Journal of
Arak University of Medical Sciences

June & July 2022, Vol 25, Issue 2

Research Paper

A Two-stage Approach Using Artificial Neural Networks for Diagnosis of Heart Diseases Based on ECG Data

Majid Mehrad[1], *Majid Nojavan[1], Sedigh Raissi[2], Mehrdad Javadi[3]

1. Department of Industrial Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran.
2. Department of Industrial Engineering, Modeling and Optimization in Science and Engineering Research Center, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran.
3. Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran.

Use your device to scan and read the article online

Citation Mehrad M, Nojavan M, Raissi S, Javadi M. [A Two-stage Approach Using Artificial Neural Networks for Diagnosis of Heart Diseases Based on ECG Data (Persian)]. Journal of Arak University of Medical Sciences(JAMS). 2022; 25(2):230-243. https://doi.org/10.32598/JAMS.25.2.6450.1

https://doi.org/10.32598/JAMS.25.2.6450.1

CC BY NC

Article Info:

Received: 10 Aug 2021

Accepted: 23 Jun 2022

Available Online: 01 Jun 2022

Key words:
Electrocardiogram, Data mining, Artificial neural networks, Heart diseases

ABSTRACT

Background and Aim Most heart diseases show symptoms on ECG, but diagnosing heart disease with ECG requires the knowledge and experience of medical specialized. Because these specialists may not always be available, it is necessary to design tools to diagnose heart disease in these situations. In this paper, a two-stage approach based on artificial neural networks is designed to diagnose heart disease using ECG information.In this study, we aim to propose a two-stage approach using artificial neural network (ANN) to diagnose heart disease based ECG data.

Methods & Materials To design the proposed approach, first the ECG data of 861 patients referred to medical centers in Arak, Iran were collected. The data were examined based on the opinions of specialists. Then, 154 features from ECG were used as inputs to the proposed model. In the first stage, an ANN was used to detect the ECG status (usable and unusable). In the second stage, using the usable ECG data, an ANN was used to diagnose the presence or absence of heart disease. Finally, the performance of the two-stage approach was evaluated and its accuracy and precision in determining the ECG quality and heart disease diagnosis were determined.

Ethical Considerations This study was approved by the ethics committee of Arak University of Medical Sciences (Code: IR.ARAKMU.REC.1400.138).

Results In the proposed approach, the ANN used for the determining the ECG status had a precision of 97.1% and an accuracy of 97.3%. The ANN used for the diagnosis of heart disease had a precision of 95.8% and an accuracy of 95.4%.

Conclusion Considering the high efficiency of the proposed approach in determining of ECG status and diagnosing heart disease, it is possible to use this approach to help the treatment staff.

Corresponding Author:
Majid Nojavan
Address: Departmen of industrial Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran.
Tel: +98 (21) 77504903
E-mail: mnojavan@azad.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Most of the heart diseases show their symptoms in the Electrocardiogram (ECG) test, but the diagnosis of heart failure with the help of ECG requires the knowledge and experience of specialists. Since these specialists may not always be available, it is necessary to design tools to provide the possibility of diagnosing heart failure by the staff of different departments. Considering the importance of early diagnosis of heart failure, intelligentization of the diagnosis process based on ECG data can increase accuracy, speed, ease of use, and economic efficiency in diagnosis. This study aims to design an approach for diagnosing heart disease based on ECG data.

Materials and Methods

In this study, a smart model using artificial neural network (ANN) was designed to diagnose heart disease based on the ECG data (Figure 1). First, the ECG data of patients were collected from medical centers in Arak, Iran. The data were examined based on the opinions of specialists. Then, 154 ECG data as the inputs of the proposed model were defined (Table 1). Two ANNs were used to detect the ECG status (usable and unusable) and the presence of heart disease (yes, no). Finally, the performance of this two-stage approach was evaluated and its accuracy and precision in determining the ECG status and disease diagnosis were determined.

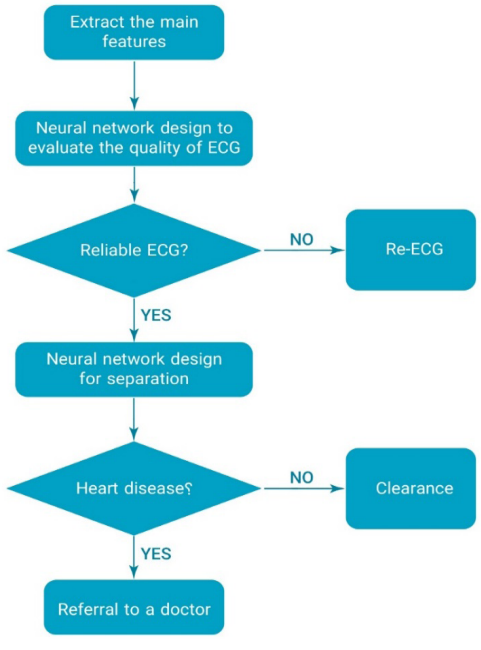


Figure 1. Flow chart of the two-stage approach

Results

The ANN used for determining of the ECG status had an accuracy of 97.1%, a precision of 97.3%, a specificity of 100%, a sensitivity of 64.8% and a negative predictive value (NPV) of 100%. The ANN used for heart disease diagnosis had 95.8% accuracy, 95.4% precision, 99.4% specificity, 48.1% sensitivity and 86.7% NPV (Table 2). These values showed efficiency and high performance of the proposed approach in automatic determination of ECG quality and diagnosis of heart disease.

Discussion

The two-stage approach based on ANN and ECG data has high efficiency in determining the ECG quality and diagnosing heart diseases.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This study was approved by the ethics committee of Arak University of Medical Sciences (Code: IR.ARAKMU.REC.1400.138).

Funding

This research did not receive any grant from funding agencies in the public, commercial, or non-profit sectors.

Table 1. Characteristics of ANNs

Characteristics	Determination of ECG Quality	Diagnosis of Heart Disease
Number of neurons in the input layer	154	154
Number of neurons in the output layer	2	2
Number of hidden layers	3	2
Number of neurons in the first hidden layer	100	200
Number of neurons in the second hidden layer	50	150
Number of neurons in the third hidden layer	50	-
Percent of training data	70	70
Percent of test data	15	17
Percent of validation data	15	13
Number of repetitions until termination	32	25

Journal of
Arak University of Medical Sciences

Table 2. Performance of two ANNs

Criteria	%	
	Determination of ECG Quality	Diagnosis of Heart Disease
Precision	97.1	95.8
Accuracy	97.3	95.4
Specificity	100	99.4
sensitivity	64.8	48.1
NPV	100	86.7

Journal of
Arak University of Medical Sciences

Authors' contributions

Methodology and sampling: Majid Mehrad, Majid Nojavan and Sadigh Raisi; Data analysis: Majid Mehrad and Sadigh Raisi; Conceptualization editing & review: All authors.

Conflicts of interest

The authors declare no conflicts of interest.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Head of the Research Unit of Arak University of Medical Sciences, Dr. Kalantari (the Head of Cardiology Department of Arak University of Medical Sciences), and Dr. Mashayekhi as well as the medical staff of Amir Kabir Hospital, Imam Reza Clinic and Vali-E-Asr Hospital in Arak for providing data and their cooperation.

