

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، عطالله 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 آزمودن 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 شرکت‌کنندها خواب طبیعی داشتند (میانگین سن $21/32 \pm 1/67$ سال) در حالی که ۲۵ نفر از افراد خواب ناکافی (میانگین سن $1/64 \pm 21/88$ سال) داشتند. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که پاسخ‌های فیزیولوژیکی به تحريكات 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 شرکت‌کنندها وجود دارد. تحلیل پارامترهای خودمختار ما را قادر به بررسی این رابطه می‌سازد. اگرچه نتایج به نوع تحريك و روش‌شناسی مورد استفاده برای تحلیل داده‌ها بستگی دارد.

کلید واژه‌ها:

۱. احساسات
۲. دینامیک‌های غیرخطی
۳. خواب

*نویسنده مسئول: عطالله عباسی

آدرس الکترونیکی: ata.abbasii@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 محرك پس از کمبود خواب به مدت دو شباهه 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 محرك‌های بصری پس از اختلال خواب داشته باشد (۱۸، ۱۹).

مدت زمان کوتاه یا طولانی خواب بر سیستم عصب خودمحختار 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 کم‌مبتنى بر سیگنال‌های فیزیولوژیٰ صورت گرفته است و اثر خواب زیاد در آن‌ها عموماً نادیده گرفته شده است. تنها در مطالعهٔ گشوارپور و همکاران، اثر میزان خواب بر پاسخ‌های احساسی افراد که با تحریک موسیقی ایجاد شده بود، با اندازه‌های فرکانسی سیگنال‌های خودمحختار مورد بررسی قرار گرفت (۲۱). نتایج حاکی از آن بود که صرف‌نظر از نوع تحریک احساسی، بیشینهٔ توان سیگنال‌های خودمحختار 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 پسر 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^۴ و LF/HF^۵ 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. پیکاره 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 (۱۰، ۲). پیش از این، اثرات منفی کمبود خواب بر سطوح مختلف کارکرده، 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 (۱۶-۱۴). 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 خودمحختار در هستهٔ لوکوس سرولئوس وجود داشته است. اثر تحریکات احساسی مثبت بر کم‌خواب‌ها، بیانگر تقویت شبکه‌های مغزی مژولیمبیک در پاسخ به تصاویر احساسی مثبت بوده است (۱۶). این افزایش و استه به کاهش اتصالات در قشر میانی و قشر حدقه‌ای^۱ بوده و اتصالات بیشتری

⁴ Heart rate variability⁵ Low-frequency to high-frequency ratio¹ Orbitofrontal² Limbic areas³ Electrocardiogram

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 GSR و ECG شرکت‌کنندگان اخذ گردید (اخذ دادگان). سیگنال ECG نشان دهنده عملکرد قلب و پاسخ گالولایک پوست (GSR) نشان دهنده تغییرات مقاومت پوستی ناشی از فعالیت غدد عرقی در پوست است که با سیستم عصب سینپاتیک کنترل می‌شوند. این فعالیت به عنوان 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 بندهای 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 معنی داری 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. به علاوه، 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 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٪ 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٪ و ۷۰٪ بود که نرخ تفکیک در سه سطح به مقدار ۵۵٪ و ۵۵٪ کاهش یافت. ویژگی‌های حوزه زمان و فرکانس چند سیگنال فیزیولوژی در مطالعه اخیر لی و همکاران در مسئله بازناسی احساسات با بیشینه صحت ۷۲٪ به کار گرفته شد (۲۸).

اخیراً، استفاده از شاخص‌های غیرخطی در فرایند استخراج ویژگی از سیگنال‌های حیاتی توجه بسیاری از محققان را به خود جلب نموده است. آفتابانس 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 لیاپانوف^۷ به تغییرات EEG در هنگام القای احساسات حساس هستند (۳۰، ۳۰). آنتروپی به عنوان شاخصی غیرخطی از سیگنال EEG برای مشخص نمودن پاندهای فرکانسی و کانال‌های دارای اهمیت در بازناسی احساسات استفاده شده است (۳۱). محققین به بالاترین نرخ صحت ۸۶٪ در بازناسی سه دسته احساس مثبت، منفی و خنثی دست یافتند. پیش‌تر، بعد جاسازی، زمان تأخیر، بعد همبستگی، آنتروپی تخمین و نمای لیاپانوف سیگنال GSR^۸ برای تفکیک احساسات تحلیل شده است (۳۲). با تحلیل شاخص‌های پلات پوانکاره، الگوهای متفاوتی از سیگنال HRV در پاسخ به محرك 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.

⁶ Entropy

⁷ Lyapunov exponents

⁸ Galvanic skin response

۴۰۰ هرتز جمع‌آوری شدند. برای تمام شرکت‌کنندگان، شرایط ثبت داده از قبیل نور اتاق، دما (۲۳-۲۵ درجه سانتی‌گراد) بدون تغییر در نظر گرفته شد. نور صفحه برای هر فرد به طور جداگانه تنظیم شد. فیلتر ناج 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 رخ می‌دهد، استخراج گردید.

تحلیل‌های غیرخطی

پیچیدگی: در این مطالعه از تحلیل پیچیدگی ارائه شده توسط لمپل و زیبو 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 DFA، شامل نمای مقیاس (α) و بعد فرکتال (= D - 3 - α) 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 متولی از X، (Xi, Xi+1) به یک فضای دو بعدی نگاشت می‌شوند (۴۴). با برآش یک بیضی بر شکل پوانکاره، می‌توان شاخص‌هایی برای کمی سازی آن استخراج نمود. قطرهای بزرگ و کوچک از بیضی برآش شده (SD1 و SD2) از همبستگی و میانگین ن نقاط X با تأخیرهای صفر و یک حاصل می‌گردد. وابستگی میان

خواب طبیعی و در غیر این صورت (۰/۹ و ۱/۱) در گروه خواب غیرطبیعی قرار می‌گرفتند.

برای ایجاد احساسات در شرکت‌کنندگان، تصاویری از پایگاه تصویر IAPS^{۱۲} 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 ۹/۶ 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 بی حرکت باشند، به ویژه 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 مبنا (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 مبنا قرار داده شد. بلافاصله پس از آن یک صفحه خالی با علامت مثبت در وسط، نشان داده شد تا مرکز 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 انگشت‌تری 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 پاورلوب ۱۶ کانال

^۹ International affective picture system

^{۱۰} Root mean square

^{۱۱} 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 سیگنال GSR بجز گشتاورهای مرتبه سوم و چهارم معنی‌داری تفاوت میان گروه‌ها را نشان می‌دهد. از میان ویژگی‌های حوزه فرکانس، در دو ویژگی بیشینهٔ 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 ضمیمهٔ ۲ و ۳ آورده شده است. به طور خاص، جدول‌های ضمیمهٔ 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 لیپاپانوف، آنرپوپی شانون و شاخص‌های پوانکاره توансه‌اند رفتارهای بیولوژیکی مختلف در پاسخ به تحریکات شاد و غمگین را میان افراد با میزان خواب متفاوت نشان دهنند. این تفاوت برای ویژگی‌های نوسانات روند زدایی شده، نمای لیپاپانوف و بعد جاسازی سیگنال ECG معنی‌دار بوده است. به طور کلی، جدول‌های ضمیمهٔ 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 ضمیمهٔ 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 ضمیمهٔ 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 برازش شده بر نمودار پوانکاره (S) و واریانس کل سری زمانی (SDRR) (۱۲) (۴۶). به علاوه، نمودارهای پوانکاره در ۱۰ تأخیر مختلف ترسیم شد و تمام شاخص‌های ذکر شده از نمودارهای پوانکاره برای هر تأخیر محاسبه گردید.

