



ارائه مدل ترکیبی فازی-ازدحام ذرات جهت تشخیص سرطان کبد (متاستاز در کبد)

بنفشه امیرحسینی^۱، راحیل حسینی^{۲*}

*نویسنده مسئول، دریافت: ۹۶/۰۸/۲۴، بازنگری: ۹۷/۰۹/۱۶، پذیرش: ۹۸/۰۴/۱۳

^۱ کارشناسی ارشد، مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
^۲ دکتری، مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

در دهه اخیر سیستم‌های طراحی شده توسط مدل‌های محاسبات نرم، بر روی مدیریت عدم قطعیت در مسائل پزشکی متمرکز شده است. این پژوهش برای اولین بار مدل ترکیبی فازی-ازدحام ذرات را جهت تشخیص سرطان کبد (متاستاز در کبد یکی از شایع‌ترین تومورهای بدخیم کبدی) ارائه کرده است. مدل پیشنهادی باهدف ایجاد موازنه میان صحت عملکرد و قابلیت تفسیرپذیری سیستم فازی ارائه شده است. ارزیابی کارایی مدل پیشنهادی توسط پایگاه داده شامل اطلاعات بیماران کبدی در مرکز تصویربرداری نور در تهران انجام شد. سطح زیر منحنی ROC در مدل فازی-ازدحام ذرات پیشنهادی برابر ۹۸.۶٪ با بازه اطمینان ۹۵٪ در محدوده [۹۵.۸۰ ۱۰۰] است. بر اساس نتایج حاصل از مقایسه نتایج سیستم با تشخیص متخصصان، استفاده از سیستم پیشنهادی به‌عنوان دستیار متخصصان و ارائه نظر دوم در نجات جان بیماران کبدی، پیشگیری از ابتلای آن‌ها به سرطان با ارائه درمان و مراقبت‌های زود هنگام امیدبخش است.

کلمات کلیدی: مدل‌های ترکیبی محاسبات نرم، الگوریتم ازدحام ذرات، سیستم استنتاج فازی، کامپیوتر به کمک تشخیص سرطان کبد

۱- مقدمه

با توجه به افزایش آمار شیوع سرطان کبد، در این پژوهش هدف طراحی مدل فازی مبتنی بر الگوریتم ازدحام ذرات جهت تشخیص سرطان کبد (متاستاز در کبد) است. در مورد سرطان‌های متاستاتیک در ناحیه کبد، تشخیص زود هنگام آن با جراحی و برداشتن ضایعه از کبد، باعث جلوگیری از پیشرفت بیماری و بهبود عملکرد کبد و بهبود شرایط جسمانی بیمار می‌شود. از جمله فرضیه‌های مطرح در زمینه‌ی مدل پیشنهادی تشخیص سرطان کبد در این پژوهش عبارت‌اند از:

۱- در گزارشات رادیولوژی به‌منظور تشخیص سرطان کبد، مشکل نادقیقی و نا یقینی ناشی از دانش پزشکی و کیفیت داده‌های تولید شده توسط منابع تصویربرداری وجود دارد.

از جمله روش‌های تشخیص سرطان کبد می‌توان به آزمایشات خون و آنزیم‌های کبدی، استفاده از تصاویر پزشکی مانند MRI و سی‌تی‌اسکن اشاره کرد. در مدل پیشنهادی ارائه شده در این پژوهش، تشخیص سرطان کبد (متاستاز کبد) از طریق تصاویر سی‌تی‌اسکن تهیه شده از بیماران مبتلا به سرطان کبد در مرکز تصویربرداری نور در تهران انجام می‌شود. در ادامه به منابع عدم قطعیت در تحلیل و پردازش تصاویر پزشکی اشاره شده است [۴].

کبد بزرگ‌ترین عضو در شکم است و وظایفی مهم در بدن بر عهده دارد. از جمله وظایف کبد می‌توان به شرکت در فعالیت‌های سوخت‌وساز بدن، یافتن سموم بدن و تصفیه و تبدیل آن‌ها به مواد بی‌ضرر، تأمین پروتئین‌های مورد نیاز بدن و ذخیره آهن اشاره کرد [۱]. انجام وظایف و تنظیمات، توسط کبد در بیماران دچار اختلالات و بیماری‌های کبدی تقریباً غیرممکن است. تشخیص زود هنگام انواع سرطان‌ها در ناحیه کبد، می‌تواند باعث جلوگیری از پیشرفت سرطان و درمان آن شود. متاستاز در کبد نوعی از سرطان ثانویه بدخیم و شایع در کبد در میان افراد مبتلا به سرطان است. این نوع سرطان از عضو دیگری در بدن به کبد انتشار می‌یابد [۲]. در سال ۹۲ شایع‌ترین و کشنده‌ترین انواع سرطان در ایران سرطان معده، ریه و کبد است. بر اساس آمار دریافت شده از مرکز تحقیقات سرطان، در سال ۹۲، ۲۹۶۴ نفر بر اثر ابتلا به انواع سرطان کبد جان خود را از دست داده‌اند [۳]. با توجه به منابع عدم قطعیت موجود در مسائل پزشکی و تصویربرداری و تشخیص متخصصان بر اساس اطلاعات موجود در تصاویر، وجود سیستم‌های کامپیوتری با سرعت و حساسیت و دقت بالا و همچنین قابلیت تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت، باعث افزایش سرعت در تشخیص انواع سرطان و سرعت بخشیدن به درمان بیماری‌ها و انواع سرطان است.

کبدی طراحی شد [۱۰]. به منظور بهینه‌سازی قسمت انتخاب ویژگی سیستم از الگوریتم ازدحام ذرات استفاده شد. بهینه‌سازی این سیستم باهدف افزایش صحت و کارایی سیستم انجام شده است. صحت سیستم بعد از بهینه‌سازی در مجموعه آموزش برابر ۱۰۰٪ و در مجموعه آزمون برابر ۹۷٫۹٪ است.

در سال ۲۰۱۴ یک سیستم کمک تشخیص پزشکی با بهره‌گیری از درخت تصمیم‌گیری فازی و استدلال مبتنی بر مورد طراحی شد. این سیستم شامل درخت تصمیم‌گیری فازی، الگوریتم ژنتیک جهت طراحی ساختار درخت تصمیم‌گیری فازی و پایگاه تصمیم‌گیری فازی شامل قوانین تصمیم‌گیری فازی است. در ارزیابی سیستم از چندین پایگاه داده موجود در UCI بهره‌گیری شد. صحت عملکرد سیستم در پایگاه داده کبد UCI برابر ۸۱٫۶٪ است [۱۱]. همچنین یک شبکه عصبی احتمالی جهت تشخیص انواع سرطان طراحی شد. بهینه‌سازی پارامترهای شبکه عصبی با بهره‌گیری از روش ازدحام ذرات مبتنی بر جستجوی گرانشی انجام شد، سیستم با استفاده از پنج پایگاه داده موجود در UCI ارزیابی شد، صحت عملکرد سیستم در پایگاه داده کبد پس از بهینه‌سازی برابر ۸۱٪ است [۱۲]. همچنین یک سیستم کمک تشخیص پزشکی با بهره‌گیری از شبکه‌های عصبی احتمالی طراحی شد. در بهینه‌سازی سیستم از مدل ترکیبی ازدحام ذرات مبتنی بر روش انتخاب پیش رو ترکیبی و انتخاب پس رو ترکیبی بهره‌گیری شد. سیستم طراحی شده قادر به تشخیص هیپاتوسلولار کار سینما و همانژیوما و فاصله کانونی ندو لار هیپرپلازی است، صحت عملکرد سیستم پس از بهینه‌سازی بر روی دو پایگاه داده کبدی برابر ۹۶٫۴٪ در پایگاه داده اول و ۹۲٫۶٪ در پایگاه داده دوم است [۱۳]. همچنین در این سال یک سیستم پشتیبانی از تصمیم طراحی شد، در بهینه‌سازی سیستم از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. به منظور ارزیابی سیستم از ۵ پایگاه داده فیروز کبدی و سرطان سینه استفاده شد. صحت عملکرد سیستم، پیش از بهینه‌سازی در روش شبکه عصبی خود سازماندهی برابر ۷۱٫۶۱٪ و در شبکه عصبی احتمالی برابر ۵۷٫۸۵٪ است و صحت میانگین برای سیستم بعد از بهینه‌سازی برابر ۹۶٫۹۲٪ درصد است [۱۴].

در این سال ۲۰۱۵، یک سیستم کامپیوتر به کمک تشخیص پزشکی با بهره‌گیری از شبکه‌های عصبی احتمالی طراحی شد. در بهینه‌سازی و تنظیم پارامترهای شبکه عصبی از مدل ترکیبی ازدحام ذرات و روش بهینه‌سازی زنبور عسل مصنوعی بهره‌گیری شد. در ارزیابی سیستم از چند پایگاه‌های داده UCI بهره‌گیری شد. صحت عملکرد شبکه عصبی پس از بهینه‌سازی در پایگاه داده کبد UCI برابر ۷۵٫۰۲ درصد است [۱۵]. همچنین در این سال یک شبکه عصبی احتمالی جهت تشخیص تومورهای کبدی، در تصاویر سی‌تی‌اسکن طراحی شد، به منظور استخراج ویژگی‌های تومورها از الگوریتم ازدحام ذرات بهره‌گیری شد. در ارزیابی سیستم از پایگاه داده‌ای شامل ۷۵ تصویر سی‌تی‌اسکن استفاده شد، صحت عملکرد سیستم پس از بهینه‌سازی برابر ۹۷٫۱۷٪ در صد است شد [۱۶].

