

طراحی یک شبکه عصبی مصنوعی برای کشف تغییر، تشخیص عامل انحراف و تعیین اندازه شیفت به طور همزمان در بردار میانگین فرآیندهای چندمشخصه وصفی - متغیر

محمدرضا ملکی^۱، امیرحسین امیری^{۲*}

۱. کارشناسی‌ارشد مهندسی صنایع، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران

۲. استادیار و عضو هیأت علمی گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران

خلاصه

در برخی از فرآیندهای تولیدی، کیفیت محصول بر حسب ترکیبی از مشخصه‌های کیفی متغیر و وصفی همبسته بیان می‌گردد. براساس آخرین اطلاعات مولفین، تاکنون هیچ تحقیقی در خصوص شناسایی اندازه شیفت در میانگین مشخصه‌های کیفی خارج از کنترل در فرآیندهای چند مشخصه وصفی - متغیر صورت نگرفته است. در این مقاله، روشی مبتنی بر شبکه عصبی برای شناسایی اندازه شیفت در میانگین مشخصه‌های کیفی متغیر و وصفی همبسته و طبقه‌بندی بردار میانگین به کلاس‌های مختلف ارائه می‌گردد. شبکه عصبی پیشنهادی همچنین قادر است وضعیت بردار میانگین فرآیند اعم از تحت کنترل یا خارج از کنترل بودن آن را کشف نماید و مشخصه (های) کیفی عامل انحراف را نیز تشخیص دهد. عملکرد شبکه پیشنهادی در تعیین اندازه شیفت، تشخیص وضعیت فرآیند و همچنین تشخیص عوامل انحراف در قالب یک مثال عددی براساس شبیه‌سازی ارزیابی شده است. همچنین عملکرد شبکه پیشنهادی در کشف شیفت و تشخیص عوامل انحراف در میانگین فرآیند با روش‌های موجود در ادبیات مقایسه شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که شبکه عصبی ارائه شده عملکرد رضایت‌بخشی در تعیین وضعیت بردار میانگین فرآیند، تشخیص عوامل انحراف و شناسایی اندازه شیفت در میانگین مشخصه‌های کیفی در فرآیندهای چند مشخصه وصفی - متغیر دارد.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۳۹۲/۷/۱۵

پذیرش ۱۳۹۳/۳/۱۱

کلمات کلیدی:

شبکه عصبی پرسپترون چند

لایه

فرآیند چند مشخصه

وصفی - متغیر

متوسط طول دنباله

نمودارهای کنترل چندمتغیره و چند مشخصه وصفی متنوعی برای پایش همزمان مشخصه‌های کیفی همبسته توسط محققین ارائه شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای اطلاعات بیشتر در خصوص نمودارهای کنترل چندمتغیره و چندمشخصه وصفی به ترتیب به مقالات مروری برسیمیسی و همکاران [۱] و توپالیدو و ساراکیس [۲] مراجعه شود.

یکی از معایب نمودارهای کنترل چندمتغیره و چندمشخصه وصفی این است که تحت برخی از شرایط، کارایی خود را در کشف درست و سریع خطا در فرآیند از دست می‌دهند [۳]. یکی از رویکردهایی که می‌تواند به‌طور کارآمد جایگزین نمودارهای کنترل چندمتغیره و چندمشخصه وصفی گردد، استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در پایش این‌گونه فرآیندهاست. استفاده از شبکه‌های عصبی

۱- مقدمه

در بسیاری از فرآیندهای تولیدی یا محیط‌های خدماتی، کیفیت محصول یا عملکرد فرآیند بر حسب چندین مشخصه کیفی متغیر یا چندین مشخصه کیفی وصفی بیان می‌شود. ساده‌ترین رویکرد برای پایش فرآیندهایی با چندین مشخصه کیفی، استفاده از نمودارهای کنترل جداگانه برای مشخصه‌های کیفی است. اما این رویکرد در مواقعی که بین مشخصه‌های کیفی همبستگی وجود دارد، نتایج گمراه‌کننده‌ای را در پی خواهد داشت. به‌منظور برطرف‌نمودن مشکلات حاصل از پایش جداگانه مشخصه‌های کیفی همبسته،

* نویسنده مسئول. امیرحسین امیری

تلفن: ۰۲۱-۵۱۲۱۲۰۶۵؛ پست الکترونیکی: amiri@shahed.ac.ir

مصنوعی در پایش فرآیندهای چندمتغیره و چندمشخصه وصفی از مزیت‌های فراوانی برخوردار است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به عدم‌نیاز به مفروضات اولیه در مورد توزیع مشخصه‌های کیفی و همچنین ساده و خودکار نمودن تفسیر نمودارهای کنترل اشاره نمود [۳ و ۴]. در سال‌های اخیر، تحقیقات گسترده‌ای در زمینه پایش فرآیندهای چندمتغیره و چندمشخصه وصفی با استفاده از شبکه‌های عصبی صورت پذیرفته است که معمولاً نتایج رضایت‌بخشی را نیز به‌همراه داشته است. از جمله تحقیقاتی که در آن‌ها از شبکه عصبی برای پایش فرآیندهای چندمتغیره و چندمشخصه وصفی استفاده شده است می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

آپاریسی و همکاران [۵] یک شبکه عصبی مصنوعی به‌منظور تفسیر هشدارهای خارج از کنترل در نمودار کنترل چندمتغیره میانگین متحرک موزون نمایی (MEWMA) ارائه دادند. چنگ و ماشین بردار پشتیبان برای شناسایی عوامل ایجاد تغییر در واریانس مشخصه‌های کیفی چندمتغیره استفاده نمودند. هوارنگ [۷] یک تشخیص‌دهنده مبتنی بر شبکه عصبی به‌منظور کشف تغییر در بردار میانگین فرآیندهای چندمتغیره و همچنین تشخیص متغیرهای عامل بروز هشدار خارج از کنترل ارائه داد. نیاکی و عباسی [۸] یک شبکه پرسپترون چند لایه برای پایش فرآیندهای چندمشخصه 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 دارا می‌باشد. یو و زی [۹] و همچنین یو و همکاران [۱۰] یک مدل مبتنی بر یادگیری به‌منظور پایش و همچنین تشخیص هشدارهای خارج از کنترل در فرآیندهای چندمتغیره ارائه دادند. نیاکی و داودی [۱۱] یک شبکه عصبی مصنوعی برای پایش فرآیندهای چندمتغیره- چندمرحله‌ای و تشخیص عوامل بروز هشدارهای خارج از کنترل ارائه دادند. دو و همکاران [۱۲] روشی ترکیبی براساس یک نمودار کنترل چندمتغیره و همچنین مدلی مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی برای پایش تغییرپذیری فرآیندهای چندمتغیره ارائه نمودند.

