



## تشخیص کمردرد با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی

عاطفه محمدی<sup>(۱)</sup>

(۱) گروه مهندسی کامپیوتر، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

Mohammadi289@yahoo.com

**خلاصه:** بیماری‌های ستون فقرات از جمله کمردرد یکی از شایع‌ترین بیماری‌ها در سطح جهان می‌باشد. با توجه به نزدیک بودن و ارتباطی که ستون فقرات با اصلی‌ترین بخش بدن یعنی نخاع دارد، یکی از کلیدی‌ترین اقدامات در حفظ سلامتی انسان است. لذا شناخت علائم بیماری‌های ستون فقرات از جمله کمردرد بسیار ضروری بوده و دقت تشخیص این بیماری نقش بسزایی در درمان آن دارد که با وجود مطالعات فراوان در زمینه بیماری کمردرد، تاکنون درمان قطعی در این خصوص وجود نداشته و تحقیقات همچنان ادامه دارد. در سال‌های اخیر استفاده از داده‌کاوی بعنوان روشی مفید با استفاده از تکنیک‌های خود در بسیاری از زمینه‌های پزشکی جهت شناسایی و تشخیص به موقع بیماری‌ها، کمک بسیار بزرگی برای پزشکان می‌باشد. لذا در این تحقیق، قصد داریم جهت طبقه‌بندی افراد سالم و بیماران مبتلا به کمردرد با بهبود وزن‌های شبکه عصبی مصنوعی بوسیله الگوریتم مورچگان استفاده کنیم. بنابراین پس از پیاده‌سازی روش پیشنهادی با استفاده از اطلاعات ۳۱۱ نمونه جمع‌آوری شده از پایگاه داده Kaggle با ۱۲ ویژگی، به دقت ۹۴.۸۵ درصد در تشخیص بیماری کمردرد دست پیدا کردیم. نتایج بدست آمده از پیاده‌سازی روش پیشنهادی حاکی از آن است استفاده از الگوریتم مورچگان توانست است کارایی و دقت شبکه عصبی را در تشخیص بیماری کمردرد به میزان قابل توجهی بالا ببرد.

**کلمات کلیدی:** تشخیص، کمردرد، داده‌کاوی، شبکه عصبی مصنوعی، الگوریتم مورچگان.

### ۱ - مقدمه

مزمین به کمردردی اطلاق می‌گردد که بیش از سه ماه به طول بیانجامد که در این گونه موارد پزشک باید علاوه بر کمردرد با منشأ ناشناخته، احتمال وجود درد عضلانی با منشأ ستون فقرات را نیز در نظر بگیرد [۵].

در عصر حاضر یکی از علل شیوع کمردرد، استفاده روز افزون از کامپیوتر، موبایل و تبلت می‌باشد. همچنین شیوع کمردرد با بالا رفتن سن مخصوصاً در خانم‌ها افزایش می‌یابد که این موضوع سبب افزایش هزینه‌های درمان می‌گردد. با توجه به نزدیک بودن و ارتباطی که ستون فقرات با اصلی‌ترین بخش بدن یعنی نخاع دارد، دقت در تشخیص بیماری‌های ستون فقرات بسیار ضروری می‌باشد. در طول سال‌های گذشته، روش‌های مختلفی به منظور تشخیص بدافزارها ارائه شده است از جمله فخاریان و همکاران در سال ۱۳۹۷ جهت تشخیص کمردرد ناشی از فتق دیسک کمر، مدلی با استفاده از سیستم خبره فازی ارائه دادند. آنها سیستم پیشنهادی خود را از نظر معیارهای

