

تحلیل آنتروپی سیگنال نرخ ضربان قلب در هنگام تفکر خلاق

گلشن انصاری^۱

عطاله عباسی^{۲*}

عاتکه گشوارپور^۳

چکیده

زمینه: خلاقیت را می‌توان یکی از مهم‌ترین رفتارهای شناختی نامید که شکوفایی جوامع و تسلط بر جنبه‌های مختلف زندگی پیرامون در سایه توجه به آن امکان پذیر است. تا کنون در چندین مطالعه، اثر فعالیت‌های خلاقانه بر روی مغز مورد بررسی قرار گرفته است اما تغییرات سیستم خودمختار در این گونه فعالیت‌ها چندان بررسی نشده است. در این مطالعه با تکیه بر روش‌های مبتنی بر استخراج ویژگی‌های آشوبی و غیر خطی از سیگنال نرخ ضربان قلب، تغییرات این سیگنال، قبل و در طول فعالیت خلاقانه بررسی شده است.

هدف: به طور خاص هدف از این مطالعه، بررسی تغییرات کمی آنتروپی در حین تفکر خلاق و مقایسه آن با حالت استراحت و در نظر گرفتن آن به عنوان شاخصی با پیشرفت فعالیت خلاقانه است. روش: آنتروپی تقریبی و آنتروپی فازی دو پارامتری است که از آن‌ها جهت مشخصه‌بندی بی‌نظمی و پیچیدگی سیگنال نرخ ضربان قلب (HR) تحت مراحل مختلف از فعالیت خلاقانه استفاده شد.

یافته‌ها: بررسی سیگنال نرخ ضربان قلب ۵۲ نفر در حین انجام فعالیت‌های سه‌گانه آزمون خلاقیت تورنس (فرم A تصویری) و مقایسه آن با حالت استراحت نشان از افزایش میانگین داده‌های حاصل از آنتروپی تقریبی و آنتروپی فازی با پیشرفت تفکر خلاق داشته است. از طرفی مقایسه هر مرحله از خلاقیت با مرحله پیش از خود در طول هر فعالیت در هر دو نوع آنتروپی، نشان دهنده

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، آزمایشگاه علوم اعصاب محاسباتی، گروه مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

go_ansari@sut.ac.ir

۲. دانشیار، آزمایشگاه علوم اعصاب محاسباتی، گروه مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران (نویسنده‌مسئول)

ata.abbasi@sut.ac.ir

۳. دانشجوی دکتری، آزمایشگاه علوم اعصاب محاسباتی، گروه مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

ak_goshvarpour@sut.ac.ir

افزایش مقدار میانگین در انتهای هر فعالیت است. در فعالیت ۳ از هر دو آنتروپی، مقایسه این مراحل با آخرین مرحله دو دقیقه‌ای پیش از خود نشان از تغییرات کاملاً افزایشی دارد. افزایش این آنتروپی‌ها بی‌نظمی و پیچیدگی سیگنال را در طول فعالیت خلاقانه نشان می‌دهد. نتیجه‌گیری: پژوهش بیانگر آن است که بین سیگنال‌های خودمختار در حالت استراحت و مراحل مختلف از تفکر خلاق تفاوت وجود دارد. بنابراین تحلیل آنتروپی سیگنال نرخ ضربان قلب می‌تواند به عنوان شاخصی برای ارزیابی افراد از نظر خلاقیت مفید واقع شود.

کلید واژه‌ها: خلاقیت، تحلیل غیرخطی، آنتروپی، سیگنال نرخ ضربان قلب.

پیشگفتار

خلاقیت از واژه خلق کردن به مفهوم توانایی ذهن در خلق تفکرات، مفاهیم و ایده‌های بدیع است. نیاز روز افزون بشر به طرح ایده‌هایی نو و به کارگیری آن در جهت گسترش رفاه فردی و اجتماعی قابل اغماض نیست. جذابیت مسأله، برخی محققین را بر آن داشته است که الگوی رفتاری سیگنال‌های بیولوژیکی را در حین تفکر خلاق مورد بررسی قرار دهند. موله^۱ و همکارانش در طی آزمایشی که بر روی ۲۸ نفر با سیگنال EEG و در حین تفکر همگرا و واگرا انجام دادند، پیچیدگی سیگنال EEG را در طول تفکر واگرا بالاتر از تفکر همگرا گزارش نمودند (موله و همکاران، ۱۹۹۹). سرنیواسان^۲ در سال ۲۰۰۷ (سرنیواسان، ۲۰۰۷) با تحلیل سیگنال الکتروانسفالوگرام (EEG) در کنار ERP فعالیت الکتریکی مغز را در حین فعالیت خلاقانه بررسی نمود. این مطالعه زمینه‌ای را برای درک فرایندهای عصبی و شناختی درگیر با خلاقیت فراهم نمود. در سال ۲۰۱۲ (جاک^۳، بندک^۴ و نوبوئر^۵، ۲۰۱۲) رابطه آلفا



1. Molle
2. Srinivasan
3. Jauk
4. Benedek
5. Neubauer

با تفکر همگرا و واگرا بررسی شد. نتایج نشان از هماهنگی آلفا با پیشرفت تفکر واگرا داشت. قبل از آن نیز محققان (فینک^۱، شواب^۲ و پاپوسک^۳، ۲۰۱۱) افزایش توان باند آلفای مغزی در حین فعالیت خلاقانه را گزارش نمودند. هرچند قبلا نیز، رابطه آلفا با تفکر خلاق بررسی شده بود (فینک و همکاران، ۲۰۰۹). مطالعه بر روی EEG در حین تولید ایده‌های خلاق نشان دهنده هماهنگی آلفا با تفکر خلاق در ناحیه‌ی پیشانی و گسترش این هماهنگی در نواحی آهیانه‌ای مغز بود. در مطالعه‌ای که توسط یوننو^۴ و همکارانش در تحلیل سیگنال EEG در حین فعالیت خلاقانه انجام شد، محققان افزایش پیچیدگی سیگنال را در حین خلاقیت گزارش نمودند (یوننو و همکاران، ۲۰۱۴)، در گزارش آنها از آنتروپی چند مقیاسه برای گزارش پیچیدگی سیگنال مغزی استفاده شد. مولد^۵ و بورلسون^۶ از دستگاه‌های حسی مختلفی نظیر ردیاب چشم^۷، دستبند هدایتی پوست^۸ و سنسور EEG برای مدلسازی خلاقیت در طول فعالیت آموزشی استفاده کردند (مولد^۵ و بورلسون، ۲۰۱۵). به این ترتیب تفاوت‌های معناداری در مشخصه‌بندی ویژگی‌های سنسور برای دانش‌آموزان با خلاقیت پایین بر حسب دانش‌آموزان با خلاقیت بالا وجود داشت. در این روش از روش یادگیری ماشین به عنوان یک طبقه‌بندی برای دسته‌بندی این دو گروه از دانش‌آموزان با صحت بالا استفاده شد. با مطالعه‌ای که بر روی ۱۷ مرد و ۱۴ زن توسط فینک و نئوبوئر انجام شد (فینک و نئوبوئر، ۲۰۰۶)، سیگنال EEG از افراد در طول فعالیت خلاقانه‌ی کلامی (نوعی فعالیت که نیاز به توضیح دارد) ارزیابی شد. به این ترتیب پاسخ‌های اصیل با فعالیت آلفای شدیدی در غشای خلفی همراه بودند. در سال ۲۰۱۰ (فینک و همکاران، ۲۰۱۰) افزایش فعالیت در در شبکه‌ی عصبی شامل مناطق گیجگاهی آهیانه‌ای از نیمکره راست، ناحیه پیشانی میانی و

