



پنجمین کنفرانس ملی مهندسی برق
و سیستم های هوشمند ایران

پنجمین کنفرانس ملی مهندسی برق و سیستم های هوشمند ایران - دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد - ۸ و ۹ اسفند ۱۳۹۷

تعیین اثرگذاری درمان نوروفیدبک برای بیماران ADHD با استفاده از ویژگی های بر مبنای موجک سیگنال EEG

سحر کریمی شهرکی^{۱*}، مهدی خضری^۲

^۱دانشکده مهندسی برق، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.

^۲مرکز تحقیقات پردازش دیجیتال و بینایی ماشین، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.

¹sahar_karimi1369@yahoo.com, ²mahdi_khezri_ee@yahoo.com,

چکیده: بیماری بیش فعالی ADHD، بیماری است که بیشتر در کودکان ظاهر می شود. بیماران دارای علائم اضطراب، بیش فعالی و تحریک پذیری هستند. نوروفیدبک به عنوان یکی از روش های درمان این بیماری اخیراً بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق، به منظور تعیین مطلوب تر اثر نوروفیدبک اعمال شده، بررسی اطلاعات زمان فرکانس سیگنال مغز (EEG) با استفاده از تحلیل موجک مورد توجه قرار گرفته است. در این راستا روند تغییرات ویژگی های زمان فرکانس استخراج شده از سیگنال در طی درمان، بررسی می شود. در روش پیشنهادی، با اعمال تبدیل موجک سیگنال به زیر باندهایی تجزیه شد. سپس برای ویژگی های زمانی و آماری تعیین شده در هر زیر باند، روند تغییرات بعد از اعمال جلسات درمانی نوروفیدبک ارزیابی گردید. برای کسب نتایج انواع مختلف توابع موجک و سطوح تجزیه مورد بررسی قرار گرفتند. با تعیین بهترین ویژگی ها، این ویژگی ها برای شناسایی افراد سالم از بیماران استفاده شدند. تابع موجک rbio2.6 و سطح تجزیه ۳، بهترین نتایج را با روش های طبقه بندی مورد استفاده کسب کردند. به گونه ای که دقت های طبقه بندی ۸۷/۵۷ درصد با روش k نزدیک ترین همسایه (kNN) و ۱۰۰ درصد با ماشین بردار پشتیبان (SVM) به دست آمدند.

کلمات کلیدی: ADHD، ویژگی های آماری و زمانی، تبدیل موجک، طبقه بند kNN طبقه بند SVM

1-مقدمه

عملکرد ضعیف در مدرسه شوند [۱]. با توجه به دستورالعمل تشخیصی و آماری اختلالات روانی، DSM-IV، بیمار ADHD درسه گروه تقسیم بندی شده است. نوع اول که بیماری علائم ظاهری مشخصی ندارد و به اصطلاح به مبتلایان، بی دقت گفته می شود. در نوع دوم تکانشگری-بیش فعالی و در نوع سوم ترکیب این دو حالت وجود دارد [۲].

بیش فعالی همراه با نقص توجه یکی از شایع ترین اختلالات روانی در کودکان است که به اختصار ADHD نامیده می شود. این بیماری شامل ترکیبی از اختلالات از قبیل مشکل در حفظ توجه، فعالیت زیاد و رفتارهای ناگهانی است. کودکان بیش فعال ممکن است دچار اضطراب، مشکلات یادگیری، تحریک پذیری و همچنین اختلال در برقراری ارتباط و

²Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders

¹Attention Deficit Hyperactivity Disorder



پنجمین کنفرانس ملی مهندسی برق
و سیستم های هوشمند ایران

پنجمین کنفرانس ملی مهندسی برق و سیستم های هوشمند ایران - دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجفآباد - ۸ و ۹ اسفند ۱۳۹۷

نورفیدبک یکی از درمان‌های رایج برای بیش فعالی است. کودکان مبتلا به بیش فعالی در برخی فرکانس‌ها از کودکان نرمال فاصله دارند. در درمان نوروفیدبک سعی بر آن است تا با تعدیل این فرکانس‌ها، مشکلات بیش فعالی و توجه کودکان برطرف شود. در این روش الکترودهایی بر روی سطح جمجمه قرار می‌گیرند و فعالیت الکتریکی مغز بیمار (EEG) را ثبت می‌کنند. به طور همزمان تحریکاتی به صورت انجام بازی، پخش موسیقی و یا نمایش تصاویر، فیلم یا قطعه‌های ویدیویی به فرد ارائه می‌شود [۳].

