

## ارائه مدلی تصمیم‌یار جهت پایش پیوسته فشارخون بیماران با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و نمودار کنترل کیفیت آماری

\*فرزاد فیروزی جهانبیغ: استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران (\*نویسنده مسئول). firouzi@eng.usb.ac.ir  
عاطفه باطانی: دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۹

تاریخ دریافت: ۹۶/۸/۲۲

### چکیده

**زمینه و هدف:** بیماران قلبی با افزایش فشارخون و بروز سکتة قلبی و بیماران همودیالیزی در حین فرآیند همودیالیز با کاهش فشارخون مواجه هستند، لذا هدف پژوهش، پایش پیوسته فشارخون این بیماران در مراکز درمانی، به کمک مدلی تصمیم‌یار مبتنی بر شبکه عصبی و نمودار کنترل کیفیت آماری می‌باشد. **روش کار:** این پژوهش از نوع کاربردی-توسعه‌ای است که به روش مقطعی در سال‌های ۹۴-۹۳، از ۱۷۵ پرونده پزشکی بیمارانی با سابقه بیماری قلبی در بیمارستان علی‌ابن‌ابی‌طالب زاهدان، به روش نمونه‌گیری در دسترس انجام شد. رفتار واقعی میزان فشارخون سیستمولیک و دیاستولیک این بیماران تحت مدل Online و رفتار مورد انتظار آن تحت مدل Offline و در قالب شبکه عصبی مصنوعی بررسی شدند. با بررسی رفتار واقعی میزان فشارخون بیماران با حالت مدل شده آن، مقادیر باقی‌مانده تولید شده و به‌عنوان ورودی نمودار کنترل کیفیت EWMA در دو مرحله جهت پی‌بردن به حالت خارج از کنترل و تعیین وضعیت بیمار در نظر گرفته می‌شوند.

**یافته‌ها:** بیشترین و کمترین دقت کل مدل پیشنهادی، در مرحله تعیین حالت خارج از کنترل به ترتیب ۹۸/۷۵٪ و ۹۵٪، در مرحله تعیین وضعیت بیمار به ترتیب ۸۳/۷۵٪ و ۷۰٪ می‌باشد که در آن حدودکنترلی تنگ‌تر با فاصله اطمینان ۹۵/۴۵٪، در مرحله اول و حدودکنترلی بازتر با فاصله اطمینان ۹۹/۷۳٪ در مرحله دوم دقت کل بالاتری دارند.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به تطبیق نتایج پژوهش با حوزه کنترل کیفیت آماری، سهولت در درک بصری، مقرون‌به‌صرفه بودن و توجه به آخرین وضعیت حیاتی بیمار، مدلی مناسب برای پزشکان و بیماران جهت تصمیم‌گیری در مراقبت‌های درمانی می‌باشد.

**کلیدواژه‌ها:** مدل تصمیم‌یار، پایش فشارخون، شبکه عصبی، نمودار کنترل کیفیت آماری

### مقدمه

فشار خون بالا عامل خطر عمده در نارسایی قلب، آنوریسم‌های شریانی، بیماری شریانی‌های پیرامونی، دلیل بیماری‌های مزمن کلیه، سکتة مغزی و سکتة قلبی می‌باشد (۱ و ۲). طبق گزارش مرکز ملی آمار سلامت (National Center for Health Statistic) فشارخون بالا عامل اصلی مرگ بیش از ۴۱۰۰۰۰ بیمار آمریکایی (۱۱۰۰ مرگ در روز) در سال ۲۰۱۴ بوده و هزینه‌ای بالغ بر ۴۱٫۸ بلیون دلار برای خدمات مراقبت‌های بهداشتی و درمانی، داروهای ضد فشارخون و روزهای کاری ازدست‌رفته بیمار به همراه داشته است (۳). علاوه بر آن یکی از شایع‌ترین مشکلاتی که امروزه حدود ۲۰ الی ۳۰ درصد از بیماران دیالیزی با آن روبرو هستند، افت فشارخون آن‌ها در حین فرآیند همودیالیز می‌باشد. به همین دلیل می‌بایست

فشارخون بیمار دیالیزی در حین فرآیند همودیالیز تا حد ممکن به‌صورت پیوسته اندازه‌گیری شود (۴). لذا، تغییرات فشارخون ایمنی بیمار را به خطر می‌اندازد و پایش پیوسته آن در بیماران حائز اهمیت می‌باشد.

بسیاری از پژوهش‌ها بر مبنای پیش‌بینی فرآیند به پیشگیری، تشخیص، کنترل و اقدامات اصلاحی در جهت بهبود میزان فشار خون بیماران می‌پردازند. در پژوهش دستمالچی (۵) در سال ۲۰۱۵ با استفاده از روش PCA (Principal Component Analysis) بر روی شکل موج فشار شریانی، ۲۱ پارامتر تاثیر گذار بر فشارخون تعیین شدند. آن‌ها از این ۲۱ شاخص به عنوان ورودی شبکه عصبی مصنوعی (Artificial Neural Networks) جهت برآورد میزان فشارخون استفاده نمودند. ابوتی و همکاران (۴) در سال ۲۰۱۱ نیز با

بهبود دهنده دارند. چنانچه نقاط در خارج از حدود کنترلی قرار گیرند وضعیت خارج از کنترل اعلام شده که نیاز به اقدامات اصلاحی دارند (۷ و ۹). کاربرد نمودارهای کنترلی امروزه فراتر از سیستم‌های تولیدی و صنعتی رفته و در حوزه‌های مختلف مانند علوم بیولوژی، مهندسی، مالی و پزشکی به کار گرفته می‌شوند (۱۰). از جمله کاربردهای نمودارهای کنترل کیفیت درزمینه‌ی پزشکی و سلامت می‌توان به تحقیقات مورتون و همکاران (۱۱) در سال ۲۰۰۹ جهت بررسی و کنترل بروز حوادث نامطلوب در بیمارستان اشاره نمود.

با ترکیب نمودارهای کنترلی با مدل‌های پیش‌بینی همچون شبکه عصبی مصنوعی می‌توان به مدل‌های توسعه‌یافته تصمیم‌یار دست یافت. در فرآیند پیش‌بینی با شبکه عصبی مصنوعی، مجموعه‌ای از داده‌ها به عنوان ورودی در اختیار شبکه عصبی مصنوعی قرار می‌گیرد تا شبکه با تخمین رفتار سیستم، عمل برونیابی برای آینده را انجام دهد (۱۲). در این میان شبکه‌های پرسپترون با کمینه کردن میانگین مربعات خطا خروجی با کمک الگوریتم آموزشی پس‌انتشار خطا، یکی از قدرتمندترین نوع شبکه‌های عصبی می‌باشند و نتایج قابل قبولی در سایر حوزه‌های مربوط به مدل‌های تصمیم‌یار دارند (۱۳). بر همین اساس مدل ارائه شده در پژوهش حاضر از دو بخش Online و Offline تشکیل می‌شود. بخش Online مدل از میزان واقعی فشارخون سیستمولیک و دیاستولیک بیماران تشکیل شده است. در بخش Offline مدل از شبکه عصبی مصنوعی جهت برآورد و مدل کردن میزان فشارخون بیماران استفاده می‌گردد. از اختلاف مقدار واقعی فشارخون بیماران در بخش Online و مقدار پیش‌بینی شده آن در بخش Offline مدل مقادیر باقی‌مانده تولید شده و به‌عنوان ورودی نمودار میانگین متحرک Exponentially Weighted Moving نمایی (Average-EWMA)، در نظر گرفته می‌شوند. این نمودار جهت کشف تغییرات کوچک و کاهش آلام‌های اشتباهی مناسب می‌باشد. این پژوهش با