1. Fink
2. Schwab
3. Papousek
4. Ueno
5. Muldner
6. Burlison
7. Eye Tracker
8. skin conductance bracelet

غشای کمربندی خلفی با fMRI^۱ گزارش شد. در مطالعه دیگری که سیگنال EEG را در طول انجام ۳ نوع فعالیت خلاقانه ارزیابی می نمود، تولید ایده‌های خلاقانه با هماهنگی آلفا در فرکانس ۱۰ تا ۱۳ هرتز همراه بود (هائو^۲ همکاران، ۲۰۱۶). نوویسکی با تحلیل سیگنال EEG در طول فعالیت خلاقانه، به مشخصه‌بندی این حالت ذهنی پرداخت. او هماهنگی بالای آلفا را در ناحیه پیشانی و در نیمکره راست در طول تفکر خلاق گزارش نمود (نوویسکی^۳، ۲۰۱۴). در سال ۲۰۱۵ زابلینا^۴ و همکاران، دو نوع فعالیت خلاقانه تفکر واگرا با آزمون تورنس و دستارود خلاقانه در دنیای واقعی^۵ را با سیگنال EEG بررسی نمودند. تفکر واگرا با دروازه حسی انتخابی و فعالیت دیگر با دروازه حسی نشی هر دو با همبستگی درجه صفر در ارتباط بودند. به گونه‌ای که تفکر واگرا دارای ارتباط منفی با نسبت P50^۶ از ۷ ERP بوده و فعالیت دیگر دارای ارتباط مثبت با آن بود. محققان در سال ۲۰۱۴، با انجام فعالیت AUT، مشاهده نمودند که افزایش عمومی در توان آلفا در ابتدای تولید ایده‌های خلاقانه وجود داشت. سپس این توان، کاهش و سرانجام از نو افزایش یافت. این کنش‌ها در نواحی گیج‌گاهی و آهیانه‌ای از نیمکره راست مشهودتر بود. با افزایش مدت زمان تولید ایده‌های خلاقانه، تولید ایده‌های بیشتر با افزایش تقارن نیمکره‌ای (آلفای بیشتری در نیمکره راست نسبت به نیمکره چپ وجود داشت) همراه بود (شواب و همکاران، ۲۰۱۴).

مروری بر پیشینه موضوع نشان می‌دهد که سیگنال EEG با فعالیت خلاقانه همواره مورد توجه محققان بوده است. مطالعه حاضر با در نظر گرفتن عدم مطالعه کافی در زمینه سیگنال‌های خود مختار و ارتباط آن با خلاقیت و به منظور پر کردن بخشی از خلأ موجود در این زمینه انجام شده است. می‌توان اذعان نمود که به هنگام شکل‌گیری تفکر خلاق در

1. Function magnetic resonance image
2. Hao
3. Nowicki
4. Zabelina
5. real-world creative achievement
6. Peak
7. Event Related Potential

مغز، عملکرد مغز بر سیستم عصب خودمختار و نیز بر سایر قسمت‌های بدن تاثیر گذار است. این سیستم به نوبه خود به دو حوزه سمپاتیک و پاراسمپاتیک تقسیم بندی می‌شود که سیستم عصب پاراسمپاتیک عملکرد موثری بر سیگنال قلبی دارد. در این مطالعه پس از استخراج سیگنال نرخ ضربان قلب از سیگنال قلبی، پیچیدگی و رفتار آن در هنگام تفکر خلاق مورد بررسی قرار گرفته است. به طور کلی هدف از این مطالعه، ارزیابی میزان بی‌نظمی در سیگنال نرخ ضربان قلب است که این کار با روش مبتنی بر تحلیل دو نوع آنتروپی صورت پذیرفته است. به طور خلاصه ساختار مطالعه حاضر به شرح زیر است: ابتدا نحوه جمع آوری داده‌گان و روش انجام تحقیق ارائه می‌شود. در بخش نتایج، یافته‌های حاصل از تحلیل سیگنال‌ها نشان داده می‌شود. در انتهای مطالعه، جمع‌بندی و نتیجه‌گیری از آن ارائه می‌شود.

روش پژوهش

در این مطالعه، از دستگاه پاورلب ۱۶ کاناله برای ثبت داده‌های ECG استفاده شد. سیگنال الکتروکاردیوگرام ۵۲ نفر همزمان با انجام آزمون تفکر خلاق تورنس و با نرخ نمونه برداری ۱۰۰۰ هرتز از لید ۲ ثبت شد. سیگنال خروجی از دستگاه تقویت شده و در محیط نرم افزار لب چارت که یک نرم افزار پشتیبان برای نمایش و پردازش انواع مختلفی از داده‌های فیزیولوژیکی است به نمایش در آمد. شکل (۱) نمایی از دستگاه پاورلب را نشان می‌دهد. تمامی سوژه‌ها راست دست بودند و از آن‌ها خواسته شد که قبل از فرایند ثبت از خوردن قهوه امتناع نموده و خواب کافی برای جلوگیری از خستگی داشته باشند. آزمون تفکر خلاق تورنس یک آزمون ۳۰ دقیقه‌ای و شامل سه فعالیت است که هر فعالیت شامل ۱۰ دقیقه است. کل آزمایش شامل ۳۲ دقیقه بود که دو دقیقه شامل حالت استراحت و ۳۰ دقیقه شامل انجام آزمون می‌شد. آنگاه از نرم افزار لب چارت برای استخراج سیگنال نرخ ضربان قلب استفاده شد. پس از پردازش، سیگنال ۱۰ دقیقه‌ای نرخ ضربان قلب به پنج دوره

دو دقیقه‌ای برای بررسی و مقایسه هر کدام از مراحل آزمون تفکر خلاق تورنس با حالت استراحت تقسیم بندی شد. مشخصات مربوط به سوژه‌ها در جدول ۱ ثبت شده است.