³Electroencephalogram

مطالعات بسیاری برای آشکارسازی و درمان بیماری بیش فعالی صورت گرفته است. در سال ۲۰۰۶ وانگ و سورینا روشی نوین تحت عنوان طیف بعد فرکتال هیگوجی تعمیم یافته (GHFDS) برای تحلیل سیگنال EEG در طبقه بندی فعالیت‌های ذهنی ارائه کردند از ماشین بردار پشتیبان (SVM) برای طبقه بندی فعالیت‌های ذهنی استفاده شد. دقت متوسط برای همه افراد برابر با ۹۷/۱۴ درصد به دست آمده است [۴]. در سال ۲۰۱۰ سیونگ لی و همکارانش به بررسی بیماران مبتلا به بیش فعالی با استفاده از تجزیه سیگنال EEG بوسیله تبدیل موجک و نقشه خود سازمانده (SOM) پرداختند. میزان دقت طبقه بندی در این مطالعه ۶۰ درصد بدست آمد [۵]. در سال ۲۰۱۱ الهوردی و همکارانش تشخیص اختلال ADHD را با استفاده از ویژگی‌های دینامیکی و غیر خطی محاسبه شده از سری‌های زمانی سیگنال EEG مورد مطالعه قرار دادند. برای طبقه بندی از یک شبکه عصبی پرسپترون چند لایه استفاده شده است. بهترین نتیجه با استفاده از الکترودهای پیشانی با دقت شناسایی ۸۶ درصد ثبت شده است [۶]. در سال ۲۰۱۲ مارتابل و لویز مارکونا به طبقه بندی افراد مبتلا به ADHD و افراد سالم با استفاده از مدل خودبازگشتی AR^۴ پرداختند. میزان دقت طبقه بندی از ۸۵ تا ۹۵ درصد به دست آمد [۷]. در سال ۲۰۱۲ سرکوئرا و همکارانش به استخراج ویژگی‌هایی غیر خطی سیگنال EEG مانند توان لیاپانوف، بعد همبستگی، توان هرست و پیچیدگی زیمپل-زیو پرداختند [۸]. در سال ۲۰۱۵ دکتر نصرآبادی و همکارانش نشان دادند که در کودکان مبتلا به بیش فعالی، سیگنال‌های شنوایی در قسمت کورتکس مغز دچار مشکل هستند. در این مقاله همچنین تشخیص فرد بیمار از فرد سالم توسط طبقه بندی کننده ماشین بردار پشتیبان (SVM) انجام شد. دقت به دست آمده برای کرنل کلاه مکزیکی ۹۷ درصد بدست آمد [۹]. در مطالعه دیگر گابریل و اسپیندلو در

سال ۲۰۱۷ به بررسی سیگنال مغزی کودکان بیش فعال با استفاده از روش پتانسیل وابسته به رخداد (ERP) پرداخته‌اند. سپس با اعمال طبقه بندی کننده SVM برای شناسایی افراد بیمار، بهترین دقت طبقه بندی برای کرنل چندجمله‌ای ۹۴/۷۴ درصد ثبت شد [۱۰].

در این مطالعه، هدف این است که به طور دقیق تری فرآیند بهبود وضعیت بیماران ADHD بعد از اعمال جلسات مختلف نوروفیدبک مورد ارزیابی قرار بگیرد. به این منظور ما از اطلاعات زمان-فرکانس سیگنال EEG استخراج شده با اعمال تبدیل موجک استفاده کردیم. در ادامه سیستم طراحی شده را معرفی و نتایج بدست آمده را ارائه می کنیم.

2- مواد و روش ها

2-1- پیش پردازش سیگنال‌ها

مطالعه بر روی هفت بیمار شامل ۴ زن و ۳ مرد با میانگین سنی ۲۷/۷ سال انجام شده است. با انجام مصاحبه توسط یک روانپزشک، بیماران ADHD بر مبنای معیار DSM-IV برای شرکت در آزمایش ارزیابی و انتخاب شدند. ثبت سیگنال از ۲۶ کانال مغزی توسط الکترودهای قرار گرفته بر روی سطح جمجمه در مدت ۲ دقیقه با نرخ نمونه برداری ۵۰۰ هرتز صورت گرفت. در ادامه افراد در معرض یک مرحله درمانی با پروتوکل آموزشی نوروفیدبک SMR (بهبود فرکانس‌های ۱۲-۱۵ هرتز در الکترودهای Cz، C3 و C4) قرار گرفتند. سیگنال‌ها در دو حالت چشم باز و چشم بسته قبل و بعد از درمان از هر فرد ثبت شدند. پس از آن از یک فیلتر ناچ برای حذف فرکانس ۵۰ هرتز نویز برق شهر و از یک فیلتر باترورث با مرتبه ۱۰ به صورت میان‌گذر با محدوده فرکانسی ۳-۴۵ هرتز برای حذف اثرات تداخلی و حفظ مولفه های فرکانسی مورد نیاز در زیرباندهای تتا، آلفا، بتا و گاما استفاده شده است. همچنین به منظور کاهش تغییرات و ایجاد