نمای لیپاپانوف: مطابق با روش ارائه شده توسط روزنستین و همکاران، روش تخمین واقعی از نمای لیپاپانوف در این تحقیق فراهم گردید (۴۷).

تحلیل کمی‌سازی بازگشته (RQA)^{۱۳}: هفت شاخص از RQA شامل نرخ بازگشت (RR)^{۱۴}، قطعیت (DET)^{۱۵}، متوسط طول خطوط قطری (L)، آنتروپی، لایه‌ای بودن (LAM)^{۱۶}، 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 برآرازش 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. شرکت کنندگان (میانگین سن ۱/۶ ± ۲۱/۵ سال) به دو گروه با خواب طبیعی شامل ۲۲ نفر (میانگین سن ۱/۶۷ ± ۲۱/۳۲ سال) و گروه با خواب غیرطبیعی (پرخواب یا کم خواب) شامل ۲۵ نفر (میانگین سن ۱/۶۴ ± ۲۱/۸۸ سال) دسته‌بندی شدند.

جدول ۱ مقادیر پارامترهای زمانی (Mean±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

¹⁵ Recurrence rate

¹⁶ Laminarity

¹² Standard deviation of RR intervals

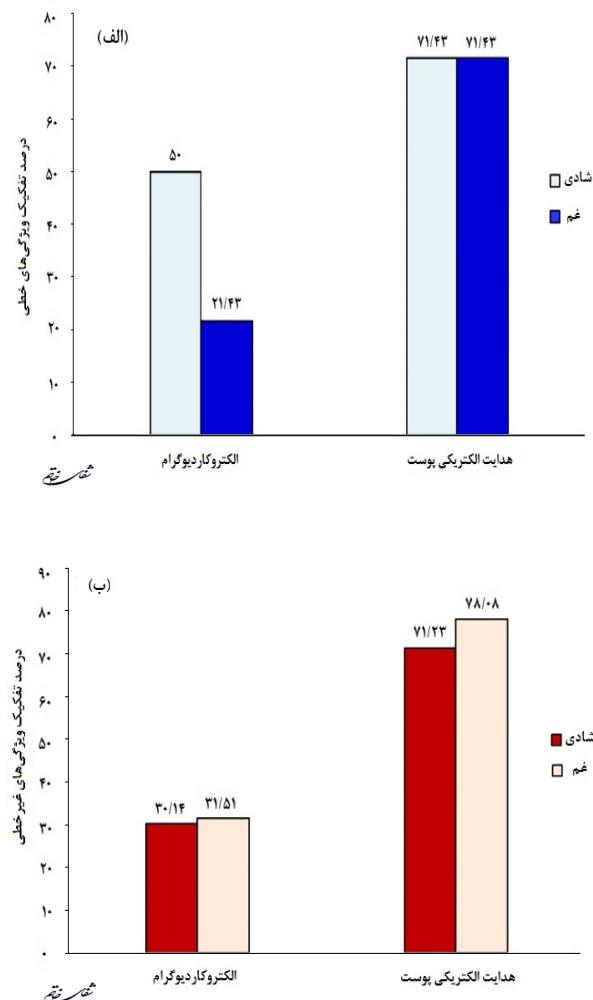
¹³ Recurrence quantification analysis

¹⁴ Recurrence rate

شناخت

مختلف بر موضوع فعالسازی سیستم اعصاب خودمختار (ANS)^{۱۷} در احساسات می‌باشد. در سال ۲۰۱۰، کریبیگ در مقالهٔ مروری خود با استناد به ۱۳۴ مقالهٔ 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. به علاوه، 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، قطعهٔ 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 دامنهٔ 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 هوایپما، 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. به طور 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 صحنهٔ شاد از فیلم کارتونی به دست آمده است. همچنین مشاهدهٔ فیلمی که یک اسکیت باز برندهٔ مداد 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 GSR و ECG بوده است.

بحث و نتیجه‌گیری

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

¹⁷ Autonomic nervous system

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 کارآیی به کارگیری روش‌های تحلیل غیرخطی بر پارامترهای فیزیولوژی در مسئله بازشناسی احساسات پیش از این تأیید شده است (۳۵، ۳۷، ۵۱-۵۳). پارامتر هرست به عنوان یک ویژگی غیرخطی برای دسته‌بندی اطلاعات احساسی از سیگنال الکتروکاردیوگرام به کار رفت (۵۱). بالاترین صحبت ۸۷٪/۹۲ 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 صحبت بازشناسی ۷۲٪/۸۴ و ۲۶٪/۸۴ 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 بهشت 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.

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). به علاوه، 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). اختلاف میان بالاترین نرخ

تحقیق

جدول ضمیمه ۱- تغییرات میانگین \pm انحراف معیار (Mean \pm SD) و تفاوت های آماری در پاسخ های احساسی دو گروه افراد با خواب طبیعی و غیرطبیعی با به کار گیری روش های تحلیل خطی بر دو سیگنال هدایت الکتریکی پوست و الکتروکاردیوگرام در دو حالت شادی و غم.

