

ارائه یک سیستم خبره فازی برای مدلسازی تشخیص میزان ابتلای به بیماری قلبی و عروقی کرونر

رضا یوسفی زنوز^{*}، رضا علمایی^{**}، سمیه علمایی^{***}

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۱۴

تاریخ پذیرش: ۹۷/۳/۱

چکیده

بیماری‌های قلبی عروقی، همه‌ساله میلیون‌ها نفر را در جهان مبتلا نموده و بخش اعظمی از بیماری‌ها را به خود اختصاص داده است. اگرچه پیشرفت‌های بسیاری در حوزه دانش پزشکی صورت گرفته، ولی تشخیص زودهنگام بیماری، همچنان یک چالش، برای پیشگیری از ابتلای به آن هست. هدف این پژوهش، طراحی و ایجاد یک سیستم خبره تشخیص است که به تشخیص بیماری قلبی و عروقی کرونر، در مراحل اولیه کمک کند. قواعد با کمک پزشکان ایجاد شدند و روش استنتاج فازی، برای فائق آمدن بر عدم اطمینان موجود بکار گرفته شد. نتایج حاصل از سیستم طراحی شده، بیانگر میزان بالای تشخیص درست گروه‌های نرمال و غیر نرمال از افراد هست. سیستم طراحی شده می‌تواند به ارائه خدمات به افرادی پردازد که در حوزه دانش پزشکی فعالیت می‌کنند و به پیش‌بینی وضعیت خطر بیماران کمک کند.

کلمات کلیدی: بیماری قلبی و عروقی کرونر، سیستم خبره فازی، قواعد فازی، منطق فازی

* استادیار گروه مدیریت عملیات و فناوری اطلاعات دانشگاه خوارزمی (نویسنده مسئول)

Reza.zenouz@gmail.com

** متخصص پزشکی هسته‌ای، مرکز پزشکی هسته‌ای یاس

*** کارشناس ارشد مدیریت فناوری اطلاعات دانشگاه خوارزمی

مقدمه

با فراگیر شدن کاربرد فناوری اطلاعات، سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری و یا به طور کلی تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر رایانه، اهمیت بسیاری یافته است. در این زمینه سیستم‌های خبره^۱، به عنوان یکی از بخش‌های منسوب به هوش مصنوعی^۲، نقش اصلی را دارند. سیستم‌های خبره، سیستم‌های مبتنی بر دانش بوده و در واقع دانش مهم‌ترین بخش آن‌هاست (Durkin, 1994). در این سیستم‌ها، دانش از خبرگان حوزه علمی مربوطه استخراج و به رایانه منتقل می‌شود. سیستم‌های خبره، در واقع برنامه‌های رایانه‌ای هستند که نحوه تفکر یک متخصص در یک زمینه خاص را، شبیه‌سازی می‌کنند. این سیستم‌ها، از دو بخش مهم تشکیل شده‌اند: پایگاه دانش^۳ و موتور استنتاج^۴. سیستم‌های خبره کاربردهای زیادی در حوزه‌های گوناگون دانش دارند و یکی از کاربردهای مهم آن‌ها، حوزه دانش پزشکی می‌باشد. به عنوان نمونه می‌توان به سیستم خبره مایسین^۵ (Shortliffe, 1976) اشاره کرد. تحقیقات بسیاری نیز در زمینه بیماری‌های مختلفی همچون تیروئید (Keleş & Keleş, 2008)، سرطان پروستات (et al., 2008) Kurt، آسم و بیماری‌های قلبی (Pal et al., 2012) و سایر بیماری‌ها، به عمل آمده و سیستم‌های خبره سودمند و پرکاربردی در زمینه تشخیص این بیماری‌ها طراحی و ایجاد شده‌اند. مقاله حاضر به تشریح چگونگی ایجاد سیستم خبره تشخیص بیماری قلبی و عروقی کرونر در مراحل اولیه آن، با استفاده از عوامل خطر، می‌پردازد.

بیان مساله

توسعه اقتصادی و صنعتی و گسترش ارتباطات، موجب ماشینی شدن زندگی و به دنبال آن سبب تغییراتی در شیوه زندگی و افزایش بروز بیماری‌های قلبی و عروقی به خصوص بیماری‌های عروق کرونر قلب شده است. این تغییرات شامل مصرف دخانیات، کم‌تحرکی و

1-Expert System
 2-Artificial intelligence
 3-Knowledge base-KB
 4- Inference Engine- IE
 5-.MYCIN

رژیم غذایی ناسالم است. از طرفی طول عمر به دلیل کاهش بیماری‌های واگیر در کشورهای در حال توسعه، به سرعت در حال توسعه افزایش می‌باشد و مردم، به مدت طولانی‌تری در معرض این عوامل خطر قرار می‌گیرند. در حالی که این بیماری‌ها تا حد زیادی، قابل پیشگیری بوده و با اجرای مداخلات مؤثر، برای کاهش عوامل تاثیرگذار، می‌توان مرگ زودرس ناشی از بیماری‌های قلبی و عروقی را کاهش داد (Samavat & Shams, 2013). امروزه بیماری قلبی و عروقی کرونر، تعداد بسیاری از افراد را مبتلا کرده و پیش‌بینی می‌شود تعداد مبتلایان به آن در آینده، به‌طور چشمگیری افزایش داشته باشد. طبق گزارش سازمان بهداشت جهانی این بیماری به یک بیماری همه‌گیر مدرن تبدیل شده است (Pal et al., 2012). وزارت بهداشت و درمان ایران نیز، در گزارشی اعلام کرد که بیماری قلبی و عروقی کرونر، بخش عمده‌ای از علل مرگ و ناتوانی را به خود اختصاص داده است و اولین علت مرگ در کشور ایران با ۳۹,۳ درصد کل مرگ‌ها ناشی از این بیماری می‌باشد و این بیماری در نسل جوان، در حال رشد و افزایش است. در بررسی‌هایی که در سال ۱۳۸۸ در نظام مراقبت عوامل خطر بیماری‌های غیر واگیر انجام گرفت، مشخص گردید که ۲۱,۶ درصد افراد در گروه سنی ۴۴-۱۵ ساله و ۵۲,۹ درصد افراد در گروه سنی ۶۴-۴۵ ساله در گروه‌های پرخطر قرار دارند. خوشبختانه بیماری‌های غیر واگیر به‌ویژه بیماری‌های قلبی و عروقی، به میزان قابل توجهی قابل پیشگیری بوده و با اجرای مداخلات اثربخش، می‌توان مرگ ناشی از این بیماری‌ها را تا ۸۰ درصد کاهش داد (Samavat & Shams, 2013).

بیماری قلبی و عروقی کرونر، نتیجه انسداد رگ‌های خون‌رسان به قلب یعنی عروق کرونر است. رسوب تدریجی کلسترول و سایر چربی‌ها و مواد در دیواره سرخرگ‌های بدن، باعث ایجاد پلاک‌هایی در جدار این عروق می‌شود که منجر به تنگ و سخت شدن دیواره رگ‌ها خواهد شد. باگذشت زمان، افزایش رسوب چربی، می‌تواند تنگی و باریک شدن شریان‌ها را به دنبال داشته باشد و مانع خون‌رسانی کافی به بافت‌ها شود. در صورتی که چنین اتفاقی در عروق کرونر قلب رخ دهد، می‌تواند خون‌رسانی به عضله قلب را کم و یا حتی قطع

کند. این وضعیت سبب ایجاد درد قلبی^۱ یا آنژین صدری^۲ می‌شود. این پدیده، باعث تجمع پلاکت‌ها و ایجاد لخته در آن ناحیه می‌شود. این لخته سبب تنگ‌تر شدن مجرای عروق کرونر و کاهش بیشتر خون‌رسانی به عضله قلب می‌شود. با ادامه محرومیت عضله قلب از اکسیژن، قلب دچار آسیب می‌شود. اگر این لخته خون به حدی بزرگ شود که به‌طور کامل مسیر جریان خون را مسدود کند، بخشی از عضله قلب که توسط آن شریان تغذیه می‌شود، می‌میرد.

