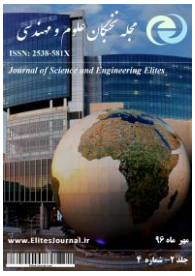
www.ElitesJournal.ir

مجله نخبگان علوم و مهندسی

Journal of Science and Engineering Elites

ISSN 2538-581X

جلد ۲- شماره ۴- سال ۱۳۹۶



سیستم‌خبره تشخیص و پیشگیری ناهنجاری‌های وضعیتی ستون‌فقرات

ایمان فراحی قصرابونصر[۱*]، سیّد محمّد صادق دشتی[۲]

۱- دانش‌آموخته ممتاز کارشناسی نرم افزار، دانشکده شهید باهنر، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، شیراز، ایران

۲- استاد، دانشکده شهید باهنر، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، شیراز، ایران

*professionalprogrammer.ir@gmail.com

ارسال: تیرماه ۹۶ پذیرش: مهر ماه ۹۶

چکیده

امروزه اهمیت پیشگیری و تشخیص ناهنجاری‌های ستون‌فقرات، بر کسی پوشیده نیست؛ این ناهنجاری‌ها اگر درست به‌موقع شناسایی نشوند، آثار نامطلوبی بر عملکرد فیزیولوژیک بدن دارند. همواره ارائه دانش‌خبرگان به افراد جامعه، در مواقعی که فرد خبره در دسترس نیست، بسیار مهم است و می‌تواند به آگاهی این افراد کمک شایانی کند. در این مقاله یک روش غیرتهاجمی جدید برای تشخیص و پیشگیری از ناهنجاری‌های ستون‌فقرات با استفاده از یک سیستم‌خبره معرفی گردیده است. این روش می‌تواند با دیگر روش‌های مرسوم این حوزه نیز مورد استفاده قرار گیرد. در ارزیابی انجام‌شده این سیستم توانسته است با دقّت مناسبی بر اساس ابعاد آنتروپومتری، عادت‌ها، اطلاعات آناتومی و فیزیولوژیکی فرد احتمال وجود ناهنجاری در شخص را مشخص کند. همچنین الگوریتم مناسبی جهت «تقلید» نحوه تفکر فردخبره این سیستم دارد و موتور استنتاج آن با استفاده از نظریه عدم قطعیّت، روش‌استنتاج زنجیره رو به‌عقب و درخت تصمیم طراحی گردیده است. این سیستم با استفاده از چهارچوب قدرتمند javafx و کتابخانه Drools پیاده‌سازی شده است، تا به راحتی بتواند در مناطقی که دارای کمبود یا نبود متخصص است، «مورد استفاده عموم افراد» قرار گیرد. حاصل ارزیابی این سیستم در نمونهٔ جامعه نشان داد که، فرد دارای ناهنجاری را در میانگین نمونهٔ با احتمال قطعیّت ۷۹٪ برای اسکولیوز، ۹۵٪ برای پشت‌صاف، ۹۵٪ برای کیفوز، ۹۲٪ برای لوردوزگردنی و ۷۸٪ برای لوردوزکمری بصورت درست و همچنین افراد بدون ناهنجاری را، ۷٪ برای اسکولیوز، ۲٪ برای پشت‌صاف، ۲۴٪ برای کیفوز، ۸٪ برای لوردوزگردنی، ۱۷٪ برای لوردوزکمری، با دانش خود کاملاً درست و قابل قبول تشخیص دهد.

کلمات کلیدی: سیستم خبره ستون فقرات، تشخیص ناهنجاری ستون فقرات، ستون‌فقرات، سیستم‌خبره، SAExpert.

۱. مقدمه

با گسترش فناوری اطلاعات[۱]، سیستم‌های تصمیم‌گیری مبتنی بر رایانه، اهمیّت زیادی یافته‌اند. در این زمینه سیستم‌های خبره به‌عنوان یک بخش منسوب به هوش‌مصنوعی نقش اساسی دارند. انواع تصمیم‌گیری‌ها در سیستم‌های خبره به کمک رایانه

---

* مسئول مکاتبات

[1] Information technology

اتخاذ می‌شود. در این سیستم‌ها دانش‌خبرگان یک علم، به رایانه منتقل شده و نحوه تفکر متخصصان در یک زمینه خاص تقلید[1] می‌شود، در واقع الگوهای منطقی را که یک متخصص بر اساس آنها تصمیم‌گیری نموده را شناسایی و سپس بر اساس آنها همانند انسان تصمیم‌گیری می‌کند[۱].

یکی از مباحث تخصصی در علم فیزیوتراپی و تربیت‌بدنی شناسایی ناهنجاری‌های وضعیتی است. ناهنجاری‌های وضعیتی معمولاً در اثر برخی رفتارها، عادت‌های نادرست و یا برخی از بیماری‌ها ایجاد می‌شوند. ستون‌فقرات یکی از نقاط بسیار مهم بدن انسان است، که به‌لحاظ ساختاری و نحوه قرارگیری مهره‌ها همواره دچار تغییر و برخی ناهنجاری‌ها می‌گردد[۲]؛ از مهم‌ترینِ این اختلالات، تغییر شکل در ستون فقرات و بالاتنه است[۳]. اثرات سوء ناشی از این اختلالات، ناهنجاری‌های: اسکولیوز[2]، پشت‌صاف[3]، پشت‌گرد (کیفوز[4] پشتی)، پشت‌گود (لوردوز[5] کمری) و قوس‌گردنی (لوردوزگردنی) است[۲].

تاکنون سیستم‌خبرهٔ پزشکی جهت تشخیص و پیشگیری از ناهنجاری‌های ستون‌فقرات، طراحی-پیاده‌سازی نشده بود؛ این سیستم به‌این دلیل پیاده‌سازی شد تا با ارائه‌دانش یک متخصّص اطلاع‌رسانی کند و با کشف عادت‌های بد افراد از ـ مرگ و میر زودهنگام ـ جلوگیری نماید.

۱.۱. مزیت‌های سیستم‌خبره پزشکی

سیستم‌های‌خبره پزشکی دارای ویژگی‌هایی هستند، که آنها را از دیگر سیستم‌های مرسوم پزشکی متمایز می‌کند. یک جنبهٔ تفاوت برای رسیدن به نتایج در این سیستم‌ها است، که قدم به قدم استدلال‌های یک پزشک را تقلید می‌کند[۴].

از جمله معایبی که فردخبره نسبت به سیستم‌خبره دارد، موارد زیر را می‌توان نام برد:

تخصص زودگذر ـ فانی، امکان وجود اشتباه، دارای محدودیت جغرافیای، خستگی‌پذیر، عدم زمان پاسخگویی کامل ـ سریع، قابل‌فهم نبودن فرآیند تشخیص، عدم وجود انعطاف‌پذیری، دقت پایین، یادگیری آهسته و عدم وجود تخصص‌های چندگانه اشاره نمود[۴].

