به نام خدا

هوش مصنوعی در صرع بزرگسالان
از تفسیر EEGو شناسایی تشنج تا پیش بینی خطر آن

مولف :

محمدرضا ذاکری

انتشارات ارسطو

(سازمان چاپ و نشر ایران – ۱۴۰۵)

نسخه الکترونیکی این اثر در سایت سازمان چاپ و نشر ایران و اپلیکیشن کتاب رسان موجود می باشد

Chaponashr.ir

سرشناسه : ذاکری، محمدرضا ، ۱۳۷۸
عنوان و نام پدیدآورنده: هوش مصنوعی در صرع بزرگسالان از تفسیر EEGو شناسایی تشنج تا پیش بینی خطر آن/ مولف: محمدرضا ذاکری
مشخصات نشر : انتشارات ارسطو (سازمان چاپ و نشر ایران)، ۱۴۰۵.
مشخصات ظاهری :۱۳۴ ص.
شابک : ۰-۹۶۹-۱۲۹-۶۲۲-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی : فیپا
یادداشت : کتابنامه.
موضوع : هوش مصنوعی در صرع بزرگسالان
رده بندی کنگره : TP ۹۸۳
رده بندی دیویی : ۶۶۸/۵۵
شماره کتابشناسی ملی : ۸۵۲۳۶۴
اطلاعات رکورد کتابشناسی : فیپا

نام کتاب : هوش مصنوعی در صرع بزرگسالان از تفسیر EEGو شناسایی تشنج تا پیش بینی خطر آن
مولف: محمدرضا ذاکری
ناشر : انتشارات ارسطو (سازمان چاپ و نشر ایران)
صفحه آرایی، تنظیم و طرح جلد: الهام غفاری
تیراژ : ۱۰۰۰ جلد
نوبت چاپ : اول ــ ۱۴۰۵
چاپ : زبرجد
قیمت : ۳۰۰۰۰۰تومان
فروش نسخه الکترونیکی - کتاب رسان :
https//:chaponashr.ir/ketabresan
شابک : ۰-۹۶۹-۱۲۹-۶۲۲-۹۷۸
تلفن مرکز پخش : ۰۹۱۲۰۲۳۹۲۵۵
www.chaponashr.ir

فهرست

تقدیم به 7
فصل اول 9
مبانی هوش مصنوعی در صرع بزرگسالان 9
EEG صرع بزرگسالان و جایگاه 9
چالش‌های تحلیل EEG و جایگاه هوش مصنوعی 11
کاربردهای اصلی هوش مصنوعی در صرع 12
مبانی یادگیری ماشین و یادگیری عمیق 14
توسعه و ارزیابی مدل‌های مبتنی بر EEG 17
تفسیر خروجی مدل‌ها و نقش متخصص 19
فصل دوم 21
مبانی EEG و کیفیت داده در تحلیل هوشمند 21
انواع ثبت EEG و ویژگی‌های داده 21
الگوهای EEG در تحلیل هوشمند 24
آرتیفکت‌ها، واریانت‌های طبیعی و خطاهای تحلیل 26
آماده‌سازی و پیش‌پردازش داده‌های EEG 29
برچسب‌گذاری داده‌ها و استاندارد مرجع 32
فصل سوم 35
کاربرد هوش مصنوعی در تفسیر EEG بزرگسالان 35
نقش EEG در بررسی تشنج نخست و حملات مشکوک 35

