

طراحی سیستم خبره فازی پزشکی برای تشخیص مشکلات سیستم حرکتی

آمنه خدیور^{۱*}، فاطمه محمدی امیری^۲

۱. استادیار گروه مدیریت، دانشگاه الزهرا (س)

۲. کارشناس ارشد مدیریت فناوری اطلاعات، دانشگاه الزهرا (س)

(تاریخ دریافت: ۹۴/۰۷/۲۸، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده: ۹۶/۰۱/۳۰، تاریخ تصویب: ۹۶/۰۲/۲۰)

چکیده

هدف سیستم‌های خبره، استفاده از مهارت‌های افراد متخصص برای افراد غیرمتخصص است. تشخیص دیر هنگام مشکلات سیستم حرکتی، به مشکلاتی در دیگر نواحی منجر می‌شود. از این رو با طراحی سیستمی با دانش تخصصی که بیماری را تشخیص دهد و راه مناسب درمان را ارائه کند، شرایط درمان به موقع فراهم می‌شود. در این مقاله، سیستم خبره فازی برای تشخیص و درمان مشکلات سیستم حرکتی در ناحیه مچ دست، آرنج و شانه، به وسیله نرم افزار متلب طراحی شده است. دانش فرد خبره برای تشخیص و پیشنهاد درمان - که خروجی های روش دلفی فازی برای تشخیص و روش دلفی برای درمان است - به صورت قواعد فازی در پایگاه دانش سیستم ذخیره شده است. مطابق نتایج، در ۸۶٪ درصد موارد، تشخیص سیستم مانند تشخیص فرد خبره است. سیستم خبره پیشنهادی را می توان به عنوان یک منبع علمی در اختیار دانشجویان این رشته گذاشت یا برای تشخیص بیماری در اختیار مراکز بهداشتی مناطق محروم کشور قرار داد.

واژه‌های کلیدی: اخذ دانش، روش دلفی فازی، سیستم خبره فازی، مشکلات سیستم حرکتی.

مقدمه

به طور معمول، یک پزشک بر اساس شرح حال بیمار و معاینه فیزیکی وی، بررسی تصاویر پزشکی و همچنین نتایج تست های آزمایشگاهی، بیماری را تشخیص می دهد. با توجه به اینکه فناوری روز به روز در زمینه های زیادی در حال رشد است، هنوز تشخیص بیماری های پزشکی، فقط حاصل تجربه پزشک محسوب می شود. در تشخیص پزشکی، وضعیت آسیب شناختی فرد به کمک مجموعه ای از دانش در دسترس و علائم بیمار تعیین می شود. به این دلیل است که تشخیص یک هنر است، زیرا مشکلات پیچیده اند و به فاکتورهای زیادی بستگی دارند. در نتیجه، راه حل آنها هنوز به توانایی های پزشک بستگی دارد [۱].

[۲]. دستگاه های یادگیری، بر توسعه پروژه های ماشینی همراه با افزودن و تغییر اطلاعات جدید تمرکز دارند [۳]. محققان برای ایجاد یک سیستم فناوری اطلاعات در جهت کمک به تشخیص مشکلات پزشکی تلاش های زیادی انجام داده اند [۱، ۲]. روش های مبتنی بر کامپیوتر، به طور فزاینده ای به منظور بهبود کیفیت خدمات درمانی استفاده می شود [۲، ۴]. هوش مصنوعی، بخشی از علوم کامپیوتری

با تمرکز بر ایجاد سیستم های خبره است که می تواند مانند انسان های هوشمند رفتار کند [۵، ۶]. سیستم های خبره مبتنی بر قاعده در تشخیص پزشکی به کار می روند که شامل سیستم های مدیریت پایگاه دانش و تکنیک های هوش مصنوعی، مانند سیستم های مبتنی بر دانش یا سیستم های خبره اند [۲، ۴]. یک سیستم خبره، سیستمی است که از دانش بشر در کامپیوتر، برای حل مسائلی استفاده می کند که به طور معمول به هوش انسانی نیاز دارد [۷، ۸، ۹]. سیستم خبره این گونه تعریف می شود: «یک برنامه کامپیوتری هوشمند که با دانش و استنتاج، برای حل مسائلی که دشوارند و برای حل آنها تخصص انسان مورد نیاز است، به کار می رود» [۷، ۱۰].

با مطالعه بیماری ها و روش تشخیص آنها می توان به این نتیجه رسید که تشخیص بیماری دشوارتر از درمان آن است [۲]. بخش عمده ای از دانش شناخت علائم و درمان بیماری ها تجربی و در ذهن خبرگان است. سطح دانش متخصصان در زمینه اختلالات حرکتی متفاوت است و دسترسی به متخصصان خبره، در تمامی نقاط کشور و برای همه بیماران امکان پذیر نیست. هدف سیاست های بهداشتی

هستند؛ بدین معنا که می توان از آن ها در هر زمان و هر نقطه ای استفاده کرد. مزیت دیگر آن ها کاهش هزینه است، زیرا هزینه های ارائه تخصص برای هر کاربر تا حد زیادی کاهش می یابد. از سوی دیگر، یکی از معایب آن ها این است که نمی توانند به معاینه بیمار بپردازند. دیگر اینکه تخصص آن ها محدود به قلمرو دانشی است که در پایگاه داده سیستم قرار دارد و نمی توانند آن را به شرایط جدید تعمیم دهد [۱۱].

مسائل مختلفی وجود دارد که سیستم خبره در زمینه های گوناگون می تواند به حل آن ها بپردازد، از جمله علوم مهندسی، کسب و کار و پزشکی [۱۲، ۱۳]. اگرچه تخصص پزشکی، یکی از اولین حوزه هایی است که فناوری سیستم خبره برای آن به کار گرفته شد، زمینه های گوناگونی در پزشکی وجود دارد که سیستم خبره به طور موفقیت آمیزی برای آن ها به کار رفته است، از جمله فرایندهای تشخیصی، نظارت بر بیمار، درمان بیماری، تعیین میزان دارو [۱۳]، تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی و آموزش دانشجویان پزشکی. در مناطق دورافتاده - که پزشکان در دسترس نیستند و مراقبت های بهداشتی اندکی وجود دارد - باید از این سیستم ها استفاده شود. سیستم خبره تشخیصی پزشکی، در چنین شرایطی ابزاری هوشمند به شمار می رود [۷، ۱۰].

سیستم های خبره زیادی در زمینه های گوناگون پزشکی وجود دارد. برخی از آن ها کوچک اند. باین حال، نقش مثبتی در مراقبت های بهداشتی دارند. چندین نمونه موفق سیستم های خبره پزشکی در ادامه معرفی می شوند. یکی از معروف ترین سیستم های خبره پزشکی EMYCIN است. این سیستم، یک موتور استنتاج رو به عقب^۱ دارد و فایبینگهام، بوچانان و تد شرتلیف در سال ۱۹۸۰ در استانفورد آن را ارائه دادند. سیستم EMYCIN به تفسیر تست های عملکرد ریوی برای بیماران ریوی می پردازد [۱۳]، [۱۴]. ONCOCIN، سیستم خبره مبتنی بر قاعده^۲، در دانشگاه استانفورد برای مدیریت پروتکل سرطان ارائه شد. این سیستم به کمک پزشکان، برای درمان بیماران مبتلا به سرطان تحت شیمی درمانی طراحی شده است [۱۴]، [۱۵]. ESMEDA یک سیستم خبره مدیریت دانش برای تشخیص و مشاوره مناسب در درمان بیماری های