۲.۱. ناهنجاری‌های ستون فقرات

مهره‌های تشکیل دهنده ستون‌فقرات و دیسک‌های بین مهره‌ای، دارای انحنا و از نظر ساختاری یکسان نیستند؛ ستون‌فقرات در یک فرد سالم به‌طور طبیعی دارای چهار انحنا، شامل: لوردوزگردنی، کیفوزپشتی، لوردوزکمری و کیفوزخاجی است[۵]. برحسب ساختار استخوانی و عضلانی یک فردسالم این منحنی‌ها باید در سطح قابل قبولی باشند، که اگر از حالت‌طبیعی خارج شود، باعث ایجاد ناهنجاری‌ها و اشکالاتی می‌گردد، از جمله: خستگی‌بدن، کاهش عملکرد حرکتی، محدودیتِ تنفسی، کاهش ظرفیتِ قلب، کاهش گردشِ خون، مشکلاتِ زایمان و با توجه به تغییر تیپ‌ظاهری، معمولاً فرد از نظر روانی و اجتماعی آسیب‌پذیر می‌شود و احتمال آسیب‌دیدگی بر اثر فشار و صدمه در ناحیهٔ ناهنجاری به‌دلیل نامناسب نبودن انحنا بیشتر می‌گردد[۶]. که در این سیستم پنج‌ناهنجاری، شامل: اسکولیوز، پشت‌صاف، پشت‌گرد، پشت‌گود و قوس‌گردنی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در ادامه توضیح مختصری از این پنج ناهنجاری آمده است:

۱) ناهنجاری اسکولیوز: انحراف ستون‌فقرات به‌طرفین را «اسکولیوز» می‌نامند[۸,۷]. این بیماری گاهی بسیار پیشرونده است و به‌دلیل وارد ساختن فشار بر ریه‌ها منجر به کاهش ظرفیت ریه‌ها و کاهش توانایی تنفسی می‌شود؛ برخی از این افراد نیز با مرگ تدریجی از دنیا می‌روند[۹,۱۰].

---

[1] Emulation
[2] Scoliosis
[3] Flat back
[4] Kyphosis
[5] Lordosis

۲) ناهنجاری پشت‌صاف: کاهش قوس‌های ستون‌فقرات در ناحیه پشت ـ کمر را «پشت‌صاف» می‌گویند[۱۱]. در این ناهنجاری بالا تنه به حالت قائم تغییر وضعیت می‌دهد و تحرک‌پذیری در ستون‌مهره‌ها کاهش می‌یابد[۱۱]. در پشت صاف، مواد غضروفی و دیسک بین مهره‌ها آسیب می‌بیند و مکانیزم جذب ضربات و حالت ارتجاعی ستون‌فقرات از بین می‌رود[۸].

۳) ناهنجاری پشت‌گرد: افزایش قوس ناحیهٔ پشت را «گردپشتی» می‌نامند[۱۵ ,۱۴]. پشت‌گرد باعث نامناسب‌شدن ظاهربدن، عوارض فیزیولوژیک و محدودیت در قفسه‌سینه می‌شود، که اختلالاتی در فعالیت سیستم قلبی ـ ریوی ایجاد می‌کند[۸].

۴) ناهنجاری پشت‌گود: افزایش قوس ناحیهٔ‌کمری را «پشت‌گود» می‌نامند، در این ناهنجاری گودی ناحیه‌کمر افزایش می‌یابد، شکم به‌سمت جلو متمایل‌شده و معمولاً با درد و خستگی در ناحیه‌کمر همراه است[۱۶,۱۷]. گودپشتی باعث له‌شدگی قسمت خلفی دیسک‌های کمری و نزدیک‌شدن مهره‌ها به‌یکدیگر، تولید درد در ناحیه کمر، سخت‌شدن زایمان در خانم‌ها و فرسایش زودرس مهرها می‌شود[۸].

۵) ناهنجاری قوس‌گردنی: افزایش قوس‌گردنی به‌سمت جلو را «قوس‌گردنی» می‌گویند. در نتیجه بروز این ناهنجاری سر به‌سمت جلو متمایل می‌شود و ارتفاع گردن کوتاه‌تر به‌نظر می‌رسد[۸].

۳.۱. زنجیره رو به‌عقب

الگوریتم زنجیره رو به‌عقب برای بررسی صحتِ هدف استفاده می‌شود[۱۸]. روش زنجیره رو به‌عقب نوعی استدلال و استنتاج هدف‌گرا است، در این روش برای اثبات یک گزاره q، در پایگاه‌دانش از جملات شرطی که تالی q دارند شروع کرده و مقدم‌های آن گزاره‌ها بررسی می‌شود و با بررسی مقدمات آن سعی می‌شود تا گزاره اثبات شود.

۴.۱. عدم قطعیّت

همواره در سیستم‌های‌خبره پزشکی، مقدار عدم‌قطعیّتی برای قوانین به‌دلیل عدم قطعیّتِ وقوع یک پدیده‌خاص در نظر گرفته می‌شود و این کار برای عدم قطعیّتِ بعضی از بیماری‌ها اهمیت زیادی دارد[۱۹]. در این سیستم از فاکتور تأثیرقطعیّت[1] برای پیاده‌سازی نظریه عدم قطعیّت استفاده شده است، که خروجی احتمالی (از صفر تا یک) قطعیّت تولید می‌کند.

۵.۱. درختِ تصمیم

درختِ تصمیم به‌طور خاص در آنالیز تصمیم، برای مشخص‌کردن استراتژی که با بیشترین احتمال به‌هدف می‌رسد، استفاده می‌شود. درخت تصمیم نوعی توصیف محاسباتی احتمال شرطی است[۲۰]. گره‌ها در درخت تصمیم حالات و یال‌ها رویداد هستند.

۶.۱. ساختار مقاله

ادامهٔ این مقاله به‌نوعی سازمان‌دهی شده است، که در بخش ۲، انگیزه انجام تحقیق و پیاده‌سازی سیستم بیان خواهد شد. در بخش ۳ به بررسی و نقد روش‌ها و کارهای پیشین پرداخته‌ایم. در بخش۴ به بیان روش استفاده شده برای مهندسی‌دانش اختصاص داده شده است. در بخش ۵ نحوهٔ ارزیابی سیستم ارائه شده و در نهایت مقاله را با نتیجه‌گیری در بخش ۶ به پایان رسانده‌ایم.

[1] Certainty effect

۲. انگیزه تحقیق و پیاده‌سازی سیستم

علی‌رغم توسعه و ترقی علم پزشکی، رشد صنعت و راه‌یابی ماشین و فناوری در زندگی مردم و تغییراتی که در شیوه‌های زندگی مردم امروزی ایجاد گردیده است، ناراحتی‌ها و بیماری‌های جدیدی از جمله ناهنجاری‌های وضعیتی، زندگی برخی از انسان‌ها را به خطر انداخته است[۲۱]. ناهنجاری‌های وضعیتی تغییرات نامطلوبی هستند که ساختار اسکلتی ـ عضلانی و راستای طبیعی قامت را بر هم می‌زنند[۸]. این ناهنجاری‌ها اگر به‌موقع شناسایی و درمان نشوند، ممکن است مانند: تأثیر کیفوز بر دستگاه تنفس[۲۲] آثار نامطلوبی بر عملکرد فیزیولوژیک بدن داشته باشند، و یا علاوه بر آثار جسمی، عوارض روانی و اجتماعی مانند: ارتباط بین کیفوز با افسردگی[۲۳]، به‌دنبال دارند.

