



ارائه مدلی جهت کنترل فرآیند آماری به منظور بهینه سازی 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 مسؤل)

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 تکنیک های خوشه بندی استفاده می شود. سپس با استفاده از الگوریتم های درخت تصمیم به پیش بینی راندمان و کیفیت در این صنایع پرداخته می شود و در مرحله پایانی جهت رسم نمودارهای کنترل، از نمودارهای کنترل پراکندگی و میانگین متغیرها استفاده می گردد. جدول مقایسه ای پارامترها توسط خروجی نرم افزار کلمنتاین تهیه شده و در بخش شبکه عصبی از نرم افزار ریپدماینر استفاده می شود. نتایج حاصل از شناسایی عوامل اثرگذار و پیش بینی از نظر فنی به مقادیر هدف نزدیک بوده و نمودارهای کنترل با حدود کنترل فنی مشخصه ها همخوانی داشته و جهت بهینه سازی مقدار هدف که راندمان و کیفیت است مفید می باشد.

کلمات کلیدی: خوشه بندی، راندمان، صنایع تولیدی، کنترل فرآیند آماری، 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 می باشد. 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 می باشد. یکی از چالش های 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 می تواند 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 می تواند به این صنایع در شرایط رقابتی کنونی کمک شایانی کند.

روش های آماری سنتی به دو دلیل امروزه کارائی خود را از دست داده اند. 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 معمولاً برای پایش تغییراتی استفاده می شود که ممکن است بر کیفیت فرآیند تأثیر بگذارند. برای طراحی نمودارهای کنترل سه روش وجود دارد: طراحی آماری، طراحی اقتصادی و طراحی اقتصادی-آماري. از آنجا که پایش آماری فرآیند موجب کشف سریع تغییرات فرآیند می شود، واکنش لازم در برابر عدم انطباق صورت می گیرد. در این رابطه مدلی برای طراحی اقتصادی نمودار کنترل ارائه شده است که فقط ویژگی های آماری فرآیند را در نظر می گیرد. محققان طراحی اقتصادی-آماري و اقتصادی نمودار کنترل \bar{X} با انحرافات با دلیل چندگانه را در حضور داده های غیر نرمال بررسی کرده اند. همچنین طراحی اقتصادی-آماري یک نمودار کنترلی انطباقی در حضور انحرافات با دلیل چندگانه را نیز بررسی کرده اند.

از سالیان دور بحث کنترل فرآیند 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 می باشد 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 می باشد. کنترل آماری فرآیند مجموعه ای قدرتمند و توانا از ابزار حل مشکل است که در ایجاد ثبات در فرآیندها و بهبود کارایی آنها از طریق کاهش تغییر پذیری مفید واقع می گردد. یکی از اهداف 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 انحرافات در بررسی و اقدامات اصلاحی انجام گیرد.

از میان ابزار مطرحه در بحث کنترل آماری فرآیند، 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 می دهد و دو خط افقی دیگر حد کنترل بالا و حدکنترل پایین نامیده می شوند. این حدود کنترل به گونه ای انتخاب شده اند که اگر فرآیند تحت کنترل باشد آنگاه تقریباً کلیه نقاطی که بر اساس اطلاعات نمونه محاسبه شده اند، بین این حدود واقع می شوند و در غیر 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 این تحقیق هر مرحله به عنوان یک‌حوزه در نظر گرفته می‌شود 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 \bar{x} and r)
۵. تعیین نحوه نمونه‌گیری (اندازه نمونه و فواصل نمونه‌گیری 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 فرایند (آیا فرایند قابلیت دارد)
۸. ارائه اقداماتی جهت بهبود فرایند و اصلاح می‌باشد (بر اساس شرایط به دست آمده در حوزه‌های قبلی اقداماتی جهت بهبود و اصلاح ارائه می‌گردد) (Fatemi Qomi, 2001).