غم		شادی			ویژگی	سیگنال	
P	خواب طبیعی	خواب غیرطبیعی	P	خواب طبیعی	خواب غیرطبیعی		
-0/۰۲۸۲*	-0/۱۰۶ \pm 0/۱۲۹	-0/۰۸۳ \pm 0/۱۲۳	-0/۰۱۰۲*	-0/۱۳۲ \pm 0/۱۷۳	-0/۱۰۷ \pm 0/۱۶۷	انحراف معیار	هدایت الکتریکی پوست
****	-0/۴۷۲ \pm ۳/۶۷۲	-2/۱۸۱ \pm ۴/۵۵۳	****	-0/۴۵۶ \pm ۳/۶۵۴	-2/۰۵۶ \pm ۴/۵۶۶	میانگین	
****	-0/۲۷۹ \pm ۳/۷۵۸	-2/۰۲ \pm ۴/۵۹۴	****	-0/۲۱ \pm ۳/۷۸۸	-1/۸۵۷ \pm ۴/۶۸۴	پیشینه	
****	-0/۶۴۷ \pm ۳/۵۹۳	-2/۲۲۱ \pm ۴/۵۲	****	-0/۶۶۴ \pm ۳/۵۶۴	-2/۲۳۲ \pm ۴/۴۹۲	کمینه	
****	-0/۴۷۹ \pm ۳/۶۸۵	-2/۱۹۵ \pm ۴/۵۶	****	-0/۴۹۶ \pm ۳/۶۳	-2/۰۷۲ \pm ۴/۵۵۳	مد	
****	-0/۴۷۵ \pm ۳/۶۷۴	2/۱۸۴ \pm ۴/۵۵۴	****	-0/۴۶۷ \pm ۳/۶۴۸	-2/۰۶۵ \pm ۴/۵۶	میانه	
-	-	-	-	-	-		
-0/۰۳۸۳*	-0/۰۲۸ \pm 0/۰۷۱	-0/۰۲۲ \pm 0/۰۹۲	-0/۰۱۰۲*	-0/۰۴۸ \pm 0/۱۲۶	-0/۰۳۹ \pm 0/۱۳۵	واریانس	
-0/۳۲۶۵	-0/۰۹۴ \pm 0/۰۵۳۲	-0/۰۳۶ \pm 0/۰۵۱۸	-0/۰۶۳۸	-0/۱۳۷ \pm 0/۰۵۹۸	-0/۰۰۵۵ \pm 0/۰۵	گشتاور سوم	
-0/۹۱۳۴*	2/۳۰۳ \pm 1/۱۵۱	2/۲۸۸ \pm 0/۰۱۹	-0/۶۸۷	2/۴ \pm 1/۱۸۳	2/۳۰۱ \pm 0/۰۸۶۸	گشتاور چهارم	
-0/۰۰۲۸*	2/۹۸۴ \pm 2/۱۹۱	3/۹۳۲ \pm ۳/۱۶۴	-0/۰۲۴۲*	2/۹۷۷ \pm 2/۱۷۱	3/۸۵۳ \pm ۳/۲	ریشه میانگین مریعات	
-0/۰۰۲۵*	5/۹۵ \pm ۴/۴	7/۸۶ \pm ۶/۳۳	-0/۰۲۳۷*	5/۹۲۵ \pm ۴/۳۶	-0/۳۵۷ \pm ۶/۴۲	پیشینه توان	
-0/۰۰۳۵*	-0/۰۰۷ \pm 0/۰۰۵	-0/۰۰۹ \pm 0/۰۰۸	-0/۰۲۲۴*	-0/۰۰۷ \pm 0/۰۰۵	-0/۰۰۱ \pm 0/۰۰۷	میانگین توان	
-0/۸۳۹۴	-0/۰۰۲ \pm 0/۰۱۲	-0/۰۰۱ \pm 0/۰۱۱	-0/۱۲۹	-0/۰۰۱ \pm 0/۰۱۳	-0/۰۰۴ \pm 0/۰۱۵	فرکانس پیشینه توان	
-0/۸۳۹۴	-0/۰۰۲ \pm 0/۰۱۲	-0/۰۰۱ \pm 0/۰۱۲	-0/۱۲	-0/۰۰۱ \pm 0/۰۱۴	-0/۰۰۴ \pm 0/۰۱۶	فرکانس میانگین توان	
<hr/>							الکتروکاردیوگرام
-0/۹۲۵۸	-0/۱۰۷ \pm 0/۰۴۷	-0/۱۰۶ \pm 0/۰۴۱	-0/۸۴۱۵	-0/۱۱ \pm 0/۰۵۳	-0/۱۰۷ \pm 0/۰۴۱	انحراف معیار	
-0/۶۱۸۸	-0/۱۸۱ \pm 0/۰۳۹	-0/۱۷۹ \pm 0/۰۴۴	-0/۱۴۹۴	-0/۱۷۸ \pm 0/۰۴۴	-0/۱۷۹ \pm 0/۰۴۵	میانگین	
-0/۵۷۵۹	-0/۳۱۴ \pm 0/۰۲۸۳	-0/۳۱۶ \pm 0/۰۲۷۸	-0/۴۲۷	-0/۳۲۴ \pm 0/۰۲۸۶	-0/۳۱۹ \pm 0/۰۲۷۵	پیشینه	
-0/۰۰۸۲*	-0/۴۳۹ \pm 0/۱۳۵	-0/۴۱۸ \pm 0/۰۱۹	-0/۰۰۵*	-0/۴۵۴ \pm 0/۰۱۶۵	-0/۴۲۱ \pm 0/۱۳۱	کمینه	
-0/۰۱۸*	-0/۰۲۲ \pm 0/۰۰۶	-0/۰۲۲۱ \pm 0/۰۵	-0/۰۳۲*	-0/۰۲۱۷ \pm 0/۰۶	-0/۰۲۲۱ \pm 0/۰۵۱	مد	
-0/۰۰۵۵	-0/۰۲۰۴ \pm 0/۰۴۷	-0/۰۲۰۴ \pm 0/۰۴۷	-0/۰۰۵*	-0/۰۲۰۴ \pm 0/۰۵۱	-0/۰۲۰۳ \pm 0/۰۴۸	میانه	
-0/۹۲۵۸	-0/۰۱۴ \pm 0/۰۱۶	-0/۰۱۴ \pm 0/۰۱	-0/۸۴۱۵	-0/۰۱۵ \pm 0/۰۲۱	-0/۰۱۳ \pm 0/۰۱۱	واریانس	
-0/۱۱۲۷	1/۳۱۴ \pm 1/۴۷۷	1/۰۵۶۸ \pm 1/۰۲۹۱	-0/۰۲۲۴*	1/۲۱۱ \pm 1/۰۵۱۵	1/۰۵۳۴ \pm 1/۰۳۰۹	گشتاور سوم	
-0/۰۳۸۶*	8/۳۸۲ \pm ۴/۶۳۷	8/۱۴۶ \pm ۵/۰۶۵	-0/۰۴۵۶*	8/۲۶۲ \pm ۴/۵۸۳	8/۱۰۵ \pm ۵/۱۴۶	گشتاور چهارم	
-0/۲۲۹۴	-0/۲۱۳ \pm 0/۰۴۷	-0/۲۱۲ \pm 0/۰۴۱	-0/۱۳۳	-0/۲۱۴ \pm 0/۰۵۴	-0/۲۱۲ \pm 0/۰۴۳	ریشه میانگین مریعات	
-0/۶۱۹۳	-0/۳۶۲ \pm 0/۰۷۸	-0/۳۵۷ \pm 0/۰۸۸	-0/۱۸۸۹	-0/۳۵۸ \pm 0/۰۸۶	-0/۳۵۷ \pm 0/۰۹	پیشینه توان	
-0/۱۸۶۷	-۴ -0/۰۰۱ \pm ۳/۷ \times 1۰	-۴ -0/۰۰۱ \pm ۳/۹ \times 1۰	-0/۲۸۱۷	-۴ -0/۰۰۱ \pm ۳/۸ \times 1۰	-۴ -0/۰۰۱ \pm ۳/۹ \times 1۰	میانگین توان	
-0/۶۳۸۲	-۴ \pm 0/۰۰۵ ۳/۱۷ \times 1۰	-۴ \pm 0/۰۰۵ ۳/۱۷ \times 1۰	-0/۰۱۶۹*	-۰/۰۱ \pm 0/۱۱	-۰ \pm ۰	فرکانس پیشینه توان	
-0/۶	-۴ \pm 0/۰۰۶ ۳/۱۷ \times 1۰	-۴ \pm 0/۰۰۶ ۳/۱۷ \times 1۰	-0/۰۱۶۹*	-۰/۰۱ \pm 0/۱۲	-۰ \pm ۰	فرکانس میانگین توان	

