesian weighted-log-posterior function and perceptron convergence algorithm. *Comput Biol Med.* 2013; 43(12): 2230-7.
28. Li C, Feng Z, Xu C. Error-correcting output codes for multi-label emotion classification. *Multimed Tools Appl.* 2016; 75(22): 14399-416.
29. Aftanas LI, Lotova NV, Koshkarov VI, Makhnev VP, Mordvintsev YN, Popov SA. Non-linear dynamic complexity of the human EEG during evoked emotions. *Int J Psychophysiol.* 1998; 28(1): 63-76.
30. Aftanas LI, Lotova NV, Koshkarov VI, Pokrovskaja VL, Popov SA, Makhnev VP. Non-linear analysis of emotion EEG: calculation of Kolmogorov entropy and the principal Lyapunov exponent. *Neurosci Lett.* 1997; 226(1): 13-6.
31. Zheng WL, Lu BL. Investigating critical frequency bands and channels for EEG-based emotion recognition with deep neural networks. *IEEE Trans Auton Ment Dev.* 2015; 7(3): 162-75.
32. Wang L, Liu G, Yang Z. The emotion recognition for grief based on nonlinear features of GSR. *J Comput Inform Syst.* 2014; 10: 1639-49.
33. Roque A, Valenti V, Guida H, Campos M, Knap A, Vanderlei L, et al. The effects of auditory stimulation with music on heart rate variability in healthy women. *Clinics.* 2013; 68: 960-7.
34. Silva S, Guida H, SantosAntonio A, Vanderlei L, Ferreira L, de Abreu L, et al. Auditory stimulation with music influences the geometric indices of heart rate variability in men. *Int Arch Med.* 2014; 7: 1-7.
35. Nardelli M, Valenza G, Greco A, Lanata A, Scilingo EP. Recognizing emotions induced by affective sounds through heart rate variability. *IEEE Trans Affect Comput.* 2015; 6(4): 385 - 94.
36. Lang PJ, Bradley MM, Cuthbert BN. International affective picture system (IAPS): technical manual and affective ratings. *International Affective Picture System (IAPS).* 1997.
37. Goshvarpour A, Abbasi A, Goshvarpour A. Affective visual stimuli: characterization of the picture sequences impacts by means of nonlinear approaches. *Basic Clin Neurosci.* 2015; 6(4): 209-21.
38. Proakis JG, Manolakis DG. Digital signal processing principles, algorithms, and applications. 3rd ed. New Jersey: Prentice-Hall. 1996.
39. Lempel A, Ziv J. On the complexity of finite sequences. *IEEE Trans Inf Theory.* 1976; 22(1): 75-81.
40. Zhang XS, Zhu YS. Detecting ventricular tachycardia and fibrillation by complexity measure. *IEEE Trans Biomed Eng.* 1999; 46(5): 548-55.
41. Peng CK, Buldyrev SV, Havlin S, Simons M, Stanley HE, Goldberger AL. Mosaic organization of DNA nucleotides. *Phys Rev E.* 1994; 49(2): 1685-9.
42. Takens F. Detecting strange attractor in turbulence. Berlin: Springer. 1980. p. 366-81.
43. Pincus SM. Approximate entropy as a measure of system complexity. *Proc Natl Acad Sci USA.* 1991; 88(6): 2297-301.
44. Tulppo MP, Makikallio TH, Takala TE, Seppanen T, Huikuri HV. Quantitative beat to beat analysis of heart rate dynamics during exercise. *Am J Physiol.* 1996; 271(1): H244-H52.
45. Guzik P, Piskorski J, Krauze T, Schneider R, Wesseling K, Wykretowicz A, et al. Correlations between the poicare plot and conventional heart rate variability parameters assessed during paced breathing. *J Physiol Sci.* 2007; 57(1): 63-71.
46. Piskorski J, Guzik P. Filtering poicare plots. *Computational Methods in Science and Technology.* 2005; 11(1): 39-48.
47. Rosenstein MT, Collins JJ, DeLuca CJ. A practical method for calculating largest lyapunov exponents from small data sets. *Physica D: Nonlinear Phenomena.* 1993; 65(1-2): 117-34.
48. Marwan N, Romano M, Thiel M, kurths J. Recurrence plots for the analysis of complex systems. *Phys Rep.* 2007; 438(5-6): 237-329.
49. Moharreri S, Rezaei S, Dabanloo N, Parvaneh S. Extended parabolic phase space mapping (EPPSM): novel quadratic function for representation of heart rate variability signal. *Comput Cardiol.* 2014; 41: 417-20.
50. Kreibig SD. Autonomic nervous system activity in emotion: a review. *Biol Psychol.* 2010; 84(3): 394-421.
51. Jerrieta S, Murugappan M, Wan K, Yaacob S. Classification of emotional states from electrocardiogram signals: a non-linear approach based on hurst. *Bio Med Eng Online.* 2013; 12(44): Doi: 10.1186/1475-925X-12-44.
52. Valenza G, Allegrini P, Lanata A, Scilingo EP. Dominant lyapunov exponent and approximate entropy in heart rate variability during emotional visual elicitation. *Front Neuroeng.* 2012; 5: 1-7.
53. Valenza G, Citi L, Lanata A, Scilingi E, Barbieri R. Revealing real-time emotional responses: a personalized assessment based on heartbeat dynamics. *Sci Rep.* 2014; 4(4998). Doi:10.1038/srep04998.