



Epilepsy Diagnosis from Electroencephalography Signal

Afrooz Ghasemi

Ph.D. in Electrical Engineering
(Telecommunications Systems), Shiraz
University of Technolog , Shiraz, Iran

Shabnam Tajrobeh*

Bachelor of Science in Biomedical Engineering,
Apadana Institute of Higher Education, Shiraz,
Iran

Abstract

Epilepsy is an incurable neurological disease, and approximately 1 in 100 people in the world suffer from it, especially in some developing countries that do not have enough medical resources. The symptoms of epilepsy are seizures, which are manifested as loss of consciousness, tremors of the limbs, and spasms. These symptoms are related to the abnormal neurophysiological activity of the brain (such as sudden excessive discharges). Without an Electroencephalography (EEG) signal, it is not possible to diagnose epilepsy. The EEG signal is considered to be the overall response of the electrical activity of the brain's neurons, which contains a large amount of physical information from the brain. EEG recording can show electrical activities in different areas of the brain and is an irreplaceable way to understand information processing in the brain and nerves. In the following article, we will show how epilepsy can be diagnosed from EEG and review its recent research.

Keywords: epilepsy, brain, seizure, electrical activity

Received: 26/April/2026

Accepted: 05/June/2026

eISSN: 3115-7610

ISSN: 3115-7572

بررسی بیماری صرع از سیگنال الکتروانسفالوگرافی

دکترای مهندسی برق، گرایش مخابرات-سیستم، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز،
ایران

افروز قاسمی

کارشناسی رشته مهندسی پزشکی، مؤسسه آموزش عالی آپادانا، شیراز، ایران

شبیم تجربه*

چکیده

بیماری صرع یک بیماری عصبی غیرقابل درمان است و تقریباً ۱٪ از مردم جهان (به‌ویژه در برخی از کشورهای در حال توسعه که به‌اندازه کافی منابع پزشکی ندارند) از آن رنج می‌برند. از نشانه‌های بیماری صرع تشنج است که به‌صورت از دست دادن هوشیاری، لرزش اندام‌ها و اسپاسم، نشان داده می‌شود. این نشانه‌ها مربوط به غیرطبیعی بودن فعالیت عصبی فیزیولوژیکی مغز است (مثل ترشحات بیش از حد ناگهانی). بدون سیگنال‌های ثبت شده از مغز (Electroencephalography) تشخیص بیماری صرع ممکن نیست. سیگنال EEG به‌عنوان پاسخ کلی فعالیت الکتریکی نورون مغز در نظر گرفته می‌شود که حاوی مقدار زیادی اطلاعات فیزیکی از مغز است. ضبط EEG می‌تواند فعالیت‌های الکتریکی در مناطق مختلف مغز را نشان دهد و راه غیرقابل جایگزینی برای درک پردازش اطلاعات در مغز و عصب است. در مقاله‌ی پیش رو نشان می‌دهیم که چگونه از روی EEG می‌شود بیماری صرع را تشخیص داد و تحقیقات اخیرش را بررسی می‌کنیم.

کلیدواژه‌ها: صرع، مغز، تشنج، فعالیت الکتریکی

مقدمه

تاریخچه

اخیراً افزایش جنگ‌ها و تأثیرات آن به ظهور بسیاری از بیماری‌های جدید و پیچیده‌ی جسمی و روانی و افزایش آن کمک کرده است که یکی از شایع‌ترین بیماری‌ها صرع است. صرع اختلالی شناخته‌شده از روزگاران قدیم است و قدمت آن به عصر حجر بازمی‌گردد.

یونانیان باستان به این بیماری به‌عنوان یک بیماری مقدس نگاه می‌کردند. آنان معتقد بودند این تجلی یکی از خدایان است که می‌تواند سبب سقوط بیمار روی زمین و تکان‌های شدید وی شود و بعد، قبل از مرگ کامل بیمار، مجدداً وی را زنده کند.

بقراط اولین کسی بود که با این نظریه مخالفت کرد. این پزشک یونانی در حدود ۲۴۵۰ سال قبل معتقد بود صرع یک بیماری با منشأ اختلال مغزی است. طی ۲۰۰۰ سال بعد، نظریه‌های خرافی دیگری نیز در مورد علت این بیماری شکل گرفت. در نگرش اول، اعتقاد بر این بود که این بیماری به‌علت نفوذ ارواح خبیث و شیطانی به بدن افراد بروز می‌کند. به همین دلیل برای بیرون راندن ارواح خبیث از جسم بیماران سعی می‌کردند به روش‌های خشونت‌باری متوسل شوند که بسیاری از مواقع باعث صدمات جسمی و حتی مرگ بیمار می‌شد.

در نگرش دوم که جالینوس از مدافعان آن بود، تصور می‌شد که به‌دلیل بروز لخته و آماس در عروق دست یا پا، این بیماری شروع می‌شود. به همین دلیل دست یا پای بیماران را در هنگام حمله محکم می‌بستند تا جریان خون آن قطع شود و بیمار بهبود یابد.

حتی گاهی اوقات، یکی از اندام‌های بیمار را که تشنج از آنجا شروع می‌شد، قطع می‌کردند. اگر حمله تشنجی از یک اندام شروع نمی‌شد، جمجمه بیمار را می‌شکافتند و سعی می‌کردند تا لخته را خارج کنند. تا حدود ۱۰۰ سال پیش، درمان‌های گوناگونی که برای بیماری صرع معرفی می‌شدند هیچ‌کدام مؤثر نبودند و بیشتر جنبه خرافی داشتند و خرافات باعث شده بود تا واقعیات و حقایق هویدا نشود.

در سال ۱۸۷۵، پزشک انگلیسی ریچارد کانتون، جریان‌های الکتریکی را در مغز که مسئول تشنج بیضوی است کشف کرد و اعلام کرد که بیماری صرع سندرم عصبی جدی ناشی از ترشحات نامنظم گذرا مغز است. این بیماری منجر به اعمال تغییر یافته، مانند: از دست دادن هوشیاری، حرکت کند، از دست دادن موقت تنفس و از دست دادن خاطرات می‌شود.

دلایل زیادی وجود دارد که می‌تواند منجر به صرع شود که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از: «آسیب ژنتیکی، ضربه به سر، تومور مغزی و تروما هنگام تولد».