¹Generalized Higuchi Fractal Dimension Spectrum

²Support Vector Machine

³Self-Organizing Map

⁴Auto Regressive

⁵ Event Related Potential

⁶ Sensori Motor Rhythm

شرایط ایستایی، سیگنال‌ها را به بخش‌هایی با طول زمانی ده ثانیه‌ای تقسیم کردیم.

2-2- استخراج ویژگی

در مرحله بعد با اعمال تبدیل موجک گسسته (DWT)¹ و استفاده از انواع موجک‌های مادر و سطوح تجزیه مختلف، ضرایب تقریب و جزئیات در سطوح مختلف تعیین شدند. در حالت تبدیل موجک گسسته فیلترهای بالاگذر و پایین گذر برای تحلیل سیگنال در مقیاس‌های مختلف به کار برده می‌شوند.

تبدیل موجک برای سیگنال $x(t)$ به صورت زیر تعریف می‌شود که در آن که در آن τ و s به ترتیب پارامترهای انتقال و مقیاس هستند. مفهوم انتقال دقیقاً مشابه با مفهوم انتقال زمانی در تبدیل فوریه زمان کوتاه است؛ یعنی میزان جابجایی پنجره را مشخص می‌کند و اطلاعات زمانی تبدیل را دربردارد. در تبدیل موجک به طور مستقیم پارامتر فرکانس نداریم. در عوض، پارامتر مقیاس را داریم که به طور معکوس با فرکانس ارتباط دارد. به عبارت دیگر $s=1/f$ است. تابع پنجره است که اصطلاحاً موجک مادر نامیده می‌شود.

$$CWT_x^\psi(\tau, s) = \psi_x^\psi(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi^* \left(\frac{t-\tau}{s} \right) dt \quad (1)$$

پس از اعمال تبدیل موجک گسسته ویژگی‌های زمانی و آماری که در ادامه معرفی می‌شوند را برای ضرایب موجک بدست آمده محاسبه کردیم.

در صورتی که $X(n)$ سیگنال مورد نظر و N تعداد تعداد ضرایب آن باشند خواهیم داشت:

- میانگین سیگنال خام:

$$\mu_x = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N X(n) \quad (2)$$

- واریانس:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (X(n) - \mu_x)^2} \quad (3)$$

- مقدار میانگین مطلق (MAV):²

(4)

$$\overline{X}_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |x_k| \quad \text{For } i = 1, \dots, I-1$$

- مقدار میانگین شیب مطلق (MAVSLP):³

(5)

$$\Delta \overline{X}_i = \overline{X}_{i+1} - \overline{X}_i \quad \text{For } i = 1, \dots, I-1$$

- عبور صفر (ZC):⁴

(6)

$$\text{sgn}(-x_k \times x_{k+1}) \text{ and } (|x_k - x_{k+1}|) \geq \text{threshold}$$

- تغییرات علامت شیب (SSC):

(7)

$$(x_k - x_{k-1}) \times (x_k - x_{k+1}) \geq \text{threshold}$$

- میانگین قدر مطلق اولین تفاضل سیگنال

خام (MAVFR) [۱۲]:

(8)

$$\delta_x = \frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^{N-1} |X(n+1) - X(n)|$$

- میانگین قدر مطلق دومین تفاضل سیگنال

خام (MAVSR):⁵

(9)

$$\gamma_x = \frac{1}{N-2} \sum_{n=1}^{N-2} |X(n+2) - X(n)|$$

- مقدار میانگین مطلق از اولین تفاضل

سیگنال استاندارد شده (MAVFS):⁶

سیگنال استاندارد شده به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\bar{X}(n) = (X(n) - \mu_x) / \sigma_x \quad (10)$$