بیماری‌های ستون فقرات از جمله کمردرد یکی از شایع‌ترین بیماری‌ها در سطح جهان می‌باشد. با توجه به اینکه ستون فقرات یکی از کلیدی‌ترین اقدامات در حفظ سلامتی انسان است لذا شناخت علائم بیماری‌های ستون فقرات و تشخیص آنها نقش بسزایی در درمان دارد. برخی عوامل بروز کمردرد شامل: نژاد، عوامل روانی-اجتماعی، فعالیت سنگین، چاقی، حاملگی و سیگار کشیدن می‌باشند [۱]. طبق تحقیقاتی که انجام شده است ۷۰ تا ۸۵ درصد مردم حداقل یک بار کمردرد را در طول زندگی خود تجربه کرده‌اند [۲،۳]. یکی از عللی که منجر به محدودیت فعالیت در افراد جوان‌تر از ۴۵ سال می‌شود، بروز کمردرد می‌باشد. به طور کلی و بر اساس سابقه درد، کمردرد ممکن است بصورت حاد و یا مزمن بروز کند [۴]. اکثر مبتلایان به کمردرد حاد (۷۵ تا ۹۰ درصد) شش هفته‌ای بهبود می‌یابند و تنها ۱۰ تا ۲۵ درصد در معرض ابتلا به کمردرد مزمن قرار می‌گیرند. کمردرد

دقت، حساسیت، ویژگی، ارزش اخباری مثبت و منفی مورد ارزیابی قرار دادند که نتایج پیاده سازی به ترتیب برابر با ۸۰.۹ درصد، ۷۹.۲ درصد، ۸۱.۸ درصد، ۷۰.۴ درصد و ۸۷.۸ درصد بدست آمد [۶].

Beulah و همکاران در سال ۲۰۱۶ به منظور تشخیص دیسک بین مهره‌ای کمری با استفاده از تصاویر MRI، از هاستوگرام جهت استخراج ویژگی‌ها و برای طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبانی (SVM) را پیشنهاد کردند. آنها مطالعه خود را بر روی ۸۰ نمونه انجام دادند، که در نهایت نتیجه پیاده سازی روش پیشنهاد شده آنها دقت ۷۱.۵۳ درصد طبقه‌بندی تصاویر را به همراه داشته است [۷]. Alomari و همکارانش در سال ۲۰۱۴ یک روش برای تشخیص فتق دیسک کمر با استفاده از الگوریتم‌های Bayesian و توزیع مبتنی بر گیس ا ارائه دادند. مدل پیشنهاد شده آنها بر روی مجموعه‌ای از ۶۵ مورد تصاویر MRI افراد پیاده سازی شده است. در نهایت با پیاده سازی مدل پیشنهاد شده، مقدار دقت ۹۳.۹ درصد، ویژگی ۹۶.۶ درصد و حساسیت ۸۶.۴ درصد بدست آمده است [۸].

Okta y و همکارانش در سال ۲۰۱۳ جهت تشخیص دیسک کمر مدلی ترکیبی از SVM و هاستوگرام هرمی گرایان جهت دار<sup>۱</sup> پیشنهاد کردند. استفاده از توصیف Phog برای استخراج ویژگی، یک روش کارآمد برای تشخیص دیسک و اختلال مهره بود. دقت تشخیص در این روش ۹۵/۴۹ درصد بدست آمد. اما این رویکرد تنها در ستون فقرات کمری بکار گرفته شد و قادر به تشخیص دیسک های از دست رفته نبود و به اندازه وابسته بود. در نتیجه Okta y و همکارانش رویکرد خود را برای استخراج ویژگی با توصیف کننده نقشه تصویر<sup>۲</sup> بهبود دادند. در این مدل نتایج SVM با اطلاعات هندسی ستون فقرات مثل زاویه و نسبت فاصله تحت فیلد مارکوف تصادفی<sup>۳</sup> ترکیب شد. بنابراین رویکرد جدید قادر به تشخیص ساختار ستون فقرات از دست رفته شد و دیگر به اندازه وابسته نبود. در سیستم پیشنهادی از ۸۰ نفر که ۶۴ نفر آنها دچار بیماری دیسک و اختلالات مربوط به ستون فقرات بودند، استفاده شد. مدل پیشنهادی آنها توانست با دقت ۹۷.۲ درصد به تشخیص ساختار ستون فقرات از دست رفته (دیسک کمر) شود [۹].