و سلامتی عمومی این است که همه افراد به تسهیلات سلامتی و بهداشتی دسترسی داشته باشند. با توجه به اینکه متخصصان خبره اغلب در شهرهای بزرگ هستند و در مناطق دورافتاده کمتر حضور دارند، همیشه این سؤال مطرح بوده است که چگونه می توان از دانش متخصصان برتر این حوزه در مناطق دور استفاده کرد و چگونه می توان دانشی را که حاصل تجربه خبرگان و در ذهن آن ها است، استخراج کرد و در اختیار دیگران قرار داد. از قابلیت های سیستم خبره این است که قادر است در زمینه های مختلف، طراحی و اجرا شود. یکی از کاربردهای سیستم خبره در علم پزشکی است؛ به این صورت که برای رسیدن به نتایج صحیح، قدم به قدم استدلال های یک پزشک خبره را تقلید می کند. از آنجاکه تاکنون سیستم خبره ای در زمینه تشخیص اختلالات حرکتی طراحی نشده است، در این پژوهش از سیستم خبره برای استخراج و در اختیار گذاشتن دانش خبرگان در زمینه این اختلالات بهره گرفته شده است. از طرفی با توجه به ماهیت مبهم این دانش نمی توان از رویکردهای قطعی برای طراحی این سیستم استفاده کرد؛ بنابراین، سیستم خبره فازی را می توان راهکار مناسبی برای حل این مسئله به شمار آورد. در این مطالعه، بر اختلالات سیستم حرکتی در ناحیه مچ دست، آرنج و شانه، شناسایی علائم، تشخیص و درمان آن ها تمرکز شده است.

برای جمع آوری دیدگاه های خبرگان، از روش دلفی فازی و دلفی استفاده شد. با توجه به تکرار جمع آوری اطلاعات و رسیدن به اجماع نظر خبرگان در این روش ها، اطلاعات به دست آمده دقت زیادی دارد که در زمینه پزشکی بسیار مهم است؛ در حالی که در سیستم های خبره پزشکی پیشین به آن پرداخته نشده است. همچنین با توجه به اینکه خروجی سیستم پیشنهادی، اختلالی است که بیشترین امتیاز را دارد، براساس نمره ای که سیستم به اختلال مورد نظر می دهد، می توان تا حدودی به درجه پیشرفت اختلال در بیمار پی برد.

مرور ادبیات

چندین مزیت برای ایجاد سیستم های تشخیص پزشکی با استفاده از یک سیستم خبره وجود دارد. این سیستم ها مانند یک پزشک نسخه می دهند و همیشه هم در دسترس

پزشک برای تشخیص بیماری خاص از آن‌ها بهره می‌گیرد. تمامی سیستم‌های موجود برای پردازش نوعی خاص از بیماری ایجاد شده‌اند، اما امکان اصلاح و پیشرفت آن‌ها وجود دارد [۲].

مجموعه‌های فازی

نظریه مجموعه‌ها یکی از ابزارهای مهم در ریاضیات مدرن است؛ مجموعه‌ای از انواع مشابه اشیای متمایز که به‌عنوان عناصر یک مجموعه شناخته شده‌اند. برخی از طبقات مانند «طبقه مردان کوتاه»، «طبقه مردان بلند»، «طبقه ساختمان‌های بلند» و «طبقه ماشین‌های گران‌قیمت» هستند که نوعی ابهام در تصمیم‌گیری وجود دارد در مورد اینکه آیا یک عنصر به یکی از این طبقات تعلق دارد یا خیر. در چنین طبقاتی نیاز نیست که یک شیء به یک کلاس تعلق داشته باشد، بلکه ممکن است دارای یک درجه تعلق باشد. مفهوم مجموعه‌های فازی را لطفی‌زاده معرفی کرد. مجموعه فازی، شکل گسترش یافته مجموعه‌های قطعی است و اجازه عضویت جزئی را به عناصر می‌دهد؛ در حالی که در مجموعه‌های قطعی، چنین شرایطی وجود ندارد. نیازی نیست که عضویت یک عنصر در مجموعه فازی کامل باشد. ممکن است مؤلفه‌ای متعلق به یک مجموعه فازی، مؤلفه برخی از مجموعه‌های فازی دیگر باشد. مجموعه‌های فازی برای مقابله با بی‌دقتی در داده‌ها و بسیاری از مشکلات مبهم دنیای واقعی به‌کار می‌روند. در مجموعه‌های فازی هیچ مرز دقیقی نیست؛ چراکه در برخی داده‌ها ابهام وجود دارد. درجه عضویت برای مجموعه‌های فازی بین صفر و یک است [۲۱].

سیستم استنتاج فازی

وظیفه اصلی سیستم استنتاج فازی^۷ تصمیم‌گیری براساس قاعده اگر-آن‌گاه است. در کنار قوانین اگر-آن‌گاه، سیستم استنتاج فازی برای تصمیم‌گیری‌ها از اتصال‌دهنده‌های AND یا OR استفاده می‌کند. سیستم استنتاج فازی، واحد کلیدی یک سیستم منطق فازی است. برای ورودی سیستم نیازی به فازی‌بودن نیست و ممکن است فازی یا قطعی باشد، اما خروجی آن همیشه یک مجموعه فازی است. فرایند فازی‌سازی^۸ و غیرفازی‌سازی^۹ از اهمیت زیادی در

سرماخوردگی، آنفلوآنزا، سرفه، تب، مشکلات گوش و چشم است [۱۶].

میر آناملو حسن، خواجه شیرعلم و احسن رجا چادوری [۱۷] یک پروژه سیستم خبره فازی را برای تشخیص بیماری‌های انسان توصیف کردند که برای تبادل اطلاعات سلامت بین متخصصان مراقبت‌های بهداشتی و بیماران به‌کار می‌رود. سیستم خبره، علائم لازم را از کاربر دریافت می‌کند و براساس قاعده اگر-آن‌گاه^۳، حالت‌های مختلف را بررسی و بیماری را تشخیص می‌دهد. یکی دیگر از پژوهش‌ها به‌وسیله دیپایسواس، ساگار بیارگی، نیلام پانس و نیرمالا شیند، در مقاله‌ای با عنوان «سیستم تشخیص بیماری» [۱۸] انجام گرفت. آن‌ها در این مقاله، یک سیستم خبره برای تشخیص بیماری‌های انسان طراحی کردند. سیستم روی داده‌های بیمار با ترکیب قوانین تولیدی و شبکه‌های عصبی^۴ کار می‌کند. از نرم‌افزار متلب^۵ برای طراحی سیستم استفاده شد و نتایج رضایت‌بخشی به‌دست آمد. عادل و نشاط، یک سیستم خبره فازی برای تشخیص بیماری‌های قلبی طراحی کردند [۱۹]. آن‌ها پایگاه داده سیستم را از بنیاد کلینیک کلیولند و مرکز پزشکی V.A.، لانگ بیچ گرفتند. سیستم ۱۳ ورودی و ۱ خروجی دارد و روش استنتاج ممدانی^۶ برای محاسبه خروجی به‌کار می‌رود. طراحی سیستم با استفاده از نرم‌افزار متلب انجام شد. سپس متخصصان قلب و عروق آن را آزمایش کردند و در ۹۴ درصد موارد تشخیص صحیح به‌دست آمد.