² Mean absolute value

³ Mean absolute value slope

⁴ Zero crossing

⁵ Mean of the Absolute Values of the First differences of the Raw signal

⁶ Mean of the Absolute Values of the Second differences of the Raw signal

⁷ Mean of the Absolute Values of the First differences of the Standardized signal

¹ Discrete wavelet transform

به شرط:

$$y_i (\omega^T \phi(x_i) + b) \geq 1 - \xi_i, \quad \xi_i \geq 0$$

$\xi_i \geq 0$ مقدار خطا یا طبقه بندی نادرست x_i را اندازه گیری می کند. $C > 0$ پارامتر جبران کننده برای بخش خطاست و ω بردار نرمال صفحه جداکننده است. تابع ϕ بردار آموزشی x_i را به فضایی با ابعاد بالاتر نگاشت می کند. پیچیدگی محاسبات در فضای جدید به دلیل ابعاد بیشتر افزایش پیدا می کند. برای رفع این مشکل از تابع کرنل استفاده می شود. تابع کرنل RBF⁷ که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است بصورت زیر تعریف می شود:

$$k(x_i, x_j) = \exp\left(-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{2\sigma^2}\right)^p \quad (14)$$

• روش طبقه بندی kNN:

در این روش یک گروه شامل k داده از مجموعه داده های آموزشی که کمترین فاصله را با داده آزمایشی مورد نظر دارند، انتخاب می شوند. سپس براساس برتری در دسته یا برجسب مربوط به آن ها، در مورد دسته داده آزمایشی، تصمیم گیری می شود. به عبارت ساده تر، این روش داده را به دسته ای نسبت می دهد که در همسایگی انتخاب شده بیشترین تعداد داده از آن دسته وجود داشته باشد. روال کلی روش kNN به صورت تعیین پارامتر k ، محاسبه فاصله نمونه ی ورودی با تمام نمونه های آموزشی، مرتب کردن نمونه های آموزشی بر اساس فاصله اقلیدسی و تعیین k همسایه نزدیک تر در نتیجه کلاسی که اکثریت را در k همسایه ی نزدیک دارد، به عنوان کلاس نمونه ورودی می باشد.

4-2- نتایج

سیستم شناسایی بیماران ADHD با استفاده از طبقه بندی کننده SVM طراحی شد. در این حالت از روش LOO⁸ به عنوان روش اعتبارسنجی استفاده کردیم.

⁷Gaussian (Radial-Basis Function) kernel

⁸Leave-one-out

$$\gamma_x = \frac{1}{N-2} \sum_{n=1}^{N-2} |X(n+2) - X(n)|$$

• مقدار میانگین مطلق از دومین تفاضل سیگنال استاندارد شده (MAVSR)¹:

(11)

$$\bar{\gamma}_x = \frac{1}{N-2} \sum_{n=1}^{N-2} |\bar{X}(n+2) - \bar{X}(n)| = \frac{\gamma_x}{\sigma_x}$$

• مدل خودبازگشتی (AR):

با در نظر گرفتن $x(n)$ به عنوان یک سیگنال تصادفی و ورودی $u(n)$ به عنوان سیگنال نویز سفید رابطه مدل خود باگشتی بصورت زیر تعریف می شود [13]:

(12)

$$x(n) = -\sum_{k=1}^p a(k) * x(n-k) + u(n)$$

پس از استخراج ویژگی به منظور بهبود عملکرد سیستم، و استفاده از ویژگی های موثرتر و حذف ویژگی های نامطلوب، از روش های تجزیه تحلیل مولفه اصلی (PCA) و الگوریتم انتخاب ویژگی ترتیبی رو به جلو (SFS) استفاده کردیم. سپس از طبقه بندی کننده های SVM⁵ و kNN⁶ به منظور جداسازی افراد بیمار و سالم و بررسی تاثیر نوروفیدبک در درمان بیماری استفاده کردیم [14].