به این وضعیت حمله قلبی یا سکته قلبی می‌گویند (Pal et al., 2012)

اگرچه بیماری قلبی و عروقی کرونر، اکنون یک بیماری کاملاً شناخته‌شده است، اما افزایش آمار مرگ ناشی از آن، نشان‌دهنده عدم آگاهی افراد عادی می‌باشد. با آگاه شدن افراد از عوامل خطر اولیه ایجادکننده بیماری و سنجش وضعیت سلامتی، می‌توان از بروز بیماری‌های قلبی و عروقی کرونر، به میزان قابل توجهی کاست. یکی از راه‌های ممکن برای فائق آمدن بر این مشکل، ساخت یک سیستم خبره هوشمندی است که بتواند با تقلید از نحوه استدلال پزشکان، نتیجه مطلوب را ارائه دهد. این سیستم خبره، قادر به تعیین میزان ابتلای به بیماری قلبی و عروقی کرونر قلب با استفاده از عوامل خطر اولیه می‌باشد.

بخش پایگاه دانش سیستم موردنظر، عوامل خطر را به متغیرهای فازی^۳ تبدیل کرده و سپس دانش مربوط به حوزه بیماری قلبی و عروقی را، با نمایش قواعد، در سیستم ایجاد می‌کند. موتور استنتاج با دریافت اطلاعات مربوط به هر فرد متناسب با مشخصات ارائه‌شده، قاعده موردنظر را فعال کرده و نهایتاً احتمال ابتلای به بیماری را در هر فرد، تشخیص می‌دهد.

پیشینه پژوهش

تولد هوش مصنوعی به سال ۱۹۵۶ بازمی‌گردد که دو محقق پلی‌تکنیک کارولین^۴ در آمریکا به نام‌های آلن نویل^۵ و هربرت سایمون^۶ یک برنامه کامپیوتری نوشتند. این برنامه قابلیت تفکر

1- chest pain

2 -Angina pectoris

3- Fuzzy variables

4- Caroline Polytechnic

5- Alan Newell

6- Herbert Simon

غیر عددی^۱ داشت. نخستین سیستم خبره تجاری در سال ۱۹۸۲ در شرکت D.E.C به منظور انتخاب قطعات سیستم‌های کامپیوتری بکارگرفته شد که برای شرکت ۴۰ میلیون دلار سود داشت (Ngai & Wat, 2003).

منطق فازی به سال ۱۹۶۵ و توسط لطفی زاده با مقاله «مجموعه‌های فازی» در مجله «اطلاعات و کنترل» معرفی شد. در سیستم خبره فازی، قواعد سیستم خبره دارای مقادیر فازی هستند و به جای «یا درست یا غلط»، «تا حدی درست و تا حدی غلط» هستند (Azar & Faraji, 2008). پژوهش‌های متعددی در زمینه سیستم خبره فازی در دنیا انجام شده است. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به استفاده از سیستم خبره فازی برای تحلیل اقتصادی سرمایه‌گذاری در استفاده از آراف‌آی‌دی^۲ (Russell & Norvig, 1995)، تصمیم‌گیری در بازارهای بین‌المللی (Esfahanipour & Aghamiri, 2010) و توسعه کارت امتیازی متوازن (Li & Li, 2010) اشاره کرد. در ایران نیز پژوهش‌هایی در زمینه سیستم خبره فازی انجام شده است که در این میان می‌توان به استفاده از سیستم خبره فازی در تحلیل ذخیره بازار (Fasanghari & Montazer, 2010)، بهبود عملکرد کمباین دروگر گندم برای کاهش ریزش محصول از کمباین که خود سبب تخریب بخشی از محصول می‌شود (Esfahanipour & Aghamiri, 2010)، بهبود فرایند تولید فولاد با تاکید بر بهبود برنامه کاری و زمان‌بندی کوره‌های قوس^۳ (Lashgari et al., 2013)، ارزیابی عملکرد سیستم ایمنی و سلامت پالایشگاه گاز (Zarandi & Ahmadvour, 2009)، فرایند طراحی سازه‌ای ساختمان‌های متعارف (Khoshnoud et al., 2008) و تعیین قیمت متعادل سهام در سازمان بورس اوراق بهادار (Karimian, 2007) اشاره کرد.

در حوزه گردشگری در پژوهشی تحت عنوان تصمیم‌گیری به‌وسیله سیستم خبره فازی برای انتخاب محل اقامت مطلوب گردشگران که توسط ریسی و همکاران در سال ۹۲ انجام شد به چگونگی طراحی و استفاده از سیستم خبره فازی برای انتخاب هتل محل اقامت پرداخته شده است. این پژوهش شامل هفت مرحله تعیین معیارهای تصمیم‌گیری، طراحی مجموعه‌های

1- Non-numerical thinking

2- Radio Frequency Identification- RFID

3- Arc furnaces

فازی معیارها، طراحی قواعد فازی معیارها، تبیین قواعد سیستم خبره، فازی سازی ورودی‌ها، استنتاج فازی، فازی زدایی^۱ و رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌باشد. استفاده از منطق فازی، این امکان را می‌دهد که چنانچه یک هتل در یک زیر معیار بدون انطباق لازم با شرایط مطلوب گردشگر بود، وضعیت زیر معیار متناظر دیگری بررسی شده تا بخت انتخاب هتل مناسب به آسانی از دست نرود. از سوی دیگر، قواعد سیستم خبره فازی، شرایط هتل‌ها را با توجه به وضعیت مطلوب گردشگر بررسی می‌کند و بدین ترتیب است که رتبه‌بندی هتل‌ها بدون مقایسه مستقیم گزینه‌ها، بلکه با مقایسه هر هتل با شرایط مطلوب گردشگر انجام می‌گیرد (Sohrabi et al., 2012).

تحقیقات زیر با عنوان طراحی سیستم‌های خبره پزشکی صورت گرفته‌اند: سیستم خبره فازی برای تشخیص بیماری فشارخون (Abrishami & Tabatabaee, 2015) سیستم خبره فازی تشخیص حمله قلبی پیش از وقوع (Rahimi et al., 2016) و سیستم خبره فازی تشخیص مننژیت باکتریال^۲ از سایر مننژیت‌ها در کودکان (Langarizade et al., 2014). در زمینه ایجاد و توسعه نرم‌افزارهای هوشمند پزشکی سیستم‌های خبره‌ای مانند مایسین^۳ (Shortliffe, 1976) و کادیاک^۴ (Adlassnig & Kolarz, 1982) ایجاد شده‌اند، ولی این سیستم‌ها، سیستم‌های خبره مربوط به چند نوع بیماری هستند. به علاوه تحقیقات بسیاری در رابطه با تحلیل عوامل خطر ایجادکننده بیماری قلبی و عروقی کرونر انجام گرفته است، (Chirinos et al., 2007) و (Gamberger et al., 2003) متدولوژی‌های تشخیصی متعددی نیز، جهت غربالگری این بیماری به کار برده شده‌اند. به‌طور مشخص، کاربرد روش‌هایی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی (Das et al., 2009) و (Kurt et al., 2008) ماشین‌های بردار پشتیبان^۵ (Andreeva, 2006) و درخت‌های تصمیم^۶ (Maria et al., 2008)، قبلاً گزارش شده‌اند. اگرچه این روش‌ها، طبقه‌بندی مناسبی را

1- Defuzzifier

2- Bacterial meningitis

3- MYCIN

4- CADIAC 2

5- Support vector machines

6- decision tree

ارائه می‌دهند، ولی تفسیر نتایج آن‌ها مشکل است. این تحقیقات از روش جعبه سیاه^۱ بهره گرفته و فقط بر صحت طبقه‌بندی تمرکز دارند. سیستم‌های طبقه‌بندی کننده مبتنی بر قاعده توسط سیپوراز و همکاران در سال ۲۰۰۸ و عادل و نشاط در سال ۲۰۱۰ گزارش شده‌اند که قوانین تفسیری را تولید می‌کنند ولی این سیستم‌ها، در برابر تغییرات حساس نیستند. در پژوهشی که توسط کورنوسکی انجام گردید (Korenevskiy, 2015) کاربرد منطق فازی در طراحی سیستم‌های خبره پزشکی بررسی شد. این تحقیق، مدعی است که بهره‌گیری از منطق فازی در طبقه‌بندی بیماران برای تشخیص پزشکی در سیستم‌های خبره، رویکرد کارآمدی است.