Raja' S و همکاران در سال ۲۰۱۱ یک سیستم CAD جهت تشخیص دیسک‌های خراب و دارای فتق روی تصاویر MRI پیشنهاد کردند. در این تحقیق از طبقه‌بند بیزین به کمک توزیع (Gibbs) استفاده شده بود. آنها سیستم پیشنهادی خود را روی ۶۵ تصویر نمونه کلینیکی آزمایش نمودند که نتایج بدست آمده با دقت ۹۲.۵ درصد با موفقیت همراه بود. آنها در تحقیق خود اثبات کردند دقت تشخیص فتق توسط این سیستم در دیسک‌های بالا به مراتب بیشتر از دیسک‌های پایین است [۱۰]. Raja' S و همکارانش در تحقیق دیگری در سال ۲۰۱۰ روش تشخیص اتوماتیک فتق دیسک کمری را

با استفاده از ویژگی‌های ظاهر و شکل ارائه دادند. در این روش که از توزیع گیس برای طبقه‌بندی دیسک‌ها با استفاده از ویژگی‌های ظاهر و شکل استفاده شد از ۳۳ نمونه بالینی MRI ناحیه کمری برای آموزش و آزمایش مدل‌های ظاهر و شکل استفاده کردند. روش پیشنهادی مقدار ویژگی برابر با ۹۱ درصد، حساسیت ۹۴ درصد و دقت بیش از ۹۱ درصد را بدست آورد [۱۱].

Huang و همکارانش در سال ۲۰۰۹ برای تشخیص بیماری دیسک کمر از یک روش تشخیصی کاملاً اتوماتیک در سیستم تقسیم‌بندی استفاده کردند. در این روش یک رویکرد یادگیری آماری مبتنی بر الگوریتم AdaBoost بهبود یافته پیشنهاد شده بود. این سیستم تقریباً ۹۸ درصد میزان تشخیص و ۹۶ درصد دقت تقسیم‌بندی در انواع آزمایش‌های ستون فقرات تصاویر MR آزمایشات را بدست آورده بود [۱۲].

علیرغم مطالعات فراوان در زمینه بیماری کمردرد، تاکنون درمان قطعی در این خصوص وجود نداشته و تحقیقات همچنان ادامه دارد [۱۳، ۱۴]. داده کاوی بعنوان روشی مفید با استفاده از تکنیک‌های خود جهت شناسایی و تشخیص به موقع بیماری‌ها، کمک بسیار بزرگی برای پزشکان می باشد [۱۵]. در سال‌های اخیر استفاده از شبکه عصبی مصنوعی بعنوان یک ابزار قدرتمند در بسیاری از زمینه‌های پزشکی بکار گرفته شده است [۱۶]. لذا در این پژوهش سعی شده با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم مورچگان مدلی ارائه شود که توانایی لازم جهت تشخیص وضعیت بیماران مبتلا به کمردرد را داشته باشد.

## ۲- الگوریتم‌های مورد استفاده

### ۲-۱- شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی یکی از گرایش‌های هوش مصنوعی به حساب می‌آیند که بعنوان یکی از روش‌های مهم در تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده می‌شوند و در سال ۱۹۴۳ میلادی توسط مک‌کالاج و پیتر معرفی شدند [۱۷] با توجه به ارتباطات بین لایه‌ها و نیز ارتباطات درون لایه‌ای، شبکه‌های عصبی مصنوعی به انواع مختلفی دسته‌بندی می‌شوند. برخی از شبکه‌های عصبی مصنوعی عبارتند از: شبکه عصبی پرسپترون تک لایه<sup>۴</sup>، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه<sup>۵</sup> (MLP)، شبکه عصبی آبخاری<sup>۶</sup> (CFNN)، شبکه عصبی بازگشتی<sup>۷</sup> (RNN)، شبکه عصبی تأخیر زمانی<sup>۸</sup> (TDNN) [۱۹، ۱۸]. شبکه عصبی پرسپترون، جلورونده با روال تعلیم انتشار به عقب معمول‌ترین نوع شبکه عصبی بوده که به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. شبکه‌های عصبی جلورونده، شبکه‌هایی هستند که ورودی‌های لایه اول نرون‌های آن به لایه‌های بعدی

<sup>4</sup> Perceptron

<sup>5</sup> Multi-Layer Perceptron

<sup>6</sup> Cascade Forward Neural Network

<sup>7</sup> Recurrent Neural Network

<sup>8</sup> Time Delay Neural Network

<sup>1</sup> Pyramidal Histogram of Oriented Gradients (PHOG)

<sup>2</sup> Image Projection Descriptor (IPD)

<sup>3</sup> Markov Random Field (MRF)

متصل بوده و در هر سطح این مسئله صادق بوده تا به لایه خروجی برسد [۲۱،۲۰].