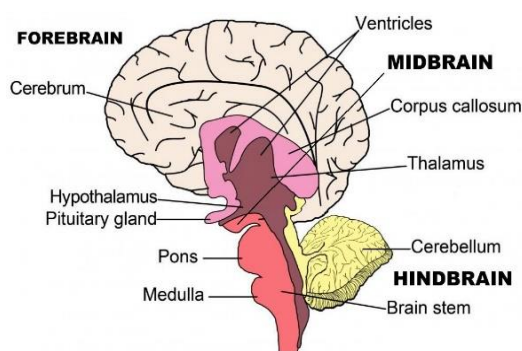
انگیزه‌ی ما این است که راه‌ها را ارتقا دهیم و در زمینه‌ی شناسایی یکی از بیشترین بیماری‌های شایع مغز که به‌عنوان تشنج صرع شناخته می‌شود، کمک کنیم. چندین مقاله تحقیقاتی مرتبط با این زمینه مرور و تحلیل کرده‌ایم و بنابراین تصمیم گرفتیم از فرصت خود استفاده کنیم و با رویکردهای خودمان در این بخش از تحقیقات شرکت کنیم.

پیشینه تحقیق

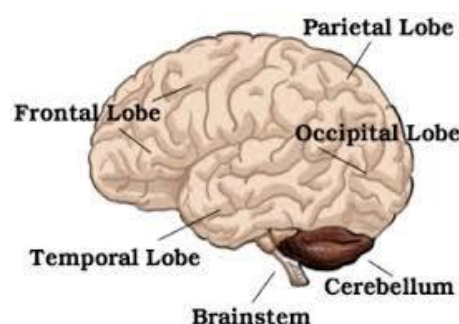
آناتومی مغز

مغز یکی از اعضای حیاتی و پیچیده بدن است که در سر قرار دارد و حدود ۱/۴ کیلوگرم وزن دارد. این اندام بزرگ شامل حدود ۱۰۰ میلیارد نورون است که از طریق سیناپس‌ها به یکدیگر متصل می‌شوند. مغز قادر است تقریباً ۹۷

درصد از اطلاعات دریافتی را ذخیره کند و حدود ۱۵ درصد از خون را مصرف می‌کند. به‌عنوان مرکز کنترل تمام فعالیت‌های بدن، مغز مسئول درک موقعیت، گفتار و عملکرد اندام‌ها است و همچنین سیگنال‌های حسی را تولید می‌کند. مغز از چند بخش اصلی تشکیل شده است: قشر مغز که مسئول تفکر، زبان و آگاهی است و به چهار لوب (لوب پیشانی^۱، لوب جداری^۲، لوب تمپورال^۳ و لوب اکسیپیتال^۴) تقسیم می‌شود؛ مخچه که حرکات ظریف و تعادل بدن را کنترل می‌کند؛ ساقه مغز که وظایف حیاتی مانند تنفس و ضربان قلب را تنظیم می‌کند و تالاموس و هیپوتالاموس که در پردازش اطلاعات حسی و تنظیم عملکردهای بدن نقش دارند. این بخش‌ها با هماهنگی هم، تمام فعالیت‌های پیچیده بدن را مدیریت می‌کنند.

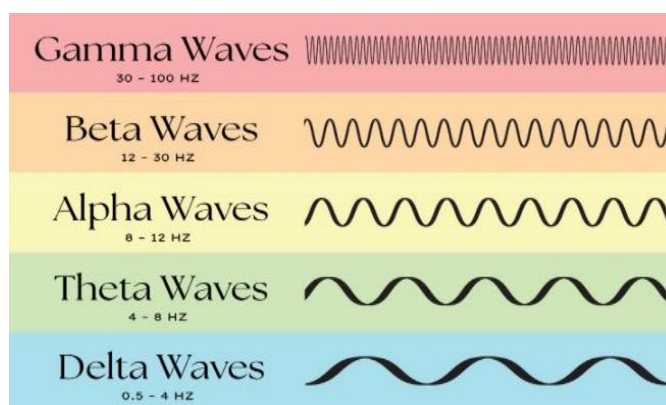


شکل ۲. ساختار ساقه مغز [۱]



شکل ۱. آناتومی مغز انسان [۱]

فعالیت‌های الکتریکی سلول‌های عصبی مغز به‌صورت امواج مغزی در نواحی مختلف مغز تولید می‌شوند. این امواج نشان‌دهنده وضعیت‌های مختلف ذهنی و عملکردهای مغز هستند، مانند خواب، بیداری، تمرکز و پردازش اطلاعات. بنابراین، امواج مغزی بازتابی از فعالیت‌های مختلف مغز و حالت‌های ذهنی فرد هستند. امواج مغزی براساس فرکانس و دامنه به دسته‌های مختلفی تقسیم می‌شوند که هر کدام نشان‌دهنده فعالیت‌های خاص مغزی هستند [۲]. امواج دلتا، تتا، آلفا، بتا، گاما، و ریتم حرکتی حسی^۵ (SMR)، هر کدام در شرایط مختلف مانند خواب عمیق، استراحت، تمرکز و پردازش اطلاعات فعال می‌شوند (شکل ۳). این امواج به درک بهتر وضعیت‌های روانی و عصبی کمک می‌کنند.



شکل ۳. انواع امواج مغزی [۲]

1. frontal lobe
2. parietal lobe
3. temporal lobe
4. occipital lobe
5. Sensorimotor rhythm (SMR)

اختلالات مغزی می‌توانند به دلایل مختلفی از جمله جراحات، بیماری‌ها و مشکلات ژنتیکی ایجاد شوند و ممکن است به آسیب‌های دائمی یا موقت به مغز منجر شوند. تکنیک‌های مدرن مانند EEG^۱ برای تشخیص زودهنگام این اختلالات استفاده می‌شوند. صرع یکی از شایع‌ترین اختلالات عصبی در جهان است که حدود ۱٪ از جمعیت جهانی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تشخیص دقیق و به موقع صرع اهمیت زیادی دارد، زیرا درمان مناسب می‌تواند به طور قابل توجهی کیفیت زندگی بیماران را بهبود بخشد.

روش‌های تشخیص بیماری صرع

برای تشخیص، ابتدا پزشک در مورد علائم و سابقه پزشکی بیمار سؤالاتی می‌پرسد. سپس به کمک یک معاینه عصبی نحوه رفتار، توانایی‌های حرکتی و عملکرد ذهنی بیمار را ارزیابی می‌کند. همچنین ممکن است چندین آزمایش را برای تشخیص بیماری صرع و تعیین علت دقیق بروز تشنج تجویز کند که در ادامه به شرح روش‌های تشخیص این بیماری می‌پردازیم:

- معاینه نورولوژیک: در این معاینه، پزشک متخصص مغز و اعصاب، عملکردهای مغزی توانایی حرکتی و رفتاری بیمار را مورد بررسی قرار می‌دهد.

