*پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری*
*دوره ۶، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، صص ۴۹-۷۰*
*نوع مقاله: پژوهشی*

# طراحی یک سیستم بهبودیافته استنتاج عصبی- فازی مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی وال به منظور پیش‌بینی میزان اهدای خون

**طاهر کوچکی تاجانی [۱]، علی محتشمی [۲*]، مقصود امیری [۳]، رضا احتشام راثی [۴]**

۱. دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.
۲. دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.
۳. استاد، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران.
۴. استادیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۰۹/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۰۷

## چکیده

یکی از تکنیک‌های مناسب برای حل مسائل مهندسی جهت پیش‌بینی متغیرها در زنجیره تأمین و نیز سیستم‌هایی که دارای پیچیدگی و عدم صراحت زیاد بوده و یا داده‌های کافی درمورد آن‌ها موجود نیست، استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی و شبکه عصبی مصنوعی بوده است. این روش نسبت به سایر روش‌ها در زمان نسبتاً کوتاه‌تری به بررسی داده‌ها وکشف الگوی نهفته در آن جهت پیش‌بینی و یا تأثیرگذاری آن بر آینده می‌پردازد. سیستم استنتاج عصبی-فازی (انفیس)، شبکه‌های عصبی و مفاهیم منطق فازی را یکی می‌کند، می‌تواند از امکانات هر دو آن‌ها در یک قاب بهره ببرد که سیستم استنتاج آن مطابق با مجموعه قوانین فازی اگر-آنگاه است که قابلیت یادگیری برای تقریب زدن توابع غیرخطی را دارد. تعریف متغیرها بر اساس داده‌های گذشته و تأثیر آن متغیرها در توالی‌های زمانی گذشته به منظور پیش‌بینی وضعیت آینده از جمله کاربرد این روش است. لذا در این تحقیق به منظور پیش‌بینی میزان اهدای خون در مراکز اهدای خون بر اساس داده‌های سال‌های گذشته از تکنیک انفیس استفاده شده، از آنجایی که هر روش پیش‌بینی دارای میزان خطای مخصوص به خود است. به منظور کاهش خطای روش مذکور از الگوریتم فراابتکاری وال به منظور بهبود مقادیر پارامترهای سیستم عصبی -فازی استفاده شده که نتایج حاصله نشان دهنده کاهش خطای جذر میانگین مربعات پیش‌بینی از ۰,۰۰۲۶۱ به ۰,۰۰۱۵۳ در الگوریتم ترکیبی انفیس-وال و بهبود ۴۱ درصدی آن نسبت به روش انفیس خواهد بود.

**کلید واژه‌ها:** شبکه تطبیقی عصبی- فازی، سیستم‌های فازی، شبکه عصبی، الگوریتم وال، انفیس- وال.

---

* نویسنده مسئول مقاله E-mail: mohtashami07@gmail.com

## ۱- مقدمه

هوش مصنوعی مجموعه‌ای از تحقیقات در علم کامپیوتر است که هدف آن فرآهم آوردن زمینه‌ای برای کامپیوتر است تا بتواند همانند انسان استدلال و استنتاج نماید و مهم‌ترین کاربرد هوش مصنوعی کمک به انسان برای اخذ تصمیم‌گیری است. طراحی یک سیستم که بتواند رفتارهای هوشمند انسانی از جمله درک شرایط پیچیده و مواجهه با عدم قطعیت داده‌ها را تقلید کند و به شبیه سازی رفتار فکری، نحوه استدلال انسانی و از همه مهم‌تر یادگیری و توانایی کسب دانش از یادگیری، بپردازد، بسیار پیچیده است. استفاده از رویکرد فازی و سیستم‌های هوشمند برای غلبه بر محدودیت‌های سیستم‌های ساده پیشین وبرای مقابله با عدم قطعیت بسیار مناسب بوده است. از طرفی شبکه عصبی نیز قادر است بدون تلقین، دانش را از داده‌ها استخراج نموده، به پردازش پرداخته و دانش درون آن را استخراج نماید. در واقع ترکیب این دو تکنیک یک سیستم هوشمند ایجاد می‌نماید که در تصمیم‌گیری‌هایی چون دسته بندی، تشخیص یا پیش‌بینی متغیرها به ما یاری می‌رساند. این نوع سیستم‌های هوشمند امروزه کاربردهای زیادی در تشخیص‌های بالینی یا دیگر حوزه‌های پزشکی داشته و دارند. لذا کاربردی که از این سیستم تلفیقی کارا برای این تحقیق می‌توان برشمرد، پیش‌بینی تعداد اهدا کنندگان مراکز خون بر اساس داده‌های سنوات گذشته خواهد بود.

خون سالم نجات دهنده زندگی است. همه روزه در سراسر جهان بسیاری از افراد به خون و فرآورده‌های خونی نیاز پیدا می‌کنند؛ به طوری که از هر سه شخص یک نفر در طول حیات خود نیاز به تزریق خون یا فرآورده‌های خونی پیدا می‌نماید. از بارزترین وضعیت‌هایی که انسان نیاز مبرم به دریافت خون پیدا می‌نماید، می‌توان به حوداث وسوانح گوناگون چون تصادفات رانندگی، سوختگی‌ها و عمل‌های جراحی اشاره نمود. همچنین زنان باردار در حین زایمان و نیز کودکان نارس از دیگر نیازمندان خون و مشتقات آن می‌باشند [۱،ص۱۸۷۱]. تاکنون هیچ گونه جایگزین غیر طبیعی برای خون ساخته نشده است و فقط خون اهدایی توسط انسان دیگر است که می‌تواند جایگزین خون از دست رفته در انسان دیگر شود. عدم وجود جایگزینی مناسب برای خون، در دسترس نبودن فرد اهداکننده در همه مواقع، محدودیت زمانی نگهداری و نیاز همیشگی به خون و فراورده‌های آن سبب گردیده که تا اهدای خون از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد [۲،ص۲۳۶]. یکی از مباحث عمده در سیستم‌های بهداشت و درمان جهانی، مسئله بهبود عملکرد زنجیره تأمین بوده است. نظام

سلامت به دلیل ارتباط مستقیمی که با سلامت و جان انسان‌ها دارد، یکی از پیچیده‌ترین و چالش برانگیزترین زنجیره تأمین‌ها را داراست. مسائلی از قبیل عدم قطعیت در عرضه و تقاضا، برنامه‌ریزی برای مدیریت موجودی و سفارش وجود تاریخ انقضاء برای محصولات خونی و منابع محدود، از جمله چالش‌های اساسی در حوزه درمان و سلامت به ویژه در زنجیره تأمین خون است[۳].

مهم‌ترین هدف مراکز انتقال خون در کلیه کشورها اطمینان وجود خون سالم و در دسترس است. باید همواره برآوردی از میزان اهدا در آینده به منظور پوشش تقاضاهای مراکز درمانی در مراکز وجود داشته باشد تا در صورت مواجهه با کمبود ناگهانی با اعلام فراخوان و برنامه‌های تبلیغاتی سعی در جذب داوطلبین سالم برای اهدا خون شوند. خون یک محصول فاسد شدنی است. مشخصه‌ای اصلی محصولات فاسد شدنی آن است که طول عمر محدود دارند و درنتیجه دریافت و ذخیره سازی بیش از حد آن امکان پذیر نیست. ذخیره بیش از حد محصولات فاسد شدنی به دلیل کاهش دسترسی دیگر بیماران نیازمند خون در بیمارستان‌های دیگر و کاهش عرضه کافی از محصولات خونی در بیمارستان‌ها بی‌فایده است [۴،ص۱۷۸].