استفاده از اطلاعات ضربان قلب و غلظت خون به عنوان ورودی شبکه عصبی به پیش‌بینی افت فشارخون بیماران دیالیزی در حین فرآیند همودیالیز پرداختند. توسعه یافته این نوع پژوهش‌ها، در مدل لنگری‌زاده و همکاران (۶) در سال ۲۰۱۷ دیده می‌شود که در آن علاوه بر پیش‌بینی، در صورت بروز هر گونه مقادیر غیر طبیعی، وضعیت علائم حیاتی بیمار در قالب کددهی رنگی نیز نشان داده می‌شود. در کلیه‌ی مدل‌های پیش‌بینی و توسعه‌یافته، هدف اصلی پایش و کنترل فشارخون بیماران می‌باشد. امروزه طراحی کنترل‌کننده‌هایی جهت پایش و کنترل فشارخون که در عین سادگی و عدم پیچیدگی، مقرون به صرفه نیز باشند، حائز اهمیت است. یکی از راه‌های تحقق این امر مهم استفاده از ابزارهای کنترل فرآیند آماری (Statistical - SPC process control) است که به منظور کنترل و بهبود کیفیت در زمینه‌های مختلف استفاده می‌شوند. یکی از کاربردهای گسترده SPC استفاده از نمودارهای کنترلی است که با بررسی شاخص‌های آماری (مانند میانگین و واریانس) فرآیند، تحت کنترل و یا خارج از کنترل بودن آن را مشخص نموده و به منظور تشخیص در تغییرات فرآیند، مورد استفاده قرار می‌گیرند (۷). نمودارهای کنترلی شامل دو فاز I و II می‌باشند. در فاز I هدف برآورد پارامترهای مجهول فرآیند است. در فاز II پارامترهای فرآیند معلومند و هدف آزمون فرض برابری پارامترهای فرآیند با مقادیر برآورد شده از فاز I و کشف سریع روندها می‌باشد (۸). رابطه‌ی بسیار نزدیکی بین نمودارهای کنترل و آزمون فرض وجود دارد. نمودار کنترل یک آزمون فرض آماری گرافیکی است که با ارزیابی شرایط تحت کنترل بودن فرآیند از لحاظ آماری، استفاده می‌گردد (۹). یک نقطه که بین حدود کنترل رسم می‌شود مانند این است که فرض مربوط به حالت تحت کنترل بودن فرآیند رد نگردد و از طرف دیگر رسم یک نقطه خارج از حدود کنترل بیانگر رد چنین فرضی است. از طرفی در نمودارهای کنترلی نزدیک شدن نقاط به حدود کنترلی بالا یا پایین به عنوان هشدار تلقی می‌گردد که نیاز به اقدامات

۲۰۱۶ و بر اساس الگوریتم آموزش بیزین آموزش داده می‌شود. از مجموع ۱۷۵ داده ورودی به شبکه عصبی، ۶۰ درصد به داده‌های آموزش، ۲۰ درصد به داده‌های عملکرد و ۲۰ درصد به داده‌های تست اختصاص داده شده است.

پس از تولید مقادیر باقی‌مانده مربوط به هر یک از سطوح شدت بیماری، هر یک از بیماران در یکی از سطوح آن طبقه‌بندی می‌شوند. به گزارش JNC در سال ۲۰۰۳، فشارخون بالا به سطوح طبیعی، پیش پرفشاری خون، مرحله ۱ پرفشاری خون، مرحله ۲ پرفشاری خون و پرفشاری خون سیستمیک ایزوله طبقه‌بندی می‌شود (۱۶). با توجه به محدودیت داده‌ها صرف نظر از پرفشاری خون سیستمیک ایزوله، در این پژوهش از این طبقه‌بندی برای سطوح شدت بیماری فشارخون، استفاده می‌شود. مقادیر باقی‌مانده منعکس کننده رفتار فرآیند هستند، لذا از مجموع ۱۷۵ داده ورودی به شبکه عصبی و محاسبه مقادیر باقی‌مانده، ۹۵ داده در فاز I نمودار، جهت تعیین پارامترهای نمودار کنترلی و ۸۰ داده در فاز II نمودار، جهت اعتبار سنجی مدل برای فاصله اطمینان‌های متفاوت، به کمک نرم‌افزار Minitab ورژن ۱۷ به کار گرفته می‌شوند. داده‌های مربوط به سطح طبیعی فشار خون در فاز I در کنار ۸۰ داده مربوط به فاز II جهت نمایش گرافیکی تثبیت مدل در فاز II نمودار، اعمال می‌گردند. در فاز I نمودار پارامترهای فرآیند مانند حدود کنترلی بالا (UCL) از رابطه (۱)، خط مرکزی (CL) از رابطه (۲) و حدود کنترلی پایین (LCL) از رابطه (۳)، مربوط به هر یک از سطوح شدت، برای نمودار EWMA محاسبه می‌گردد.

$$LCL = \mu_0 + L \cdot \sigma \sqrt{\frac{\lambda}{n(2-\lambda)}} \quad (1)$$

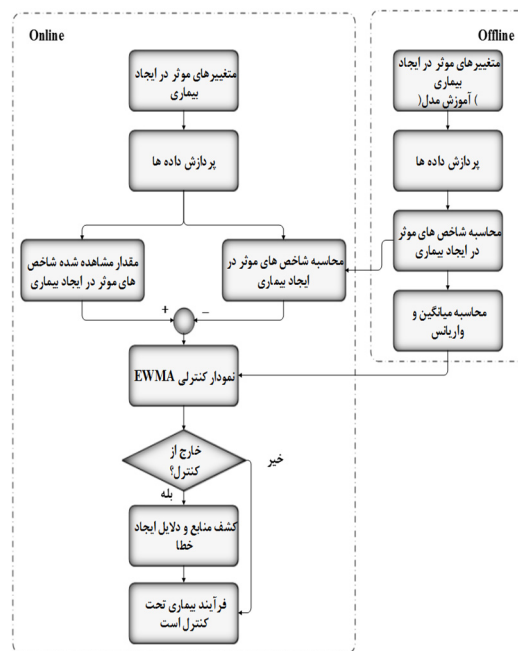
$$CL = \mu_0 \quad (2)$$

$$LCL = \mu_0 - L \cdot \sigma \sqrt{\frac{\lambda}{n(2-\lambda)}} \quad (3)$$

ارائه مدلی تصمیم‌یار، به کمک هارمونیکی از شبکه عصبی و نمودار کنترل کیفیت آماری، جهت پایش پیوسته فشارخون و تعیین وضعیت بیماران، به دنبال افزایش ایمنی بیماران، کاهش پیچیدگی و انتخاب داروی متناسب با شرایط بیمار با حداقل هزینه می‌باشد. ساختار مقاله به نحوی است که در بخش دوم مقاله روش کار، در بخش سوم یافته‌ها و در بخش چهارم بحث و نتیجه‌گیری ارائه می‌گردد. همچنین به منظور تحقیقات آتی پیشنهاداتی ارائه می‌شود.

