بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه پیام نور تهران

دانشکده‌ی مهندسی صنایع

موضوع پایان نامه:

طراحی بهینه‌ی نمودار کنترل ترکیبی برای کشف هم‌زمان خطاهای کوچک و بزرگ

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر رضا برادران کاظم زاده

دانشجو:

پیام پناهنده

بهار 1390

چکیده

نمودارهای کنترل، از جمله ابزارهای توانمند برای بهبود و توسعهی عملکرد فرایندها از طریق کاهش تغییرات در میانگین فرایندها هستند. اگرچه نمودار کنترل «شوهارت»[1] که به وسیلهی دکتر والتر شوهارت معرفی گردید یکی از رایجترین نمودارهای کنترلی است اما دارای این عیب اساسی است که تنها آخرین اطلاعات به دست آمده از فرایند را مورد نظر قرار میدهد، و همین چشمپوشی از روند دادهها ی گذشته، این نمودار را نسبت به کشف تغییرات کوچک غیر حساس کرده است.

برای رفع مشکل فوق، نمودارهای کنترل «میانگین متحرک موزون نمایی [2]» و «مجموع تجمعی[3]» توسعه داده شدند که با توجه به در نظر گرفتن اطلاعات گذشتهی فرایند میتوانند برای کشف سریع تغییرات کوچک مورد استفاده قرار گیرند.

در این پژوهش، هدف طراحی یک طرح کنترلی، با بکارگیری نمودارهای کنترل شوهارت و میانگین متحرک موزون نمایی است. در این پژوهش بر اساس نظر «وودال[4]»، تغییرات فرایند به سه ناحیهی تغییرات مهم، غیر مهم و بیتفاوت تقسیم و سپس یک مدل بهینهسازی چند معیاره تدوین گشته است.

با حل این مدل ریاضی پارامترهای کنترلی پیشنهادی به دست میآید. ابزار بهینه سازی در این روش الگوریتم ژنتیک است و نتایج توسط نرمافزار مورد بررسی و با نتایج تحقیقات پیشین مورد مقایسه قرار گرفته است.

کلیدواژه: نمودارهای کنترلی، شوهارت، میانگین متحرک موزون نمایی، الگوریتم ژنتیک، بهینهسازی چند معیاره

[1] SHEWHART Control Chart
[2] Exponentially Weighted Moving Average
[3] Cumulative Sum
[4] *Woodall*

فهرست مطالب

فصل اول : کلیات تحقیق

1-1 تعریف مسأله و ضرورت انجام تحقیق..... 1

2-1 سوالات اصلی تحقیق..... 3

3-1 فرضیه‌های تحقیق 3

4-1 اهداف تحقیق 3

5-1 کاربردهای تحقیق 4

6-1 نوآوری تحقیق 5

7-1 روش انجام تحقیق 5

8-1 روش و ابزار گردآوری اطلاعات 5

9-1 جامعه‌ی آماری و روش نمونه‌گیری 5

10-1 روش تجزیه و تحلیل اطلاعات 6

فصل دوم : مرور ادبیات تحقیق

1-2 مقدمه‌ای بر کیفیت..... 8

2-2 کاهش تغییرات..... 11

3-2 انحراف تصادفی و انحراف با دلیل..... 12

4-2 نمودارهای کنترل..... 14

5-2 طرح کنترل ترکیبی شوهارت – میانگین متحرک موزون نمایی..... 16

6-2 نمودار کنترل میانگین موزون نمایی 17

7-2 طراحی یک نمودار کنترل موزون نمایی 20

8-2 نمودار کنترل مجموع تجمعی 21

9-2 روش *V-Mask* 23

2-10مقایسه‌ی بین نمودارهای کنترل میانگین موزون نمایی و مجموع تجمعی 26

فصل سوم : الگوریتم ژنتیک

3-1 مقدمه‌ای بر الگوریتم ژنتیک 32
3-2 ساختار عمومی الگوریتم ژنتیک 32
3-3 بهره برداری و کاوش 34
3-4 جستجو بر مبنای جمعیت 35
3-5 الگوریتم‌های فرا ابتکاری 35
3-6 مزایای اصلی الگوریتم ژنتیک 36
3-7 روش حل مسأله با الگوریتم ژنتیک 36
3-8 بهینه‌سازی مقید 40
3-9 نحوه‌ی برخورد با محدودیت‌ها 40

