دانشگاه علامه طباطبائی
دانشکده‌ی اقتصاد
گروه آمار، ریاضی و کامپیوتر

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد **آمار اجتماعی اقتصادی**

عنوان

طراحی آماری اقتصادی استوار نمودارهای کنترلی

پژوهش‌گر

ناعمه سلطانی‌نژاد

استاد راهنما

دکتر محمد بامنی‌مقدم

استاد مشاور

دکتر نادر نعمت‌الهی

بهمن 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 ارشدتوسط دانشجو

عنوان پایان‌نامه: طراحی آماری اقتصادی استوار نمودارهای کنترلی

نام دانشجو: ناعمه سلطانی‌نژاد

شماره‌ی دانشجویی: ۸۸۱۲۵۱۱۶۱۰۸

استاد راهنما: دکتر محمد بامنی‌مقدم

این‌جانب **ناعمه سلطانی‌نژاد** دانشجوی کارشناسی ارشد رشته‌ی **آمار اجتماعی 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:**

اهدا یه

اگر شایسته باشد تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

به پاس آن چه که نمی توان بر صفحه کاغذ نگاشت.

سپاس‌گزاری

سپاس خدای را که هر توفیقی در گرو عنایت اوست. اکنون که با یاری او توانسته‌ام تلاشی هر چند ناچیز را در راه کسب دانش به انجام رسانم، بر خود لازم می‌دانم از استاد راهنمای بزرگوارم، جناب آقای دکتر محمد بامنی‌مقدم، که به پایان رساندن این تحقیق جز با راهنمایی‌های پدرانه و هدایت‌های بی‌دریغ ایشان میسر نبود، قدردانی نمایم.

از استاد مشاورم جناب آقای دکتر نادر نعمت الهی که تذکراتشان باعث غنای پایان‌نامه شد، تشکر می‌نمایم.

همچنین از جناب آقای دکتر رضا پورطاهری که زحمت داوری این اثر را به عهده داشتند سپاس‌گزارم.

در پایان، از خانواده‌ام، به‌ویژه پدر و مادرم که با حمایت‌های خویش، همواره مرا پشتیبانی کرده‌اند نهایت سپاس و قدرشناسی را دارم.

امیدوارم بتوانم از عهده‌ی ادای حق این عزیزان برآیم.

بهمن ۹۰

فهرست مطالب

فهرست مطالب ب

فهرست جدول‌ها ج

فهرست شکل‌ها ح

نمادها و علایم اختصاری خ

۱ کلیات پژوهش ۱

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ بیان مسئله ۲

۱-۳ هدف پژوهش ۶

۱-۴ مرور نوشتگان ۶

۱-۵ تعریف مفهوم‌ها و واژه‌های اساسی ۸

۱-۶ چشم‌انداز فصل‌های آینده ۹

۲ طراحی آماری اقتصادی نمودارهای کنترلی ۱۰

۲-۱ مقدمه ۱۰

۲-۲ طراحی نمودارهای کنترلی ۱۱

۲-۳ طراحی آماری نمودار کنترلی ۱۱

۲-۴ طراحی اقتصادی نمودارهای کنترلی ۱۳

۲-۴-۱ هزینه‌های نمونه‌گیری و آزمون ۱۳

۲-۴-۲ هزینه‌های مربوط به بررسی و اصلاح یک هشدار خارج از کنترل ۱۴

۲-۴-۳ هزینه‌های مربوط به دریافت محصول‌های نامنطبق ۱۴

۲-۴-۴ مدل کلی مدل‌های اقتصادی ۱۴

۲-۴-۵ مدل اقتصادی دانکن ۱۵
۲-۴-۵-۱ زمان مورد انتظار چرخه‌ی کیفیت ۱۶
۲-۴-۵-۲ هزینه‌ی مورد انتظار چرخه‌ی کیفیت ۱۷
۲-۴-۶ مدل اقتصادی لورنزن و وانس ۲۰
۲-۴-۶-۱ زمان مورد انتظار چرخه‌ی کیفیت ۲۱
۲-۴-۶-۲ هزینه‌ی چرخه‌ی کیفیت ۲۲
۲-۴-۶-۳ هزینه‌ی مورد انتظار در هر ساعت ۲۴
۲-۴-۷ ضعف‌های طراحی اقتصادی نمودارهای کنترلی ۲۵
۲-۵ طراحی آماری - اقتصادی نمودارهای کنترلی ۲۶
۲-۶ بهبود توان طراحی آماری اقتصادی نمودارهای کنترلی ۲۷
۲-۷ خلاصه و نتیجه‌گیری ۲۸