موتوکاروپان^۲، در سال ۲۰۱۲ سیستم خبره فازی مبتنی بر بهینه‌سازی اجتماع ذرات^۳ را پیشنهاد کرد. در این تحقیق از روش‌هایی مانند درخت تصمیم جهت کاهش قواعد بهره گرفته شد. دابراتاپال، در همان سال یک سیستم خبره مبتنی بر عوامل خطر اولیه طراحی کرد که می‌تواند احتمال ابتلای به بیماری قلبی را محاسبه کند. اگرچه در این تحقیق متغیرهای بسیاری در تشخیص به کار برده شدند و موجب بهبود دقت سیستم گردیدند، ولی تعداد زیاد متغیرها و تبدیل آن‌ها به متغیرهای زبانی فازی، تعداد زیاد قواعد را موجب شده به علاوه تبدیل متغیرهای ورودی به متغیرهای زبانی کم، متوسط و زیاد و نوع طبقه‌بندی ماژول‌ها عملاً کاربردی نبود. به علاوه در بررسی فرا قاعده‌ها^۴ مشاهده شد که تقسیم‌بندی ماژول‌ها، از ماژول تک عاملی به ماژولی که دارای همه عوامل باشد، صحیح نیست. زیرا در بررسی شرایط جسمی هر فرد، همه عوامل باهم سنجیده می‌شوند تا نتیجه مطلوب و معقول حاصل شود. در مقاله حاضر با بررسی تحقیقات صورت گرفته سیستمی جهت تشخیص احتمال ابتلا به بیماری در مراحل اولیه طراحی گردید. در ابتدا طبق نظر پزشکان متخصص، بیماران به دو گروه نرمال و غیر نرمال طبقه‌بندی شدند. با توجه به اینکه بیماران اطلاع دقیقی از وضعیت

1- black box
2- Motocropane
3- particle swarm optimization
4- Metarules

عوامل خطر خود مانند چربی خون، دیابت و فشارخون ندارند، و این امر ناشی از عدم وجود نتیجه یکسان در هر بار آزمایش می‌باشد، افراد به دو گروه نرمال و غیر نرمال طبقه‌بندی شدند. به این صورت که اگر شخصی عاملی را دارا نباشد در آن متغیر وضعیت نرمال و اگر عاملی را مبتلا باشد، در آن متغیر در وضعیت غیر نرمال قرار گیرد.

به‌عنوان مثال از نظر علم پزشکی و شخص پزشکی فردی با دیابت ۱۳۰ و فردی با دیابت ۲۰۰ هر دو وضعیت غیر نرمال دارند، فقط ریسک ابتلا به بیماری‌های خطرناک در این دو گروه با یکدیگر تفاوت دارد. با این طبقه‌بندی تعداد قواعد نیز کاهش پیدا می‌کنند، زیرا هرچه تعداد حالات متغیرها بیشتر شوند در نتیجه تعداد قواعدی که باید به وجود آیند تا تصمیم‌گیری بهتر گردد نیز بیشتر شده و کاهش و غربالگری قواعد، موردنیاز خواهند بود. نقش اصلی این پژوهش، ایجاد یک سیستم خبره مبتنی بر قواعد فازی است که از عوامل خطر و اطلاعات اولیه بیماران استفاده کرده و احتمال ابتلای به بیماری را محاسبه می‌کند. عوامل خطر، پارامترهای کلینیکالی هستند که می‌توان آن‌ها را به‌سادگی با مراجعه به مراکز بهداشتی و انجام آزمایش‌های اولیه به دست آورد. هر عامل خطر یا همان متغیر ورودی، توسط ارزش‌های زبانی به متغیرهای فازی تبدیل می‌شود. قواعد بر اساس تجربیات متخصصین این حوزه و بر اساس ارزش‌های زبانی نرمال و غیر نرمال ایجاد شدند. بر اساس مقادیر ورودی، قاعده مناسب فعال شده و پس از طی مرحله استنتاج و نهایتاً فازی‌زدایی، نتیجه قطعی سیستم مشخص می‌گردد.

روش‌شناسی پژوهش

ایجاد سیستم شامل مراحل زیراست: ۱- تعیین معیارهای تصمیم‌گیری ۲- ایجاد مجموعه‌های فازی معیارهای تصمیم‌گیری ۳- تبیین قواعد فازی .
تصمیم‌گیری نیز از مراحل زیر تشکیل شده است: ۱- فازی‌سازی ورودی‌ها ۲- استنتاج فازی ۳- فازی‌زدایی.

سیستم خبره مورد بررسی در این پژوهش شامل سه بخش (بخش پایگاه دانش یا KB، موتور استنتاج یا IE و واسط کاربر یا UI^۱) می‌باشد. به دلیل وجود ابهامات و پیچیده بودن متغیرها و با توجه به ماهیت بیماری و طبقه‌بندی آن‌ها به دو گروه نرمال و غیر نرمال، پایگاه دانش و موتور استنتاج سیستم، با رویکرد فازی طراحی شده است.

اجمالی بر محاسبات فازی

محاسبات فازی در سال ۱۹۶۵ میلادی، توسط زاده مطرح شد محاسبات فازی روشی را برای محاسبه داده‌ها و اطلاعات غیرقطعی و مبهم ارائه می‌کند، ضمن اینکه سازوکار استنتاج و استدلال را بر اساس مجموعه‌ای از قواعد «اگر- آنگاه» فراهم می‌سازد. سیستم‌های فازی مفاهیم نظریه مجموعه فازی و منطق فازی را با یکدیگر تلفیق و چارچوبی برای ارائه دانش زبانی همراه با عدم قطعیت فراهم می‌کنند و دوشخصه اصلی دارند که محبوبیت آن‌ها را بیشتر کرده است؛

یکی اینکه آن‌ها برای استدلال تقریبی^۲ به ویژه برای سیستم‌هایی که استخراج مدل ریاضی برای آن‌ها کار دشواری است، مناسب بوده و دیگری اینکه منطق فازی اجازه می‌دهد تصمیم‌گیری با استفاده از اطلاعات ناکامل و غیرقطعی با کمک متغیرهای زبانی^۳، که به راحتی توسط انسان‌ها قابل درک هستند، انجام شود. سیستم‌های مبتنی بر منطق فازی شامل چهار جزء اصلی هستند و همان‌طور که ذکر شد می‌توانند راه‌حل‌های عملی و مناسبی را در شرایط مختلف ارائه دهند هر یک از این اجزا به‌طور خلاصه در ذیل تشریح شده است (Chirinos, et al., 2007)؛

فازی ساز^۴: در فرایند فازی سازی روابط بین ورودی‌ها و متغیرهای زبانی با استفاده از توابع عضویت تعریف می‌شود. در این مرحله مقادیر ورودی به درجه تعلق متغیرهای زبانی متناظر تبدیل می‌شوند. درواقع متغیرهای ورودی از طریق واحد فازی ساز به اعداد فازی

-
- 1- User Interface
 - 2- Approximate reasoning
 - 3- Linguistic variables
 - 4- Fuzzifier

