مقاله پژوهشی

مجله انفورماتیک سلامت و زیست پزشکی
مرکز تحقیقات انفورماتیک پزشکی
دوره ششم شماره دوم. ص۱۱۰-۱۰۱، ۱۳۹۸

مدل ترکیبی تشخیص ناهنجاری‌های قلبی با استفاده از پردازش صداهای قلب

احسان آقائی‌نژاد، رمضان تیموری یانسری*، علی ریاحی

• دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۲۳ • پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۰/۱۷

مقدمه: در تشخیص ناهنجاری‌های قلبی عوامل مختلفی مؤثر هستند. هرچه تعداد این عوامل بیشتر باشد عدم قطعیت در تشخیص ناهنجاری‌ها قلبی افزایش می‌یابد. در شرایط عدم قطعیت در پاسخ مدل پیش‌بینی کننده، سیستم‌های فازی یکی از کاراترین روش‌ها برای تولید یک پاسخ قابل قبول می‌باشند.

روش: در این پژوهش کاربردی داده‌های مربوط به ناهنجاری‌های قلبی شامل ۳۲۴۰ رکورد، که هر رکورد صداهای قلب افراد مختلف در دو گروه سالم و ناسالم می‌باشد بررسی و سپس به کمک سیستم فازی قوانین حاکم بر داده‌ها برای نمونه‌های ورودی استخراج و از این قوانین برای دسته‌بندی ناهنجاری‌های قلبی استفاده شد. به جهت وابستگی فاکتورهای مؤثر در ناهنجاری‌های قلبی، بسیاری از قوانین همسان با یک عملکرد مشابه که موجب پردازش‌های اضافی و کاهش کارایی می‌شوند، تولید خواهد شد. در روش پیشنهادی از الگوریتم مرغ مگس‌خوار، برای انتخاب قوانین بهینه تولید شده استفاده شد. سپس به کمک قوانین بهینه انتخاب شده سیستم ورودی‌ها را به دو گروه هنجار و ناهنجار دسته‌بندی می‌کند. برای ارزیابی نتایج، روش میانگین مربعات خطا استفاده شد.

نتایج: نتایج نشان داد که میانگین دقت و زمان در تشخیص ناهنجاری‌های قلبی در روش پیشنهادی به ترتیب ۹۹/۶ درصد و ۰/۵۶ ثانیه است و نسبت به تحقیقات مشابه، از کارایی بالاتری برخوردار می‌باشد.

نتیجه‌گیری: مدل پیشنهادی نسبت به سایر روش‌ها، تشخیص و دسته‌بندی را با دقت بالاتری انجام می‌دهد.

کلید واژه‌ها: ناهنجاری‌های قلبی، پردازش اصوات قلبی، سیستم‌های فازی، الگوریتم مرغ مگس‌خوار

•ارجاع: آقائی نژاد احسان، تیموری یانسری رمضان، ریاحی علی. مدل ترکیبی تشخیص ناهنجاری‌های قلبی با استفاده از پردازش صداهای قلب. مجله انفورماتیک سلامت و زیست پزشکی ۱۳۹۸؛ ۶(۲): ۱۰-۱۰۱.

۱. کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بندرگز، بندرگز، ایران
۲. دکتری مهندسی کامپیوتر-هوش مصنوعی، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بندرگز، بندرگز، ایران
۳. دکتری مهندسی کامپیوتر- نرم‌افزار، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بندرگز، بندرگز، ایران
* **نویسنده مسئول:** گلستان، شهرستان بندرگز، کیلومتر یک اتوبان بندرگز- ساری
• **شماره تماس:** ۰۱۷۳۴۳۶۰۴۰۱
• **Email:** teymoori@bandargaziau.ac.ir

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-09-07]

مقدمه

بیماری قلبی، اصطلاح گسترده‌ای است که برای شرح دامنه بیماری‌های مؤثر بر قلب به کار رفته است. از جمله، بیماری ایجاد شده در نتیجه صدمه دیدن رگ‌های خونی (بیماری شریان اکلیلی)، بیماری دریچه قلب، ضربان نامنظم قلب (ریتم نامنظم ضربان قلب)، ضخامت عضله قلب (بیماری مزمن عضله قلب)، نارسایی قلب و عفونت قلب [۱،۲]. پیامدهای بیماری قلبی بسیار متنوع هستند و به عنوان مثال، دامنه آن می‌تواند شامل فشار خون بالا، نارسایی قلبی یا ریتم نامنظم ضربان قلب تا سکته، حملات قلبی و ایست ناگهانی قلبی باشد؛ بنابراین بیماری قلبی، یک بیماری بسیار جدی است که اگر به درستی و به موقع، درمان نشود، می‌تواند منجر به ایجاد عوارض بسیار جدی از جمله مرگ شود. در واقع، بر اساس اظهاریه سازمان بهداشت جهانی [۳]، بیماری قلبی- عروقی منجر به مرگ ۱۷/۵ میلیون نفر در سال ۲۰۱۲ [۴،۵] شده است که نشان دهنده ۳۱٪ از مجموع مرگ‌ومیرها در سطح جهانی می‌باشد. از این تعداد مرگ‌ومیر، برآورد کردند که ۷/۴ میلیون از آن‌ها به خاطر بیماری انسداد شرائین اکلیلی قلب و ۶/۷ میلیون هم به دلیل سکته بودند [۶]. به علاوه، چنین تخمین زدند که تعداد مرگ‌ومیرهای ناشی از بیماری قلبی تا سال ۲۰۳۰ تا ۲۳/۳ میلیون مورد افزایش می‌یابد[۷]. بر اساس گزارش سازمان جهانی بهداشت، و وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی ایران، ۲۲ درصد علل مرگ در ایران ناشی از بیماری‌های قلبی- عروقی است [۸].

