نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

IERPS نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

ISSN: 2345-2269

سال پنجم، شماره دهم، بهار و تابستان ۱۳۹۶، صفحه ۶۹-۸۱

www.ier.basu.ac.ir

DOI: 10.22084/ier.2017.10192.1478

آزمون زنجیره تغییرات مشخصه‌های کلیدی کیفیت به منظور تشخیص منبع بروز خطا در فرآیندهای تولیدی چندمرحله‌ای

علی‌اصغر بازدار[۱،*]، کامیار چالاکی[۲]

۱. استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی مهندسی گلپایگان، اصفهان، ایران.

۲. استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سنندج، کردستان، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۳۹۵/۰۲/۰۲

پذیرش ۱۳۹۶/۰۲/۰۳

کلمات کلیدی:

فرآیند تولیدی چندمرحله‌ای

مشخصه‌های کیفی

تحلیل تمایز گروهی

متدلوژی زنجیره تغییرات

خلاصه

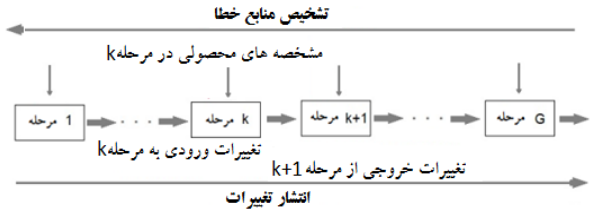
تغییرات مشخصه‌های کیفی در فرآیندهای تولیدی چندمرحله‌ای یکی از مهمترین چالش‌های مطالعات مربوط به توسعه و بهبود کیفیت است. مدلسازی این تغییرات بر اساس انحرافات ابعادی به‌دست‌آمده از مشخصه‌های کلیدی محصول به کمک متدلوژی زنجیره تغییرات در فرآیندهای تولیدی چندمرحله‌ای میسر است. این متدلوژی، زنجیره تغییرات در بین مراحل یک سیستم تولیدی چندگانه را مدلسازی نموده و این در حالی است که تشخیص منبع بروز خطا، به دلیل همبستگی تغییرات بین مراحل همچنان به عنوان مسأله اصلی پابرجاست. این مقاله به معرفی یک رویکرد به منظور تفکیک فضای منابع تغییرات در فرآیندهای تولیدی چندمرحله‌ای پرداخته که در آن، با تعریف تابع تمایز زنجیره تغییرات و تفکیک منابع تغییرات، به تخصیص انحراف مشاهده‌شده در انتهای خط تولید به مدل تشخیص پرداخته و منبع بروز تغییرات را از راه آزمون تغییرات مراحل تولید تشخیص می‌دهد. تکنیک‌های آماری مورد استفاده در این رویکرد، تحلیل تمایز گروهی و آزمون فرض هستند که در متدلوژی زنجیره تغییرات به‌کار رفته‌اند. کارایی و کاربرد رویکرد معرفی‌شده برای انحرافات حاصل از خط تولید محصول شاتون خودروی پراید در قالب یک مطالعه موردی نشان داده شده است.

۱- مقدمه

سیستم‌های چند مرحله‌ای از جمله سیستم‌های پرکاربرد هستند که شمار زیادی از سیستم‌های تولیدی و خدماتی مدرن را در برمی‌گیرند. این سیستم‌های دارای چالش‌های معنی‌داری در زمینه تحلیل زنجیره تغییرات می‌باشند که می‌تواند در زمینه تحقیقاتی مهندسی کیفیت مورد بررسی محققان قرار گیرد. در این مطالعه، از تکنیک تحلیل تمایز گروهی در متدلوژی زنجیره تغییرات فرآیندهای تولیدی چندمرحله‌ای استفاده شده است تا با تعیین تابع تمایز برای زنجیره تغییرات و بهره‌گیری از ویژگی‌های توزیع نرمال چند متغیره، منابع تغییرات برای بردار مشاهدات تفکیک شود. سپس با استفاده از این تفکیک، به شناسایی منبع تغییرات برای بردار تغییرات مشاهده شده از مشخصه‌های کیفی پرداخته می‌شود. در تکنیک تحلیل تمایز گروهی، مجموعه‌ای از متغیرها تعیین می‌شوند که به بهترین صورت به تمایز بین گروه‌ها می‌پردازند. همچنین، تعیین تعداد توابع تمایز کننده که به بهترین شکل تفاوت میان گروه‌ها مشخص می‌نمایند نیز قابل بررسی است. متدلوژی زنجیره تغییرات در خصوص ایستگاه‌های تولیدی چندگانه و خطوط مونتاژ ارائه شده است که تغییرات و انتشار آن‌ها را در فرآیندهای تولیدی چندگانه شامل شده و ارتباط تغییرات بین مراحل را برای داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های ابعادی مدلسازی می‌نماید. شکل ۱ فرآیند تولیدی چندمرحله‌ای را در متدلوژی زنجیره تغییرات نشان می‌دهد.

* نویسنده مسئول: علی‌اصغر بازدار

تلفن: ۰۳۱-۵۷۲۴۰۰۶۵؛ پست الکترونیکی: bazdar@gut.ac.ir



شکل (۱): زنجیره تغییرات در فرآیند تولید چندمرحله‌ای

اپلی و شای در سال ۲۰۰۱ با استفاده از تکنیک تحلیل عاملی به تشخیص تغییرات در فرآیندهای تولیدی چندمتغیره پرداختند[۱]. هوانگ، ژو و شای در سال ۲۰۰۰ متدلوژی زنجیره تغییرات را به‌منظور مدلسازی و شناسایی تغییرات در فرایندهای ماشین‌کاری چندایستگاهی به کار گرفتند [۲] و در سال ۲۰۰۲ به تشخیص تغییرات فرآیندهای ماشین‌کاری چندایستگاهی از طریق تحلیل انتشار تغییرات پرداختند [۳]. هوانگ و شای در سال ۲۰۰۴ به تحلیل زنجیره تغییرات در سیستم‌های تولیدی چندایستگاهی سری موازی پرداختند [۴] و در سال ۲۰۰۷ به همراه کگلارک و دیگر همکاران یک مدل سه‌بعدی را برای تغییرات مونتاژ بدنه طراحی نمودند [۵]. لیو در مقاله سال ۲۰۱۰ خود به مقایسه روش‌های کنترل آماری فرآیند با متدلوژی زنجیره تغییرات پرداخته است که در این مقایسه، روش‌های مدلسازی، نوآوری‌ها و محدودیت‌های کنترل آماری فرآیند و زنجیره تغییرات در سه فاز مدلسازی، ردیابی و تشخیص بیان شده است [۶]. آبلان نبات و سوبیرون در سال ۲۰۱۳ به بررسی و مقایسه مدل‌های سه‌بعدی تغییرات تولید در سیستم‌های ماشین‌کاری چند ایستگاهی پرداختند [۷]. تحقیقات دیگری نیز در خصوص کنترل و بهبود فرآیند صورت گرفته است که از این بین می‌توان به کوشش احمد کوچک‌زاده و همکاران اشاره کرد [۸]. در آخرین تحقیقات، بازدار و همکاران در سال ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ به مدلسازی و تفکیک منابع تغییرات در طول مراحل تولید و تعیین ایستگاه منبع خطا و به دنبال آن، تعیین منبع خطای ماشین‌کاری در داخل ایستگاه بروز خطا پرداختند [۹]، [۱۰]. از آنجایی‌که تغییرات در هر ایستگاه ممکن است از ایستگاه‌های قبلی انتقال یافته باشد، این مسئله که آیا منبع تغییرات تشخیص داده شده، منبع اصلی بروز تغییرات است باقی می‌ماند. در این مقاله، رویکرد آزمون فرض بردار میانگین مشخصه‌های ابعادی در طول مراحل قبل از مرحله تشخیص داده‌شده، برای حل این مسئله پیشنهاد شده است. در این مطالعه، ابتدا به بیان دلایل لزوم تحقیق و مفروضات آن پرداخته و سپس با معرفی روش تحلیل تمایز بردار تغییرات مشخصه‌های محصولی در فرآیندهای تولیدی چندمرحله‌ای، یک مطالعه موردی انجام شده تا کاربرد روش پیشنهادی در فرآیند تولید چند مرحله‌ای محقق شود.

۲- لزوم تحقیق

تغییرات و انتقال آن‌ها در بین مراحل یک فرآیند تولیدی چندگانه به کمک متدلوژی زنجیره تغییرات مدلسازی می‌شود. این مدلسازی با بهره‌گیری از دانش مهندسی و تحلیل آماری داده‌های چندمتغیره، تغییرات و انتشار آن را که از پیچیدگی زیادی در فرآیندهای تولیدی چندگانه برخوردارند و در بین مراحل آن در حال انتقال‌اند، مدلسازی و توصیف می‌نماید. این در حالی است که اغلب تکنیک‌های آماری از جمله کنترل آماری فرآیند یک متغیره و چندمتغیره به ردیابی فرآیند و تشخیص تغییرات مشخصه‌های کیفی آن می‌پردازند اما به دلیل عدم وجود درکی روشن از همبستگی میان مشخصه‌های کلیدی محصول، قدرت تشخیص آن‌ها رضایت‌بخش نیست، به خصوص زمانی که تعداد مشخصه‌ها زیاد باشد. توسعه چارت‌های کنترلی منجر به بهبود قابل‌ملاحظه‌ای در شناسایی و کاهش تغییرات شدند اما قادر به مدلسازی ارتباط بین متغیرهای فرآیند و مشخصه‌های کلیدی محصول نبودند و این امر به کارگیری نتایج حاصل از نمودار کنترل را در تعریف اقدام اصلاحی با مشکل مواجه می‌کند. همچنین، اغلب روش‌های کنترل فرآیند به ردیابی فرآیندهای یک مرحله‌ای می‌پردازد بدون اینکه تغییرات موجود بین مراحل و انتشار آن را در جریان داده‌های فرآیندهای تولیدی چندگانه در نظر بگیرند [۱۱]، [۱۲]. در این پژوهش، پس از مدلسازی و تفکیک منابع بروز خطا، چگونگی انتقال آن از مراحل قبل مورد بررسی قرار می‌گیرد. آیا تغییرات در آن مرحله معنی‌دار است؟ تغییرات خاصه آن مرحله است یا از مرحله قبل انتشار یافته است؟ این بررسی ادامه یافته تا منبع اصلی بروز خطا در اندازه‌های مشخصه کیفی به‌طور معنی‌داری تعیین شود.

