INSO
11502-6
1st. Edition
2014

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران
۱۱۵۰۲-۶
چاپ اول
۱۳۹۳

روش‌های آماری در مدیریت فرایند- قابلیت و عملکرد - قسمت۶: آماره قابلیت فرایند برای مشخصه‌ها با توزیع نرمال چندمتغیره

Statistical methods in processmanagement — Capability andperformance —Part 6:Process capability statisticsfor characteristics following amultivariate normal distribution

ICS : 03.120.30

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک مادهٔ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است.

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود وکوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیر دولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند درکمیتهٔ ملی طرح و بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)[1]،کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور، از آخرین پیشرفت های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و / یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سامانه‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization
2 - International Electrotechnical Commission
3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)
4 - Contact point
5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«روش‌های آماری در مدیریت فرایند- قابلیت و عملکرد - قسمت۶: آماره قابلیت فرایند برای مشخصه‌ها با توزیع نرمال چندمتغیره»

رئیس:	**سمت و/ یا نمایندگی**
امیری ، حسین (لیسانس مهندسی کامپیوتر نرم افزار)	مدیر عامل شرکت نوآوران مبانی پرداز
دبیر:	
کشاورزی ، فرزاد (لیسانس مهندسی کامپیوتر نرم افزار)	کارشناس رایانه شرکت پیشاهنگان آمایش
اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
خندزاد ، بهزاد (لیسانس مهندسی کامپیوتر نرم افزار)	کارشناس رایانه شرکت نوآوران مبانی پرداز
خندزاد ، بیتا (فوق لیسانس هوش مصنوعی و رباتیک)	کارشناس ارشد اداره مرکزی هواپیمائی جمهوری اسلامی ایران هما
درفشی ، رکسانا (لیسانس زبان انگلیسی)	کارشناس تایید صلاحیت سازمان ملی استاندارد
ستاری ، آناهیتا (لیسانس مهندسی متالوژی)	مترجم ارشد شرکت پیشاهنگان آمایش
سروشیان ، سپیده (لیسانس مهندسی کامپیوتر نرم افزار)	کارشناس رایانه شرکت پیشاهنگان آمایش
ندائی فرخد ، لیلا (لیسانس مهندسی کامپیوتر نرم افزار)	رئیس تحلیل و طراحی گروه کارخانجات پارت لاستیک

فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
آشنایی با سازمان ملی استاندارد	ب
کمیسیون فنی تدوین استاندارد	ج
پیش گفتار	ه
مقدمه	و
۱ هدف و دامنه کاربرد	۱
۲ مراجع الزامی	۱
۳ اصطلاحات و تعاریف	۱
۴ اصطلاحات به صورت اختصاری	۴
۵ آنالیز فرایند	۴
۶ استفاده از قابلیت فرایند چندمتغیره و ارزیابی عملکرد	۴
۷ محاسبه کیفیت و عملکرد فرایند	۵
۸ مثال‌ها	۱۳
پیوست الف (اطلاعاتی) انحراف فرمول‌ها	۲۱
پیوست ب (اطلاعاتی) مثال عدم تعادل محور	۲۵
پیوست پ (اطلاعاتی) مثال موقعیت حفره	۳۰
پیوست ت (اطلاعاتی) ساختار تابع کیفیت	۳۴

پیش گفتار

استاندارد«روش‌های آماری در مدیریت فرایند- قابلیت و عملکرد - قسمت۶: آماره قابلیت فرایند برای مشخصه‌ها با توزیع نرمال چندمتغیره» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط سازمان ملی استاندارد ایران تهیه و تدوین شده و در دویست و نود و هفتمین اجلاس کمیته ملی استاندارد رایانه و فرآوری داده‌ها مورخ ۱۳۹۳/۰۴/۰۹ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات سازمان ملی استاندارد ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در متن صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدیدنظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و مأخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ISO 22514-6: 2013, Statistical methods in process management — Capability and performance - Part 6: Process capability statistics for characteristics following a multivariate normal distribution

مقدمه

به دلیل افزایش پیچیدگی روش‌های تولید و افزایش نیازمندی‌های کیفیت برای فرایندها و تولیدات، آنالیز فرایند بر اساس کمیت‌های تک متغیره در بسیاری از موارد کافی نیست.

در عوض، آنالیز فرایند بر اساس کمیت‌های محصول چندمتغیره، ضروری است. برای مثال، در بعضی از مواردی که رواداری‌های هندسی، بزرگنمایی‌های دینامیکی مانند نامتعادل، کمیت‌های همبسته‌ی مواد یا تولیدات دیگر وجود دارند، مشاهده می‌شوند.

مطابق با استاندارد بین‌المللی ISO 22514-2، ISO 25514-6، فرمول محاسبه‌ی شاخص‌های عملکرد فرایند و قابلیت فرایند را ارائه می‌کنیم که پراکندگی فرایند به علاوه‌ی مکان فرایند به صورت پسوند برای شاخص‌های مرتبط با کمیت‌های تک متغیره، در نظر گرفته می‌شوند. در نهایت، شاخص‌ها بر اساس شاخص‌های C_{p} و $C_{\mathrm{p}K}$ در حالت یک بعدی، ارائه می‌شوند.

مثال‌هایی از کاربردهای ممکن، موقعیت‌های دو بعدی یا سه بعدی، عدم متعادل یا چندین کمیت همبسته تولیدات شیمیایی است. برای توضیحا بیشتر به پیوست الف مراجعه شود.

پراکندگی نتایج اندازه‌گیری شامل پراکندگی تحقق فرایند تولید و دقت فرایند اندازه‌گیری است. فرض بر این است که قابلیت سیستم اندازه‌گیری مورد استفاده، پیش از تعیین قابلیت تحقق فرایند تولید، نشان داده شده است.

روش محاسبه‌ی تعریف شده در اینجا باید برای پشتیبانی از تصمیم غیرمبهم، استفاده شود، به ویژه اگر:

- مقادیر محدود شاخص‌های قابلیت فرایند برای کمیت‌های تولید پیوسته، چندمتغیره، به صورت بخشی از ارتباط بین مشتری و عرضه کننده یا
- قابلیت سازه‌های مختلف، روش‌های تولید یا عرضه‌کننده‌ها باید مقایسه شود. یا
- فرایندهای تولید باید تأیید شوند، یا
- مشکلات باید آنالیز شوند و تصمیمات در موارد شکایت یا آسیب، گرفته می‌شوند.

یادآوری - تحقق فرایند تولید، برای مثال فرایندهای تولید، فرایندهای سرویس، فرایندهای تولید محصول را شامل می‌شوند.

روش‌های آماری در مدیریت فرایند- قابلیت و عملکرد - قسمت۶: آماره قابلیت فرایند برای مشخصه‌ها با توزیع نرمال چندمتغیره

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین روش‌هایی برای محاسبه‌ی آمار عملکرد و قابلیت فرایند یا مقدار محصول است که در نظر گرفتن یک خانواده از مقادیر منحصربه فرد در ارتباط با یکدیگر، ضروری و سودمند است. روش‌های ارائه شده در این استانداردملی، با هدف تعریف مقادیری که از توزیع نرمال دو متغیره پیروی می‌کنند، طراحی شده‌اند.

یادآوری – در اصل، این بخش از این استاندارد ملی، می‌تواند در موارد چندمتغیره به کار برود.

در این بخش از این استاندارد، هیچ نوع ارزیابی از روش‌های ارائه شده‌ی متفاوت مرتبط با موقعیت‌هایی متفاوت به همراه کاربرد محتمل هر روش، ارائه نمی‌شود. برای وضعیت فعلی، انتخاب یک روش ترجیحی، باید بنابر ترجیحات کاربران انجام شود. هدف، ارائه‌ی تعاریفی برای رویکردهای متفاوت محاسبه‌ی شاخص عملکرد و قابلیت، در شرایط فرایند چندگانه یا کمیت محصول است.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می‌شود.

در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده است، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آنها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی آنها مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

2-1ISO 22514-1, Statistical methods in process management - Capability and performance - Part 1:General principles and concepts

2-2ISO 22514-2, Statistical methods in process management - Capability and performance - Part 2: Process capability and performance of time- dependent process models

۳اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر بکار می‌روند:

۳-۱

کمیت

ویژگی یک پدیده، جسم یا ماده، درحالی‌که این ویژگی دارای مقداری[1] است که می‌تواند به عنوان عدد و مرجع، بیان شود.

1-magnitude

۲-۳

کمیت چندمتغیره

مجموعه‌ای از خصوصیات متمایز

یادآوری ۱ – یک مجموعه می‌تواند توسط d– چند*تایی*[1]، یعنی مجموعه‌ی منظم شامل d جزء، بیان شود.

یادآوری ۲ – اگر کمیت‌های منفرد موجود در مجموعه، توسط x_i، بیان شود که $i = 1,2, \dots, d$، کمیت‌های چندمتغیره به صورت بردار $X = (X_1, X_2, .., X_d)^T$ بیان می‌شوند. بنابراین یک کمیت چندمتغیره می‌تواند به صورت بردار ویژگی یک محصول در نظر گرفته شود. مقدار کمیت چندمتغیره توسط یک نقطه در فضای این ویژگی d- بعدی، بیان می‌شود.

یادآوری ۳ – انتخاب کمیت‌ها در یک بردار به دلایل خاص تکنیکی و فنی انجام شده است.

یادآوری ۴ – کمیت‌های منفرد ترکیب شده در یک بردار چندمتغیره، باید در محصول یا شی مشابه، قابل اندازه‌گیری باشند.

یادآوری ۵ – اگر کمیت چندمتغیره توسط آمار تعریف شود، بردار به صورت بردار اتفاقی تابع توزیع چندمتغیره d- بعدی در نظر گرفته می‌شود.

مثال ۱ – تعداد کمیت‌های d=3، مانند رنگ=x_1، جرم=x_2، تعداد عیوب=x_3 به منظور اینکه تنها در یک آماره برای ارزیابی فرایند مورد استفاده قرار بگیرند، با یکدیگر ترکیب می‌شوند. بعد بردار x برابر d=3 است.

مثال ۲ – برای ارزیابی یک فرایند سوراخ کاری، موقعیت محور گمانه[2] در مختصات x و مختصات y، اندازه‌گیری می‌شود. مختصات‌ها با کمیت x چندمتغیره‌ی دو بعدی ترکیب می‌شوند، در حالتی‌که جزء x_1، مختصات x و x_2 مختصات y است.

مثال ۳ – عدم تعادل چرخ.

۳-۳

منطقه‌ی رواداری[3]

منطقه‌ای در فضای ترکیب که حاوی تمام مقادیر قابل قبول *کمیت چندمتغیره* می‌باشد (بند ۳-۲).

یادآوری ۱ – منطقه با خطوط، سطوح یا سطوح بالاتر در فضای d- بعدی و نه لزوماً بسته، محدود می‌شود. شکل و وسعت منطقه توسط یک یا چند پارامتر مشخص می‌شود.

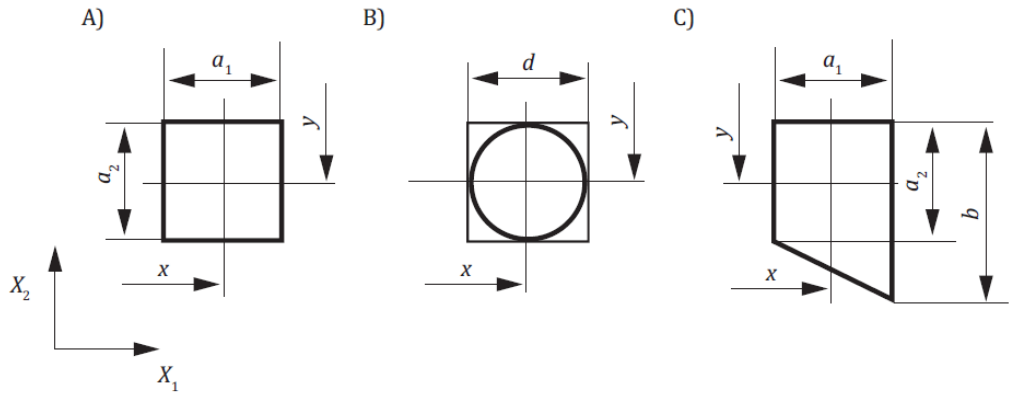
یادآوری ۲ – اشکال معمول مناطق رواداری، مستطیل، بیضی (یا دایره) در حالت دو بعدی، مکعب یا مکعب بالایی، بیضی با بیضی بالایی یا اشکال منشوری کامپوزیت، می‌باشند. شکل ۱، مثال‌هایی از مناطق رواداری در فضای دو بعدی را نشان می‌دهد.

یادآوری ۳ – منطقه رواداری، بر اساس عملکرد مورد نیاز محصول مشخص می‌شود. فرض بر این است که محصولاتی که نشان دهنده‌ی مقادیر خارج از منطقه هستند، نیازمندی‌ها را برآورده نمی‌کنند. آن محصولات به صورت بخش‌های غیرمنطبق، در نظر گرفته می‌شوند.

یادآوری ۴ – برای ارزیابی محصول مرتبط با محدودیت‌های منطقه رواداری، کمیت مستقل در کمیت چندمتغیره و تعداد d بعد، باید معادل با تعریف منطقه رواداری باشند.