### روش کار

این پژوهش از نوع کاربردی-توسعه‌ای است که به روش مقطعی در سال‌های ۹۳-۹۴، از ۱۷۵ پرونده پزشکی بیماران با سابقه بیماری قلبی در بیمارستان علی ابن ابی‌طالب زاهدان، به روش نمونه‌گیری در دسترس انجام شد. مدل پیشنهادی در این پژوهش که در شکل (۱) نشان داده شده است، از دو بخش Online و Offline تشکیل می‌شود. با بررسی رفتار واقعی میزان فشارخون سیستمیک و دیاستولیک این بیماران تحت مدل Online و رفتار مورد انتظار آن تحت مدل Offline و در قالب شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون، مقادیر باقی‌مانده تولید شده و به‌عنوان ورودی نمودار کنترل کیفیت آماری EWMA به کار گرفته می‌شوند. در قسمت Offline مدل فشارخون سیستمیک و دیاستولیک مطابق با بررسی متون و طبق نظر متخصصان، به کمک شاخص‌های جنسیت و سن، ضربان قلب، وجود یا عدم وجود سابقه بیماری‌های همچون فشارخون، دیابت، چربی خون، بیماری‌های قلبی و اعتیاد پیش‌بینی می‌شوند (۱۴ و ۱۵). این هشت شاخص به عنوان ورودی شبکه و میزان فشارخون سیستمیک و دیاستولیک به عنوان خروجی شبکه عصبی می‌باشند. شبکه عصبی پرسپترون متشکل از دو لایه پنهان و خروجی است. ساختار شبکه بر اساس کمترین میزان خطا، شامل چهار نرون در لایه پنهان و دو نرون در لایه خروجی است که به کمک تولباکس موجود در نرم‌افزار متلب ورژن



شکل ۱- چهارچوب مدل تصمیم‌یار ارائه شده

مرحله نمونه‌های جدید روی نمودار رسم می‌گردند تا تحت کنترل بودن یا نبودن و روندها آشکار گردد.

پس از تعیین پارامترهای مدل، در فاز II ارزیابی مدل در دو مرحله‌ی پی‌بردن به حالت خارج از کنترل فشارخون و تعیین وضعیت بیمار، به کمک معیار دقت کل، مربوط به ماتریس درهم ریختگی صورت می‌پذیرد. این معیار مهمترین معیار برای تعیین کارایی یک مدل بوده که دقت کل آن را نشان می‌دهد. چون تعداد نمونه‌های سطوح شدت مختلف فشارخون در مرحله ارزیابی مدل با یکدیگر برابرند، این معیار جهت ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی مناسب می‌باشد و به کمک رابطه (۴) محاسبه می‌گردد.

$$\text{Accuracy} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (4)$$

TP، TN، FN، FP به ترتیب تعداد مثبت‌های درست، منفی‌های درست، مثبت‌های نادرست و منفی‌های نادرست می‌باشد.

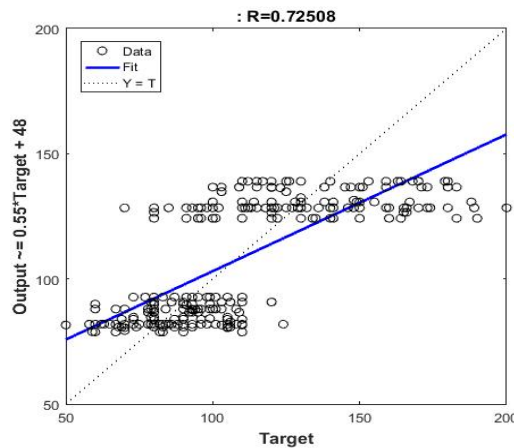
### یافته‌ها

نتایج رگرسیون شبکه عصبی مصنوعی برای فشار خون سیستولیک و دیاستولیک در شکل (۲)

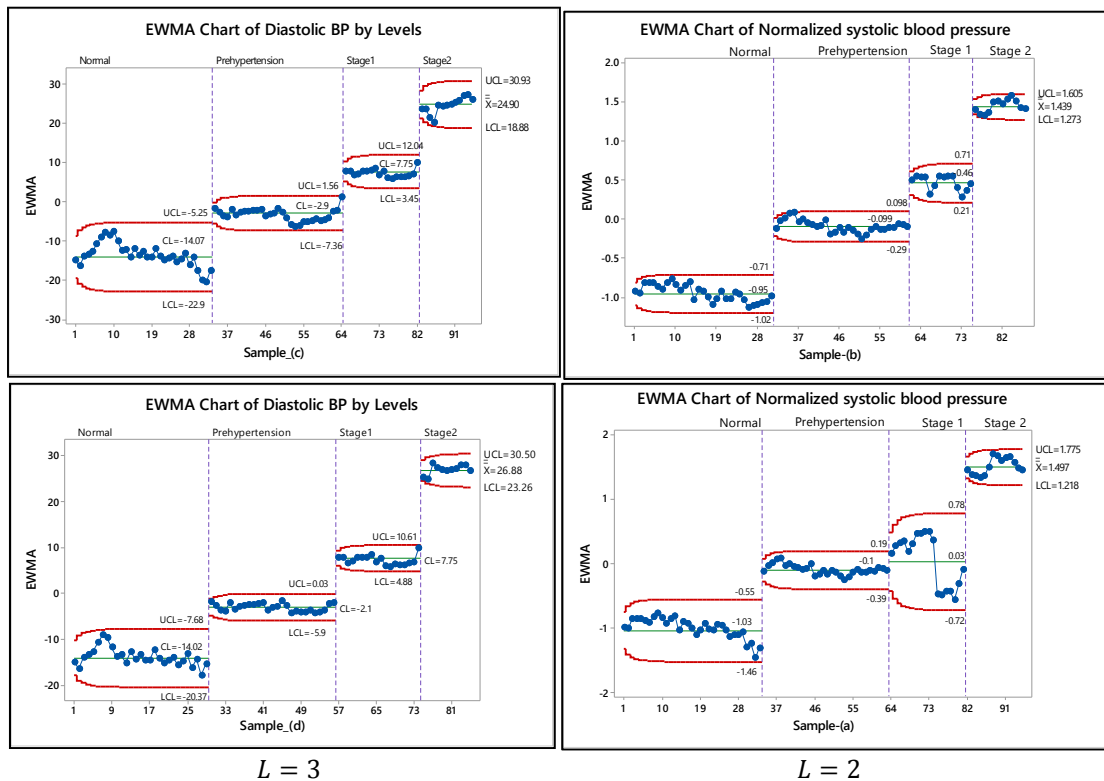
$\sigma_0$  انحراف استاندارد،  $\lambda$  ضریب وزنی داده‌ها،  $n$  اندازه نمونه،  $\mu_0$  امید مقادیر باقی‌مانده و خط مرکزی می‌باشد.  $L$  عرض حدود کنترل بوده که جهت تعیین فاصله اطمینان به کار گرفته می‌شود. در این رابطه  $\lambda$  دارای مقدار ثابتی بین  $0 < \lambda \leq 1$  بوده و پارامتر نمودار می‌باشد. به طور کلی تجربه ثابت کرده است که اگر  $\lambda$  در فاصله‌ی  $0.05 \leq \lambda \leq 0.25$  انتخاب شود، نتایج خوبی به دست خواهد آمد. معمولاً اگر تغییرات کوچک برای ما بسیار مهم باشد،  $\lambda$  پایین می‌باشد، اما در ایده آل ترین حالت  $\lambda = 0.2$  در نظر گرفته می‌شود (۹). در نمودار کنترلی اگر داده‌ها بین حدود کنترلی قرار گیرند فشارخون بیمار تحت کنترل است، در غیر این صورت فشارخون خارج از کنترل قرار دارد. در فاز I پس از ترسیم نمونه‌های مربوط به نمودار کنترلی، اگر یک یا چند نمونه خارج از کنترل قرار گیرند پس از بررسی علت آن، حذف می‌گردند و با نمونه‌های باقی مانده مجدداً مقادیر حدود کنترلی محاسبه می‌گردند. روند حذف نمونه‌ها تا جایی ادامه داده شده که کلیه نمونه‌ها تحت کنترل قرار گیرند. در این حالت فاز I به پایان رسیده و نمودار به دست آمده آماده به کارگیری در فاز II می‌باشد. در این

