



تحلیل و شبیه‌سازی روش‌های پیشرفته یادگیری ماشین و شبکه‌های عصبی عمیق برای شناسایی و تشخیص آریتمی PSVT: مرور تکنیک‌های نوین استخراج ویژگی و طبقه‌بندی

مانا دست خوش^۱

۱- کارشناسی ارشد مهندس پزشکی بیو الکتریک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی همدان، ایران. ایمیل: dastkhoshmana58@gmail.com

چکیده

تاکی‌کاردی فوق بطنی حمله‌ای (PSVT) یک آریتمی شایع و بالقوه تهدیدکننده در سیستم قلبی است که به‌طور ناگهانی آغاز و خاتمه می‌یابد. تشخیص دقیق و به‌موقع این آریتمی برای پیشگیری از عوارض جدی ضروری است. در سال‌های اخیر، روش‌های یادگیری ماشین و شبکه‌های عصبی عمیق به‌عنوان ابزارهای پیشرفته برای تحلیل سیگنال‌های الکتروکاردیوگرام (ECG) به کار گرفته شده‌اند که امکان شناسایی غیرتهاجمی و خودکار PSVT را فراهم می‌آورند. این مقاله به مرور تکنیک‌های استخراج ویژگی و الگوریتم‌های طبقه‌بندی در تشخیص PSVT می‌پردازد. ابتدا روش‌های استخراج ویژگی شامل ویژگی‌های زمانی، فرکانسی و تحلیل‌های غیرخطی بررسی می‌شوند. ویژگی‌های زمانی شامل تحلیل شاخص‌های آماری مانند میانگین و انحراف معیار، در حالی که ویژگی‌های فرکانسی مبتنی بر تبدیل فوریه و ویولت هستند. همچنین، تحلیل‌های غیرخطی مانند DFA و RQA به شناسایی الگوهای پیچیده در سیگنال‌های ECG کمک می‌کنند. در بخش الگوریتم‌های طبقه‌بندی، مدل‌های سنتی مانند ماشین بردار پشتیبان (SVM)، نزدیک‌ترین همسایه (KNN) و جنگل تصادفی (RF) بررسی شده‌اند. علاوه بر این، کاربرد شبکه‌های عصبی پیچشی (CNN) و بازگشتی (RNN) همراه با یادگیری انتقالی مورد بحث قرار می‌گیرد. مطالعات نشان می‌دهند که ترکیب ویژگی‌های زمانی و فرکانسی با CNN می‌تواند دقت تشخیص را بهبود بخشد.

کلمات کلیدی: آریتمی PSVT، سیگنال ECG، یادگیری ماشین، شبکه عصبی عمیق، استخراج ویژگی، طبقه‌بندی.

Analysis and simulation of advanced machine learning methods and deep neural networks for PSVT arrhythmia detection and diagnosis: A review of new feature extraction and classification techniques

Mana Dastkhosh¹

1- Master of Bioelectrical Medical Engineering, Faculty of Technology and Engineering, Hamedan University of Technology, Iran. Email: dastkhoshmana58@gmail.com

Abstract

Paroxysmal supraventricular tachycardia (PSVT) is a common and potentially life-threatening arrhythmia in the cardiac system that begins and ends abruptly. Accurate and timely detection of this arrhythmia is essential to prevent serious complications. In recent years, machine learning methods and deep neural networks have been applied as advanced tools for analyzing electrocardiogram (ECG) signals, which enable non-invasive and automatic identification of PSVT. This paper reviews feature extraction techniques and classification algorithms in PSVT diagnosis. First, feature extraction methods including temporal, frequency, and nonlinear analyses are reviewed. Temporal features include the analysis of statistical indices such as mean and standard deviation, while frequency features are based on Fourier and wavelet transforms. Also, nonlinear analyses such as DFA and RQA help in identifying complex patterns in ECG signals. In the classification algorithms section, traditional models such as Support Vector Machine (SVM), Nearest Neighbor (KNN), and Random Forest (RF) are reviewed. In addition, the application of Convolutional Neural Networks (CNN) and Recurrent Neural Networks (RNN) along with transfer learning is discussed. Studies show that combining temporal and frequency features with CNN can improve the accuracy of detection.

Keywords: PSVT arrhythmia, ECG signals, machine learning, deep neural networks, feature extraction, classification.