استفاده از روش‌های داده‌کاوی در مطالعات انجام شده در مورد بیماری قلبی، یکی از بهترین روش‌هایی است که در آن می‌توان از حجم بزرگی از داده‌های مربوط به بیماری قلبی برای کسب اطلاعات استفاده نمود. در واقع، داده‌کاوی، فرآیند قدرتمند کسب دانش و پیدا کردن الگوهای جدید تعبیه شده در مجموعه‌های بزرگ داده‌ها می‌باشد. از این رو، می‌توان آن را به عنوان کشف دانش از داده‌ها تلقی کرد که سه مرحله را شامل می‌شود: پیش پردازش داده‌ها، مدل‌سازی داده‌ها و پس پردازش داده‌ها [۹،۱۰]. از آنجا که در تشخیص ناهنجاری‌های قلبی چندین عامل مؤثر موجود است و این عوامل نسبت به هم حالت‌های مختلف دارند، روند تشخیص ناهنجاری پیچیده است [۱۱،۱۲] و هر چه تعداد این عوامل بیشتر شود عدم قطعیت افزایش پیدا می‌کند، در شرایط عدم قطعیت در پاسخ مدل پیش‌بینی کننده، سیستم‌های فازی یکی از کاراترین روش‌ها برای تولید یک پاسخ قابل‌قبول می‌باشند.

اکثر روش‌های ارائه شده برای تشخیص ناهنجاری‌ها تاکنون مبتنی بر درخت‌های تصمیم، تصمیم‌گیری بر اساس تجربه افراد و کارشناسان، استفاده از روش‌های کلاسیک داده‌کاوی و ... می‌باشد. پیچیدگی تصمیم‌گیری و تعدد فاکتورهای موجود باعث شده روش‌های کنونی تا حد زیادی در این زمینه دقت خود را از دست داده و یا در زمینه‌های مختلف مانند دقت و سرعت کارایی مناسب نداشته باشند [۱۳].

فنوکاردیوگرافی به معنی ضبط صدای قلب است. در این روش صدای قلب که ناشی از حرکات مکانیکی مجموعه اجزای متحرک آن است مستقیماً با گوشی پزشکی (استتوسکوپ) یا میکروفن (همراه با آمپلی فایرصوتی) از سطح بدن استخراج می‌شود. صدای قلب از دو پیک بزرگ به نام‌های S1 و S2 و دو پیک کوچک به نام‌های S3 و S4 تشکیل شده است. صدای معروف لوب داب ناشی از سیگنال‌های S1 و S2 می‌باشد. فاصله میان S1 و S2 سیستول و فاصله بین S۲ و S1 بعدی دیاستول نام دارد. در حالت عادی سیستول از دیاستول کوچک‌تر است و بسته به نحوه پمپاژ قلب از دریچه میترال پیک‌های S3 و S4 در مکان‌های مختلف از سیستول و دیاستول قرار دارند. همچنین نسبت طول سیستول از دیاستول که عددی کوچک‌تر از یک است در افراد سالم و غیر سالم تفاوت دارد که ناشی از قدرت عضله قلب در بستن دریچه میترال بلافاصله بعد از پمپاژ خون است که در افراد سالم این دریچه به سرعت بسته خواهد شد، ولی در افراد غیرسالم بخشی از خون باز به قلب می‌گردد که اصطلاحاً نارسایی برگشت خون نام دارد که باعث جابه‌جایی محل قرارگیری S3 و S4 در سیستول یا دیاستول می‌شود [۱۴].

در مطالعه ثقفی و همکاران روش جدید به منظور جداسازی خودکار بخش‌های S1 و S2 با استفاده از تبدیل موجک ارائه شده است [۱۵]. آن‌ها در روش پیشنهادی خود سالم یا بیمار بودن فرد را با استفاده از فونوکاردیوگرام انجام دادند. معیار به کار گرفته شده برای جداسازی صداهای اول و دوم قلب، بر پایه یکی از ویژگی‌های مهم فیزیولوژیکی قلب یعنی اختلاف فشار اطراف دریچه‌ها در هنگام باز شدن و بسته شدن استوار است که منجر به پیدایش مشخصه‌های فرکانس بالا در سیگنال تولید شده می‌شود. الگوریتم کلی در این تحقیق بر مبنای استخراج ضرایب جزئی و اصلی تبدیل موجک سیگنال قلب و استفاده از انرژی شانون این ضرایب به منظور تشخیص سیکل قلب و پس از آن جداسازی S1 و S2 می‌باشد. نتایج

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-09-07]

حاصله نشان داد که دقت جداسازی الگوریتم آن‌ها برای نمونه‌های S1، ۹ درصد و برای نمونه‌های S2، ۸۸/۹ درصد می‌باشد. در مطالعه حیاتی و همکاران [۱۶] الگوریتمی به منظور تشخیص و طبقه‌بندی نارسائی‌های دریچه‌ای قلب ارائه شد. این الگوریتم علاوه بر غیرتهاجمی بودن احتمال خطای پزشکان را تا حد قابل قبولی کاهش داده است. نتایج کار آن‌ها نشان می‌دهد حدود ۹۶ درصد به طور صحیح عمل می‌کند.

در پژوهشی که برای تشخیص و طبقه‌بندی بر پایه یکی از ویژگی‌های مهم فیزیولوژیکی قلب یعنی اصوات ایجاد شده است، اختلاف فشار اطراف دریچه‌ها در هنگام باز و بسته شدن منجر به پیدایش مشخصه‌های فرکانس بالا در سیگنال تولید شده می‌شود [۱۷]. از ویژگی‌های این روش به‌کارگیری مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی خودسازمان‌دهی افزایشی است. انتخاب پارامترهای مؤثرتر و مدل مناسب‌تر و در نتیجه افزایش دقت بیشتر نسبت به سایر پژوهش‌ها موجب شد این مدل نسبت به کارهای اخیر مرتبط با طبقه‌بندی بیماری‌های قلبی بهبود قابل‌ملاحظه‌ای داشته باشد. هدف اصلی در این پژوهش ارائه الگوریتمی است که قوانین بهینه شده فازی و اعمال آن بر روی داده‌های ورودی کار تشخیص ناهنجاری‌های قلبی را با دقت بالاتر و در زمان کمتر انجام دهد.