**فاز I نمودار کنترلی:** در این مرحله جهت تثبیت نمودار کنترلی، پارامترهای مدل از جمله میانگین و حدود کنترلی برای هر یک از سطوح شدت فشارخون سیستولیک و دیاستولیک برای فاصله اطمینانهای متفاوت و بر اساس مقادیر باقی مانده تعیین می گردد. پس از دو مرحله حذف داده ها در فشارخون سیستولیک و یک مرحله حذف داده ها در فشارخون دیاستولیک، میانگین و

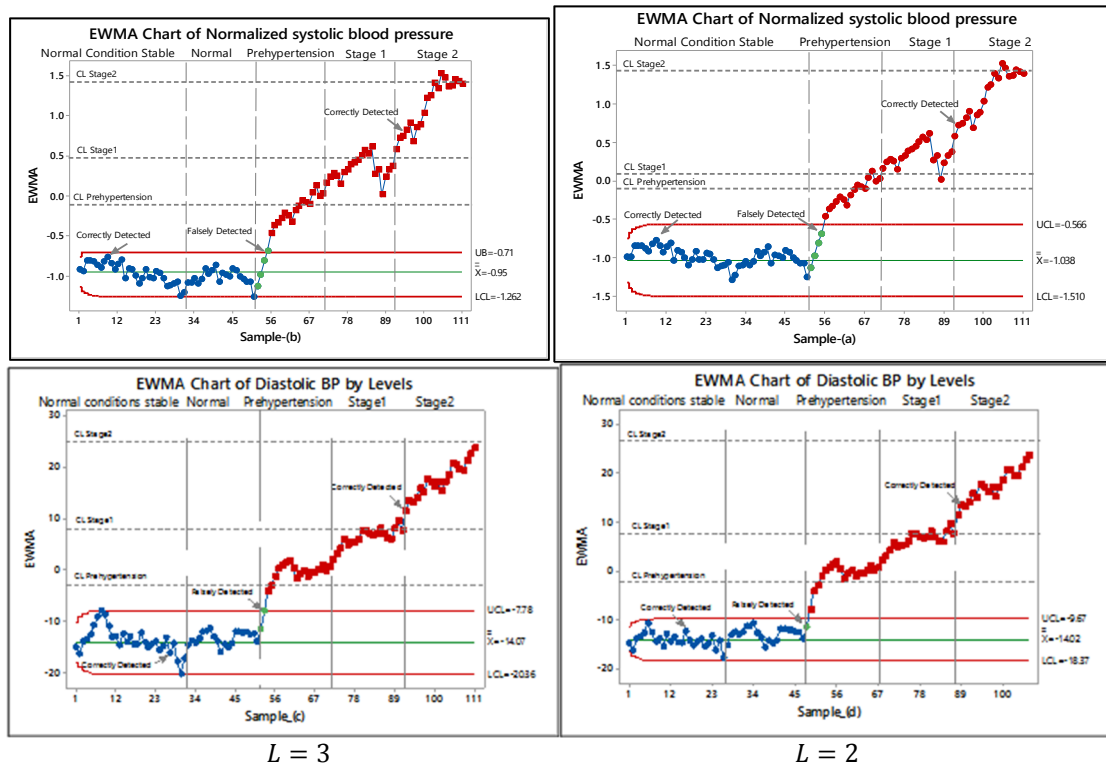
نشان داده شده است. با توجه به اهمیت فاصله اطمینان در سیستم های سلامت جهت پی بردن به حالت خارج از کنترل و تعیین وضعیت بیمار، در مدل پیشنهادی هر دو مقدار  $L = 2$  با فاصله اطمینان  $95,45\%$  و  $L = 3$  با فاصله اطمینان  $99,73\%$  در فاز I و II نمودارهای کنترلی در نظر گرفته شده است.



شکل ۲- نتایج رگرسیون شبکه عصبی مصنوعی در پیش بینی فشارخون سیستولیک و دیاستولیک



شکل ۳- حدود کنترلی نمودار EWMA برای سطح اطمینان و سطوح شدت مختلف فشارخون سیستولیک و دیاستولیک



شکل ۴- روند پیشگیری و بررسی نقاط خارج از کنترل با افزایش فشارخون سیستولیک و دیاستولیک در فاصله اطمینان‌های مختلف

گردد. در مرحله اول مطابق با شکل (4\_a) با  $L = 3$  و (4\_b) با  $L = 2$  برای فشارخون سیستولیک، با در نظر گرفتن روند طبیعی فشارخون و تثبیت حالت پایدار حاصل از فاز I تا نمونه ۳۳، روند تغییرات فشارخون بیماران از نمونه ۳۴ برای فشارخون دیاستولیک در شکل (4\_c) با  $L = 3$  و (4\_d) با  $L = 2$ ، از نمونه ۳۲ ثبت می‌شود. به طور مثال کل داده‌های مربوط به بیماران مختلف به عنوان داده‌های مربوط به یک بیمار فرضی در نظر گرفته شده، با فرض این‌که در یک روز و در زمان‌های مختلف به صورت متوالی (و حتی در صورت نیاز به صورت لحظه‌ای) اندازه‌گیری شده‌اند و به عنوان ورودی نمودار در نظر گرفته می‌شوند. مطابق با شکل (4\_a) برای فشارخون سیستولیک با  $L = 3$ ، ثبت فشارخون بیمار از نمونه ۳۴ صورت می‌پذیرد. بدین ترتیب در بیمار فرضی تا نمونه ۵۳ فشارخون بیمار تحت کنترل بوده و از نمونه ۵۴ به بعد فشارخون بیمار خارج از کنترل می‌باشد. پس از آن نمودار در نمونه ۵۸ هشدار خارج از کنترل بودن فشارخون

حدود کنترلی برای فاصله اطمینان با  $L = 3$  و  $L = 2$  و برای سطوح مختلف شدت بیماری در شکل (۳) نمایش داده شده است.