مثال ۱ – منطقه‌ی رواداری تعریف شده در استاندارد بین‌المللی ISO 1101 برای خصوصیات محصول هندسی، می‌تواند به عنوان منطقه رواداری در نظر گرفته شود. در آن حالت، محدود کردن خطوط هندسی کامل یا سطوح مرتبط با مرز و رواداری، با پارامتر منطقه رواداری همخوانی و مطابقت دارد.

1-tuple
2-borehole
3-Telorance



کلید

الف) منطقه رواداری مستطیل با پارامترهای a_1, a_2, x و y

ب) منطقه رواداری دایره‌ای با پارامترهای d, x و y

ج) منطقه مستطیلی گسترده‌ی مثلثی با پارامترهای a_1, a_2, x و y

شکل۱– مثال‌هایی از مناطق رواداری در فضای دو بعدی کمیت دومتغیره $(x_1, x_2)^T$

۳-۴

قابلیت فرایند

توزیع مقادیر *کمیت* (بند ۳-۱) اندازه‌گیری از فرایندی که به منظورکنترل آماری نشان داده شده است و توانایی فرایند را برای تولید مقادیر کمی برای برآورده‌سازی نیازمندی‌های آن کمیت، تعریف می‌کند.

یادآوری ۱ – شاخص قابلیت فرایند، توانایی برخورد با نیازمندی‌های کمیت اندازه‌گیری را فراهم می‌کند.

یادآوری ۲ – مخفف شاخص قابلیت فرایند، PCI می‌باشد.

۳-۵

تخمین قابلیت فرایند

تعریف آماری قابلیت فرایند (بند ۳-۴)

۳-۶

عملکرد فرایند

توزیع مقادیر *کمیت*(بند ۳-۱) اندازه‌گیری از یک فرایند

یادآوری ۱ – فرایند ممکن است در حالت کنترل آماری نشان داده نشود.

۳-۷

تخمین عملکرد فرایند

تعریف آماری *عملکرد فرایند* (بند ۳-۶)

۴ کوته نوشت

شرایط حداکثر مواد	MMC
شاخص قابلیت فرایند	PCI

۵ آنالیز فرایند

هدف از آنالیز فرایند، به دست آوردن دانش دقیق از فرایند می‌باشد. این دانش برای کنترل مؤثر فرایند، ضروری است، به طوری‌که محصولات دریافت شده توسط فرایند، نیازمندی کیفی را برآورده کند.

آنالیز فرایند، همواره آنالیز یک یا چند کمیت است که برای فرایند، مهم در نظر گرفته می‌شود.

کمیت‌ها[1]، اغلب می‌توانند به جای کمیت‌های فرایند، آنالیز شوند، زیرا کمیت‌های محصول نه تنها محصولات را مشخص می‌کنند، بلکه به دلیل ارتباط با کمیت‌های فرایند، فرایند ایجاد این محصول را هم مشخص می‌کنند.

مقادیر کمیت‌های موردنظر، عموماً بر اساس نمونه‌های گرفته شده از جریان فرایند تعیین می‌شوند. اندازه و فراوانی نمونه، باید بر اساس نوع فرایند و نوع محصول انتخاب شوند، به طوری‌که تمام تغییرات مهم، در زمان شناسایی شوند. نمونه‌ها باید نماینده‌ی کمیت‌های چند متغیره‌ی تحت نظر باشند. (مقادیر کمیت تک متغیره در استاندارد بین‌المللی ISO 22514-2 در نظر گرفته شده‌اند). این بخش از این استاندارد، آمار قابلیت چندمتغیره را توصیف می‌کند.

برای تخمین PCI، نمونه باید ترجیحاً حداقل ۱۲۵ باشد.

۶ استفاده از قابلیت فرایند چندمتغیره و ارزیابی عملکرد

هدف از شاخص قابلیت فرایند، انعکاس چگونگی خوبی یا بدی فرایند برای تولید محصول می‌باشد. استفاده از PCI برای کمیت‌های چندمتغیره باید این رفتار فرایند را بهتر از PCI برای کمیت‌های منفرد[2] منعکس کند. به دلیل اینکه تعاریف مختلفی برای PCI چندمتغیره وجود دارد، انتخاب تعریف مشخص به منظور استفاده، در پاسخگویی به کاربر باقی می‌ماند. هرچند، راهنمایی زیر، به این صورت داده شده است که عموماً چه زمانی باید PCI چندمتغیره ترجیح داده شود.

ارزیابی چندمتغیره‌ی کیفیت و قابلیت فرایند در صورتی مناسب است که حداقل یکی از شرایط زیر قابل اجرا باشند:

- تعریف کیفیت و عملکرد یک فرایند با تنها یک آماره جامع[3] به جای مقادیر بالای آمارهای منفرد برای هر محصول کمّی و کیفی، باید سودمند باشد.

1-quantities
2-single
3-comprehensive statistic

- مرز منطقه رواداری، نمی‌تواند برای تمام کمیت‌ها به طور مستقل بیان شود، یعنی حداقل یک حد رواداری برای یک کمیت، تابعی از کمیت دیگر است. این درصورتی است که منطقه رواداری، به شکل مستطیل یا مکعبی نباشد.
- کمیت‌های منفردی که می‌توانند با کمیت‌های چندمتغیره ترکیب شوند، مرتبط با یکدیگر در نظر گرفته می‌شوند.

مثال ۱ – در مورد رواداری موقعیت دوبعدی برای محور گمانه، منطقه رواداری، دایره‌ای با فواصل تعریف شده در یک مختصات x و y، از مراجع به دست می‌آید (بند ۸-۱)، نتیجه‌ی محور حفره، مقداری از مختصات x و y خواهد بود. حد رواداری برای مختصات x، نمی‌تواند مستقل از مختصات y بیان شود. بنابراین ارزیابی دومتغیره به کار برده می‌شود.

۷ محاسبه کیفیت و عملکرد فرایند

۷-۱ توضیح نوع ۱ و نوع ۲

در حوزه‌ی چند متغیره، رویکردهای متفاوتی برای اندازه‌گیری کیفیت و عملکرد فرایند وجود دارد. این بخش از این استاندارد، مثال‌هایی از دو نوع شاخص متفاوت تعریف می‌کند: نوع ۱ و نوع ۲. تمایز بین این دو نوع، بر این اساس است که آیا شاخص براساس احتمال یا توسط مرتبط کردن مساحت یا حجم منطقه رواداری یا منطقه فرایند به طور هندسی، تعریف می‌شود.
تعاریف زیر برای دو نوع، به کار برده می‌شود:

- نوع ۱- بر اساس احتمال انطباق یا عدم انطباق محصولات P می‌باشد، شاخص با استفاده از ارتباط بین شاخص و احتمال ذکر شده در رابطه با نرمال تک متغیره، محاسبه می‌شود.
- نوع ۲ - شاخص به صورت نسبت مساحت یا حجم منطقه رواداری به مساحت یا حجم منطقه‌ی پوشیده شده توسط تغییر در فرایند، محاسبه می‌شود.

به دلایل کاربردی، مد توزیع نرمال چندمتغیره، برای محاسبه‌ی آماره‌هایی که در این بند تعریف شده‌اند، انتخاب شده است. هر چند انتخاب توزیع نرمال، در موارد خاص، مانع توصیف بهتر واقعیت توسط مدل توزیع‌های دیگر نمی‌شود. همچنین به دلایل کاربردی، در این بخش از این استاندارد، منطقه تغییر فرایند، به شکل بیضی انتخاب شده است.

خواص بسیار مهم توزیع نرمال چندمتغیره درپیوست الف توضیح داده شده است.
به علت آن انتخاب، انتقالات اضافی باید انتخاب شود تا شکل بازه‌های تغییر فرایند را با شکل منطقه رواداری، قابل مقایسه کند. بنابراین سه اصل دیگر باید مشخص شود. اصول تبدیل شکل به صورت زیر است:
الف) منطقه رواداری در داخل شکل بازه تغییر فرایند،
ب) بازه تغییر فرایند در داخل شکل منطقه رواداری،
ج) منطقه رواداری و/ یا تغییر فرایند در داخل بعد جدید تاثیرگذار بر عملکرد.

هر دو نوع ذکر شده در بالا و اصول، می‌توانند برای تعریف PCI چندمتغیره، با یکدیگر ترکیب شوند. هرچند ممکن است هر ترکیبی مؤثر نباشد. برای مثال، هیچ تعریف مشخصی برای نوع Ib PCI وجود ندارد.
عبارت ‹‹کیفیت››، می‌تواند تنها برای فرایندهای در کنترل آماری با استفاده از چارت‌های کنترل، استفاده شود. در حالت چندمتغیره، تمایز بین علل خاص و معمول، اغلب مشکل‌تر از حالت تک متغیره است. اگر فرایند، در کنترل آماری نشان داده نشود، عبارت ‹‹عملکرد›› در این بخش از این استاندارد، استفاده می‌شود.

۷-۲ نام و نمادهای شاخص‌ها

۷-۲-۱ کلیات

اخیراً نمادهای مختلفی برای تعریف شاخص چندمتغیره در صنعت و علم مورد استفاده قرار گرفته است. نمادهایی که در حال حاضر استفاده می‌شوند، سعی بر تمیز دادن انواع محاسبه یا تعیین کاربرد آنها دارند. این بخش از این استاندارد ، نام C_p و/ یا C_{Pk} را برای تعاریف اساسی محاسبات استفاده می‌کند. به علاوه، کیفیت فرایند و عملکرد فرایند در به کار بردن شاخص‌ها، توسط حروف بزرگ C برای کیفیت و P برای عملکرد، تشخیص داده می‌شوند.

۷-۲-۲ شاخص کیفیت فرایند

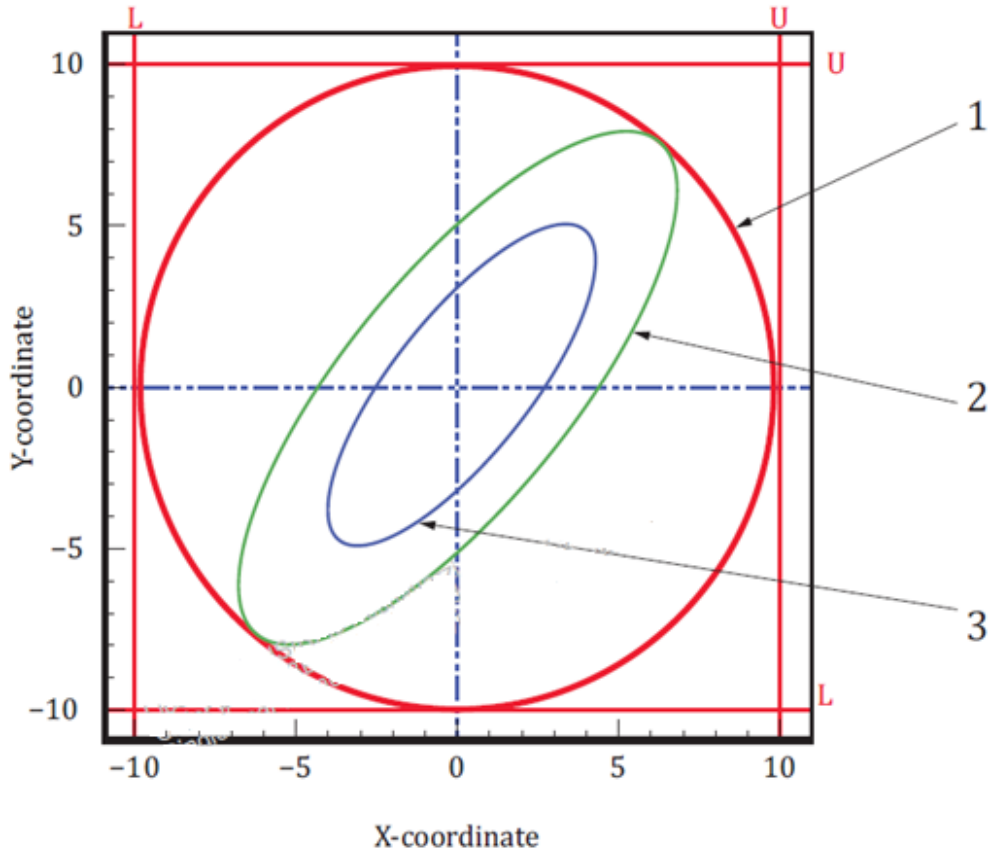
توزیع نرمال d- بعدی$N_d(\mu, \Sigma)$ را درنظر بگیرید که μ بردار متوسط و Σ ماتریس کواریانس، می‌باشد.
اگر منطقه رواداری به شکل بیضی نباشد (دایره، بیضی اگر $d = 2$ یا کره، بیضوی اگر $d = 3$ یا کره هایپر[1]، بیضوی هایپر اگر $d > 3$)، به منطقه تحمل اصلاح شده‌ای که به شکل بیضی است، تبدیل می‌شود. این تغییر توسط تعیین بزرگترین بیضوی (یا بیضی، بیضی هایپر) انجام می‌شود که در هدف متمرکز شده و کاملاً متناسب با منطقه رواداری اصلی می‌باشد.
برای محاسبه‌ی شاخص C_p چندمتغیره، توزیع نرمال باید متمرکز بر داشتن میانگین در مرکز منطقه رواداری بیضی باشد. برای آن توزیع نرمال، بزرگترین کانتر بیضی که به طور کامل در منطقه رواداری بیضوی موجود باشد، تعیین می‌شود و احتمال حجم محدود توسط آن بیضی کانتر تحت توزیع نرمال d- بعدی با ماتریس کواریانس Σ و میانگین در مرکز منطقه رواداری بیضی، محاسبه می‌شود. احتمال توسطP نشان داده می‌شود.
پس شاخص C_p چندمتغیره به صورت زیر می‌باشد:

$$C_p = \frac{1}{3}\Phi^{-1}\left(\frac{P+1}{2}\right)$$

برای محاسبه‌ی P، احتمال مشاهده‌ی xدر داخل بیضی کانتور تعیین شده (بیضی هایپر) برای هر d می‌توان از ارتباط با توزیع F، استفاده کرد. توضیحات در عبارت پیوست الف-۱ داده شده است.
به منظور تخمین شاخص C_p از داده‌های d- بعدی، با تخمین ماتریس کواریانس، توزیع نرمال چندمتغیره از داده‌ها را آغاز می‌کنیم. تخمین را توسط $\widehat{\Sigma}$ نشان داده و از ماتریس کواریانس برای تعیین بیضی کانتور و احتمال آن $\hat{P}$، استفاده می‌کنند. در نهایت شاخص C_p چندمتغیره می‌شود:

1-hypersphere

$$\hat{C}_{\mathrm{p}} = \frac{1}{3}\phi^{-1}(\frac{\hat{\mathrm{P}}+1}{2})$$



کلید

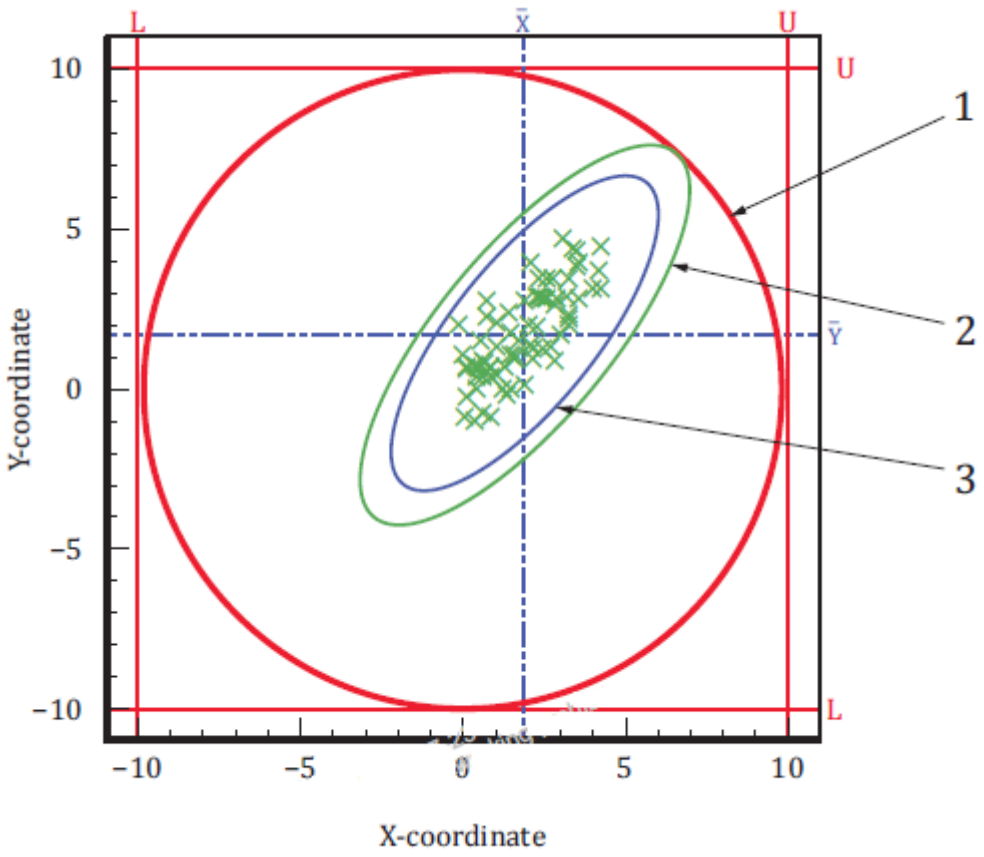
۱. منطقه رواداری بیضی

۲. بیضی کانتور برای محاسبه‌ی شاخص کیفیت

۳. بیضی کانتور مربوط به منطقه تحمل ٪۹۹/۷۳

شکل ۲ - بیضی کانتور و منطقه رواداری مورد استفاده در محاسبه شاخص کیفیت برای d=2

در شکل ۱، بیضی کانتور با احتمال ٪۹۹/۷۳ به طور کامل در کانتور مورد استفاده در محاسبه‌ی شاخص موجود است. در این حالت، شاخص، بزرگ‌تر از ۱ خواهد بود. نماد C_{p} برای این شاخص، مشابه با شاخص کیفیت کلاسیک برای توزیع نرمال تک متغیره، استفاده می‌شود. به این دلیل که این روش محاسبه در حالت یک بعدی، شاخص C_{p} کلاسیک را می‌دهد. که در پیوست الف-۱ توضیح داده شده است.



کلید

۱. منطقه رواداری بیضی

۲. بیضی کانتور برای محاسبه‌ی شاخص C_{pk}

۳. بیضی کانتور مربوط به منطقه تحمل ٪۹۹/۷۳

شکل۳- بیضی کانتور و منطقه رواداری مورد استفاده در محاسبه شاخص کیفیت برای d=2

محاسبه‌ی شاخص C_{pk}، شامل هر دو میانگین و واریانس توزیع می‌باشد، بنابراین یک توزیع نرمال d- بعدی را با میانگین μ و ماتریس Σدر نظر می‌گیریم. برای توزیع $N_d(\mu,\Sigma)$،

- بزرگترین بیضوی کانتور (بیضی- بیضی هایپر) که به طور کامل در منطقه رواداری بیضی قرار داشته باشد، اگر μ در منطقه رواداری باشد، یا
- بزرگترین بیضوی کانتور (بیضی، بیضی هایپر) که در منطقه رواداری قرار نداشته باشد، اگر μ در منطقه رواداری نباشد، محاسبه می‌شود.

اکنون، احتمال P، مساحت (حجم) موجود در بیضوی کانتور (بیضی، بیضی هایپر) تحت توزیع $N_d(\mu,\Sigma)$ محاسبه می‌شود. در نهایت، شاخص C_{pk} به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$C_{pK} = \frac{1}{3}\Phi^{-1}\left(\frac{P+1}{2}\right)$$

اگر μ در منطقه رواداری باشد. و به صورت:

$$C_{\mathrm{p}K} = \frac{1}{3}\phi^{-1}(\frac{1-P}{2})$$

اگر μ در منطقه رواداری نباشد.

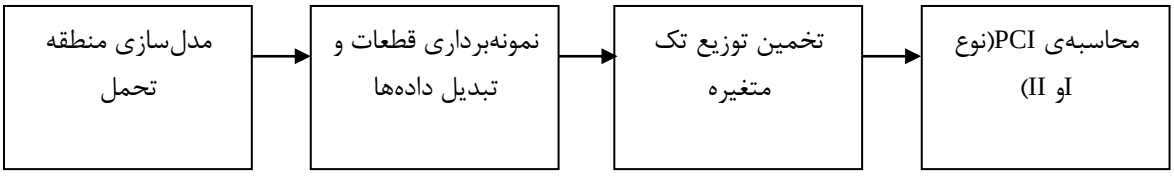
نماد مشابه با شاخص کلاسیک $C_{\mathrm{p}K}$، برای توزیع نرمال یک - بعدی استفاده می‌شود. به این دلیل که، این روش محاسبه، شاخص کلاسیک در حالت یک- بعدی را به دست می‌دهد، که در پیوست الف-۱ توضیح داده شده است.

یادآوری ۱ - نوع 1a تعریف شده، دارای کاربردهایی در ابعاد هندسی و رواداری انحرافات موقعیت می‌باشد. در اینجا، منطقه رواداری معمولاً منطقه رواداری دایره‌ای را تعریف می‌کند. نمادها اغلب در حالت C_{p_0} و C_{p_0K} برای C_{p} و $C_{\mathrm{p}K}$ استفاده می‌شوند.

۳-۷ شاخص کیفیت فرایند نوع Icو IIc:

شاخص کیفیت نوع Icبه علاوه‌ی نوع II، به وسیله‌ی انتقال تابع گرا[1] از ویژگی‌های با خصوصیات چندگانه به ویژگی‌های یگانه، شناسایی می‌شوند. توسط آن نوع، جنبه‌ی چندمتغیره، در تعریف تابع انتقال $q(x)$ بیان می‌شود، که در آن x توصیف کننده‌ی کمیت چندمتغیره می‌باشد. این انتقال باید اهمیت کمیت‌های یگانه در x و اثر متقابل آنها را نشان دهد. برای مثال، این انتقال، مدلی برای منطقه رواداری تعریف می‌کند و می‌تواند به عنوان تابع وزن تفسیر شود، به عنوان مثال تابع اتلاف[2] یا تابع کمیتی که کمیت قابلیت‌های فنی را تعیین می‌کند.

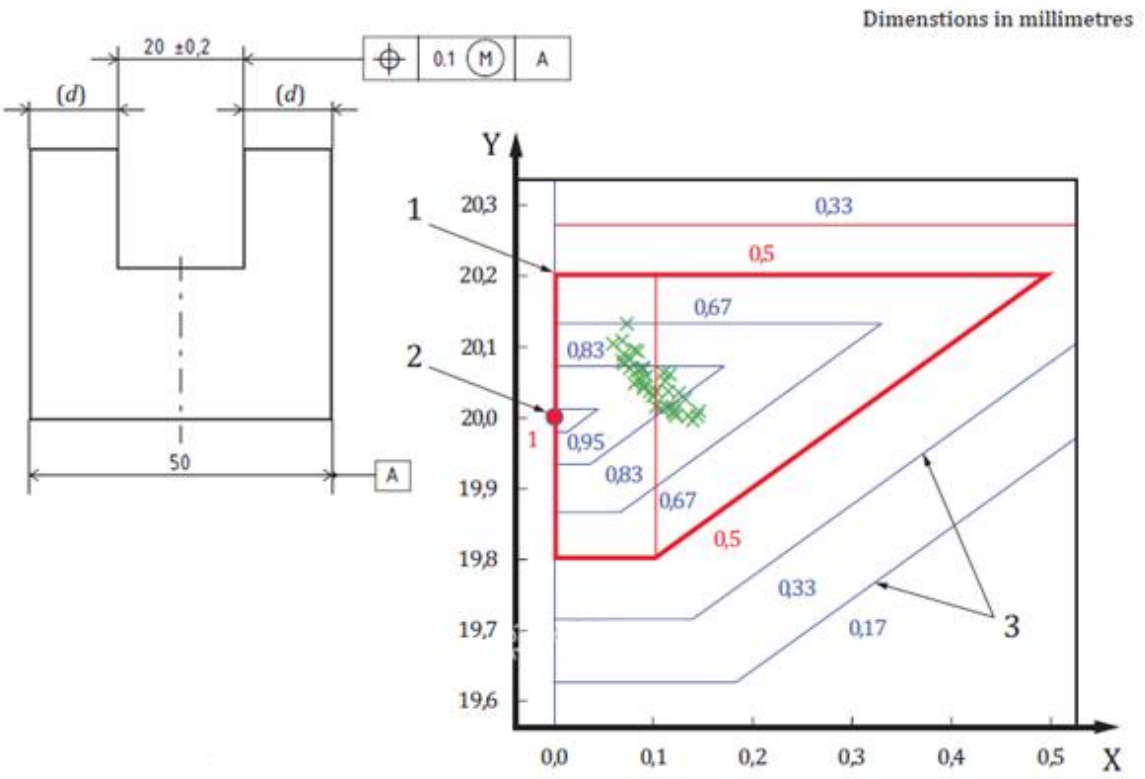
محاسبه‌ی شاخص‌های نوع Ic و IIc برای ۴ مرحله در زیر آمده است؛ شکل ۴.



شکل۴- مراحل محاسبه‌ی شاخص‌های کیفیت فرایند نوع IcیاIIc

مرحله‌ی اول مربوط به تعریف تابع کیفیت فنی $q(x)$ در منطقه رواداریd- بعدی می‌باشد. این تابع یک بیشینه با مقدار $q_{\max}$ در هدف در منطقه رواداری دارد. در مرز منطقه رواداری، $q(x)$ مقدار q_{bound} را دارد. در بعضی موارد، مقادیر $q_{\max}$ و q_{bound} را می‌توان از زمینه‌های فنی تمامی مقادیر منفرد در x، به دست آورد. در بعضی موارد، مقادیر مناسب $q_{\max} = 1$ و $q_{\mathrm{bound}} = 0.5$ می‌باشند. تابع $q(x)$، ممکن است در یک رابطه بسته یا تکه‌ای تشکیل شده، بیان شود. یک مثال برای تابع خطی تکه‌ای تشکیل شده، در شکل ۵ داده شده است.