در سال ۲۰۱۶ یک سیستم کامپیوتر به کمک تشخیص پزشکی با بهره‌گیری از ماشین بردار پشتیبان طراحی شد. در تنظیم پارامترهای ماشین بردار پشتیبان از الگوریتم ازدحام ذرات مبتنی بر محدوده سرعت بهبودیافته بهره‌گیری شد. صحت عملکرد سیستم در پایگاه داده‌ای شامل ۱۰۸ اسلاید از تصاویر سی‌تی‌اسکن کبد، پیش از بهینه‌سازی برابر ۷۴٫۲۲٪ و پس از بهینه‌سازی برابر ۴۸٫۸۱٪ است [۱۷].

در سال ۲۰۱۷ مدل ترکیبی فازی-شبکه عصبی جهت تشخیص کبد بیمار از کبد سالم در [۲۲] طراحی شد، برای ارزیابی سیستم از پایگاه داده بیماری‌های کبدی در UCI استفاده شده است، و معیار ارزیابی سیستم RMSE می‌باشد و بهترین صحت عملکرد سیستم برابر ۹۷٫۳۹ در صد گزارش شده است. بر اساس مطالعات انجام شده، اغلب سیستم‌های مرور شده در این فصل باهدف تشخیص انواع تومورهای اولیه در کبد و همچنین تشخیص بیماری در کبد طراحی شده‌اند. با توجه به میزان شیوع سرطان ثانویه کبد، در این پژوهش، مدل هوشمند ترکیبی پیشنهادی جهت تشخیص تومورهای متاستاتیک در کبد ارائه می‌شود و با سایر مدل‌های طراحی شده

- عدم قطعیت موجود در تصمیم‌گیری گروهی پزشکان
- عدم قطعیت موجود در تصمیم‌گیری یک پزشک در بازه‌های زمانی متفاوت
- عدم قطعیت در درک معانی کلمات و اصطلاحات رایج در متخصصان
- تفاوت دقت دستگاه‌های تصویربرداری پزشکی
- عدم قطعیت به دلیل امکان پیشرفت بیماری و وجود جنبه‌های پویای متغیر با زمان

با توجه به منابع عدم قطعیت موجود در تشخیص سرطان کبد با بهره‌گیری از تصاویر سی‌تی‌اسکن، استفاده از روش‌های فازی برای مدیریت عدم قطعیت موجود در سیستم مناسب است، زیرا مدل‌های هوشمند غیرقطعی در مواجهه با مسائل و داده‌های توأم با عدم دقت کار آبی بیشتری دارند.

در این پژوهش هدف بهینه‌سازی پارامترهای توابع عضویت در سیستم استنتاج فازی طراحی شده در [۵]، توسط الگوریتم ازدحام ذرات، به منظور افزایش صحت عملکرد سیستم است. همچنین کار آبی مدل پیشنهادی ارائه شده با سیستم استنتاج فازی، مدل ترکیبی فازی-ژنتیک در [۵] و شبکه عصبی احتمالی در [۶]، طراحی شده جهت تشخیص سرطان کبد (متاستاز در کبد) مقایسه می‌شود. در ادامه بعضی از مدل‌های ترکیبی طراحی شده پیشین، جهت تشخیص سرطان کبد مورد بررسی قرار می‌گیرد. از جنبه‌های نوآوری پژوهش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- در ارزیابی سیستم از پایگاه داده سرطان کبد تهیه شده از مرکز تصویربرداری نور، استفاده شده است که شامل اطلاعات بیماران مبتلا به سرطان کبد در ایران است. پژوهش حاضر در میان پژوهش‌هایی که مورد مطالعه قرار گرفته است، پژوهشی جدید است که بر اساس اطلاعات پایگاه داده بیماران کبدی در ایران طراحی و ارزیابی شده است.
- در مدل ترکیبی پیشنهادی بهینه‌سازی باهدف تنظیم پارامترهای توابع عضویت انجام شده است، در صورتی که در مدل‌های طراحی شده پیشین جهت تشخیص بیماری‌ها و انواع سرطان کبد، بهینه‌سازی پایگاه قوانین سیستم انجام شده بود.

۲- پیشینه پژوهش

از جمله مدل‌های ترکیبی طراحی شده جهت تشخیص بیماری‌های کبدی می‌توان به ترکیب شبکه عصبی پس انتشار و الگوریتم ازدحام ذرات در سال ۲۰۰۹ اشاره کرد. جهت بهینه‌سازی و تنظیم وزن‌ها در شبکه عصبی از الگوریتم ازدحام ذرات بهره‌گیری شد. ارزیابی سیستم با استفاده از چند دیتاست در پایگاه داده UCI انجام شد. صحت عملکرد سیستم بدون انتخاب ویژگی توسط الگوریتم ازدحام ذرات، در دیتاست بیماری‌های کبدی در UCI برابر ۸۱٫۸۷٪ و با انتخاب ویژگی توسط الگوریتم ازدحام ذرات برابر ۷۷٫۰۹٪ در صد است. بر اساس نتایج بیان شده، مدل ترکیبی طراحی شده بر روی دیتاست کبد به صورت مؤثر عمل نکرده است [۷]. یک سیستم کمک تشخیص پزشکی در سال ۲۰۱۰ با بهره‌گیری از ماشین بردار پشتیبان طراحی شد. در بهینه‌سازی پارامترهای ماشین بردار پشتیبان از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات بهره‌گیری شد. صحت عملکرد سیستم پیش از بهینه‌سازی برابر ۷۰٫۵٪ و پس از بهینه‌سازی توسط الگوریتم ازدحام ذرات برابر ۷۳٫۲٪ و پس از بهینه‌سازی ماشین بردار پشتیبان توسط الگوریتم ازدحام ذرات به شیوه موازی برابر ۷۶٫۷٪ درصد است [۸].

در سال ۲۰۱۳ یک سیستم کامپیوتر به کمک تشخیص پزشکی طراحی شد، در بهینه‌سازی قسمت انتخاب ویژگی توسط ماشین بردار پشتیبان، از مدل ترکیبی تیرید شبیه‌سازی شده و الگوریتم ازدحام ذرات بهره‌گیری شد. میانگین صحت عملکرد سیستم در تشخیص سرطان کبد و کیست‌های کبدی برابر ۸۵٫۵۰٪ است [۹]. همچنین یک سیستم کمک تشخیص پزشکی جهت تشخیص بیماری‌های

در نهایت الگوریتم ژنتیک باهدف بهینه‌سازی پارامترهای توابع عضویت سیستم اجرا شد. پس از اجرای الگوریتم صحت عملکرد سیستم تا حدودی افزایش یافت. در ادامه شبکه عصبی سه لایه طراحی شده جهت تشخیص سرطان کبد (متاستاز در کبد) به صورت مختصر بررسی می‌شود.

۳-۳- شبکه عصبی سه لایه طراحی شده جهت تشخیص سرطان کبد (متاستاز در کبد)

با توجه به مطالعات انجام شده در زمینه‌ی مدل‌های طراحی شده با استفاده از روش‌های قطعی، در تشخیص بیماری‌های کبدی، یک شبکه عصبی سه لایه جهت تشخیص متاستاز در کبد در پژوهش [۶] طراحی شد. این شبکه با متغیرهای ورودی و خروجی سیستم استنتاج فازی طراحی شده در زمینه تشخیص سرطان کبد (متاستاز کبد) شامل یک لایه ورودی، یک لایه پنهان و یک لایه خروجی طراحی شده است. در این پژوهش قابلیت‌های شبکه عصبی طراحی شده با مدل فازی-ازدحام ذرات پیشنهادی مقایسه می‌شود. در ادامه مدل ترکیبی فازی-ازدحام ذرات پیشنهادی به صورت کامل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴-۴- مدل ترکیبی فازی-ازدحام ذرات پیشنهادی جهت تشخیص سرطان کبد (متاستاز در کبد)

نخستین بار کندی و ابرهارت با شبیه‌سازی رفتار اجتماعی پرندگان دریافتند منبع غذای مناسب روش بهینه‌سازی ازدحام گروهبی ذرات را ارائه دادند. روش ازدحام ذرات یک روش بهینه‌سازی سراسری است، با در نظر گرفتن یک سرعت اولیه و تجربه شخصی و گروهی برای ذرات در این الگوریتم، با گذشت زمان، ذرات به سمت ذراتی که تابع هزینه بهینه‌تری دارند و در گروه ارتباطی یکسانی قرار دارند، شتاب می‌گیرند [۱۸]. با توجه به جستجوی هوشمندانه ذرات در فضای حالت مسئله، به منظور بهینه‌سازی پارامترهای توابع عضویت و افزایش کارایی و صحت عملکرد سیستم استنتاج فازی طراحی شده جهت تشخیص سرطان کبد (متاستاز در کبد) در این پژوهش، و مدل ترکیبی فازی-ازدحام ذرات پیشنهادی ارائه می‌شود. در شکل ۱ فلوچارت مدل ترکیبی فازی-ازدحام ذرات پیشنهادی نشان داده شده است. در ادامه مراحل اجرای مدل ترکیبی پیشنهادی فازی-ازدحام ذرات، بررسی می‌شود.