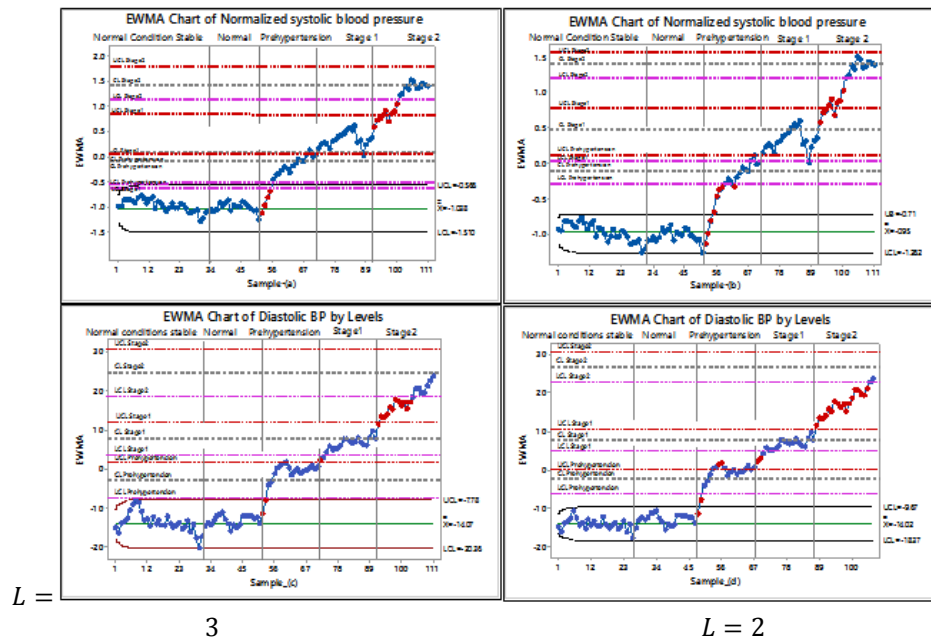
مطابق با شکل (۳) میانگین مقادیر باقی مانده در شکل‌های (a) و (b) برای فشارخون سیستولیک، در شکل‌های (c) و (d) برای فشارخون دیاستولیک در دو سطح اطمینان  $L = 3$  و  $L = 2$  با افزایش سطح شدت بیماری، افزایش می‌یابد. این امر نشان می‌دهد که میانگین مقادیر باقی مانده قادرند هر گونه تغییر پذیری در میانگین فرآیند را نشان دهند.

**فاز II نمودار کنترلی:** پس از پایش نمودار و تثبیت مدل با تعیین میانگین و حدود کنترلی در هر یک از سطوح شدت بیماری، ارزیابی مدل در دو مرحله جهت محاسبه دقت کل مدل، صورت می‌پذیرد.

مرحله اول: پی بردن به حالت خارج از کنترل: در این مرحله با ثابت نمودن حدود طبیعی فشارخون و ایجاد شرایط ثابت و پایدار، روند تغییرات فشارخون بیماران مورد بررسی قرار می‌

جدول ۱- نتایج ارزیابی مدل در مرحله پی بردن به حالت خارج از کنترل در فاصله اطمینان‌های متفاوت

دقت کل در نمودار کنترلی	Normal		Prehypertension		Stage1		Stage2		Total	
	صحيح	غلط	صحيح	غلط	صحيح	غلط	صحيح	غلط	صحيح	غلط
۳L= سیستولیک	%۱۰۰	%۰	%۸۰	%۲۰	%۱۰۰	%۰	%۱۰۰	%۰	%۹۵	%۵
۲L= سیستولیک	%۱۰۰	%۰	%۸۰	%۲۰	%۱۰۰	%۰	%۱۰۰	%۰	%۹۵	%۵
۳L= دیاستولیک	%۱۰۰	%۰	%۹۰	%۱۰	%۱۰۰	%۰	%۱۰۰	%۰	%۹۷,۵	%۲,۵
۲L= دیاستولیک	%۱۰۰	%۰	%۹۵	%۵	%۱۰۰	%۰	%۱۰۰	%۰	%۹۸,۷۵	%۱,۲۵



شکل ۵- چگونگی تشخیص و کنترل روند فشارخون سیستولیک و دیاستولیک در فاصله اطمینان‌های مختلف

برای شکل (4\_d) با در نظر گرفتن فاصله اطمینان  $L = 2$  به دلیل کمتر بودن نقاط مربوط به تشخیص اشتباه (نقاط سبز رنگ)، از دقت بالاتری برخوردار می‌باشد. به کمک نمودارهای کنترلی، با نزدیک شدن نقاط به حدود کنترل، اقدامات درمانی لازم جهت کاهش فشارخون صورت می‌پذیرد و از افزایش فشارخون و پیشرفت بیماری به سطح شدت بالاتر و آسیب‌های جسمی و روحی بیمار جلوگیری می‌شود.

مرحله دوم: تعیین وضعیت بیمار: علاوه بر پی بردن به حالت خارج از کنترل فشارخون بیمار، به کمک نمودارهای کنترلی، به سطح شدتی که فشارخون در آن قرار گرفته است و چگونگی روند پیشرفت بیماری جهت تعیین وضعیت بیمار نیز می‌توان پی برد. در این مرحله پارامترهای فرآیند که در سطوح شدت Prehypertension, Stage1 و Stage2 در فاز I نمودار کنترلی اندازه گیری شدند

بیمار را نشان می‌دهد. در طی نمونه ۵۴ تا ۵۸ که فشارخون بیمار در خارج از کنترل قرار داشته ولی نمودار تحت کنترل نشان داده است، نقاط به حدود کنترلی بالای نمودار نزدیک شده تا این که در نمونه ۵۸ خارج از کنترل قرار می‌گیرند. در این مرحله عدم اقدامات درمانی مناسب، موجب افزایش فشارخون بیمار به سطوح شدت بالاتر می‌گردد.

در این مرحله نتایج مربوط به محاسبه دقت کل مدل در هر یک از سطوح شدت بیماری، برای فشارخون سیستولیک و دیاستولیک در جدول (۱) نشان داده شده است.

به همین ترتیب در شکل (4\_b) با  $L = 2$  جهت پی بردن به حالت خارج از کنترل دقت مدل بدون هیچ تفاوتی برای فشارخون سیستولیک صورت می‌پذیرد. همان‌طور که در شکل‌های (4\_c) و (4\_d) و جدول (۱) دیده می‌شود، در این مرحله

جدول ۲- نتایج ارزیابی مدل در مرحله تشخیص و کنترل بیماری بافاصله اطمینان‌های متفاوت

دقت کل در نمودار کنترلی		Normal		Prehypertension		Stage1		Stage2		Total	
		صحیح	غلط	صحیح	غلط	صحیح	غلط	صحیح	غلط	صحیح	غلط
۳L=	سیستولیک	%۱۰۰	%۰	%۸۰	%۲۰	%۱۰۰	%۰	%۵۵	%۴۵	%۸۳,۷۵	%۱۶,۲۵
۲L=	سیستولیک	%۱۰۰	%۰	%۶۰	%۴۰	%۱۰۰	%۰	%۵۵	%۴۵	%۷۸,۷۵	%۲۱,۲۵
۳L=	دیاستولیک	%۱۰۰	%۰	%۹۰	%۱۰	%۹۵	%۵	%۴۰	%۶۰	%۸۱,۲۵	%۱۸,۷۵
۲L=	دیاستولیک	%۱۰۰	%۰	%۱۰۰	%۰	%۱۰	%۹۰	%۱۰	%۹۰	%۷۰	%۳۰

خون، با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند. از نمونه ۱۰۳ تا ۱۱۳ نقاط در اطراف خط مرکزی مرحله ۲ پرفشاری خون قرار می‌گیرند و اگر چه این نقاط خارج از حدود طبیعی، مرحله پیش پرفشاری خون و مرحله ۱ پرفشاری خون هستند، اما تحت کنترل مرحله ۲ پرفشاری خون می‌باشند.