المیدانی و همکاران [۱۳] چارچوبی برای کشف الگو در فرآیندهای چندمتغیره ارائه دادند. آن‌ها از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای کشف مجموعه‌ای از الگوهای غیرنرمال، شناسایی متغیر (متغیرهای) عامل وقوع الگوی غیرنرمال و همچنین طبقه‌بندی پارامترهای الگوی کشف شده استفاده نمودند. هوارنگ و وانگ [۱۴] یک تشخیص‌دهنده مبتنی بر شبکه عصبی به‌منظور کشف شیفت در بردار میانگین و همچنین تشخیص مشخصه‌های کیفی عامل انحراف در فرآیندهای چندمتغیره خود همبسته ارائه دادند. چنگ و چنگ [۴] روشی مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی به‌منظور کشف تغییرات مختلف در ماتریس کوواریانس فرآیندهای چندمتغیره ارائه نمودند. آن‌ها ثابت نمودند که روش مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی پیشنهادی از سایر نمودارهای کنترل چندمتغیره سنتی نظیر نمودارهای کنترل از روشی مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی به‌منظور کشف تغییرات مختلف در ماتریس کوواریانس فرآیندهای چندمتغیره ارائه نمودند. آن‌ها ثابت نمودند که روش مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی پیشنهادی از سایر نمودارهای کنترل چندمتغیره سنتی نظیر نمودارهای کنترل از روشی مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی به‌منظور کشف تغییرات مختلف در ماتریس کوواریانس فرآیندهای چندمتغیره ارائه نمودند.

نمودارهای کنترل ارائه شده توسط آپاریسی و همکاران [۱۵] و همچنین گریگوریان و هه [۱۶] بهتر عمل می‌کند. آتسگر و نورالسنا [۱۷] با استفاده از روشی مبتنی بر شبکه عصبی به شناسایی نقطه تغییر و عوامل ایجاد تغییر ایجاد شده در میانگین فرآیندهای چندمتغیره پرداختند. نیاکی و نساجی [۱۸] شبکه عصبی ارائه شده توسط المان [۱۹] را برای طبقه‌بندی شیفت‌های مختلف در بردار میانگین فرآیندهای چندمشخصه وصفی خود همبسته و همچنین شناسایی مشخصه‌های وصفی عامل انحراف در این‌گونه فرآیندها توسعه دادند. صالحی و همکاران [۲۰] با استفاده از یک مدل ترکیبی مبتنی بر آموزش شامل ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی به بررسی هشدارهای خارج از کنترل در فرآیندهای چندمتغیره پرداختند. آن‌ها ابتدا با استفاده از ابزار ماشین بردار پشتیبان، نوع الگوی غیرطبیعی فرآیند را شناسایی نمودند. سپس با استفاده از سه شبکه عصبی که به‌ترتیب برای کشف شیفت‌های میانگین، روندها و الگوهای دوره‌ای ارائه شده‌اند، اندازه شیفت، شیب روند و دامنه الگوی دوره‌ای را برای هر متغیر تعیین کردند.

نورالسنا و همکاران [۲۱] روشی ترکیبی به‌منظور کشف وضعیت‌های خارج از کنترل، شناسایی نقطه تغییر در بردار میانگین فرآیند، تشخیص متغیرهای عامل انحراف در فرآیند و همچنین شناسایی جهت شیفت در میانگین مشخصه‌های کیفی فرآیندهای چندمتغیره پیشنهاد نمودند. احمدزاده [۲۲] از دو روش شامل برآوردکننده درست‌نمایی ماکزیمم و شبکه عصبی مصنوعی برای شناسایی زمان وقوع تغییر پله‌ای در بردار میانگین مشخصه‌های کیفی چندمتغیره زمانی که از یک نمودار کنترل چندمتغیره میانگین متحرک موزون نمایی هشدار دریافت می‌شود استفاده نمود. صالحی و همکاران [۲۳] با استفاده از یک مدل دو بخشی به شناسایی پارامتر خارج از کنترل (میانگین یا واریانس) و تعیین اندازه شیفت در فرآیندهای چندمتغیره پرداختند. آن‌ها ابتدا با استفاده از ماشین بردار پشتیبان مشخص نمودند که شیفت در کدام‌یک از پارامترهای میانگین و واریانس متغیرهای خارج از کنترل رخ می‌دهد. سپس با استفاده از دو شبکه عصبی اندازه شیفت در میانگین و واریانس متغیرهای خارج از کنترل را تعیین کردند.

گاهی کیفیت محصول بر حسب ترکیبی از مشخصه‌های کیفی متغیر و وصفی همبسته توصیف می‌شود. به‌عنوان مثال در فرآیند تزریق پلاستیک، وزن محصول یک مشخصه کیفی متغیر و تعداد عیوب ظاهری یک مشخصه کیفی وصفی است که این دو مشخصه با یکدیگر همبستگی دارند و نمی‌توان آن‌ها را جداگانه پایش کرد. همچنین در فرآیند تولید نیمه‌هادی‌ها، تعداد اجزای ناخالصی، میانگین و دامنه ضخامت لایه اکسید به‌عنوان مشخصه‌های کیفی محصول در نظر گرفته می‌شوند که مشخصه کیفی اول از نوع وصفی و دو مشخصه کیفی دیگر از نوع متغیر هستند. به فرآیندهایی با چنین مشخصه‌های کیفی، اصطلاحاً فرآیندهای چند مشخصه وصفی- متغیر گفته می‌شود. علی‌رغم تحقیقات گسترده‌ای که در

تبدیل داده‌ها، همبستگی بین مشخصه‌های کیفی را از بین برده و سپس با استفاده از نمودارهای کنترل تک‌متغیره به پایش داده‌های تبدیل شده پرداختند. در رویکردهای سوم و چهارم، ایشان از روشی ترکیبی شامل مستقل نمودن مشخصه‌های کیفی و تبدیل توزیع مشخصه‌های کیفی همبسته به توزیع نرمال چندمتغیره استفاده نمودند و به پایش فرآیندهای چند مشخصه وصفی-متغیر پرداختند. تفاوت رویکردهای سوم و چهارم، ترتیب استفاده از تکنیک‌های تبدیل داده‌ها بود.

با بررسی ادبیات موضوع می‌توان به این نتیجه دست یافت که تا کنون هیچ تحقیقی در خصوص شناسایی اندازه شیفت در میانگین مشخصه‌های کیفی در فرآیندهای چندمشخصه وصفی-متغیر صورت نگرفته است و یک خلأ تحقیقاتی در این زمینه وجود دارد. در این مقاله، یک شبکه عصبی مصنوعی به منظور شناسایی اندازه شیفت در میانگین مشخصه‌های کیفی فرآیندهای چندمشخصه وصفی-متغیر و طبقه‌بندی بردار میانگین فرآیند به کلاس‌های مختلف ارائه می‌گردد. شبکه عصبی ارائه شده همچنین قادر است تحت کنترل یا خارج از کنترل بودن بردار میانگین فرآیند را تعیین نماید و همچنین مشخصه (مشخصه‌های) کیفی عامل بروز وضعیت‌های خارج از کنترل را نیز تشخیص دهد. علاوه بر موارد ذکر شده، از شبکه عصبی ارائه شده می‌توان در تعیین احتمال خطای نوع اول استفاده نمود و همچنین احتمال خطای نوع دوم به ازای حالت‌های مختلف خارج از کنترل را نیز تعیین کرد.

ساختار این مقاله بدین صورت است که در بخش دوم شبکه عصبی پیشنهادی اعم از ساختار و نحوه آموزش آن تشریح می‌گردد. در بخش سوم عملکرد روش مبتنی بر شبکه عصبی ارائه شده در کشف تغییر، تشخیص مشخصه (مشخصه‌های) کیفی عامل انحراف و همچنین تعیین اندازه شیفت در مشخصه‌های کیفی خارج از کنترل در قالب یک مثال عددی بر اساس شبیه‌سازی ارزیابی می‌شود. بخش چهارم نیز به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادهایی برای مطالعات آتی اختصاص می‌یابد.

