فصلنامه مدیریت راهبردی در سیستم های صنعتی (مدیریت صنعتی سابق)
دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج
سال هجدهم/ شماره ۶۵ / پاییز ۱۴۰۲

ارائه مدلی جهت کنترل فرآیندآماری به منظور بهینه‌سازی راندمان و کیفیت در صنایع تولیدی

عباس مروتی
دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
سیدجلال الدین حسینی غنچه (نویسنده مسؤول)
استادیار، گروه ریاضی، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان ،ایران
Email:sjhghoncheh@srbiau.ac.ir
حسن حاله
استادیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده فنی و مهندسی گلپایگان، دانشگاه صنعتی اصفهان، گلپایگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۴ * تاریخ پذیرش ۱۴۰۲/۰۶/۱۳

چکیده
در این پژوهش یک مدل کنترل فرآیند آماری ترکیبی برای شناسایی عوامل تأثیرگذار بر راندمان و کیفیت در صنایع تولیدی و قطعه ساز ارائه شده و سپس تحت کنترل قراردادن و بهینه سازی این فرآیندها مد نظر قرار می گیرد. صنایع تولیدی و قطعه ساز به عنوان بدنه اصلی صنایع کشور جهت مطالعه موردی و پیاده سازی در نظر گرفته شده است. جهت کشف عوامل اثرگذار بر راندمان از تکنیک‌های خوشه بندی استفاده می شود. سپس با استفاده از الگوریتم‌های درخت تصمیم به پیش بینی راندمان و کیفیت در این صنایع پرداخته می‌شود و در مرحله پایانی جهت رسم نمودارهای کنترل، از نمودارهای کنترل پراکندگی و میانگین متغیرها استفاده می گردد. جدول مقایسه‌ای پارامترها توسط خروجی نرم افزار کلمنتاین تهیه شده و در بخش شبکه عصبی از نرم افزار رپیدماینر استفاده می‌شود. نتایج حاصل از شناسایی عوامل اثرگذار و پیش بینی از نظر فنی به مقادیر هدف نزدیک بوده و نمودارهای کنترل با حدود کنترل فنی مشخصه‌ها همخوانی داشته و جهت بهینه سازی مقدار هدف که راندمان و کیفیت است مفید می باشد.

کلمات کلیدی: خوشه بندی، راندمان، صنایع تولیدی، کنترل فرآیندآماری، کیفیت.

۱-مقدمه

در شرایط کنونی با توجه به شرایط رقابتی شرکت‌ها و لزوم افزایش راندمان و کیفیت به عنوان مزیت رقابتی، مدیریت و افزایش راندمان و کیفیت از مهمترین اهداف واحدهای صنعتی تولیدی می‌باشد. این واحدهای صنعتی تحت فشارهای عمده اقتصادی و محیطی هستند. برخورداری از قدرت رقابت اقتصادی در بازار ملی و جهانی و تحقق استانداردهای زیست محیطی فزاینده برای کاستن از آلودگی آب و هوا، نیروهای محرکه عمده ای در بیشتر تصمیمات سرمایه گذاری هزینه سرمایه و هزینه عملیاتی و هزینه کیفی اخیر برای این صنایع بوده است. مدیریت راندمان و کیفیت ابزاری مهم برای کمک به صنایع تولیدی برای تحقق این اهداف حساس برای حفظ بقا در کوتاه مدت و دستیابی به موفقیت در بلندمدت می‌باشد. یکی از چالش‌های عمده در این تحقیق شناسایی عوامل اصلی تأثیرگذار بر راندمان و کیفیت جهت بهینه سازی، کنترل و مدیریت مستمر آنها است.

استفاده از تکنیک های کنترل آماری فرآیند در فاز بعدی می‌تواند جهت کنترل و بهبود مستمر فرآیندهای مورد بررسی مفید باشد. کنترل کیفیت آماری قابلیت فرآیند را با کاهش تغییر پذیری متغیرها بهبود می بخشد. در واقع تحقیق حاضر سیستمی در قالب یک مدل کنترل آماری فرآیند جهت مدیریت و کنترل هرچه بهتر و دقیق تر و موثرتر راندمان و کیفیت در واحدهای صنعتی تولیدی ارائه خواهد داد. انجام تحقیقات بنیادی در زمینه افزایش راندمان و کیفیت می‌تواند به این صنایع در شرایط رقابتی کنونی کمک شایانی کند.

روش‌های آماری سنتی به دو دلیل امروزه کارائی خود را از دست داده‌اند. علت اول افزایش تعداد مشاهدات است و علت دوم که از اهمیت بالاتری برخوردار است، افزایش تعداد متغیرهای مربوط به یک مشاهده می باشد (Ismaili, 2014). از این رو ارائه مدل های جدید و خاص ادغامی در زمینه های مختلف صنعت و بنگاه های اقتصادی می تواند کمک شایانی به بهینه سازی هرچه بیشتر راندمان و کیفیت نماید.

از نمودارهای کنترل معمولا برای پایش تغییراتی استفاده می‌شود که ممکن است بر کیفیت فرآیند تاثیر بگذارند. برای طراحی نمودارهای کنترل سه روش وجود دارد: طراحی آماری، طراحی اقتصادی و طراحی اقتصادی–آماری. از آنجا که پایش آماری فرآیند موجب کشف سریع تغییرات فرآیند می شود، واکنش لازم در برابر عدم انطباق صورت می‌گیرد. در این رابطه مدلی برای طراحی اقتصادی نمودار کنترل ارائه شده است که فقط ویژگی‌های آماری فرآیند را در نظر می‌گیرد. محققان طراحی اقتصادی–آماری و اقتصادی نمودار کنترل X با انحرافات با دلیل چندگانه را درحضور داده های غیر نرمال بررسی کرده اند. همچنین طراحی اقتصادی–آماری یک نمودار کنترلی انطباقی در حضور انحرافات با دلیل چندگانه را نیز بررسی کرده‌اند.

از سالیان دور بحث کنترل فرایند آماری به عنوان یک موضوع بسیار مهم در امر کیفیت مطرح بوده و استفاده از آن، روز به روز افزایش می یابد به طوری که در سرتاسر جهان تا حدود زیادی شناخته شده می‌باشد و راهکار ایجاد و توسعه آن به عنوان یک زیر بنا مورد توجه بسیاری واقع گردیده و در صنایع مختلف تولیدی با سطوح مختلف تکنولوژی کارآمد می‌باشد. کنترل آماری فرآیند مجموعه‌ای قدرتمند و توانا از ابزار حل مشکل است که در ایجاد ثبات در فرآیندها و بهبود کارآیی آنها از طریق کاهش تغییر پذیری مفید واقع می‌گردد. یکی ازاهداف اصلی کنترل آماری فرآیند پی بردن سریع به وجود انحرافات با دلیل یا تغییرات در فرآیند است تا قبل از این که تعداد زیادی محصول معیوب تولید شود، علل ایجاد چنین انحرافاتی در بررسی و اقدامات اصلاحی انجام گیرد.

از میان ابزار مطروحه در بحث کنترل آماری فرایند، نمودار کنترل را می توان به عنوان ابزار موثری جهت کاهش تغییر پذیری فرآیند استفاده نمود. این نمودار شامل یک خط مرکز است که مقدار متوسط مشخصه کیفی را در حالت تحت کنترل نشان می‌دهد و دو خط افقی دیگر حد کنترل بالا و حدکنترل پایین نامیده می‌شوند . این حدود کنترل به گونه ای انتخاب شده اند که اگر فرآیند تحت کنترل باشد آنگاه تقریبا کلیه نقاطی که بر اساس اطلاعات نمونه محاسبه شده‌اند ، بین این حدود واقع می‌شوند و درغیر اینصورت فرآیند خارج از کنترل به سر می برد و اقدامات اصلاحی نیاز است تا منبع ایجاد انحراف یا انحرافات با دلیل تعیین و حذف گردد. بیشترین کاربرد این نمودارها برای نظارت و کنترل فرآیند حین تولید است (Montgomery, 2007).

بر اساس منابع علمی موجود برای انجام کنترل آماری فرایند بایستی هشت مرحله طی شود. در این‌تحقیق هر مرحله به عنوان یک‌حوزه در نظر گرفته می شود که عبارتست از:

۱. تشخیص بحرانی بودن فرایند (آیا فرایند مورد نظر مثل برشکاری، شرایط بحرانی بودن را دارد و ضروری است که کنترل آماری بر روی آن اجرا گردد)
۲. تشخیص بحرانی بودن مشخصه (آیا مشخصه مورد نظر در فرایند مثل قطر قطعه، شرایط بحرانی بودن را دارد و ضروری است کنترل آماری بر اساس آن انجام شود)
۳. تعیین ویژگی نمودار کنترل (نمودار کنترلی که باید انتخاب شود جزء کدام دسته از نمودارهای کنترل است و چه ویژگی دارد مثل نمودارهای کنترل متغیر)
۴. تعیین نوع نمودار کنترل (نوع نمودار کنترلی که باید انتخاب و استفاده شود چه هست مثل نمودار کنترل متغیر x bar and r)
۵. تعیین نحوه نمونه گیری (اندازه نمونه و فواصل نمونه گیری چه باید باشد تا هم از نظر اقتصادی به صرفه باشد و هم اینکه باعث ایجاد بهبود گردد)
۶. تعیین پایدار بودن فرایند (آیا فرایند تحت کنترل است)
۷. تعیین توانا بودن فرآیند (آیا فرایند قابلیت دارد)
۸. ارائه اقداماتی جهت بهبود فرایند و اصلاح می باشد (بر اساس شرایط به دست آمده در حوزه های قبلی اقداماتی جهت بهبود و اصلاح ارائه می گردد) (Fatemi Qomi, 2001).