چانگ-شینگ لی، سنوور ممبر، IEEE و می-هیو وانگ [۲۰] نشان دادند که در علم هستی‌شناسی پیشین، به‌دلیل نبود اطمینان نمی‌توان به اندازه کافی از دانش موجود برای برخی از برنامه‌های کاربردی دنیای واقعی استفاده کرد، اما به کمک علم هستی‌شناسی فازی، مشکل قطعیت‌نداشتن دانش و اطلاعات حل می‌شود. آن‌ها برای نرم‌افزار پشتیبان تصمیم‌گیری‌های دیابتی، یک سیستم خبره فازی جدید ارائه دادند. سیستم از پنج لایه تشکیل شده که شامل لایه دانش، لایه ارتباط گروهی، لایه دامنه گروهی، لایه ارتباط شخصی و لایه دامنه شخصی است. این لایه‌ها برای توصیف نبود قطعیت در دانش استفاده می‌شود. مطابق بررسی، اطلاعات نامشخص زیادی وجود دارد که

در ناحیه مورد نظر مراجعه می‌کند و نیز با توجه به اینکه درد دارای ماهیت نسبی است و نمی‌توان برای آن میزان قطعی در نظر گرفت، براساس ماهیت فازی تشخیص اختلال، برای گردآوری اطلاعات مربوط به علائم اختلالات - که در نهایت به تشخیص منجر می‌شود - از روش دلفی فازی استفاده شد. از خبرگان خواسته شد که اندازه علائم هر اختلال را که از کتاب‌های موجود در این زمینه استخراج شده است، مشخص کنند و اگر بنا به تجربه و دانش خود علامت یا علائم دیگری برای اختلالات وجود دارد، در پایان پرسشنامه هر اختلال اضافه کنند. استفاده از متغیرهایی با ارزش‌های قطعی، خبرگان را در اظهار نظر دچار مشکل می‌کرد. به همین دلیل، واضح بود که متغیرهای کیفی، آزادی عمل بیشتری به خبرگان می‌داد. استفاده از متغیرهای کیفی مانند «کم»، «متوسط» و «زیاد» مشکلات فوق را تا حدودی حل کرد.

نظر افراد درباره متغیرهای کیفی مانند کم یا زیاد، یکسان نیست. از آنجاکه خبرگان خصوصیات متفاوتی دارند، ذهنیت‌های آن‌ها نیز متفاوت است. اگر به گزینه‌ها براساس ذهنیت‌های متفاوت پاسخ داده می‌شد، تجزیه و تحلیل متغیرها ارزشی نداشت، اما با تعریف دامنه متغیرهای کیفی، خبرگان با ذهنیت یکسان به پرسش‌ها پاسخ دادند؛ بنابراین، متغیرهای کیفی به صورت اعداد فازی ذوزنقه‌ای تعریف شدند:

$$(۴ \text{ و } ۲ \text{ و } ۰ \text{ و } ۰) = \text{کم}$$

$$(۷ \text{ و } ۶ \text{ و } ۴ \text{ و } ۳) = \text{متوسط}$$

$$(۱۰ \text{ و } ۱۰ \text{ و } ۸ \text{ و } ۶) = \text{زیاد}$$

پاسخ‌های دریافت‌شده از هریک از خبرگان در هر تکرار به صورت زیر است [۲۴]:

$$A^{(i)} = (a_1^i, a_2^i, a_3^i, a_4^i), \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (۱)$$

پس از دریافت دیدگاه‌های خبرگان، در مرحله اول باید محاسبه میانگین این دیدگاه‌ها صورت می‌پذیرفت. محاسبه این میانگین در هر مرحله به صورت اعداد فازی زیر است [۲۴]:

(۲)

$$A_m = (a_{m1}^i, a_{m2}^i, a_{m3}^i, a_{m4}^i) = \left(\frac{1}{n} \sum a_1^{(i)}, \frac{1}{n} \sum a_2^{(i)}, \frac{1}{n} \sum a_3^{(i)}, \frac{1}{n} \sum a_4^{(i)} \right)$$

سیستم استنتاج فازی برخوردار است. سیستم استنتاج فازی از پنج قسمت عملکردی تشکیل شده است: ۱. فازی سازی که مقادیر قطعی را به مقادیر فازی تبدیل می‌کند؛ ۲. قوانین پایه‌ای شامل تعدادی از قوانین اگر آن‌گاه فازی؛ ۳. پایگاه داده که عضویت مختلف از مجموعه‌های فازی به کاررفته در قوانین فازی را تعریف می‌کند؛ ۴. واحد تصمیم‌گیری که عملیات مورد نیاز در قواعد را انجام می‌دهد؛ ۵. واحد غیرفازی‌سازی که مجموعه‌های فازی را به مجموعه‌های قطعی تبدیل می‌کند.

سیستم استنتاج فازی ممدانی رایج‌ترین روش فازی است. روش ممدانی اولین سیستم کنترل است که با استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی ساخته شد. این روش را ابراهیم ممدانی در سال ۱۹۷۵ به کار گرفت. تلاش ممدانی در راستای کار لطفی‌زاده در سال ۱۹۷۳، براساس الگوریتم‌های فازی برای فرایند تصمیم‌گیری و سیستم‌های پیچیده است [۲۲].

روش کار

روش دلفی فازی

روش دلفی فازی در ابتدا به وسیله کافمن و گوپتا در دهه ۱۹۸۰ ارائه شد. کاربرد این روش در تصمیم‌گیری و اجماع بر مسائلی که اهداف و پارامترها در آن به صراحت مشخص نیستند، به نتایج بسیار ارزنده‌ای منجر می‌شود. ویژگی مهم این روش، ارائه چارچوبی انعطاف پذیر است که بسیاری از مشکلات مربوط به نداشتن دقت و صراحت را برطرف می‌کند. بسیاری از مشکلات در تصمیم‌گیری‌ها، مربوط به اطلاعات ناقص و غیردقیق است. همچنین تصمیم‌های اتخاذشده خبرگان براساس صلاحیت فردی آنان و به شدت ذهنی است؛ بنابراین، بهتر است داده‌ها به جای اعداد قطعی، با اعداد فازی نمایش داده شوند [۲۳].

در طراحی سیستم پیشنهادی، علاوه بر مطالعه و استفاده از کتاب‌های مرجع در زمینه مشکلات سیستم عصبی، به روش دلفی و دلفی فازی، از دیدگاه‌های خبرگان شامل افراد دارای مدرک دکترای حرفه‌ای و متخصصان این حوزه استفاده شد. هدف از طراحی این پرسشنامه‌ها، شناسایی علائم و اندازه هر علامت در اختلال و همچنین روش درمانی آن است. با توجه به اینکه بیمار با علائم درد

دلیل قطعی بودن ماهیت درمان اختلالات، از روش دلفی استفاده شد که در آن، درمان اختلالات از کتاب استخراج شد. سپس از خبرگان خواسته شد که نظر خود را در مورد صحت آن‌ها اعلام کنند و اگر روش یا روش‌های درمان دیگری برای اختلالات وجود دارد، در پایان پرسشنامه هر اختلال اضافه کنند. در این مرحله پس از دو بار تکرار دلفی، خبرگان به اجماع نظر رسیدند.

نمونه‌ای از پرسشنامه مربوط به یکی از اختلالات مچ دست در جدول ۱ آمده است که خبرگان باید میزان هر علامت را در اختلال با متغیرهای زبانی کم، متوسط و زیاد مشخص می‌کردند.

جدول ۱. پرسشنامه مربوط به علائم اختلال wrist sprain

علائم	اختلال wrist sprain	
کم	متوسط	زیاد
۱. شروع تروماتیک درد		
۲. لوکالیزه شدن درد در ناحیه کوچک		
۳. احساس درد در هنگام استفاده از مچ		
۴. درد در حرکات اکتیو		
۵. درد در حرکات joint-play		
۶. درد در حرکات پاسیو		

در نهایت، توابع عضویت ورودی مربوط به علائم اختلال به صورت جدول ۲ به دست آمد.