فصل چهارم:بهینه سازی چند معیاره

4-1 مقدمه‌ای بر بهینه‌سازی چند معیاره 42
4-2 رویکردهایی در بهینه سازی چند معیاره 44
4-3 مسأله بهینه سازی چند معیاره 45

فصل پنجم : مدل پیشنهادی

5-1 متوسط طول دنباله 49
5-2 متدولوژی معرفی شده توسط وودال..... 54
5-3 روش محاسبه‌ی متوسط طول دنباله..... 56
5-4 مدل پیشنهادی..... 59
5-5 شبیه‌سازی و تحلیل نتایج..... 64

فصل ششم : نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

6-1 جمع‌بندی و نتیجه‌گیری 72

6-2 پیشنهادات برای پژوهش‌های آتی 73

مراجع و منابع 74

فهرست اشکال

شکل 2-1. رویکرد *V-Mask* 24

شکل 2-2 . نمونه‌های تصحیح شده از *V-Mask* 24

شکل 2-3 . نمودار *CUSUM* به روش *DIS* 25

شکل 4-1. مقایسه‌ی راه‌حل‌های اضافی..... 43

شکل 5-1. متوسط طول دنباله به ازای $ARL_0=101$..... 67

شکل 5-2. متوسط طول دنباله به ازای $ARL_0= 368$..... 67

شکل 5-3. مقایسه‌ی روش پیشنهادی با نمودارEWMA 71

فهرست جداول

جدول 2-1- تغییرات در اندازه‌ی میانگین فرایند بر حسب انحراف استاندارد..... 29

جدول 5-1- کنترل نتایج مشاهده شده در زمانی که تغییر در میانگین صفر است 53

جدول 5-2- توزیع زمان انتظار..... 53

جدول 5-3- توزیع اجرای شکست..... 53

جدول 5-4- توزیع اجرای شکست..... 54

جدول 5-5- نتایج مشاهده برای $P=0/25$..... 52

جدول 5-6- نتایج مشاهده برای $P=0/10$..... 54

جدول 5-7- متوسط طول دنباله به ازای $ARL_0=101$..... 66

جدول 5-8- متوسط طول دنباله به ازای $ARL_0=368$..... 68

جدول 5-9- مقایسه‌ی نمودارهای کنترلی..... 70

فصل اول

کلیات تحقیق

مقدمه

نمودارهای کنترل از مهم‌ترین ابزارهای آماری جهت حصول اطمینان از عملکردِ تحت کنترل فرآیندهای آماری هستند. با توجه به این که حساسیت نمودارهای کنترل در کشف تغییرات با اندازه‌های متفاوت می‌تواند تأثیر به سزایی در عملکرد یک سازمان داشته باشد طراحی دقیق این نمودارها به مسأله‌ای مهم در حوزه‌ی کنترل کیفیت آماری تبدیل شده است. در این فصل به منظور آشنایی با کلیات تحقیق ضمن تعریف مسأله به بیان سوالات و فرضیات و اهداف و کاربردهای تحقیق پرداخته می‌شود و روش انجام تحقیق و گردآوری اطلاعات و همچنین تجزیه و تحلیل اطلاعات مطرح می‌شود.

1-1- تعریف مسأله و ضرورت انجام تحقیق

هدف اساسی از این تحقیق بررسی عملکرد نمودار کنترل ترکیبیِ «شوهارت – میانگین متحرک موزون نمایی[1]» در مقایسه با سایر نمودارهای ترکیبی در زمینه‌ی کنترل هم‌زمان تغییرات کوچک و بزرگ است. به علاوه از دیگر اهداف این تحقیق به دست آوردن پارامترهای نمودار کنترل ترکیبی با استفاده از یک مدل تصمیم‌گیری چند معیاره و حل آن از طریق الگوریتم ژنتیک است.