مهم‌ترین دلیل استفاده از سیستم فازی، وجود فاکتورهای متفاوت و زیاد و نقش ترکیبی این فاکتورها که تشخیص ناهنجاری‌های قلبی را پیچیده می‌کند و در این شرایط عدم اطمینان و عدم قطعیت در پاسخ مدل پیش‌بینی کننده، سیستم‌های فازی یکی از کاراترین روش‌ها برای تولید یک پاسخ قابل‌قبول می‌باشند.

سیستم فازی با تحلیل نمونه‌های آموزشی، برای تک‌تک نمونه‌ها ورودی‌ها و خروجی هر نمونه را جدا بررسی می‌کند و سپس قوانین حاکم بر آن‌ها را استخراج می‌کند. از طرفی با توجه به ورودی‌های زیاد تعداد قوانین تولید شده حاکم بر ورودی‌ها به کمک سیستم فازی، روند محاسبات کند و کارایی پایین خواهد آمد، که در روش پیشنهادی از الگوریتم مرغ مگس‌خوار برای کاهش تعداد قوانین و انتخاب قوانین بهینه جهت تولید خروجی که پیش‌بینی کلاس ناهنجاری است، استفاده شد. ضمناً دلیل دیگری که از الگوریتم فازی استفاده شد دقت و سرعت پایین روش‌های گذشته بود و نتایج پیاده‌سازی الگوریتم نشان می‌دهد روش پیشنهادی دارای دقت بالاتری نسبت به روش‌های پیشین است.

روش

تاکنون استفاده از روش‌هایی مبتنی بر الگوریتم‌های بهینه‌سازی مانند الگوریتم ژنتیک، الگوریتم ازدحام ذرات، طبقه‌بندی، شبکه عصبی مصنوعی، درختان تصمیم، بیز ساده و استخراج قانون رابطه و برخی از تکنیک‌های داده‌کاوی مورد استفاده برای تشخیص بیماری‌های قلبی در پژوهش‌های پیشین دیده شده است.

در این پژوهش کاربردی داده‌های مربوط به ناهنجاری‌های قلبی شامل ۳۲۴۰ رکورد، که هر رکورد صداهای قلب افراد مختلف در دو گروه سالم و ناسالم می‌باشد از وب‌گاه https://archive.ics.uci.edu(the University of UCI (California, Irvine استخراج شد. سیستم فازی با تحلیل داده‌های نمونه آموزشی قوانین و روابط حاکم بر داده‌های وردی و خروجی را استخراج کرده و سپس به شما کمک می‌کند تا با استفاده از قوانین تولید شده برای هر داده ورودی دیگر سیستم خروجی بسازید. بعد از تولید قوانین از آن‌ها برای دسته‌بندی ناهنجاری‌های قلبی استفاده شد. جهت استخراج قوانین حاکم بر داده‌های ورودی، بعد از مرحله فازی‌سازی، از موتور استنتاج ممدانی در فرآیند استنتاج سیستم فازی استفاده شد، ولی به جهت وابستگی فاکتورهای مؤثر در ناهنجاری‌های قلبی بسیاری از قوانین همسان با یک عملکرد مشابه که موجب پردازش‌های اضافی و کاهش کارایی می‌شود، تولید خواهد شد. در روش پیشنهادی از الگوریتم مرغ‌مگس‌خوار برای انتخاب قوانین بهینه تولید شده استفاده شد. سپس به کمک قوانین بهینه انتخاب شده سیستم ورودی‌ها را به دو گروه هنجار و ناهنجار دسته‌بندی می‌کند. روش پیشنهادی با استفاده از قوانین بهینه شده فازی و اعمال آن بر روی داده‌های ورودی کار تشخیص ناهنجاری‌های قلبی را با دقت بالاتر و در زمان کمتر انجام می‌دهد. روش پیشنهادی یعنی الگوریتم فازی با ترکیب الگوریتم مرغ مگس‌خوار و بدون بهره‌گیری از الگوریتم مرغ مگس‌خوار با سایر روش‌ها مقایسه شد. برای ارزیابی و مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی با روش‌های پیشین، از روش میانگین مربعات خطا استفاده شد (جدول ۱). جهت پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی در روش تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از نرم‌افزار متلب نسخه ۲۰۱۷ که یکی از قوی‌ترین ابزارهای محاسباتی مهندسی است، استفاده شد.

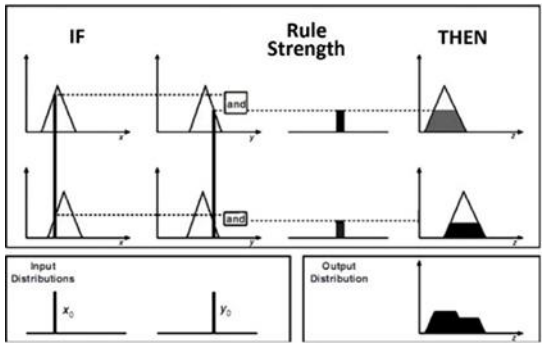
[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-09-07]

جدول ۱ : مقایسه روش ترکیبی با سایر روش‌ها

نام محقق	پارامترها	روش‌ها	میزان دقت
روش ثقفی و همکاران [۱۵]	جداسازی خودکار بخش های S1و S2	استفاده از تبدیل موجک	٪ ۶۵
روش حیاتی و همکاران [۱۶]	پارامترهای سن، جنسیت و ... به عنوان ورودی فازی	استفاده از سیستم فازی	٪ ۸۹
روش Kalliopi [۲۰]	دسته بندی نزدیک ترین همسایه‌ها و استفاده از آن‌ها برای عملیات ژنتیکی	استفاده از الگوریتم ترکیبی ژنتیک و دسته بند نزدیک ترین همسایه	٪ ۹۶
روش Soria [۲۱]	دسته بندی داده‌ها در سه قسمت آموزش، آزمایش و اعتبار سنجی و انجام فرآیند تشخیص	استفاده از شبکه عصبی و درخت تصمیم	٪۶۸/۲
روش ترکیبی	تبدیل صدای قلب به انرژی و استفاده از آن به عنوان ورودی‌های سیستم	استفاده از منطق فازی و الگوریتم مرغ مگس‌خوار	٪۹۹/۶

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق، داده‌های مربوط به صدای قلب است و این داده‌ها به شکل، (Waveform Audio File) WAV می‌باشند. این مجموعه داده در مجموع شامل ۳۲۴۰ رکورد می‌باشد که هر رکورد مربوط به یک فرد است. حداقل طول فایل برابر با ۵ ثانیه صدای قلب و حداکثر برابر با ۱۲۰ ثانیه است. همه رکوردها با فرکانس ۲۰۰۰ هرتز می‌باشد و از سایت UCI دانلود شده است [۱۸].

