



پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری

دوره ۵، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، صص ۲۱۰-۲۳۱

تعیین مقادیر بهینه خون ارسالی به بیمارستان‌های موجود در شبکه انتقال خون

(مورد مطالعه: پایگاه انتقال خون شهر مشهد)

منیره احمدی‌منش^۱، احمد توکلی^{۲*}، علیرضا پویا^۳، اسداله ایل‌بیگی‌زاده^۴

۱. دکتری تحقیق در عملیات، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲. استادیار، گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳. استاد، گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۴. کارشناس ارشد مدیریت فناوری اطلاعات، رئیس اداره فناوری اطلاعات، سازمان انتقال خون مشهد، مشهد، ایران

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۱۱/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۰۷

چکیده

مدیران موجودی در پایگاه‌های انتقال خون همواره به دنبال ایجاد ذخیره کافی برای افزایش دسترسی به محصولات مختلف خونی و کاهش تلفات ناشی از به پایان رسیدن زمان انقضای خون می‌باشند. چراکه پاسخگویی به موقع، مناسب و به‌اندازه کافی تأمین‌کنندگان آن به مصرف‌کنندگان به دلیل فسادپذیری خون، غیرقطعی بودن تقاضای خون و رابطه مستقیم وجود یا عدم وجود آن با حیات یک انسان، امری بسیار مهم و ضروری تلقی می‌گردد. لازمه این امر آگاهی کامل از تقاضای بیمارستان‌های تحت پوشش به‌عنوان مصرف‌کنندگان پایگاه و تصمیم‌گیری در مورد چگونگی برآوردن نیازهای آن‌ها به بهترین شکل ممکن با هدف حداقل کردن میزان کمبود و اتلافات موجود در شبکه می‌باشد. با توجه به اهمیت این موضوع، در مقاله حاضر سعی شده است با هدف کاهش هزینه اتلافات و کمبود خون، مدل بهینه نحوه پاسخگویی به تقاضای بیمارستان‌های موجود در شبکه انتقال خون مشهد طراحی و پیاده‌سازی گردد. به‌عبارت‌دیگر مدل پیشنهادی تعیین می‌کند زمانی که پایگاه‌های انتقال خون از مصرف‌کنندگان خود سفارش دریافت می‌کنند، با توجه به موجودی در دسترس چگونه به سفارشات پاسخ بهینه و مناسب بدهند که کمترین اتلافات و کمبودهای خونی را در پی داشته باشد. به‌منظور اعتبارسنجی مدل پیشنهادی، از پارامترهای آماری همچون خطای نسبی مطلق میانگین، خطای مطلق میانگین، ثابت R^2 و میانگین مجذور خطا استفاده شده است.



کلیدواژه: شبیه‌سازی- شبکه عصبی، زنجیره تأمین خون، مدیریت موجودی

۱- مقدمه

طب انتقال خون یکی از شاخه‌های علوم پزشکی است که نقشی مهم و غیرقابل‌انکار در ارائه خدمات درمانی به بیماران دارد و باید جایگاه آن در کشور مورد توجه جدی سیاست‌گذاران و برنامه ریزان حوزه سلامت قرار گیرد. سالانه بیش از ۲,۵ میلیون نفر داوطلب اهدای خون کامل، پلاکت، پلاسما و یا سلول بنیادی خون‌ساز به مراکز انتقال خون سراسر کشور مراجعه می‌کنند و این جمعیت داوطلب یکی از سرمایه‌های اصلی نظام سلامت هستند. از این تعداد داوطلب، بیش از ۲ میلیون نفر موفق به اهدای خون می‌شوند و در نهایت سالانه بیش از ۴,۵ میلیون واحد فرآورده تولید و جهت تزریق به بیماران بین مراکز درمانی کشور توزیع می‌گردد. به عبارت دیگر حداقل ۱۰% مردم کشور درگیر موضوعی بنام انتقال خون هستند، لذا ضرورت تحقیق مبتنی بر بهبود مدیریت موجودی در پایگاه‌های انتقال خون احساس می‌گردد.

در این راستا با بررسی دقیق مدیریت موجودی پایگاه‌های انتقال خون، می‌توان گفت متغیرهایی همچون پیش‌بینی تقاضا، و کاهش ضایعات تأثیرگذارترین متغیرهای موجود هستند که کنترل آن‌ها منجر به تأثیرگذاری بر سایر عوامل خواهد شد. پیش‌بینی تقاضا در سطح پایگاه‌ها در مقایسه با بیمارستان‌ها حیاتی‌تر خواهد بود، زیرا پیامدهای آن برای گروه‌های خونی کمیاب که به راحتی در دسترس نیست، شدت بیشتری پیدا می‌کند. چراکه عدم دسترسی به واحد خونی مناسب و موردنیاز ممکن است باعث تأخیر در جراحی‌ها گردد و در برخی موارد منجر به مرگ شود. همچنین، ضایعات محصولات خونی منجر به کمبود در بانک خون‌های دیگر شود. علاوه بر این، چون یک شخص که یک واحد خون اهدا می‌کند، دیگر نمی‌تواند دوباره تا چندین ماه آینده اهدای خون داشته باشد. از بین رفتن یک واحد خون معادل با ایجاد کمبود یک واحد تا چندین ماه



آینده می‌شود [۱]. در نتیجه، موفقیت مدیریت موجودی خون در منطقه، بسته به کارگیری روش‌های بهینه و کارا در پیش‌بینی تقاضای مصرف‌کنندگان، برنامه‌ریزی در مورد میزان مصرف خون پایگاه و تصمیم‌گیری در مورد سیاست‌های نگهداری و سفارش‌دهی خون مصرف‌کنندگان به منظور پاسخگویی به موقع به تقاضای بیماران می‌باشد [۲].

با توجه به اهمیت و حساسیت موضوع مدیریت موجودی پایگاه‌های انتقال خون، طراحی مدلی در این زمینه که قابلیت کاربرد برای کلیه پایگاه‌ها را داشته باشد، ضروری تلقی می‌شود. چراکه از این طریق کنترل مناسب، دقیق و علمی بر روی موجودی محصولات خونی مانند جمع‌آوری، نگهداری، کاهش ضایعات خونی و مواردی از این دست صورت می‌گیرد. بنابراین، در مقاله حاضر سعی بر این است که مدلی تدوین گردد که برای کلیه پایگاه‌های موجود در شبکه انتقال خون قابلیت کاربرد داشته باشد و برای بررسی هرکدام نیاز به مدل‌سازی مجدد و صرف هزینه و زمان اضافی نباشد که بدین منظور از تکنیک شبیه‌سازی شبکه عصبی استفاده گردید که به برآورد مقادیر تقاضای مصرف‌کنندگان و میزان بهینه ارسالی خون از پایگاه به مصرف‌کننده با توجه به موجودی در دسترس پایگاه پرداخته می‌شود.