۲- شبکه عصبی پیشنهادی برای کشف تغییر، تشخیص عامل انحراف و شناسایی اندازه شیفت در بردار میانگین فرآیند

از مهم‌ترین مسائلی که در مورد شبکه‌های عصبی مطرح است، انتخاب معماری مناسب برای آن‌هاست. در ادبیات موضوع تصریح شده است که به دلیل عدم وجود روشی سیستماتیک در تعیین بهترین معماری برای شبکه‌های عصبی مصنوعی، یک رویکرد تجربی می‌تواند بهترین گزینه را در این خصوص فراهم آورد. تاکنون معماری‌های متنوعی برای شبکه‌های عصبی مصنوعی بیان شده که یکی از پرکاربردترین آن‌ها در کنترل فرآیند آماری شبکه‌های پرسپترون چندلایه هستند. استفاده از شبکه‌های عصبی پرسپترون

خصوص پایش فرآیندهای چندمتغیره و چندمشخصه وصفی انجام شده است، تحقیقات اندکی در خصوص پایش فرآیندهای چندمشخصه وصفی-متغیر صورت گرفته است. از جمله این تحقیقات اندک می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

کنگ و برنمن [۲۴] روشی را برای تعیین حدود اطمینان برای مشخصه‌های کیفی متغیر و وصفی به صورت همزمان پیشنهاد نمودند. اما آن‌ها مشخصه‌های کیفی را مستقل از یکدیگر در نظر گرفتند. در حالی که در بسیاری از موارد، شرط استقلال ترکیبی از مشخصه‌های کیفی متغیر و وصفی نقض می‌شود. به عنوان مثال در فرآیند تزریق پلاستیک، تعداد عیوب ظاهری محصول و وزن آن به عنوان مشخصه‌های کیفی یک محصول در نظر گرفته می‌شوند که با یکدیگر همبستگی دارند. علاوه بر این علوم پزشکی، دارویی، روان‌شناسی و بهداشت دارای داده‌های همبسته پیوسته و گسسته می‌باشند [۲۵]. نینگ و تسانگ [۲۶] مثال‌هایی کاربردی از مشخصه‌های کیفی متغیر و وصفی همبسته در شرایط حجم زیاد مشخصه‌های کیفی بیان نمودند.

دورودیان و امیری [۲۷] روشی برای پایش فرآیندهای چندمشخصه وصفی-متغیر بر اساس تکنیک تبدیل توانی و با استفاده از آماره مربع تی (T^2) ارائه نمودند. ملکی و همکاران [۲۸] با استفاده از تکنیک معکوس نورتا به توسعه دو نمودار کنترل با حافظه پرداختند و از آن‌ها در پایش ماتریس کوواریانس مشخصه‌های کیفی متغیر و وصفی همبسته استفاده کردند. روش معکوس نورتا یک روش تغییر فرم داده‌ها است که برای تبدیل توزیع داده‌های غیرنرمال به نرمال استاندارد استفاده می‌شود. به منظور کسب اطلاعات بیشتر در خصوص روش معکوس نورتا به نیایکی و عباسی [۲۹] مراجعه شود. آن‌ها نتایج حاصل از روش‌های ارائه شده را با یک نمودار کنترل سنتی مقایسه نمودند و دریافتند روش‌های توسعه داده شده، عملکرد نمودارهای سنتی را در کشف شیفت‌های مختلف در ماتریس تغییرپذیری فرآیند بهبود می‌بخشد. ملکی و همکاران [۳۰] یک شبکه عصبی مصنوعی به منظور تشخیص وضعیت‌های خارج از کنترل در بردار میانگین فرآیندهای چندمشخصه وصفی-متغیر و همچنین تشخیص مشخصه‌های کیفی عامل انحراف در این گونه فرآیندها ارائه دادند. امیری و همکاران [۳۱] روشی مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی به منظور پایش تغییرپذیری فرآیندهای چندمشخصه وصفی-متغیر ارائه دادند. آن‌ها همچنین دو نمودار کنترل چندمتغیره را توسعه دادند و نتایج حاصل از روش مبتنی بر شبکه عصبی ارائه شده را با نمودارهای کنترل توسعه یافته مقایسه نمودند. دورودیان و امیری [۳۲] با استفاده از چهار تکنیک تبدیل مختلف به پایش فرآیندهای چندمشخصه وصفی-متغیر پرداختند. در رویکرد اول، آن‌ها ابتدا توزیع مشخصه‌های کیفی متغیر و وصفی همبسته را به توزیع نرمال چندمتغیره تقریبی تبدیل نمودند و سپس از نمودارهای کنترل چندمتغیره T^2 و MEWMA برای پایش فرآیند استفاده نمودند. در رویکرد دوم، آن‌ها ابتدا با استفاده از یک روش

لایه پنهان شبکه عصبی با کم و زیاد کردن تعداد نرون‌ها و بررسی عملکرد شبکه عصبی تعیین می‌شود.

تعداد نرون‌های موجود در لایه خروجی شبکه عصبی پیشنهادی برابر است با حاصلضرب تعداد حالت‌هایی که می‌خواهیم با استفاده از شبکه عصبی موردنظر میانگین مشخصه‌های کیفی را به آن حالت‌ها طبقه‌بندی نماییم در مجموع تعداد مشخصه‌های کیفی متغیر و وصفی فرآیند. به‌عنوان مثال در فرآیندی با p مشخصه کیفی متغیر و q مشخصه کیفی وصفی، اگر بخواهیم میانگین مشخصه‌های کیفی را به k دسته یا کلاس طبقه‌بندی کنیم، تعداد نرون‌های لایه خروجی برابر $k \times (p+q)$ خواهد بود. ضمناً تعداد کل حالت‌های بردار میانگین فرآیند نیز برابر $k^{(p+q)}$ خواهد بود. تابع محرک مورد استفاده در شبکه عصبی پیشنهادی تابع سیگموئید است که برای ارزیابی عملکرد آن از معیار میانگین مربعات خطا استفاده شده است.

۲-۲- الگوریتم پیشنهادی برای آموزش شبکه عصبی

بعد از تعیین ساختار شبکه عصبی مورد نظر، باید آن را به نحوی آموزش داد که توانایی شناسایی اندازه شیفت در میانگین مشخصه‌های کیفی و طبقه‌بندی صحیح وضعیت بردار میانگین فرآیندهای چند مشخصه وصفی- متغیر به کلاس‌های مختلف را داشته باشد. برای این منظور ابتدا برای هر کدام از حالت‌هایی که می‌خواهیم وضعیت بردار میانگین فرآیند را به آن حالت‌ها طبقه‌بندی کنیم، به تعداد ۱۰۰ نمونه تصادفی n تایی تولید می‌کنیم. سپس میانگین هر یک از مشخصه‌های کیفی در نمونه‌ها را به عنوان مقادیر ورودی شبکه عصبی طراحی شده محاسبه می‌کنیم. سپس مقادیر هدف متناظر با داده‌های ورودی را نیز تولید نموده و شبکه عصبی موردنظر را به وسیله تمامی داده‌های تولیدی با استفاده از الگوریتم پس‌انتشار خطا آموزش می‌دهیم. به منظور تعیین مقادیر هدف متناسب با بردارهای ورودی در فرآیندی با p مشخصه کیفی متغیر و q مشخصه کیفی وصفی که در آن می‌خواهیم میانگین مشخصه‌های کیفی را به k کلاس مختلف طبقه‌بندی نماییم به ترتیب زیر عمل می‌کنیم:

۱- ابتدا برای هر مشخصه کیفی به تعداد k نرون در لایه خروجی در نظر می‌گیریم به طوری که k نرون اول متناظر با مشخصه کیفی اول، k نرون دوم متناظر با مشخصه کیفی دوم، ... و k نرون آخر متناظر با مشخصه کیفی $p+q$ ام می‌باشند.