مشتقات خون نیز جزء اقلام فاسد شدنی هستند. ویژگی این اقلام عمر کوتاه آن است. در تحقیقات اخیر منتشر شده توسط سازمان غذا و دارو اجازه داده شده است که گلبول قرمز به مدت ۶ هفته نگهداری و ذخیره شود ولی تحقیقات پزشکی موسسه جان هاپکینس نشان داده است که ذخیره بیش از ۳ هفته گلبول‌های قرمز باعث می‌شود که انعطاف پذیری این محصول خونی برای عبور از میان مویرگ‌های کوچک در سراسر بدن کاهش یابد و اگر این گلبول‌های قرمز نتواند بین مویرگ‌ها به آسانی حرکت کنند و جا به جا شوند، اکسیژن کافی به محل‌های مورد نیاز در بدن منتقل نمی‌شود. بعلاوه از بین رفتن انعطاف پذیری در گلبول‌های قرمز با بیش از سه هفته عمر، دائمی است حتی اگر آن‌ها دوباره به بدن برگردانده شوند. در واقع مدت زیاد طولانی کردن انبارش این محصول خونی منجر به افزایش خطرات بیماری‌های زیان آور شامل ذات الریه، بستری طولانی‌تر در بیمارستان، ساعات طولانی مدت تهوع، نارسایی اعضا و افزایش عوارض عفونی در بیماران سرطانی می‌شود. از طرف دیگر نیز این انتقال خون بر روی سیستم ایمنی گروه‌های دیگر بیماران از قبیل کودکان، نوزادان و شیرخوران نیز اثر سوء باقی خواهد گذاشت [۵،ص۱].

بنابراین داشتن یک پیش‌بینی درست از میزان عرضه این محصول حیاتی بسیار پراهمیت

است تا برنامه‌ریزی تولید فرآورده‌ها را نسبت به آن برنامه‌ریزی شود. پیش‌بینی درست امکان مواجهه با کمبودهای احتمالی که در زنجیره تأمین خون را می‌دهد و از طرفی با مدیریت صحیح منابع خونی می‌توان اتلاف منابع بر اساس انبارش و عدم مصرف را نیز کاهش داد. لذا در این تحقیق ما به دنبال طراحی و توسعه و برنامه‌نویسی سیستمی می‌باشیم که با استفاده از داده‌های گذشته موجود در مراکز اهدا، به کمک تلفیق سیستم فازی و شبکه عصبی (انفیس)[۱] به پیش‌بینی مقادیر تقاضا در دوره‌های آتی بپردازیم. از آنجایی که هر سیستم پیش‌بینی‌کننده دارای خطا و انحراف از مقدار اصلی است. لذا به منظور کاهش مقادیر خطا سیستم عصبی – فازی طراحی شده را با استفاده از الگوریتم فراابتکاری وال [۲] بهبود خواهیم داد تا میزان خطای پیش‌بینی کاهش یابد.

## ۲- مبانی نظری و مروری بر مطالعات گذشته

### ۱-۲- شبکه عصبی

شبکه عصبی مصنوعی یکی از تکنیک‌های مهم و کاربردی داده‌کاوی در تشخیص الگو و طبقه‌بندی است. شبکه عصبی مصنوعی در واقع یک مدل ریاضی و شبیه‌سازی شده از عملکرد مغز انسان و ارتباطات بین نورون‌های عصبی است. در این تکنیک داده‌کاوی، مجموعه‌ای از سلول‌های عصبی به صورت نورون مصنوعی مدل‌سازی شده که برروی ورودی خود تأثیر می‌گذارند [۶]. شبکه‌های عصبی مصنوعی نیز شامل مجموعه‌ای از نورون‌های به هم متصل می‌باشند که به هر مجموعه از این نورون‌ها یک لایه [۳] گفته می‌شود. در نهایت برای ایجاد این لایه‌ها، این نورون‌ها به وسیله توابع فعال‌سازی (محرک)[۴] به یکدیگر متصل می‌گردند. در عمل تعداد محدودی از توابع فعال‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. شبکه‌های عصبی علیرغم تنوع، از ساختار مشابهی برخوردار می‌باشند. یک شبکه عصبی معمولاً از سه لایه ورودی، پنهان و خروجی تشکیل شده است که لایه وردی فقط اطلاعات دریافت می‌نماید و مشابه متغیر مستقل عمل نموده لذا تعداد نورون‌های لایه ورودی بر اساس طبیعت مسأله تعیین می‌شود و بستگی به تعداد متغیرهای مستقل دارد. لایه خروجی نیز همانند متغیر وابسته عمل کرده و تعداد نورون‌های آن بستگی به تعداد متغیر وابسته دارد. اما بر خلاف لایه‌های ورودی و خروجی، لایه پنهان هیچ مفهومی را نشان نمی‌دهد و صرفاً یک نتیجه میانی در فرآیند محاسبه ارزش خررجی هستند[۷].

### ۲-۲- انواع شبکه‌های عصبی فازی و نورو فازی

نحوه ارتباط بین منطق فازی و شبکه عصبی باعث بوجود آمدن انواع مختلفی از سیستم‌ها شده است. بسیاری بر این باورند که اطلاق کلمه نوروفازی به تمامی این ترکیبات درست نمی‌باشد، چرا که برخی از این ترکیبات ارتباط تکمیلی با یکدیگر داشته و به جای هر یک از این اجزا می‌توان سیستم‌های دیگری مانند درخت تصمیم، الگوریتم تکاملی و از این دست را جایگزین نمود؛ به عبارتی نوروفازی به سیستم ترکیبی حاصل از شبکه عصبی و سیستم استنتاج فازی گفته شده که در آن شبکه عصبی به عنوان تعیین‌کننده پارامترهای سیستم فازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. منظور از تعیین پارامترهای سیستم فازی توسط شبکه عصبی، تعیین اتوماتیک پارامترهای فازی مانند قوانین فازی و یا توابع عضویت مجموعه‌های فازی است. در مقابل نوروفازی، شبکه عصبی فازی قرار دارد که در آن از منطق فازی برای بهبود عملکرد شبکه فازی عصبی استفاده می‌شود. در این شبکه منطق فازی فرع بوده و تنها برای بهبود شرایط شبکه عصبی و یا اضافه نمودن مفهوم عدم قطعیت به شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرد[۸]. تقسیم‌بندی زیر نحوه ارتباط بین منطق فازی و شبکه عصبی را با توجه به این دیدگاه بیان می‌کند.

