معاونت فرهنگی و دانشجویی
دانشگاه صنعتی همدان

انجمن علمی مهندسی پزشکی

سیگنال

گاهنامه مهندسی پزشکی دانشگاه صنعتی همدان

شماره مجوز: ۹۰/۴/ص/ن || شماره ۲۲، تابستان ۱۴۰۵

سیگنال حیاتی

گاهنامه **سیگنال حیاتی**
انجمن علمی مهندسی پزشکی
دانشگاه صنعتی همدان
شماره ۲۲ ،تابستان ۱۴۰۵

صندوق پستی: ۶۵۱۵۵-۶۵۷۹ | کدپستی: ۳۷۳۳-۱-۶۵۱۶ | کانال تلگرام: @BMEJOURNAL

مدیر مسئول نشریه: عرفان اصغری
سردبیر: نازنین عاشق حسینی
صفحه آرایی: نرگس طاوه ئی
ویراستار: مانیا گوران
هیئت تحریریه: نازنین عاشق حسینی، مهسا طالبی

با تشکر و سپاس از همه عزیزانی که ما را یاری کردند و استاد مشاور محترم خانم دکتر قادری

فهرست :

سخن سردبیر..... ۱
مروری بر روش‌های حذف نویز از سیگنال مغزی EEG ۲
تجهیزات هوشمند پزشکی..... ۱۰

سخن سردبیر:

به شماره بیست و دوم «سیگنال حیاتی» خوش آمدید.
شاید برای خیلی از شما دیدن این شماره، تنها یک عدد روی جلد باشد، اما برای من و تیم تحریریه، این شماره معنایی فراتر از یک توالی عددی دارد: چهارمین نشریه‌ای است که تنها در طی یک سال گذشته منتشر می‌کنیم.
بله، دقیقاً یک سال پیش بود که با امید و دلهره، گام در مسیری تازه گذاشتیم و حالا با شماره ۲۲، چهار بار نبض تحریریه‌مان را ثبت کرده‌ایم. این تداوم، برای ما یک پیروزی کوچک اما شیرین است.
این عدد را مدیون نگاه دقیق شما مخاطبان عزیز، که با هر خوانش، هر نقد و هر پیشنهاد، به ما انرژی دوباره بخشیدید، همچنین همکاران بی‌ادعای تحریریه، که شب‌های بی‌خوابی و ویرایش‌های مکرر را به جان خریدند تا محتوایی درخور اعتماد شما تولید شود، هستیم.
این فرصت را غنیمت می‌شمارم تا از ته دل از تک تک شما تشکر کنم از این که با ما ماندید، از این که نوشتید، از این که خواندید و از این که حتی با یک پیام کوتاه، به ما فهماندید که «سیگنالتان به مقصد رسیده است.»

شماره ۲۲ را با سوژه‌هایی تازه و نگاهی عمیق‌تر طراحی کرده‌ایم. امیدوارم مثل همیشه، این شماره نیز برایتان یک «سیگنال» روشن از دانایی و آگاهی باشد.
به امید شماره‌های بیشتر...

مروری بر روش‌های حذف نویز از سیگنال مغزی EEG

چکیده

الکتروانسفالوگرافی یکی از ارزشمندترین و در دسترس‌ترین روش های ثبت فعالیت الکتریکی مغز است، با این حال دامنه بسیار پایین سیگنال EEG آن را به شدت در برابر انواع نویزهای فیزیولوژیکی و محیطی آسیب پذیر ساخته است، هدف این مقاله بررسی مهم ترین منابع نویز و معرفی روش های متداول حذف آنها است.

مقدمه

مغز انسان از میلیاردها سلول عصبی تشکیل شده است که به شکل شبکه‌های پیچیده و به هم پیوسته فعالیت می کنند. انتقال و پردازش اطلاعات در مغز به‌وسیله پالس‌های الکتریکی درون و برون‌شبکه‌ای صورت می‌گیرد. این جریان های یونی، میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی ضعیفی را در اطراف سر ایجاد می‌کنند. روش الکتروانسفالوگرافی (EEG) قادر است با استفاده از الکترودهای نصب‌شده بر روی پوست سر، این فعالیت‌های الکتریکی را به صورت غیرتهاجمی، با تفکیک‌پذیری زمانی بسیار بالا ثبت کند.

تاریخچه ثبت فعالیت الکتریکی مغز به سال ۱۸۷۵ بازمی گردد؛ زمانی که ریچارد کاتن روی مغز خرگوش و میمون تحقیقاتی انجام داد. با این‌حال، تولد واقعی EEG انسانی را به سال ۱۹۲۴ نسبت می‌دهند؛ زمانی که هانس برگر، روانپزشک آلمانی، برای نخستین بار موفق به ثبت نوسانات الکتریکی از پوست سر پسر نوجوان خود شد. او در سال ۱۹۲۹، مقاله مشهور خود را با عنوان «الکتروانسفالوگرام انسان» منتشر کرد و ریتم آلفا را به عنوان اولین ریتم شناخته شده مغزی معرفی نمود. پس از آن، ادگار آدریان و برایان متیوز در دانشگاه کمبریج، یافته‌های برگر را تأیید کردند و زمینه‌ساز ورود EEG به عصب‌شناسی بالینی، به ویژه در تشخیص صرع و تومورهای مغزی شدند.

دامنه کاربردهای EEG بسیار گسترده است و می‌توان آن را در سه حوزه اصلی بالینی، شناختی و مهندسی دسته‌بندی کرد.

مهم‌ترین و رایج‌ترین کاربرد بالینی EEG، تشخیص صرع است. الگوهای پاراکسیسمال خاصی مانند اسپایک‌ها، شارپ‌ویوها و کمپلکس‌های اسپایک-موج آهسته، نشانه های قطعی فعالیت صرعی در مغز محسوب می‌شوند. EEG یکی از ارکان اصلی پلی‌سومنوگرافی (PSG) است و مبنای استاندارد طلایی برای طبقه‌بندی مراحل مختلف خواب به شمار می‌رود. از این روش در تشخیص اختلالات خواب



نظیر آپنه انسدادی، نارکولپسی و اختلالات رفتاری در خواب (REM) کاربرد دارد. یکی از پیشرفته‌ترین حوزه‌های پژوهشی میان‌رشته‌ای، توسعه سیستم‌های رابط مغز و رایانه (BCI) است. در این سیستم‌ها، سیگنال‌های EEG به فرمان‌های کنترلی مستقیم برای رایانه یا دستگاه‌های بیرونی تبدیل می شوند.

علیرغم مزایای بی‌شمار، تحلیل سیگنال EEG با یک چالش اساسی مواجه است: دامنه بسیار پایین این سیگنال. دامنه سیگنال EEG در سطح پوست سر معمولاً بین ۵ تا ۱۰۰ میکروولت است که در مقایسه با سایر سیگنال‌های فیزیولوژیک مانند ECG با دامنه چند میلی‌ولت بسیار کوچک‌تر است. این ویژگی، EEG را به شدت در برابر منابع مختلف نویز داخلی و خارجی حساس کرده است. این منابع نویز را می‌توان به دو دسته اصلی، نویزهای فیزیولوژیک و نویزهای محیطی، تقسیم کرد.

از جمله نویزهای فیزیولوژیکی می‌توان به نویز چشمی یا EOG اشاره کرد. پلک زدن و حرکت چشم، پتانسیل‌های با دامنه بالا تولید می کنند که به‌راحتی بر EEG به ویژه در نواحی پیشانی غلبه می‌کنند.

از جمله نویزهای محیطی می‌توان به تداخل خط برق اشاره کرد. مهم ترین منبع این نویز، میدان الکترومغناطیسی ناشی از سیم های برق است که فرکانسی ثابت را به سیگنال EEG القا می کند.

با توجه به اینکه وجود نویز می‌تواند تفسیر بالینی و شناختی EEG را به طور کامل مختل کند و حتی منجر به نتایج کاملاً اشتباه در سیستم‌های BCI شود، هدف این مقاله مروری، بررسی سیستماتیک مهم‌ترین منابع نویز آلاینده سیگنال‌های EEG و نیز معرفی و مقایسه روش‌های متداول حذف یا کاهش این نویزها است.

ماهیت نویز در EEG

در ثبت سیگنال الکتروانسفالوگرافی، نویز به هرگونه فعالیت الکتریکی ناخواسته گفته می‌شود که منشأ آن دستگاه، کابل ها، الکترودها یا محیط اطراف است و مربوط به فعالیت مغز یا بدن فرد نیست. نویز معمولاً در تمام کانال‌های ثبت مشاهده می‌شود و الگوی آن مستقل از رفتار و وضعیت فرد است.

نویز به دو دسته کلی تقسیم می شود:

۱. **نویز محیطی:** ناشی از دستگاه های الکتریکی اطراف مانند لامپ‌های فلورسنت،مانیتورها، کابل‌های برق و تجهیزات پزشکی.

۲. **نویز ذاتی دستگاه:** ناشی از نوسانات حرارتی قطعات الکترونیکی، نویز تقویت‌کننده و نویز مبدل آنالوگ به دیجیتال.

ویژگی مهم نویز آن است که حذف کامل آن تقریباً غیرممکن است؛ اما با شیلدینگ مناسب، فیلتر کردن و استفاده از زمین جداگانه، می‌توان آن را به حد قابل قبولی کاهش داد.

تعریف آرتیفکت

آرتیفکت به تغییرات ولتاژی ثبت شده در EEG گفته می‌شود که منشأ درونی دارند و حاصل فعالیت‌های فیزیولوژیکی یا حرکتی غیرمغزی هستند برخلاف نویز، آرتیفکت‌ها اغلب در ناحیه خاصی از سر دیده می شوند و می توانند شکل امواج واقعی مغز را تقلید کنند.