سیستم استنتاج فازی، سیستمی است که یک نگاشت از ورودی به خروجی را با استفاده از منطق فازی فرموله می‌کند و به نام سیستم استنتاج فازی(Fuzzy Inference System) FIS شناخته می‌شود. سیستم‌های فازی انواع مختلفی دارند از جمله ممدانی، سوگنو، سوکماتو و ... می‌باشد. سیستم استنتاج ممدانی از مجموعه‌های فازی به عنوان نتیجه قانون استفاده می‌کند و خروجی هر قانون به صورت غیرخطی و فازی می‌باشد که در این پژوهش از روش ممدانی در نرم‌افزار متلب استفاده شد در شکل ۱سیستم ممدانی ارائه شده است.



شکل ۱: روش استنتاج فازی ممدانی

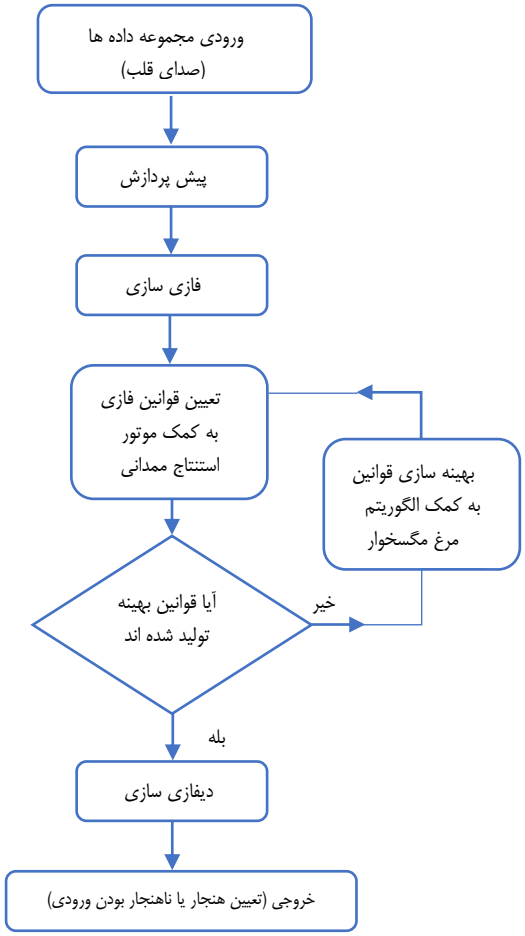
الگوریتم مرغ مگس‌خوار یکی از الگوریتم‌های جستجوی گوگل (google) می‌باشد برای اولین بار در سپتامبر ۲۰۱۳ از آن استفاده گردید [۱۷]. در روش پیشنهادی این مطالعه در مرحله تعیین قوانین فازی، الگوریتم مرغ مگس‌خوار عملیات تعیین قوانین را به عهده دارد. با توجه به وجود پارامترهای تأثیرگذار متفاوت در ایجاد ناهنجاری‌های قلبی و حالت‌های مختلفی که این پارامترها دارند، قوانین حاکم بر این پارامترها که توسط سیستم فازی استخراج می‌شود نیز زیاد خواهد بود؛ در نتیجه احتمال وجود قوانین همسان با یک عملکرد مشابه، ولی با ظاهر متفاوت بسیار زیاد است از این رو با توجه به ماهیت مرغ مگس‌خوار بهترین حالت تعیین قوانین به صورتی که سرعت و دقت تضمین شود، انجام خواهد شد. در قسمت تعیین قوانین

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-09-07]

استنتاج فازی، الگوریتم مرغ مگس‌خوار با حذف حالت‌های تکراری عمل بهینه‌سازی این قوانین را انجام می‌دهد. شکل ۲ روند نمای سیستم پیشنهادی را نشان می‌دهد.

مرحله اول: پیش‌پردازش و فازی‌سازی ورودی‌ها

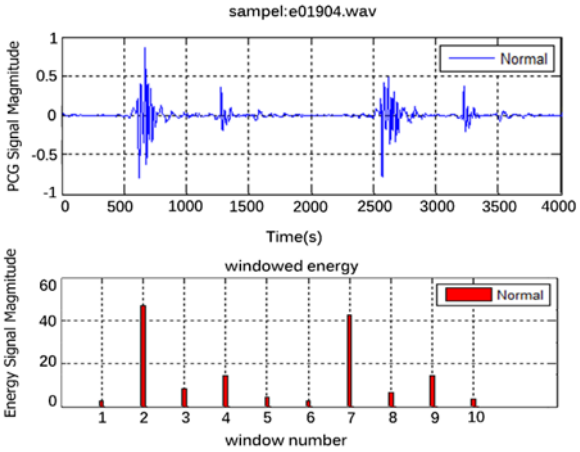
چون ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم استنتاج فازی، فازی هستند، ابتدا باید ورودی‌ها با استفاده از یک نوع تابع فازی شود. در مرحله اول تعیین متغیرهای مسئله و فازی‌سازی این متغیرها انجام خواهد شد. متغیرهای مسئله در دو دسته متغیر مستقل (ورودی) و متغیر وابسته (خروجی) دسته‌بندی می‌شوند. متغیرهای ورودی پارامترهای سنجش ناهنجاری قلب می‌باشند و متغیر خروجی میزان ناهنجاری و یا دسته مشخص برای ناهنجاری می‌باشد. برای فازی‌سازی ورودی‌ها از عبارات زبانی مثلثی استفاده شد.



