دانشگاه علامه طباطبایی
دانشکده‌ی اقتصاد
گروه آمار

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد آمار اجتماعی اقتصادی

عنوان

طراحی آماری اقتصادی نمودار کنترلی چند متغیره‌ی T^2 هتلینگ با اندازه‌ی نمونه‌ی متغیر

پژوهش‌گر

نسیبه نجمی‌ساروقی

استاد راهنما

دکتر محمد بامنی‌مقدم

استاد مشاور

دکتر نادر نعمت‌اللهی

خرداد ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحيم

کلیه‌ی حقوق مادی و معنوی اعم از چاپ و تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه، اقتباس و ... از این پایان‌نامه

برای دانشگاه علامه طباطبائی محفوظ است. نقل مطالب با ذکر منبع مانعی ندارد.

تأیید پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد توسط دانشجو

عنوان پایان‌نامه: طراحی آماری اقتصادی نمودار کنترلی چند متغیره‌ی T^2 هتلینگ با اندازه‌ی نمونه‌ی متغیر

نام دانشجو: نسیبه نجمی‌ساروقی
شماره‌ی دانشجویی: ۸۷۱۱۱۶۲۱۳
استاد راهنما: دکتر محمد بامنی‌مقدم

این‌جانب **نسیبه نجمی‌ساروقی** دانشجوی کارشناسی ارشد رشته‌ی **آمار اجتماعی و اقتصادی** دانشکده‌ی اقتصاد دانشگاه علامه طباطبائی گواهی می‌نمایم پژوهش‌های ارائه شده در پایان‌نامه با عنوان مذکور توسط شخص این‌جانب انجام شده است و درستی مطالب نگارش یافته مورد تأیید می‌باشد. همچنین گواهی می‌نمایم مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط این‌جانب یا فرد دیگری در هیچ کجا ارائه نشده است و در نگارش متن پایان‌نامه شیوه‌ی نگارش مصوب دانشکده‌ی اقتصاد را به‌طور کامل رعایت نموده‌ام. چنان‌چه در هر زمان خلاف آن‌چه گواهی نموده‌ام مشاهده گردد خود را از آثار حقیقی و حقوقی ناشی از دریافت مدرک کارشناسی ارشد محروم می‌دانم و هیچ‌گونه ادعایی نخواهم داشت.

تاریخ: **امضا دانشجو:**

اهداییه

تقدیم به خداوندگاران مهر و مهربانی،

پدر و مادر عزیزم

که بعد از خدا، ستایش می‌کنم وجود مقدس‌شان را

و تقدیم به همسر مهربانم

به پاس عاطفه‌ی سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان

سپاس‌گزاری

خداوندا؛
تو را سپاس می‌گویم که به ما نعمت تفکر عطا فرمودی.

دوران تحصیل سریع‌تر از آن‌چه فکر می‌کردم گذشت، اما خاطره‌ی استادهای فرزانه‌ای که خود بهر علم و دانش بودند و ما را نیز از آن سیراب کردند هرگز از خاطرمان نمی‌رود.

در آغاز وظیفه خود می‌دانم از زحمات بی‌دریغ استاد راهنمای خود، جناب آقای دکتر محمد بامنی‌مقدم، صمیمانه تشکر و قدردانی کنم که قطعاً بدون راهنمایی‌های ارزنده‌ی ایشان، این مجموعه به انجام نمی‌رسید.
از جناب آقای دکتر نعمت‌اللهی که زحمت مطالعه و مشاوره‌ی این رساله را تقبل فرمودند و در آماده‌سازی این رساله، به نحو احسن بنده را مورد راهنمایی قرار دادند، کمال امتنان را دارم.
ازکلیه‌ی استادان گرامی دوران تحصیلم، مخصوصاً از آقای دکتر حمیدرضا نواب‌پور، که در مدت تحصیلات بنده زحمات فراوانی را متحمل شده‌اند، تشکر می‌نمایم.
و در پایان، بوسه می‌زنم بر دستان خداوندگاران مهر و مهربانی، پدر و مادر عزیزم و بعد از خدا، ستایش می‌کنم وجود مقدس‌شان را و تشکر می‌کنم از همسر عزیزم به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان، که در این سردترین روزگاران، بهترین پشتیبان من بودند.