- شبکه عصبی فازی [۵]: منطق فازی برای بهبود کارایی شبکه و یا افزایش توان یادگیری شبکه عصبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این شبکه‌ها افزودن قوانین فازی برای تغییر نرخ یادگیری و یا تغییر موردی خروجی شبکه از حالت غیرفازی به فازی است [۹ص۹۸۳].
- مدل‌های همزمان عصبی – فازی [۶]: شبکه عصبی و سیستم فازی بر روی یک کار واحد با یکدیگر کار می‌کنند اما تأثیری بر روی یکدیگر ندارند. هیچکدام برای تعیین پارامتر دیگری به کار نمی‌روند. معمولاً در این مدل شبکه عصبی برای پیش پردازش ورودی و یا خروجی سیستم فازی به کار می‌رود [۱۰،ص۲۱۶۸].
- مدل‌های مشترک عصبی – فازی [۷]: شبکه عصبی برای تعیین پارامترهای سیستم فازی به کار می‌رود. این پارامترها شامل قوانین فازی، وزن قوانین و مجموعه‌های فازی است [۱۱،ص۶۱].
- سیستم استدلال فازی مبتنی بر شکبه عصبی [۸]: برخی این سیستم‌ها را جزء مدل‌های اشتراکی [۹] می‌دانند. این مدل‌ها برای گسترش قوانین فازی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۲،ص۱۰۲].
- مدل‌های عصبی- فازی ترکیبی [۱۰] : شبکه عصبی و سیستم فازی در یک ساختار

هماهنگ با یکدیگر ترکیب می‌شوند. این مدل را می‌توان شبکه عصبی با پارامتر فازی و یا یک سیستم فازی با یادگیری توزیع شده دانست [۱۳].

### ۳-۲- الگوریتم فراابتکاری وال

این الگوریتم از رفتار اجتماعی وال‌های گوژپشت [۱۱] الهام گرفته است. طعمه‌های مورد علاقه آن‌ها گله ماهی کریل و کوچک هستند. جالب‌ترین چیز در مورد نهنگ گوژپشت نحوه شکار خاص او است. روش تغذیه با ایجاد حباب‌های متمایز دایره‌ای انجام می‌شود. نهنگ‌ها سمت پایین طعمه شیرجه رفته و با ایجاد حباب‌هایی به شکل مارپیچی در اطراف طعمه به سمت سطح شنا می‌کنند. دانشمندان دو مانور مرتبط با شبکه حبابی را مشخص کرده و آن‌ها را مارپیچ به سمت بالا [۱۲] و حلقه‌های دوتایی [۱۳] نامیدند. این روش تغذیه روش خاصی است که تنها در نهنگ‌ها دیده شده است. در الگوریتم وال مانور مارپیچ شبکه حبابی به صورت ریاضی برای انجام بهینه‌سازی مدل شده است [۱۴].

$$\vec{D} = \left| \vec{C}.\vec{X}^*(t) - \vec{X}(t) \right| \qquad (۱)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}^*(t) - \vec{A}.\vec{D} \qquad (۲)$$

که در فرمول بالا t تکرار فعلی، $\vec{A}$و $\vec{C}$ بردار ضرایب، $\vec{X}^*$بردار مکان بهترین جواب، $\vec{X}$بردار مکان، | |علامت قدر مطلق و. ضرب نقطه‌ای عنصر در عنصر است. که اگر در هرتکرار جواب بهتری وجود داشت $\vec{X}^*$ به روز رسانی می‌شود.

بردارهای $\vec{A}$و $\vec{C}$ به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$\vec{A} = 2\vec{a}.\vec{r} - \vec{a}$$
$$\vec{C} = 2.\vec{r} \qquad (۳)$$

که $\vec{a}$ در هرتکرار به صورت خطی از ۲ به ۰ طی تکرارها کاهش می‌یابد و $\vec{r}$ یک بردار تصادفی بین[۱ و ۰] است.

در روش حمله وال گوژپشت طعمه در امتداد یک دایره انقباضی و هم زمان در مسیر مارپیچی شکل شنا می‌کند. برای مدل‌سازی این رفتار فرض احتمال ۵۰ درصدی بین این دو مکانیزم انتخاب می‌گردد تا موقعیت‌های وال‌ها طی بهینه‌سازی به‌روزرسانی شود. مدل ریاضی به صورت زیر است:

$$\vec{X}(t+1)=\begin{cases}\vec{X}^{*}(t)-\vec{A}.\vec{D} & p<0.5\\ \vec{D}.e^{bl}.\cos(2\pi l)+\vec{X}^{*}(t) & p\geq 0.5\end{cases} \qquad (۴)$$

که p یک عدد تصادفی بین ۰ و ۱ است، b ثابتی برای تعریف شکل مارپیچ لگاریتمی l عددی تصادفی بین ۱- و +۱ و. ضرب نقطه‌ای در نظر گرفته شده است. بردار $\vec{A}$ با مقادیر تصادفی بین ۱- و +۱ به کارگرفته می‌شود تا عامل جستجو به وال مرجع نزدیک شود.

الگوریتم وال با مجموعه‌ای از راه حل‌های تصادفی شروع به کار می‌کند. در هر تکرار، عوامل جستجو موقعیت خود را با توجه به عامل جستجویی که تصادفی انتخاب شده و با بهترین راه حل بدست آمده جاری، به‌روزرسانی می‌کنند. پارامتر a جهت فراهم آوردن اکتشاف و استخراج، به ترتیب از مقدار ۲ تا ۰ کاهش می‌یابد. یک عامل جستجوی تصادفی در حالت $|A|>1$ انتخاب می‌شود؛ این در حالی است که بهترین راه حل زمانی انتخاب می‌شود که جهت بروزرسانی موقعیت عوامل جستجو، $|A|<1$ باشد. بسته به مقدار p، الگوریتم وال این قابلیت را دارد تا بین حرکت دایروی و یا مارپیچی یکی را انتخاب کند. وال برای جستجو برای طعمه برای به‌روزرسانی موقعیت عامل جستجو، به جای استفاده از داده‌های بهترین عامل جستجو، از انتخاب تصادفی بهره می‌برد.

$$\vec{D}=\left|\vec{C}.\vec{X}_{rand}-\vec{X}\right|$$
$$\vec{X}(t+1)=\vec{X}_{rand}-\vec{A}.\vec{D} \qquad (۵)$$

که $\vec{X}_{rand}$ یک بردار موقعیت تصادفی (یک نهنگ تصادفی) انتخاب شده از مکان کنونی جمعیت است.

### ۴-۲- مطالعات پیشین

استفاده از انفیس به عنوان یک سیستم تصمیم‌گیرنده از دیرباز مرسوم بوده اما آنچه در ادبیات مورد توجه قرار گرفته، بهبود کارایی این الگوریتم است. زیرا هرچه فرایند آموزش در آن بهتر انجام گیرد و خطایان کاهش یابد، میزان استناد به نتایج خروجی آن نیز بیشتر خواهد شد. لذا محققان سعی نموده‌اند با تغییر در پارامترها و الگوهای آن نتیجه واصله را بهبود ببخشند. یکی از راه‌های بهبود عملکرد آموزش این سیستم استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری است. جدول ذیل خلاصه‌ای از مطالعات برای بهبود فرآیند آموزش انفیس توسط الگوریتم‌های متاهیوریستیک ارائه می‌نماید.