1-function-oriented transformation
2-loss function



کلید

X موقعیت

Y عرض

۱. کانتور – q_{bound} ؛ محدودیت‌های منطقه رواداری

۲. $q_{\max} = 1$، هدف

۳. $q(x)$ خطوط کانتور

شکل۵– مثالی از تابع کیفیت برای منطقه رواداری عرض/تقارن تحت MMC

در شکل ۵، کمیت چندمتغیره شامل ۲ خصوصیت هندسی است: عرض و موقعیت. منطقه رواداری با استفاده از شرط بیشینه مواد[1]، به شکل کامپوزیت مستطیلی و مثلثی می‌باشد. توضیحات بیشتر در رابطه با مثال در عبارت ۸ داده شده است. هدف $q_{\max} = 1$، در مقادیر اسمی واقع شده است. از آن نقطه، تابع کیفیت، نسبت به حدود رواداری، کاهش می‌یابد. به این ترتیب، ممکن است روندهای متفاوتی تعریف شوند: خطی، نمایی و غیره. در شکل ۵، تابع $q(x)$، از سه تابع خطی تشکیل شده است. همچنین ساختارهای کاملاً متفاوت $q(x)$، محتمل هستند.

در مرحله‌ی دوم، بخش‌های تولید شده باید نمونه‌برداری و اندازه‌گیری شوند. سپس مقادیر اندازه‌گیری شده باید از کمیت چند متغیره x پیروی کرده و توسط $q(x)$ به مقادیر کیفیت مربوط به تابع[2]، انتقال داده شوند.

1-maximum-material-condition

2-function-related qualification values

در مرحله سوم، بر اساس این مقادیر، تابع توزیع تک متغیره مناسب $F(q)$ باید شناسایی شود. یا ممکن است انتقال دوم به نرمال تک متغیره، انجام شود. در صورتی که تابع کیفیت $q(x)$، به طور یکنواخت از مرز تا هدف افزایش یافته و بردار X اتفاقی از نرمال تک متغیره پیروی کند، چگالی توزیع $F(q)$، یک وجهی خواهد بود.

در مرحله چهارم، بر اساس توزیع شناخته شده مقادیر کیفیت، هدف منتقل شده و حدود مشخصه، PCI محاسبه می‌شود. اگر $q_{\max} = 1$ و $q_{\text{bound}} = 0.5$ انتخاب شوند، ۰/۵کمترین حد مشخصه و ۱ بیشترین حد طبیعی[1] را می‌دهد. به علت اینکه qتنها یک بازه‌یتحمل یک طرفه و یک توزیع محدود یک طرفه ارائه می‌دهد، تنها C_{pK} برای ارزیابی فرایند استفاده می‌شود.

در صورت وجود شاخص نوع I، C_{pK} مشابه با بند ۳-۲-۷ محاسبه می‌شود. احتمال P از توزیع تک متغیره $F(q)$ توسط $P = 1 - F(q_{bound})$ به دست می‌آید.

برای محاسبه‌ی شاخص نوع II، روش‌های موجود دراستاندارد بین‌المللی ISO 22514-2 می‌توانند استفاده شوند. بر اساس تعریف $C_{\text{pK}L}$، توسط انتخاب X_{mid} به عنوان میانه‌ی $F(q)$، انتخاب L به عنوان q_{bound} و $\Delta L = X_{\text{mid}} - X_{0.135\%}$، معادله‌ی C_{pK}به صورت زیر به دست می‌آید:

$$C_{\text{pK}} = \frac{q_{50\%} - q_{\text{bound}}}{q_{50\%} - q_{0.135\%}}$$

که $q_{\text{x\%}}$ بیان کننده‌ی $F(q)$درصدی از $x\%$ − می‌باشد.

به دلیل اینکه، C_{pK} حامل اطلاعاتی در رابطه با پراکندگی و مکان فرایند در ارتباط با حد تحمل q_{bound} می‌باشد، ممکن است نیاز به یک شاخص تنها برای اطلاعاتی درباره‌ی نوسان[2] باشد. C_{p} می‌تواند با استفاده از روش‌های موجود دراستاندارد بین‌المللی ISO 22514-2 محاسبه شود. اما به دلیل اینکه مقدار هدف q مقدار بیشینه است، C_{p} ممکن است کمتر از C_{pK} باشد.

اگر در مرحله‌ی ۱، تابع اتلاف $l(x)$ به جای تابع کیفیت تعریف شود، تابع مقداری کمینه $l_{\min}$ در هدف عملکردی[3] و مقدار l_{bound} در حدود منطقه رواداری را خواهد داشت. اگرچه این تابع در اصل بدین معنا نیست، فاصله D محورهای گمانه[4] از موقعیت هدف، می‌تواند به صورت تابع- $l(x)$ تعریف شود. این تابع دارای مقدار کمینه‌ی $l_{\min} = 0$در هدف و l_{bound} در نصف رواداری منطقه می‌باشد. منطقه رواداری، یک دایره است.

1-natural limit
2-variation
3-functional target
4-borehole

۷-۴ شاخص کیفیت فرایند نوع Ia و IIa:

۷-۴-۱ کلیات

شاخص‌های کیفیت فرایند چندمتغیره‌ی نوع II از اصل مرتبط‌سازی اندازه منطقه رواداری به اندازه تغییر فرایند، پیروی می‌کنند. این اندازه‌ها در مساحت یا حجم بیان می‌شوند. مساحت یا حجم منطقه رواداری توسط V_{tol} نشان داده شده و V_{proc}، مساحت یا حجم منطقه تغییر فرایند را نشان می‌دهد. بنابراین برای یک شاخص، به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$C_{\mathrm{p}} = [\frac{V_{\mathrm{tol}}}{V_{\mathrm{proc}}}]^{a}$$

توان a بیانگر احتمال کاهش مساحت یا حجم به یک بعد می‌باشد. بنابراین، a معمولاً $a = 1/d$ است. در غیر اینصورت $a = 1$ تنظیم می‌شود.

به منظور ایجاد مساحت و حجم‌های قابل مقایسه، انتقال شکل مناطق ضروری است. شاخص‌های نوع IIa، منطقه رواداری اصلی را به منطقه رواداری اصلاح شده منتقل می‌کنند که به شکل منطقه تغییر فرایند (برای مثال، بیضوی/ بیضی/ بیضی هایپر در حالت توزیع نرمال چندمتغیره) می‌باشد. برای شاخص‌های نوع IIb، انتقال برای منطقه تغییر فرایند ایجاد می‌شود. در این حالت، شکل منطقه تغییر فرایند بر شکل منطقه روادری، منطبق می‌شود. مقایسه‌های بین IIa و IIb، در مرجع ۹ داده شده است.

به دلیل اینکه این شاخص، تنها اطلاعاتی در رابطه با پراکندگی[1] فرایند در ارتباط با رواداری می‌دهد، شاخصی که توسط یک یا چند شاخص پشتیبانی شود، ممکن است اطلاعاتی را درباره‌ی مکان بردار متوسط μ در ارتباط با هدف دهد.

۷-۴-۲ نوع IIa:

منطقه رواداری اصلاح شده، باردیگر به صورت بیضوی بزرگ (یا بیضی، بیضی هایپر) تعریف می‌شود که در هدف متمرکز شده و به طورکامل در منطقه رواداری اصلی موجود است. شکل۲ و شکل ۳.

در مورد منطقه رواداری که پارامترهای آن $x_{t1}, x_{t2}, \dots x_{td}$، نصف فاصله از حد رواداری تا هدف را نشان می‌دهد، حجم V_{tol} توسط رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$V_{tol} = \frac{\pi^{d/2}}{\Gamma\left(1+\frac{d}{2}\right)} . \prod_{i=1}^{d} x_{ti}$$

برای تخمین C_P، حجم ٪۹۹/۷۳ بیضی، باید به صورت زیر تخمین زده شود:

$$V_{proc} = \frac{(\pi . \chi^2_{99.73})^{d/2}}{\Gamma\left(1+\frac{d}{2}\right)} . \sqrt{|S|}$$

$|S|$تعیین کننده‌ی S است (پیوست الف). این شاخص، توسط مقدار $1/D$، به منظور دادن اطلاعاتی درباره‌ی مکان فرایند در ارتباط با هدف μ_0، پشتیبانی می‌شود. D به صورت زیر تخمین زده می‌شود:

$$\widehat{D} = \sqrt{1 + \frac{n}{n-1}(x-\mu_0)^T S^{-1}(x-\mu_0)}$$

1-Variance

هر دو در مقدار C_{pm} ترکیب شده و به صورت زیر تخمین زده می‌شوند:

$$C_{\mathrm{pm}} = \frac{V_{tol}}{V_{proc}} . \frac{1}{D}$$

مثال‌هایی برای این PCI در مرجع ۷ تعریف شده است.

۷-۴-۳ نوع IIb

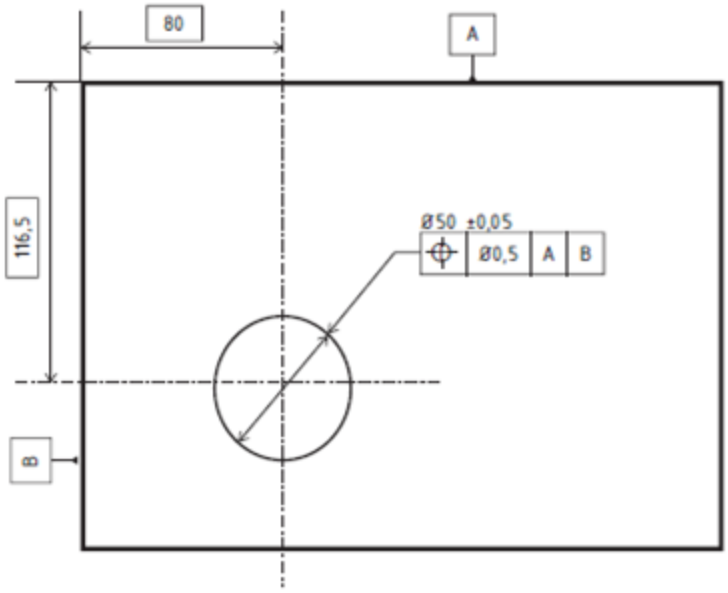
نوع IIb PCI، در مرجع ۸ تعریف شده است. شکل بیضوی بازه‌ی تغییر فرایند به شکل منطقه رواداری، انتقال داده می‌شود. در حالت منطقه رواداری مستطیلی (مکعب یا مکعب هایپر)، کوچکترین مستطیل (مکعب، مکعب هایپر) در برگیرنده‌ی بیضوی داده شده است (بیضی، بیضی هایپر) که بر اساس بازه‌های طرح بیضوی (بیضی، بیضی هایپر) از هر L و U بعد، PCIتعریف می‌شود.

۸ مثال‌ها

۸-۱ رواداری‌های دو- بعدی

۸-۱-۱ شاخص نوع Ia

در بخش تولید، نقطه‌ی میانی از یک سوراخ حفر شده، اندازه‌گیری می‌شود. ارزش اسمی برابر با $8mm$ در جهت X و $116/5mm$- در جهت Y، در شکل ۶ نشان داده شده است. قطر سوراخ به صورت ۵۰Ø با رواداری $\pm 0.05\ mm$ داده شده است. اطلاعات در رابطه با رواداری‌های هندسی دراستاندارد بین‌المللی ISO 1101 داده شده است.



شکل۶- کار اندازه‌گیری موقعیت یک سوراخ است

صد مجموعه از مقادیر قطعات تولید شده، اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

مقادیر X و Y در شکل ۸، رسم شده و بازه‌ی تغییر محاسبه شده است. روش مورد استفاده در محاسبه‌ی بازه، درپیوست الف آمده است.