۱- مقدمه

دادن هوشیاری، ضعف عملکرد قلب، کاهش برون‌ده قلبی و در موارد شدیدتر، شوک قلبی را ایجاد کند [7]. یادگیری ماشین به‌عنوان یکی از شاخه‌های مهم هوش مصنوعی، تحول قابل‌توجهی در شیوه‌های سنتی تشخیص و درمان بیماری‌ها ایجاد کرده است. این تکنولوژی با تجزیه و تحلیل داده‌های پزشکی گسترده و شناسایی الگوهای پیچیده، به تصمیم‌گیری دقیق‌تر کمک می‌کند. استفاده از یادگیری ماشین در پزشکی به دلایل مختلفی از جمله تحلیل خودکار داده‌ها، دقت بالا در تشخیص، مدیریت داده‌های کلان، شخصی‌سازی درمان و کاهش خطاهای انسانی از اهمیت بالایی برخوردار است [9]. الگوریتم‌های یادگیری ماشین قادرند سیگنال‌های ECG، تصاویر رادیولوژی و داده‌های ژنتیکی را به‌صورت خودکار پردازش کرده و الگوهای پنهانی را کشف کنند که این امر موجب تسریع و دقت بیشتر در تشخیص نسبت به روش‌های سنتی می‌شود [10]. علاوه بر این، این الگوریتم‌ها توانایی مدیریت حجم زیاد داده‌های پزشکی را دارند و بهینه‌سازی فرآیندهای درمانی را تسهیل می‌کنند. همچنین، با پیشنهاد درمان‌های متناسب با ویژگی‌های خاص هر بیمار، به شخصی‌سازی درمان کمک می‌کنند. یادگیری ماشین با کاهش دخالت خطای انسانی در تحلیل داده‌ها، دقت و اطمینان بیشتری را در تشخیص بیماری‌ها به ارمغان می‌آورد. در تشخیص آریتمی PSVT، این فناوری با شناسایی ویژگی‌های زمانی و فرکانسی سیگنال‌های ECG و طبقه‌بندی الگوهای مربوطه، به‌طور چشمگیری در بهبود سرعت و دقت تشخیص موثر است [11]. شبکه‌های عصبی عمیق (DNN) یکی از زیرمجموعه‌های یادگیری ماشین هستند که از ساختار لایه‌های متعدد برای یادگیری ویژگی‌های پیچیده از داده‌ها استفاده می‌کنند. این مدل‌ها به‌ویژه در تحلیل داده‌های پزشکی به‌دلیل توانایی‌شان در استخراج ویژگی‌های پنهان و یادگیری روابط غیرخطی، بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. شبکه‌های عصبی عمیق با استفاده از لایه‌های ورودی، مخفی، و خروجی، ساختار سلسله‌مراتبی برای یادگیری ویژگی‌ها ایجاد می‌کنند که به این مدل‌ها امکان شناسایی الگوهای پیچیده و ارتباطات غیرخطی را می‌دهد [12]. این ویژگی‌ها به‌ویژه در تحلیل داده‌های پزشکی که اغلب دارای پیچیدگی زیادی هستند، اهمیت دارد. در مقایسه با روش‌های سنتی که نیازمند استخراج دستی ویژگی‌ها هستند، شبکه‌های عصبی عمیق قادرند ویژگی‌های موردنیاز را به‌طور خودکار از داده‌های خام استخراج کنند و نیاز به پیش‌پردازش داده‌ها را کاهش دهند [13]. استفاده از شبکه‌های عصبی عمیق در تحلیل داده‌های پزشکی مزایای زیادی به همراه دارد که آن‌ها را به ابزاری قدرتمند در این حوزه تبدیل کرده است. این شبکه‌ها با توانایی در شناسایی دقیق الگوها و روابط پنهانی در داده‌های پزشکی از قبیل تصاویر MRI، سیگنال‌های ECG و داده‌های ژنتیکی، دقت بالایی در تشخیص و تحلیل ارائه می‌دهند [14]. علاوه بر این، این شبکه‌ها توانایی پردازش حجم عظیمی از داده‌های پزشکی با دقت و کارایی بالا را دارند که این امر به‌ویژه در مواجهه با داده‌های بزرگ اهمیت زیادی دارد. انعطاف‌پذیری شبکه‌های عصبی عمیق باعث شده که در زمینه‌های مختلفی مانند تشخیص بیماری‌ها، پیش‌بینی نتایج درمان و تجزیه و تحلیل داده‌های بیولوژیکی کاربردهای گسترده‌ای داشته باشند [15]. یکی دیگر از ویژگی‌های برجسته شبکه‌های عصبی عمیق، پیشرفت در یادگیری انتقالی است که با استفاده از مدل‌های پیش‌آموزش‌دیده، زمان و منابع موردنیاز برای آموزش مدل‌ها را به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌دهد. در خصوص تشخیص PSVT، شبکه‌های CNN به‌خوبی می‌توانند الگوهای مکانی-زمانی سیگنال‌های ECG را تحلیل کنند و شبکه‌های RNN برای مدل‌سازی دنباله‌های زمانی بسیار مؤثر هستند. این

تاکی کاردی فوق بطنی حمله ای^۱ (PSVT) یکی از شایع‌ترین انواع آریتمی‌های قلبی است که به‌طور معمول با دوره‌های ناگهانی و متناوب ضربان قلب سریع و نامنظم مشخص می‌شود [1]. این آریتمی ناشی از فعالیت الکتریکی غیرطبیعی در حفره‌های فوقانی قلب است و می‌تواند از چند ثانیه تا چند ساعت طول بکشد. در حالی که PSVT اغلب خوش‌خیم و خود به خود خاتمه می‌یابد، در برخی بیماران می‌تواند منجر به علائمی مانند سرگیجه، تنگی نفس، تعریق زیاد، افت فشار خون و حتی شوک قلبی شود [2]. بنابراین، تشخیص زودهنگام و دقیق PSVT برای مدیریت موثر و پیشگیری از عوارض جدی بسیار مهم است. روش‌های سنتی برای تشخیص PSVT به شدت بر تفسیر دستی سیگنال‌های الکتروکاردیوگرام^۲ (ECG) توسط پزشکان و متخصصان قلب تکیه دارند. با این حال، این روش‌ها ممکن است به دلیل عوامل انسانی مانند خستگی، تجربه محدود و پیچیدگی برخی الگوهای ECG مستعد خطا باشند [3]. شباهت زیاد بین الگوهای آریتمی‌های مختلف قلبی، تشخیص دقیق را چالش برانگیز می‌کند. از این رو، نیاز روزافزونی به ابزارها و روش‌های نوآورانه و کارآمد برای آنالیز خودکار و دقیق سیگنال‌های ECG وجود دارد. پیشرفت‌های اخیر در یادگیری ماشین و شبکه‌های عصبی عمیق، استفاده از تکنیک‌های پیشرفته را برای تجزیه و تحلیل داده‌های پزشکی ممکن کرده است [4]. این الگوریتم‌ها قابلیت استخراج ویژگی‌های مهم از سیگنال‌های پیچیده، یادگیری الگوهای پنهان و طبقه‌بندی دقیق آریتمی‌های مختلف از جمله PSVT را دارند. تکنیک‌هایی مانند یادگیری انتقال و ترکیب ویژگی‌های زمانی و فرکانسی به‌طور قابل‌توجهی دقت و کارایی مدل‌های تشخیصی را افزایش داده است [5]. این مقاله مروری جامع، تکنیک‌های استخراج ویژگی و الگوریتم‌های طبقه‌بندی مورد استفاده در تشخیص PSVT را بررسی می‌کند. آنالیز ویژگی‌های زمانی، فرکانس و غیرخطی سیگنال‌های ECG را پوشش می‌دهد و عملکرد الگوریتم‌های کلاسیک را با مدل‌های پیشرفته شبکه عصبی عمیق (مانند SVM^۳ و KNN^۴) مقایسه می‌کند. علاوه بر این، چالش‌های موجود در این زمینه، مانند کمبود داده‌های استاندارد و پیچیدگی محاسباتی مدل‌ها، مورد بحث قرار خواهد گرفت.