شکل ۱. دستگاه پاورلب ۱۶ کاناله

جدول ۱. مشخصات فردی شرکت کنندگان در آزمون خلاقیت تورنس (فرم A تصویری)

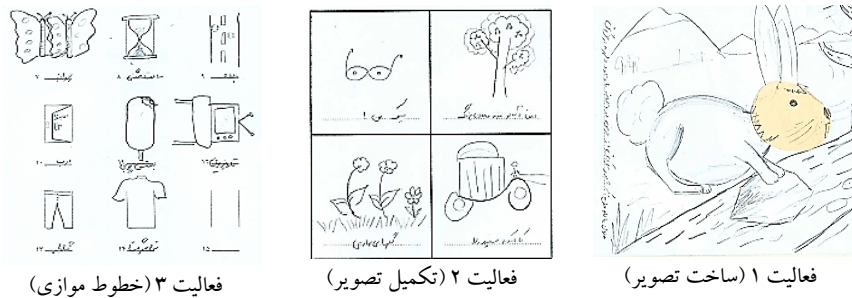
تعداد	۵۲ نفر (۲۶ زن، ۲۶ مرد)
بازه‌ی سنی	۱۹-۲۴
میانگین سنی	$(۲۲ \pm ۱/۳۷)$
وضعیت	سالم، راست دست

آزمون خلاقیت تورنس

پل تورنس^۱ به عنوان یکی از محققان برجسته در زمینه خلاقیت، از این موضوع به عنوان فرایند حساس شدن به مسائل یاد می‌کند (آفیدا^۲ و همکاران، ۲۰۱۲). او با الهام گرفتن از مدل تفکر واگرای گیلفورد، یکی از بهترین و جامع ترین آزمون‌های خلاقیت را طراحی نمود. آزمون خلاقیت او دارای ۳ فعالیت ساخت تصویر (تصویری) که از یک شکل بی معنا ساخته می‌شود، تکمیل تصویر (تکمیل ۱۰ تصویر ناقص به صورت خلاقانه) و خطوط موازی (خطوط تکراری و موازی) است و زمان لازم برای اتمام هر فعالیت در حدود ۱۰ دقیقه

1. Paul Torrance
2. Afida

است. از نظر تورنس؛ ۵ عامل سیالی، اصالت، بسط، چکیده وار بودن عنوان و تاخیر در به اتمام رسیدن در شکل‌گیری فرایند خلاقانه موثر است (پریمی^۱ و همکاران، ۲۰۱۳). سیالی توانایی تولید ایده‌های مختلف و متنوع توسط افراد است. اصالت توانایی پدیدار کردن ایده‌ها با مفهومی فراتر از معمول است. بسط ایده‌های فرعی و جزئیاتی است که به ایده اصلی اضافه می‌شود. چکیده‌وار بودن عنوان، توانایی به کار بردن عناوینی است که فراتر از یک عنوان بندی ساده و مختصر هستند. تأخیر در به اتمام رسیدن، توانایی ایجاد تأخیر در بسته شدن سریع اشکال است که از این عامل تحت عنوان گشوده ذهنی نیز یاد می‌شود. در این پژوهش، دفترچه‌های آزمون همراه با یک مداد در اختیار شرکت‌کنندگان قرار می‌گرفت. آزماینده همزمان با دادن توضیحات مناسب در مورد هر یک از فعالیت‌های تورنس سعی می‌نمود که جوئی راحت و لذت بخش را برای افراد فراهم نماید. به گونه‌ای که از به کار بردن کلماتی نظیر آزمون یا تست که ممکن است حالاتی چون تهدید یا تشویش را در برخی به همراه داشته باشد خودداری می‌نمود. سپس از آن‌ها خواسته می‌شد که در مورد هر فعالیت به مسائلی نو و بدیع بیاندیشند و عنوان مناسبی برای آن انتخاب کنند. از یک زمان سنج برای کنترل زمان فعالیت‌ها استفاده می‌شد. هر کدام از فعالیت‌های آزمون تورنس در شکل (۲) آورده شده است.



شکل ۲. فعالیت‌های سه گانه‌ی آزمون خلاقیت تورنس

1. Primi



آنتروپی تقریبی^۱

آنتروپی تقریبی اندازه بی‌نظمی و پیچیدگی سیگنال را نشان می‌دهد که اولین بار توسط پینکوس معرفی شد. (پینکوس، ۱۹۹۱) این آنتروپی به طور گسترده‌ای در تحلیل حوزه‌های قلبی به کار رفته است (پینکوس، ۱۹۹۱، ۱۹۹۲؛ فیشر، ۱۹۹۳؛ بکرز، رامائکرز و اوبرت، ۲۰۰۱). میزان درجه‌ای که رخداد یک مقدار به مقادیر پیشین در ورودی وابسته است توسط آنتروپی تقریبی اندازه‌گیری می‌شود. مقادیر پایین این آنتروپی نظم را نشان می‌دهد در حالی که مقادیر بالای آن، قابلیت پیش‌بینی پایین و بی‌نظمی را نشان می‌دهد (حاسان و همکاران، ۲۰۱۱). مقاوم و غیر حساس بودن آنتروپی تقریبی به آرتیفکت‌های کوچک و بزرگ، آن را برای استفاده در حوزه بیولوژیکی مناسب ساخته است (سوزا و همکاران، ۲۰۰۴).

در این گزارش برای محاسبه آنتروپی تقریبی ابتدا ۲ پارامتر m و r به صورت بهینه انتخاب شدند. با دادن n نقطه داده $u(1); u(2) \dots u(N)$ از سیگنال، پارامتر $ApEn(m, r)$ به مانند زیر تعریف می‌شود:

۱- سری برداری $x(1) \dots x(N-m+1)$ که برای $i = 1, \dots, N-m+1$

به صورت $x(i) = [u(i) \dots u(i+m-1)]$ تعریف می‌شود به دست می‌آید.

۲- فاصله بین بردارهای $x(i)$ و $x(j)$ ، یعنی $d[x(i), x(j)]$ ماکزیمم فاصله در

اندازه‌گیری بین اجزای اسکالر مربوطه آن‌ها به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$d[x(i); x(j)] = \max(|u(i+k-1) - u(j+k-1)|) = 1, \dots, m$$

فرمول (۱)

۳- بر اساس این فاصله، اندازه همبستگی بعدی تعریف می‌شود:

$$C_i^m(r) = \frac{\text{number of } j \leq N-m+1 \text{ such that } d[x(i), x(j)] \leq r}{(N-m+1)}$$

فرمول (۲)

1. Approximate Entropy

۴- آنگاه میانگین لگاریتم طبیعی $C_i^m(r)$ برای تمام i ها محاسبه می شود:

$$\Phi^m(r) = \frac{1}{N-m+1} \sum_{i=1}^{N-m+1} \ln C_i^m(r) \quad \text{فرمول (۳)}$$

سرانجام آنتروپی تقریبی به صورت زیر به دست می آید:

$$ApEn(m, r) = \begin{cases} \lim_{N \rightarrow \infty} [\Phi^m(r) - \Phi^{m+1}(r)] & \text{for } m > 0 \\ \lim_{N \rightarrow \infty} [-\Phi^1(r)] & \text{for } m = 0 \end{cases} \quad \text{فرمول (۴)}$$

اما از آنجایی که N در عمل یک مقدار متناهی است تخمین آماری بر طبق معادله (۵) محاسبه می شود:

$$ApEn(m, r) = \begin{cases} \Phi^m(r) - \Phi^{m+1}(r) & \text{for } m > 0 \\ -\Phi^1(r) & \text{for } m = 0 \end{cases} \quad \text{فرمول (۵)}$$

توصیه می شود که در کاربردهای مربوط به نرخ ضربان قلب m برابر با ۱، ۲ یا ۳ و r بین ۱۰٪ تا ۲۵٪ از انحراف معیار داده منظور شود (پینکوس و همکاران، ۱۹۹۱). در این مطالعه پارامترهای آنتروپی تقریبی $m=1$ و $r=0.2 * \text{std}(\text{data})$ انتخاب شدند.

