مدیریت تولید و عملیات، دوره پنجم، پیاپی(۹)، شماره (۲)، پاییز و زمستان ۱۳۹۳
دریافت: ۹۱/٦/۱۸ پذیرش: ۹۲/۳/۲۵
صص: ۳٦- ۲۱

پایش تغییرپذیری فرآیندهای چند مشخصه وصفی و متغیر با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

امیرحسین امیری[۱*]، محمدرضا ملکی[۲] و محمدهادی دورودیان[۳]
۱- دانشیار دانشکده فنی و مهندسی گروه مهندسی صنایع، دانشگاه شاهد، تهران
۲- کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشکده فنی ومهندسی دانشگاه شاهد، تهران،
۳- دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه یزد، یزد،

چکیده

امروزه در برخی محیط‌های تولیدی یا خدماتی، کیفیت محصول یا عملکرد فرآیند به وسیله ترکیبی از مشخصه‌های کیفی متغیر و وصفی همبسته توصیف می‌گردد. بر اساس آخرین اطلاعات مؤلفان، تا کنون هیچ روشی برای پایش ماتریس واریانس- کوواریانس این گونه فرآیندها ارائه نشده است. در این مقاله، یک شبکه عصبی مصنوعی برای پایش تغییرپذیری یک فرآیند چند مشخصه وصفی و متغیر ارائه شده است. شبکه ارائه شده نه تنها قادر به کشف وضعیت‌های خارج از کنترل بوده، بلکه می تواند مشخصه /مشخصه‌های عامل انحراف در فرآیند را نیز شناسایی کند. کارایی روش ارائه شده با استفاده از یک مثال عددی بر اساس معیارهای متوسط طول دنباله و درصد تشخیص درست مشخصه /مشخصه‌های کیفی عامل انحراف بررسی شده است. همچنین عملکرد شبکه طراحی شده در پایش ماتریس واریانس- کوواریانس فرآیندهای چند مشخصه وصفی و متغیر با دو روش آماری پایش ماتریس واریانس- کوواریانس برای مشخصه‌های کیفی متغیر که در این مقاله برای پایش فرآیندهای چند متغیره- چند مشخصه توسعه داده شده اند، مقایسه شده است. نتایج مثال عددی نشان می‌دهد که شبکه عصبی طراحی شده عملکرد بهتری در کشف وضعیت‌های مختلف خارج از کنترل نسبت به روش های آماری توسعه داده شده دارد و همچنین به خوبی قادر به تشخیص مشخصه(های) کیفی عامل انحراف در فرآیند است.

واژه‌های کلیدی: شبکه پرسپترون چند لایه، شبکه عصبی مصنوعی، فرآیند چند مشخصه وصفی و متغیر، کنترل فرآیند آماری، متوسط طول دنباله.

*نویسنده مسوول: Amiri@shahed.ac.ir

۱- مقدمه

در برخی از محیط‌های تولیدی یا خدماتی، کیفیت محصول بر حسب تنها یک مشخصه کیفی بیان می‌شود. در این‌گونه فرآیندها، نمودارهای کنترل تک متغیره مانند $\overline{X}/R$ و $\overline{X}/S$ و همچنین نمودارهای کنترل تک مشخصه وصفی از قبیل: p، c، u و غیره برای پایش پارامترهای فرآیند ارائه شده اند(برای اطلاعات بیشتر رک. مونتگومری، ۲۰۰۵).

اما در بسیاری از موارد، بیش از یک متغیر یا مشخصه وصفی نشاندهنده کیفیت محصول یا عملکرد فرآیند هستند. در این شرایط، استفاده از نمودارهای کنترل جداگانه باعث افزایش احتمال خطای نوع ۱ کل نمودار و نادیده گرفتن ساختار همبستگی بین مشخصه‌های کیفی همبسته می‌شود. برای اطلاعات بیشتر در مورد نمودارهای کنترل چند متغیره و چند مشخصه وصفی، به ترتیب به مقالات مروری برسیمیس و همکاران (۲۰۰۷) و توپالیدو و ساراکیس (۲۰۰۹) مراجعه شود.

امروزه استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی در پایش فرآیندهای چند متغیره و چند مشخصه وصفی رو به گسترش است و اخیراً تحقیقات زیادی در این زمینه انجام گرفته که معمولاً نتایج رضایت بخشی را نیز به همراه داشته است. به طور کلی، ادبیات این حوزه را می‌توان به سه دسته کلی کاربرد شبکه های عصبی در فرآیندهای چند متغیره، چند مشخصه وصفی و همچنین چند مشخصه وصفی و متغیر تقسیم‌بندی نمود. از جمله مقالاتی که در آنها از شبکه عصبی برای پایش فرآیندهای چند متغیره و یا تشخیص عامل (عوامل) انحراف در این فرآیندها استفاده شده است، می‌توان به مقالات زیر اشاره کرد:

وانگ و چن (۲۰۰۲) مدلی مبتنی بر شبکه عصبی به منظور کشف شیفت‌های مختلف در بردار میانگین یک فرآیند چند متغیره و طبقه‌بندی اندازه این شیفت‌ها بر اساس معیار فازی پیشنهاد نمودند. لو و همکاران (۲۰۰۳) روشی مبتنی بر شبکه عصبی به منظور کشف تغییرات در ماتریس واریانس- کوواریانس مشخصه‌های کیفی چند متغیره تحت این فرض که بردار میانگین فرآیند تحت کنترل است، ارائه نمودند. ذوریاس ساتین و همکاران (۲۰۰۳) یک روش طبقه‌بندی مبتنی بر شبکه عصبی به منظور کشف الگو در یک فرآیند دو متغیره ارائه نمودند. نیاکی و عباسی (۲۰۰۵) یک شبکه عصبی پرسپترون برای تشخیص متغیرهای عامل انحراف در بردار میانگین مشخصه های کیفی چند متغیره زمانی که از نمودار کنترل مربع تی هشدار دریافت می‌شود، ارائه نمودند. آپاریسی و همکاران (۲۰۰۶) مدلی مبتنی بر شبکه عصبی به منظور تشخیص متغیرهای عامل انحراف در فرآیند بعد از این که نمودار کنترل مربع تی حالت خارج کنترل را نشان می‌داد، ارائه کردند. گوه (۲۰۰۷) مدلی مبتنی بر شبکه عصبی ارائه داد که قادر به شناسایی و کمی نمودن شیفت‌های مختلف در بردار میانگین مشخصه‌های کیفی در یک فرآیند دو متغیره بود. هوارنگ (۲۰۰۸) یک تشخیص دهنده مبتنی بر شبکه عصبی به منظور کشف شیفت در بردار میانگین مشخصه‌های کیفی یک فرآیند چند متغیره ارائه داد. یو و زی (۲۰۰۹) و یو و همکاران (۲۰۰۹) یک مدل یادگیرنده به منظور پایش و همچنین تشخیص هشدارهای خارج از کنترل در فرآیندهای چند متغیره ارائه دادند. هوارنگ و وانگ (۲۰۱۰) یک تشخیص دهنده مبتنی بر شبکه عصبی به منظور کشف شیفت در بردار میانگین و همچنین تشخیص عوامل انحراف در فرآیندهای چند متغیره خود همبسته ارائه دادند. چنگ و چنگ (۲۰۱۰) روشی بر اساس شبکه عصبی به منظور کشف شیفت در واریانس مشخصه‌های کیفی در فرآیندهای دو متغیره ارائه نمودند. احمدزاده (۲۰۱۲) از شبکه عصبی برای شناسایی زمان

وقوع تغییر پله‌ای در بردار میانگین مشخصه‌های کیفی یک فرآیند چند متغیره زمانی که از یک نمودار کنترل میانگین متحرک موزون نمایی چند متغیره هشدار دریافت می‌کند، استفاده نمود. در مقالات زیر از شبکه عصبی مصنوعی به منظور پایش فرآیندهای چند مشخصه وصفی استفاده شده است:

نیاکی و عباسی (۲۰۰۸) یک شبکه پرسپترون چند لایه برای پایش یک فرآیند چند مشخصه وصفی ارائه دادند. شبکه عصبی ارائه شده نه تنها قادر به کشف وضعیت‌های خارج از کنترل بوده، بلکه توانایی شناسایی مشخصه‌های وصفی عامل انحراف در میانگین فرآیند را نیز داراست. نیاکی و نساجی (۲۰۱۱) شبکه عصبی ارائه شده توسط المان (۱۹۹۰) را برای طبقه‌بندی شیفت‌های مختلف در بردار میانگین فرآیندهای چند مشخصه وصفی خودهمبسته و همچنین، شناسایی مشخصه‌های وصفی عامل انحراف در این گونه فرآیندها توسعه دادند. برای اطلاعات بیشتر در مورد کاربرد شبکه های عصبی مصنوعی در کنترل فرآیندهای چند متغیره و چند مشخصه وصفی به مقاله مروری ساراکیس (۲۰۱۱) مراجعه شود.