ناهنجاری‌های وضعیتی به غیر از عوامل ارثی، در اثر صنعتی‌شدن زندگی، عدم تحرک، داشتن عادات غلط و استفاده از تجهیزات غیر استاندارد به‌وجود می‌آید[۲۴]. انسان در ساعات شبانه روز از نظر وضعیت‌بدنی در حالات گوناگونی قرار می‌گیرد، که برخی از این حالات در اثر تکرار در بلند مدت باعث بروز ضایعات و ناهنجاری‌هایی می‌گردد[۲۵]. همچنین عدم رعایت استانداردهای ارگونومیکی تجهیزات مورد استفاده افراد و نیز عدم تناسب در ابعاد آنتروپومتری[1] کاربران می‌تواند اختلالات فیزیولوژیکی و ساختاری در پی داشته باشد[۲۶]. آخرین مطالعات قامتی[2] نشان می‌دهد که شایع‌ترین شکل بیماری اسکولیوز، اسکولیوز ایدیوپاتیک دیررس[3] است، که سبب اختلال فیزیکی، خستگی بدون فعالیت، دردپشت و نگرانی استفاده از لوازم بهداشتی، و زمانی که درمان نشود با میزان مرگ و میر جمعیت عمومی نیز مرتبط است[۹,۱۰]؛ زیرا با فعالیت شدید بدنی و باگذشت زمان باعث ایست قلبی ـ ریوی می‌گردد[۹,۱۰].

انگیزه طراحی و پیاده‌سازی این سیستم این بود که: فرد غیرمتخصّص توانایی بهره‌مندی از این روش را بدون داشتن دانش یک فردخبره داشته باشد و این روش جهت تشخیص ناهنجاری‌های ستون‌فقرات مثمرثمر برای عموم افراد واقع شود. برای کاربردی‌کردن الگوریتم استنتاج در محیط واقعی نیز از آخرین تکنولوژی قابل دسترس برای عموم افراد در جهت پیاده‌سازی نرم‌افزار استفاده شده است.

۳. مطالعات پیشین

تاکنون پژوهش‌های مختلفی در زمینه ناهنجاری‌های ستون‌فقرات انجام گرفته است، امّا تا زمان طراحی این سیستم، سیستم‌خبره‌ای برای پیش‌بینی از وقوع ناهنجاری‌های وضعیتی ستون فقرات ارائه نشده است. تشخیص ناهنجاری‌های ستون فقرات به‌وسیله روش‌های تهاجمی و غیر تهاجمی امکان‌پذیر است، برخی از روش‌های تهاجّمی شامل: تصاویر رادیوگرافی، فلوروسکوپیک، سی‌تی‌اسکن و ام‌آرآی است[۲۷]. روش‌های غیرتهاجّمی شامل دو دسته هستند؛ دسته اول روش‌های تماسی، مانند: استفاده از کایفومتر، انکلاینومتر، خط‌کش‌منعطف، اسپاینال‌پانتوگراف، الکتروگونیامتر و اسپاینال‌موس است و دسته دوم غیرتماسی، مانند: تست نیویورک و روش مشاهده می‌باشد[۲۸].یکی از قدیمی‌ترین روش‌ها، که یک روش رایج بین متخصصان است، روش Cobb است، که علاوه بر خطرات ناشی از قرارگیری در معرض اشعه ایکس، صرف هزینه مالی و زمانی زیاد، احتمال بالای خطا بر اثر حرکات آزمودنی در طی عکس‌برداری را دارد، که این روش تهاجمی باعث سرطان استخوان در مردان، سرطان پستان و سقط جنین در زنان نیز در مواردی می‌شود[۲۹].محمد یوسفی و همکاران در سال ۱۳۸۹ یک روش برای تشخیص ناهنجاری ستون‌فقرات با استفاده از پردازش‌تصویر و نشانگرهای نصب‌شده بر روی زوائد خاری مطرح کردند و آن را بر روی چهل نفر از دانشجویان پسر دانشگاه بیرجند آزمایش نمودند، که در این روش نشانگرهای برروی

[1] Anthropometry
[2] Longitudinal study
[3] Late-onset idiopathic scoliosis

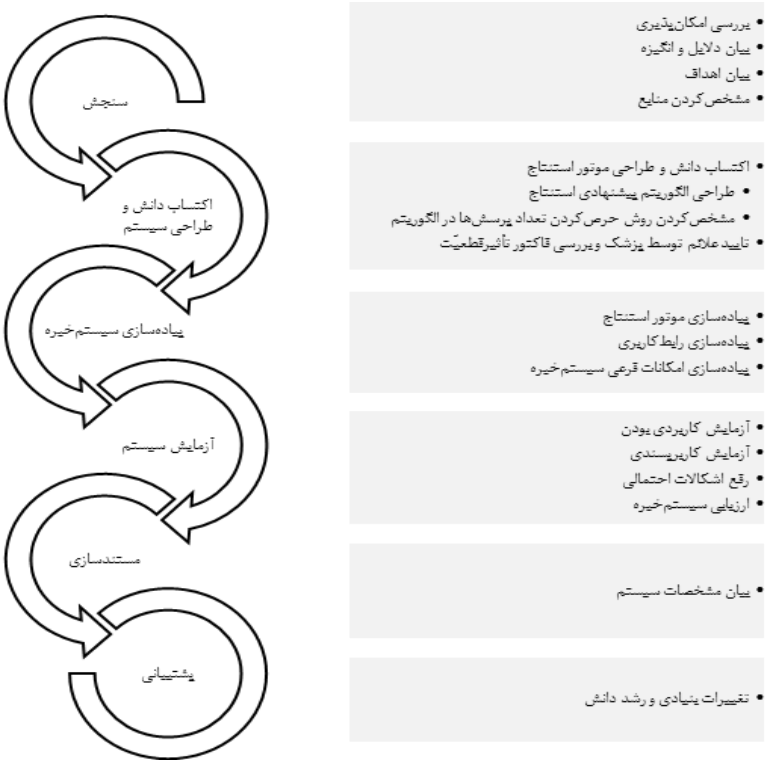
بدن برهنه فرد نصب می‌گردید و با استفاده از دوربین دستگاه تحلیل‌گر حرکت، تصاویری از فرد ضبط می‌شد، که از مقایسه روش‌پیشنهادی و روش خط‌کش‌منعطف، نتایجی مناسب با ضریب‌همبستگی پیرسون ۹۷ درصد برای کیفوز و ۹۵ درصد برای لوردوز کمری به همراه داشت[۱۲]. از معایب این روش علاوه بر معایب مطرح شده در بخش مزیت‌های سیستم خبره پزشکی، این است که:

- نیاز به تجهیزات خاصی از جمله تهیه دستگاه تحلیل‌گر حرکت و نشانگرهای مناسب است.
- نیاز به برهنه نمودن فرد دارد و برای همه فرهنگ‌ها مناسب نیست.
- نیاز به پس‌زمینه و روشنایی مناسب دارد.
- نرم‌افزاری در این جهت طراحی نشده است تا در اختیار همه باشد.
- امکان خطای نصب نشانگر برای افراد غیر خبره بسیار زیاد است.
- الگوریتم مطرح شده برای پردازش‌تصویر جامع نیست و نیاز به نصب نشانگر است در صورتی که با یک الگوریتم جامع می‌توان از دستگاه تحلیل‌گر حرکت و هم از نصب نشانگرها صرف‌نظر کرد.

سیستم‌خبره‌ای که در اینجا طراحی شده است، برای این موضوع تلاش می‌کند تا دستیار یا جایگزین موقت متخصّص شود و با روش‌های بالا منافاتی ندارد و سعی بر این دارد تا با ارائه‌دانش موجب پیشگیری از وقوع این ناهنجاری‌ها نیز گردد؛ در حقیقت سیستم‌خبره حاصل دانش و تجربه‌های متخصّصان در طی سالیان را تقلید و رهنمون می‌سازد. این سیستم در دسته‌بندی مطرح شده در روش‌های غیرتهاجّمی و در دسته دوم غیرتماسی، قرار می‌گیرد.