## ۲-۲- الگوریتم مورچگان

الگوریتم مورچگان<sup>۹</sup> جزو روش‌های هوش محاسباتی یا هوش ازدحامی<sup>۱۰</sup> و الهام گرفته شده از مطالعات و مشاهدات روی کلونی مورچه‌هاست که اولین بار در سال ۱۹۹۶ توسط مارکو دوریگو مطرح شد [۲۲]. مطالعات نشان داده‌اند که مورچه‌ها حشراتی اجتماعی بوده که در کلونی‌ها زندگی می‌کنند و رفتار آنها بیشتر در جهت بقا کلونی است. یکی از مهمترین و جالب‌ترین رفتار مورچه‌ها، رفتار آنها در پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر ممکن میان منبع غذایی و آشپخانه است.

## ۳- مجموعه داده مورد استفاده

در این تحقیق از مجموعه داده‌های کمردرد موجود در پایگاه داده Kaggle<sup>۱۱</sup> استفاده می‌شود که شامل ۳۱۱ رکورد یا نمونه است که در واقع ۲۱۱ نمونه بیمار و ۱۰۰ نمونه سالم هستند. هر نمونه دارای ۱۲ ویژگی اصلی و یک ویژگی هدف که سالم و بیمار بودن شخص را مشخص می‌کند، می‌باشد. در جدول (۱) ویژگی‌های مجموعه داده آمده است.

جدول ۱: ویژگی‌های مجموعه داده

شماره ویژگی	نام ویژگی
۱	pelvic_incidence
۲	pelvic_tilt
۳	lumbar_lordosis_angle
۴	sacral_slope
۵	pelvic_radius
۶	degree_spondylolisthesis
۷	pelvic_slope
۸	direct_tilt
۹	thoracic_slope
۱۰	cervical_tilt
۱۱	sacrum_angle
۱۲	scoliosis_slope
۱۳	class

باتوجه به اینکه مقادیر داده‌ها در یک بازه مشابه قرار ندارند در این مرحله فرایند نرمال‌سازی روی داده‌ها انجام می‌شود. لذا در این

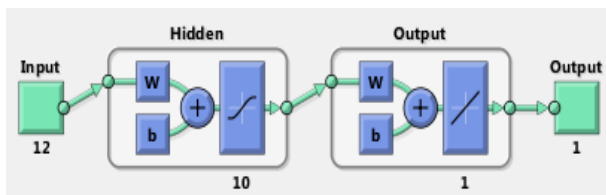
تحقیق از روش نرمال‌سازی آماری  $\max - \min$ ، در بازه [1,0] جهت نرمالیزه کردن داده‌ها طبق رابطه (۱) استفاده می‌کنیم [۲۳]:

$$X_i = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (1)$$

همانطور که در رابطه (۱) آمده است  $X_i$  مقدار نرمال‌سازی شده،  $X_i$  داده ورودی اولیه،  $X_{\min}$  مقدار حداقل داده ورودی و  $X_{\max}$  مقدار حداکثر داده ورودی می‌باشد.

## ۴- شرح روش پیشنهادی

در این بخش از تحقیق به بررسی روشی جهت تشخیص بیماری کمردرد با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم مورچگان خواهیم پرداخت. در روش پیشنهادی داده‌ها پس از پیش پردازش طبق رابطه (۱) و تقسیم‌بندی به روش Kfold، شبکه عصبی مصنوعی پیشنهادی ایجاد شده و توسط الگوریتم مورچگان آموزش داده می‌شود. شبکه عصبی پیشنهادی جهت طبقه‌بندی داده‌ها، شبکه عصبی پرسپترون از نوع پیشخور می‌باشد. در شکل (۱) ساختار شبکه عصبی پیشنهادی نشان داده شده است.