مدل سیستم خبره فازی

سیستم خبره، برنامه‌های کامپیوتری است که تصمیم‌گیری‌های فرد متخصص را شبیه‌سازی می‌کند و شامل یک پایگاه دانش حاوی تجربیات جمع‌آوری شده از خبرگان در زمینه مشکلات سیستم حرکتی و نیز مجموعه‌ای از قوانین فازی برای استفاده از پایگاه دانش است. پایگاه دانش، برای ذخیره‌سازی اطلاعات مانند علائم و روش‌های درمانی اختلالات و قوانین حاکم بر داده‌ها استفاده می‌شود. قوانین، عبارت‌هایی شرطی است که نتایج مختلف از شرایط ممکن را تعریف می‌کند. موتور استنتاج فازی، به تعریف روابط پایگاه دانش می‌پردازد، اطلاعات را از پایگاه دانش استخراج می‌کند و با توجه به علائم وارد شده

پس از میانگین‌گیری فازی در مرحله اول، برای هر کدام از خبرگان پرسشنامه‌ای جداگانه طراحی شد و از آنان خواسته شد به علائم اضافه شده نیز پاسخ دهند. پس از میانگین‌گیری فازی از پاسخ‌های مرحله دوم و مقایسه دو میانگین با یکدیگر، در صورتی که پاسخ پرسش‌ها به طرز قابل قبولی به ثبات برسند، پاسخ‌های خبرگان ثبت می‌شود. در غیر این صورت باید مرحله سوم نظرسنجی از خبرگان صورت گیرد. اختلاف نظر هریک از خبرگان، مطابق رابطه ۳ محاسبه شد [۲۴]:

$$e = (a_{m_1} - a_1^{(i)}, a_{m_2} - a_2^{(i)}, a_{m_3} - a_3^{(i)}, a_{m_4} - a_4^{(i)}) \\ = \left(\frac{1}{n} \sum a_1^{(i)} - a_1^i, \frac{1}{n} \sum a_2^{(i)} - a_2^i, \frac{1}{n} \sum a_3^{(i)} - a_3^i, \frac{1}{n} \sum a_4^{(i)} - a_4^i \right) \quad (3)$$

با استفاده از رابطه ۳ اختلاف دیدگاه‌های خبرگان محاسبه و در پرسشنامه‌ای تنظیم شد. سپس هریک از خبرگان با توجه به ارزیابی مجدد نظر قبلی خود، نظرهای جدید را اعلام کردند.

در این مرحله با محاسبه اختلاف میانگین‌های مراحل اول و دوم و با استفاده از روابط فاصله میان اعداد فازی (رابطه ۴)، میزان اجماع نظر خبرگان محاسبه شد. در بسیاری از پژوهش‌ها حد آستانه ۰/۲ در نظر گرفته می‌شود. در این مقاله نیز این مقدار مبنا قرار داده شد؛ بنابراین، در صورتی که اختلاف محاسبه شده برابر ۰/۲ یا کمتر از ۰/۲ باشد، فرایند دلفی متوقف می‌شود. در غیر این صورت باید نظرسنجی تا رسیدن به پاسخ‌های باثبات نسبی ادامه یابد [۲۴].

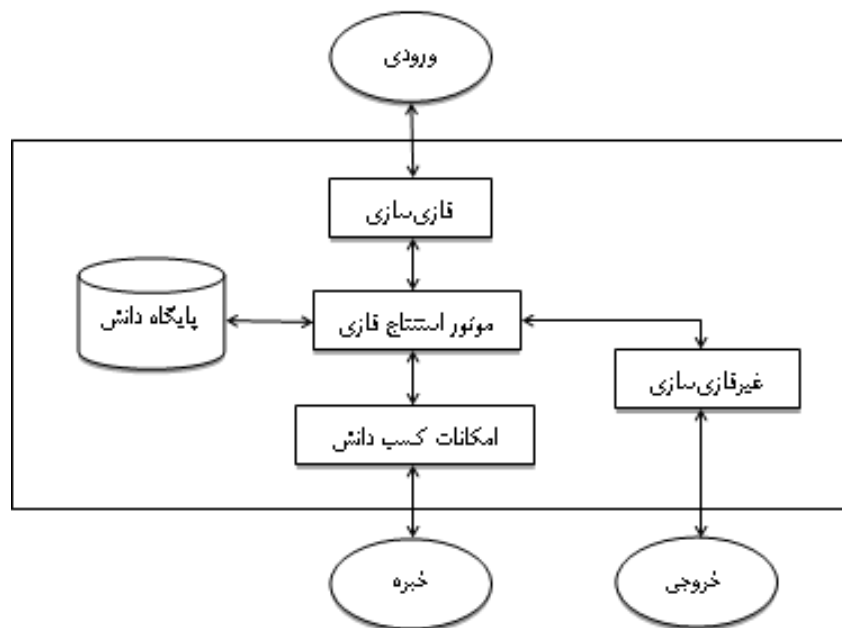
$$S(A_{m_2}, A_{m_1}) = \frac{1}{4} \left[\left(a_{m_{21}} + a_{m_{22}} + a_{m_{23}} + a_{m_{24}} \right) - \left(a_{m_{11}} + a_{m_{12}} + a_{m_{13}} + a_{m_{14}} \right) \right] \quad (4)$$

این روند تا پایدار شدن همه پاسخ‌ها ادامه پیدا می‌کند که در این پژوهش، با سه بار تکرار، تمامی پاسخ‌ها به پایداری رسیدند. بازه‌های به دست آمده در پایان این مرحله، همان توابع عضویت ورودی و مبنای طراحی سیستم خبره هستند. از آنجاکه هر اختلال درمان خاصی دارد و می‌توان برای هر کدام از اختلالات، درمان آن را در نظر گرفت، به-

به سیستم، کار تشخیص اختلال و ارائه روش‌های درمانی را انجام می‌دهد. قوانین تعریف‌شده در موتور استنتاج باید منطبق با اطلاعات پایگاه دانش باشد. قسمت کسب دانش، حرکتی را نشان می‌دهد.

جدول ۲. توابع عضویت ورودی مربوط به علائم اختلال wrist sprain

۱. شروع تروماتیک درد	۵. درد در حرکات joint-play
Low: (۶/۸/۸/۵)	Low: (۵/۸/۷/۷/۸/۲)
Medium: (۸/۹/۱۰)	Medium: (۷/۷/۸/۷/۹/۷)
High: (۹/۵/۱۰/۱۰)	High: (۹/۲/۹/۷/۹/۸)
۲. لوکالیزه شدن درد در ناحیه کوچک	۶. درد در حرکات پاسیو
Low: (۶/۸/۸/۵)	Low: (۵/۸/۷/۷/۸/۲)
Medium: (۸/۹/۱۰)	Medium: (۷/۷/۸/۷/۹/۷)
High: (۹/۵/۱۰/۱۰)	High: (۹/۲/۹/۷/۹/۸)
۳. احساس درد در هنگام استفاده از مچ	۷. قوی و بدون درد بودن حرکات مقاومتی
Low: (۲/۲/۲/۹/۳/۴)	Low: (۶/۸/۸/۵)
Medium: (۲/۹/۳/۹/۴/۹)	Medium: (۸/۹/۱۰)
High: (۴/۴/۴/۹/۶/۲)	High: (۹/۵/۱۰/۱۰)
۴. درد در حرکات اکتیو	۸. تندرست روی محل ضایعه
Low: (۰/۶/۰/۸/۱/۳)	Low: (۲/۶/۳/۵/۴)
Medium: (۰/۸/۱/۸/۲/۸)	Medium: (۳/۵/۴/۵/۵/۵)
High: (۲/۳/۲/۸/۴/۶)	High: (۵/۵/۵/۶/۶)