۲- بیان مساله

PSVT یک اختلال ریتمی است که به دلیل فعالیت الکتریکی غیرطبیعی در ناحیه فوق‌بطنی قلب رخ می‌دهد. این آریتمی با تپش قلب سریع و منظم که به‌طور ناگهانی شروع و پایان می‌یابد، شناخته می‌شود. در این شرایط، ضربان قلب معمولاً در محدوده ۱۲۰ تا ۲۵۰ ضربه در دقیقه قرار دارد و علت اصلی آن وجود مسیرهای الکتریکی اضافی یا مکانیزم‌های بازگشتی در ناحیه گره AV یا دهلیزها است [6]. از ویژگی‌های اصلی PSVT می‌توان به حملات ناگهانی و موقتی اشاره کرد که به‌طور معمول با الگوهای مشابه سایر آریتمی‌ها مانند فیبریلاسیون دهلیزی اشتباه گرفته می‌شوند. همچنین، در این حالت ریتم قلب نسبتاً پایدار باقی می‌ماند. اگرچه PSVT در بیشتر موارد به‌طور طبیعی و بدون نیاز به درمان خاصی از بین می‌رود، تکرار این آریتمی یا شدت بالای آن می‌تواند مشکلاتی چون سرگیجه، تنگی نفس، از دست

¹ Paroxysmal Supraventricular Tachycardia

² Electrocardiogram

³ Support Vector Machine

⁴ k-Nearest Neighbors

شبکه‌ها توانسته‌اند دقت و حساسیت تشخیص را به‌طور چشمگیری افزایش دهند و ابزاری کارآمد برای پزشکان فراهم کنند [16].

۳- روش پژوهش

برای شناسایی مقالات مرتبط با تشخیص آریتمی PSVT از طریق الگوریتم‌های یادگیری ماشین و شبکه‌های عصبی عمیق، از منابع علمی معتبر استفاده شد. این منابع شامل پایگاه‌های PubMed، که مقالات پزشکی گسترده‌ای را پوشش می‌دهد، IEEE Xplore، که تمرکز اصلی آن بر مقالات مهندسی و هوش مصنوعی است، بودند. علاوه بر این، از پایگاه Scopus که مقالات چندرشته‌ای را در خود جای داده و ScienceDirect برای دسترسی به مقالات مرتبط با کاربردهای یادگیری ماشین در حوزه پزشکی نیز بهره گرفته شد. به‌علاوه، Google Scholar به‌عنوان منبع کمکی برای پیدا کردن مقالات تکمیلی در نظر گرفته شد تا دامنه جستجو کامل‌تر گردد. برای جستجو از کلمات کلیدی ترکیبی استفاده شد که شامل عبارت‌هایی مانند "تشخیص آریتمی PSVT"، "یادگیری ماشین در تشخیص آریتمی"، "شبکه‌های عصبی عمیق در تجزیه و تحلیل ECG"، "استخراج ویژگی برای آریتمی‌های قلبی" و "الگوریتم‌های طبقه‌بندی PSVT" بودند. این کلمات در عنوان‌ها، چکیده‌ها و کلمات کلیدی مقالات جستجو شدند. مقالات منتشرشده در بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۴ میلادی (۱۳۹۹ تا ۱۴۰۲ شمسی) به‌طور خاص انتخاب شدند تا جدیدترین روش‌ها و پیشرفت‌ها در این حوزه بررسی گردد. معیارهای ورود مقالات به این مطالعه شامل مقالات منتشرشده بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۴ بودند که به‌طور مستقیم به تشخیص PSVT از طریق الگوریتم‌های یادگیری ماشین یا شبکه‌های عصبی عمیق پرداخته بودند. همچنین، مقالاتی که در آن‌ها روش‌های تحلیل سیگنال ECG برای طبقه‌بندی آریتمی‌ها مطرح شده و در مجلات معتبر علمی با فرایند داوری تخصصی منتشر شده بودند، در این دسته قرار گرفتند. از سوی دیگر، مقالاتی که قبل از سال ۲۰۲۰ منتشر شده بودند، مطالعاتی که صرفاً به بررسی مفاهیم تئوری یادگیری ماشین پرداخته و کاربرد عملی در PSVT نداشتند، مقالات غیرانگلیسی بدون ترجمه و مقالاتی با داده‌های ناقص یا بدون نتایج تجربی قابل ارزیابی از فرآیند انتخاب خارج شدند. برای تحلیل و دسته‌بندی مقالات انتخاب‌شده، اطلاعات مربوط به روش‌های استخراج ویژگی از سیگنال‌های ECG، الگوریتم‌های مورد استفاده در تشخیص PSVT (مانند شبکه‌های عصبی عمیق، ماشین بردار پشتیبان و غیره)، پایگاه‌های داده سیگنال ECG مانند MIT-BIH یا دیگر پایگاه‌های مشابه (و معیارهای ارزیابی (مانند دقت، حساسیت، ویژگی و غیره) استخراج و در جداول مقایسه‌ای مرتب شدند تا عملکرد هر روش بررسی شود. همچنین، مقالات بر اساس روش‌های استخراج ویژگی شامل روش‌های زمان-فرکانس، تجزیه و تحلیل غیرخطی و شبکه‌های یادگیری عمیق، مدل‌های یادگیری ماشین مانند شبکه‌های CNN، شبکه‌های RNN و الگوریتم‌های ترکیبی، پایگاه‌های داده ECG و سال انتشار دسته‌بندی شدند تا روند تحقیقات در بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۴ ارزیابی گردد.