نمودارهای کنترل کیفیت از جمله ابزارهای کیفی هستند که به منظور کشف تغییرات با دلیل (غیر تصادفی) در فرآیندهای گوناگون همانند فرآیندهای تولیدی مورد استفاده قرار میگیرند. والتر شوهارت برای اولین بار به این موضوع پرداخت. در ادامه، محققان دیگری از جمله «روبرت[2]»، وودال، «هانتر[3]» و محققان دیگری با معرفی دیگر گونه های نمودارهای کنترل به بسط و توسعه ی ادبیات موضوع پرداختند.

یکی از نقطه ضعف های نمودار کنترل شوهارت، ضعف این نمودار در کشف تغییرات کوچک‌تر از 3 برابر انحراف استاندارد است. به منظور رفع این مشکل نمودارهای مجموع تجمعی و میانگین متحرک موزون نمایی معرفی گردیدند. این نمودارها با توجه به در نظر گرفتن اطلاعات نمونه های

[1] *SHEWHART-EWMA*
[2] *Roberts*
[3] *Hunter*

قبل (برخلاف نمودار شوهارت که تنها اطلاعات آخرین نمونه را در نظر میگیرد) قادر به کشف تغییرات کوچک شدند، اما هم زمان با کسب این توانایی، کارایی این نمودارها در کشف تغییرات بزرگ کاهش یافت. این مسأله منجر به ظهور طرح های ترکیبی گردید. اکنون تلاش های زیادی در جهت طراحی الگوهای کنترلی که قادر به کشف هم زمان انحرافات کوچک و بزرگ باشند انجام گرفته است.

به این منظور از ترکیب نمودار مجموع تجمعی و نمودار شوهارت و یا ترکیب هم زمان دو نمودار میانگین متحرک موزون نمایی استفاده شده است. با توجه به برتری نمودار میانگین متحرک موزون نمایی نسبت به نمودار مجموع تجمعی در کشف تغییرات کوچک و توانایی نمودار شوهارت در کشف تغییرات بزرگ به نظر می رسد استفاده‌ی هم‌زمان از این دو نمودار منجر به نتایج مطلوبی گردد؛ اما تاکنون نمودار ترکیبی که برای کنترل هم‌زمان تغییرات کوچک و بزرگ مورد استفاده قرار گرفته‌اند از نوع *DOUBLE CUSUM* و یا *SHEWHART-CUSUM* بوده و در این زمینه تحقیقی انجام نشده است . به همین منظور نتیجه‌ی پژوهش اِپارازی و همکاران (2004) جهت مقایسه معرفی می‌گردد.

در پژوهش مورد مقایسه با فرض مشخص بودن پارامترهای نمودار، رفتار نمودار در شرایط تحت کنترل و خارج از کنترل بررسی می‌شود در حالی که در این پژوهش با استفاده از مشخصات فرآیند (مثل میانگین و انحراف استاندارد) پارامترهای نمودارها از طریق یک مدل ریاضی بهینه سازی چند معیاره به دست می‌آید. این پژوهش نیز جهت بهینه‌سازی از الگوریتم ژنتیک استفاده کرده است. در این پژوهش تلاش محقق این بوده است که تنها با داشتن مشخصات فرآیند مانند میانگین و انحراف استاندارد، پارامترهای نمودار از طریق یک مدل بهینه سازی چند معیاره به گونه‌ای به دست آید که توانایی نمودار در کشف تغییرات را حداکثر سازد یا به تعبیری متوسط طول دنباله را حداقل کند.

در این تحقیق جهت بررسی کارایی نمودار طراحی شده با سایر نمودارهای ترکیبی (که به منظور کشف هم‌زمان تغییرات کوچک و بزرگ به کار میروند) دنباله ای از اعداد تصادفی نرمال با انحراف استانداردهای متفاوت (انحراف استاندارد به تدریج کاهش داده می شود تا توانایی نمودار در کشف

هم‌زمان تغییرات بزرگ و کوچک ارزیابی گردد) تولید شده و در هر بار عملکرد نمودارها در کشف تغییرات مورد بررسی قرار میگیرد. در این طرح از نمودار میانگین متحرک موزون نمایی برای یافتن تغییرات کوچک و از نمودار شوهارت برای یافتن تغییرات بزرگ استفاده می‌شود. هر نمودار دارای حدود کنترل خود است و در حقیقت دو نمودار با هم ترکیب نمی شوند بلکه با هم مورد استفاده قرار می‌گیرند.