شکل ۱. مدل سیستم خبره برای تشخیص و درمان مشکلات سیستم حرکتی

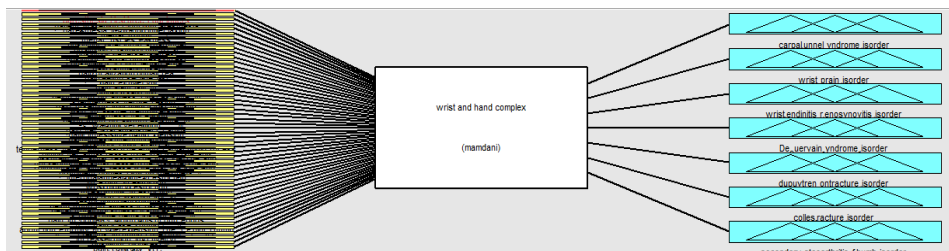
نتایج و بحث

معماری سیستم خبره

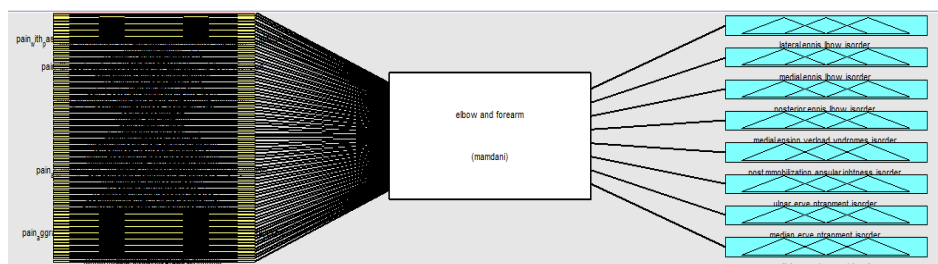
ابتدا علائم و روش‌های درمان اختلالات، با استفاده از روش دلفی و دلفی فازی، از خبرگان (افراد دارای مدرک دکترای حرفه‌ای در زمینه اختلالات سیستم حرکتی) کسب شد. به این صورت که درمورد علائم، میزان هر علامت در اختلال، و درمورد درمان، صحت درمان‌های استخراج‌شده از منابع در این زمینه پرسش شد. با این اطلاعات، توابع عضویت ورودی مربوط به علائم اختلالات به‌دست آمد. برای طراحی سیستم خبره، از منطق فازی نرم‌افزار متلب استفاده شد.

ورودی سیستم علائم اختلالات و خروجی آن، یعنی نوع اختلال تشخیص داده شده است. براساس امتیازی که سیستم با توجه به تجمیع امتیازات داده‌شده به علائم به اختلالات می‌دهد، تشخیص صورت می‌گیرد. تشخیص سیستم، اختلالی است که دارای بیشترین امتیاز باشد. شکل ۲، ۳ و ۴ شمای کلی سیستم خبره مربوط به مچ دست، آرنج و شانه را در نرم‌افزار متلب نشان می‌دهد:

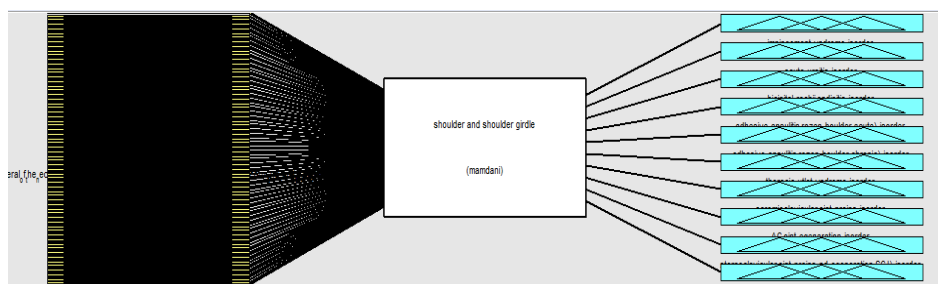
سیستم خبره، برنامه‌های کامپیوتری است که تصمیم‌گیری‌های فرد متخصص را شبیه‌سازی می‌کند و شامل یک پایگاه دانش حاوی تجربیات جمع‌آوری‌شده از خبرگان در زمینه مشکلات سیستم حرکتی و نیز مجموعه‌ای از قوانین فازی برای استفاده از پایگاه دانش است. پایگاه دانش، برای ذخیره‌سازی اطلاعات مانند علائم و روش‌های درمانی اختلالات و قوانین حاکم بر داده‌ها استفاده می‌شود. قوانین، عبارت‌هایی شرطی است که نتایج مختلف از شرایط ممکن را تعریف می‌کند. موتور استنتاج فازی، به تعریف روابط پایگاه دانش می‌پردازد، اطلاعات را از پایگاه دانش استخراج می‌کند و با توجه به علائم واردشده به سیستم، کار تشخیص اختلال و ارائه روش‌های درمانی را انجام می‌دهد. قوانین تعریف‌شده در موتور استنتاج باید منطبق با اطلاعات پایگاه دانش باشد. قسمت کسب دانش، اطلاعات را از متخصصان جمع‌آوری می‌کند. شکل ۱ مدل سیستم خبره برای تشخیص و درمان مشکلات سیستم حرکتی را نشان می‌دهد.



شکل ۲. شمای کلی سیستم از ناحیه مچ



شکل ۳. شمای کلی سیستم از ناحیه آرنج



شکل ۴. شمای کلی سیستم از ناحیه شانه

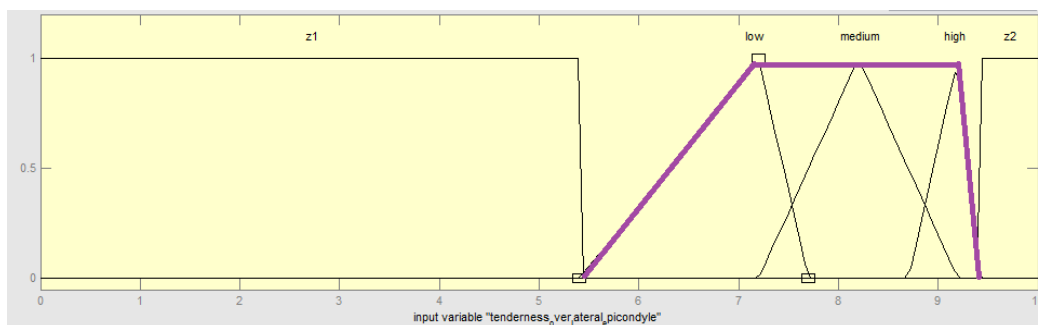
شکل)، قواعد تعریف‌شده، مقدار صفر را به این علامت اختصاص خواهند داد.

در صورتی که مقدار متغیر ورودی، در بازه مورد قبول خبرگان باشد، خروجی آن روی این توابع که در مقیاس ۱ تا ۳۰ تعریف شده است، نگاشت خواهد شد، اما اگر امتیاز اختصاص‌یافته به علائم بیمار، خارج از این بازه باشد، امتیازی برای این علائم به بیمار تعلق نمی‌گیرد و امتیاز اختلال روی تابع عضویت خروجی، zero نگاشت می‌شود. سیستم خبره پیشنهادی، در ناحیهٔ میج دارای ۷ خروجی، ناحیهٔ آرنج دارای ۸ خروجی و در ناحیهٔ شانه دارای ۱۰ خروجی است که در واقع، همان اختلالات هستند. در شکل ۶ نمونه‌ای از خروجی مربوط به یک اختلال مشاهده می‌شود.