* = $P < 0.05$; ** = $P < 0.01$

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 ۳-۱۰ ضرب شوند).

P	خواب غیرطبیعی	خواب طبیعی	P	خواب غیرطبیعی	خواب طبیعی	طرح پوانکاره ↓ تأخیر
SD2			↓ تأخیر	SD1		
*	۱۵۱/۸۶ \pm ۲۳۵/۴	۱۸۶/۴۸ \pm ۲۴۵/۲	۱	Ns	۱/۷۲ \pm ۳۷/۳۸	۱/۶۹ \pm ۲۱/۹۴
*	۱۵۱/۸۳ \pm ۲۳۵/۴	۱۸۶/۴۶ \pm ۲۴۵/۲	۲	Ns	۲/۱۹ \pm ۵۵/۹۳	۲/۱۴ \pm ۳۸/۱۷
*	۱۵۱/۸۲ \pm ۲۳۵/۵	۱۸۶/۴۵ \pm ۲۴۵/۲	۳	Ns	۲/۴۷ \pm ۷۵/۲۹	۲/۴۱ \pm ۵۲/۶۵
*	۱۵۱/۸۱ \pm ۲۳۵/۵	۱۸۶/۴۴ \pm ۲۴۵/۲	۴	Ns	۲/۶۷ \pm ۹۷/۲۳	۲/۶۲ \pm ۹۹/۰۲
*	۱۵۱/۸ \pm ۲۳۵/۵	۱۸۶/۴۴ \pm ۲۴۵/۳	۵	Ns	۲/۸۳ \pm ۱/۲	۲/۷۹ \pm ۸۶/۸۴
*	۱۵۱/۸ \pm ۲۳۵/۵	۱۸۶/۴۳ \pm ۲۴۵/۲	۶	Ns	۲/۹۷ \pm ۱/۴	۲/۹۳ \pm ۱/۱
*	۱۵۱/۸ \pm ۲۳۵/۵	۱۸۶/۴۳ \pm ۲۴۵/۳	۷	Ns	۳/۰۶ \pm ۱/۷	۳/۰۵ \pm ۱/۳
*	۱۵۱/۸ \pm ۲۳۵/۴	۱۸۶/۴۳ \pm ۲۴۵/۲	۸	*	۳/۱۳ \pm ۲	۳/۱۴ \pm ۱/۵
*	۱۵۱/۷۹ \pm ۲۳۵/۴	۱۸۶/۴۲ \pm ۲۴۵/۲	۹	Ns	۳/۲۲ \pm ۱/۲	۳/۱۳ \pm ۱/۷
*	۱۵۱/۷۹ \pm ۲۳۵/۴	۱۸۶/۴۲ \pm ۲۴۵/۲	۱۰	Ns	۳/۲۴ \pm ۱/۵	۳/۱۴ \pm ۱/۹
Area			SD1/ SD2			
*	-۹۷ \pm ۲	۱/۱۲ \pm ۱/۸	۱	*	۴۹/۳۶ \pm ۵۴/۴	۴/۰۵ \pm ۴۷/۳
*	۱/۳ \pm ۳	۱/۴۸ \pm ۲/۵	۲	*	۶۱/۹۵ \pm ۶۷/۸	۵۰/۳۵ \pm ۵۸/۶
*	۱/۵۶ \pm ۴	۱/۷۴ \pm ۳	۳	*	۶۸/۲۸ \pm ۷۳/۵	۵۵/۸۴ \pm ۶۵/۱
*	۱/۸ \pm ۵/۱	۱/۹۸ \pm ۳/۷	۴	*	۷۱/۸۷ \pm ۷۶/۶	۵۹/۶۱ \pm ۶۹/۸
*	۲/-۴ \pm ۶/۲	۲/۲۴ \pm ۴/۳	۵	*	۷۴/۹۲ \pm ۷۹/۵	۶۲/۱۲ \pm ۷۲/۷
*	۷/۲۴ \pm ۷/۳	۷/۴۳ \pm ۴/۹	۶	*	۷۶/۷۱ \pm ۸۱	۶۴/۱۳ \pm ۷۵/۱
*	۷/۴۵ \pm ۸/۴	۷/۶۳ \pm ۵/۶	۷	*	۷۶/۴ \pm ۷۹/۴	۶۴/۹۸ \pm ۷۵/۹
*	۷/۶۷ \pm ۹/۵	۷/۸۳ \pm ۶/۳	۸	*	۷۵/۲۹ \pm ۷۷	۶۴/۸۹ \pm ۷۵/۱
*	۷/۸۷ \pm ۱/۶	۷/۷ \pm ۷/۷	۹	*	۷۸/-۱ \pm ۸/-۱	۶۶/۷۵ \pm ۷۶/۹
*	۷/۱۳ \pm ۱/۷	۷/۲۴ \pm ۷/۷	۱۰	*	۷۹/۶۷ \pm ۷۹/۴	۵۷/۸۶ \pm ۷۷/۷
RQA			↓ اندیس	SDXX		
*	۶/۶ \pm ۲/۳	۷ \pm ۲/۵	RR	*	۱-۷/۴۱ \pm ۱۶۶/۵	۱۳۱/۸۸ \pm ۱۷۲/۴
Ns	۱۷/۷ \pm ۴/۱	۱۸/۱ \pm ۴/۳	قطعیت	*	۱-۷/۴۳ \pm ۱۶۶/۵	۱۳۱/۸۸ \pm ۱۷۲/۴
Ns	۱۱۷/۳ \pm ۱۷/۹	۱۲۱/۱ \pm ۲۸/۴	L	*	۱-۷/۴۳ \pm ۱۶۶/۵	۱۳۱/۸۸ \pm ۱۷۲/۴
Ns	۲۱۶/۷ \pm ۱۴۱	۲۴۷/۲ \pm ۲۱۶/۹	Lmax	*	۱-۷/۴۱ \pm ۱۶۶/۵	۱۳۱/۸۸ \pm ۱۷۲/۴
*	۴۳/۷ \pm ۱۱/۳	۴۵/۵ \pm ۱۳/۶	آنتروپی	*	۱-۷/۴۱ \pm ۱۶۶/۵	۱۳۱/۸۸ \pm ۱۷۲/۴