خرداد ۹۰

فهرست مطالب

فهرست مطالب چ

فهرست جدول‌ها د

فهرست شکل‌ها ذ

نمادها و علایم اختصاری ر

۱ کلیات ۱

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ بیان مسئله ۴

۱-۳ هدف پژوهش ۶

۱-۴ تعریف مفاهیم و واژه‌های اساسی ۶

۱-۴-۱ محصول ۶

۱-۴-۲ کنترل کیفیت آماری ۶

۱-۴-۳ بهبود فرایند ۷

۱-۴-۴ متوسط مدت اجرا(ARL) ۷

۱-۴-۵ متوسط زمان تا هشدار (ATS) ۷

۱-۴-۶ زنجیر مارکوف ۷

۱-۴-۷ الگوریتم ژنتیک ۸

۱-۵ مرور نوشتگان ۸

۱-۶ چشم انداز فصل‌های آینده ۱۱

۲ مروری بر مباحث نظری ۱۲

۲-۱ مقدمه ۱۲

۲-۲ نمودارهای کنترلی چند متغیره ۱۳

۲-۳ نمودار کنترلی T^2 برای کنترل بردار میانگین فرایند ۱۴

۲-۳-۱ توزیع ویشارت ۱۵
۲-۳-۲ تعمیم توزیع t-استودنت به توزیع T^2 هتلینگ ۱۷
۲-۳-۳ بناسازی آماره‌ی آزمون T^2 هتلینگ ۱۸
۲-۳-۴ نمودار T^2 با بردار میانگین $\vec{\mu}$ و ماتریس واریانس کوواریانس Σ معلوم . . . ۲۰
۲-۳-۵ نمودار T^2 با بردار میانگین $\vec{\mu}$ و ماتریس واریانس کوواریانس Σ نامعلوم . . . ۲۲
۲-۳-۵-۱ بناسازی نمودار T^2 در حالت اول ۲۲
۲-۳-۵-۲ بناسازی نمودار T^2 در حالت دوم ۳۲
۲-۴ معرفی چند طرح نمونه‌گیری در نمودارهای کنترلی T^2 هتلینگ ۳۳
۲-۵ طراحی آماری نمودارهای کنترلی ۳۵
۲-۶ طراحی اقتصادی نمودارهای کنترلی ۳۵
۲-۶-۱ هزینه‌ی نمونه‌گیری و آزمایش ۳۶
۲-۶-۲ هزینه‌ی بررسی یک هشدار خارج از کنترل و تصحیح فرایند ۳۷
۲-۶-۳ هزینه‌ی تولید محصول نامنطبق ۳۸
۲-۶-۴ فرض‌های مدل‌های اقتصادی ۳۸
۲-۶-۵ نمودارهای کنترلی و فرایند تجدید پاداش ۳۹
۲-۷ معرفی چند مدل اقتصادی متعارف در طراحی نمودارهای کنترلی ۴۰
۲-۷-۱ مدل اقتصادی دانکن ۴۰
۲-۷-۱-۱ متوسط زمان دوره‌ی تحت کنترل ۴۲
۲-۷-۱-۲ متوسط زمان دوره‌ی خارج از کنترل ۴۲
۲-۷-۱-۳ مدت زمان لازم برای اخذ نمونه و تفسیر نتایج ۴۳
۲-۷-۱-۴ متوسط زمان یافتن انحراف بادلیل ۴۳
۲-۷-۱-۵ متوسط زمان یک چرخه‌ی کیفیت ۴۳
۲-۷-۱-۶ متوسط درامد خالص یک چرخه ۴۳
۲-۷-۱-۷ متوسط درامد خالص هر ساعت ۴۴
۲-۷-۲ مدل اقتصادی لورنزن و وانس ۴۵
۲-۷-۲-۱ متوسط زمان یک چرخه‌ی کیفیت ۴۵
۲-۷-۲-۲ متوسط هزینه‌ی یک چرخه‌ی کیفیت ۴۶
۲-۷-۳ مدل اقتصادی کوستا و رحیم ۴۷
۲-۷-۳-۱ متوسط زمان یک چرخه‌ی کیفیت ۴۷
۲-۷-۳-۲ متوسط درامد یک چرخه‌ی کیفیت ۴۸
۲-۷-۴ مقایسه‌ی مدل‌های اقتصادی ۴۸
۲-۸ معایب طرح‌های اقتصادی و راه‌کار آن ۴۹

۲-۹ طراحی آماری اقتصادی نمودارهای کنترلی ۴۹

۳ طراحی آماری اقتصادی نمودار کنترلی T^2 با طرح نمونه‌گیری $2VSS$ ۵۱

۳-۱ مقدمه ۵۱

۳-۲ معرفی طرح کنترلی $2VSS$ ۵۲

۳-۳ رویه‌ی زنجیر مارکوف ۵۴

۳-۴ بناسازی تابع هزینه ۵۸

۳-۵ حل مسئله‌ی بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک ۵۹

۳-۵-۱ جمعیت ۶۱

۳-۵-۲ انتخاب ۶۱

۳-۵-۳ تلاقی ۶۱

۳-۵-۴ جهش ۶۱

۳-۵-۵ نخبگی ۶۲

۳-۶ ارزیابی عملکرد نمودار کنترلی $T^2 - 2VSS$ ۶۲

۴ طراحی آماری اقتصادی نمودار کنترلی T^2 با طرح نمونه‌گیری $3VSS$ ۶۷

۴-۱ مقدمه ۶۷

۴-۲ معرفی طرح کنترلی $3VSS$ ۶۸

۴-۳ رویه‌ی زنجیر مارکوف ۶۹

۴-۴ مدل هزینه ۷۳

۴-۴-۱ پذیره‌های مدل ۷۳

۴-۴-۲ تابع زیان ۷۴

۴-۵ حل مسئله‌ی بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک ۷۶

۴-۶ ارزیابی عملکرد نمودار $T^2 - 3VSS$ و مقایسه نمودارهای کنترلی با طرح‌های مختلف نمونه‌گیری ۷۸