1-2- سوال اصلی تحقیق

آیا سرعت نمودار *SHEWHART-EWMA* در کشف هم‌زمان تغییرات کوچک و بزرگ نسبت به سایر نمودارهای کنترل ترکیبی بیشتر است؟

1-3- فرضیه‌های تحقیق

1-3-1- داده‌ها از توزیع نرمال برخوردارند.

1-3-2-توانایی نمودار کنترل ترکیبی *SHEWHART-EWMA* در کشف هم زمان تغییرات کوچک و بزرگ نسبت به سایر طرح‌های ترکیبی بیشتر است.

1-3-3- استفاده از تابع هدف چند معیاره نسبت به یک تابع هدف منجر به ارائه‌ی نتایج مطلوبتر می‌گردد.

1-3-4- الگوریتم ژنتیک کارایی مناسبی جهت بهینهسازی نمودارهای کنترلی ترکیبی دارد.

1-4- اهداف تحقیق

از اهداف این تحقیق می توان به یافتن مقادیر بهینه ی پارامترهای نمودار کنترل ترکیبی *SHEWHART-EWMA* با استفاده از یک مدل بهینه سازی چند معیاره و حل آن از طریق الگوریتم ژنتیک اشاره کرد. در این مدل کل ناحیه تغییرات به سه ناحیه تقسیم می‌شود:

الف) ناحیه‌ی تحت کنترل که در این ناحیه فرایند تحت کنترل بوده و لذا «حداکثر متوسط طول دنباله در حالت تحت کنترل[1]» مورد نیاز می‌باشد.

ب) ناحیه‌ی بی تفاوتی: تصمیمی نسبت به پذیرش یا رد فرایند در این ناحیه گرفته نمی‌شود.

ج) ناحیه‌ی خارج از کنترل: فرایند خارج از کنترل بوده و در این ناحیه، هدف کمینه کردن مقدار «متوسط طول دنباله در حالت خارج از کنترل[2]» است.

لذا هدف نهایی، یافتن مقادیر بهینه‌ی پارامترهای مدل است، این پارامترها عبارتند از:

λ: ثابت هموارسازی

L: عرض حدود کنترل نمودار میانگین متحرک موزون نمایی

C: عرض حدود کنترل نمودار شوهارت

سایر اهداف این پژوهش عبارتند از:

نمایش نقاط قوت نمودار کنترل ترکیبی *SHEWHART-EWMA* در مقایسه با سایر طرحهای کنترل ترکیبی و همچنین استفاده از الگوریتم ژنتیک جهت یافتن مقادیر بهینه پارامترها و به کارگیری مدل چند معیاره جهت دخالت دادن بیش از یک هدف در تعیین مقدار بهینه پارامترها.

1-5-کاربردهای تحقیق

کاربرد این تحقیق را می‌توان در کنترل فرآیندهایی دانست که تغییرات کوچک و بزرگ باید به طور دقیق و به سرعت کشف شوند؛ که از آن جمله می‌توان صنایع شیمیایی، دارویی، غذایی و یا ساخت قطعات و ابزار دقیق را نام برد. همچنین بهره گیری از ایده ی موضوع و انجام تحقیقات مشابه در صنایع و مقالات توسط محققان و پژوهشگران حوزه ی کیفیت و دانشجویان علاقه‌مند و کاربردهای تحقیقاتی و دانشگاهی به دلیل جدید بودن موضوع توسط طراحان نمودارهای کنترلی ابداعی از دیگر کاربردهای این تحقیق به شمار می‌آید.

[1] ARL_0
[2] ARL_1

1-6- نوآوری تحقیق

با بررسی جامعی از پژوهش‌های صورت گرفته در این حوزه مشخص شد، که تاکنون تحقیقی در طراحی پارامترهای این نمودار(نمودار کنترل ترکیبی *SHEWHART-EWMA*) به وسیله‌ی روش معرفی شده توسط محقق صورت نگرفته است. لذا متدلوژی معرفی شده جهت شناسایی هم‌زمان خطاهای کوچک و بزرگ، به پژوهش جاری جنبه جدید بودن نیز می بخشد. به علاوه تحقیقات متعددی که در مراکز علمی راجع به موضوع در حال انجام و اجرا هستند موید نوآوری و به روز بودن تحقیق است.