- آزمایش تست خون: تست خون از اولین آزمایشاتی است که برای بررسی علائم عفونت، نحوه عملکرد کبد و کلیه‌ها، سطح قندخون، وضعیت ژنتیکی یا سایر شرایطی که ممکن است با بروز تشنج مرتبط باشند، انجام می‌شود. - آزمایش‌های تصویربرداری: می‌تواند تومورها و سایر ناهنجاری‌هایی را که در بروز تشنج مؤثر هستند نشان دهند. از آزمایشات مؤثر در تشخیص بیماری صرع می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

* سی تی اسکن (CT SCAN): برای تهیه تصاویر مقطعی از مغز از اشعه ایکس استفاده می‌شود. در سی تی اسکن اتفاقات غیرطبیعی مغز که ممکن است باعث ابتلا به بیماری صرع شوند، بررسی می‌گردد. برخی از این عوامل عبارت‌اند از: تومورها، خون‌ریزی و کیست.

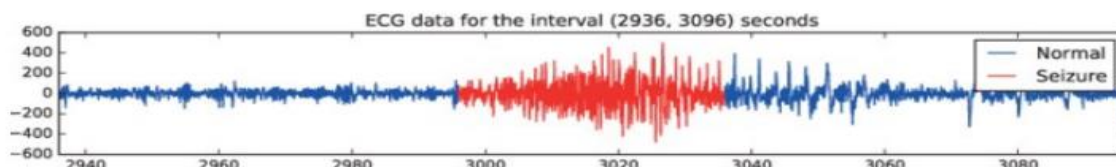
* ام‌آر‌آی (MRI): در این وسیله با استفاده از امواج مغناطیسی و رادیویی تصاویر و جزئیات مغز ثبت می‌گردد. زمانی که بخش خاصی از مغز در حال کار کردن است، دستگاه ام‌آر‌آی عملکردی می‌تواند تغییرات جریان خون را ثبت نماید. معمولاً از این روش برای جلوگیری از آسیب به مناطق عملکردی خاص استفاده می‌گردد. این تست معمولاً قبل از عمل جراحی روی فرد بیمار انجام می‌شود. هزینه درمان صرع به وسیله عمل جراحی تقریباً معادل ۱۵ الی ۳۰ میلیون است.

* تست نوار مغزی: پزشک همچنین ممکن است تست نوار مغز یا الکتروانسفالوگرافی (EEG) را برای بررسی وضعیت عملکرد مغز انجام دهد. نوار مغز رایج‌ترین آزمایشی است که برای تشخیص بیماری صرع استفاده می‌شود. یک آزمایش غیرتهاجمی و بدون درد که شامل قرار دادن الکتروود روی پوست سر برای جست‌وجوی الگوهای غیرطبیعی در فعالیت الکتریکی مغز است.

* اسپکت: در صورتی که منطقه دقیق شروع تشنج در مغز به وسیله ام‌آر‌آی یا EEG مشخص نشود، از روش اسپکت استفاده می‌گردد. در این روش فعالیت جریان خون توسط نقشه‌ای سه‌بعدی با جزئیات ایجاد می‌شود. در روش اسپکت فعالیت جریان خون در مغز با جزئیات کامل برای پزشک به نمایش در می‌آید.

* پت: در روش پت برای دیدن مناطق فعال مغز و تعیین بخش‌های غیرطبیعی مقدار بسیار کمی از ماده رادیواکتیو به سیاهرگ فرد بیمار تزریق می‌شود.

* تست نوار مغز (EEG): به دلیل قابلیت بالای آن در تشخیص ناهنجاری‌های الکتریکی مغز، ابزار اصلی در فرایند تشخیص صرع محسوب می‌شود. صرع ناشی از انسداد موقت در عملکرد مغز یا ترکیبی از چند عملکرد است که به طور ناگهانی و معمولاً برای مدت زمان مشخصی (گاهی چند دقیقه) اتفاق می‌افتد و سپس به طور ناگهانی پایان می‌یابد. این اختلال دارای آغاز و پایان مشخصی نیست و در نوار مغزی (EEG) به صورت کشش‌های الکتریکی غیرطبیعی نمایش داده می‌شود [۲] (شکل ۴).

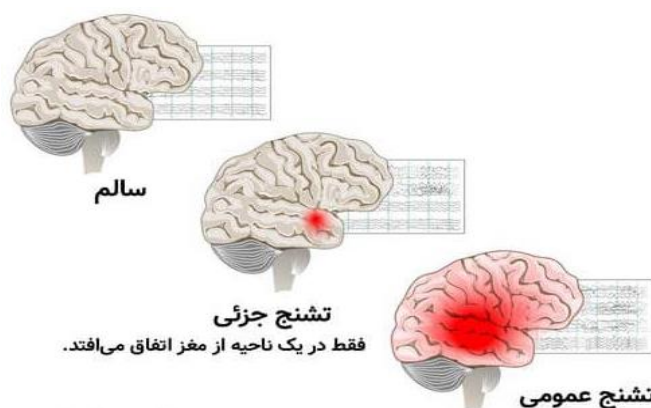


شکل ۴. سیگنال EEG نرمال و اتفاق افتادن حمله صرع [۳]

تکانه‌های الکتریکی غیرطبیعی ممکن است در یک نقطه از مغز یا در تمام بخش‌های آن گردش کنند و منجر به اختلال در عملکرد مغز یا بخشی از آن شوند که به تشنج با اشکال مختلف منجر می‌شود. صرع به دو نوع اصلی تقسیم می‌شود [۴]:

۱. صرع عمومی: فعالیت الکتریکی غیرطبیعی در کل مغز رخ می‌دهد که می‌تواند منجر به از دست دادن هوشیاری، انقباضات شدید عضلات، ترشحات بزاقی زیاد و حتی ادرار و استفراغ غیرارادی شود. تشنج معمولاً ۳ تا ۴ دقیقه طول می‌کشد و ممکن است تا ۲۰ دقیقه ادامه داشته باشد.

۲. صرع جزئی: فعالیت غیرطبیعی تنها در ناحیه خاصی از مغز رخ می‌دهد. علائم شامل تغییرات حسی، انقباض عضلات در یک بخش خاص از بدن و تغییرات عاطفی ناگهانی است. این تشنجه‌ها معمولاً ۲ تا ۳ دقیقه طول می‌کشد و ممکن است به صرع عمومی تبدیل شوند.