شناسایی خودکار تخلیه‌های صرعی بین‌تشنجی 37
تفسیر خودکار و طبقه‌بندی یافته‌های EEG 39
مدل‌های بنیادین و تفسیر چندوظیفه‌ای EEG 42
ادغام خروجی AI با تفسیر متخصص 45
کاربردهای عملی تفسیر هوشمند EEG 48
فصل چهارم 51
شناسایی خودکار تشنج در ثبت‌های EEG 51
مفهوم شناسایی تشنج و تفاوت آن با پیش‌بینی 51
مراحل الگوریتمی شناسایی خودکار تشنج 54
کاربرد AI در پایش طولانی‌مدت 58
ارزیابی عملکرد سامانه‌های شناسایی تشنج 62
محدودیت‌ها و روش‌های مکمل شناسایی تشنج 67
فصل پنجم 71
پیش‌بینی خطر تشنج در بزرگسالان 71
مفهوم پیش‌بینی خطر تشنج و افق‌های زمانی 71
چرخه‌های زمانی و نشانگرهای خطر تشنج 74
منابع داده برای پیش‌بینی خطر تشنج 78
شخصی‌سازی و به‌روزرسانی مدل‌های پیش‌بینی 86
تفسیر احتمال خطر و جایگاه آن در مراقبت بالینی 88
فصل ششم 93
اعتبارسنجی، محدودیت‌ها و ایمنی هوش مصنوعی در صرع 93

ارزیابی نقادانه مطالعات هوش مصنوعی در صرع 93

اعتبارسنجی مستقل و تعمیم‌پذیری مدل‌ها 96

سوگیری‌ها و خطاهای روش‌شناختی 99

استانداردهای گزارش‌دهی و ارزیابی کیفیت مطالعات 103

ایمنی، نظارت تخصصی و ملاحظات اخلاقی 108

فصل هفتم..... 113

کاربرد تلفیقی هوش مصنوعی در ارزیابی و مراقبت از بیماران مبتلا به صرع 113

از مسئله بالینی تا انتخاب کاربرد مناسب هوش مصنوعی 113

سناریوهای بالینی تلفیقی و تحلیل یافته‌های متعارض 116

سناریوی دوم ـ پایش طولانی‌مدت و اختلاف میان هشدارهای خودکار و تشنج‌های واقعی.....118

سناریوی سوم ـ پیش‌بینی خطر بالا بدون وقوع تشنج 119

سناریوی چهارم ـ پایش پوشیدنی و شناسایی ناقص انواع تشنج کانونی 121

تحلیل تلفیقی سناریوها 123

ارزش افزوده هوش مصنوعی در تصمیم‌گیری تخصصی..... 123

مرزهای کاربرد کنونی و اولویت‌های توسعه آینده 127

تقدیم به

تمامی کسانی که با دانش، تلاش و تعهد انسانی خود، در مسیر شناخت، تشخیص و درمان صرع گام برمی‌دارند؛ آنان که با هر تلاش، برای کاستن از رنج بیماران، بهبود کیفیت زندگی آنان، افزایش آگاهی جامعه و بازگرداندن امید و آرامش به زندگی این عزیزان می‌کوشند.

باشد که این اثر، هرچند اندک، سهمی در این مسیر ارزشمند و گامی در جهت ارتقای آگاهی، بهبود مراقبت و فراهم آوردن زندگی بهتر برای مبتلایان به صرع باشد.

دکتر محمدرضا ذاکری

فصل اول

مبانی هوش مصنوعی در صرع بزرگسالان

صرع بزرگسالان و جایگاه EEG

صرع (Epilepsy) یکی از بیماری‌های ناهمگون دستگاه عصبی مرکزی است که با استعداد پایدار مغز برای ایجاد تشنج‌های صرعی و پیامدهای احتمالی عصبی، شناختی و روانی ـ اجتماعی آن‌ها مشخص می‌شود. تشنج صرعی به بروز گذرای علائم یا نشانه‌هایی اطلاق می‌شود که از فعالیت غیرطبیعی، بیش‌ازحد یا هم‌زمان نورون‌های مغزی ناشی می‌شوند. وقوع یک تشنج منفرد لزوماً به معنای ابتلا به صرع نیست؛ زیرا برخی تشنج‌ها در ارتباط مستقیم با اختلالات حاد متابولیک، مسمومیت‌ها یا آسیب‌های حاد مغزی رخ می‌دهند. بر اساس تعریف عملیاتی صرع، تشخیص این بیماری معمولاً با وقوع حداقل دو تشنج بدون عامل محرک حاد با فاصله بیش از ۲۴ ساعت مطرح می‌شود. در شرایط مشخص، یک تشنج بدون عامل محرک همراه با احتمال بالای عود در آینده یا تشخیص یک سندرم صرعی نیز می‌تواند معیارهای تشخیصی را برآورده سازد [1].