آرتیفکت‌ها خود به دو دسته زیر تقسیم می‌شوند:

۱. **آرتیفکت‌های فیزیولوژیک:** مانند پلک زدن، حرکت زبان، فعالیت قلبی، تنفس،تعریق و انقباض عضلات گردن و فک.

۲. **آرتیفکت های حرکتی:** تغییر موقعیت سر، لمس الکترودها، ضربه به کابل‌ها و جابه‌جایی فرد در حین ثبت.

مثال‌های عینی و بالینی:

۱) نویز برق شهر ۲) آرتیفکت پلک زدن ۳) آرتیفکت حرکت عضلانی

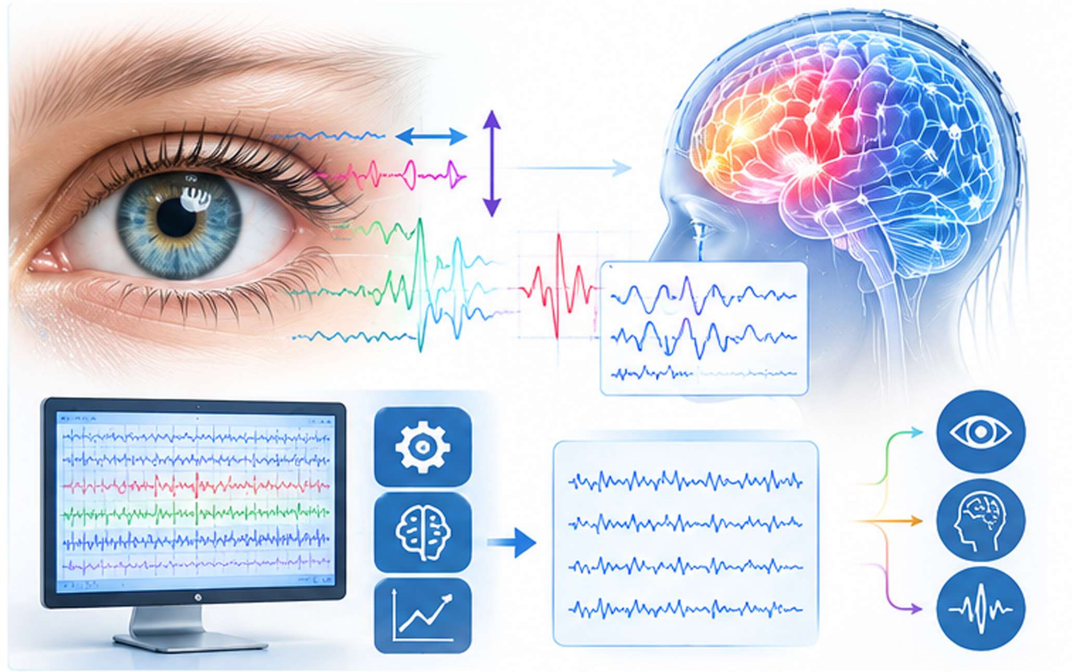
آرتیفکت	نویز	معیار
داخلی	خارجی	منشأ
پلک، زبان	برق شهر	نمونه منبع
۰-۳ هرتز پلک	۵۰تا ۶۰ هرتز	فرکانس نمونه
موضعی	یکنواخت در تمام مسیر	توزیع مکانی
خطرناک	معمولاً ندارد	شباهت به EEG
آرام کردن فرد	فیلتر، زمین	راه حذف

آرتیفکت فیزیولوژیک چشمی در سیگنال‌های EEG

ثبت و تحلیل سیگنال‌های الکتروانسفالوگرافی (EEG) همواره با چالش‌های جدی ناشی از وجود آرتیفکت‌ها (نویزهای فیزیولوژیک و غیرفیزیولوژیک) همراه است. در میان انواع آرتیفکت‌ها، آرتیفکت‌های چشمی از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند؛ زیرا دامنه‌ی سیگنال ناشی از فعالیت‌های چشمی مانند پلک‌زدن (Blink) و حرکات افقی و عمودی کره‌ی چشم، چندین برابر دامنه سیگنال مغزی است و به‌شدت تفسیر صحیح فعالیت‌های مغزی را دشوار می‌سازد. این آرتیفکت‌ها که عمدتاً در اثر اختلاف پتانسیل بین قرنیه و شبکیه ایجاد می‌شوند، در کانال‌های پیشانی بیشترین تأثیر را دارند و در صورت عدم حذف، می‌توانند نتایج تحلیل‌های کمی و کیفی EEG، از جمله بررسی توان طیفی، پتانسیل‌های وابسته به رویداد (ERP) و نقشه های توپوگرافیک را به‌طور قابل‌توجهی مخدوش کنند.

روش‌های سنتی حذف آرتیفکت چشمی، مانند رگرسیون خطی چندمتغیره، اگرچه ساده هستند، اما به دلیل وابستگی به کانال‌های مرجع و احتمال حذف بخش‌هایی از سیگنال مغزی، کارایی محدودی دارند. در سال‌های اخیر، تحلیل مؤلفه‌های مستقل (ICA) به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای جداسازی کور منابع، توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. این روش مبتنی بر این فرض است که سیگنال ثبت‌شده در هر الکترود، ترکیبی خطی از منابع مستقل ، شامل فعالیت‌های مغزی و آرتیفکت‌ها است. الگوریتم‌هایی مانند Infomax و FastICA با بیشینه‌سازی غیرگاوسی بودن مؤلفه‌ها، قادر به جداسازی مؤلفه‌های مربوط به آرتیفکت‌های چشمی از فعالیت‌های خالص مغزی هستند.

بااین‌حال، چالش اصلی در استفاده از ICA، شناسایی دقیق و خودکار مؤلفه‌های آرتیفکت در میان ده‌ها مؤلفه استخراج‌شده



است. روش‌های سنتی مبتنی بر بازبینی چشمی توسط متخصص، زمان‌بر بوده ،به مهارت کاربر وابسته‌اند و در مواجهه با حجم بالای داده‌ها کارایی محدود دارند. رویکردهای نوین برای تشخیص خودکار، از معیارهای آماری و طیفی-زمانی بهره می‌برند. یکی از این روش‌ها، استفاده از ترکیبی از شاخص‌هایی نظیر کشیدگی (کرتوزیس)، همبستگی با کانال‌های مرجع چشم (EOG)، درصد مشارکت مؤلفه در کانال‌های مرجع و نیز کاهش فرکانس لحظه‌ای (استخراج‌شده از تبدیل فوریه‌ی زمان‌کوتاه) است. نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که این معیارها در دو گروه آزمون‌های حاوی و فاقد آرتیفکت، تفاوت معناداری دارند (سطح معنی‌داری کمتر از ۰٫۰۰۴۶).

یک رویکرد نوآورانه در این حوزه، ارائه روشی بدون نیاز به تعیین آستانه (Threshold) است که مشکل وابستگی به شرایط آزمون و فرد را برطرف می‌کند. در این روش، مؤلفه هایی که بیشترین کشیدگی، بیشترین همبستگی با کانال های مرجع، بیشترین درصد حضور در کانال‌های مرجع و کمترین فرکانس لحظه‌ای را دارند، به‌عنوان مؤلفه‌های آرتیفکت چشمی شناسایی می‌شوند. آزمایش روی ۲۰۰۰ قطعه ۴ ثانیه‌ای از سیگنال EEG، نشان‌دهنده‌ی دقت تشخیص ۹۲٫۸٪ برای این روش خودکار است. حذف مؤلفه های شناسایی‌شده و بازسازی سیگنال با استفاده از ماتریس جداسازی معکوس، منجر به تولید EEG تصحیح شده‌ای می‌شود که ضمن حفظ ساختار داده‌های مغزی، از تأثیرات مخرب حرکات چشمی پالایش شده است. این پیشرفت‌ها گام مهمی در جهت پردازش خودکار و قابل اطمینان سیگنال‌های مغزی، به‌ویژه در کاربردهای بالینی و سیستم‌های رابط مغز-رایانه (BCI) محسوب می‌شوند.

نویزهای محیطی در سیگنال EEG

انواع نویزهای محیطی مؤثر بر EEG:

۱.نویز الکتریکی (Line Noise): ناشی از برق شهری (۵۰ یا ۶۰ هرتز) و تجهیزات الکترونیکی اطراف.

۲. نویز الکترومغناطیسی: ناشی از دستگاه‌های صنعتی، تلفن‌های همراه و وسایل آزمایشگاهی.

۳. نویز محیطی صوتی: صداهای صنعتی با ترازهای مختلف (۷۵، ۸۵ و ۹۵ دسی‌بل) می‌توانند تغییرات معناداری در باندهای فرکانسی آلفا و بتا ایجاد کنند.

سیگنال‌های مغزی (EEG) بسیار ضعیف هستند و به راحتی تحت تأثیر نویزهای محیطی مانند صداهای مزاحم، امواج الکتریکی و حرکات ناخواسته قرار می‌گیرند. برای اطمینان از صحت نتایج در این مطالعه، چند اقدام ساده اما مؤثر انجام شد:

اول، کنترل محیط آزمایش: همه ثبت‌ها در یک اتاق آکوستیک (ضدصدا) انجام شدند تا صدای زمینه به کمترین مقدار برسد. در طول آزمایش، تراز صدای محیط با دستگاه صوت‌سنج کالیبره شده به طور مداوم چک و در سطح پایین (۴۵ دسی‌بل) ثابت نگه داشته شد.