۲- مبانی نظری

۲-۱- خون و بانک خون

خون یک بافت زنده منحصر به فرد پزشکی و ارزشمند برای بدن انسان بوده و وسیله‌ای است که اکسیژن، مواد غذایی و شیمیایی را به همه بخش‌های بدن انسان حمل و مواد زائد را دور می‌کند. تأمین خون سالم و کافی مورد نیاز بیمارستان‌ها و مدیریت آن در شرایط عادی و بحرانی چالشی است که سیستم سلامت دولت‌ها همیشه با آن مواجه هستند. نیاز به اهداکنندگان خون و فرآورده‌های آن همیشه وجود دارد؛ درحالی‌که عرضه آن از سوی اهداکنندگان تا حدودی نامنظم و تقاضا برای فرآورده‌های خونی اغلب تصادفی است [۳]. خون در هشت نوع اصلی تقسیم‌بندی می‌شود که فراوانی انواع آن در جمعیت‌های مختلف متفاوت است. خون از اجزای زیادی تشکیل شده است (سلول‌های قرمز، پلاکت‌ها، پلاسما و ۱۱۵ جزء دیگر) که پس از آزمایشات و فرایندهایی مشخص از خون اصلی استخراج می‌شوند که هرکدام از این اجزا، فاسدشدنی بوده و عملکرد جداگانه‌ای برای ارگان‌های بدن انسان دارند و دارای استفاده متفاوت



در درمان پزشکی بیمار، طول عمر، شرایط ذخیره‌سازی و دمای متمایزی هستند. بنابراین مدیریت موجودی این اجزا در عمل از یکدیگر متفاوت است. در این مطالعه به بررسی مدیریت موجودی سلول‌های قرمز خونی پرداخته شده است.

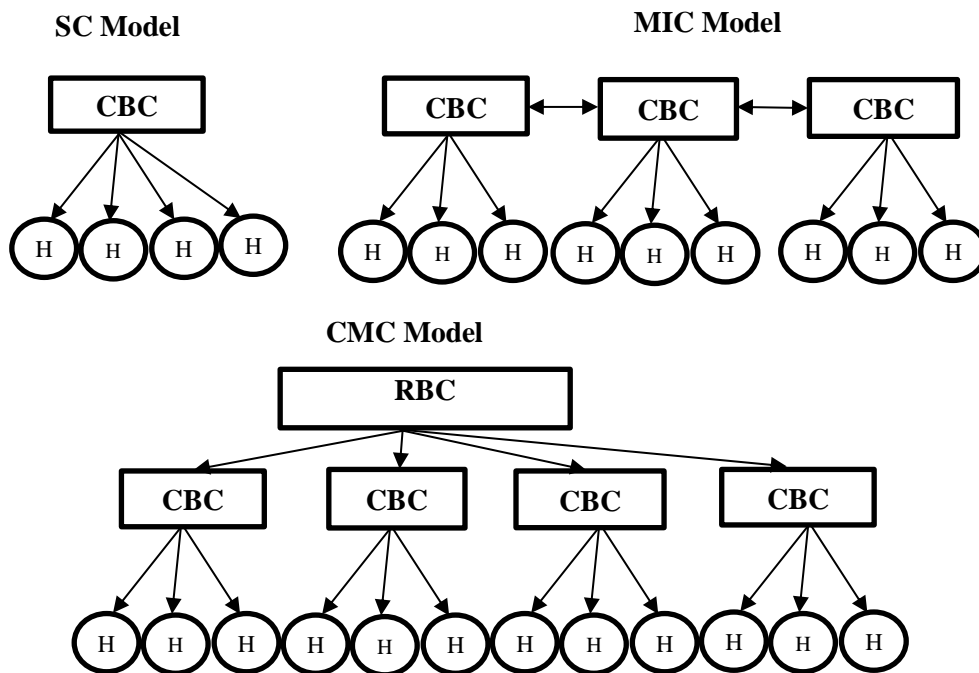
خون در سایت‌های مختلف جمع‌آوری مثل مرکز خون منطقه‌ای، مرکز اهدا، بانک خون بیمارستان جمع‌آوری می‌شود. پس از جمع‌آوری، آزمایش و جداسازی به اجزای مختلف به بانک خون بیمارستان‌های متقاضی منتقل می‌شود. در طول یک روز بانک خون تعدادی تصادفی درخواست انتقال خون را دریافت کرده که با هر بار درخواست، تعداد واحدهای گروه خونی موردنیاز از لیست موجودی آزاد حذف شده و به قسمت کراس می‌منتقل می‌شود. کراس میچ، آزمایشی است که بررسی می‌کند خون اهدایی برای انتقال به بیمار مناسب بوده یا خیر. هر واحدی که برای بیمار مورد استفاده قرار نگیرد، به موجودی تخصیص نیافته برگشت داده می‌شود تا در آینده از آن برای تقاضای موردنیاز استفاده شود. فاصله زمانی سپری شده بین عملیات بیمار و برگشت واحدهای خونی به موجودی آزاد، دوره آزمایشی کراس میچ نامیده می‌شود [۴].

وظیفه عملیاتی بانک خون شامل برنامه‌ریزی و جمع‌آوری خون و پاسخگویی به تقاضای بیمار است. هدف اصلی یک بانک خون، حصول اطمینان از در دسترس بودن نوع مناسب خون و اجزایش به هنگام نیاز برای انتقال، کاهش کمبود خون و اجزایش و کنترل ضایعات خونی است. کنترل کمبود محصولات خونی در یک بانک خون مهم است، چون عدم دسترسی به واحد خونی مناسب و موردنیاز ممکن است باعث تأخیر در جراحی‌ها گردد و در برخی موارد منجر به مرگ شود. ضایعات محصولات خونی یک مشکل جدی است؛ چون یک واحد خون که تلف می‌شود در یک بانک خون خاص ممکن است منجر به کمبود در بانک خون‌های دیگر شود. علاوه بر این، چون یک شخص که یک واحد خون اهدا می‌کند، دیگر نمی‌تواند دوباره تا چندین ماه آینده اهدای خون داشته باشد. از بین رفتن یک واحد خون منجر معادل با ایجاد کمبود یک واحد تا چندین ماه آینده می‌شود [۶].



۲-۲- شبکه انتقال خون

در یک منطقه جغرافیایی، پایگاه‌های انتقال خون (RBB) مسئول ارائه و تأمین محصولات (اجزای) خونی به بیمارستان‌ها برای بیماران هستند [۵]. طبق نظر پیرساکالا (۱۹۷۹) سه گزینه اصلی شکل ساختاری این پایگاه‌ها شامل مدل مرکزی واحد (SC)، مدل مراکز مستقل چندگانه (MIC) و مدل مراکز چندگانه هماهنگ‌کننده (CMC) می‌باشد. شکل ۱ به صورت شماتیک انواع این ساختارها را به نمایش می‌گذارد [۴]. در مدل SC، یک مرکز خون مجتمع^۴ کلیه خدمات خونی مربوط به یک شبکه از بیمارستان‌ها را در یک منطقه جغرافیایی خاص فراهم می‌کند. به عبارت دیگر، مرکز خونی واحد، به کل نیازهای بیمارستان در یک بخش خاص خدمت‌رسانی می‌کند. در مدل MIC، بیش از یک مرکز خون در یک منطقه وجود دارد و هرکدام دارای فعالیت-های اصلی مشابه در مدل SC هستند و به‌عنوان یک مجموعه ارتباطی مراکز خون است که نیازهای خونی بیمارستان را در یک منطقه برآورده می‌کند. اگرچه CBC ها مستقل از یکدیگر هستند، اما آن‌ها می‌توانند در وضعیت‌هایی که کمبود اتفاق می‌افتد به یکدیگر کمک کنند. در مدل CMC، که دارای ساختار سازمانی منعطف‌تری می‌باشد، بخش‌های عملکردی و بخشی از هماهنگی / همکاری بین CBC ها توسط مرکز خون منطقه‌ای (RBC)^۵ انجام می‌شود و فعالیت‌های جمع‌آوری مراکز خون در یک منطقه را هماهنگ و کنترل می‌کند. RBC خدماتی همچون پردازش اطلاعات و برنامه‌های آموزشی، جذب اهداکنندگان و غیره را انجام می‌دهند و به‌عنوان تصمیم‌گیرنده و صاحب اختیار برای عملیات کل سیستم محسوب می‌شود. قابل‌ذکر است که شبکه انتقال خون مورد مطالعه در این تحقیق، مدل SC می‌باشد.