مقاله پژوهشی

یک رویکرد دو مرحله‌ای مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی برای تشخیص بیماری قلبی با استفاده از اطلاعات نوار قلبی

مجید مهراد[۱]، *مجید نوجوان[۱]، صدیق رئیسی[۲]، مهرداد جوادی[۳]

۱. دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران.
۲. دانشکده مهندسی صنایع، مرکز تحقیقات مدل‌سازی و بهینه‌سازی در علوم و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران
۳. دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران.

Use your device to scan and read the article online

Citation Mehrad M, Nojavan M, Raissi S, Javadi M. [A Two-stage Approach Using Artificial Neural Networks for Diagnosis of Heart Diseases Based on ECG Data (Persian)]. Journal of Arak University of Medical Sciences(JAMS). 2022; 25(2):230-243. https://doi.org/10.32598/JAMS.25.2.6450.1

https://doi.org/10.32598/JAMS.25.2.6450.1

چکیده

زمینه و هدف اکثر بیماری‌های قلبی در نوار قلبی (ECG) نشانه‌هایی از خود نمایش می‌دهند، اما تشخیص وجود بیماری قلبی به کمک ECG نیازمند دانش و تجربه پزشکان متخصص است. از آنجائی که ممکن است همواره این متخصصان دردسترس نباشد، ضرورت دارد ابزارهایی طراحی شود تا در این شرایط به‌عنوان دستار به کادر درمان امکان تشخیص بیماری قلبی فراهم شود. در این مقاله یک رویکرد دومرحله‌ای مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی برای تشخیص بیماران قلبی با استفاده از اطلاعات ECG طراحی شده است.

مواد و روش‌ها برای طراحی رویکرد دومرحله‌ای پیشنهادی، ابتدا اطلاعات نوار قلبی ۸۶۱ مراجعه‌کننده به تعدادی از مراکز درمانی شهر اراک جمع‌آوری و با مشاوره متخصصین، پردازش و آماده‌سازی داده‌ها انجام شده است. آن‌گاه ۱۵۴ ویژگی در نوار قلبی به‌عنوان متغیرهای ورودی به رویکرد پیشنهادی مشخص شده است. در مرحله اول از رویکرد پیشنهادی یک شبکه عصبی مصنوعی برای تشخیص وضعیت نوار قلبی به دو صورت قابل‌استفاده و یا غیرقابل استفاده طراحی شده است. آن‌گاه در مرحله دوم با استفاده از اطلاعات نوارهای قلبی قابل‌استفاده، یک شبکه عصبی مصنوعی برای تشخیص وجود یا عدم‌وجود بیماری قلبی طراحی شده است. درنهایت، عملکرد رویکرد دو مرحله‌ای بررسی و صحت و دقت آن در تشخیص وضعیت نوار قلبی و همچنین وضعیت بیماری مراجعه‌کننده تعیین شده است.

ملاحظات اخلاقی این مقاله در کمیته تحقیقات با کد شناسه IR.ARAKMU.REC.1400.138 به تأیید رسیده است.

یافته‌ها در رویکرد دو مرحله‌ای پیشنهادی، شبکه عصبی تشخیص وضعیت نوار قلبی دارای دقت ۹۷/۱ درصد و صحت ۹۷/۳ درصد بوده و همچنین شبکه عصبی تشخیص وجود بیماری قلبی نیز دارای دقت ۹۵/۸ درصد و صحت ۹۵/۴ درصد می‌باشد.

نتیجه‌گیری باتوجه‌به کارایی بالای رویکرد پیشنهادی در تعیین وضعیت نوار قلبی و همچنین تشخیص بیماری قلبی، می‌توان از این رویکرد به‌عنوان یک دستیار قابل‌اعتماد برای کمک به کادر درمان استفاده کرد.

اطلاعات مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۹ مرداد ۱۴۰۰
تاریخ پذیرش: ۰۱ مرداد ۱۴۰۱
تاریخ انتشار: ۱۱ خرداد ۱۴۰۱

کلیدواژه‌ها:
نوار قلبی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، داده کاوی، بیماری‌های قلبی

* **نویسنده مسئول:**
مجید نوجوان
نشانی: تهران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، دانشکده مهندسی صنایع.
تلفن: ۷۷۵۰۴۹۰۳ (۲۱) ۹۸+
پست الکترونیکی: mnojavan@azad.ac.ir

مقدمه

بیماری‌های قلبی عروقی از شایع‌ترین بیماری‌هایی هستند که آمار بسیار زیادی از مرگ‌ومیر را در جهان به خود اختصاص داده‌اند. اکثر بیماری‌های قلبی در نوار قلبی از خود نشانه‌هایی نمایش می‌دهند، اما تشخیص وضعیت بیماران قلبی به کمک ECG نیازمند دانش و تجربه پزشکان متخصص است. بنابراین در شرایطی که این پزشکان دردسترس نباشد ضرورت دارد ابزارهایی طراحی شود تا امکان تشخیص بیماران قلبی برای بخش‌های مختلف کادر درمان فراهم شود. باتوجه‌به اهمیت تشخیص زودهنگام بیماران قلبی، هوشمندسازی فرایند تشخیص براساس داده‌های نوار قلبی می‌تواند ویژگی‌های دقت، سرعت، سادگی کاربرد و اقتصادی‌بودن را در تشخیص فراهم سازد.

در این مقاله یک رویکرد ۲ مرحله‌ای از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای تشخیص وضعیت قابل یا غیرقابل استفاده بودن نوار قلبی و همچنین تشخیص سالم یا بیمار بودن با استفاده از ویژگی‌های نوار قلبی طراحی و برای آموزش شبکه‌های عصبی از اطلاعات نوار قلبی افرادی که به تعدادی از مراکز درمانی شهر اراک مراجعه کرده‌اند استفاده شده است. ساختار مقاله به این صورت است که ابتدا در بخش دوم مرور ادبیات و پیشینه تحقیقات بررسی شده است. سپس در بخش سوم مفاهیم و ابزارهای مورد استفاده در رویکرد پیشنهادی به‌صورت مختصر تشریح شده است. آن‌گاه در بخش چهارم رویکرد پیشنهادی و اجزای آن تشریح و عملکرد آن بررسی شده است. درنهایت، نتایج در بخش پنجم آمده است.