۵ کاربرد نمودارهای کنترلی در صنعت و نتیجه‌گیری ۸۰

۵-۱ مقدمه ۸۰

۵-۲ مثال کاربردی ۸۰

۵-۳ نتیجه گیری ۸۳

مراجع ۸۴

واژه‌نامه ۸۷

فهرست جدول‌ها

۳-۱ پارامترهای بهینه‌ی طرح $2VSS$ در حالت $p = ۴$ و $\lambda = ۰/۰۱$ برای مقدارهای مختلف d ۶۵

۳-۲ مقایسه‌ی اقتصادی دو طرح $2VSS$ و FRS با ۱۶ حالت پارامترهای هزینه در مدل لورنزن و وانس، برای $p = ۴$ و $n_۰ = ۲$ ۶۶

۴-۱ پارامترهای بهینه‌ی طرح $3VSS$ در حالت $p = ۴$ و $\lambda = ۰/۰۱$ برای مقدارهای مختلف d ۷۹

۴-۲ مقایسه‌ی اقتصادی طرح‌های FRS، $2VSS$ و $3VSS$ با ۸ حالت پارامترهای هزینه در مدل لورنزن و وانس، برای $p = ۴$ ۷۹

۵-۱ پارامترهای مدل اقتصادی لورنزن و وانس برای فرایند ساخت قطعه‌ی صنعتی ۸۲

۵-۲ طرح بهینه‌ی آماری اقتصادی $2VSS$ برای فرایند ساخت قطعه‌ی صنعتی ۸۲

۵-۳ طرح بهینه‌ی آماری اقتصادی $3VSS$ برای فرایند ساخت قطعه‌ی صنعتی ۸۲

فهرست شکل‌ها

۲-۱ چرخه‌ی کیفیت ۳۵
۲-۲ مؤلفه‌های ثابت و متغیر هزینه‌ی نمونه‌گیری ۳۷
۲-۳ چرخه‌ی تولید در مدل اقتصادی دانکن ۴۱

۳-۱ نمودار کنترلی T^2 با دو اندازه‌ی نمونه‌ی متغیر ۵۴
۳-۲ چرخه‌ی تولید در مدل اقتصادی لورنزن و وانس ۵۸

۴-۱ نمودار کنترلی T^2 با سه اندازه‌ی نمونه‌ی متغیر ۶۸

۵-۱ محصول صنعتی با چهار مشخصه‌ی کیفیت ابعادی ۸۰
۵-۲ نمودار کنترلی طرح $2VSS$ مربوط به مثال کاربردی ۸۳

نمادها و علایم اختصاری

تعریف	نماد
کنترل کیفیت آماری	SPC
کنترل آماری فرایند چند متغیره	$MSPC$
حد کنترل پایین	LCL
حد کنترل بالا	UCL
طراحی آماری	SD
طراحی اقتصادی	ED
طراحی آماری اقتصادی	ESD
متوسط زمان تا اعلام هشدار	ATS
متوسط زمان تعدیل شده تا اعلام هشدار	$AATS$
متوسط تعداد هشدارهای اشتباه	ANF
متوسط تعداد اقلام	ANI
متوسط اندازه‌ی نمونه	ANS
متوسط طول اجرا	ARL
متوسط زمان چرخه‌ی کیفیت	ATC
نرخ نمونه‌گیری ثابت	FRS
فاصله‌ی نمونه‌گیری متغیر	VSI
اندازه‌ی نمونه‌ی متغیر	VSS
فاصله و اندازه‌ی نمونه‌ی متغیر	$VSSI$
اندازه‌ی نمونه و حدود کنترل متغیر	VSC
ضریب حدود کنترل	k
اندازه‌ی نمونه	n
اندازه‌ی نمونه‌ی اولیه	m
فاصله‌ی زمانی بین نمونه‌گیری‌ها	h

میزان تغییر در میانگین فرایند ..... d
مؤلفه‌ی ثابت هزینه‌ی نمونه‌گیری ..... a_1
مؤلفه‌ی متغیر هزینه‌ی نمونه‌گیری ..... a_2
جریمه‌ی هر ساعت تولید در حالت خارج از کنترل ..... a_3
هزینه‌ی بررسی زنگ خطر اشتباه ..... C_0
متوسط هزینه‌ی جستجو برای یک هشدار بادلیل و تعمیر فرایند ..... C_1
متوسط زمان چرخه‌ی تولید ..... $E(T)$
متوسط هزینه‌ی چرخه‌ی تولید ..... $E(C)$
متوسط هزینه بر ساعت ..... $E(A)$