۳ طراحی آماری اقتصادی استوار نمودارهای کنترلی ۲۹

۳-۱ مقدمه ۲۹
۳-۲ انگیزه برای طراحی آماری اقتصادی استوار ۳۰
۳-۳ طراحی اقتصادی استوار نمودارهای کنترلی ۳۰
۳-۴ معیارهایی برای بهینه‌سازی استوار ۳۲
۳-۴-۱ استواری مطلق ۳۲
۳-۴-۲ انحراف استوار ۳۲
۳-۴-۳ استواری نسبی ۳۳
۳-۴-۴ توسعه طراحی اقتصادی استوار نمودارهای کنترلی با مدل اقتصادی دانکن . . ۳۳
۳-۴-۴-۱ زمان مورد انتظار چرخه‌ی کیفیت ۳۴
۳-۴-۴-۲ هزینه‌ی مورد انتظار چرخه‌ی کیفیت ۳۵
۳-۵ توسعه طراحی اقتصادی استوار نمودارهای کنترلی با مدل لورنزن و وانس ۳۵
۳-۵-۱ زمان چرخه‌ی کیفیت ۳۶
۳-۵-۲ هزینه‌ی چرخه‌ی کیفیت ۳۷
۳-۶ جدیدترین روش برای طراحی آماری اقتصادی استوار نمودارهای کنترلی بر اساس مدل اقتصادی دانکن ۳۸
۳-۶-۱ تعیین فضای پارامتری تقریبی ۳۸

۳-۶-۲ محاسبه‌ی مخاطره ۳۹
۳-۶-۲-۱ معادله‌ی تابع زیان هزینه ۳۹
۳-۶-۲-۲ تابع زیان هزینه‌ی واقعی ۴۰
۳-۶-۲-۳ تابع زیان هزینه‌ی بهینه ۴۰
۳-۶-۲-۴ محاسبه‌ی مخاطره ۴۱
۳-۶-۳ محاسبه‌ی ماکسیمم مخاطره ۴۱
۳-۶-۴ مقدمه‌ای بر آلگوریتم ژنتیک برای استفاده در محاسبه‌ی ماکسیمم مخاطره . . ۴۲
۳-۶-۴-۱ فضای جستجو ۴۲
۳-۶-۴-۲ کروموزوم ۴۳
۳-۶-۴-۳ جمعیت ۴۳
۳-۶-۴-۴ مقدار برازندگی ۴۳
۳-۶-۴-۵ عملگر های ژنتیک ۴۳
۳-۶-۴-۶ عملگر تقاطعی ۴۳
۳-۶-۴-۷ عملگر جهشی ۴۴
۳-۶-۴-۸ شمای کلی الگوریتم ژنتیك ۴۴
۳-۶-۵ ماکسیمم مخاطره بر طبق یک مجموعه‌ی پارامتر طراحی ۴۵
۳-۶-۶ محاسبه‌ی ماکسیمم مخاطره بر اساس مقدارهای کرانی از حدود پارامترها . . ۴۶
۳-۶-۷ طراحی اقتصادی استوار با چندین پارامتر متغیر ۴۷
۳-۶-۸ طراحی آماری اقتصادی استوار از نمودارهای کنترلی ۵۰
۳-۷ جدیدترین روش برای طراحی آماری اقتصادی استوار نمودارهای کنترلی بر اساس مدل اقتصادی لورنزن و وانس ۵۳
۳-۷-۱ تعیین فضای پارامتری تقریبی ۵۳
۳-۷-۲ محاسبه‌ی مخاطره ۵۳
۳-۷-۲-۱ تابع زیان هزینه ۵۴
۳-۷-۲-۲ تابع زیان هزینه‌ی واقعی ۵۵
۳-۷-۲-۳ تابع زیان هزینه‌ی بهینه ۵۵
۳-۷-۲-۴ محاسبه‌ی مخاطره ۵۶
۳-۷-۳ محاسبه‌ی ماکسیمم مخاطره ۵۶
۳-۸ خلاصه و نتیجه‌گیری ۵۷