شکل ۲: روند نمای روش پیشنهادی

این سیستم ۱۰ متغیر ورودی دارد که برگرفته از ۱۰ مقدار انرژی برای هر صدا می‌باشد. در این پژوهش برای افزایش دقت در سیستم پیشنهادی و همچنین برای عملکرد مناسب الگوریتم مرغ مگس‌خوار باید صداها را از حوزه صوت به حوزه انرژی تبدیل شود. در مرحله قبل از هر ۴۰۰ واحد داده که در یک صدای قلب وجود داشت میانگین گرفته شده و از این رو برای هر صدای قلب که بین ۰ تا ۴۰۰۰ بود ۱۰ عدد به عنوان انرژی استخراج شد. هر کدام از این اعداد به عنوان یک ورودی برای سیستم فازی در نظر گرفته می‌شود.

شکل ۳ نشان دهنده یکی دیگر از نمونه‌های موجود در دیتاست می‌باشد. این نمونه در پوشه e و با کد e01904 می‌باشد. این صدا نشان دهنده یک قلب سالم و بدون ناهنجاری است. در قسمت پایین این عکس مقدار انرژی نشان داده شد.



شکل ۳: نمونه سالم e01904 و انرژی آن

مرحله دوم: تعیین توابع عضویت فازی

در ادامه در مرحله دوم برای هرکدام از متغیرها باید توابع عضویت تعیین شود. رابطه ۱ نشان دهنده یک تابع عضویت مثلثی است که در این مطالعه از این تابع عضویت استفاده شد.

رابطه ۱:

$$triangle(x;a.b.c) = \begin{cases} 0. & x \le a. \\ \frac{x-a}{b-a}.a \le x \le b. \\ \frac{c-x}{c-b}.b \le x \le c. \\ 0. & c \le x. \end{cases}$$

دلیل استفاده از توابع مثلثی در فازی‌ساز آن هست که توابع عضویت قواعد فازی، مثلثی است و در این شرایط استفاده از

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-09-07]

فازی‌ساز مثلثی موجب کاهش محاسبات در موتور استنتاج فازی می‌شود.

مرحله سوم: طراحی قوانین استنتاج فازی با الگوریتم مرغ مگس‌خوار

در روش پیشنهادی در مرحله تعیین قوانین فازی الگوریتم مرغ مگس‌خوار عملیات تعیین قوانین را به عهده دارد. با توجه به این که در مسئله تعداد حالت‌های مختلف وجود دارد؛ لذا تعداد قوانین نیز بسیار بالا می‌باشد و در نتیجه احتمال وجود قوانین همسان با یک عملکرد مشابه، ولی با ظاهر متفاوت بسیار زیاد است از این با توجه به ماهیت مرغ مگس‌خوار بهترین حالت تعیین قوانین به صورتی که سرعت و دقت تضمین شود انجام خواهد شد. پس از این مرحله، دفازی‌سازی انجام می‌شود. تمامی قوانین در یک سیستم فازی به صورت هم‌زمان و موازی پردازش می‌شوند و در هنگامی که ورودی‌های مسئله با یک قانون مطابقت داشته باشد آن قانون فعال شده و محاسبات انجام خواهد شد، سپس در قسمت دیفازی‌ساز نتیجه غیر فازی شده برآورد خواهد شد. برای مثال چند نمونه قانون فازی در این سیستم به صورت جدول ۲ نمایش داده شد.

جدول ۲: نمونه قوانین فازی

#	Input 1	Input …	Input 10	Output
1	Low	Low	Low	Low
2	Low	Low	Medium	Low
3	Low	Low	High	Low
4	Low	Medium	Low	Medium
5	Low	Medium	Medium	Medium
6	Low	Medium	High	Medium
7	High	High	High	High
…	…	…	…	….

مرحله چهارم: دیفازی‌سازی و تعیین خروجی

دیفازی‌سازی فرآیندی است که طی آن برآیند حاصل از برش توابع عضویت برای همه ورودی‌های مسئله در ازای فعال شدن قانون مربوطه محاسبه شده و به صورت یک عدد غیر فازی نمایش داده می‌شود. برخی از روش‌های دفازی‌سازی مانند روش غیرفازی‌سازی مرکز ثقل برای عمل دیفازی‌سازی قابل استفاده می‌باشند رابطه ۲ نشان دهنده روش غیر فازی‌سازی مرکز ثقل می‌باشد.

رابطه ۲:

$$Def(\widetilde{A}) = \frac{\int x\mu_{\widetilde{A}}(x)dx}{\int \mu_{\widetilde{A}}(x)dx}$$

نحوه اعتبارسنجی

میزان خطای سیستم پیشنهادی به وسیله مجموعه داده‌های موجود و آنچه که مدل پیشنهادی به دست می‌آورد مورد ارزیابی و سنجش قرار می‌گیرد. معیار مورد استفاده در ارزیابی مدل، مجذور میانگین مربعات خطا (Root-Mean-Square Error) RMSE بین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده می باشد. این مقدار با استفاده از رابطه ۳ قابل محاسبه می‌باشد:

رابطه ۳:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(y_i-\hat{y})^2}{N}}$$

که در این رابطه n تعداد کل داده‌های مورد استفاده در سیستم است و y_i مقادیر واقعی داده‌ها و y' برابر با مقادیر تخمین زده شده توسط مدل پیشنهادی می‌باشد.

در روش پیشنهادی مقدار دقت به جای مقدار واقعی (یعنی تفاوت میان داده‌های واقعی و داده‌های به دست آمده) از مقدار استاندارد (مقدار بر اساس تمام آزمایش‌ها و تکرارها برحسب درصد) استفاده می‌شود. دقت بر حسب حداکثر خطای روش پیشنهادی بیان می‌شود (رابطه ۴).