استخراج ویژگی از سیگنال‌های ECG مرحله‌ای اساسی در تشخیص آریتمی‌های قلبی به‌شمار می‌رود و اطلاعاتی را فراهم می‌کند که برای طبقه‌بندی و شناسایی بیماری‌های قلبی کاربرد دارند. ویژگی‌های زمانی که مستقیماً از دامنه زمان سیگنال استخراج می‌شوند، معمولاً شامل مقادیر آماری همچون میانگین، واریانس، میانه و انحراف معیار هستند [۱۷]. یکی از ویژگی‌های مهم زمانی، فاصله بین دو پیک R در سیگنال ECG است که به تحلیل ضربان قلب کمک می‌کند. این ویژگی‌ها به شبیه‌سازی تغییرات در

الگوهای ضربان قلب کمک کرده و در تشخیص آریتمی‌هایی مانند PSVT کاربرد دارند. ویژگی‌های زمانی به شناسایی الگوهای ساده‌ای چون تپش قلب نامنظم یا تغییرات سرعت ضربان می‌پردازند، اما در سیگنال‌های پیچیده‌تر با نویز زیاد ممکن است کارایی کمتری داشته باشند [۱۸]. از سوی دیگر، ویژگی‌های فرکانسی از طریق تبدیل سیگنال از دامنه زمان به دامنه فرکانس استخراج می‌شوند. این ویژگی‌ها با استفاده از روش‌هایی مانند تبدیل فوریه به تحلیل اجزای فرکانسی سیگنال کمک کرده و ویژگی‌هایی چون چگالی طیفی توان و الگوهای فرکانسی را استخراج می‌کنند [۱۹]. این ویژگی‌ها به‌ویژه برای شناسایی آریتمی‌های با ریتم‌های غیرطبیعی و تند مؤثرند، زیرا فرکانس‌های بالا یا پایین می‌توانند نشان‌دهنده وجود آریتمی‌های خاص باشند. ویژگی‌های زمان-فرکانس که ترکیبی از اطلاعات زمان و فرکانس هستند، تحلیل‌های پیچیده‌تری از سیگنال ECG فراهم می‌آورند [۲۰]. در این روش‌ها، تبدیل ویولت به‌عنوان یکی از تکنیک‌های رایج شناخته می‌شود که امکان تحلیل سیگنال‌ها در هر دو دامنه زمان و فرکانس را با وضوح بالا فراهم می‌کند. این تبدیل به‌ویژه در تحلیل سیگنال‌هایی که ویژگی‌هایشان در هر دو دامنه زمان و فرکانس تغییر می‌کند، بسیار مفید است [۲۱]. ویژگی‌های استخراج‌شده از تبدیل ویولت می‌توانند شامل انرژی در مقیاس‌های مختلف و اجزای فرکانسی در زمان‌های خاص باشند که در تشخیص آریتمی‌های قلبی همچون PSVT کاربرد دارند [۲۲]. همچنین، تحلیل سیگنال‌های غیرخطی به‌عنوان یک تکنیک مؤثر در شناسایی ویژگی‌های پیچیده و پنهان سیگنال‌های ECG مطرح است. این سیگنال‌ها به‌طور طبیعی رفتار غیرخطی دارند و تکنیک‌های مانند تحلیل تغییرات مقیاس تکاملی (DFA) و تحلیل تکرار کمی (RQA) برای شناسایی الگوهای پیچیده و غیرقابل پیش‌بینی در سیگنال‌های ECG به‌کار می‌روند. DFA به‌ویژه در شناسایی تغییرات پیچیده در الگوهای ضربان قلب کاربرد دارد و برای تحلیل نوسانات بلندمدت مفید است [۲۰]. از طرف دیگر، RQA برای شناسایی رفتار تکراری در سیگنال‌های غیرخطی طراحی شده، می‌تواند به تحلیل ویژگی‌های تکراری که نمایانگر آریتمی‌ها هستند کمک کند. این روش‌ها به‌ویژه در شرایطی که سیگنال‌ها تغییرات پیچیده‌تری دارند، می‌توانند اطلاعات بسیار ارزشمندی برای تشخیص آریتمی‌ها مانند PSVT فراهم کنند [۲۳].