شکل ۱: ساختار شبکه عصبی پیشنهادی

در این تحقیق جهت بهبود نتایج حاصل از شبکه عصبی و تعیین بهترین اوزان شبکه عصبی جهت کمینه کردن تابع هدف، از الگوریتم مورچگان استفاده می‌کنیم. هر مورچه عضوی از جمعیت و در واقع یک راه حل مسئله است که بصورت برداری از مقادیر وزن‌ها و بایاس شبکه عصبی طبق رابطه (۲) می‌باشد.

$$(w, b) = [w_1, w_2, w_3, \dots, w_i, b_1, b_2, \dots, b_j] \quad (2)$$

که در آن  $w_i$  و  $b_j$  به ترتیب برابر با وزن‌ها و بایاس شبکه عصبی مصنوعی می‌باشند و بردار  $(w, b)$  نیز به عنوان یک عضو از الگوریتم مورچگان یعنی یک مورچه تعریف می‌شود. بر این اساس ورودی‌های آموزشی به شبکه عصبی اعمال شده و خروجی آموزشی شبکه بدست می‌آید. سپس میانگین مربعات خطای شبکه طبق رابطه (۳) محاسبه شده و به لایه‌ها و نرون‌های قبلی برگشت داده می‌شود و در مرحله تکرار، هر عضو جمعیت که شامل وزن‌ها است توسط عملگرهای موجود در الگوریتم تغییر می‌کنند و مجدداً توسط تابع هدف ارزیابی می‌شوند.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T_i - Y_i)^2 \quad (3)$$

<sup>9</sup> Ant Colony Optimization (ACO)

<sup>10</sup> Swarm Intelligence

<sup>11</sup> <https://www.kaggle.com/sammy123/lower-back-pain-symptoms-dataset>

جدول ۱: میانگین نتایج داده‌های آزمایشی روش پیشنهادی با بهبود بوسیله الگوریتم مورچگان

دقت (Accuracy)	حساسیت (Sensitivity)	ویژگی (Specificity)
94.85 %	94.88 %	94.73 %

همچنین در جدول (۲) میانگین نتایج داده‌های آزمایشی روش پیشنهادی بدون بهبود بوسیله الگوریتم مورچگان آمده است:

جدول ۲: میانگین نتایج داده‌های آزمایشی روش پیشنهادی بدون بهبود بوسیله الگوریتم مورچگان

دقت (Accuracy)	حساسیت (Sensitivity)	ویژگی (Specificity)
90.30 %	89.31 %	87.92 %

## ۷- نتیجه گیری

ستون فقرات یکی از کلیدی‌ترین اندام‌ها در حفظ سلامتی انسان است. بیماری‌های ستون فقرات (خصوصاً کمردرد) جزء شایع‌ترین بیماری‌ها در جوامع بشری قلمداد می‌شوند به گونه‌ای که می‌توان گفت کمردرد بعد از سرماخوردگی شایع‌ترین بیماری در انسان است. باتوجه به اینکه الگوریتم مشخصی وجود ندارد که تشخیص درست بیماری را بصورت قطعی تضمین نماید، شناخت علایم بیماری‌های ستون فقرات و تشخیص آنها نقش بسزایی خواهد داشت. بنابراین در این تحقیق سعی بر آن شد تا از الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از الگوریتم مورچگان، دقت شبکه عصبی مصنوعی را جهت تشخیص ستون فقرات افراد نرمال از افراد غیرنرمال افزایش دهیم. لذا با استفاده از الگوریتم مورچگان وزن‌های شبکه عصبی مصنوعی تعیین شد. در نهایت پس از پیاده سازی مدل پیشنهادی با استفاده از اطلاعات ۳۱۱ نمونه جمع‌آوری شده از پایگاه داده Kaggle، به دقت ۹۴.۸۵ درصد در تشخیص بیماری کمردرد دست پیدا کردیم. نتایج بدست آمده حاکی از آن است استفاده از الگوریتم مورچگان در بهبود وزن‌های شبکه عصبی توانسته است کارایی و دقت شبکه را به میزان قابل توجهی بالا ببرد. بنابراین الگوریتم مورچگان را می‌توان روشی با کارایی مناسب در مسائل مختلف بهینه سازی و انتخاب ورودی‌های شبکه عصبی به حساب آورد.

که  $T_i$  خروجی واقعی،  $Y_i$  خروجی شبکه و  $N$  تعداد داده‌های آموزشی را نشان می‌دهد. هدف در این الگوریتم، کمینه کردن این مقدار خطا است. به عبارت دیگر، این تابع خطا به عنوان تابع هدف مورد استفاده قرار می‌گیرد.

