

طراحی یک سیستم عصبی فازی تطبیقی به عنوان یک ابزار تشخیصی بیماری دیابت

حمیده فاطمی دخت، مرجان کوچکی رفسنجانی

بخش علوم کامپیوتر، دانشکده ریاضی و کامپیوتر، دانشگاه شهید باهنر کرمان

چکیده

سیستم‌های خبره به طور گسترده‌ای در پزشکی برای تشخیص بیماری‌ها استفاده می‌شوند. یکی از عوامل مهم در بهبود حال بیماران، سرعت عمل در تشخیص و درمان بیماری است. دیابت یکی از بیماری‌های شایع در جهان محسوب می‌شود که میزان ابتلا به این بیماری با سرعت در حال افزایش است. دیابت یا بیماری قند یک اختلال سوخت‌وسازی در بدن است. در این بیماری سرعت و توانایی بدن در استفاده و سوخت و ساز کامل گلوکز کاهش یافته و باعث افزایش میزان قند خون در بدن می‌شود. منطق فازی یک روش مهم برای مدل‌سازی عدم قطعیت در سیستم‌های خبره می‌باشد. در این مقاله با استفاده از سیستم خبره فازی روشی برای تشخیص بیماری دیابت ارائه شده است. با توجه به اینکه توابع عضویت و قوانین فازی در کارایی سیستم خبره فازی نقش مهمی دارند، تعدیل توابع عضویت با استفاده از سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی انجام شده است. نتایج شبیه‌سازی، نشان می‌دهند که این سیستم خبره مبتنی بر قوانین فازی زمان تشخیص بیماری دیابت را کاهش داده و با دقت تشخیص ۹۵٪ عملکرد قابل قبولی را دارد.

Mathematics Subject Classification (2010): 03E72 , **Email:** h.fatimidokht@math.uk.ac.ir, kuchaki@uk.ac.ir.

عبارات و کلمات کلیدی: سیستم خبره فازی، شبکه عصبی، عصبی فازی تطبیقی، توابع عضویت، دیابت.

۱۳۹۸ (انجمن سیستم‌های فازی ایران)

۱ مقدمه

با گسترش کاربرد فناوری اطلاعات، تصمیم‌گیری‌های رایانه‌ای اهمیت زیادی پیدا کرده‌اند. یکی از بخش‌های مهم هوش مصنوعی^۱، سیستم‌های خبره^۲ هستند که سیستم‌های مبتنی بر دانش می‌باشند، سیستم‌های خبره کاربرد زیادی در علوم مختلف مانند صنعت، کنترل عملیات، فزانوردی و پزشکی دارند [۲]. امروزه دیابت یکی از شایع‌ترین بیماری‌ها در جهان است. دیابت یا همان بیماری قند که متأسفانه بسیاری را به خود مبتلا کرده است یک نوع اختلال متابولیک و سوخت‌وسازی در بدن است که به واسطه آن توانایی تولید انسولین در بدن از بین می‌رود یا برعکس مقاومت در برابر انسولین در بدن ایجاد می‌شود. در نتیجه انسولین تولیدی نمی‌تواند عملکرد نرمال خود را انجام دهد. در دیابت، سرعت و توانایی بدن در استفاده و سوخت‌وساز کامل گلوکز کاهش می‌یابد، به همین دلیل میزان قند خون افزایش یافته که به آن هایپرگلیسمی^۳ می‌گویند. دیابت دو نوع اصلی دارد. در دیابت نوع یک، تخریب سلول‌های بتا در پانکراس منجر به نقص تولید انسولین می‌شود و در نوع دو، مقاومت پیشرونده بدن به انسولین وجود دارد که در نهایت ممکن است به تخریب سلول‌های بتای پانکراس و نقص کامل تولید انسولین منجر شود. بیماری دیابت می‌تواند اعضای مختلف بدن مانند کلیه، چشم و اعصاب را درگیر کند و با افزایش ریسک بیماری‌های قلبی عروقی ارتباط مستقیمی دارد [۴، ۶، ۱۴]. به همین دلیل تشخیص به موقع این بیماری در پیشگیری از عوارض آن، مؤثر می‌باشد. هوش مصنوعی به هوشی که یک ماشین در شرایط مختلف از خود نشان می‌دهد، گفته می‌شود. به عبارت دیگر هوش مصنوعی به سیستم‌هایی گفته می‌شود که می‌توانند واکنش‌هایی مشابه رفتارهای هوشمند انسانی از جمله درک شرایط پیچیده، شبیه‌سازی فرآیندهای تفکری و شیوه‌های استدلالی انسانی و پاسخ موفق به آنها، یادگیری و توانایی کسب دانش و استدلال برای حل مسائل را داشته باشند. شاخه‌های گوناگونی از هوش مصنوعی در دانش‌های رایانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند که می‌توان به شبکه‌های عصبی مصنوعی^۴ و سیستم‌های خبره اشاره کرد [۱۹]. شبکه عصبی مصنوعی گروهی از گره‌های به هم پیوسته، همانند شبکه عصبی گسترده در مغز است. در واقع شبکه‌های عصبی سیستم‌ها و روش‌های محاسباتی نوین برای یادگیری ماشینی، نمایش دانش و در انتها اعمال دانش به دست آمده در جهت پیش‌بینی پاسخ‌های خروجی از سامانه‌های پیچیده هستند. ایده‌ی اصلی این شبکه‌ها الهام‌گرفته از شیوه‌ی کارکرد سیستم عصبی زیستی برای پردازش داده‌ها و اطلاعات به منظور یادگیری و ایجاد دانش می‌باشد [۱۰]. در هوش مصنوعی، یک سیستم خبره یک سیستم کامپیوتری است که توانایی تصمیم‌سازی یک انسان خبره را شبیه‌سازی می‌کند. سیستم‌های