مرحله ۱: طراحی ساختار یک سیستم خبره فازی

طراحی ساختار سیستم خبره فازی جهت تشخیص متاستاز در کبد که بر اساس دانش فرد خبره انجام شده است، جزئیات سیستم خبره فازی جهت تشخیص سرطان کبد (متاستاز در کبد) در بخش ۳-۱ اشاره شده است، در این قسمت بهینه‌سازی سیستم خبره از پیش طراحی شده با بهره‌گیری از الگوریتم ازدحام ذرات انجام می‌شود.

مرحله ۲: استخراج پارامترهای توابع عضویت سیستم خبره فازی

در این بخش پارامترهای توابع عضویت استخراج می‌شود، سیستم خبره فازی جهت تشخیص متاستاز در کبد شامل ۴۸ پارامتر توابع عضویت است که از طریق رابطه ۲ محاسبه شده است و جمعیت اولیه ذرات با استفاده از پارامترهای توابع عضویت سیستم مقداردهی می‌شوند.

$$2(L) \times 4(MFP) + 2(L) \times 4(MFP) + 2(L) \times 2(MFP) + 6(L) \times 2(MFP) + 4(L) \times 2(MFP) + 4(L) \times 2(MFP) \quad (2)$$

بر اساس رابطه (۲) مدل ترکیبی پیشنهادی شامل ۵ متغیر فازی ورودی و یک متغیر فازی خروجی است، به ازای هر متغیر تعدادی عبارت زبانی (L) تعریف شده است، به ازای هر عبارت زبانی یک تابع عضویت از نوع گوسین در نظر گرفته شده است، تابع عضویت گوسین دارای دو پارامتر تنظیم شونده (MFP) میانگین و انحراف

جهت تشخیص سرطان کبد (متاستاز در کبد) مقایسه می‌شود. در ادامه مدل‌های طراحی شده در زمینه‌ی تشخیص سرطان کبد (متاستاز کبد) به صورت خلاصه مرور می‌شود.

۳- پیش‌زمینه

در این بخش مدل‌های فازی، فازی-ژنتیک و شبکه عصبی احتمالی مورد استفاده در تشخیص سرطان کبد در سه زیر بخش مجزا مرور می‌شوند در این بخش مطالب در سه زیر بخش دسته‌بندی می‌شود:

۳-۱- سیستم استنتاج فازی طراحی شده جهت تشخیص سرطان کبد (متاستاز در کبد)

با توجه به منابع عدم قطعیت موجود در زمینه‌ی تشخیص سرطان کبد (متاستاز در کبد) با استفاده از تصاویر پزشکی، در این بخش جزئیات مرتبط با طراحی سیستم استنتاج فازی ممدانی طراحی شده در پژوهش [۵] بررسی می‌شود. در این سیستم، متغیرهای فازی با بررسی تصاویر سی‌تی‌اسکن توسط فرد خبره و بهره‌گیری از دانش دو فرد خبره (رادیولوژیست) در مرکز تصویربرداری نور در تهران استخراج شده است. سیستم استنتاج فازی ممدانی طراحی شده دارای پنج متغیر فازی ورودی از جمله سایز کبد، سایز تومورهای کبدی، تأثیر بر روی غدد لنفاوی، تغییر ضخامت کلیه و تأثیر ماده کنتراست است و در خروجی سیستم تشخیص تومورهای متاستاز در کبد صورت می‌گیرد، همچنین پایگاه داده سیستم به ازای هر متغیر فازی ورودی و خروجی شامل عبارت‌های زبانی و مجموعه‌های فازی و توابع عضویت متناظر با مجموعه‌های فازی است. توابع عضویت سیستم از نوع گوسین است و بر اساس رابطه ۱ طراحی شده است. پایگاه دانش سیستم شامل قوانین اگر و آنگاه فازی است که با مشورت فرد خبره استخراج شده است.

$$Gaussmf(x; m, \sigma) = e^{-1/2 \left(\frac{x-m}{\sigma} \right)^2} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، X طول متغیر فازی، m میانگین و σ انحراف از معیار است. مقادیر پارامترهای تنظیم شونده توابع عضویت، بر اساس نظر فرد خبره تنظیم شده است. فرآیند استنتاج سیستم در موتور استنتاج صورت می‌گیرد. در این مرحله ابتدا اطلاعات استخراج شده از تصاویر سی‌تی‌اسکن مرتبط با بیمار کبدی در قالب ورودی‌های قطعی وارد سیستم می‌شود، پس از گذر از فازی ساز سیستم وارد موتور استنتاج می‌شوند، استنتاج بر روی ورودی با توجه به اطلاعات موجود در پایگاه داده سیستم و قوانین موجود در پایگاه قوانین سیستم انجام می‌شود و در نهایت خروجی نهایی سیستم پس از گذر از غیر فازی ساز سیستم محاسبه می‌شود. در ادامه مدل ترکیبی فازی-ژنتیک طراحی شده جهت تشخیص متاستاز در کبد بررسی می‌شود.

۳-۲- مدل ترکیبی فازی-ژنتیک طراحی شده جهت تشخیص سرطان کبد (متاستاز در کبد)

مدل‌های فازی-ژنتیک پیشنهادی، باهدف بهینه‌سازی پارامترهای توابع عضویت در سیستم استنتاج فازی ممدانی طراحی شده بود، در این پژوهش ارزیابی و بهینه‌سازی سیستم باهدف افزایش صحت عملکرد سیستم در قالب ماکزیمم سازی سطح زیر منحنی ROC با روش ترکیبی فازی-ازدحام ذرات پیشنهادی مقایسه می‌شود. در مدل فازی-ژنتیک طراحی شده در پژوهش [۵]، یک کروموزوم با ۴۸ ژن شامل پارامترهای توابع عضویت استخراج شده از سیستم استنتاج فازی طراحی شد، سپس نوع تابع مرتبط با عملگرهای ژنتیکی جهش، ترکیب و انتخاب در الگوریتم تعیین شده و احتمال ترکیب و احتمال جهش تنظیم شدند، سپس معیار ارزیابی شایستگی سیستم به صورت مینیمم سازی تابع حداقل مربعات خطا در نظر گرفته شد؛ و محدودیت‌های مرتبط با مقادیر مجاز برای پارامترهای توابع عضویت سیستم تنظیم شدند.

برخوردار است. در این بخش بهینه‌سازی سیستم باهدف افزایش سطح زیر منحنی AUC در تحلیل ROC انجام می‌شود.

مرحله ۵: در نظر گرفتن موقعیت اولیه ذرات به‌عنوان بهترین تجربه شخصی
در طراحی الگوریتم ازدحام ذرات، یک حافظه شخصی و یک حافظه گروهی برای ذرات در نظر گرفته می‌شود و ذرات قادر هستند که بهترین مکان شخصی خود و بهترین مکان ذرات در گروه را به خاطر بسپارند. در این مرحله موقعیت اولیه هر ذره به‌عنوان بهترین تجربه شخصی برای ذره در نظر گرفته می‌شود.

مرحله ۶: ارزیابی ذرات و تعیین بهترین تجربه گروهی
در این مرحله پس از ارزیابی شایستگی ذرات، موقعیت ذره‌ای که کمترین فاصله را تا پاسخ بهینه برای سیستم دارد به‌عنوان بهترین تجربه گروهی در نظر گرفته می‌شود، در این پژوهش موقعیت ذره‌ای که سطح زیر منحنی در تحلیل ROC را ماکزیمم کند، به‌عنوان بهترین تجربه گروهی در نظر گرفته می‌شود. تحلیل ROC یکی از پرکاربردترین معیارهای ارزیابی برای سیستم‌های پزشکی است، زیرا این معیار موازنه‌ای از هزینه‌های سیستم در قالب پیش‌بینی‌های ناصحیح در مقابل فواید سیستم در قالب پیش‌بینی‌های صحیح سیستم به‌صورت گرافیکی و هم‌زمان ارائه می‌دهد. با افزایش تعداد تشخیص‌های صحیح سیستم در مقابل تشخیص نادرست، سطح زیر نمودار AUC افزایش یافته و صحت عملکرد سیستم افزایش می‌یابد.

مرحله ۷: مقایسه حد بالا و پایین مرتبط با پارامترهای توابع عضویت تولیدشده برای دریافت پاسخ معتبر

حد بالا و پایین پارامترهای توابع عضویت در واقع بازه مجازی است که مقادیر پارامترها باید در آن بازه قرارگیری که بر اساس نظر فرد خبره تعیین شده است. پاسخ‌های بهینه سیستم باید در محدوده‌ی حد پایین و حد بالا برای پارامترها قرار گیرد تا به‌عنوان پاسخ بهینه قابل قبول برای سیستم پذیرفته شود.