**جدول ۱**- الگوریتم انفیس بهبود یافته با استفاده از تکنیک‌های متاهیوریستیک

| محقق | ناحیه بهبود | | نوع توابع عضویت | تعداد پارامترهای ورودی | نوع استفاده |
|---|---|---|---|---|---|
| | بهبود دهنده توابع عضویت | بهبود دهنده فرآیند آموزش | | | |
| باقری و همکاران [۱۵] | الگوریتم ژنیتک | تجزیه مقادیر منفرد | تابع گوسی | ۴ ویژگی | پیش‌بینی |
| مرزبانراد و جلالی [۱۶] | الگوریتم ژنتیک | تجزیه مقادیر منفرد | تابع گوسی | ۵ ویژگی | پیش‌بینی |
| زنگنه و همکاران [۱۷] | تکامل تفاضلی | گرادیان نزولی | تابع مثلثی | ۴ ویژگی | تشخیص سیستمی |
| وانگ و نینگ ۱۴ [۱۸] | بهینه سازی ازدحام ذرات مبتنی بر حمعیت انطباقی | حداقل مربعات خطا | تابع گوسی | ۵ ویژگی | پیش‌بینی سری زمانی |
| خوشبین [۱۹] | الگوریتم ژنتیک | تجزیه مقادیر منفرد | تابع گوسی | ۵ ویژگی | مدل سازی |
| جعفری و همکاران[۲۰] | هایبرید ژنتیک و کرم ابریشم | خوشه بندی c میانگین | تابع گوسی | ۱۱ ویژگی | پیش‌بینی |
| تحقیق پیش رو | الگوریتم وال | ترکیبی (حداقل مربعات و پس انتشار) | تابع گوسی | ۷ ویژگی | پیش‌بینی سری زمانی |

همان طور که بیان شد یکی از کاربردهای سیستم انفیس کشف الگو از داده‌های گذشته برای پیش‌بینی دوره بعدی یا آینده است و با توجه به موضع تحقیق پیش رو پیش‌بینی داوطلبان اهدای خون به منظور برنامه‌ریزی به منظور تطبیق آن با تقاضاهای واصله به مراکز درمانی و نیز سرویس دهی به موقع و درست به داوطلبان اهدای خون اهمیت داشته است و واضح است که برای این امر نیاز به یک ابزار مناسب می‌باشیم. تحقیقات ذیل نمونه‌ای از تکنیک‌ها و روش‌های بکار رفته به منظور پیش‌بینی عرضه خون در مراکز خون‌گیری که مورد استفاده قرار گرفته بر می‌شمارد.

بوسنس و همکاران [۱۵] [۲۱] در مطالعه خود برای پیش‌بینی تعداد افراد اهداکننده خون به منظور کوتاه کردن زمان انتظار داوطلبان در مراکز خون اسلو نروژ انجام پذیرفته، با استفاده از داده‌های زمان حضور داوطلبان در ۹۷۱ روز اهدا (۱۷۹۱۲۱ مراجعه) یک مدل رگرسیون

لجستیک برای پیش‌بینی ورود اهدا کنندگان طراحی نمودند. این امر به منظور تخصیص درست کارکنان انتقال خون و تجهیزات به داوطلبان بوده است که نتایج حاصله بیانگر کاهش ۴۳ درصدی میانگین زمان انتظار داوطلبان ناشی از استفاده از مدل پیشنهادی بوده است.

درویشی و همکاران به پیش‌بینی اهدای خون دواطلبان پرداخته‌اند. هدف از مطالعه آن‌ها استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی اهدای خون بود. الگوریتم‌های یادگیری ماشین پیشنهادی شامل گیرنده‌های چند لایه و ماشین‌های برداری [۱۶] بوده است. که در آن به صورت گذشته نگر در گروهی از ۶۰۰ بیمار مورد ارزیابی قرار گرفتند و به صورت آینده نگر در گروهی از ۱۴۸ بیمار معتبر ارزیابی شده است. که میزان حساسیت ۶۵,۸ درصد و ویژگی ۷۸,۲ درصد برای روش پیشنهادی گزارش شده است[۲۲].

انصافیان و همکاران [۲۳] در ادامه مدل زنجیره تأمین پلاکت خود به منظور پیش‌بینی میزان اهدا کنندگان خون در شهر تهران، از زنجیره مارکوف و بر اساس قضیه چپ–من کولموگراف داوطلبان اهدای خون را به سه دسته (کسانی که خون اهدا نمی‌کنند، کسانی که یک بار خون اهدا نموده‌اند و کسانی که اهداکننده مستمر می‌باشند) تقسیم نموده سپس با محاسبه احتمال انتقال‌گذار از یک حالت به حالت دیگر از دوره قبل به بعد تشکیل ماتریس انتقال داده و با به توان رساندن این ماتریس و ضرب آن در میزان اولیه اهداکنندگان در زمان آغاز دوره، میزان اهدا کنندگان را در طول دوره تخمین زده‌اند.

جهان تیغ و همکاران [۲۴] به منظور رفع عدم قطعیت موجود در تقاضا پلاکت با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و آریما به پیش‌بینی میزان تقاضا پلاکت خون در زنجیره تأمین انتقال خون سیستان و بلوچستان پرداخته‌اند. نتایج این مطالعه نشانگر دقت بالای مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و سپس آریما در پیش‌بینی تقاضای پلاکت خون است.

ولکن [۱۷] و همکاران [۲۵] به منظور پیش‌بینی الگوی تکامل آینده اهدای خون و استفاده از سلول‌های قرمز خون بین سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۳۵ با استفاده از داده‌های اهدا کنندگان و گیرنده انتقال خون، و اطلاعاتی چون سن و جنس افراد خون دهنده ۹ بیمارستان بزرگ در مناطق مختلف سوئیس، مدل‌های رگریسونی تعمیم یافته و مدل‌های سری زمانی با توزیع نمایی برای تخمین روند اهدا خون کامل و مصرف گلبول قرمز خون ارائه نمودند. مدل پیشنهادی نشان داده که میزان عرضه خون تا سال ۲۰۱۸ با تقاضا آن برابر شده ولی تا سال ۲۰۳۵ میزان کمبود اهدا به میزان ۷۷۰۰ واحد خواهد رسید.

العجرمی [۱۸] و همکاران [۲۶] در مطالعه خود با استفاده از محیط نرم افزاری justNN به

پیش‌بینی تقاضای محصولات خونی با استفاده از شبکه عصبی پرداختند. نتایج حاصل از تحقیق نشان دهنده قدت ۹۹,۳۳ درصدی ابزار مورد استفاده در پیش‌بینی مقادیر تقاضا بوده است.

شاشیکالا [۱۹] و همکاران [۲۷] در مطالعه خود اذعان داشته‌اند که پیش‌بینی دقیق تعداد اهدا کنندگان خون می‌تواند به متخصصان پزشکی کمک کند تا آینده خون را بشناسند و بر این اساس برنامه‌ریزی کنند تا اهدا کنندگان داوطلب خون را برای تأمین تقاضا ترغیب نمایند. در این تحقیق، الگوی رفتار اهدا کنندگان خون بر اساس عوامل مؤثر بر تصمیم اهدای خون بوده که با استفاده از پرسشنامه آنلاین انجام پذیرفته، برای یافتن افراد بالقوه برای تبدیل شدن به اهداکننده خون، عواملی مانند ارزش‌های نوع دوستانه، دانش در اهدای خون، خطرات درک شده، نگرش نسبت به اهدای خون و قصد اهدای خون، مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرد. برای پیش‌بینی اینکه فردی اهداکننده است یا نه، از داده‌های اطلاعات شخصی افراد استفاده شده، از روش دسته بندی بیز [۲۰] و الگوریتم K- نزدیک‌ترین همسایگی [۲۱] به منظور تجزیه-وتحلیل استفاده گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که مقدار دقت برای K- نزدیک‌ترین همسایگی بالاتر از الگوریتم دسته بندی بیز بوده است.