^۱ (AI) Intelligence Artificial

^۲ systems Expert

^۳ Hyperglycemia

^۴ (ANN) Network Neural Artificial

خبره برای حل مشکلات پیچیده از طریق استنتاج در دانش خبرگی همانند یک انسان خبره است. سیستم خبره ساختاری است که به دو بخش موتور استنتاج و پایگاه دانش تقسیم می‌شود. در اجرای سیستم خبره، موتور استنتاج همانند یک انسان بر اساس پایگاه دانش، استدلال می‌کند. یک سیستم خبره فازی^۵ سیستم خبره‌ای است که شامل مجموعه‌ای از قوانین فازی و توابع عضویت^۶ می‌باشد [۵، ۱۷]. در این مقاله یک سیستم خبره فازی برای تشخیص بیماری دیابت ارائه شده است. با توجه به اینکه توابع عضویت و قوانین فازی در کارایی سیستم نقش مهمی دارند، برای تعدیل توابع عضویت از سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی^۷ استفاده شده است. در واقع، شبکه‌های عصبی، منطق فازی و روش‌های ترکیبی از جمله روش‌های تشخیص بیماری‌های مختلف در تحقیقات اخیر هستند. از جمله روش‌های ارائه شده برای تشخیص بیماری دیابت می‌توان به روش استفاده از سیستم استنتاج فازی با تعدیل توابع عضویت به وسیله الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات^۸ [۳] و روش FCS-ANTMINER [۱۲] اشاره کرد. روش اول یک سیستم خبره فازی است که برای افزایش دقت تشخیص از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات به منظور تعدیل توابع عضویت استفاده کرده است. در واقع در این روش، سیستم فازی به عنوان یک مسئله فضای جستجو در نظر گرفته می‌شود که هر نقطه در این فضا نشان دهنده یک مجموعه قوانین و توابع عضویت است و از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای جستجو در این فضا استفاده می‌کند. روش FCS-ANTMINER با استفاده از یک سیستم طبقه‌بندی مبتنی بر مورچه‌ها مجموعه‌ای از قوانین فازی را برای تشخیص بیماری دیابت استخراج و استفاده می‌کند. FCS-ANTMINER دارای دو مرحله اصلی می‌باشد: مرحله آموزش و مرحله تست. در مرحله آموزش از الگوریتم بهینه‌ساز جمعیت مورچگان^۹ برای تولید مجموعه‌ای از قوانین فازی از طریق الگوهای آموزش استفاده می‌شود. این روش قوانین مربوط به هر کلاس را به طور جداگانه می‌آموزد. ترکیبی از مجموعه‌های قوانین، سیستم طبقه‌بندی فازی را تشکیل می‌دهد. بعد از مرحله آموزش، عملکرد طبقه‌بندی ساخته شده با استفاده از موتور استنتاج فازی تست می‌شود. بخش‌های اصلی مقاله به شرح زیر می‌باشد. بخش ۲ شامل پیشنیازهای تحقیق شامل شبکه عصبی مصنوعی، منطق فازی و سیستم خبره فازی است. بخش ۳ روش پیشنهادی را شرح می‌دهد. نتایج شبیه‌سازی و مقایسه با روش‌های دیگر در بخش ۴ آورده شده است و بخش ۵ شامل نتیجه‌گیری است.

^۵ (FES) System Expert Fuzzy

^۶ functions Membership

^۷ (ANFIS) System Inference Neuro-Fuzzy Adaptive

^۸ (PSO) Optimization Swarm Particle

^۹ (ACO) Optimization Colony Ant

۲ پیشنهادها تحقیق

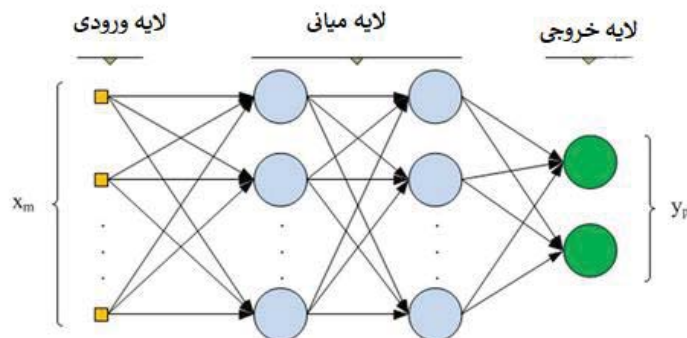
در این بخش ابتدا به معرفی شبکه عصبی مصنوعی پرداخته می‌شود. سپس، با توجه به اینکه از منطق فازی در تشخیص بیماری استفاده شده است، مفاهیم این منطق مرور می‌گردد.

۱.۲ شبکه عصبی مصنوعی

از زمانی که امکان پیاده‌سازی الگوریتم‌های محاسباتی با استفاده از رایانه‌ها فراهم شده است، در راستای شبیه‌سازی رفتار محاسباتی مغز انسان، کارهای پژوهشی بسیاری از سوی متخصصین علوم رایانه، مهندسی و همچنین ریاضیدان‌ها شروع شده است. یکی از نتایج این پژوهش‌ها موضوع «شبکه‌های عصبی مصنوعی» می‌باشد. در بحث شبکه‌های عصبی مصنوعی، مدل‌های ریاضی و نرم‌افزاری متعددی با الهام گرفتن از مغز انسان پیشنهاد شده‌اند که برای حل بسیاری از مسائل علمی، مهندسی و کاربردی، در حوزه‌های مختلف مانند طبقه‌بندی الگوها، گروه‌بندی الگوهای مشابه، پیدا کردن راه حل مشکلات بهینه‌سازی محدود، تشخیص بیماری‌های مختلف و غیره کاربرد دارند. با توجه به اینکه مغز انسان شامل تعداد بسیار زیادی از نورون‌ها^{۱۰} است که اطلاعات مختلف در جهان اطراف را پردازش و شناسایی می‌کنند، شبکه عصبی مصنوعی نیز شامل تعداد زیادی نورون است که به عنوان عناصر پردازشی بهم پیوسته برای حل یک مسئله با هم هماهنگ عمل می‌کنند. در واقع، یک شبکه عصبی مصنوعی، از سه لایه ورودی، خروجی و پردازش تشکیل شده است، بطوریکه هر لایه شامل گروهی از نورون‌ها است که با نورون‌های لایه‌های دیگر در ارتباط هستند. نورون، کوچک‌ترین واحد پردازشگر اطلاعات است که اساس عملکرد شبکه‌های عصبی را تشکیل می‌دهد. یک شبکه‌ی عصبی مصنوعی مجموعه‌ای از نورون‌هاست که با قرار گرفتن در لایه‌های مختلف، معماری خاصی را بر مبنای ارتباطات بین نورون‌ها در لایه‌های مختلف تشکیل می‌دهند. نورون می‌تواند یک تابع ریاضی غیرخطی باشد، در نتیجه یک شبکه‌ی عصبی که از اجتماع این نورون‌ها تشکیل می‌شود، نیز می‌تواند یک سامانه‌ی کاملاً پیچیده و غیرخطی باشد. در شبکه‌ی عصبی مصنوعی هر نورون به‌طور مستقل عمل می‌کند و رفتار کلی شبکه، برآیند رفتار نورون‌های متعدد است. به عبارت دیگر، نورون‌ها در یک روند همکاری، یکدیگر را تصحیح می‌کنند. در شکل ۱ ساختار یک شبکه عصبی مصنوعی نشان داده شده است.