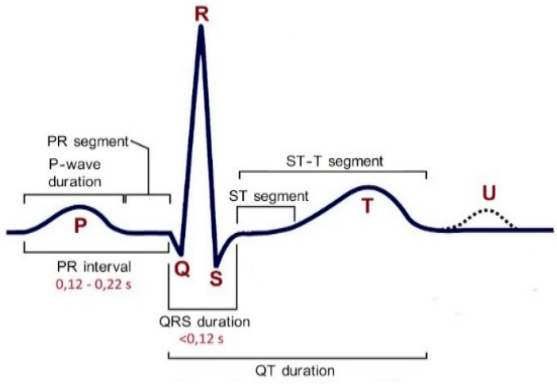
مرور ادبیات

یکی از شایع‌ترین بیماری‌های مزمن، بیماری‌های قلبی-عروقی است. بیماری‌های قلبی عروقی شایع‌ترین علت مرگ میر ناشی از بیماری‌های غیر واگیردار در سراسر جهان است و با سطح بالایی از عوارض جانبی مشخص می‌شود [۱]. یکی از راه‌های تشخیص بسیاری از بیماری‌های قلبی ECG است. نوار قلب بعنوان یکی از ساده‌ترین و ارزان‌ترین اقداماتی است که اطلاعات ارزشمندی را به متخصص قلب ارائه می‌دهد [۲]. الکتروکاردیوگرام یا نوار قلب یک آزمون اولیه است که در آن فعالیت الکتریکی قلب و اطلاعات مربوط به ریتم، دریچه‌های قلب و رشد دهلیزها و بطن‌ها را ثبت می‌شود. نوار قلب به‌عنوان اقدامی روتین و اولیه در بررسی دردهای قلب و سکته‌های قلبی ارزش خاصی دارد [۳]. فراوانی و تنوع زیاد اختلالات و نشانه‌های تشخیص بیماری به خصوص در شرایط بحرانی که با محدودیت زمان در تصمیم‌گیری و یادآوری همه متغیرها همراه است باعث نیاز به ابزارهای کمکی برای تشخیص بیماری می‌شود [۴].

رانی و همکاران [۵] برای طبقه‌بندی بیماران قلبی از شبکه عصبی مصنوعی (Artificial neural network) استفاده و نشان دادند که رویکرد پیشنهادی با دقت ۸۷ درصد می‌تواند نوع بیماری را به‌درستی پیش‌بینی کند. موتوکاروپیان [۶] بر اساس داده‌های بیماران قلبی و اطلاعات ECG در مراکز درمانی مجارستان، یک سیستم فازی برای تشخیص بیماری‌های عروق کرونر طراحی و نشان دادند که رویکرد آن‌ها با دقت ۹۳/۲۷ درصد بیماری را به‌درستی تشخیص می‌دهد. اماتو و همکاران [۷] برای شناسایی بیماران قلبی از شبکه عصبی مصنوعی استفاده استفاده کردند. کومارو همکاران [۸] برای پیش‌بینی بیماری قلبی با استفاده از مشخصه‌های بالینی و نوار قلبی پرونده بیماران یک بیمارستان در هند، یک سیستم فازی طراحی و نشان دادند که رویکرد آن‌ها در پیش‌بینی بیماری دقت ۹۲درصد دارد. یوهو [۹] برای تشخیص آریتمی قلبی با استفاده از پایگاه داده آریتمی MIT–BIH یک شبکه عصبی مصنوعی طراحی و نشان دادند که روش پیشنهادی می‌تواند بین ضربان طبیعی و غیرطبیعی تمایز ایجاد کند. رای و همکاران [۱۰] با بکارگیری سه نوع شبکه‌های عصبی و استفاده از اطلاعات نوار قلبی پایگاه داده MIT-BIH به طبقه‌بندی وضعیت نوار قلبی به دو صورت نرمال و غیرطبیعی پرداخته و دقت رویکرد پیشنهادی را ۱۰۰درصد تعیین کردند. آچاریا و همکاران [۱۱] برای تشخیص نارسایی احتقانی قلب به کمک ECG از شبکه عصبی استفاده و بالاترین دقت ۹۷/۹۸ درصد را به‌دست آوردند. همچنین آچاریا [۱۲] برای پیش‌بینی بیماری عروق کرونر با استفاده از نوارقلبی از شبکه عصبی کانولوشن عمیق استفاده و نشان داد رویکرد پیشنهادی دقت ۹۴ درصد دارد. نهایتاً آچاریا [۱۳] برای تشخیص سکته قلبی شبکه عصبی کانولوشن عمیق را به‌کار برده و نشان دادند که دقت روش پیشنهادی با نویز و بدون نویز به‌ترتیب ۹۳/۵ درصد و ۹۵/۲درصد دارد. شمس‌اللهی [۱۴] با استفاده از ۵۸ ویژگی استخراج شده در ۲۸۲ نمونه جمع‌آوری شده از یک کلینیک قلب، یک مدل ترکیبی از درخت تصمیم، شبکه بیزی و شبکه عصبی برای پیش‌بینی بیماری کرونر قلبی استفاده و نشان دادند که روش درخت تصمیم با خطای ۷۴٪ بهترین عملکرد تشخیصی را دارد.

نارویی [۱۵] برای تشخیص ۱۶ کلاس از بیماری آریتمی قلبی از داده‌های ۴۵۲نمونه در پایگاه داده UCI و روش یادگیری عمیق استفاده کرد. نارویی [۱۶] با استفاده از همان داده‌ها از روش‌های فیشر و ماشین بردار پشتیبان[1] برای تعیین ویژگی‌ها و تشخیص بیماری استفاده کرده است. همچنین نارویی [۱۷] برای تشخیص بیماری با استفاده از ۲۷۶ ویژگی از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی و شبکه عصبی عمیق برای تشخیص بیماری استفاده کرده است. ساکلاین [۱۸] با کاربرد ماشین بردار پشتیبان بر روی چهار مجموعه داده بیماری قلبی در پایگاه داده UCI افراد را به دو گروه طبیعی و بیمار قلبی طبقه‌بندی کرد. حمید باشی [۱۹]

1. Support Vector Machine



تصویر ۱. یک سیگنال الکتریکی قلبی

برای تشخیص بیماری قلبی آپنه انسدادی در جانبازان شیمیایی از شبکه عصبی و اطلاعات ECG ۹۶ نمونه جمع‌آوری‌شده از بیمارستان بقیه‌الله استفاده و دقت روش را ۹۷/۴ درصد تعیین کردند. ونگ و همکاران [۲۰] یک شبکه عصبی عمیق برای تشخیص سکته قلبی با استفاده از اطلاعات استخراج شده از نوار قلبی طراحی کردند. کوبات [۲۱] برای تشخیص و دسته‌بندی آریتمی از ماشین پشتیبان یادگیری استفاده و ۵۳ ویژگی از ECG مربوط به ۱۰۰۰ نمونه بیمارقلبی را به‌کار برده و نشان دادند که با استفاده از تعداد بیشتر ویژگی نوار قلبی می‌توان به دقت بالاتری در تشخیص و طبقه‌بندی بیماران دست یافت.