احمدی منش و همکاران [۲۸] یک مدل مبتنی برشبکه عصبی به منظور اصلاح نحوه پاسخگویی به تقاضای بیمارستان‌های موجود در شبکه انتقال خون مشهد با هدف کاهش هزینه اتلافات و کمبود خون طراحی و پیاده‌سازی نمودند؛ به عبارت دیگر مدل پیشنهادی تعیین می‌کند زمانی که پایگاه‌های انتقال خون از مصرف‌کنندگان خود سفارش دریافت می‌کنند. با توجه به موجودی دردسترس چگونه به سفارشات پاسخ بهینه و مناسب بدهند که کمترین اتلافات و کمبودهای خونی را در پی داشته باشد. شاخص ضریب تبیین ۰,۹۸ و میانگین مجذور خطای ۱,۲۴ نشان دهنده کارایی مدل پیشنهادی محقق بوده است.

**جدول ۲**- تکنیک‌های استفاده شده برای پیش‌بینی عرضه و تقاضای خون

| محقق | نوع پیش‌بینی | ابزار | نتیجه |
|---|---|---|---|
| بوسنس [۲۱] | پیش‌بینی عرضه | رگرسیون لجستیک | کاهش ۴۳ دردصدی زمان انتظار اهدا کنندگان خون |
| درویشی و همکاران [۲۲] | پیش‌بینی عرضه خون | یادگیری ماشین | میزان تشخیص درست ۷۸ درصدی |
| انصافیان و | پیش‌بینی عرضه | زنجیره مارکوف-چپ | پیش‌بینی اهدا کنندگان از طریق احتمال‌گذار |

| محقق | نوع پیش‌بینی | ابزار | نتیجه |
|---|---|---|---|
| همکارن [۲۳] | خون | من کولموگراف | حالت |
| جهان تیغ و همکاران [۲۴] | پیش‌بینی عرضه و تقاضا | شبکه عصبی و آریما | کاهش خطای پیش‌بینی به میزان قابل توجه نسبت به تکنیک‌های استفاده شده سازمان انتقال خون برای گروه‌های خونی |
| ولکن و همکاران [۲۵] | پیش‌بینی عرضه خون و تقاضا گلبول قرمز | رگرسیون تعمیم یافته و مدل سری زمانی نمایی | پیش‌بینی آینده محور عرضه و تقاضا خون |
| العجرمی و همکاران[۲۶] | پیش‌بینی تقاضا | شبکه عصبی | دقت پیش بینی ۹۹ درصدی |
| شاشیکالا[۲۷] | پیش‌بینی اهدا کنندگان بالقوه | K نزدیک‌ترین همسایگی | عملکرد بهتر ۵ درصدی نسبت به روش دسته بندی بیز |
| احمدیمنش و همکاران [۲۸] | تعیین مقادیر بهینه خون ارسالی به بیمارستان‌ها | شبکه عصبی | همبستگی ۹۸،۸ درصدی آزمون و کاهش میزان برگشتی خون به صفر و نیز و افزایش ذخیره موجودی تا ۲۰۰۰ واحد |
| تحقیق پیش رو | پیش‌بینی اهدا کنندگان خون | تکنیک انفیس بهبود یافته با الگوریتم وال | نتیجه انتظاری کاهش میزان خطا پیش‌بینی و نیز افزایش میزان دقت الگوریتم پیشنهادی |

## ۳- روش‌شناسی پژوهش

در این بخش به تشریح روش تحقیق پیش رو (روش سیستم ترکیبی استنتاج عصبی-فازی و الگوریتم وال تحقیق) خواهیم پرداخت. شبکه عصبی-فازی یا انفیس یک مدل ترکیبی است که شامل دو روش عصبی و فازی است. انفیس یک روش داده‌محور است که می‌تواند برای بدست آوردن راه‌حل برای مشکل تابع تقریب استفاده شود[۲۹]. در ابتدا سیستم استنتاج فازی که شامل مدل فازی اولیه است شکل می‌گیرد که بر پایه قواعد استخراج شده از داده-های ورودی و خروجی است. در مرحله بعد شبکه‌های عصبی برای بهتر کردن قوانین فازی اولیه بکار گرفته می‌شود و با استفاده از متدولوژی انفیس شبکه آموزش داده می‌شود[۳۰]. شبکه عصبی فازی در محیط متلب پیاده‌سازی شده است. در حالت پیاده‌سازی می‌توان تنظیمات اولیه را طبق مسئله خود تنظیم کرد و تغییر داد. پس از بهبود سیستم فازی اولیه طراحی شده توسط انفیس سپس سیستم فازی طراحی شده را ذخیره و میزان خطای آن را گزارش می‌نماییم و مجدد پارامترهای آن را فراخوانی می‌نماییم. این بار به منظور کاهش

خطای سیستم انفیس طراحی شده از الگوریتم فراابتکاری وال استفاده می‌نماییم و سعی می‌کنیم با استفاده از مکانیزم بهینه‌سازی این الگوریتم مقادیر پارامترها را بهینه نماییم و میزان خطای مربوط به فرآیند آموزش را کاهش دهیم. داده‌های مورد استفاده، داده‌های تعداد اهدا کنندگان مراکز انتقال خون گیلان از ابتدای ۱۳۹۷ الی انتهای ۱۳۹۸ بوده است. با حذف رکوردهای ناقص ۴۲۳ روز داده به عنوان داده تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است. ۸۱ درصد داده‌ها به عنوان داده آموزش شبکه و ۱۹ درصد آن برای تست استفاده خواهد شد. با توجه به اینکه عموماً الگوی اهدای خون در کشور تحت تأثیر الگوی فصلی و یا مناسبتی ( تقویمی) است لذا متغیرهای در نظر گرفته شده برای پیش‌بینی به صورت میانگین متحرک هفتگی برای سه دوره قبل، میانگین ماه مشابه در سال ماقبل سال جاری و میانگین ماهانه دو سال قبل از سال جاری، میانگین فصلی سال ماقبل و میانگین فصلی دو سال قبل خواهد بود.

### ۱-۳- طراحی سیستم عصبی- فازی پیش‌بینی اهدا داوطلبان

- گام اول: فراخوانی داده‌ها

در گام اول داده‌های مربوط به اهدای سه سال گذشته مراکز انتقال خون استان گیلان به عنوان داده‌های مورد استفاده این تحقیق استفاده شده است. بدین منظور (n=7) متغیر به عنوان پیش‌بینی‌کننده داده‌های هفته آتی (n+1) استفاده شده است. داده‌های ستون آخر نیز به عنوان خروجی (یعنی مقادیری که انتظار داریم روش پیشنهادی بتواند به آن دست یابد) در نظر گرفته خواهد شد. میزان داده‌های تست ۴۲۳ و میزان داده‌ها برای اعتباری سنجی آزمون ۸۰ خواهد بود.

- گام دوم: پیش پردازش داده‌ها

نرمال‌سازی برای داده‌های اولیه، تأثیر بسزایی بر روی آماده‌سازی دارد تا آموزش به صورت بهتری بر روی آن‌ها انجام گیرد. در صورت عدم انجام نرمال‌سازی فرآیند آموزش بسیار به کندی انجام می‌پذیرد. برای نرمال‌سازی داده‌ها از روش مین-مکس استفاده شده است و مقادیر کلیه داده‌ها محدود به مقدار بین صفر و یک خواهد شد. رابطه (۶) برای نرمال‌سازی داده‌ها استفاده شده است

$$v' = (v - \min_A)\frac{newMax - newMin}{\max A - \min A} + (newMin) \qquad (۶)$$

که در این رابطه مقادیر $v$ مقدار اولیه داده، $v'$ مقادیر جدید داده، $newMAx$ و $newMin$ مقاددیر ماکزیمم و مینیمم بازه جدید (در اینجا ۱ و ۰)، مقادیر $\max A$ و $\min A$ مربوط به ماکزیمم و مینیمم هر ویژگی (هر ستون داده) است.