مرحله ۸: بررسی شرط توقف الگوریتم ازدحام ذرات
مدل ترکیبی فازی-ازدحام ذرات پیشنهادی، زمانی که در چندین تکرار از اجرای الگوریتم، مقدار تابع ارزیابی شایستگی ثابت بوده و یا تغییر چندانی نداشته باشد، متوقف می‌شود. در غیر این صورت اجرای الگوریتم با مراحل زیر ادامه می‌یابد.

مرحله ۹: به‌روزرسانی وزن اینرسی
وزن اینرسی تأثیر سرعت پیشین هر ذره را در سرعت فعلی آن ذره مشخص می‌کند، به‌روزرسانی وزن اینرسی در مدل ترکیبی پیشنهادی فازی-ازدحام ذرات جهت تشخیص متناستاز در کبد از طریق رابطه ۳ انجام می‌شود [۲۱].

$$W_{t+1} = \alpha(W_{t,i}) \quad (3)$$

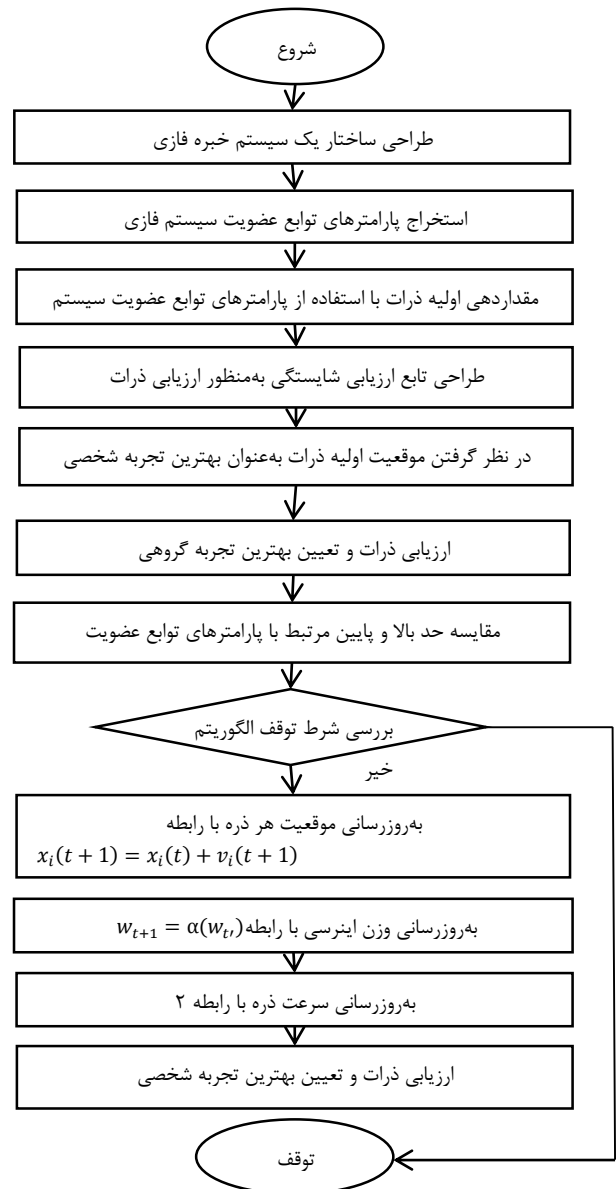
مرحله ۱۰: به‌روزرسانی سرعت ذره
در این مرحله به‌روزرسانی سرعت هر ذره از طریق رابطه (۴) انجام می‌شود و در این مرحله تنظیمات مرتبط با C_1 ضریب تأثیر تجربه شخصی و C_2 ضریب تأثیر تجربه گروهی در سرعت و جهت حرکت ذره برای مرحله بعدی است و همچنین وزن اینرسی که میزان تأثیر سرعت مرحله فعلی ذره را بر سرعت جدید مشخص می‌کند، انجام می‌شود. اگر C_1 برابر صفر باشد، سرعت ذره فقط با توجه به بهترین تجربه گروهی محاسبه می‌شود و اگر C_2 برابر صفر باشد، سرعت و جهت حرکت ذره بر اساس تجربه شخصی آن محاسبه می‌شود.

$$v_{ij}(t+1) = W \times v_{ij}(t) + C_1 \times r_{1,j}(t) \times$$

$$(y_{i,j}(t) - x_{i,j}(t)) + C_2 \times r_{2,j}(t) \times (y_j^* - x_{i,j}(t))$$

در رابطه (۴) $v_{ij}(t+1)$ سرعت در لحظه $t+1$ است و W وزن اینرسی، $v_{ij}(t)$ سرعت ذره در لحظه t و C_1 ضریب بهترین تجربه شخصی و $y_{i,j}(t)$ مکان ذره در بهترین تجربه شخصی، $r_{1,j}$ ، $r_{2,j}$ اعداد تصادفی بین صفر و یک و y_j^* مکان ذره در بهترین تجربه گروهی و $x_{i,j}(t)$ مکان ذره در لحظه t است.

از معیار است و مجموع پارامترهای توابع عضویت بر اساس رابطه ۲ محاسبه شده است.



شکل ۱- فلوجارت مدل فازی- ازدحام ذرات پیشنهادی جهت تشخیص متناستاز در کبد

مرحله ۳: مقداردهی اولیه ذرات در الگوریتم ازدحام ذرات
به‌منظور مقداردهی اولیه ذرات، پارامترهای توابع عضویت (میانگین و انحراف از معیار مرتبط با توابع عضویت گوسین) سیستم استنتاج فازی که در بخش ۳-۱ توضیح داده شده است، استخراج می‌کنیم مقادیر پارامترهای توابع عضویت در سیستم استنتاج فازی پیش از بهینه‌سازی، بر اساس نظر فرد خبره تعیین شده است.

مرحله ۴: طراحی تابع ارزیابی شایستگی برای الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

در این بخش یک تابع ارزیابی شایستگی طراحی می‌شود، این تابع میزان شایستگی ذرات در هر تکرار از الگوریتم ازدحام ذرات را مشخص می‌کند و در نهایت پس از اتمام فرآیند اجرای الگوریتم ازدحام ذرات ذره‌ای که شایستگی برتری نسبت به سایر ذرات در جمعیت داشته است، به‌عنوان پاسخ بهینه برای سیستم معرفی می‌شود، به همین دلیل انتخاب تابع شایستگی مناسب برای سیستم از اهمیت بالایی

مرحله ۱۱: به روزرسانی موقعیت ذره

در این مرحله به روزرسانی موقعیت هر ذره با استفاده از رابطه ۵ انجام می شود [۲۱].

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (5)$$

در رابطه (۵) $x_i(t+1)$ مکان ذره در لحظه $t+1$ ، $x_i(t)$ مکان ذره در لحظه t و $v_i(t+1)$ سرعت ذره در لحظه $t+1$ است.

مرحله ۱۲: ارزیابی و تعیین بهترین تجربه شخصی هر ذره

در این مرحله موقعیت جدید ذرات ارزیابی شده و اگر موقعیت ذره از بهترین تجربه شخصی آن بهتر بود، بهترین تجربه شخصی ذرات به روزرسانی می شود. در این بخش الگوریتم ازدحام ذرات به منظور بهینه سازی پارامترهای توابع عضویت در سیستم استنتاج فازی جهت تشخیص متاستاز در کبد اجرا می شود. در ادامه شبه کد مرتبط با الگوریتم ازدحام ذرات بیان می شود [۲۱].

```

*Input*
ProblemSize=[1, 48],
Populationsize=50
var size= 48;
*Output*
g best *best global position*
Population;
for i = 1 to 50 do
*initialize velocity of the swarm *
particle(i).Velocity=zeros(48);
particle(i).Position=unifrnd(VarMin,VarMax,48);
For each particle
Initialize particle
End For
Do
For each particle
Calculate fitness value of the particle fp
*updating particle's best fitness value *
If fp is better than g best
set current value as the new pBest
End For
*updating population's best fitness value so far*)
Set gBest to the best fitness value of all particles
For each particle
Calculate particle(i).Velocity according equation (4)
Update particle(i).Position according equation (5)
End For While maximum iterations or
minimum error criteria is not attained

```

ارائه شده در این پژوهش با سایر مدل های طراحی شده پیشین، مقایسه می شود و در نهایت صحت عملکرد مدل پیشنهادی با برخی از مدل های پیشین طراحی شده جهت تشخیص انواع بیماری ها و سرطان کبد مقایسه می شود.