دوم، فیلتر کردن امواج مزاحم: برای حذف نویز برق شهر (۵۰ هرتز)، از فیلتر ناچ استفاده شد. همچنین نویزهای بسیار کم‌بسامد (مثل نویز ناشی از تنفس) و نویزهای بسیار



پربسامد (مثل نویز عضلانی) به‌ترتیب با فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر حذف شدند.

سوم، جداسازی عوامل غیرمغزی: با کمک یک روش کامپیوتری به نام تحلیل مؤلفه‌های مستقل (ICA)، عواملی مانند پلک زدن، حرکت چشم و انقباض عضلات که ممکن بود سیگنالEEG را آلوده کنند، شناسایی و از داده اصلی جدا شدند.

چهارم، بازسازی کانال‌های خراب: اگر سیگنال یک الکترود به هر دلیلی غیرقابل استفاده می‌شد، به جای حذف آن، داده‌های آن از روی میانگین دو الکترود مجاور بازسازی می شد تا اطلاعات کامل بماند.

با این روش‌ها، تأثیر نویزهای محیطی به حداقل رسید و اطمینان حاصل شد که تغییرات مشاهده‌شده در امواج مغزی، واقعاً ناشی از مواجهه با صداهای موردنظر بوده و تحت تأثیر عوامل مزاحم دیگر قرار نگرفته‌اند.

فیلترهای دیجیتال در پردازش سیگنال EEG

فیلترهای دیجیتال ابزارهای اساسی در پردازش سیگنال‌های EEG محسوب می‌شوند که با حذف نویزهای مزاحم و استخراج باندهای فرکانسی مورد نظر، امکان تحلیل دقیق‌تر فعالیت مغزی را فراهم می‌آورند.

فیلتر دیجیتال چیست؟

فیلتر دیجیتال، سیستمی ریاضی است که بر داده‌های گسسته نمونه‌برداری شده در طول زمان، عملیات پردازشی انجام می‌دهد. در حوزه سیگنال‌های EEG، فیلترها برای جداسازی باندهای فرکانسی مختلف فعالیت مغزی (مانند امواج دلتا، تتا، آلفا، بتا و گاما) و حذف نویزهای مزاحم به کار می‌روند. برخلاف فیلترهای آنالوگ که با قطعات فیزیکی ساخته می‌شوند، فیلترهای دیجیتال از انعطاف‌پذیری بالایی برخوردار بوده و به‌راحتی قابل تنظیم هستند.

انواع فیلترهای دیجیتال در پردازش EEG:

۱. فیلترپایین‌گذر

این فیلتر فرکانس‌های بالاتر از یک حد مشخص را حذف کرده و فرکانس‌های پایین‌تر را عبور می‌دهد. در پردازش سیگنال‌های EEG از این فیلتر برای حذف نویزهای فرکانس بالا، مانند فعالیت عضلات (EMG) استفاده می‌شود.

۲. فیلتر بالاگذر

این فیلتر برخلاف فیلتر پایین‌گذر عمل کرده و فرکانس‌های پایین‌تر از یک حد مشخص را حذف می‌کند. این فیلتر برای حذف آرتیفکت‌های ناشی از حرکت یا تنفس که در فرکانس‌های بسیار پایین رخ می‌دهند، کاربرد دارد.



۳. فیلترمیان‌گذر

این فیلتر تنها محدوده‌ای مشخص از فرکانس‌ها را عبور داده و سایر فرکانس‌ها را حذف می‌کند. در تحلیل EEG از این فیلتر برای استخراج باندهای فرکانسی خاص مانند امواج آلفا (۸-۱۳ هرتز) یا بتا (۱۳-۳۰ هرتز) استفاده می‌شود.

٤. فیلترناچ

این فیلتر، فرکانس خاصی را هدف قرار داده و آن را حذف می‌کند. مهم‌ترین کاربرد آن در سیگنال‌های EEG، حذف نویز ۵۰ هرتزی شبکه برق است که تقریباً در همه ثبت‌های EEG وجود دارد.

مزایا

• سادگی: پیاده‌سازی این فیلترها با زبان‌های برنامه نویسی مانند MATLAB و Python به‌سادگی امکان‌پذیر است.

• سرعت: پردازش دیجیتال سیگنال‌ها بسیار سریع‌تر از مدارهای آنالوگ است و امکان پردازش هم‌زمان چندین کانال را فراهم می‌کند.

• قابلیت تنظیم دقیق: با تغییر پارامترهای فیلتر مانند فرکانس قطع و مرتبه فیلتر، می‌توان بهترین پاسخ را برای هر کاربرد خاص تنظیم کرد.

معایب

• حذف بخشی از اطلاعات مفید: اعمال فیلتر ممکن است باعث از دست رفتن جزئیات مهم در سیگنال اصلی شود، به‌ویژه اگر باندهای فرکانسی مورد نظر و نویز هم‌پوشانی داشته باشند.

• ایجاد تغییر فاز: برخی فیلترها باعث تغییر فاز سیگنال می شوند که در تحلیل‌های مبتنی بر زمان، مانند بررسی هم زمانی فعالیت نواحی مختلف مغز، مشکل‌ساز است.

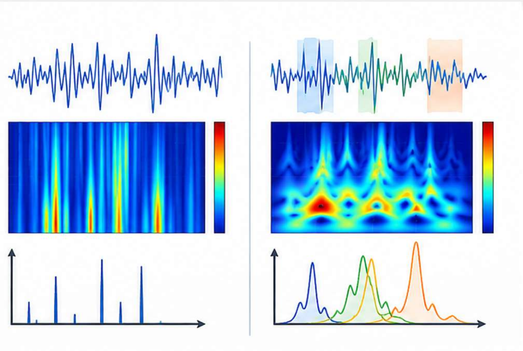
• حساسیت به انتخاب پارامترها: انتخاب نادرست پارامترهای فیلتر می‌تواند به نتایج گمراه‌کننده منجر شود.

فیلترهای دیجیتال ابزارهای حیاتی در پردازش سیگنال‌های EEG هستند که امکان پالایش داده‌های خام و استخراج اطلاعات مفید را فراهم می‌کنند. انتخاب نوع فیلتر و تنظیم بهینه پارامترهای آن با توجه به نوع مطالعه و اهداف بالینی یا تحقیقاتی، تأثیر مستقیمی بر کیفیت نتایج تحلیل سیگنال‌های مغزی دارد. در سال‌های اخیر، روش‌های پیشرفته‌تری مانند فیلترهای تطبیقی و فیلترهای مبتنی بر تبدیل موجک نیز برای پردازش سیگنال‌های EEG توسعه یافته‌اند که در مقایسه با فیلترهای سنتی، عملکرد بهتری در حفظ اطلاعات مفید دارند.

تبدیل موجک در پردازش سیگنال‌های EEG در بازاریابی عصبی

سیگنال‌های الکتروانسفالوگرافی (EEG) به‌طور گسترده در پژوهش‌های بازاریابی عصبی برای مطالعه ترجیحات مصرف کنندگان و پاسخ‌های مغزی به محرک‌های تبلیغاتی استفاده می‌شوند. یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در تحلیل سیگنال‌های EEG، ماهیت غیرایستای آن‌ها است. برخلاف سیگنال‌های دوره‌ای، ثبت‌های EEG به‌طور مداوم در طول زمان تغییر می کنند و این امر روش‌های تحلیل سنتی را برای ثبت هم‌زمان اطلاعات زمانی و فرکانسی ناکافی می‌سازد.





چرا تبدیل فوریه کافی نیست؟

تبدیل فوریه مدت‌هاست که به‌عنوان ابزاری استاندارد برای تحلیل سیگنال‌ها استفاده می‌شود، اما محدودیت‌های اساسی در کاربرد روی داده‌های EEG دارد. تحلیل فوریه، تفکیک فرکانسی بسیار خوبی ارائه می‌دهد، اما تمام اطلاعات زمانی را از دست می‌دهد. از آنجا که سیگنال‌های EEG غیرایستا هستند و محتوای فرکانسی آن‌ها در طول زمان تغییر می‌کند، تبدیل فوریه نمی‌تواند این تغییرات پویا را به‌خوبی ثبت کند. این محدودیت به‌ویژه در کاربردهای بازاریابی عصبی که پژوهشگران نیاز دارند بدانند پاسخ‌های مغزی در چه زمانی نسبت به محرک‌های بازاریابی رخ می دهند، مشکل‌ساز است.

آشنایی با تبدیل موجک

تبدیل موجک برای غلبه بر محدودیت‌های تحلیل فوریه در سیگنال‌های غیرایستا توسعه یافته است. برخلاف تبدیل فوریه که از توابع پایه سینوسی با طول نامتناهی استفاده می‌کند، تبدیل موجک از شکل‌موج‌های موضعی با طول محدود موسوم به موجک بهره می‌برد. این ویژگی امکان تحلیل هم‌زمان حوزه زمان و فرکانس را فراهم می‌کند. در این روش، سیگنال از طریق پیچش با تابع موجکی که قابلیت مقیاس‌سازی و جابه‌جایی برای تطبیق با مؤلفه‌های فرکانسی و موقعیت‌های زمانی مختلف را دارد، تحلیل می شود.