۳- مفروضات

در این مطالعه، ابتدا به کمک تحلیل تمایز گروهی به تفکیک منابع تغییرات اندازه‌های حاصل از مشخصه‌های کیفی می‌پردازیم. این تکنیک بر پایه دو فرض اساسی بنا شده که عبارتند از تبعیت داده‌های حاصل از اندازه‌گیری مشخصه کیفی از توزیع نرمال چندمتغیره و تساوی ماتریس واریانس در سرتاسر گروه‌ها. فرض نرمال چندمتغیره برای آزمون معنی‌داری متغیرها و توابع متمایزکننده فرضی ضروری است به‌طوری‌که اگر داده‌ها از توزیع نرمال چندمتغیره پیروی نکنند هیچ‌کدام از آزمون‌های معنی‌داری اعتبار نخواهند داشت. همچنین، نتایج دسته‌بندی نیز تحت تأثیر این فرض است [۱۳]. در تحلیل تمایز دو گروهی فرض بر این است که ماتریس واریانس دو گروه با هم برابرند. عدم برقراری این فرض بر آزمون‌های معنی‌داری و نتایج دسته‌بندی تأثیرگذار است. این تأثیر وابسته به تعداد متغیرهای تمایزکننده و حجم نمونه برای هر گروه است. چنانچه فرض صفر در آزمون میانگین عبارت باشد از برابری بردار میانگین‌ها، زیاد بودن تعداد متغیرهای متمایزکننده یا متفاوت بودن حجم نمونه گروها منجر به رد فرض صفر می‌شود. آزمون معنی‌داری تساوی ماتریس واریانس عبارت است از:

$$\begin{cases} H_o: \boldsymbol{\Sigma}_1 = \boldsymbol{\Sigma}_2 = \cdots = \boldsymbol{\Sigma}_g \\ H_a: \boldsymbol{\Sigma}_1 \neq \boldsymbol{\Sigma}_2 = \cdots = \boldsymbol{\Sigma}_g \end{cases} \quad (۱)$$

که در آن، $\boldsymbol{\Sigma}_g$ عبارت است از ماتریس واریانس گروه gام [۱۳].

۴- آزمون زنجیره تغییرات و تشخیص خطا

روش‌های برگرفته از داده ازجمله روش‌های شناخته‌شده در ادبیات زنجیره تغییرات است که در آن، با به‌کارگیری اندازه‌های حاصل از مشخصه‌های کیفی محصول در طول فرآیند تولید، می‌توان به روش‌هایی جهت تحلیل و مدلسازی تغییرات در فرآیندهای تولیدی چندمرحله‌ای پرداخت. همان‌طور که در مقدمه نیز اشاره شد، روش پیشنهادی در این خصوص تکنیک آماری تحلیل تمایز چندگروهی[1] است که به تفکیک منابع تغییرات مشخصه‌های کیفی محصول می‌پردازد. این رویکرد سه هدف عمده را دنبال می‌نماید که عبارتند از: تعیین مجموعه‌ای از متغیرها که به بهترین وجه گروه‌ها را متمایز می‌کند، به دست آوردن محوری جدید که از ترکیب خطی متغیرها یا همان مشخصه‌های کیفی به دست می‌آید و در نهایت، دسته‌بندی و تخصیص مشاهدات به گروه‌ها است. چنانچه X بیانگر p بردار مربوط به تغییرات مشخصه‌های کیفی محصول باشد که در g مرحله یا ایستگاه تولید می‌شوند، حداکثر با $M = Min\{g-1,\ p\}$ تعداد توابع تشخیص می‌توان به تمایز منابع تغییرات آن‌ها پرداخت. به عبارت دیگر، با انجام یک دسته‌بندی، فضای کل p متغیر را به g ناحیه منحصربه‌فرد $R_1, R_2, \dots, R_g$ تقسیم نموده به‌طوری‌که هر بردار مشاهده شده از تغییرات کیفی در یکی از این نواحی قرار بگیرد. چنانچه ماتریس $\boldsymbol{\Sigma}$ نمایانگر واریانس و ماتریس T نیز مجموع انحرافات از میانگین ضربی متغیرها باشد که قابل تفکیک به دو ماتریس B و W است که به ترتیب، بیانگر مجموع انحرافات بین‌گروهی و درون‌گروهی p مشخصه کیفی می‌باشند، همچنین $\boldsymbol{\gamma}$، بردار ضرایب تابع متمایز کننده خطی بین گروه‌ها باشد در این صورت بردار ویژه مترادف با بزرگترین مقدار ویژه $\mathbf{W^{-1}B}$ ، ضرایب اولین تابع تمایز را مشخص می‌نماید. چنانچه ماتریس $\mathbf{X}_{pg}$ بیانگر مشاهدات مربوط به تغییرات p مشخصه کیفی محصول در g ایستگاه باشد، $\mathbf{X}_{ij}$ نمایانگر مقدار تغییرات مشخصه کیفی iام در ایستگاه jام است که بنا بر مدل زنجیره تغییرات به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$x_{ij} = a_{ij}\, x_{i(j-1)} + b_{ij} u_{ij} + e_{ij} \quad , i = 1,2,\dots,p\ , j = 1,2,\dots,g \qquad (۲)$$

که در آن، $x_{i(j-1)}$ بیانگر مقدار تغییرات مشخصه کیفی iام است که از ایستگاه قبل یعنی ایستگاه ۱- jام انتقال یافته است و u_{ij} نیز مقدار تغییرات فرآیندی مشخصه کیفی iام در ایستگاه jام است. در این صورت، بردار انحرافات مربوط به مشخصه‌های کلیدی محصول در ایستگاه اول که با $\mathbf{x}_1$ نمایش داده می‌شود دارای میانگین $\boldsymbol{\mu}_1$ و خطای $\mathbf{e}_1$ است:

$$\mathbf{x}_1 = \boldsymbol{\mu}_1 + \mathbf{e}_1 \qquad (۳)$$

همچنین، شکل برداری مدل زنجیره تغییرات فوق که مربوط به p مشخصه کیفی در g ایستگاه است به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mathbf{x}_j = \boldsymbol{A}_j\, \mathbf{x}_{j-1} + \boldsymbol{B}_j \mathbf{u}_j + \mathbf{e}_j\ , j = 1,2,\dots,g \qquad (۴)$$

که در آن، $\mathbf{x}_j$ یک بردار p متغیره از انحرافات مشخصه‌های کلیدی محصول در ایستگاه j ام است و $\mathbf{x}_{j-1}$، دربردارنده‌ی انحرافات مشخصه‌های کلیدی محصول از ایستگاه قبل است. $\mathbf{u}_j$ بردار p متغیره انحرافات محصولی ناشی از منابع تغییرات فرآیندی در ایستگاه jام و $\mathbf{e}_j$ نیز خطای مدل نشده مربوط به ایستگاه jام است. $\boldsymbol{A}_j$ و $\boldsymbol{B}_j$ ماتریس ضرائب از مرتبه $p \times p$ می‌باشند که به ترتیب، همبستگی بردار انحرافات مشخصه‌های محصولی ایستگاه j و j-1 و همچنین، همبستگی بین انحرافات مشخصه‌های محصولی و انحرافات فرآیندی مربوط به ایستگاه j را نشان می‌دهد. مطابق با فرض پیروی از توزیع نرمال p متغیره، $\mathbf{x}_j$ دارای توزیع نرمال p متغیره با میانگین $\boldsymbol{\mu}_j$ و واریانس $\boldsymbol{\Sigma}_j$ است. همچنین، $\mathbf{e}_j$ نیز از توزیع نرمال چند متغیره با میانگین صفر و واریانس $\boldsymbol{\Sigma}_{e_j}$ پیروی می‌نماید. پس داریم:

$$\begin{aligned} &E(\mathbf{x}_j) = \boldsymbol{\mu}_j\ , j = 1,\dots,g \\ &\boldsymbol{\mu}_j = \boldsymbol{B}_j \mathbf{u}_j + \boldsymbol{A}_j\, \boldsymbol{\mu}_{j-1}\ , \quad j = 2,3,\dots,g \end{aligned} \qquad (۵)$$

همچنین،

$$\begin{aligned} &Cov(\mathbf{x}_1) = \boldsymbol{\Sigma}_{e_1} \\ &Cov(\mathbf{x}_j) = \boldsymbol{A}_j\, \boldsymbol{\Sigma}_{j-1}\, \boldsymbol{A}_j^T + \boldsymbol{\Sigma}_{e_j}\ , j = 2,3,\dots,g \end{aligned} \qquad (۶)$$

در نتیجه، با آزمون فرضیه بردار میانگین‌ها و ماتریس واریانس در هر ایستگاه می‌توان به ردیابی و تشخیص ایستگاه مسأله ساز پرداخت[۶]. روابط فوق نشان می‌دهد که میانگین و واریانس مشخصه‌های کلیدی محصول در ایستگاه jام می‌تواند به دو بخش تقسیم شود؛ میانگین و واریانس تغییرات مربوط به ایستگاه j و تغییرات انتقال یافته از ایستگاه j-1. ابتدا به آزمون معنی‌داری میانگین تغییرات ابعادی در ایستگاه jام می‌پردازیم و مشخص می‌کنیم که آیا تغییرات معنی‌دار وجود دارد یا نه؟ این بررسی با انجام آزمون فرضیه زیر در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ امکان‌پذیر است:

$$\begin{cases} H_o: \boldsymbol{\mu}_j = 0 \\ H_a: \boldsymbol{\mu}_j > 0 \end{cases} \qquad (۷)$$