۲- برای هر مشخصه کیفی که میانگین آن در دسته i ام از k دسته مورد نظر قرار دارد، مقدار هدف نرون i ام برابر یک و سایر مقادیر هدف برابر صفر در نظر گرفته می‌شوند.

مثلاً در فرآیندی با یک مشخصه کیفی متغیر و یک مشخصه کیفی وصفی، اگر بخواهیم میانگین مشخصه‌های کیفی را به سه دسته بدون شیفت، شیفت یک انحراف معیار و شیفت دو انحراف معیار طبقه‌بندی کنیم، بردار هدف برداری ستونی با شش مولفه خواهد بود که سه مؤلفه اول متناظر با مشخصه کیفی اول و سه

چند لایه در حوزه‌های مختلف کنترل فرآیند آماری، نتایج معمولاً رضایت‌بخشی را به‌همراه داشته است. شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه از سه نوع لایه شامل یک لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی تشکیل شده‌اند و هر لایه نیز شامل تعدادی نرون می‌باشد. در این مقاله نیز از یک شبکه عصبی پرسپترون چندلایه برای شناسایی اندازه شیفت در میانگین مشخصه‌های کیفی فرآیندهای چند مشخصه وصفی- متغیر، تعیین وضعیت فرآیند و همچنین تشخیص عامل (عوامل) انحراف در بردار میانگین فرآیند استفاده شده است.

ساختار، روش ارائه شده برای آموزش و جزئیات دیگر در مورد شبکه عصبی پیشنهادی در این مقاله به‌منظور به‌کارگیری در فرآیندهای چندمشخصه وصفی- متغیر به‌طور کامل در بخش‌های بعدی تشریح می‌شوند.

۲-۱- ساختار شبکه عصبی پیشنهادی

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

تعداد نرون‌های موجود در لایه ورودی در شبکه عصبی پیشنهادی برابر است با مجموع تعداد مشخصه‌های کیفی متغیر و وصفی فرآیند. به‌عبارت دیگر، اگر تعداد مشخصه‌های کیفی متغیر و وصفی به ترتیب برابر با p و q باشند، تعداد نرون‌های موجود در لایه ورودی برابر $p+q$ خواهد بود. بردار ورودی شبکه عصبی پیشنهادی به‌صورت بردار ستونی $\bar{x}_j = [\bar{x}_{1j}, \bar{x}_{2j}, \dots, \bar{x}_{p+q,j}]^T$ می‌باشد که در آن \bar{x}_{ij} عبارتست از میانگین مشخصه کیفی i ام در نمونه j ام.

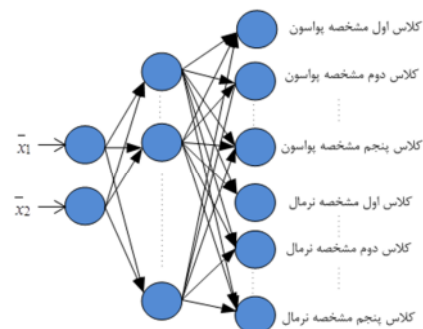
بررسی ادبیات موضوع در زمینه استفاده از شبکه‌های عصبی در کنترل آماری فرآیندهای مختلف نشان می‌دهد که معمولاً یک یا دو لایه پنهان می‌تواند برای یک شبکه عصبی کافی باشد. همچنین در این ادبیات بیان شده است که تعیین تعداد نرون‌های لایه پنهان مسأله‌ای بسیار پیچیده است که از قوانین ریاضی تبعیت نمی‌کند. بنابراین تعیین تعداد مناسب تعداد نرون‌های لایه پنهان بستگی زیادی به مسأله موردنظر دارد و روش منظمی برای تعیین آن وجود ندارد. اگر تعداد لایه‌های پنهان و همچنین تعداد نرون‌های موجود در هر لایه پنهان کافی نباشد، شبکه عصبی مورد نظر نمی‌تواند به یک جواب بهینه همگرا گردد در حالی که اگر تعداد آن‌ها بیش از حد لازم باشد شبکه عصبی دچار بی‌ثباتی می‌گردد. با توجه به موارد ذکر شده تعداد لایه (لایه‌های) پنهان و همچنین تعداد نرون‌های موجود در لایه (لایه‌های) پنهان در شبکه عصبی پیشنهادی از طریق سعی و خطا تعیین می‌شود. شبکه عصبی طراحی شده در این مقاله دارای یک لایه پنهان است. با توجه به موارد ذکر شده، تعداد نرون‌های

مؤلفه بعدی متناظر با مشخصه کیفی دوم می‌باشد.

۳- مثال عددی

در این بخش عملکرد روش مبتنی بر شبکه عصبی ارائه شده، در قالب یک مثال عددی و با استفاده از شبیه‌سازی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در مثال ارائه شده فرض می‌شود که پارامترهای مشخصه‌های کیفی فرآیند اعم از بردار میانگین و ماتریس کوواریانس و همچنین ضریب همبستگی بین مشخصه‌های کیفی بر اساس اطلاعات حاصل از تجزیه و تحلیل فاز ۱ معلوم هستند. بر این اساس کیفیت محصول در فرآیند چندمشخصه وصفی-متغیر موردنظر به وسیله بردار $\mathbf{x} = (x_1, x_2)^T$ بازنمایی می‌شود. در این بردار، مشخصه کیفی x_1 از نوع وصفی بوده و از توزیع پواسون با پارامتر ۴ پیروی می‌کند، در حالی که مشخصه کیفی x_2 از نوع متغیر بوده و دارای توزیع نرمال با میانگین ۳ و انحراف معیار ۲ است. همچنین ضریب همبستگی بین مشخصه‌های کیفی فرآیند برابر با ۰/۳۵۷ در نظر گرفته می‌شود.

در این مثال، هدف طبقه‌بندی مقادیر میانگین دو مشخصه کیفی فرآیند به پنج حالت بدون شیفت، شیفت یک انحراف معیار، شیفت دو انحراف معیار، شیفت سه انحراف معیار و شیفت منفی یک انحراف معیار است. لازم به ذکر است که زمانی که بزرگی شیفت‌های منفی از دو انحراف معیار بزرگ‌تر می‌شود، مقدار پارامتر مشخصه کیفی پواسون (x_1) منفی می‌گردد. بنابراین در این مثال شیفت‌های منفی بزرگ‌تر از شیفت منفی یک انحراف معیار در نظر گرفته نشده‌اند. برای این منظور از یک شبکه عصبی پرسپترون چندلایه با دو (تعداد مشخصه‌های کیفی فرآیند) نرون در لایه ورودی، ده (حاصل ضرب تعداد کلاس‌های موردنظر برای میانگین مشخصه‌های کیفی در تعداد مشخصه‌های کیفی) نرون در لایه خروجی استفاده می‌کنیم. لازم به ذکر است که پنج نرون اول در لایه خروجی شبکه عصبی موردنظر، متناظر با مشخصه کیفی پواسون (x_1) و پنج نرون بعدی آن متناظر با مشخصه کیفی نرمال (x_2) است. همچنین در شبکه عصبی پیشنهادی یک لایه پنهان با ۲۲ نرون وجود دارد (تعداد لایه‌های پنهان و نرون‌های هر لایه پنهان از طریق سعی و خطا تعیین شده است). ساختار شبکه عصبی موردنظر در شکل ۱ نشان داده شده است:



شکل (۱): ساختار شبکه عصبی طراحی شده

به‌منظور آموزش شبکه عصبی مورد نظر ابتدا حالت‌هایی که می‌خواهیم وضعیت بردار میانگین فرآیند را به آن‌ها طبقه‌بندی کنیم مشخص می‌کنیم. همان‌طور که گفته شد در این مثال شناسایی و طبقه‌بندی مقادیر میانگین دو مشخصه کیفی فرآیند به پنج حالت مختلف مدنظر قرار دارد، بنابراین تعداد حالت‌های بردار میانگین فرآیند با توجه به مطالب گفته شده برابر $5^2 = 25$ حالت خواهد بود. به منظور تهیه داده‌های مورد نیاز برای آموزش شبکه عصبی، ابتدا برای هر یک از ۲۵ حالت بردار میانگین فرآیند چندمشخصه وصفی-متغیر مورد نظر، به تعداد ۱۰۰ نمونه تصادفی ۱۰ تایی با استفاده از تابع گاوسی کاپولا تولید می‌کنیم. سپس میانگین مشخصه‌های کیفی x_1 و x_2 در نمونه‌های تولید شده را به‌عنوان مقادیر ورودی شبکه محاسبه می‌کنیم. در نتیجه ورودی شبکه عصبی به‌صورت بردار ستونی $[x_1, x_2]^T$ بوده که x_1 و x_2 به ترتیب میانگین مشخصه‌های کیفی پواسون (x_1) و نرمال (x_2) در نمونه‌های تهیه شده هستند. در نهایت شبکه عصبی مورد نظر را با استفاده از تمامی ۲۵۰۰ بردار ورودی تهیه شده و همچنین مقادیر هدف متناظر با استفاده از الگوریتم پس‌انتشار خطا آموزش می‌دهیم. پس از آموزش شبکه عصبی طراحی شده، مقدار MSE حاصل برابر با ۰/۰۳۲۷ می‌شود.

پس از مرحله آموزش، شبکه عصبی طراحی شده آماده به-کارگیری به منظور شناسایی اندازه شیفت در میانگین مشخصه‌های کیفی و در نتیجه طبقه‌بندی بردار میانگین فرآیند به یکی از ۲۵ کلاس مورد نظر است. برای این منظور ابتدا برای هر یک از ۲۵ حالت بردار میانگین فرآیند چندمشخصه وصفی-متغیر موردنظر، به تعداد ۱۰۰۰۰ بار شبیه‌سازی را تکرار نموده و عملکرد شبکه عصبی طراحی شده را در طبقه‌بندی بردار میانگین به حالت‌های ذکر شده بر حسب معیار درصد طبقه‌بندی درست ارزیابی می‌کنیم. لازم به ذکر است که در این مقاله کلیه محاسبات در نرم‌افزار متلب انجام شده است. جدول (۱) نتایج حاصل از به‌کارگیری شبکه عصبی ارائه شده در طبقه‌بندی بردار میانگین فرآیند به کلاس‌های مختلف را به همراه مقادیر هدف متناظر با هر کلاس نشان می‌دهد.

به‌عنوان مثال در بردار هدف متناظر با کلاس هشتم، از آن‌جا که میانگین مشخصه‌های کیفی پواسون (x_1) در حالت دوم (شیفت مثبت یک انحراف معیار) قرار دارد، در نتیجه از پنج نرون اول متناظر با مشخصه کیفی پواسون (x_1) مقدار هدف دومین نرون خروجی برابر یک و مقادیر هدف سایر نرون‌ها برابر صفر در نظر گرفته می‌شوند. همچنین میانگین مشخصه‌های کیفی نرمال (x_2) نیز در حالت سوم (شیفت مثبت دو انحراف معیار) قرار دارد، در نتیجه از پنج نرون متناظر با مشخصه کیفی نرمال (x_2) یعنی نرون‌های ششم تا دهم، مقدار هدف هشتمین نرون خروجی برابر یک و مقادیر هدف سایر نرون‌های خروجی برابر صفر در نظر گرفته می‌شوند. نتایج جدول (۱) نشان می‌دهد که در تمامی حالت‌های بردار میانگین فرآیند شامل حالت تحت کنترل، شیفت‌های مثبت و منفی و همچنین شیفت‌هایی

پنجم معرفی می‌کند)، درصد تشخیص درست وضعیت خارج از کنترل بودن فرآیند را مشخص می‌کند.

همچنین به منظور ارزیابی عملکرد شبکه عصبی پیشنهادی در تشخیص عوامل انحراف در بردار میانگین فرآیند نیز برای هر کلاس به تعداد ۱۰۰۰۰ بار شبیه‌سازی را تکرار نموده و سپس به ترتیب زیر عمل می‌کنیم:

۱. برای هر یک از کلاس‌های دوم، سوم، چهارم و پنجم که میانگین مشخصه کیفی x_2 تغییر یافته است، مشخصه کیفی x_2 عامل انحراف در بردار میانگین فرآیند معرفی می‌شود. بنابراین مجموع تعداد دفعاتی که شبکه عصبی پیشنهادی بردار میانگین فرآیند را به یکی از این کلاس‌ها طبقه‌بندی می‌کند، درصد تشخیص درست عامل انحراف به وسیله شبکه عصبی را مشخص می‌کند.
۲. برای هر یک از کلاس‌های ششم، یازدهم، شانزدهم و بیست و یکم که میانگین مشخصه کیفی x_1 تغییر یافته است، مشخصه کیفی x_1 به عنوان عامل انحراف در بردار میانگین فرآیند معرفی می‌شود. بنابراین مجموع تعداد دفعاتی که شبکه عصبی پیشنهادی بردار میانگین فرآیند را به یکی از این کلاس‌ها طبقه‌بندی می‌کند، درصد تشخیص درست عامل انحراف به وسیله شبکه عصبی را مشخص می‌کند.
۳. برای هر یک از کلاس‌های هفتم، هشتم، نهم، دهم، دوازدهم، سیزدهم، چهاردهم، پانزدهم، هفدهم، هجدهم، نوزدهم، بیستم، بیست و دوم، بیست و سوم، بیست و چهارم و بیست و پنجم که مقادیر میانگین هر دو مشخصه کیفی x_1 و x_2 تغییر یافته است، هر دو مشخصه کیفی عامل انحراف در بردار میانگین فرآیند می‌باشند. بنابراین مجموع تعداد دفعاتی که شبکه عصبی پیشنهادی بردار میانگین فرآیند را به یکی از این کلاس‌ها طبقه‌بندی می‌کند، درصد تشخیص درست عامل انحراف به وسیله شبکه عصبی را مشخص می‌کند.

برای محاسبه احتمال خطای نوع دوم کلاس‌های خارج از کنترل نیز از ۱۰۰۰۰ بار شبیه‌سازی استفاده شده است. نحوه کار بدین صورت است که ابتدا تعداد دفعاتی که شبکه عصبی بردار میانگین فرآیند را به کلاس اول (حالت تحت کنترل) طبقه‌بندی می‌کند تعیین می‌کنیم. سپس نتیجه را به تعداد دفعات شبیه‌سازی تقسیم و احتمال خطای نوع دوم کلاس خارج از کنترل را محاسبه می‌کنیم.