چکیده

امروزه، کیفیت یک عامل کلیدی برای دست‌یابی به موفقیت‌های تجاری، رشد و جایگاه رقابتی بهتر محسوب می‌شود. سازمان‌هایی که از کیفیت به عنوان راهبرد تجاری استفاده می‌کنند و برنامه‌های بهبود کیفیت مؤثری را نیز مورد استفاده قرار می‌دهند، بازده مالی خوبی را تجربه می‌نمایند. امروزه، با پیچیده‌تر شدن فرایندهای تولیدی، اغلب محصول‌ها بیش از یک مشخصه‌ی کیفیت را دارا می‌باشند و از این رو است که سازمان‌ها ناگزیر به استفاده از روش‌های کنترل کیفیت چند متغیره هستند. در این ارتباط، یکی از نمودارهای کنترلی چند متغیره، نمودار کنترلی T^2 است که برای پایش فرایندهایی با بیش از یک مشخصه‌ی کیفیت همبسته به کار می‌رود. در نمودار T^2 کلاسیک نرخ نمونه‌گیری از فرایند ثابت است. مطالعه‌های اخیر نشان داده است که برای کشف تغییرهای کوچک تا متوسط بردار میانگین فرایند، طرح‌هایی با نرخ نمونه‌گیری متغیر (VRS) عملکرد آماری بهتری خواهند داشت. به همین دلیل، به منظور شناسایی سریع تغییرهای کوچک و بهبود کارایی نمودار کنترلی T^2 کلاسیک، در این پایان‌نامه، به طراحی نمودار کنترلی T^2 با دو و سه اندازه‌ی نمونه‌ی متغیر از دیدگاه اقتصادی و آماری می‌پردازیم. در این ارتباط، از رویه‌ی زنجیر مارکوف برای بسط تابع هزینه استفاده شده و به این ترتیب نمودار کنترلی $T^2 - 3VSS$ بناسازی می‌شود. سپس با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک، پارامترهای نمودار کنترلی (در سطح معین خطا) به قسمی تعیین می‌شوند که توان نمودار در شناسایی تغییرها در میانگین فرایند ماکسیمم شود. در پایان، کارایی نمودار کنترلی $T^2 - 3VSS$ با نمودار $T^2 - 2VSS$ و $T^2 - FRS$ مقایسه می‌شود. نتایج این مقایسه حاکی از کارایی بیش‌تر نمودار کنترلی $T^2 - 3VSS$ است.

واژگان کلیدی. *کنترل آماری فرایند چند متغیره؛ نمودارهای کنترلی T^2؛ نمودار کنترلی چند متغیره‌ی T^2 با اندازه‌ی نمونه‌ی متغیر ($T^2 - VSS$)؛ تغییرهای کوچک؛ مسئله‌ی بهینه‌سازی؛ زنجیر مارکوف؛ الگوریتم ژنتیک.*

فصل ۱
کلیات

۱-۱ مقدمه

در دنیای امروز، همزمان با بهبود و گسترش مزایای فناوری و مبادله‌ی اطلاعات و وابستگی روزافزون جامعه‌ی بشری به آن، رابطه‌ی کیفیت محصول‌ها (کالاها و خدمات) با رفاه بشری روز به روز گسترش یافته و به قدری ضروری شده که توسعه‌ی مفهوم کیفیت برای ارزیابی، ایجاد، بهبود و حفظ آن اجتناب‌ناپذیر گشته است.

تعاریف مختلفی از کیفیت شده است. جوران، کیفیت را « برازندگی در کاربرد » تعریف کرده و این تعریفی است که معمولاً برای کیفیت به کار برده می‌شود. یک نکته‌ی اصلی را باید همیشه در مورد یک محصول در نظر داشت و آن این است که محصول باید خواسته‌های افرادی را که از آن استفاده می‌کنند براورده نماید. بنابر این، آن‌چه که کیفیت یک کالا را مشخص می‌کند، میزان انطباق آن با نیازها، استانداردها و انتظارهای مشتری است. راز بقای بنگاه‌های اقتصادی در عرصه‌ی رقابت تجاری، مشتریان آن می‌باشد. معمولاً مشتریان بر پایه‌ی این واقعیت که محصول‌های یک شرکت از لحاظ کیفیت و هزینه نسبت به شرکت‌های دیگر برتری دارد، مبادرت به خرید کالا و یا خدمت می‌کنند و اصولاً فرایند تصمیم‌گیری مشتریان بر این اصل استوار است. از آن رو با گذشت زمان، کیفیت و هزینه نقش اصلی را در ارزیابی، انتخاب و تصمیم‌گیری مشتریان ایفا می‌کنند. در نتیجه، ارایه‌ی محصول‌ها (کالا یا خدمت) با کیفیت بالا و هزینه‌ی پایین، یک عامل کلیدی برای دست‌یابی بنگاه‌های اقتصادی به موفقیت‌های تجاری بیش‌تر و جایگاه رقابتی بهتر محسوب می‌شود.

تغییرپذیری جزو جدانشدنی کلیه‌ی فرایندهای تولیدی و خدماتی است. این تغییرپذیری ممکن است ناشی از عامل‌های متعددی باشد. به عنوان مثال همواره تغییرها در مواد اولیه‌ی مصرفی وجود دارد و این تغییرها به تغییرپذیری محصول‌های نهایی می‌انجامد. گاهی این تغییرها ناچیز بوده و عدم رضایت مشتری را به همراه نخواهد داشت. اما گاهی تغییرها در محصول‌های نهایی باعث عدم رضایت مشتری می‌شود. حذف کامل تغییرها در تولید معمولاً امکان‌پذیر نیست و در صورتی هم که امکان‌پذیر باشد از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نخواهد بود. لذا تغییرپذیری فرایندهای تولیدی باید در محدوده‌ی قابل قبولی پایش و کنترل شوند. احتیاج به رقابت در قیمت و کیفیت باعث شده است تا بسیاری از سازمان‌های آگاه از وضعیت رقابت،