Ns	۱۵/۶ \pm ۶/۴	۱۵/۷ \pm ۶/۱	LAM	*	۱-۷/۴۱ \pm ۱۶۶/۵	۱۳۱/۸۸ \pm ۱۷۲/۴
Ns	۲۱۸/۲ \pm ۱۱/۲	۲۲۷/۱ \pm ۱۳۹/۲	Vmax	*	۱-۷/۴۱ \pm ۱۶۶/۵	۱۳۱/۸۸ \pm ۱۷۲/۴
*	۱۶۳ \pm ۴۶/۵	۱۵۶/۴ \pm ۳۹	Tl	*	۱-۷/۴۱ \pm ۱۶۶/۵	۱۳۱/۸۸ \pm ۱۷۲/۴
Ns	۳۹ \pm -۰/۵	۳۹ \pm -۰/۴۸	Trans	*	۱-۷/۴۱ \pm ۱۶۶/۵	۱۳۱/۸۸ \pm ۱۷۲/۴
*			*	۱-۷/۴۱ \pm ۱۶۶/۵	۱۳۱/۸۸ \pm ۱۷۲/۴	۱۰
ضرایب چندجمله‌ای			↓ اندیس	↓ آنتروپی		
Ns	-۲۲/۴ \pm ۵۵۲/۸	-۳/-۱ \pm ۶۲/۶	A	Ns	-۱۴۸/۷ \pm ۱۲۵/۲	-۱۵۳/۹ \pm ۱۲۵
Ns	-۲/۲ \pm ۴۴۶/۳	۲/۶ \pm ۲۲۱/۷	B	*	-۴/-۳ \times ۱ $^{-\infty}$ \pm ۶/۷۲ \times ۱ $^{-\infty}$	-۱/۷۹ \times ۱ $^{-\infty}$ \pm ۳/۳۶ \times ۱ $^{-\infty}$
Ns	۹-۰/۵ \pm ۴۵۶/۴	۹۵۱/۷ \pm ۴۴۸/۳	C	*	۶/۹۲ \times ۱ $^{-\infty}$ \pm ۹/-۷ \times ۱ $^{-\infty}$	۵/۶ \times ۱ $^{-\infty}$ \pm ۸/۲ \times ۱ $^{-\infty}$
**	۴ \times ۱ $^{-\infty}$ \pm ۹ \times ۱ $^{-\infty}$	۷۲۵/۱ \pm ۷/۱۵ \times ۱ $^{-\infty}$	D	*	۵۲/۶ \pm ۴۷/۸	۴۱/۵ \pm ۳۵/۲
*	۲/۴۷ \times ۱ $^{-\infty}$ \pm ۳/۵ \times ۱ $^{-\infty}$	۱/۳۲ \times ۱ $^{-\infty}$ \pm ۱/۱۵ \times ۱ $^{-\infty}$	E			نمونه
ضرایب DFA			↓ اندیس	نمای لیپانوف		
*	-۱۴ \times ۱ $^{-\infty}$ \pm ۲۹۱/۳	-۱/۱۳ \times ۱ $^{-\infty}$ \pm ۳-۰/۵	D	Ns	۴۶۹/۵ \pm ۳-۰/۱۹	۴۷۴/۴ \pm ۲۴۹/۴
*	-۱۴ \times ۱ $^{-\infty}$ \pm ۲۹۱/۳	-۱/۱۷ \times ۱ $^{-\infty}$ \pm ۳-۰/۵	α	Ns	۱ \times ۱ $^{-\infty}$ \pm ۵۳/۵	۱ \times ۱ $^{-\infty}$ \pm -
SD2			↓ تأخیر	SD1		
*	۱۱/۸ \pm ۱۷۳/۴	۱۵-/۲ \pm ۱۸۲/۳	۱	*	۱/۷ \pm -/۳	۱/۷ \pm -/۲۲
*	۱۱/۷۹ \pm ۱۷۳/۴	۱۵-/۲ \pm ۱۸۲/۳	۲	*	۲/۱ \pm -/۴۲	۲/۱ \pm -/۳۴
*	۱۱/۷۹ \pm ۱۷۳/۴	۱۵-/۲ \pm ۱۸۲/۳	۳	*	۲/۴ \pm -/۵۴	۲/۴ \pm -/۴۳
*	۱۱/۷۹ \pm ۱۷۳/۴	۱۵-/۲ \pm ۱۸۲/۳	۴	*	۲/۵ \pm -/۶۸	۲/۶ \pm -/۵۱
*	۱۱/۷۹ \pm ۱۷۳/۴	۱۵-/۲ \pm ۱۸۲/۳	۵	*	۲/۷ \pm -/۸۳	۲/۷ \pm -/۵۹
*	۱۱/۷۹ \pm ۱۷۳/۴	۱۵-/۲ \pm ۱۸۲/۳	۶	*	۲/۸ \pm -/۹۹	۲/۸ \pm -/۶۸
*	۱۱/۷۹ \pm ۱۷۳/۴	۱۵-/۲ \pm ۱۸۲/۳	۷	*	۲/۸ \pm -/۱۲	۲/۹ \pm -/۷۹
*	۱۱/۷۹ \pm ۱۷۳/۴	۱۵-/۲ \pm ۱۸۲/۳	۸	*	۲/۹ \pm -/۱۳	۲/۹ \pm -/۹۱
*	۱۱/۷۹ \pm ۱۷۳/۴	۱۵-/۲ \pm ۱۸۲/۳	۹	*	۳ \pm ۱/۵	۳ \pm ۱