در صورت معنی‌داری آزمون و وجود تغییرات ابعادی در ایستگاه j ام، با استفاده از رابطه (۸) به بررسی وجود تغییرات مربوط به منابع خطای فرآیندی در ایستگاه j ام می‌پردازیم.

$$\begin{cases} H_o: \boldsymbol{\mu}_j \le \boldsymbol{\mu}_{j-1} \\ H_a: \boldsymbol{\mu}_j > \boldsymbol{\mu}_{j-1} \end{cases} \qquad (۸)$$

چنانچه بردار میانگین تغییرات ایستگاه j ام با ایستگاه j-1 برابر باشد بیانگر عدم وجود تغییرات فرآیندی در ایستگاه j ام است. در نتیجه، آزمون فرض را به‌منظور بررسی وجود تغییرات فرآیندی در ایستگاه j-1ام و ایستگاه j-2ام انجام می‌دهیم. این روند تا معنی‌دار شدن آزمون ادامه خواهد داشت. چنانچه ماتریس $\boldsymbol{\Sigma}_j$ نمایانگر واریانس و ماتریس T نیز مجموع انحرافات از میانگین ضربی متغیرها باشد که قابل تفکیک به دو ماتریس B و W است، تابع

1. Multiple Group Discriminant Analysis

تمایز تغییرات ایستگاه j ام از ترکیب خطی p متغیر به ترتیب زیر تعریف می‌شود:

$$z_j = w_{1j}\, x_{1j} + w_{2j}\, x_{2j} + \cdots + w_{pj}\, x_{pj} \qquad (۹)$$

که در آن، ضرایب تابع برابر با بردار ویژه مترادف با بزرگترین مقدار ویژه ماتریس $\mathbf{W^{-1}B}$ است. ماتریس‌های W و B نیز به ترتیب، ماتریس مجموع مربعات و ضرب برداری تغییرات درون‌گروهی[1] و ماتریس مجموع مربعات و ضرب برداری تغییرات بین‌گروهی[3] متعلق به p مشخصه کیفی می‌باشند. تابع تعیین شده به روش فوق، تابع تمایز خطی فیشر[4] نام دارد. کلیه توابع تمایز خطی فیشر نسبت به هم ناهمبسته هستند[۱۳]. پس از تعیین تابع تمایز تغییرات ایستگاه jام و انجام آزمون معنی‌داری آن، به دسته‌بندی و تخصیص مشاهدات در ایستگاه jام می‌پردازیم. دسته‌بندی و تخصیص مشاهدات بر مبنای حداقل نمودن هزینه کل تخصیص‌های نادرست[5] (TCM) انجام می‌شود. با توجه به مثبت بودن مقادیر احتمال‌های پیشین و هزینه‌های تخصیص نادرست تعریف‌شده در هزینه کل تخصیص‌های نادرست، حداقل مقدار تابع هزینه کل تخصیص‌های نادرست از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$C(1/2)P_2\, f_2(x) - C(2/1)P_1 f_1(x) \le 0 \qquad (۱۰)$$

که در آن، P_1 و P_2 به ترتیب، احتمال پیشین تخصیص یک مشاهده به گروه اول و دوم است و $C(1/2)$ و $C(2/1)$ به ترتیب، هزینه تخصیص نادرست مشاهده به گروه اول و دوم است. $f_1(X)$ و $f_2(X)$ به ترتیب، توابع چگالی احتمال متغیر تصادفی X در دو گروه اول و دوم است. در تحلیل تمایز یک متغیره، مشاهده X به گروه اول اختصاص می‌یابد اگر

$$\frac{f_1(X)}{f_2(X)} \ge \left[\frac{C(1/2)}{C(2/1)}\right]\left[\frac{P_2}{P_1}\right] \qquad (۱۱)$$

نامساوی فوق در حالت برابر بودن احتمال پیشین و هزینه تخصیص نادرست برای دو گروه عبارت است از

$$\frac{f_1(X)}{f_2(X)} \ge 1 \qquad (۱۲)$$

همانطور که قبلاً بدان اشاره شد، $\mathbf{x_j}$ دارای توزیع نرمال p متغیره با میانگین $\boldsymbol{\mu_j}$ و واریانس $\boldsymbol{\Sigma_j}$ است. در نتیجه، تابع چگالی احتمال هر بردار مشاهدات $\mathbf{x_0}$ در ایستگاه j ام عبارت است از:

$$f_j(\mathbf{x_0}) = (2\pi)^{-\frac{p}{2}}\, |\boldsymbol{\Sigma_j}|^{-\frac{1}{2}}\, e^{-\frac{1}{2}(\mathbf{x_0}-\boldsymbol{\mu_i})'\boldsymbol{\Sigma_j}^{-1}(\mathbf{x_0}-\boldsymbol{\mu_i})} \qquad (۱۳)$$

با فرض تساوی واریانس ایستگاه‌ها، از جایگذاری میانگین تغییرات دو ایستگاه j ام و j-1 ام در نامساوی حداقل هزینه کل تخصیص‌های نادرست، به رابطه زیر می‌رسیم:

$$\begin{aligned}&\left(\boldsymbol{\mu_{j-1}} - \boldsymbol{\mu_j}\right)' \boldsymbol{\Sigma}^{-1}\mathbf{x_0} \ge \\ &.5\left(\boldsymbol{\mu_{j-1}} - \boldsymbol{\mu_j}\right)' \boldsymbol{\Sigma}^{-1}\boldsymbol{\mu_{j-1}} \\ &+.5\left(\boldsymbol{\mu_{j-1}} - \boldsymbol{\mu_j}\right)' \boldsymbol{\Sigma}^{-1}\boldsymbol{\mu_j}\end{aligned} \qquad (۱۴)$$

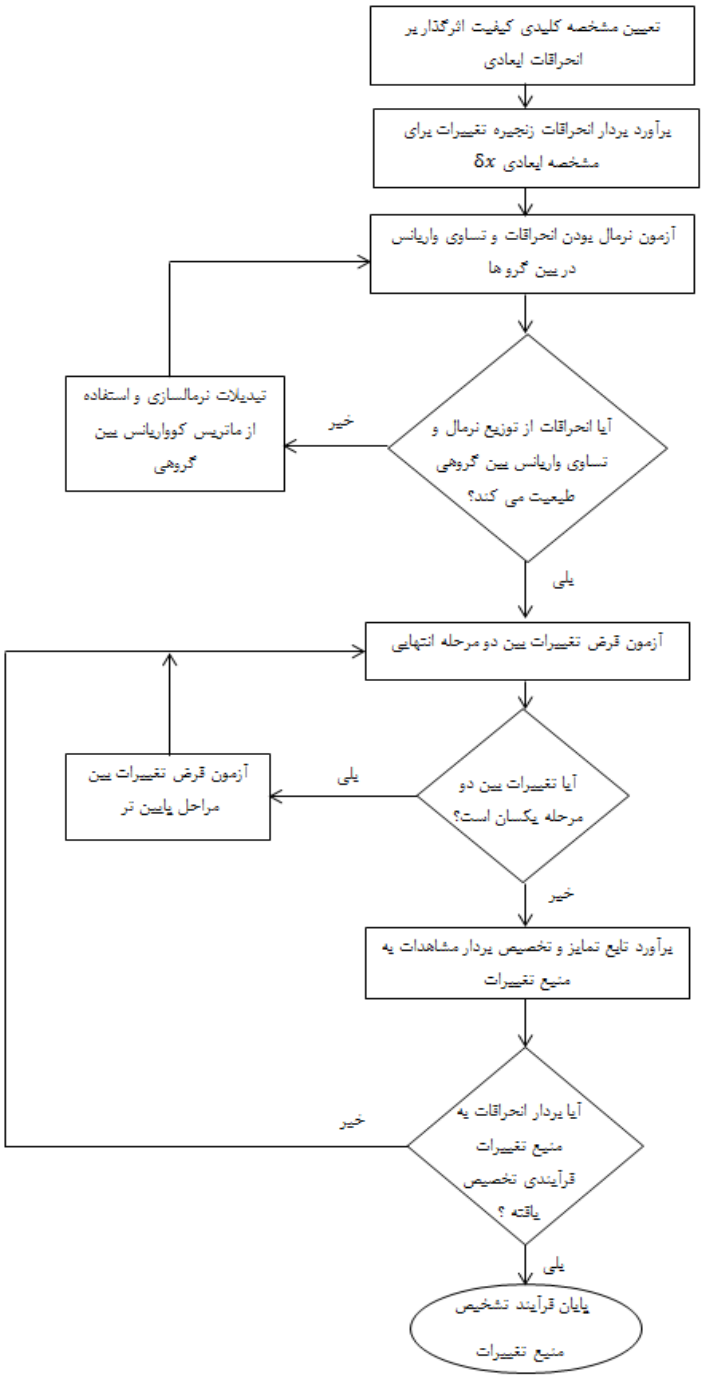
نامساوی فوق در حالت برابر بودن احتمال پیشین و هزینه تخصیص نادرست برای دو گروه در نظر گرفته شده است. در نتیجه، اگر مشاهده $\mathbf{x_0}$ در نامساوی فوق صدق کند، به منابع تغییرات مشخصه‌های کلیدی محصول در گروه قبل یعنی گروه j-1ام تخصیص می‌یابد و در غیر این صورت ناشی از منابع تغییرات مربوط به خطای فرآیند در گروه jام است. پس از تخصیص بردار مشاهدات آتی به مدل و تعیین منبع تغییرات، چنانچه منبع تغییرات تشخیص داده شده عبارت باشد از منبع تغییرات فرآیندی ایستگاه j ام، به رفع منابع خطای فرآیندی در این ایستگاه می‌پردازیم. در غیر این صورت، منبع تغییرات تشخیص داده شده انتقال یافته از ایستگاه قبل است که می‌بایست مراحل آزمون فرض تساوی تغییرات فرآیندی برای ایستگاه‌های پایین‌تر انجام پذیرد و رویه به همین ترتیب جهت تشخیص منبع اصلی خطای فرآیندی ادامه خواهد یافت. شکل ۲ رویه ارائه شده در این مطالعه را نشان می‌دهد. پیشنهاد استفاده از تحلیل تمایز برای تعیین عضویت مشاهدات، زمانی مناسب است که متغیرهای نمایانگر مشخصه‌های کیفی، متریک بوده و توزیع مشترک آن‌ها نرمال باشد. حال با داشتن اطلاعاتی مبنی بر مدلسازی زنجیره تغییرات ابعادی در مراحل چندگانه یک سیستم تولیدی و تعریف تابع تمایز برای این زنجیره از تغییرات، می‌توان منابع تغییرات را دسته‌بندی کرد و مرحله بروز خطا را برای هر بردار مشاهده از تغییرات ابعادی محصول پیش‌بینی نمود [۶]، [۱۳].