۴. روش مهندسی دانش

روش پیاده‌سازی سیستم‌خبره در شکل ۱ بصورت گرافیکی نمایش داده شده است. حلقه‌های نمایش داده شده در شکل ۱ فرآیندهای سطح یک و فهرست‌های کناری نیز شامل فرآیندهای سطح دوم و سوم متعلق به فرآیندهای سطح یک هستند. در متدولوژی پیشنهادی هر فرآیند به تعداد دفعات می‌تواند تکرار شود، تا سیستم خبره با کیفیت و کارایی مناسب شکل گیرد. بصورت خلاصه و مفید در ادامه این بخش، قسمت های مورد نیاز متدولوژی انجام شده تشریح می‌گردد.



شکل ۱- فازهای متدولوژی مهندسی‌دانش برای پیاده‌سازی سیستم‌خبره تشخیص و پیش‌بینی ناهنجاری‌های ستون‌فقرات

۱.۴. اکتساب‌دانش

منابع مورد نیاز اکتساب‌دانش در جهت طراحی سیستم، شامل موارد زیر بود:

۱) فیزیوتراپ متخصّص.

۲) استاد دانشگاه و مربّی تربیت‌بدنی[1].

۳) ۶۳ مقاله، گزارش و تحقیق، شامل اثرگذارترین علائم و عوارضی که مشخص شده است.

در طراحی این سیستم، دانش مربوط به نحوه تشخیص و پیش‌گیری هر ناهنجاری همچنین علائم و عوارض آنها به‌وسیله پرسش‌نامه‌ها و مصاحبه‌هایی از افراد خبره کسب شد. سپس به هر علائمی که بتوان به‌وسیله آن وجود ناهنجاری را در فرد بررسی کرد یک فاکتور قطعیّت، بدون وجود اشتراک با علائم دیگر و مستقل بصورت احتمالی، توسط فرد خبره (فیزیوتراپیست و مربّی تربیت‌بدنی) داده شد؛ در انتهای این عمل فاکتور قطعیّت‌های که توسط افراد خبره بدست آمده بود، میانگین آنها به عنوان فاکتور قطعیّت در نظر گرفته شد؛ سپس با بررسی و استخراج فاکتور قطعیّت تحقیقاتی که محققان نتایج آن را منتشر کرده بودند، اگر در این تحقیقات آن علائم درج شده بود، فاکتور قطعیّت نتایج محققان به‌عنوان فاکتور قطعیّت نهایی در نظر گرفته می‌شد.

نمونهٔ کوچکی از نحوه شکل‌گیری جداول پایگاه‌دانش در جدول ۱ و ۲ مشاهده می‌شود. در ستون سوم جدول ۱، فاکتور قطعیت نهایی نشان داده شده است، این فاکتور از بررسی‌های توضیح داده‌شده در بالا بدست آمده است. فاکتور تأثیر قطعیّتی که در ستون چهارم جدول ۲ نیز مشاهده می‌شود، پس از طبقه‌بندی علائمی که مرتبط باهم هستند و در یک پرسش کامل سیستم می‌تواند با جواب تقریبی از کاربر به آن برسد، از طریق حداکثر قرار دادن فاکتور قطعیّت آن طبقه علائم توسط رابطه (۱) بدست می‌آید.

$$c = \frac{m}{t} \qquad (۱)$$

[1] Physical Education

که در آن متغیر c تأثیرقطعیت، متغیر m حداکثر قطعیت از نظر فرد خبره در طبقه و متغیر t مجموع حداکثر قطعیت از نظر فرد خبره در تمام طبقات است.

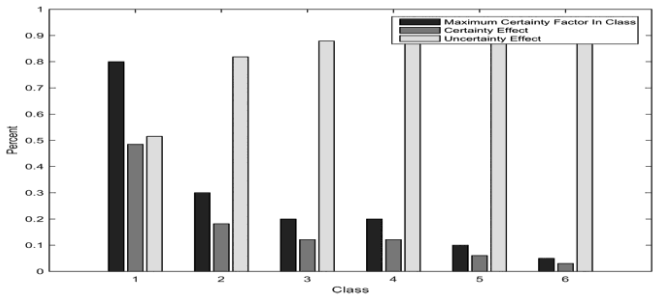
نمایش گرافیکی تأثیر قطعیّت در شکل ۲ نشان داده شده است. در نهایت برای هر ناهنجاری تقریباً ۲۰ عامل درجه اول و ۵۸ عامل درجه دوم، با دقّت برای شکل‌گیری پایگاه‌دانش شناسایی گردید.

جدول ۱- نمونهٔ استخراج علائم و فاکتورها از دانش اکتساب‌شده برای ناهنجاری پشت‌صاف

#	علائم	قطعیّت از نظر فردخبره	احتمال	احتمال تجمّعی	متمّم احتمال	طبقهٔ علائم
۱	بالا تنه قائم و جهت قوس‌ها در سطح ستون مهره‌ها کمتر است.	٪۸۰	۰.۳۵۵۶	۰.۳۵۵۶	۰.۶۴۴۴	A
۲	کاهش قوس ستون فقرات در ناحیه پشت یا کمر دیده شود.	٪۶۰	۰.۲۶۶۷	۰.۶۲۲۲	۰.۷۳۳۳	A
۳	حالت فنری ستون فقرات کاهش یابد.	٪۳۰	۰.۱۳۳۳	۰.۷۵۵۶	۰.۸۶۶۷	B
۴	فاصله بین مهره‌ها کمتر است.	٪۲۰	۰.۰۸۸۹	۰.۸۴۴۴	۰.۹۱۱۱	C
۵	مواد غضروفی و دیسک بین مهره‌ها آسیب ببیند.	٪۲۰	۰.۰۸۸۹	۰.۹۳۳۳	۰.۹۱۱۱	D
۶	کاهش در توان ضربه‌گیری دیسک مشاهده شود.	٪۱۰	۰.۰۴۴۴	۰.۹۷۷۸	۰.۹۵۵۶	E
۷	مشکل در دستگاه گوارش وجود دارد.	٪۵	۰.۰۲۲۲	۱	۰.۹۷۷۸	F

جدول ۲- نمونهٔ استخراج فاکتور تأثیر قطعیت از فاکتور قطعیّت جدول ۱ برای ناهنجاری پشت‌صاف

#	طبقهٔ علائم	حداکثر قطعیّت از نظر فردخبره در طبقه	تأثیرقطعیّت	تأثیر عدم‌قطعیّت	تأثیر قطعیّت تجمّعی
۱	A	٪۸۰	۰.۴۸۴۸	۰.۵۱۵۲	۰.۴۸۴۸
۲	B	٪۳۰	۰.۱۸۱۸	۰.۸۱۸۲	۰.۶۶۶۷
۳	C	٪۲۰	۰.۱۲۱۲	۰.۸۷۸۸	۰.۷۸۷۹
۴	D	٪۲۰	۰.۱۲۱۲	۰.۸۷۸۸	۰.۹۰۹۱
۵	E	٪۱۰	۰.۰۶۰۶	۰.۹۳۹۴	۰.۹۶۹۷
۶	F	٪۵	۰.۰۳۰۳	۰.۹۶۹۷	۱



شکل ۲- نمونهٔ فاکتور تأثیر قطعیت طبقهٔ علائم برای ناهنجاری پشت‌صاف

۲.۴. الگوریتم پیشنهادی موتور استنتاج

پس از انجام اکتساب‌دانش، روش استنتاج و پردازش تصمیم‌گیری بر اساس دانش موجود مشخص شد. جهت تقلید نحوه تفکر فرد خبره و جلوگیری از ازدیاد قوانین، الگوریتم ترکیبی مناسبی برای استنتاج طراحی گردید، تا کارایی مناسبی از لحاظ کامل بودن، بهینگی، پیچیدگی‌زمانی و پیچیدگی‌مکانی داشته باشد. الگوریتم حاصله ترکیبی از زنجیره رو به‌عقب، عدم قطعیّت و درخت‌تصمیم‌گیری است.