تبدیل می‌شوند. در این مقاله هر متغیر توسط تابع دوزنقه‌ای به متغیر فازی تبدیل می‌شود. تابع عضویت هر متغیر به شکل فرمول شماره یک، می‌باشد.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } x < a \ \& \ x > d \\ (x-a)/(b-a), & \text{if } a \leq x \leq b \\ 1 & \text{if } b \leq x \leq c \\ (x-d)/(d-c), & \text{if } c \leq x \leq d \end{cases} \quad \text{فرمول (۱)}$$

پایگاه دانش: پایگاه دانش از ترکیب دانش خبرگان حوزه مورد بحث به وجود می‌آید و به شکل قواعدی از متغیرهای زبانی تشکیل می‌شود. مابین قواعد برای بیان ارتباط میان مجموعه‌های فازی ورودی و خروجی استفاده می‌شود. قالب گرامری یک قانون فازی به شکل زیر بیان می‌شود: اگر شرایط ورودی برقرار باشد، آنگاه مجموعه نتایج خروجی قابل استنتاج است. برای ایجاد پایگاه قواعد فازی در سیستم حاضر، نظریات خبرگان جمع‌آوری و با استفاده از آن‌ها و بر اساس ۶ متغیر ورودی شصت و چهار قانون ایجاد شد. جزییات این مرحله در بخش بعدی تشریح شده است.

موتور استنتاج: این بخش واحد تصمیم‌گیر سیستم فازی است. یک موتور استنتاج قابلیت استنتاج خروجی‌ها با استفاده از قواعد و عملگرهای فازی را داراست بدین معنا که عملگرهایی مانند کمینه، بیشینه و یا مجموع را ترکیب و خروجی فازی را از مجموعه‌های فازی ورودی و روابط فازی استخراج کرده و از این طریق توانایی تصمیم‌گیری در انسان را شبیه‌سازی می‌کند. در این مقاله سیستم استنتاج ممدانی^۱ به‌عنوان هسته سیستم فازی انتخاب شد که از طریق روابط زیر فرایند به‌کارگیری ورودی‌ها را بر اساس قواعد تعریف شده اعمال می‌کند (Siler, W., & Buckley, 2005).

$$\mu_{A \rightarrow B}^K(x,y) = \min\{\mu_A^K(x), \mu_B^K(y)\} \quad \text{فرمول (۲)}$$

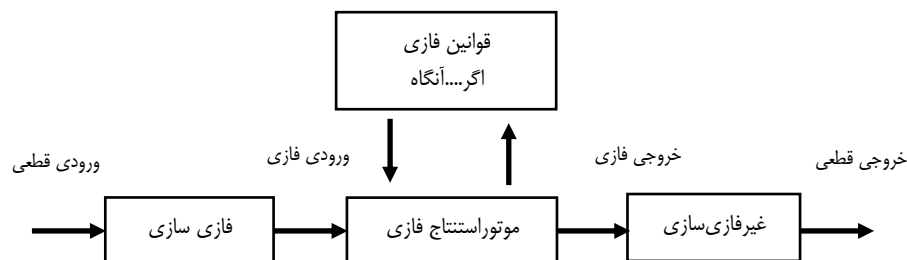
$$\mu_{A \rightarrow B}^K(x,y) = \mu_A^K(x), \mu_B^K(y) \quad \text{فرمول (۳)}$$

فازی زدایی: این مرحله عکس فرایند فازی سازی را انجام می‌دهد. فازی زدا، یک خروجی با مقدار قطعی از مجموعه‌های فازی که خروجی موتور استنتاج هستند را تولید می‌کند. روش‌های زیادی برای فازی زدایی مطرح شده است که در این مقاله از روش مرکز ثقل^۱ با کمک رابطه زیر استفاده شده است.

$$\text{COA}(A) = \frac{\int (\mu_A(x) \cdot x) dx}{\int \mu_A(x) dx} \quad \text{فرمول (۴)}$$

شمای سیستم خبره فازی

شمای کلی سیستم خبره فازی شامل ۵ بخش است؛ بخش اول واسط کاربری است که اطلاعات مربوط به متغیرهای ورودی سیستم را از یک پایگاه داده دریافت می‌کند. بخش دوم پایگاه قواعد فازی است، بخش سوم، واحد فازی ساز است، بخش چهارم موتور استنتاج فازی و بخش پنجم، واحد فازی زدا می‌باشد. شکل ۱ معماری کلی این سیستم را نمایش می‌دهد.



شکل ۱- معماری کلی سیستم

ساختار سیستم خبره فازی تشخیص بیماری قلبی و عروقی کرونر

برای استفاده از قابلیت سیستم خبره فازی، نخست، کلیه عوامل خطر اصلی مؤثر در ابتلای به بیماری بررسی شده و در دو سطح مختلف دسته‌بندی و سپس سیستم خبره فازی برای استنتاج نتیجه درست طراحی شد. برای ارزیابی قابلیت سیستم طراحی شده، این مدل در مرکز پزشکی هسته‌ای یاس به اجرا درآمد. در ادامه ابتدا شیوه دسته‌بندی عوامل، تشریح و سپس به توضیح سیستم خبره فازی و نحوه تشخیص بیماران پرداخته می‌شود.

تعیین معیارهای تصمیم‌گیری

با مطالعه عمیق کتب مرجع و مقالات مرتبط و با مشورت با پزشکان متخصص در این حوزه، عوامل ذکر شده در یک طبقه‌بندی مناسب، در قالب عوامل خطر اولیه به‌عنوان متغیرهای ورودی در نظر گرفته شدند. این متغیرها در کتابی که توسط وزارت بهداشت منتشر شده‌اند به‌عنوان عوامل اولیه خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی و عروقی آورده شده‌اند. این عوامل خطر عبارت‌اند از ۱. چاقی ۲. فشارخون بالا ۳. اختلال در چربی‌های خون ۴. دیابت ۵. سن ۶. مصرف سیگار (Samavat & Shams, 2013) و یک متغیر که وضعیت ابتلای به بیماری می‌باشد به‌عنوان متغیر خروجی در نظر گرفته شده است. عوامل خطر تعیین شده، عمدتاً مبتنی بر ساختار جمعیتی کشور ایران هستند و با مرور تحقیقات انجام گرفته توسط وزارت بهداشت و درمان و تحقیقات پزشکان مجرب به‌دست آمده‌اند (Samavat & Shams, 2013). در پژوهش حاضر هر کدام از معیارها به زیر معیارهای نرمال و غیر نرمال تقسیم شده‌اند تا به نتیجه واقع بینانه‌تری از ابتلای به بیماری منجر شود. همان‌طور که در قسمت‌های قبلی ذکر شد تقسیم‌بندی معیارها به دو گروه نرمال و غیر نرمال بیان‌کننده‌ی نگاه منطقی به وضعیت بیماری می‌باشد.

ایجاد مجموعه‌های فازی معیارهای تصمیم‌گیری

برای ایجاد مجموعه‌های فازی متغیرها ابتدا باید توابع عضویت آن‌ها را مشخص کرد.