تبدیل موجک گسسته (DWT)

در کاربردهای عملی، تبدیل موجک گسسته (DWT) نسبت به نوع پیوسته آن ترجیح داده می‌شود. DWT، سیگنال‌ها را از طریق مجموعه‌ای از پالایه‌های بالاگذر و پایین‌گذر به باندهای فرکانسی مختلف تجزیه می‌کند. خروجی پالایه‌های پایین‌گذر، ضرایب تقریبی (A) و خروجی پالایه‌های بالاگذر، ضرایب جزئیات (D) را نشان می‌دهد. برای سیگنال‌های EEG با نرخ نمونه‌برداری ۱۲۸ هرتز، پژوهشگران از چهار سطح تجزیه با موجک دابشیز۴ (db ٤) استفاده کرده‌اند. این تجزیه با باندهای فرکانسی دلتا (۱-۴ هرتز)، تتا (۴-۸ هرتز)، آلفا (۸-۱۳ هرتز)، بتا (۱۳-۳۰ هرتز) و گاما (۳۰-۴۵ هرتز) مطابقت دارد.

مراحل حذف نویز با موجک

پیش‌پردازش سیگنال‌های EEG با استفاده از تبدیل موجک از یک فرایند سه‌مرحله‌ای پیروی می‌کند. در مرحله نخست، تجزیه، سیگنال خام EEG به ضرایب تقریبی و جزئیاتی در مقیاس‌های گوناگون تجزیه می‌شود. سپس آستانه‌گذاری روی ضرایب جزئیات اعمال می‌شود تا نویز حذف شده و ویژگی‌های مهم سیگنال حفظ گردد. در نهایت، بازسازی، ضرایب تغییریافته را ترکیب کرده و سیگنال پالایش‌شده را تولید می‌کند. این رویکرد ضمن حذف مؤثر آرتیفکت‌ها، اطلاعات حیاتی فعالیت مغزی را حفظ می‌کند.

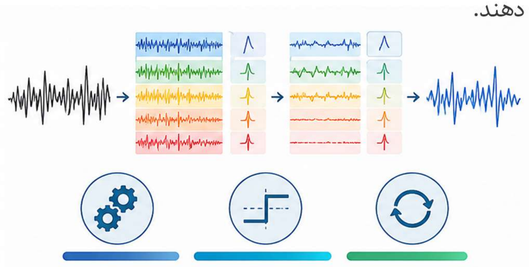
مزایای تبدیل موجک

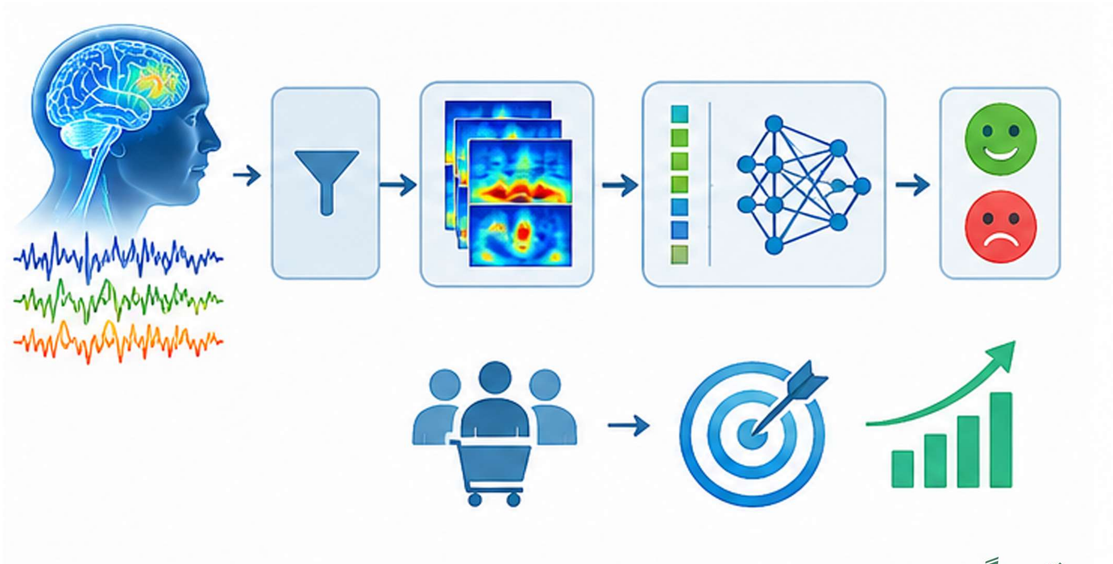
مهم‌ترین مزیت تبدیل موجک در تحلیل EEG، توانایی آن در حفظ هم‌زمان اطلاعات زمانی و فرکانسی است. این تحلیل دومنظوره برای پژوهش‌های بازاریابی عصبی که نیاز به شناسایی هم‌زمان زمان وقوع و ماهیت پاسخ‌های مغزی به محرک‌های تبلیغاتی دارند، ضروری است. همچنین، موجک ها برای تحلیل سیگنال‌های گذرا و ویژگی‌های موضعی که در فعالیت مغزی رایج هستند، بسیار مناسب‌اند.

محدودیت‌ها

با وجود مزایای بسیار، تبدیل موجک محدودیت‌های قابل توجهی نیز دارد. انتخاب پارامترهای مناسب موجک، شامل نوع موجک، سطح تجزیه و روش‌های آستانه‌گذاری، نیازمند بررسی دقیق است و اغلب به ویژگی‌های خاص سیگنال بستگی دارد. کاربردهای گوناگون ممکن است به انتخاب پارامترهای متفاوتی نیاز داشته باشند و این امر فرایند را تا حدودی سلیقه‌ای و نیازمند دانش تخصصی می‌سازد. انتخاب موجک مادر به‌ویژه تأثیر قابل‌توجهی بر کیفیت تجزیه دارد؛ هرچه تطابق شکل موجک با سیگنال اصلی بهتر باشد، تجزیه با کیفیت‌تری انجام خواهد شد.

تبدیل موجک به‌عنوان ابزاری ارزشمند برای پردازش سیگنال‌های EEG در کاربردهای بازاریابی عصبی ثابت شده است. توانایی آن در ارائه تحلیل هم‌زمان زمان-فرکانس، این روش را برای مطالعه پاسخ‌های پویای مغزی به محرک های بازاریابی بسیار مناسب ساخته است. هنگامی که با روش‌های دیگر استخراج ویژگی، مانند پیچیدگی لمپل-زیو و الگوریتم‌های طبقه‌بندی، مانند شبکه‌های عصبی عمیق ترکیب می‌شود، رویکردهای مبتنی بر موجک می‌توانند ترجیحات مصرف‌کننده را با دقت قابل‌قبولی تشخیص دهند.





نتیجه‌گیری

پردازش سیگنال‌های مغزی، فرایندی چندلایه و حساس است که کارایی نهایی آن به انتخاب هماهنگ و دقیق روش‌های پیش پردازش، استخراج ویژگی و طبقه‌بندی وابسته است. سیگنال‌های الکتروانسفالوگرافی به دلیل ماهیت ضعیف، غیرایستا و آسیب‌پذیر خود، همواره در معرض انواع گوناگون نویزها و آرتیفکت‌ها قرار دارند که در صورت عدم شناسایی و حذف به‌موقع، می‌توانند اعتبار نتایج تحلیل را به مخاطره بیندازند. از این رو، آگاهی از منابع اختلال و به‌کارگیری راهکارهای مؤثر برای کاهش آن‌ها، پیش‌نیازی اجتناب‌ناپذیر برای دستیابی به نتایج قابل‌اتکا در تشخیص ترجیحات مصرف‌کننده به شمار می‌رود.

در این میان، آرتیفکت‌های فیزیولوژیک ناشی از فعالیت‌های چشمی، از جمله پلک‌زدن و حرکات چشم، از مهم‌ترین منابع اختلال در سیگنال‌های EEG محسوب می‌شوند. روش تحلیل مؤلفه‌های مستقل (ICA) با بهره‌گیری از فرض استقلال آماری منابع، امکان جداسازی مؤلفه‌های مربوط به فعالیت‌های چشمی و عضلانی را از مؤلفه‌های مغزی فراهم می‌کند و با حذف مؤلفه‌های مزاحم، سیگنالی پالایش‌شده در اختیار پژوهشگران قرار می‌دهد. به‌موازات آن، نویزهای محیطی نظیر تداخل شبکه برق شهری و اغتشاشات الکترونیکی نیز با استفاده از ترکیبی از فیلترهای دیجیتال، شامل فیلتر میان‌گذر باتروورث درجه دوم در محدوده فرکانسی ۰/۴ تا ۴۵ هرتز و فیلتر هموارساز ساویتزکی-گولای، کاهش داده می‌شوند؛ این فیلترها ضمن حذف فرکانس‌های مزاحم، نسبت سیگنال به نویز را بدون تخریب قابل‌توجه ساختار اصلی سیگنال افزایش می‌دهند. از سوی دیگر، با توجه به ماهیت غیرایستای سیگنال‌های مغزی، تبدیل موجک گسسته (DWT) با استفاده از موجک دابشیز۴ (db٤) و چهار سطح تجزیه، به‌عنوان روشی کارآمد برای تحلیل هم‌زمان حوزه زمان و فرکانس مطرح می‌شود. این روش با تفکیک سیگنال به پنج باند فرکانسی دلتا، تتا، آلفا، بتا و گاما، استخراج ویژگی‌های معنادارتر را میسر ساخته و برخلاف تبدیل فوریه، اطلاعات زمانی حیاتی را نیز برای تحلیل‌های بعدی حفظ می‌کند.

بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که به‌کارگیری تلفیقی از روش‌های یادشده، ضمن بهبود چشمگیر کیفیت سیگنال‌های EEG، به افزایش قابل‌توجه دقت در تشخیص ترجیحات مصرف‌کنندگان انجامیده است. مدل پیشنهادی این پژوهش با ترکیب ویژگی‌های استخراج‌شده از تبدیل موجک گسسته و پیچیدگی لمپل-زیو و بهره‌گیری از شبکه عصبی عمیق، عملکرد مطلوبی در تفکیک دو دسته «پسندیدن» و «نپسندیدن» از خود نشان داده و نسبت به رویکردهای پیشین، بهبود محسوسی را به همراه داشته است. این موفقیت، حاکی از تأثیر تعیین‌کننده انتخاب مناسب روش‌های پیش‌پردازش و استخراج ویژگی در کارایی سیستم‌های تشخیص اولویت مبتنی بر سیگنال‌های مغزی است. در مجموع، پژوهش‌های بازاریابی عصبی با فراهم آوردن بینش‌های عمیق‌تر نسبت به رویکردهای سنتی، می‌توانند به تدوین راهبردهای مؤثرتر بازاریابی، ارتقای اثربخشی پیام های تبلیغاتی، افزایش سطح رضایت مصرف‌کنندگان و در نهایت، ایجاد ارزش افزوده برای هر دو سوی معادله تولید و مصرف بینجامند. با وجود این دستاوردها، گسترش پژوهش‌ها با حجم نمونه بالاتر، استفاده از فناوری‌های نوین ثبت سیگنال در محیط‌های واقعی، توسعه الگوریتم‌های تحلیل برخط و ادغام آن‌ها با سایر شاخص‌های بیومتریک، می‌تواند افق‌های جدیدی را در این عرصه بگشاید و به کارآمدی هرچه بیشتر این روش‌ها در عرصه عمل بیفزاید.

منابع:

1- H. Ghandeharion and A. Erfanian Omidvar, " Automatic Ocular Artifact Suppression from EEG Data Using Statistics and Time-frequency Properties of Independent Components", Iranian Journal of Biomedical Engineering, vol. 3, no. 3, pp. 199-212, 2009.

2- S. Behbahani and A. Moti Nasrabadi, " Processing of EEG Signal to Analyze the Relation of the Hypnotizability and Activation of Brain's Hemispheres and Frontal-back Lobes in Hypnosis", Iranian Journal of Biomedical Engineering, vol. 4 , no. 1 , pp. 53-64, 2010.

3- M. Tavakoli Najafabadi and V. Abootalebi, "A New Hybrid Method for EOG Artifact Rejection from EEG Signal Using CCA and RLS", Iranian Journal of Biomedical Engineering, vol. 10, no. 1, pp. 1-10, 2016.

4- M. Valipour, S.A. Hosseini," Discrimination of neutron and gamma spectrum using a method based on digital filters", Department of Energy Engineering, Sharif University of Technology, vol.45, no. 3, pp.45-56, 2024.

5- Reza Mozafari and Samira Mavaddati, " A novel Image Denoising Method on Incoherent Dictionary Learning and Domain Adaptation Technique", Master of Science in Electronic Engineering Arian Institute of Higher Education and Technology Amirkola Iran and Electrical Department Faculty of Technology and Engineering University of Mazandaran Babolsar Iran, vol. 42, no. 4, pp. 73-91, 2020.

6- M. Asghari Bejestani and G. Mohammadkhani and S. Gorgin and V. Nafisi and G. Farahani, " Classification of EEG Signal for Discrimination of Two Imagied Word", Iranian Research Organization for Science and Technology, vol. 44, no.2, pp. 113-120, 2020.

7- Seyyed Abed Hosseini, "Recognition of Consumer Preferences from EEG Signals Using Discrete Wavelet Transformation, Lempel-Ziv Complexity, and Deep Neural Network", Published by University of Isfahan, vol. 12, No 22, pp.196-216, 2022

8- ذکائی، ج و محمدیان، ف و جعفری، م و تکلوبیغش، ا. (1402) . تغییرات امواج آلفا و بتا در مواجهه با ترازهای مختلف صدا. فصلنامه علمی تخصصی طب کار. دوره 15 . شماره 4. صفحه 35-44 .

"نازنین عاشق حسینی"

تجهیزات هوشمند پزشکی



به نام خداوند بخشنده و مهربان که شفا را در دستان طبیب و درون ابزارهای دقیق پزشکی به ودیعه نهاد این متن را با محوریت تجهیزاتی آغاز میکنم که مرزهای زندگی را جا به‌جا کرده و کیفیت سلامت را متحول ساخته است.

در جهانی که مرزهای علم و فناوری هر روز بیش از پیش درهم می‌آمیزند، پزشکی نیز دیگر تنها به دانش سنتی درمان محدود نیست؛ بلکه به عرصه‌ای پویا و میان‌رشته‌ای تبدیل شده است که در آن، مهندسی، علوم داده، هوش مصنوعی و زیست‌فناوری دست در دست هم، افق‌های تازه‌ای را پیش روی بشر گشوده‌اند. در این میان، «تجهیزات هوشمند پزشکی» به‌عنوان یکی از شاخص‌ترین نمودهای این همگرایی، نقشی بی‌بدیل در تحول نظام‌های سلامت ایفا می کنند.

شاید تا همین چند دهه پیش، تصور دستگاه‌هایی که بتوانند به‌صورت خودکار وضعیت حیاتی بیمار را پایش کنند، داده‌ها را تحلیل کنند و حتی در تصمیم‌گیری‌های درمانی به پزشکان یاری رسانند، بیشتر به داستان‌های علمی‌تخیلی شباهت داشت. اما امروز این فناوری‌ها نه‌تنها به واقعیت پیوسته‌اند، بلکه به بخشی جدایی‌ناپذیر از بیمارستان‌ها، کلینیک‌ها و حتی زندگی روزمره بیماران تبدیل شده‌اند. از ساعت‌های هوشمندی که ضربان قلب را لحظه‌به‌لحظه ثبت می‌کنند تا ربات‌های جراحی که با دقتی فراتر از توان انسان عمل می کنند، همگی نشان‌دهنده انقلابی آرام اما عمیق در عرصه سلامت هستند.

اهمیت این تجهیزات تنها در پیشرفت تکنولوژیک آن‌ها خلاصه نمی‌شود؛ بلکه تأثیر آن‌ها بر کیفیت زندگی انسان ها، کاهش خطاهای پزشکی، بهینه‌سازی فرآیندهای درمانی و افزایش دسترسی به خدمات سلامت، موضوعی است که توجه پژوهشگران و سیاست‌گذاران را به‌طور جدی به خود جلب کرده است. در واقع، تجهیزات هوشمند پزشکی پلی هستند میان داده و درمان؛ پلی که می‌تواند مسیر حرکت از «پزشکی واکنشی» به «پزشکی پیش‌بینانه و شخصی‌سازی شده» را هموار سازد.

با این حال، این مسیر خالی از چالش نیست. مسائل اخلاقی، امنیت داده‌ها، هزینه‌های پیاده‌سازی و نیاز به زیرساخت‌های مناسب، از جمله دغدغه‌هایی هستند که هم زمان با گسترش این فناوری‌ها مطرح می‌شوند. بنابراین، بررسی جامع و دقیق تجهیزات هوشمند پزشکی، نه‌تنها از منظر فنی، بلکه از دیدگاه اجتماعی و انسانی نیز ضروری به نظر می‌رسد.

در این متن،تلاش شده است تا با نگاهی علمی اما زبانی روان و نزدیک، به بررسی ابعاد مختلف تجهیزات هوشمند پزشکی پرداخته شود؛ از معرفی و دسته‌بندی آن‌ها گرفته تا کاربردها، مزایا، چالش‌ها و آینده‌ای که پیش روی این فناوری ها قرار دارد. امید است این نوشتار بتواند گامی هرچند کوچک در جهت آشنایی بیشتر دانشجویان و علاقه‌مندان با این حوزه نوین و الهام‌بخش باشد.

۱. تعریف و مفهوم تجهیزات هوشمند پزشکی

تجهیزات هوشمند پزشکی به مجموعه‌ای از دستگاه‌ها، سامانه‌ها و فناوری‌هایی اطلاق می‌شود که با بهره‌گیری از قابلیت‌هایی نظیر پردازش داده، یادگیری ماشین، ارتباطات شبکه‌ای و تحلیل هوشمند اطلاعات، قادر به پایش، تشخیص، تصمیم‌گیری و در برخی موارد مداخله در فرآیندهای درمانی هستند. این تجهیزات برخلاف ابزارهای سنتی پزشکی که عمدتاً عملکردی ایستا و وابسته به کاربر دارند، از درجه‌ای از «خودکارسازی» و «درک شرایط» برخوردارند که آن‌ها را به

ابزارهایی پویا و تطبیق‌پذیر تبدیل می‌کند.

ویژگی کلیدی این تجهیزات، توانایی آن‌ها در جمع‌آوری داده های دقیق از وضعیت فیزیولوژیک بیمار، پردازش این داده‌ها در زمان واقعی و ارائه خروجی‌های معنادار برای پزشکان یا حتی خود بیماران است. این خروجی‌ها می‌توانند به‌صورت هشدار، پیشنهاد درمانی یا گزارش‌های تحلیلی ارائه شوند که نقش مهمی در بهبود تصمیم‌گیری‌های پزشکی ایفا می‌کنند.

به‌طور کلی، تجهیزات هوشمند پزشکی را می‌توان در چارچوب تحول دیجیتال در نظام سلامت تعریف کرد؛ تحولی که هدف آن افزایش دقت، سرعت و کارایی خدمات درمانی از طریق بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته است.