تمرکز بیش‌تر خود را به بهینه‌سازی سامانه‌ها (فرایندها، محصول‌ها و خدمات) معطوف کنند. همان‌طور که ذکر شد، تغییرپذیری جزو ماهیت عملکردی سامانه‌ها به شمار می‌آید، همین امر باعث شده است تا کنترل کیفیت آماری (SQC)[۱] به معنای کاربرد فنون و روش‌های آماری در کلیه‌ی مراحل طراحی، تولید، نگهداری و خدمات، با هدف براورده ساختن اقتصادی خواسته‌ها، از موقعیت ویژه‌ای برخوردار شود. هدف اصلی بهینه‌سازی سامانه‌ها، کاهش هزینه‌ی کل محصول است که دارای دو مؤلفه‌ی عمده، یکی هزینه‌های قبل از فروش (هزینه‌های ساخت) و دیگری هزینه‌های بعد از فروش محصول به مشتری (هزینه‌های به کارگیری) است. در این ارتباط، کلیه‌ی فعالیت‌های مراحل مربوط به چرخه‌ی تحقق محصول (کالا یا خدمت) دارای سه بخش عمده‌ی زیر است:

۱- فعالیت‌های قبل از ساخت (شامل فعالیت‌های بازاریابی، طراحی محصول، طراحی فرایند ساخت و ...)

۲- فعالیت‌های حین ساخت (شامل فعالیت‌های تولیدی)

۳- فعالیت‌های بعد از ساخت (شامل فعالیت‌های بسته‌بندی، ذخیره‌سازی، ارسال و ...)

از سه فعالیت ذکر شده، دو فعالیت اول نقش بیش‌تری در هزینه‌ی کل یک محصول خواهند داشت. در این ارتباط، مراحل روش بهینه‌سازی قبل از ساخت، باعث بهینه شدن هزینه‌های واحد ساخت و به کارگیری می‌شود، در حالی که روش‌های بهینه‌سازی مربوط به فعالیت‌های حین ساخت که در مرحله‌ی تولید به کار گرفته می‌شوند، یعنی جایی که محصول با کیفیت طراحی شده و با هزینه‌ی مشخص ساخته می‌شود، عمدتاً باعث حفظ دستاوردهای ناشی از فعالیت‌های مراحل قبل می‌شود. حفظ دستاوردهای مرحله‌ی بهینه‌سازی قبل از ساخت در مرحله حین ساخت توسط فنون آماری به نام نمودارهای کنترلی در مبحث کنترل آماری فرایند (SPC)[۲] انجام می‌گیرد. SPC یک نگرش و طرز تفکر است. یک میل و آرزو برای کلیه‌ی افراد سازمان برای برقراری یک سیستم بهبود مستمر در زمینه‌ی کیفیت و بهره‌وری، که حضور تعهد مدیریت نقش اصلی و حیاتی را در موفقیت آن ایفا می‌کند.

هدف نمودارهای کنترلی، مخاطب قرار دادن مفهومی به نام پایداری (تحت کنترل آماری) فرایند است که از طریق پایش رفتار متغیر یا متغیرهای قابل مشاهده (پاسخ) در خروجی فرایند صورت می‌گیرد و نوعی نظارت و کنترل عملی را بر تغییرپذیری فرایند اعمال می‌کند. چنان‌چه رفتار (تغییرپذیری) متغیر یا متغیرهای خروجی از محدوده‌ی تعیین شده تجاوز کند و روند یا چرخه‌ی غیر طبیعی از خود نشان دهد، نمودارهای کنترلی، هشدارهای لازم را دال بر عدم پایداری فرایند به کاربر ارایه خواهند داد. به عبارت دیگر، روش نمودارهای کنترل آماری فرایند (SPC)، به منظور ارایه‌ی اطلاعاتی برای تشخیص این‌که چه وقت پراکندگی توزیع مشخصه‌های کیفیت بیش از آن چیزی است که به تصادف نسبت داده می‌شود و در نتیجه نشان دادن این که آیا فرایند مورد نظر دارای وضعیت پایداری در رابطه با مشخصه‌های کیفیت مورد بررسی هست یا نه، مورد استفاده قرار می‌گیرند. در واقع کنترل آماری فرایند (SPC)، روش مؤثری برای بهبود

[۱] Statistical Quality Control
[۲] Statistical Process Control

کیفیت محصول و صرفه‌جویی در هزینه‌ی تولید در فرایند، در مرحله‌ی ساخت است. نمودارهای کنترلی که ابزار ارزشمندی به خصوص برای حفظ دستاوردهای مراحل قبل از ساخت است، سعی می‌کند از طریق مطالعه‌ی تغییرپذیری که در مرحله‌ی ساخت به وجود می‌آید، هشدارهای لازم را برای بهینه‌سازی ارایه دهد. این روش که اغلب فعالیت‌های واکنشی را در پی دارد، باعث بهبود کیفیت محدودی از طریق اقدام‌های اصلاحی می‌شود.