صرع در بزرگسالان از نظر علت‌شناسی، تظاهرات بالینی و سیر بیماری تنوع قابل توجهی دارد. عوامل ساختاری، ژنتیکی، عفونی، ایمنی و متابولیک ممکن است در ایجاد استعداد پایدار برای تشنج نقش داشته باشند؛ هرچند علت بیماری در برخی افراد ناشناخته باقی می‌ماند. ویژگی‌های هر تشنج نیز به شبکه‌های عصبی درگیر و نحوه انتشار فعالیت صرعی وابسته است. در طبقه‌بندی به‌روزشده انجمن بین‌المللی مبارزه با صرع (International League Against Epilepsy; ILAE) در سال ۲۰۲۵، تشنج‌های بالینی در چهار گروه اصلی کانونی، منتشر، نامشخص از نظر کانونی یا منتشر بودن و طبقه‌بندی‌نشده قرار می‌گیرند. گروه سوم زمانی به کار می‌رود که اطلاعات موجود برای تعیین کانونی یا منتشر بودن تشنج کافی نباشد، درحالی‌که گروه چهارم به مواردی اختصاص دارد که با وجود اطمینان از صرعی‌بودن رویداد، اطلاعات لازم برای طبقه‌بندی بیشتر آن در دسترس نیست [2]. این تمایزها برای توصیف دقیق تشنج‌ها و تفسیر مطالعات مرتبط با شناسایی خودکار آن‌ها اهمیت دارند.

ارزیابی بیمار بزرگسال با نخستین تشنج احتمالی یا حملات تکرارشونده، پیش از هر چیز بر شرح‌حال دقیق و تحلیل ویژگی‌های رویداد استوار است. نحوه آغاز حمله، توالی علائم، مدت رویداد، تغییرات سطح

هوشیاری و وضعیت بیمار پس از حمله می‌توانند در افتراق تشنج صرعی از سایر اختلالات گذرا کمک‌کننده باشند. سنکوپ، حملات عملکردی غیرصرعی، برخی اختلالات خواب و رویدادهای ناشی از مشکلات قلبی یا متابولیک از جمله تشخیص‌های افتراقی مهم محسوب می‌شوند. معاینه عصبی و بررسی‌های تکمیلی نیز براساس یافته‌های بالینی انتخاب می‌شوند. در این میان، الکتروانسفالوگرافی ابزاری برای پشتیبانی از ارزیابی تشخیصی و کسب اطلاعات درباره نوع تشنج یا سندرم صرعی احتمالی است؛ بنابراین نتیجه آن باید در ارتباط با شواهد بالینی تفسیر شود [3].

الکتروانسفالوگرافی (Electroencephalography; EEG) روشی غیرتهاجمی برای ثبت اختلاف پتانسیل‌های الکتریکی در سطح جمجمه است. سیگنال EEG سطحی عمدتاً از جریان‌های پس‌سیناپسی هماهنگ در جمعیت‌های نورونی قشر مغز، به‌ویژه نورون‌های هرمی، منشأ می‌گیرد و تحت تأثیر ویژگی‌های هندسی منابع عصبی و هدایت الکتریکی بافت‌های بین مغز و الکترود قرار دارد. این روش امکان بررسی فعالیت زمینه‌ای، تغییرات مرتبط با خواب و بیداری، تخلیه‌های صرعی بین‌تشنجی و برخی الگوهای الکتروگرافیک هنگام تشنج را فراهم می‌کند. تخلیه‌های صرعی بین‌تشنجی (Interictal Epileptiform Discharges; IEDs)، از جمله اسپایک‌ها و امواج تیز واجد ویژگی‌های صرعی، می‌توانند شواهدی در حمایت از وجود استعداد صرع‌زایی ارائه دهند. توزیع مکانی و ویژگی‌های زمانی این یافته‌ها نیز در طبقه‌بندی و ارزیابی نوروفیزیولوژیک بیمار کمک‌کننده‌اند؛ اگرچه محل مشاهده بیشترین فعالیت غیرطبیعی در EEG سطحی لزوماً معادل محل دقیق آغاز تشنج نیست [4].