شکل ۱. انواع ساختار شبکه‌های انتقال خون

پایگاه‌های انتقال خون با چالش‌های اصلی برقراری تعادل بین ذخیره و ضایعات واحدهای خونی مواجه است. به دلیل ماهیت فسادپذیری خون، چنانچه آن را در مدت طولانی ذخیره کنیم به ضایعات تبدیل می‌شود. از طرفی دیگر، کمبود خون ممکن است منجر به نتیجه غم‌انگیزی شود، چراکه ممکن است در صورت عدم وجود ذخیره کافی خون، در زمانی که مورد نیاز است، جان انسانی از بین برود. مدیر زنجیره تأمین خون، باید این قابلیت را داشته باشد که تقاضا را برآورده نماید درحالی‌که ضایعات و هزینه‌ها را کاهش می‌دهد. هزینه‌های که در زنجیره وجود دارد مثل هزینه نیروی کار، آزمایشات، جداسازی خون کامل به مشتقاتش، ذخیره و توزیع. کاهش هزینه



و بهینه‌سازی آن در طول زنجیره تأمین خون با چالش پیچیده‌ای مواجه است، چراکه ماهیت عدم اطمینان تقاضا با عمر کوتاه و محدود خون ترکیب شده است و محدودیت‌هایی را ایجاد کرده است که ریسک کمبود و ضایعات را افزایش می‌دهد.

فعالیت‌های موجود در پایگاه‌های انتقال خون شامل فعالیت‌های جمع‌آوری، آزمایش، پردازش و توزیع خون (و مشتقاتش) از اهداکنندگان به بیماران است تا برای امور اورژانسی، عمل‌های جراحی یا درمان‌های پزشکی روتین در دسترس باشد. این فعالیت‌ها را می‌توان در قالب چهار سطح اصلی جمع‌آوری، تولید، موجودی و توزیع تقسیم نمود. این زنجیره با جمع‌آوری خون از اهداکنندگان آغاز می‌گردد، سپس، خون ذخیره شده و به‌عنوان یک واحد خونی کامل پردازش می‌شود تا سلول‌های قرمز خونی از دیگر محصولاتش مثل پلاسما و پلاکت جدا شود، سپس محصولات خونی به‌عنوان موجودی در بانک خون مرکز انتقال خون ذخیره می‌شود که برای توزیع آماده است [۶]. در نهایت، بیمارستان‌ها بر اساس تقاضای پیش‌بینی شده، سفارش‌های خود را به مراکز خون اعلام می‌کنند، خون دریافتی آزمایش شده و پس از انجام فرایند کراس مچ بر روی آن و در صورت سازگاری و مطابقت، واحدهای خونی برای بیمار خاص مورد استفاده قرار می‌گیرد [۷].

۳-۲- شبکه عصبی مصنوعی

از جمله فنون تحلیل تشخیص که مبتنی بر علوم رایانه است، می‌توان به شبکه عصبی اشاره کرد. مبحث شبکه عصبی مربوط به شبیه‌سازی قوه یادگیری در انسان و پیاده‌سازی آن به صورت الگوریتم‌های رایانه‌ای است. شبکه‌های عصبی مصنوعی، سیستم‌ها و روش‌های محاسباتی هستند که ایده اصلی عملکرد خود را از شبکه عصبی زیستی الهام گرفته‌اند. مهم‌ترین ویژگی این سیستم‌ها، پردازش موازی و آموزش‌پذیری آن‌هاست. شبکه‌های عصبی مصنوعی زیرمجموعه مطالعات هوش مصنوعی هستند و هدف نهایی این مطالعات، افزایش توانایی‌ها و قابلیت‌های رایانه یا هر نوع ماشین است؛ به نحوی که بتواند پردازش اطلاعات را مانند انسان انجام دهد. هنگام کار با شبکه‌های عصبی با دو مسئله روبه‌رو هستیم: انتخاب معماری مناسب و انتخاب الگوریتم آموزشی مناسب. معماری مناسب به معنی انتخاب بهینه تعداد لایه‌ها، تعداد نرون‌ها در هر لایه و نوع تابع انتقال هر نرون است و معماری بهینه شبکه‌های عصبی مبتنی بر مجموعه داده‌ها و



ویژگی‌های آن‌هاست. یکی از معماری‌های شبکه عصبی که به‌طور گسترده‌ای به کار می‌رود و در راستای یادگیری با ناظر قرار دارد، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه است [۸].

۳- پیشینه تحقیق

مطالعه بر روی مدیریت زنجیره تأمین محصولات خونی، برای اولین بار در سال ۱۹۶۴ توسط وان زیل و در قالب محصول فسادپذیر صورت گرفت. کاتسالیایکی و بریلسفورد در سال ۲۰۰۷ [۹] سیاست‌های مدیریت سیستم موجودی خون در یک بیمارستان خاص UK را که از طریق مرکز خون منطقه‌ای تأمین می‌شد، تحلیل و بررسی کردند. هدف این مطالعه، بهبود رویه‌ها و خروجی‌ها از طریق مدل‌سازی زنجیره تأمین کل برای آن بیمارستان است. به‌منظور اجرای این هدف از مدل شبیه‌سازی رویداد گسسته استفاده شده است تا سیاست‌های سفارش‌دهی که منجر به کاهش در کمبود و ضایعات و افزایش سطوح خدمت‌رسانی می‌شوند، تعیین گردند. نتایج مدل برای مدیران بیمارستان و مرکز خون منطقه‌ای ابزار پشتیبانی است که می‌توانند رویه‌ها و سیاست‌های مختلف را بررسی کنند. عقیانی و همکاران [۱۰] (۲۰۱۳) از مدل شبیه‌سازی برای مدیریت اثربخش هزینه زنجیره تأمین خون در انگلستان استفاده کرد تا سیاست‌های موجودی و توزیع را آزمایش و شناسایی کند. نتایج به‌دست آمده از حل مدل حاکی از این بود که محصولات منقضی شده، کمبودها و تحویل‌های کمتری رخ می‌دهد و امکان ذخیره گروه‌های خونی نادر افزایش می‌یابد که منجر به کاهش هزینه و افزایش ایمنی خواهد شد. بلک [۲] (۲۰۱۴)، در تحقیق صورت گرفته توسط بلک و هاردی، با استفاده از مدل شبیه‌سازی قابل‌استفاده مجدد، به توسعه و ارزیابی سیاست‌های موجودی شبکه خون منطقه‌ای در کانادا پرداخته و با استفاده از متد سطح پاسخ و برنامه‌ریزی غیرخطی به تدوین سیاست‌های موجودی بهینه عرضه‌کننده/تأمین‌کننده پرداختند. نتایج حل مدل، سطح بهینه موجودی برای منطقه موردی بررسی، سطح بهینه موجودی هدف، برآورد تقاضا، سطح پاسخ بهینه را نشان می‌دهد. زهرایی و همکاران [۱۱] (۲۰۱۵) به‌منظور بهبود کارایی زنجیره تأمین خون پایدار از ترکیب روش شبیه‌سازی پویا و تاگوچی