نتایج حاصل از به‌کارگیری شبکه عصبی طراحی شده در تشخیص وضعیت بردار میانگین فرآیند چندمشخصه وصفی-متغیر موردنظر و تشخیص عامل (عوامل) انحراف به همراه احتمال خطای نوع دوم کلاس‌های خارج از کنترل در جدول (۲) خلاصه شده است. همچنین عملکرد شبکه عصبی پیشنهادی در کشف حالات خارج از کنترل با نمودار کنترل مربع تی مقایسه شده است. برای مقایسه عملکرد دو روش در کشف شیفت‌های بردار میانگین فرآیند، احتمال خطای نوع اول نمودار کنترل مربع تی تقریباً برابر احتمال خطای نوع اول شبکه

با اندازه بزرگ، متوسط و کوچک شبکه عصبی ارائه شده عملکرد خوبی در شناسایی اندازه شیفت در میانگین مشخصه‌های کیفی و طبقه‌بندی وضعیت بردار میانگین فرآیند به کلاس‌های موردنظر دارد.

جدول (۱): درصد طبقه‌بندی درست اندازه شیفت

ردیف	شیفت	بردار هدف	درصد طبقه‌بندی درست
۱	(0, 0)	$[1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$	۸۰/۶۰٪
۲	$(0, \sigma_2)$	$[1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$	۸۱/۷۸٪
۳	$(0, 2\sigma_2)$	$[1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$	۸۰/۰۴٪
۴	$(0, 3\sigma_2)$	$[1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$	۸۵/۹۵٪
۵	$(0, -\sigma_2)$	$[1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$	۸۳/۸۶٪
۶	$(\sigma_1, 0)$	$[0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$	۷۲/۰۶٪
۷	(σ_1, σ_2)	$[0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$	۷۳/۲۴٪
۸	$(\sigma_1, 2\sigma_2)$	$[0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$	۶۷/۹۶٪
۹	$(\sigma_1, 3\sigma_2)$	$[0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$	۷۵/۷۳٪
۱۰	$(\sigma_1, -\sigma_2)$	$[0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$	۸۰/۲۱٪
۱۱	$(2\sigma_1, 0)$	$[0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$	۶۲/۳۹٪
۱۲	$(2\sigma_1, \sigma_2)$	$[0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$	۶۷/۴۷٪
۱۳	$(2\sigma_1, 2\sigma_2)$	$[0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$	۷۱/۸۶٪
۱۴	$(2\sigma_1, 3\sigma_2)$	$[0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$	۷۴/۷۵٪
۱۵	$(2\sigma_1, -\sigma_2)$	$[0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$	۷۲/۴۲٪
۱۶	$(3\sigma_1, 0)$	$[0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$	۷۶/۶۷٪
۱۷	$(3\sigma_1, \sigma_2)$	$[0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$	۷۵/۶۸٪
۱۸	$(3\sigma_1, 2\sigma_2)$	$[0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$	۷۲/۹۵٪
۱۹	$(3\sigma_1, 3\sigma_2)$	$[0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$	۷۴/۴۷٪
۲۰	$(3\sigma_1, -\sigma_2)$	$[0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$	۸۱/۲۷٪
۲۱	$(-\sigma_1, 0)$	$[0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0]^T$	۸۵/۶۰٪
۲۲	$(-\sigma_1, \sigma_2)$	$[0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0]^T$	۸۸/۳۵٪
۲۳	$(-\sigma_1, 2\sigma_2)$	$[0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0]^T$	۸۶/۶۳٪
۲۴	$(-\sigma_1, 3\sigma_2)$	$[0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0]^T$	۹۳/۲۳٪
۲۵	$(-\sigma_1, -\sigma_2)$	$[0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0]^T$	۹۰/۶۶٪

به‌منظور ارزیابی عملکرد شبکه عصبی پیشنهادی در شناسایی وضعیت بردار میانگین فرآیند اعم از تحت کنترل یا خارج از کنترل بودن آن، ابتدا برای هر کلاس به تعداد ۱۰۰۰۰ بار شبیه‌سازی را تکرار نموده و سپس به ترتیب زیر عمل می‌کنیم:

۱. برای کلاس اول (حالت تحت کنترل)، تعداد دفعاتی که شبکه عصبی پیشنهادی بردار میانگین فرآیند را به درستی طبقه‌بندی می‌کند، درصد تشخیص درست وضعیت تحت کنترل بودن فرآیند را مشخص می‌کند.
۲. برای تمامی کلاس‌ها غیر از کلاس اول (حالت‌های خارج از کنترل)، تعداد دفعاتی که شبکه عصبی پیشنهادی بردار میانگین فرآیند را متعلق به کلاس اول یعنی حالت تحت کنترل معرفی نمی‌کند (بردار میانگین را به یکی از کلاس‌های دوم تا بیست و

است، در حالی که نمودار کنترل مربع تی از چنین قابلیت‌های برخوردار نیست.

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

در این مقاله یک روش مبتنی بر شبکه عصبی برای پایش بردار میانگین مشخصه‌های کیفی فرآیندهای چندمشخصه وصفی-متغیر ارائه گردید. مزیت عمده روش ارائه شده این است که علاوه بر کشف وضعیت خارج از کنترل فرآیند می‌تواند مشخصه (های) کیفی عامل انحراف در بردار میانگین فرآیند را شناسایی و میزان بزرگی شیفت را نیز تعیین نماید. عملکرد روش پیشنهادی در تعیین وضعیت تحت کنترل یا خارج از کنترل بودن میانگین فرآیند، همچنین تشخیص مشخصه (های) عامل انحراف در فرآیند و تعیین اندازه شیفت در مشخصه (های) کیفی خارج از کنترل در قالب یک مثال عددی و براساس شبیه‌سازی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان داد که روش ارائه شده عملکرد رضایت‌بخشی در تمامی موارد تعیین وضعیت تحت کنترل بودن یا خارج از کنترل بودن فرآیند، همچنین تشخیص مشخصه (مشخصه‌های) عامل انحراف در بردار میانگین فرآیند و تعیین اندازه شیفت دارد. عملکرد روش پیشنهادی همچنین با روش مربع تی در کشف حالت خارج از کنترل و با روش تجزیه مبتنی بر آماره مربع تی در تشخیص مشخصه‌های کیفی عامل انحراف مقایسه شد. نتایج نشان‌دهنده عملکرد تقریباً یکسان هر دو روش در کشف حالت خارج از کنترل به ازای شیفت‌های مختلف است. همچنین در تشخیص مشخصه‌های کیفی عامل انحراف، روش پیشنهادی در بیشتر موارد از عملکرد بهتری نسبت به روش تجزیه مبتنی بر آماره مربع تی برخوردار است. به‌عنوان مطالعه آتی، روش پیشنهادی می‌تواند در هرگونه فرآیند چندمشخصه وصفی-متغیر با توزیع‌های مختلف و با هر تعداد مشخصه کیفی همبسته توسعه داده شود.

تقدیر و تشکر: از داوران محترم که با نظرات سازنده و پیشنهادات خود باعث بهبود کیفیت مقاله گردیدند صمیمانه تقدیر و تشکر می‌شود.