۵-۱- دیتاست سرطان کبد و روش تحلیل و طبقه بندی داده ها

پایگاه داده در نظر گرفته شده جهت ارزیابی مدل پیشنهادی در این پژوهش شامل ۱۲۵ تصویر سی تی اسکن تهیه شده از مرکز تصویربرداری نور در تهران است. حدود ۳۰ درصد داده ها مرتبط با افراد مبتلابه سرطان کبد و ۷۰ درصد داده ها مرتبط با افراد سالم است. گزارشات توسط رادیولوژیست از تصاویر سی تی اسکن کبد تهیه شده است. همچنین تحلیل تصاویر توسط رادیولوژیست انجام شده است. در تقسیم بندی داده ها از روش اعتبار سنجی ۱۰ بخشی بهره گیری شده است. در این تکنیک داده ها به ۱۰ پوشه تقسیم می شوند. هر بار ۹ پوشه جهت آموزش و یک پوشه جهت آزمون روش های پیشنهادی استفاده می شود. نتیجه ارزیابی نهایی برای سیستم از میانگین نتایج ارزیابی به ازای هر یک از دسته ها ایجاد می شود. در این روش، دیتاها با تنوع بیشتری در ارزیابی مدل های ارائه شده شرکت کنند. پس از تقسیم بندی داده ها توسط روش اعتبار سنجی ۱۰ بخشی، در مجموعه آموزش هر پوشه شامل حدوداً ۱۱۳ نمونه و در مجموعه تست نیز ۱۰ پوشه، هر پوشه شامل ۱۲ نمونه ایجاد می شود. طراحی و بهینه سازی مدل های پیشنهادی در پژوهش، در محیط نرم افزار متلب انجام می شود. ارزیابی صحت عملکرد مدل های پیشنهادی جهت تشخیص متاستاز در کبد با بهره گیری از تحلیل ROC انجام می شود، در ادامه جزئیات مربوط به تحلیل ROC، بیان شده است.

۵-۲- تحلیل ROC

تحلیل ROC یکی از پرکاربردترین معیارهای ارزیابی برای سیستم های پزشکی است، زیرا این معیار موازنه ای از هزینه های سیستم در قالب پیش بینی های ناصحیح در مقابل فواید سیستم در قالب پیش بینی های صحیح سیستم به صورت گرافیکی و هم زمان ارائه می دهد. در سیستم های کامپیوتر به کمک تشخیص پزشکی نمایش تشخیص های صحیح و ناصحیح سیستم از اهمیت زیادی برخوردار است، زیرا اشتباهات سیستم هزینه بالایی برای بیماران در پی دارد، مانند تشخیص دیر هنگام بیماری که موجب پیشرفت بیماری و به خطر افتادن جان بیمار می شود. به همین دلیل تحلیل ROC می تواند معیار قابل اطمینانی برای ارزیابی سیستم باشد. این معیار با پارامترهایی که جهت ارزیابی سیستم گزارش می دهد، می تواند دید مناسبی از چگونگی عملکرد سیستم در اختیار طراحان سیستم قرار دهد. در تحلیل ROC به منظور ارزیابی سیستم ماتریس درهم ریختگی طراحی می شود، در ماتریس درهم ریختگی اصطلاحات زیر بیان است [۱۹].

TP: نمونه هایی که صحیح هستند و توسط سیستم نیز به عنوان نمونه صحیح تشخیص داده شده است.

TN: نمونه هایی که ناصحیح هستند و توسط سیستم نیز به عنوان نمونه ناصحیح تشخیص داده شده است.

FP: نمونه هایی که ناصحیح هستند اما به اشتباه توسط سیستم به عنوان نمونه صحیح تشخیص داده شده است.

FN: نمونه هایی که صحیح هستند اما توسط سیستم به عنوان نمونه های ناصحیح تشخیص داده شده است.

Sensitivity

نرخ پیش بینی های صحیح سیستم از تمام نمونه هایی که در واقعیت نیز صحیح ارزیابی شده است. این معیار از رابطه ۶ محاسبه می شود.

$$sensitivity (TP \text{ rate}) = \frac{\text{positives correctly classified}}{\text{total positives}} = \frac{TP}{P} \quad (6)$$

در این الگوریتم ابتدا مقاداری اولیه سرعت ذرات به صورت یک آرایه شامل ۴۸ عنصر انجام می شود، سپس مقاداری اولیه مکان ذرات انجام می شود و مقدار تابع هزینه به ازای هر ذره محاسبه می شود و سرعت و مکان ذره ها با استفاده از رابطه ۴ و رابطه ۵ شبه کد به روزرسانی می شود. سپس اگر تابع هزینه سیستم به ازای مکان فعلی ذره مینیمم شده باشد، آن مکان را به عنوان بهترین تجربه شخصی ذرات در نظر می گیرد و همچنین اگر تابع هزینه به ازای مکان ذره در کل جمعیت مینیمم شده باشد، آن را به عنوان بهترین تجربه گروهی ذرات در نظر می گیرد و در نهایت بهترین تجربه گروهی ذرات را به عنوان بهینه عمومی سیستم معرفی می کند و در خروجی نشان می دهد. نتایج ارزیابی مدل ترکیبی ارائه شده در بخش بعد بررسی شده و عملکرد الگوریتم در این بخش با سایر روش های موجود مقایسه می شود.

۵- ارزیابی کارایی مدل پیشنهادی

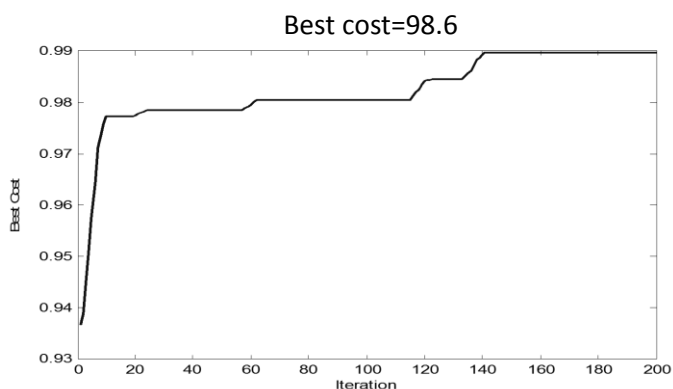
در این بخش ابتدا جزئیات مرتبط با پایگاه داده سیستم و روش تقسیم بندی داده ها در پایگاه داده سیستم بررسی می شود، سپس معیار ارزیابی تحلیل ROC و پارامترهای آن مورد بررسی قرار می گیرد، سپس صحت عملکرد مدل پیشنهادی

۵-۳- ارزیابی کارایی مدل ترکیبی فازی- ازدحام ذرات پیشنهادی جهت تشخیص سرطان کبد (متاستاز در کبد)

در جدول ۲ تنظیم پارامترها در ۵ اجرا از الگوریتم ازدحام ذرات نشان داده شده است. طبق مطالعات صورت گرفته در پژوهش [۲۰]، ضرایب تأثیر تجربه شخصی و تجربه گروهی به ترتیب ۱،۴۹ و ۲ در نظر گرفته می‌شود. بر اساس جدول ۲ ضریب تأثیر تجربه شخصی و تجربه گروهی ذرات به ترتیب ۱،۴۹ و ۲ در نظر گرفته شده است و وزن اینرسی نیز برابر ۰،۷ است. در شکل ۲ روند اجرای الگوریتم ازدحام ذرات در بهینه‌سازی سیستم استنتاج فازی نشان داده شده است. بر اساس شکل ۲ اجرای الگوریتم ازدحام ذرات در تکرار ۲۰۰ متوقف شده است و سطح زیر نمودار (AUC) در تحلیل ROC برابر ۹۸،۶٪ است، معیار توقف الگوریتم، حداقل تغییرات نسبی در تکرارها در نظر گرفته شده است و حداکثر تعداد تکرارها ۲۰۰ است.

جدول ۲- تنظیم پارامترهای الگوریتم ازدحام ذرات

تکرار	۱	۲	۳	۴	۵	تکرار
ضریب تأثیر حافظه شخصی ذرات	۱،۴۹	۱،۴۹	۲	۲،۵	۱،۴۹	۵
ضریب تأثیر حافظه گروهی ذرات	۲	۲،۵	۲	۲	۲	۵
وزن اینرسی	۰،۹	۰،۸	۰،۸	۰،۸	۰،۷	۵
معیار ارزیابی AUC%	۹۸،۴۷	۹۸،۶	۹۷،۳	۹۶،۹	۹۸،۹۶۶	۵



شکل ۲- روند اجرای الگوریتم ازدحام ذرات در بهینه‌سازی سیستم استنتاج فازی

در شکل ۳ توابع عضویت مدل ترکیبی فازی- ازدحام ذرات نشان داده شده است. عبارت‌های زبانی و مجموعه‌های فازی متناظر با متغیرهای فازی در جدول ۳ بر اساس نظر فرد خبره استخراج شده است. مدل ترکیبی فازی پیشنهادی جهت تشخیص متاستاز در کبد قابلیت تفسیر نتایج سیستم را دارند و پاسخ‌های سیستم برای متخصصان قابل فهم و درک است، به دلیل استفاده از عبارت‌های زبانی در سیستم، شیوه استنتاج مدل ترکیبی فازی پیشنهادی به شیوه استدلال متخصصان نزدیک است. به دلیل اینکه در استدلال فازی پیش‌فرض‌های موجود در سیستم‌های قطعی در نظر گرفته نمی‌شود، پاسخ سیستم ترکیبی فازی پیشنهادی با واقعیت تطابق دارد.