الگوریتم‌های متفاوتی برای آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی وجود دارد. یکی از این الگوریتم‌ها، روش پس انتشار می‌باشد. پس انتشار یک روش یادگیری با نظارت است که می‌تواند برای طبقه‌بندی

^{۱۰} Neuron



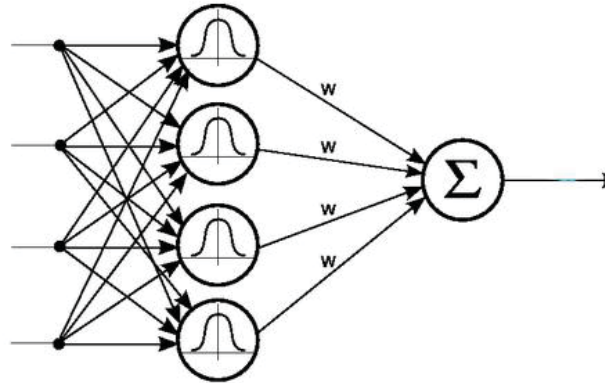
شکل ۱: ساختار شبکه عصبی

بسیاری از انواع داده‌ها استفاده شود. این نوع شبکه یک شبکه‌ی پیش‌خورد^{۱۱} چندلایه نیز نامیده می‌شود که از بردارهای ورودی و بردارهای هدف مربوطه برای آموزش شبکه استفاده خواهد شد. در واقع یکی از پایه‌ای‌ترین مدل‌های عصبی موجود، مدل پرسپترون چند لایه^{۱۲} است که عملکرد انتقالی مغز انسان را شبیه‌سازی می‌کند. در این نوع شبکه عصبی، بیشتر رفتار شبکه‌ای مغز انسان و انتشار سیگنال در آن مد نظر بوده است و از این رو، با نام شبکه‌های پیش‌خورد نیز نامیده می‌شوند. هر یک از نرون‌ها پس از دریافت ورودی (از یک سلول عصبی یا غیر عصبی دیگر)، پردازشی روی آن انجام می‌دهند و نتیجه را به یک سلول دیگر (عصبی یا غیر عصبی) انتقال می‌دهند. این رفتار تا حصول نتیجه‌ای مشخص ادامه دارد، که احتمالاً در نهایت منجر به یک تصمیم، پردازش، تفکر و یا حرکت خواهد شد. شکل ۲ یک پرسپترون چند لایه را نشان می‌دهد.

۲.۲ منطق فازی

منطق فازی اولین بار توسط پرفسور لطفی عسگرزاده در مقاله‌ای به نام «مجموعه‌های فازی» در سال ۱۹۶۵ معرفی شد. هدف اولیه او در آن زمان، توسعه مدلی کارآمدتر برای توصیف فرآیند پردازش زبان‌های طبیعی بود. او مفاهیم و اصلاحاتی همچون مجموعه‌های فازی، رویدادهای فازی، اعداد فازی و فازی‌سازی را وارد علوم ریاضیات و مهندسی نمود [۱، ۲۲]. بعضی از مفاهیم اصلی در منطق فازی عبارتند از:

^{۱۱} Network Feedforward
^{۱۲} (MLP) Perceptron Multi-Layer



شکل ۲: پرسپترون چند لایه

مجموعه فازی، توابع عضویت و قوانین اگر-آنگاه. فرض کنید U مجموعه مرجع باشد، زیرمجموعه‌ای مانند A از آن را فازی می‌نامیم هرگاه عضویت هر عنصر $u \in U$ در A را بتوان به صورتی در فاصله واحد $[0, 1]$ درجه‌بندی کرد. عضویت اعضای مجموعه از طریق تابع $\mu(u)$ مشخص می‌شود که u نمایانگر یک عضو مشخص و μ تابعی فازی است. تابع عضویت یک مجموعه‌ی فازی تعمیم‌یافته تابع مشخصه در مجموعه‌های معمولی است. به طور کلی هر جا که عدم ذکر مجموعه U باعث ابهام نباشد، از بیان آن خودداری کرده و A را یک مجموعه فازی می‌نامند.

$$A = \{(u, \mu(u)) | u \in U\} \quad (1)$$

برای هر مجموعه U ، تابع عضویت آن مجموعه تابعی است از U نسبت به بازه $[0, 1]$. تابع عضویت مجموعه‌ی فازی A معمولاً بصورت μ_A نمایش داده می‌شود که برای هر عنصر $u \in U$ ، مقدار $\mu_A(u)$ درجه عضویت u در مجموعه‌ی فازی A می‌باشد. تعدادی از توابع عضویت عبارتند از: توابع عضویت مثلثی، دوزنقه‌ای و گاوسی. قوانین اگر-آنگاه برای فرمول‌بندی دستورات شرطی منطق فازی استفاده می‌شوند. فرض کنید یک دستور اگر-آنگاه فازی بصورت زیر باشد:

B is y then A is x if

که A و B ، به ترتیب، ارزش‌های زبان شناختی تعریف شده براساس مجموعه‌های فازی X و Y هستند. قسمت اگر قانون "x is A" مقدم و قسمت آنگاه قانون "y is B" نتیجه نامیده می‌شود [۲۳، ۱]. استنتاج

فازی^{۱۳} فرآیندی است که در آن به کمک یک مشاهده و با استفاده از مجموعه‌ای از قواعد فازی که بیان‌گر ارتباط بین متغیرهای سیستم هستند، می‌توان یک نتیجه با معنی و احتمالاً غیردقیق به دست آورد. انواع الگوریتم‌های استنتاج فازی عبارتند از: الگوریتم استنتاج مددانی^{۱۴} و الگوریتم استنتاج سوگنو^{۱۵}، که در تعیین خروجی با هم تفاوت دارند. فرآیند استنتاج فازی شامل ۴ مرحله‌ی اصلی می‌باشد: فازی‌کردن ورودی‌ها^{۱۶}، پایگاه قوانین^{۱۷}، به کار بردن روش استلزام^{۱۸} و غیرفازی‌سازی^{۱۹}. در مرحله‌ی فازی‌کردن ورودی‌ها، درجه عضویت هر یک از ورودی‌ها از طریق توابع عضویت مشخص می‌شود. بعد از فازی‌کردن ورودی‌ها، قوانین مورد استفاده برای تصمیم‌گیری، مشخص می‌شوند. بعد از مشخص شدن قوانین، روش استلزام به کار برده می‌شود، که ورودی فرآیند استلزام عدد داده شده توسط مقدم و خروجی یک مجموعه فازی می‌باشد. آخرین مرحله‌ی استنتاج فازی، غیرفازی‌سازی است، که ورودی فرآیند غیرفازی‌سازی یک مجموعه‌ی فازی و خروجی آن یک مقدار عددی است [۲۳]. در این مقاله از سیستم استنتاج مددانی و توابع عضویت مثلثی استفاده می‌شود که به صورت زیر تعریف می‌گردند:

$$Triangle(x : a, b, c) = \begin{cases} \circ & x < a \\ (x - a)/(c - a) & a \leq x \leq c \\ (b - x)/(b - c) & c \leq x \leq b \\ \circ & x > b \end{cases} \quad (۲)$$

که پارامترهای a و b به ترتیب کران پایین و کران بالا و c رأس مثلث را نشان می‌دهد.

۳.۲ سیستم خبره فازی

سیستم‌های خبره فازی نوعی از سیستم‌های خبره هستند که در آن‌ها به جای استفاده از منطق دو ارزشی از منطق فازی استفاده می‌شود. این سیستم‌ها مجموعه‌ای از توابع عضویت و قوانین را شامل می‌شوند که برای استدلال مورد استفاده قرار می‌گیرند. سیستم‌های خبره فازی مبتنی بر قواعد هستند، به طوری که قلب این

^{۱۳} Inference Fuzzy

^{۱۴} Mamdani

^{۱۵} Sugeno

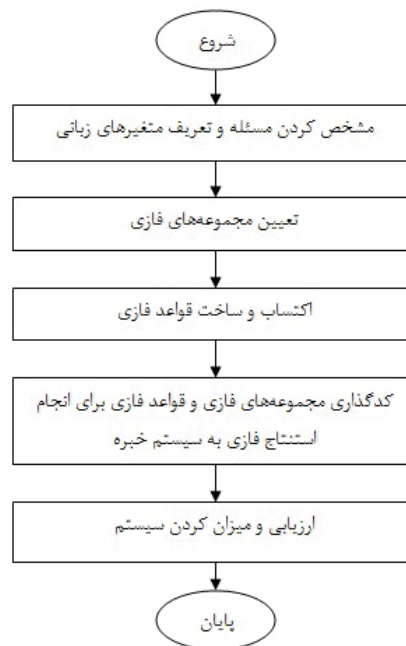
^{۱۶} Fuzzification

^{۱۷} base Rule

^{۱۸} Inference

^{۱۹} Difuzzify

سیستم‌ها پایگاه دانشی است که از قواعد اگر-آنگاه فازی تشکیل شده است. اجزای یک سیستم خبره فازی عبارتند از: (۱) یک مجموعه قواعد اگر-آنگاه، (۲) یک بدنه از حقایق شامل توابع عضویت و مجموعه‌های فازی و (۳) یک موتور استنتاج. از جمله کاربردهای سیستم‌های خبره فازی می‌توان به شناسایی الگو، سیستم‌های مالی و تحلیل داده اشاره کرد. فرآیند ایجاد یک سیستم خبره فازی شامل ۵ مرحله می‌باشد که عبارتند از: (۱) مشخص کردن مسئله و تعریف متغیرهای زبانی، (۲) تعیین مجموعه‌های فازی، (۳) اکتساب و ساخت قواعد فازی، (۴) کدگذاری مجموعه‌های فازی و قواعد فازی برای انجام استنتاج فازی به سیستم خبره و (۵) ارزیابی و میزان کردن سیستم. شکل ۳ فلوجارت مربوط به ایجاد یک سیستم خبره فازی را نشان می‌دهد.



شکل ۳: فلوجارت ایجاد یک سیستم خبره فازی

۳ روش پیشنهادی: تشخیص بیماری دیابت با استفاده از سیستم خبره فازی

در این بخش، تشخیص بیماری دیابت با استفاده از سیستم خبره فازی توضیح داده می‌شود.