2-3- طبقه بندی:

• روش طبقه بندی SVM:

روش طبقه بندی SVM سعی دارد با ساختن ابرصفحه ای با بیشترین مرز، داده های مربوط به دو کلاس را از هم تفکیک کند. برای یک مجموعه آموزشی مفروض با زوج ورودی و خروجی (x_i, y_i) که $i = 1, 2, \dots, l$ با $x_i \in \mathbb{R}^n$ و $y_i \in \{1, -1\}$ ، مسأله بهینه سازی زیر باید حل شود [15]:

$$\min_{\omega, b, \xi} \frac{1}{2} \omega^T \omega + C \sum_{i=1}^l \xi_i \quad (13)$$

¹ Mean of the Absolute Values of the Second differences of the Standardized signal

² Auto Regressive

³ Principal component analysis

⁴ Sequential forward selection

⁵ Support Vector Machine

⁶ k-Nearest Neighbors

جدول ۲. بهترین نتایج بدست آمده در شناسایی اختلال ADHD با اعمال موجک مادر و سطوح تجزیه مختلف در روش طبقه بندی کننده kNN با $k=5$

موجک مادر	سطح تجزیه	دقت (Accuracy)
Sym3	۲	۷۸/۵۷
Db2	۷	۸۷/۵۷
Bior2.2	۲	۷۸/۵۷
Rbio2.6	۲	۷۸/۵۷

روند افزایش ویژگی نسبت به قبل از درمان نوروفیدبک با علامت \uparrow و کاهش ویژگی با \downarrow نشان داده شده است. همانطور که در جدول مشخص است ویژگی میانگین قدر مطلق (MAV) برای همه انواع موجک ها روند افزایش را با اعمال درمان نوروفیدبک ارایه کرده است. همچنین ویژگی های واریانس (VAR)، شیب میانگین قدر مطلق (MAVSLP)، میانگین قدر مطلق اولین تفاضل سیگنال خام (MAVFR)، میانگین قدر مطلق تفاضل دوم سیگنال خام (MAVSR) و ضرایب مدل خودبازگشتی (AR) به جز تنها در یک مورد روند تغییر یکسانی با موجک های مختلف داشته اند. ویژگی های یادشده به عنوان ویژگی های بامفهوم در روند اجرای درمان نوروفیدبک برای بیماران ADHD در نظر گرفته می شوند.

3- نتیجه گیری:

در این مقاله بررسی چگونگی روند درمان نوروفیدبک و اثربخشی آن بر روی بیماران ADHD مورد ارزیابی قرار گرفت. به این منظور از اطلاعات زمان-فرکانس سیگنال EEG با اعمال تبدیل موجک بهره گرفتیم. برای هر زیرباند از ضرایب موجک ویژگی های آماری و زمانی محاسبه شدند. سپس تغییرات ویژگی های زمانی فرکانسی با اطلاعات بالا و دارای روند با مفهوم بررسی شدند. ویژگی های تعیین شده برای آموزش سیستم طبقه بندی الگوهای سیگنال EEG به منظور تشخیص افراد سالم از بیماران استفاده شدند.

هدف از استفاده روش اعتبار سنجی آن بود که تمام ویژگی های ورودی هرکدام یک بار به عنوان داده تست مورد ارزیابی قرار بگیرند. در پیاده سازی طبقه بندی کننده SVM از تابع کرنل RBF استفاده شد. همچنین پارامترهای مدل با روش جستجوی شبکه تعیین شدند. با استفاده از انواع موجک های مادر در سطوح تجزیه مختلف، عملکرد سیستم با تعیین میزان دقت، حساسیت و معین پذیری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده در شناسایی اختلال ADHD با روش طبقه بندی SVM برای موجک Bior2.2 در سطح تجزیه ۲ دقت ۱۰۰ را به همراه داشت. جدول ۱. نتایج به دست آمده را ارایه می کند.

جدول ۱. بهترین نتایج بدست آمده در شناسایی اختلال ADHD با اعمال موجک مادر و سطوح تجزیه مختلف در روش طبقه بندی کننده SVM با کرنل RBF

موجک مادر	سطح تجزیه	دقت (Accuracy)
Sym3	2	92/85
Db2	2	92/85
Coif4	2	92/85
Bior2.2	2	100
Rbio2.6	3	100

همچنین در استفاده از طبقه بندی کننده kNN روش LOO برای اعتبارسنجی به کار گرفته شد. این روش با استفاده از معیار فاصله اقلیدسی و برحسب تعداد نزدیک ترین همسایه ها، یعنی k های مختلف، پیاده سازی شد. مقادیر استفاده شده شامل مقادیر $k=1$ تا $k=8$ بوده است. با توجه به بهترین نتایج به دست آمده برای موجک های Sym3، Db2، Coif4، Bior2.2 و Rbio2.6 در سطوح تجزیه مختلف، $k=5$ با داشتن بهترین دقت، حساسیت و معین پذیری، عملکرد مطلوبی برای کاربرد موردنظر در، در تحقیق ما به دست آورد. جدول ۲ بهترین نتایج به دست آمده با طبقه بندی کننده kNN ارایه می کند.