۵- مطالعه موردی

محصول شاتون از جمله قطعات کلیدی مورد نیاز سایپا برای مونتاژ موتور خودرو پراید است که کیفیت این محصول، نقش مهمی در کارایی موتور و همچنین، شتاب و قدرت آن دارد. اجزای اصلی شاتون عبارتند از سوراخ کوچک، سوراخ بزرگ، دسته و کپه که از این بین، سوراخ کوچک به دلیل استفاده آن در چیدمان فیکسچرها در دیگر مراحل ماشین‌کاری از اهمیت خاصی برخوردار است. محصول شاتون به همراه اجزای تشکیل‌دهنده آن در شکل ۳ نشان داده شده است.

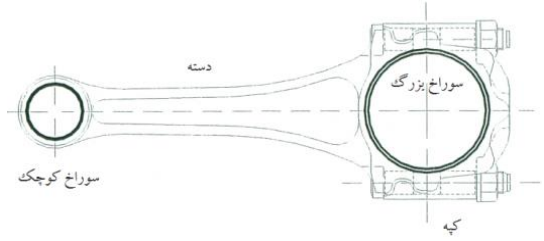
به منظور انجام مطالعات کاربردی و میدانی در خصوص توسعه مدل زنجیره تغییرات برای تشخیص، کنترل و تفکیک منابع تغییرات، جلسات همکاری کمیته کنترل کیفیت گروه صنعتی نصیرکیانگ[6]، از زیرمجموعه‌های تأمین‌کنندگان قطعات سایپا، صورت پذیرفت که طی این جلسات، تغییرات ابعادی محصول شاتون[7] خودرو پراید شناسایی شد[۱۴]. خط ماشین‌کاری و مونتاژ قطعه شاتون در شرکت نصیرکیانگ از ۱۳ مرحله تشکیل شده است که با اضافه نمودن چهار مرحله تکمیلی، در نهایت در ۱۷ مرحله، قطعه برای تحویل به مشتری آماده می‌شود. به‌منظور مدلسازی تغییرات ابعادی مربوط به مشخصه‌های ابعادی شاتون در طول

1. Within-groups sum of squares and cross products matrix



شکل (۲): رویکرد ارائه شده در تشخیص منبع تغییرات

فرآیند تولید، از بین مشخصه‌های کلیدی این محصول ۱۰ آیتم که از بالاترین درجه اهمیت، یعنی درجه اهمیت A، برخوردارند در جلسه کارگروه کمیته کیفیت انتخاب شده‌اند. این آیتم‌ها عبارتند از پهنای دسته، پهنای کپه، قطر سوراخ کوچک، فاصله مرکز به مرکز سوراخ‌ها، پهنای دسته و کپه، ارتفاع نشیمنگاه، پهنای شیار، عمق شیار، فاصله از لبه دسته و فاصله از لبه کپه. فضای کل تغییرات ابعادی شناسایی شده در خط تولید نیز شامل ۴ ایستگاه اصلی ماشین‌کاری به ترتیب ماشین‌کاری سوراخ کوچک، ماشین‌کاری نشیمنگاه پیچ، ماشین‌کاری شیار و ماشین‌کاری سوراخ پیچ هستند. تحلیل تمایز گروهی به‌منظور مدلسازی ارتباط متغیرهای پیش‌بینی کننده با یک یا چند متغیر وابسته به کار گرفته می‌شود که در اینجا، متغیرهای پیش‌بینی کننده همان مشخصه‌های کلیدی کیفیت محصول هستند و متغیرهای وابسته نیز عبارتند از منابع تغییرات که شامل ایستگاه‌های خط تولید است.



شکل (۳): اجزای اصلی شاتون

تحلیل تمایز به تعیین ترکیب‌های خطی از مشخصه‌های کیفی می‌پردازد که به بهترین صورت ممکن بتواند منابع تغییرات ابعادی را تفکیک نمایند. این ترکیب‌های خطی همان توابع تمایز نام دارند. در این مطالعه، پس انجام آزمون معنی‌داری میانگین تغییرات در ایستگاه مربوطه، با برآورد یک تابع تمایز از انحرافات ابعادی به‌دست‌آمده در تحلیل زنجیره تغییرات، به تخصیص بردار انحرافات اندازه‌گیری شده در انتهای خط به یکی از گروه‌های همجوار j و j-1 می‌پردازیم. چنانچه مدیریت کنترل و بهبود کیفیت محصول شاتون بخواهد در خصوص تعیین مشخصه‌های کیفی که بیانگر سهم عمده تغییرات باشند تصمیمی اتخاذ نماید ابتدا باید بداند که هر یک از این مشخصه‌ها به کدام منبع تغییرات تعلق دارد. به منظور تفکیک فضای تغییرات ابعادی مشخصه‌های کیفیت شاتون در فرآیند تولید و تخصیص بردار مشاهدات مشخصه‌های کیفی به منبع تغییرات، ۴۰ محصول مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و مقادیر انحرافات مشخصه‌های کیفی آن‌ها اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. اندازه‌های مشخصه‌های کیفی ۴۰ محصول مورد ارزیابی در طول ۴ ایستگاه، در پیوست آورده شده است. به منظور بررسی وجود توزیع نرمال از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف[8] برای مقادیر مشخصه‌های کیفی به‌دست‌آمده انجام می‌پذیرد که نتایج به‌دست‌آمده از آماره آزمون و مقدار احتمال مربوطه دلالت بر پیروی داده‌ها از توزیع نرمال دارد. همچنین، نتایج ارزیابی آزمون فرض تساوی واریانس مشخصه‌های کلیدی کیفیت شاتون در سرتاسر فضای تغییرات ابعادی فرآیند تولید نیز دلالت بر وجود تساوی در ماتریس واریانس دارد. جدول ۱ نتایج مربوط به آزمون توزیع نرمال و تساوی واریانس را در سرتاسر گروه‌ها نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌نماییم جهت آزمون یکسان بودن واریانس در سرتاسر مراحل از آماره‌ی لِوِن[9] استفاده می‌کنیم. مقدار احتمال به‌دست‌آمده برای این آماره دلالت بر یکسان بودن واریانس بین گروه‌ها دارد.

جدول(۱): نتایج آزمون توزیع نرمال و تساوی واریانس‌ها

مقدار معنی‌داری	آماره کولموگروف-اسمیرنف		
۰/۱۱	۱/۲۰۳		
مقدار معنی‌داری	درجه آزادی ۲	درجه آزادی ۱	آماره لون
۱/۰۰۰	۳۶	۳	۰/۰۰۰

در ادامه، به‌منظور آزمون استقلال مشخصه‌های کلیدی محصول نسبت به یکدیگر قبل از مدلسازی، به مقایسه میانگین آن‌ها می‌پردازیم. نتایج تحلیل معنی‌داری مشخصه‌های کلیدی کیفیت محصول که در آن، منابع تغییرات ابعادی به‌عنوان عامل درنظرگرفته شده است، عدم وجود همبستگی بین مشخصه‌های کیفی را برای سه مشخصه OP120A1، OP130A1 و OP170A1 تأیید می‌کند. نتایج در جدول ۲ نشان داده شده است. در نتیجه، این سه مشخصه در تعریف تابع تمایز معنی‌دار هستند. آماره لاندای ویلکس[10] دیگر معیار ارزیابی مشخصه‌ها است که هر چه مقدار آن کوچکتر باشد، تمایز منابع تغییرات بهتر است.