۲. دسته‌بندی تجهیزات هوشمند پزشکی

با توجه به تنوع گسترده این تجهیزات، می‌توان آن‌ها را بر اساس کارکرد، نوع فناوری و حوزه کاربرد به چند دسته اصلی تقسیم کرد:

۲-۱. تجهیزات پایش سلامت (Monitoring Devices)

این دسته شامل دستگاه‌هایی است که برای اندازه‌گیری و ثبت مداوم شاخص‌های حیاتی بیماران مورد استفاده قرار می گیرند. از جمله این شاخص‌ها می‌توان به ضربان قلب، فشار خون، سطح اکسیژن خون و دمای بدن اشاره کرد. بسیاری از این تجهیزات به‌صورت پوشیدنی طراحی شده‌اند و قابلیت انتقال داده به تلفن‌های هوشمند یا سامانه‌های ابری را دارند. این ویژگی امکان نظارت مستمر بر وضعیت بیماران(به‌ویژه مبتلایان به بیماری‌های مزمن) را فراهم می‌سازد.

۲-۲. تجهیزات تشخیصی هوشمند (Diagnostic Systems)

این گروه از تجهیزات با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته و مدل‌های یادگیری ماشین، در تحلیل داده‌های پزشکی و تشخیص بیماری‌ها به کار می‌روند. برای مثال، سامانه‌های تحلیل تصاویر پزشکی می‌توانند در شناسایی تومورها، ناهنجاری‌های بافتی یا بیماری‌های ریوی نقش مؤثری ایفا کنند. این تجهیزات به کاهش خطای انسانی و افزایش دقت تشخیص کمک قابل‌توجهی می‌کنند.

۲-۳. تجهیزات درمانی هوشمند (Therapeutic Devices)

تجهیزات درمانی هوشمند، دستگاه‌هایی هستند که علاوه بر پایش یا تشخیص، در فرآیند درمان نیز نقش فعال دارند. از جمله این تجهیزات می‌توان به پمپ‌های هوشمند تزریق دارو، دستگاه‌های تنظیم‌کننده ضربان قلب (پیس‌میکرهای هوشمند) و سامانه‌های رباتیک جراحی اشاره کرد. این دستگاه‌ها می‌توانند بر اساس شرایط بیمار، عملکرد خود را به‌صورت خودکار تنظیم کنند.

۲-۴. ربات‌های پزشکی (Medical Robots)

ربات‌های پزشکی یکی از پیشرفته‌ترین شاخه‌های تجهیزات هوشمند به شمار می‌روند. این ربات‌ها در جراحی‌های دقیق، توان‌بخشی بیماران و حتی مراقبت‌های پرستاری مورد استفاده قرار می‌گیرند. دقت بالا، کاهش خطای انسانی و امکان انجام اعمال پیچیده از مزایای اصلی این فناوری است.

۲-۵. سامانه‌های مدیریت و تحلیل داده‌های سلامت (Health Data Systems)

این سامانه‌ها نقش زیرساختی در عملکرد تجهیزات هوشمند دارند. آن‌ها با جمع‌آوری، ذخیره‌سازی و تحلیل داده‌های پزشکی، امکان دسترسی سریع و دقیق به اطلاعات بیماران را فراهم می‌کنند. پرونده‌های الکترونیک سلامت و سامانه‌های پشتیبان تصمیم‌گیری بالینی از جمله مهم‌ترین نمونه‌های این دسته هستند.

در مجموع، تجهیزات هوشمند پزشکی را می‌توان به‌عنوان مجموعه‌ای یکپارچه از فناوری‌های پیشرفته در نظر گرفت که هر یک در بخشی از زنجیره مراقبت سلامت ایفای نقش می کنند. شناخت دقیق این دسته‌بندی‌ها، زمینه را برای درک بهتر کاربردها و تأثیرات این تجهیزات در نظام‌های سلامت فراهم می‌سازد.





۳. کاربردهای تجهیزات هوشمند پزشکی

تجهیزات هوشمند پزشکی با توجه به قابلیت‌های پیشرفته خود، در حوزه‌های مختلف نظام سلامت کاربردهای گسترده ای یافته‌اند. این کاربردها نه‌تنها موجب ارتقای کیفیت خدمات درمانی شده‌اند، بلکه نقش مهمی در افزایش بهره وری، کاهش هزینه‌ها و بهبود تجربه بیماران ایفا می‌کنند. در این بخش، مهم‌ترین حوزه‌های کاربرد این تجهیزات مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳-۱. کاربرد در بیمارستان‌ها و مراکز درمانی

بیمارستان‌ها به‌عنوان اصلی‌ترین مراکز ارائه خدمات سلامت، بیشترین بهره را از تجهیزات هوشمند پزشکی می‌برند. استفاده از سامانه‌های پایش هوشمند در بخش‌های مراقبت ویژه (ICU) این امکان را فراهم می‌کند که وضعیت حیاتی بیماران به‌صورت لحظه‌ای بررسی شده و در صورت بروز تغییرات خطرناک، هشدارهای لازم به کادر درمان ارسال شود. همچنین، تجهیزات تصویربرداری هوشمند و سامانه‌های تحلیل داده، به پزشکان در تشخیص سریع‌تر و دقیق‌تر بیماری‌ها کمک می‌کنند. علاوه بر این، بهره‌گیری از ربات‌های جراحی در برخی مراکز پیشرفته، دقت عمل‌های جراحی را افزایش داده و زمان بهبودی بیماران را کاهش داده است.

۳-۲. مراقبت‌های بهداشتی در منزل (Home Healthcare)

یکی از مهم‌ترین تحولات ناشی از تجهیزات هوشمند پزشکی، انتقال بخشی از خدمات درمانی از بیمارستان به منزل بیماران است. دستگاه‌های پوشیدنی و حسگرهای هوشمند، امکان پایش مداوم وضعیت سلامت افراد را در محیط زندگی روزمره فراهم می‌کنند. این موضوع به‌ویژه برای بیماران مبتلا به بیماری‌های مزمن مانند دیابت، بیماری‌های قلبی و فشار خون بالا اهمیت دارد. در این رویکرد، داده‌های ثبت‌شده به‌صورت آنلاین برای پزشکان ارسال می‌شود و در صورت نیاز، اقدامات درمانی لازم بدون مراجعه حضوری انجام می‌گیرد. این امر علاوه بر کاهش بار مراکز درمانی، موجب افزایش راحتی بیماران نیز می‌شود.

۳-۳. کاربرد در اورژانس و پزشکی از راه دور (Telemedicine)

در شرایط اضطراری، زمان نقش حیاتی در نجات جان بیماران دارد. تجهیزات هوشمند پزشکی با فراهم‌سازی امکان انتقال سریع اطلاعات، به تیم‌های اورژانس کمک می‌کنند تا تصمیمات دقیق‌تری بگیرند. برای مثال، ارسال داده‌های حیاتی بیمار از آمبولانس به بیمارستان، این امکان را فراهم می‌کند که تیم درمانی پیش از رسیدن بیمار، آمادگی لازم را داشته باشد. همچنین، پزشکی از راه دور با استفاده از این تجهیزات، امکان ارائه خدمات تخصصی به مناطق دورافتاده و کم‌برخوردار را فراهم کرده است. این فناوری به کاهش نابرابری در دسترسی به خدمات سلامت کمک قابل‌توجهی می‌کند.

۳-۴. توانبخشی و مراقبت‌های پس از درمان

تجهیزات هوشمند نقش مهمی در فرآیند توانبخشی بیماران ایفا می‌کنند. ربات‌های توانبخشی، دستگاه‌های تمرینی هوشمند و سامانه‌های پایش حرکتی، به بیماران کمک می کنند تا فرآیند بهبودی خود را با دقت و سرعت بیشتری طی کنند. این تجهیزات معمولاً با ارائه بازخوردهای لحظه‌ای، امکان اصلاح حرکات و بهبود عملکرد فیزیکی را فراهم می سازند. همچنین، در مراقبت‌های پس از جراحی، پایش مداوم وضعیت بیمار می‌تواند از بروز عوارض احتمالی جلوگیری کند.

۳-۵. مدیریت بیماری‌های مزمن

بیماری‌های مزمن یکی از چالش‌های اصلی نظام‌های سلامت در جهان به شمار می‌روند. تجهیزات هوشمند پزشکی با

فراهم‌سازی امکان پایش مستمر و تحلیل داده‌های بلندمدت، به مدیریت بهتر این بیماری‌ها کمک می‌کنند. برای مثال، بیماران دیابتی می‌توانند با استفاده از دستگاه‌های هوشمند، سطح قند خون خود را به‌طور مداوم کنترل کرده و بر اساس آن، رژیم غذایی یا دوز داروی خود را تنظیم کنند. این رویکرد نه‌تنها کیفیت زندگی بیماران را بهبود می‌بخشد، بلکه از بروز عوارض جدی و هزینه‌های درمانی سنگین نیز جلوگیری می کند.

کاربردهای گسترده تجهیزات هوشمند پزشکی نشان می‌دهد که این فناوری‌ها به‌تدریج در حال تبدیل شدن به یکی از ارکان اصلی نظام‌های سلامت هستند. از بیمارستان‌ها گرفته تا منازل، و از شرایط اضطراری تا مراقبت‌های بلندمدت، این تجهیزات نقشی کلیدی در ارتقای کیفیت و کارایی خدمات پزشکی ایفا می‌کنند.

۴. مزایا و اثرات تجهیزات هوشمند پزشکی

تجهیزات هوشمند پزشکی، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین دستاوردهای فناوری در حوزه سلامت، تأثیرات عمیق و چندبعدی بر نظام‌های درمانی و کیفیت زندگی انسان‌ها داشته‌اند. این تأثیرات را می‌توان در سطوح مختلف ، از جمله بهبود فرآیندهای تشخیصی، ارتقای کیفیت درمان، افزایش بهره‌وری نظام سلامت و حتی تغییر الگوی تعامل میان بیمار و پزشک مورد بررسی قرار داد.