آنتروپی فازی^۱

روش جدیدی است که برای یافتن آنتروپی، تابع عضویت فازی را جایگزین تابع پله‌ای یگه^۲ می‌نماید. این نوع آنتروپی تشابه محلی و سراسری را در سری های زمانی ترکیب می‌نماید و برای سری های زمانی با پیچیدگی ذاتی تفکیک خوبی را ارائه می‌دهد. سه پارامتر اولیه r ، m و N به هنگام محاسبه‌ی آنتروپی فازی باید در نظر گرفته شوند. آلمیرانتیآرنا و همکارانش از آنتروپی فازی در تحلیل نرخ ضربان قلب استفاده کرده بودند (آلمیرانتیآرنا^۳، کلارا^۴ و لویز^۵، ۲۰۱۲).

1. Fuzzy Entropy
2. Heaviside step function
3. Almirantearena
4. Clara
5. Lopez

آنتروپی فازی بردارهای $N - m$ به طول m را در نظر می‌گیرد. x_i^{m+1} و x_i^m برای تمام $1 \leq i \leq N - m$ ها تعریف می‌شود. برای سری زمانی $\{u(i); 1 \leq i \leq N\}$ شکل بردارها طبق معادله (*) بیان می‌شود.

$$\begin{aligned} x_i^m &= \{u(i), u(i+1), \dots, u(i+m-1)\} - u_0(i), i \\ &= 1, \dots, N - m + 1 \end{aligned} \quad \text{فرمول (*)}$$

که x_i^m نشان دهنده m مقدار متوالی از u است. با شروع از نقطه آغازین i و کنار گذاشتن خط مبنا:

$$u_0(i) = m^{-1} \sum_{j=0}^{m-1} u(i+j)$$

فرمول (۷)

بردار x_i^m درجه تشابه و همسانی را D_{ij}^m از بردار همسایگی اش x_j^m حساب می‌کند که به وسیله‌ی یک تابع فازی تعریف می‌شود.

$$D_{ij}^m = \mu(d_{ij}^m, r) \quad \text{فرمول (۸)}$$

که d_{ij}^m ماکزیمم قدر مطلق تفاضل اجزاء اسکالر متناظر x_j^m و x_i^m است. برای هر بردار $x_i^m (i = 1, \dots, N - m + 1)$ میانگین‌گیری از تمام درجات همسانی بردارهای همسایگی $x_j^m (j = 1, \dots, N - m + 1), j \neq i$ خواهیم داشت:

$$\varphi_i^m(r) = (N - m - 1)^{-1} \sum_{j=1, j \neq i}^{N-m} D_{ij}^m \quad \text{فرمول (۹)}$$

با بازنویسی معادله خواهیم داشت:

$$\varphi^m(r) = (N - m)^{-1} \sum_{i=1}^{N-m} \varphi_i^m(r) \quad \text{فرمول (۱۰)}$$

$$\varphi^{m+1}(r) = (N - m)^{-1} \sum_{i=1}^{N-m} \varphi_i^{m+1}(r) \quad \text{فرمول (۱۱)}$$

سپس پارامتر آتروپی فازی از یک سری زمانی به صورت معادله (۱۲) بیان می‌شود:

$$\text{FuzzyEn}(m, r) = \lim_{N \rightarrow \infty} (\ln \varphi^m(r) - \ln \varphi^{m+1}(r))^{-1} \sum_{i=1}^{N-m} \varphi_i^m(r) \quad (12)$$

و برای مجموعه داده‌های با طول متناهی N این رابطه به صورت معادله (۱۳) است:

$$\text{FuzzyEn}(N, m, r) = \ln \varphi^m(r) - \ln \varphi^{m+1}(r) \quad (13)$$

آتروپی فازی دارای سازگاری نسبی قوی بوده و کمتر به طول داده وابسته است. آزادی بیشتری در انتخاب پارامترها داشته و مقاومت بالایی در برابر نویز دارد (چن و همکاران، ۲۰۰۹).

در این مطالعه، $m=2$ و $r=0.2 * \text{std}(\text{data})$ (که std بیانگر انحراف معیار است) به

صورت بهینه انتخاب شدند.

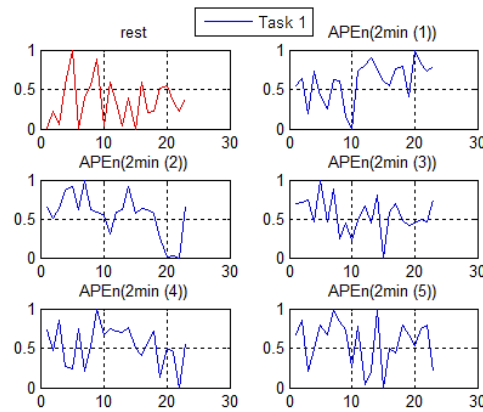
آزمون مورد استفاده در این پژوهش، آزمون ویلکاکسون یکی از آزمون‌های آماری است که به صورت گسترده‌ای در مطالعات رفتاری مورد استفاده قرار می‌گیرد (هنکاک^۱ و مکنوتن^۲، ۱۹۸۶؛ هیون^۳، چانگک^۴ و لی^۵، ۲۰۰۵؛ ریگز^۶ و همکاران، ۱۹۹۸؛ توچا^۷ و لانگ^۸، ۲۰۰۴). یک آزمون غیرپارامتریک که برای مقایسه تغییرات دو وضعیت متفاوت از یک مجموعه شرکت کننده به کار می‌رود. اگر تغییر سیستماتیک بین دو وضعیت موجود بود اکثر رتبه‌های بالا به یک وضعیت و اکثر رتبه‌های پایین نیز به وضعیت دیگری تعلق می‌گیرند. اگر دو وضعیت مشابه باشند توزیع رتبه‌های بالا و پایین برای هر دو وضعیت به صورت یکسان خواهد بود. این تفاوت‌ها در قالب یک احتمال (عدد p) بیان می‌شود. عدد p به صورت شهودی میزان معنادار بودن تفاوت‌ها را بین دو وضعیت نشان می‌دهد به طوری

1. Hancock
2. McNaughton
3. Hyun
4. Chung
5. Lee
6. Riggs
7. Tucha
8. Lange

که نزول این عدد به کوچکتر از $0/05$ دلالت بر یک تفاوت معنادار می‌کند. ما در این پژوهش از آزمون آماری ویلکاکسون استفاده نمودیم؛ زیرا این آزمون ناپارامتری بوده و نیازی به توزیع نرمال دادگان ندارد. همچنین به تعداد نمونه‌های گروه‌ها حساس نیست.