عمده دلیل عدم توجه به بحث کنترل آماری فرآیند در صنایع تولیدی و ناکامی آنها در به کارگیری آن را می توان در نبود دانش و تجربه کافی در این زمینه برشمرد. برای برون رفت از این معضل می بایست دانش فرایند کنترل آماری را افزایش داده، تجربیات افراد متخصص را شناسایی و مستند نمود و آنها را در اختیارکاربران و کارشناسان قرارداد. بدیهی است همه موارد فوق مستلزم صرف هزینه‌های کلان و وقت بسیار می‌باشد که ممکن است دست نیافتنی بوده ویا نتیجه مطلوبی نداشته باشد. بر این اساس نیاز به یک سیستمی که بتواند به عنوان یک مشاور خوب و مطمئن دانش کنترل آماری فرآیند را جامع، دقیق و به راحتی در اختیار کارشناسان و کاربران قرار دهد، ملموس و مشهود است.

با توجه به اینکه تغییر پذیری پدیده‌ای دائمی و جزء لاینفک همه فرآیندهای تولیدی است، روش‌های آماری می‌توانند موثرترین وسیله برای کنترل این تغییرات باشند. در کنترل آماری فرآیندهای تولیدی برای تعیین حالت خروج از کنترل روش های گوناگونی وجود دارد. تقریبا در همه‌ی این روش‌ها فرض نرمال حاکم است. در حالیکه در برخی از آنها دسترسی به پارامترهای جامعه آماری، یعنی بردار میانگین و ماتریس واریانس–کوواریانس، پیش نیاز است و در برخی دیگر این پارامترها بر اساس نمونه های تصادفی مناسب از فرآیندی که تحت کنترل است، برآورده می شود .

بسیاری از محصولاتی که در دهه های اخیر تولید می شوند حاصل فرآیندهای تولیدی هستند که در آنها خاصیت آبشاری وجود دارد به این معنا که عملکرد فرآیند در یک مرحله خاص تحت تاثیر عملکرد فرآیند در مراحل پیش از آن قرار دارد و به عبارت بهتر بین مراحل مختلف فرآیند همبستگی آماری وجود دارد. همین امر سبب می شود که برای کنترل آماری این فرآیندها سیستم‌های سنتی و متداول امکان پذیر نباشد. در زمینه‌ی کنترل آماری فرآیندهای تولیدی و به منظور کنترل یک مرحله از فرآیند تولید، تحقیقات زیادی صورت گرفته است. هدف اصلی این تحقیقات، در نظر گرفتن همبستگی بین چندین مشخصه برای یک مرحله از فرآیند است. اما در صنایع تولیدی با موارد زیادی مواجه هستیم که در آنها تولید، شامل چند مرحله است. بنابراین، وجود روشی برای کنترل آماری فرآیندهای تولیدی ضرورت می‌یابد. موضوع اصلی در کنترل آماری فرآیندهای تولیدی که این نوع مسائل را از کنترل آماری فرآیندهای دیگر جدا می‌کند همبستگی بین متغیرها است، به گونه ای که کنترل‌های جداگانه هر متغیر و عدم توجه به این همبستگی‌ها عواقب نامطلوبی به بار می‌آورد.

در دنیای پیچیده‌ی امروز برای انجام هر کاری نیاز به ابزار می‌باشد و مدیریت نیز از این قاعده مستثنی نیست. لذا سازمان‌ها نیز برای پیشبرد اهداف خود و کنترل بهتر بر فرآیندهایشان نیازمند استفاده از ابزارهای مدیریتی هستند و مشروط به اثربخشی ابزارها، آنها را مورد استفاده قرار می دهند. اگر چه قوت و قابلیت ذاتی هر ابزار شرط لازم برای اثربخشی آن است، اما چگونگی پیاده سازی آن ابزار نیز، شرط کافی این اثربخشی محسوب می شود. به عبارت دیگر، استفاده از ابزارها و تکنیک‌ها یک جزء حیاتی هر فرآیند موفق بهبود می باشد.

کنترل کیفیت آماری و به طور خاص کنترل فرآیند آماری یکی از مجموعه ابزارهای مدیریت است، که به عنوان یک فناوری ارزشمند برای فهم رفتار فرآیند و تصمیم‌گیری به موقع از سوی کاربران و مدیرانی که در بخش تولید فعالیت می‌کنند تلقی می‌شود. رونالد کالکوت یکی از راه‌های پیشگیری از سقوط رتبه‌ی بریتانیا در حوزه‌ی تولید ناخالص ملی را درک بهتر مدیران از کنترل فرآیند آماری می‌داند. البته باید در نظر داشت کنترل فرآیند آماری خود به تنهایی نمی‌تواند فرآیند را تحت کنترل درآورده یا قابلیت آن را افزایش دهد، بلکه استفاده نظام‌مند از این فناوری، شناخت علل متعدد تغییر را ممکن ساخته و وضعیت‌های خارج از کنترل را نمایان می‌سازد.

در مدل‌های موجود به حوزه‌های نحوه نمونه گیری (اندازه نمونه و فواصل نمونه گیری)، ویژگی نمودار کنترل، نوع نمودار کنترل، پایداری فرایند، قابلیت فرایند و اقدامات اصلاحی و بهبود فرایند پرداخته شده است. در حالیکه در مدل پیشنهادی در تحقیق حاضر علاوه بر حوزه‌های فوق، حوزه‌های بحرانی بودن فرایند و بحرانی بودن مشخصه نیز به عنوان شرط لازم جهت ورود به بحث کنترل آماری فرایند به طور شفاف و روشن اضافه شده است.

هدف از این تحقیق را می توان به قرار زیر بیان نمود: یافتن حوزه های ضروری کنترل فرایند آماری برای راندمان و کیفیت و همچنین ارائه مدلی جهت بیشینه کردن راندمان و کیفیت فرآیندهای تولیدی.

۲- روش شناسی پژوهش

الف) مرور ادبیات و پیشینه نظری

امروزه کیفیت یک عامل کلیدی جهت دستیابی به موفقیت‌های تجاری، رشد و جایگاه رقابتی بهتر محسوب می گردد، به طوری که تشدید رقابت جهانی و افزایش تقاضای مشتریان برای کیفیت بهتر، باعث حرکت شرکت‌ها به سمت ارائه محصولات و خدمات با کیفیت بالا شده است(Montgomery, 2007). طبق نظر کرازبی کیفیت هیچ معنا و مفهومی جز هرآنچه که مشتری واقعا می‌خواهد ندارد، به عبارت دیگر یک محصول یا خدمت زمانی با کیفیت است که با خواسته‌ها و نیازهای مشتری انطباق داشته باشد(Fatemi Qomi, 2001)

در مورد تعریف کیفیت فرآیند می توان گفت با وجود اینکه محققان به این نتیجه رسیدند که کیفیت فرآیند باید بر اساس دیدگاه کاربران تعریف شود، تعریف آن، کار بسیار دشواری است. رایج‌ترین تعریف از کیفیت فرآیند به صورت تفاوت میان انتظارات کاربران و ادراکات آنها از فرآیند دریافتی، بیان می شود (Alexander, 1987). در زمینه ارزیابی کیفیت، سروکوال یکی از مشهورترین روش‌های اندازه گیری بوده که در سال ۱۹۸۵ توسط پاراسارامون، بری و زیتامل مطرح شد. آنها در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که کاربران کیفیت فرآیند را از طریق مقایسه عملکرد فرآیمد (درک) با آنچه که آنها فکر می‌کنند واقعا باید باشد (انتظار) ارزیابی می کنند. مطابق با این مدل پنج بعد اصلی کیفیت شامل: ملموسات، قابلیت اعتماد، پاسخگویی، تضمین و همدلی می باشد (Hosni & Elshennawy, 1988).

تکنیک گسترش عملکرد کیفیت سیستمی است که نیازها و خواسته‌های مشتری را به محصول یا خدمت مناسب وی تبدیل می‌کند، به عبارت بهتر آن دسته از نیازها و خواسته‌های مشتری را که می‌توان با استفاده از عملکرد محصول یا خدمت ارضا نمود، در تکنیک گسترش عملکرد کیفیت پیاده می شود(Ismaili, 2014).