۴-۱. افزایش دقت در تشخیص و کاهش خطاهای پزشکی

یکی از مهم‌ترین مزایای تجهیزات هوشمند پزشکی، افزایش دقت در تشخیص بیماری‌ها است. در بسیاری از موارد، خطاهای انسانی ناشی از خستگی، محدودیت‌های شناختی یا حجم بالای اطلاعات می‌تواند منجر به تشخیص نادرست شود. تجهیزات هوشمند با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته و تحلیل داده‌های گسترده، قادرند الگوهایی را شناسایی کنند که ممکن است از دید پزشک پنهان بمانند.

به‌عنوان مثال، سامانه‌های تحلیل تصاویر پزشکی می‌توانند با دقت بالا نشانه‌های اولیه بیماری‌هایی مانند سرطان را شناسایی کنند. این موضوع به تشخیص زودهنگام و در نتیجه، افزایش احتمال موفقیت درمان منجر می‌شود.

۴-۲. بهبود کیفیت و سرعت خدمات درمانی

استفاده از تجهیزات هوشمند موجب تسریع فرآیندهای درمانی و کاهش زمان انتظار بیماران می‌شود. دسترسی سریع به داده‌های دقیق و به‌روز، امکان تصمیم‌گیری سریع‌تر و مؤثرتر را برای پزشکان فراهم می‌کند. همچنین، خودکارسازی برخی فرآیندها، مانند ثبت اطلاعات بیماران یا تنظیم دوز دارو، موجب کاهش بار کاری کادر درمان و افزایش تمرکز آن‌ها بر جنبه‌های حیاتی‌تر درمان می‌شود. در شرایط بحرانی، این سرعت عمل می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در نجات جان بیماران داشته باشد.

۴-۳. حرکت به سوی پزشکی شخصی‌سازی‌شده (Person-alized Medicine)

یکی از مهم‌ترین تحولات ناشی از تجهیزات هوشمند پزشکی، امکان ارائه خدمات درمانی متناسب با ویژگی‌های فردی هر بیمار است. با تحلیل داده‌های ژنتیکی، سبک زندگی و سوابق پزشکی، این تجهیزات می‌توانند به طراحی برنامه‌های درمانی اختصاصی کمک کنند. این رویکرد که به «پزشکی شخصی سازی‌شده» معروف است، موجب افزایش اثربخشی درمان‌ها و کاهش عوارض جانبی می‌شود. در واقع، به‌جای استفاده از یک الگوی درمانی یکسان برای همه بیماران، درمان‌ها به صورت هدفمند و متناسب با شرایط هر فرد ارائه می‌شوند.

۴-۴. ارتقای پایش مستمر و پیشگیری از بیماری‌ها

تجهیزات هوشمند، به‌ویژه ابزارهای پوشیدنی، امکان پایش مداوم وضعیت سلامت افراد را فراهم کرده‌اند. این قابلیت به



شناسایی زودهنگام تغییرات غیرطبیعی در بدن کمک می‌کند و امکان مداخله پیشگیرانه را فراهم می‌سازد. در نتیجه، تمرکز نظام‌های سلامت از «درمان بیماری» به «پیشگیری از بروز بیماری» تغییر یافته است. این تغییر رویکرد نه‌تنها به بهبود سلامت عمومی جامعه کمک می‌کند، بلکه موجب کاهش هزینه‌های درمانی در بلندمدت نیز می‌شود.

۴-۵. افزایش دسترسی به خدمات سلامت

یکی دیگر از مزایای مهم تجهیزات هوشمند پزشکی، افزایش دسترسی به خدمات درمانی، به‌ویژه در مناطق دورافتاده و کم برخوردار است. با استفاده از فناوری‌هایی مانند پزشکی از راه دور، بیماران می‌توانند بدون نیاز به مراجعه حضوری، از خدمات تخصصی بهره‌مند شوند. این موضوع به کاهش نابرابری‌های جغرافیایی در حوزه سلامت کمک کرده و امکان ارائه خدمات باکیفیت را برای طیف گسترده‌تری از افراد فراهم می‌سازد.

۴-۶. بهینه‌سازی مدیریت منابع در نظام سلامت

تجهیزات هوشمند پزشکی با ارائه داده‌های دقیق و تحلیل‌های پیشرفته، به مدیران نظام سلامت کمک می‌کنند تا منابع موجود را به‌صورت بهینه‌تری تخصیص دهند. برای مثال، پیش‌بینی تعداد بیماران، مدیریت تخت‌های بیمارستانی و برنامه‌ریزی نیروی انسانی همگی می‌توانند با استفاده از این فناوری‌ها بهبود یابند. این امر به افزایش کارایی نظام سلامت و کاهش هزینه‌های اضافی منجر می‌شود.

۴-۷. بهبود تجربه بیمار و افزایش رضایت‌مندی

در نهایت، یکی از مهم‌ترین پیامدهای استفاده از تجهیزات هوشمند پزشکی، بهبود تجربه بیماران است. کاهش زمان انتظار، افزایش دقت درمان، امکان دریافت خدمات در منزل و ارتباط مؤثرتر با پزشکان، همگی عواملی هستند که به افزایش رضایت بیماران منجر می‌شوند. این موضوع، به‌ویژه در دنیای امروز که کیفیت خدمات نقش مهمی در ارزیابی نظام‌های سلامت دارد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

به‌طور کلی، تجهیزات هوشمند پزشکی با ایجاد تحول در شیوه‌های تشخیص، درمان و مدیریت سلامت، نقش بسزایی در ارتقای کیفیت خدمات پزشکی ایفا کرده‌اند. این فناوری‌ها نه‌تنها موجب افزایش دقت و کارایی شده‌اند، بلکه زمینه‌ساز شکل‌گیری رویکردهای نوینی در پزشکی، از جمله پزشکی پیشگیرانه و شخصی‌سازی‌شده، نیز بوده‌اند.

۵. چالش‌ها، محدودیت‌ها و ملاحظات اخلاقی تجهیزات هوشمند پزشکی

با وجود مزایای گسترده و تأثیرات مثبت تجهیزات هوشمند پزشکی، توسعه و به‌کارگیری این فناوری‌ها با چالش‌ها و محدودیت‌های قابل‌توجهی همراه است. بررسی این چالش‌ها برای درک واقع‌بینانه از جایگاه این تجهیزات در نظام‌های سلامت و نیز برنامه‌ریزی برای آینده، امری ضروری به شمار می‌رود.

۵-۱. چالش‌های مربوط به امنیت و حریم خصوصی داده‌ها

یکی از مهم‌ترین دغدغه‌ها در استفاده از تجهیزات هوشمند پزشکی، حفاظت از داده‌های حساس بیماران است. این تجهیزات به‌طور مداوم اطلاعاتی مانند وضعیت جسمانی، سوابق پزشکی و حتی الگوهای رفتاری افراد را جمع‌آوری و ذخیره می‌کنند. در صورت عدم تأمین امنیت مناسب، این داده‌ها می‌توانند در معرض دسترسی غیرمجاز، سوءاستفاده یا حملات سایبری قرار گیرند. نقض حریم خصوصی بیماران نه‌تنها می‌تواند پیامدهای فردی و اجتماعی جدی به همراه داشته باشد، بلکه اعتماد عمومی به این فناوری‌ها را نیز کاهش می‌دهد.



۵-۲. هزینه‌های بالا و محدودیت در دسترسی

پیاده‌سازی و نگهداری تجهیزات هوشمند پزشکی معمولاً نیازمند سرمایه‌گذاری‌های قابل‌توجهی است. هزینه‌های مربوط به خرید دستگاه‌ها، توسعه زیرساخت‌های فناوری اطلاعات، آموزش نیروی انسانی و نگهداری سیستم‌ها می تواند مانعی جدی برای استفاده گسترده از این فناوری‌ها، به ویژه در کشورهای در حال توسعه، باشد. این مسئله ممکن است به ایجاد شکاف دیجیتال در حوزه سلامت منجر شود؛ به‌گونه‌ای که تنها بخشی از جامعه از مزایای این تجهیزات بهره مند شوند.



۵-۳. وابستگی به فناوری و کاهش نقش انسانی

افزایش استفاده از تجهیزات هوشمند، نگرانی‌هایی را درباره کاهش نقش پزشکان و کادر درمان در فرآیند تصمیم‌گیری ایجاد کرده است. هرچند این تجهیزات به‌عنوان ابزارهای کمکی طراحی شده‌اند، اما وابستگی بیش از حد به آن‌ها ممکن است موجب کاهش مهارت‌های بالینی یا تضعیف قضاوت انسانی شود. در برخی موارد نیز، تفاوت میان توصیه های سیستم‌های هوشمند و نظر پزشک می‌تواند چالش‌هایی در تصمیم‌گیری ایجاد کند.



۵-۴. مسائل اخلاقی در تصمیم‌گیری‌های هوشمند

یکی از پیچیده‌ترین چالش‌ها در این حوزه، مسائل اخلاقی مرتبط با تصمیم‌گیری توسط سیستم‌های هوشمند است. برای مثال، در شرایطی که یک الگوریتم باید میان چند گزینه درمانی انتخاب کند، معیارهای این انتخاب چگونه تعیین می شوند؟ آیا این تصمیم‌ها همواره با اصول اخلاق پزشکی هم راستا هستند؟ همچنین، در صورت بروز خطا در عملکرد یک سیستم هوشمند، مسئولیت آن بر عهده چه کسی است؟ طراحان سیستم، پزشکان یا نهادهای ارائه‌دهنده خدمات؟ این پرسش‌ها همچنان در حال بررسی و بحث در مجامع علمی و حقوقی هستند.