جدول(۲): نتایج آزمون مقایسه میانگین مشخصه‌ها

مشخصه‌های محصولی	Wilks' Lambda	مقدار آماره فیشر	درجه آزادی اول	درجه آزادی دوم	مقدار معنی‌داری
OP110A1	۰/۹۹۶	۰/۱۱۶	۳	۳۶	۰/۹۵۰
OP110A2	۰/۹۷۷	۰/۷۶۲	۳	۳۶	۰/۵۱۸
OP120A1	۰/۷۰۰	۱۳/۷۳	۳	۳۶	۰/۰۰۰
OP130A1	۰/۹۲۶	۲/۵۷۲	۳	۳۶	۰/۰۵۹
OP130A6	۰/۹۵۳	۱/۵۷۰	۳	۳۶	۰/۲۰۲
OP130A7	۰/۹۹۳	۰/۲۳۴	۳	۳۶	۰/۸۷۳
OP170A1	۰/۶۴۸	۱۷/۳۸	۳	۳۶	۰/۰۰۰
OP170A3	۰/۹۶۳	۱/۲۳۱	۳	۳۶	۰/۳۰۳
OP170A6	۰/۹۶۷	۱/۰۹۸	۳	۳۶	۰/۳۵۴
OP170A7	۰/۹۶۱	۱/۲۹۸	۳	۳۶	۰/۲۸۰

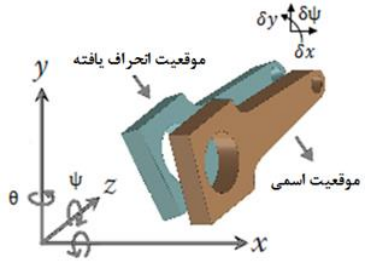
چنانچه نتایج مقایسه آزمون میانگین تغییرات ابعادی دلالت بر عدم تساوی تغییرات ابعادی بین دو مرحله داشته باشد، بنا بر مدل زنجیره تغییرات می‌توان به کمک تابع تمایز زنجیره تغییرات، فضای منابع تغییرات را برای آن دو مرحله به دو منبع تغییرات مشخصه‌های فرآیندی مرحله بالاتر و تغییرات مشخصه‌های کلیدی کیفیت محصول انتقال یافته از مرحله پایین‌تر تفکیک نمود. داده‌های مربوط به اندازه‌گیری تغییرات مشخصه کلیدی کیفیت مربوط به ۴۰ قطعه کاری به عنوان داده‌های یادگیری برای برازش مدل استفاده می‌شود. این اندازه‌گیری‌ها به صورت مجزا پس از مراحل تولید انجام شده است که به‌عنوان داده‌های مبنای تغییرات فرآیندی هر مرحله در نظر گرفته می‌شود. مقدار انحرافات مشخصه‌های محصولی برای اولین بردار برابر با مقدار صفر لحاظ می‌شود. نحوه تشخیص معیوب بودن قطعه نهایی به این صورت است که در صورت خارج بودن اندازه مشخصه‌ی کیفی آن از حدود تعیین شده توسط واحد طراحی، آن قطعه به‌عنوان قطعه معیوب شناخته می‌شود. برای داده‌های یادگیری، خارج شدن از حدود مشخصه‌های فنی پس از هر مرحله از فرآیند تولید، توسط کمیته بازنگری بررسی می‌شود. همچنین، برای داده‌های تست، معیوب بودن قطعه در ایستگاه نهایی فرآیند تولید تعیین می‌شود. با تصویب مشخصه OP120A در کمیته کیفیت، سوراخ کوچک محصول شاتون به‌عنوان مشخصه کلیدی کیفیت محصول در نظر گرفته می‌شود. در این مرحله، به اندازه‌گیری بردار انحرافات ابعادی این مشخصه در چهار ایستگاه ماشین‌کاری می‌پردازیم و زنجیره تغییرات را مدلسازی می‌نماییم. در هر ایستگاه، قطعه توسط فیکسچر روی دستگاه ماشین‌کاری نصب شده و سپس ماشین‌کاری می‌شود. به‌منظور فیکس شدن قطعه در ایستگاه ماشین‌کاری، قطعه کاری بر روی یک مکعب که توسط فیکسچر در جای خود ثابت شده است نصب می‌شود. طرح فیکسچر استفاده شده در این مطالعه موردی که برای ثابت نگه داشتن قطعه کاری به کار می‌رود طرح فیکسچر ۳-۲-۱ است. مکان و موقعیت اسمی این مشخصه نسبت به مختصات

مرجع در جدول ۳ نشان داده شده است. کلیه فاصله‌ها در این مطالعه موردی بر حسب واحد صدم میلی‌متر و زاویه‌ها نیز بر حسب واحد رادیان هستند.

جدول (۳): موقعیت اسمی مشخصه متصل به فیکسچر

نام مشخصه	حد مشخصه فنی	مختصات فاصله‌ای	مختصات زاویه‌ای
سوراخ کوچک	۲۱/۸۴~۲۱/۸۹	[۱۰۲, ۹۸, ۱۷۸]	[۰, ۰, ۰]

مبدأ مختصات فاصله‌ای، مبدأ محورهای مختصات است. تقاطع خط مرکزی سوراخ کوچک و صفحه بالایی مکعب فیکسچر به عنوان مرجع مختصات فاصله‌ای در اندازه‌گیری انحرافات ابعادی در نظر گرفته می‌شود. با تعیین مختصات اسمی نقاط فیکسچر و همچنین مختصات مرجع مشخصه کلیدی محصول مدل زنجیره تغییرات را از ترکیب خطای فیکسچر و خطای ناشی از اتصال به مشخصه به دست آورد که برای آن، انحرافات مشخصه کلیدی از اندازه‌گیری انحراف مشخصه در سه جهت فاصله‌ای و سه جهت زاویه‌ای به شرح بردار انحرافات با شش مؤلفه انجام می‌پذیرد که در شکل ۴ نمایشی از محصول انحراف یافته شاتون را نسبت به موقعیت اسمی خود نشان داده شده است.



شکل (۴): انحراف محصول نسبت به موقعیت اسمی

در این مطالعه، بردار انحرافات در راستای محور افقی یعنی δx در نظر گرفته می‌شود که برای ۴۰ محصول در چهار ایستگاه ماشین‌کاری اندازه‌گیری شده است. ابتدا جهت معنی‌داری انحرافات ایستگاه‌ها، میانگین انحرافات آن‌ها را آزمون می‌نماییم. نتایج آزمون t وجود تغییرات ابعادی، با هدف انحراف از صفر، در چهار مرحله از فرآیند تولید شاتون به شرح ۴ است.

جدول(۴): نتایج آزمون t انحرافات ایستگاه‌ها

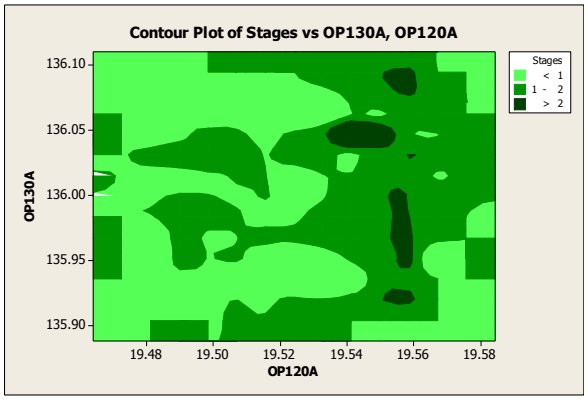
ایستگاه	t	df	Sig. (2-tailed)
۱	-۳/۴۸۷	۹	۰/۰۰۷
۲	۴/۹۳۵	۹	۰/۰۰۱
۳	۴۱/۰۴۹	۹	۰/۰۰۰
۴	۳۷/۲۲۲	۹	۰/۰۰۰

در نتیجه، انحرافات چهار ایستگاه ماشین‌کاری از لحاظ آماری معنی‌دار است. با توجه به مدل بحث شده در بخش قبل، تغییرات ابعادی مشخصه‌های کلیدی کیفیت در هر مرحله می‌تواند به دو بخش تقسیم شود؛ تغییرات مربوط به همان مرحله و تغییرات انتقال یافته از مرحله قبل. لذا به منظور پیدایش منبع اصلی تغییرات، به مقایسه میانگین تغییرات ابعادی مربوط به انحرافات مشاهده شده در مرحله‌ی چهارم و مراحل قبل از آن می‌پردازیم. چنانچه تغییرات ابعادی مشخصه‌های کلیدی کیفیت محصول در مرحله‌ی چهارم و مرحله‌ی قبل از آن برابر باشند، بیانگر عدم وجود تغییرات فرآیندی در مرحله‌ی چهارم است. درنتیجه به انجام آزمون مقایسه میانگین تغییرات ابعادی بین مراحل سوم و دوم و در صورت کسب نتیجه تساوی تغییرات ابعادی، وجود تغییرات فرآیندی را بین مراحل دوم و اول بررسی می‌کنیم. در صورت معنی‌داری این آزمون در هر مرحله، با تعیین تابع تمایز زنجیره تغییرات، فضای منابع تغییرات ایستگاه j ام به دو منبع تغییرات فرآیندی ایستگاه j و تغییرات مشخصه‌های کلیدی محصول در ایستگاه j-1 تقسیم می‌شود. نتایج مقایسه انحرافات بین مراحل در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول (۵): نتایج آزمون فرض مقایسه تغییرات ابعادی

ایستگاه‌ها	t	df	Sig. (2-tailed)
اول و دوم	-۵/۷۹۳	۱۸	۰/۰۰۱
دوم و سوم	-۱/۲۱	۱۸	۰/۲۴۲
سوم و چهارم	-۰/۷۲۹	۱۸	۰/۴۶۷

نتایج آزمون در این مطالعه موردی دلالت بر وجود تفاوت معنی‌دار بین مراحل اول و دوم دارد. در نتیجه با برآورد تابع تمایز از روی مشخصه‌های کیفی مربوط به این دو مرحله زمینه را برای تخصیص بردار انحرافات مشاهده شده فراهم می‌نماییم. همان‌طور که از نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۵ مشخص است، مقدار احتمال برای آزمون اول معنی‌دار است و دلالت بر وجود تفاوت معنی‌دار بین میانگین تغییرات مرحله اول و دوم دارد. شکل ۵ نمودار محیطی[11] (کانتور پلات) را برای ۴۰ داده به‌دست‌آمده از دو مشخصه کیفی معنی‌دار OP120A و OP130A نشان می‌دهد. محور سوم در نمودار کانتور بیانگر منابع تغییرات است.