از گسترش عملکرد کیفیت (QFD) می‌توان به عنوان ماشین مترجم «نیازمندی‌های مشتریان» به «مشخصات فنی و مهندسی» نام برد. به عبارت دیگر این روش مبدل تقاضاهای مشتریان به ویژگی‌های کیفیت و آماده ساختن یک طرح کیفیت برای محصول نهایی است. این عملکرد از طریق گسترش سیستماتیک روابط بین تقاضاهای مشتری و ویژگی‌های کیفیت

محصول انجام می‌شود. این فرایند معمولا با کیفیت اجزای عملکردی آغاز گشته و سپس به کیفیت همه قسمت‌ها و فرآیندها گسترش می‌یابد.

گسترش عملکرد کیفیت از دو جزء تشکیل یافته است که منجر به گسترش در طول فرآیند طراحی می‌گردد یکی کیفیت و دیگری عملکرد می‌باشد. بخش بهسازی کیفیت[1]، ندای مشتری[2] را تبدیل به فرآیند طراحی می‌کند.این امر با شناسایی اهداف طراحی، ویژگی‌های قطعه و محصول که در ارتباط با نیازمندی‌های مشتری می‌باشند، منجر به تضمین طراحی و کیفیت تولید می‌گردد. بهسازی کیفیت در ارتباط با بخش‌های کارکردی مختلف سازمان که با طراحی تولید در ارتباط هستند، با تشکیل تیم طراحی این کار را انجام می‌دهند. متخصصین عملکردی نواقص مربوط به ارتباطات میان مراحل طراحی و عملکردها را کاهش می‌دهند(Ismaili, 2014).

برای رسیدن به اهداف کیفی و در واقع آنچه که اهداف QFD نامیده می‌شود، از ابزارها و روش‌های متفاوتی در QFD استفاده می‌شود. ابزار اصلی برای اجرایQFD، خانه‌های کیفیت است. در واقع انجام این عملیات به وسیله ماتریس‌های متعددی انجام می‌شود. تکنیک QFD با متدهایی نظیر سی ماتریسی، شانزده ماتریسی، چهار ماتریسی و دو ماتریسی در دنیا معرفی و شناخته شده است. در این بین متد چهار ماتریسی که انستیتوی تامین‌کنندگان آمریکا هم آن را مورد تائید و استفاده قرار داده به علل زیر مورد توجه بیشتر قرار گرفته است:

۱. رواج بیشتر نسبت به سایر دیدگاه‌های موجود در بین متخصصان و کاربرانQFD
۲. سادگی یادگیری و خلاصه بودن نسبت به سایر رویکردها
۳. ارتباط منطقی و ساده مراحل مختلف با یکدیگر
۴. پوشش مراحل مهم تولید محصول با استفاده از چهار ماتریس

اولین ماتریس گسترش عملکرد کیفیت را خانه کیفیت HOQ گویند. متخصصین QFD اذعان دارند که اگر این ماتریس به صورت کامل و جامع تکمیل گردد پروژه در همان گام اولیه خاتمه می‌یابد. بنا به اهمیت این ماتریس، هفت بخش آن به قرار زیر آورده شده است: نیازهای مشتریان، ویژگی‌های محصول، اهمیت نیازهای مشتری، ماتریس طرح ریزی، ارتباط بین نیازهای مشتری و ویژگی‌های محصول، ماتریس همبستگی بین مشخصه‌های مهندسی، اولویت‌ها و اهداف هریک از مشخصه‌های مهندسی.

ب) اهمیت راندمان در سازمان

انسان از دیرباز در اندیشه استفاده مفید و کارا و ثمر بخش از توانایی‌ها، امکانات و منابع در دسترس خود بوده است. در عصر کنونی این امر بیش از هر زمان دیگری مورد توجه جدی قرار گرفته است. محدودیت منابع در دسترس، افزایش جمعیت و رشد نیازها و خواسته های بشر باعث شده که دست اندرکاران عرصه اقتصاد، سیاست و مدیریت جامعه و سازمان ها ،افزایش راندمان را دراولویت برنامه‌های خود قرار دهند(Ismaili, 2014). راندمان یک ملت و یک سازمان را ثروتمند می‌کند و به یک سازمان امکان می‌دهد تا به کارکنان خود، دستمزدهای بالا پرداخت نماید. راندمان به مدیران یک سازمان امکان می‌دهد تا بازدهی سرمایه را درسطح بالا نگه دارند. دستمزدهای بالا و بازدهی سرمایه دو عامل اصلی ایجاد ثروت ملی محسوب می‌شوند. ملت هایی که ثروت خود را افزایش می‌دهند و روز به روز ثروتمندتر می‌شوند، ملت‌هایی هستند که می توانند به سرعت و در هر زمان که اراده کنند، راندمان خود را بهبود بخشند. راندمان از جمله مواردی است که همه سازمان‌ها به دنبال آن بوده و سعی در ایجاد و ارتقاء آن در سازمان از طریق راندمان مناسب و مطلوب به مزیت رقابتی دسترسی پیدا می‌کنند. راندمان از مواد، امکانات و تجهیزات، حد و سطح معین و مشخصی دارد و به سهم خود در شکل گیری راندمان سازمانی نقش دارد ولی آنچه در راندمان حد و مرز مشخصی ندارد، سرمایه انسانی است. یکی از عواملی که منجر به راندمان پایدار در سرمایه‌های انسانی می‌گردد؛ آموزش، یادگیری، تفویض اختیار، مدیریت مشارکتی و کارگروهی و تیمی است. این عوامل، عوامل اصلی و بنیادی سازمان یادگیرنده می

[1] Quality Deployment
[2] Voice of Customer

باشند. بنابراین سازمان یادگیرنده با تقویت و بهبود مهارتها، خلاقیت، انگیزه و وفاداری کارکنان از طریق آموزش و یادگیری، تفویض اختیار، مدیریت مشارکتی و کار گروهی و تیمی باعث ارتقاء راندمان می شود (Mirsepassi & Motaghi, 2009).

ج) عوامل موثر در راندمان

۱. شناخت و توجیه شغل: هریک از کارکنان باید از آنچه که باید انجام دهند، زمان و چگونگی انجام آن شناخت خوبی داشته باشند. برای افزایش شناخت خوب کار ، کارکنان نیاز دارند از هدف های بلند مدت ، اولویت ها و چگونگی کسب هریک از آنها آگاهی داشته باشند. آنها باید بدانند چه هدف هایی در چه مواقعی بیشترین اولویت را دارد.

۲. حمایت سازمانی: منظور، حمایت یا کمکی است که کارکنان برای انجام دادن موفقیت آمیز کار به آن نیاز دارند. بعضی از عوامل کمکی عبارتند از: بودجه کافی، تجهیزات و تسهیلاتی که برای انجام دادن کار مناسب است.

۳. بازخورد عملکرد: منظور از این نوع بازخورد، ارائه غیر رسمی عملکرد روزانه فرد به او و همچنین بازدیدهای رسمی دوره ای است. یک فرایند بازخورد موثر، کارکنان را درجریان چگونگی کارشان بر یک مبنای منظم قرار می‌دهد .

۴. مشارکت: مشارکت یک درگیری ذهنی و عاطفی اشخاص در موقعیت های گروهی است که آنان را برمی‌انگیزد تا سازمان را برای دستیابی به هدف‌های گروهی یاری دهند و در مسئولیت کار شریک شوند.

۵. راندمان نیروی انسانی: راندمان نیروی انسانی عبارت است از استفاده‌ی بهینه از نیروی انسانی در جهت پیشبرد اهداف سازمان و چگونگی استفاده کردن از جوانان، میانسالان و حتی بازنشستگان(Montgomery, 2007).

بر اساس جمع‌بندی و تحلیل مرور ادبیات و پیشینه تحقیق مربوط به انواع سیستم‌ها ومدل‌ها در زمینه کنترل آماری فرایند و زمینه‌های مشابه، به این نتیجه می‌رسیم که در مدل‌های موجود به حوزه‌های نحوه نمونه‌گیری (اندازه نمونه و فواصل نمونه‌گیری)، ویژگی نمودار کنترل، نوع نمودار کنترل، پایداری فرآیند، قابلیت فرآیند و اقدامات اصلاحی و بهبود فرآیند پرداخته شده است. در حالیکه در مدل پیشنهادی در تحقیق حاضر علاوه بر حوزه های فوق، حوزه های بحرانی بودن فرایند و بحرانی بودن مشخصه نیز به عنوان شرط لازم جهت ورود به بحث کنترل آماری فرایند به طور شفاف و روشن اضافه شده است. بدین ترتیب مدل پیشنهادی هشت حوزه را شامل می‌شود در حالیکه مدل‌های موجود به طور پراکنده دارای پنج حوزه می‌باشند.