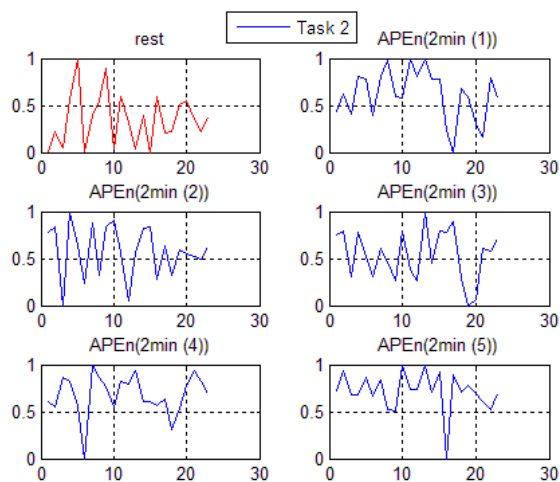
بحث و نتیجه گیری

در شکل‌های ۳-۵ آنتروپی تقریبی برای یک فرد در حالت استراحت و دوره‌های دو دقیقه‌ای اول تا پنجم برای فعالیت ۱ تا ۳ نشان داده شده است. تحلیل آنتروپی تقریبی برای هر سه فعالیت از آزمون خلاقیت تورنس و مقایسه دو دقیقه اول تا پنجم با حالت استراحت نشان از افزایش دامنه این پارامتر در نقطه شروع، با پیشرفت فعالیت خلاقانه داشت.

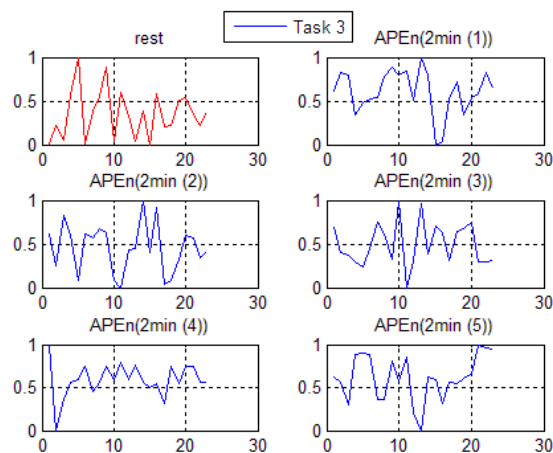


شکل ۳. الگوی مقادیر آنتروپی تقریبی در فعالیت ۱ در دوره‌های دو دقیقه‌ای (سوژه شماره ۲)، محور عمودی دامنه آنتروپی و محور افقی تعداد پنجره‌ها را نشان می‌دهد.





شکل ۴. الگوی مقادیر آنتروپی تقریبی در فعالیت ۲ در دوره‌های دو دقیقه‌ای (سوژه شماره ۲)، محور عمودی دامنه آنتروپی و محور افقی تعداد پنجره‌ها را نشان می‌دهد.



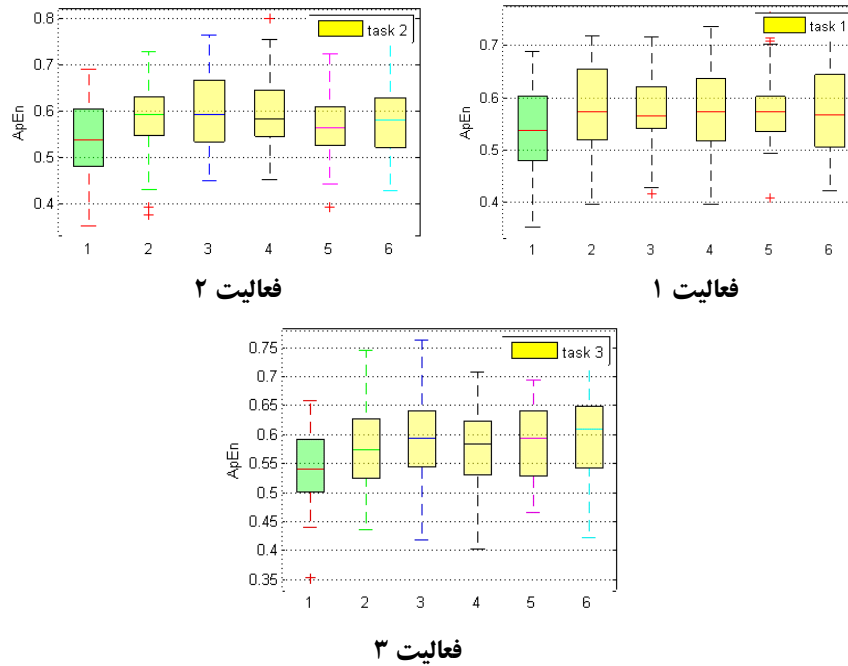
شکل ۵. الگوی مقادیر آنتروپی تقریبی در فعالیت ۳ در دوره‌های دو دقیقه‌ای (سوژه شماره ۲)، محور عمودی دامنه آنتروپی و محور افقی تعداد پنجره‌ها را نشان می‌دهد.

همان طور که مشاهده می‌شود آنتروپی تقریبی ابتدا در نقطه شروع نسبت به حالت استراحت افزایش یافته و سپس در انتهای فعالیت خلاقانه، این پارامتر به مقدار اولیه خود؛

یعنی مقدار تقریبی حالت استراحت نزدیک می‌شود. در مورد فعالیت ۳، این پارامتر در نقطه شروع برای برخی سوژه‌ها نرخ کاهشی داشت.

برای به دست آوردن یک الگوی خاص و تعمیم آن به کل افراد، نمودار جعبه‌ای این مقادیر ترسیم شد. این مقادیر در شکل ۶ برای دوره‌های ۲ دقیقه‌ای و برای فعالیت ۱ تا ۳ نشان داده شده است.

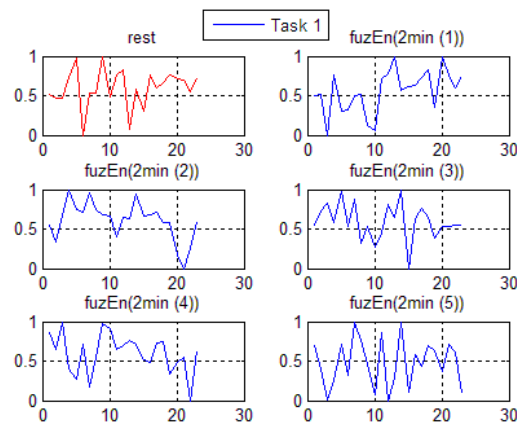
نمودار سبز نشان دهنده حالت استراحت و نمودارهای زرد از ۲ تا ۶ به ترتیب نشان دهنده دوره‌های دو دقیقه‌ای اول تا پنجم هستند.