شکل ۵. انواع صرع در مغز [۴]

اهداف

هدف از این مقاله روشی برای تشخیص بیماران مبتلا به صرع از ضبط سیگنال‌های EEG است.

الگوهای EEG مرتبط با صرع

نوار مغز معمولاً الگوهای فعالیت طبیعی یا غیرطبیعی مغز را نشان می‌دهد. ممکن است بعضی از الگوهای غیرطبیعی، نه تنها در تشنج بلکه در تعدادی از بیماری‌های دیگر نیز دیده شود. برای مثال بعضی از امواج خاص، ممکن است بعد

از آسیب سر، سکته یا تومور مغزی هم در نوارمغز دیده شوند. نمونه شایع آن، امواجی از مغز هستند که ریتم آهسته تری نسبت به سن بیمار و سطح هوشیاری آن دارند، که به آن‌ها «امواج کند» می‌گویند. برخی از الگوهای صرعی رایج در EEG شامل موارد زیر هستند [۵] (شکل ۶):

- امواج نوک تیز و قله دار^۱: بعضی از الگوهای نوارمغزی به «امواج صرعی» یا «امواج غیرطبیعی صرعی شکل» معروف هستند. این امواج از نظر شکل، نوک تیز و با ریتم بسیار تندی هستند. الگوی مشخصی است که معمولاً در صرع غایب^۲ دیده می‌شود. این امواج با فرکانس ۳ هرتز و تقارن دوطرفه در EEG ظاهر می‌شوند.

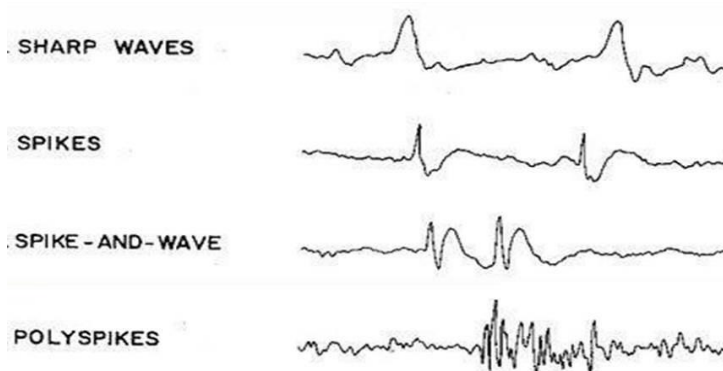
اگر فرد تشنج‌های موضعی داشته باشد، امواج «نوک تیز و قله دار» در نوار مغز در ناحیه خاصی از مغز، مثلاً در لوب تمپورال دیده می‌شود که نشان می‌دهد تشنج‌ها از آن ناحیه سرچشمه گرفته‌اند. در تشنج‌های منتشر، معمولاً امواج «نوک تیز و قله دار» به صورت منتشر در دو طرف مغز دیده می‌شوند؛ به‌ویژه اگر ناحیه شروع تشنج، از هر دو طرف مغز و به صورت هم‌زمان باشد.

- پیچیدگی‌های نوک تیز^۳ و موج‌های نوک تیز: امواج تیز و کوتاه مدتی که به عنوان شاخص فعالیت صرعی شناخته می‌شوند. این الگوها در بسیاری از انواع صرع مشاهده می‌شوند. در مطالعه ما تغییرات نوار مغز بیشتر از نوع امواج Sharp و در رتبه بعدی امواج آهسته بود. در سایر تحقیقات این تغییرات با ارجحیت امواج آهسته و سپس امواج Sharp بود و عمده‌ی امواج آهسته در نوار مغزهایی که دوهفته بعد تکرار شدند، بر طرف شده بودند.

- تخلیه‌های چند گانه نوک تیز^۴: چندین موج نوک تیز به دنبال هم، که می‌تواند نشانه‌ی صرع میوکلونیک یا دیگر انواع صرع ژنرالیزه باشد.

- امواج شدید آهسته^۵: امواج آهسته با فرکانس پایین که ممکن است به عنوان بخشی از الگوی صرعی دیده شود. این امواج ممکن است نشان دهنده‌ی فعالیت غیرطبیعی و تغییرات گسترده در فعالیت مغزی باشند.

- امواج نوک تیز موضعی^۶: امواج نوک تیز که در یک ناحیه خاص از مغز ظاهر می‌شوند. این الگوها می‌توانند به تشخیص صرع کانونی^۷ کمک کنند.



شکل ۶. انواع الگوهای EEG در بیماری صرع [۶]

1. spike and wave
2. absence seizures
3. sharp waves
4. polyspike discharges
5. slow waves
6. focal spikes
7. focal epilepsy

بنابراین امواجی که در بیماری صرع بیشتر تحت تأثیر قرار می‌گیرند، امواج نوک تیز و قله‌دار^۱ و پیچیدگی‌های نوک تیز^۲ هستند.

تفسیر وضعیت بیمار در حین انجام نوار مغز (EEG)

برای گرفتن نوار مغز ابتدا سر بیمار اندازه‌گیری می‌شود و نقاطی که باید الکترودها به آن متصل شوند، تعیین می‌گردد. الکترودها با استفاده از چسب مخصوصی به نام خمیر به پوست سر بیمار متصل می‌شوند. بعضی اوقات می‌توان از درپوش الاستیکی مجهز به الکترود استفاده کرد. الکترودها از طریق سیم به ابزاری متصل می‌شوند که امواج مغزی را تقویت و فعالیت الکتریکی را در دستگاه EEG ثبت می‌کند. بعد از قرار گرفتن الکترودها، EEG استاندارد به‌طور متوسط حدود ۶۰ دقیقه طول می‌کشد. به‌منظور تشخیص بیماری در حین انجام نوار مغز، بدن بیمار باید ثابت باشد، پلک نزنند تا کمترین مقدار نویز را داشته باشد. ممکن است بیمار در طول آزمایش نیاز به خوابیدن داشته باشد، در این حالت ممکن است لازم باشد بدون خواب، بیمار به آزمایش برود. در غیر این صورت قبل از عکس‌برداری قرص خواب به بیمار می‌دهند. آزمایشاتی که در طول خواب انجام می‌شود، ممکن است طولانی باشد. در طول آزمایش، از بیمار خواسته می‌شود که در یک وضعیت راحت و با چشمان بسته باشد.