عمده دلیل عدم توجه به بحث کنترل آماری فرایند در صنایع تولیدی و ناکامی آنها در به کارگیری آن را می‌توان در نبود دانش و تجربه کافی در این زمینه برشمرد. برای برون رفت از این معضل می‌بایست دانش فرایند کنترل آماری را افزایش داده، تجربیات افراد متخصص را شناسایی و مستند نمود و آنها را در اختیار کاربران و کارشناسان قرارداد. بدیهی است همه موارد فوق مستلزم صرف هزینه‌های کلان و وقت بسیار می‌باشد که ممکن است دست نیافتنی بوده و یا نتیجه مطلوبی نداشته باشد. بر این اساس نیاز به یک سیستمی که بتواند به عنوان یک مشاور خوب و مطمئن دانش کنترل آماری فرایند 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 روش‌های گوناگونی وجود دارد. تقریباً 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 نمونه‌های تصادفی مناسب از فرآیندی که تحت کنترل است، برآورده می‌شود.

بسیاری از محصولاتی که در دهه‌های اخیر تولید می‌شوند حاصل فرآیندهای تولیدی هستند که در آنها خاصیت آبشاری وجود دارد به این معنا که عملکرد فرایند در یک مرحله خاص تحت تاثیر عملکرد فرایند در مراحل پیش از آن قرار دارد و به عبارت بهتر بین مراحل مختلف فرایند همبستگی آماری وجود دارد. همین امر سبب می‌شود 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 فرایند تولید، تحقیقات زیادی صورت گرفته است. هدف اصلی این تحقیقات، در نظر گرفتن همبستگی بین چندین مشخصه برای یک مرحله از فرایند 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 گونه‌ای 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 می‌دهند. 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 می‌شود. به عبارت دیگر، استفاده از ابزارها و تکنیک‌ها یک جزء حیاتی هر فرآیند موفق بهبود می‌باشد.

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 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 حوزه‌های فوق، حوزه‌های بحرانی بودن فرآیند و بحرانی بودن مشخصه نیز به عنوان شرط لازم جهت ورود به بحث کنترل آماری فرآیند به طور شفاف و روشن اضافه شده است.

هدف از این تحقیق را می‌توان به قرار زیر بیان نمود: یافتن حوزه‌های ضروری کنترل فرآیند آماری برای راندمان و کیفیت و همچنین ارائه مدلی جهت پیشینه 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 می‌گردد، 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 می‌توان 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 می‌شود (Alexander, 1987). در زمینه ارزیابی کیفیت، سروکوال یکی از مشهورترین روش‌های اندازه‌گیری 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 فرآیند (درک) با آنچه که آنها فکر می‌کنند واقعا باید باشد (انتظار) ارزیابی می‌کنند. مطابق با این مدل پنج بعد اصلی کیفیت شامل: ملموسات، قابلیت اعتماد، پاسخگویی، تضمین و همدلی می‌باشد (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 می‌شود (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 معمولاً 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^۱، ندای مشتری^۲ 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 اجرای QFD، 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 تأیید 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 کاربران QFD
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 هر یک 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 خواسته‌های بشر باعث شده که دست اندرکاران عرصه اقتصاد، سیاست و مدیریت جامعه و سازمان‌ها، افزایش راندمان را در اولویت 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 در سطح بالا نگه دارند. دستمزدهای بالا و بازدهی سرمایه دو عامل اصلی ایجاد ثروت ملی محسوب می‌شوند. ملت‌هایی که ثروت خود را افزایش می‌دهند و روز به روز ثروتمندتر می‌شوند، ملت‌هایی هستند که می‌توانند 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 شکل‌گیری 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 می‌باشند.

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 بازبازرسی رسمی دوره ای است. یک فرایند بازخورد موثر، کارکنان را در جریان چگونگی کارشان بر یک مبنای منظم قرار می دهد.

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

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

بر اساس جمع بندی و تحلیل مرور ادبیات و پیشینه تحقیق مربوط به انواع سیستم ها و مدل ها در زمینه کنترل آماری فرایند و زمینه های مشابه، به این نتیجه می رسیم که در مدل های موجود به حوزه های 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 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 می شود در حالیکه مدل های موجود به طور پراکنده دارای پنج حوزه می باشند.

از قرن نوزدهم به طور همزمان اما جداگانه، از سوی نوروفیزیولوژیست ها 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 کوشش ها در شبیه سازی با استفاده از یک مدل منطقی در اوایل دهه ۱۹۴۰ توسط وارن مک کالک و والتر پیترز انجام شد که امروزه بلوک اصلی سازنده اکثر شبکه های عصبی مصنوعی است. عملکرد این مدل مبتنی بر جمع ورودی ها و ایجاد خروجی با استفاده از شبکه ای از نورون ها است. اگر حاصل جمع ورودی ها از مقدار آستانه بیشتر باشد، اصطلاحاً نورون برانگیخته می شود. نتیجه این مدل اجرای ترکیبی از توابع منطقی بود.