1-7- روش انجام تحقیق

ابتدا نمودارهای *SHEWHART,EWMA,CUSUM* مورد بررسی قرار خواهند گرفت، سپس سابقه‌ی نمودارهای کنترل ترکیبی و مدل‌های بهینه‌سازی چند معیاره مورد کنکاش قرار خواهد گرفت. در ادامه ضمن تشریح اصول بهینه‌یابی توسط الگوریتم ژنتیک مدل معرفی شده تشریح و پس از حل آن و ارزیابی یافته‌ها، تحقیق به سرانجام می‌رسد.

لازم به توضیح است که در این پژوهش، داده‌های مورد استفاده توسط شبیه‌سازی کامپیوتری تولید شده‌اند و جهت بررسی عملکرد نمودارها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

1-8- روش و ابزار گردآوری اطلاعات

با توجه به جدید بودن موضوع تحقیق، ابزار اصلی جمع آوری اطلاعات اینترنت است. همچنین منابع کتابخانه‌ای و راهنمایی اساتید محترم را می‌توان از دیگر ابزار مهم گردآوری اطلاعات شمرد.

1-9- جامعه‌ی آماری و روش نمونه‌گیری

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش توسط شبیه‌سازی تولید می‌شوند. لازم به ذکر است که این امر اثری بر روی یافته‌ها نخواهد گذاشت.

1-10- روش تجزیه و تحلیل اطلاعات

1-10-1- روش تجزیه و تحلیل اطلاعات بر اساس محاسبه و مقایسه ی شاخص متوسط طول دنباله‌ی هر یک از نمودارهای کنترل کیفیت خواهد بود به این ترتیب که اطلاعاتی که به صورت تصادفی توسط نرم‌افزار تولید شده‌اند با نمودارهای گوناگون مورد بررسی قرار گرفته و نموداری که دارای متوسط طول دنباله‌ی تحت کنترل بیشتری باشد از کارایی بهتری برخوردار خواهد بود.

1-10-2- طبقه‌بندی اطلاعات و مقایسه‌ی نتایج وعملکردها با دیگر نمودارهای ترکیبی و در نتیجه تحلیل و تصمیم‌گیری در مورد کارایی روش پیشنهادی.

1-10-3- روش پیشنهادی با نمودارهای شوهارت و $EWMA$ مقایسه می شود. داده های مورد استفاده جهت شبیه‌سازی اعداد تصادفی تولید شده از یک توزیع نرمال خواهند بود.

1-10-4- به منظور شبیه‌سازی فرایندها، از نرم‌افزار «متلب[1]» استفاده شده است. به علاوه نمودارها نیز توسط نرم‌افزار «اکسل[2]» رسم شده‌اند.

[1] Matlab (2008)
[2] Microsoft Office Excel

فصل دوم

مرور ادبیات تحقیق

2-1- مقدمه‌ای بر کیفیت

در این فصل به تبیین مفاهیم بنیادین مرتبط، همچون کیفیت از دیدگاه صاحب نظران این حوزه خواهیم پرداخت، از دیگر مواردی که در این فصل به آن پرداخته خواهد شد معرفی انواع نمودارهای کنترل و شبیه‌سازی و مقایسه‌ی کارایی نمودارهای کنترلی خواهد بود.

واژه‌ی «کیفیت» به وسیله بسیاری از مردم و به اشکال گوناگون، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در بسیاری از سازمان‌ها، کیفیت خدمات یا محصولات از اهمیت بالایی برخوردار است. به هر جهت، ارائه‌ی توصیفی کامل از کیفیت که محصولات و خدماتی که دارای کیفیت نامطلوب هستند را از محصولات و خدمات با کیفیت مطلوب متمایز سازد، کاری دشوار است.