تعداد قطعات اندازه‌گیری شده $n = 100$

حدود مشخصه:

$L_X = 79.750$ $\quad U_X = 80.250$

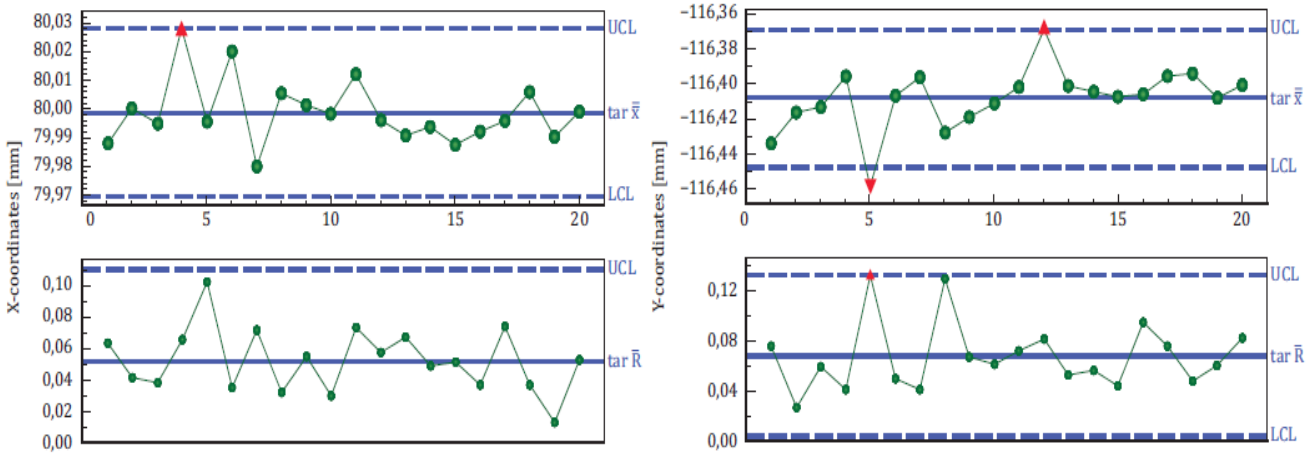
$L_Y = -116.750$ $\quad U_Y = -116.250$

جدول۱- مقادیر اندازه‌گیری شده و انحراف محاسبه شده

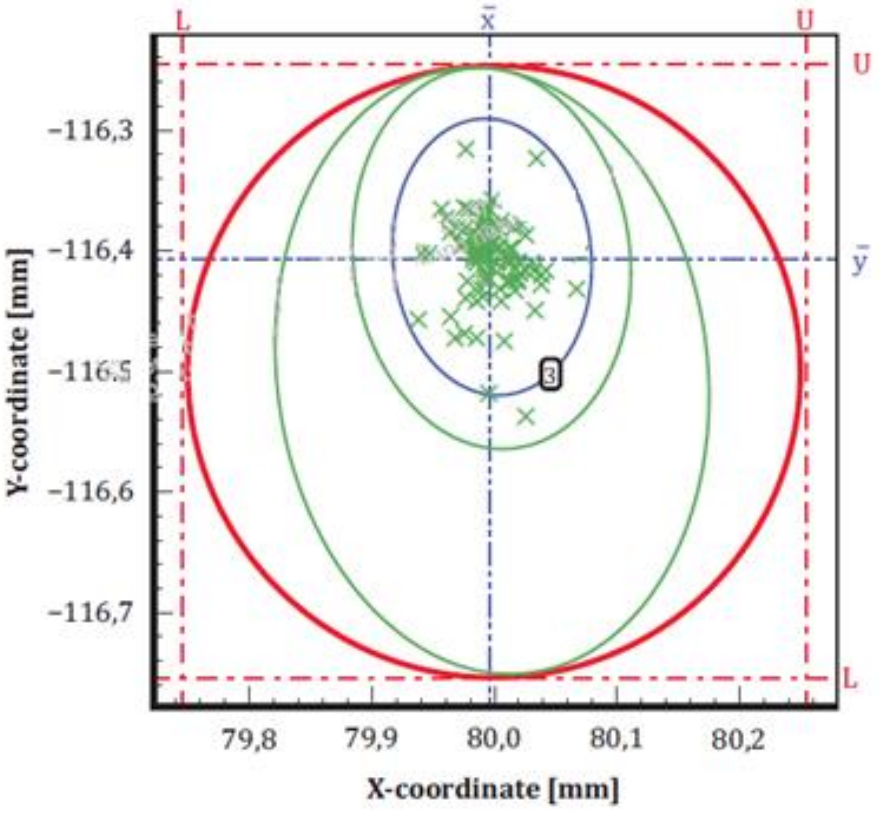
Nr.	dev. *D*	X-coord.	Y-coord.	Nr.	dev. *D*	X-coord.	Y-coord.	Nr.	Dev *D*	X-coord.	Y-coord.
1	0,038	79,976	−116,470	36	0,090	79,995	−116,410	71	0,107	79,986	−116,394
2	0,094	79,993	−116,406	37	0,097	80,002	−116,403	72	0,073	80,016	−116,429
3	0,086	80,031	−116,420	38	0,113	80,027	−116,390	73	0,069	79,995	−116,431
4	0,041	79,968	−116,475	39	0,021	79,995	−116,520	74	0,108	79,975	−116,395
5	0,105	79,973	−116,399	40	0,085	80,010	−116,416	75	0,118	79,965	−116,387
6	0,092	79,983	−116,410	41	0,110	80,005	−116,390	76	0,122	79,971	−116,382
7	0,099	80,008	−116,401	42	0,081	80,004	−116,419	77	0,119	79,978	−116,383
8	0,086	80,014	−116,415	43	0,055	79,966	−116,457	78	0,118	79,999	−116,382
9	0,075	80,020	−116,428	44	0,097	80,013	−116,404	79	0,024	80,008	−116,477
10	0,076	79,979	−116,427	45	0,078	80,021	−116,425	80	0,094	80,005	−116,406
11	0,064	79,978	−116,440	46	0,118	79,989	−116,383	81	0,056	80,007	−116,444
12	0,086	80,016	−116,416	47	0,111	79,988	−116,390	82	0,093	80,032	−116,413
13	0,067	79,990	−116,434	48	0,057	79,987	−116,445	83	0,139	79,958	−116,368
14	0,120	79,992	−116,380	49	0,101	80,012	−116,400	84	0,122	79,990	−116,378
15	0,103	79,999	−116,397	50	0,067	80,017	−116,435	85	0,126	79,994	−116,374
16	0,119	80,016	−116,382	51	0,099	80,000	−116,401	86	0,089	80,029	−116,416
17	0,086	80,038	−116,423	52	0,101	79,995	−116,399	87	0,110	80,000	−116,390
18	0,118	80,018	−116,383	53	0,139	79,999	−116,361	88	0,084	80,010	−116,417
19	0,116	80,005	−116,384	54	0,086	80,002	−116,414	89	0,121	80,000	−116,379
20	0,118	80,071	−116,406	55	0,095	80,068	−116,433	90	0,131	79,992	−116,369
21	0,072	79,941	−116,458	56	0,103	79,990	−116,397	91	0,122	79,992	−116,378
22	0,097	79,984	−116,404	57	0,178	80,035	−116,325	92	0,062	79,990	−116,439
23	0,029	79,986	−116,475	58	0,107	79,980	−116,395	93	0,098	79,999	−116,402
24	0,093	80,043	−116,418	59	0,182	79,978	−116,319	94	0,086	79,986	−116,415
25	0,047	80,027	−116,538	60	0,099	80,000	−116,401	95	0,097	79,986	−116,404
26	0,090	80,031	−116,415	61	0,080	79,995	−116,420	96	0,092	80,020	−116,410
27	0,097	80,005	−116,403	62	0,133	79,996	−116,367	97	0,095	79,984	−116,406
28	0,122	80,024	−116,380	63	0,088	80,000	−116,412	98	0,133	79,980	−116,369
29	0,081	80,040	−116,430	64	0,107	79,948	−116,406	99	0,132	79,981	−116,369
30	0,094	80,006	−116,406	65	0,101	80,015	−116,400	100	0,058	80,033	−116,452
31	0,099	79,986	−116,402	66	0,081	79,990	−116,420				
32	0,094	79,982	−116,408	67	0,087	80,009	−116,413				
33	0,111	79,942	−116,405	68	0,067	80,004	−116,433				
34	0,135	79,975	−116,367	69	0,130	79,960	−116,376				
35	0,103	80,014	−116,398	70	0,121	80,007	−116,379				

بر اساس مقادیر داده شده در جدول ۱، دو مجموعه از نمودارهای کنترل، ساخته شد.

نمودار کنترل برای مختصات x و y، فرایند خارج از کنترل را نشان می‌دهد. بنابراین، تنها عملکرد فرایند، می‌تواند محاسبه شود.



شکل۷- نمودارهای کنترلX و R برای مختصات X و مختصات Y



شکل۸- ارائه گرافیکی رواداری‌های موقعیت با منطقه مرجع (۳) و رواداری مشخصه

نتایج:

شاخص عملکرد فرایند: $\hat{P}_P = 2.43$

شاخص عملکرد کمینه: $\hat{P}_{\mathrm{pK}} = 1.48$:

حدود بازه‌ی اطمینان ٪۹۵ برای P_p ، به صورت $\hat{P}_{P,low} = 1.99$ و $\hat{P}_{P,up} = 2.88$ محاسبه می‌شود.

برای P_{pK}:

$\hat{P}_{P,up} = 1.48$ و $\hat{P}_{P,low} = 1.99$

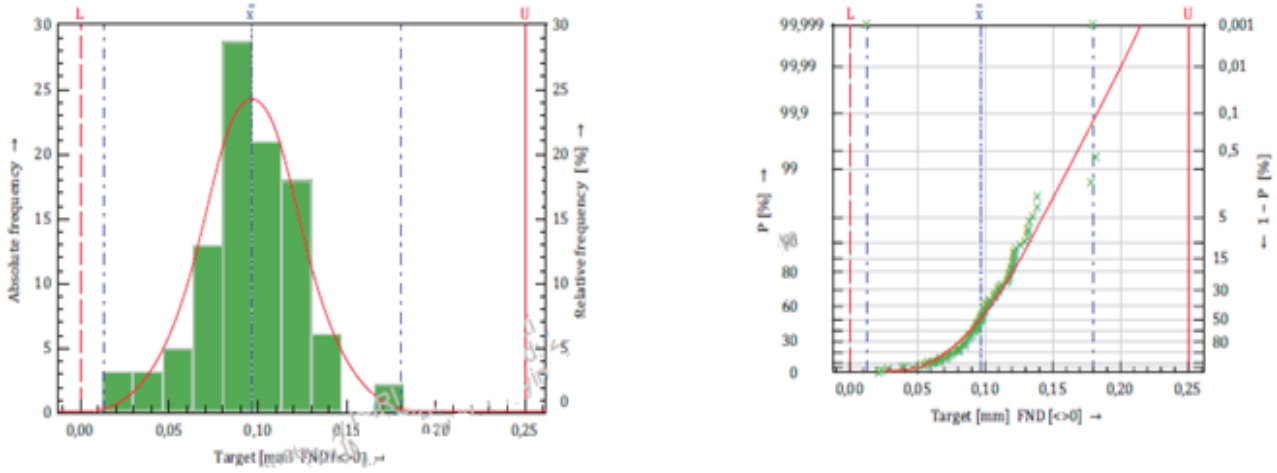
۸-۲-۱ شاخص IIc توسط محاسبه شاخص کیفیت با استفاده از فاصله از هدف

مکان هدف $(x_0, y_0) = (80, -116.5)$، برای مرکز سوراخ، در شکل ۶ مشخص می‌شود. مکان هر(x, y)، اندازه‌گیری می‌شود. مختصات (x, y)، مرکز سوراخ حفر شده را نشان می‌دهد. انحراف از مکان هدف:

$$D = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$$

مقادیر محاسبه شده‌ی واقعی برای فاصله‌ی D، در جدول ۱ داده شده است.

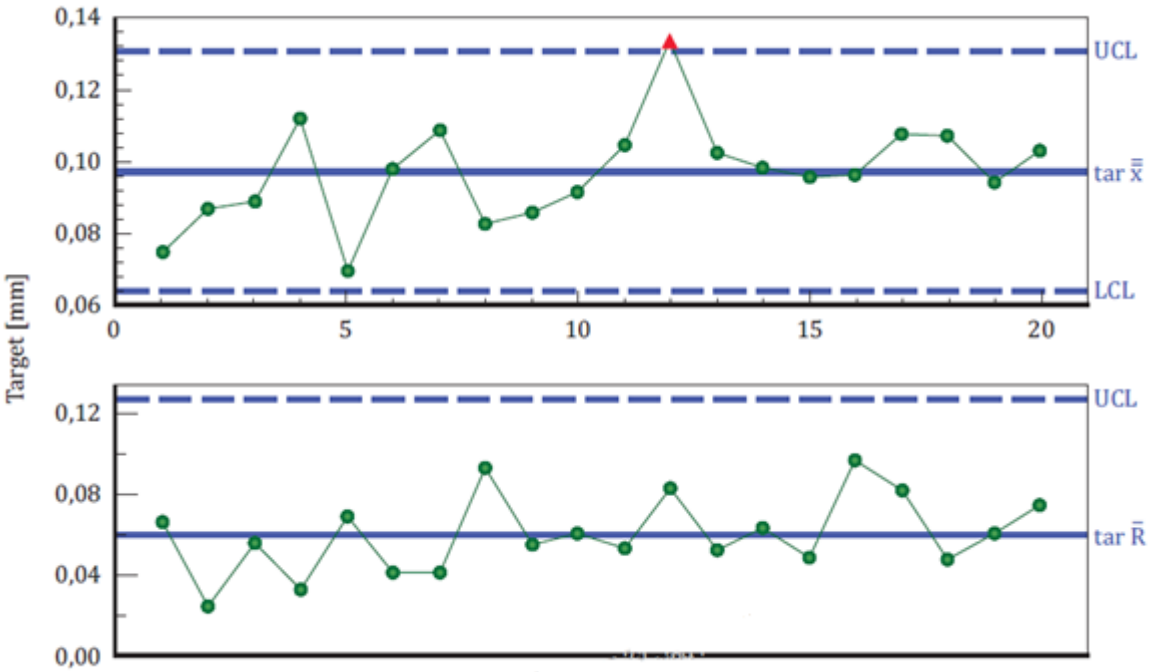
تمام انحرافات در یک هیستوگرام رسم شده است که در شکل ۹ نشان داده شده است. انحراف بیشینه‌ی مجاز ۰/۲۵mm می‌باشد، زیرا منطقه رواداری، دایره‌ای است با قطر ۰/۵mm که در هدف متمرکز شده است. انحراف بیشینه‌ی مجاز، شعاع دایره است.