تشخیص آریتمی‌ها مانند PSVT^۱ به‌طور خاص در سیگنال‌های ECG (الکتروکاردیوگرام) به چالش‌های زیادی مواجه است، زیرا سیگنال‌های قلبی پیچیده و نوسانات زیادی دارند. برای تحلیل این سیگنال‌ها و تشخیص آریتمی‌ها، الگوریتم‌های یادگیری ماشین به‌ویژه مدل‌های پیشرفته مانند مدل‌های عمیق و یادگیری انتقالی به‌طور گسترده‌ای به‌کار می‌روند. این مدل‌ها با استفاده از ویژگی‌های خاص سیگنال‌ها و تکنیک‌های پیشرفته می‌توانند به‌طور دقیق‌تر و بهینه‌تر آریتمی‌ها را شناسایی کنند [۲۴]. الگوریتم‌های کلاسیک یادگیری ماشین مانند SVM^۲، KNN^۳ و RF^۴ در سال‌های اخیر در تحلیل داده‌های پزشکی، به‌ویژه در تشخیص آریتمی‌ها، عملکرد خوبی نشان داده‌اند. این الگوریتم‌ها به دلیل سادگی و کارایی بالا، توانایی خوبی در دسته‌بندی سیگنال‌های ECG با ابعاد بالا و پیچیدگی دارند. SVM به‌ویژه در مواقعی که داده‌ها پیچیده و غیرخطی هستند بسیار مؤثر است [۲۵]. SVM یک مرز تصمیم‌گیری ایجاد می‌کند که با استفاده از فضای ویژگی‌ها و هسته‌ها، داده‌ها را به دو دسته یا بیشتر تقسیم می‌کند. این

¹ Paroxysmal Supraventricular Tachycardia

² Support Vector Machine

³ K-Nearest Neighbors

⁴ Random Forest

در مسائل جدید بهره گرفته می‌شود. این تکنیک در شرایطی که داده‌های محدود وجود دارد، بسیار مؤثر است. به‌طور خاص، در تشخیص آریتمی‌ها مانند PSVT، می‌توان از مدل‌های پیش‌آموزش‌دیده‌شده‌ای که روی داده‌های ECG بیماران مختلف آموزش دیده‌اند، استفاده کرد و سپس مدل را برای داده‌های خاص یک بیمار تطبیق داد. این روش باعث می‌شود که مدل‌ها بتوانند از داده‌های موجود استفاده کرده و به‌طور مؤثری به پیش‌بینی بیماری‌های جدید بپردازند. به‌ویژه در بیمارانی که شرایط خاصی دارند یا داده‌های محدودی در دسترس است، یادگیری انتقالی می‌تواند به‌طور چشمگیری دقت تشخیص را افزایش دهد و فرآیند آموزش مدل‌ها را تسریع کند [۲۸].

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، تکنیک‌های گوناگون یادگیری ماشین و شبکه‌های عصبی عمیق برای تشخیص آریتمی PSVT مورد بررسی قرار گرفتند. از جمله این تکنیک‌ها، الگوریتم‌های کلاسیک مانند SVM، KNN و RF و همچنین مدل‌های پیچیده‌تر یادگیری عمیق نظیر CNN و RNN بودند. به‌طور کلی، مدل‌های یادگیری عمیق به‌ویژه CNN در شناسایی ویژگی‌های پیچیده از سیگنال‌های ECG و افزایش دقت تشخیص آریتمی PSVT عملکرد بسیار خوبی نشان دادند. این مدل‌ها به‌خصوص در مواجهه با داده‌های بزرگ و پیچیده که نیازمند استخراج ویژگی‌های غیرخطی و پیچیده هستند، نسبت به الگوریتم‌های کلاسیک عملکرد بهتری داشتند. با این حال، الگوریتم‌های کلاسیک مانند SVM و RF نیز در برخی موارد، به‌ویژه در داده‌های با نویز کمتر، نتایج رضایت‌بخشی داشتند. این الگوریتم‌ها در تشخیص دقیق و اختصاصی آریتمی‌ها مؤثر بودند، اما در شناسایی روابط پیچیده‌تر در داده‌های سیگنالی محدودیت داشتند. در مقابل، KNN در مواجهه با داده‌های ساده و خطی عملکرد مناسبی ارائه داد، اما در برخورد با داده‌های پیچیده‌تر و دارای وابستگی‌های زمانی، نتایج چشمگیری به دست نیامد. به‌طور کلی، CNN و RNN به دلیل قدرت بالایشان در پردازش داده‌های دنباله‌ای و یادگیری ویژگی‌های پیچیده‌تر، به‌عنوان گزینه‌های مناسب برای تشخیص PSVT از سیگنال‌های ECG شناخته شدند. با این وجود، هر یک از این مدل‌ها دارای محدودیت‌هایی هستند که نیاز به بهبود در زمینه‌هایی مانند زمان آموزش و نیاز به داده‌های بیشتر دارند. یکی از چالش‌های اصلی در تشخیص آریتمی PSVT با الگوریتم‌های یادگیری ماشین، کیفیت و حجم محدود داده‌های ECG است که تحت تأثیر نویز، تفاوت‌های فردی و مشکلات اندازه‌گیری قرار می‌گیرند. این عوامل دقت مدل‌های پیش‌بینی را کاهش داده و نیاز به پیش‌پردازش دقیق داده‌ها را افزایش می‌دهند. با این حال، پیشرفت فناوری و ظهور داده‌های بیگ دیتا، امکان بهبود مدل‌های یادگیری عمیق را فراهم کرده است. بهره‌گیری از داده‌های گسترده همراه با معماری‌های پیشرفته مانند ترانسفورماتورها و مکانیسم‌های توجه، دقت و کارایی تشخیص PSVT را افزایش داده و امکان پردازش بلادرنگ را فراهم می‌کند که می‌تواند به ارتقای سطح مراقبت‌های پزشکی منجر شود. با توجه به یافته‌های این تحقیق، چندین مسیر برای مطالعات آینده در زمینه تشخیص آریتمی PSVT استفاده از یادگیری ماشین و شبکه‌های عصبی عمیق پیشنهاد می‌شود. یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در این حوزه، کیفیت پایین و نویز سیگنال‌های ECG است. در پژوهش‌های آینده، توسعه و استفاده از تکنیک‌های پیشرفته برای پیش‌پردازش و تصفیه سیگنال‌های ECG می‌تواند به افزایش دقت مدل‌ها