استفاده کردند و نتایج آن‌ها بیانگر بهبود فاکتورهای موردبررسی آن‌ها بود. خلدی و همکاران [۱۲] (۲۰۱۷) با استفاده از تکنیک شبکه عصبی مصنوعی به پیش‌بینی تقاضای خون در مراکز انتقال خون پرداختند. آن‌ها به پیش‌بینی ماهانه تقاضای سه جزء خون (سلول قرمز خونی، پلاسما و پلاکت) در یک شبکه خون منطقه‌ای پرداختند. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که روش شبکه عصبی مصنوعی نسبت به مدل آریمّا^۱ در پیش‌بینی تقاضا برتری دارد و استفاده از این روش را در پیش‌بینی ماهانه تقاضای خون توصیه کردند. در سال ۱۳۹۵، ابریشمی و همکاران [۱۳] به بررسی بهینه‌سازی زنجیره تأمین خون دوسطحی پرداخته و یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح به‌منظور یکپارچه‌سازی تصمیمات سفارش‌دهی بیمارستان و گردآوری خون توسط مرکز خون ارائه شده است. نتایج محاسباتی حاکی از آن است که در مدل ارائه شده میزان کمبود نسبت به حالتی که هر یک از سطوح به‌طور مستقل به بهینه‌سازی تصمیمات خود می‌پردازند، بسیار کمتر بوده درحالی‌که ظرفیت مرکز خون در مقایسه با حالت تک سطحی تقریباً یکسان است. فیروزی جهان‌تبیغ و همکارانش [۱۴] در سال ۱۳۹۶ مدلی جهت پیش‌بینی تقاضا در زنجیره تأمین پلاکت خون با رویکرد شبکه عصبی مصنوعی و آریمّا ارائه دادند. در این مطالعه کاربردی که در سازمان انتقال خون استان سیستان و بلوچستان انجام شده است، داده‌های مربوط به تقاضا برای ۸ نوع پلاکت خون در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ از مرکز انتقال خون زاهدان جمع‌آوری گردید. سپس با بهره‌گیری از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و آریمّا، پیش‌بینی تقاضای روزانه انجام پذیرفت. نتایج به‌دست‌آمده از روش‌های مذکور با هم مقایسه شدند. نتایج این مطالعه حاکی از دقت بالای مدل‌های شبکه عصبی و سپس آریمّا نسبت به روند فعلی سازمان بود.

با مرور مطالعات پیشین می‌توان گفت کاهش کمبود و واحدهای خونی منقوضی شده جزء پرتکرارترین متغیرهایی هستند که در مدیریت موجودی پایگاه‌ها یا بیمارستان‌ها استفاده شده است، اما تعداد کمی از مقالات به توسعه روش جامع که برای کلیه پایگاه‌های انتقال خون پرداخته‌اند. لذا در مقاله حاضر سعی شد به‌منظور پیش‌بینی دقیق تقاضای مشتریان، مقدار بهینه میزان سفارشات ارسالی به مشتریان و میزان بهینه ذخیره احتیاطی برای هر تأمین‌کننده از تکنیک شبیه‌ساز شبکه عصبی استفاده شود که منجر به این مزیت شد که برای کلیه مشتریان موجود در منطقه نیز مقدار بهینه سفارش‌هایشان را پیش‌بینی کرده که این امر به میزان قابل‌توجهی از

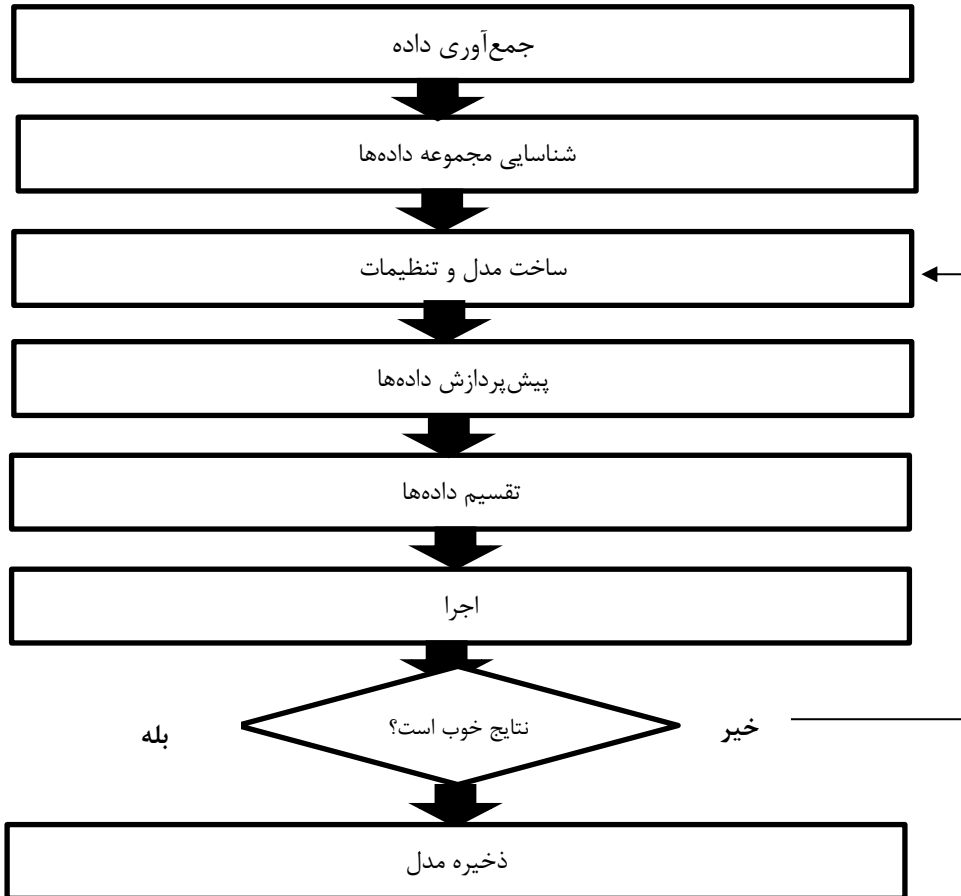


نرخ واحدهای خونی برگشتی کم خواهد کرد و منجر به افزایش موجودی در دسترس تأمین‌کنندگان خواهد شد.