انتخاب نوع ثبت EEG تابع سؤال بالینی و ویژگی‌های بیمار است. EEG روتین معمولاً از نخستین بررسی‌های نوروفیزیولوژیک به شمار می‌رود و در شرایط مناسب می‌تواند با روش‌های فعال‌سازی یا ثبت هنگام خواب تکمیل شود. در مواردی که اطلاعات بیشتری موردنیاز باشد، EEG خواب، ثبت سرپایی یا پایش طولانی‌مدت همراه با ویدئو ممکن است به کار گرفته شود. ویدئو‌ـEEG امکان بررسی هم‌زمان فعالیت الکتریکی مغز و تظاهرات بالینی رویداد را فراهم می‌سازد و به‌ویژه برای ارزیابی حملاتی که ماهیت آن‌ها مشخص نیست ارزشمند است. مدت ثبت، تعداد و آرایش الکترودها، شرایط فنی و کیفیت سیگنال بر اطلاعات حاصل تأثیر می‌گذارند؛ به همین دلیل رعایت استانداردهای ثبت، بخشی ضروری از ارزیابی معتبر EEG محسوب می‌شود [4، 5].

با وجود اهمیت EEG، محدودیت‌های تشخیصی این روش باید در تفسیر نتایج مورد توجه قرار گیرند. طبیعی‌بودن یک ثبت، به‌خصوص در بررسی کوتاه‌مدت، صرع را رد نمی‌کند؛ زیرا تخلیه‌های صرعی ممکن است در دوره ثبت رخ ندهند یا به‌دلیل موقعیت و ویژگی‌های منبع عصبی در EEG سطحی قابل شناسایی نباشند. در مقابل، برخی واریانت‌های طبیعی و آرتیفکت‌ها ظاهری مشابه فعالیت صرعی دارند و تفسیر نادرست آن‌ها می‌تواند به تشخیص بیش‌ازحد منجر شود. از این منظر، ارزش اطلاعات EEG به مشاهده

صرف یک الگوی غیرمعمول محدود نیست و به بررسی دقیق مورفولوژی، توزیع، زمینه الکتروفیزیولوژیک و ارتباط یافته با وضعیت بیمار وابسته است [3، 4].

پیشرفت ثبت دیجیتال و گسترش پایش‌های طولانی‌مدت، علاوه بر افزایش اطلاعات در دسترس، فرصت‌های تازه‌ای برای مطالعه الگوهای زمانی فعالیت صرعی ایجاد کرده است. توسعه روش‌های محاسباتی نیز امکان تحلیل خودکار یا نیمه‌خودکار بخشی از این داده‌ها را فراهم ساخته است [6]. در چنین بستری، هوش مصنوعی می‌تواند به بررسی یافته‌های EEG، شناسایی رویدادهای تشنجی و مطالعه تغییرات مرتبط با خطر وقوع تشنج کمک کند. کتاب حاضر با تمرکز بر بیماران بزرگسال، مبانی علمی و فنی این کاربردها، روش‌ها و الگوریتم‌های منتخب و شواهد و محدودیت‌های آن‌ها را بررسی می‌کند. هدف، ارائه شناختی تخصصی و کاربردمحور از ظرفیت‌های هوش مصنوعی در حوزه صرع است؛ نه جایگزینی منابع جامع صرع یا تدوین دستورالعمل مستقل برای تصمیم‌گیری بالینی.

چالش‌های تحلیل EEG و جایگاه هوش مصنوعی

تحلیل EEG مستلزم بررسی مجموعه‌ای از ویژگی‌های زمانی، مکانی و مورفولوژیک است که در طول ثبت تغییر می‌کنند. افزایش مدت پایش و تعداد کانال‌های ثبت، حجم داده‌های نیازمند تفسیر را گسترش داده و بررسی بصری آن‌ها را زمان‌بر ساخته است. برخی رویدادهای مهم ممکن است کوتاه‌مدت، کم‌تکرار یا محدود به بخش کوچکی از ثبت باشند. از سوی دیگر، تغییرات طبیعی فعالیت مغز، آرتیفکت‌های عضلانی و حرکتی و اختلالات ناشی از الکترودها می‌توانند شناسایی الگوهای موردنظر را دشوار کنند. این ویژگی‌ها ضرورت بهره‌گیری از روش‌هایی را مطرح می‌سازند که بتوانند داده‌های گسترده را سازمان‌دهی کنند و بخش‌های واجد اهمیت احتمالی را برای بررسی دقیق‌تر مشخص سازند [4، 6].