گاهی اوقات کیفیت محصول یا عملکرد فرآیند بر حسب ترکیبی از مشخصه‌های کیفی متغیر و وصفی همبسته بیان می‌گردد. برای مثال، در فرآیند تزریق پلاستیک تعداد عیوب ظاهری و وزن محصول به ترتیب مشخصه‌های کیفی وصفی و متغیر بوده که با یکدیگر همبستگی دارند (دورودیان و امیری، ۲۰۱۱). علی‌رغم روش‌های متعددی که برای پایش فرآیندهای چند متغیره و چند مشخصه وصفی به صورت جداگانه ارائه شده، تحقیقات اندکی در خصوص پایش همزمان مشخصه‌های کیفی وصفی و متغیر همبسته انجام شده است. از جمله کنگ و برنمن (۲۰۱۱) روشی برای محاسبه حدود اطمینان برای نرخ خرابی مشخصه‌های کیفی متغیر و وصفی مستقل به صورت همزمان پیشنهاد نموده‌اند، اما شرط مستقل بودن ترکیبی از مشخصه های کیفی متغیر و وصفی در بسیاری از فرآیندها برقرار نیست. دورودیان و امیری (۲۰۱۱) روشی برای پایش فرآیندهای چند مشخصه وصفی و متغیر بر اساس تکنیک تبدیل توانی ارائه نمودند. بر اساس آخرین اطلاعات مولفان، تنها یک مقاله در زمینه استفاده از شبکه های عصبی در پایش فرآیندهای چند مشخصه وصفی و متغیر ارائه گردیده است. ملکی و همکاران (۲۰۱۲) یک شبکه عصبی مصنوعی به منظور تشخیص وضعیت‌های خارج از کنترل در میانگین فرآیندهای چند مشخصه وصفی و متغیر و همچنین، تشخیص مشخصه (مشخصه‌های) کیفی عامل انحراف در این گونه فرآیندها ارائه دادند. با بررسی ادبیات موضوع می‌توان به این نتیجه رسید که اکثر مقالات ارائه شده در حوزه استفاده از شبکه های عصبی در فرآیندهای چند متغیره، چند مشخصه وصفی و همچنین چند مشخصه وصفی و متغیر در مورد پایش میانگین این گونه فرآیندها بوده است و تحقیقات اندکی در زمینه استفاده از شبکه های عصبی در پایش ماتریس واریانس- کوواریانس این گونه فرآیندها انجام شده است. از طرفی، همان‌گونه که علاقه‌مند به پایش میانگین فرآیندهای مختلف هستیم، پایش تغییرپذیری آن‌ها نیز ضروری است.

در این مقاله یک شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه برای پایش تغییرپذیری فرآیندهای چند مشخصه وصفی و متغیر ارائه شده است. شبکه ارائه شده علاوه بر کشف وضعیت‌های خارج از کنترل، قادر به شناسایی مشخصه (مشخصه‌های) کیفی عامل انحراف در فرآیند نیز هست. این مقاله برای پایش فرآیند در فاز ۲ ارائه می‌شود و در نتیجه پارامترهای توزیع مشخصه‌های کیفی اعم از بردار میانگین و ماتریس واریانس- کوواریانس بر اساس اطلاعات گذشته معلوم فرض می‌شوند. ساختار مقاله

بدین صورت است که در بخش دوم روش شناسی تحقیق ارائه شده است. در بخش سوم دو روش آماری که برای پایش تغییرپذیری فرآیندهای چند متغیره ارائه شده اند، توسعه داده شده و از آنها در پایش فرآیندهای چند مشخصه وصفی و متغیر استفاده می‌کنیم. سپس در بخش چهارم شبکه عصبی طراحی شده شامل معماری شبکه و نحوه آموزش آن بیان می‌شود. در بخش پنجم مقاله، پایش ماتریس واریانس- کوواریانس با استفاده از شبکه عصبی ارائه شده تشریح می‌گردد. در بخش ششم توانایی شبکه عصبی ارائه شده در کشف وضعیت‌های خارج از کنترل و نیز شناسایی مشخصه (مشخصه‌های) کیفی عامل انحراف در فرآیند در قالب یک مثال عددی با استفاده از شبیه‌سازی ارزیابی می‌گردد و نتایج حاصل با دو روش آماری شامل روش تقریب نرمال مجانبی[1] و روش $MEWMS_{AS}$ بر حسب معیار متوسط طول دنباله در حالت‌های خارج از کنترل مقایسه می‌گردد. در بخش هفتم درباره نتایج به کارگیری شبکه عصبی در پایش تغییرپذیری فرآیندهای چندمشخصه وصفی و متغیر و مقایسه نتایج حاصل با روش‌های آماری توسعه داده شده بحث می‌شود. در نهایت، در بخش انتهایی مقاله نیز به نتیجه گیری و پیشنهادات آتی پرداخته می‌شود.

۲- روش‌شناسی تحقیق

در این مقاله برای پایش ماتریس واریانس- کوواریانس مشخصه‌های کیفی متغیر و وصفی همبسته از یک شبکه عصبی پرسپترون چند لایه استفاده شده است. از مزیت‌های شبکه عصبی مصنوعی این است که این شبکه ها به مفروضاتی در مورد توزیع مشخه‌های کیفی نیازی ندارند و باعث ساده شدن تفسیر نمودارهای کنترل می‌شوند. به منظور طراحی شبکه عصبی مورد نظر باید معماری شبکه از قبیل تعداد لایه‌های پنهان، تعداد نرون‌ها در لایه ورودی، تعداد نرون‌ها در لایه خروجی، تعداد نرون‌ها در لایه(های) پنهان تعیین گردند. همچنین بردارهای ورودی، مقادیر هدف متناسب با بردارهای ورودی و الگوریتم مناسب برای آموزش شبکه نیز باید مشخص شوند. در این مقاله، تولید بردارهای ورودی شبکه عصبی طراحی شده بر اساس شبیه‌سازی و با استفاده از تابع گاوسیان کاپولا[2] در نرم‌افزار MATLAB انجام شده است. از آنجا که تا کنون هیچ روش آماری برای پایش ماتریس واریانس- کوواریانس مشخصه‌های کیفی متغیر و وصفی همبسته ارائه نشده است، در این مقاله دو نمودار کنترل که برای پایش تغییرپذیری فرآیندهای چند متغیره ارائه شده اند، توسعه داده شده و از آنها در پایش تغییرپذیری فرآیندهای چندمشخصه وصفی و متغیر استفاده شده است. عملکرد شبکه عصبی ارائه شده بر حسب معیار متوسط طول دنباله به ازای شیفت‌های مختلف با روش‌های آماری توسعه داده شده در این مقاله مقایسه شده است. همچنین عملکرد شبکه عصبی ارائه شده در تشخیص مشخصه (مشخصه‌های) کیفی عامل انحراف نیز بررسی شده است.

۳- توسعه دو روش آماری چند متغیره به منظور پایش مشخصه‌های کیفی متغیر و وصفی همبسته

در این بخش دو روش آماری که برای پایش ماتریس واریانس- کوواریانس فرآیندهای چند متغیره ارائه شده اند، توسعه داده شده و از آنها به منظور پایش تغییرپذیری فرآیندهای چند مشخصه وصفی و متغیر استفاده می‌کنیم.