الگوریتم به‌ویژه در تشخیص آریتمی‌های پیچیده مانند PSVT مناسب است، زیرا می‌تواند ویژگی‌های مختلف سیگنال ECG را به‌طور دقیق شبیه‌سازی کند و آن‌ها را از یکدیگر تفکیک کند. از دیگر ویژگی‌های SVM این است که از آن برای شناسایی آریتمی‌های پیچیده‌ای استفاده می‌شود که تفاوت‌های زیادی در سیگنال‌ها دارند [۲۶]. KNN یکی دیگر از الگوریتم‌های پرکاربرد است که بر اساس شباهت داده‌ها عمل می‌کند. در این الگوریتم، برای هر داده، نزدیک‌ترین همسایگان به آن شبیه‌سازی می‌شوند و سیگنال ECG به‌طور مشابه طبقه‌بندی می‌شود. این الگوریتم به‌ویژه زمانی مفید است که داده‌ها دارای ویژگی‌های مشابه باشند و نویز کمتری داشته باشند. برای مثال، اگر سیگنال‌های ECG یک بیمار به‌طور مشابه با سیگنال‌های بیمار دیگر باشند، KNN می‌تواند طبقه‌بندی دقیق‌تری انجام دهد [۲۷].

(RF^۱) یکی دیگر از الگوریتم‌های پرکاربرد در زمینه تشخیص آریتمی‌ها است. این الگوریتم از درخت‌های تصمیم مختلفی تشکیل شده که به‌طور تصادفی بر روی زیرمجموعه‌هایی از داده‌ها آموزش می‌بینند. سپس نتایج این درخت‌ها با یکدیگر ترکیب می‌شود تا یک تصمیم نهایی گرفته شود. این روش در واقع مزیت‌های مختلف درخت‌های تصمیم را با هم ترکیب می‌کند و دقت بالاتری را ارائه می‌دهد. در کنار این الگوریتم‌های کلاسیک، مدل‌های عمیق مانند CNN^۲ و RNN^۳ در سال‌های اخیر در پردازش سیگنال‌های ECG برای تشخیص آریتمی‌ها به‌ویژه PSVT توجه زیادی جلب کرده‌اند. این مدل‌ها از لایه‌های متعدد برای استخراج ویژگی‌ها و انجام طبقه‌بندی استفاده می‌کنند و به‌ویژه برای داده‌هایی که پیچیدگی‌های بالا دارند، بسیار کارآمد هستند [۲۸].

CNN برای شناسایی الگوهای فضایی در داده‌ها به‌کار می‌رود. این مدل برای داده‌هایی که ساختار فضایی پیچیده دارند، مانند تصاویر یا سیگنال‌های ECG که نیاز به شناسایی ویژگی‌های محلی دارند، بسیار مؤثر است. در سیگنال‌های ECG، ویژگی‌هایی مانند نوسانات سریع و کند که برای شناسایی آریتمی‌ها اهمیت دارند، به‌طور مؤثری توسط CNN شناسایی می‌شوند. به این ترتیب، مدل‌های CNN می‌توانند به‌طور دقیق‌تری ویژگی‌های مهم سیگنال‌های ECG را استخراج کنند [۲۹]. RNN، که برای داده‌های دنباله‌ای یا زمانی طراحی شده است، برای تشخیص آریتمی‌ها مانند PSVT که وابستگی‌های زمانی زیادی دارند، بسیار مؤثر است. به‌طور کلی، این مدل‌ها قادرند وابستگی‌های زمانی در سیگنال‌های ECG را شبیه‌سازی کنند. به عبارت دیگر، سیگنال‌های ECG از یک لحظه به لحظه دیگر تغییر می‌کنند و RNN می‌تواند این تغییرات و وابستگی‌ها را به‌طور مؤثری شبیه‌سازی کند. در نهایت، مدل‌های RNN قادرند پیش‌بینی دقیقی از وضعیت فعلی سیگنال داشته باشند و آن را به درستی طبقه‌بندی کنند [۳۰].

در برخی موارد، ترکیب مدل‌های CNN و RNN می‌تواند عملکرد بهتری نسبت به استفاده از هر مدل به‌طور مجزا داشته باشد. برای مثال، CNN می‌تواند ویژگی‌های مکانی سیگنال ECG را استخراج کند، و سپس RNN می‌تواند به تحلیل وابستگی‌های زمانی این ویژگی‌ها بپردازد. این ترکیب مدل‌ها به آن‌ها این امکان را می‌دهد که هم از ویژگی‌های فضایی و هم از ویژگی‌های زمانی سیگنال‌ها بهره‌برداری کنند، که موجب افزایش دقت و بهبود تشخیص آریتمی‌ها می‌شود [۳۱]. در کنار این مدل‌های عمیق، یادگیری انتقالی به‌عنوان یک تکنیک پیشرفته دیگر در تشخیص آریتمی‌ها مطرح می‌شود. در این روش، از مدل‌های پیش‌آموزش‌دیده‌شده برای استفاده

¹ Random Forest

² Convolutional Neural Networks

³ Recurrent Neural Networks

approach via deep learning using single-lead ECG without QRS wave detection. *Heliyon*, 10(5).