مراجع

- [1] Bersimis, S., Psarakis, S., Panaretos, J. (2007). Multivariate statistical process control charts: an overview, *Quality and Reliability Engineering International*, 23: 517 – 543.
- [2] Topalidou, E., Psarakis, S. (2009). Review of multinomial and multiattribute quality control charts, *Quality and Reliability Engineering International*, 25: 773 – 804.
- [3] Psarakis, S. (2011). The use of neural networks in statistical process control charts, *Quality and Reliability Engineering International*, 27: 641 – 650.

عصبی ارائه شده در نظر گرفته شده است. بدین ترتیب مقایسه درصد تشخیص درست وضعیت بردار میانگین فرآیند به ازای تمامی حالت‌های خارج از کنترل منطقی خواهد بود. شایان ذکر است که به منظور توسعه نمودار کنترل مربع تی و استفاده از آن در فرآیند چندمشخصه وصفی-متغیر موردنظر از روش معکوس نورتا استفاده گردیده است. همچنین بایستی اشاره شود که مقدار حد کنترل بالای نمودار کنترل مربع تی از طریق شبیه‌سازی برابر $3/306$ به دست آمد. نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد که هر دو روش شبکه عصبی و نمودار کنترل مربع تی عملکرد بسیار خوبی در تعیین وضعیت تحت کنترل بودن و یا خارج از کنترل بودن بردار میانگین فرآیند دارند. با توجه به جدول (۲) می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش بزرگی شیفت در میانگین مشخصه‌های کیفی، عملکرد شبکه عصبی و نمودار کنترل مربع تی در تشخیص درست وضعیت تحت کنترل یا خارج از کنترل بودن بردار میانگین فرآیند نیز بهبود می‌یابد.

در ادامه عملکرد شبکه عصبی پیشنهادی در تشخیص مشخصه‌های کیفی عامل انحراف با روش تشخیص مبتنی بر آماره مربع تی که توسط رانگر و همکاران [۳۳] ارائه شده است مقایسه می‌شود. رانگر و همکاران [۳۳] برای تعیین سهم هر مشخصه کیفی آماره مربع تی را تجزیه نموده و سهم هر یک را در بروز هشدار خارج از کنترل به وسیله رابطه زیر تعیین نمودند:

$$d_i = T^2 - T_{(i)}^2 \quad (1)$$

در رابطه (۱)، T^2 مقدار آماره مربع تی و $T_{(i)}^2$ مقدار آماره مربع تی به ازای تمامی مشخصه‌های کیفی فرآیند غیر از مشخصه i ام است. رانگر و همکاران [۳۳] سپس یک حد آستانه برای سهم مشخصه‌های کیفی عامل انحراف برابر با $\chi_{\alpha,1}^2$ تعیین نمودند. مقدار α' در این مقاله برابر $0/01$ در نظر گرفته شده است.

ستون پنجم و ششم جدول (۲) درصد تشخیص درست مشخصه‌های کیفی عامل انحراف را به ترتیب توسط روش‌های شبکه عصبی و روش رانگر و همکاران [۳۳] نشان می‌دهند. نتایج نشان می‌دهد که در اکثر وضعیت‌های خارج از کنترل، شبکه عصبی پیشنهادی عملکرد بهتری از روش رانگر و همکاران [۳۳] در تشخیص مشخصه‌های کیفی عامل انحراف دارد. اگر چه روش ایشان در تمامی شیفت‌هایی که یک مشخصه کیفی در جهت مثبت و مشخصه کیفی دیگر در جهت منفی شیفت یافته است عملکرد بهتری از شبکه عصبی پیشنهادی در تشخیص عوامل انحراف دارد، لیکن این روش در تعدادی از شیفت‌ها بسیار بد عمل می‌کند. در حالی که شبکه عصبی پیشنهادی در تمامی شیفت‌ها عملکرد بسیار خوبی در تشخیص مشخصه‌های کیفی عامل انحراف دارد. بنابراین به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که شبکه عصبی پیشنهادی در زمینه تشخیص عوامل انحراف بر روش رانگر و همکاران [۳۳] مبتنی بر مربع تی ارجحیت دارد. مزیت دیگر شبکه عصبی ارائه شده قابلیت آن در تعیین بزرگی تغییر در مشخصه‌های کیفی خارج از کنترل

جدول (۲): درصد تشخیص درست وضعیت فرآیند و عوامل انحراف

ردیف	شیفت	درصد تشخیص درست وضعیت فرآیند توسط شبکه	درصد تشخیص درست وضعیت فرآیند توسط نمودار کنترل T^2	درصد تشخیص درست عوامل انحراف توسط شبکه	درصد تشخیص درست عوامل انحراف توسط روش رانگر و همکاران	β حاصل از شبکه
۱	(0, 0)	۸۰/۶۰٪	۸۰/۴۶٪	-	-	-
۲	(0, σ_2)	۹۵/۹۴٪	۹۵/۲۲٪	۸۵/۷۹٪	۸۹/۴۱٪	۰/۰۴۰۶
۳	(0, 2 σ_2)	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۹۰/۱۳٪	۵۷/۸۵٪	۰
۴	(0, 3 σ_2)	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۹۰/۳۰٪	۱۶/۰۶٪	۰
۵	(0, - σ_2)	۹۵/۶۷٪	۹۶/۶۲٪	۸۳/۶۸٪	۸۹/۰۰٪	۰/۰۴۳۳
۶	(σ_1 , 0)	۹۳/۲۵٪	۹۲/۶۱٪	۸۱/۶۵٪	۹۰/۰۶٪	۰/۰۶۷۵
۷	(σ_1 , σ_2)	۹۸/۷۳٪	۹۷/۳۵٪	۸۸/۲۴٪	۱۰/۴۱٪	۰/۰۱۲۷
۸	(σ_1 , 2 σ_2)	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۸۹/۹۹٪	۴/۸۰٪	۰
۹	(σ_1 , 3 σ_2)	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۸۸/۷۱٪	۲/۷۹٪	۰
۱۰	(σ_1 , - σ_2)	۹۹/۹۴٪	۹۹/۹۸٪	۸۸/۵۱٪	۹۳/۰۰٪	۰/۰۰۰۶
۱۱	(2 σ_1 , 0)	۹۹/۹۹٪	۹۹/۹۹٪	۸۶/۵۳٪	۶۸/۱۶٪	۰/۰۰۰۱
۱۲	(2 σ_1 , σ_2)	۱۰۰٪	۹۹/۹۷٪	۹۴/۱۶٪	۹/۳۷٪	۰
۱۳	(2 σ_1 , 2 σ_2)	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۹۹/۹۸٪	۷۹/۴۳٪	۰
۱۴	(2 σ_1 , 3 σ_2)	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۹۹/۹۸٪	۴۴/۱۹٪	۰
۱۵	(2 σ_1 , - σ_2)	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۹۶/۶۳٪	۹۹/۷۱٪	۰
۱۶	(3 σ_1 , 0)	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۸۶/۵۴٪	۳۲/۷۶٪	۰
۱۷	(3 σ_1 , σ_2)	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۹۲/۷۵٪	۱/۵۴٪	۰
۱۸	(3 σ_1 , 2 σ_2)	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۸۷/۹۵٪	۰
۱۹	(3 σ_1 , 3 σ_2)	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۹۸/۲۴٪	۰
۲۰	(3 σ_1 , - σ_2)	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۹۷/۰۹٪	۹۹/۹۹٪	۰
۲۱	(- σ_1 , 0)	۹۷/۳۲٪	۹۸/۹۳٪	۸۵/۶۰٪	۸۸/۵۷٪	۰/۰۲۶۸
۲۲	(- σ_1 , σ_2)	۹۹/۹۸٪	۱۰۰٪	۹۳/۵۰٪	۹۷/۷۱٪	۰/۰۰۰۲
۲۳	(- σ_1 , 2 σ_2)	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۹۷/۶۲٪	۱۰۰٪	۰
۲۴	(- σ_1 , 3 σ_2)	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۹۷/۶۳٪	۱۰۰٪	۰
۲۵	(- σ_1 , - σ_2)	۹۹/۳۲٪	۹۹/۵۱٪	۹۰/۶۶٪	۱۳/۶۰٪	۰/۰۰۶۸

921.