رابطه ۴:

$$E = A - B$$

E: خطای اندازه‌گیری

A: مقدار اندازه‌گیری شده

B : مقدار اندازه‌گیری شده استاندارد

که برای تبدیل این عدد به واحد درصد به صورت رابطه ۵ محاسبه می‌شود:

رابطه ۵:

$$E = \frac{A-B}{B}\times 100$$

نتایج

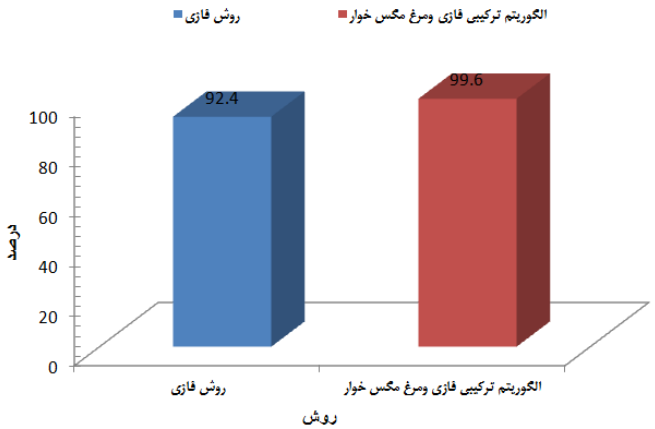
برای انجام آزمایش‌ها از مجموعه داده‌های ارائه شده توسط آلتای گاوینر منتشر شده در وب‌گاه UCI [۱۸] استفاده شد.

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-09-07]

در جدول ۳، چهار ستون تعداد نمونه در آزمایش، روش، سرعت و دقت وجود دارد. در حالتی که تعداد نمونه‌ها ۱۰۰ بود روش فازی با سرعت ۰/۴۴ و دقت ۸۳/۸ و برای روش ترکیبی به ترتیب برابر با ۰/۲۵ و ۹۲/۱ بودند. در حالتی که تعداد نمونه‌ها ۱۰۰۰ بود روش فازی با سرعت ۰/۵۳ و دقت ۸۵/۴۷ و روش ترکیبی به ترتیب برابر با ۰/۳۲ و۹۶/۶ بودند. در حالتی که تعداد نمونه‌ها ۲۰۰۰ بود روش فازی با سرعت ۰/۷۲ و دقت ۸۹/۴۷ و برای روش ترکیبی به ترتیب برابر با ۰/۴۳ و ۹۷/۵ بودند. در حالتی که تعداد نمونه‌ها ۳۲۴۰ بود روش فازی با سرعت ۰/۹۱ و مقدار این دو تا پارامتر در روش ترکیبی به ترتیب برابر با ۰/۵۶ و ۹۹/۶ بودند. همان‌طور که در جدول ۲ مشخص است روش ترکیبی دارای بهترین سرعت و دقت می‌باشد. ضمناً از نتایج این جدول می‌توان دریافت که روش ترکیبی با افزایش تعداد ورودی‌ها، دقت بیشتری خواهد داشت.

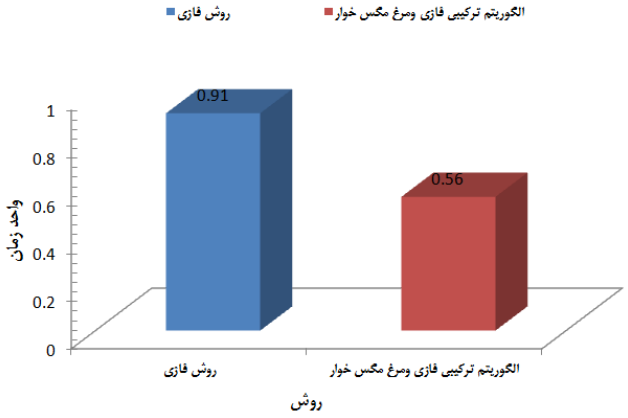
در شکل ۴ دقت الگوریتم پیشنهادی و همچنین الگوریتم‌های فازی با ۳۲۴۰ نمونه داده نشان داده شده است.

در نمودار شکل ۴ در محور افقی روش‌ها و در محور عمودی مقدار دقت یعنی نرخ تشخیص درست نشان داده شد. همان‌طور که در شکل مشخص است روش فازی به تنهایی برای ۳۲۴۰ نمونه داده ۹۲/۴ درصد دقت دارد و روش پیشنهادی با دقتی معادل ۹۹/۹۶ درصد این تعداد را به درستی تشخیص داده است.



شکل ٤: دقت الگوریتم‌ها با ۳۲٤۰ نمونه داده

همچنین در شکل ۵ سرعت روش پیشنهادی و سایر روش‌ها برای ۳۲۴۰ نمونه نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشخص است روش فازی با ۰/۹۱ ثانیه بیشترین زمان را داشته و روش پیشنهادی با مدت‌زمان ۰/۵۶ کمترین زمان را دارد.



شکل ٥: زمان اجرای الگوریتم‌ها برای تعداد ۳۲٤۰ نمونه داده

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-09-07]

جدول ۳: نتایج آزمایش‌های روش‌های پیشنهادی پیاده‌سازی شده

آزمایش	روش	سرعت	دقت
۱۰۰	فازی	۰/۴۴	٪۸۳/۸
	ترکیب فازی + مرغ مگس‌خوار	۰/۲۵	٪ ۹۲/۱
۱۰۰۰	فازی	۰/۵۳	٪۸۵/۴۷
	ترکیب فازی + مرغ مگس‌خوار	۰/۳۲	٪۹۶/۶
۲۰۰۰	فازی	۰،۷۲	٪۸۹/۷۴
	ترکیب فازی + مرغ مگس‌خوار	۰/۴۳	٪۹۷/۵
۳۲۴۰	فازی	۰/۹۱	٪۹۲/۴
	ترکیب فازی + مرغ مگس‌خوار	۰/۵۶	٪۹۹/۶

همان‌طور که مشخص است دقت روش ترکیبی از سایر روش‌ها بهتر می‌باشد. آنچه از آزمایش‌های مختلف بر روی داده‌ها بر می‌آید می‌توان این گونه برداشت کرد که روش ترکیبی به لحاظ دقت، نتایج قابل قبولی در مقایسه با سایر روش‌ها ارائه می‌کند. با توجه به این که در روش ترکیبی تعداد قوانین استنتاج بهینه شده است؛ لذا محاسبات تکراری در این روش انجام نشده و از این رو سرعت هم افزایش می‌یابد.