شکل (۵): نمودار کانتور منابع تغییرات اول و دوم

نواحی سایه تیره نمایش داده شده در نمودار کانتور، آن قسمتی از فضای تغییرات مربوط به دو مشخصه را نشان می‌دهد که به منابع تغییرات سوم یا چهارم تعلق دارند. نواحی سایه روش نیز

تغییرات مدل نشده مربوط به اغتشاشات است و نواحی نشان داده شده با سایه متوسط، فضای تغییرات مربوط به دو مشخصه‌ی کیفی محصول شاتون را که به منابع تغییرات اول و دوم تعلق دارند را مشخص می‌نماید. همان‌طور که از وسعت این ناحیه مشخص است، این تغییرات قابل‌ملاحظه می‌باشند و تراکم آن برای مشخصه محصولی OP120A در بازه (۰/۱۹۵۶۵ و ۰/۱۹۵۴۰) میلی‌متر و برای مشخصه محصولی OP130A در بازه (۰/۱۳۶۰۵ و ۰/۱۳۵۹۵) قرار دارد . بنابراین، کافی است با یک تابع تمایز، فضای منابع تغییرات را در بین دو ناحیه متناظر با منبع تغییرات گروه اول و دوم تفکیک نموده و سپس بردار انحرافات مشاهده شده را به منبع تغییرات متناظر تخصیص دهیم. در نتیجه، یکی از دو مرحله اول و دوم به عنوان منبع تغییرات بردار انحرافات تعیین می‌شود. در تحلیل تمایز چندگروهی، حداکثر تعداد توابع تمایز برابر است با $M = Min\{g - 1, p\}$ که در آن، g تعداد گروه‌ها و p تعداد متغیرها را نشان می‌دهد. ازآنجایی‌که در این مطالعه چهار گروه و یک مشخصه کلیدی کیفیت داریم در نتیجه، با تعیین یک تابع تمایز می‌توان فضای منابع تغییرات ایستگاه jام را که روند تغییرات برای ایستگاه‌های پس از آن ثابت است، به دو ناحیه دوبه‌دو ناسازگار متناظر با ایستگاه دوم و ایستگاه اول تقسیم نمود. بدین‌ترتیب، هر بردار انحرافات توسط این تابع تمایز کننده، به یکی از این دو ناحیه تعلق پیدا خواهد نمود. حال به برآورد تابع تمایز می‌پردازیم. ضرایب استانداردشده‌ی تابع متمایزکننده دو منبع تغییرات مربوط به گروه اول و گروه دوم که به ترتیب بیانگر تغییرات مشخصه‌های فرآیندی و تغییرات مشخصه‌های کلیدی کیفیت انتقال یافته از مرحله قبل می‌باشند، با استفاده از انحرافات به‌دست‌آمده از مشخصه کیفی δx در دو ایستگاه مربوطه به شرح جدول ۶ برآورد می‌شوند.

جدول (۶): ضرایب تابع تمایزخطی فیشر

مشخصه محصولی	تابع تمایز خطی فیشر	برآورد تابع تمایز برای دو مرحله
δx	$z_{1j} = w_{1j}\,\delta x$	$z_{11} = -۰/۸۱۹ - ۰/۱۵۲\,\delta x$
	j=۱و۲	$z_{12} = -۲/۸۷۷ + ۰/۶۳۶\delta x$

به‌منظور بررسی معنی‌داری تابع تمایز برآورد شده، آزمون تابع تمایز انجام می‌شود. با توجه به نتایج نشان داده شده در جدول ۷، می‌توان گفت که تغییرات ابعادی فرآیند تولید به کمک تابع تمایز بین دو گروه تفکیک‌پذیر است.

جدول (۷): آزمون تابع تمایز

Box's M sig.	Wilks' Lambda	Chi-square	Eigen value	Sig.
۰/۱۳۶	۰/۳۴۹	۱۸/۴۱۸	۱/۸۶۵	۰/۰۰۱

همچنین، مقدار آماره لاندای ویلکس در آزمون معنی‌داری تابع تمایز، مدل را تأیید می‌نماید و بیان می‌دارد که نتایج دسته‌بندی و تفکیک منابع تغییرات مطلوب است. از آنجایی که برازش مدل زنجیره تغییرات و ضرایب تابع تمایز بر حسب ۴۰ مشاهده اول به‌دست‌آمده است، جهت تخصیص بردار انحرافات مشخصه‌های کیفی محصول، یک شاتون خارج از حدود مشخصه‌های فنی در انتهای خط تولید انتخاب و انحرافات ابعادی آن توسط ساعت داخل سنج اندازه‌گیری می‌شود. بردار انحرافات اندازه‌گیری شده توسط تابع تمایز به مدل تخصیص داده می‌شود که نتیجه آن، تخصیص بردار مشاهدات با احتمال ۰/۸۸ به منبع تغییرات دوم است. در نتیجه، انحرافات مشاهده شده در شاتون مربوط به منبع تغییرات فرآیندی مرحله دوم ماشین‌کاری است که تا مرحله چهارم نیز در فرآیند باقی‌مانده است. به‌منظور اعتبار سنجی رویکرد ارائه شده، به‌طور عمدی به اندازه ۰/۶ میلی‌متر در فیکسچر متعلق به مرحله دوم ماشین‌کاری انحراف ایجاد نموده [۱۲] و انحرافات حاصل از این خطا را برای ۱۰ محصول پس از ایستگاه دوم ماشین‌کاری مطابق با مدلسازی زنجیره تغییرات به دست می‌آوریم. سپس تابع تمایز را به‌منظور تفکیک منابع تغییرات مرحله اول و دوم برآورد نموده و تخصیص را برای بردار انحرافات مشاهده شده برای یک محصول خارج از حدود مشخصه‌های فنی در انتهای خط، انجام می‌دهیم. این بار نیز بردار انحرافات مشاهده شده با احتمال ۰/۹۵ به منبع تغییرات دوم تخصیص داده می‌شود. نتایج اعتبارسنجی برای مشاهده عمدی در مقایسه با مشاهده آتی به همراه نمره تمایز، شماره منبع تغییرات پیش‌بینی‌شده و احتمال عضویت در منبع تغییرات در جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول (۸): نتایج اعتبارسنجی

نمره تمایز	احتمال عضویت منبع تغییرات	پیش‌بینی عضویت منبع تغییرات	مقدار مشاهده	مشاهده
۰/۷۷۹	۰/۸۸۳	ایستگاه ۲#	۵/۱۷	آتی
۱/۱۴۷	۰/۹۵۱	ایستگاه ۲#	۶/۳۸	عمدی

حال مطالعات شبیه‌سازی را به‌منظور نشان دادن عملکرد روش پیشنهادی در تشخیص ایستگاه بدین‌صورت توسعه می‌دهیم. ابتدا به منظور ایجاد عامل انحراف، تغییرات ابعادی را در سه اندازه ۰/۳ میلی‌متر (کوچک)، ۰/۶ میلی‌متر(متوسط) و ۰/۹ میلی‌متر (بزرگ) در فیکسچر متعلق به مرحله دوم ماشین‌کاری درنظرگرفته و بردار انحرافات حاصل از مدلسازی انتشار تغییرات در انتهای خط را به تفکیک برای هر یک از اندازه‌ها شبیه‌سازی می‌کنیم. سپس، با انجام آزمون مقایسه میانگین تغییرات ابعادی بین مراحل و برآورد تابع تمایز، بردار انحرافات به مدل تخصیص داده می‌شود. نتایج این شبیه‌سازی که شامل ایستگاه‌های منبع بروز خطا به همراه درصد تشخیص آن‌ها بعد از ۱۰۰۰۰ بار تکرار است، به تفکیک برای هر اندازه از تغییرات ابعادی، در جدول ۹ گزارش داده‌شده است.

همان‌طور که نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد، ایستگاه دوم با درصد تشخیص قابل‌ملاحظه‌ای به عنوان ایستگاه منبع بروز خطا تشخیص داده‌شده است و با افزایش مقدار انحراف، درصد تشخیص نیز قوی‌تر شده است. در نتیجه، رویکرد معرفی شده در تشخیص منبع واقعی تغییرات و تخصیص بردار انحرافات به آن موفق عمل

خواهد نمود. بدین ترتیب می‌توان از این رویکرد در تشخیص منبع تغییرات خط تولید چند مرحله‌ای شاتون استفاده نمود و با تشخیص منابع تغییرات فرآیندی و رفع علل بروز تغییر، کیفیت محصول را ارتقا بخشید. کمیته کیفیت جهت رفع این منبع تغییرات، به تخصیص هزینه کیفیت جهت تعویض ابزار برش و فیکسچر به کار رفته در مرحله دوم ماشین‌کاری نموده است. بدین ترتیب، با استفاده از متدلوژی زنجیره تغییرات می‌توان انتشار تغییرات ابعادی مشخص‌های کیفی را در طول مراحل فرآیند ماشین‌کاری و مونتاژ شاتون پراید نشان داد. از آنجایی که تولیدات شرکت نصیرکیانگ در بین تأمین‌کنندگان سایپا از کیفیت بالاتری برخوردار است و هدف این شرکت بالا بردن راندمان تولید، رضایت مشتری و کاهش تغییرات ابعادی تا حد امکان است، تفکیک منابع تغییرات ابعادی فرآیند تولید محصول شاتون بر پایه متدلوژی زنجیره تغییرات و تحلیل تمایز گروهی در دستور کار مدیریت کیفیت قرار دارد

جدول (۹): نتایج شبیه‌سازی

مقدار انحراف	$\delta x = ۰/۳$			
ایستگاه تولید	#۱	#۲	#۳	#۴
درصد تشخیص	٪۱۱	٪۷۱	٪۱۳	٪۵
مقدار انحراف	$\delta x = ۰/۶$			
ایستگاه تولید	#۱	#۲	#۳	#۴
درصد تشخیص	٪۷	٪۸۴	٪۶	٪۳
مقدار انحراف	$\delta x = ۰/۹$			
ایستگاه تولید	#۱	#۲	#۳	#۴
درصد تشخیص	٪۴	٪۸۹	٪۵	٪۲

۶- نتایج

در این مطالعه، روشی پیشنهاد شد که در آن، با تعریف تابع تمایز زنجیره تغییرات می‌توان فضای تغییرات فرآیند تولید را تفکیک نمود و سپس منابع تغییرات مشخصه‌های کلیدی کیفیت محصول را شناسایی نمود. همچنین، برای ارزیابی و اعتبار روش پیشنهادی در مطالعات میدانی، مطالعه موردی در خصوص فرآیند ماشین‌کاری و مونتاژ محصول شاتون تولیدی شرکت نصیرکیانگ صورت پذیرفت و نتایج عددی به‌دست‌آمده از تحلیل و مدلسازی با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS و MINITAB انجام شده است. از دیدگاه آکادمیک، نتایج این تحقیق می‌تواند مرجع مناسبی برای محققان از جمله دانشجویان و اساتید علاقمند به پایش تغییرات در فرآیندهای تولیدی چندمرحله‌ای باشد. از دیدگاه کاربردی نیز مدل و شاخص ارائه شده در این تحقیق می‌تواند مورد استفاده شرکت‌هایی با فرآیندهای تولیدی چندمرحله‌ای به‌خصوص کارخانجات صنعتی با فرآیندهای تولیدی چندگانه قرار گیرد به‌طوری‌که با تأمین داده‌های مورد نیاز برای مدلسازی و به‌کارگیری آن‌ها بتوانند موجبات افزایش کیفیت و رضایت مشتری و همچنین کاهش ضایعات، دوباره کاری‌ها و هزینه‌های کیفیت را فراهم سازند. مطالعه پیشنهادشده در این ادامه این تحقیق، تعیین یک استراتژی خاص به کمک مدل‌های سری زمانی برای شناسایی و پیش‌بینی روند تغییرات آینده یک سیستم تولیدی چندمرحله‌ای است.