پس از شناسایی و طبقه بندی افراد بیمار و سالم به بررسی تغییرات ویژگی های استخراج شده قبل و بعد از درمان پرداختیم. تغییرات ویژگی ها در جدول شماره ۳ ارایه شده اند.

Models", Psychology Department, 2012, pp:363-366.

- [8] A. Cerquera, R. M. Gutiérrez, and J. Freund, "Dynamical measures for characterization of EEG registers in patients with Attention Deficit Hyperactivity Disorder treated with Neurofeedback", (STSIWA), Antioquia, 2012, pp. 213-217.
- [9] A. Nasrabadi, Z. Esmailpoor, S. Malayeri, An Auditory Brainstem "Response-Based Expert System for ADHD Diagnosis Using Recurrence Qualification Analysis and Wavelet Support Vector Machine", (ICEE), 2015, pp:6-10.
- [10] R. Gabriel, M. Marilda, A. Mesquita, "Identification of ADHD Cognitive Pattern Disturbances Using EEG and Wavelets Analysis", IEEE, 2017, pp:157-162.
- [11] M. Zecca, S. Micera, M. C. Carrozza, & P. Dario, "Control of Multifunctional Prosthetic Hands by Processing the Electromyographic Signal", Critical Reviews in Biomedical Engineering, 2002, vol.30(4-6), pp:459-485.
- [12] C. Panagiotis, and J. Leontios, "Emotion Recognition from EEG Using Higher Order Crossings", IEEE, 2010, vol. 14, no. 2, pp:186-197.
- [13] M. Aminian, F. Aminian and A. Ameli, "Electroencephalogram Signal Classification Using Neural Networks with Wavelet Packet Analysis, Principal Component Analysis and Data Normalization as Preprocessors", IEEE, 2012, vol.32, pp:55-62.
- [14] A. Marcano, J. Quintanilla, M.G. Cortina and D. Andina, "Feature Selection Using Sequential Forward Selection and classification applying Artificial Metaplasticity Neural Network", IEEE,
- [15] B. Scholkopf, A. J. Smola, "Learning with Kernels: Support Vector Machines ", Regularization, Optimization, and Beyond book, ,2001.

جدول ۳. روند تغییرات ویژگی‌های استفاده شده برای بهترین موجک ها و سطح تجزیه بعد از اعمال نوروفیدبک

ویژگی‌ها	موجک مادر			
	Sym3	Db2	Coif4	Rbio2.6
MAV	↑	↑	↑	↓
VAR	↓	↑	↑	↑
MAVSLP	↑	↑	↑	↑
MAVFR	↓	↑	↓	↓
MAVSR	↓	↓	↓	↑
AR	↓	↓	↓	↑

نتایج به دست آمده عملکرد مطلوب روش پیشنهادی را نشان می دهد. به گونه ای که روند درمان افراد با اعمال نوروفیدبک توسط ویژگی‌های با مفهوم به طور مطلوب تعیین می شود. این می تواند برای تعیین تعداد جلسات و پیگیری روند درمان بیماران با استفاده از نوروفیدبک مفید باشد.

منابع:

- [1] L. D. Adler, A. Nierenberg, "Review of Medication Adherence in Children and Adults with ADHD", Postgraduate Medicine, 2015, pp: 184-191
- [2] J. T. Nigg, L. G. Blakey, "Neuropsychological Executive Functions and DSM-IV ADHD Subtypes", Elsevier, vol.41, pp:59-66, 2002.
- [3] N. Lofthouse, L. E. Arnold, S. Hersch, et al., "A Review of Neurofeedback Treatment for Pediatric ADHD," J Atten Disord, 2012, vol. 16, no. 5, pp. 351-372.
- [4] Q. Wang, and O. Sourina O, "Real-Time Mental Arithmetic Task Recognition from EEG Signals," IEEE Trans, March 2013, vol. 21, no. 2, pp. 225-232.
- [5] L. Seung Hyun, A. Berdakh and A. Jinung, "Analysis of Attention Deficit Hyperactivity Disorder in EEG Using Wavelet Transform and Self Organizing
- [6] A. Allahverdy, A. Moti Nasrabadi, M.R. Mohammadi, "Detecting ADHD children using symbolic dynamic of nonlinear features of EEG", 2011
- [7] L. Juan Lopez, M. Ann Bell, Classification of ADHD and Non-ADHD Using AR