شوهارت(1931)، در مورد دو جنبه از کیفیت بحث کرد ه است. نخست، جنبه‌ی عینی[1] از کیفیت که مربوط به مشخصه‌های فیزیکی است و به صورت کمی قابل اندازه‌گیری بوده و با جنبه‌ی دوم، یعنی جنبه‌ی ذهنی[2] کیفیت، متفاوت است. در حقیقت جنبه‌ی دوم مربوط به تفکر یا احساس ما از کیفیت می‌شود. شوهارت خاطر نشان می‌کند که جنبه‌ی ذهنی کیفیت از لحاظ بازرگانی مورد توجه است، اما آن‌چه که ضروری است ایجاد استانداردهای کیفی به طریق کمی است.

به علاوه، وی تأکید کرد که تأثیرات کیفیت ایستا نیستند و در طول زمان تغییر می‌یابند. این مسأله تعریف کیفیت را با مشکل مواجه می‌کند ، زیرا تبدیل نیازهای آینده ی مصرف کننده به مشخصه‌های قابل اندازه‌گیری، کاری مشکل است.

کروزبی(1979)کیفیت را به عنوان «تطابق با نیازمندی ها» تعریف می‌کند . با این دید، یک کالا در صورتی از کیفیت مطلوب برخوردار است که تمامی مشخصات تعریف شده برای آن کالا برآورده گردد. این تعریف شامل بخش مهمی از آن چیزی است که مصرف کننده به عنوان کیفیت درک می‌کند. یک تولیدکننده اگر بخش عمده‌ای از محصولاتش، حدود تعیین شده‌ی نیازمندی‌های مشتریان را نقض کند، به احتمال زیاد شکایاتی فراوان در زمینه‌ی کیفیت دریافت خواهد کرد،

[1] Objective
[2] Subjective

جورِن و گرینا (1988)، تعریفی وسیع‌تر ارائه کرده‌اند: «کیفیت، تناسب برای استفاده است». با این دید، کیفیت به عنوان یک تصویر نسبی تعریف می‌شود . استفاده های متفاوت از محصول ، منتج به نیازمندی های متفاوت در رابطه با محصول می‌شود . کفش را به عنوان یک مثال در نظر می‌گیریم. نیازمندی‌های یک فرد که به دنبال کفشی با کیفیت بالاست، متفاوت از نیازمندی های همان فرد است، زمانی که به دنبال یک کفش با کیفیت ایده‌آل است.

مونتگومری(1996) تطابق با نیازمندی ها را به عنوان یک ی از دو جنبه ی«تناسب برای استفاده» تشخیص داد. جنبه‌ی دیگر، «کیفیت طراحی» است که بر تفاوت های طراحی بین انواع مختلف از یک محصول دلالت دارد . جنبه‌ی تطابق، چگونگی میزان تطابق محصول با مشخصات مورد نیاز طراحی را بیان می‌کند. امروزه، چنین تعابیری از کیفیت را سنتی می‌دانند . این گونه به نظر می‌رسد که کیفیتِ یک محصول یا خدمت، مشخصه‌ای منفرد و قابل تشخیص نیست.

گاروین(1987) هشت بعد از کیفیت را به شکل زیر بیان کرد:

2-1-1- عملکرد[1]:

عملکرد یکی از معیارهای سنتی کیفیت است. این عامل اشاره به عملکرد اصلی یک محصول دارد، به عنوان مثال، در مورد یک اتومبیل، عملکرد شامل شتاب، هدایت، سرعت حرکت و راحتی می‌شود.

2-1-2 خصوصیت[2]

که به عملکرد اصلی یک محصول به منظور ارتقاء کیفیت آن اضافه می‌شود.

2-1-3- قابلیت اطمینان[3]

دیگر معیار نسبی کیفیت است. یک محصول قابل اطمینان به ندرت دچار خرابی می‌شود. این جنبه، بُعدی مهم از کیفیت است.