۴ کاربرد استوارسازی نمودارهای کنترلی ۵۸

۴-۱ مقدمه ۵۸

۴-۲ مثال کاربردی بر اساس مدل اقتصادی دانکن ۵۸

۴-۲-۱ طراحی اقتصادی استوار نمودار کنترلی بر اساس مدل اقتصادی دانکن ۵۹

۴-۲-۱-۱ به‌دست آوردن پارامترهای نمودار کنترلی بر اساس مدل اقتصادی دانکن ۶۰

۴-۲-۱-۲ تعیین حدود برای پارامترهای طراحی و واقعی به‌منظور تعیین فضای پارامتری تقریبی ۶۰

۴-۲-۱-۳ استوارسازی بر اساس مخاطره‌ی مبنا ۶۰

۴-۲-۲ طراحی آماری - اقتصادی استوار بر اساس مدل اقتصادی دانکن ۶۶

۴-۳ مثال کاربردی بر اساس مدل اقتصادی لورنزن و وانس ۶۷

۴-۳-۱ به‌دست آوردن پارامترهای نمودار کنترلی بر اساس مدل اقتصادی لورنزن و وانس ۶۹

۴-۳-۲ تعیین حدود برای پارامترهای طراحی و واقعی به‌منظور تعیین فضای پارامتری تقریبی ۷۰

۴-۳-۳ محاسبه‌ی ماکسیمم مخاطره بر اساس مدل اقتصادی لورنزن و وانس با در نظر گرفتن میانگین حدود به عنوان پارامترهای طراحی ۷۰

۴-۳-۴ به‌دست آوردن پارامترهای طراحی و پارامترهای نمودار کنترلی با محاسبه‌ی مینیمم ماکسیمم مخاطره بر اساس مدل اقتصادی لورنزن و وانس ۷۳

۴-۴ نتیجه‌گیری ۷۶

کتاب‌نامه ۷۷

واژه‌نامه‌ی فارسی به انگلیسی ۷۹

فهرست جدول‌ها

۴-۱ مقدارهای پارامترهای هزینه و فرایند ۵۹
۴-۲ پارامترهای نمودار کنترلی به همراه حدود تعیین شده ۶۰
۴-۳ حدود بالا و پایین برای پارامترهای هزینه و فرایند با دقت‌های متفاوت ۶۱
۴-۴ مقدار پارامترهای واقعی در سناریوهایی با دقت‌های متفاوت - بر اساس میانگین حدود تعیین شده برای پارامترهای طراحی ۶۳
۴-۵ مقدار پارامترهای آلگوریتم ژنتیک با دقت‌های متفاوت ۶۳
۴-۶ مقدار پارامترهای طراحی در سناریوهایی با دقت‌های متفاوت- بر اساس طراحی مخاطره‌ی مبنا ۶۴
۴-۷ مقدار پارامترهای واقعی در سناریوهایی با دقت‌های متفاوت - بر اساس طراحی مخاطره‌ی مبنا ۶۵
۴-۸ نتایج طراحی اقتصادی نمودارهای کنترلی در سناریوهایی با دقت‌های متفاوت ۶۵
۴-۹ طراحی نمودار کنترلی تحت محدودیت‌های آماری درنظرگرفته شده برای هر سناریو . . ۶۷
۴-۱۰ مقدار پارامترهای طراحی در سناریوها با دقت‌های متفاوت و در نظر گرفتن محدودیت‌های آماری ۶۸
۴-۱۱ مقدارهای پارامترهای هزینه و فرایند در مدل لورنزن و وانس ۶۹
۴-۱۲ پارامترهای نمودار کنترلی به همراه حدود تعیین شده ۷۰
۴-۱۳ حدود بالا و پایین برای پارامترهای هزینه و فرایند با دقت‌های متفاوت ۷۱
۴-۱۴ مقدار پارامترهای واقعی در سناریوهایی با دقت‌های متفاوت - بر اساس میانگین حدود تعیین شده برای پارامترهای طراحی ۷۲
۴-۱۵ پارامترهای نمودار کنترلی به‌دست آمده در نتیجه استوارسازی برای هر سناریو در مدل لورنزن و وانس ۷۳
۴-۱۶ مقدار پارامترهای طراحی در سناریوها با دقت‌های متفاوت - بر اساس مخاطره‌ی مبنا . ۷۴