بحث و نتیجه‌گیری

پیچیدگی تصمیم‌گیری و تعدد فاکتورهای موجود باعث شده روش‌های کنونی تا حد زیادی در این زمینه دقت خود را از دست داده و یا در زمینه‌های مختلف مانند دقت و سرعت کارایی مناسب نداشته باشند همچنین با توجه به این که این داده‌ها به صورت داده‌های مبتنی بر ویژگی‌های شخصی مانند جنسیت، سن و ... نیز می‌باشند امکان بلادرنگ بودن عملیات را از بین خواهد برد. از این رو نیاز به روشی بود که علاوه بر داشتن سرعت و دقت مناسب، بتواند به صورت بلادرنگ عملیات تشخیص ناهنجاری را انجام دهد. برای نیل به این هدف باید از صداهای تولید شده توسط قلب استفاده نمود. روش پیشنهادی با استفاده از صداهای تولید شده از قلب عمل تشخیص را انجام می‌دهد. این روش با استفاده از منطق فازی و الگوریتم مرغ مگس‌خوار عمل می‌کند.

از آنجا که در تشخیص ناهنجاری‌های قلبی چندین فاکتور موجود است و در نتیجه عوامل مختلف که این فاکتورها نسبت به هم دارند باعث به وجود آمدن شرایط مختلف و پیچیده می‌باشد و هر چه میزان این حالت‌ها بیشتر شود عدم قطعیت افزایش پیدا می‌کند، در چنین حالاتی استفاده از سیستم‌های فازی برای دسته‌بندی داده‌ها بسیار کارآمد می‌باشد. از الگوریتم مرغ مگس‌خوار برای تعیین قوانین فازی بهینه استفاده شد. در طراحی قوانین فازی باید این نکته را مدنظر داشت که تمامی حالات مشترک در صداهای تولید شده از بین بروند چرا که وجود این مشترکات تنها باعث انجام پردازش‌های اضافی شده و در نتیجه سرعت کاهش می‌یابد. این در حالی است که پارامتر سرعت یکی از اهداف اساسی است. از این رو در این مرحله الگوریتم مرغ مگس‌خوار تمامی حالات مشابه در انرژی صدای تولید شده توسط قلب را از بین خواهد برد و به این ترتیب تعداد قوانین تولید شده به حالت بهینه می‌باشد. روش پیشنهادی یعنی الگوریتم فازی با ترکیب الگوریتم مرغ‌مگس‌خوار و بدون بهره‌گیری از الگوریتم مرغ مگس‌خوار با سایر روش‌ها مقایسه شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد روش پیشنهادی هم در سرعت و هم در دقت نسبت به روش‌های فازی بدون الگوریتم مرغ مگس‌خوار بهتر عمل می‌کند.

روش پیشنهادی در تعیین ناهنجاری به کمک صداهای قلب از دو پیک بزرگ و کوچک و فاصله بین بازه‌هایی تولید صدا برای تعیین ناهنجاری استفاده می‌کند و نتایج حاصل از کارایی مناسبی در پارامترهای سرعت و دقت برخوردار است. اگرچه به جهت وجود پارامترهای متفاوت مؤثر در ایجاد ناهنجاری همچنان نمی‌تواند یک روش کامل برای تشخیص ناهنجاری باشد چرا که هم‌زمان از سایر ویژگی‌های مهم فیزیولوژیکی قلب نظیر اختلاف فشار اطراف دریچه‌ها و.. استفاده نمی‌کند. در انتها پیشنهاد می‌شود به‌کارگیری سایر روش‌های هوشمند نظیر الگوریتم رقابت استعماری، الگوریتم‌های عصبی–فازی برای تحلیل داده‌ها و همچنین به‌کارگیری هم‌زمان سایر سنجه‌های مهم فیزیولوژیکی قلب که در تولید ناهنجاری نقش ایفا

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-09-07]

می‌کننـد ممکـن اسـت موجـب افـزایش دقـت تشـخیص ناهنجاری‌های قلبی شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات با عنوان «تشخیص ناهنجاری‌های قلبی با استفاده از پردازش اصوات قلب و تکنیک‌های داده‌کاوی» است که با حمایت دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرگز با کد ۴۰۴۴۱۰۰۶۹۵۱۰۰۵ انجام شده است.

تعارض منافع

نویسندگان مقاله اعلام می‌کننـد کـه ایـن پـژوهش هیچ‌گونـه تعارض منافعی ندارد.

References

1. Koulaouzidis G, Mohee K, Barrett D, Clark A. 17 Telemedicine in patients with new diagnosis of heart failure: from clinical research to practice. Journal of Telemedicine and Telecare 2018; 25(3): 167-71. doi.org/10.1177/1357633X17751004

2. Assad A, Deep, K. Applications of Harmony Search Algorithm in Data Mining: A Survey. Proceedings of Fifth International Conference on Soft Computing for Problem Solving: SocProS 2015; 2: 863-74. doi: 10.1007/978-981-10-0451-3_77

3. Morgan JL, Berger DR, Wetzel AW, Lichtman JW. The fuzzy logic of network connectivity in mouse visual thalamus. Cell 2016;165(1):192-206. doi: 10.1016/j.cell.2016.02.033.

4. Kabra NG, Sutavane SS, Lokhande M. Humming bird - google's searching algorithm. Journal of Computer Based Parallel Programming 2016; 1(1).

5. Global status report on non communicable diseases 2010. 2011 [cited 2017 Nov 15]. Available from https://www.who.int/nmh/publications/ncd_report_full_en.pdf

6. Global atlas on cardiovascular disease prevention and control, Policies, strategies and interventions; 2011 [cited 2017 Nov 15]. Available from: apps.who.int/iris/bitstream/10665/44701/1/9789241564373_eng.pdf?ua=1

7. Mathers CD, Loncar D. Projections of global mortality and burden of disease from 2002 to 2030. PLoS Med 2006;3(11):e442. doi: 10.1371/journal.pmed.0030442

8. Hajaliakbari Z. Factors affecting cardiac rehabilitation in people with cardiovascular disease. Cardiovascular Nursing Journal 2017; 6(3): 56-67.