شناخت

*	۱۱/۷۹±۱۷۳/۴	۱۵۰/۲±۱۸۲/۳	۱۰	*	۳/۱±۱/۷	۳/۱±۱/۲	۱۰		
Area		SD1/ SD2							
*	-۰/۶۹±۱/۳	-۰/۸۰±۱/۲	۱	*	۴۷/۵±۴۹/۳	۴۵/۲±۵۱/۹	۱		
*	-۰/۹±۱/۹	۱/۱±۱/۵	۲	*	۵۹/۴±۶۱/۲	۵۶/۴±۶۴/۹	۲		
*	۱/۱±۲/۴	۱/۳±۱/۸	۳	*	۶۵/۲±۶۵/۸	۶۲/۵±۷۱/۸	۳		
*	۱/۴±۲/۳	۱/۴±۲/۱	۴	*	۶۸/۶±۶۸/۵	۶۶/۶±۷۶/۵	۴		
*	۱/۳±۳/۶	۱/۵±۲/۳	۵	*	۷۱/۹±۷۱/۹	۶۹/۳±۷۹/۹	۵		
*	۱/۴±۴/۲	۱/۶±۲/۶	۶	*	۷۳/۹±۷۳/۷	۷۱/۲±۸۲/۴	۶		
*	۱/۵±۸	۱/۷±۲/۹	۷	*	۷۳/۸±۷۲/۷	۷۱/۹±۸۲/۹	۷		
*	۱/۶±۵/۴	۱/۸±۳/۱	۸	*	۷۲/۶±۷۲/۴	۷۱/۳±۸۱/۵	۸		
*	۱/۷±۶	۱/۹±۳/۴	۹	*	۷۵/۴±۷۳/۶	۷۳±۸۲/۱	۹		
*	۱/۸±۶/۶	۲±۳/۷	۱۰	*	۷۷/۴±۷۵/۷	۷۴/۱±۸۲/۹	۱۰		
RQA		اندیس	SDXX						
Ns	۳۴/۷±۲/۴	۳۴/۷±۲/۵	RR	*	۸۳/۴±۱۲۲/۶	۱۰۶/۳±۱۲۸/۹	۱		
Ns	۳۹/۵±۰/۵۲	۳۹/۶±۰/۴۴	قطعیت	*	۸۳/۴±۱۲۲/۶	۱۰۶/۳±۱۲۸/۹	۲		
Ns	۷۵۶/۴±۱۷۲/۹	۷۷۰/۸±۱۷۴/۷	L	*	۸۳/۴±۱۲۲/۶	۱۰۶/۳±۱۲۸/۹	۳		
Ns	۱۶۲۸/۱±۲۴۱/۱	۱۶۴۸/۱±۲۴۵/۸	Lmax	*	۸۳/۴±۱۲۲/۶	۱۰۶/۳±۱۲۸/۹	۴		
Ns	۱۳۲/۲±۱۴/۲	۱۳۴/۵±۱۳/۳	آنتروپی	*	۸۳/۴±۱۲۲/۶	۱۰۶/۳±۱۲۸/۹	۵		
Ns	۳۹/۹±۰/۲۵	۳۹/۹±۰/۲۲	LAM	*	۸۳/۴±۱۲۲/۶	۱۰۶/۳±۱۲۸/۹	۶		
Ns	۱۶۱۷/۵±۲۱۷/۸	۱۶۳±۲۰/۱/۳	Vmax	*	۸۳/۴±۱۲۲/۶	۱۰۶/۳±۱۲۸/۹	۷		
Ns	۴۵/۲±۲/۳	۴۴/۷±۲/۸	T1	*	۸۳/۴±۱۲۲/۶	۱۰۶/۳±۱۲۸/۹	۸		
Ns	۳۹/۱±۰/۳۵	۳۹/۱±۰/۴۵	Trans	*	۸۳/۴±۱۲۲/۶	۱۰۶/۳±۱۲۸/۹	۹		
			*	۸۳/۴±۱۲۲/۶	۱۰۶/۳±۱۲۸/۹	۱۰			
ضرایب چندجمله‌ای		اندیس	آنتروپی ↓						
Ns	۱۹۳/۹±۰/۴۲×۱۰⁻۵	۵۷/۹±۸۲۸/۱	A	Ns	-۱۵۴/۸±۱۲۵/۶	-۱۶۲/۵±۱۱۸/۸	تغیین		
*	-۱۳۴/۲±۰/۳۱×۱۰⁻۵	-۲۱۴/۹±۰/۲۶×۱۰⁻۵	B	*	-۴/۸×۱۰⁻۵±۶/۷×۱۰⁻۸	-۱/۸×۱۰⁻۸±۲/۸۸×۱۰⁻۸	شانون		
Ns	۹۹۳/۵±۰/۱۱×۱۰⁻۵	+/۱۱×۱۰⁻۵±-/۳۸×۱۰⁻۵	C	*	۷/۳۸×۱۰⁻۵±۸/۹۲×۱۰⁻۵	۵/۳۳×۱۰⁻۵±۸/۸۴×۱۰⁻۵	الرژی لگاریتمی		
**	+/۴۱×۱۰⁻۵±-/۹۲۱×۱۰⁻۵	۶۷/۸±۰/۱۸۹۱×۱۰⁻۵	D	Ns	۵۱/۷±۴۱	۴۷/۷±۴۱/۶	نمونه		
**	۲/۱۰۱×۱۰⁻۴±۳/۴۱×۱۰⁻۴	۱/۲۱۰×۱۰⁻۴±۱/۸۹۱×۱۰⁻۴	E						
ضرایب DFA		اندیس	**	۳۵۳/۶±۱۶۹/۸	۳۰۴/۴±۱۷۲/۳	نمای لیاپاتوف			
Ns	+/۱۴۱×۱۰⁻۵±۲۸۷	+/۱۴۱×۱۰⁻۵±۳۰۸/۴	D	*	۴۲۷/۳±۲۱۷/۱	۴۴۷/۹±۱۸۲/۷	پیچیدگی		
Ns	+/۱۶۱×۱۰⁻۵±۲۸۷	+/۱۶۱×۱۰⁻۵±۳۰۸/۴	a	Ns	۱۰۰±۰	۱۰۰±۰	بعد جاسازی		
معنی دار نبودن: *: P<0.05; **: P<0.01; Ns: نیافر									