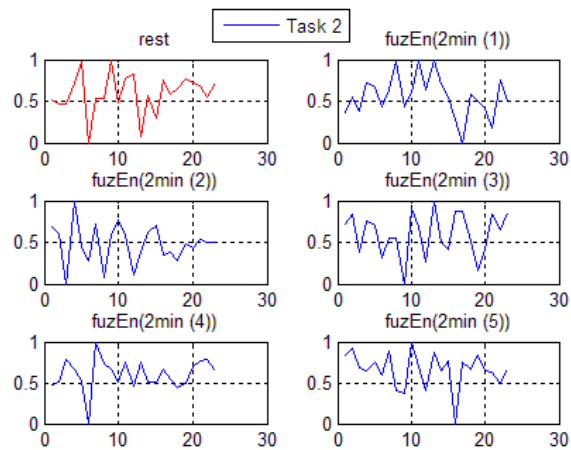
شکل ۶. نمودار جعبه‌ای آنتروپی تقریبی برای ۵۲ سوژه در فعالیت ۱ تا ۳. نمودار سبز نشان دهنده حالت استراحت و نمودارهای زرد از ۲ تا ۶ به ترتیب نشان دهنده دوره‌های دو دقیقه‌ای اول تا پنجم می‌باشند. محور عمودی میانگین و محور افقی زمان؛ یعنی هر یک از مراحل دو دقیقه‌ای با حالت استراحت را نشان می‌دهد.

تحلیل الگوها بیانگر افزایش مقدار میانگین برای ۵۲ سوژه نسبت به حالت استراحت است. از طرفی مقایسه هر مرحله خلاقیت با آخرین دو دقیقه مرحله قبل، تغییرات ثابتی را برای فعالیت ۱ نشان می‌دهد. در حالی که در فعالیت ۲، مقادیر میانگین در دو دقیقه دوم نسبت به دو دقیقه اول افزایش یافته و برای دو دقیقه سوم و چهارم، تغییرات کاهشی را دنبال می‌کند. این مقدار در دو دقیقه پنجم؛ یعنی انتهای فعالیت خلاقانه، دوباره افزایش می‌یابد. در فعالیت ۳، تمامی مراحل دو دقیقه‌ای به جز دو دقیقه سوم، تغییرات افزایشی را نسبت به دو دقیقه قبل از خود دنبال می‌کنند.

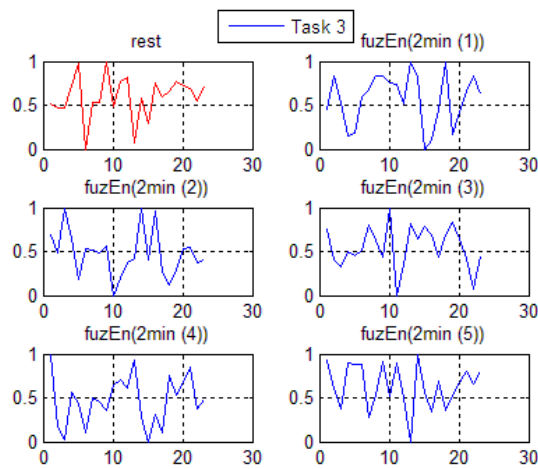
در شکل‌های ۹-۷ آنتروپی فازی برای یک فرد در حالت استراحت و دوره‌های دو دقیقه‌ای اول تا پنجم برای فعالیت ۱ تا ۳ نشان داده شده است.



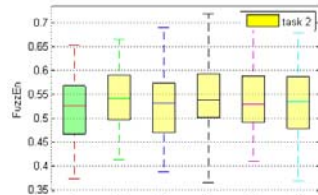
شکل ۷. الگوی مقادیر آنتروپی فازی در فعالیت ۱ در دوره‌های دو دقیقه‌ای (سوژه شماره ۲)، محور عمودی دامنه آنتروپی و محور افقی تعداد پنجره‌ها را نشان می‌دهد.



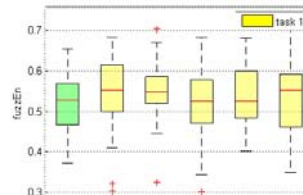
شکل ۸. الگوی مقادیر آنروپی فازی در فعالیت ۲ در دوره‌های دو دقیقه‌ای (سوژه شماره ۲)، محور عمودی دامنه آنروپی و محور افقی تعداد پنجره‌ها را نشان می‌دهد.



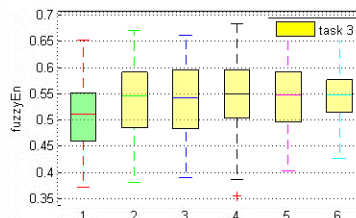
شکل ۹. الگوی مقادیر آنروپی فازی در فعالیت ۳ در دوره‌های دو دقیقه‌ای (سوژه شماره ۲)، محور عمودی دامنه آنروپی و محور افقی تعداد پنجره‌ها را نشان می‌دهد.



فعالیت ۲



فعالیت ۱



فعالیت ۳

شکل ۱۰. نمودار جعبه‌ای آنزیمی فازی برای ۵۲ سوژه در فعالیت ۱ تا ۳. نمودار سبز نشان دهنده حالت استراحت و نمودارهای زرد از ۲ تا ۶ به ترتیب نشان دهنده دوره‌های دو دقیقه‌ای اول تا پنجم می‌باشند. محور عمودی میانگین و محور افقی زمان؛ یعنی هر یک از مراحل دو دقیقه‌ای با حالت استراحت را نشان می‌دهد.

نمودارهای جعبه‌ای آنزیمی فازی برای هر سه فعالیت و ۵۲ سوژه در شکل ۱۰ نمایش داده شده‌اند.

تحلیل شکل آنزیمی فازی در ۵۲ سوژه نشان از تغییرات افزایشی میانگین ویژگی در حالت خلایق نسبت به زمان استراحت را داشته است. با مقایسه دو آنزیمی می‌توان نتیجه گرفت که فعالیت خلایق در اغلب سوژه‌ها به صورت نمودار دامنه مقادیر آنزیمی در نقطه شروع الگو، خود را نشان می‌دهد. ولی آنزیمی فازی با وجود تغییرات افزایشی در میانگین ویژگی، در اغلب سوژه‌ها دارای چنین نموداری نیست. دو دقیقه دوم نسبت به دو دقیقه اول از فعالیت ۱ هیچ تغییری نداشته، در حالی که مقدار میانگین در دو دقیقه سوم کاهش یافته و در دو دقیقه چهارم این مقدار کاهشی را دنبال می‌کند و بالاخره در دو دقیقه پنجم از فعالیت،

این مقدار افزایش پیدا می کند. تغییرات مراحل دو دقیقه‌ای نسبت به مرحله قبل از خود در فعالیت ۲ دارای یک الگوی افزایشی کاهشی بوده و در فعالیت ۳ این الگو برای هر مرحله دو دقیقه‌ای نسبت به مرحله پیش از خود کاملاً افزایشی است. آزمون آماری ویلکاکسون برای بررسی معنادار بودن تفاوت میان فعالیت‌ها استفاده شد که نتایج در جداول ۲ تا ۳ آورده شده است.

جدول ۲. گزارش مقادیر p آنروپی تقریبی بین حالت استراحت و فعالیت تفکر خلاق تورنس

فعالیت ۱	فعالیت ۲	فعالیت ۳	آنروپی تقریبی
<۰/۰۵	<۰/۰۵	۰/۰۵۵۷	حالت استراحت و دو دقیقه اول
<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	حالت استراحت و دو دقیقه دوم
۰/۰۶۱۵	<۰/۰۵	۰/۰۵۷۳	حالت استراحت و دو دقیقه سوم
<۰/۰۵	۰/۱۴۲۲	<۰/۰۵	حالت استراحت و دو دقیقه چهارم
<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	حالت استراحت و دو دقیقه پنجم

جدول فوق مقادیر معنا داری را با آزمون آماری ویلکاکسون برای بسیاری از حالات تفکر خلاق در مقایسه با حالت استراحت نشان می دهد. به طوری که این مقادیر در مقایسه معنا دار هستند ($P < 0/05$) حالت استراحت و دو دقیقه دوم و پنجم برای هر سه فعالیت .