در سال ۱۹۴۹ دونالد هب قانون یادگیری را برای شبکه های 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 می شود. این سیستم می تواند یاد بگیرد که با روشی تکرار شونده وزن ها را به گونه ای تنظیم کند که شبکه توان بازتولید جفت های ورودی و خروجی را داشته باشد. روش دیگر، مدل خطی تطبیقی نورون است که در سال ۱۹۶۰ توسط برنارد ویدرو و ماریسیان هاف در دانشگاه استنفورد به وجود آمد که اولین شبکه های عصبی به کار گرفته شده در مسائل واقعی بودند. آدالاین یک دستگاه الکترونیکی بود که از اجزای ساده ای تشکیل شده بود، روشی که برای آموزش استفاده می شد با پرسپترون فرق داشت.

در سال ۱۹۶۹ میسکی و پاپرت کتابی نوشتند که محدودیت های سیستم های تک لایه و چند لایه پرسپترون را تشریح کردند. نتیجه این کتاب پیش داوری و قطع سرمایه گذاری برای تحقیقات در زمینه شبیه سازی شبکه های عصبی بود. آن ها با طرح اینکه طرح پرسپترون قادر به حل هیچ مسئله جانبی نمی باشد، تحقیقات در این زمینه را برای مدت چندین سال متوقف کردند.

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

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 به دست 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 شده است.

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 می‌گردد. 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 می‌باشد.

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 می‌شود ماتریس‌های 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 نمی‌کند. 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 می‌گیرد.

ه) دیدگاه کلی مدل پیشنهادی

فرض بر این است که در هر یک از مراحل، فرآیند تولید از یک توزیع نرمال برخوردار است. این توزیع از طریق یک بردار میانگین و یک ماتریس واریانس-کوواریانس کاملاً شناخته می‌شود. ولی در عمل معمولاً 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 می‌شود (در این خصوص به تفصیل روش جدیدی ارائه می‌شود). با تعیین مرحله یا مراحل عامل انحراف در فرآیندهای تولیدی، تعیین متغیر یا متغیرهای عامل انحراف که هدف نهایی است، در مرحله بعدی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مرحله، با استفاده از روش مولفه‌های اصلی سعی بر آن

است که هرچه بیشتر متغیر یا متغیرهای مکنون 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 مجموعه ای 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 Σ برخوردارند (یعنی متغیرهای کیفی دارای توزیع $(N_p(\mu, \Sigma))$ هستند). در مرحله ی راه اندازی m زیر گروه از داده ها موجود است و در هر زیر گروه π مشاهده برای p متغیر در نظر گرفته می شود. نمادهایی که در بخش های آتی به کار خواهند آمد عبارتند از:

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

\bar{x}_{ij} = ام j ام در زیر گروه i میانگین نمونه ی متغیر

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

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

$$\bar{\bar{X}} = [\bar{\bar{x}}_1, \bar{\bar{x}}_2, \dots, \bar{\bar{x}}_p]^T \quad \text{رابطه (۳)}$$

برآورد عنصر سطح i ام و ستون j ام ماتریس واریانس-کوواریانس نمونه ی زیر گروه j ام :

$$S_{ij}^j = \frac{1}{m-1} \sum_{l=1}^n (\bar{x}_{il} - \bar{\bar{x}}_i) (\bar{x}_{jl} - \bar{\bar{x}}_j) \quad i = 1, 2, \dots, p, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad \text{رابطه (۴)}$$

ماتریس واریانس-کوواریانس میانگین نمونه:

$$S_p = \frac{\sum_{j=1}^m S_{ij}^j}{m} \quad \text{رابطه (۵)}$$

مشاهدات مورد استفاده در زیر گروه ها 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 آماره ی هاتلینگ به صورت رابطه ی ۶ استفاده می شود که در آن $(\bar{X}^{(j)})$ برداری p بعدی و شامل میانگین نمونه ی زیر گروه های مربوط به هریک از متغیرهاست. مقدار این آماره با حد بالای کنترل که از رابطه ی ۷ به دست می آید مقایسه می شود.