رایج‌ترین روش استفاده از تعمیم اصل عدم قطعیّت در سیستم‌های خبره پزشکی استفاده از فاکتور قطعیّت است[۱۳]؛ اما در این الگوریتم، از فاکتور تعمیم‌یافتهٔ دیگری به‌عنوان فاکتور تأثیرقطعیّت استفاده گردیده است؛ استفاده از این فاکتور در زنجیره رو به عقب باعث می‌گردد تا نیازی به ذخیرهٔ مسیر طی‌شده پرسش و پاسخ از کاربر نباشد و در هر مرحلهٔ از فرآیند تصمیم‌گیری تنها با دانستن مرحله قبلی پرسش و پاسخ، نتایج آماری بررسی را بتوان بازخورد داد، همچنین با استفاده از مزایای درخت تصمیم به «حرص‌کردن» این زنجیره، پرداخت.

به‌دلیل اینکه محیط‌های سیستم تشخیص پزشکی در اکثر موارد چندعامله، پویا، غیرقابل دسترس، غیرقطعی و پیوسته هستند، فاکتور تأثیرقطعیت ایجاد شد و با استفاده از این فاکتور محیط پی‌درپی به محیطی تقسیم‌پذیر با استفاده از تجمع اشتراک علائم در یک طبقه علائم و حذف اشتراک با طبقه علائم دیگر تبدیل شد، تا طراحی سیستم ساده‌تر گردد.

نحوه کار الگوریتم به این صورت است که حافظه‌ای به‌عنوان حافظهٔقطعیّت رسیدن به هدف «همانند روش تفکر انسان»، به عنوان خروجی موتور استنتاج در نظر گرفته می‌شود و قوانین نیز در صورت امکان به‌صورت نزولی برحسب فاکتور تأثیر قطعیّت، مرتب می‌شوند، که البته لزومی ندارد. در فرآیند زنجیره رو به‌عقب هرگاه به هرکدام از سوالات مطرح شده در قوانین که کاربر پاسخ تقریبی داد مطابق رابطه (۲)، درصدی از فاکتور تأثیرقطعیّت آن قانون به حافظهٔقطعیّت هدف اضافه خواهد شد.

$$\varsigma = \sum \rho \qquad (۲)$$

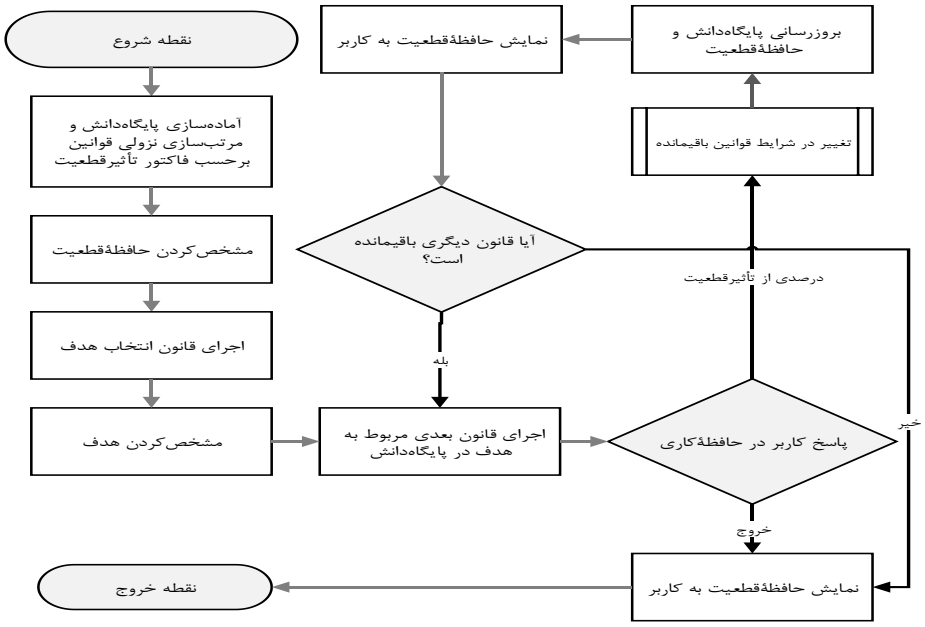
که در آن حافظهٔقطعیّت ς برابر مجموع پاسخ تقریبی کاربر ρ به تاثیر قطعیت‌های درخت پاسخ‌ها است.

در این الگوریتم نیازی به ذخیره مسیر طی شده نیست و حافظهٔقطعیّت تنها برای محاسبات خصوصیت آماری رویدادی مستقل است و یک احتمال شرطی نیست. این‌گونه تعداد قوانین بصورت عددی ثابت کاهش پیدا خواهند کرد و به ازای n علائم، تنها به n قانون در پایگاه‌دانش نیاز است؛ زیرا علائم طبق فرآیند استخراج داده رویدادهای مستقلی از هم شده‌اند[۱]. در شکل ۳ فلوچارت این الگوریتم، قابل مشاهده است.

مزیّت‌های این الگوریتم استنتاج عبارت‌اند از:

- اگر از روش زنجیره رو به‌عقب با روش‌های احتمال شرطی، درخت‌دودوئی و رویدادهای مستقل استفاده شود، قوانین پیاده‌سازی شده به تعداد $n! + 1$ افزایش پیدا می‌کنند؛ زیرا برای هر پاسخ مثبت و منفی کاربر باید مسلماً، یک قانون پیاده‌سازی شود؛ امّا در الگوریتم استنتاج مطرح شده تعداد قوانین ثابت هستند و به ازای ۲۰ علامت و بررسی آن، پیاده‌سازی ۲۰ قانون مورد نیاز است. البته بعد از حرص تعداد پرسش‌ها با درخت تصمیم این تعداد تغییر می‌کند، امّا در صورتی که رویدادها کاملاً مستقل باشند، نتیجه همان عدد ثابت است.
- در الگوریتم پیشنهادی در هر مرحله تصمیم‌گیری می‌توان دیگر فرآیند پرسش و پاسخ از کاربر را ادامه نداد و به جواب قابل قبول رسید؛ زیرا رویدادها مستقل هستند.
- نیازی به ذخیره مسیر طی شده نیست؛ زیرا در هر مرحله آمار مربوطه قابلیت محاسبه‌شدن را دارند.
- قابلیت برگشت به پرسش‌های قبلی در این الگوریتم ساده‌تر است.

[۱] این ویژگی به‌این دلیل توانست اضافه شود، که کاربر همانند: پرسش و پاسخ پزشک از بیمار، به سوالات پاسخ تقریبی می‌دهد و به پرسش‌ها بصورت بله و خیر پاسخ نمی‌دهد؛ همانند زمانی که بیمار به پزشک می‌گوید: کمی تب و بسیار سرفه دارد.