تعریف توابع عضویت متغیرهای ورودی

در این بخش، برای هر متغیر ورودی مجموعه‌ای از واژه‌های زبانی، تعریف شده‌اند. سپس با استفاده از کتب علمی پزشکی و تحقیقات علوم آزمایشگاهی، بازه‌های این متغیرها تعیین گردیده‌اند. در این مرحله از پژوهش، از تابع عضویت ذوزنقه‌ای، به لحاظ عمومیت و به لحاظ دارا بودن ظرفیت پذیرش اطلاعات فازی بیشتر، استفاده شده است. هر متغیر فازی در این تحقیق دو ارزش فازی دارد. نرمال^۱ و غیر نرمال^۲. نمایش زبانی متغیرها و نیز بازه‌های آن‌ها در جدول ۱، آمده است. این بخش از آن جهت اهمیت دارد که این متغیرها و مقادیر آن‌ها در گام بعدی و در پایگاه قواعد فازی استفاده شده‌اند. علاوه بر این، نمایش بازه‌های متغیرهای زبانی ورودی و خروجی در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۳- مقادیر زبانی متغیرهای ورودی و خروجی

فاکتورهای ریسک	افزایش نرمال		افزایش غیر نرمال	
	فاصله پشتیبان	فاصله هسته	فاصله پشتیبان	فاصله هسته
سن	۰-۵۰	۳۰-۴۰	≥ 40	≥ 50
مصرف سیگار	۰-۶	۲-۴	≥ 4	≥ 7
چاقی	۱۸,۵-۳۰	۲۵-۲۹	≥ 25	≥ 35
فشارخون	۵۰-۱۴۰	۱۲۰-۱۳۵	≥ 115	≥ 140
دیابت	۷۰-۱۳۰	۱۰۰-۱۲۵	≥ 110	≥ 130
چربی	۱۸۰-۲۴۰	۲۰۰-۲۳۶	≥ 236	≥ 240
متغیر خروجی	۰-۵۰	۳۰-۵۰	≥ 50	≥ 55

تولید پایگاه قواعد فازی

مرکز استنتاج یک سیستم خبره از مجموعه‌ای از قواعد «اگر-آنگاه» تشکیل می‌شود. در سیستم خبره فازی، قواعد با مجموعه‌ای از عبارات کلامی بیان می‌شوند (Siler & Buckley, 2005). هر قاعده سیستم خبره، به بررسی وضعیت مطلوب با وضعیت گزینه موردبررسی

1- Normal

2- Abnormal

می‌پردازد و میزان انطباق وضعیت مطلوب با وضعیت گزینه موردبررسی را با یک عبارت کلامی بیان می‌کند. برای سیستم خبره فازی پژوهش حاضر در مجموع شصت و چهار قاعده با استفاده از متغیرهای زبانی ورودی و نظرات خبرگان که برآمده از پژوهش‌های گذشته در زمینه بیماری‌های قلبی است مطابق آنچه در بخش‌های قبلی بیان شده است، ایجاد شد. مراحل و نحوه تشخیص بیماری برآمده از تحقیقات پیشین و کنونی دانشمندان پزشکی است که در کتب مرجع مربوط به بیماری‌های قلبی آورده شده‌اند. به دلیل پیچیدگی نحوه تشخیص بیماری، از ذکر مطالب علمی مرتبط صرف نظر شده، به نظرات متخصصین و نتایج تشخیص آن‌ها در این پژوهش بسنده شده است.

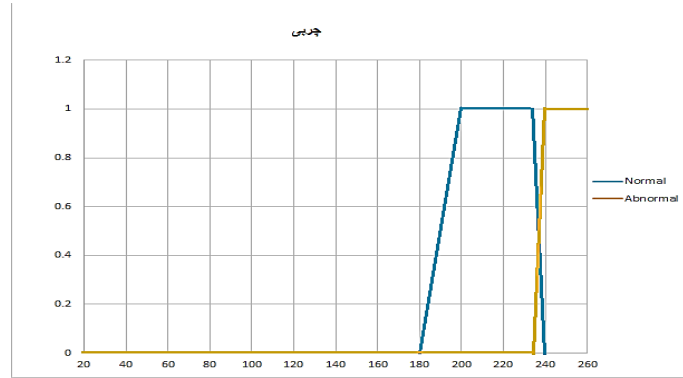
در این تحقیق به دلیل اینکه تعداد متغیرها ۶ عدد می‌باشد و هر کدام به دو بخش نرمال و غیر نرمال تبدیل می‌شوند، لذا تعداد کل قواعد تولیدشده، برابر با ترکیب آن‌ها است که نهایتاً ۶۴ قاعده تولید می‌گردند. اگر همه فاکتورها نرمال بودند تالی قاعده مذکور نرمال خواهد شد و اگر یکی یا بیشتر از یکی از فاکتورها افزایش غیر نرمال شد تالی قاعده موردنظر نرمال خواهد بود. نمونه‌ای از قواعد به شرح زیر می‌باشد:

- اگر سن نرمال، مصرف سیگار نرمال، چربی خون نرمال، دیابت نرمال، فشارخون نرمال، چاقی نرمال آنگاه میزان افزایش ابتلای به بیماری نرمال است.
- اگر سن نرمال، مصرف سیگار نرمال، چربی خون غیر نرمال، دیابت غیر نرمال، فشارخون غیر نرمال، چاقی نرمال آنگاه شخص در شرایط غیر نرمال است.
- اگر سن نرمال، مصرف سیگار نرمال، چربی خون غیر نرمال، دیابت غیر نرمال، فشارخون نرمال، چاقی نرمال آنگاه بیمار در شرایط غیر نرمال است.

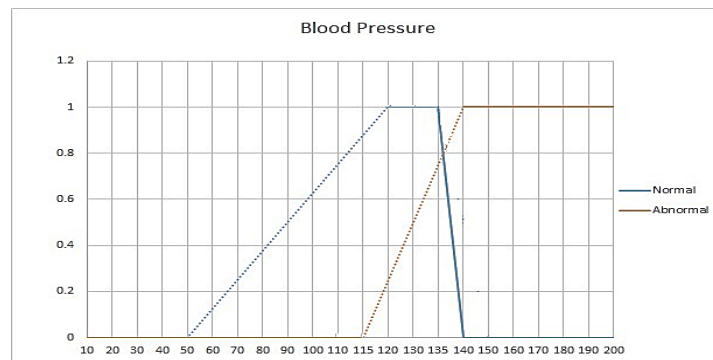
فازی‌سازی متغیرهای ورودی

در این بخش هریک از متغیرها به متغیرهای فازی تبدیل شده و دارای درجه عضویت مربوط به خود می‌گردند. با استفاده از توابع عضویت و در دست داشتن بازه هریک از عوامل،

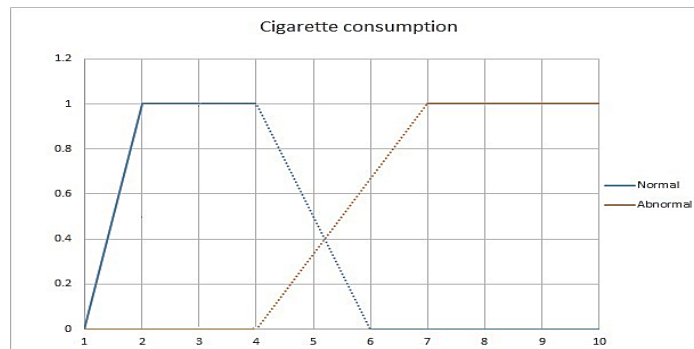
می‌توان نمودارهای توابع عضویت هر یک از معیارها را ایجاد کرد. در شکل‌های زیر نمودارهای توابع عضویت هر یک از معیارها نمایش داده شده‌اند.