با بررسی پیشینه تحقیق مشخص می‌شود که اگر چه ابزارهای متفاوت و مختلفی برای تشخیص انواع بیماری قلبی با استفاده از اطلاعات نوار قلبی پیشنهاد شده است، اما یک رویکرد که به‌صورت هم‌زمان بتواند وضعیت نوار قلبی و همچنین وجود بیماری قلبی را با دقت بالا تعیین کند طراحی نشده است. بنابراین در این مقاله یک رویکرد ۲ مرحله‌ای از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای این منظور طراحی و این شبکه‌ها با استفاده از داده‌های نوار قلبی مراجعین به تعدادی از مراکز درمانی شهر اراک آموزش داده شده است. ویژگی‌ها و نوآوری‌های رویکرد پیشنهادی عبارت است از:

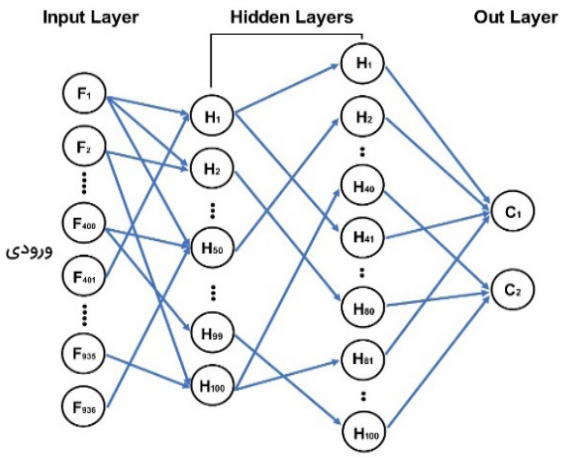
استفاده از یک رویکرد سلسله‌مراتبی برای تشخیص وضعیت نوار قلبی و تشخیص وجود بیماری قلبی.

صحت و دقت بالا در تشخیص وضعیت نوار قلبی و تشخیص وجود بیماری قلبی.

استفاده از اطلاعات واقعی مراجعین شهر اراک در طراحی رویکرد پیشنهادی.

روش بررسی

مفاهیم و تعاریف و روش‌های به‌کار گرفته شده در رویکرد پیشنهادی برای تشخیص بیماری قلبی در ادامه به‌صورت مختصر تشریح شده است.



تصویر ۲. ساختار یک نمونه شبکه عصبی با دولایه پنهان

نوار قلبی (ECG)

الکتروکاردیوگرام یا نوار قلب (ECG) ثبت نوشتاری پتانسیل‌های تولید شده قلب بوده و یک روش تشخیصی سریع، ساده و بدون درد برای ارزیابی سلامت قلب و عروق است. همچنین برای تشخیص برخی از ناهنجاری‌های قلبی مانند آریتمی‌ها یا بی‌نظمی قلبی، آنژین صدری و سکته قلبی و... از نوار قلبی استفاده می‌شود. نوار قلبی می‌تواند اختلالات هدایتی و عضلانی قلب را به‌خوبی نشان دهد و مشخص شده است که می‌تواند اطلاعات مفیدی را مشخص کند [۲۲]. نمونه‌ای از یک سیگنال نوار قلبی در تصویر شماره ۱ نشان‌داده شده است.

همان‌طورکه درتصویر شماره ۱ دیده می‌شود امواج فعالیت الکتریکی در ECG از چندین موج، قطعه و ترکیب ایجاد می‌شود. هر دوره قلبی از یک موج P شروع و تا موج P بعدی ادامه دارد. P یک موج نسبتاً کوچک است که انقباض دهلیز را نشان می‌دهد. بعد از مکثی کوتاه ترکیب QRS به چشم می‌خورد که گویی خط نوار قلب حرکتی سریع به سمت پایین، بالا و دوباره به سمت پایین داشته است. این ترکیب در اثر انقباض بطن‌ها ایجاد می‌شود و در نهایت پس از مکثی بلندتر موج T مشاهده می‌شود که پرشدن ناگهانی بطن‌ها را نشان می‌دهد. در ECG یک قطعه ST و ۴ فاصله اصلی شامل: QRS، PR، R-R و QT وجود وجود دارد که تغییرات آن‌ها نشان‌دهنده بیماری‌های خاصی می‌باشد.

شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی با الهام از شبکه نورون‌های مغز انسان، سعی در توسعه پردازش اطلاعات دارد. هر نورون در این شبکه یک عنصر پردازشی بوده و در کنار دیگر عناصر پردازشی به حل مسائل مختلف می‌پردازد [۲۳]. در این ساختار گره‌های پرشماری در کنار یکدیگر به‌صورت موازی با هدف پردازش کلی فعالیت می‌کنند. این ساختار داده‌ها در یک شبکه ارتباطی با یکدیگر قرار گرفته و این شبکه توسط انسان مورد آموزش و یادگیری قرار می‌گیرد. یک شبکه عصبی مصنوعی معمولاً دارای لایه ورودی، لایه خروجی و لایه‌های پنهان هستند که از لایه‌های پنهان برای بهبود عملکرد شبکه عصبی در تشخیص الگو[2] استفاده می‌شود. نمونه‌ای از شبکه عصبی مصنوعی در تصویر شماره ۲ نشان داده شده است.

داده‌های مورد استفاده در طراحی شبکه عصبی معمولاً به ۳ گروه مستقل آموزش، آزمون و اعتبارسنجی تقسیم می‌شوند که از داده‌های آزمون برای بررسی عملکرد شبکه عصبی آموزش دیده استفاده می‌شود. همچنین برای بررسی عملکرد شبکه‌های عصبی از شاخص‌هایی مانند: صحت، دقت، حساسیت، ارزش اخباری منفی و تشخیص استفاده می‌شود که این شاخص‌ها در فرمول‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ تعریف شده‌اند.

1. $Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$

2. $Precision = \frac{TP}{TP + FP}$

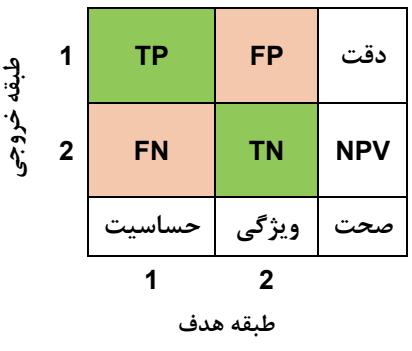
3. $Specificity = \frac{TN}{FP + TN}$

4. $NPV = \frac{TN}{TN + FN}$

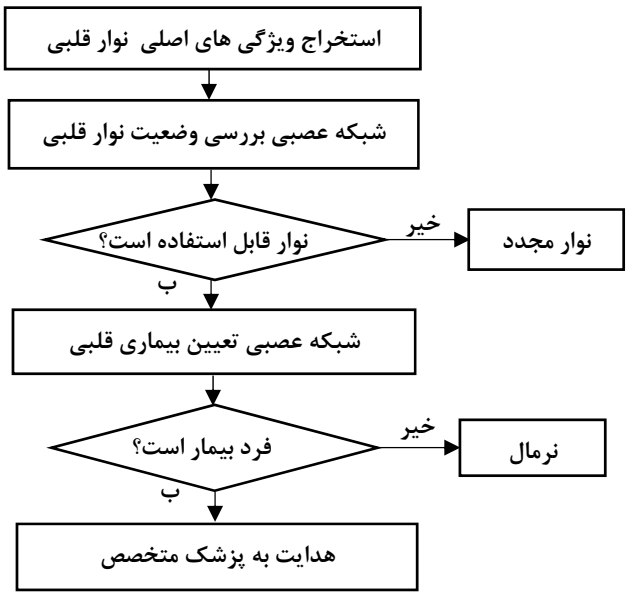
5. $Sensitivity = \frac{TP}{TP + FN}$

در روابط بالا و در یک شبکه عصبی با خروجی دو وضعیتی، نرخ مثبت صحیح[3] تعداد نمونه‌های گروه هدف که به‌درستی به گروه هدف تخصیص داده شده‌اند، نرخ منفی صحیح[4] تعداد نمونه‌های گروه