۴-۱۷ مقدار پارامترهای واقعی در سناریوها با دقت‌های متفاوت - بر اساس مخاطره‌ی مبنا . . ۷۵

فهرست شکل‌ها

۱-۱ چرخه‌ی کیفیت در مدل دانکن ۴

۱-۲ چرخه‌ی کیفیت در مدل اقتصادی دانکن ۱۶

۲-۲ چرخه‌ی کیفیت مدل اقتصادی لورنزن و وانس ۲۰

۳-۱ چرخه‌ی کیفیت مدل اقتصادی لورنزن و وانس ۳۶

۳-۲ تمایل پارامترهای هزینه و فرایند به حدود کرانی‌شان، در محاسبه‌ی ماکسیمم مخاطره . ۴۷

۳-۳ ادامه‌ی نمودارهای ۳-۲ تمایل پارامترهای هزینه و فرایند به حدود کرانی‌شان، در محاسبه‌ی ماکسیمم مخاطره ۴۸

۴-۳ طراحی اقتصادی استوار با استفاده از آلگوریتم ژنتیک ۵۱

نمادها و علایم اختصاری

تعریف	نماد
کنترل کیفیت آماری	SQC
خط مرکزی	CL
حد پایین کنترلی	LCL
حد بالای کنترلی	UCL
طراحی آماری	SD
طراحی اقتصادی	ED
طراحی آماری اقتصادی	ESD
متوسط زمان هشدار	ATS
متوسط تعداد هشدارهای اشتباه	ANF
متوسط طول اجرا	ARL
متوسط زمان چرخه‌ی تولید	ATC
نرخ نمونه‌گیری ثابت	FRS
اندازه‌ی نمونه‌ی متغیر	VSS
فاصله‌ی نمونه‌گیری متغیر	VSI
اندازه‌ی نمونه و فاصله‌ی نمونه‌گیری متغیر	$VSSI$
اندازه‌ی نمونه و حدود کنترلی متغیر	$VSSC$
الگوریتم ژنتیك	GA
متوسط زمان هشدار خارج از کنترل بودن	ATS،
هزینه‌ی ثابت هر نمونه	b
هزینه‌ی هر واحد نمونه‌گیری شده(هزینه‌ی متغیر)	c
زمان تشخیص انحراف در حالت خارج از کنترل و اصلاح فرایند	d
فاصله‌ی نمونه‌گیری	h