دقت کل مدل در مرحله‌ی تعیین وضعیت بیمار برای هر یک از سطوح شدت فشارخون سیستولیک و دیاستولیک به صورت جداگانه در جدول (۲) ارائه شده است.

با توجه به نقاط خارج از کنترلی که با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند و جدول (۲)، تعیین وضعیت بیمار در شکل (5-b) با  $L = 2$  از دقت کمتری نسبت به شکل (5-a) با  $L = 3$  در فشارخون سیستولیک برخوردار می‌باشد. این استنباط با توجه به شکل‌های (5-c) و (5-d) در فشارخون دیاستولیک نیز برقرار است. علاوه بر آن با نزدیکی هر یک از نقاط به خط مرکزی و حدود کنترلی می‌توان سطح شدت فشارخون بیمار مربوطه را تشخیص داد. با توجه به این که یکی از مشکلات بیماران مبتلا به فشارخون، انتخاب داروی مناسب می‌باشد، در این مرحله، با کنترل چگونگی روند فشارخون بیمار در بازه‌های زمانی معین و با مصرف داروهای متنوع می‌توان نوع داروی متناسب با شرایط فیزیکی بیمار را نیز تعیین نمود.

### بحث و نتیجه‌گیری

دانش پزشکی بر روی طیف وسیعی از رشته‌ها بنا شده و تأمین ایمنی بیمار یک استراتژی مهم در حوزه سلامت است، لذا هر دو گروه مهندسان و پزشکان درصدد ارائه راه‌حل‌هایی برای حل مشکلات مربوطه هستند (۵). لذا، در همین رابطه از روش‌های مختلفی جهت طراحی یک مدل

به نمودار کنترلی اضافه می‌گردند. به‌طور مثال برای بیمار فرضی ذکر شده در این مرحله، پس از تثبیت فشارخون طبیعی بیمار تا نمونه ۳۳، ثبت فشارخون از نمونه ۳۴ صورت می‌پذیرد. مطابق با شکل (5-a) برای فشارخون سیستولیک بیمار فرضی با  $L = 3$  از نمونه ۳۴ تا ۵۳ فشارخون بیمار تحت کنترل و طبیعی می‌باشد. از نمونه ۵۴ تا ۵۸ که اولین هشدار خارج از کنترل فشارخون طبیعی بیمار بوده، نقاط به حدود کنترلی بالای فشارخون طبیعی و به حدود پایین پیش پرفشاری خون و مرحله ۱ پرفشاری خون نزدیک می‌شوند. این نقاط که با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند، به عنوان نقاط خارج از کنترل مرحله ی پیش پرفشاری خون در نظر گرفته می‌شوند زیرا نمودار EWMA آن‌ها را در بازه ی حدود طبیعی فشارخون نشان می‌دهد. سپس از نمونه ۵۸ تا ۷۴ با این که نقاط خارج از کنترل حدود طبیعی فشارخون بوده و به خط مرکزی پیش پرفشاری خون نزدیک می‌شوند، اما در بازه پیش پرفشاری خون تحت کنترل قرار دارند. از نمونه ۷۴ نقاط به حدود بالای مرحله پیش پرفشاری خون و خط مرکزی مرحله ۱ پرفشاری خون نزدیک می‌شوند که این امر به‌عنوان یک هشدار تلقی می‌گردد. از نمونه ۷۵ تا ۹۳ با این که نقاط خارج از حدود طبیعی و مرحله پیش پرفشاری خون بوده، اما با نزدیکی در اطراف خط مرکزی مرحله ی ۱ پرفشاری خون تحت کنترل آن می‌باشند. از نمونه ۹۴ تا ۱۰۲ نقاط به حدود کنترلی بالای مرحله ی ۱ پرفشاری خون نزدیک می‌شوند. فشارخون این نقاط به مرحله ی ۲ پرفشاری خون تعلق دارد، اما نمودار EWMA آن‌ها را همچنان در مرحله ۱ پرفشاری خون نشان می‌دهد. به همین دلیل به عنوان نقاط خارج از کنترل مرحله ی ۲ پرفشاری



می‌نمایند (۲۳). همچنین در برخی کاربردهای نمودار کنترل کیفیت آماری، عملکرد فرآیند به‌وسیله‌ی رابطه بین یک متغیر وابسته و یک یا چند متغیر مستقل (که امکان پیش‌بینی فرآیند هم فراهم می‌شود) توصیف می‌شوند. جهت در نظر گرفتن روابط خطی و غیرخطی این‌گونه متغیرها از ترکیب نمودارهای کنترلی با شبکه عصبی می‌توان استفاده نمود. این مدل هارمونیک با در نظر گرفتن عامل وزنی بر اساس داده‌های زمانی، با کاهش اثر پویایی داده‌ها و عدم قطعیت خطای پیش‌بینی و خطای اندازه‌گیری مدل نیز همراه است (۲۳). مطابق با نتایج پژوهش در جدول (۱) بیشترین دقت کل و کمترین میزان خطا در مدل پیشنهادی، در مرحله پی بردن به حالت خارج از کنترل برای فشارخون دیاستولیک  $98.75\%$  (با خطای  $1.25\%$ ) و کمترین دقت کل با بیشترین میزان خطا، برای فشارخون سیستولیک  $95\%$  (با خطای  $5\%$ ) می‌باشد. همچنین با توجه به دقت کل در این مرحله، برای فشارخون سیستولیک تفاوتی ندارد که از کدام سطح اطمینان با  $L = 2$  (فاصله اطمینان  $95.45\%$ ) یا  $L = 3$  (فاصله اطمینان  $99.73\%$ ) استفاده کنیم. اما در فشارخون دیاستولیک سطح اطمینان با  $L = 2$  (فاصله اطمینان  $95.45\%$ )، نتایج دقیق‌تری را نسبت به سطح اطمینان با  $L = 3$  (فاصله اطمینان  $99.73\%$ ) ارائه می‌دهد. این امر ناشی از بالاتر بودن دقت کل در سطح شدت Prehypertension می‌باشد. لذا می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به حساسیت پی بردن به حالت خارج از کنترل فرآیند، بیشترین میزان دقت کل ( $98.75\%$ ) و کمترین خطا ( $1.25\%$ ) مربوط به فشارخون دیاستولیک و سطح اطمینان با  $L = 2$  (فاصله اطمینان  $95.45\%$ ) می‌باشد. لذا می‌توان چنین استنباط نمود که در این مرحله، هر چه حدود کنترل تنگ‌تر ( $L = 2$ ) در نظر گرفته شود، دقت کل بیشتر و خطای آن کمتر می‌گردد. در حوزه کنترل کیفیت، هدف از پی بردن به حالت خارج از کنترل بیماری این است که اگر فرآیند در واقعیت خارج از کنترل قرار گرفت نمودار EWMA هم، حالت خارج از کنترل  $(1 - \beta)$  را