از آن‌جا که نمودارهای کنترلی بر روش‌های نمونه‌گیری استوار هستند آنها در معرض خطاهای آماری نیز قرار می‌گیرند. به عنوان نمونه، یک هشدار اشتباه در مورد انتقال فرایند وقتی که در واقع هیچ‌گونه انتقال غیر طبیعی صورت نگرفته باشد یا ندادن یک هشدار لازم در مورد انتقال فرایند وقتی که در واقع یک انتقال غیر طبیعی صورت گرفته باشد، از مواردی است که می‌تواند به علت به کارگیری روش‌های آماری (هرچند احتمال آن هم کم باشد) رخ دهد. این دو نوع خطا به خطاهای نوع I و II معروف هستند.

در گذشته، شرکت‌ها با تمرکز روی تعداد کمی از مشخصه‌های کیفیت متمایز می‌شدند، در حالی که در بازار امروز کشورها باید مشخصه‌های کیفیت زیادی را به طور همزمان مدنظر قرار داده و پایش فنی فرایندها را به منظور دست‌یابی به درجه‌ی قابل قبولی از دقت گسترش دهند. به ویژه وجود روابط پیچیده‌ی بین عناصر تولید یا فرایند، باعث بررسی مشخصه‌های کیفیت به طور چندگانه و استفاده از نمودارهای کنترلی چند متغیره می‌شود. در این ارتباط، سوراخی را در داخل یک قطعه‌ی فولادی به منظور ایجاد یک هلال در یک قاب اتومبیل در نظر بگیرید که در آن تولیدکننده باید به دو مشخصه‌ی کیفیت توجه کند: یکی قطر سوراخ مته کاری شده که باید دقیقاً به اندازه‌ی محل روی اتومبیل باشد و دیگری استحکام که باید برای تحمل فشارها به اندازه‌ی کافی استحکام داشته باشد. از آن‌جا که سوراخ‌های گشادتر باعث لقی و در نتیجه استحکام کم‌تر می‌شوند، دو مشخصه‌ی کیفیت همبسته‌اند. زمانی که دو مشخصه‌ی کیفیت همبسته‌اند، ضروری است نمودارهای کنترلی چند متغیره به کار برده شوند. استفاده از نمودارهای کنترلی تک متغیره به منظور پایش هر یک از مشخصه‌های کیفیت به طور مجزا ممکن است علامت‌های در حال کنترل بودن را صادر کند، در حالی که در واقع فرایند خارج از کنترل باشد یا برعکس. در مجموع، نیاز به توجیه مشتریان در مورد این‌که فرایند تولید قابل قبول است، در حال گسترش می‌باشد. یکی از نمودارهای کنترلی که برای کنترل میانگین فرایند در حالت چند متغیره، مورد استفاده قرار می‌گیرد، نمودار کنترلی T^2 کلاسیک است. در نمودار کنترلی T^2 کلاسیک نرخ نمونه‌گیری از فرایند ثابت است. در واقع همواره نمونه‌هایی به اندازه‌ی ثابت و در فاصله‌های زمانی ثابت از فرایند گرفته می‌شود، در این نمودار، در صورتی که نمونه‌های گرفته شده از فرایند که به وسیله‌ی نقاط نمایش داده می‌شوند، داخل حدود کنترلی قرار بگیرند و حالت تصادفی داشته باشند فرایند تحت کنترل نامیده می‌شود. اگر نقاطی خارج از حدود کنترلی رسم شوند یا حالت غیرتصادفی یا سیستماتیک داشته باشند، آن‌گاه فرایند خارج از کنترل محسوب می‌شود (مونتگومری ۲۰۰۱)[۳].

این نمودار گرچه دارای مزیت‌های بسیاری است اما برای شناسایی تغییرهای کوچک و متوسط در میانگین فرایند بسیار کند عمل می‌کند. برای فایق آمدن بر این کاستی، با استفاده از طرح‌های کنترلی با نرخ

[۳] Montgomery

نمونه‌گیری متغیر (VRS)[۴]، نمودارهای کنترلی حساسیت بیش‌تری برای شناسایی تغییرها از خود نشان می‌دهند. از جمله طرح‌های کنترلی با نرخ نمونه‌گیری متغیر می‌توان از طرح‌های، اندازه‌ی نمونه‌ی متغیر (VSS)[۵]، فاصله‌های زمانی نمونه‌گیری متغیر (VSI)[۶]، فاصله‌های زمانی نمونه‌گیری و اندازه‌ی نمونه‌ی متغیر ($VSSI$)[۷] و پارامترهای متغیر (VP)[۸] برای بهبود توان نمودار کنترلی T^2 هتلینگ در شناسایی تغییرها در فرایند، نام برد.