پهنای حدود کنترلی (تعداد انحراف معیار از حدود کنترلی) ..... k

بردار پارامترهای نمودار کنترلی (n,h,k) ..... D

مجموعه‌ی پارامترهای واقعی هزینه و فرایند ..... ψ

بردار پارامترهای بهینه‌ی نمودار کنترلی (n^*,h^*,k^*) ..... D^*

متوسط زمان برای نمونه و بررسی یک واحد نمونه‌ی گرفته‌شده ..... g

هزینه‌ی خارج از کنترل رفتن فرایند در هر ساعت ..... M

مجموعه‌ی پارامترهای طراحی هزینه و فرایند ..... ϖ

ماکسیمم مخاطره مطابق با مجموعه‌ی پارامتر طراحی ϖ ..... MR_{ϖ}

اندازه‌ی نمونه ..... n

توان هر نمودار ..... P

درامد در هر ساعت مادامی‌که فرایند تحت کنترل است ..... V_0

درامد در هر ساعت مادامی‌که فرایند خارج از کنترل است ..... V_1

هزینه‌ی کشف و اصلاح انحراف بادلیل ..... W

هزینه‌ی هر هشدار غلط ..... Y

احتمال خطای نوع اول ..... α

احتمال خطای نوع دوم ..... β

نرخ شکست فرایند ..... λ

فضای تقریبی پارامتر ..... Ω

میانگین فرایند ..... σ

چکیده

کنترل فرایند آماری یک روش موثر برای پیشرفت کیفیت و تولید یک سازمان است و نمودار کنترلی ابزار عمده‌ای برای آن است. طراحی نمودار کنترلی به معنی گرفتن یک تصمیم اساسی در مورد پارامترهای نمودار کنترلی است که به انتخاب سه پارامتر مهم اندازه‌ی نمونه، فاصله‌ی نمونه‌گیری و ضرایب حدود کنترلی برمی‌گردد. در طراحی آماری اقتصادی نمودارهای کنترلی اغلب برای پارامترهای ورودی (پارامترهای هزینه و فرایند)، مقدارهای ثابت و معلومی فرض می‌شود در صورتی‌که این پارامترها کاملا شناخته شده نیستند و نامعلوم‌اند. در این حالت برای طراحی، براورد نقطه‌ای پارامترها در نظرگرفته می‌شود. این براوردها، در طراحی ممکن است پارامترهای واقعی را بیان نکنند و گاهی اوقات ممکن است از پارامترهای واقعی فاصله‌ی زیادی داشته باشند که این ضرورت استفاده از روش طراحی استوار را برای نمودارهای کنترلی نشان می‌دهد. نمودارهای آماری اقتصادی استوار، پایداری منسجمی را با توجه به ناپایداری در پارامترهای ورودی، طراحی می‌کنند و باعث می‌شوند که طراحی در هر سناریو که به ناپایداری منتهی می‌شود به خوبی عمل کند. طراحی آماری اقتصادی استوار طراحی‌های مجزای ممکن گوناگون را در قالب سناریوهای متفاوت برای فرایند مورد بررسی قرار داده و باعث پایدار شدن نمودارهای کنترلی برای همه‌ی طرح‌های ممکن می‌شود. زمانی که مقدار پارامترهای ورودی از مقدارهای واقعی آن‌ها متفاوت باشند ممکن است منجر به یک هزینه، به عنوان جریمه شود که به علت آگاهی نداشتن از سناریوی واقعی رخ می‌دهد. این پایان‌نامه با استنباط یک مخاطره- مبنا سرو کار دارد که برای پیدا کردن مقدار پارامترهای (ورودی) بهینه‌ی طراحی از نمودارهای کنترلی مورد استفاده قرار می‌گیرد و آلگوریتم ژنتیک نیز به عنوان ابزار جستجو، برای پیدا کردن مقدارهای بهینه‌ی پارامترهای ورودی به منظور طراحی نمودارهای کنترلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف این روش مینیمم کردن ماکسیمم مخاطره به علت عدم اطلاع از پارامترهای واقعی برای استفاده در طراحی و استوارسازی مقدارهای واقعی پارامترهاست.

واژگان کلیدی. *آلگوریتم ژنتیک؛ طراحی آماری- اقتصادی؛ طراحی استوار؛ مخاطره؛ نمودار کنترلی.*

فصل ۱
کلیات پژوهش

۱-۱ مقدمه

نکته‌ی اصلی‌ای که باید همیشه در مورد یک محصول در نظر داشت این است که محصول باید خواسته‌های افرادی را که از آن استفاده می‌کنند براورده نماید. بنابر این، آن‌چه که کیفیت کالا یا خدمتی را مشخص می‌سازد، میزان انطباق محصول با نیازها، استانداردها و انتظارهای مشتری است. در این میان مشتری نیز باید راضی و خوشحال باشد. زمانی مصرف‌کننده راضی است که آن‌چه را خواسته به او داده شود و در صورتی خوشحال می‌شود که خدمت یا محصول ارایه شده، از بعد هزینه، مقرون به صرفه باشد.

بنگاه‌های اقتصادی، برای این‌که در عرصه‌ی رقابت تجاری باقی‌بمانند باید رضایت و خوشحالی مصرف‌کننده را نیز در نظر بگیرند. معمولا مشتریان بر پایه‌ی این واقعیت که محصول و خدمت‌های یک شرکت از لحاظ کیفیت و هزینه نسبت به شرکت‌های دیگر برتری دارند، مبادرت به خرید کالا یا خدمات می‌نمایند و از این رو با گذشت زمان، کیفیت و هزینه، نقش اصلی را در فرایند ارزیابی، انتخاب و تصمیم‌گیری مشتریان ایفا می‌نمایند. در نتیجه ارایه‌ی محصولی با کیفیت بالا و هزینه‌ی پایین یک عامل کلیدی جهت دستیابی بنگاه‌های اقتصادی به موفقیت‌های تجاری بیش‌تر و جایگاه رقابتی بهتر است.