۵-۵. نیاز به زیرساخت‌های پیشرفته و استانداردسازی

عملکرد مؤثر تجهیزات هوشمند پزشکی، وابسته به وجود زیرساخت‌های مناسب، از جمله شبکه‌های ارتباطی پایدار، سامانه‌های ذخیره‌سازی داده و استانداردهای یکپارچه است. نبود این زیرساخت‌ها می‌تواند کارایی این تجهیزات را کاهش داده و حتی منجر به بروز خطا شود. علاوه بر این، نبود استانداردهای جهانی یکسان در طراحی و استفاده از این تجهیزات، می‌تواند مانعی برای توسعه و یکپارچه‌سازی آن‌ها در نظام‌های سلامت مختلف باشد.

۵-۶. چالش‌های پذیرش اجتماعی و فرهنگی

پذیرش فناوری‌های نوین، همواره با مقاومت‌هایی از سوی کاربران مواجه بوده است. در حوزه پزشکی نیز، برخی بیماران و حتی کادر درمان ممکن است نسبت به استفاده از تجهیزات هوشمند تردید داشته باشند. نگرانی از جایگزینی انسان با ماشین، عدم آشنایی با فناوری و بی‌اعتمادی به سیستم‌های خودکار، از جمله عواملی هستند که می‌توانند مانع پذیرش گسترده این تجهیزات شوند.



در مجموع، اگرچه تجهیزات هوشمند پزشکی فرصت‌های بی نظیری برای بهبود نظام‌های سلامت فراهم کرده‌اند، اما بهره برداری مؤثر از آن‌ها مستلزم توجه جدی به چالش‌ها و محدودیت‌های موجود است. مدیریت صحیح این مسائل می تواند مسیر توسعه پایدار و مسئولانه این فناوری‌ها را هموار سازد.

۶. آینده تجهیزات هوشمند پزشکی

با توجه به روند رو به رشد فناوری و سرمایه‌گذاری‌های گسترده در حوزه سلامت دیجیتال، آینده تجهیزات هوشمند پزشکی بسیار روشن و تحول‌آفرین به نظر می‌رسد. پیشرفت های مداوم در زمینه‌هایی همچون هوش مصنوعی، یادگیری عمیق، نانوفناوری و زیست‌حسگرها، زمینه را برای توسعه نسل‌های جدیدی از این تجهیزات فراهم کرده‌اند که از دقت، سرعت و کارایی بسیار بالاتری برخوردار خواهند بود.



یکی از مهم‌ترین روندهای آینده، حرکت به سوی «پزشکی پیش‌بینانه» است؛ به این معنا که با تحلیل داده‌های گسترده و شناسایی الگوهای پنهان، امکان پیش‌بینی بروز بیماری‌ها پیش از ظهور علائم بالینی فراهم خواهد شد. در چنین شرایطی، نقش پزشکان از درمان‌کننده به «مدیر سلامت» تغییر خواهد یافت و تمرکز اصلی بر پیشگیری و حفظ سلامت خواهد بود. همچنین، توسعه فناوری‌های پوشیدنی و کاشتنی (Implantable Devices) موجب خواهد شد که پایش سلامت به‌صورت کاملاً نامحسوس و دائمی انجام گیرد. این تجهیزات می‌توانند به‌طور مستقیم با سیستم‌های بدن در ارتباط باشند و اطلاعات دقیق‌تری را در اختیار پزشکان قرار دهند. از سوی دیگر، پیشرفت در حوزه رباتیک پزشکی، امکان انجام جراحی‌های پیچیده‌تر با حداقل تهاجم را فراهم خواهد کرد.

ادغام تجهیزات هوشمند با شبکه‌های ارتباطی پیشرفته، به‌ویژه نسل‌های جدید اینترنت (مانند 5G و فراتر از آن)، نیز نقش مهمی در افزایش سرعت و دقت انتقال داده‌ها ایفا خواهد کرد. این موضوع به توسعه بیشتر پزشکی از راه دور و ارائه خدمات درمانی در سطح جهانی کمک می‌کند. با این حال، آینده این حوزه تنها به پیشرفت‌های فنی وابسته نیست، بلکه نیازمند تدوین قوانین و چارچوب‌های اخلاقی و حقوقی مناسب نیز هست. ایجاد تعادل میان نوآوری و مسئولیت‌پذیری، از مهم‌ترین چالش‌هایی است که مسیر آینده تجهیزات هوشمند پزشکی را شکل خواهد داد.





نتیجه‌گیری

تجهیزات هوشمند پزشکی را می‌توان یکی از مهم‌ترین نمودهای تحول دیجیتال در حوزه سلامت دانست که توانسته‌اند تغییرات عمیقی در شیوه‌های تشخیص، درمان و مدیریت بیماری‌ها ایجاد کنند. این تجهیزات با بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته، امکان ارائه خدمات درمانی دقیق‌تر، سریع‌تر و کارآمدتر را فراهم کرده‌اند و نقش مهمی در ارتقای کیفیت زندگی بیماران ایفا می‌کنند. در عین حال، بهره‌برداری مؤثر از این فناوری‌ها مستلزم توجه به چالش‌ها و محدودیت‌های آن‌ها، به‌ویژه در حوزه‌هایی مانند امنیت داده، مسائل اخلاقی و دسترسی عادلانه است. بدون مدیریت صحیح این مسائل، ممکن است مزایای این فناوری‌ها به‌طور کامل محقق نشود.

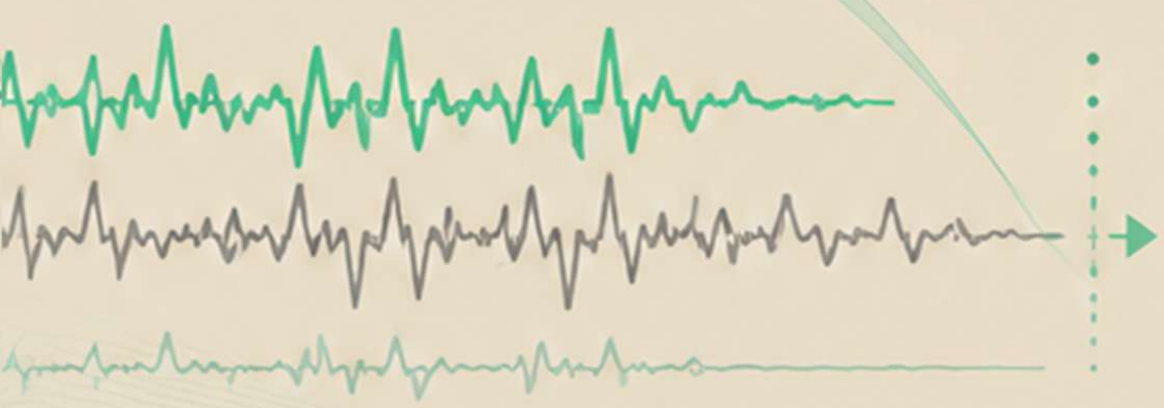
در نهایت، می‌توان گفت که تجهیزات هوشمند پزشکی نه‌تنها ابزارهایی برای بهبود درمان، بلکه بخشی از یک تحول گسترده در نگرش به سلامت هستند. آینده نظام‌های سلامت، به‌طور فزاینده ای به این فناوری‌ها وابسته خواهد بود و آشنایی با آن‌ها برای دانشجویان و پژوهشگران، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است.

منابع:

1. E. Topol, "Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again," Basic Books, 2019.
2. F. Jiang, Y. Jiang, H. Zhi, Y. Dong, H. Li, S. Ma, et al., "Artificial intelligence in healthcare: past, present and future," Stroke and Vascular Neurology, vol. 2, no. 4, pp. 230–243, 2017.
3. World Health Organization, "Ethics and governance of artificial intelligence for health," WHO, 2021.
4. T. Davenport and R. Kalakota, "The potential for artificial intelligence in healthcare," Future Healthcare Journal, vol. 6, no. 2, pp. 94–98, 2019.
5. W. Raghupathi and V. Raghupathi, "Big data analytics in healthcare: promise and potential," Health Information Science and Systems, vol. 2, no. 1, p. 3, 2014.
6. A. Pantelopoulos and N. G. Bourbakis, "A survey on wearable sensor-based systems for health monitoring," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), vol. 40, no. 1, pp. 1–12, 2010.
7. S. R. Steinhubl, E. D. Muse and E. J. Topol, "The emerging field of mobile health," Science Translational Medicine, vol. 7, no. 283, 2015.
8. J. He, S. L. Baxter, J. Xu, J. Xu, X. Zhou and K. Zhang, "The practical implementation of artificial intelligence technologies in medicine," Nature Medicine, vol. 25, no. 1, pp. 30–36, 2019.
9. I. Lee and S. N. Yoon, "Application of artificial intelligence-based technologies in the healthcare industry: Opportunities and challenges," International Journal of Environmental Research and Public Health, vol. 18, no. 1, 2021.
10. European Commission, "White Paper on Artificial Intelligence: A European approach to excellence and trust," 2020.
11. حیدری، م. و همکاران، «کاربرد هوش مصنوعی در پزشکی»، مجله مهندسی پزشکی ایران، ۱۴۰۰.
12. صادقی، ع.، «تجهیزات پزشکی هوشمند و نقش آن‌ها در آینده سلامت»، نشریه فناوری‌های نوین پزشکی، ۱۳۹۹

"مهسا طالبی"





گاهنامه سیگنال حیاتی

انجمن علمی مهندسی پزشکی دانشگاه صنعتی همدان

راه ارتباطی با ما

انجمن علمی مهندسی پزشکی دانشگاه صنعتی همدان