$$T_j^2 = n (\bar{X}^{(j)} - \bar{\bar{x}}) S_p^{-1} (\bar{X}^{(j)} - \bar{\bar{x}}) \quad \text{رابطه (۶)}$$

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

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

$$T_j^2 = n (\bar{x}^{(future)} - \bar{\bar{x}}^*) (S_p^*)^{-1} (\bar{x}^{(future)} - \bar{\bar{x}}^*) \quad \text{رابطه (۸)}$$

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

در رابطه‌ی ۷ و 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 می‌توان پس از تخمین مناسب جامعه‌ی آماری که در مرحله‌ی راه اندازی صورت گرفت، با استفاده از آماره‌ی هاتلینگ بررسی کرد. در اینجا نیز فرض می‌شود که مشاهدات مربوط به مشخصه‌های کیفی از توزیع نرمال برخوردارند. ذکر این نکته ضروری است که قبل از انجام هرگونه پردازش بر روی داده‌های نمونه، چه در مرحله‌ی راه اندازی و چه در مرحله‌ی تعیین وضعیت کلی فرآیند تولیدی، باید از برخورداری این داده‌ها 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 مراحل از فرآیند که متغیر یا متغیرهای آنها دلیل انحراف کل فرآیند از تحت کنترل بودن هستند، مطرح می‌شود. در این مرحله از روشی جدید استفاده می‌شود.

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

$$\sum_{i=1}^k r_i = p \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

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 می‌کنیم به نحوی که $K_1 + K_2 = K$ در این صورت آماره‌ی مناسب برای بررسی معنی‌دار بودن زیر فضای K_1 عبارت است از:

$$D = T_K^2 - T_{K_1}^2 \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

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 زیر فضای K_1 و مقایسه‌ی کمترین مقدار D ، که از مقایسه‌ی مقادیر D مربوط به زیر فضاهای با درجه‌ی آزادی یکسان به دست می‌آید، با مقدار بحرانی χ_{α, K_2}^2 زیر فضای مظنون به عامل انحراف مشخص می‌شود. 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 مجموعه‌های عامل انحراف استفاده کرد. برای این کار ضروری است که ابتدا فهرستی از ترکیبات مختلف درجه‌ی آزادی را برای زیر فضای شامل K_1 درجه‌ی آزادی به دست آورد و آنها را به ترتیب صعودی مرتب کرد. اگر رابطه‌ی ۱۲ برقرار باشد، این ترتیب به صورت جدول ۱ خواهد بود.

$$r_1 \leq r_2 \leq \dots \leq r_k \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

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 می‌شود. در روش انتخاب زیر مجموعه‌ای از متغیرها، با افزایش تعداد متغیرها تعداد تکرارهای ممکن به صورت توانی افزایش می‌یابد و کارایی این روش کاهش قابل توجهی می‌یابد. به طور کلی وقتی p متغیر مطرح است، تعداد حالات ممکن $2^p - 1$ خواهد بود. مثلاً وقتی که ۲۰ متغیر مورد بررسی است، تعداد حالات ممکن برای بررسی، ۱۰۴۸۵۷۵ حالت خواهد بود و مسلماً 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 همبسته X_1, X_2, \dots, X_p و توزیع احتمال $N_p(\mu, \Sigma)$ مورد بررسی قرار گیرد. اگر بردار مقادیر ویژه ماتریس وارینانس-کوواریانس بردار تصادفی X به صورت $\lambda = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p]^T$ تعریف شود، آنگاه مقادیر ویژه همان ریشه های معادله ای هستند که از دترمینان $\Sigma - \lambda I$ به دست می آیند، و با استفاده از آنها می توان به ماتریس ویژه Γ دست یافت که شامل بردارهای ویژه $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_p$ است. به عبارت دیگر می توان نشان داد که ماتریس معامدی مانند Γ وجود دارد طوری که $D_\lambda = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p)$. حال اگر بردار تصادفی Z به صورت $Z = \Gamma^T X$ تعریف شود، ماتریس وارینانس-کوواریانس این بردار، ماتریسی است قطری که از رابطه $\Gamma^T \Sigma \Gamma = D_\lambda$ به دست می آید. به عبارت دیگر با استفاده از ماتریس ویژه Γ می توان ترکیبات خطی از متغیرهای همبسته X_1, X_2, \dots, X_p را طوری تعیین کرد که علاوه بر دستیابی به استقلال متغیرهای جدید که از تبدیل متغیرهای اولیه به دست می آیند، تغییرات به وجود آمده در متغیرهای اولیه را نیز دریافت کرد. یعنی متغیرهای مستقل جدید از طریق ترکیبات خطی متغیرهای همبسته ی قبل حاصل می شوند:

$$Z_1 = \gamma_1^T X = \gamma_{11}X_1 + \gamma_{12}X_2 + \dots + \gamma_{1p}X_p$$

$$Z_2 = \gamma_2^T X = \gamma_{21}X_1 + \gamma_{22}X_2 + \dots + \gamma_{2p}X_p$$

...

...

...

$$Z_p = \gamma_p^T X = \gamma_{p1}X_1 + \gamma_{p2}X_2 + \dots + \gamma_{pp}X_p$$

رابطه (۱۳)

مولفه های Z_1, Z_2, \dots, Z_p همان مولفه های اصلی اند که در آن وارینانس مولفه های Z_i برابر λ_i است. همینطور می توان نشان داد که همبستگی بین مولفه های اصلی و متغیرهای اولیه (قبل از تبدیل) از رابطه ی ۱۴ به دست می آید.

$$\rho(X_i, Z_i) = \frac{(\lambda_i \gamma_{ii})^{\frac{1}{2}}}{(\sigma_{ii})^{\frac{1}{2}}} \quad i = 1, 2, \dots, p \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

برای کنترل فرآیند تولیدی، فرض کنید Σ و در نتیجه Γ, λ در دست هستند. نمونه ی جدیدی گرفته می شود و ماتریس وارینانس-کوواریانس S برای این نمونه برآورد می شود که دارای بردار مقادیر ویژه λ_{new} و ماتریس ویژه $U = \Gamma_{new}$ است. مسلماً اگر در نمونه جدید تغییراتی داده شود، این تغییرات در S و نتیجتاً 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 مشاهده ی 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 مولفه های اصلی، چگونه می توان متغیر یا متغیرهای اولیه را که باعث این تغییر بوده اند مشخص کرد.

یکی از راه های شناخت تعیین همبستگی بین متغیرهای اولیه و مولفه های اصلی بر اساس ماتریس وارینانس-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 وارینانس-کوواریانس و یا به صورت کلی به ساختار داده های فرآیند تولیدی مورد آزمون باز می گردد. به عبارت دیگر ممکن است گاهی هریک از مولفه های اصلی بیشترین همبستگی را با همه ی متغیرهای اولیه داشته باشد، و این همان نکته ای است که می تواند در محدود سازی فضای جواب موثر باشد. به بیان دیگر، در صورتی که هریک از مولفه های اصلی تنها با یک متغیر اولیه بیشترین همبستگی را داشته باشد و تغییرات به وجود آمده ناشی از همان متغیر باشد، با بررسی بردار ویژه ی آن در ماتریس ویژه می توان متغیر مضمون را شناسایی کرد. البته این خوشبینانه ترین حالت است و در بدبینانه ترین 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 $H_0: u_i = \gamma_i$ ($i = 1, 2, \dots, p$) را می توان با استفاده از آماره ی زیر آزمود.

$$\Psi = N(u_i - \gamma_i)^T (\lambda_i \Sigma^{-1} - 2I + \lambda_i^{-1} \Sigma) (u_i - \gamma_i), \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (15)$$

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 $\chi_{\alpha, p-1}^2$ 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 می‌گردد 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.

$$\Psi = N(u_i - a_i)^T (l_i S^{-1} - 2I + l_i^{-1} S) (u_i - a_i) = N(l_i a_i^T S^{-1} a_i - 2 + l_i a_i^T S^{-1} a_i), \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (16)$$

بنابراین قبل از به کارگیری روش انتخاب تمامی زیر مجموعه‌های متشکل از متغیرها (الگوریتم‌های 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 می‌شود. 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 دیویس-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 (R_{ij}) استفاده می‌کند که بر اساس پراکنندگی یک خوشه (S_i) و عدم شباهت بین دو خوشه (D_{ij}) 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 می‌باشد.