۱-۲ بیان مسئله

در دنیای امروز، همزمان با بهبود گسترش مزایای فناوری و مبادله‌ی اطلاعات و وابستگی روزافزون جامعه بشری به آن، هم‌چنین با گسترش روزافزون علم، رابطه‌ی کیفیت محصول‌ها (کالا و خدمات) با رفاه بشری نیز روزبه‌روز گسترش یافته و به قدری ضروری شده که توسعه‌ی مفهوم کیفیت برای ارزیابی، ایجاد، کنترل، بهبود و حفظ آن امری اجتناب‌ناپذیر است. با توجه به تنوع محصول‌ها و خدمت‌ها و تفاوت در ماهیت آن‌ها، تمرکز بر کیفیت و اقتصاد آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابر این، با در نظر گرفتن فضای رقابتی بین تولیدکنندگان محصول‌ها و خدمات، تنها سازمان‌هایی می‌توانند رقابت کرده و به حیات اقتصادی خود ادامه دهند که بهینه‌سازی مستمر سامانه‌ها (فرایندها، محصول‌ها و خدمت‌ها) را به عنوان یک اصل اساسی پذیرفته باشند. موفقیت یک سازمان منتج از توانایی سازمان در دست‌یابی به اهداف بلندمدت در زمینه‌ی بهینه‌ی سامانه‌هاست که این خود باعث رقابت بیش‌تر در اقتصاد و کیفیت می‌شود. در این میان گسترش سریع کیفیت و کنترل آن، به ویژه استفاده از روش‌های آماری از اهمیت برخوردار است. تقریبا اغلب صاحب‌نظران در کیفیت به این موضوع اذعان دارند که کیفیت یک مفهوم پیچیده و چندجانبه است که باید در تمامی مراحل مربوط به چرخه‌ی تحقق محصول که دارای سه بخش عمده‌ی:

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، حمل و نقل و ...)

است، به کار گرفته می‌شوند. برنامه‌ریزی برای کنترل آماری فرایند (SPC) مستلزم درک تمامی این مراحل در کل فرایند است. فعالیت‌های قبل از ساخت، شامل فعالیت‌های بازاریابی، طراحی محصول و طراحی فرایند ساخت است و فعالیت‌های حین ساخت همان فعالیت‌های تولیدی هستند. در این‌جا مرحله‌ی تولید مرحله‌ای است که محصول با کیفیت تولید شده و هزینه‌ی ساخت نیز مشخص گردیده است. فعالیت‌های قبل از ساخت و فعالیت‌های حین ساخت نقش بیش‌تری در هزینه‌های کل یک محصول دارند. هم‌چنین مراحل روش بهینه‌سازی قبل از ساخت، باعث بهینه‌شدن هزینه‌های واحد ساخت و به کارگیری می‌شود. استفاده از فنون کنترل آماری فرایند (SPC) حین ساخت موجب می‌شود که جایگاه واقعی این فنون که همانا حفظ نمودن دستاوردهای مراحل قبل از ساخت در برابر اغتشاشات موجود در تولید است، هر چه بیش‌تر آشکار شده و بهبود کیفیت (هر چند محدود در این مرحله) به تبع به‌کارگیری این فنون و انجام اقدامات اصلاحی حاصل شود. در این ارتباط، مطالعه‌ی رفتار این تغییر پذیری در مشخصه‌های مهم کیفیت و تلاش