جدول ۳. گزارش مقادیر p آنروپی فازی بین حالت استراحت و فعالیت تفکر خلاق تورنس

فعالیت ۱	فعالیت ۲	فعالیت ۳	آنروپی فازی
<۰/۰۵	۰/۰۷۶۱	۰/۱۰۱۷	حالت استراحت و دو دقیقه اول
<۰/۰۵	۰/۵۲۸۷	۰/۰۷۲۰	حالت استراحت و دو دقیقه دوم
۰/۷۳۹۱	۰/۰۷۴۴	۰/۰۷۵۸	حالت استراحت و دو دقیقه سوم
۰/۲۰۴۲	۰/۱۷۳۲	۰/۰۵۱۴	حالت استراحت و دو دقیقه چهارم
۰/۲۹۵۸	۰/۱۵۱۴	<۰/۰۵	حالت استراحت و دو دقیقه پنجم



مقادیر آنتروپی فازی برای مقادیر p برای حالت استراحت و دو دقیقه اول و دوم در فعالیت ۱ و نیز حالت استراحت و دو دقیقه پنجم در فعالیت ۳ نتایج معنا داری را با آزمون آماری نشان داد.

تبیین تفاوت ها در هر یک از مراحل دو دقیقه ای نسبت به دو دقیقه پیش از خود در جداول ۴ تا ۵ آورده شده است.

جدول ۴. گزارش مقادیر p آنتروپی تقریبی بین مراحل دو دقیقه ای از تفکر خلاق تورنس

فعالیت ۱	فعالیت ۲	فعالیت ۳	آنتروپی تقریبی
۰/۴۵۰۶	۰/۲۲۴۴	<۰/۰۵	دو دقیقه اول و دوم
۰/۹۸۸۷	۰/۹۹۰۲	<۰/۰۵	دو دقیقه دوم و سوم
۰/۶۳۲۳	<۰/۰۵	۰/۴۷۹۳	دو دقیقه سوم و چهارم
<۰/۰۰۰۰۱	۰/۴۷۹۲	<۰/۰۵	دو دقیقه چهارم و پنجم

جدول ۵. گزارش مقادیر p آنتروپی فازی بین مراحل دو دقیقه ای از تفکر خلاق تورنس

فعالیت ۱	فعالیت ۲	فعالیت ۳	آنتروپی فازی
۰/۹۷۳۸	۰/۹۶۸۴	<۰/۰۵	دو دقیقه اول و دوم
<۰/۰۵	۰/۶۹۹۷	<۰/۰۵	دو دقیقه دوم و سوم
۰/۰۴۳۹	۰/۶۵۶۶	۰/۹۷۱۳	دو دقیقه سوم و چهارم
<۰/۰۰۰۰۱	۰/۶۰۷۴	<۰/۰۵	دو دقیقه چهارم و پنجم

با توجه به نتایج جداول ۴ تا ۵ بیشترین مقادیر معنا دار در مقایسه مراحل دو دقیقه ای نسبت به مرحله ی پیش از خود، مربوط به فعالیت ۳ بوده و نیز در گذر از دو دقیقه چهارم به پنجم در طول فعالیت ۱ برای هر دو نوع آنتروپی، نتایج معنادار وجود دارد. در حالی که برای فعالیت ۲ با دو نوع آنتروپی به جز در دو دقیقه سوم و چهارم برای آنتروپی تقریبی، هیچ مقدار معناداری مشاهده نشد.

بحث و نتیجه گیری

در این مقاله، تحلیل ویژگی‌های غیرخطی از سیگنال نرخ ضربان قلب در حین فعالیت خلاقانه انجام شد. این مطالعه، گامی در راستای مطالعه واکنش سیگنال‌های خودمختار به تفکر خلاق و پر کردن خلأ موجود در این زمینه برمی‌دارد. برای این منظور، آنتروپی تقریبی و آنتروپی فازی سیگنال نرخ ضربان قلب ۵۲ نفر در حین فعالیت خلاقانه بررسی شد. هر کدام از فعالیت‌های تورنس به ۵ مرحله با طول ۲ دقیقه تقسیم بندی شد. مقایسه هر کدام از مراحل با حالت استراحت نشان از افزایش مقادیر آنتروپی تقریبی در حین فعالیت خلاقانه داشت. آزمون آماری ویلکاکسون نتایج معناداری را بین فعالیت‌های خلاقانه و حالت استراحت برای آنتروپی تقریبی نشان داد. به طوری که بالاترین مقادیر معنادار مربوط به آنتروپی تقریبی و پس از آن آنتروپی فازی است. در مقایسه‌ی هر کدام از مراحل دو دقیقه‌ای با مرحله قبل از خود، فعالیت ۳ (خطوط موازی) در هر دو نوع آنتروپی، همواره دارای یک الگوی افزایشی بود. با توجه به نتایج آزمون آماری، در گذر از دو دقیقه چهارم به پنجم در طول فعالیت ۱ یک تفاوت کاملاً معنادار وجود دارد که نشان دهنده افزایش آنتروپی در انتهای فعالیت خلاقانه است. افزایش مقادیر میانگین این دو نوع آنتروپی نشان دهنده افزایش پیچیدگی سیگنال‌های خودمختار در طول فعالیت خلاقانه است. به طوری که سیگنال نرخ ضربان قلب در طول خلاقیت از به یک نوع بی‌نظمی می‌رسد. اگرچه آنتروپی فازی دارای مزایایی نسبت به آنتروپی‌های معمول است ولی همان‌طور که قبلاً نیز ذکر شد، خصوصیات آنتروپی تقریبی (مقاوم و غیر حساس بودن آنتروپی تقریبی به آرتیفکت‌های کوچک و بزرگ) آن را برای استفاده در حوزه‌های بیولوژیکی و مخصوصاً تحلیل سیگنال نرخ ضربان قلب مناسب ساخته است (سوزا و همکاران، ۲۰۰۴). از این رو آنتروپی تقریبی دارای پاسخ دهی مناسب‌تری نسبت به آنتروپی فازی بوده است. پیش از این نیز محققانی چون یونسو و همکاران به پیچیدگی سیگنال‌هایی چون EEG در طول فعالیت خلاقانه با معیار آنتروپی پی

برده بودند (یوئو و همکاران، ۲۰۱۴). موله و همکارانش نیز پیچیدگی سیگنال EEG را در طول تفکر واگرا گزارش نمودند (موله و همکاران، ۱۹۹۹). در سال ۲۰۱۰ نیز (فینک و همکاران، ۲۰۱۰) نوعی افزایش و پیچیدگی در فعالیت در مناطق عصبی شامل مناطق گیجگاهی آهیانه‌ای از نیمکره راست، ناحیه‌ی پیشانی میانی و غشای کمربندی خلفی مشاهده شد. حال آنکه در این پژوهش، پیچیدگی سیگنال نرخ ضربان قلب با تفکر خلاقانه گزارش شد. تحلیل سایر ویژگی‌های غیرخطی می‌تواند در راستای تحقق هدفمندی سیگنال‌های بیولوژیکی و از جمله سیگنال‌های خود مختار در حین فعالیت خلاقانه مفید باشد.