شکل۹- نمودار هیستوگرام و احتمال

درصورتی‌که محصول در اطراف هدف متمرکز باشد، مدل توزیع برای مجموعه داده‌های واقعی، توزیع ریلیق[1] خواهد بود. هرچند، در حالت خاصی که همه‌ی مقادیر بالای هدف قرار دارند، توزیع نرمال به صورت بهتری منطبق می‌شود.

1-Rayleigh distribution



شکل۱۰- نمودار کنترل

داده‌های موجود در نمودار کنترل از خود ثبات نشان نمی‌دهند (شکل ۱۰). در این موارد، تنها یک شاخص احتمال P_{pK}، می‌تواند محاسبه شود.

محاسبه‌ی شاخص‌های کیفیت:

- شاخص قابلیت، به دلیل عدم وجود حد مشخصه‌ی پایینی، نمی‌تواند محاسبه شود.

شاخص قابلیت حداقل:

$$\hat{C}_{\mathrm{PoKu}} = \frac{\mathrm{U} - \mathrm{D}_{50\%}}{\mathrm{D}_{99.865\%} - \mathrm{D}_{50\%}} = \frac{0.25 - 0.096}{0.181 - 0.096} = 1.81$$

۸-۲ موقعیت و بعد یک شکاف[1]

شکاف باید در قسمتی مشابه آنچه در شکل ۵ نشان داده شده است، قرار داده شود. تابع فنی، باید بخش دوم را به موقعیت مشخصی ببرد. عرض شیار ۰/۲mm ± ۲۰ می‌باشد. برای اطمینان از انطباق صحیح بخش‌ها، رواداری موقعیت برای یک شکاف در ارتباط با ‹‹A›› زمانی که بعد شکاف در اندازه ماده‌ی بیشینه‌ی (۱۹/۸mm) خود است، ۰/۱mmداده شده است. حالت بیشینه‌ی ماده توسط نماد Ⓜ نشان داده می‌شود. در نتیجه، در صورتی‌که در یک بخش، انحراف موقعیت شکاف بیشتر از مقدار ۰/۱mm بوده و اختلاف بین عرض واقعی شکاف و اندازه ماده بیشینه نباشد، همچنان می‌تواند قابل قبول باشد. منطقه رواداری، در وضعیتی که شرط بیشینه‌ی ماده به کار برده نشود، توسط مستطیل موجود در نمودار شکل ۵، داده شده است. رواداری بالای حاصل از MMC، توسط گسترش مثلث عمود از آن مستطیل، نشان داده شده است.

1-slot

در مرحله‌ی اول، $q(x)$ برای کمیت چندمتغیره xتعریف شده است که عرض=x_1و موقعیت =x_2 است. تابع انتخاب شده متشکل از سه تابع خطی می‌باشد: q_i، i= 1, 2, 3 از نوع $q_i = a_{1i}x_1 + a_{2i}x_2 + a_{0i}$. ضرایب آنها برای مقادیر مناسب، به منظور به دست آوردن $q_{max} = 1$ در هدف و$q_{bound} = 0.5$ در حدود رواداری، تنظیم شده‌اند.

جدول۲- مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر کیفیت محاسبه شده

No.	q	Width mm	Position mm	No.	q	Width mm	Position mm	No.	q	Width mm	Position mm
1	0,744	20,102	0,06	18	0,828	20,069	0,09	35	0,862	20,033	0,116
2	0,845	20,062	0,11	19	0,899	20,04	0,091	36	0,879	20,027	0,1
3	0,858	20,016	0,102	20	0,807	20,007	0,123	37	0,671	20,131	0,074
4	0,846	20,035	0,127	21	0,838	20,065	0,083	38	0,865	20,026	0,107
5	0,829	20,068	0,075	22	0,781	20,087	0,071	39	0,897	20,035	0,097
6	0,906	20,038	0,091	23	0,866	20,053	0,09	40	0,777	20,001	0,135
7	0,763	20,002	0,144	24	0,888	20,045	0,096	41	0,771	20,009	0,146
8	0,789	20,084	0,074	25	0,897	20,041	0,102	42	0,823	20,026	0,132
9	0,798	20,001	0,122	26	0,768	20,093	0,084	43	0,84	20,012	0,108
10	0,797	20,081	0,069	27	0,824	20,07	0,084	44	0,832	20,01	0,111
11	0,841	20,063	0,09	28	0,85	20,06	0,116	45	0,875	20,05	0,112
12	0,874	20,05	0,085	29	0,825	20,07	0,091	46	0,884	20,031	0,101
13	0,731	20,108	0,068	30	0,843	20,063	0,097	47	0,894	20,042	0,091
14	0,792	20,083	0,076	31	0,843	20,063	0,114	48	0,852	20,018	0,106
15	0,763	20,095	0,081	32	0,818	20,073	0,07	49	0,832	20,025	0,126
16	0,888	20,045	0,081	33	0,9	20,036	0,096	50	0,854	20,058	0,091
17	0,815	20,008	0,119	34	0,755	19,992	0,139				

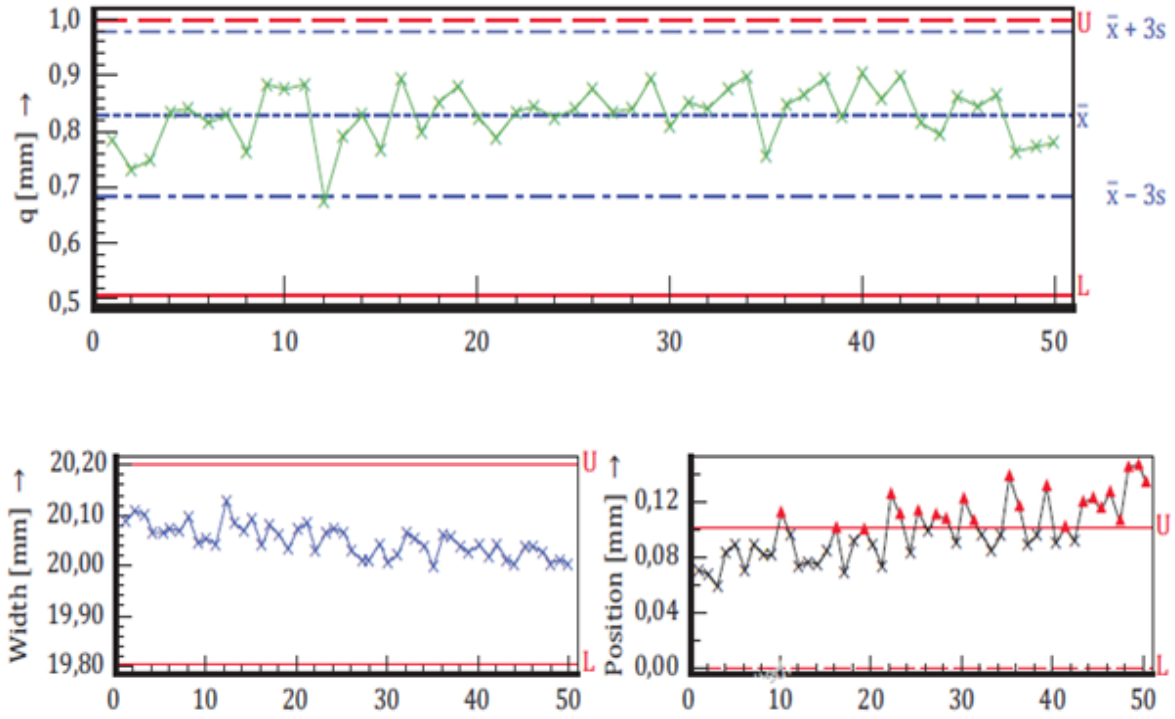
Licensed by Ali Keshavarz ... Downloaded at: ... NUMS ... for non-commercial use only, copying and distribution prohibited.

در مرحله‌ی دوم، داده‌های فرایند برای x به دست می‌آید. به منظور اثبات اهداف، به عنوان مثال ۵۰ مقدار به دست آمده از فرایند فرزدر نظر گرفته می‌شود. مقادیر اندازه‌گیری شده برای عرض و موقعیت، در جدول ۲ به طور خلاصه آمده است. برای هر نقطه، مقدار تابع کیفیت $q(x_1, x_2)$ مرتبط، محاسبه می‌شود. داده‌ها در نمودار شکل ۵ و همچنین در نمودار مقادیر منفرد در شکل۱۱، نشان داده شده‌اند.

به وسیله‌ی شکل ۵ می‌توان مشاهده کرد که عرض و انحراف در موقعیت، مرتبط هستند. مقادیر بالا برای عرض به همراه مقادیر کمتر برای موقعیت وجود دارند. نمودارهای پایین در شکل ۱۱، نشان می‌دهند که فرایند در مقادیر بالا برای عروض و در مقادیر .spec برای موقعیت، آغاز می‌شود. احتمالاً به دلیل سایش ابزار یا سایر تأثیرات سیستماتیک، مقادیر عروض، کاهش و مقادیر موقعیت افزایش می‌یابند. افزایش مقادیر موقعیت، از حد رواداری ۰/۱mm فراتر رفته و باعث استفاده از رواداری اضافی[1] به دلیل شرط ماده‌ی بیشینه،

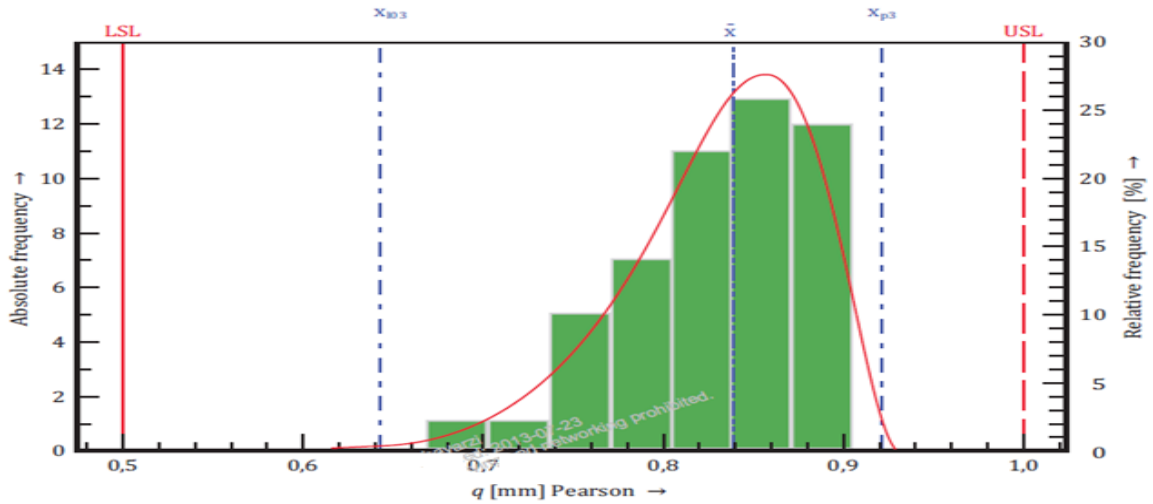
1-bonus

می‌شود. نمودار بالایی در شکل ۱۱، یک سری از مقادیر q را نشان می‌دهد. این مقادیر، با حرکت بردار فرایند در جهت هدف، به طور جزئی افزایش می‌یابند. با نزدیک شدن حد رواداری، بار دیگر کاهش می‌یابند.