۴- توصیف مدل

در شبکه مورد مطالعه، مصرف‌کنندگان روزانه نیاز خود را فراتر از آنچه می‌خواهند به تأمین‌کننده خود اعلام می‌کنند و پایگاه‌های مرکزی نیز چون از این موضوع اطلاع دارند، در بیشتر مواقع کمتر از میزان درخواستی آن‌ها، خون ارسال می‌کنند. لذا به منظور سازماندهی وضعیت مدیریت موجودی پایگاه انتقال خون، لازم است از سیستمی استفاده شود که با توجه به میزان سفارشات دریافتی از بیمارستان‌ها، میزان خون‌های ارسالی به آن‌ها را تعیین نماید. بدین منظور تصمیم گرفته شد از تکنیک شبیه‌ساز شبکه عصبی برای برآورد میزان خون‌های ارسالی به مصرف‌کنندگان استفاده گردد. به عبارت دیگر این تکنیک آنچه را که به عنوان تقاضای مصرف‌کنندگان در سیستم مدیریت موجودی فعلی ثبت شده است، با آنچه باید واقعاً ارسال می‌شده مقایسه می‌کند و ارتباط بین میزان خون‌های ارسالی به بیمارستان‌ها را با درخواستی‌های آن‌ها محاسبه می‌کند.

همان‌طور که گفته شد، تکنیک مورد استفاده در این قسمت، شبکه عصبی با چندین لایه بازگشتی و کاملاً متصل^۱ می‌باشد. برای پیاده‌سازی شبکه عصبی پیشنهادی، الگوریتم موجود در شکل ۲ اجرا گردید. در ابتدا، داده‌ها جمع‌آوری شده و به دو دسته مجموعه داده‌های ورودی و خروجی تقسیم شده است. در مرحله دوم، شبکه با انتخاب نوع یادگیری (یادگیری نظارت‌شده) ایجاد و طراحی گردید. در این مرحله نیز پارامترهای شبکه، ورودی خالص، تابع محرک^۲، تابع یادگیری، نرخ یادگیری و تعداد نورون‌های موجود در هر لایه مشخص گردید. سپس، داده‌ها به منظور پیش‌پردازش، نرمالایز و استاندارد شدند. در مرحله بعدی، داده‌ها به سه بخش داده‌های آموزش^۳، آزمون^۴ و اعتبارسنجی^۵ تقسیم شدند. در نهایت شبکه عصبی اجرا گردید و اصلاحات لازم انجام شد تا بهترین نتایج حاصل گردد.



شکل ۲. نمودار جریان شبکه عصبی

به منظور برآورد میزان خون‌های ارسالی به بیمارستان‌ها با توجه به سفارشات آن‌ها و با در نظر گرفتن میزان موجودی پایگاه، ابتدا میزان برگشتی خون‌های هر مصرف‌کننده ناشی از عدم انقضا و عدم مصرف، میزان خون‌های درخواستی هر مصرف‌کننده به عنوان ورودی مدل شبکه عصبی در نظر گرفته شد، به طوری که لازم بود تغییرات تقاضا در شبکه لحاظ گردد، لذا لایه ورودی، مربوط به اطلاعات سری زمانی تقاضا در زمان‌های قبل می‌باشد و از میزان



ضایعات و برگشتی‌ها نیز به‌عنوان جریمه استفاده‌شده است. لایه خروجی، میزان گلوبول قرمز خونی ارسالی می‌باشد. لایه مخفی شامل تعداد مناسبی نورون می‌باشد که این نورون‌ها بر مبنای کمترین میزان مربعات خطا (MSE) انتخاب می‌شود. از مجموع داده‌های موجود در بازه زمانی مهرماه ۱۳۹۴ تا مهرماه ۱۳۹۶ برای هر نوع سلول قرمز خونی، ۵۰۰ روز از داده‌ها برای آموزش و اعتبارسنجی شبکه عصبی و ۲۳۰ روز برای آزمون شبکه استفاده گردیده است. تنظیمات مربوط به تابع محرک در لایه مخفی و لایه خروجی برای هر نوع گلوبول قرمز خونی به ترتیب تابع سیگموئید^۱ و تابع خطی^۲ می‌باشد. مدل پیشنهادی بر اساس تفکیک گروه خونی و صرفاً برای سلول‌های قرمز خونی تحلیل و بررسی می‌شود. متغیرها و پارامترهای مورد استفاده در مدل در قالب جدول ۱ بیان شده است.

جدول ۱. متغیرها و پارامترهای مورد استفاده در مدل شبکه عصبی

پارامترها	
تعریف	نماد
مقدار درخواستی هر مصرف‌کننده	R
میزان ضایعات ناشی از منقضی شدن هر مصرف‌کننده	Z
میزان برگشتی‌های ناشی از عدم مصرف مصرف‌کننده	B
میزان موجودی در ابتدای روز پایگاه	E
نخیره احتیاطی پایگاه	O
target میزان ارسالی مشخص‌شده در پایگاه داده	y

تابع هدف مدل پیش‌بینی شبکه عصبی به‌صورت رابطه ۱ می‌باشد:

$$f = R - Z - B + E - O \quad (1)$$

با توجه به تابع هدف f و با ورودی و target مشخص‌شده، مقدار خروجی شبکه عصبی که میزان برآورد مقدار بهینه ارسالی به بیمارستان‌ها می‌باشد، مشخص می‌شود. ورودی‌های شبکه



عصبی $I = R$ میزان درخواستی مصرف‌کنندگان در هر روز می‌باشد که آن از برگشتی‌ها کسر می‌شود. این شیوه سبب می‌شود که میزان برگشتی‌ها هم به‌عنوان مقدار جریمه در محاسبات وارد شده و از منقضی شدن واحدهای خون به علت عدم استفاده جلوگیری شود. با کمک نرم‌افزار MATLAB ساختارهای متعددی از نوع پرسپترون به‌منظور پیش‌بینی تقاضا طراحی شد. لایه ورودی، لایه مخفی و لایه خروجی به‌طور کامل به هم متصل شده است. وزن‌های اتصالات به‌طور تصادفی توسط سیستم انتخاب‌شده و از طریق فرایند یادگیری تنظیم‌شده‌اند. به‌منظور محاسبه مجموع اوزان در بازه $[-1, 1]$ ، تابع سیگموئید^۱ در لایه مخفی طبق رابطه ۲ در نظر گرفته شده است. بنابراین، تابع محرک در لایه مخفی و لایه خروجی برای هر نوع سلول قرمز خونی به ترتیب تابع سیگموئید و تابع خطی^۲ می‌باشد.

$$f(t) = \frac{2}{1 - e^{-2t}} - 1 \quad (2)$$

برای انتخاب مناسب‌ترین مدل شبکه عصبی برای برآورد تقاضای خون هر مصرف‌کننده به تفکیک گروه خونی، معماری‌های متفاوتی از شبکه با تعداد لایه‌های پنهان (بین ۲ تا ۱۵ نورون)، سه متغیر ورودی و یک متغیر خروجی بررسی شدند و در نهایت مدلی با کمترین مقدار MSE انتخاب گردید (جدول ۲).

جدول ۲. بهترین مدل شبکه عصبی برای انواع سلول‌های قرمز خونی بر حسب معیار MSE

مشخصات	A	O	B	AB
معماری شبکه	(۳ : ۵ : ۱)	(۳ : ۷ : ۱)	(۳ : ۹ : ۱)	(۳ : ۸ : ۱)
MSE	۰,۰۱۳	۰,۰۰۹۲	۰,۰۰۹۹	۰,۰۰۷۲

با کمک نرم‌افزار MATLAB ساختارهای متعددی از نوع پرسپترون به‌منظور پیش‌بینی تقاضا طراحی شد.