شکل ۳- فلوچارت الگوریتم موتور استنتاج

۳.۴. پیاده‌سازی موتور استنتاج

پس از اکتساب‌دانش و مشخص‌شدن روش استنتاج، پایگاه‌دانش پیاده‌سازی گردید، که قسمتی از این پایگاه در شکل ۴ قابل مشاهده است. پایگاه‌دانش شکل گرفته با الگوریتم استنتاج مطرح شده و پاسخ‌های تقریبی از کاربر دارای قوانین بسیار کمتری نسبت به روش مرسوم درختِ تصمیم و پاسخ‌های صریح است. همچنین این سیستم امکان استدلال و استنتاج بر اساس ابعاد آنتروپومتری، اطلاعات آناتومی و فیزیولوژیکی فرد بصورت هوشمند را دارد.

```
query "queryCertainty"
   certainty : Fact(state == Fact.INTERVIEW)
end
rule "startUp"
when
    not(exists(Fact(state == Fact.GOAL)))
then
    uistate.setGreeting("GreetingMessage");
end
rule "flatBackQuestion1"
when
    Fact(state == Fact.GREETING)
    Fact(name == "FLATBACK", state == Fact.GOAL)
    not(Fact(name == "flatBackQuestion1"))
then
    uistate.setInterview("flatBackQuestion1",  "flatBackQuestion1", 48, 15);
end
rule "flatBackQuestion2"
when
    Fact(name == "FLATBACK", state == Fact.GOAL)
    Fact(name == "flatBackQuestion1")
then
    uistate.setInterview("flatBackQuestion2", "flatBackQuestion2", 18, 15);
end
```

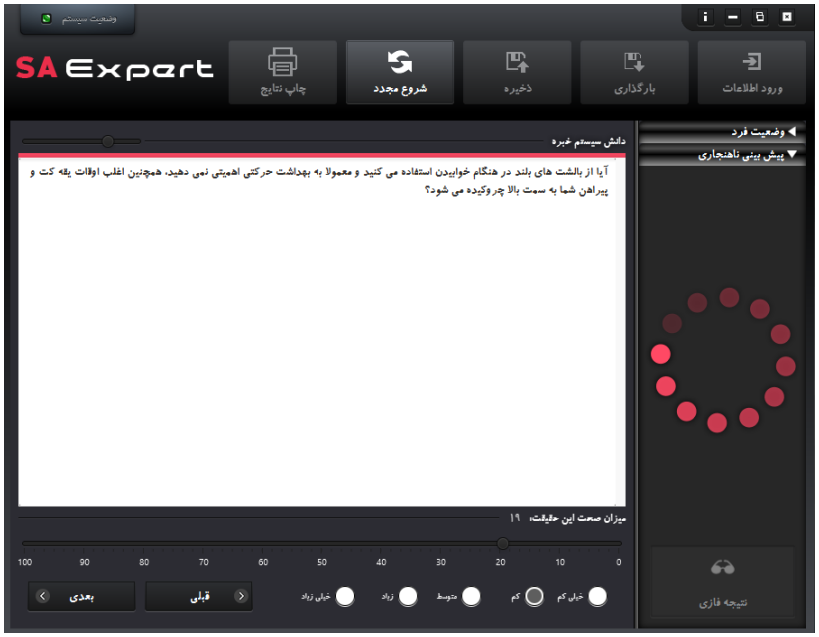
شکل ۴-قسمتی از پایگاه دانش پیاده‌سازی شده با استفاده از کتابخانه Drools جاوا

۴.۴. پیاده‌سازی رابط‌کاربری

در طراحی یک سیستم باید توجه داشت که افراد استفاده‌کننده از نرم‌افزار همیشه مهندس‌نرم‌افزار یا مهندس‌دانش نیستند، تا بتوانند با محیط پیچیده یک سیستم‌خبره کار کنند و بدون‌تردید سیستمی که رابط‌کاربری مناسبی نداشته باشد، در واقعیت چندان کارآمد نیست.

پس از پیاده‌سازی پایگاه‌دانش، رابط‌کاربری گرافیکی با استفاده از JavaFX طراحی شد. این سیستم امکانات ارتباطی دیگری از جمله تبدیل متن به گفتار را دارد.

سیستم‌خبره در مرحلهٔ پرسش و پاسخ از کاربر در شکل ۵ مشاهده می‌شود. این سیستم می‌تواند در اختیار اکثر افراد قرار داده شود. نگارش رایانه‌رومیزی سیستم‌خبره، از سیستم‌عامل‌های: ویندوز اکس‌پی، ویندوز ۷، ویندوز ۸ ویندوز سرور، ویندوز ویستا، مکینتاش، لینوکس و اوپن‌سولاریس پشتیبانی می‌کند.



شکل ۵- سیستم‌خبره در مرحله پرسش و پاسخ

۵. ارزیابی سیستم خبره

دو نمونهٔ‌آماری[1] تصادفی برای ارزیابی صحت نتایج سیستم‌خبره انتخاب شدند و سیستم‌خبره توسط فیزیوتراپیست‌ها و مربیان ورزشی در اختیار این افراد قرار گرفت، تا نتایج را بازخورد دهند. نمونهٔ‌آماری اول، افراد مبتلاء به ناهنجاری ستون‌فقرات و نمونه آماری دوم، افراد داری سلامتی ستون‌فقرات، که وجود هر پنج ناهنجاری در آنها بررسی شد. این روش برای این انتخاب شد تا مشخص گردد نتایج سیستم‌خبره در احتمال مبتلاءشدن یا مبتلاءبودن فرد به ناهنجاری تا چه مقدار درست است و در تفکیک موفق عمل می‌کند. از ۸۰ نفر جهت تشکیل نمونه‌آماری استفاده شد، که ۶۰ نفر از آنان صحت وجود ناهنجاری در آنها توسط فیزیوتراپیست‌های متخصص مشخص شده بود و ۲۰ نفر از آنان از افراد دارای سلامت جسمانی بودند.

نتایج آماری بدست آمده از این نمونه آماری افراد دارای ناهنجاری را در جدول ۳ و افراد سالم را در جدول ۴ مشاهده می‌کنید. این نتایج نشان می‌دهند که با چه میانگین $\bar{X}$ و انحراف معیار استاندارد نمونه S و ضریب تغییراتی CV سیستم مورد نظر توانسته است، موفق عمل کند، و نتایج پیش‌بینی آن در چه بازه‌ای صحت دارد، شکل ۶ و ۷ نیز صحت این موضوع را نشان می‌دهند. در این سیستم متخصصان می‌توانند برای صحت پیش‌بینی هر ناهنجاری، نیز بازه‌ای را در نظر بگیرند[2].