پیچیدگی تحلیل تنها ناشی از ویژگی‌های فنی ثبت نیست؛ تفسیر برخی الگوهای الکتروگرافیک نیز با اختلاف نظر متخصصان همراه است. در مطالعه جینگ و همکاران، توافق ارزیابان درباره وجود تخلیه‌های صرعی بین‌تشنجی در سطح یک ثبت EEG بیشتر از توافق آنان درباره رویدادهای منفرد بود. این مطالعه همچنین نشان داد که تفاوت آستانه تصمیم‌گیری متخصصان می‌تواند بخشی از اختلاف در طبقه‌بندی امواج مشکوک را توضیح دهد [7]. یافته مذکور به معنای نامعتبر بودن قضاوت تخصصی نیست، بلکه نشان می‌دهد تعیین ماهیت برخی الگوها حتی در میان ارزیابان باتجربه نیز همواره یکسان نیست. افزون بر این، وقتی برچسب‌های آموزشی الگوریتم‌ها بر پایه قضاوت متخصصان تهیه می‌شوند، اختلاف در معیار مرجع می‌تواند بر فرایند آموزش و ارزیابی سامانه‌های خودکار اثر بگذارد.

هوش مصنوعی (Artificial Intelligence; AI) با بهره‌گیری از روش‌های یادگیری از داده‌ها، امکان استخراج و طبقه‌بندی الگوهای پیچیده را فراهم می‌کند. در حوزه EEG، این روش‌ها می‌توانند برای

علامت‌گذاری قطعات مشکوک، شناسایی یافته‌های الکتروگرافیک، اولویت‌بندی داده‌های نیازمند بازبینی و تحلیل تغییرات زمانی به کار روند. دامنه این کاربردها از الگوریتم‌های اختصاصی شناسایی یک نوع الگو تا مدل‌هایی که چند وظیفه مرتبط را انجام می‌دهند گسترش یافته است [6]. چنین ابزارهایی ممکن است زمان بررسی داده‌ها را کاهش دهند یا اطلاعات مکملی در اختیار متخصص قرار دهند؛ بااین‌همه، بهبود سرعت پردازش یا عملکرد الگوریتمی به‌تنهایی اثبات‌کننده افزایش دقت تشخیص بالینی یا بهبود پیامدهای بیمار نیست.

قابلیت اعتماد مدل‌های هوش مصنوعی به داده‌های مورد استفاده در توسعه و ارزیابی آن‌ها وابسته است. تفاوت تجهیزات ثبت، ویژگی‌های جمعیت، کیفیت سیگنال و فراوانی الگوهای موردنظر می‌تواند عملکرد یک سامانه را در محیط‌های مختلف تغییر دهد. مدلی که بر مجموعه‌ای از EEGهای باکیفیت آموزش دیده است، ممکن است هنگام مواجهه با آرتیفکت‌های شدید، الگوهای نادر یا ثبت‌های حاصل از مراکز دیگر دقت کمتری داشته باشد. بنابراین سنجش عملکرد بر داده‌های مستقل و متناسب با کاربرد موردنظر اهمیت اساسی دارد. بیانیه سال ۲۰۲۶ فدراسیون بین‌المللی نوروفیزیولوژی بالینی (International Federation of Clinical Neurophysiology; IFCN) نیز بر کیفیت داده‌ها، اعتبارسنجی، ایمنی بیمار و ضرورت حفظ نظارت تخصصی در استفاده از این فناوری تأکید می‌کند [8].