۳-۱- روش تقریب نرمال مجانبی

مونتگومری و وادس‌ورث (۱۹۷۲) این روش را به منظور پایش تغییرپذیری فرآیندهای چند متغیره ارائه دادند. به منظور توسعه این روش و استفاده از آن در پایش فرآیندهای چند مشخصه وصفی و متغیر، ابتدا با استفاده از

روش معکوس نورتا توزیع مشخصه‌های کیفی فرآیند را به توزیع نرمال استاندارد چند متغیره تقریب می‌زنیم. روش معکوس نورتا یک روش تغییر فرم داده‌ها است که برای تبدیل توزیع داده‌های غیر نرمال به نرمال استاندارد استفاده می‌شود. برای اطلاعات بیشتر در خصوص روش معکوس نورتا به نیاکی و عباسی (۲۰۰۹) مراجعه شود. سپس دترمینان ماتریس واریانس- کوواریانس نمونه‌ها؛ یعنی $|\boldsymbol{S}|$ را محاسبه نموده، از آن به عنوان آماره نمودار استفاده می‌کنیم. در این روش حدود کنترل بالا و پایین l انحراف معیار به صورت $E|\boldsymbol{S}|\pm l\sqrt{\mathrm{Var}|\boldsymbol{S}|}$ بیان می‌شوند. می‌توان نشان داد که مقادیر $\mathrm{E}|\boldsymbol{S}|$ و $\mathrm{Var}|\boldsymbol{S}|$ به ترتیب از روابط (۱) و (۲) حاصل می‌شوند:

$$\mathrm{E}(|\mathbf{S}|)=\mathrm{b}_1|\Sigma|, \qquad (۱)$$

$$\mathrm{Var}(|\mathbf{S}|)=\mathrm{b}_2|\Sigma|^2. \qquad (۲)$$

در یک فرآیند با p مشخصه کیفی متغیر و q مشخصه کیفی وصفی با اندازه نمونه‌های n تایی، مقادیر b_1 و b_2 با استفاده از روابط (۳) و (٤) محاسبه می‌گردند. شایان ذکر است که با استفاده از روش معکوس نورتا یک بردار نرمال $p+q$ متغیره به دست آمده است.

$$b_1=\frac{1}{(n-1)^{p+q}}\prod_{i=1}^{p+q}(n-i), \qquad (۳)$$

$$b_2=\frac{1}{(n-1)^{2(p+q)}}\prod_{i=1}^{p+q}(n-i)\left[\prod_{j=1}^{p+q}(n-j+2)-\prod_{j=1}^{p+q}(n-j)\right]. \qquad (۴)$$

بنابراین حدود کنترل بالا (UCL) و پایین (LCL) از روابط (۵) و (٦) به دست می‌آیند:

$$UCL=|\Sigma|(\mathrm{b}_1+1\times\mathrm{b}_2^{1/2}), \qquad (۵)$$

$$LCL=|\Sigma|(\mathrm{b}_1-1\times\mathrm{b}_2^{1/2}). \qquad (٦)$$

با توجه به رابطه (۱) می‌توان نتیجه گرفت که $|\mathbf{S}|/b_1$ یک برآورد کننده بدون اریب برای تخمین دترمینان ماتریس واریانس- کوواریانس یا $|\Sigma|$ است. بنابراین هنگامی که $|\Sigma|$ معلوم نباشد، $|\mathbf{S}|/b_1$ (که با استفاده از نمونه‌های اولیه به‌دست می‌آید) جایگزین آن می‌شود.

۳-۲- روش $\mathbf{MEWMS_{AS}}$

معمار و نیاکی (۲۰۱۱) این روش را به منظور پایش تغییرپذیری فرآیندهای چند متغیره مبتنی بر آماره S_t ارائه نمودند. فرآیندی را در نظر بگیرید که کیفیت محصول به وسیله ترکیبی از p مشخصه کیفی متغیر و q مشخصه کیفی وصفی همبسته بیان می‌شود. به منظور توسعه نمودار کنترل $\mathrm{MEWMS_{AS}}$ و استفاده از آن در پایش مشخصه‌های کیفی متغیر و وصفی همبسته، ابتدا با استفاده از روش معکوس نورتا، توزیع مشخصه‌های کیفی فرآیند را به توزیع نرمال استاندارد $p+q$ متغیره تقریب می‌زنیم. سپس با استفاده از رابطه زیر که اولین بار توسط گلنبی و هوشمند (۱۹۹۹) ارائه شده است، مشخصه‌های کیفی را از هم مستقل می‌نماییم:

$$\mathbf{x}_{tk}=\boldsymbol{\Sigma}_0^{-1/2}(\mathbf{y}_{tk}-\boldsymbol{\mu}_0). \qquad (۷)$$

در رابطه (۷)، $\boldsymbol{\mu}_0$ و $\boldsymbol{\Sigma}_0$ به ترتیب برآوردهای بردار میانگین و ماتریس واریانس- کوواریانس مشخصه‌های کیفی در فاز ۱ هستند. $\mathbf{y}_{tk}=(y_{tk1},y_{tk2},\ldots,y_{tk(p+q)})'$ نیز عبارت است از t امین بردار مشاهدات مربوط به k امین نمونه که $t=1,2,\ldots$ و $k=1,2,\ldots,n$. در مرحله بعد آماره S_t با ضریب هموارسازی بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$S_t=(1-\lambda)S_{t-1}+\frac{\lambda}{n}\sum_{k=1}^{n}\mathbf{x}_{tk}\mathbf{x}_{tk}^{'},\ S_1=\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\mathbf{x}_{1k}\mathbf{x}_{1k}^{'}. \qquad (۸)$$

آماره نمودار کنترل $\mathrm{MEWMS_{AS}}$ جمع عناصر S_t بوده و حدود کنترل آن نیز از روابط (۹) و (۱۰) حاصل می‌شود:

$$UCL_{MEWMS_{AS}} = \frac{p+q}{\nu}\chi^2_{\frac{\alpha_{AS}}{2},\nu}, \qquad (۹)$$

$$LCL_{MEWMS_{AS}} = \frac{p+q}{\nu}\chi^2_{1-\frac{\alpha_{AS}}{2},\nu}, \qquad (۱۰)$$

در روابط (۹) و (۱۰)، ν درجه آزادی توزیع خی‌دو بوده که با استفاده از رابطه (۱۱) به دست می‌آید:

$$\nu = (n(2-\lambda))/\lambda. \qquad (۱۱)$$

٤- شبکه عصبی پیشنهادی برای پایش تغییرپذیری فرآیند

امروزه محققان حوزه مهندسی کیفیت به طور روزافزونی به استفاده از شبکه های عصبی که اولین بار توسط مک‌کولچ و پیت (۱۹٤۳) معرفی شدند، علاقه‌مند هستند. از مسائل مهمی که در مورد شبکه های عصبی مطرح است، انتخاب معماری مناسب برای آنهاست. در ادبیات موضوع بیان شده است که به علت عدم وجود روشی سیستماتیک در تعیین بهترین معماری برای شبکه های عصبی، یک رویکرد تجربی می‌تواند بهترین گزینه را فراهم آورد. تاکنون معماری‌های متنوعی برای شبکه های عصبی بیان شده که یکی از پرکاربردترین آنها در کنترل فرآیند آماری شبکه های پرسپترون چند لایه هستند. در این مقاله نیز از یک شبکه عصبی پرسپترون چند لایه برای پایش تغییرپذیری یک فرآیند چند مشخصه وصفی و متغیر استفاده شده است. معماری شبکه عصبی ارائه شده در بخش ٤-۱ به طور کامل بیان می‌گردد.