در حین آزمایش ممکن است پزشک متخصص از بیمار بخواهد چشمان خود را باز و بسته کند یا چند محاسبه‌ی ساده‌ی ریاضی انجام دهد، متنی را بخواند، به یک عکس نگاه کند، چند لحظه نفس عمیق بکشد یا به یک چراغ چشمک‌زن نگاه کند. در حین ضبط فعالیت‌های الکتریکی در مغز به یک کاغذ یا محیط دیجیتال منتقل می‌شود و توسط یک متخصص تفسیر می‌شود. آزمایش EEG به‌طور معمول (طبیعی) بین ۲۰-۳۰ دقیقه طول می‌کشد. ولی leep-Wake EEGS به‌طور متوسط ۱ ساعت طول می‌کشد (۲۰ دقیقه بیدار، ۴۰ دقیقه خواب). در بعضی موارد، می‌توان ۳ ساعت، کل شب و یا به‌مدت ۲۴ ساعت EEG گرفت.

روش پردازش سیگنال EEG

به‌طور کلی برای تشخیص صرع از سیگنال EEG باید چهار مرحله ۱. دریافت سیگنال، ۲. پیش‌پردازش، ۳. استخراج ویژگی و ۴. طبقه‌بندی انجام شود (شکل ۷) که در ادامه مراحل آن به تفصیل شرح داده خواهند شد [۵].



شکل ۷. گردش کار پردازش سیگنال EEG در بیماران صرعی [۵]

روش‌های دریافت سیگنال EEG

ابتدا سیگنال باید دریافت شود و به روش‌های زیر به مرحله اجرا درآید:

- روش تهاجمی: در این روش، الکترودها به داخل قشر مغز کاشته می‌شوند. این روش دقت بالا و کیفیت سیگنال بهتر با نسبت سیگنال به نویز بالاتر را فراهم می‌کند، زیرا الکترودها نزدیک به نورون‌ها هستند و تداخل کمتری وجود دارد. با این حال، این روش نیازمند جراحی است و به‌دلیل دشواری و هزینه بالای آن، بیشتر برای تحقیقات خاص استفاده می‌شود.

1. spike and wave
2. sharp wave

- روش غیرتهاجمی: در این روش، الکترودها به سطح پوست سر متصل می‌شوند و سیگنال‌های EEG پوست سر به دست می‌آید. این روش غیرتهاجمی، ساده و کم‌هزینه است و به راحتی انجام می‌شود. به همین دلیل، EEG پوست سر رایج‌ترین روش برای جمع‌آوری سیگنال‌های EEG است. برای استانداردسازی این روش، در سال ۱۹۵۸ انجمن بین‌المللی EEG سیستم ۱۰-۲۰ را معرفی کرد تا قرارگیری الکترودها بر روی پوست سر را استانداردسازی کند [۷].

پیش‌پردازش EEG

پیش‌پردازش داده‌ها با هدف استانداردسازی داده‌ها به شکلی انجام می‌شود که برای برنامه‌های مختلف آماده باشد. این فرایند سعی می‌کند تا حد امکان اطلاعات مفید را حفظ کند و در عین حال مؤلفه‌های سیگنال بی‌فایده مانند نویز و آرتیفکت‌ها^۱ را حذف کند. این مرحله همچنین سیگنال انتخاب‌شده را برای کاربردی خاص تخصصی می‌کند. آرتیفکت در سیگنال EEG را می‌توان به دو دسته آرتیفکت‌های فنی و آرتیفکت‌های زیستی تقسیم کرد. آرتیفکت‌های فنی ناشی از فرایند ضبط سیگنال با دقت ناکافی و محیط نویزی هستند، مانند تداخل خطوط برق، نوسانات امپدانس و حرکت سیم. آرتیفکت‌های زیست‌پزشکی نوعی آلودگی هستند که به دلیل سیگنال‌های الکتریکی زیست‌پزشکی خارج از مغز ایجاد می‌شوند، بنابراین EEG جمع‌آوری‌شده ترکیبی از سیگنال‌های متعدد است. این آرتیفکت‌ها می‌توانند ناشی از پلک زدن، حرکت چشم، ضربان قلب و انقباض عضلات باشند. برخی از مراحل معمول پیش‌پردازش به شرح زیر توضیح داده شده‌اند:

- فیلتر کردن: آرتیفکت‌های فنی بسیار قوی‌تر از خود سیگنال EEG هستند و می‌توان با شرایط آزمایشگاهی و تجهیزات دقیق آن‌ها را تضعیف کرد. علاوه بر این، فیلتر دیجیتال می‌تواند سیگنال EEG را تصفیه کند. سیگنال EEG ضبط‌شده از روی پوست سر در حین جمع‌آوری حاوی نویز زیادی است که این نویزها از فرکانس برق، اثرات حرارتی، تجهیزات جمع‌آوری و غیره ناشی می‌شوند. نویز مخلوط شده کیفیت و وضوح سیگنال‌های EEG را کاهش می‌دهد و تأثیر غیرقابل پیش‌بینی بر طبقه‌بندی سیگنال‌های EEG دارد. بنابراین لازم است فیلتر مناسبی براساس نیازها طراحی شود. باند فرکانسی سیگنال EEG که در بالا توصیف شد، به طور بالینی اطلاعات کمی در اجزای فرکانس بالا دارد. با توجه به تداخل زیاد فرکانس برق، طراحی فیلتر باند-گذری که باند را بین ۰/۵ تا ۴۰ هرتز محدود کند، بسیار رایج است [۵].

- حذف مصنوعات زیست‌پزشکی: به دلیل رسانایی خوب پوست سر، آرتیفکت‌های زیستی خارج از مغز می‌توانند سیگنال EEG مشاهده‌شده را آلوده کنند. آرتیفکت الکترومایوگرافی^۲ (EMG) که در اثر انقباض عضلات صورت یا گردن هنگام بلع یا گاز گرفتن ایجاد می‌شود، توزیع فرکانسی این آرتیفکت بین ۰ تا ۲۰۰ هرتز است. توزیع فرکانسی آرتیفکت‌های ECG^۳ که در اثر ضربان قلب ایجاد می‌شود بین ۰ تا ۷۵ هرتز است و توزیع فرکانسی آرتیفکت‌های EOG^۴ که در اثر حرکت چشم ایجاد می‌شود، بین ۰ تا ۱۳ هرتز است. اجزای فرکانسی آرتیفکت‌های زیستی و سیگنال‌های EEG ممکن است با هم تداخل داشته باشند. بنابراین، امکان حذف کامل آرتیفکت‌های زیست‌پزشکی با فیلتر کردن وجود ندارد و باید روش‌های دیگری مطرح شوند. تفکیک منبع کور^۵ (BSS) به روش‌هایی اشاره دارد که سیگنال منبع را از سیگنال مشاهده‌شده جدا می‌کند؛ وقتی که مدل ترکیب سیگنال مشاهده‌شده و سیگنال منبع ناشناخته است.