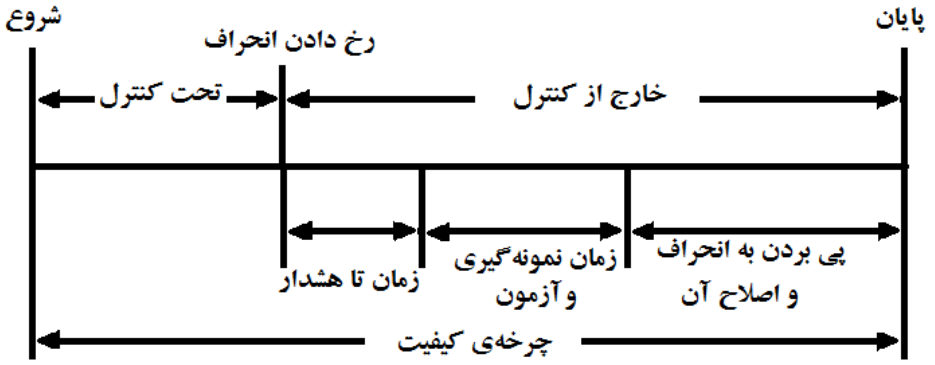
برای کاهش هر چه بیش‌تر این تغییرپذیری ناخواسته به منظور بهبود فرایند، هدف نمودارهای کنترلی به عنوان یک ابزاری از کنترل کیفیت آماری است. در واقع نمودارهای کنترلی پایداری فرایند را هدف قرار می‌دهند و از طریق پایش رفتار فرایند نوعی نظارت و کنترل علمی را بر تغییرپذیری در خروجی فرایند انجام می‌دهند و چنان‌چه رفتار فرایند از حدود کنترلی نمودار خارج شود هشدار لازم را برای خارج از کنترل بودن فرایند و عدم پایداری آن ارایه می‌دهند. روش کنترل آماری فرایند، در تشخیص پراکندگی توزیع مشخصه یا مشخصه‌های کیفیت اطلاع‌هایی را ارایه می‌دهد و در نتیجه پایداری فرایند را در رابطه با این مشخصه‌ها بررسی می‌کند. بنابر این، این روش به عنوان برنامه‌ی بهبود کیفیت، عامل ضروری در سامانه‌های کیفیت و سازمان‌های تولیدی یا خدماتی محسوب می‌شود که مقدمات صرفه‌جویی در هزینه‌ی تولید در فرایند را فراهم می‌کند.

در دهه‌ی ۱۹۲۰، نگرانی‌های حاصل از تغییرپذیری در کیفیت اندازه‌گیری شده‌ی قطعه‌ها و محصول‌های ساخته شده برای شرکت تلفن بل، همراه با مطالعه‌های مربوط به نتیجه‌های نمونه‌گیری از توزیع مدل‌های آماری باعث ابداع نمودار کنترلی توسط شوهارت شد. شوهارت متوجه شد که تغییرپذیری در همه‌ی موارد از دنیای انسان‌ها و پدیده‌های اطراف آن رخ می‌دهد و به عنوان یک اصل، شامل فرایندهای تولیدی، محصول‌ها و خدمت‌ها نیز می‌شود. بنابر این، شوهارت اولین نمودار کنترلی را برای پایش فرایند ارایه داد. بعدها این نمودار توسعه یافت و به‌طور گسترده به عنوان ابزار مهمی در کنترل آماری فرایند برای مطالعه‌ی تغییرپذیری مورد استفاده قرار گرفت. وظیفه‌ی اصلی نمودارهای کنترلی، کشف رخداد انحراف‌های با دلیلی است که موجب تغییر معناداری در پارامترهای توزیع فرایند می‌شوند. بنابر این، می‌توان اصلاح لازم را قبل از تولید تعداد زیادی از محصول نامنطبق انجام داد. در این ارتباط، طراحی نمودارهای کنترلی به تعیین سه پارامتر مهم نمودار کنترلی نیاز دارد: اندازه‌ی نمونه (n)، فاصله‌ی زمانی بین نمونه‌ها (h) و پهنای حدود کنترل (k). رایج‌ترین طراحی، روش ابتکاری دکتر شوهارت (۱۹۳۱) است که در آن $n = ۵$ ، $k = ۳$ و $h = ۱$ ساعت هستند. اگر چه اجرای این طراحی آسان است اما ممکن است از لحاظ آماری و یا اقتصادی، یک طرح نمودار کنترلی بهینه‌ای را ارایه ندهد. در مقابل این روش ابتکاری، سه روش طراحی دیگر، یعنی روش آماری، اقتصادی و آماری-اقتصادی ابداع شد.