Specificity

نرخ پیش‌بینی نمونه‌هایی با برچسب ناصحیح که توسط سیستم نیز به‌عنوان نمونه ناصحیح پیش‌بینی شده است. این معیار از رابطه ۷ محاسبه می‌شود.

$$Specificity = \frac{True\ negatives}{false\ positives + true\ negatives} = \frac{TN}{N} = 1 - FP \quad (7)$$

FP rate

نرخ نمونه‌های ناصحیح که توسط سیستم به‌اشتباه به‌عنوان نمونه صحیح پیش‌بینی شده است. این معیار از رابطه ۸ محاسبه می‌شود.

$$FP\ rate = \frac{negatives\ incorrectly\ classified\ (FP)}{total\ negatives} = \frac{FP}{N} \quad (8)$$

Standard error of the mean

میزان خطای متوسط سیستم در ارزیابی جامعه‌ای شامل نمونه‌های تصادفی است، این معیار از طریق رابطه ۹ محاسبه می‌شود.

$$Standard\ error\ of\ the\ mean\ SE(\bar{X}) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (9)$$

Area under the curve (AUC)

این معیار موازنه‌ای از تشخیص‌های صحیح سیستم در مقابل تشخیص‌های ناصحیح سیستم را به‌صورت گرافیکی و هم‌زمان نمایش می‌دهد، برای رسم نمودار AUC نقاطی به‌عنوان حد آستانه تعیین می‌شود و نمودار با کمک نرخ TP و FP در نقاط حد آستانه رسم می‌شود.

Confidence interval

تحلیل ROC در ارزیابی سیستم‌ها پاسخ‌ها را در یک بازه اطمینان بیان می‌کند. بازه اطمینان میزان پایداری پاسخ‌های سیستم را در اجراهای متفاوت سیستم به‌صورت یک بازه بیان می‌کند. در این پژوهش پاسخ‌ها با بازه اطمینان ۹۵٪ توسط تنظیم حدود آستانه متفاوت بیان می‌شود. بازه اطمینان از طریق رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود.

$$Confidence\ interval = \mu_{\bar{x}} = \bar{X} \pm Z \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (10)$$

$$Z_{0.25} = 1,96$$

نمادهای استفاده‌شده در روابط ریاضی موجود در این پژوهش در جدول ۱ تعریف شده است.

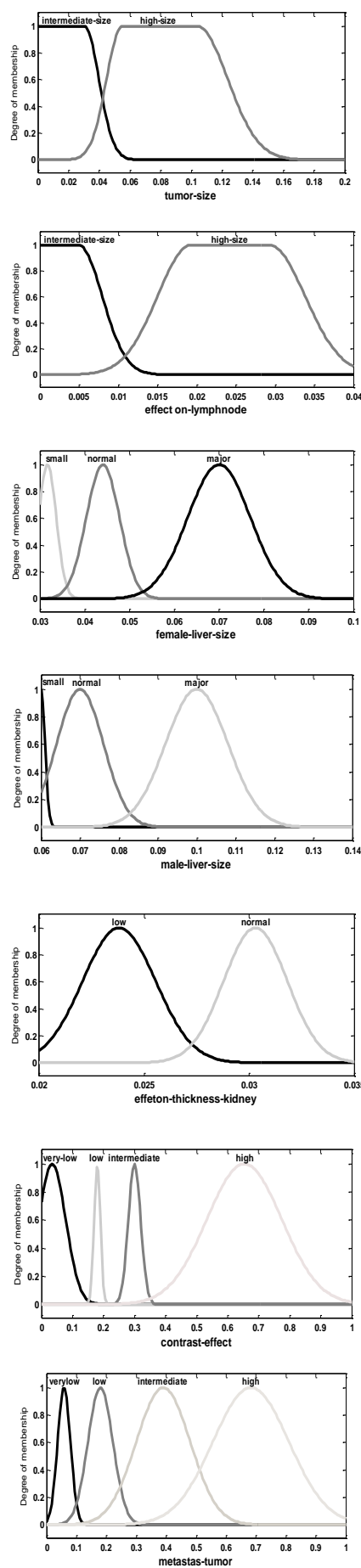
جدول ۱- نمادهای استفاده شده در روابط ریاضی

نماد	تعریف
X	طول متغیر فازی
M	میانگین مقادیر مجاز برای متغیر فازی
6	انحراف از معیار
L	نماد عبارت زبانی
MFP	نماد پارامترهای توابع عضویت متغیر فازی
w_{t_i}	وزن اینرسی در تکرار t
A	ضریب کاهش وزن اینرسی مقداری بین صفر و یک
w_{t+1}	وزن اینرسی در تکرار t+1
$v_{ij}(t+1)$	سرعت z امین عنصر از بردار سرعت ذره i
W	وزن اینرسی را مشخص می‌کند.
c_1	ضریب تأثیر یافته‌های شخصی هر ذره
c_2	ضریب تأثیر یافته‌های گروهی
$r_{2,j}, r_{1,j}$	اعداد تصادفی بین صفر و یک
$x_i(t+1)$	مکان ذره i ام در زمان t+1
$x_i(t)$	مکان ذره i ام در زمان t
$v_i(t+1)$	سرعت ذره i ام در زمان t+1
n	تعداد نمونه‌های موجود در جامعه تصادفی
\bar{X}	میانگین جامعه تصادفی
$\mu_{\bar{x}}$	بازه اطمینان

جدول ۳- عبارات‌های زبانی و مجموعه‌های فازی در سیستم ترکیبی فازی-

ازدحام ذرات پیشنهادی

نام متغیر	عبارت‌های زبانی	مجموعه‌های فازی
Tumor size	Low Intermediate / High High	$x \leq 2cm$ $2cm \leq x \leq 5cm$ $x \geq 5cm$
Effect on lymph-node	Low Intermediate / High High	$1mm \leq x \leq 2mm$ $2mm \leq x \leq 6mm$ $x \geq 6mm$
Contrast effect	Very low Low Intermediate High	$x \leq 0.2$ $0.2 \leq x \leq 0.5$ $0.5 \leq x \leq 0.75$ $x \geq 0.75$
Female liver size	Small Normal Major	$x \leq 4cm$ $4cm \leq x \leq 6cm$ $x \geq 6cm$
Effect on thickness kidney	Low Normal	$20mm \leq x \leq 25mm$ $25mm \leq x \leq 35mm$
Male liver size	Small Normal Major	$x \leq 6cm$ $6cm \leq x \leq 13cm$ $x \geq 13cm$
Metastasis tumor	Very low Low Intermediate High	$y \leq 0.2$ $0.2 \leq y \leq 0.5$ $0.5 \leq y \leq 0.75$ $y \geq 0.75$



۴-۵- مقایسه صحت عملکرد مدل فازی-ازدحام ذرات

پیشنهادی و سیستم‌های طراحی شده جهت تشخیص متاستاز

در کبد

در جدول ۴ ماتریس درهم‌ریختگی مدل پیشنهادی فازی-ازدحام ذرات و سایر مدل‌های طراحی شده جهت تشخیص متاستاز در کبد نشان داده شده است. بر اساس نتایج موجود در جدول ۴، در مدل ترکیبی فازی-ازدحام ذرات پیشنهادی، تعداد تشخیص‌های ناصحیح سیستم، در مقابل سایر سیستم‌های ارائه شده جهت تشخیص متاستاز در کبد به صورت چشم‌گیر کاهش یافته است. در جدول ۵ عملکرد سیستم استنتاج فازی ممدانی و سایر روش‌های ترکیبی توسط تحلیل ROC بر روی ۱۲۵ تصویر سی‌تی‌اسکن موجود در پایگاه داده سرطان کبد تهیه شده از مرکز تصویربرداری نور با یکدیگر مقایسه شده است.

جدول ۴- ماتریس درهم‌ریختگی مدل ترکیبی فازی-ازدحام ذرات پیشنهادی

نام روش	TN	FP	TP	FN
سیستم استنتاج فازی ممدانی [۵]	۶۸	۲۳	۳۱	۳
شبکه عصبی چندلایه [۶]	۷۸	۱۳	۲۷	۷
مدل ترکیبی فازی-ژنتیک [۵]	۸۹	۲	۲۹	۵
مدل ترکیبی فازی-ازدحام ذرات	۹۰	۱	۳۳	۱

شکل ۳- توابع عضویت مدل ترکیبی فازی-ازدحام ذرات

پیشنهادی با پیچیدگی زمانی، ۹۴ ثانیه، از بیشترین سرعت همگرایی به پاسخ بهینه در تنظیم پارامترهای توابع عضویت سیستم استنتاج فازی ممدانی برخوردار است، این الگوریتم با توجه به مکانیسم جستجو و این که در فرآیند اجرای الگوریتم ازدحام ذرات ذره جدید تولید نمی‌شود، از سرعت همگرایی بالاتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها برخوردار است. در ادامه مقایسه مدل پیشنهادی با سایر مدل‌های طراحی شده جهت تشخیص انواع بیماری‌ها و سرطان کبد در جدول ۶ انجام می‌شود.