2. Pattern Recognition
3. True Positive=TP
4. True Negetive=TN



تصویر ۳. نمونه‌ای از ماتریس آشفتگی برای یک شبکه عصبی با خروجی ۲ وضعیتی



تصویر ۴. روندنمای استفاده از رویکرد۲ مرحله‌ای پیشنهادی برای تشخیص بیماری قلبی

غیرهدف که به‌درستی به گروه غیرهدف تخصیص داده شده‌اند، نرخ مثبت کاذب[5]، تعداد نمونه‌های گروه هدف که به‌اشتباه در گروه غیرهدف قرار گرفته‌اند و نرخ منفی کاذب[6] تعداد نمونه‌های گروه غیرهدف که به اشتباه در گروه هدف قرار گرفته‌اند، می‌باشند. شاخص‌های عملکردی معمولاً در یک گراف استاندارد موسوم به ماتریس آشفتگی[7] نشان داده می‌شوند که تصویر شماره ۳ نمونه‌ای از این ماتریس را برای یک شبکه‌های عصبی با خروجی دو وضعیتی نشان می‌دهد.

یافته‌ها

برای تشخیص بیماری قلبی در وضعیت واقعی ابتدا از مراجعین مشکوک به مراکز درمانی، براساس تجویز پزشک نوار قلبی گرفته شده و اگر نوار قلبی دارای نویز معنی‌دار تشخیص داده شود آن نوار فاقد اعتبار بوده و باید گرفتن نوار قلبی تکرار شود. اما درصورتی‌که نوار قلبی قابل استفاده باشد، متخصص با بررسی آن وضعیت سلامت یا وجود بیماری قلبی در فرد را تشخیص دهد. درنهایت، درصورت وجود بیماری قلبی، نوع آن مشخص و متناسب با آن آزمایشات تکمیلی و پروتکل درمان متناسب دنبال خواهد شد. رویکرد ۲ مرحله‌ای پیشنهادی نیز یک رویکرد سلسله‌مراتبی است که باتوجه‌به رویه مرسوم در مراکز درمانی طراحی شده و در آن هدف بهره‌گیری از روش‌های یادگیری تحت نظارت برای خودکارسازی فرآیند تشخیص بیماری قلبی است. روند نمای نحوه استفاده از رویکرد پیشنهادی در تصویر شماره ۴ نشان داده شده است.

5. False Positive=FP
6. False Negative=FN
7. Confiusion Matrix

مراحل طراحی رویکرد سلسله‌مراتبی پیشنهادی در ادامه تشریح شده است.

مرحله ۱: جمع‌آوری و آماده‌سازی داده‌ها

در مرحله اول داده‌های مورداستفاده در رویکرد پیشنهادی شامل ۸۶۱ نمونه از اطلاعات افرادی که در سال‌های ۱۳۹۷ الی ۱۳۹۹ به مرکز آموزشی و درمانی امیرکبیر و مرکز آموزشی درمانی حضرت ولی‌عصر(عج) و همچنین کلینیک امام رضا(ع) در شهر اراک مراجعه کرده‌اند، جمع‌آوری شده است. سپس داده‌های جمع‌آوری شده بررسی و نوارهای تکراری و ناقص و یا خارج از محدوده تحقیق با نظر متخصصین خارج شده، تا درنهایت ۷۰۴ نمونه قابل‌بررسی باقی مانده است. از میان این نمونه‌ها، وضعیت نوارهای قلبی با نظر متخصصین قلب بررسی و نمونه‌ها به دو دسته قابل‌استفاده و غیرقابل‌استفاده تفکیک شده است. منظوراز غیرقابل استفاده، نوارقلبی بیمارانی است که لید اندامی یا تحتانی آن‌ها اشتباه بسته شده و یا کم و زیاد شدن ولتاژ، وجود نویز و فرکانس و نمونه‌های خارج از محدوده باعث عدم امکان استفاده از نوار قلبی شده است. در مرحله بعد، نمونه‌های قابل‌استفاده (۶۶۹ نمونه) با بررسی مستندات و نظر پزشکان متخصص به دو دسته سالم (نرمال) و بیمار تفکیک شده است.

مرحله ۲: تعیین ویژگی های نوار قلبی (متغیرهای ورودی)

در این مرحله برای تعیین وضعیت نوار قلبی و تشخیص وجود بیماری قلبی تعداد ۱۵۴ ویژگی نوار قلبی با استفاده از منابع معتبر و نظر متخصصان مشخص و به‌عنوان ورودی شبکه‌های عصبی از آن‌ها استفاده شده است. فهرست ویژگی‌های مورد استفاده در نوار قلبی و مقیاس اندازه‌گیری آن‌ها در جدول شماره ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. ویژگی‌های نوار قلبی (متغیرهای ورودی) مورداستفاده

شماره متغیر	نام متغیر ورودی	واحد اندازه‌گیری	شرح متغیر
۱	rate	bpm	ضربان قلب که ریتم تپیدن قلب نیز نامیده می‌شود.
۲	QRS dur	ms	از مجموع سه موج تشکیل شده و درمجموع نشان‌دهنده دپلاریزاسیون بطن‌ها است. اولین موج منفی بعد از P، موج Q، اولین موج مثبت بعد از P موج R و اولین موج منفی بعد از R موج S نامیده می‌شود. مجموع این سه موج با هم یک کمپلکس QRS را تشکیل می‌دهند. از شروع موج Q تا پایان موج S اندازه QRS duration می‌باشد.
۳	PR int	ms	فاصلهٔ PR از ابتدای موج P تا شروع کمپلکس QRS به این نام خوانده می‌شود. این فاصله نشان‌دهنده زمان سپری شده برای رسیدن موج دپولاریزاسیون از دهلیزها به بطن‌ها است
۴	QT	ms	از ابتدای کمپلکس QRS تا انتهای موج P می‌باشد و نشان‌دهنده زمان لازم برای مجموع فعالیت بطن‌ها در طی یک‌چرخه قلبی است.
۵	QTc	ms	فاصله QT اصلاح‌شده (Corrected QT interval= QTc) فاصله QT را با ضربان قلب استاندارد ۶۰ دور در دقیقه تخمین و امکان مقایسه مقادیر QT را با گذشت زمان در ضربان‌های مختلف قلب فراهم می‌کند.
۶	axis	درجه	نشان‌دهنده زاویه محور قلب است.
۷	R-R	ms	فاصله بین دو موج R می‌باشد.
۸	RV	mm	ارتفاع موج R در لید V5 یا V6 می‌باشد.
۹	SV	mm	مجموع عمق موج S در لید V1 می‌باشد.
۱۰	RV+SV	mm	شاخص Sokolow Lyon SV1+RV5
۱۱-۲۲	P	mm	در ۱۲ لید شامل لیدهای 1، 2 و 3، V6، V5، V4، V3، V2، V1، AVF، AVL، AVR
۲۳-۳۴	Q	mm	در ۱۲ لید شامل لیدهای 1، 2 و 3، V6، V5، V4، V3، V2، V1، AVF، AVL، AVR
۳۵-۴۶	R	mm	در ۱۲ لید شامل لیدهای 1، 2 و 3، V6، V5، V4، V3، V2، V1، AVF، AVL، AVR
۴۷-۵۸	S	mm	در ۱۲ لید شامل لیدهای 1، 2 و 3، V6، V5، V4، V3، V2، V1، AVF، AVL، AVR
۵۹-۷۰	‘R	mm	در ۱۲ لید شامل لیدهای 1، 2 و 3، V6، V5، V4، V3، V2، V1، AVF، AVL، AVR
۷۱-۸۲	ST1	mm	در ۱۲ لید شامل لیدهای 1، 2 و 3، V6، V5، V4، V3، V2، V1، AVF، AVL، AVR
۸۳-۹۴	ST2	mm	در ۱۲ لید شامل لیدهای 1، 2 و 3، V6، V5، V4، V3، V2، V1، AVF، AVL، AVR
۹۵-۱۰۶	T	mm	در ۱۲ لید شامل لیدهای 1، 2 و 3، V6، V5، V4، V3، V2، V1، AVF، AVL، AVR
۱۰۷-۱۱۸	‘T	mm	در ۱۲ لید شامل لیدهای 1، 2 و 3، V6، V5، V4، V3، V2، V1، AVF، AVL، AVR
۱۱۹-۱۳۰	Q ms	ms	در ۱۲ لید شامل لیدهای 1، 2 و 3، V6، V5، V4، V3، V2، V1، AVF، AVL، AVR
۱۳۱-۱۴۲	VAT	ms	در ۱۲ لید شامل لیدهای 1، 2 و 3، V6، V5، V4، V3، V2، V1، AVF، AVL، AVR
۱۴۳-۱۵۴	QRS	ms	در ۱۲ لید شامل لیدهای 1، 2 و 3، V6، V5، V4، V3، V2، V1، AVF، AVL، AVR