طراحی آماری، قیدهایی را در متوسط طول اجرا (ARL) بدون بررسی پارامترهای هزینه و توزیع فرایند اعمال می‌کند. بنابر این، تغییرهای ایجاد شده در فرایند اندازه‌گیری می‌شوند و از اخطارهای نادرست و اصلاح‌های نامناسب جلوگیری می‌شود. در نتیجه، محصول یا خدمات با کیفیت بالا به دست می‌آید (مک ویلیامز ۱۹۸۹). در این ارتباط، طراحی اقتصادی برای اولین بار توسط دانکن (۱۹۵۶) معرفی شد که در آن هدف، مینیمم ساختن هزینه‌های کل بود وقتی که تنها یک انحراف بادلیل وجود داشته باشد. در این طراحی کاربر نه تنها پارامترهای توزیع فرایند بلکه پارامترهای هزینه را در یک طراحی بهینه‌ی اقتصادی لحاظ نموده

و براورد می‌کند. در پارامترهای مدل عموماً موارد مربوط به هزینه و فرایند را در نظر می‌گیرند. پارامترهای هزینه، مانند هزینه‌ی هشدار غلط و پارامترهای فرایند مانند «نرخ شکست فرایند» می‌باشند. سرانجام، طراحی آماری اقتصادی روشی است که برای اولین بار توسط سانیگا (۱۹۸۹) معرفی شد و در آن قیدهایی در ARL برای احتمال خطای نوع اول و نوع دوم یا متوسط زمان تا هشدار (ATS) گنجانده شد. در این طراحی، پارامترهای توزیع فرایند و هزینه علاوه بر سطوح مطلوب ARL لحاظ و براورد می‌شوند. سانیگا (۱۹۸۹) نشان داد که طراحی‌های آماری-اقتصادی از نظر ویژگی‌های آماری با طراحی‌های آماری قابل مقایسه بوده و در کاربرد نیز اقتصادی هستند.

بر اساس اولین مدل طراحی اقتصادی که توسط دانکن (۱۹۵۶) معرفی شد. دانکن، درامد خالص فرایند را به‌عنوان تفاوت بین درامد کل و هزینه‌ی کل تعریف کرد که در آن درامد کل به دو بخش تقسیم شده است: درامد مادامی‌که فرایند تحت کنترل است (V_0) و درامد مادامی‌که فرایند خارج از کنترل است(V_1). در این ارتباط، هزینه‌ی کل را نیز به سه بخش تقسیم می‌کند: هزینه‌ی جستجوی یک انحراف با دلیل وقتی‌که هیچ انحرافی وجود ندارد (Y)، هزینه‌ی جستجوی یک انحراف با دلیل وقتی‌که انحرافی وجود دارد (W) و هزینه‌ی اجرای یک نمودار($(b+c*n)/h$) که در آن پارامترهای b و c به‌ترتیب هزینه‌های ثابت و متغیر اندازه‌گیری هستند. دانکن برای تعریف درامد، چرخه‌ی کیفیت ترسیم شده در شکل ۱-۱ زیر را مورد بررسی قرار داد.



شکل ۱-۱: چرخه‌ی کیفیت در مدل دانکن

اگر متوسط تعداد دفعاتی که فرایند واقعاً خارج از کنترل است را ε در نظر بگیریم و مدت زمان مورد انتظار وقتی‌که فرایندتحت کنترل است β و وقتی فرایند خارج از کنترل است γ باشد. همچنین احتمال خطای نوع اول α باشد، تعداد مورد انتظار اخطارهای نادرست $\beta\alpha/h$ خواهد بود. در این مدل فرض شده است که وقوع انحراف با دلیل از فرایند پواسون با شدت λ انحراف در واحد زمان پیروی می‌کند و باعث یک جابه‌جایی $\pm\delta$ در متوسط فرایند می‌شود. همچنین، در تمام طول مدتی که فرایند مورد بررسی، مطالعه و اصلاح قرار می‌گیرد، تولید ادامه دارد. بنابر این، متوسط درامد خالص هر ساعت