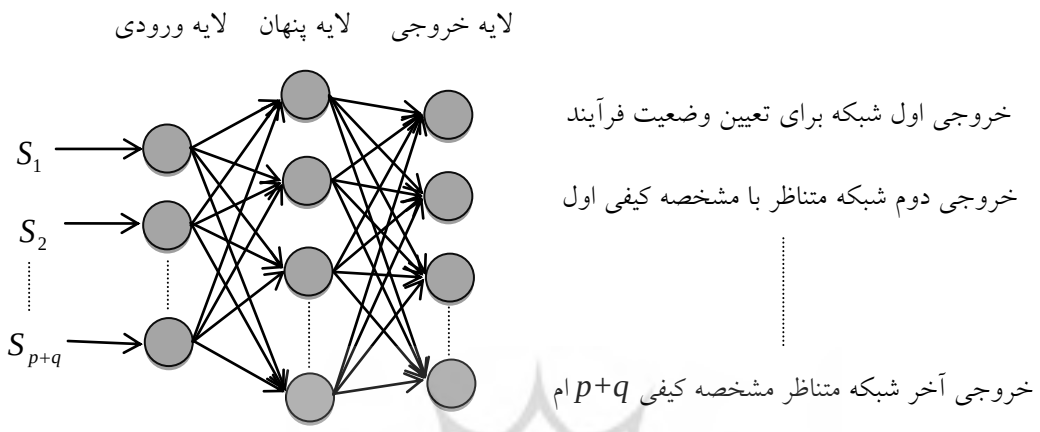
قاعده آموزش شبکه پرسپترون چند لایه، قاعده پس انتشار خطا نامیده می‌شود. در این قاعده، ابتدا خطای نرون‌های خروجی بر اساس تفاوت بین مقادیر هدف و خروجی شبکه محاسبه می‌شود. سپس خطای نرون‌های لایه پنهان قبلی بر اساس مقادیر خطای لایه خروجی محاسبه می‌گردد. این کار از لایه خروجی به سمت لایه ورودی ادامه می‌یابد و در هر مرحله سهم وزن هر نرون در خطای کل تعیین شده و بر اساس آن وزن‌ها تغییر می‌کنند. این فرآیند تا زمانی که خطای کل از مقداری از پیش تعیین شده کمتر شود، ادامه می‌یابد. نحوه آموزش شبکه عصبی طراحی شده در بخش ٤-۲ تشریح می‌گردد.

٤-۱- معماری شبکه عصبی طراحی شده

در این بخش معماری شبکه عصبی پیشنهادی از قبیل: تعداد لایه‌های پنهان، تعداد نرون‌های هر لایه پنهان، تعداد نرون‌های لایه ورودی و همچنین، تعداد نرون‌های لایه خروجی بیان می‌شوند. همچنین، تابع محرک استفاده شده نیز بیان می‌گردد.

در شبکه عصبی طراحی شده به تعداد مجموع مشخصه‌های کیفی متغیر و وصفی که بیانگر کیفیت محصول هستند، نرون در لایه ورودی در نظر گرفته می‌شود. به عبارت دیگر، اگر تعداد مشخصه‌های کیفی متغیر و وصفی به ترتیب برابر p و q باشد، تعداد نرون‌های موجود در لایه ورودی برابر $p+q$ خواهد بود. ورودی شبکه نیز به صورت بردار ستونی $[S_1,S_2,\ldots,S_{p+q}]^{\mathrm{T}}$ به آن وارد می‌شود که S_i برابر انحراف معیار مشخصه کیفی i ام در نمونه گرفته شده است. تعداد لایه‌های پنهان و همچنین تعداد نرون‌های موجود در هر لایه پنهان به وسیله سعی و خطا تعیین می‌شوند و روش مشخصی برای تعیین آنها وجود ندارد. در شبکه عصبی طراحی شده تنها از یک لایه پنهان استفاده شده است. همچنین تعداد نرون‌های موجود در لایه خروجی یکی بیشتر از تعداد نرون‌های لایه ورودی است. بنابراین، به تعداد $p+q+1$ عدد نرون در لایه خروجی خواهیم داشت.

اولین نرون در لایه خروجی نشان‌دهنده وضعیت‌های تحت کنترل یا خارج از کنترل بودن کل فرآیند بوده و بقیه برای تشخیص مشخصه (مشخصه‌های) کیفی عامل انحراف در فرآیند استفاده می‌شوند. برای مثال، خروجی نرون دوم نشان می‌دهد که آیا مشخصه کیفی اول عامل هشدار خارج از کنترل بوده است و به همین ترتیب تا نرون آخر که نشان می‌دهد که آیا مشخصه کیفی $p+q$ ام عامل هشدار خارج از کنترل بودن تغییرپذیری فرآیند بوده است.



شکل (۱): معماری شبکه عصبی طراحی شده

شکل (۱) معماری شبکه عصبی پیشنهادی را نشان می‌دهد. همچنین، در این مقاله از تابع سیگموید به عنوان تابع محرک استفاده شده است. این تابع، یکی از پرکاربردترین توابع محرک است که مقادیر خروجی آن در بازه [۰،۱] قرار می‌گیرند. رابطه (۱۲) بیان‌کننده تابع سیگموید است:

$$f(n)=\frac{1}{1+e^{-cn}} \qquad (۱۲)$$

در رابطه (۱۲)، c یک مقدار ثابت مثبت، n ورودی و $f(n)$ مقدار خروجی تابع سیگموید است. برای جزئیات بیشتر در مورد توابع محرک به مهرترو (۱۹۹۷) مراجعه شود. شایان ذکر است که در این مقاله برای ارزیابی عملکرد شبکه طراحی شده از معیار MSE استفاده شده است

.

٤-۲- آموزش شبکه عصبی طراحی شده

بعد از تعیین ساختار شبکه عصبی مورد نظر، باید آن را به گونه‌ای آموزش داد که بتواند وضعیت‌های خارج از کنترل را به سرعت کشف کند و همچنین مشخصه (مشخصه‌های) عامل انحراف در فرآیند را به درستی شناسایی نماید. برای آموزش شبکه مورد نظر باید داده‌های ورودی و مقادیر هدف آنها در دو حالت تحت کنترل و خارج از کنترل تولید شوند. در روش ارائه شده تعداد داده‌های آموزش برای تمامی حالت‌های خارج از کنترل برابر در نظر گرفته می‌شوند. همچنین، به تعداد مجموع داده‌های آموزش در حالت‌های خارج از کنترل، داده‌های تحت کنترل تولید می‌شوند. شبکه عصبی مورد نظر به نحوی آموزش داده می‌شود که برای وضعیت‌های تحت کنترل مقادیر هدف برای تمام نرون‌های لایه خروجی برابر صفر باشند. مقدار صفر در اولین نرون

خروجی نشان‌دهنده آن است که فرآیند در وضعیت تحت کنترل به سر می‌برد. همچنین، مقادیر صفر در بقیه نرون‌های لایه خروجی نشان‌دهنده عدم تغییر در واریانس مشخصه‌های کیفی است. در وضعیت‌های خارج از کنترل نیز مقدار هدف اولین نرون خروجی و همچنین، نرون‌های خروجی که واریانس مشخصه کیفی متناظر آنها تغییر کرده است، برابر یک در نظر گرفته می‌شوند. در این حالت مقدار یک در اولین نرون خروجی نشان‌دهنده خارج از کنترل بودن فرآیند و در بقیه نرون‌های خروجی نشان‌دهنده تغییر واریانس مشخصه کیفی متناظر آن نرون است. شایان ذکر است که در وضعیت‌های خارج از کنترل، مقدار هدف نرون خروجی که واریانس مشخصه کیفی متناظر آن تغییر نکرده است، برابر صفر در نظر گرفته می‌شود.

به منظور آموزش شبکه عصبی مورد نظر، ابتدا برای هر یک از حالات خارج از کنترل به تعداد ۱۰۰ نمونه n تایی از یک فرآیند چند مشخصه وصفی و متغیر تولید می‌کنیم. سپس انحراف معیار هر یک از مشخصه‌های کیفی در نمونه‌ها را به عنوان مقادیر ورودی شبکه محاسبه می‌کنیم. پس از تولید بردارهای ورودی برای حالت‌های خارج از کنترل، بردارهای ورودی مربوط به حالت تحت کنترل بودن فرآیند تولید می‌گردند. بدین منظور به اندازه مجموع بردارهای تولید شده در حالت‌های خارج از کنترل، نمونه‌های n تایی از یک فرآیند تحت کنترل تولید می‌کنیم. در نهایت، با استفاده از بردارهای ورودی تولید شده در تمامی حالت‌ها و مقادیر هدف متناظر آنها شبکه عصبی مورد نظر را با استفاده از قاعده پس انتشار خطا آموزش می‌دهیم. برای مثال، در فرآیندی با سه مشخصه کیفی x_1، x_2 و x_3 مجموعاً هفت حالت خارج از کنترل وجود دارد (تغییر در واریانس یک مشخصه کیفی در سه حالت، تغییر در واریانس دو مشخصه کیفی در سه حالت و نهایتاً تغییر در واریانس هر سه مشخصه کیفی در یک حالت.). بنابراین، مجموعاً ۷۰۰ بردار ورودی برای حالت‌های خارج از کنترل و ۷۰۰ بردار ورودی نیز برای حالت تحت کنترل بودن فرآیند تولید می‌گردد. سپس شبکه عصبی به وسیله مجموعه ۱۴۰۰ بردار ورودی و همچنین، مقادیر هدف آنها و با استفاده از قاعده پس انتشار خطا آموزش داده می‌شود. این توضیحات به طور خلاصه در جدول ۱ آورده شده است:

جدول (۱): تعداد و مقادیر هدف داده های آموزش شبکه

عامل انحراف	بردار هدف	تعداد داده‌ها	وضعیت فرآیند
-	$[۰،۰،۰،۰]^T$	۷۰۰	تحت کنترل
x_1	$[۱،۱،۰،۰]^T$	۱۰۰	خارج از کنترل
x_2	$[۱،۰،۱،۰]^T$	۱۰۰	خارج از کنترل
x_3	$[۱،۰،۰،۱]^T$	۱۰۰	خارج از کنترل
x_1 و x_2	$[۱،۱،۱،۰]^T$	۱۰۰	خارج از کنترل
x_1 و x_3	$[۱،۱،۰،۱]^T$	۱۰۰	خارج از کنترل
x_2 و x_3	$[۱،۰،۱،۱]^T$	۱۰۰	خارج از کنترل
x_1، x_2 و x_3	$[۱،۱،۱،۱]^T$	۱۰۰	خارج از کنترل

۵- پایش ماتریس واریانس- کوواریانس با استفاده از شبکه عصبی طراحی شده

پس از مرحله آموزش، شبکه عصبی طراحی شده باید توانایی کشف شیفت‌های مختلف در ماتریس واریانس- کوواریانس را داشته باشد و همچنین، بتواند مشخصه (مشخصه‌های) کیفی عامل انحراف

در فرآیند را نیز به درستی شناسایی نماید. زمانی که یک بردار ورودی به شبکه طراحی شده وارد می‌شود، ابتدا به مقدار اولین نرون خروجی شبکه دقت می‌شود. اگر فرآیند تحت کنترل تشخیص داده شود، به مقادیر دیگر نرون‌های خروجی توجه نمی‌شود، در غیر این‌صورت به منظور شناسایی مشخصه (مشخصه‌های) کیفی عامل انحراف در فرآیند، مقادیر دیگر نرون‌های خروجی مورد توجه قرار می‌گیرند، اما باید توجه داشت که به دلیل وجود خطا، مقدار اولین نرون خروجی معمولاً به طور دقیق برابر صفر یا یک نخواهد بود. بنابراین، باید حد آستانه نرون اول که عددی در بازه [۰،۱] است، تعیین شود و با مقایسه خروجی نرون اول شبکه با آن در مورد تحت کنترل یا خارج از کنترل بودن فرآیند تصمیم‌گیری شود. برای تعیین حد آستانه اولین نرون خروجی ابتدا به تعداد ۱۰۰۰۰ نمونه n تایی از یک فرآیند تحت کنترل گرفته، انحراف معیار مشخصه‌های کیفی در هر نمونه را به طور جداگانه محاسبه می‌کنیم. سپس مقادیر محاسبه شده را به عنوان ورودی و به صورت یک بردار ستونی به شبکه عصبی طراحی شده وارد و مقادیر اولین نرون خروجی شبکه را به صورت صعودی مرتب می‌کنیم. در نهایت، بر اساس مقدار متوسط طول دنباله در حالت تحت کنترل (ARL_0) مورد نظر، درایه $10000\times(1-1/ARL_0)$ ام بردار حاصل را به عنوان حد آستانه اولین نرون خروجی در نظر میگیریم. برای تشخیص مشخصه/ مشخصه‌های کیفی عامل انحراف در فرآیند باید مقادیر حد آستانه برای سایر نرون‌های خروجی نیز مشخص گردند. برای تعیین حد آستانه نرون دوم خروجی به تعداد ۱۰۰۰۰ نمونه n تایی از فرآیندی که واریانس اولین مشخصه کیفی تغییر کرده است، تولید نموده و انحراف معیار هر یک از مشخصه‌های کیفی در نمونه‌ها را به طور جداگانه محاسبه می‌نماییم. سپس مقادیر محاسبه شده را به عنوان ورودی به شبکه عصبی طراحی شده وارد می‌کنیم. حال خروجی دومین نرون شبکه را به طور صعودی مرتب نموده، عددی را به عنوان حد آستانه نرون خروجی دوم در نظر می‌گیریم که ٪۹۰ داده‌ها از آن بزرگ‌تر هستند. سایر مقادیر حد آستانه نرون‌های خروجی نیز همانند حد آستانه نرون دوم تعیین می‌شوند. بدین ترتیب که برای تعیین حد آستانه نرون خروجی i ام به تعداد ۱۰۰۰۰ بردار ورودی مربوط به فرآیندی که واریانس مشخصه کیفی متناظر نرون خروجی i ام تغییر نموده تولید کرده و به عنوان ورودی به شبکه وارد می‌کنیم. حال خروجی i امین نرون شبکه را به طور صعودی مرتب می‌کنیم و عددی را به عنوان حد آستانه در نظر می‌گیریم که ۹۰ ٪ داده‌ها از آن بزرگتر هستند.

بعد از تعیین مقادیر حد آستانه برای تمام نرون‌های خروجی، شبکه طراحی شده آماده به کارگیری به منظور کشف وضعیت‌های خارج از کنترل و همچنین، شناسایی مشخصه (مشخصه‌های) کیفی عامل انحراف در فرآیند است. برای تعیین وضعیت فرآیند تنها به مقدار اولین نرون خروجی شبکه توجه می‌شود. اگر خروجی اول شبکه از حد آستانه نرون اول کمتر باشد، فرآیند تحت کنترل و در غیر این صورت فرآیند خارج از کنترل اعلام می‌شود. در وضعیت‌های خارج از کنترل، برای شناسایی مشخصه (مشخصه‌های) کیفی عامل انحراف به مقادیر نرون‌های خروجی شبکه غیر از نرون اول توجه می‌شود. اگر مقدار خروجی نرونی بیشتر از حد آستانه آن نرون شود، مشخصه کیفی

متناظر آن به عنوان عامل انحراف در فرآیند معرفی می‌شود.

٦- ارزیابی عملکرد شبکه عصبی طراحی شده

فرآیندی را در نظر بگیرید که در آن کیفیت محصول بر حسب ترکیبی از دو مشخصه کیفی همبسته اعم از یک مشخصه وصفی و یک متغیر بازنمایی می‌شود. فرض می‌شود که پارامترهای مشخصه‌های کیفی اعم از بردار میانگین و ماتریس واریانس- کوواریانس بر اساس اطلاعات به دست آمده از فاز ۱ معلوم هستند. بر این اساس، مشخصه کیفی اول (x_1) دارای توزیع پواسون با پارامتر ٤ و مشخصه کیفی دوم (x_2) دارای توزیع نرمال با میانگین ۳ و واریانس ٤ است. ضریب همبستگی بین مشخصه‌های کیفی در این مثال برابر با ۰/۳۵۷ در نظر گرفته می‌شود و از اندازه نمونه‌های ۱۰ تایی برای پایش این فرآیند استفاده می‌شود.

برای طراحی شبکه عصبی مورد نظر، ابتدا باید معماری آن از قبیل: نوع شبکه عصبی، تعداد لایه‌های پنهان و همچنین تعداد نرون‌های موجود در هر لایه مشخص شود. برای این منظور یک شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با دو نرون (تعداد مشخصه‌های کیفی) در لایه ورودی، سه نرون (تعداد مشخصه‌های کیفی به علاوه یک) در لایه خروجی و همچنین ۱۸ نرون در تنها لایه پنهان آن در نظر می‌گیریم. شایسته یادآوری است که تعداد لایه‌های پنهان و همچنین، تعداد نرون‌های هر لایه پنهان به وسیله سعی و خطا تعیین شده اند.