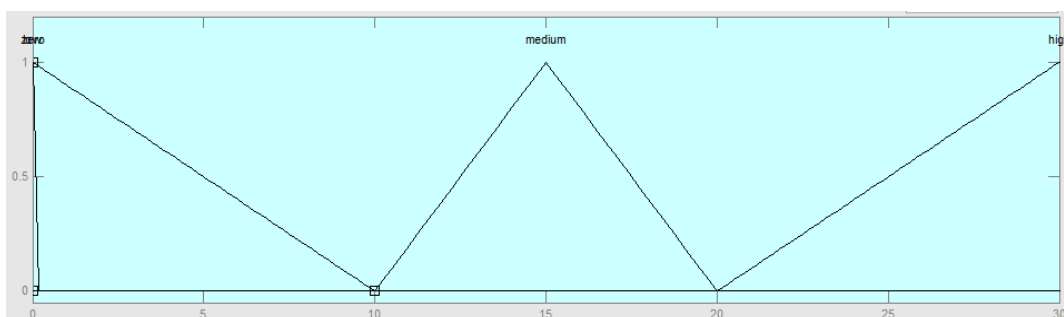
طراحی سیستم خبره فازی پیشنهادی

در این سیستم، از توابع عضویت مثلثی و دوزنقه‌ای برای ورودی و خروجی استفاده شده است که متداول‌ترند. البته تعیین شکل و نوع توابع، بر مبنای تجربه و نوع مسئله و ساختار آن است که براساس آن می‌توان انواع توابع مثلثی، دوزنقه‌ای، گوسی شکل یا توابع تعریف‌شده توسط کاربر را برگزید.

در شکل ۵، نمونه‌ای از طراحی توابع عضویت مربوط به یکی از علائم اختلالات مشاهده می‌شود که در مقیاس ۱ تا ۱۰ تعریف شده است. همان‌گونه که در تصویر مشخص است، در قسمت‌های خارج از بازه مجاز برای علامت، توابع عضویت دوزنقه‌ای تعریف شده‌اند که در صورتی که علامت بیمار بیشتر یا کمتر از مقدار قابل قبول باشد و در این بازه‌ها قرار گیرد (خارج از بازه مشخص شده با رنگ بنفش در



شکل ۵. نمونه‌ای از طراحی توابع عضویت مربوط به علائم در بازه مشخص شده به وسیله روش دلفی فازی

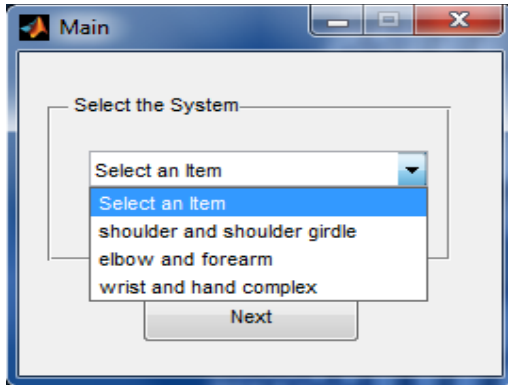


شکل ۶. تعریف توابع عضویت متغیر خروجی برای یکی از اختلالات میج دست

برای تنظیم قواعد، تمامی حالت‌های ممکن برای ورودی‌ها در نظر گرفته می‌شود و سپس خروجی‌های متناظر، مشابه حالت ورودی‌ها تعیین می‌شود. سیستم خبره فازی پس از دریافت ورودی‌ها و با استفاده از این قواعد، استنتاج‌های لازم را انجام می‌دهد و خروجی مدل را

الگوریتم این استنتاج که برای همهٔ اختلالات یکسان است، در ادامه آمده است. چنانچه اندازهٔ هر یک، برخی یا همهٔ علائم مشخص شده، در بیمار کم، متوسط یا زیاد باشد، امتیاز اختلال در سیستم خبره برای آن علائم، کم، متوسط یا زیاد خواهد بود.

هوشمند سیستم، نتیجه به واسط کاربری ارسال و از طریق فرم‌ها، در واسط کاربری به کاربر نشان داده شد. با استفاده از واسط کاربری گرافیکی سیستم پیشنهادی، کاربر از فرمی که در شکل ۷ نشان داده شده است، کار خود را آغاز می‌کند.



شکل ۷. روش شروع به کار سیستم

در این فرم، کاربر سیستمی را که قصد استفاده از آن را دارد، انتخاب می‌کند. در این پوسته، از نرم‌افزار اکسل به‌عنوان یک پایگاه داده برای نام ورودی‌ها و خروجی‌ها استفاده می‌شود. کاربر با انتخاب سیستم مورد نظر و فشردن دکمه بعد^۱، این اجازه را به پوسته می‌دهد که نام ورودی‌ها و خروجی‌ها را از اکسل فراخواند. سپس فرمی مانند شکل ۸ نمایش داده می‌شود که کاربر اعداد ورودی مربوط به اندازه هر علامت در بیمار را در آن وارد کند. ورودی‌ها در سمت چپ و خروجی‌ها در سمت راست فرم نمایش داده می‌شود.

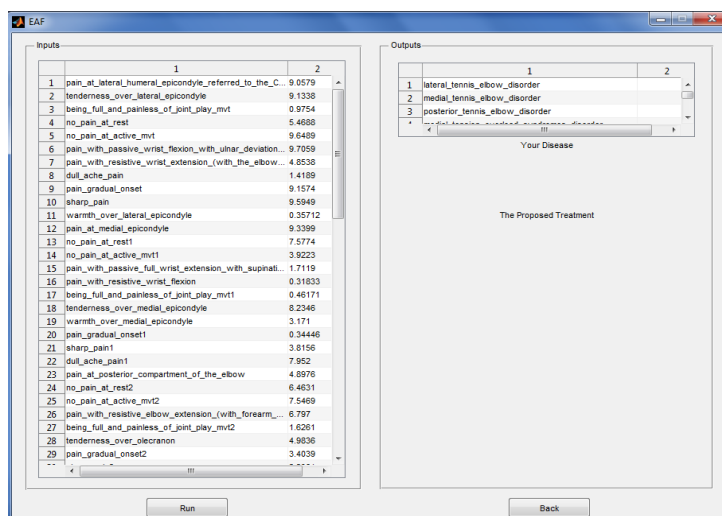
به‌صورت متغیرهای فازی ارائه می‌کند. این شیوه استنتاج، به‌صورت قواعد فازی در نرم‌افزار متلب بیان می‌شود. نمونه‌ای از قواعد سیستم پیشنهادی مربوط به ناحیه مچ دست در موتور استنتاج سیستم به‌صورت زیر است:

1. If (paresthesia at first three or four fingers is low) or (patient awakening at night from paresthesia is low) or (paresthesia with prolong finger flaxion is low) or (thenar atrophy is low) or (thenar muscles weakness is low) or (positivity of tincl sign on carpal tunnel is low) or (positivity of modified phalen test is low) or (positivity of reverse pjalen test is low) or (positivity of carpal compression test is low) or (positivity of ULTT for median nerve is low) then (carpal tunnel syndrome disorder is low) (1)

به همین صورت اندازه متوسط، زیاد و خارج از بازه مجاز برای علائم و اختلال در نظر گرفته می‌شود. پایگاه دانش سیستم طراحی‌شده برای مچ دست ۳۵ قاعده فازی، برای آرنج ۴۰ قاعده فازی و برای شانه ۵۰ قاعده فازی دارد. در نتیجه، به‌طور کلی سیستم دارای ۱۲۵ قاعده فازی است.