به منظور استفاده از یک نمودار کنترلی، طراح سامانه‌ی نمودار کنترلی نیاز به تعیین اندازه‌ی نمونه (n)، فاصله‌ی نمونه‌گیری (h) و حدود کنترلی (k) دارد. تعیین این سه پارامتر معمولاً طراحی نمودار کنترلی نامیده می‌شود. در روش ابتکاری شوهارت (۱۹۳۹)، $n = ۵$، $k = ۳$ و $h = ۱$ ساعت است. اگر چه اجرای این طراحی آسان است اما ممکن است از لحاظ خطای نوع اول و نوع دوم، مشخصه‌های آماری ضعیفی را نیز نتیجه دهد و یا از لحاظ اقتصادی یک طرح بهینه را ارایه ندهد. در مقابل این روش، نمودارهای کنترلی به سه صورت دیگر طراحی می‌شوند:

۱- طراحی آماری نمودارهای کنترلی

۲- طراحی اقتصادی نمودارهای کنترلی

۳- طراحی آماری اقتصادی نمودارهای کنترلی

نمودارهای کنترل آماری فرایند در بدو توسعه، فقط با در نظر گرفتن معیارهای آماری طراحی می‌شدند، در حالی که خواستگاه اصلی کنترل آماری فرایند جنبش اقتصادی بود. در واقع، نمودارهای کنترلی به منظور کاهش هزینه‌های گزاف تحمیل شده ناشی از بازرسی صد در صد محصول‌ها، به کار گرفته شدند. تحقیق‌های آتی نشان داد که طراحی بهینه‌ی نمودارهای کنترلی از بعد اقتصادی می‌تواند صرفه‌جویی‌های قابل ملاحظه‌ای را برای سازمان‌های کاربر به ارمغان آورد.

۱-۲ بیان مسئله

اساس نمودارهای کنترل آماری برای کنترل تغییرهای مهم در فرایند تولید، نمودارهای کنترلی شوهارت است که برای اولین بار در آزمایشگاه‌های تلفن بل مورد استفاده قرار گرفت. این نمودار به عنوان ظهور کنترل آماری فرایند (SPC) در نظر گرفته شده است. این روش یکی از اولین روش‌های تضمین کیفیت بود که در صنعت مدرن معرفی شد.

کنترل آماری فرایند با توجه به داده‌های یک دوره‌ی عملکرد طبیعی، به مقایسه‌ی فرایند تحت کنترل با آن‌چه در حال حاضر اتفاق می‌افتد، مبنی بر نمونه‌ای از داده‌ها از عملکرد جاری، می‌پردازد. برای ایجاد نمودارها و حدود کنترلی، داده‌ها در شرایط عملکرد طبیعی فرایند گرداوری می‌شوند. نمودارها و حدود

[۴] Vriable Ratio Sampling
[۵] Variable Sampling Size
[۶] Variable Sampling Interval
[۷] Variable Sampling Size and Interval
[۸] Variable Parameters

کنترلی بر اساس نظریه‌ی آماری مربوطه ساخته شده و حدود کنترلی طوری طراحی می‌شوند که اگر عملکرد جاری از عملکرد طبیعی خیلی متفاوت نباشد، مقدار آماره‌ی حساب شده از داده‌های جاری، درون حدود کنترلی قرار گیرد. اگر عملکرد جاری تفاوت قابل توجهی با عملکرد طبیعی داشته باشد، آن‌گاه یافته‌ی آماره، خارج از حدود کنترلی قرار می‌گیرد که این وضعیت، به عنوان یک وضعیت خارج از کنترل تلقی می‌شود. در نظریه‌ی کنترل آماری فرایند، وضعیت خارج از کنترل، معمولاً توسط علل قابل تشخیص، یا انحراف بادلیل، مانند تغییر ناگهانی در مواد ورودی، خرابی یا بد عمل کردن دستگاه، تغییر کاربران و غیره ایجاد می‌شود. در این حالت معمولاً، تولید متوقف شده و تحقیق و بررسی برای پیدا کردن و برطرف کردن علل قابل تشخیص شروع می‌شود.

امروزه، در بسیاری از شرایط واقعی صنعتی، متغیرهایی که در فرایند کنترل می‌شوند دارای ماهیت چند متغیره هستند. در طی سال‌های ۱۹۳۰ تا ۱۹۴۰، هتلینگ روشی را بیان و معرفی کرد که به روش T^2 هتلینگ معروف شد. از این روش، برای کنترل تغییرها در میانگین فرایند، زمانی که هدف کنترل همزمان چندین مشخصه‌ی کیفیت همبسته در یک فرایند یا محصول باشد، استفاده می‌شود. در واقع روش وی، تعمیمی از نمودارهای کنترلی شوهارت برای کنترل میانگین یک مشخصه‌ی کیفیت است.

در نمودار کنترلی T^2 کلاسیک ($T^2 - FRS$)، نرخ نمونه‌گیری از فرایند ثابت است. این نمودار در شناسایی تغییرهای کوچک و متوسط چندان حساس نیست. به منظور جبران این کاستی، تا کنون روش‌های مختلفی پیش‌نهاد شده است. از جمله این‌که در طراحی نمودارهای کنترلی از طرح‌های نرخ نمونه‌گیری متغیر (VRS) استفاده شود. این طرح‌ها در شناسایی تغییرهای کوچک و متوسط در میانگین فرایند از کارایی بهتری برخوردار هستند. در بدو توسعه‌ی نمودارهای کنترلی T^2 با نرخ نمونه‌گیری متغیر، آن‌ها تنها از دیدگاه آماری طراحی می‌شدند. در واقع در این نوع طراحی، ویژگی‌های آماری مانند خطاهای نوع اول و دوم و متوسط طول اجرا (ARL)، مورد توجه قرار می‌گیرند. این در حالی است که طراحی یک نمودار کنترلی عواقب اقتصادی متعددی به همراه دارد. به همین منظور منطقی به نظر می‌رسید که نمودارهای کنترلی با دیدگاه اقتصادی طراحی شوند. به طور کلی مدل‌های اقتصادی با استفاده از یک تابع هزینه‌ی کل و رابطه‌ی بین پارامترهای طراحی نمودار کنترلی و سه نوع هزینه‌ی نمونه‌گیری و آزمایش، هزینه‌ی بررسی یک هشدار خارج از کنترل و تصحیح فرایند و هزینه‌ی تولید محصول نامنطبق، فرمول‌بندی می‌شوند.