در جدول ۶ مروری بر مدل‌های ترکیبی محاسبات نرم جهت بهینه‌سازی سیستم‌های کمک تشخیص پزشکی انجام شده است. در سیستم ترکیبی پیشنهادی در این پژوهش، از الگوریتم ازدحام ذرات جهت بهینه‌سازی پارامترهای توابع عضویت در سیستم استنتاج فازی جهت تشخیص سرطان کبد (متاستاز در کبد) استفاده شده است. این سیستم علاوه بر قابلیت مدیریت عدم قطعیت و قابلیت محاوره با متخصصان، از صحت عملکرد بالاتری برخوردار است، در ارزیابی سیستم ترکیبی پیشنهادی از ۱۲۵ تصویر سی‌تی‌اسکن استفاده شده است. مدل‌های مروری در جدول از الگوریتم ازدحام ذرات، تربید شبیه‌سازی شده و ترکیب این دو الگوریتم و الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی انتخاب ویژگی در ماشین بردار پشتیبان، درخت تصمیم‌گیری استفاده شده است.

با توجه به مطالعات صورت گرفته در زمینه ویژگی‌ها و مکانیسم جستجو فضای مسئله در الگوریتم ازدحام ذرات و با توجه به جستجوی هوشمندانه موجود در الگوریتم، بر اساس بهترین تجربه شخصی و بهترین تجربه گروهی، پیش‌بینی می‌شد که مدل ترکیبی فازی-ازدحام ذرات بیشترین تأثیر را در بهینه‌سازی پارامترهای توابع عضویت در مدل استنتاج فازی پیشنهادی جهت تشخیص سرطان کبد (متاستاز در کبد) داشته باشند، عملکرد مدل فازی-ازدحام ذرات پیشنهادی نسبت به سایر مدل‌ها از جمله مدل ترکیبی فازی-ژنتیک بهتر است. سطح زیر منحنی در مدل‌های ترکیبی پیشنهادی فازی-ازدحام ذرات به ترتیب به ۹۸،۶۸٪ در بازه اطمینان ۹۵٪ در محدوده [۹۵،۸۰ ۱۰۰] رسیده است. همچنین (Sensitivity) و (Specificity) در مدل ترکیبی فازی-ازدحام ذرات به ترتیب برابر ۹۷،۱٪ و ۹۸،۹٪ است و به میزان قابل توجهی افزایش یافته است. به منظور ارزیابی عملکرد مدل‌های فازی-ازدحام ذرات و فازی-ژنتیک در سرعت دستیابی به پاسخ بهینه، پیچیدگی زمانی مدل‌های ترکیبی پیشنهادی بیان و مقایسه شده است. تمامی روش‌های موجود در جدول ۶، با استفاده از دستگاه Dell با مشخصات داخلی حافظه موقت (RAM) ۸ گیگابایت، حافظه دائم (HARD) ۶۲۰ گیگابایت و پردازنده (CPU) هشت هسته‌ای Intel طراحی و ارزیابی شده است. مدل ترکیبی فازی-ازدحام ذرات

جدول ۵- جدول مقایسه روش‌های ترکیبی پیشنهادی جهت تشخیص متاستاز در کبد توسط تحلیل ROC

نام روش	SE	ROC (AUC)%	CI% (AUC)	Sensitivity%	Specificity%	FP rate%	O (s)
سیستم استنتاج فازی ممدانی [۵]	۰،۰۳۸۷	۸۸،۸۰	[۸۱،۲۱ ۹۶،۳۹]	۹۱،۲	۷۴،۴	۸،۸	
شبکه عصبی چندلایه [۶]	۰،۰۵۱۴	۸۳،۵۰	[۹۱،۰۲ ۷۴،۴۴]	۷۸،۴	۸۳،۸۸	۲۱،۶	
مدل ترکیبی فازی-ژنتیک [۵]	۰،۰۳۴۴	۹۳،۸۲	[۹۹،۷۹ ۸۷،۷۹]	۹۳،۸۹	۹۹،۸۴	۷،۷۷	۴۶۰ ثانیه
مدل ترکیبی فازی-ازدحام ذرات	۰،۰۱۴	۹۸،۶۱	[۹۵،۸۰ ۱۰۰]	۹۷،۱	۹۸،۹	۲،۹	۹۴ ثانیه

جدول ۶- مقایسه مدل‌های ترکیبی محاسبات نرم پیشنهادی با مدل‌های مرور شده جهت تشخیص بیماری‌های کبد

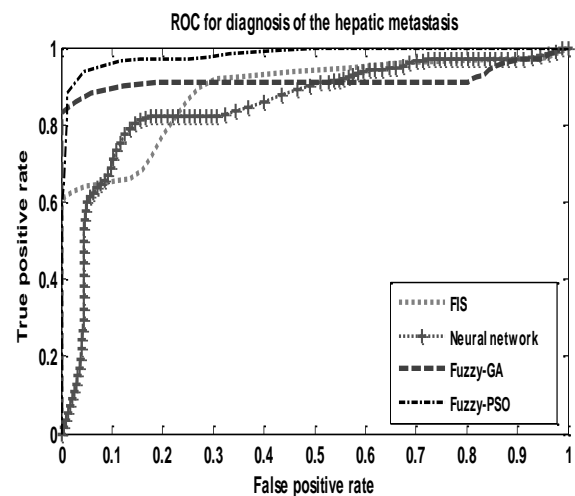
نام مقاله	روش	تعداد متغیرهای ورودی	پایگاه داده	صحت عملکرد سیستم
شناسایی سرطان کبد بر پایه مدل ترکیبی SVM-PSO [8]	روش ترکیبی SVM-PSO	۹	۸۰ تصویر سی‌تی‌اسکن	$ACC = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}$ ۷۶،۷٪
یک مدل ترکیبی استدلال مبتنی بر مورد و درخت تصمیم‌گیری فازی برای طبقه‌بندی داده‌های پزشکی [11]	درخت تصمیم‌گیری فازی، الگوریتم ژنتیک، پایگاه قوانین فازی	۶	۳۴۵ رکورد در پایگاه داده UCI کبد	$ACC = \frac{\sum_{i=1}^m x_i}{n} \times 100$ ۸۱،۹٪
روش بهینه‌سازی ترکیبی PSO-SA در بهینه‌سازی ماشین بردار پشتیبان در طبقه‌بندی [9]	روش ترکیبی SVM-PSO+SA	۴	۲۰۵ تصویر سی‌تی‌اسکن	$ACC = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}$ ۸۵،۵۸٪
مدل ترکیبی فازی-ازدحام ذرات پیشنهادی (پژوهش حاضر)	فازی-ازدحام ذرات	۵	۱۲۵ تصویر سی‌تی‌اسکن	ROC(AUC) ۹۸،۶٪

▪ سیستم ترکیبی فازی- ازدحام ذرات با جستجو بر اساس تجربه شخصی و تجربه گروهی از صحت عملکرد بالاتری نسبت به مدل‌های فازی- ژنتیک، سیستم استنتاج فازی و شبکه عصبی طراحی شده در زمینه‌ی تشخیص سرطان کبد (متاستاز در کبد) برخوردار است.

۷- مراجع

- [۱] م. حسن‌زاده طاهری، ع. ابراهیم‌زاده بیسکان و ح. مروی مقدم، آناتومی انسانی پایه، انتشارات جهاد دانشگاهی، مشهد، ۱۳۸۷.
- [۲] تجارت انجمن سرطان آمریکا، سرطان پیشرفته، ترجمه گ. حاجبی، جلد اول، تهران: باران اندیشه ایرانیان، ۱۳۱ صفحه، ۱۳۹۰.
- [۳] ف. احمدزاده، مقابله با تلخ‌ترین و گران‌ترین بیماری. روزنامه ایران، ۱۳۹۲.
- [۴] ر. حسینی و م. مزینانی، «طبقه‌بندی منابع عدم قطعیت در سیستم‌های هوشمند تحلیل و پردازش تصاویر پزشکی»، نهمین سمپوزیوم پیشرفت‌های علم و تکنولوژی، ص ۱-۱۰، ۱۳۹۳.
- [5] B. AmirHosseini and R. Hosseini, "A hybrid Fuzzy-GA approach applied to an expert system for diagnosis of liver tumor," *Journal of Soft Computing and Information Technology (JSCIT)*, vol. 5, no.1, pp. 45-52, 2016.
- [۶] ب. امیرحسینی، ر. حسینی و م. مزینانی، «طراحی شبکه عصبی MLP و سیستم استنتاج فازی جهت تشخیص متاستاز در کبد و مقایسه کارایی آن‌ها»، اولین کنفرانس بین‌المللی دستاوردهای نوین پژوهشی در مهندسی برق و کامپیوتر، صفحه ۱۰-۱، ۱۳۹۵.
- [7] S.W. Lin, S.C. Chen, W.J. Wu and C.H. Chen "Parameter determination and feature selection for back-propagation network by particle swarm optimization," *Knowledge and Information Systems*, vol. 21, no.2, pp. 249-266, 2009.
- [8] H. Jiang, F. Tang and X. Zhang, "Liver Cancer Identification Based on PSO-SVM Model," *11th International Conference on Control Automation Robotics & Vision (ICARCV)*, pp. 2519-2523, 2010.
- [9] H. Jiang and L. Zou, "A hybrid PSO-SA optimizing approach for SVM model in classification," *International Journal of Biomathematics*, vol. 6, pp. 1350036-1- 1350036-18, 2013.
- [10] S. Gunasundari and S. Janakiraman, "Improved feature selection based on particle swarm optimization for Liver disease diagnosis," *In International Conference on Swarm, Evolutionary, and Memetic Computing*, pp. 214- 255, 2013.
- [11] Ja. Liang, X. Ping, Y. Tseng, G. Huang, F. Lai and P. Yang, "Recurrence predictive models for patients with hepatocellular carcinoma after radiofrequency ablation using support vector machines with feature selection methods," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 117, no. 3, pp. 425-434, 2014.
- [12] T. Dash, S.K. Nayak and H.S. Behera, "Hybrid gravitational search and particle swarm based fuzzy MLP for medical data classification," *Computational Intelligence in Data Mining*, vol. 1, pp. 35-43, 2014.
- [13] S. Gunasundari and S. Janakiraman, "A hybrid PSO-SFS-SBS algorithm in feature selection for liver cancer data," *Power Electronics and Renewable Energy Systems*, vol. 326, pp. 1369-1376, 2014.
- [14] F. Gorunescu and S. Belciug, "Evolutionary strategy to develop learning-based decision systems Application to breast cancer and liver fibrosis stadialization," *Journal of Biomedical Informatics*, vol. 49, pp. 112-118, 2014.
- [15] H. Koyuncu and R. Ceylan, "Scout particle swarm optimization," *6th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering*, pp. 82-85, 2015.
- [16] N. Darbandi, A. Karimi and E. Hezavehi, "Liver tumor segmentation in CT images based on particle swam optimization Algorithm and Its 3D visualization," *Electronics Information & Planning*, vol. 3, pp. 61-68, 2015.
- [17] S. Gunasundari, S. Janakiraman and S. Meenambal "Velocity Bounded Boolean Particle Swarm Optimization for improved feature selection in liver and kidney disease diagnosis," *Expert Systems with Applications*, vol. 56, no.1, pp. 28-47, 2016.