به منظور آموزش شبکه، باید بردارهای ورودی و مقادیر هدف متناظر آنها در حالت‌های تحت کنترل و خارج از کنترل تولید شوند. برای تولید داده‌های آموزش شبکه، ابتدا برای هر یک از حالات خارج از کنترل ۱۰۰ نمونه ۱۰ تایی از فرآیند گرفته و انحراف معیار مشخصه‌های کیفی در هر نمونه را محاسبه و به عنوان ورودی به شبکه وارد می‌کنیم. سپس به تعداد مجموع نمونه‌های گرفته شده در حالت‌های خارج از کنترل، نمونه‌های ۱۰ تایی در حالت تحت کنترل تولید می‌کنیم. در این مثال، ورودی به صورت بردار ستونی $[S_1,S_2]^T$ به شبکه عصبی وارد می‌شود که S_1 و S_2 به ترتیب انحراف معیار مشخصه‌های کیفی اول (x_1) و دوم (x_2) در نمونه‌های گرفته شده هستند. در روش ارائه شده برای تولید دادهای آموزش در حالت‌های خارج از کنترل از شیفت‌هایی که انحراف معیار مشخصه‌های کیفی دو برابر شده، استفاده شده است. حالت‌های خارج از کنترل این مثال عبارتند از:

۱. حالتی که انحراف معیار مشخصه کیفی پواسون (x_1) دو برابر شود. در این حالت، انحراف معیار x_1 و x_2 به ترتیب برابر $\sqrt{\lambda}=$۲×۲ و $\sigma=$۲ خواهند بود.

۲. حالتی که انحراف معیار مشخصه کیفی نرمال (x_2) دو برابر شود. در این حالت، انحراف معیار x_1 و x_2 به ترتیب برابر $\sqrt{\lambda}=$۲ و $\sigma=$۲×۲ خواهند بود.

۳. حالتی که انحراف معیار هر دو مشخصه کیفی دو برابر شود. در این حالت، انحراف معیار x_1 و x_2 به ترتیب برابر $\sqrt{\lambda}=$۲×۲ و $\sigma=$۲×۲ خواهند بود.

با توجه به اینکه سه حالت خارج از کنترل برای فرآیند وجود دارد، مجموعاً ۳۰۰ نمونه تصادفی ۱۰ تایی برای وضعیت‌های خارج از کنترل تولید

می‌شود. سپس به تعداد ۳۰۰ نمونه تصادفی ۱۰ تایی نیز از یک فرآیند تحت کنترل برای آموزش شبکه تولید می‌شود. بنابراین، شبکه عصبی به وسیله ۶۰۰ بردار تصادفی ورودی و همچنین مقادیر هدف آنها و با استفاده از قاعده پس انتشار خطا آموزش داده می‌شود. بعد از مرحله آموزش شبکه عصبی، مقدار ۰/۰۵۷۳ به عنوان مجموع مربعات خطا (MSE) حاصل می‌گردد. اطلاعات مورد نیاز برای تولید داده‌های آموزش شبکه اعم از بردارهای ورودی و مقادیر هدف آنها به طور خلاصه در جدول ۲ نشان داده شده اند.

جدول (۲): اطلاعات مورد نیاز برای آموزش شبکه

عامل انحراف	وضعیت فرآیند	انحراف معیار x_1 (λ)	انحراف معیار x_2 (σ)	تعداد نمونه	بردار هدف
-	تحت کنترل	۲	۲	۳۰۰	$[۰،۰،۰]^T$
x_1	خارج از کنترل	٤	۲	۱۰۰	$[۱،۱،۰]^T$
x_2	خارج از کنترل	۲	٤	۱۰۰	$[۱،۰،۱]^T$
x_1 و x_2	خارج از کنترل	٤	٤	۱۰۰	$[۱،۱،۱]^T$

به منظور مقایسه عملکرد شبکه عصبی طراحی شده با نمودارهای کنترل توسعه یافته تقریب نرمال مجانبی و $MEWMS_{AS}$، پارامترهای نمودارهای کنترل ذکر شده و حد آستانه اولین نرون خروجی شبکه به گونه‌ای تنظیم می‌شوند که مقدار ARL_0 هر سه روش تقریباً برابر ۲۰۰ گردد. بدین ترتیب، می‌توان متوسط طول دنباله در حالت‌های خارج از کنترل شبکه عصبی طراحی شده را با دو روش دیگر مقایسه کرد. به منظور تنظیم پارامترهای نمودار کنترل تقریبی نرمال، با توجه به توضیحات بخش ۳-۱، ابتدا توزیع مشخصه‌های کیفی فرآیند با استفاده از روش معکوس نورتا به توزیع نرمال استاندارد تقریب زده می‌شوند. سپس با در نظر گرفتن حدود کنترل ۳/۵۵ انحراف معیار (l=۳/۵۵) و اندازه نمونه‌های ۱۰ تایی حدود کنترل بالا و پایین نمودار به ترتیب برابر UCL=۲/۹۰٤۷ و LCL=-۱/۲۸۱۵ محاسبه می‌گردند، که با توجه به منفی شدن LCL مقدار آن با صفر جایگزین می‌شود. حال با توجه به این حدود کنترل و بر اساس ۱۰۰۰۰ تکرار، مقدار ARL_0 این روش برابر ۲۰۲/۲۲۳۵ محاسبه می‌شود.

در نمودار کنترل $MEWMS_{AS}$ نیز با توجه به توضیحات بخش ۳-۲، ابتدا توزیع مشخصه‌های کیفی فرآیند با استفاده از روش معکوس نورتا به یک توزیع نرمال استاندارد دو متغیره تقریب زده می‌شود و سپس با استفاده از رابطه (۷) بخش ۳-۲ مشخصه‌های کیفی نرمال استاندارد از هم مستقل می‌شوند. مقدار ARL_0 حاصل از این روش بر اساس مقدار خطای نوع اول ۰/۰۰۵ برابر ۲۱۸/۳۹٤٦ خواهد شد. در این مثال ضریب هموارسازی ( ) روش $MEWMS_{AS}$ برابر ۰/۲ فرض شده است و از اندازه نمونه‌های ۱۰ تایی برای کنترل فرآیند استفاده شده است.

حال باید مقدار حد آستانه اولین نرون خروجی شبکه عصبی طراحی شده به نحوی تعیین گردد که مقدار ARL_0 حاصل از شبکه عصبی تقریباً با دو روش ذکر شده برابر گردد. برای این منظور، ابتدا ۱۰۰۰۰ بردار ستونی از یک فرآیند تحت کنترل تولید و به شبکه عصبی طراحی شده وارد می‌کنیم. بعد از مرتب نمودن خروجی اول شبکه به صورت صعودی، مقدار ۰/۸۹٦ به عنوان حد آستانه اولین نرون خروجی شبکه تعیین می‌گردد.

برای تشخیص مشخصه‌های کیفی عامل انحراف در فرآیند باید مقادیر حد آستانه نرون‌های خروجی دوم و سوم نیز تعیین گردند. برای تعیین مقدار حد آستانه نرون خروجی دوم ۱۰۰۰۰ بردار ستونی از فرآیندی که انحراف معیار مشخصه کیفی اول (x_1) دو برابر شده است، تولید نموده و به شبکه عصبی طراحی شده وارد می‌کنیم. سپس خروجی دوم شبکه را به صورت صعودی مرتب نموده و درایه‌ای که ٪۹۰ داده‌ها از آن بزرگتر هستند (درایه ۱۰۰۰ ام) یعنی مقدار ۰/٤۰۱۰ را به عنوان حد آستانه دومین نرون خروجی در نظر می‌گیریم. به منظور محاسبه حد آستانه نرون خروجی سوم نیز ۱۰۰۰۰ بردار ستونی از فرآیندی که انحراف معیار مشخصه کیفی دوم (x_2) دو برابر شده است، تولید نموده، به شبکه عصبی طراحی شده وارد می‌کنیم. سپس خروجی سوم شبکه را به صورت صعودی مرتب نموده و درایه‌ای که ٪۹۰ داده‌ها از آن بزرگتر هستند (درایه ۱۰۰۰ ام) یعنی مقدار ۰/۲۵۲٦ را به عنوان حد آستانه سومین نرون خروجی در نظر می‌گیریم.