از قرن نوزدهم به‌طور همزمان اما جداگانه، از سویی نوروفیزیولوژیست‌ها سعی کردند سیستم یادگیری و تجزیه و تحلیل مغز را کشف کنند، و از سوی دیگر ریاضیدانان تلاش کردند یک مدل ریاضی بسازند که قابلیت فراگیری و تجزیه و تحلیل عمومی مسائل را دارا باشد. اولین کوشش‌ها در شبیه‌سازی با استفاده از یک مدل منطقی در اوایل دهه ۱۹۴۰ توسط وارن مک‌کالک و والتر پیتز انجام شد که امروزه بلوک اصلی سازنده اکثر شبکه‌های عصبی مصنوعی است. عملکرد این مدل مبتنی بر جمع ورودی‌ها و ایجاد خروجی با استفاده از شبکه‌ای از نورون‌ها است. اگر حاصل جمع ورودی‌ها از مقدار آستانه بیشتر باشد، اصطلاحاً نورون برانگیخته می‌شود. نتیجه این مدل اجرای ترکیبی از توابع منطقی بود.

در سال ۱۹۴۹ دونالد هب قانون یادگیری را برای شبکه‌های عصبی طراحی کرد. در سال ۱۹۵۸ شبکه پرسپترون توسط روزنبلات معرفی گردید. این شبکه نظیر واحدهای مدل شده قبلی بود. پرسپترون دارای سه لایه است که شامل لایه ورودی، لایه خروجی و لایه میانی می‌شود. این سیستم می‌تواند یاد بگیرد که با روشی تکرارشونده وزن‌ها را به گونه‌ای تنظیم کند که شبکه توان بازتولید جفت‌های ورودی و خروجی را داشته‌باشد. روش دیگر، مدل خطی تطبیقی نورون است که در سال ۱۹۶۰ توسط برنارد ویدرو و مارسیان هاف در دانشگاه استنفورد به وجود آمد که اولین شبکه‌های عصبی به کار گرفته شده در مسائل واقعی بودند. آدالاین یک دستگاه الکترونیکی بود که از اجزای ساده‌ای تشکیل شده بود، روشی که برای آموزش استفاده می‌شد با پرسپترون فرق داشت.

در سال ۱۹۶۹ میسکی و پاپرت کتابی نوشتند که محدودیت‌های سیستم‌های تک لایه و چند لایه پرسپترون را تشریح کردند. نتیجه این کتاب پیش داوری و قطع سرمایه‌گذاری برای تحقیقات در زمینه شبیه‌سازی شبکه‌های عصبی بود. آن‌ها با طرح اینکه طرح پرسپترون قادر به حل هیچ مسئله جانبی نمی‌باشد، تحقیقات در این زمینه را برای مدت چندین سال متوقف کردند.

با وجود اینکه اشتیاق عمومی و سرمایه‌گذاری‌های موجود به حداقل خود رسیده بود، برخی محققان تحقیقات خود را برای ساخت ماشین‌هایی که توانایی حل مسائلی از قبیل تشخیص الگو را داشته باشند، ادامه دادند. همچنین او با همکاری کارپنتر شبکه‌های

نظریه تشدید انطباقی را بنا نهادند که با مدل‌های طبیعی تفاوت داشت. اندرسون و کوهونن نیز از اشخاصی بودند که تکنیک‌هایی برای یادگیری ایجاد کردند. ورباس در سال ۱۹۷۴ شیوه آموزش پس انتشار خطا را ایجاد کرد که یک شبکه پرسپترون چندلایه البته با قوانین نیرومندتر آموزشی بود.

پیشرفت‌هایی که در سال ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰ به‌دست آمد، برای جلب توجه به شبکه‌های عصبی بسیار مهم بود. برخی فاکتورها نیز در تشدید این مسئله دخالت داشتند، از جمله کتاب‌ها و کنفرانس‌های وسیعی که برای مردم در رشته‌های متنوع ارائه شد. امروز نیز تحولات زیادی در تکنولوژی ANN ایجاد شده‌است.

د) ابزار و روش

در این تحقیق در حقیقت یک مدل تلفیقی از داده کاوی و کنترل آماری فرآیند برای شناسایی عوامل تأثیرگذار بر راندمان تولید و سپس تحت کنترل قرار دادن و بهینه سازی آنها ارائه می گردد. صنایع تولیدی و به خصوص صنایع بسته بندی به عنوان یکی از صنایع مادر و مهم کشور از نظر راندمان جهت مطالعه موردی و پیاده سازی در نظر گرفته شده است. جهت کشف عوامل اثرگذار از تکنیک‌های خوشه‌بندی و کشف قوانین تلازمی استفاده می‌شود و سپس با استفاده از الگوریتم‌های درخت تصمیم و شبکه عصبی مصنوعی به پیش‌بینی قوانین مربوط به راندمان پرداخته شده و در مرحله پایانی جهت رسم نمودارهای کنترل، از نمودارهای کنترل پراکندگی و میانگین متغیرها استفاده شده است. نتایج حاصل از شناسایی عوامل اثرگذار و پیش‌بینی از نظر فنی به مقادیر هدف نزدیک بوده و نمودارهای کنترل با حدود کنترل فنی مشخصه‌ها همخوانی داشته و جهت بهینه‌سازی مقدار هدف که افزایش راندمان است مفید می‌باشد.

در این تحقیق حوزه مورد بررسی صنایع قطعه سازی بوده است. داده‌های فنی به صورت ساعتی در برگه‌های کنترل توسط اپراتورهای اتاق کنترل مربوطه ثبت می‌گردند. بازه زمانی مورد بررسی سال ۱۴۰۰ بوده است که حدود ۳۳۰۰۰۰ داده برای بررسی می باشد.

برای تعیین وضعیت کلی فرآیند در هر زمان ، آزمون فرضی مبنی بر برابری بردار میانگین فرآیند در آن زمان با بردار میانگین در دست یا برآورده شده، انجام می‌شود که در آن فرض می شود ماتریس های واریانس–کوواریانس جمعیت مرجع و جدید برابرند. تاکنون آزمون‌های مختلفی برای برابری ماتریس‌ها ارائه شده است(Johnson & Wichern, 1992). اگر جامعه‌ی مورد نظر از توزیع نرمال برخوردار باشد و ماتریس‌های واریانس–کوواریانس جمعیت‌های مرجع و جدید آن برابر باشند می‌توان از آماره‌ی هاتلینگ(Doganaksoy et al., 1991) برای خارج از کنترل بودن کلی فرآیند استفاده کرد. ولی این روش راهی برای تعیین متغیر یا متغیرهایی که خارج از کنترل بودن فرآیند را سبب شده اند، فراهم نمی کند. در این تحقیق با بهره گرفتن از ایده‌هایی که در روش‌های بخش‌بندی پیشامدها، مولفه‌های اصلی و رتبه‌بندی بر اساس آماره‌ی t استیودنت وجود دارد، یک روش ترکیبی مورد بررسی قرار می گیرد.

ه) دیدگاه کلی مدل پیشنهادی

فرض بر این است که در هریک از مراحل، فرآیند تولید از یک توزیع نرمال برخوردار است. این توزیع از طریق یک بردار میانگین و یک ماتریس واریانس–کوواریانس کاملا شناخته می شود. ولی در عمل معمولا بردار میانگین و نیز ماتریس واریانس–کوواریانس این بردار تصادفی از پیش مشخص نیست و باید آنها را از طریق یک فرآیند تحت کنترل تخمین زد. برای این کار، در نخستین مرحله که مرحله‌ی راه اندازی نام دارد، باید با استفاده از روش آلت (Alt, 1985) و از طریق بردار میانگین نمونه و ماتریس واریانس–کوواریانس نمونه، بردار میانگین و ماتریس واریانس–کوواریانس را تخمین زد. پس از تخمین و محاسبه‌ی مقادیر مورد نظر در مرحله بعد که مرحله‌ی بررسی کل فرآیند از جهت انطباق با شرایط تحت کنترل است با استفاده از آماره‌ی هاتلینگ، اگر فرآیند خارج از کنترل باشد، مراحل پدید آورنده‌ی کل فرآیند مورد بررسی قرار می‌گیرند. این مرحله به عنوان یک مرحله‌ی میانبر برای شناسایی عوامل انحراف کل فرآیند از شرایط تحت کنترل تلقی می شود (در این خصوص به تفصیل روش جدیدی ارائه می شود) . با تعیین مرحله یا مراحل عامل انحراف در فرآیندهای تولیدی، تعیین متغیر یا متغییرهای عامل انحراف که هدف نهایی است، در مرحله بعدی مورد بررسی قرار می گیرد. در این مرحله، با استفاده از روش مولفه های اصلی سعی بر آن

است که هرچه بیشتر متغیر یا متغیرهای مظنون شناسایی شوند. برای هرچه بهتر نشان دادن کاربرد مولفه های اصلی در مبحث کنترل کیفیت فرآیندهای تولیدی، روشی مرکب از این شیوه و شیوه ی انتخاب زیر مجموعه‌ای از متغیرها ارائه خواهد شد. بطور خلاصه، ترتیب موارد مورد بحث در این تحقیق به قرار زیر است:

۱. مرحله راه اندازی

فرآیند تولیدی را در نظر بگیرید که از k مرحله تشکیل شده است. فرض کنید که در هر مرحله ی تولیدی تعداد p شاخص کیفیتی وابسته وجود دارد که از یک توزیع نرمال p متغیره با بردار میانگین μ و ماتریس واریانس–کوواریانس $\sum$ برخوردارند (یعنی متغیرهای کیفی دارای توزیع $N_p(\mu,\sum)$ هستند). در مرحله ی راه اندازی m زیر گروه از داده‌ها موجود است و در هر زیر گروه n مشاهده برای p متغیر در نظر گرفته می شود. نمادهایی که در بخش‌های آتی به کار خواهند آمد عبارتند از:

x_{ijl}= ام j ام در زیر گروه i ام از متغیر l مقدار مشاهده شده

$\overline{x}_{ij}$= ام j ام در زیر گروه i میانگین نمونه‌ی متغیر

رابطه (۱)
$$\overline{x}_{ij}=\frac{\sum_{l=1}^{n}x_{ijl}}{n} \quad , \quad (i=1,2,\ldots,p \quad , \quad j=1,2,\ldots,m)$$

رابطه (۲)
$$\overline{\overline{x}}_i=\frac{\sum_{j=1}^{m}\overline{x}_{ij}}{n} \quad , \quad (i=1,2,\ldots,p)$$

رابطه (۳)
$$\overline{\overline{X}}=\left[\overline{\overline{x_1}},\overline{\overline{x_2}},\ldots,\overline{\overline{x_p}}\right]^T$$

برآورد عنصر سطح i ام و ستون j ام ماتریس واریانس–کوواریانس نمونه‌ی زیر گروه j ام :

رابطه (۴)
$$S_{ij}^{j}=\frac{1}{m-1}\sum_{l=1}^{n}\left(\overline{x_{il}}-\overline{\overline{x_i}}\right)\left(\overline{x_{jl}}-\overline{\overline{x_j}}\right) \quad , \quad i=1,2,\ldots,p, \;\; j=1,2,\ldots,m$$

ماتریس واریانس–کوواریانس میانگین نمونه:

رابطه (۵)
$$S_p=\frac{\sum_{j=1}^{m}S^j}{m}$$

مشاهدات مورد استفاده در زیر گروه‌ها که در تخمین به کار رفته اند باید از یک فرآیند تحت کنترل آمده باشند. برای بررسی این مورد، در ادامه مرحله راه اندازی از آماره‌ی هاتلینگ به صورت رابطه‌ی ۶ استفاده می‌شود که در آن $\left(\overline{X}^{(j)}\right)$برداری p بعدی و شامل میانگین نمونه‌ی زیرگروه‌های مربوط به هریک از متغیرهاست. مقدار این آماره با حد بالای کنترل که از رابطه ی ۷ به دست می‌آید مقایسه می شود.

رابطه (۶)
$$T_j^2=n\left(\overline{X}^{(j)}-\overline{\overline{x}}\right)S_p^{-1}\left(\overline{X}^{(j)}-\overline{\overline{x}}\right)$$

رابطه (۷)
$$UCL=\left(\frac{mnp-mp-np-p}{mn-m-p+1}\right)F_{a,(p,mn-m-p+1)}$$

در صورتی که مقدار T_j^2 مربوط به هر زیر گروه از حد بالای کنترل بیشتر شود، باید مشاهدات آن زیرگروه، برای تشخیص عوامل قابل تشخیص، مورد بررسی قرار گیرد. در صورت یافتن این گونه عوامل، مشاهده‌ی مربوط به آن در محاسبات بعدی کاربرد ندارد. در این حالت فرض می شودکه بردار میانگین نمونه‌ی جدید $\overline{x}^*$ و ماتریس واریانس–کوواریانس جدید S_p^* باشد. برای بررسی قابل قبول بودن زیر گروه های به کار رفته در محاسبات اخیر، آماره‌ی هاتلینگ به صورت رابطه‌ی ۸ محاسبه و با حد بالای کنترل در رابطه‌ی ۹ مقایسه می شود.

رابطه (۸)
$$T_j^2=n\left(\overline{x}^{(future)}-\overline{\overline{x}}^*\right)\left(S_p^*\right)^{-1}\left(\overline{x}^{(future)}-\overline{\overline{x}}\right)$$

$$UCL = \left(\frac{mnp - mp - np - p}{n(m-a) - m + a - p + 1}\right) F_{a,p,n(m-a)-m+a-p+1}$$ رابطه (۹)

در رابطه‌ی ۷و ۹، تعداد زیر گروه‌های حذف شده در مرحله‌ی قبلی کنترل زیر گروه‌ها با a نشان داده شده است.

۲. تعیین وضعیت کل فرآیند تولیدی از نظر انطباق با شرایط تحت کنترل

وضعیت کل فرآیند را می توان پس از تخمین مناسب جامعه‌ی آماری که در مرحله‌ی راه اندازی صورت گرفت، با استفاده از آماره‌ی هاتلینگ بررسی کرد. در اینجا نیز فرض می شود که مشاهدات مربوط به مشخصه های کیفی از توزیع نرمال برخوردارند. ذکر این نکته ضروری است که قبل از انجام هرگونه پردازش بر روی داده های نمونه، چه در مرحله‌ی راه اندازی و چه در مرحله‌ی تعیین وضعیت کلی فرآیند تولیدی، باید از برخورداری این داده ها از توزیع نرمال اطمینان نسبی کسب کرد.

۳. تعیین مرحله یا مراحل مظنون به عامل انحراف فرآیند تولیدی از شرایط تحت کنترل

پس از تعیین وضعیت کلی فرآیند تولیدی و دریافت علامت خارج از کنترل بودن فرآیند (از طریق آماره‌ی هاتلینگ در مرحله‌ی قبلی) تعیین مرحله یا مراحلی از فرآیند که متغیر یا متغیرهای آنها دلیل انحراف کل فرآیند از تحت کنترل بودن هستند، مطرح می شود. در این مرحله از روشی جدید استفاده می شود.

فرض کنیم که فرآیند کلی شامل k مرحله است و تعداد r_i شاخص کیفیتی (متغیر) در مرحله ی i ام وجود دارد به نحوی که:

$$\sum_{i=1}^{k} r_i = p$$ رابطه (۱۰)

با استفاده از ایده‌ی روش مورفی(Jackson, 1980) که برای تعیین متغیر عامل انحراف در یک مرحله ابداع شد، برای تعیین مرحله‌ی عامل انحراف، ابتدا فضای پیشامد K بعدی را به دو زیر فضای K_1, K_2 افراز می کنیم به نحوی که $K_1 + K_2 = K$ در این صورت آماره‌ی مناسب برای بررسی معنی‌دار بودن زیر فضای K_1 عبارت است از:

$$D = T_K^2 - T_{K_1}^2$$ رابطه (۱۱)

که تحت فرض صفر از یک توزیع کای مربع با درجه آزادی $K_2 = K - K_1$ برخوردار است. به عبارت دیگر در سطح اطمینان $(1-\alpha)$ ، با افراز فضای K بعدی، محاسبه آماره‌ی T^2 هاتلینگ برای این فضا و زیرفضای K_1 و مقایسه‌ی کمترین مقدار D ، که از مقایسه ی مقادیر D مربوط به زیر فضاهای با درجه ی آزادی یکسان به دست می آید، با مقدار بحرانی χ^2_{α,K_2} زیر فضای مظنون به عامل انحراف مشخص می شود. در روش مورفی، افراز فضای k بعدی با این بینش انجام شده است که زیر فضایی که با کمترین درجه‌ی آزادی از بیشترین مقدار $T_{K_1}^2$ برخوردار باشد، بیشترین اثرگذاری را در T_K^2 خواهد داشت. ولی از آنجا که در این تحقیق مراحل نقش متغیرها را بازی می‌کنند، نمی‌توان از این ایده برای تعیین زیر مجموعه های عامل انحراف استفاده کرد. برای این کار ضروری است که ابتدا فهرستی از ترکیبات مختلف درجه‌ی آزادی را برای زیر فضای شامل K_1درجه‌ی آزادی به دست آورد و آنها را به ترتیب صعودی مرتب کرد. اگر رابطه ی ۱۲ برقرار باشد، این ترتیب به صورت جدول ۱ خواهد بود.

$$r_1 \le r_2 \le \ldots \le r_k$$ رابطه (۱۲)

۴. تعیین متغیر یا متغیرهای مظنون به عامل انحراف کل فرآیند تولیدی از شرایط تحت کنترل

پس از تعیین مرحله یا مراحل مظنون به عامل انحراف، مسئله‌ی تعیین متغیر یا متغیرهایی که عامل اصلی این انحراف هستند مطرح می شود. در روش انتخاب زیر مجموعه‌ای از متغیرها، با افزایش تعداد متغیرها تعداد تکرارهای ممکن به صورت توانی افزایش می یابد و کارایی این روش کاهش قابل توجهی می یابد. به طور کلی وقتی p متغیر مطرح است، تعداد حالات ممکن $2^p - 1$ خواهد بود. مثلا وقتی که ۲۰ متغیر مورد بررسی است، تعداد حالات ممکن برای بررسی، ۱۰۴۸۵۷۵ حالت خواهد بود و مسلما برای بررسی این تعداد حالت محاسبه‌گرهای بسیار قوی و صرف زمان زیاد لازم است. حال اگر بتوان شیوه‌ای ارائه داد که با استفاده از آن تعداد متغیرهای مورد بررسی را کاهش داد، صرفه جویی زمانی حاصل خواهد شد. به عبارت دیگر اگر بتوان a متغیر را از گردونه‌ی محاسبات خارج کرد، حداکثر تعداد حالات مورد بررسی برابر $2^{p-a} - 1$ خواهد بود.