پیشنهادات و کارهای آتی

بررسی انواع دیگر آنتروپی با سیگنال‌های خودمختار و نیز تحلیل تغییرات آنتروپی‌های بررسی شده در این مطالعه، با دیگر سیگنال‌های بیولوژیکی در حین انجام فعالیت خلاقانه در کارهای آتی پیشنهاد می‌شود.

تشکر و قدردانی

این پژوهش برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی سهند تبریز است. نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از همکاری و مساعدت کلیه دانشجویان دانشگاه صنعتی سهند و خانم بهجت محمدی که در پیشرفت این پژوهش کمک نمودند سپاسگزاری نمایند.

منابع

- Afida. A, Hussain. A, Marzuki mustaffa. M, Abdul Majid. R. (2012). Assessment of creativity in electrical engineering. *Social and behavioral sciences*, 60, 463-467.
- Almirantearena. F, Clara. F, Burillo Lopez. P. (2012). Study of the linguistic variables of heart rate variability using fuzzy entropy. *9th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discover*.
- Beckers. F, Ramaekers. D, Aubert. A. (2001). Approximate Entropy of Heart Rate Variability: Validation of Methods and Application in Heart Failure. *Cardiovascular Engineering*. 1(4), 177-182.
- Chena. W, Zhuang. J, Yu. W, Wang. Z (2009). Measuring complexity using FuzzyEn, ApEn, and SampEn. *Medical Engineering & Physics*, 31, 61-68.
- Fink A, Neubauer. A.C. (2006). EEG alpha oscillations during the performance of verbal creativity tasks: Differential effects of sex and verbal intelligence. *International Journal of Psychophysiology*, 62(1), 46-53.
- Fink. A, Grabner. R. H, Benedek. M, Reishofer. G, Hauswirth. V, Fally. M, Neuper. C, Ebner. F, Neubauer. A. C. (2009). The Creative Brain: Investigation of Brain Activity during Creative Problem Solving by Means of EEG and fMRI. *Human Brain Mapping*, 30, 734-748.
- Fink A, Schwab. D, Papousek. I. (2011). Sensitivity of EEG upper alpha activity to cognitive and affective creativity interventions. *International Journal of Psychophysiology*, 82 (3), 233-239.
- Fink A., Grabner R. H., Gebauer D., Reishofer G., Koschutnig K., Ebner F. (2010). Enhancing creativity by means of cognitive stimulation: Evidence from an fMRI study. *NeuroImage*, 52(4), 1687-1695.
- Fleisher. L.A, Pincus. S.M, Rosenbaum. S.H. (1993). Approximate entropy of heart rate as a correlate of postoperative ventricular

- dysfunction. *Anesthesiology*. 78(4), 683-92.
- Hao. N, Ku. Y, Liu. M, Hu. Y, Bodner. M, Grabner. R. H, Fink. A. (2016). Reflection enhances creativity: Beneficial effects of idea evaluation on idea generation. *Brain and Cognition*. 103, 30-37.
- Hassan. M, Terrien. J, Marque. C, Karlsson.B. (2011). Comparison between approximate entropy, correntropy and time reversibility: Application to uterine electromyogram signals. *Medical Engineering & Physics*.33 (8), 980-6.
- Hancock. S, McNaughton. L. (1986). Effects of fatigue on ability to process visual information by experienced orienteers. *Percept Mot Skills*. 62(2), 491-8.
- Hyun. M.S, Chung. H, Lee. Y. (2005). The effect of cognitive-behavioral group therapy on the self-esteem, depression, and self-efficacy of runaway adolescents in a shelter in South Korea. *Appl Nurs Res*. 18(3), 160-6.
- Jauk. E, Benedek. M, Neubauer. A. C. (2012). tackling creativity at its roots: Evidence for different patterns of EEG alpha activity related to convergent and divergent modes of task processing. *International Journal of Psychophysiology*, 84, 219–225.
- Molle M, Marshal. L, Wolf. B, Fehm. H. L, Born. J. (1999). EEG complexity and performance measures of creative thinking. *Psychophysiology*, 36(1), 95–104.
- Muldner. K, Burlison.W. (2015). Utilizing sensor data to model students' creativity in a digital environment. *Computers in Human Behavior*. 42, 127-137.
- Nowicki. E. (2014). Creativity as a Mental State: An EEG Study of Musical Improvisation. *Electronic Thesis and Dissertation Repository*. Paper 2552.
- Pincus. S.M. (1991). Approximate entropy as a measure of system complexity. *Mathematics*. 88, 2297-2301.
- Primi. R, Nakano. T, Morais. M, Almeida. L, David. A.P.M. (2013). Factorial structure analysis of the Torrance test with Portuguese students. *Studos de Psicologica*, Campinas 30(1), 19-28.
- Pincus, S.M, Gladstone, I.M, Ehrenkranz, R.A. (1991). A regularity statistic for medical data analysis. *J. Clin Monit* 7,335-345.

- Pincus, S.M., Viscarello, R.R. (1992). Approximate entropy: a regularity measure for fetal heart rate analysis. *Obstet Gynecol.* 79, 249-255.
- Riggs. P. D, Leon. S. L, Mikulich. S .K, Pottle. L .C (1998). An open trial of bupropion for ADHD in adolescents with substance use disorders and conduct disorder. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 37(12), 1271-8.
- Srinivasan. N. (2007). Cognitive neuroscience of creativity: EEG based approaches. *Methods.* 42, 09–116.
- Souza.G. M, R. V. Ribeiro, M. G. Santos, H. L. Ribeiro, R. F. Oliveira. (2004). Approximate Entropy as a measure of complexity in sap flow temporal dynamics of two tropical tree species under water deficit. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 76(3): 625-630.
- Schwab. D, Benedek. M, Papousek. L, Weiss. E. M, Andreas. F. (2014). The time-course of EEG alpha power changes in creative ideation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 310.
- Tucha. O, Lange. K .W. (2004). Handwriting and Attention in Children and Adults with Attention Deficit Hyperactivity Disorder. *Motor Control.* 8, 461-471.
- Ueno. K, Takahashi. T, Takahashi. K, Mizukami. K, Tanaka. Y, Wada. Y. (2014). Neurophysiological basis of creativity in healthy elderly people: A multiscale entropy approach. *Clinical Neurophysiology*, 126(3), 524-31.
- Zabelina. D. L, Leary. D, Pornpattananangkul. N, Nusslock. R, Beeman. M. (2015). Creativity and sensory gating indexed by the P50: Selective versus leaky sensory gating in divergent thinkers and creative achievers. *Neuropsychologia*, 69, 77-84.