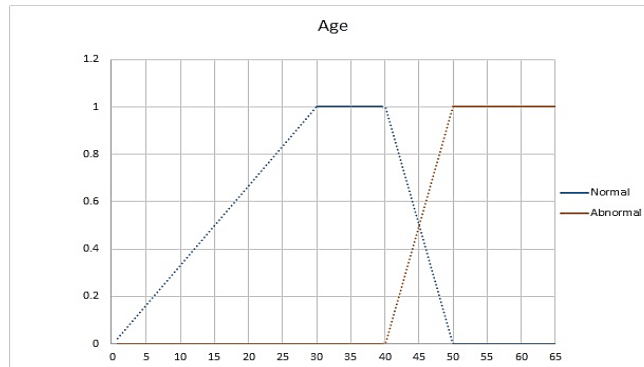
نمودار ۱- چربی خون



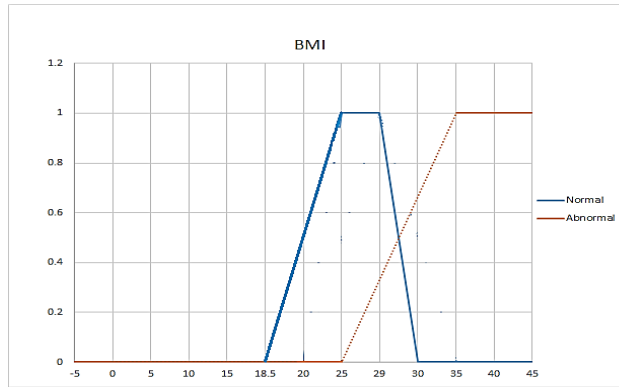
نمودار ۲- فشارخون



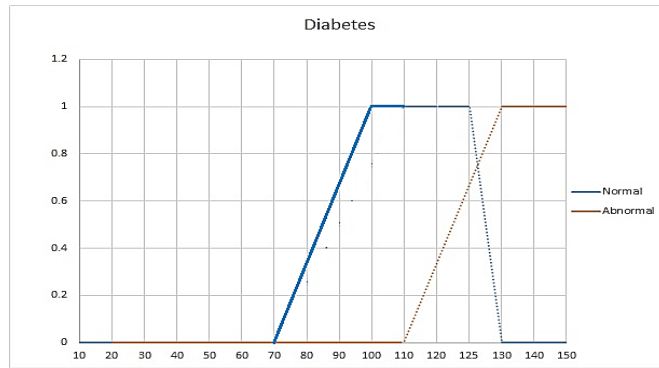
نمودار ۳- میزان مصرف سیگار



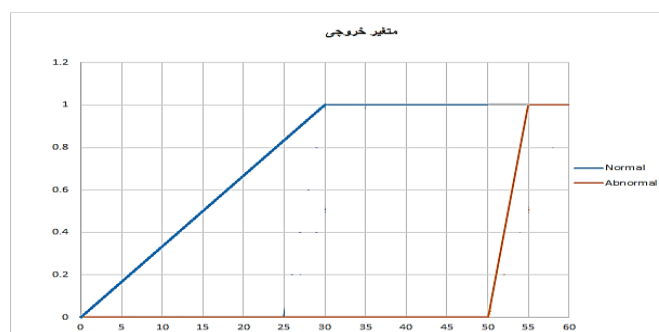
نمودار ۴- سن



نمودار ۵- چاقی



نمودار ۶- دیابت



نمودار ۷- متغیر خروجی وضعیت ابتلای به بیماری

استنتاج فازی

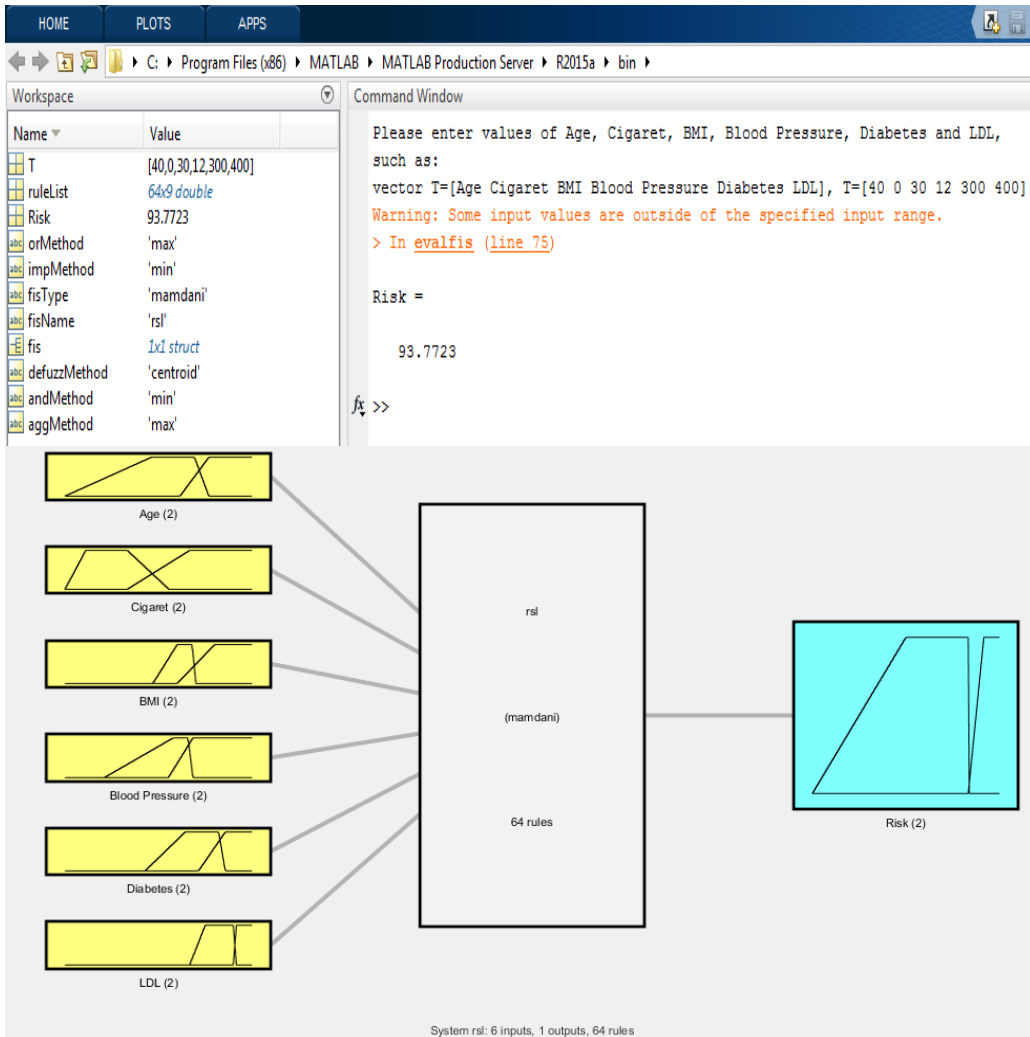
بخش استنتاج در سیستم‌های خبره در واقع قلب سیستم خبره فازی است. این قسمت ورودی‌ها را از کاربر گرفته و قواعد را از پایگاه قواعد انتخاب می‌کند. موتور استنتاج فازی سیستم کنونی قواعد فازی را انتخاب کرده و از استنتاج ممدانی برای تولید خروجی ریسک فازی استفاده می‌کند. دو روش معمول برای استنتاج در سیستم‌های خبره فازی وجود دارند که عبارت‌اند از روش ممدانی و روش سوگنو. روش ممدانی در حالت‌هایی استفاده می‌شود که همه معیارها ضریب برابری دارند ولی در روش سوگنو معیارهای ورودی دارای ضرایب متفاوتی می‌باشند. در پژوهش حاضر به دلیل اینکه معیارهای ورودی سیستم خبره فازی یا عوامل خطر همگی با ضریب ۱ در نظر گرفته شده‌اند، مناسب دیده شد که از روش استنتاج ممدانی استفاده شود.

فازی زدایی

به تبدیل مجموعه فازی به مقدار عددی متناظر آن، فازی زدایی گفته می‌شود. روش‌های مختلفی برای فازی زدایی وجود دارد و معتبرترین آن‌ها روش مرکز ثقل است که مقدار آن برای مجموعه فازی پژوهش حاضر همان‌طور که به آن اشاره شد به این صورت می‌باشد. سیستم خبره فازی موردنظر، در مراحل قبلی اطلاعات بیمار را دریافت و متغیرها را، به متغیرهای فازی تبدیل کرده بود سپس طبق تشخیص و بر اساس روش ممدانی قاعده مناسب را

فعال و خروجی فازی را وارد این مرحله می‌کند. در این مرحله، طبق فرمول نوشته شده خروجی فازی به متغیر قطعی تبدیل می‌گردد. خروجی مورد نظر سیستم میزان احتمال ابتلای به بیماری قلبی و عروقی کرونر می‌باشد. به عنوان نمونه موردی از استنتاج ممدانی در سیستم کنونی که توسط نرم افزار متلب طراحی گردیده است نمایش داده می‌شود.