طرح‌های آماری و اقتصادی هر یک نقاط قوت و ضعف منحصر به خود را دارند. طرح‌های آماری نمودارهایی را ایجاد می‌کنند که دارای توان بالا و نرخ خطای نوع اول پایین برای شناسایی یک تغییر خاص در فرایندها هستند، از طرفی این طرح‌ها هزینه‌ی بیش‌تری را نسبت به طرح‌های اقتصادی تحمیل می‌کنند. از سوی دیگر، طرح‌های اقتصادی فقط هزینه را در نظر می‌گیرند و از ویژگی‌های آماری نمودارهای کنترلی غافل می‌مانند. به این دلیل ضرورت طراحی جدیدی برای نمودارهای کنترلی احساس شد که علاوه بر ویژگی‌های آماری جنبه‌های اقتصادی را نیز در نظر بگیرد. در این ارتباط، سانیگا (۱۹۸۹)، طراحی آماری اقتصادی نمودارهای کنترلی را معرفی کرد.

در این پایان‌نامه، به منظور افزایش توان نمودارهای کنترلی با نرخ نمونه‌گیری ثابت، در شناسایی

تغییرهای کوچک تا متوسط، به طراحی آماری اقتصادی نمودارهای کنترلی $T^2 - VSS$ با سه اندازه‌ی نمونه‌ی متغیر می‌پردازیم که تاکنون پژوهشی در خصوص طراحی بهینه‌ی اقتصادی این نمودار صورت نگرفته است. هدف از طراحی اقتصادی نمودار کنترلی $T^2 - 3VSS$ یافتن پارامترهایی است که تابع هزینه‌ی مدل اقتصادی را مینیمم کند. برای دست‌یابی به طراحی آماری اقتصادی این نمودار، باید شرط‌های آماری به آن اضافه شوند که این امر منجر به دست یافتن به مسئله‌ی تصمیم با متغیرهای آمیخته و فضای حل غیر محدب و ناپیوسته می‌شود. به همین علت از الگوریتم ژنتیک برای حل این مسئله‌ی بهینه‌سازی استفاده می‌شود.

۱-۳ هدف پژوهش

هزینه‌های کل کیفیت و قیمت تمام شده‌ی محصول متأثر از پایش و کنترل فرایندهای کلیدی تولید است. استقرار یک نمودار کنترلی چند متغیره‌ی کارا و مطمئن باعث می‌شود که (با وجود افزایش در هزینه‌های پیش‌گیرانه) هزینه‌های شکست داخلی و خارجی کیفیت کاهش یابد. بنابر این، طراحی یک نمودار کنترلی چند متغیره که به کارگیری آن از بعد اقتصادی بهینه بوده و از ویژگی‌های آماری خوب و بالاترین توان ممکن برای شناسایی تغییرها در میانگین فرایند برخوردار باشد و همچنین به کارگیری آن برای کارکنان خط تولید آسان و قابل فهم باشد بسیار ضروری می‌نماید. این تحقیق به بررسی طراحی آماری اقتصادی نمودار کنترلی چند متغیره‌ی T^2 با اندازه‌ی نمونه‌ی متغیر $(T^2 - VSS)$ برای دست‌یابی به نمودار کنترلی با ویژگی‌های فوق می‌پردازد. در این ارتباط، مقدار متوسط هزینه‌ی کل بر واحد زمان را برای یافتن مقدار بهینه‌ی پارامترهای طرح، مینیمم کرده و در آخر برای سنجش کارایی طرح، مقایسه‌ای میان طرح‌های FRS، $2VSS$ و $3VSS$ انجام می‌دهیم.

۱-۴ تعریف مفاهیم و واژه‌های اساسی

در این بخش به تعریف برخی مفاهیم و واژه‌های اساسی به کار برده شده در این پایان‌نامه می‌پردازیم.

۱-۴-۱ محصول

نتیجه‌ی انجام فعالیت‌ها یا فرایندها را محصول می‌نامند. یک محصول ممکن است شامل خدمات، سخت‌افزار، نرم‌افزار و یا ترکیبی از این‌ها باشد. همچنین، می‌تواند ملموس (قطعه‌های مونتاژ شده) یا ناملموس (دانش یا مفاهیم)، به قصد (برای عرضه به مشتریان) یا بدون قصد (آلاینده‌ها یا اثرهای ناخواسته) باشد.

۱-۴-۲ کنترل کیفیت آماری

کاربرد اصول و روش‌های آماری در کلیه‌ی مراحل طراحی، تولید، نگهداری و خدمات که با هدف براورده ساختن اقتصادی خواسته‌ها انجام می‌پذیرد، کنترل کیفیت آماری نامیده می‌شود.