مرحله ۳: تعیین متغیرهای خروجی شبکه های عصبی

در رویکرد ۲ مرحله‌ای برای تعیین وضعیت نوار قلبی و همچنین تشخیص بیماری قلبی از ۲ شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده است که متغیرهای خروجی هر یک از این شبکه‌ها در جدول شماره ۲ نشان داده شده است.

مرحله ۴: طراحی شبکه‌های عصبی

همان‌طورکه قبلاً بیان شد در رویکرد پیشنهادی از دو شبکه عصبی برای بررسی وضعیت نوار قلبی و تشخیص بیماری قلبی استفاده شده است. در این مرحله باتوجه‌به اینکه مقیاس داده‌ها یکسان نیستند ابتدا در عملیات پیش فرآوری، سطرهای ثابت

جدول ۲. متغیرهای خروجی شبکه‌های عصبی

نوع شبکه عصبی	گروه	نوع خروجی	تعریف متغیر خروجی
تشخیص وضعیت نوار قلبی	۱	قابل استفاده	نوار قلبی قابل استفاده و استاندارد.
	۲	غیرقابل استفاده	نوارقلبی بیمارانی که لید اندامی یا تحتانی آنها اشتباه بسته شده یا وجود نویز و فرکانس و همچنین کم و زیاد شدن ولتاژ .
تشخیص وجود بیماری قلبی	۱	سالم	تمامی اندازه‌ها و طول موج‌ها در بازه‌های نرمال قرار داشته و نوار قلبی نشان‌دهنده سلامت فرد است.
	۲	بیمار	نوار قلبی نوع بیماری خاصی را نشان می‌دهد و یا علائمی برای هشدار به پزشک به همراه دارد.

جدول ۳. مشخصات شبکه‌های عصبی در رویکرد پیشنهادی

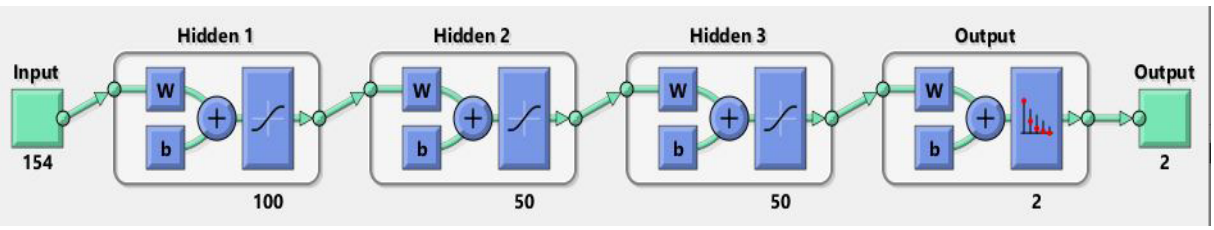
مشخصات / نوع شبکه عصبی	تعیین وضعیت نوار قلبی	تشخیص بیماری قلبی
تعداد نرون در لایه ورودی	۱۵۴	۱۵۴
تعداد نرون در لایه خروجی	۲	۲
تعداد لایه‌های پنهان	۳	۲
تعداد نرون‌ها در هر لایه پنهان	–	–
لایه اول	۱۰۰	۲۰۰
لایه دوم	۵۰	۱۵۰
لایه سوم	۵۰	–
تعداد تکرار تا توقف	۳۲	۲۵

که نقشی در بهبود طراحی ندارند حذف و داده‌ها در مقیاس [۱+، ۱-] تجدید مقیاس شدند. همچنین تقسیم‌بندی داده‌های مورداستفاده در یادگیری شبکه‌های عصبی نیز به‌صورت کاملاً تصادفی انجام شده است. برای آموزش شبکه‌های عصبی و با هدف کمینه‌سازی آنتروپی متقاطع[8] از الگوریتم SCG (Scaled Conjugate Graduate) استفاده و شرط توقف آموزش شبکه‌های عصبی نیز توقف بهبود در ۶ مرحله متوالی درنظر گرفته شده است. هر دو شبکه عصبی در نرم‌افزار متلب[9] و براساس تابع Pattternet طراحی و مدل‌سازی شده است. به‌عنوان نمونه ساختار شبکه عصبی تشخیص وضعیت نوار قلبی در تصویر شماره ۵ نشان داده شده است.

مشخصات ساختار شبکه‌های عصبی مورد استفاده در رویکرد پیشنهادی نیز در جدول شماره ۳ نشان داده شده است.

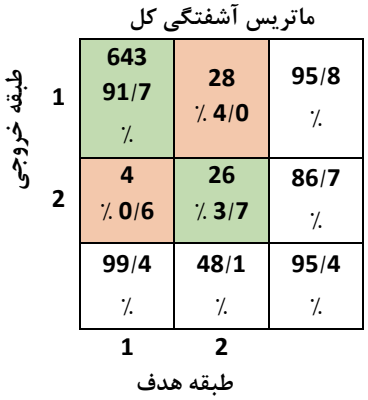
8. Cross-Entropy

9. Matlab



تصویر ۵. ساختار شبکه عصبی تشخیص وضعیت نوار قلبی

تصویر ۷. ماتریس‌های آشفتگی شبکه عصبی تشخیص وضعیت نوار قلبی



تصویر ۸. ماتریس آشفتگی شبکه عصبی تشخیص بیماری قلبی

مرحله ۵: ارزیابی عملکرد شبکه های عصبی

در مرحله پنجم برای ارزیابی عملکرد رویکرد سلسله‌مراتبی، عملکرد هر یک از شبکه‌های عصبی آموزش دیده با استفاده از شاخص‌های داده شده در روابط ۱ تا ۵ و در قالب ماتریس‌های آشفتگی به‌صورت جداگانه ارزیابی شده است. ماتریس‌های آشفتگی شبکه عصبی تشخیص وضعیت نوار قلبی برای داده‌های آموزش، آزمون، اعتبارسنجی و کل در تصویر ۷ نشان داده شده است.