سن: ۴۰، مصرف سیگار: ۰، نمایه توده بدنی: ۳۰، فشارخون: ۱۲، دیابت: ۳۰۰، چربی خون: ۴۰۰
سیستم ریسک ابتلای به بیماری را در این فرد ۹۳ درصد تخمین زده که به معنی قرار گرفتن فرد در محدوده غیرنرمال است. این شخص با وجود جوان بودن، عدم مصرف سیگار و فشارخون نرمال فقط به دلیل دیابت بالا و چربی خون بالا در گروه افراد مستعد به ابتلای به بیماری قلبی و عروقی کرونر قرار می‌گیرد.



شکل ۲- نمای خروجی نرم‌افزار

یافته‌های پژوهش

در این مرحله سیستم خبره فازی با استفاده از اطلاعاتی که از محیط واقعی سیستم به دست آمده بود به مرحله اجرا درآمد. برای ارزیابی سیستم یک نمونه ۱۰۰ تایی از اقلام اطلاعاتی مربوط به مراجعین مختلف، که در پایگاه داده مرکز پزشکی هسته‌ای یاس وجود داشت به عنوان ورودی به سیستم داده شد و نتایج بررسی شدند. سیستم خبره فازی طراحی شده در این

پژوهش مبتنی بر عوامل خطری است که بیماری قلبی و عروقی کرونر را ایجاد کرده و سلامتی افراد جامعه را به خطر می‌اندازند. این عوامل توسط متخصصین این حوزه تعیین شده و در کتابی توسط وزارت بهداشت چاپ و منتشر گردیده است (Samavat & Shams, 2013). اطلاعات مربوط به بیماری‌های قلبی عمدتاً از این کتاب و از تخصص پزشکان متخصص پزشکی هسته‌ای و متخصص قلب و عروق استخراج شده است.

سیستمی که در این پژوهش طراحی شده است برای یافتن مدلی جهت غربالگری افراد در معرض این بیماری به کار گرفته شده است. برای ارزیابی عملکرد در این سیستم، خروجی‌های پیش‌بینی مدل با تشخیص متخصصین مقایسه شدند. نتیجه عملکرد سیستم توسط سه معیار حساسیت، خاص بودن و صحت کارکرد سیستم مشخص می‌شود. سه معیار ارزیابی عملکرد سیستم به صورت زیر تعیین می‌شوند.

مثبت درست^۱ (TP): تعداد بیماران غیر نرمال که توسط مدل به درستی طبقه‌بندی شده‌اند.

منفی درست^۲ (TN): تعداد بیماران نرمال که توسط مدل به درستی طبقه‌بندی شده‌اند.

مثبت نادرست^۳ (FP): تعداد افراد با وضعیت نرمال که اشتبهاً در گروه غیر نرمال‌ها طبقه‌بندی شده‌اند.

منفی نادرست^۴ (FN): تعداد بیماران غیر نرمال که اشتبهاً در گروه نرمال‌ها طبقه‌بندی شده‌اند.

حساسیت^۵ یعنی درصدی از بیماران با وضعیت غیر نرمال که توسط مدل درست تشخیص داده شده‌اند.

$$\text{فرمول (۵)} \quad TP/(TP+FN)$$

تشخیص یا دقت^۶ یعنی درصدی از افراد نرمال که توسط مدل درست تشخیص داده شده‌اند.

$$\text{فرمول (۶)} \quad TN/(TN+FP)$$

-
1. True Positive
 2. True Negative
 3. False Positive
 4. False Negative
 5. Sensitivity
 6. Specificity

صحت^۱ یعنی توانایی کلی سیستم در تشخیص درست بیماران نرمال و غیر نرمال

$$L+M/N$$

فرمول (۷)

در سیستم خبره فازی تشخیص بیماری قلبی و عروقی کرونر کنونی شاخص حساسیت ۹۰,۳٪، شاخص تشخیص ۹۷,۱٪ و شاخص صحت عملکرد سیستم ۹۵٪ می‌باشد که نشان‌دهنده این است که این سیستم بیماران نرمال را با ۹۰,۳ درصد و بیماران غیر نرمال را با ۹۷,۱ درصد به درستی تشخیص و طبقه‌بندی می‌کند و عملکرد درست آن، در طبقه‌بندی کلی افراد در گروه‌های نرمال و غیر نرمال ۹۵ درصد می‌باشد. از ارزیابی عملکرد سیستم واضح است که بتوان این نتیجه را استنباط کرد که سیستم حاضر، ظرفیت بالایی را در شناسایی و تشخیص گروه افراد بیمار دارا می‌باشد و می‌تواند به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان یک سیستم تشخیصی استفاده شود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در مقاله حاضر، سیستم خبره تشخیص زودهنگام بیماری قلبی و عروقی طراحی شد. اگرچه تشخیص، به دانش فرد خبره در حوزه مربوطه بستگی دارد، اما این سیستم می‌تواند به‌عنوان یک ابزار پشتیبانی از تصمیم که به صورت قابل‌درک در رایانه کد سازی شده است، برای پزشکان و بیماران به‌کاربرده شود. به‌علاوه در این سیستم، از پارامترهای بالینی استفاده‌شده است که به‌راحتی و با هزینه اندک در دسترس قرار می‌گیرند. طبقه‌بندی ریسک ابتلا در این پژوهش، پیش از هرگونه بررسی پیشرفته وضعیت بیمار توسط سایر ابزارهای تشخیصی مانند اسکن و غیره صورت می‌گیرد. سیستم تشخیص بیماری قلبی و عروقی کرونر کنونی، می‌تواند گروه افراد پرخطر را، در همان مراحل اولیه شناسایی کرده و نتیجتاً، افراد را جهت اقدامات درمانی پیشرفته‌تر راهنمایی کند.

از رهگذر این تحقیق، می‌توان به دو گروه پزشکان و گروه افراد عادی استفاده‌کننده از سیستم، پیشنهادهای لازم و مناسب را ارائه داد.

با به‌کارگیری سیستم طراحی‌شده، پزشکان متخصص، می‌توانند با شناسایی افراد با وضعیت افزایش نرمال بیماری قلبی و عروقی کرونر، اقدامات پیشگیرانه و متناسب را جهت جلوگیری از افزایش خطر، در جهت کاهش ابتلای به بیماری به عمل آورند و با شناسایی بیماران در وضعیت غیر نرمال، بررسی‌های بیشتر و ارائه اقدامات درمانی پیشرفته‌تر را در مورد بیمار انجام دهند. غالب افراد جامعه که در رابطه با وضعیت سلامتی خود اطلاعات و آگاهی درستی ندارند، با استفاده از سیستم کنونی، می‌توانند از وضعیت جسمی خود آگاه شده و میزان احتمال ابتلای به بیماری قلبی را، توسط سیستم محاسبه کنند و اقدامات پیشگیرانه یا پیشرفته متناسب با وضعیت خود را، اتخاذ نمایند. هر فرد می‌تواند در هر زمان و هر مکانی با آگاهی از وضعیت جسمی و سلامتی خود، کنترل‌های لازم را به عمل آورده و با مقایسه وضعیت سلامتی، در دوره‌های مختلف، سبک درست رفتاری و تغذیه‌ای و درمانی را انتخاب کند.

جهت پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌گردد که متغیرهای بیشتری را در نظر گرفته و با ایجاد قواعد بیشتر، از روش‌های پیچیده‌تر طبقه‌بندی و سازمان‌دهی قواعد استفاده گردد. همچنین توصیه می‌گردد که عوامل خطر اولویت‌بندی شوند تا میزان تأثیر هر یک از آنها در ابتلای به بیماری قلبی و عروقی کرونر سنجیده شود.