تصمیم یار استفاده می‌گردد. از جمله روش‌های فازی که در پژوهش‌های دمور (۱۷) در سال ۲۰۱۳ که به کمک تکنولوژی شناسایی فرکانس رادیویی منطبق بر قوانین فازی به پایش علائم حیاتی به‌ویژه فشارخون بیماران، جهت نظارت بر وضعیت آن‌ها پرداخت و یا به‌طور مشابه در پژوهش لیت و همکاران (۱۸) در سال ۲۰۱۱، دوتا و همکاران (۱۹) در سال ۲۰۱۳ که از منطق فازی استفاده کرده‌اند. طراحی سیستم‌های تصمیم‌یار مبتنی بر شبکه عصبی که در مطالعات خسروانیان و آیت (۲۰) در سال ۲۰۱۵ جهت تشخیص سرطان پستان دیده می‌شود. مدل تصمیم‌یار مبتنی بر الگوریتم ژنتیک که در پژوهش مقدم و همکاران (۲۱) در سال ۲۰۱۳ جهت تشخیص و کنترل بیماری‌های عروق کرونر به‌کارگرفته می‌شود و سایر مدل‌هایی که به‌طور نمونه در پژوهش سلطانی و همکاران (۲۲) در سال ۲۰۱۴ بررسی می‌گردند. آن‌ها به طراحی سیستمی مبتنی بر یک مدل چند صفتی کیفی جهت تشخیص آسیب ریوی مصدومین شیمیایی پرداختند. نتایج این پژوهش با پژوهش‌های دیگر در تعیین مقادیر طبیعی و غیر طبیعی پارامتر مورد بررسی، تبیین وضعیت بیمار جهت ارائه یک مدل تصمیم‌یار تشابه دارد. اما در روش به‌کارگیری و نحوه تبیین وضعیت بیمار اختلاف دارد. در این پژوهش از یک مدل ترکیبی شبکه عصبی و نمودار کنترلی EWMA استفاده شده است و وضعیت بیمار به صورت بصری قابل درک است. از جمله مزایای چنین ترکیبی این است که بخش Offline مدل به عنوان مرجعی از مقادیر شاخص‌ها بوده که پوشش دهنده کلیه گروه‌ها در سطوح شدت مختلف فشارخون می‌باشد. در این حالت با مقایسه مقادیر واقعی فشارخون بیماران در بخش Online مدل با مقادیر مرجع، میزان انحراف از آن، تحت عنوان مقادیر باقی‌مانده تعیین می‌گردد (۲۳). از طرفی میانگین فشارخون سیستولیک و دیاستولیک با افزایش سطح شدت بیماری افزایش می‌یابد. مقادیر باقی‌مانده این روند افزایشی را نشان داده و هر گونه تغییر در میانگین فرآیند را منعکس نموده و عدم قطعیت در مدل را لحاظ

مرحله، کاهش زنگ خطر اشتباهی یا خطای نوع اول ( $\alpha$ ) به دلیل افزایش هزینه های بهداشت و درمان و افزایش بار روانی بیمار، از اهمیت بسیاری برخوردار می باشد. در کنترل کیفیت آماری چنانچه زنگ خطر های اشتباهی هزینه های زیادی به سیستم تحمیل کند، حدود کنترلی بازتر در نظر گرفته می شود تا احتمال خطای نوع اول کاهش یابد (۹). لذا با استفاده از  $L = 3$  و حدود اطمینان ۹۹٫۷۳٪ می توان حدود کنترلی را بازتر نمود که این تصمیم گیری با نتایج پژوهش در جدول (۲) نیز مطابقت دارد. با توجه به این که کاهش تعداد افراد مبتلا به فشارخون یکی از اهداف مهم در جهت رسیدن به جامعه ای سالم در سال ۲۰۲۰ می باشد (۲۴). لذا، مطابق با نتایج ارائه شده، پژوهش حاضر به عنوان یک مدل تصمیم‌یار در حوزه سلامت و در راستای دستیابی به این هدف مهم، با حداقل هزینه مفید خواهد بود. وجود چنین مدلی در جهت پایش مداوم فشارخون بیماران، به پزشکان و پرستاران در انتخاب اقدام درمانی مناسب، انتخاب داروی متناسب با شرایط فیزیکی بیمار، کاهش خطاهای درمانی، بهبود فرآیند درمان و کیفیت مراقبت و کاهش هزینه های مربوط به مراقبت های پزشکی پیشرفته کمک می نماید (۲۵ و ۲۶). در مطالعات آتی در قسمت Offline مدل می توان از سایر روش های پیش بینی همچون رگرسیون خطی و غیر خطی و سایر الگوریتم های فرا ابتکاری همچون ژنتیک جهت تولید مقادیر باقی مانده استفاده نمود. همچنین می توان از نمودارهای کنترلی فازی استفاده نمود. علاوه بر آن می توان این مدل را در جهت پایش سایر علائم حیاتی بدن و نیز در حوزه بیماری هایی همچون دیابت جهت کنترل میزان قند خون به کار گرفت.

### تقدیر و تشکر

مقاله حاضر بخشی از پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه سیستان و بلوچستان می باشد. بدین وسیله از کلیه همکاران بخش بایگانی بیمارستان علی ابن ابی طالب زاهدان برای گردآوری داده ها جهت تهیه این مقاله، تشکر و

نشان دهد. اما در صورتی که نمودار EWMA حالت تحت کنترل را نشان دهد، خطای نوع دوم ( $\beta$ ) رخ می دهد. در کنترل کیفیت آماری چنان چه هزینه ارتکاب خطای نوع دوم زیاد باشد حدود کنترلی جهت کاهش خطای نوع دوم، تنگ تر در نظر گرفته می شود (۱۷). در این پژوهش با در نظر گرفتن هزینه بالای بروز خطای نوع دوم (به خطر افتادن ایمنی بیماران)، با استفاده از  $L = 2$  و حدود اطمینان ۹۵٫۴۵٪، می توان حدود کنترلی را تنگ تر نمود که این تصمیم گیری با نتایج حاصل از پژوهش، در جدول (۱) مطابقت دارد. مطابق با جدول (۲) بیشترین دقت کل و کمترین میزان خطا در مدل پیشنهادی در جهت تشخیص صحیح نقاط، در مرحله تعیین وضعیت بیمار برای فشارخون سیستولیک ۸۳٫۷۵٪ (با خطای ۱۶٫۲۵٪) و کمترین دقت کل با بیشترین میزان خطا، برای فشارخون دیاستولیک ۷۰٪ (با خطای ۳۰٪) می باشد. با مقایسه دقت کل مدل برای فشارخون سیستولیک در سطوح شدت Stage2، Stage1 دریافت می شود که در این مرحله، در سطوح شدت بالا، تفاوتی ندارد که از کدام سطح اطمینان استفاده شود. اما در سطح شدت پایین تر بیماری همچون Prehypertension استفاده از سطح اطمینان بالاتر با  $L = 3$  (فاصله اطمینان ۹۹٫۷۳٪) و یا به عبارتی حدود کنترلی بازتر، مناسب تر می باشد. در فشارخون دیاستولیک کاملاً بالعکس می باشد. دقت کل مدل در سطوح شدت پایین تر Prehypertension، تفاوت چشمگیری ندارد، اما تعیین وضعیت بیمار به طور صحیح در سطوح شدت بالاتر Stage1، Stage2 مشکل تر بوده و هر چه حدود بازتر در نظر گرفته شوند دقت کل بیشتر و خطای مدل کمتر خواهد بود. با توجه به دقت کل مدل چه در فشارخون سیستولیک و چه در فشارخون دیاستولیک بیشترین دقت کل و کمترین خطا مدل مربوط به  $L = 3$  (فاصله اطمینان ۹۹٫۷۳٪) می باشد. لذا، می توان چنین استنباط نمود که در مرحله تعیین وضعیت بیمار، هر چه حدود کنترل بازتر ( $L = 3$ ) در نظر گرفته شود، دقت مدل بیشتر و خطای آن کمتر می گردد. در حوزه کنترل کیفیت در این

M, Spears M, Brumback L, Cameron J, et al. The relative importance of central and brachial blood pressure in predicting cardiovascular events: an individual participant meta-analysis of prospective observational data from 22,433 subjects. *J Artery Res* 2016; 16:49.