همچنین ماتریس آشفتگی شبکه عصبی تشخیص بیماری قلبی برای کل داده‌ها نیز در تصویر شماره ۸ نشان داده شده است.

باتوجه‌به ماتریس‌های آشفتگی شبکه‌های عصبی مورداستفاده در رویکرد پیشنهادی نشان داده شده در تصاویر ۷ و ۸، صحت و دقت بالای این رویکرد در تعیین وضعیت نوار قلبی و همچنین تشخیص بیماری قلبی مشخص می‌شود.

جدول ۴: شاخص‌های عملکردی شبکه‌های عصبی مورد استفاده در رویکرد پیشنهادی

شاخص / نوع شبکه عصبی	تعیین وضعیت نوار قلبی	تشخیص بیماری
دقت	۹۷/۱	۹۵/۸
صحت	۹۷/۳	۹۵/۴
تشخیص	۱۰۰	۹۹/۴
حساسیت	۶۴/۸	۴۸/۱
NPV	۱۰۰	۸۶/۷

بحث

در رویکرد ۲ مرحله‌ای تشخیص بیماری قلبی با استفاده از اطلاعات نوار قلبی، ابتدا در مرحله اول یک شبکه عصبی وضعیت قابل‌استفاده و یا غیرقابل‌استفاده بودن نوار قلبی را مشخص کرده و درصورت قابل‌استفاده‌بودن، در مرحله دوم یک شبکه عصبی دیگر سالم یا بیمار بودن نوار قلبی را بررسی می‌کند. شاخص‌های عملکردی شبکه‌های عصبی مورداستفاده در رویکرد پیشنهادی برای کل داده‌ها در جدول شماره ۴ نشان داده شده است.

باتوجه‌به جدول فوق مشخص است که شبکه عصبی تعیین وضعیت نوار قلبی دارای دقت ۹۷/۱ درصد، صحت ۹۷/۳ درصد، قدرت تشخیص ۱۰۰ درصد، حساسیت ۶۴/۸ درصد و NPV برابر با ۱۰۰درصد می‌باشد. همچنین شبکه عصبی تشخیص بیماری قلبی نیز دارای دقت ۹۵/۸ درصد، صحت ۹۵/۴ درصد، قدرت تشخیص ۹۹/۴ درصد، حساسیت ۴۸/۱ درصد و NPV برابر با ۸۶/۷ درصد می‌باشد. این مقادیر نشان‌دهنده عملکرد و کیفیت بسیار بالای رویکرد پیشنهادی در تعیین خودکار وضعیت نوار قلبی و همچنین تشخیص بیماری قلبی می‌باشد.

همچنین با مقایسه رویکرد پیشنهادی با مقالات رای و همکاران [۱۰]، آچاریا [۱۲] و ساکلاین [۱۸] مشخص می‌شود که در رویکرد پیشنهادی برای اولین‌بار تعیین وضعیت نوار قلبی و همچنین تشخیص وجود بیماری قلبی به‌صورت سلسله‌مراتبی درنظر گرفته شده است. علاوه‌بر این، در طراحی رویکرد پیشنهادی برخلاف اکثر پژوهش‌های قبلی به‌جای استفاده از داده‌های پایگاه‌های اطلاعاتی استاندارد خارجی، از اطلاعات واقعی داخلی استفاده شده است که استفاده از این رویکرد را در کاربردهای واقعی بیشتر می‌کند.

نتیجه‌گیری

در این مقاله برای هوشمندسازی تشخیص بیماری با استفاده از نوار قلبی، از یک رویکرد ۲ مرحله‌ای مبتنی بر شبکه‌های عصبی استفاده شده است. برای طراحی رویکرد پیشنهادی، اطلاعات نوار قلبی بیش از ۸۰۰ مراجعه‌کننده به تعدادی از مراکز درمانی شهر اراک جمع‌آوری و آماده‌سازی شده و با نظر متخصصین برای همه نمونه‌ها وضعیت نوار قلبی ازنظر قابل استفاده یا غیرقابل‌استفاده بودن مشخص شده و در نوارهای قابل استفاده نیز وضعیت وجود یا عدم‌وجود بیماری قلبی تعیین شده است. سپس از میان ویژگی‌های نوار قلبی، ۱۵۴ ویژگی با مشاوره متخصصین تعیین و به‌عنوان متغیر ورودی شبکه‌های عصبی درنظر گرفته شده است. در رویکرد دو مرحله‌ای، در مرحله اول با استفاده از نمونه‌های نوار قلبی موجود یک شبکه عصبی برای تعیین وضعیت نوار قلبی طراحی شده است که متغیر خروجی آن قابل‌استفاده یا غیرقابل استفاده بودن اطلاعات نوار قلبی می‌باشد. سپس در مرحله دوم با استفاده از نمونه‌های نوار قلبی قابل‌استفاده، یک شبکه عصبی برای تشخیص بیماری قلبی طراحی شده که متغیر خروجی آن وجود یا عدم‌وجود بیماری قلبی می‌باشد. در رویکرد پیشنهادی، شبکه عصبی تشخیص وضعیت نوار قلبی دارای دقت ۹۷/۱ درصد و صحت ۹۷/۳ درصد بوده و همچنین شبکه عصبی تشخیص بیماری قلبی نیز دارای دقت ۹۵/۸ درصد و صحت ۹۵/۴ درصد می‌باشد که نشان‌دهنده صحت و دقت بالای رویکرد پیشنهادی در تشخیص بیماری بر مبنای اطلاعات نوار قلبی می‌باشد. باتوجه‌به کارایی بالای رویکرد پیشنهادی در تعیین بیماری قلبی می‌توان از این رویکرد به‌عنوان یک دستیار قابل‌اعتماد برای کمک به کادر درمان و کاهش مرگ‌ومیر ناشی از بیماری‌های قلبی استفاده کرد. به‌عنوان تحقیقات آتی نیز می‌توان به طراحی ابزارهای هوشمند برای تشخیص نوع بیماری‌های قلبی و همچنین تعیین پروتکل‌های درمان اشاره کرد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

دارای شناسه اخلاق از دانشگاه علوم پزشکي اراك با شماره IR.ARAKMU.REC.1400.138 می‌باشد.

حامی مالی

این تحقیق هیچ کمک مالی از سازمان های مالی در بخش های عمومی، تجاری یا غیر انتفاعی دریافت نکرد.