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

P	خواب غیرطبیعی	خواب طبیعی	P	خواب غیرطبیعی	خواب طبیعی	طرح پوانکاره ↓ تأخیر	
SD2		↓ تأخیر	SD1		↓ تأخیر		
Ns	۱۵-/۲±۵۸/۲	۱۵۴/۵±۷۴/۸	۱	*	۱۹±۵/۱	۱۸/۳±۲/۷	۱
Ns	۱۴۹/۴±۵۷/۳	۱۵۳/۸±۷۴/۵	۲	*	۲۴/۱±۱۲/۴	۲۳/۲±۷/۲	۲
Ns	۱۴۶/۵±۵۶/۶	۱۵۱/۱±۷۴/۵	۳	*	۳۷/۴±۱۶/۶	۳۶/۴±۱-/۴	۳
Ns	۱۴۴/۴±۵۵/۳	۱۴۹±۷۴/۱	۴	*	۴۴/۳±۲۱/۵	۴۳/۶±۱۴/۱	۴
Ns	۱۴-/۷±۵۴/۵	۱۴۵/۲±۷۲/۹	۵	*	۵۴/۵±۲۴	۵۴/۲±۱۷	۵
Ns	۱۳۸/۳±۵۳/۳	۱۴۲/۵±۷۳/۴	۶	*	۶۰±۲۷/۴	۶۰/۶±۲-/۴	۶
Ns	۱۳۹/۵±۵۲/۵	۱۳۸/۴±۷۳/۲	۷	*	۶۷/۹±۴۹/۵	۶۸/۸±۲۲/۷	۷
Ns	۱۳۲/۱±۵۱/۲	۱۳۶±۷۲/۶	۸	*	۷۲±۳۲/۷	۷۲/۳±۲۵/۵	۸
Ns	۱۳۸/۳±۵۴-/۳	۱۳۲/۳±۷۲/۵	۹	*	۷۸/۳±۳۴/۷	۷۹/۳±۲۷/۳	۹
Ns	۱۲۶/۲±۴۹	۱۳-/۵±۷۱/۹	۱۰	Ns	۸۱/۲±۳۷/۵	۸۲±۲۹/۵	۱۰
Area		SD1/ SD2					
Ns	۹/۶±۶	۹/۳±۶/۶	۱	Ns	۱۳۵/۸±۳۱/۵	۱۳۱/۳±۳۱/۸	۱
Ns	۱۲/۹±۱-/۷	۱۲/۴±۱۱/۵	۲	*	۱۶-۴۳/۵	۱۶-/۶±۳۱/۱	۲
Ns	۱۹/۳±۱۴/۹	۱۸/۹±۱۷/۱	۳	*	۲۵۸/۴±۵۹/۶	۲۵۷/۹±۵۱/۲	۳
Ns	۲۲/۹±۱۸/۳	۲۲/۷±۲۱/۸	۴	*	۳-۴/۷±۷۸/۴	۳۱۱/۹±۶۲/۹	۴
Ns	۲۷/۴±۲۱	۲۷/۴±۲۶/۴	۵	*	۳۸۹/۶±۸۷/۱	۴۰-/۷±۸۳/۱	۵
Ns	۲۹/۶±۲۳/۱	۳-/۲±۲-/۱	۶	*	۴۳۳/۲±۱-۴/۳	۴۵۴/۶±۹۷/۷	۶
Ns	۳۲/۳±۲۴/۸	۳۲/۴±۲۳/۵	۷	*	۵-۹/۳±۱۱۹/۴	۵۳۵/۸±۱۱۹/۲	۷
Ns	۳۳/۷±۲۶/۲	۳۵±۳۶/۱	۸	*	۵۴۶/۱±۱۴۲/۳	۵۷۹/۴±۱۳۳/۵	۸
Ns	۳۵/۴±۲۷/۳	۳۶/۹±۳۸/۳	۹	*	۶۱۵/۸±۱۵۸/۹	۶۴۸/۷±۱۵۲/۸	۹
Ns	۳۶/۲±۲۸/۲	۳۷/۷±۴-	۱۰	Ns	۶۴۵/۷±۱۸-/۳	۶۷۷/۷±۱۶۵	۱۰
RQA		↓ اندیس	SDXX				
*	۶/۷±۲/۳	۷/۱±۲/۷	RR	Ns	۱-۷/۱±۴۱/۱	۱۱-۵۲/۸	۱
Ns	۱۷/۹±۴	۱۸/۴±۴/۴	قطبیت	Ns	۱-۷/۱±۴۱/۱	۱۱-۵۲/۸	۲
Ns	۱۱۷/۷±۱۷/۷	۱۲۳/۶±۲۲/۸	L	Ns	۱-۷/۱±۴۱/۱	۱۱-۵۲/۸	۳
Ns	۲۲-/۴±۱۴۱/۵	۲۶۱/۲±۲۲۸/۳	Lmax	Ns	۱-۷/۱±۴۱/۱	۱۱-۵۲/۸	۴
Ns	۴۴/۱±۱۱	۴۶/۲±۱۳	آنتروپی	Ns	۱-۷/۱±۴۱/۱	۱۱-۵۲/۸	۵
Ns	۱۵/۶±۶/۳	۱۶/۱±۶/۱	LAM	Ns	۱-۷/۱±۴۱/۱	۱۱-۵۲/۸	۶
Ns	۲۱۸±۱-۹/۷	۲۳۵/۱±۱۴۹/۸	Vmax	Ns	۱-۷/۱±۴۱/۱	۱۱-۵۲/۸	۷
Ns	۱۶-/۷±۴۴	۱۵۳/۹±۳۷/۳	T1	Ns	۱-۷/۱±۴۱/۱	۱۱-۵۲/۸	۸
Ns	۲۶/۶±۱/۲	۲۶/۸±۱/۳	Trans	Ns	۱-۷/۱±۴۱/۱	۱۱-۵۲/۸	۹
			Ns	۱-۷/۱±۴۱/۱	۱۱-۵۲/۸	۱۰	
ضرایب چندجمله‌ای		↓ اندیس			↓ آنترورپی		
Ns	-۱۷±۱/-۳۵۱×-۱۰	-۱۷±۹/-۵۸۱×-۱۰	A	Ns	-۱۲۵/۹±۱-۹/۹	-۱۳۴/۱±۱-۴/۵	تخمین
Ns	-۱۷±۵/۶۲۱×-۱۰	-۱۷±۴/-۷۳۱×-۱۰	B	*	۵/۹×۱-۷±۱/۲۲۳×۱-۱۰	۵/۱×۱-۷±۱/۳۲۳×۱-۱۰	شاتون
Ns	۱۰۰±۱/-۶۱×-۱۱	۱۰۰-±۸/۹۵۱×-۱۱	C	Ns	-۱/۴۴۱×-۷±۲/۲۳۲۱×۱-۱۰	-۱/۴۵۱×-۷±۲/۴۹۱×۱-۱۰	انرژی لگاریتمی
Ns	۲۵۶±۸۹/۲	۲۵۷/۱±۸۸/۲	D	Ns	۴۶-±۱۶۲/۹	۴۴۶/۵±۱۵۷/۴	نمونه
Ns	۲۳/۸±۱۱/۹	۲۳/۸±۱۳/۹	E				
ضرایب DFA		↓ اندیس			↓ نمای لیاپانوف		
**	-/۲۴۱×-۷±۲-۴/۸	-/۲۴۱×-۷±۲۶۴/۲	D	Ns	-/۶۱۱×۱-۷±۲۱۸/۵	-/۶۱۱×۱-۷±۲۳۲/۲	پیچیدگی
**	۵-۶/۶±۲-۴/۸	۵۷۸/۱±۲۶۴/۲	a	**	۲/۴۷۱×۱-۷±۱/۸۶۱×۱-۱۰	۱/۸۲۱×۱-۷±۱/۴۱۰-۱۰	بعد جاسازی
SD2		↓ تأخیر	SD1		↓ طرح پوانکاره ↓ تأخیر		