9. Alickovic E, Subasi A. Medical Decision Support System for Diagnosis of Heart Arrhythmia using DWT and Random Forests Classifier. J Med Syst 2016;40(4):108. doi: 10.1007/s10916-016-0467-8.

10. Gandhi N, Armstrong L. Applying data mining techniques to predict yield of rice in humid subtropical climatic zone of India. 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom); 2016 Mar 16-18; New Delhi, India: IEEE; 2016. p. 1901-6.

11. Peral J, Maté A, Marco M. Application of Data Mining techniques to identify relevant Key Performance Indicators. Computer Standards & Interfaces. 2017;50:55-64. doi.org/10.1016/j.csi.2016.09.009

12. Dua S, Du X. Data Mining and Machine Learning in Cybersecurity. 1th ed. USA: Auerbach Publications; 2011.

13. Rattani A, Roli FG. Adaptive Biometric Systems. Springer; 2015.

14. Banerjee R, Biswas S, Banerjee S, Choudhury AD, Chattopadhyay T, Pal A, et al. Time-frequency analysis of phonocardiogram for classifying heart disease. Computing in Cardiology Conference (CinC); 2014 Sep 11-14; Vancouver, BC, Canada: IEEE; 2016. p. 573-6.

15. Saghafi MA, Amirfattahi R, Mansouri M, Kazemi M. Automatic segmentation of heart sounds (S1 & S2) using wavelet. Majlesi Journal of Electrical Engineering 2009; 3(1):61-7. Persian

16. Hayati, HR, Rafiei A, Jamali J. Classification of heart rhythm disorders by hearing a heartbeat based on fuzzy system. 8th Symposium on advances in Science & Technology Commission-IV; 2014 Feb 6; Mashhad: Khavaran Institute of Higher Education; 2014.Persian.

17. Nakhaee N, Rafiei A, Mousavi SM, Alizadeh. Classification of the sound of heart using the wavelet transform and additive self-organizing scheme, 8th Symposium on advances in Science & Technology Commission-IV; 2014 Feb 6; Mashhad: Khavaran Institute of Higher Education; 2014. Persian

18. UCI, Machine Learning Repository. Arrhythmia Data Set. [cited 2017 Dec 20]. Available from https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/arrhythmia:

19. Google's hummingbird Algorithm : The Entity Search Revolution, Google Hummingbird: The Marketer's Guide to Google's New Algorithm.

20. Dalakleidi KV, Zarkogianni K, Karamanos VG, Thanopoulou AC, Nikita KS. A hybrid genetic algorithm for the selection of the critical features for risk prediction of cardiovascular complications in Type 2 Diabetes patients. 13th IEEE International

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-09-07]

on Neural Networks (IJCNN); 2010 Jul 18-23; Barcelona, Spain: IEEE; 2010. p. 1-6. doi: 10.1109/IJCNN.2010.5597548

Conference on BioInformatics and BioEngineering; 2013 Nov 10-13; Chania, Greece: IEEE; 2013. p. 1-4. doi: 10.1109/BIBE.2013.6701620

21. Ramírez E, Castillo O, Soria J. Hybrid system for cardiac arrhythmia classification with fuzzy k-nearest neighbors and Multi Layer Perceptrons combined by a fuzzy inference system. International Joint Conference

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-09-07]

Original Article

Journal of Health and Biomedical Informatics
Medical Informatics Research Center
2019; 6(2): 101-110

A Hybrid Model of Heart Anomalies Detection by Processing Heart Sounds

Aghaei-Nezhad Ehsan [1], Taimourei-Yansary Ramazan[2]*, Riahi Ali[3]

• **Received:** 2 Feb, 2018 • **Accepted:** 7 Jan, 2019

Introduction: Different factors are effective in detecting heart abnormalities. The greater the number of these factors, the greater the uncertainty in the detection of heart abnormalities. In the uncertainty condition in response of prediction model, the fuzzy systems are one of the most effective methods for generating an acceptable response.

Method: In this applied study, 3240 records related to heart abnormalities were reviewed, each record contained heart sounds of healthy and unhealthy groups. Then, using fuzzy system, the rules of data for the input samples were extracted and the rules were used to categorize the heart abnormalities. Due to the dependency of the effective factors on heart abnormalities, many identical rules with a similar function that result in additional processing and reduced efficacy, will be produced. In the proposed method, the Hummingbird algorithm were used to choose the optimal output rules. Then, using the optimum output rules, the inputs data were categorized into normal and abnormal classes. Data were analyzed using the root mean squared error (RMSE) method.

Results: It was revealed that the mean accuracy and time of diagnosis of heart abnormalities in the proposed method were 99.6% and 0.56 seconds, respectively, indicating higher efficiency compared to the other similar studies.

Conclusion: Compared to the other methods, the proposed model provides more accurate diagnosis and classification.

Keywords: Cardiac abnormalities, Heart rate processing, Fuzzy systems, Hummingbird algorithm

• **Citation:** Aghaei-Nezhad E, Taimourei-Yansary R, Riahi A. A Hybrid Model of Heart Anomalies Detection by Processing Heart Sounds. Journal of Health and Biomedical Informatics 2019; 6(2):101-10. [In Persian]

1. MSc in Computer Engineering, Department of Computer Engineering, Bandargaz Branch, Islamic Azad University, Bandargaz, Iran
2. Ph.D. in Computer Engineering Artificial Intelligence, Department of Computer Engineering, Bandargaz Branch, Islamic Azad University, Bandargaz, Iran
3. Ph.D. in Computer Engineering- Software Systems, Department of Computer Engineering, Bandargaz Branch, Islamic Azad University, Bandargaz, Iran

***Correspondence:** Golestan Province, Bandargaz City, 1 km of Bandargaz-e-Sari highway
• **Tel:** 01734360401 • **Email:** teymoori@bandargaziau.ac.ir

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-09-07]