۱.۳ بیماری دیابت نوع یک

دیابت نوع یک که در گذشته دیابت وابسته به انسولین نامیده می‌شد، در کودکان و جوانان شایع‌تر است. بدن افراد مبتلا به دیابت نوع یک قادر به تولید انسولین کافی نمی‌باشد. در این نوع از دیابت تخریب سلولی سلول‌های بتا در پانکراس اتفاق می‌افتد. در نتیجه پانکراس هیچ انسولینی ترشح نمی‌کند، انسولین هورمونی است که بدن را قادر می‌سازد تا گلوکز موجود در غذا را به انرژی تبدیل کند. چنانچه قند موجود در خون نتواند وارد سلول‌ها شود، در رگ‌ها انباشته شده و نتیجه آن افزایش قند خون است. قند خون بالا به مرور زمان می‌تواند تأثیرات جبران ناپذیری را بر روی اعضای مختلف بدن داشته باشد. با وجود اینکه از دیابت نوع یک اغلب به عنوان دیابت دوره نوجوانی یاد می‌شود ولی امکان ابتلای به آن در هر سنی وجود دارد. تشخیص سریع و به موقع این بیماری می‌تواند از عوارض آن همچون ناراحتی‌های قلبی، نابینایی، فشار خون بالا، اختلالات عصبی و نارسایی‌های کلیوی پیشگیری کند. دیابت نوع یک دربرگیرنده ۵ تا ۱۰ درصد از انواع دیابت است [۴، ۷].

۱.۱.۳ متغیرهای ورودی

داده‌هایی که برای ورودی منطقی سیستم استنتاج فازی استفاده شده‌اند براساس مجله‌ها و مصاحبه با پزشکان و تجربه‌ی آن‌ها انتخاب شده‌اند. برای مدل فازی پیشنهاد شده، ۸ متغیر ورودی و یک متغیر خروجی وجود دارد. متغیرهای ورودی عبارتند از [۳]:

- تعداد زمان بارداری^{۲۰}
- غلظت گلوکز پلازما ۲ ساعت در آزمایش تحمل گلوکز خوراکی^{۲۱}
- فشار خون دیاستولیک (mmHg)^{۲۲}
- ضخامت پوست (mm)^{۲۳}

^{۲۰} pregnant time of Number

^{۲۱} test tolerance glucose oral an in hours ۲ a concentration glucose Plasma

^{۲۲} Hg) (mm pressure blood Diastolic

^{۲۳} (mm) thickness fold skin Triceps

- انسولین سرم دو ساعته (muU/ml)^{۲۴}
- شاخص توده بدن (وزن/kg)/(ارتفاع در متر)^۲ (۲)^{۲۵}
- عملکرد پیشینه‌ی خانوادگی دیابت^{۲۶}
- سن (سال)^{۲۷}

توابع عضویت این متغیرها، مثلی است. جدول ۱ ارزش‌های زبانی مربوط به هر یک از متغیرها را نشان می‌دهد.

۲.۳ بیماری دیابت نوع دو

دیابت نوع دو که در گذشته به آن دیابت غیروابسته به انسولین یا دیابت بزرگسالان گفته می‌شد، نوعی اختلال در سوخت‌وساز بدن است که با بالا بودن گلوکز خون در شرایط مقاومت در مقابل انسولین و کمبود نسبی انسولین شناسایی می‌شود. بدن افراد مبتلا به دیابت نوع دو، انسولین می‌سازند، اما یا مقدار آن کافی نیست یا استفاده از آنچه ساخته می‌شود، مشکل است. نشانه‌های این بیماری عبارتند از احساس تشنگی مفرط، تکرر ادرار و احساس گرسنگی مفرط. ۹۰ درصد افراد مبتلا به دیابت نوع دو دچار هستند و ۱۰ درصد دیگر به ترتیب مبتلا به دیابت نوع یک و دیابت بارداری می‌باشند. از جمله عوامل مهم در خطر ابتلا به دیابت نوع دو چاقی و کم تحرکی می‌باشد. همچنین داشتن پیشینه‌ی خانوادگی نیز خطر ابتلا را افزایش می‌دهد. از دیگر دلایل آن می‌توان به عدم تحرک، فشار خون بالا، داشتن HDL خون پایین یا تری‌گلیسیرید بالا اشاره کرد [۸، ۱۶، ۲۱].

^{۲۴} ۲-Hour (mu insulin serum) U/ml

^{۲۵} m) in (height kg/ in (weight index mass Body

^{۲۶} function pedigree Diabetes

^{۲۷} (years) Age

جدول ۱: ارزش‌های زبانی متغیرهای ورودی

ارزش زبانی	بازه	متغیر ورودی
کم متوسط زیاد خیلی زیاد	۰-۳ ۲-۶ ۵-۱۰ ۹-۱۷	تعداد زمان بارداری
متوسط زیاد خیلی زیاد	۰-۱۴۰ ۱۳۹-۲۰۰ ۱۹۹-۳۰۰	غلظت گلوکز پلاسما ۲ ساعت در آزمایش تحمل گلوکز خوراکی
متوسط زیاد خیلی زیاد	۰-۸۰ ۷۹-۹۰ ۸۹-۱۲۵	فشار خون دیاستولیک
کم متوسط زیاد	۰-۲۳ ۲۲-۲۶ ۲۵-۱۰۰	ضخامت پوست
کم متوسط زیاد	۰-۱۶ ۱۵-۱۶۶ ۱۶۵-۸۵۰	انسولین سرم دو ساعته
کم متوسط زیاد خیلی زیاد	۰-۵/۱۸ ۱۸-۲۵ ۵/۲۴-۳۰ ۵/۲۸-۶۸	شاخص توده بدن
کم متوسط زیاد	۰-۰۹/۰ ۰۸/۰-۴/۰ ۳۸/۰-۳	عملکرد پیشینه‌ی خانوادگی دیابت
کم متوسط زیاد خیلی زیاد	۰-۲۱ ۲۰-۳۵ ۳۴-۵۰ ۴۹-۸۱	سن

۱.۲.۳ متغیرهای ورودی

متغیرهای ورودی مورد استفاده در این تحقیق برای سیستم استنتاج فازی به منظور تشخیص دیابت نوع دو نتیجه‌ی یک تحلیل کامل توسط تیم پزشکان از بخش DiabetIMSS می‌باشند. این متغیرها عبارتند از [۱۶]:

- نرخ فیلتراسیون گلومرولی^{۲۸}: ظرفیت فیلترکردن کلیه‌ها را اندازه‌گیری می‌کند. سطح طبیعی این متغیر با توجه به سن، جنس و اندازه‌ی بدن متفاوت است.