Ns	۱۴۸/۴±۵۷/۵	۱۴۹/۴±۶۵/۸	۱	*	۱۹±۵	۱۸/۴±۲/۷	۱	
Ns	۱۴۷/۵±۶۶/۶	۱۴۸/۷±۶۵/۵	۲	*	۲۴±۱۲/۲	۲۲/۴±۷/۲	۲	
Ns	۱۴۴/۶±۵۵/۹	۱۴۶±۶۵/۴	۳	*	۳۷/۴±۱۶/۳	۲۶/۱±۱۰/۲	۳	
Ns	۱۴۲/۵±۴۹/۶	۱۴۳/۹±۶۴/۸	۴	*	۴۴/۱±۲۱/۱	۴۳/۴±۱۴/۱	۴	
Ns	۱۳۸/۹±۵۳/۷	۱۴۰/۱±۶۴/۵	۵	*	۵۴/۴±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	۱۳۳/۴±۶۳/۵	۷	*	۶۷/۶±۲۹	۶۸/۵±۲۲/۶	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±۲۷/۱	۹	
Ns	۱۲۴/۴±۴۷/۸	۱۲۵/۴±۶۱/۶	۱۰	*	۸۰/۹±۳۶/۹	۸۱/۷±۲۹/۲	۱۰	
Area			SD1/ SD2					
Ns	۹/۵±۵/۹	۹±۶	۱	Ns	۱۳۷/۴±۳۱/۶	۱۳۴/۱±۲۲/۳	۱	
Ns	۱۲/۴±۱/۷	۱۲±۱/۶	۲	*	۱۶۱/۴±۴۱/۲	۱۶۲/۹±۲۸/۳	۲	
Ns	۱۹/۱±۱۴/۸	۱۸/۴±۱۵/۷	۳	Ns	۲۶-/۵±۵۶/۳	۲۶۲/۱±۴۷/۷	۳	
Ns	۲۲/۶±۱۸/۳	۲۱/۸±۲۰/۱	۴	*	۳۰۷±۷۷۲/۹	۳۱۶/۵±۵۷/۱	۴	
Ns	۲۶/۹±۲۱	۲۶/۴±۲۴/۱	۵	*	۳۹۲/۶±۷۹/۹	۴۰۷/۲±۷۶/۲	۵	
Ns	۲۹/۴±۲۲/۲	۲۹/۱±۲۷/۵	۶	*	۴۳۶/۳±۹۴/۹	۴۶۱/۸±۸۸/۷	۶	
Ns	۳۱/۹±۲۴/۹	۳۲±۳-/۵	۷	**	۵۱۲/۷±۱۸/۴	۵۴۵/۲±۱۸/۷	۷	
Ns	۳۳/۴±۲۶/۳	۳۳/۶±۳۲/۸	۸	**	۵۴۹/۴±۱۴۹/۴	۵۸۹/۴±۱۲۱/۳	۸	
Ns	۳۵/۲±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±۲/۵	RR	Ns	۱-۵/۸±۴-/۷	۱-۶/۵±۴۶/۵	۱	
Ns	۱۷/۷±۴/۱	۱۸/۱±۴/۳	قطبیت	Ns	۱-۵/۸±۴-/۷	۱-۶/۵±۴۶/۵	۲	
Ns	۱۱۷/۳±۱۷/۹	۱۲۱/۸±۲۸/۴	L	Ns	۱-۵/۸±۴-/۷	۱-۶/۵±۴۶/۵	۳	
Ns	۳۱۶/۷±۱۴۱	۳۴۷/۳±۲۱۶/۹	Lmax	Ns	۱-۵/۸±۴-/۷	۱-۶/۵±۴۶/۵	۴	
Ns	۴۳/۷±۱۱/۳	۴۵/۵±۱۲/۶	آنتروپی	Ns	۱-۵/۸±۴-/۷	۱-۶/۵±۴۶/۵	۵	
Ns	۱۵/۴±۶/۴	۱۵/۷±۶/۱	LAM	Ns	۱-۵/۸±۴-/۷	۱-۶/۵±۴۶/۵	۶	
Ns	۲۱۴/۴±۱۱/۲	۲۲۷±۱۳۹/۲	Vmax	Ns	۱-۵/۸±۴-/۷	۱-۶/۵±۴۶/۵	۷	
Ns	۱۶۲±۴۶/۵	۱۵۶/۴±۳۹	Tl	Ns	۱-۵/۸±۴-/۷	۱-۶/۵±۴۶/۵	۸	
Ns	۲۶/۸±۱/۳	۲۶/۸±۱/۳	Trans	Ns	۱-۵/۸±۴-/۷	۱-۶/۵±۴۶/۵	۹	
			Ns	۱-۵/۸±۴-/۷	۱-۶/۵±۴۶/۵	۱۰		
ضرایب چندجمله‌ای			↓اندیس	↓آنتروپی				
Ns	$-11\pm1/49\times1^{-10}$ ۱/۵۹×۱-	$-11\pm1/+2\times1^{-10}$ $\Delta/98\times1-$	A	Ns	-۱۳۲±۱۳/۳	-۱۳۴/۹±۱۰۶/۸	تخمین	
*	$-11\pm6/55\times1^{-11}$ $6/1\times1-$	$-11\pm4/77\times1^{-11}$ $-2/4\times1-$	B	Ns	$5/-9\times1^{-5}\pm1/24\times1^{-5}$	$5/-9\times1^{-5}\pm1/19\times1^{-5}$	شاتون	
Ns	۱۰۰±۱/۱۴×۱^{-11}	۱۰۰±۹/۹۶×۱^{-12}	C	Ns	$-1/44\times1^{-2}\pm2/36\times1^{-6}$	$-1/44\times1^{-7}\pm2/5\times1^{-6}$	آنرژی لگاریتمی	
Ns	۳۵۶/۹±۸۷/۸	۳۶۱/۸±۷۷/۹	D	Ns	۴۶۳/۷±۱۵۹/۵	۴۵۴/۶±۱۶۳/۸	نمونه	
Ns	۳۳/۸±۱۱/۵	۳۴/۴±۱۱	E					
ضرایب DFA			↓اندیس	**	۶۹۸/۶±۵۴/۶	۷۱۷/۸±۴۵/۲	نمای لیپاکوف	
*	$+/24\times1^{-2}\pm177/8$	$+/24\times1^{-2}\pm228/4$	D	Ns	$+/61\times1^{-2}\pm240/2$	$+/61\times1^{-2}\pm214/1$	پیچیدگی	
*	$500/2\pm177/8$	$543/9\pm228/4$	a	**	$2/5\times1^{-2}\pm1/83\times1^{-6}$	$1/75\times1^{-2}\pm1/45\times1^{-6}$	بعد چاسازی	

معنی دار نبودن: Ns; *: P<...; **: P<...;

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 poincare 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 poincare 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. Jerritta S, Murugappan M, Wan K, Yaacob S. Classification of emotional states from electrocardiogram signals: a non-linear approach based onhurst. *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.