مراجع

[1] Apley, DW., Shi, J., (2001). "Factor-analysis method for diagnosing variability in multivariate manufacturing processes", Technometrics, 43(1): 84-95.

[2] Huang, Q., Zhou, N., Shi, J., (2000). "Stream of variation modeling and diagnosis of multi-station machining processes", Paper presented at the Proceedings of the ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition, Orlando, FL.

[3] Huang, Q., Zhou, S., Shi, J. (2002). "Diagnosis of multi-operational machining processes through variation propagation analysis", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 18(3-4): 233-239.

[4] Huang, Q., Shi, J., (2004). "Stream of variation modeling and analysis of serial-parallel multistage manufacturing systems, Journal of Manufacturing Science and Engineering", Transactions of the ASME 126(3): 611-618.

[5] Huang, W., Lin, J., Kong, Z., Ceglarek, D. (2007). "Stream-of-variation (SOVA) modeling - Part II: A generic 3D variation model for rigid body assembly in multistation assembly processes", Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME 129 (4): 832-842.

[6] Liu, J., (2010). "Variation reduction for multistage manufacturing processes: A comparison survey of statistical-process-control vs stream-of-variation methodologies", Quality and Reliability Engineering International, 26(7): 661-645.

[7] Abellan-Nebot, J.V., Liu, J., Subiron, F.R., Shi, J., (2012). "State Space Modeling of Variation Propagation in Multistation Machining Processes Considering Machining-Induced Variation", ASME Transactions on Manufacturing Science and Engineering, 134(2): 200-212.

[۸] کوچک‌زاده، احمد، لسانی، سیدعلی، فاطمی قمی، سید محمدتقی، (۱۳۹۴). ارائه یک مدل ترکیبی برای شناسایی و تحلیل الگوهای معنی‌دار در نمودارهای کنترل فرآیند، فصلنامه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۳(۶): ۱۷۷-۱۸۹.

[9] Bazdar, A., Kazemzadeh, R., Niaki, S.T.A., (2015). "Variation source identification of multistage manufacturing processes through discriminant analysis and stream of variation methodology: a case study in automotive industry", Journal of Engineering Research, 2(3): 1-14.

[10] Bazdar, A., Kazemzadeh, R., Niaki, S.T.A. (2016). "Fault diagnosis within multistage machining processes using linear discriminant analysis: A case study in automotive industry", To appear in Quality Technology & Quantitative Management.

[11] Shi, J., Zhou, S., (2009). "Quality control and improvement for multistage systems: A survey", IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers), 41 (9): 744-753.
[12] Shi, J., (2007). "Stream of Variation Modeling and Analysis for Multistage Manufacturing Processes", CRC Press, Taylor & Francis Group.
[13] Sharma, S. (1996). Applied Multivariate Techniques, John Wiley & Sons, Inc.
[14] Rezaei, A., (2012). "Connecting Rod", Nasir-Kyung, http://nasirkyoung.com.