جایگاه هوش مصنوعی در تحلیل EEG را باید بر اساس مسئله‌ای تعیین کرد که سامانه برای پاسخ‌گویی به آن طراحی شده است. یک الگوریتم ممکن است صرفاً وظیفه شناسایی قطعات مشکوک را بر عهده داشته باشد، درحالی‌که الگوریتم دیگر برای طبقه‌بندی یافته‌ها یا تحلیل تغییرات خطر تشنج توسعه یافته است. تفاوت در این اهداف، نوع خروجی و معیارهای ارزیابی را نیز تغییر می‌دهد. از همین رو، شناخت کاربردهای اصلی هوش مصنوعی و تمایز میان آن‌ها، پیش‌نیاز تفسیر صحیح مطالعات این حوزه است.

کاربردهای اصلی هوش مصنوعی در صرع

کاربردهای محوری هوش مصنوعی در صرع را می‌توان در سه حوزه تفسیر EEG، شناسایی تشنج و پیش‌بینی خطر تشنج بررسی کرد. این تقسیم‌بندی بیشتر بر تفاوت پرسش‌های علمی و خروجی‌های مورد انتظار استوار است تا جدایی کامل روش‌ها؛ زیرا برخی الگوریتم‌ها از داده‌ها و معماری‌های مشترک استفاده می‌کنند و ممکن است بیش از یک وظیفه را انجام دهند. با وجود این اشتراک، هر کاربرد دارای هدف، مقیاس زمانی و معیارهای ارزیابی مشخصی است و عملکرد مناسب در یک وظیفه، به‌تنهایی قابلیت مدل را در وظایف دیگر اثبات نمی‌کند [6، 8].

تفسیر هوشمند EEG به شناسایی، توصیف و طبقه‌بندی یافته‌های موجود در یک ثبت الکتروانسفالوگرافی اختصاص دارد. ورودی الگوریتم ممکن است ثبت کامل یا قطعاتی از سیگنال باشد و خروجی به شکل

علامت‌گذاری الگوها، تعیین نوع یافته یا طبقه‌بندی کلی ثبت ارائه شود. شناسایی تخلیه‌های صرعی بین‌تشنجی، کندی‌های غیرطبیعی و تمایز ثبت‌های طبیعی از غیرطبیعی از جمله وظایف مهم این حوزه‌اند. برای نمونه، سامانه SCORE-AI در مطالعه توایت و همکاران برای تفسیر خودکار EEGهای بالینی و طبقه‌بندی ناهنجاری‌های صرعی و غیرصرعی با توزیع کانونی یا منتشر توسعه یافت و در مجموعه‌داده‌های مستقل ارزیابی شد [9]. این مطالعه نمونه‌ای از امکان تحلیل چند نوع یافته در یک سامانه است، نه دلیلی بر جایگزینی ارزیابی تخصصی یا تشخیص مستقل بیماری صرع. افزون بر آن، نتایج حاصل از جمعیت‌های سنی مختلط باید هنگام استفاده در زمینه صرع بزرگسالان با توجه به ویژگی‌های نمونه تفسیر شوند.

شناسایی خودکار تشنج (Seizure Detection) بر آشکارسازی رویدادهای تشنجی در داده‌های دریافت‌شده تمرکز دارد. الگوریتم تغییرات زمانی سیگنال را بررسی می‌کند تا وجود رویداد و در صورت امکان، زمان شروع و پایان آن را مشخص سازد. این تحلیل ممکن است پس از تکمیل ثبت یا هم‌زمان با دریافت داده‌ها انجام شود. در حالت دوم، تأخیر میان آغاز رویداد و صدور هشدار نیز اهمیت پیدا می‌کند. برخلاف تفسیر کلی EEG که می‌تواند بر ویژگی‌های زمینه‌ای یا تخلیه‌های بین‌تشنجی متمرکز باشد، شناسایی تشنج معمولاً به تعیین وقوع یک رویداد مشخص در طول زمان می‌پردازد. کاربرد آن در ثبت‌های طولانی‌مدت، به‌ویژه برای شناسایی قطعات نیازمند بازبینی، قابل توجه است. با این وجود، عملکرد سامانه برحسب نوع تشنج، ویژگی‌های الکتروگرافیک و شرایط ثبت تغییر می‌کند. همچنین همه تشنج‌های بالینی دارای الگوی واضح در EEG سطحی نیستند و برخی تشنج‌های الکتروگرافیک ممکن است بدون تظاهرات بالینی آشکار رخ دهند [6].