16. Chobanian AV, Bakris GL, Black HR, Cushman WC, Green LA, Izzo JL Jr, et al. Seventh report of the joint national committee on prevention, detection, evaluation, and treatment of high blood pressure. *Hypertension* 2003; 42(6):1206-52.

17. Al-Dmour J. Fuzzy Logic Based Patients' Monitoring System. Department of Computer Science and Engineering: American university of sharjah student work; 2013. p.100-13.

18. Leite CR, Sizilio GR, Neto AD, Valentim RA, Guerreiro AM. A fuzzy model for processing and monitoring vital signs in ICU patients. *Biomed Eng Online* 2011; 10(1):68.

19. Dutta S, Maeder AJ, Basilakis J. Using fuzzy logic for decision support in vital signs monitoring. Conference of Australasian Workshop on Artificial Intelligence in Health, December 3, 2013; Germany; 2013. P. 29-33.

20. Asiye K, Ayat S. Implementing a decision support system based on probabilistic neural network for diagnosing breast cancer type. *Iran J Breast Dis* 2015; 8(3):34-41.

21. Mokeddem S, Atmani B, Mokaddem M. Supervised feature selection for diagnosis of coronary artery disease based on genetic algorithm. First International Conference on Computational Science and Engineering, May 18 – 19, 2013; Dubai, UAE. p.41-51.

22. Soltani TS, Langarizadeh M, Ghaneei M. Designing a decision support system for diagnosing pulmonary injuries in chemical victims. *J Military Med* 2014; 16(3):161-7. [Persian]

23. Zhao Y, Wang S, Xiao F. A statistical fault detection and diagnosis method for centrifugal chillers based on exponentially-weighted moving average control charts and support vector regression. *Appl Therm Eng* 2013; 51(1):560-72.

24. Koh, Piotrowski, Kumanyika, Fielding. Healthy people: a 2020 vision for the social determinants approach. *Health Educ Behav* 2011; 38(6):551-7.

25. Elliott WJ. The economic impact of hypertension. *Clin Hypertens* 2003; 5(3):3-13.

26. Coca A. Economic benefits of treating high-risk hypertension with angiotensin II receptor antagonists (blockers). *Clin Drug Investig* 2008; 28(4):211-220.

قدردانی به عمل می آید.

## منابع

1. Begum MM, Islam MA, Akter A, Yasmin T, Faruque MO. Status of hypertensive patients of Bangladesh-A survey study. *J Health Admin* 2015; 3(1):40-48.

2. Roger VL, Go AS, Lloyd-Jones DM, Adams RJ, Berry DJ, Brown TM, et al. Heart disease and stroke statistics—2011 update: a report from the American Heart Association. *Circulation* 2011; 123(4):18.

3. Arwood MJ, Cavallari LH, Duarte JD. Pharmacogenomics of hypertension and heart disease. *Curr Hypertens Rep* 2015; 17(9):76.

4. Abouei V, Sharifian H, Towhidkhan F, Nafisi V, Abouei H. Using neural network in order to predict hypotension of hemodialysis patients. In: Electrical Engineering. 19th Iranian Conference on, May 17-19, 2011; Tehran, Iran; 2011. p. 1-4.

5. Dastmalchi A. Beat-to-beat estimation of blood pressure by artificial neural network. Department of Mechanical Engineering: University of Ottawa; 2015. p.89-13.

6. Langarizadeh M, Sadr-Ameli M, Soleymani M. Development of vital signs monitoring decision support system for coronary care unit inpatients. *J Health Admin* 2017; 20(67):۷۰-۸۷.

7. Shewhart WA. Economic control of quality of manufactured product. ASQ Quality Press, 1931.

8. Soleymanian M, Khedmati M, Mahlooji H. Phase II monitoring of binary response profiles. *Sci Iran Trans E, Industrial Eng* 2013; 20(6):2238.

9. Montgomery DC. Introduction to statistical quality control. John Wiley & Sons, 2007.

10. Sheykhi S, Alizadeh Masoumian M, Saei fare A, Jamshidi H. Designing a fuzzy controller to control patient's blood pressure. 2th National congress of iranian new technologies with the aim of achieving sustainable development, Sep 1-11, 2015; Tehran, Iran; 2015. p.1-9. [Persian]

11. Morton A, Clements A, Whitby M. Hospital adverse events and control charts: the need for a new paradigm. *J Hosp Infect* 2009; 73(3): 225-31.

12. Yegnanarayana B. Artificial neural networks. PHI Learning Pvt. Ltd., 200.

13. Ghaemi MM, Moghaddasi H, Kazemi A. Using clinical decision support systems to differentiate cardiac from non-cardiac chest pain. *J Hospital* 2017; 16(1):9-16. [Persian]

14. Hori Y, Toyoshima H, Kondo T, Tamakoshi K, Yatsuya H, Zhu Sh, et al. Gender and age differences in lifestyle factors related to hypertension in middle-aged civil service employees. *J Epidemiology* 2003; 13(1):38-47.

15. McEniery C, Ben-Shlomo Y, May

## Providing a decision-making model for continuous monitoring of patient's hypertension using artificial neural network and quality control charts

**Farzad Firouzi Jahantig**, PhD, Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran (\*Corresponding author). [firouzi@eng.usb.ac.ir](mailto:firouzi@eng.usb.ac.ir)  
**Atefeh Batani**, Student of Master of Industrial Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

### Abstract

**Background:** Heart patients with hypertension and myocardial infarction and hemodialysis patients are at risk of lowering of blood pressure during hemodialysis. Therefore, continuous monitoring of blood pressure in health centers is a priority for deciding the type of therapeutic treatment in these patients. The aim of this study was to provide a decision-making model based on neural network and quality control charts for monitoring and continuous monitoring of blood pressure.

**Methods:** This was an applied-developmental study carried out in cross-sectional method during 2014 to 2015, on 175 patients with hypertension in Ali ibn Abi Talib Hospital of Zahedan. The actual behavior of the systolic and diastolic blood pressure of these patients under the online model and its expected behavior was studied under the Offline model and in the form of an artificial neural network. By evaluating the true behavior of patients with their modeled blood pressure, residual values are produced and introduced as inputs of EWMA quality control charts in two steps to determine the state of the patient out of control and determine the status of the patient.

**Results:** Highest and lowest total rate of accuracy of the proposed model, in the state of the patient out of control stage were 98.75 and 95% in the status of the patient stage, respectively, 83.75% and 70%. Narrower control limits with a confidence level (95.45% confidence interval) in the state of the patient out of control stage and more open limits with a confidence level (99.73% confidence interval) in the status of the patient stage. The higher overall total accuracy rate and lower error rates are provided in the model.

**Conclusion:** According to the results of the research in regard to the field of statistical quality control, ease of visual comprehension, affordability and attention to the last critical condition of the patient, it is a model suitable for physicians and patients for healthcare decision-makings.

**Keywords:** Decision making model, Blood pressure monitoring, Neural network, Quality control graph