- [10] 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: 141 – 152.
- [11] Niaki, S.T.A., Davoodi, M. (2009). Designing a multivariate-multistage quality control system using artificial neural networks, International Journal of Production Research, 47: 251 – 271.
- [12] Du, S., Lv, J., Xi, L. (2010). An integrated system for on-line intelligent monitoring and identifying process variability and its application, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 23: 529 – 542.
- [13] El-Midany, T.T., El-Baz, M.A., Abd-Elwahed, M.S. (2010). A proposed framework for control chart pattern recognition in multivariate process using artificial neural networks, Expert Systems with Applications, 37: 1035 – 1042.
- [14] Hwang, H.B., Wang, Y. (2010). Shift detection and source identification in multivariate autocorrelated processes, International Journal of Production Research, 48: 835 – 859.
- [15] Aparisi, F., Jabaloyes, J., Carrion, A. (2001).
- [4] Cheng, C.S., Cheng, H.P. (2011). Using neural networks to detect the bivariate process variance shifts pattern, Computers & Industrial Engineering, 60: 269 – 278.
- [5] Aparisi, F., Sanz, J., Avendano, G. (2007). Neural networks to identify the out-of-control variables when a MEWMA chart is employed, Applied Simulation and Modeling Conference, Palma De Mallorca, Spain, 29 – 31.
- [6] Cheng, C.S., Cheng, H.P. (2008). Identifying the source of variance shifts in multivariate process using neural networks and support vector machines, Expert Systems with Applications, 35: 198 – 206.
- [7] Hwang, H.B. (2008). Toward identifying the source of mean shifts in multivariate SPC: A neural network approach, International Journal of Production Research, 46: 5531 – 5559.
- [8] 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: 2945 – 2963.
- [9] 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: 909 –

- conference on Computers and Industrial Engineering, Cape Town, South Africa, 135-144.
- [۳۱] امیری، امیرحسین، ملکی، محمدرضا، دورودیان، محمدهادی (۱۳۹۳). پایش تغییرپذیری فرآیندهای چند مشخصه وصفی و متغیر با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، در نشریه مدیریت تولید و عملیات چاپ خواهد شد.
- [32] Doroudyan, M.H., Amiri, A. (2013). Monitoring multivariate-attribute processes based on transformation techniques, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 69: 2161-2172.
- [33] Runger, G.C., Alt, F.B., Montgomery, D.C. (1996). Contributors to a multivariate statistical process control chart signal, *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 25: 2203 – 2213.
- Generalized variance chart design with adaptive sample sizes: The bivariate, *Communications in Statistics Theory and Methods*, 30: 931 – 948, 2001.
- [16] Grigoryan, A., He, D. (2005). Multivariate double sampling $|S|$ charts for controlling variability, *International Journal of Production Research*, 43: 715 – 730.
- [17] Atashgar, K., Noorossana, R. (2011). An integrating approach to root cause analysis of a bivariate mean vector with a linear trend disturbance,” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 52: 407 – 420.
- [18] Niaki, S.T.A., Nasaji, S.A. (2011). A hybrid method of artificial neural networks and simulated annealing in monitoring auto-correlated multi-attribute processes, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 56: 777 – 788.
- [19] Elman, J.L. (1990). Finding structure in time, *Cognitive Science*, 14: 179 – 211.
- [20] Salehi, M., Bahreinnejad, A., Nakhai, I. (2011). On-line analysis of out-of-control signals in multivariate manufacturing processes using a hybrid learning-based model, *Neurocomputing*, 74: 2083 – 2095.
- [21] Noorossana, R., Atashgar, K., Saghaei, A. (2011). An integrated supervised learning solution for monitoring process mean vector, *The International journal of Advances Manufacturing Technology*, 56: 755 – 765.
- [22] Ahmadzadeh, F. (2009). Change point detection with multivariate control charts by artificial neural network, Published online in *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*.
- [23] Salehi, M., Kazemzadeh, R.B., Salmansnia, A. (2012). On line detection of mean and variance shift using neural networks and support vector machine in multivariate processes, *Applied Soft Computing*, 12: 2973 – 2984.
- [24] Kang, L., Brenneman, W.A. (2010). Product defect rate confidence bound with attribute and variable data, *Quality and Reliability Engineering International*, 27: 353 – 368.
- [25] Ganjali, M. (2003). A model for mixed continuous and discrete responses with possibility of missing responses, *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 14: 53 – 60.
- [26] Ning, X., Tsung, F. (2010). Monitoring a process with mixed-type and high-dimensional data, 17th IEEE Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Macao, China, 1430 – 1432.
- [27] Doroudyan, M.H., Amiri, A. (2011). Root transformation method for monitoring correlated variable and attribute quality characteristics, 11th Islamic Countries Conference on Statistical Sciences (ICCS-11), Lahore, Pakistan, 195 – 200.
- [28] Maleki, M.R., Amiri, A., Rasouli, M. (2013). Monitoring Variability of Multivariate-attribute processes Using EWMA Control Charts Based on NORTA Inverse Technique, *Proceedings of the 3rd International Conference on Production and Industrial Engineering, Jalandhar, India*, 1390 – 1393.
- [29] Niaki, S.T.A., Abbasi, B. (2009). Monitoring multi-attribute processes based on NORTA inverse transformed vectors, *Communications in Statistics—Theory and Methods*, 38: 964 – 979.
- [30] Maleki, M.R., Amiri, A., Doroudyan, M.H. (2012). Monitoring Multivariate-attribute Processes Using Artificial Neural Network, *Proceedings of the 42th*



Designing an Artificial Neural Network for Simultaneous Detecting, Diagnosing and Quantifying the Magnitude of Mean Shift(s) in Multivariate-attribute Processes

M.R. Maleki, A. Amiri *

Department of Industrial Engineering, Shahed University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received 7 October 2013
Accepted 1 June 2014

Keywords:

Multi-layer perceptron neural
network
Multivariate-attribute process
Average run length.

ABSTRACT

In some statistical process control applications, the quality of a product is characterized by the combination of both correlated variable and attributes quality characteristics. To the best of our knowledge, there is no method in the literature available for identifying the shift magnitude in the out-of-control quality characteristics in multivariate-attribute processes. In this paper, a neural network (NN)-based method is proposed to identify the magnitude of shifts in the out-of-control quality characteristics. The proposed methodology can also determine the process state and diagnose the quality characteristic(s) responsible for out-of-control signals. The performance of the proposed NN-based method in determining the mean shifts magnitude, detecting the process change as well as diagnosing the out-of-control quality characteristic(s) is evaluated based on a numerical example through simulation studies. In addition, the performance of the proposed NN in detection and diagnosis is compared with existing methods in the literature. The results of simulation study show the satisfactory performance of the proposed NN.

* Corresponding author. Amirhossein Amiri
Tel.: 021-51212065; E-mail addresses: amiri@shahed.ac.ir