## ۵- ارزیابی روش پیشنهادی

در این تحقیق جهت ارزیابی روش پیشنهادی با استفاده از ماتریس کانفیوژن از معیارهای دقت (Accuracy)، حساسیت (Sensitivity) و ویژگی (Specificity) طبق روابط (۴) تا (۶) استفاده می‌کنیم [۲۴]:

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (۴)$$

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP+FN} \quad (۵)$$

$$Specificity = \frac{TN}{FP+TN} \quad (۶)$$

$TP^{۱۲}$ : عبارتست از تعداد رکوردهایی که توسط طبقه بند به درستی مثبت (بیمار) تشخیص داده می‌شوند.

$FN^{۱۳}$ : عبارتست از تعداد رکوردهایی که توسط طبقه بند به اشتباه منفی (سالم) تشخیص داده می‌شوند.

$FP^{۱۴}$ : عبارتست از تعداد رکوردهایی که توسط طبقه بند به اشتباه مثبت (بیمار) تشخیص داده می‌شوند.

$TN^{۱۵}$ : عبارتست از تعداد رکوردهایی که توسط طبقه بند به درستی منفی (سالم) تشخیص داده می‌شوند.

## ۶- نتایج بدست آمده

با توجه به اینکه در این تحقیق مقدار  $K$  برابر ۱۰ تعیین شده است بنابراین در هر اجرای برنامه ۱۰ تکرار خواهیم داشت. همچنین تعداد آموزش شبکه توسط الگوریتم مورچگان جهت بهبود اوزان شبکه عصبی پیشنهادی در هر تکرار برابر ۵۰ بار تعیین شد که در پایان هر اجرا نتایج معیارهای دقت، ویژگی و حساسیت بدست آمد. در جدول (۱) میانگین نتایج داده‌های آزمایشی روش پیشنهادی با بهبود بوسیله الگوریتم مورچگان آمده است:

<sup>12</sup> True Positive (درست مثبت)

<sup>13</sup> False Negative (غلط منفی)

<sup>14</sup> False Positive (غلط مثبت)

<sup>15</sup> True Negative (درست منفی)