[1] Statistical sample

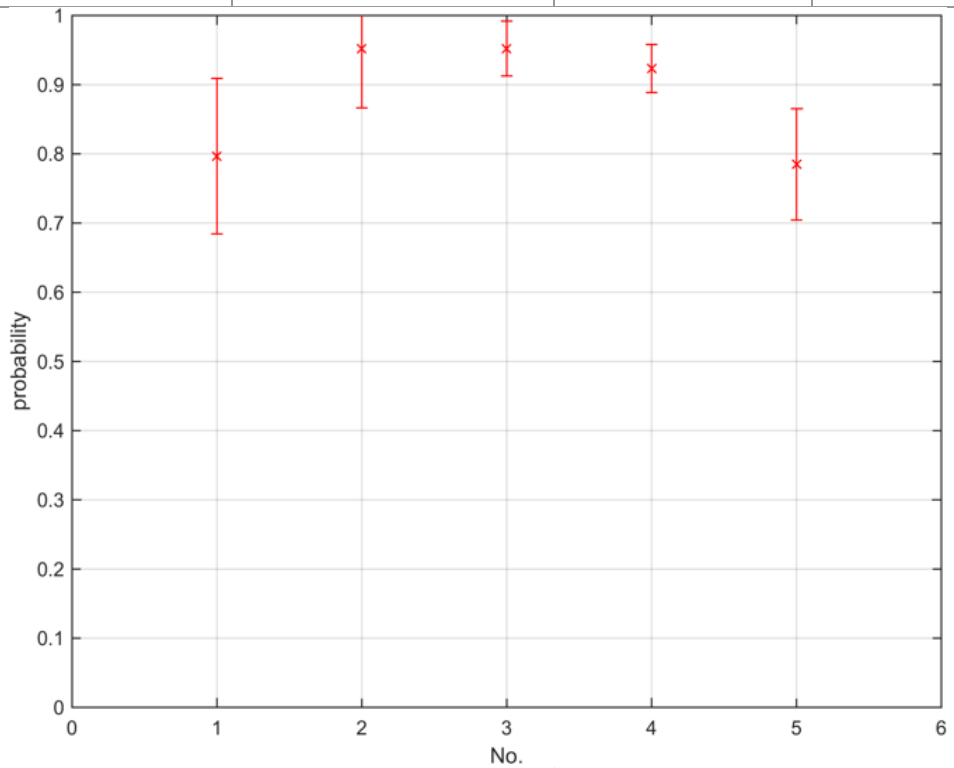
[2] به‌عنوان نمونه توسط یک فرد خبره توصیه شود، این سیستم از احتمال قطعیّت ۸۰٪ به بالا اسکولیوز را خوب تشخیص می‌دهد.

جدول ۳-نتایج سیستم خبره در ارزیابی نمونه‌آماری دارای ناهنجاری

#	نام ناهنجاری	$\bar{X}$	S	CV
۱	اسکولیوز	۰.۷۹۶۶۷	۰.۱۱۲۴	۰.۱۴۱۰۹
۲	پشت صاف	۰.۹۵۲	۰.۰۸۵۵۵۷	۰.۰۸۹۸۷۱
۳	کیفوز	۰.۹۵۲۲۲	۰.۰۳۹۶۱۶	۰.۰۴۱۶۰۴
۴	لوردوز گردنی	۰.۹۲۳۳۳	۰.۰۳۴۷۲۸	۰.۰۳۷۶۱۲
۵	لوردوز کمری	۰.۷۸۴۸۴	۰.۰۸۰۴۵۲	۰.۱۰۲۵۱

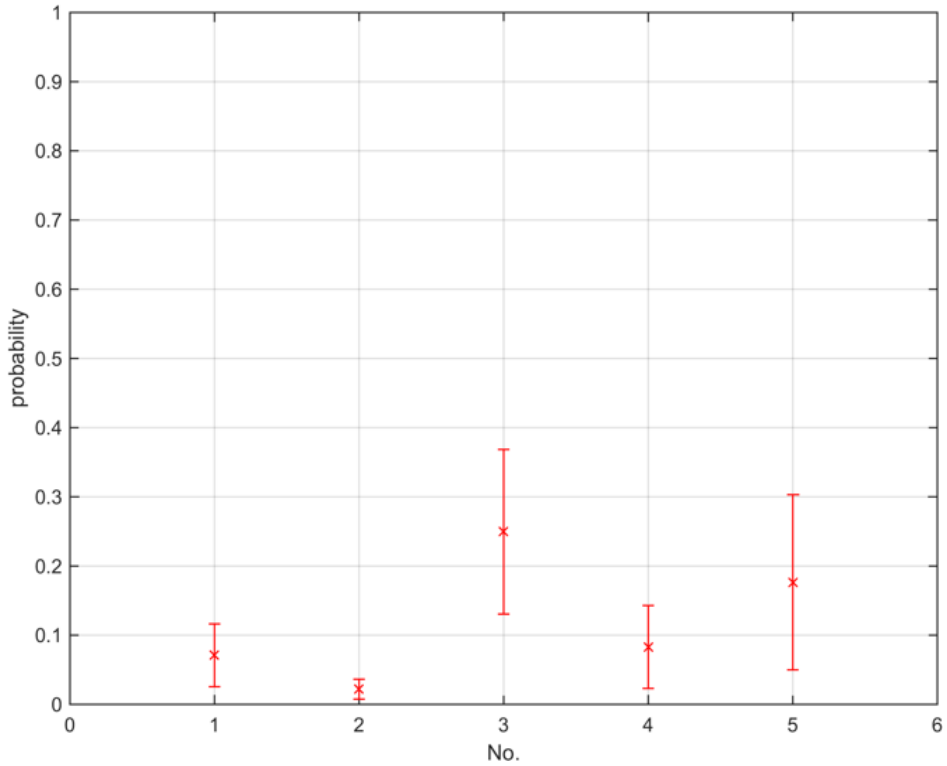
جدول ۴- نتایج سیستم خبره برای نمونه‌آماری بدون ناهنجاری

#	نام ناهنجاری	$\bar{X}$	S	CV
۱	اسکولیوز	۰.۰۷۱	۰.۰۴۵۴۱	۰.۶۳۹۵۸
۲	پشت صاف	۰.۰۲۲	۰.۰۱۴۳۶۴	۰.۶۵۲۹
۳	کیفوز	۰.۲۴۹۵	۰.۱۱۸۹۲	۰.۴۷۶۶۳
۴	لوردوز گردنی	۰.۰۸۳	۰.۰۵۹۹۲۱	۰.۷۲۱۹۴
۵	لوردوز کمری	۰.۱۷۶۵	۰.۱۲۶۵۹	۰.۷۱۷۲



شکل ۶- نمودار میله‌ای خطا[1]، نتایج سیستم خبره برای نمونه‌آماری دارای ناهنجاری

[1] Error bar



شکل ۷- نمودار میله‌ای خطا، نتایج سیستم خبره برای نمونهٔ‌آماری بدون ناهنجاری

۶. نتیجه‌گیری

سیستم خبره‌ای که طراحی ـ پیاده‌سازی شد و بصورت خلاصه تشریح گردید، به‌خوبی می‌تواند با ارائه‌دانش به افراد غیرمتخصّص موجب پیشگیری از شیوع ناهنجاری‌های ستون فقرات شود. در ارزیابی انجام شده سیستم توانست با دقت مناسبی بر اساس ابعاد آنتروپومتری، عادات روزانه، اطلاعات آناتومی و فیزیولوژیکی فرد احتمال وجود ناهنجاری در فرد را مشخص کند. این روش یک روش غیرتهاجّمی جدید برای تشخیص و پیشگیری از ناهنجاری‌های ستون‌فقرات است، که از دسته روش‌های غیرتماسی برروی بدن افراد محسوب می‌شود و می‌تواند با دیگر روش‌ها نیز مورد استفاده قرار گیرد. استفاده از این سیستم‌خبره توسط افراد جامعه می‌تواند از شیوع ناهنجاری‌های ستون‌فقرات به خوبی جلوگیری کند و زندگی سالم‌تری را برای این افراد به ارمغان آورد.

الگوریتم پیشنهادی مناسبی نیز برای موتور استنتاج و تقلید الگوی تفکر فردخبره ارائه گردید، که تقریباً توانست تعداد قوانین را بصورت عددی ثابتی کاهش دهد و مزیّت‌های را نسبت به استفادهٔ نادرست از احتمالات شرطی، به همراه داشت.