مشارکت نویسندگان

مفهوم‌سازی: تمامی نویسندگان روش پژوهش و نمونه‌گیری: مجید مهراد، مجید نوجوان و صدیق رئیسی تحلیل داده‌ها: مجید مهراد، مجید نوجوان و و صدیق رئیسی؛ نگارش متن و بازبینی: همه نویسندگان.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله هیچ‌گونه تعارضی منافعی ندارد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از همکاری صمیمانه ریاست واحد پژوهش دانشگاه علوم پزشکی اراک، خانم دکتر کلانتری، مدیر گروه قلب و عروق دانشگاه علوم پزشکی اراک آقای دکتر مشایخی و از کادر درمانی مرکز آموزشی و درمانی امیرکبیر، کلینیک امام رضا(ع) و مرکز آموزشی درمانی حضرت ولی‌عصر(عج)، تشکر و قدردانی می‌کنند.

References

[1] Kendir C, van den Akker M, Vos R, Metsemakers J. Cardiovascular disease patients have increased risk for comorbidity: A cross-sectional study in the Netherlands. Eur J Gen Pract. 2018; 24(1):45-50. [DOI:10.1080/13814788.2017.1398318] [PMID] [PMCID]

[2] Carlson B, Austel Nadeau C, Glaser D, Fields W. Evaluation of the effectiveness of the healthy heart tracker on heart failure self-care. Patient Educ Couns. 2019; 102(7):1324-30. [DOI:10.1016/j.pec.2019.02.010] [PMID]

[3] Bayés de Luna A, Brugada J, Baranchuk A, Borggrefe M, Breithardt G, Goldwasser D, et al. Current electrocardiographic criteria for diagnosis of Brugada pattern: A consensus report. J Electrocardiol. 2012; 45(5):433-42. [DOI:10.1016/j.jelectrocard.2012.06.004] [PMID]

[4] Van Pham H. A proposal of expert system using deep learning neural networks and fuzzy rules for diagnosing heart disease. In: Satapathy S, Bhateja V, Nguyen B, Nguyen N, Le DN, editors. Frontiers in intelligent computing: Theory and applications. Singapore: Springer; 2019. [DOI:10.1007/978-981-32-9186-7_21]

[5] Bayés de Luna A, Brugada J, Baranchuk A, Borggrefe M, Breithardt G, Goldwasser D, et al. Current electrocardiographic criteria for diagnosis of Brugada pattern: A consensus report. J Electrocardiol. 2012; 45(5):433-42. [DOI:10.1016/j.jelectrocard.2012.06.004] [PMID]

[6] Rani KU. Analysis of heart diseases dataset using neural network approach. Int J Data Min Knowl Manag Process. 2011; 1(5):1-8. [DOI:10.5121/ijdkp.2011.1501]

[7] Muthukaruppan S, Er MJ. A hybrid particle swarm optimization based fuzzy expert system for the diagnosis of coronary artery disease. Expert Syst Appl. 2012; 39(14):11657-65. [DOI:10.1016/j.eswa.2012.04.036]

[8] Amato F, López A, Peña-Méndez EM, Vaňhara P, Hampl A, Havel J. Artificial neural networks in medical diagnosis. J Appl Biomed. 2013; 11:47-58. [DOI:10.2478/v10136-012-0031-x]

[9] Hu YH, Tompkins WJ, Urrusti JL, Afonso VX. Applications of artificial neural networks for ECG signal detection and classification. J Electrocardiol. 1993; 26 Suppl:66-73. [PMID]

[10] Rai HM, Trivedi A, Shukla S. ECG signal processing for abnormalities detection using multi-resolution wavelet transform and artificial neural network classifier. Measurement. 2013; 46(9):3238-46. [DOI:10.1016/j.measurement.2013.05.021]

[11] Acharya UR, Fujita H, Oh SL, Hagiwara Y, Tan JH, Adam M, et al. Deep convolutional neural network for the automated diagnosis of congestive heart failure using ECG signals. Appl Intell. 2019; 49(1):16-27. [DOI:10.1007/s10489-018-1179-1]

[12] Acharya UR, Fujita H, Lih OS, Adam M, Tan JH, Chua CK. Automated detection of coronary artery disease using different durations of ECG segments with convolutional neural network. Knowl Based Syst. 2017; 132:62-71. [DOI:10.1016/j.knosys.2017.06.003]

[13] Acharya UR, Fujita H, Oh SL, Hagiwara Y, Tan JH, Adam M. Application of deep convolutional neural network for automated detection of myocardial infarction using ECG signals. Inf Sci. 2017; 415:190-8. [DOI:10.1016/j.ins.2017.06.027]

[14] Shamsollahi M, Badiee A, Ghazanfari M. Using combined descriptive and predictive methods of data mining for coronary artery disease prediction: A case study approach. J AI Data Min. 2019; 7(1):47-58. [DOI:10.22044/jadm.2017.4992.1599]

[15] Naruei I, Zamani B. Diagnosis of cardiac arrhythmia using deep learning (Persian)]. Paper presented at: The First Electronic Conference on New Ideas in Cumputer Engineering. 3 September 2015; Sahrekord: Iran. [Link]

[16] Naruei I, Zamani B. [Diagnosis of cardiac arrhythmia using Fisher and Ls-Svm (Persian)]. Paper presented at: The Second Electronic Conference on New Research in Science and Technology (EMA). 21 July 2015; Kerman, Iran. [Link]

[17] Naruei I, Zamani B. Diagnosis of cardiac arrhythmia using Pca and MLP neural network (Persian)]. Paper presented at: The Second Electronic Conference on New Research in Science and Technology (EMA). 21 July 2015; Kerman, Iran. [Link]

[18] Saqlain SM, Sher M, Shah FA, Khan I, Ashraf MU, Awais M, et al. Fisher score and Matthews correlation coefficient-based feature subset selection for heart disease diagnosis using support vector machines. Knowl Inf Syst. 2019; 58(1):139-67. [DOI:10.1007/s10115-018-1185-y]

[19] Najafi Zereh Bashi HR, Hosseini R, Mazinani M. Diagnosis of obstructive apnea disease AHI in chemical warfare veterans based on HRV signals analysis using the ANFIS neural network. Spec J Electron Comput Sci. 2021; 7(1):1-12. [Link]

[20] Wang J, Qiao X, Liu C, Wang X, Liu Y, Yao L, et al. Automated ECG classification using a non-local convolutional block attention module. Comput Methods Programs Biomed. 2021; 203:106006. [DOI:10.1016/j.cmpb.2021.106006] [PMID]

[21] Kobat MA, Karaca O, Barua PD, Dogan S. Prismatoid pat net 54: An accurate ECG signal classification model using prismatoid pattern-based learning architecture. Symmetry. 2021; 13(10):1914. [DOI:10.3390/sym13101914]

[22] Glass GF, Sudhir A, Pandit AA. The ECG and metabolic abnormalities. Electrocardiogram Clin Med. 2020, 5:307-13. [DOI:10.1002/9781118754511.ch30]

[23] Abiodun OI, Jantan A, Omolara AE, Dada KV, Umar AM, Linus OU, et al. Comprehensive review of artificial neural network applications to pattern recognition. IEEEAccess. 2019; 7:158820-46. [DOI:10.1109/ACCESS.2019.2945545]