پیش‌بینی خطر تشنج (Seizure Risk Forecasting) مسئله متفاوتی را دنبال می‌کند: برآورد احتمال وقوع تشنج در یک بازه زمانی آینده، براساس اطلاعاتی که تا زمان پیش‌بینی در دسترس بوده‌اند. داده‌های مورد استفاده ممکن است شامل زمان وقوع تشنج‌های گذشته، ویژگی‌های فعالیت الکتریکی مغز و نشانگرهای طولی مرتبط با وضعیت بیمار باشند. خروجی مدل به‌صورت احتمال یا سطح خطر در افق زمانی مشخص، مانند ساعات یا روزهای آینده، بیان می‌شود. در مطالعه پرویکس و همکاران، مدل‌های آماری با استفاده از چرخه‌های فعالیت صرعی بین‌تشنجی و داده‌های طولانی‌مدت دستگاه کاشتنی، برای برآورد خطر تشنج در بزرگسالان مبتلا به صرع فوکال مقاوم به درمان توسعه یافتند و ارزیابی شدند [10]. این پژوهش امکان استفاده از الگوهای زمانی برای برآورد خطر فردی را نشان داد، اما جمعیت و نوع ثبت آن با همه بیماران مبتلا به صرع یکسان نیست. علاوه بر این، پیش‌بینی خطر به معنای تعیین قطعی زمان وقوع تشنج نیست؛ حتی در دوره‌هایی که مدل خطر بالاتری برآورد می‌کند، ممکن است تشنجی رخ ندهد.

تفاوت این سه حوزه را می‌توان در ماهیت پرسش هر سامانه خلاصه کرد. در تفسیر EEG، مسئله اصلی شناسایی و توصیف یافته‌های ثبت‌شده است. در شناسایی تشنج، وقوع رویداد و زمان آن در داده‌های موجود بررسی می‌شود. پیش‌بینی خطر، در مقابل، احتمال رویدادی را برآورد می‌کند که هنوز رخ نداده است. برآورد کوتاه‌مدت یا روزانه خطر در فرد مبتلا به صرع نیز نباید با تخمین خطر عود بلندمدت پس از نخستین تشنج یکسان تلقی شود؛ زیرا جمعیت هدف، عوامل پیش‌بینی‌کننده و افق زمانی آن‌ها متفاوت‌اند [1، 10].

مقایسه سه کاربرد اصلی هوش مصنوعی در شکل ۱ـ1 ارائه شده است.



شکل ۱ـ1. تمایز شناسایی IED، شناسایی تشنج و پیش‌بینی خطر تشنج

سه وظیفه هوش مصنوعی به‌ترتیب به شناسایی یک الگوی بین‌تشنجی، کشف رویداد تشنجی در داده موجود و برآورد احتمال وقوع تشنج در آینده مربوط‌اند؛ هیچ‌یک جایگزین دیگری نیست؛ این نمایش شماتیک است (۶، ۸، ۱۰، ۱۸، ۲۲).

نکته آموزشی: وجود IED به معنای وقوع حمله نیست؛ برآورد خطر نیز وقوع قطعی رویداد را پیش‌گویی نمی‌کند.

مبانی یادگیری ماشین و یادگیری عمیق

هوش مصنوعی در تحلیل EEG از روش‌های محاسباتی گوناگونی بهره می‌گیرد که هدف مشترک آن‌ها استخراج اطلاعات معنادار از داده‌های الکتروفیزیولوژیک است. یادگیری ماشین (Machine Learning; ML) یکی از شاخه‌های اصلی هوش مصنوعی محسوب می‌شود که در آن الگوریتم با استفاده از داده‌های آموزشی، روابط آماری مرتبط با یک مسئله مشخص را فرا می‌گیرد. یادگیری عمیق (Deep Learning; DL) نیز زیرمجموعه‌ای از یادگیری ماشین است که با بهره‌گیری از شبکه‌های عصبی چندلایه، امکان استخراج بازنمایی‌های پیچیده و سلسله‌مراتبی از داده‌ها را فراهم می‌سازد. در تحلیل