1. artifact
2. Electromyography (EMG)
3. Electrocardiogram (ECG)
4. Electrooculography (EOG)
5. Broadcasting-satellite service (BSS)

تحلیل مؤلفه‌های مستقل^۱ (ICA) سعی می‌کند با تجزیه سیگنال مشاهده‌شده به چندین مؤلفه سیگنال مستقل، مشکل جداسازی را حل کند. فرایند تجزیه براساس اصل استقلال آماری انجام می‌شود و پیش‌فرض آن است که سیگنال‌های منبع، سیگنال‌های مستقل و غیر گاوسی هستند. ثابت شده است که ICA در حذف منابع آرتیفکتال از روش مبتنی بر رگرسیون بهتر عمل می‌کند [۵].

- مراحل دیگر: علاوه بر حذف آرتیفکت‌ها، مراحل ضروری دیگری نیز در پیش‌پردازش سیگنال EEG وجود دارد. به دلیل احتمال تماس ضعیف الکترودها، برخی کانال‌های EEG ممکن است داده‌ها را از دست بدهند یا استاندارد کیفی را برآورده نکنند. در چنین مواردی، درون‌یابی کانال EEG مهم است، داده‌های کانال می‌توانند با مقدار میانگین چند کانال اطراف جایگزین شوند. در نهایت، باید آزمایش‌های غیرطبیعی که نوسانات دامنه بزرگی دارند و ناشی از فعالیت‌های خارج از مغز هستند، حذف شوند [۵].

روش استخراج ویژگی

یک روش مناسب برای استخراج ویژگی بسیار ضروری است تا نتیجه‌ای پایدار در طبقه‌بندی سیگنال حاصل شود. بنابراین، اصل استخراج ویژگی این است که تا حد ممکن ویژگی‌هایی قابل تمایز استخراج شود.

روش‌های رایج استخراج ویژگی EEG به شرح زیر معرفی شده‌اند:

- ویژگی‌های حوزه زمانی: تحلیل حوزه زمانی شهودی است و معنای فیزیکی نسبتاً واضحی دارد. پارامترهای آماری که به طور مکرر استفاده می‌شوند شامل میانگین، واریانس، میانه، چولگی و کشیدگی هستند. این اندازه‌گیری‌های دامنه برای تفکیک فعالیت‌های EEG مرتبط هستند.

- ویژگی‌های حوزه فرکانسی: ویژگی‌های حوزه فرکانسی در پردازش سیگنال EEG بسیار مهم هستند، زیرا شامل تحلیل طیفی می‌شوند. این روش پارامترهای مربوط به اجزای فرکانس و انرژی را معرفی می‌کند که ویژگی‌های بسیار قابل تمایزی هستند، زیرا رویدادهای مختلف EEG در این دو پارامتر تفاوت دارند. به عنوان مثال، انرژی حمله صرعی به دلیل تخلیه‌های بیش از حد از پس‌زمینه متفاوت است.

در سال ۲۰۰۸، فرکانس میانگین وزنی شدت^۲ (IWMF) توزیع فرکانسی سیگنال EEG را با تحلیل توزیع طیفی توان نرمال^۳ (PSD) بررسی کرد و ویژگی استخراج‌شده عملکرد خوبی در تشخیص حمله صرعی داشت و پهنای باند وزنی شدت^۴ (IWBW) یک اندازه‌گیری دیگر از PSD است که توسط مک‌دیکن و ایوانز در معرفی شد، این روش تعداد زیادی از روش‌های پیشنهادی استخراج انرژی را مقایسه می‌کند و انرژی تفاضلی را ترکیب می‌کند تا نتیجه بهتری نسبت به روش‌های استخراج انرژی منفرد به دست آورد. علاوه بر انرژی یا PSD یک بخش EEG با طول معین، انرژی لحظه‌ای نیز برای دستیابی به وظایف تشخیص حساس تر مورد بررسی قرار گرفته است [۵].

- ویژگی‌های حوزه زمان-فرکانس: از آنجا که ویژگی‌های زمانی یا فرکانسی تنها یک حوزه را در نظر می‌گیرند، اطلاعات محدودی دارند و تحلیل فرکانسی مبتنی بر تبدیل فوریه فقط برای سیگنال‌هایی مناسب است که اجزای فرکانسی آن‌ها در طول زمان تغییر نمی‌کند. اما سیگنال EEG یک سیگنال تصادفی غیرایستا است و اجزای فرکانسی آن در طول فعالیت‌های مختلف مغزی به طور قابل توجهی تغییر می‌کند. در مقایسه، تحلیل زمان-فرکانس هر دو حوزه زمانی و فرکانسی را در نظر می‌گیرد و روشی برای مشاهده اطلاعات توزیع مشترک در حوزه زمان و فرکانس ارائه

1. Independent component analysis (ICA)

2. Intensity weighted mean frequency (IWMF)

3. Power spectral density (PSD)

4. Intensity weighted bandwidth weighted (IWBW)

می‌دهد. تبدیلات زمان-فرکانس بسیاری برای تحلیل سیگنال پیشنهاد شده است. تبدیل فوریه کوتاه‌مدت^۱ (STFT) تبدیل فوریه را در پنجره‌ای لغزنده محاسبه می‌کند، بنابراین اجزای فرکانسی هر نقطه زمانی به دست می‌آید البته اگر طول پنجره به اندازه کافی کوچک باشد. طول پنجره‌های مختلف در STFT ترجیحات متفاوتی برای وضوح زمانی و وضوح فرکانسی دارند. تبدیل موجک^۲ (WT) راه‌حلی برای تناقض بین وضوح زمانی و وضوح فرکانسی در STFT ارائه می‌دهد [۵].

روش طبقه‌بندی

برای یک مجموعه ویژگی مشخص، لازم است که مناسب‌ترین طبقه‌بندی‌ها را براساس ویژگی‌های استخراج شده انتخاب کنیم. همان‌طور که در بالا معرفی کردیم، مدل‌های پیچیده که توانایی بیان قوی دارند، می‌توانند به راحتی منجر به مشکل پیش‌پرازش شوند که در این مبحث به بررسی روش‌های طبقه‌بندی در سیگنال EEG می‌پردازیم:

- روش یادگیری ماشین: روش‌های یادگیری ماشین شامل طبقه‌بندی خطی، مدل‌های درخت تصمیم، طبقه‌بندی‌های بیز، طبقه‌بندی‌های نزدیک‌ترین همسایه و غیره هستند.