به‌منظور اعتبار سنجی مدل، ساختار شبکه عصبی طوری طراحی و کدنویسی گردید که داده‌ها را در حین آموزش اعتبار سنجی می‌کرد، لذا اعتبارسنجی تکنیک شبکه عصبی در حین ۵۰۰ روز آموزش صورت گرفته است. برای ارزیابی عملکرد این مدل، از تحلیل‌های آماری استفاده شده است. برای این تحلیل از پارامترهای آماری شامل خطای نسبی مطلق میانگین، خطای مطلق میانگین، ثابت R^2 و میانگین مجذور خطا استفاده شد. جدول ۳ تحلیل خطاهای آماری مدل



شبکه عصبی را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، مدل موجود در هر سه گام آموزش، اعتبارسنجی و آزمون دقت بسیار خوبی دارد.

جدول ۳. پارامترهای خطاهای آماری مدل شبکه عصبی در سه گام آموزش، اعتبارسنجی و آزمون

گام	میانگین مجذور خطا	ثابت R^2	خطای مطلق میانگین	خطای نسبی مطلق میانگین
آموزش	۱,۲۱	۰,۹۷۸	۰,۵۲۹	۵,۶۷
اعتبارسنجی	۱,۰۶	۰,۹۹۵	۰,۴۳۲	۴,۹۶
آزمون	۱,۲۴	۰,۹۸۷	۰,۵۲۲	۶,۱۳

از آنجایی که در تابع هزینه شبکه عصبی، یک مقدار جریمه برای واحدهای خون برگشتی و منقضی شده در نظر گرفته می‌شود. طبق این هزینه و جریمه لحاظ شده، شبکه عصبی حالت بهینه ممکن را برآورد می‌کند.

۲-۴- پیاده‌سازی مدل

به منظور پیاده‌سازی مدل تدوین شده از داده‌های روزانه موجود در پایگاه‌های انتقال خون مشهد در بازه زمانی مهرماه ۱۳۹۴ تا مهرماه ۱۳۹۶ استفاده شده است. سازمان انتقال خون استان خراسان در ۲۲ مهرماه ۱۳۵۷ هم‌زمان با میلاد حضرت علی ابن موسی‌الرضا (ع) افتتاح گردید. این اداره کل از لحاظ تولیدات پس از استان‌های تهران و فارس قرار داشته است. وجود مراکز درمانی تخصصی و فوق تخصصی، مرکزیت درمانی مشهد مقدس در شرق کشور، سفرهای زیارتی و سیاحتی به استان و افزایش سوانح و حوادث، وجود بیش از ۴۵۰ بیمار خاص در استان (هر بیمار به‌طور متوسط یک تا دو تزریق در ماه نیاز دارد که حدود ۱۰ درصد خون استان توسط اهداکنندگان مصرف می‌شود) اهمیت توجه به مدیریت موجودی و انتقال علمی و



سیستماتیک خون به بیمارستان‌های وابسته را مضاعف می‌نماید. اطلاعات موردنیاز جهت اجرای این روش، از مطالعات کتابخانه‌ای استخراج گردید و سپس با مصاحبه با مدیر آموزش و تحقیقات، مدیر بخش انتقال خون و مدیر بخش تکنولوژی اطلاعات پایگاه اصلی داده‌های موردنیاز استخراج و توسط کارشناس آمار این پایگاه به محقق ارائه گردید. این داده‌ها شامل داده‌های مربوط به میزان درخواست خون هر مصرف‌کننده از هر تأمین‌کننده، میزان خون برگشتی مصرف‌کنندگان ناشی از منقضی شدن و عدم مصرف مصرف‌کنندگان، میزان خون ارسالی هر تأمین‌کننده به مصرف‌کنندگان به تفکیک هر مصرف‌کننده در بازه زمانی مهرماه ۱۳۹۴ تا مهرماه ۱۳۹۶ به‌طور روزانه به تفکیک گروه خونی A، B، O و AB برای سلول‌های قرمز خونی می‌باشد.

۵- نتایج

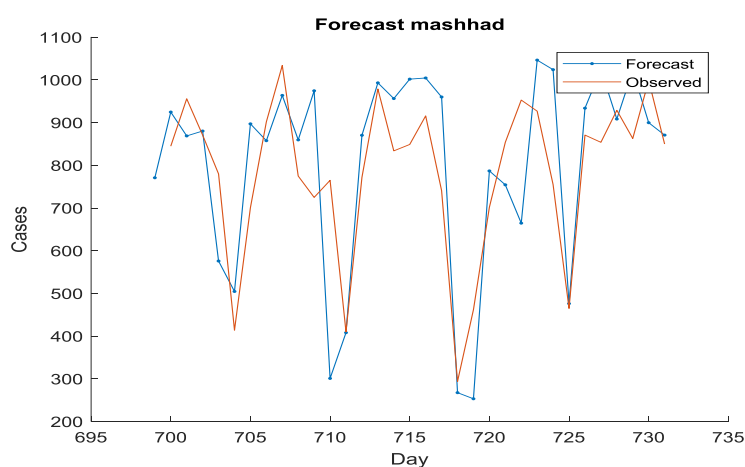
این پایگاه، پایگاه مرکزی انتقال خون در شهر مشهد می‌باشد که به‌طور مستمر به ۲۷ بیمارستان در مشهد، شش بیمارستان در شهرستان‌هایی که پایگاه مرکزی ندارند (سرخس، فریمان، چناران، درگز، تایباد، تربت‌جام)، خدمت‌رسانی می‌کند. برای سایر پایگاه‌های مرکزی استان (سبزوار، تربت‌حیدریه، گناباد، نیشابور، قوچان) دو نقش تأمین‌کننده و مصرف‌کننده دارد. به‌عبارت‌دیگر تبادل ارسال و دریافت خون بین پایگاه‌های مرکزی استان وجود دارد. این پایگاه، بزرگ‌ترین پایگاه مرکزی انتقال خون در استان خراسان رضوی محسوب می‌شود. به‌منظور سهولت ارائه نتایج، مصرف‌کنندگان این پایگاه به دو دسته مصرف‌کنندگان مشهد (بیمارستان‌های واقع در مشهد) و مصرف‌کنندگان شهرستان (بیمارستان‌ها و پایگاه‌های مرکزی شهرستان‌های استان) تقسیم‌بندی می‌شوند.

به‌منظور برآورد مقدار بهینه ارسالی خون به بیمارستان‌های این پایگاه، داده‌ها به سه شیوه تحلیل گردیدند.

در شیوه اول، کلیه تقاضای بیمارستان‌های پایگاه مرکزی مشهد (شامل بیمارستان‌های مشهد و شهرستان‌ها) در بازه زمانی موردنظر بدون تفکیک گروه خونی در نظر گرفته شد و با استفاده از تکنیک شبکه عصبی در ۷۰۰ روز آموزش، تقاضای آن‌ها برآورد می‌گردد. شکل ۳ بیانگر تفاوت مقدار واقعی خون مورد تقاضای بیمارستان‌های پایگاه مرکزی مشهد و مقدار ارسالی آن پایگاه



بدون تفکیک گروه خونی می‌باشد.