منابع

- Abrishami, Z., & Tabatabaee, H. (2015). *Design of a fuzzy expert system and a multi-layer neural network system for diagnosis of hypertension*. *Bull. Env. Pharmacol. Life Sci*, 4, 138-145.
- Adeli, A., & Neshat, M. (2010, March). *A fuzzy expert system for heart disease diagnosis*. In *Proceedings of International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists, Hong Kong (Vol. 1)*.
- Adlassnig, K., & Kolarz, G. (1982). *Computer-assisted medical diagnosis using fuzzy subsets*. *Approximate Reasoning in Decision Analysis (North-Holland, Amsterdam, 1982)*, 219-248.
- Andreeva, P. (2006). *Data modelling and specific rule generation via data mining techniques*. In *International Conference on Computer Systems and Technologies-CompSysTech*.
- Azadeh, A., Fam, I. M., Khoshnoud, M., & Nikafrouz, M. (2008). *Design and implementation of a fuzzy expert system for performance assessment of an integrated health, safety, environment (HSE) and ergonomics system: The case of a gas refinery*. *Information Sciences*, 178(22), 4280-4300.
- Azar, A. and Faraji, H. (2008). *Fuzzy Management Science, Ketab-e-Mehraban Publication(2nd)*, Tehran, Iran
- Chirinos, J. A., Veerani, A., Zambrano, J. P., Schob, A., Perez, G., Mendez, A. J., & Chakko, S. (2007). *Evaluation of comorbidity scores to predict all-cause mortality in patients with established coronary artery disease*. *International journal of cardiology*, 117(1), 97-102.
- Das, R., Turkoglu, I., & Sengur, A. (2009). *Effective diagnosis of heart disease through neural networks ensembles*. *Expert systems with applications*, 36(4), 7675-7680.
- Durkin J. (1994). *expert system design and development*, Newyork Prentic Hall. : Macmillan Publishing Company, Inc., 1994
- Esfahanipour, A., & Aghamiri, W. (2010). *Adapted neuro-fuzzy inference system on indirect approach TSK fuzzy rule base for stock market analysis*. *Expert Systems with Applications*, 37(7), 4742-4748.
- Fasanghari, M., & Montazer, G. A. (2010). *Design and implementation of fuzzy expert system for Tehran Stock Exchange portfolio recommendation*. *Expert Systems with Applications*, 37(9), 6138-6147.

Gamberger, D., Lavrač, N., & Krstačić, G. (2003). *Active subgroup mining: a case study in coronary heart disease risk group detection*. *Artificial Intelligence in Medicine*, 28(1), 27-57.

Karimian, F. (2007). "Using fuzzy expert systems in ordinary buildings structure design." Master Thesis, Architecture Faculty, University of Tehran, Iran.

Keleş, A., & Keleş, A. (2008). *ESTDD: Expert system for thyroid diseases diagnosis*. *Expert Systems with Applications*, 34(1), 242-246.

Korenevskiy, N. A. (2015). *Application of fuzzy logic for decision-making in medical expert systems*. *Biomedical Engineering*, 49(1), 46-49.

Kurt, I., Ture, M., & Kurum, A. T. (2008). *Comparing performances of logistic regression, classification and regression tree, and neural networks for predicting coronary artery disease*. *Expert systems with applications*, 34(1), 366-374.

Langarizade M, Khajehpour E, Khajehpour H, Noori T. (2014). *Fuzzy Expert System for Diagnosis of Bacterial Meningitis from Other Types of Meningitis in Children*. *Journal of Health and Biomedical Informatics*.; 1 (1) :19-25

Li, S., & Li, J. Z. (2010). *AgentsInternational: Integration of multiple agents, simulation, knowledge bases and fuzzy logic for international marketing decision making*. *Expert Systems with Applications*, 37(3), 2580-2587.

Maria Jose´ de, Paula Castanho La,e´cio, Carvalho de Barros Akebo Yamakami c, Lae´rcio Luis Vendite. (2008). *An example in prostate cancer, elsevier, Applied Mathematics and Computation*, (202) 78-85.

Maihami, V., Khormehr, A., & Rahimi, E. (2016). *Designing an expert system for prediction of heart attack using fuzzy systems*. *Scientific Journal of Kurdistan University of Medical Sciences*, 21(4), 118-131.

Muthukaruppan, S., & Er, M. J. (2012). *A hybrid particle swarm optimization based fuzzy expert system for the diagnosis of coronary artery disease*. *Expert Systems with Applications*, 39(14), 11657-11665.

Nalavade, J., Gavali, M., Gohil, N., & Jamale, S. (2014). *Impelling Heart Attack Prediction System using Data Mining and Artificial Neural Network*. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 4(3), 1-5.

Ngai, E. W. T., & Wat, F. K. T. (2003). *Design and development of a fuzzy expert system for hotel selection*. Omega, 31(4), 275-286.

Omid, M., Lashgari, M., Mobli, H., Alimardani, R., Mohtasebi, S., & Hesamifard, R. (2010). *Design of fuzzy logic control system incorporating human expert knowledge for combine harvester*. Expert Systems with Applications, 37(10), 7080-7085

Omran, A. R. (1979). *Changing patterns of health and disease during the process of national development*. Health, Illness and Medicine: A Reader in Medical Sociology. Chicago, IL: Rand McNally.

Pal, D., Mandana, K. M., Pal, S., Sarkar, D., & Chakraborty, C. (2012). *Fuzzy expert system approach for coronary artery disease screening using clinical parameters*. Knowledge-Based Systems, 36, 162-174.

Russell, S. J., & Norvig, P. (1995). *A modern, agent-oriented approach to introductory artificial intelligence*. SIGART Bulletin, 6(2), 24-26.

Samavat T & Shams M. (2013). *Prevention ways and Controlling Coronary Artery Disease* (especially for government staff), Ministry of Health and Medical Education.

Shantakumar B. (2009), *Intelligent and Effective Heart Attack Prediction System Using Data Mining and Artificial Neural Network*, European journal of scientific research ,vol.3.1 no.4, pp 642 – 656

Shortliffe, E. H. (1976). *Computer-based medical consultation. MYCIN*.

Siler, W., & Buckley, J. J. (2005). *Fuzzy expert systems and fuzzy reasoning*. John Wiley & Sons.

Sohrabi, B., Vanani, I. R., Tahmasebipur, K., & Fazli, S. (2012). *An exploratory analysis of hotel selection factors: A comprehensive survey of Tehran hotels*. International Journal of Hospitality Management, 31(1), 96-106.

Tsipouras, M. G., Exarchos, T. P., Fotiadis, D. I., Kotsia, A. P., Vakalis, K. V., Naka, K. K., & Michalis, L. K. (2008). *Automated diagnosis of coronary artery disease based on data mining and fuzzy modeling*. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 12(4), 447-458.

Ustundag, A., Kılınc, M. S., & Cevikcan, E. (2010). *Fuzzy rule-based system for the economic analysis of RFID investments*. Expert systems with applications, 37(7), 5300-5306.

Vaisi-Raygani, A., Ghaneialvar, H., Rahimi, Z., Nomani, H., Saidi, M., Bahrehand, F., ... & Pourmotabbed, T. (2010). *The angiotensin converting enzyme D allele is an independent risk factor for early onset coronary artery disease*. *Clinical biochemistry*, 43(15), 1189-1194.

Zarandi, M. F., & Ahmadpour, P. (2009). *Fuzzy agent-based expert system for steel making process*. *Expert systems with applications*, 36(5), 9539-9547.

Zarandi, M. F., Zolnoori, M., Moin, M., & Heidarnejad, H. (2010). *A fuzzy rule-based expert system for diagnosing asthma*. *Scientia Iranica. Transaction E, Industrial Engineering*, 17(2), 129.