ماشین بردار پشتیبان^۳ (SVM) یکی از دسته‌های طبقه‌بندی‌های خطی است بنابراین، به طور گسترده‌ای در وظایف شناسایی EEG استفاده شده است.

مدل مارکوف پنهان^۴ (HMM) یک طبقه‌بندی بیز محبوب در شناسایی سیگنال EEG است. نزدیک‌ترین همسایه^۵ (KNN) یک طبقه‌بندی ساده است که به آموزش نیاز ندارد و برای برجسته کردن تأثیر استخراج ویژگی استفاده می‌شود [۵].

- روش یادگیری عمیق: یادگیری عمیق به طور خلاصه به عنوان شبکه‌های عصبی مصنوعی با لایه‌های پنهان عمیق تعریف می‌شود. افزایش تعداد لایه‌ها باعث می‌شود که مدل شبکه توانایی تطابق بهتری داشته باشد. با افزایش قابلیت تفکیک بین انواع مختلف سیگنال‌ها، سیگنال می‌تواند مستقیماً به مدل یادگیری عمیق وارد شود تا وظیفه تشخیص را بدون نیاز به استخراج ویژگی انجام دهد.

در یادگیری ماشین سنتی، کیفیت طراحی ویژگی‌ها تأثیر بسیار زیادی بر عملکرد طبقه‌بندی دارد. یادگیری عمیق به طور مستقیم مراحل طراحی دستی ویژگی‌ها را حذف می‌کند که این موضوع به طور قابل توجهی اتوماسیون پردازش سیگنال را بهبود می‌بخشد. اما یادگیری عمیق بدون استخراج ویژگی دارای تفسیرپذیری کافی نیست [۸].



شکل ۸. سیگنال EEG در مدل یادگیری عمیق [۵]

بنابراین متوجه می‌شویم، یادگیری ماشین نسبت به یادگیری عمیق در تفکیک‌پذیری ضعیف‌تر به نظر می‌رسد، اما در بیشتر موارد می‌تواند نیاز به طبقه‌بندی EEG را برآورده کرده و از مشکل پیش‌پرازش جلوگیری کند.

1. Short-term Fourier transform (STFT)
2. Wavelet transform (WT)
3. Support vector machine (SVM)
4. Hidden markov model (HMM)
5. K nearest neighbor (KNN)

کارهای اخیر انجام شده

در اینجا به تحقیقات اخیر محققان در بررسی بیماری صرع از نوار مغز می‌پردازیم: در سال ۲۰۱۶ سوامی و همکاران، از تمام عوامل آماری مانند (بزرگ‌تر، کوچک‌تر، استاندارد) استفاده کردند. آن‌ها همچنین در بحث طبقه‌بندی از رگرسیون عصبی عمومی استفاده کرده‌اند (شبکه^۱ GRNN). در نتیجه دقت برای عدم تشنج در مقابل تشنج ۹۹/۱۸ درصد، در حالی که دقت برای تشنج طبیعی در مقابل ۹۸/۴ درصد بود. در سال ۲۰۱۷ لاسفر و همکاران^۲ [۹]، آن‌ها از سه الگوریتم برای طبقه‌بندی استفاده می‌کردند (ANN^۳، SVM، KNN) EEG شناسایی صرع با تکیه بر سیگنال‌های حذف نویزهای ناخواسته، فیلترهایی را روی این سیگنال‌ها اعمال کرده و آن‌ها را دریافت می‌کنند. صحت نتایج (ANN 95% – SVM 96% – KNN 89%) بود. در سال ۲۰۱۷، وانگ و همکاران^۴ [۱۰]، آن‌ها توالی‌های EEG را از رکوردهای EEG با استفاده از انتقال موج برای توصیف محتوای فرکانس در طول زمان تولید کردند. نتایج تجربی نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی از چند دیدگاه و در نتیجه افزایش کارایی تشخیص تشنج EEG روش WT به بهترین نتیجه از نظر امتیاز F1^۵ و دقت ۱۰۰٪ دست‌یافته است.

در سال ۲۰۱۸، حسین و همکاران^۶ [۱۱]، آن‌ها استفاده از رویکردی مبتنی بر تشنج‌های صرع به‌طور خاص را یادگیری عمیق معرفی می‌کنند که به‌طور خودکار ویژگی‌های EEG متمایز را یاد می‌گیرد. نتایج در یک معیار بالینی شناخته شده از روش‌های مدرن مجموعه‌ی داده‌های برتر در رویکرد پیشنهادی را نسبت به حالت موجود نشان می‌دهد. در مقایسه با روش‌های فعلی که کاملاً به نویز حساس هستند، روش پیشنهادی عملکرد تشخیص بالای خود را در حضور مصنوعات رایج EEG (فعالیت‌های عضلانی و چشم‌ک‌زدن) و همچنین نویز سفید... حفظ می‌کند. این نمایش‌ها در طبقه‌بندی و ویژگی آموزشی Soft^۷ قرار می‌گیرند، حداکثر نتایج در یک مجموعه‌ی داده‌ی بالینی استاندارد شناخته شده ظاهر می‌شود که عملکرد بهتری از آن دارد، رویکرد پیشنهادی نسبت به روش‌های مدرن فعلی و دستیابی به عملکرد برتر با دقت طبقه‌بندی بالاتر از ۹۰٪.

در سال ۲۰۲۰، گوپتا و همکاران^۸ [۱۲]، از موجک گسسته برای تبدیل سیگنال EEG به حوزه‌ی فرکانس زمان استفاده شد. سپس، ویژگی‌های مختلف استخراج شده و طبقه‌بندی بر روی تعدادی از طبقه‌بندی کننده‌ها از جمله شبکه‌های عصبی پیچشی، جنگل‌های تصادفی و غیره برای تشخیص تشنج صرع انجام می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که تکنیک پردازش و ترکیب طبقه‌بندی کننده‌ها بر روی سیگنال‌های EEG به‌طور مستقیم وجود دارد که ویژگی‌های استخراج شده نتایج بسیار بهتری نسبت به مواردی که با استفاده از آن به‌دست می‌آیند، ارائه می‌کنند. در آنجا کار تکنیک‌ها، دقت ۹۹/۲۹ به‌دست آورد که از تشخیص متداول تشنج صرع بهتر عمل کرد.

بحث

به‌طور کلی برای تشخیص بیماری صرع از سیگنال EEG چهار مرحله انجام شد: در مرحله‌ی اول به روش‌های دریافت سیگنال EEG پرداختیم که به دو دسته کلی تقسیم می‌شد: روش تهاجمی و روش غیرتهاجمی.