کار برروی نسخه کامل‌تر SAExpert(v0.2) ـ بدون هیچ حمایتی ـ به مدت یکسال است، که آغاز شده است؛ سیستم‌خبره فازی مبتنی بر قانون، مراحل نهایی و آزمایشی جدید خود را سپری می‌کند و تقریباً نهایی شده است. در واقع شکل ۵ تصویر جدید سیستم، مربوط به فرآیند موتور استنتاج اول احتمالی (این مقاله) است؛ سیستم جدید دارای دو موتور استنتاج قدرتمند است و موتور استنتاج اول تنها یک ورودی صریح[1] از نه ورودی فعلی موتور استنتاج دوم فازی[2] را تشکیل می‌دهد؛ فاکتورهای زیاد دیگری از تجزیه ـ تحلیل ابعاد آنتروپومتری افراد سالم و دارای ناهنجاری و اطلاعات پزشکی منتشرشده محققان به آن افزوده شده است. این سیستم با قاطعیت به‌مسیر خود ادامه می‌دهد و در آینده نتایج آن بازخورد داده خواهد شد.

[1] Crisp
[2] Fuzzy inference engine

۷. مراجع

1. Momenzadeh, S. Jafari; Fuzzy Web-based expert system for diagnosis of psychological disorders in children; 13-37:13; 2009.

2. Copec JA, Efdiale JM, Abrahamowicz M, Abenhaim L, Wool-Dauphinee's Hamping, DL, Williams JA; The Quebec, back pain disability scale measurement properties; Spain; 20:341-52; 1995.

۳. رشید حیدری مقدم؛ بررسی نقش ابتلا به تالاسمی ماژور با ناهنجاری‌های اسکلتی ستون فقرات؛ مجله پژوهشی دانشکده پزشکی؛ دوره ۳۶؛ ویژه نامه ۱؛ ص ۸۸ تا ۹۲؛ زمستان ۱۳۹۱.

۴. عباس طلوعی اشلقی؛ طراحی یک سیستم خبره برای تشخیص و پیشنهاد در مورد شیوه درمان سرطان خون؛ مدیریت سلامت؛ آذر ۱۳۸۹.

5. Marieb, E. N.; Human Anatomy & Physiology; San Francisco; CA: Person Education Inc ;Publishing as Benjamin Cummings; pp. 215–216; 2001.

۶. نوربخش؛ معاینه فیزیکی ستون فقرات و اندام‌ها؛ چاپ اول؛ تهران انتشارات ماجد؛۱۳۷۱.

7. Per Trobisch; Idiopathic Scoliosis; Disch Arztebi Int; 107 (49); December 2010.

۸. حسن دانشمندی، محمد حسین علیزاده، رضا قراخانلو؛ حرکات اصلاحی؛ انتشارات سمت؛ ۱۳۸۳.

9. Weinstein S. L., Dolan L. A., Spratt K.F., Peterson, K. K., Spoonamore, M. J., Ponseti, I. V.; Health and Function of Patients With Untreated Idiopathic Scoliosis: A 50-Year Natural History Study; JAMA. 289 (5): 559–567; 2003.

10. Weinstein SL, Zavala DC, Ponseti IV; Idiopathic scoliosis: long-term follow-up and prognosis in untreated patients; The Journal of bone and joint surgery 63 (5): 702–12; June 1981;

11. Jason Brumitt; Core Assesment And Training; Human Kinetics; page 39-40; ISBN 0736073841; 2010.

۱۲. سعید ایل بیگی؛ ناصر مهرشاد، محمداسماعیل افضل پور، محمد یوسفی؛ تشخیص ناهنجاری‌های ستون‌فقرات با استفاده از نشانگرهای نصب شده روی زوائد خاری؛ طب ورزشی؛ بهار و تابستان ۱۳۸۹.

13. Cecilia Vallejos de Schatz, Fabio Kurt Schneider; Intelligent and Expert Systems in Medicine – A Review; XVIII Congreso Argentino de Bioingeniería SABI 2011 - VII Jornadas de Ingeniería Clínica Mar del PlataSara; page 326-331; September 2011.

14. Kado DM, Prenovost K, Crandall C; Narrative review: hyperkyphosis in older persons; Ann. Intern. Med. 147 (5); 330–8; 2007.

15. Keller TS, Harrison DE, Colloca CJ, Harrison DD, Janik TJ; Prediction of osteoporotic spinal deformity; Spine 28 (5); 455–62; 2003.

16. Cressey, Eric; Strategies for Correcting Bad Posture – Part 4; EricCressey.com. Retrieved 17 August 2014.

17. Schuler Thomas C; Segmental Lumbar Lordosis: Manual versus Computer-Assisted Measurement Using Seven Different Techniques; J Spinal Disord Tech; 17 (5); 372–9; Oct 2004.

18. Feigenbaum, Edward; The Rise of the Expert Company; Times Books; page 317; ISBN 0-8129-1731-6; 1988.

19. Maizels M, Wolfe WJ; An expert system for headache diagnosis: the Computerized Headache Assessment tool (CHAT); Headache; 48(1):72-8; 2008 Jan.

20. Quinlan, J. R.; simplifying decision trees; International Journal of Man-Machine Studies 27 (3); 1987.

۲۱. میرمحمد کاشف؛ حرکات اصلاحی و ورزش درمانی؛ انتشارات دانشگاه ارومیه؛ ۱۳۸۵.

۲۲. عبدالامیر سیّاری، ابوالفضل فراهانی، محسن قنبرزاده؛ بررسی و مقایسه دو نوع برنامه تمرین اصلاحی ساختاری و اصلاحی هوازی بر برخی از شاخص‌های اساسی عملکرد ریوی دانشجویان مبتلا به کیفوز دانشگاه شهید چمران اهواز؛ نشریه المپیک؛ سال چهاردهم؛ شماره ۳ (پیاپی ۳۵)؛ ص ۶۸-۶۱؛ ۱۳۸۵.

۲۳. غفوری، فرزاد و همکاران؛ رابطه کیفوز با افسردگی و اضطراب بین دانشجویان پسر ورزشکار و غیر ورزشکار دانشگاه‌های منتخب تهران؛ نشریه پژوهش در علوم ورزشی؛ شماره ۱۲؛ ص ۱۲۲ -۱۰۷؛ ۱۳۸۵.

۲۴. حسن دانشمندی، حسین پورحسینی، محمد علی سردار؛ بررسی مقایسه ناهنجاری‌های ستون فقرات پسران و دختران دانش‌آموز؛ نشریه حرکت؛ شماره ۲۳؛ ص ۱۴۳-۱۵۶؛ ۱۳۸۳.

۲۵. ملک پور، سیروس؛ معاینه فیزیکی دفرمیته‌های ستون فقرات؛ انتشارات دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی ایران؛ ۱۳۸۱.

۲۶. فیزنت، استفن؛ انسان- آنتروپومتری- ارگونومی و طراحی؛ علیرضا چوبینه، امین موعودی؛ تهران؛ ۱۳۷۵.

۲۷. الیاسی، ز؛ اسکولیوز و روش های اندازه گیری وضعیت ستون فقرات؛ پویش؛ ۲، ص: ۱۶؛ ۱۳۸۷.

۲۸. رجبی، ر. صمدی، ه؛ راهنمای آزمایشگاه حرکات اصلاحی؛ مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران؛ چاپ اول؛ ۱۳۸۷.

۲۹. اکبری، ا. غیاثی، ف. عالی، ا. حبیبی نیا، ا. خسروی زرندی، ح. افشارپور؛ مقایسه بین دو روش بالینی و پرتونگاری در اندازه‌گیری زاویه انحنای کمر؛ مجله دانشگاه علوم پزشکی ایلام؛ (۲) ۱۶؛ ص: ۸۷؛ ۱۳۸۷.