- [10] Raja'S, A., Corso, J. J., Chaudhary, V., & Dhillon, G. "Toward a clinical lumbar CAD: herniation diagnosis". *International journal of computer assisted radiology and surgery*, 6(1), pp. 119-126. (2011).
- [11] Raja'S, A., Corso, J. J., Chaudhary, V., & Dhillon, G. "Automatic diagnosis of lumbar disc herniation with shape and appearance features from MRI". In *Medical Imaging 2010: Computer-Aided Diagnosis* (Vol. 7624, p. 76241A). International Society for Optics and Photonics. (2010).
- [12] Huang, S. H., Chu, Y. H., Lai, S. H., & Novak, C. L. "Learning-based vertebra detection and iterative normalized-cut segmentation for spinal MRI". *IEEE transactions on medical imaging*, 28(10), pp. 1595-1605. (2009).
- [13] Sedaghati, N., Hematfar, A., & Behpour, N. "The effect of a selected spinal core-muscle stabilization training in water on pain intensity and lumbar lordosis". *Journal of Kashan University of Medical Sciences*, 17(3), pp. 267-274. (2013).
- [14] Ract, I., Meadeb, J. M., Mercy, G., Cueff, F., Husson, J. L., & Guillin, R. "A review of the value of MRI signs in low back pain". *Diagnostic and interventional imaging*, 96(3), pp.239-249. (2015).
- [15] Sheikhpour, R. "Breast Cancer Detection Using Two-Step Reduction of Features Extracted From Fine Needle Aspirate and Data Mining Algorithms." *Iranian Quarterly Journal of Breast Disease*, 7(4), pp.43-51. (2015).
- [16] Soni, J., Ansari, U., Sharma, D., & Soni, S. "Predictive data mining for medical diagnosis: An overview of heart disease prediction". *International Journal of Computer Applications*, 17(8), pp. 43-48. (2011).
- [17] McCulloch, W. S., & Pitts, W. "A Logical Calculus Of The Ideas Immanent In Nervous Activity". *The Bulletin Of Mathematical Biophysics*, 5(4), pp.115-133. (1943).
- [18] Szoplik, J. "Forecasting of natural gas consumption with artificial neural networks". *Energy*, 85, pp. 208-220. (2015).
- [19] Raza, M. Q., & Khosravi, A. "A review on artificial intelligence based load demand forecasting techniques for smart grid and buildings". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, pp.1352-1372. (2015).
- [20] Baliyan, A., Gaurav, K., & Mishra, S. K. "A review of short term load forecasting using artificial neural network models". *Procedia Computer Science*, 48, pp.121-125. . (2015).
- [21] Ding, N., Benoit, C., Foggia, G., Bésanger, Y., & Wurtz, F. "Neural network-based model design for
- [6] فخاریان. اسماعیل، فرزندی پور. مهرداد، نبوتی. احسان، اکبری. حسین و سعیدی. سهیلا، "طراحی و ارزیابی سیستم خبره فازی تشخیص کمردرد ناشی از فتق دیسک بین مهره ای در ایران"، دومین کنگره ملی انفورماتیک پزشکی و هفتمین همایش الکترونیک، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ۱۳۹۷.
- [1] Yazdi, Z., Abbasi, M., & Shamsi, F. "Work Limitation and its Related Factors in Patients with Acute and Chronic Low Back Pain Referred to the Rheumatology Clinic of Qazvin Bu-Ali Hospital". *Iranian Journal of Ergonomics*, 4(1), pp.13-19. (2016).
- [2] George SZ, Childs JD, Teyhen DS, Wu SS, Wright AC, Dugan JL, et al, "Predictors of Occurrence And Severity of First Time Low Back Pain Episodes: Findings From a Military Inception Cohort", *Plos One*, 7(2), e30597. (2012).
- [3] Oehme, D., Goldschlager, T., Ghosh, P., Rosenfeld, J. V., & Jenkin, G. "Cell-based therapies used to treat lumbar degenerative disc disease: a systematic review of animal studies and human clinical trials". *Stem cells international*, 16. (2015).
- [4] Coste, J., Delecoeuillerie, G., De Lara, A. C., LeParc, J. M., & Paolaggi, J. B. "Clinical course and prognostic factors in acute low back pain: an inception cohort study in primary care practice". *Bmj*, 308(6928), pp.577-580. (1994).
- [5] Chou, R., Huffman, L. H. "Nonpharmacologic therapies for acute and chronic low back pain: a review of the evidence for an American Pain Society/American College of Physicians clinical practice guideline". *Annals of internal medicine*, 147(7), pp.492-504. (2007).
- [7] Beulah, A., & Sharmila, T. S. "Classification of Intervertebral Disc on Lumbar MR Images using SVM". In *2016 2nd International Conference on Applied and Theoretical Computing and Communication Technology (iCATccT)* (pp. 293-297). IEEE. (2016).
- [8] Alomari, R. S., Corso, J. J., Chaudhary, V., & Dhillon, G, "Lumbar spine disc herniation diagnosis with a joint shape model". In *Computational Methods and Clinical Applications for Spine Imaging* (pp. 87-98). Springer, Cham. . (2014).
- [9] Oktay, A. B., & Akgul, Y. S. "Simultaneous localization of lumbar vertebrae and intervertebral discs with SVM-based MRF". *IEEE transactions on biomedical engineering*, 60(9), pp.2375-2383. (2013).

short-term load forecast in distribution systems". IEEE Transactions on Power Systems, 31(1),pp. 72-81. (2016).

- [22] Dorigo, M., Maniezzo, V., & Colomi, A. "Ant system: optimization by a colony of cooperating agents". IEEE Transactions on Systems, man, and cybernetics, Part B: Cybernetics, 26(1), pp.1-13. (1996).
- [23] Han, j., Kamber, M., Pei, j., "Data Mining Concepts and Techniques", Morgan Kaufmann publishers is an imprint of Elsevier. (2012).
- [24] Yerima, S. Y., & Sezer, S. "Droidfusion: A novel multilevel classifier fusion approach for android malware detection". IEEE transactions on cybernetics, 49(2), pp.453-466. (2018).