بعد از تعیین مقادیر حد آستانه نرون‌های خروجی، شبکه عصبی طراحی شده آماده بکارگیری در پایش فرآیند چند مشخصه وصفی و متغیر مورد نظر است. برای تعیین وضعیت فرآیند، تنها به خروجی اول شبکه توجه می‌شود. اگر خروجی اول شبکه از مقدار ۰/۸۹٦ کم‌تر باشد، فرآیند تحت کنترل و در غیر این صورت خارج از کنترل اعلام می‌شود. زمانی که فرآیند خارج از کنترل تشخیص داده شود، برای تشخیص مشخصه (مشخصه‌های) کیفی عامل انحراف در فرآیند، مقادیر نرون‌های خروجی دوم و سوم شبکه بررسی می‌شود. در این شرایط قوانین زیر برای شناسایی عامل (عوامل) انحراف وجود خواهد داشت:

۱. اگر خروجی دوم شبکه بیشتر از ۰/٤۰۱۰ و خروجی سوم شبکه کمتر از ۰/۲۵۲٦ باشد، مشخصه کیفی پواسون (x_1) عامل انحراف در فرآیند تشخیص داده می‌شود.

۲. اگر خروجی سوم شبکه بیشتر از ۰/۲۵۲٦ و خروجی دوم شبکه کم‌تر از ۰/٤۰۱۰ باشد، مشخصه کیفی نرمال (x_2) عامل انحراف در فرآیند تشخیص داده می‌شود.

۳. اگر خروجی دوم و سوم شبکه به ترتیب بیشتر از ۰/٤۰۱۰ و ۰/۲۵۲٦ باشند، هر دو مشخصه کیفی (x_1 و x_2) به عنوان عوامل انحراف معرفی می‌گردند.

٤. اگر خروجی دوم و سوم شبکه به ترتیب کمتر از ۰/٤۰۱۰ و ۰/۲۵۲٦ باشند، یک قانون قرار داده و مشخصه کیفی با خروجی بیشتر را به عنوان عامل انحراف معرفی می‌کنیم.

در جدول (۳) عملکرد شبکه عصبی بر حسب معیار متوسط طول دنباله به ازای شیفت‌های مختلف در فرآیند بر اساس ۱۰۰۰۰ تکرار با نمودارهای کنترل توسعه یافته تقریب نرمال مجانبی و $MEWMS_{AS}$ مقایسه شده است.

نتایج جدول(۳) نشان می‌دهد که شبکه عصبی پیشنهادی به خوبی قادر به تشخیص وضعیت‌های خارج از کنترل به ازای شیفت‌های مختلف در ماتریس واریانس- کوواریانس مشخصه‌های کیفی است، به طوری که در اکثر شیفت‌ها عملکرد بهتری از نمودار کنترل $MEWMS_{AS}$ دارد که یک روش باحافظه است و همچنین، در تمامی شیفت‌ها از نمودار کنترل تقریب نرمال مجانبی بهتر عمل می‌کند.

جدول ٤ نتایج حاصل از به‌کارگیری شبکه عصبی طراحی شده در تشخیص مشخصه(های) کیفی عامل انحراف در فرآیند را به ازای شیفت‌های مختلف و براساس ۱۰۰۰۰ تکرار نشان می‌دهد. شایان ذکر است که اعداد سطرهای اول تا سوم به ترتیب بیانگر تعداد دفعاتی است که شبکه به ترتیب مشخصه‌های کیفی اول، دوم و هر دو مشخصه کیفی را عامل انحراف معرفی می‌کند و سطر آخر درصد تشخیص درست شبکه را در شناسایی مشخصه (مشخصه‌های) کیفی عامل انحراف نشان می‌دهد. نتایج جدول ٤ نشان می‌دهد که عملکرد شبکه عصبی پیشنهادی در تشخیص عامل (عوامل) انحراف در فرآیند رضایت بخش است

جدول(۳): مقایسه مقادیر متوسط طول دنباله به ازای شیفت‌های مختلف در ماتریس واریانس- کوواریانس

مشخصه‌های کیفی‌شیفت	$(1.5\sigma_1,0)$	$(0,1.5\sigma_2)$	$(1.5\sigma_1,1.5\sigma_2)$	$(2\sigma_1,0)$	$(0,2\sigma_2)$	$(2\sigma_1,2\sigma_2)$
شبکه عصبی	٤/٦٩	٥/٠٩	٢/٧٦	١/٥٨	١/٨١	١/١٦
روش $MEWMS_{AS}$	٢/٢٥	٥/٥٩/	٢/٠٥	١/٦٥	٢/٨٠	١/٦٤
روش تقریب نرمال	١٥٠/٦٣	٢٠١/٣٤	١٥١/١٥	١٣٩/٤٣	٢٠٠/٤٣	١٣٨/٣٠
شیفت	$(2.5\sigma_1,0)$	$(0,2.5\sigma_2)$	$(2.5\sigma_1,2.5\sigma_2)$	$(3\sigma_1,0)$	$(0,3\sigma_2)$	$(3\sigma_1,3\sigma_2)$
شبکه عصبی	١/٢٤	١/٤٧	١/٩٦	١/٢٠	١/٦٢	١/١١
روش $MEWMS_{AS}$	١/٦٤	٢/١٦	١/٦٥	١/٦٥	١/٩٠	١/٦٤
روش تقریب نرمال	١٣٥/٠٩	٢٠١/٨٧	١٣٥/٠٤	١٣٤/٢٢	١٩٩/٩٧	١٣٣/٤٨

۷- بحث

همان‌طور که گفته شد، استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی در زمینه‌های مختلف مهندسی کیفیت مزایای زیادی دارد؛ از جمله این که شبکه های عصبی باعث ساده شدن تفسیر نمودارهای کنترل می‌شوند. یکی از مزایای به کارگیری شبکه عصبی مصنوعی در پایش مشخصه‌های کیفی وصفی و متغیر همبسته، عدم نیاز به داشتن مفروضاتی در مورد توزیع مشخصه‌های کیفی است. در این مقاله، تغییرپذیری فرآیندهای چند مشخصه وصفی و متغیر با استفاده از یک شبکه عصبی مصنوعی پایش گردید. عملکرد شبکه عصبی مورد نظر در تشخیص حالت-های مختلف خارج از کنترل و همچنین، شناسایی مشخصه‌های کیفی عامل انحراف در قالب یک مثال عددی و با استفاده از شبیه‌سازی بررسی شد. نتایج نشان داد که شبکه عصبی پیشنهادی در کشف اکثر شیفت‌های کوچک و بزرگ در عناصر ماتریس

تغییرپذیری بهتر از نمودارهای کنترل توسعه داده شده عمل می‌کند. یکی دیگر از مزایای شبکه عصبی پیشنهادی، توانایی تشخیص مشخصه‌های کیفی عامل انحراف بعد از کشف حالت خارج از کنترل است، در حالی که نمودارهای کنترل توسعه داده شده از این قابلیت برخوردار نیستند. نتایج شبیه‌سازی با استفاده از مثال عددی، توانایی بالای روش پیشنهادی را در تشخیص مشخصه‌های کیفی عامل انحراف تایید می‌کند. با توجه به عملکرد بسیار خوب شبکه پیشنهادی در کشف وضعیت‌های خارج از کنترل، توانایی آن در تشخیص مشخصه‌های کیفی عامل هشدار و سادگی استفاده از آن در کاربردهای عملی، استفاده از روش پیشنهادی در پایش تغییرپذیری فرآیندهای چند مشخصه وصفی و متغیر به مدیران کیفیت کارخانجات تولیدی و شرکت‌های خدماتی توصیه می‌شود.