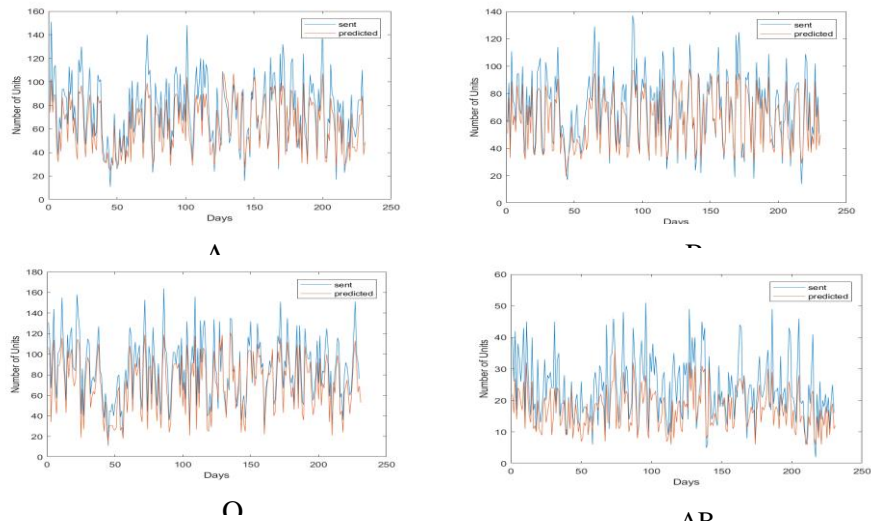


شکل ۳. مقادیر تقاضای واقعی و ارسالی خون به بیمارستان‌های (مشهد و شهرستان) پایگاه مرکزی مشهد

در شیوه دوم، تقاضای کل مصرف‌کنندگان بر اساس نوع گروه خونی و نوع مصرف‌کننده (بیمارستان‌های مشهد و شهرستان) تفکیک گردید که با استفاده از تکنیک شبکه عصبی در ۲۳۰ روز آزمون، مقدار تقاضای آن‌ها برآورد گردیده است. شکل ۴ بیانگر مقادیر خون‌های ارسالی واقعی و بهینه به مصرف‌کنندگان مشهد این پایگاه به تفکیک گروه خونی می‌باشد. خطوط قرمز رنگ این شکل، میزان خون ارسالی بهینه بیمارستان‌های مشهد از پایگاه مرکزی مشهد را نشان می‌دهد. این میزان ارسال در روزهای مختلف منجر به کاهش بازگشتی‌های خون به این پایگاه مرکزی و کمبودهای موجود در بیمارستان‌های مشهد می‌گردد. تفاضل بین خطوط آبی و قرمز نشان‌دهنده شکاف بین وضع موجود و مطلوب است. این پایگاه با توجه به تعداد زیاد مصرف‌کننده دارای حساسیت بیشتری نسبت به سایر پایگاه‌های موجود در منطقه می‌باشد؛

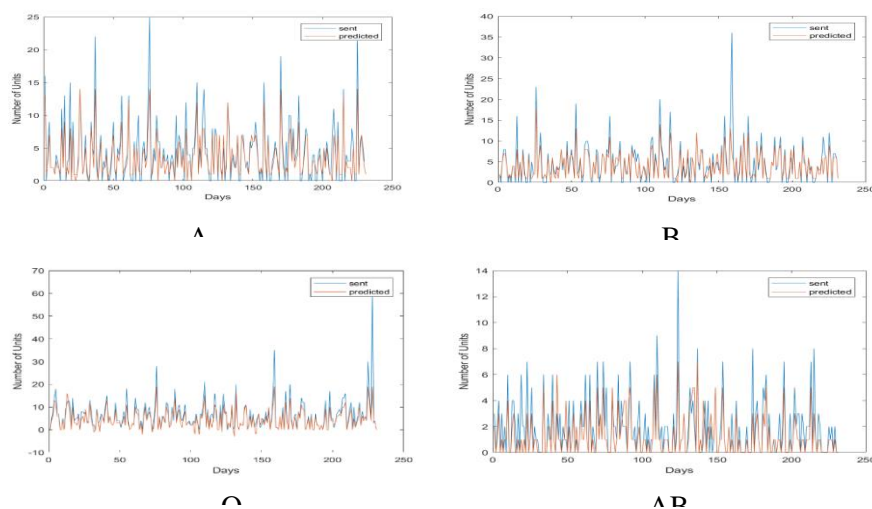


بنابراین، نیاز شدیدی به برنامه‌ریزی بهینه موجودی و نظارت شدید بر مصرف‌کنندگان خود دارد.



شکل ۴. مقادیر خون‌های واقعی و ارسالی به بیمارستان‌های مشهد به تفکیک گروه خونی

در روش سوم، تقاضای کل مصرف‌کنندگان، بر اساس نوع گروه خونی و برای هر مصرف‌کننده به‌طور مجزا تفکیک گردید و با استفاده از تکنیک شبکه عصبی در ۲۳۰ روز آزمون، میزان ارسالی‌های آن‌ها برآورد گردید. شکل ۵ بیانگر مقادیر ارسالی واقعی و بهینه خون به مصرف‌کنندگان شهرستان این پایگاه به تفکیک گروه خونی می‌باشد. نتایج نشان داده شده در این شکل بیانگر آن است که در صورتی که پایگاه به خواهان ارسال بهینه خون به مصرف‌کنندگان شهرستان خود باشد، تا از کمبود و ضایعات جلوگیری نمایند، بایستی طبق خطوط قرمز رنگ واحدهای خونی موردنیاز مصرف‌کنندگان خود را درخواست می‌نمود. پایگاه با توجه به تعداد زیاد مصرف‌کننده دارای حساسیت بیشتری نسبت به سایر پایگاه‌های موجود در منطقه می‌باشد؛ بنابراین، نیاز شدیدی به برنامه‌ریزی بهینه موجودی و نظارت شدید بر مصرف‌کنندگان خود دارد.

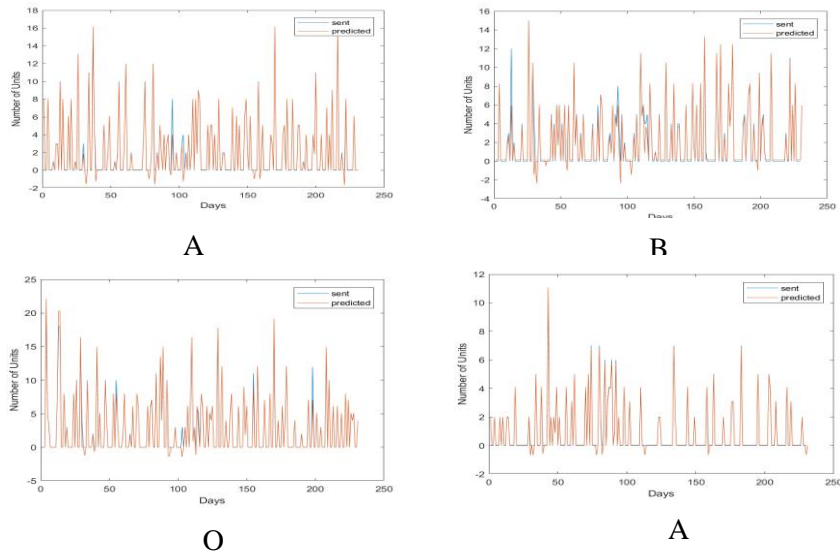


شکل ۵. مقادیر ارسالی واقعی و بهینه خون به بیمارستان‌های شهرستان به تفکیک گروه خونی