^{۲۸} Glomerular Filtration Rate (GFR)

- کراتینین سرم^{۲۹} : شاخصی مهم از سلامت کلیه است که به آسانی قابل اندازه‌گیری می‌باشد. اندازه‌گیری از طریق متابولیسم عضلانی انجام می‌شود که توسط کلیه‌ها بدون تغییر باقی می‌ماند.
- اسیداوریک^{۳۰} : عامل مربوط به آسیب پیشرونده کلیوی است، که به طور مستقیم یا از طریق آسیب عروقی کلیه، و یا هر دو مورد ایجاد می‌شود.
- اختلالات چربی خون (دیسپیدی)^{۳۱} : یک مقدار غیرطبیعی چربی (مانند تری‌گلیسرید، کلسترول و / یا فسفولیپید چربی) در خون است که یکی از عوامل خطر اصلی بیماری قلبی عروقی در دیابت می‌باشد.
- گلوکز خون^{۳۲} : مقدار گلوکز موجود در خون انسان است. سطح بالای گلوکز در بیماران مبتلا به دیابت نوع دو یک عامل خطر مهم است.
- فشار خون^{۳۳} : یک وضعیت پزشکی درازمدت است که فشار خون در شریان‌ها به طور مداوم بالا می‌رود. در واقع، پیشرفت نروپاتی به شدت با فشار خون بالا مرتبط است و در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ وجود دارد.
- طول مدت بیماری^{۳۴} : مدت زمان بیماری بستگی به شیوع نروپاتی کلینیکی دیابتی دارد.

۳.۳ تشخیص بیماری دیابت با استفاده از سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی

روش‌های فازی یکی از راه‌حل‌های شناخته شده برای مسائل کلاس‌بندی هستند. نقطه شروع ساخت یک سیستم فازی به دست آوردن مجموعه‌ای از قوانین اگر-آنگاه با استفاده از دانش فرد خبره می‌باشد. منطق فازی، قوانین را به خوبی تفسیر می‌کند اما نمی‌تواند قوانین را به صورت خودکار به دست آورد. یکی دیگر از روش‌های نوین کلاس‌بندی، شبکه‌های عصبی مصنوعی هستند که سیستم عصبی انسان شامل نورون‌ها را شبیه‌سازی می‌کنند. هر شبکه عصبی شامل یک یا چند لایه از نورون‌ها می‌باشد. آرایش نورون‌ها در هر لایه و ارتباط بین لایه‌ها، معماری شبکه عصبی را تشکیل می‌دهد. این شبکه‌ها قابلیت آموزش‌پذیری با استفاده از الگوهای آموزشی (ورودی و خروجی‌های متناسب) را دارند، اما توانایی تفسیر قوانین را ندارند. بدین منظور برای غلبه بر مشکلات به دست آوردن و تفسیر قوانین، از ترکیب شبکه عصبی و منطق فازی استفاده شده و به این ترتیب مدل سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی ارائه شده است [۱۵، ۲۰]. در شکل ۴ یک سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی نشان داده شده است. سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی یک شبکه

^{۲۹} creatinine Serum

^{۳۰} acid Uric

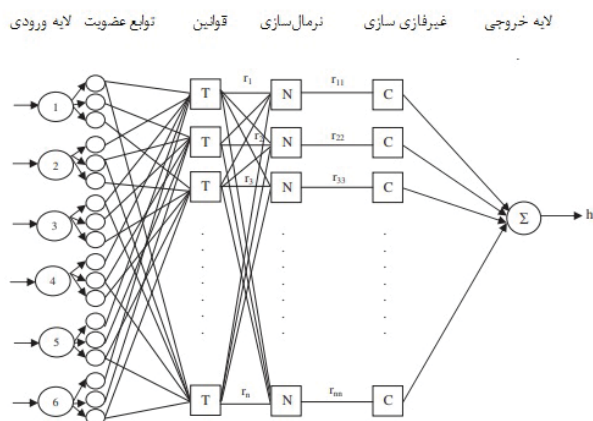
^{۳۱} Dyslipidemia

^{۳۲} glucose Blood

^{۳۳} Hypertension

^{۳۴} disease the of Duration

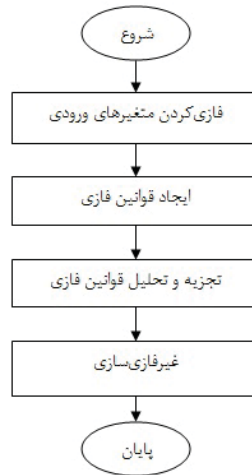
پیش‌خور چند لایه است. در این سیستم، محاسبات در هر مرحله بوسیله لایه-های پنهان نورون انجام می‌شود. تعداد نورون در لایه ورودی حاصلضرب تعداد ورودی‌های آموزشی و توابع عضویت هر ورودی، می‌باشد. نورون در لایه اول و دوم به ترتیب مطابق با توابع عضویت و قوانین منطقی فازی هستند. در لایه سوم، نورون وظیفه انجام ارزیابی قوانین و غیرفازی‌سازی را برعهده دارند. سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی قواعد فازی را از داده‌های عددی یا دانش خبره استخراج کرده و به طور تطبیقی یک پایگاه قاعده را می‌سازد [۱۸]. فلوجارت مربوط به روش پیشنهادی در شکل ۵ نشان داده شده است. در واقع فرآیند



شکل ۴: سیستم عصبی فازی تطبیقی

استنتاج این روش شامل مراحل زیر می‌باشد:

- ۱) فازی‌کردن متغیرهای ورودی: در این مرحله درجه عضویت هر یک از ورودی‌ها از طریق توابع عضویت مشخص می‌شود. در واقع هر ورودی که یک مقدار عددی واضح است به یک متغیر زبانی تبدیل می‌شود.
- ۲) ایجاد قوانین فازی: گره‌های مربوط به قانون فازی در لایه سوم قرار دارند که تعداد این گره‌ها برابر قوانین تولید شده در پایه فازی است.
- ۳) تجزیه و تحلیل قوانین فازی: در این مرحله تجزیه و تحلیل خروجی بعد از استفاده از قوانین فازی برای متغیرهای ورودی، انجام می‌شود.
- ۴) غیرفازی‌سازی: آخرین لایه مربوط به فرآیند غیرفازی‌سازی است، که ورودی این فرآیند یک مجموعه‌ی فازی و خروجی آن یک مقدار عددی می‌باشد. روش کلاس‌بندی پیشنهاد شده شامل دو مرحله‌ی آموزش و آزمایش است. در مرحله آموزش، داده‌های آموزشی به سیستم داده می‌شوند و روش آموزش پس



شکل ۵: فلوچارت فرآیند استنتاج روش پیشنهادی

انتشار برای بروزکردن پارامترهای سیستم استنتاج فازی، به‌کار برده می‌شود. روش یادگیری استفاده شده، یادگیری با ناظر است که مقادیر ویژگی‌های ورودی به همراه خروجی حقیقی به سیستم داده می‌شود. فرآیند آموزش تا زمانی که حداقل میانگین مربع مطلوب به دست آید، ادامه پیدا می‌کند. در روش پیشنهادی مدل فازی سوگنو مورد استفاده قرار می‌گیرد و در لایه قوانین از عملگر T-norm استفاده می‌شود. برای غیرفازی‌سازی از میانگین وزن‌دار شده^{۳۵} استفاده خواهد شد. بعد از کامل شدن آموزش، از نمونه‌های برجسب‌دار نشده برای آزمایش سیستم عصبی فازی تطبیقی استفاده می‌شود.

۴ شبیه‌سازی و ارزیابی نتایج

در این بخش نتایج به دست آمده برای تشخیص بیماری دیابت نوع یک و دو، نشان داده می‌شود.

۱.۴ پایگاه داده

برای ساختن سیستم استنتاج فازی و انجام شبیه‌سازی از نرم افزار متلب (R2012b) استفاده شده است. برای تشخیص دیابت نوع یک پایگاه داده dataset Diabetes Indian Pima (PID) مورد استفاده قرار گرفته است [۹]. این پایگاه داده شامل ۷۶۸ نمونه می‌باشد که ۵۰۰ نمونه نرمال و ۲۶۸ نمونه بیماری دیابت است. همچنین پایگاه داده PID شامل ۸ ویژگی و ۲ کلاس می‌باشد. در مرحله آموزش از ۳۰۰ نمونه

^{۳۵} (WM) Mean Weighted

و در مرحله آزمایش از ۲۵۰ نمونه‌ی این پایگاه داده که به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند، استفاده می‌گردد. برای تشخیص دیابت نوع دو از پایگاه داده‌ی آماده شده توسط تیم پزشکان بخش DiabetIMSS استفاده شده است.

۲.۴ ارزیابی نتایج

با توجه به اینکه مقادیر ویژگی‌ها ممکن است در بازه‌های متفاوتی قرار داشته باشند، از نرمال‌سازی استفاده کرده تا هر متغیر نرمال شده در بازه [۰ و ۱] قرار داده شود. برای انجام نرمال‌سازی ویژگی‌ها، فرمول زیر بکار برده شده است [۱۲]:

$$Normalize(X) = (X - X_{min}) / (X_{max} - X_{min}) \quad (۳)$$

که X مقدار ویژگی، X_{min} و X_{max} به ترتیب مقدار حداقل و حداکثر ویژگی هستند. کارایی الگوریتم‌های ارائه شده براساس روش ارزیابی *foldcross-validation* - ۱۰، تقریب زده می‌شود. معیارهایی که برای ارزیابی و مقایسه کارایی روش‌های تشخیص بیماری دیابت استفاده می‌شوند عبارتند از: دقت و بازخوانی [۱۲].

$$Precision = \frac{TP}{(TP + FN)}, Precision = \frac{TP}{(TP + FP)} \quad (۴)$$

که در آن، True Positives (TP): تعداد نمونه‌هایی است که به درستی سالم تشخیص داده شده‌اند. True Negatives (TN): تعداد نمونه‌هایی است که به درستی بیمار تشخیص داده شده‌اند. False Positives (FP): تعداد نمونه‌هایی است که به اشتباه سالم تشخیص داده شده‌اند. False Negatives (FN): تعداد نمونه‌هایی است که به اشتباه بیمار تشخیص داده شده‌اند.

در جدول ۲ نتایج مربوط به تشخیص دیابت نوع یک با استفاده از سیستم استنتاج فازی با تعدیل توابع عضویت با PSO [۳]، FCS-ANTMINER [۱۲] و سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی پیشنهادی براساس معیارهای معرفی شده، نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی پیشنهادی به دقت بالاتری دست می‌یابد. برای تشخیص بیماری دیابت نوع ۲ از سیستم خبره فازی، شبکه عصبی و سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی پیشنهادی استفاده شده است. در جدول ۳ نتایج مربوط به این روش‌ها براساس معیارهای معرفی شده، نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود نرخ تشخیص سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی پیشنهادی از سیستم خبره فازی و شبکه عصبی بالاتر می‌باشد.