شکل۱۱– نمودارهای مقدار منفرد برای مقادیر کیفیت (گراف بالا)، مقادیر عرض (گراف چپ پایین) و موقعیت (گراف راست پایین)

در مرحله سوم، توزیع مقادیر q شناسایی می‌شود. اگرچه ممکن است توزیع عرض و موقعیت، به دلیل روندها، نرمال نباشد، اما توزیع مقادیر q به دست می‌آید. شکل ۱۲ تابع چگالی توزیع نوع پیرسون را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲– هیستوگرام و تابع چگالی توزیع شناخته شده برای q

بر اساس آن و حد رواداری $q_{\text{bound}} = 0.5$، نوع II- PCI می‌تواند به صورت زیر تخمین زده شود:
شاخص قابلیت نوع IIc:

$$\hat{P}_{\text{pK}} = \frac{\hat{\text{q}}_{50\%} - \text{q}_{\text{bound}}}{\hat{\text{q}}_{50\%} - \hat{\text{q}}_{0.135\%}} = \frac{0.8375 - 0.5}{0.8375 - 0.6414} = 1.72$$

به دلیل اینکه تعداد مقادیر اندازه‌گیری شده بسیار کوچکتر از آن هستند که تشخیص داده شوند، درصورتی که فرایند در حالت کنترل آماری باشد، شاخص عملکرد P_{pK} به جای شاخص قابلیت استفاده می‌شود.
برای محاسبه‌ی نوع II- PCI، درصد بخش‌های منطبق، مورد محاسبه قرار می‌گیرند. برای تشخیص توزیع پیرسون، نرخ خطا ppm۰/۰۱ می‌باشد.
شاخص قابلیت نوع Ic:

$$\hat{P}_{\text{pK}} = \frac{1}{3}\Phi^{-1}\left(\frac{0.999\,999\,990 + 1}{2}\right) = \frac{5.73}{3} = 1.91$$

متناوباً، در حالتی‌که نیاز متقابل برای عرض به کار برده شود (توسط افزودن ® در پشت ابعاد عرض در نقشه)، عبارت q_{i} می‌تواند ساده‌تر شود. با نظارت بیشتر بر عرض، می‌توان از عبارت $q = x_1 - 19.7 - x_2$ برای تعریف تابع کیفیت استفاده کرد. در آن حالت، $q_{\text{bound}} = 0$ به کار برده شده و در بخش‌های منطبق $q > 0$ می‌باشد.

$$\hat{P}_{\text{pK}} = \frac{\hat{X}_{50\%} - L}{\hat{X}_{50\%} - \hat{X}_{0.135\%}} = \frac{0.249 - 0}{0.249 - 0.097}$$

پیوست الف

(اطلاعاتی)

استخراج فرمول‌ها

الف-۱ خواص مفید توزیع نرمال چندمتغیره در محاسبه‌ی شاخص‌های قابلیت

چگالی توزیع نرمال d- بعدی با میانگین μ و ماتریس کواریانس Σ.

$$f(x) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{d}{2}}|\Sigma|^{\frac{1}{2}}} \exp(-\frac{1}{2}(x-\mu)^T\Sigma^{-1}(x-\mu)), x \in R^d$$

اگر ماتریس کواریانس Σ مثبت معین باشد، معکوس آن Σ^{-1} موجود خواهد بود. در اینجا Xو μ، بردارهای d- بعدی و Σ ماتریس $d\times d$ است. بردارها، بردارهای ستونی بوده و T ترانهاده‌ی[1] ماتریس یا بردار است (به این معنا که ماتریس یا بردار جابجا شده‌اند)، برای مثال، xT به عنوان بردار سطری X نوشته می‌شود. توزیع نرمال d- بعدی با میانگین μ و ماتریس کواریانس Σ ،توسط $N_d(\mu,\Sigma)$ نشان داده می‌شوند. خطوط چگالی ثابت به صورت زیر هستند:

$$\{x|(x-\mu)^T£^{-1}(X-\mu) = c^2\}$$

و این خطوط، بازه‌هایی برای d=1، بیضوی برای d=2 و بیضی برای $d \geq 3$ می‌باشند.

احتمال اینکه مقدار فرایندها در ناحیه‌ی محدود ایجاد شده توسط خطوط بیضی‌ها وجود داشته باشد، توسط توزیع χ^2 در درجه آزادی d محاسبه می‌شود. اگر X از توزیع نرمال d- بعدی با میانگین μ و ماتریس کواریانس Σتبعیت کند، آنگاه:

$$P((x-\mu)^T£^{-1}(X-\mu) = c^2) = F_{\chi^2(d)}(c^2)$$

که $F_{\chi^2(d)}$، تابع توزیع توزیع χ^2 در در جه آزادی d را نشان می‌دهد.

این تابع در زیر، نشان می‌دهد که خط بیضی:

$$\left\{x\middle|(x-\mu)^T£^{-1}(X-\mu) = (\sqrt{F_{\chi^2(d)}{}^{-1}(P)})^2\right\}$$

مرز منطقه با احتمال p می‌باشد. در اینجا، $F_{\chi^2(d)}{}^{-1}(p)$، p- فراکتایل توزیع χ^2 در درجه آزادی d است.

این کمیت گاهی توسط $\chi_p^2(d)$ بیان می‌شود.

اگر $X_1, \dots, X_n$، نمونه‌ای از توزیع نرمال d- بعدی با میانگین μ و ماتریس کواریانس Σ آنگاه μ و Σ به صورت زیر تخمین زده می‌شوند:

$$\mu \leftarrow \hat{\mu} = \bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$$

1-transpose

$$\Sigma \leftarrow S = \hat{\Sigma} = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(x_i - \bar{x})^T$$

که ← به صورت ‹‹تخمین زده می‌شود توسط››، خوانده می‌شود.

الف-۲محرک[1] تعریف قابلیت چند متغیره

ابتدا شاخص C_p را در حالت یک بعدی در نظر بگیرید. بازه‌ی رواداری، بازه‌ی [L, U]است. $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ با $\mu = (U+L)/2$ در نظر بگیرید، برای مثال، توزیع در نقطه‌ی میانی بازه‌ی رواداری، متمرکز است.
احتمال اینکه مقدار فرایند در داخل بازه‌ی رواداری باشد:

$$\begin{aligned}
P &= P_{N((U+L)/2,\sigma^2)}(L < X < U) \\
&= P_{N((U+L)/2,\sigma^2)}\left(L - \frac{L+U}{2} < X - \frac{L+U}{2} < U - \frac{L+U}{2}\right) \\
&= P_{N((U+L)/2,\sigma^2)}\left(\frac{L-U}{2\sigma} < \frac{X - \frac{L+U}{2}}{\sigma} < \frac{U-L}{2\sigma}\right) \\
&= \Phi\left(\frac{U-L}{2\sigma}\right) - \Phi\left(-\frac{U-L}{2\sigma}\right) = \Phi\left(\frac{U-L}{2\sigma}\right) - \left[1 - \Phi\left(\frac{U-L}{2\sigma}\right)\right] \\
&= 2\Phi\left(\frac{U-L}{2\sigma}\right) - 1 = 2\Phi(3\mathrm{C_p}) - 1
\end{aligned}$$

$$C_p = \frac{1}{3}\Phi^{-1}\left(\frac{P+1}{2}\right)$$

که P احتمال این است که مقدار فرایند در داخل بازه‌ی رواداری توزیع نرمال که در نقطه‌ی میانی بازه‌ی رواداری و با پراکندگی σ^2 متمرکز شده است، قرار دارد.
سپس باردیگر شاخص‌های C_{pK}، C_{pKU} و C_{pKL} را در حالت یک بعدی در نظر بگیرید. اکنون، توزیع نرمالی با میانگین μ و پراکندگی σ^2 در نظر گرفته و فرض کنید که μ بزرگتر از $(U+L)/2$ اما کوچکتر از U است، برای مثال، μ در بازه‌ی رواداری قرار دارد اما μنزدیک به حد بالای بازه‌ی رواداری نسبت به حد پایین، می‌باشد. اکنون، احتمال بزرگترین بازه‌ای که در میانگین متمرکز شده و در بازه‌ی رواداری موجود می‌باشد را در نظر بگیرید. این بازه $[2\mu - U, U]$ می‌باشد.

$$\begin{aligned}
P &= P_{N(\mu,\sigma^2)}(2\mu - U < X < U) = P_{N(\mu,\sigma^2)}(2\mu - U - \mu < X - \mu < U - \mu) \\
&= P_{N(\mu,\sigma^2)}\left(\frac{\mu - U}{\sigma} < \frac{X-\mu}{\sigma} < \frac{U-\mu}{\sigma}\right) \\
&= \Phi\left(\frac{U-\mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(-\frac{U-\mu}{\sigma}\right) = \Phi\left(\frac{U-\mu}{\sigma}\right) - \left[1 - \Phi\left(\frac{U-\mu}{\sigma}\right)\right] \\
&= 2\Phi\left(\frac{U-\mu}{\sigma}\right) - 1 = 2\Phi(3C_{pKU}) - 1
\end{aligned}$$

1-motivation

$$C_{pKU} = \frac{1}{3}\Phi^{-1}(\frac{P+1}{2})$$

که μ بزرگتر از $(U+L)/2$ است و C_{pKU} کوچکتر از C_{pKL} بوده و

$$C_{pK} = \min\{C_{pKU}, C_{pKL}\} = C_{pKU}$$

در هر دو حالت، فرمول C_{pK} به صورت زیر است:

$$C_{pK} = \frac{1}{3}\Phi^{-1}(\frac{P+1}{2})$$

همچنان، P احتمال بزرگترین بازه‌ای است که در میانگین متمرکز شده و در بازه‌ی رواداری وجود دارد، اما، در این حالت، بازه $[L, 2\mu - L]$ می‌باشد.

باید در نظر گرفت که موقعیت μ در داخل بازه‌ی رواداری باشد. فرض کنید که μ بزرگتر از U است. همچنان، هدف محاسبه‌ی احتمال بازه‌ای است که در μ متمرکز شده و از مرز بازه‌ی رواداری نزدیک به μ، گسترش یافته است. در این حالت، بازه $[U, 2\mu - U]$ است.

$$\begin{aligned} P &= P_{N(\mu,\sigma^2)}(U < X < 2\mu - U) = P_{N(\mu,\sigma^2)}(U - \mu < X - \mu < 2\mu - U - \mu) \\ &= P_{N(\mu,\sigma^2)}\left(\frac{U-\mu}{\sigma} < \frac{X-\mu}{\sigma} < \frac{\mu - U}{\sigma}\right) = \Phi\left(\frac{\mu - U}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{U-\mu}{\sigma}\right) \\ &= 1 - \Phi\left(\frac{U-\mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{U-\mu}{\sigma}\right) = 1 - 2\Phi\left(\frac{U-\mu}{\sigma}\right) \\ &= 1 - 2\Phi(3C_{pKU}) \end{aligned}$$

$$C_{pKU} = \frac{1}{3}\Phi^{-1}(\frac{1-P}{2})$$

در این حالت، C_{pKU} کوچکتر از C_{pKL} بوده و

$$C_{pK} = \min\{C_{pKU}, C_{pKL}\} = C_{pKU}$$

در هر دو حالت، فرمول C_{pK} به صورت زیر است:

$$C_{pK} = \frac{1}{3}\Phi^{-1}(\frac{1-P}{2})$$

این ایده‌ی مربوط به گسترش این فرمول به شاخص‌های قابلیت برای توزیع نرمال چندمتغیره است تا جایگزین بازه‌ها توسط بیضوی برای توزیع نرمال دو بعدی و بیضی برای توزیع نرمال d- بعدی، زمانی‌که $d \geq 3$ است، شود.

توزیع نرمال d– بعدی را با ماتریس کواریانس Σ، در نظر بگیرید. به منظور محاسبه‌ی شاخص C_p، توزیع نرمال را برای داشتن میانگین در مرکز منطقه رواداری، متمرکز کنید. برای توزیع نرمال، بزرگترین خط بیضی که به طور کامل در منطقه رواداری موجود است را تعیین کرده و احتمال حجم محدود توسط خط بیضوی تحت توزیع نرمال d- بعدی با کواریانس Σ و میانگین متمرکز در منطقه رواداری، تعیین می‌شود. آن احتمال با P نشان داده می‌شود. شاخص C_p چندمتغیره:

$$C_p = \frac{1}{3}\Phi^{-1}(\frac{P+1}{2})$$

برای تخمین شاخص C_p از داده‌های d- بعدی، با تخمین ماتریس کواریانس توزیع نرمال چندمتغیره حاصل از داده‌ها، آغاز می‌شود. تخمین را توسط $\hat{\Sigma}$ نشان داده و از ماتریس کواریانس برای تعیین خط بیضی و احتمال آن $\hat{P}$ استفاده می‌شود. در نهایت، شاخص C_p چندمتغیره تخمین زده شده برابر است با:

$$\hat{C}_p = \frac{1}{3}\Phi^{-1}(\frac{\hat{P}+1}{2})$$

محاسبه‌ی شاخص C_{pK} شامل میانگین و پراکندگی توزیع می‌باشد، بنابراین، توزیع نرمال d- بعدی با میانگین μ و ماتریس کواریانس Σ را در نظر بگیرید. برای توزیع $N_d(\mu,\Sigma)$، اگر μ در منطقه رواداری وجود داشته باشد، بزرگترین خط بیضی که به طور کامل در منطقه رواداری موجود است، محاسبه می‌شود، یا اگر μ در منطقه رواداری موجود نباشد، بزرگترین خط بیضی، در منطقه رواداری نیست. اکنون، احتمال P از حجم موجود در خط بیضی، تحت توزیع $N_d(\mu,\Sigma)$ محاسبه می‌شود. در نهایت، شاخص C_{pK}، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$C_{pK} = \frac{1}{3}\Phi^{-1}(\frac{P+1}{2})$$

اگر μ در منطقه رواداری باشد، و به صورت زیر

$$C_{pK} = \frac{1}{3}\Phi^{-1}(\frac{1-P}{2})$$

اگر μ در منطقه رواداری موجود نباشد.

برای تخمین شاخص C_{pK} از داده‌های d- بعدی، با تخمین میانگین و ماتریس کواریانس توزیع نرمال چندمتغیره از داده‌ها، آغاز می‌کنیم. تخمین توسط $\widehat{\mu}$ و $\widehat{\Sigma}$ نشان داده می‌شود. اکنون، شاخص C_{pK} تخمین زده شده به صورت بالا است، اما با استفاده از توزیع $N_d(\hat{\mu},\hat{\Sigma})$ محاسبه می‌شود. فرمول به صورت زیر خوانده می‌شود:

$$\hat{C}_{pK} = \frac{1}{3}\Phi^{-1}(\frac{\hat{P}+1}{2})$$

اگر $\widehat{\mu}$ در منطقه رواداری باشد، و به صورت زیر

$$\hat{C}_{pK} = \frac{1}{3}\Phi^{-1}(\frac{1-\hat{P}}{2})$$

اگر $\widehat{\mu}$ در منطقه رواداری نباشد.