شکل ۶ بیانگر مقادیر ارسالی واقعی و بهینه خون به مصرف‌کنندگان این پایگاه به تفکیک گروه خونی و مصرف‌کننده برای بیمارستان آریا به‌عنوان نمونه مصرف‌کننده مشهد می‌باشد. آنچه از نتایج این شکل می‌توان برداشت نمود این است که در واقعیت، ارسالی‌های بیمارستان آریا در برخی روزها خیلی بیشتر از حد موردنیاز آن‌ها و در روزهایی خیلی کمتر از نیاز بوده است و این امر منجر به ضایعات و کمبودهای زیادی در کل سیستم خواهد شد. نتایج این شکل نشان می‌دهد که چنانچه پایگاه مرکزی مشهد بخواهد کمترین میزان برگشتی و اعلام کمبود از بیمارستان آریا را داشته باشند، بایستی طبق خطوط قرمز رنگ واحدهای خونی را ارسال می‌کرد. آنچه که می‌توان از نتایج این بیمارستان برداشت نمود این است که در درخواست خون در گروه‌های خونی A و O دچار خطای زیادی بوده است و در اکثر مواقع خیلی کمتر از واقعیت سفارش داده است که این امر سفارشات اورژانسی زیادی را به همراه خواهد داشت و منجر به کمبود در بیمارستان خواهد شد. بنابراین با اجرای مدل پیشنهادی می‌توان تا حد زیادی از بروز



ضایعات و کمبودهای بیش از حد جلوگیری کرد و نظارت کافی بر عملکرد بیمارستان‌ها در خصوص میزان سفارش‌ها و مصرف آن‌ها داشت.



شکل ۶. مقادیر ارسالی واقعی و بهینه خون به بیمارستان آریا به تفکیک گروه خونی

۶- بحث و نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه، طراحی مدل بهینه مدیریت موجودی شبکه انتقال خون می‌باشد. بدین منظور با استفاده از شبیه‌ساز شبکه عصبی مصنوعی به تعیین رفتار بهینه پایگاه پرداخته شد که این امر به منجر به کاهش قابل توجه واحدهای خونی برگشتی توسط مشتریان، افزایش موجودی پایگاه جهت جلوگیری از کمبود خواهد شد. همچنین این مقاله، کاربرد مدل شبیه‌ساز عصبی را در حوزه پزشکی و مدیریت موجودی شبکه انتقال خون نشان داد که تاکنون مطالعه‌ای با این وسعت در تحقیقات مربوط به زنجیره تأمین خون انجام نشده است، از مزایای این روش می‌توان به الگوی جامع مورد استفاده در این مطالعه اشاره کرد که به گونه‌ای طراحی شده است که نیازی



نیست برای هر پایگاه در منطقه یک مدل جداگانه نوشته شود؛ بلکه با الگوریتم موجود می‌توان رویدادها را به‌روزرسانی کرد و رفتارهای فعلی و مطلوب را تدوین نمود. به‌منظور اثبات موفقیت مدل طراحی‌شده، در شبکه انتقال خون مشهد با وجود حدود ۵۴ بیمارستان پیاده‌سازی شد. نتایج اجرای مدل در این پایگاه حاکی از این است که چنانچه پایگاه‌ها و بیمارستان‌ها طبق رفتار پیش‌بینی‌شده عمل کنند، میزان برگشتی واحدهای خون به مقدار صفر میل می‌کند و موجودی به مقدار ۲۰۰۰ واحد ذخیره خواهد شد. در هر پایگاه نتایج مدل با آنچه در وضع موجود اتفاق می‌افتد، مقایسه و اعتبار مدل اثبات گردید.

۷- پی‌نوشت‌ها

1. cross match
2. cross match release period.
3. the single center model (SC)
4. the multiple independent centers model (MIC)
5. the coordinated multiple centers model (CMC)
6. Community Blood Center(CBC)
7. Regional Blood Center(RBC)
8. Arima
9. Fully connected
10. Transfer Function
11. Training
12. Test
13. Validation
14. Sigmoid
15. Purelin
16. Sigmoid transfer function
17. linear transfer function



۸- منابع

- [1] H. Lowalekar, Integrated Model for Blood Bank Operations, Fourth National Conference on Management Science and Practice, 2013
- [2] J.T. Blake, M. Hardy, A generic modelling framework to evaluate network blood management policies: The Canadian Blood Services experience. *Operations Research for Health Care* 3 (2014), pp. 116–128
- [3] M. Zarezade, Z. Najiazimi, A. Moravati Sharif Abadi, M.A. Pirayesh. Designing a model for allocating zero blood products under conditions Uncertainty (Case Study: Yazd Blood Transfusion Organization). *Modern Researches in Decision Making*, Vol 4, no 2, pp 71-96, 2019.
- [4] M. Yegul, Simulation analysis of the blood supply chain and a case study, A thesis submitted to graduate school of natural and applied sciences of middle east technical university. 2007.
- [5] Pierskalla, William P. (2004). *OPERATIONS RESEARCH AND HEALTH CARE*. Chapter5. SUPPLY CHAIN MANAGEMENT OF BLOOD BANKS, pp104-145
- [6] M. Dillon, F. Oliveira, B. Abbasi, A two-stage stochastic programming model for inventory management in the blood supply chain, *International Journal of Production Economics*, 187 (2017), pp. 27–41
- [7] S. Gunpinar, G. Centeno. Stochastic integer programming models for reducing wastages and shortages of blood products at hospitals. *Computers & Operations Research*, 54(2015). pp. 127-141
- [8] Z. safdari, M. R. Ramezani, K. Yakide. Comparison of artificial neural network performance and logistic regression Tubin q in index detection analysis. *Modern Researches in Decision Making*, Vol 3, no 4, pp 1-23, 2018.
- [9] K. Katsaliaki. Cost-effective practices in the blood service sector, *Health Policy* 86 (2008), pp. 276–287
- [10] M. Aghyani, A. Jabarzadeh, S.J. Sajadi, Providing a Sustainable Optimization



Model for Designing a Supply Chain Network in Crises with Considering Reliability, Engineering Issue and Quality Management,5(2)(2013).

- [11] S.M. Zahraee, M. Rohani, A. Firouzi, A. Shahpanaha. Efficiency improvement of blood supply chain system using Taguchi method and dynamic simulation, 2nd International Materials, Industrial, and Manufacturing Engineering Conference, MIMEC2015, 4-6 February 2015, Bali Indonesia, Procedia Manufacturing 2 (2015) 1 – 5.
- [12] R. Khaldi, E.A. Abedllatif, Ch. Raddouane, F. 'Rduan. Artificial neural network based approach for blood demand forecasting: Fez transfusion blood center case study. Proceedings of the 2nd international conference in Big Data, Cloud and Applications Article, No. 59, 2017.
- [13] Sh, Abrishami, A, Kalate Ahani, F, Dehghanian. Optimizing a two-tier blood supply chain to reduce hospital shortages, 2nd International Conference on Industrial and Systems Engineering.(2016)
- [14] F, Firoozi Jahantegh B, Fonudi, S, Providing a model for forecasting demand in the blood platelet supply chain with the approach of artificial neural network and Arima models. Blood Research Quarterly, Volume 14, Number 4, pp. 335-345.(2017).