جدول ۲: ارزیابی کارایی روش‌های تشخیص دیابت نوع یک

بازخوانی	دقت	روش
۰/۸۳	۰/۸۴	سیستم استنتاج فازی با تعدیل توابع عضویت با PSO [۳]
۰/۸۴	۰/۸۴	FCS-ANTMINER [۱۲]
۰/۸۵	۰/۸۷	سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی پیشنهادی

جدول ۳: ارزیابی کارایی روش‌های تشخیص دیابت نوع دو

بازخوانی	دقت	روش
۹۳/۳۳%	۹۴%	سیستم خبره فازی
۸۵/۴%	۸۵/۵%	شبکه عصبی
۹۴/۵%	۹۵%	سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی پیشنهادی

۵ نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک سیستم مؤثر برای تشخیص بیماری دیابت نوع یک و دو ارائه شده است. از برخی روش‌های محاسبات نرم مانند منطق فازی و شبکه عصبی برای تشخیص این بیماری استفاده شده است. شبکه‌های عصبی و منطق فازی به عنوان ابزارهای کسب دانش، روش‌های قابل توجهی در بسیاری از برنامه‌های کاربردی هستند. تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که ترکیب منطق فازی و شبکه عصبی می‌تواند به محدودیت‌های این روش‌ها غلبه کند. در واقع، با توجه به اینکه توابع عضویت و قوانین فازی در صحت کلاس‌بندی نقش مهمی دارند، برای تعدیل و بهینه‌سازی توابع عضویت از سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی استفاده شده است. در واقع با توجه به اینکه این سیستم، شبکه‌های عصبی و مفاهیم منطق فازی را ترکیب می‌کند، می‌تواند از امکانات هر دو آن‌ها استفاده کند. همچنین سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی دارای دقت بسیار بالایی بوده و برای طبقه‌بندی و تفکیک افراد مبتلا به بیماری دیابت می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به نتایج شبیه‌سازی و بررسی نرخ تشخیص سیستم خبره فازی، شبکه عصبی و سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی، مشخص می‌شود که سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی در تشخیص بیماری دیابت نوع یک و دو به دقت بالاتری دست می‌یابد و روش مناسب‌تری برای بهینه‌سازی توابع عضویت می‌باشد.

مراجع

[۱] اسلامی، ا. منطق فازی و کاربردهای آن. دانشگاه شهید باهنر کرمان، چاپ اول، ۱۳۹۱.

- [۲] اسلامی نصرت آبادی، ح.، طاهری، س.م. (۱۳۸۸) طراحی یک سیستم خبره برای تشخیص سرطان خون. ششمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت فناوری اطلاعات و ارتباطات، تهران، ایران.
- [۳] فاطمی دخت، ح.، کوچکی رفسنجانی، م. (۱۳۹۴) طراحی یک سیستم خبره فازی براساس الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات و سیستم عصبی فازی تطبیقی برای تشخیص بیماری دیابت. چهارمین کنگره مشترک سیستم های فازی و هوشمند ایران، زاهدان، ایران.
- [4] Abdullah, A. A., Fadil, N.S., Khairunizam, W. (2018) Development of Fuzzy Expert System for Diagnosis of Diabetes. In: Proceedings of 2018 International Conference on Computational Approach in Smart Systems Design and Applications (ICASSDA), Kuching, Malaysia.
- [5] Ahmadi, H., Gholamzadeh, M., Shahmoradi, L., Nilashi, M., Rashvand, P. (2018) Diseases diagnosis using fuzzy logic methods: A systematic and meta-analysis review. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. 1, 145-172.
- [6] American diabetes association (2010), (<http://www.diabetes.org/diabetes-basics>).
- [7] American diabetes association (2018), (<http://www.diabetes.org/diabetes-basics/type-1>).
- [8] American diabetes association (2018),(<http://www.diabetes.org/diabetes-basics/type-2>).
- [9] Blake, C.L., Merz, C.J. (1996) UCI repository of machine learning databases. Available: <http://www.ics.uci.edu./mlearn>
- [10] Dande, P., Samant, P. (2018) Acquaintance to artificial neural networks and use of artificial intelligence as a diagnostic tool for tuberculosis: A review. *Tuberculosis*, 108, 1-9.
- [11] Du, K.L., Swamy, M.N.S. (2013) *Neural Networks and Statistical Learning*, Springer Science & Business Media.
- [12] Fathi Ganji, M., Saniee Abadeh, M. (2011) A fuzzy classification system based on ant colony optimization for diabetes disease diagnosis. *Expert Systems with Applications*, 38, 14650-14659.
- [13] Fausett, L. (1994) *Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms and Applications*. Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ, USA.

- [14] <https://fa.wikipedia.org/wiki/>
- [15] Kadhim, M.A. (2018) FNDSB: A fuzzy-neuro decision support system for back pain diagnosis. *Cognitive Systems Research*, 52, 691-700.
- [16] Meza-Palacios, R., Aguilar-Lasserre, A.A., Urea-Bogarn, E.L., Vzquez-Rodrguez, C.F., Posada-Gmez, R., Trujillo-Mata, A. (2017) Development of a fuzzy expert system for the nephropathy control assessment in patients with type 2diabetes mellitus. *Expert Systems with Applications*, 72, 335–343.
- [17] 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, 11657–11665.
- [18] Raj Kumar, P.A., Selvakumar, S. (2013) Detection of distributed denial of service attacks using an ensemble of adaptive and hybrid neuro-fuzzy systems. *Computer Communications*, 36, 303–319.
- [19] Tack, C. (2018) Artificial intelligence and machine learning applications in musculoskeletal physiotherapy. *Musculoskeletal Science and Practice*, <https://doi.org/10.1016/j.msmsp.2018.11.012>.
- [20] Wang, G., Hao, J., Ma, J., Huang, L. (2010) A new approach to intrusion detection using Artificial Neural Networks and fuzzy clustering. *Expert Systems with Applications*, 37, 6225-6232.
- [21] Wu, H., Yang, S., Huang, Z., He, J., Wang, X. (2018) Type 2 diabetes mellitus prediction model based on data mining. *Informatics in Medicine Unlocked*, 10, 100-107.
- [22] Zadeh, L.A. (1965) Fuzzy sets. *Information and control*, 8, 338–353.
- [23] Zadeh, L.A. (2001) *Fuzzy Logic Toolbox for use with MATLAB*, MathWorks, 2001.