EEG، انتخاب روش یادگیری به ماهیت مسئله، نوع سیگنال، حجم داده‌های موجود و خروجی مورد انتظار وابسته است. برای مثال، شناسایی یک تخلیه صرعی، طبقه‌بندی کلی ثبت و برآورد خطر تشنج آینده، هرچند ممکن است از معماری‌های مشابه استفاده کنند، به داده‌ها و اهداف آموزشی متفاوتی نیاز دارند [6، 8].

در یادگیری نظارت‌شده (Supervised Learning)، الگوریتم با داده‌هایی آموزش می‌بیند که برچسب یا مقدار هدف آن‌ها از پیش تعیین شده است. این برچسب‌ها در تحلیل EEG ممکن است نشان‌دهنده وجود تخلیه صرعی بین‌تشنجی، نوع الگوی الکتروگرافیک یا وضعیت یک قطعه زمانی از سیگنال باشند. مدل با مقایسه خروجی محاسبه‌شده و مقدار مرجع، پارامترهای خود را طی فرایند آموزش تنظیم می‌کند. هدف آن است که روابط آموخته‌شده در داده‌های آموزشی، برای نمونه‌های جدید نیز قابل استفاده باشند. سامانه SpikeNet نمونه‌ای از کاربرد یادگیری عمیق نظارت‌شده در شناسایی تخلیه‌های صرعی بین‌تشنجی است. این سامانه با استفاده از داده‌های EEG سطحی و نمونه‌های برچسب‌گذاری‌شده توسط متخصصان توسعه یافت و عملکرد آن در شناسایی الگوهای صرعی ارزیابی شد [11]. در مقابل، یادگیری بدون نظارت (Unsupervised Learning) می‌تواند ساختارها و گروه‌بندی‌های موجود در داده‌ها را بدون استفاده از برچسب‌های تشخیصی ازپیش‌تعیین‌شده شناسایی کند. البته گروه‌بندی آماری سیگنال‌ها لزوماً با دسته‌بندی‌های شناخته‌شده پزشکی مطابقت ندارد و تفسیر بالینی آن نیازمند بررسی مستقل است.

در روش‌های متعارف یادگیری ماشین، فرایند تحلیل اغلب با استخراج ویژگی‌هایی آغاز می‌شود که برای تمایز الگوهای موردنظر اهمیت دارند. دامنه، مدت و شیب امواج، توان طیفی، ویژگی‌های زمانی ـ فرکانسی و شاخص‌های پیچیدگی سیگنال از جمله اطلاعاتی هستند که می‌توانند از EEG استخراج شوند. سپس این ویژگی‌ها به الگوریتم‌هایی مانند ماشین بردار پشتیبان (Support Vector Machine; SVM) یا جنگل تصادفی (Random Forest) ارائه می‌شوند تا رابطه میان داده‌ها و برچسب‌ها یا مقادیر هدف آموخته شود. در مسائل طبقه‌بندی، مدل معمولاً میان گروه‌های مشخص تمایز برقرار می‌کند؛ درحالی‌که در مسائل برآوردی، خروجی می‌تواند یک مقدار عددی پیوسته باشد. عملکرد چنین روش‌هایی تا حدی به کیفیت ویژگی‌های انتخاب‌شده و توانایی آن‌ها در بازنمایی تفاوت‌های واقعی میان الگوهای طبیعی، فعالیت‌های صرعی و آرتیفکت‌ها وابسته است. روش‌های یادگیری عمیق این امکان را فراهم کرده‌اند که بخش مهمی از استخراج ویژگی در ساختار خود مدل انجام شود؛ هرچند همچنان به داده‌های مناسب و طراحی صحیح فرایند آموزش نیاز دارند [6].

شبکه‌های عصبی کانولوشنی (Convolutional Neural Networks; CNNs) از معماری‌های پرکاربرد یادگیری عمیق در تحلیل EEG هستند. این شبکه‌ها با استفاده از فیلترهای قابل یادگیری،