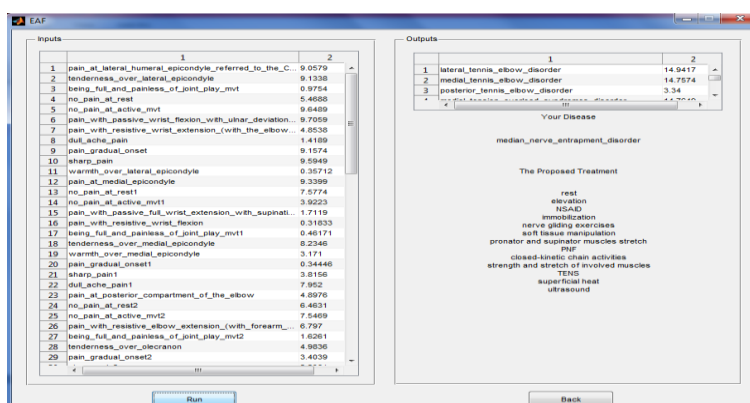
به‌منظور تعامل آسان‌تر کاربر و سیستم خبره، یک واسط کاربری ۱۱ گرافیکی در نرم‌افزار متلب طراحی شد؛ به این صورت که از نرم‌افزار اکسل به‌عنوان یک پایگاه داده استفاده شد که نام ورودی‌ها و خروجی‌ها و روش‌های درمانی را در خود دارد. واسط کاربری برای نمایش ورودی‌ها، خروجی‌های سیستم و تعامل بهتر بین سیستم و کاربر، با استفاده از واسط کاربری گرافیکی نرم‌افزار متلب طراحی شده است.

همه اطلاعاتی که لازم است از کاربر اخذ شود، به‌وسیله این واسط وارد سیستم شد. پس از پردازش در موتور



شکل ۸. فرم وارد کردن ورودی‌ها

یک فایل اکسل وارد شده است. پوسته بعد از انتخاب اختلال مورد نظر، زیر گزینه درمان پیشنهادی، درمان مربوط به آن اختلال را ارائه می‌کند. در شکل ۹ اجرای سیستم برای آرنج قابل مشاهده است.



شکل ۹. فرم اجرای سیستم

ابتدا برای تست نرمال بودن متغیرها، از آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف استفاده شد. با توجه به اینکه سطح معناداری بیشتر از ۵ درصد است، فرض صفر مبنی بر نرمال بودن توزیع متغیرها پذیرفته می‌شود و فرض مقابل رد می‌شود. با تأیید فرض نرمال بودن متغیرها، برای مقایسه میانگین دو متغیر، از آزمون مقایسه زوجی استفاده شد. همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است، سطح معناداری آزمون بزرگ‌تر از ۵ درصد است و فرض صفر پذیرفته می‌شود؛ بنابراین، بین میانگین دو متغیر تشخیص سیستم و تشخیص فرد خبره، در سطح خطای ۵ درصد، تفاوت معناداری مشاهده نمی‌شود.

بعد از وارد کردن ورودی‌های سیستم و فشردن دکمه اجرا^{۱۱}، استنتاج فازی روی آن‌ها انجام می‌گیرد و سپس امتیاز هر خروجی روبه‌روی آن در فرم نشان داده می‌شود. اختلافی که بیشترین امتیاز را گرفته است، به‌عنوان خروجی انتخابی سیستم نمایش داده می‌شود. درمان هر اختلال در

با فشردن دکمه عقب^{۱۲}، فرم اولیه نمایش داده می‌شود.

بحث در مورد نتایج

برای آزمون سیستم، تشخیص سیستم با تشخیص فرد خبره مقایسه شد. ابتدا اطلاعات و علائم ۳۰ بیمار، از پرونده‌های موجود در یک بیمارستان استخراج شد. اختلالات مربوط به بیماران، به‌وسیله سیستم تشخیص داده شد و سپس این علائم برای تشخیص در اختیار یک فرد خبره قرار گرفت. در مرحله بعد، تشخیص سیستم و تشخیص فرد خبره با استفاده از آزمون‌های آماری در نرم‌افزار spss تجزیه و تحلیل شد که نتایج آن در ادامه بیان می‌شود.

جدول ۳. نتایج آزمون نمونه‌های زوجی

سطح معناداری	Df	T	فاصله اطمینان ۹۵٪		خطای استاندارد میانگین	انحراف معیار	میانگین	پارامترها	تشخیص سیستم و تشخیص فرد خبره
			پایین	بالا					
۰/۳۲۶	۲۹	۱/۰۰۰	۰/۲۰۳	-۰/۰۷۰	۰/۰۶۷	۰/۳۶۵	۰/۰۶۷	زوج ۱	

در این سیستم برای جمع‌آوری اطلاعات، از روش دلفی و دلفی فازی بهره گرفته شده است که به دلیل تکرار دفعات دلفی، اطلاعات از صحت و دقت زیادی برخوردار است. شایان ذکر است که در هیچ یک از سیستم‌های پیشین، از این روش استفاده نشده بود. مورد دیگر اینکه با توجه به خروجی سیستم پیشنهادی - که اختلال با بیشترین امتیاز است - براساس نمره‌ای که سیستم به اختلال مورد نظر می‌دهد، می‌توان تا حدودی به درجه پیشرفت اختلال در بیمار پی برد. به‌عنوان یافته‌های اصلی این پژوهش می‌توان به طراحی سیستم خبره تشخیص و درمان اختلالات حرکتی بر مبنای اطلاعات به‌دست‌آمده از روش دلفی و دلفی فازی اشاره کرد. این سیستم با رویکرد فازی طراحی شده و در آن، از رابطه استنتاج ممدانی، پایگاه دانش قاعده‌ای و واسط کاربری گرافیکی در نرم‌افزار متلب استفاده شده است. علائم و روش‌های درمانی را که در نهایت برای هر اختلال به‌دست آمد، می‌توان به‌عنوان منبعی علمی که مورد تأیید چندین خبره بود، در نظر گرفت. از علائم، روش‌های درمانی و بازه‌های به‌دست‌آمده از روش دلفی و دلفی فازی می‌توان به‌عنوان بهترین وسیله برای تدریس به دانشجویان این رشته بهره گرفت. خروجی دیگر روش دلفی فازی، اندازه هر علامت در اختلال مربوط است که خبرگان در مورد آن‌ها به توافق رسیده‌اند و در بازه‌ای با مقیاس ۰ تا ۱۰ ارائه شده‌اند که جدا از سیستم خبره‌ای که در ادامه کار بر مبنای این یافته‌ها طراحی شده، می‌توان از آن‌ها برای پی‌بردن به اندازه هر علامت در اختلال مربوط بهره گرفت. کاربرد مهم این سیستم علاوه بر آموزش به دانشجویان، استفاده زیر نظر پزشک عمومی در درمانگاه‌ها و مراکز بهداشتی محرومی است که پزشک متخصص ارتوپد ندارند تا بدین ترتیب، بیماری‌ها و مشکلات سیستم حرکتی تشخیص داده شود. این موضوع را می‌توان سیاستی کلی برای برخورد با کمبود نیروی انسانی متخصص در مناطق در نظر گرفت. در پژوهش‌های آتی می‌توان براساس میزان اهمیت علائم تأثیرگذار در اختلال مربوط، در صورت نیاز، وزن مناسب آن‌ها را نیز به آن‌ها اختصاص داد.

در نهایت، با توجه به اینکه در ۳۰ نمونه بیمار بررسی شده، ۲۶ مورد تشخیص سیستم با تشخیص فرد خبره یکی است، می‌توان نتیجه گرفت که در ۸۶/۷ درصد موارد، تشخیص سیستم مانند تشخیص فرد خبره است.