برای دستیابی به هدف فوق می توان از روش تجزیه و تحلیل مولفه های اصلی استفاده کرد. بدین ترتیب که فرض کنید بردار تصادفی X با متغیرهای تصادفی همبسته‌ی $X_p,\ldots\ldots,X_2,X_1$ و توزیع احتمال $N_p(\mu,\sum)$ مورد بررسی قرار گیرد. اگر بردار مقادیر ویژه‌ی ماتریس واریانس–کوواریانس بردار تصادفی X به صورت $\lambda=\left[\lambda_1,\lambda_2,\ldots\ldots,\lambda_p\right]^T$ تعریف شود، آنگاه مقادیر ویژه همان ریشه‌های معادله‌ای هستند که از دترمینان $\Sigma-\lambda I$ به دست می آیند، و با استفاده از آنها می توان به ماتریس ویژه‌ی Γ دست یافت که شامل بردارهای ویژه‌ی $\gamma_p,\ldots\ldots,\gamma_2,\gamma_1$ است. به عبارت دیگر می‌توان نشان داد که ماتریس متعامدی مانند Γ وجود دارد طوری که $D_\lambda=diag\left(\lambda_1,\lambda_2,\ldots\ldots,\lambda_p\right)$. حال اگر بردار تصادفی Z به صورت $Z=\Gamma^TX$ تعریف شود، ماتریس واریانس–کوواریانس این بردار، ماتریسی است قطری که از رابطه‌ی $\Gamma^T\Sigma\Gamma=D_\lambda$ به دست می‌آید. به عبارت دیگر با استفاده از ماتریس ویژه‌ی Γ می‌توان ترکیبات خطی از متغیرهای همبسته‌ی $X_p,\ldots\ldots,X_2,X_1$ را طوری تعیین کرد که علاوه بر دستیابی به استقلال متغیرهای جدید که از تبدیل متغیرهای اولیه به دست می‌آیند، تغییرات به وجود آمده در متغیرهای اولیه را نیز دریافت کرد. یعنی متغیرهای مستقل جدید از طریق ترکیبات خطی متغیرهای همبسته‌ی قبل حاصل می‌شوند:

$$Z_1=\gamma_1^TX=\gamma_{11}X_1+\gamma_{12}X_2+\ldots\ldots+\gamma_{1p}X_p$$
$$Z_2=\gamma_2^TX=\gamma_{21}X_1+\gamma_{22}X_2+\ldots\ldots+\gamma_{2p}X_p$$
$$\ldots$$
$$\ldots$$
$$\ldots$$
$$Z_p=\gamma_p^TX=\gamma_{p1}X_1+\gamma_{p2}X_2+\ldots\ldots+\gamma_{pp}X_p$$

رابطه (۱۳)

مولفه‌های $Z_p,\ldots\ldots,Z_2,Z_1$ همان مولفه‌های اصلی‌اند که در آن واریانس مولفه‌های Z_i برابر λ_i است. همینطور می‌توان نشان داد که همبستگی بین مولفه های اصلی و متغیرهای اولیه (قبل از تبدیل) از رابطه ی ۱۴ به دست می‌آید.

$$\rho(X_i,Z_i)=\frac{(\lambda_i\gamma_{ii})^{\frac{1}{2}}}{(\sigma_{ii})^{\frac{1}{2}}},\qquad i=1,2,\ldots\ldots,p$$

رابطه (۱۴)

برای کنترل فرآیند تولیدی، فرض کنید Σ و در نتیجه λ,Γ در دست هستند. نمونه ی جدیدی گرفته می شود و ماتریس واریانس–کوواریانس S برای این نمونه برآورد می‌شود که دارای بردار مقادیر ویژه $L=\lambda_{new}$ و ماتریس ویژه‌ی $U=\Gamma_{new}$ است. مسلما اگر در نمونه جدید تغییراتی داده شود، این تغییرات در S و نتیجتا در L و U منعکس می شود. بنابر این برای تشخیص بروز تغییرات می توان آزمون فرضی به صورت $H_0:U=\Gamma$ مطرح کرد که در صورت مشاهده‌ی تغییر در ماتریس مقادیر ویژه به تغییر در متغیرهای اولیه پی برد. ولی نکته اصلی در این است که با شناسایی تغییر در ترکیب خطی مولفه‌ی اصلی، چگونه می‌توان متغیر یا متغیرهای اولیه را که باعث این تغییر بوده‌اند مشخص کرد.

یکی از راه‌های شناخت تعیین همبستگی بین متغیرهای اولیه و مولفه‌های اصلی بر اساس ماتریس واریانس–کوواریانس Σ است. بدین منظور، ماتریس همبستگی ρ را که دارای p سطر و p ستون است می توان از رابطه ی ۱۴ به دست آورد. واضح است که میزان همبستگی متغیر یا متغیرهای اولیه با هریک از مولفه های اصلی به ساختار ماتریس واریانس–کوواریانس و یا به صورت کلی به ساختار داده‌های فرآیند تولیدی مورد آزمون باز می گردد. به عبارت دیگر ممکن است گاهی هریک از مولفه های اصلی بیشترین همبستگی را با همه‌ی متغیرهای اولیه داشته باشد، واین همان نکته ای است که می تواند در محدود سازی فضای جواب موثر باشد. به بیان دیگر، در صورتی که هریک از مولفه‌های اصلی تنها با یک متغیر اولیه بیشترین همبستگی را داشته باشد و تغییرات به وجود آمده ناشی از همان متغیر باشد، با بررسی بردار ویژه‌ی آن در ماتریس ویژه می توان متغیر مظنون را شناسایی کرد. البته این خوشبینانه ترین حالت است و در بدبینانه‌ترین حالت تغییر شناسایی شده در یک مولفه اصلی در حقیقت در همه ی متغیرهای اولیه وجود دارد.

برای بررسی وجود تغییر در ماتریس ویژه، فرض صفر $(i=1,2,\ldots,p),H_0:u_i=\gamma_i$ را می‌توان با استفاده از آماره‌ی زیر آزمود.

رابطه (۱۵) $\Psi = N(u_i - \gamma_i)^T(\lambda_i\Sigma^{-1} - 2I + \lambda_i^{-1}\Sigma)(u_i - \gamma_i), \quad i = 1,2,\ldots\ldots,p$

تحت فرض صفر، آماره‌ی فوق از یک توزیع کای دو با درجه آزادی p-1 برخوردار است. بنابر این در سطح اطمینان $(1-\alpha)$ اگر مقدار آماره‌ی فوق از مقدار بحرانی $\chi^2_{\alpha,p-1}$ بزرگتر باشد، فرض صفر رد می‌شود.

در عمل ماتریس واریانس–کوواریانس مشخص نیست و با استفاده از اطلاعات یک فرآیند تحت کنترل برآورده می‌شود. در این حالت فرض می گردد a_i, S_{ref} به ترتیب برآورد ماتریس واریانس–کوواریانس و بردارهای ویژه‌ی آن باشد. در این حالت برای بررسی تغییر در نمونه‌های جدید با N مشاهده، ماتریس واریانس–کوواریانس S، بردار مقادیر ویژه L، و ماتریس مقادیر ویژه‌ی U می‌توان نشان داد که آماره‌ی مناسب برای آزمون فرض فوق به صورت زیر به دست می‌آید.

رابطه (۱۶)
$$\Psi = N(u_i - a_i)^T(l_iS^{-1} - 2I + l_i^{-1}S)(u_i - a_i) = N(l_ia_i^TS^{-1}a_i - 2 + l_ia_i^TS^{-1}a_i), \quad i = 1,2,\ldots,p$$

بنابراین قبل از به کارگیری روش انتخاب تمامی زیر مجموعه های متشکل از متغیرها (الگوریتم های مورفی) ، با این روش قادریم که تعداد متغیرهای مورد بررسی، و در نتیجه تعداد ترکیب‌های شامل متغیرها را کاهش دهیم.