9. Sharma, N., Sharma, R., & Jindal, N. (2021). Machine learning and deep learning applications-a vision. *Global Transitions Proceedings*, 2(1), 24-28.
10. Dargan, S., Kumar, M., Ayyagari, M. R., & Kumar, G. (2020). A survey of deep learning and its applications: a new paradigm to machine learning. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 27, 1071-1092.
11. Sabrine, B. A., & Taoufik, A. (2023, October). Classification of Cardiac Arrhythmia Using Fractal Dimension and Convolutional Neuronal Networks CNN. In *2023 22nd Mediterranean Microwave Symposium (MMS)* (pp. 1-5). IEEE.
12. Thite, T. G., & Jagtap, S. K. (2024). Reliable Automated ECG Arrhythmia Classification Using Reinforced VGG-27 Neural Network Framework. *International Journal of Adaptive Control and Signal Processing*.
13. Ait Bourkha, M. E., Hatim, A., Nasir, D., Beid, S. E., & Tahiri, A. S. (2024). A Novel Inter Patient ECG Arrhythmia Classification Approach with Deep Feature Extraction and 1D Convolutional Neural Network. *International Journal of Advanced Computer Science & Applications*, 15(2).
14. HASAN, M. A., BHARGAV, T., SANDEEP, V., REDDY, V. S., & AJAY, R. (2024). Image classification using convolutional neural networks. *International Journal of Mechanical Engineering Research and Technology*, 16(2), 173-181.
15. Okhunov, D. M., Okhunov, M. H., & Minamatov, Y. E. (2023). The Use of Machine Learning and Neural Networks in the Digital Economy and International Digital Integration. *Journal of Ethics and Diversity in International Communication*.
16. Subramanian, K., & Prakash, N. K. (2020, August). Machine Learning based Cardiac Arrhythmia detection from ECG signal. In *2020 Third International Conference on smart systems and inventive technology (ICSSIT)* (pp. 1137-1141). IEEE.
17. Yasmin, F., Shah, S. M. I., Naeem, A., Shujaiddin, S. M., Jabeen, A., Kazmi, S., ... & Lak, H. M. (2021). Artificial intelligence in the diagnosis and detection of heart failure: the past, present, and future. *Reviews in cardiovascular medicine*, 22(4), 1095-1113.
18. Liu, J., Li, Z., Jin, Y., Liu, Y., Liu, C., Zhao, L., & Chen, X. (2022). A review of arrhythmia detection based on electrocardiogram with artificial intelligence. *Expert review of medical devices*, 19(7), 549-560.
19. Kufel, J., Bargieł-Łączek, K., Kocot, S., Koźlik, M., Bartnikowska, W., Janik, M., ... & Gruszczynska, K. (2023). What is machine learning, artificial neural networks and deep learning?—Examples of practical applications in medicine. *Diagnostics*, 13(15), 2582.
20. Huang, J. D., Wang, J., Ramsey, E., Leavey, G., Chico, T. J., & Condell, J. (2022). Applying artificial intelligence to wearable sensor data to diagnose and predict cardiovascular disease: a review. *Sensors*, 22(20), 8002.
21. Kenig, N., Echeverria, J. M., & De la Ossa, L. (2024). Identification of key breast features using a neural network: Applications of machine learning in the clinical setting of Plastic Surgery. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 153(2), 273e-280e.
22. Ait Bourkha, M. E., Hatim, A., Nasir, D., Beid, S. E., & Tahiri, A. S. (2024). A Novel Inter Patient ECG Arrhythmia Classification Approach with Deep Feature Extraction and 1D Convolutional Neural Network. *International Journal of Advanced Computer Science & Applications*, 15(2).
23. Naik, S., Debnath, S., & Justin, V. (2021, May). A review of arrhythmia classification with artificial intelligence techniques: Deep vs machine learning. In *2021 2nd International Conference for Emerging Technology (INCET)* (pp. 1-14). IEEE.