نتیجه‌گیری

روش‌های مبتنی بر کامپیوتر به‌طور فزاینده‌ای برای بهبود کیفیت خدمات درمانی با استفاده از مدل هوش مصنوعی، به‌کار گرفته شده‌اند. در این مطالعه، یک سیستم خبره برای تشخیص و درمان اختلالات سیستم حرکتی در ناحیهٔ مچ دست، آرنج و شانه، با استفاده از نرم‌افزار متلب طراحی شد و در آن، دانش لازم برای تشخیص و درمان، به‌صورت قواعد فازی در پایگاه دانش سیستم ذخیره شد. در طراحی سیستم پیشنهادی، به روش دلفی و دلفی فازی، از دیدگاه‌های خبرگان (متخصصان این حوزه) استفاده شد. هدف از طراحی این پرسشنامه‌ها، شناسایی علائم و اندازه هر علامت در اختلال مربوط و همچنین روش درمانی اختلالات بود.

در نهایت، بازهٔ مربوط به توابع عضویت ورودی سیستم به‌دست آمد. طراحی توابع ورودی، خروجی و قواعد فازی سیستم انجام گرفت و سیستم خبره فازی برای سه قسمت مچ دست، آرنج و شانه به‌طور جداگانه طراحی و اجرا شد. سپس واسط کاربری برای نمایش ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم و تعامل بهتر میان سیستم و کاربر، با استفاده از واسط کاربری گرافیکی نرم‌افزار متلب طراحی شد. این سیستم ۲۵ اختلال عضلانی-اسکلتی را تشخیص می‌دهد که ۷ اختلال آن مربوط به مچ دست، ۸ اختلال مربوط به آرنج و ۱۰ اختلال مربوط به شانه است. پایگاه دانش سیستم طراحی شده برای مچ دست دارای ۳۵ قاعده فازی، آرنج دارای ۴۰ قاعده فازی و شانه دارای ۵۰ قاعده فازی است. نتایج آزمون و اعتبارسنجی سیستم پیشنهادی نشان می‌دهد این سیستم عملکرد قابل‌قبولی در تشخیص و درمان اختلالات عضلانی-اسکلتی دارد. در مقایسهٔ این سیستم با سیستم‌های خبره پیشین می‌توان به مواردی اشاره کرد، از جمله اینکه سیستم پیشنهادی، اولین سیستم خبره طراحی شده در زمینهٔ مشکلات سیستم حرکتی است.

مراجع

1. Singla, J. (2013). "The diagnosis of some lung diseases in a prolog expert system", *International journal of Computer Applications*, Vol. 78, No. 15, PP. 37–40.
2. Baghel, K., and Mehta, N. (2015). "A web-based fuzzy expert system for human disease diagnosis", *International Journal of Engineering and Computer Science*, Vol. 4, No. 9, PP. 14248–14253.
3. Anto, S., and Chandramathi, S. (2015). "An expert system based on SVM and hybrid GA-SA optimization for hepatitis diagnosis", *International Journal of Computer Engineering in Research Trends*, Vol. 2, No. 7, PP. 437–443.
4. Kadhim, M. A., Afshar Alam, M., and Kaur, H. (2011). "Design and implementation of fuzzy expert system of back pain diagnosis", *International Journal of Innovative Technology and Creative Engineering*, Vol. 1, No. 9, PP. 16–22.
5. Ayangbekun Oluwafemi, J., and Jimoh Ibrahim, A. (2015). "Expert system for diagnosis neurodegenerative disease", *International Journal of Computer and Information Technology*, Vol. 4, No. 4, PP. 694–698.
6. Russell, S., and Norvig, P. (2002). "Artificial intelligence: A modern approach", Second Edition, Prentice Hall.
7. Khdega, A. Y. G. (2015). "An expert system for diagnosis of ear problems in children", *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, Vol. 4, No. 7, PP. 458–462.
8. Azaab, S., Abu-Naser, S., and Sulisel, O. (2000). "A proposed expert system for selecting exploratory factor analysis procedures", *Journal of the College of Education*, Vol. 4, No. 2, PP. 9–26.
9. Beverly, G. H., and Rosewary, H. W. (1994). "An expert support system for service quality improvement", *Proceedings of the Twenty- Seventh Annual Hawaii International Conference on System Science*.
10. Abu-Naser, S., Al-Dahdooh, R., Mushtaha, A., and El-Naffar, M. (2010). "Knowledge management in ESMDA: Expert system for medical diagnostic assistance", *ICGST-AIML Journal*, Vol. 10, No. 1, PP. 31–40.
11. Salehnia, A., Cong, B., Shin, S., and Alishiri, Z. (1992). "Managerial applications of expert systems languages and tools", *IDEA Group Publishing, USA*.
12. Stangerup, S., Tjernstrom, O., Klokker, M., Harcourt, J., and Stokholm, J. (1998). "Point prevalence of barotitis in children and adults after flight, and effect of autoinflation", *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol. 69, No. 1, PP. 45–49.
13. Ramesh, B. (2009). "Information technology for management", *Tata McGraw-Hill Education Private Limited*.
14. Yanagisawa, K., and Kveton, J. F. (1992). "Referred otalgia", *American Journal of Otolaryngol*, Vol. 13, No. 6, PP. 323–327.
15. Robinson, J. (2014). "Cold, flu, and cough health center", *WebMD, LLC*.
16. Schulze, S. L., Kerschner, J. and Beste, D. (2002). "Pediatric external auditory canal foreign bodies: A review of 698 cases", *Otolaryngol Head and Neck Surgery*, Vol. 127, No. 1, PP. 73–78.
17. Mir Anamul, H., Sher-E-Alam, KH., and chowdhury, A. R. (2010). "Human disease diagnosis using a fuzzy expert system", *Journal of Computing*, Vol. 2, No. 6, PP. 66–70.
18. Biswas, D., Bairagi, S., Panse, N., and Shinde, N. (2011). "Disease diagnosis system", *International Journal of Computer Science and Informatics*, Vol. 1, No. 2, PP. 48–51.
19. Adeli, A., and Neshat, M. (2010). "A fuzzy expert system for heart disease diagnosis", *Proceedings of International Multi-Conference of Engineers and Computer Scientists*, Vol. 1, IMECS2010, March 17–19, Hong Kong.

20. Lee, Ch. Sh., Member, S. and Wang, M. H. (2011). "A fuzzy expert system for diabetes decision support application", *Man, and Cybernetics – Part B: Cybernetics, IEEE Transactions on Systems*, Vol. 41, No. 1, PP. 139–153.
21. Jain, V., and Raheja, S. (2015). "Improving the prediction rate of diabetes using fuzzy expert system", *International Journal Information Technology and Computer Science*, Vol. 10, PP. 84–91.
22. <http://in.mathworks.com/help/fuzzy/types-of-fuzzy-inference-systems.html>
23. Jafari, N., and Montazer, Gh. A. (2007). "Using Delphi fuzzy method to determine tax policy for country", *Institute for Humanities and Cultural Studies, Humanities Portal*, 5.
24. Cheng, Ch., and Lin, Y. (2002). "Evaluating the best main battle tank using fuzzy decision theory with linguistic criteria evaluation." *European Journal of Operational Research*, No. 142, P.147.

واژه‌های لاتین به ترتیب استفاده در متن

1. Backward Inference Engine
2. Rule-Based Expert System
3. IF-THEN Rule
4. Neural Network
5. MATLAB
6. Mamdani Inference
7. Fuzzy Inference System
8. Fuzzification
9. Defuzzification
10. Knowledge Acquisition Facility
11. User Interface