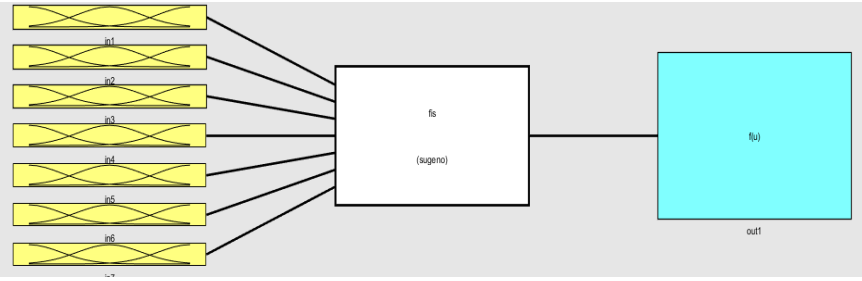
- گام سوم: تشکیل سیستم عصبی –فازی پایه

به منظور ایجاد سیستم فازی پایه از تابع genfis2 استفاده شده است. (این روش به علت رفتار بهتر نسبت به داده‌های وابسته به زمان ارجحیت بیشتری نسبت به genfis1 و genfis3 دارد). این تابع یک ساختار سیستم استنتاج فازی از نوع سوگنو با استفاده از خوشه‌بندی کاهشی ایجاد می‌کند و برای استخراج قوانین ابتدا از تابع "subclus"برای تعیین تعداد قوانین و توابع عضویت اولیه استفاده کرده، سپس از میانگین مربع خطا برای برای تعیین معادلات مربوط به هر قانون استفاده می‌نماید. این تابع یک ساختار سیستم استنتاج فازی را تحلیل می‌کند که شامل مجموعه‌ای از قوانین فازی برای پوشش فضای ویژگی است و مقادیر این تابع در جدول (۳) گزارش شده است.

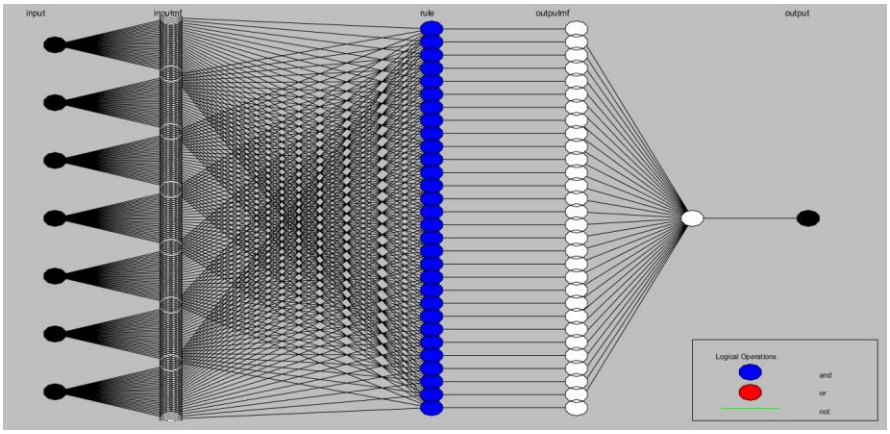
**جدول ۳**- مقادیر تابع مولد شبکه عصبی –فازی

| Name | Genfis2 |
|---|---|
| Type | Sugeno |
| And method | Prod |
| OR Method | probor |
| Defuzzification Method | wtaver |
| Implication Method | Prod |
| Aggregation Method | Sum |

به طور پیش فرض نوع تابع عضویت ورودی و خروجی به ترتیب از نوع گوسی" gaussmf "و تابع عضویت خروجی از نوع خطی در نظر گرفته شده است. شکل (۱ و ۲) ساختار و قوانین مربوط به این شبکه فازی را نمایش می‌دهد.




**شکل ۱**- سیستم فازی مبتنی بر سوگنو




**شکل ۲**- قوانین و ساختار شبکه طراحی شده

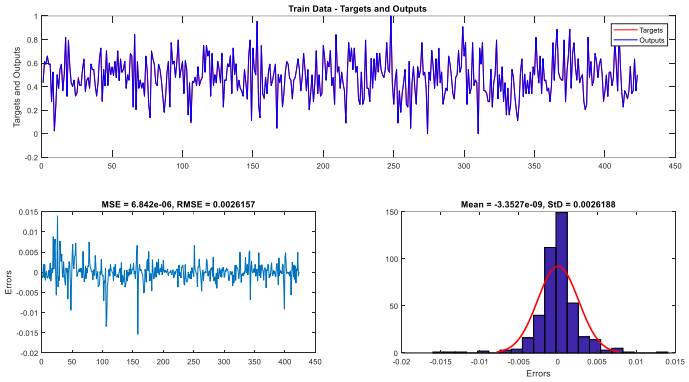
- گام چهارم: آموزش داده‌ها با استفاده از انفیس

الگوریتم‌های آموزش در انفیس بر سه نوع است. ۱) الگوریتم آموزش انتشار رو به عقب خطا[۲۲] ، ۲) الگوریتم آموزش حداقل مربعات خطا [۲۳] ، ۳) الگوریتم روش هایبرید [۲۴] یا ترکیبی که در این تحقیق از روش هایبرید به منظور آموزش استفاده شده است. سایر پارامترهای مربوط به آموزش نیز به شکل ذیل تنظیم شده است.

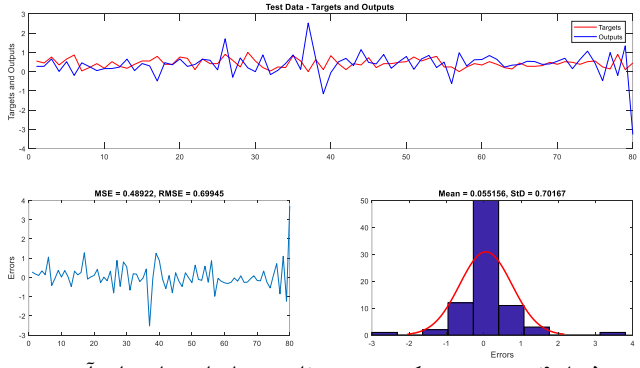
**جدول ۴**- پارامترهای سیستم فازی – عصبی

| پارامترها | مقادیر |
|---|---|
| Number of Epoch | ۱۰۰۰ |
| Error Goal | ۰ |
| Initial Step Size | ۰,۰۱ |
| Step Size Decrease | ۰,۹ |
| Step Size Increase | ۱,۱ |

- گام پنجم: ذخیره سیستم انفیس و گزارش میزان عملکرد و خطای سیستم




**شکل ۳**: وضعیت شبکه عصبی –فازی بر اساس داده‌های آموزش




**شکل ۴**: وضعیت شبکه عصبی –فازی بر اساس داده‌های آزمون

با توجه به اینکه هر سیستم طراحی شده دارای حدی از خطاست لذا ما همواره به دنبال کاهش این میزان خطا و بهبود عملکرد سیستم طراحی شده می‌باشیم لذا بدین منظور از الگوریتم بهینه‌سازی وال به منظور بهبود شبکه عصبی طراحی شده استفاده خواهیم نمود.