جدول (٤): درصد تشخیص‌های درست عامل انحراف در فرآیند به وسیله شبکه عصبی

اندازه شیفت / عامل انحراف	$(1.5\sigma_1,0)$	$(0,1.5\sigma_2)$	$(1.5\sigma_1,1.5\sigma_2)$	$(2\sigma_1,0)$	$(0,2\sigma_2)$	$(2\sigma_1,2\sigma_2)$
x_1	۸۲۵۵	۳۳	۱۵۲۷	۸۹۵٦	۱	۵۳۹
x_2	۱۱	۸۳۱۱	۱۰۰٤	۰	۷۱۸٦	۳۹۵
x_1 و x_2	۱۷۳٤	۱٦۵٦	۷٤٦۹	۱۰٤٤	۲۸۱۳	۹۰٦٦
درصد تشخیص درست	۸۲/۵۵٪	۸۳/۱۱٪	۷٤/٦۹٪	۸۹/۵٦٪	۷۱/۸٦٪	۹۰/٦٦٪
اندازه شیفت / عامل انحراف	$(2.5\sigma_1,0)$	$(0,2.5\sigma_2)$	$(2.5\sigma_1,2.5\sigma_2)$	$(3\sigma_1,0)$	$(0,3\sigma_2)$	$(3\sigma_1,3\sigma_2)$
x_1	۸۵٦۲	۰	۱۵۲	٦۷۱۸	۰	۳۸
x_2	۲	۵۲۳۳	۸۱۰	۸	٤۰۸۵	۲۹۷۸
x_1 و x_2	۱٤۳٦	٤۷٦۷	۹۰۳۸	۳۲۷٤	۵۹۱۵	٦۹۸٤
درصد تشخیص درست	۸۵/٦۲٪	۵۲/۳۳٪	۹۰/۳۸٪	٦۷/۱۸٪	٤۰/۸۵٪	٦۹/۸٤٪

۸- نتیجه‌گیری

از آنجا که کیفیت بسیاری از فرآیندها با استفاده از مشخصه‌های کیفی وصفی و متغیر همبسته توصیف می‌شود، پایش تغییرپذیری این گونه مشخصه‌ها امری اجتناب ناپذیر است. مطالعه ادبیات موضوع نشان داد که تاکنون روشی برای پایش ماتریس واریانس‌کوواریانس این گونه مشخصه‌ها ارائه نشده است. در این مقاله یک شبکه عصبی پرسپترون چند لایه به منظور پایش تغییرپذیری یک فرآیند چند مشخصه وصفی متغیر ارائه گردید که نوآوری اصلی این مقاله می‌باشد. همچنین، دو روش آماری شامل نمودارهای کنترل تقریب نرمال مجانبی و $MEWMS_{AS}$ که برای پایش تغییرپذیری فرآیندهای نرمال چند متغیره ارائه شده بودند، توسعه یافتند و از آنها در پایش تغییرپذیری فرآیندهای چند مشخصه وصفی و متغیر استفاده گردید. در ادامه عملکرد شبکه عصبی طراحی شده در کشف شیفت در ماتریس واریانس- کوواریانس و همچنین، شناسایی درست مشخصه (مشخصه‌های) کیفی عامل انحراف در فرآیند با استفاده از شبیه‌سازی ارزیابی شد. به علاوه،

عملکرد شبکه عصبی ارائه شده در کشف شیفت در واریانس مشخصه‌های کیفی با دو نمودار کنترل ذکر شده بر حسب معیار متوسط طول دنباله در حالت‌های خارج از کنترل به ازای شیفت‌های مختلف مقایسه گردید. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که شبکه عصبی پیشنهادی عملکرد بهتری در کشف وضعیت‌های خارج از کنترل نسبت به دو روش دیگر داشته و همچنین، عملکرد رضایت‌بخشی در شناسایی مشخصه (های) کیفی عامل انحراف در فرآیند دارد. از جمله مزایای روش پیشنهادی می‌توان به سادگی استفاده از آن در عمل و توانایی آن در کشف مشخصه‌های عامل انحراف بعد از کشف هشدار اشاره کرد. به عنوان تحقیقات آتی می‌توان به ارائه یک شبکه عصبی برای پایش همزمان میانگین و واریانس یک فرآیند چند مشخصه وصفی و متغیر اشاره نمود. تعیین بزرگی شیفت در بردار میانگین و ماتریس واریانس- کواریانس مشخصه‌های کیفی وصفی- متغیر و همچنین، تخمین نقطه تغییر در این‌گونه فرآیندها از جمله زمینه‌های تحقیقاتی در این حوزه می‌باشد.

منابع

Ahmadzadeh, F. (2012). Change point detection with multivariate control charts by artificial neural network, To appear in The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.

Aparisi, F., Avendano, G. & Sanz, J. (2006). Techniques to interpret T^2 control chart signals, *IEEE Transactions*, 38(8), 647-657.

Bersimis, S., Psarakis, S. & Panaretos, J. (2007). Multivariate statistical process control charts, an overview, *Quality and Reliability Engineering International*, 23(5), 517-543.

Cheng, C.S. & Cheng, H.P. (2010). Using neural networks to detect the bivariate process variance shifts pattern, *Computers and Industrial Engineering*, 60(2), 269-278.

Doroudyan, M.H. & Amiri, A. (2011). Root transformation method for monitoring correlated variable and attribute quality characteristics, Proceedings of 11th Islamic Countries Conference on Statistical Sciences (ICCS-11), Lahore, Pakistan, 21, 195-200.

Elman, J.L. (1990). Finding structure in time, *Cognitive Science*, 14(2), 179-211.

Guh, R.S. (2007). On-line identification and quantification of mean shifts in bivariate processes using a neural network-based approach, *Quality and Reliability Engineering International*, 23(3), 367-385.

Golnabi, S. & Houshmand, A. A. (1999). Multivariate Shewhart x-bar chart, Inter Stat, 4, A web based journal. http,//www.interstat.stat.vt.edu/interstat/index/Sep99.html

Hwarng, H.B. (2008). Toward identifying the source of mean shifts in multivariate SPC, A neural network approach, *International Journal of Production Research*, 46(20), 5531-5559.

Hwarng, H.B. & Wang, Y. (2010). Shift detection and source identification in multivariate autocorrelated processes, International Journal of Production Research, 48(3), 835-859.

Kang, L. & Brenneman, W.A. (2011). Product defect rate confidence bound with attribute and variable data, *Quality and Reliability Engineering International*, 27(3), 353-368.

Low, C. Hsu, C. & Yu, F. (2003). Analysis of variations in a multi-variate process using neural networks, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 22(11-12), 911-921.

Maleki, M.R., Amiri, A. & Doroudyan, M.H. (2012). Monitoring multivariate-attribute processes using artificial neural network, Proceedings of the 42th conference on

correlated multi-attribute processes, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 56(5-8), 777-788.

Psarakis, S. (2011). The use of neural networks in statistical process control charts, *Quality and Reliability Engineering International*, 27(5), 641-650.

Topalidou, E. & Psarakis, S. (2009). Review of multinomial and multiattribute quality control charts, *Quality and Reliability Engineering International*, 25(7), 773-804.

Wang, T.Y. & Chen, L.H. (2002). Mean shifts detection and classification in multivariate process, A neural-fuzzy approach, *Journal of Intelligence Manufacturing*, 13(3), 211-221.

Yu, J.B. & Xi, L.F. (2009). A neural network ensemble-based model for on-line monitoring and diagnosis of out-of-control signals in multivariate manufacturing processes, *Expert Systems with Applications*, 36(1), 909-921.

Yu, J. B., Xi, L. F. & Zhou, X. (2009). Identifying source(s) of out-of-control signals in multivariate manufacturing process using selective neural network ensemble, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 22(1), 141-152.

Zorriassatine, F., Tannock, J.D.T. & O brien, C. (2003). Using novelty detection to identify abnormalities caused by mean shifts in bivariate processes , Computers and Industrial Engineering, 44(3), 385-408.

Computers and Industrial Engineering, Cape Town, South Africa.

McCulloch, W.S. & Pitts. W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity, *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5(4), 115-133.

Mehrotro, D.C., Mohan, C. & Ranka, S. (1997). Elements of artificial neural networks, MIT Press, Cambridge, MA.

Memar, A.O. & Niaki, S.T.A. (2011). Multivariate variability monitoring using EWMA control charts based on squared deviation of observations from target, *Quality and Reliability Engineering International*, 27(8), 1069-1086.

Montgomery, D.C. (2005). Introduction to Statistical Quality Control (5th edition), New York, John Wiley & Sons.

Niaki, S.T.A. & Abbasi, B. (2005). Fault diagnosis in multivariate control charts using artificial neural networks, *Quality and Reliability Engineering International*, 21(8), 825-840.

Niaki, S. T. A. & Abbasi, B. (2008). Detection and classification mean-shifts in multi-attribute processes by artificial neural networks, *International Journal of Production Research*, 46(11), 2945-2963.

Niaki, S.T.A. & Abbasi, B. (2009). Monitoring Multi-attribute processes based on NORTA inverse transformed vectors, *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 38(7), 946-979.

Niaki, S.T.A. & Nasaji, S.A. (2011) A hybrid method of artificial neural networks and simulated annealing in monitoring auto-

پانوشت‌ها

[1] Asymptotic normal approximation
[2] Gaussian copula