کمک کند. به‌کارگیری فیلترهای تطبیقی و روش‌های کاهش نویز به‌ویژه برای سیگنال‌های با کیفیت پایین می‌تواند مؤثر باشد. علاوه بر این، استفاده از مجموعه داده‌های بزرگ و متنوع‌تر که شامل ویژگی‌های مختلف بیماران و شرایط فیزیولوژیکی گوناگون باشد، به مدل‌ها کمک می‌کند تا الگوهای پیچیده‌تر و متنوع‌تری را بیاموزند. بهره‌گیری از داده‌های بیگ دیتا از جنبه‌های مختلف پزشکی، به‌خصوص با ترکیب داده‌های ECG و سایر اندازه‌گیری‌های پزشکی مانند فشار خون و نتایج آزمایش‌های خون، می‌تواند دقت پیش‌بینی‌های تشخیصی را بهبود بخشد. استفاده از مدل‌های ترکیبی و یادگیری انتقالی می‌تواند در بهره‌برداری از مدل‌های پیش‌آموزش‌دیده در حوزه‌های دیگر، به تسریع فرآیند آموزش و بهبود عملکرد مدل‌های پزشکی کمک کند. استفاده از پیش‌آموزش‌های عمومی مانند VGG یا ResNet در تشخیص آریتمی می‌تواند به افزایش دقت مدل‌ها در تحلیل داده‌های پیچیده پزشکی منجر شود. از سوی دیگر، برای توسعه سیستم‌های تشخیص آریتمی PSVT که قادر به شناسایی تغییرات در زمان واقعی باشند، استفاده از یادگیری آنلاین و مدل‌های پردازش موازی می‌تواند نتایج قابل‌توجهی در بهبود سرعت و کارایی این سیستم‌ها داشته باشد. این قابلیت می‌تواند به پزشکان کمک کند تا به‌صورت بلادرنگ به تغییرات آریتمی واکنش نشان دهند. در نهایت، به‌کارگیری تکنیک‌های تحلیل غیرخطی مانند RQA و DFA برای استخراج ویژگی‌های پیچیده‌تر از سیگنال‌های ECG می‌تواند در تشخیص آریتمی‌های پیچیده‌تر و نادر مانند PSVT مؤثرتر باشد. ادامه تحقیقات در این زمینه می‌تواند به توسعه مدل‌هایی منجر شود که توانایی شناسایی الگوهای پیچیده‌تر را دارند و در نتیجه، دقت و کارایی تشخیص آریتمی‌های قلبی را افزایش دهند.

مراجع

1. [1] Guo, R. X., Tian, X., Bazoukis, G., Tse, G., Hong, S., Chen, K. Y., & Liu, T. (2024). Application of artificial intelligence in the diagnosis and treatment of cardiac arrhythmia. *Pacing and Clinical Electrophysiology*.
2. Choi, R. Y., Coyner, A. S., Kalpathy-Cramer, J., Chiang, M. F., & Campbell, J. P. (2020). Introduction to machine learning, neural networks, and deep learning. *Translational vision science & technology*, 9(2), 14-14.
3. Wang, L., Dang, S., Chen, S., Sun, J. Y., Wang, R. X., & Pan, F. (2022). Deep-learning-based detection of paroxysmal supraventricular tachycardia using sinus-rhythm electrocardiograms. *Journal of Clinical Medicine*, 11(15), 4578.
4. Jo, Y. Y., Kwon, J. M., Jeon, K. H., Cho, Y. H., Shin, J. H., Lee, Y. J., ... & Oh, B. H. (2021). Artificial intelligence to diagnose paroxysmal supraventricular tachycardia using electrocardiography during normal sinus rhythm. *European Heart Journal-Digital Health*, 2(2), 290-298.
5. Chang, K. C., Hsieh, P. H., Wu, M. Y., Wang, Y. C., Chen, J. Y., Tsai, F. J., ... & Huang, T. C. (2021). Usefulness of machine learning-based detection and classification of cardiac arrhythmias with 12-lead electrocardiograms. *Canadian Journal of Cardiology*, 37(1), 94-104.
6. Al Darmaki, A. (2021). *Automatic Atrial Fibrillation Detection using Artificial Neural Network* (Doctoral dissertation, Sultan Qaboos University).
7. Saverio, S., Agustriawan, D., & Sadrawi, M. (2022, December). 1D Convolutional Neural Network to Detect Ventricular Fibrillation. In *2022 Seventh International Conference on Informatics and Computing (ICIC)* (pp. 1-5). IEEE.
8. Liu, L. R., Huang, M. Y., Huang, S. T., Kung, L. C., Lee, C. H., Yao, W. T., ... & Chiu, H. W. (2024). An Arrhythmia classification

28. Mitchell, H., Rosario, N., Hernandez, C., Lipsitz, S. R., & Levine, D. M. (2023). Single-lead arrhythmia detection through machine learning: cross-sectional evaluation of a novel algorithm using real-world data. *Open Heart*, 10(2), e002228.
29. Sidik, A. I., Komarov, R. N., Gawusu, S., Moomin, A., Al-Ariki, M. K., Elias, M., ... & Arzouni, N. W. (2024). Application of Artificial Intelligence in Cardiology: A Bibliometric Analysis. *Cureus*, 16(8), e66925.
30. Samek, W., Montavon, G., Lapuschkin, S., Anders, C. J., & Müller, K. R. (2021). Explaining deep neural networks and beyond: A review of methods and applications. *Proceedings of the IEEE*, 109(3), 247-278.
31. Golbayani, P., Wang, D., & Florescu, I. (2020). Application of deep neural networks to assess corporate credit rating. *arXiv preprint arXiv:2003.02334*.
24. Sahoo, S., Dash, M., Behera, S., & Sabut, S. (2020). Machine learning approach to detect cardiac arrhythmias in ECG signals: A survey. *Irbm*, 41(4), 185-194.
25. Rao, B. M., Kumar, A., Marwaha, P., & Bage, A. (2025). Machine Learning Techniques Used for Diagnosing Cardiac Abnormalities using Electrocardiogram. In *Advanced Research in Electronic Devices for Biomedical and mHealth* (pp. 53-77). Apple Academic Press.
26. Hussain, N., Khan, M. A., Sharif, M., Khan, S. A., Albeshier, A. A., Saba, T., & Armaghan, A. (2024). A deep neural network and classical features based scheme for objects recognition: an application for machine inspection. *Multimedia Tools and Applications*, 1-23.
27. Liu, L. R., Huang, M. Y., Huang, S. T., Kung, L. C., Lee, C. H., Yao, W. T., ... & Chiu, H. W. (2024). An Arrhythmia classification approach via deep learning using single-lead ECG without QRS wave detection. *Heliyon*, 10(5).