[1] Performance
[2] Features
[3] Reliability

2-1-4- تطابق[1]

این عامل اشاره به درجه‌ی ارضای نیازمندی‌های از پیش تعیین شده، توسط محصول دارد. این بُعد از کیفیت در شرایطی که محصول به عنوان بخشی از یک مجموعه‌ی پیچیده استفاده می‌شود دارای اهمیت بسیاری است. مشخصات قسمت های مجزا، معمولاً به صورت یک مقدار هدف و حدود انحراف معرفی می‌گردد. اگر هر کدام از اجزاء به شکلی جزئی بزرگ یا کوچک باشند حصول یک تناسب قابل توجه، غیر م حتمل است و این امکان وجود دارد که محصول نهایی به گونه‌ی مورد انتظار طراح عمل نکند و یا خیلی سریع از میان برود.

2-1-5- دوام[2]

معیاری مربوط به طول عمر محصول است؛ هم از نظر اقتصادی (بیشتر شدن هزینه‌های مورد انتظار تعمیر، از ارزش فعلی محصول) و هم از نظر فیزیکی (تعمیرِ غیر ممکن). محصولی که بیشتر عمر می‌کند معمولاً دارای کیفیت بالاتر تشخیص داده می‌شود.

2-1-6- تعمیر پذیری[3]

این بُعد، مرتبط با زمان و تلاش مورد نیاز برای تعمیر یک محصول است. خرابی یک محصول، به عنوان یک عامل منفی دیده می‌شود، اما یک تعمیر سریع ممکن است آن عیب را بر طرف کند.

2-1-7- زیبایی[4]

یک بعد ذهنی از کیفیت است. این عامل اشاره به ظاهر، احساس، صدا، مزه یا بوی یک محصول دارد. این عامل تا حد زیادی به واسطه‌ی ترجیحات مصرف کننده تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در مورد این عامل تأمین خواسته‌ی تمام مصرف‌کنندگان غیر ممکن است.

[1] Conformance
[2] Durability
[3] Serviceability
[4] Aesthetics

2-1-8- کیفیت درک شده[1]

این عامل نیز یک بعد ذهنی است. زمانی که مصرف کننده اطلاعات جامعی در خصوص یک محصول ندارند ، ممکن است که تصور آن ها از کیفیت مبتنی بر تجربیات گذشته ، م قبولیت تولیدکننده، کیفیت محصولاتِ سایر تولیدکنندگان و یا نام محصول باشد.

با درک این که کیفیت در سطوح متفاوتی از فرایند تولید مشخص می‌شود، گاروین بر این نکته تأکید می‌کند که تولیدکنندگان نباید در پی اول بودن در هر هشت بعد کیفیت باشند. بنابراین، باید تعداد محدودی از ابعاد را برای رقابت در نظر گرفت.

معمولاً، بخش کنترل کیفیت در کارخانه در زمینه ی تطابق ابعاد کیفیت فعالیت می‌کند. در حقیقت وظیفه‌ی این بخش است تا تضمین کند که نیازمندی های محصول تأمین می‌گردد. چنین نیازمندی‌هایی اغلب در قالب حدود مشخصات معرفی می گردند. هر آن چه که در بین حدود قرار گیرد به عنوان تطابق شناخته می‌شود. هدف بعدی تولید بدون معیوب است.

سالیوان(1984) در مورد این که راهکار تطابق با حدود ، از کاهش بهبود کیفیت جلوگیری می‌کند به بحث پرداخته است. رابطه‌ی بین «کیفیت» و «تغییر ات» را می‌توان در جمله ی زیر از مونتگومری خلاصه کرد: «**کیفیت، نسبت معکوس با تغییرات دارد.**»

این عبارت اهمیت بکارگیری روش‌های آماری، در پروژه‌های بهبود کیفیت را نشان می‌دهد. با توجه به این‌که تغییرات در خروجی فرایند وجود دارد و میزان این تغییرات به نحوی غیر قطعی هستند، لزوم بکارگیری روش‌هایی که عدم قطعیت را در نظر گیرند لازم است.

2-2- کاهش تغییرات

در بخش قبل تلاشی برای معرفی واژه ی «کیفیت» صورت گرفت . به عنوان یک نتیجه از رابطه‌ی بین کیفیت و تغییرات، به کار بردن واژگانی همانند: «به ندرت»، «احتمالاً» و «تغییرپذیری» که بیان گر عدم قطعیت باشند، لازم است . همچنین مسأله ی بهبود کیفیت به

[1] Perceived Quality