- گام ششم فراخوانی پارامترهای سیستم عصبی-فازی طراحی شده

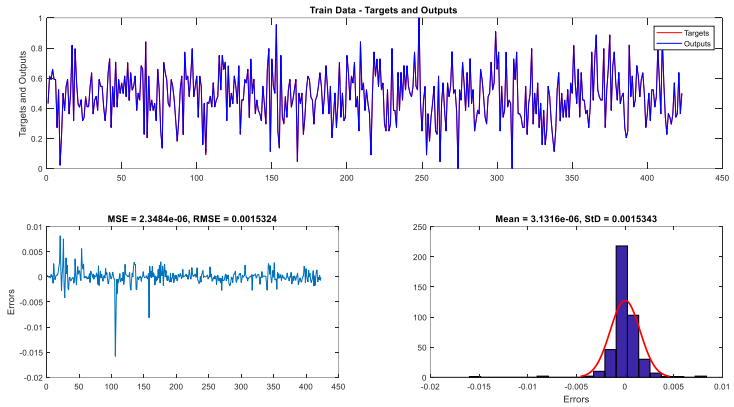
دراین قسمت پارامترهای توابع عضویت ورودی‌ها و خروجی‌ها از سیستم استخراج می‌گردد. هر تابع عضویت در سیستم فازی بستگی به نوع آن دارای چندین پارامتر است؛ به طور مثال نوع"gaussmf" دارای دو پارامتر است. این تابع مقادیر عضویت فازی را با استفاده از یک تابع عضویت Gaussian محاسبه می‌کند. به منظور بهبود فرایند آموزش این پارامترها از سیستم فازی فراخوانی می‌شود.

- گام هفتم: بهبود مقادیر پارمترها با استفاده از الگوریتم وال

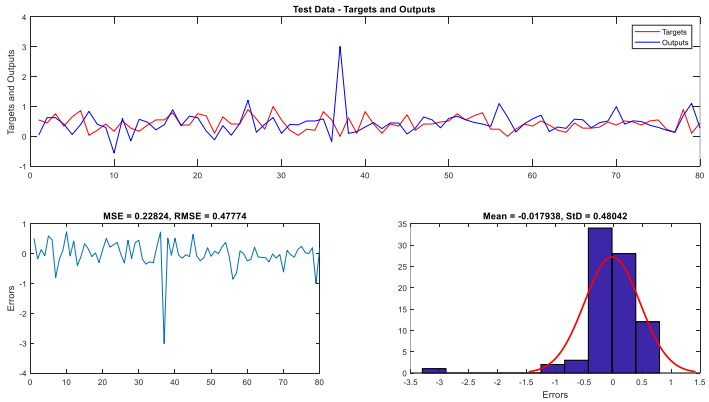
اگر چه مقادیر عضویت فازی محاسبه شده با استفاده ازتابع عضویت گوسی در عملگرهای انفیس بهبود می‌یابد ولی همان‌طور که خروجی انفیس نمایش می‌دهد، همچنان سطح خطای زیادی وجود دارد. در این بخش مقادیر پارامترهای دریافتی (که شامل انحراف معیارو میانگین بوده) را استخراج نموده، در یک متغیر ضرب شده که مقادیر این متغیر توسط مکانیزم بهینه‌سازی الگوریتم وال مشخص می‌گردد. به صورتی که با توجه به مکانیزم جستجوی فضای جواب مقادیر ضریب متغیر مشخص شده در پارامترهای پایه ضرب می‌شود. سپس مقادیر بدست آمده در سیستم فازی قرار داده می‌شود. مقدار خطای جذر میانگین مربعات دریافت شده و گزارش می‌گردد. در هر تکرار الگوریتم سعی می‌شود این مقادیر کاهش یابد. فرآیند تا وقوع شرط توقف ادامه پیدا می‌کند.

## ۴- ارزیابی الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم ترکیبی WOA-ANFIS پیشنهادی در سیستمی با مشخصات core-i7-2۶۳۰□□ و RAM 8 GB با توجه به نتایج حاصله بهترین نتیجه پس از ۵۰ بار اجرای الگوریتم با میزان ۱۰۰۰۰ تکرار در هر اجرا و با جمعیت اولیه ۱۰۰ با میزان خطای $MSE = 2.348\times10^{-6}$ و $RMSE = 0.00153226$ گزارش شده است.




**شکل ۵:**- وضعیت شبکه عصبی –فازی بهبود یافته با الگوریتم وال بر اساس داده‌های آموزش




**شکل ۶:**–وضعیت شبکه عصبی –فازی بهبود یافته بر اساس داده‌های آزمون

عملکرد الگوریتم پیشنهادی برای بهبود فرآیند آموزش در شبکه عصبی در جدول (۵) ارائه شده است. همان طور که از نتایج خطاها پیداست الگوریتم فراابتکاری وال منجر به بهبود پارامترهای شبکه انفیس شده است.

**جدول ۵**- علمکرد ANFIS و WOA-ANFIS

| الگوریتم | Min MSE | Min RMSE |
| --- | --- | --- |
| ANFIS | ۰,۰۰۰۰۰۶۸۴۲ | ۰,۰۰۲۶۱۵۷ |
| WOA-ANFIS | ۰,۰۰۰۰۰۲۳۴۸۴ | ۰,۰۰۱۵۳۴۳ |

## ۵- نتایج و پیشنهادات آتی

هدف از انجام این پژوهش، ارائه یک رویکرد جدید در خصوص بهبود پیش‌بینی مبتنی بر داده‌های که بر پایه منطق فازی با استفاده از شبکه عصبی انجام پذیرفته شده، بوده است. هرچند شبکه عصبی به منظور پیش‌بینی، خود پارامترهای سیستم فازی را با استفاده از الگوریتم‌هایش بهبود می‌دهد اما این بهبود دارای خطای زیادی است. لذا ما در این تحقیق سعی نمودیم با استفاده از الگوریتم وال پارامترهای سیستم فازی -عصبی را مجدد استخراج کرده و مجدداً به منظور کاهش خطا آن‌ها را تمرین دهیم. نتایج حاصل از اجرای انفیس میزان $MSE = 6.842 \times 10^{-6}$ و $RMSE = 0.0026157$ گزارش شده است که پس از بهبود آن با استفاده از الگوریتم وال پس از ۱۰۰۰۰ تکرار در هر ۵۰ اجرا شاخص‌های خطای $MSE = 2.348 \times 10^{-6}$ و $RMSE = 0.0015324$ گزارش شده است که بیانگر میزان ۴۱ درصد کاهش خطا در جذر میانگین مربعات خطا بوده است که نشان دهنده آن است که سیستم توسعه داده شده کارایی لازم برای پیش‌بینی عرضه خون در مراکز اهدا را طی دوره‌های آتی داشته است.

به منظور تحقیقات آتی نیز، با توجه به اینکه در این تحقیق از یک بهبود دهنده متاهیوریستک برای بهبود روش پیش‌بینی انفیس استفاده شده، لذا توصیه می‌شود محققین روش انفیس را با سایر الگوریتم‌های متاهیوریستک (مانند بهینه سازی ازدحام ذرات، گرگ خاکستری و شبیه سازی تبرید) چه به صورت تک یا هایبرید بهبود دهند و یا برای طراحی مجدد سیستم عصبی-فازی از توابع عضویت مثلثی یا ذوزنقه‌ای استفاده شود. همچنین خوشه‌بندی فازی نیز برای تعیین پارامترهای توابع عضویت فازی پیشنهاد می‌گردد.