پیوست

Stage	op170a7	op170a6	op170a3	op170a1	op130a7	op130a6	op130a1	op120a1	op110a2	op110a1
۱	۲,۱۷۸۳	۲,۱۲۳۲۴	۲,۳۵۸۵۱	۳,۷۵۴۰۷	۱۹,۲۷۲۴	۶۵,۰۱۲۱	۱۳۵,۹۱۶	۱۹,۵۲۱۶	۲۰,۹۴۲	۲۱,۸۹۸۵
۱	۱,۹۹۲۵۲	۲,۴۶۵۵۶	۲,۴۸۱۸۹	۳,۷۴۸۵۶	۱۹,۰۱۶۸	۶۵,۰۰۰۴	۱۳۶,۰۱۲	۱۹,۵۱۶۶	۲۱,۰۶۱۳	۲۱,۸۳۱۹
۱	۱,۸۷۶۸	۲,۲۵۴۹۶	۲,۰۴۱۶۳	۳,۷۸۶۹۹	۱۹,۱۴۱۸	۶۵,۰۰۲۳	۱۳۵,۹۵۵	۱۹,۴۹۷۸	۲۰,۹۴۱۴	۲۱,۸۹۱۲
۱	۱,۹۸۵۱۲	۲,۱۵۶۷۶	۲,۷۲۲۰۸	۳,۷۵۴۱۲	۱۸,۹۶۲۲	۶۴,۹۷۷۹	۱۳۵,۹۷۴	۱۹,۵۰۷۳	۲۰,۹۴۲۳	۲۱,۸۳۸۶
۱	۱,۹۱۵۸۴	۲,۲۱۱۵۴	۲,۰۶۳۵۲	۳,۷۰۵۸۵	۱۸,۹۶۹۳	۶۵,۰۰۰۸	۱۳۵,۹۸۴	۱۹,۵۷۱۱	۲۰,۹۲۶۱	۲۱,۸۳۶۶
۱	۲,۰۵۵۷۹	۲,۲۷۰۱۹	۲,۷۶۹۹۸	۳,۷۹۷۸۸	۱۹,۰۳۲۷	۶۵,۰۰۶۶	۱۳۵,۹۸	۱۹,۵۲۶۲	۲۰,۹۴۷۹	۲۱,۹۰۵۴
۱	۲,۱۲۲۷۲	۲,۳۵۶۱۴	۲,۱۵۰۲۳	۳,۷۵۷۲۶	۱۹,۰۲۷۱	۶۵,۰۱۵۳	۱۳۵,۹۳۵	۱۹,۵۶۲۲	۲۰,۹۴۹۵	۲۱,۸۴۵۱
۱	۱,۸۶۴۱۲	۲,۳۵۱۳۳	۲,۱۷۵۱	۳,۷۳۶۷۳	۱۸,۹۲۹۱	۶۵,۰۲۰۵	۱۳۵,۸۸۸	۱۹,۴۹۶۵	۲۱,۰۶۰۶	۲۱,۸۹۵۴
۱	۲,۱۶۱۲۲	۲,۲۲۸۷۳	۲,۲۷۳۲۶	۳,۷۲۰۳۵	۱۹,۲۲۷	۶۵,۰۱۴۴	۱۳۶,۰۲۲	۱۹,۴۶۳۹	۲۱,۰۶۸۱	۲۱,۸۹۵۸
۱	۱,۷۶۵۵۹	۲,۲۸۵۴۲	۱,۸۳۴۱۶	۳,۶۴۷۸۶	۱۸,۹۷۶۲	۶۴,۹۹۵۳	۱۳۶,۰۴۷	۱۹,۵۵۵۴	۲۰,۹۴۷۱	۲۱,۸۳۷۸
۲	۲,۰۲۹۳۳	۲,۲۷۵۰۳	۲,۵۲۰۵۱	۳,۷۴۴۳۵	۱۹,۵۳۱۳	۶۵,۰۲۳۸	۱۳۵,۹۱۳	۱۹,۵۵۹۵	۲۰,۹۵۶۴	۲۱,۸۶۱۶
۲	۲,۱۲۳۶۱	۲,۲۱۸۶۵	۲,۳۳۹۰۹	۳,۷۷۵۷۱	۱۹,۱۱۶۵	۶۵,۰۰۳۳	۱۳۶,۰۴۵	۱۹,۵۵۳۸	۲۰,۹۸۹۶	۲۱,۸۷۷۷
۲	۱,۸۹۹۰۴	۲,۳۱۷۱۴	۲,۵۲۰۳۲	۳,۷۹۱۱۹	۱۸,۸۹۲۹	۶۵,۰۰۳۹	۱۳۵,۹۴۵	۱۹,۵۵۹۳	۲۰,۹۶۰۷	۲۱,۸۸۸۱
۲	۲,۰۷۱۷۱	۲,۲۳۲۰۷	۱,۹۹۰۷۸	۳,۷۴۱۵	۱۹,۳۷۰۹	۶۴,۹۶۲۶	۱۳۵,۹۷۸	۱۹,۵۵۶۹	۲۰,۹۳۵۸	۲۱,۸۵۷۴
۲	۱,۹۰۰۲۲	۲,۲۳۴۳	۲,۳۷۶۷۷	۳,۶۸۷۲۵	۱۸,۹۳۹۸	۶۵,۰۲۶۹	۱۳۶,۰۸۲	۱۹,۵۵۳۹	۲۱,۰۲۶۱	۲۱,۸۲۹۹
۲	۲,۰۵۷۰۷	۲,۳۱۲۷۱	۲,۱۸۴۶۵	۳,۷۸۰۵۳	۱۸,۷۸۹۹	۶۴,۹۸۸۱	۱۳۵,۹۶۹	۱۹,۵۵۴۳	۲۰,۹۳۴۶	۲۱,۹۰۰۲
۲	۲,۰۸۶۸۷	۲,۱۶۷۸۲	۲,۰۴۹۱۹	۳,۷۳۱۶۸	۱۹,۰۱۰۸	۶۴,۹۹۹۷	۱۳۶,۰۳	۱۹,۵۵۹۸	۲۰,۹۴۳۹	۲۱,۸۹۱۸
۲	۱,۹۵۶۲۷	۲,۳۵۸۷۴	۲,۱۱۷۳۶	۳,۷۳۰۵۵	۱۹,۱۹۰۷	۶۴,۹۸۵۸	۱۳۵,۹۳۴	۱۹,۵۵۸۲	۲۰,۹۹۳۵	۲۱,۸۷۱۱
۲	۲,۰۵۶۲	۲,۳۷۳	۲,۱۵۴۱۴	۳,۷۵۶۱۲	۱۹,۱۸۹	۶۵,۰۲۹۷	۱۳۵,۹۷۷	۱۹,۵۵۴۸	۲۰,۹۲۸۳	۲۱,۸۷۳۳
۲	۱,۹۸۵۵۴	۲,۲۳۸۴۱	۲,۱۲۹۳۸	۳,۷۱۵۶۸	۱۹,۰۵۷۶	۶۴,۹۹۴۱	۱۳۵,۹۸۶	۱۹,۵۵۹۲	۲۱,۰۲۴۳	۲۱,۸۶۵۳
۳	۱,۹۶۶۳۱	۲,۲۳۹۷۳	۲,۴۶۷۷۵	۳,۶۹۹۵۹	۱۹,۲۶۱۸	۶۴,۹۷۴۲	۱۳۵,۹۱۵	۱۹,۵۴۵۲	۲۱,۰۱۱۸	۲۱,۸۸۴۷
۳	۱,۹۸۷۲۲	۲,۳۶۵۸۷	۲,۴۳۶۹۳	۳,۷۳۷۳۲	۱۹,۲۴۳	۶۴,۹۳۹۹	۱۳۵,۹۲۸	۱۹,۵۰۹	۲۱,۰۱۸۶	۲۱,۸۴۶۷
۳	۲,۰۳۴۹۱	۲,۴۱۳۶۳	۲,۵۱۷۵۶	۳,۷۰۱۹۳	۱۹,۲۳۶۴	۶۵,۰۳۸۲	۱۳۵,۹۲۹	۱۹,۵۰۲۷	۲۰,۹۶۳۹	۲۱,۸۷۱۸
۳	۱,۹۹۵۵۱	۲,۳۲۳۳۲	۲,۳۶۹۶۳	۳,۷۹۰۱۲	۱۹,۲۴۱۸	۶۴,۹۷۷	۱۳۵,۹۳۱	۱۹,۵۲۳۴	۲۰,۹۳۸۴	۲۱,۸۸۸۵
۳	۱,۷۸۱۴۴	۲,۲۰۴۹۷	۲,۳۷۷۰۱	۳,۶۹۹۴۶	۱۹,۲۳۹	۶۴,۹۵۸۱	۱۳۶,۰۵۸	۱۹,۵۳۲۵	۲۰,۹۳۳۴	۲۱,۸۷۸۷
۳	۱,۹۵۷۰۶	۲,۴۰۴۷۶	۲,۲۹۹۶۳	۳,۷۰۱۴	۱۹,۲۴۵۷	۶۴,۹۵۸۴	۱۳۶,۰۵۸	۱۹,۵۰۸	۲۰,۹۸۱۴	۲۱,۹۰۲۴
۳	۱,۸۷۱۵۵	۲,۱۵۷۴۶	۲,۳۶۷۴۸	۳,۷۱۴۸۷	۱۸,۷۸۹۳	۶۴,۹۵۳۸	۱۳۵,۹۳۴	۱۹,۴۹۷۵	۲۱,۰۲۵۲	۲۱,۸۴۲۸
۳	۲,۰۵۶۱۱	۲,۲۰۸۶۱	۲,۵۴۱۹۳	۳,۶۷۵۵	۱۸,۷۳۰۹	۶۴,۹۴۳۷	۱۳۶,۰۶۱	۱۹,۴۸۵۴	۲۰,۹۶۴۵	۲۱,۸۶۹۴
۳	۱,۹۶۲۳	۲,۲۷۰۱۶	۱,۸۱۱۶	۳,۶۰۷۸۵	۱۸,۷۳۰۷	۶۵,۰۴۳	۱۳۵,۹۴۳	۱۹,۴۷۹۷	۲۰,۹۸۹۴	۲۱,۸۸
۳	۱,۸۹۵۹۸	۲,۱۹۳۰۲	۲,۳۸۵۶۲	۳,۷۳۱۹۲	۱۹,۳۱۱۷	۶۴,۹۵۸	۱۳۵,۹۲۲	۱۹,۴۸۷۵	۲۰,۹۱۸۱	۲۱,۸۹۰۱
۴	۲,۴۱۳۱۹	۲,۱۲۴۲۳	۲,۰۲۰۲	۳,۵۹۰۲۸	۱۸,۵۰۳۵	۶۵,۰۲۲۴	۱۳۶,۰۰۳	۱۹,۴۸۴۸	۲۰,۹۷۲	۲۱,۸۹۹۷
۴	۱,۸۲۸۷۷	۲,۱۹۰۵	۲,۷۳۳۰۴	۳,۶۶۹۳۵	۱۹,۲۴۲۳	۶۵,۰۰۱۴	۱۳۶,۰۰۱	۱۹,۵۲۳۷	۲۱,۰۴۱۳	۲۱,۸۷۳۱
۴	۱,۷۵۴۲۴	۲,۵۲۶۶۷	۲,۷۰۲۴۹	۳,۸۳۳۶۷	۱۹,۰۷۲۱	۶۵,۰۰۴۸	۱۳۶,۰۱۲	۱۹,۵۶۸۲	۲۰,۹۹۱۴	۲۱,۸۶۴۳
۴	۲,۴۱۰۶	۲,۶۶۴۰۹	۲,۰۳۴۹۴	۳,۶۴۱۲۵	۱۸,۷۸۰۴	۶۴,۹۸۵۷	۱۳۶,۰۲۸	۱۹,۴۸۵۴	۲۰,۹۷۲۳	۲۱,۸۵۴۶
۴	۲,۳۹۴۵۱	۲,۰۵۷۸۸	۲,۶۹۲۲۴	۳,۵۹۶۵۴	۱۹,۰۷۵۹	۶۵,۰۱۶۲	۱۳۵,۹۶	۱۹,۵۱۴۴	۲۰,۹۲۶۱	۲۱,۸۶۶۹
۴	۲,۳۳۳۷۴	۲,۰۴۲۳۳	۱,۹۱۱۲۱	۳,۶۱۰۹۱	۱۸,۶۰۲۵	۶۵,۰۲۲۸	۱۳۵,۹۴۸	۱۹,۴۹۵۱	۲۰,۹۷۷۹	۲۱,۸۷۵۲
۴	۱,۵۹۰۳۲	۲,۵۴۹۴۱	۲,۰۲۲۰۶	۳,۵۹۳۳۹	۱۹,۲۶۸۵	۶۴,۹۹۴۴	۱۳۵,۹۶	۱۹,۴۹۴۵	۲۰,۹۷۹۵	۲۱,۸۴۱۶
۴	۲,۳۰۸۰۱	۲,۰۶۰۶	۲,۰۱۶۲۴	۳,۵۶۹۵۲	۱۹,۱۶۲۷	۶۵,۰۱۳۶	۱۳۵,۹۸۹	۱۹,۵۰۳۵	۲۱,۰۱۰۶	۲۱,۸۸۲۱
۴	۱,۸۰۸۰۹	۲,۵۰۷۹۱	۲,۶۲۰۳۱	۳,۶۰۶۷۴	۱۸,۷۵۳۱	۶۵,۰۱۲۲	۱۳۶,۰۴	۱۹,۵۳۸۷	۲۱,۰۱۸۱	۲۱,۸۵۰۸
۴	۱,۷۵۷۴۳	۲,۱۲۹۹۶	۲,۰۳۴۵۷	۳,۵۸۷۹۶	۱۹,۰۲۷۹	۶۴,۹۹۹	۱۳۶,۰۷۱	۱۹,۵۴۰۱	۲۰,۹۵۷۱	۲۱,۸۵۰۲

IERPS Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

ISSN: 2345-2269

Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

Spring and Summer 2017 Volume 5. No. 10. pp.69-81
www.ier.basu.ac.ir

DOI: 10.22084/ier.2017.10192.1478

Stream of Variation Testing in order to Fault Diagnostic of Multistage Manufacturing Processes

A.A. Bazdar[1,*], K. Chalaki[2]

[1] Department of Industrial Engineering, Golpayegan University of Engineering, Isfahan, Iran.
[2] Department of Industrial Engineering, Islamic Azad University, Sanandaj Branch, Kurdistan, Iran.

ARTICLE INFO

***Article history*:**

Received 22 April 2016
Accepted 23 April 2017

***Keywords*:**

Multistage manufacturing processes
Quality characteristics
Discriminant analysis
Stream of variation

ABSTRACT

One of the most popular problems in quality improvement of multistage manufacturing processes is the variation of quality characteristics. Stream of variation methodology models variation propagation of dimensional deviation that comes from key quality characteristics. This research describes new procedure for source of variation identification in variation propagation modeling. At the firs, discriminant function used to separate variations and then future deviations assign to model but detected source may not be real source. In order to find real source, stream of variation testing is used. The applicability and performance of source of variation identification investigate with an illustrative case study in connecting rod production line.

[*] Corresponding author. Ali-Asghar Bazdar
Tel.: 031-57240065; *E-mail address: bazdar@gut.ac.ir*