و) یافته‌ها

در این تحقیق از روش k-means که از پرکاربردترین و مطمئن‌ترین روش‌های خوشه بندی می‌باشد استفاده شده است. برای مدل‌سازی با روش k-means تعداد خوشه‌ها (k) به عنوان ورودی از کاربر خواسته می شود. برای یافتن مقدار K مناسب روش‌های متفاوتی وجود دارد. مقدار k یا همان تعداد خوشه‌ها باید به اندازه‌ای باشد که داده‌های یک خوشه، بیشترین شباهت را به یکدیگر داشته باشند و کمترین شباهت را به داده‌های خوشه‌های دیگر دارند. برای تحقق این امر از شاخص دویس–بولدین استفاده شده است. شاخص‌های اعتبارسنجی برای میزان صحت نتایج خوشه‌بندی به منظور مقایسه بین روش‌های خوشه‌بندی مختلف یا مقایسه‌ی نتایج حاصل از یک روش با پارامترهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند که یکی از این شاخص‌ها، شاخص دیویس–بولدین (Davies Bouldin index) می‌باشد. شاخص دیویس–بولدین (Davies Bouldin index) از شباهت بین دو خوشه (Rij) استفاده می‌کند که بر اساس پراکندگی یک خوشه (Si) و عدم شباهت بین دو خوشه (Dij) تعریف می‌شود.

تعداد پارامترهای مورد بررسی زیاد می‌باشد، همان‌طور که مشاهده می‌شود ۶۰ پارامتر همزمان بررسی و خوشه بندی شده‌اند ، که در شرایط عادی و کلاسیک بررسی‌های آماری به راحتی امکان پذیر نیست. متغیرهای مدنظر ما جهت محاسبه راندمان فرآیند تولیدی در قالب توان تولید، یعنی میزان استفاده از منبع نیروی انسانی و منبع ماشین آلات دارای درجه اهمیت بالا هستند، که با توجه به حجم بالای داده و جدول مقایسه و با توجه به اهمیت بالای سه متغیر دیگر میزان مصرف ابزار آلات و مصرف مواد اولیه و کاربرد تجهیزات جدول مقایسه‌ای خروجی نرم افزار کلمنتاین که دسته‌بندی مناسب از سه خوشه داده‌ها به ما ارائه می‌دهد. برای ۵ پارامتر اصلی و قابل مقایسه ، اطلاعات سه خوشه به صورت جدول ۱ می باشد.

جدول شماره (۱): اطلاعات سه خوشه برای پنج پارامتر مطرح در راندمان

عنوان	خوشه ۱	خوشه ۲	خوشه۳
اندازه خوشه	۴۹۹۷	۴۴۹	۲۶۸
ابزارآلات	۶۱/۹۸	۴۰/۵	۴۶/۰۴
مواد اولیه	۶۳/۷۶	۴۱	۴۸/۷۶
تجهیزات	۱۴۰/۶۶	۱۳۵	۱۰۳/۸۸
نیروی انسانی	۵۴۹۷/۴۸	۲۳۹۷/۳۷	۵۶۱۶/۶۴
ماشین آلات	۱۱۱۹۸/۱۹	۶۹۵۰	۶۹۱۰/۱۳

با مقایسه منبع نیروی انسانی مورد استفاده و ماشین آلات مورد استفاده، که در واقع پارامترهای اصلی راندمان هستند که به قطعیت می‌توان آنها را مقایسه نمود، مشاهده می‌گردد که خوشه ۱ که ۸۷/۵٪ داده‌ها را نیز شامل می شود، اطلاعات فنی

صحیح‌تری در مورد راندمان فرآیندهای تولیدی دارند. در واقع خوشه های ۲و۳ در شرایط غیر نرمال عملیات تولیدی نظیر راه اندازی و تنظیم اولیه یا زمان توقف و خرابی ماشین آلات بوده اند. پس بررسی‌های لازم باید در خوشه ۱ ادامه یابد و قواعد تلازمی و سایر مشخصه‌های راندمانی را در این خوشه بررسی و مورد مطالعه قرارگیرد.

برای پارامترهای مهم و تاثیرگذار بر راندمان فرآیندهای تولیدی قطعه‌سازان که در بخش قبلی شناسایی شدند، درخت تصمیم تهیه می‌شود. براین اساس برای راندمان قوانینی پیش بینی شد که طبق جدول ۲ نشان داده می‌شوند.

جدول شماره (۲): تعدادی از قوانین حاصل از پیش‌بینی درخت تصمیم

ردیف	اگر	آنگاه
۱	میزان تجهیزات مورد استفاده بین ۱۱۹/۳۳ الی ۱۳۴/۱۶۷ و میزان مواد اولیه کاربردی بین ۵۲ الی ۶۰ و میزان ابزارآلات استفاده شده ۶۹ الی ۷۴/۵ باشد	میزان ماشین آلات استفاده شده برابر ۸۰۱۰ الی ۹۷۶۰ و میزان نیروی انسانی استفاده شده برابر ۴۰۰۰ الی ۴۸۰۰ می باشد و در نتیجه راندمان ۷۶٪ می شود
۲	میزان تجهیزات مورد استفاده بین ۱۱۹/۳۳ الی ۱۳۴/۱۶۷ و میزان مواد اولیه کاربردی بین ۵۲ الی ۶۰ و میزان ابزارآلات استفاده شده بزرگتر از ۳۵ باشد	میزان ماشین آلات استفاده شده برابر ۶۲۶۰ الی ۸۰۱۰ و میزان نیروی انسانی استفاده شده برابر ۳۱۰۰ الی ۴۰۰۰ می باشد و در نتیجه راندمان ۸۳٪ می شود
۳	میزان تجهیزات مورد استفاده کمتر از ۷۴/۸۳۳ و میزان مواد اولیه کاربردی بین ۶۳/۵ الی ۶۹ و میزان ابزارآلات استفاده شده ۲۷/۶۶۷ الی ۳۵/۳۳۳ باشد	میزان ماشین آلات استفاده شده برابر ۴۵۱۰ الی ۶۲۶۰ و میزان نیروی انسانی استفاده شده برابر ۲۸۰۰ الی ۳۱۰۰ می باشد و در نتیجه راندمان ۸۹٪ می شود

برای پیش‌بینی راندمان به منظور برنامه ریزی بهینه تولید در آینده نیازمند تخمین به صورت دقیق، با بیشترین اطمینان هستیم. برای این منظور از الگوریتم شبکه عصبی بهره می گیریم. RapidMiner نرم افزاری توانمند در مباحث داده‌کاوی، یادگیری ماشینی، تحلیل و پیش بینی و تحلیل کسب و کار می باشد. این برنامه کاربردهای زیادی هم در امور تجاری و کسب و کار و هم در امور تحقیقاتی، آموزشی، یادگیری و ... دارد. با استفاده از این برنامه تمامی مراحل مورد نیاز از آماده سازی اطلاعات اولیه گرفته تا بصری کردن نتایج، ارزیابی و اعتبارسنجی و بهینه‌سازی خروجی را در یک محیط یکپارچه و واحد انجام می‌شود. با استفاده از این نرم افزار مقدار پیش‌بینی شاخص راندمان برای نیروی انسانی ۵۵۰۰ و ماشین آلات ۱۱۲۰۰ بوده است که مقدار راندمان را به ۷۳٪ می‌رساند. براساس مقادیر مشخص شده پارامترهای اثرگذار اصلی در جدول ۳ مشخص می‌گردد.

جدول شماره (۳): مقدار پیش‌بینی شبکه عصبی مصنوعی برای راندمان بهینه و مقادیر متغیرهای ۵ گانه اثرگذار بر آن

ردیف	متغیر	مقدار پیش بینی برای جواب بهینه
۱	میزان ابزارآلات مصرفی	۷۸
۲	میزان مواد اولیه مصرفی	۷۷
۳	میزان تجهیزات مصرفی	۷۹
۴	میزان نیروی انسانی بکار رفته	۵۵۰۰
۵	میزان ماشین آلات بکار رفته	۱۱۲۰۰

۳- بحث و نتایج

در صنایع تولیدی و به طور خاص در صنایع قطعه سازی به دلیل حجم بالای داده‌ها و نبود مدل و رویه‌های تعریف شده آنالیز داده‌ها، در اکثر مواقع از روش های آزمایشگاهی با هزینه بالا که اغلب سعی و خطا بوده‌اند، استفاده شده است. در مدل ارائه شده در این تحقیق، با استفاده ازتکنیک‌های داده‌کاوی، حجم بالای داده‌های مربوط به ۶۰ پارامتر در شش ماه برای دپارتمانهای تولیدی ۱۰ شرکت قطعه‌ساز مورد بررسی قرار گرفته شد. با استفاده از روش خوشه بندی K- means ابتدا داده‌های اصلی و خوشه مبنا برای کشف قوانین و بررسی های بعدی مشخص شد. خوشه شماره ۱ خروجی از نرم‌افزار به عنوان خوشه مبنا شناسایی گردید سپس با استفاده از قوانین تلازمی بین پارامترهای مورد بررسی، پارامترهای اصلی اثرگذار بر راندمان فرآیندهای تولیدی مشخص شدند که عبارتند از: میزان مواد مصرفی، میزان تجهیزات مصرفی، میزان ابزارآلات مصرفی و میزان ماشین‌آلات به کاررفته. با توجه به نظر خبرگان و تئوری موجود در فرآیند تولید قطعه سازان این پارامترها، مورد تائید بوده و برمبنای فنی نیز

انتخاب می شوند. سپس با استفاده از درخت تصمیم و شبکه عصبی مصنوعی به پیش بینی میزان ماشین‌آلات کاربردی پرداخته‌ایم.