## ۶- پی نوشت ها

۱. Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS)
۲. Whale Optimization Algorithm (WOA)
۳. Layer
٤. Activation or Transfer Function
٥. Fuzzy Neural Network
٦. Concurrent Neuro-Fuzzy Models
۷. Cooperative Neuro-Fuzzy Models
۸. Neural network-driven fuzzy reasoning system
۹. Cooperative
۱۰. Hybrid Neuro-Fuzzy Models
۱۱. Megaptera novaeangliae
۱۲. Upward spirals
۱۳. Double loops
۱٤. Wang & Ning
۱٥. Bosnes
۱٦. SVM
۱۷. Volken
۱۸. Alajrami
۱۹. Shahikala
۲۰. Navi bayas
۲۱. KNN
۲۲. Backpropagation
۲۳. Least-Square
۲٤. Hybrid

## ۷- فهرست منابع


[1] Williamson, L.M. and D.V. Devine, *Challenges in the management of the blood supply*. The Lancet, 2013. 381(9880): p. 1866-1۸۷٥.

[2] Eskandari-Khanghahi, M., et al., *Designing and optimizing a sustainable supply chain network for a blood platelet bank under uncertainty.* Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2018. 71: p. 236-2٥۰.

[3] Privett, N. and D. Gonsalvez, *The top ten global health supply chain issues: perspectives from the field.* Operations Research for Health Care, 2014. 3(4): p. ۲۲٦.۲۳۰-

[4] Peña, J.R.A., *Utilization management in the blood transfusion service.* Clinica Chimica Acta, 2014. 427: p. 178-182.

[5] Duan, Q. and T.W. Liao, *Optimization of blood supply chain with shortened shelf lives and ABO compatibility.* International Journal of Production Economics, 2014. 153: p. 113-129.

[6] Beale, H.D., H.B. Demuth, and M. Hagan, *Neural network design.* Pws, Boston, ۱۹۹٦.

[7] Mirfakhraddiny, S.H., H. BabaeiMeybodi, and A. Morovati sharifabadi, *Forecast consumption energy of Iran using Hybrid model of artificial neural networks and genetic algorithms and Compared with traditional methodes.* Management Research in Iran, 2013. 17(2): p. 196-2۲۲.

[8] Czogala, E. and J. Leski, *Fuzzy and neuro-fuzzy intelligent systems*. Vol. 47. ۲۰۱۲: Physica.

[9] Chen, C.P., Y.-J. Liu, and G.-X. Wen, *Fuzzy neural network-based adaptive control for a class of uncertain nonlinear stochastic systems.* IEEE Transactions on Cybernetics, 2013. 44(5): p. 583-593.

[10] Ocampo-Duque, W., et al., *A concurrent neuro-fuzzy inference system for screening the ecological risk in rivers.* Environmental Science and Pollution Research, 2012. 19(4): p. 983-999.

[11] Akbarzadeh-T, M.-R., I. Mosavat, and S. Abbasi. *Friendship modeling for cooperative co-evolutionary fuzzy systems: a hybrid GA-GP algorithm*. in *22nd International Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society, NAFIPS 2003*. 2003. IEEE.

[12] Mirahadi, F. and T. Zayed, *Simulation-based construction productivity forecast using neural-network-driven fuzzy reasoning.* Automation in Construction, 2016. ٦٥: p. ١٠٢-١١٥.

[13] Rutkowska, D., *Neuro-fuzzy architectures and hybrid learning*. Vol. 85. 2012: Physica.

[14] Mirjalili, S. and A. Lewis, *The whale optimization algorithm.* Advances in engineering software, 2016 :٩٥ .p. 51-67.

[15] Bagheri, A., et al., *Design of ANFIS networks using hybrid genetic and SVD method for the prediction of coastal wave impacts*, in *Applications of Soft Computing*. 2009, Springer. p. 83-92.

[16] Marzbanrad, J. and A. Jamali, *Design of ANFIS networks using hybrid genetic and SVD methods for modeling and prediction of rubber engine mount stiffness.*

International Journal of Automotive Technology, 2009. 10(2): p. 167-174.

[17] Zangeneh, A.Z., et al. *Training ANFIS system with DE algorithm*. in *The Fourth International Workshop on Advanced Computational Intelligence*. 2011. IEEE.

[18] Wang, J.-S. and C.-X. Ning, *ANFIS Based time series prediction method of bank cash flow optimized by adaptive population activity PSO algorithm.* Information, 2015. 6(3 :(p. 300-313.

[19] Khoshbin, F., et al., *Adaptive neuro-fuzzy inference system multi-objective optimization using the genetic algorithm/singular value decomposition method for modelling the discharge coefficient in rectangular sharp-crested side weirs.* Engineering Optimization, 2016. 48(6): p. 933-9٤٨.

[20] Jaafari, A., S.V.R. Termeh, and D.T. Bui, *Genetic and firefly metaheuristic algorithms for an optimized neuro-fuzzy prediction modeling of wildfire probability.* Journal of environmental management, 2019 :٢٤٣ .p. 358-36٩.

[21] Bosnes, V., M. Aldrin, and H.E. Heier, *Predicting blood donor arrival.* Transfusion, 2005. 45(2): p. 162-170.

[22] Darwiche, M., et al. *Prediction of blood transfusion donation*. in *2010 Fourth International Conference on Research Challenges in Information Science (RCIS)*. 2010. IEEE.

[23] Ensafian, H., S. Yaghoubi, and M.M. Yazdi, *Raising quality and safety of platelet transfusion services in a patient-based integrated supply chain under uncertainty.* Computers & Chemical Engineering, 20 :١٠٦ .١٧p. 355-372.

[24] Firouzi jahantigh, F., B. Fanoodi, and S. Khosravi, *A Demand Forcasting Model for the Blood Platelet Supply Chain with Artificial Neural Network Approach and Arima Models.* The Scientific Journal of Iranian Blood Transfusion Organization, 2017. 14(4): p. 335-345.

[25] Volken, T., et al., *Red blood cell use in Switzerland: trends and demographic challenges.* Blood transfusion, 2018. 16(1): p. 73.

[26] Alajrami, E., et al., *Blood Donation Prediction using Artificial Neural Network.* 2019.

[27] Shashikala, B., M. Pushpalatha, and B. Vijaya, *Machine Learning Approaches for Potential Blood Donors Prediction*, in *Emerging Research in Electronics, Computer Science and Technology*. 2019, Springer. p. 483-4۹۱.

[28] Ahmadimanesh, M., et al., *Determining the optimal amount of blood sent to hospitals in the blood transfusion network (Case study: Mashhad blood transfusion center).* Modern Research in Decision Making, 2020. 5(3): p. 210-۲۳۱.

[29] Moradi, M., *Applying Optimized Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System to Predict the Personnel Efficiency.* Management Research in Iran, 2014. 18(3): p. ۱۳۳-۱۵۷.

[30] Alinejad, A.H. and A. Azar, *Designing a Model of Neural-Adaptive Fuzzy Inference System (ANFIS) to Evaluate and Predict Organizational Knowledge Management Level with Innovation Focus.* Modern Research in Decision Making, 2020. 5(1): p. 171-189.