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

عنوان	خوشه ۱	خوشه ۲	خوشه ۳
اندازه خوشه	۴۹۹۷	۴۴۹	۲۶۸
ابزار آلات	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 می‌شود، اطلاعات فنی

صحیح تری در مورد راندمان فرآیندهای تولیدی دارند. در واقع خوشه های ۳ و ۲ در شرایط غیر نرمال عملیات تولیدی نظیر راه اندازی و تنظیم اولیه یا زمان توقف و خرابی ماشین آلات بوده اند. پس بررسی های لازم باید در خوشه ۱ ادامه یابد و قواعد تلازمی و سایر مشخصه های راندمانی را در این خوشه بررسی و مورد مطالعه قرار گیرد.

برای پارامترهای مهم و تاثیرگذار بر راندمان فرآیندهای تولیدی قطعه سازان که در بخش قبلی شناسایی شدند، درخت تصمیم تهیه می شود. براین اساس برای راندمان قوانینی پیش بینی شد که طبق جدول ۲ نشان داده می شوند.

جدول شماره (۲): تعدادی از قوانین حاصل از پیش بینی 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 پیش بینی 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 داده کاوی، 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 بهینه سازی خروجی را در یک محیط یکپارچه و واحد انجام می شود. با استفاده از این نرم افزار مقدار پیش بینی شاخص راندمان برای نیروی انسانی ۵۵۰۰ و ماشین آلات ۱۱۲۰۰ بوده است که مقدار راندمان را به ۷۳٪ می رساند. براساس مقادیر مشخص شده پارامترهای اثرگذار اصلی در جدول ۳ مشخص می گردد.

جدول شماره (۳): مقدار پیش بینی 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 داده ها و نبود مدل و رویه های تعریف شده آنالیز داده ها، در اکثر مواقع از روش های آزمایشگاهی با هزینه بالا که اغلب سعی و خطا بوده اند، استفاده شده است. در مدل ارائه شده در این تحقیق، با استفاده از تکنیک های داده کاوی، حجم بالای داده های مربوط به ۶۰ پارامتر در شش ماه برای دپارتمانهای تولیدی ۱۰ شرکت قطعه ساز مورد بررسی قرار گرفته شد. با استفاده از روش خوشه بندی K-means ابتدا داده های اصلی و خوشه مینا برای کشف قوانین و بررسی های بعدی مشخص شد. خوشه شماره ۱ خروجی از نرم افزار به عنوان خوشه مینا 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 ماشین آلات به کاررفته. با توجه به نظر خبرگان و تئوری موجود در فرآیند تولید قطعه سازان این پارامترها، مورد تأیید بوده و بر مبنای فنی نیز

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

در مرحله بعدی با استفاده از تکنیک‌های کنترل فرآیند آماری، نمودارهای کنترل رسم شدند. در هر مرحله نقاط خارج کنترل شناسایی و بعد از ریشه‌یابی حذف شده‌اند 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 رویه‌های تعریف شده آنالیز داده‌ها، 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 مینا برای کشف قوانین و بررسی‌های بعدی مشخص شد. خوشه شماره یک خروجی از نرم افزارهای ریدماینر و کلمنتاین به عنوان خوشه مینا 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 فرآیند آماری، 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 می‌شود و برای تعیین عوامل ایجاد شرایط عدم کنترل، مراحل تشکیل دهنده فرآیند و نهایتاً متغیرهای تشکیل دهنده 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 نحوه 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 الگوریتم‌های قبلی موجود است، کاست.

در این تحقیق به منظور بهینه‌سازی راندمان و کیفیت از شبکه عصبی و داده‌کاوی استفاده گردید. پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات بعدی این بهینه‌سازی براساس شاخص‌های مالی و با روش تصمیم‌سازی 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 ارائه شده برای صنایع مختلف تولیدی و با کمی تغییر برای فرآیندهای موجود در صنایع خدماتی مانند اتوبوسرانی و بیمارستانها و.... قابلیت کاربرد دارد.

۴- 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). *An 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 Student, Department of Industrial Management, Faculty of Management and Economics, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Seyed Jaleedin 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.