1. Generalized regression neural network (GRNN)
2. Lasefr et al.
3. Artificial neural networks (ANN)
4. Wang et al.
5. Formula one (F1)
6. Hussein et al.
7. Soft: Soft skills
8. Gupta et al.

در روش تهاجمی مجسمه برداشته می شود و الکترودها روی مغز قرار می گیرند، بنابراین ممکن است باعث عفونت شود. پس در این بحث روش غیرتهاجمی که الکترودها روی سطح سر قرار می گیرند بهتر عمل می کند و هزینه کمتری صرف این روش می شود. در ادامه به دومین مرحله ی بحث، پیش پردازش EEG پرداختیم: این فرایند سعی می کند اطلاعات مفید را حفظ کند و مؤلفه های بی فایده مثل نویزها و آرتیفکتهای را حذف می کند. آرتیفکتهای به دو دسته تقسیم می شود: آرتیفکت فنی و آرتیفکت زیستی.

آرتیفکتهای فنی باعث می شوند که کیفیت و وضوح سیگنالهای EEG کاهش یابد و تأثیر غیرقابل پیش بینی بر طبقه بندی سیگنال دارند، پس می توانیم با فیلتر کردن آنها را حذف کنیم، ولی آرتیفکتهای زیستی چون در خارج از مغز هستند، می توانند سیگنال EEG مشاهده شده را آلوده کنند. بنابراین آرتیفکتهای فنی خطر کمتری دارند و بهتر عمل می کنند. در ادامه به سومین مرحله ی تشخیص بیماری صرع از سیگنال EEG، استخراج ویژگی پرداختیم، که می تواند با استفاده از یکی از مراحل زیر انجام شود:

یا می توان از ویژگی های حوزه ی زمانی استفاده کرد، که شامل پارامترهای آماری مثل: واریانس، میان، میانگین و... است. یا می توان از ویژگی های حوزه ی فرکانسی استفاده کرد، که شامل پارامترهای وابسته به فرکانس، انرژی و توان است. یا می توان از ویژگی های حوزه ی زمان-فرکانس استفاده کرد، این ویژگی روشی برای مشاهده اطلاعات توزیع مشترک در حوزه ی زمان-فرکانس ارائه می دهد که ساده ترین راه برای این کار تبدیل فوریه است. تبدیل فوریه در یک پنجره ی لغزنده روی کل سیگنال محاسبه می شود، بنابراین اجزای فرکانسی هر نقطه ی زمانی به دست می آید. پس روش حوزه ی زمان-فرکانس بهتر عمل می کند زیرا هم پارامترهای آماری در حوزه ی زمانی و هم فرکانسی را با تبدیل فوریه، با هم انجام می دهد.

در ادامه به آخرین مرحله ی طبقه بندی پرداختیم که به دو دسته کلی تقسیم می شود: یادگیری ماشین و یادگیری عمیق. در روش یادگیری ماشین به طور گسترده ای، در وظایف شناسایی EEG و برجسته کردن تأثیر استخراج ویژگی استفاده می شد ولی در روش یادگیری عمیق، با افزایش قابلیت تفکیک بین انواع مختلف سیگنالها، سیگنال می تواند مستقیماً به مدل یادگیری عمیق وارد شود تا وظیفه تشخیص را بدون نیاز به استخراج ویژگی انجام دهد. بنابراین، روش یادگیری ماشین نسبت به روش یادگیری عمیق در تفکیک پذیری ضعیف تر به نظر می رسد.

نتیجه گیری

در این مقاله، به تشخیص بیماری صرع (که یکی از شایع ترین بیماری های مغز شناخته می شود) با استفاده از سیگنال EEG پرداخته شده است. سیگنال الکتروانسفالوگرام EEG در این مورد برای افشای ساختاری اطلاعات عملکردی مغز برای کمک به نشان دادن نقص ها و همچنین اختلالات در مغز مفید است. مطابق مقاله تحقیقاتی مرتبط با این زمینه استنباط شد که اندازه گیری سیگنال در تشخیص صرع کارایی بالایی دارد، به طوری که تنها راه مؤثر برای نشان دادن بیماری است. البته روش های زیادی برای استخراج و طبقه بندی ویژگی سیگنال مغز وجود دارد که بهترین روش فیلترینگ طبقه بندی، روش یادگیری عمیق است. پیشنهاد می شود در مطالعات طبقه بندی سیگنال از روش یادگیری عمیق استفاده شود.

منابع

1. Karim R, Nitol S, Rahman MM. Epileptic seizure detection by exploiting EEG signals using different decomposition techniques and machine learning approaches. BRAC University; 2018.
2. Jazzar IM. Feature extraction of EEG signal to classify epileptic signal using neural network [Master's thesis]. جامعة النجاح الوطنية. 2020.

3. Baldominos A, Ramón-Lozano C. Optimizing EEG energy-based seizure detection using genetic algorithms. In: 2017 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC); 2017. p. 2338-45.
4. Siddiqui MK, Morales-Menendez R, Huang X. A review of epileptic seizure detection using machine learning classifiers. *Brain Inform.* 2020;7(1):5.
5. Zhang R. Epileptic seizure detection and prediction based on EEG signal analysis; 2021.
6. Aarabi A, Kazemi K, Grebe R. Detection of EEG transients in neonates and older children using a system based on dynamic time-warping template matching and spatial dipole clustering. *Neuroimage.* 2009;48(1):50-62.
7. Alotaiby TN, Alshebeili SA, Alshawhi T. EEG seizure detection and prediction algorithms: A survey. *EURASIP J Adv Signal Process.* 2014;2014:1-21.
8. Mäkinen N. Deep learning approach for epileptic seizure detection; 2020.
9. Lasefr Z, Ayyalasomayajula SSVNR, Elleithy K. An efficient automated technique for epilepsy seizure detection using EEG signals. In: 2017 IEEE 8th Annual Ubiquitous Computing, Electronics and Mobile Communication Conference (UEMCON); 2017. p. 76-82.
10. Wang L, Xue W, Li Y. Automatic epileptic seizure detection in EEG signals using multi-domain feature extraction and nonlinear analysis. *Entropy.* 2017;19(6):222.
11. Hussein R, Palangi H, Ward R. Epileptic seizure detection: A deep learning approach. *arXiv preprint arXiv:1803.09848*; 2018.
12. Gupta S, Bagga S, Maheshkar V. Detection of epileptic seizures using EEG signals. In: 2020 International Conference on Artificial Intelligence and Signal Processing (AISP); 2020. p. 1-5.