در ارزیابی بیشتر سیستم‌های موجود از پایگاه داده بیماری‌های کبدی در UCI استفاده شده است، به همین دلیل این سیستم‌ها قابلیت تشخیص نوع بیماری را ندارند، در سیستم طراحی شده در [۸] با در نظر گرفتن ۹ ویژگی برای ماشین بردار پشتیبان، صحت عملکرد سیستم پس از بهینه‌سازی برابر ۷۶٫۷ درصد است، و این سیستم بر روی ۸۰ تصویر سی‌تی‌اسکن ارزیابی شده است، این سیستم قابلیت مدیریت عدم قطعیت و محاوره با متخصصان را ندارد، در سیستم ارائه شده در [۱۱]، بهینه‌سازی بر روی قوانین موجود در پایگاه قوانین در سیستم استنتاج فازی و درخت تصمیم‌گیری انجام شده است. تفاوت این سیستم‌ها با سیستم‌های پیشنهادی در الگوریتم بهینه‌سازی و نوع روش مورد استفاده در طراحی سیستم‌ها است، در مدل‌های ترکیبی پیشنهادی هدف بهینه‌سازی پایگاه داده شامل پارامترهای توابع عضویت سیستم است، همچنین نوع متغیرهای ورودی سیستم پیشنهادی متفاوت است و این سیستم با استفاده از متغیرهای فازی ورودی کمتر صحت عملکرد بالاتری دارند. در ادامه نمودار هم‌زمان تحلیل ROC در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- پلات هم‌زمان ROC در مدل فازی- ازدحام ذرات پیشنهادی و مقایسه آن با سایر مدل‌ها در تشخیص سرطان کبد (متاستاز کبد)

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

در این پژوهش مدل‌های پیشنهادی باهدف تشخیص متاستاز در کبد و مدیریت منابع عدم قطعیت موجود در تشخیص متاستاز کبد از طریق تصاویر سی‌تی‌اسکن و افزایش قابلیت انعطاف‌پذیری و صحت عملکرد سیستم طراحی شده است.

- روش مبتنی بر فازی پیشنهادی، در این پژوهش، قابلیت بالایی در مدیریت عدم قطعیت موجود در تصاویر پزشکی و تصمیم‌گیری متخصصان را دارد، این سیستم‌ها با بهره‌گیری از عبارات‌های زبانی و مجموعه‌های فازی و بهره‌گیری از پایگاه دانش فازی و استفاده از موتور استنتاج فازی منابع عدم قطعیت را مدیریت می‌کنند.
- سیستم‌های ترکیبی پیشنهادی با تعداد متغیرهای فازی ورودی کمتر (پیچیدگی کمتر)، صحت عملکرد بالاتری دارند، درواقع موازنه‌ای میان صحت و انعطاف‌پذیری سیستم برقرار شده است و قابلیت تفسیر نتایج افزایش یافته است.
- در ارزیابی سیستم از پایگاه داده سرطان کبد تهیه شده از مرکز تصویربرداری نور، استفاده شده است که شامل اطلاعات بیماران مبتلابه سرطان کبد در ایران است. پژوهش حاضر در میان پژوهش‌هایی که مورد مطالعه قرار گرفته است، پژوهشی جدید است که بر اساس اطلاعات پایگاه داده بیماران کبدی در ایران طراحی و ارزیابی شده است.

- [18] J. Kennedy and R. C. Eberhart, "Particle swarm optimization," *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks*, pp. 1942-1948, 1995.
- [19] T. Fawcett, "An introduction to ROC analysis," *Pattern Recognition Letters*, vol. 27, no. 8, pp. 861-874, 2006.
- [۲۰] ح. نظام‌آبادی پور، م. رستمی شهرباکی، م. مغفوری فرسنگی، «بهینه‌سازی اجتماع ذرات باینری: چالش‌ها و راه‌حل‌های جدید»، نشریه علمی پژوهشی انجمن کامپیوتر ایران، مجلد ۶، شماره ۱، ص. ۲۱-۳۲، ۱۳۸۷.
- [21] J. Brownlee, *Clever algorithms nature-inspired programming recipes*. Second Edition, Lulu, 438p, 2011.
- [22] M.K. Sallam Ma'aitah, R. Abiyev and I. Bush, "Intelligent Classification of Liver Disorder using Fuzzy Neural System," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol.8, pp. 25-31, 2017.

بنفشه امیرحسینی، کارشناسی ارشد رشته مهندسی کامپیوتر گرایش هوش مصنوعی در دانشگاه آزاد شهرقدس است. ایشان علاقه‌مند به پژوهش در زمینه ارائه سیستم‌های تصمیم‌یار در زمینه پزشکی با بهره‌گیری از روش‌های ترکیبی محاسبات نرم و الگوریتم‌های فرا ابتکاری در زمینه تشخیص انواع سرطان کبد می‌باشد. ایشان در این خصوص با همکاری مرکز تصویربرداری پروژهای را انجام داده و تعدادی مقاله در این زمینه منتشر نموده است.

آدرس پست الکترونیکی ایشان عبارت است از:



b.amirhoseini@gmail.com

راحیل حسینی، فارغ‌التحصیل دکتری هوش مصنوعی از دانشگاه کینگزتون لندن انگلستان در سال ۲۰۱۲ میلادی است. او عضو هیئت‌علمی گروه مهندسی کامپیوتر دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرقدس از سال ۱۳۸۵ می‌باشد. فارغ‌التحصیل دانشگاه خوارزمی تهران در رشته مهندسی کامپیوتر نرم‌افزار در مقطع کارشناسی بوده است. موضوعات تحقیقاتی موردعلاقه ایشان، رایانش نرم، هوش محاسباتی، سیستم‌های فازی، داده‌کاوی و شناسایی الگو و کاربرد آن در حل مسائل مهندسی و مطالعات مربوط به شناسایی و پیش‌گیری از سرطان می‌باشد. ایشان تعداد زیادی مقاله در این زمینه نیز منتشر نموده است.

آدرس پست الکترونیکی ایشان عبارت است از:



rahil.hosseini@godsiau.ac.ir

Presentation of Fuzzy- Particle Swarm Model for Diagnosis of Liver Cancer (Metastasis in the Liver)

Banafsheh AmirHosseini, Rahil Hosseini

Department of Computer Engineering, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abstract

In the recent decade, soft computing models have been focused for managing uncertainty in medical issues. This study proposed a fuzzy-particle hybrid model for detecting liver cancer (metastasis in the liver is one of the most common malignant liver tumors). The proposed model aims at establishing a balance between the functionality of the fuzzy system and its interoperability capability. The performance evaluation of the proposed model was conducted on a database of liver patient's in the Noor Imaging Center in Tehran. The area under the ROC curve in the proposed particle fuzzy-congestion model was 98.6% with 95% confidence interval of [95.80 100] %. According to the results of the system compared with the diagnosis of specialists, using the proposed system as an assistant can provide a second opinion for the patients with liver disease, prevention of their cancer by providing early-stage detection and promising care.

Keywords: Soft computing model, Particle swarm optimization algorithm (PSO), Fuzzy inference system, Computer aided Liver Cancer diagnosis (CAD).