در مرحله بعدی با استفاده از تکنیک های کنترل فرآیندآماری، نمودارهای کنترل رسم شدند. در هر مرحله نقاط خارج کنترل شناسایی و بعد از ریشه‌یابی حذف شده اند تا در نهایت نمودارهای کنترل برای کنترل مستمر و بهینه نمودن متغیرهای مورد بررسی تهیه شوند و در فاز اجرا به کار برده شده و به صورت مداوم به روزرسانی گردند.

در صنعت و به طور خاص در صنایع تولیدی به دلیل حجم بالای داده‌ها و نبود مدل و رویه های تعریف شده آنالیز داده ها، در اکثر مواقع از روش‌های آزمایشگاهی با هزینه بالا که اغلب سعی و خطا بوده‌اند، استفاده شده است. در مدل ارائه شده در این پژوهش، با استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی حجم بالای داده‌ها مورد بررسی قرار گرفته شد. با استفاده از روش خوشه‌بندی ابتدا داده‌های اصلی و خوشه مبنا برای کشف قوانین و بررسی‌های بعدی مشخص شد. خوشه شماره یک خروجی از نرم افزارهای رپیدماینر و کلمنتاین به عنوان خوشه مبنا شناسایی گردید. سپس با استفاده از قوانین تلازمی و الگوریتم بین پارامترهای مورد بررسی، پارامترهای اصلی اثرگذار مشخص شدند. سپس با استفاده از درخت تصمیم و شبکه عصبی مصنوعی به پیش‌بینی پرداخته شد، در مرحله بعدی با استفاده از تکنیک‌های کنترل فرآیندآماری، نمودارهای کنترل رسم شدند، در هر مرحله نقاط خارج کنترل شناسایی و بعد از ریشه‌یابی حذف شده‌اند. تا در نهایت برای کنترل مستمر و بهینه نمودن متغیرهای مورد بررسی تهیه شوند. در فاز اجرا به کار برده شده و به صورت مداوم به روزرسانی گردند.

در این تحقیق و در بخشهای قبلی چگونگی آگاهی از بروز هرگونه تغییر در بردار میانگین فرآیند و شناسایی عوامل اصلی این تغییر بررسی گردید. برای کنترل وضعیت کل فرآیند تولیدی از آماره شناخته شده هاتلینگ استفاده می شود و برای تعیین عوامل ایجاد شرایط عدم کنترل، مراحل تشکیل دهنده‌ی فرآیند و نهایتا متغیرهای تشکیل دهنده‌ی مراحل مورد توجه قرار می‌گیرد. از طرف دیگر، برای شناسایی مرحله یا مراحل عامل انحراف، از شیوه‌ی افراز فضای پیشامدها، که تا کنون برای شناسایی متغیر یا متغیرهای عامل انحراف به کار گرفته می‌شد، استفاده می‌شود و نحوهی استفاده از این روش به صورت یک الگوریتم ارائه شد.

پس از تعیین مرحله‌ی مظنون، شناسایی متغیر یا متغیرهای عامل انحراف مطرح است. در این راستا از ایده‌ی مولفه‌های اصلی و تبعیض گذلری کمک گرفته شد و روشی ارائه شد که با استفاده از آن می‌توان از تکرار محاسبات طولانی که در الگوریتم های قبلی موجود است، کاست.

در این تحقیق به منظور بهینه‌سازی راندمان و کیفیت از شبکه عصبی و داده‌کاوی استفاده گردید. پیشنهاد می گردد در تحقیقات بعدی این بهینه سازی براساس شاخص های مالی و با روش تصمیم سازی چند شاخصه استفاده گردد. همچنین در ارتباط با ابعاد فرآیندهای ساخت و تولید در تحقیقات بعدی می‌توان ابعاد دیگری از جمله همبستگی فرآیندها را نیز در نظر گرفت.

در خصوص پیشنهادات کاربردی هم قابل ذکر است که مدل ارایه شده برای صنایع مختلف تولیدی و با کمی تغییر برای فرآیندهای موجود در صنایع خدماتی مانند اتوبوسرانی و بیمارستانها و.... قابلیت کاربرد دارد.

٤-منابع

1. Alexander, S.M. (1987). The application of expert system to manufacturing process control. *Computers ind.Engng*, 12:307-312.
2. Alt, F.B. (1985). Multivariate Quality Control. *Encyclopedia of the Statistical Sciences*, 6:110-122
3. Anderson, T.W., John, Wiley & Sons, Hnc. (1984). A*n Introduction to multivariate statistical analysis*. Wiley series in probability and statistics, 3rd Ed.
4. Bag, Monark, Susanta Kumar Gauri, and Shankar Chakraborty. "An expert system for control chart pattern recognition." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 62 (2012): 291-301.

5. Doganaksoy, N., Faltin, F.W. & Tucker, W.T. (1991), Identification of out of control quality characteristics in multivariate manufacturing environment. *Communication in statistics, Theory and methods*, 20(9):2275-2290.
6. Fatemi Qomi, Mohammad Taqi. (2001). Statistical Quality Control. Tehran. *University of Technology Amir Kabir*. (In Persian)
7. H.S. Bunney. & B.G. Dale. (1997). The implementation of quality management tools and techniques: A study. *The TQM Magazine*, 9(3), 183–189.
8. Hosni, Y.A. & Elshennawy, A.K. (1988). Knowledge-based Quality Control System. *Computers Ind.Engng*, 15,331-337.
9. Ismaili, M. (2014). *Data Mining Concepts and Technique*. Tehran. *Niaze danesh*. (in persian)
10. Jackson, J.E. (1980). Principal Components & Factor Analysis: Part I- Principal components. *Journal of Quality Technology*, 12(4), 201-213.
11. Johnson, R.A & Wichern, D.W. (1992). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Prentice Hall, 3rd Ed.
12. Masud, A. S., & Thenappan, M. S. (1993). A knowledge-based advisory system for statistical quality control. *The International Journal of Production Research*, 31(8), 1891-1900.
13. Mehrafrooz, Z. & Noorossana, R. (2011). An integrated model based on statistical process control and maintenance. *Computers & Industrial Engineering*, 61(4), 1245-1255.
14. Mirsepassi, Naser. & Motaghi, Mohammad Hossein. Selajgeh. Sanjar. (2009). Examining the factors related to the slowness of the implementation of the comprehensive quality management system in the public sector of Iran. *Journal of Management Research, 81, Summer*. (In Persian)
15. Montgomery, Douglas. (2007). *Statistical Quality Control*. Translated by Nur al-Sana, Rasool. Tehran: University of Science and Technology Publications, 8th Ed. (In Persian)
16. Murphy, B.J. (1987). Selecting out of control variables with hotellings multivariate quality control procedure. *The Statistician*, 36, 571-583.
17. Roland, Caulcutt. (1996). Assembly Automation. *Statistical process control (SPC),* 16(4), 10–14.
18. Ryan, T.P. (1989). *Statistical Methods for Quality Improvement*. John Wiley & sons Inc.
19. Srivastava, M.S. & Khatri, C.G. (1979). *An introduction to Multivariate statistics*. North Holland Inc.
20. Tsacle, E. G., and N. A. Aly. (1996). "An expert system model for implementing statistical process control in the health care industry." *Computers & industrial engineering* 31.1-2, 450-477.
21. Willborn Walter, W.O. (1990). Expert System In Support Of Quality Management. *Annual Quality Congress Transactions*, 44,758-763.

Presenting a Model for Statistical Process Control to Optimize Efficiency and Quality in Manufacturing Industries

Abbas Morovvati
MA Stduent, Department of Industrial Management, Faculty of Management and Economics, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
Seyed Jalaledin Hosseini Ghoncheh (Corresponding Author)
Assistant Professor, Department of Mathematics, Takestan Branch, Islamic Azad University, , Takestan, Iran
Email: sjhghoncheh@srbiau.ac.ir
Hasan Haleh
Assistant Professor, Department of Industrial Management, Golpayegan Technical and Engineering Faculty, Isfahan University of Technology, Golpayegan, Iran

Abstract
In this research, a combined statistical process control model is presented to identify factors affecting efficiency and quality in manufacturing and component manufacturing industries, and then controlling and optimizing these processes is considered. Manufacturing and component industries are considered as the main body of the country's industries for case study and implementation. Clustering techniques are used to discover factors affecting efficiency. And then, using decision tree algorithms to predict efficiency and quality in these industries, and in the final stage, control charts of dispersion and average variables are used to draw control charts. The comparison table of the parameters is prepared using the output of the Clementine software, and RapidMiner software is used in the neural network section. The results obtained from the identification of influencing and forecasting factors are close to the target values from a technical point of view, and the control charts are consistent with the technical control limits of the characteristics and are useful for optimizing the target value, which is efficiency and quality.
Keywords: clustering, efficiency, manufacturing industries, quality, statistical process control.