پیوست ب
(اطلاعاتی)
مثال عدم تعادل شفت[1]

ب-۱ مثال عدم تعادل

عدم تعادل اندازه‌ی اندازه‌گیری، انحرافات در توزیع جرم روتور از میزان ایده‌آل آن را بر اساس شکل محور روتور تعریف می‌کند. توزیع محوری عدم تعادل، توسط نشانه‌ی عدم تعادل در ارتباط با دو صفحه‌ی مختلف، ارزیابی می‌شود. انتخاب طرح روتور کنونی، اتفاقی است. هرچند، اشاره به رواداری عدم تعادل و مقدار عدم تعادل باقی‌مانده از صفحات مشابه، در اندازه‌گیری قابلیت فرایند حائز اهمیت است. به منظور تعاریف جامع‌تر و توضیحاتی از اندازه‌ی عدم تعادل، به توضیحات گسترده‌تر در استاندارد، مراجعه شود. بر اساس این استاندارد، اصطلاحات فنی در اینجا بدون تعاریف اضافی، استفاده می‌شوند.

تعداد روتورهای متفاوت تنظیم شده بسیار متعدد است. روش‌های آماری تعریف شده در این استاندارد ملی، در اصل، مستقل از اندازه‌ی روتور هستند. هرچند، اندازه‌های روتور مشخص و شتاب و دورهای ترمز بسیار وقت‌گیر هستند و در این موارد، می‌توان اندازه‌گیری‌های مکرر، در چرخش‌های ثابت روتور را انجام داد.

کیفیت ویژه‌ی عدم تعادل اندازه‌ی اندازه‌گیری، کمیت‌های تک متغیره هستند. در این مثال، محاسبات قابلیت فرایند، تعریف شده است. هدف از تنظیم فرایند، محدودیت عدم تعادل باقی‌مانده توسط منطقه رواداری که تحت ملاحظات شاخص‌های قابلیت پذیرفته شده، می‌باشد. توزیع عدم تعادل باقی‌مانده، شامل تأثیرات شکست سیستماتیک و اتفاقی می‌باشد. تفاوت بین انحرافات مشاهده شده‌ی اندازه‌ی تک متغیره و منطقه رواداری همانطور که در این بخش از استاندارد، با استفاده از PCI نشان داده شده، می‌باشد.

در نتیجه، تشخیص بدون ابهام بین محاسبه‌ی درست و نادرست، به شکل یک متغیره و چندمتغیره، غیرممکن است. بنابراین، متغیر تک متغیره ترجیح داده می‌شود. در هر دو مورد استثنایی تعریف شده، محاسبه‌ی چندمتغیره به واقعیت نزدیک‌تر است.

هرچند، موافقت قسمت‌های مختلف شرکت کننده در ارزیابی در استفاده‌ی حساس روش‌های اندازه‌گیری تعریف شده به طور پیشرفته، مهم است.

شاخص‌های ایجاد شده در این مسیر، بر اساس تجارب با قابلیت اندازه‌های چندمتغیره فرایند، مقیاس‌بندی می‌شوند. اگرچه شاخص‌های قابلیت، ویژگی مشابه‌ای را حفظ می‌کنند، امّا نیازمندی کیفی برای مثال میانگین ۱/۶۷، بدون مقایسه، به معنی نیازمندی بزرگتری برای فرایندی با مقادیر اندازه‌گیری تک متغیره نسبت به مورد مشابه با مقادیر اندازه‌گیری چندمتغیره، می‌باشد.

کمیت مهم دیگر با تأثیر بر ارزیابی آماری فرایندهای تنظیم شده، حضور یا عدم حضور سیستم روتور زاویه داخلی، می‌باشد. برای مثال، لنگرهای الکتریکی[2]، اغلب نشانه‌ای از سیستم زاویه‌ی خود ندارند. در مقابل، برای میل‌لنگ‌ها، سیستم زاویه بدون ابهامی که به طور مناسب برای استفاده منطبق شده است، وجود دارد.

1-shaft
2-Electro-anchors

در حالت اول، تکرار اندازه‌گیری‌های عدم تعادل، معمولاً سهم مشابه‌ای برای عدم تعادل را بدون خطا نشان می‌دهد، گرچه، زاویه‌ی دیگری هم در هر زمان وجود داشته باشد. به علاوه، شرایط داده شده در طول تولید دور روتور، می‌تواند مستلزم آن باشد که پیش‌شرط (که یک توزیع نرمال به نظر می‌رسد) محاسبات تعریف شده در اینجا را برآورده نکند.

تعداد روتورهای تنظیم شده بسیار متعدد است. روش‌های آماری تعریف شده در این بخش از این استاندارد، در اصل، مستقل از اندازه‌ی روتور هستند. هرچند، اندازه‌های روتور مشخص و شتاب و دورهای ترمز بسیار وقت‌گیر هستند و در این موارد، می‌توان اندازه‌گیری‌های مکرر در چرخش‌های ثابت روتور انجام داد.

ب-۲ مثالی از آزمایش شاخص‌های قابلیت

مثال زیر، آزمایشی از شاخص‌های قابلیت، در هنگام تصویب ماشین تنظیم شده مورد استفاده در میل‌لنگ‌های تنظیم شده را نشان می‌دهد. ثبات فرایند با استفاده از نمودار کنترل، نشان داده می‌شود.

اندازه‌گیری عدم تعادل در دو سطح اندازه‌گیری انجام می‌شود.

حد مشخصه‌ی عدم تعادل برابر با ۱۴۰gmm می‌باشد.

نمونه‌ی میل‌لنگ با $n=۴۰$ بر روی ماشین تنظیم شده است.

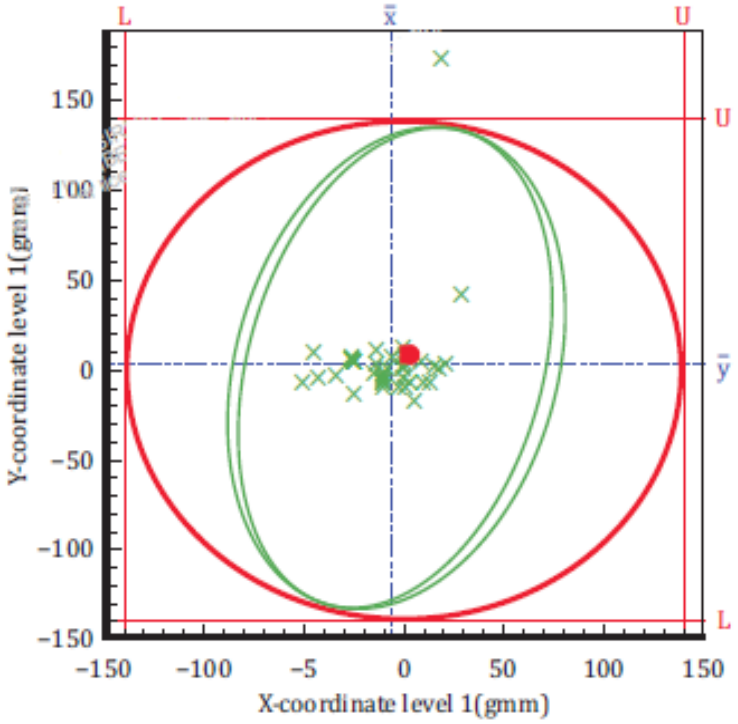
عدم تعادل‌های باقی‌مانده‌ی به دست آمده، در جدول ب-۱ وجود دارند. به طور گرافیکی در شکل‌های ب-۱ و ب-۲، موجود هستند.

جدول ب-۱- مقادیر منفرد

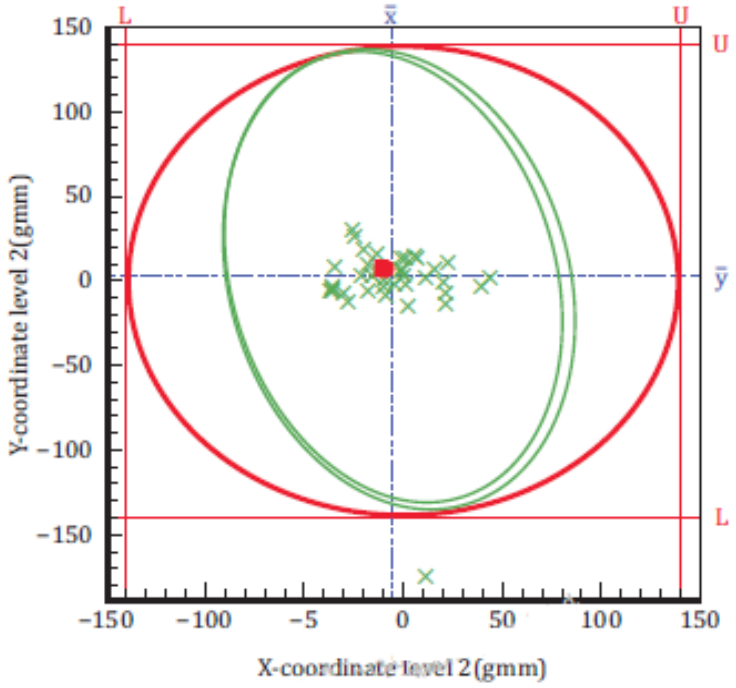
Level 1				Level 2		
Value no.	*X*-Coord.	*Y*-Coord.		Value no.	*X*-Coord.	*Y*-Coord.
1	0,885	12,604		1	−19,324	23,276
2	20,068	178,425		2	12,318	−169,764
3	−5,521	6,054		3	−9,016	1,470
4	1,476	2,838		4	−6,814	−1,508
5	1,455	−11,472		5	−14,592	9,731
6	1,794	0,567		6	−34,272	13,383
7	30,136	41,994		7	−36,690	1,563
8	−45,382	9,398		8	12,357	8,047
9	−35,158	−3,739		9	20,696	4,372
10	−3,660	−2,120		10	3,090	3,458
11	−25,347	5,964		11	3,326	−7,789
12	−7,926	1,247		12	−0,222	6,666
13	−44,010	−5,069		13	40,998	2,136
14	−10,365	−9,795		14	−11,033	11,969
15	18,726	−1,139		15	−30,559	−2,421
16	−9,878	−6,160		16	−12,540	21,162
17	−24,537	−14,385		17	17,230	12,795
18	9,477	4,240		18	−20,771	7,762
19	−9,621	−6,873		19	−4,295	5,838
20	−24,828	−14,058		20	0,373	8,879
21	−24,426	3,781		21	7,877	19,057
22	22,463	2,530		22	−17,939	14,573
23	10,189	−29,127		23	−26,314	36,687
24	−8,204	−6,575		24	0,147	9,822
25	−14,549	−3,084		25	22,519	−8,161
26	5,275	−18,891		26	−24,116	32,627
27	−2,593	−9,904		27	23,783	16,612
28	−9,663	−3,303		28	−8,201	−3,193
29	4,277	−7,275		29	−10,786	6,597
30	16,190	−0,354		30	−36,605	0,287

جدول ب-۱(ادامه)

Level 1				Level 2		
Value no.	X-Coord.	Y-Coord.		Value no.	X-Coord.	Y-Coord.
31	-13,753	1,395		31	-0,683	19,652
32	-26,941	4,794		32	22,566	-1,902
33	14,465	-8,385		33	-17,977	-0,198
34	-3,879	-6,028		34	-5,684	4,800
35	-51,059	-7,822		35	46,300	7,634
36	10,574	-7,357		36	-26,883	-7,430
37	0,311	-5,701		37	1,859	19,344
38	-12,551	10,266		38	0,909	12,527
39	-3,687	-2,249		39	6,882	21,786
40	3,833	6,598		40	-5,863	7,641



شکل ب-۱- سطح ۱ عدم تعادل باقی‌مانده- نمایش گرافیکی عدم تعادل با بازه و رواداری متغیر اتفاقی



شکل ب-۲- سطح ۳ عدم تعادل - نمایش گرافیکی عدم تعادل با بازه و رواداری متغیر اتفاقی

نتایج:

سطح ۱: شاخص قابلیت: ۱,۳۷

شاخص قابلیت حداقل: ۱,۳۶

سطح ۲:شاخص قابلت: ۱,۴۱

شاخص قابلیت حداقل: ۱,۳۶

پیوست پ
(اطلاعاتی)
مثال موقعیت سوراخ

پ-۱ مثال عددی فاصله از هدف

فرایند سوراخ‌کاری در فرایند تولید قطعات را در نظر بگیرید. مکان هدف (x_0, y_0) برای مرکز سوراخ، مشخص می‌شود. مکان (x_0, y_0) به وسیله‌ی نقاط مرجع مشخصی، اندازه‌گیری می‌شود. مختصات (x, y)، مرکز سوراخ حفر شده را نشان می‌دهد. انحراف وضعیت مکان سوراخ به صورت D تعریف می‌شود.

$$D = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$$

(به استاندارد بین‌المللی ISO 1101 مراجعه شود). در چنین حالتی، حد مشخصه، معمولاً به صورت دایره‌ای با قطر D_0 و مرکز (x_0, y_0)، داده می‌شود. بنابراین، کمیت D می‌تواند به صورت فرایند کمّی قابلیت فرایند برای تضمین کیفیت، استفاده شود.

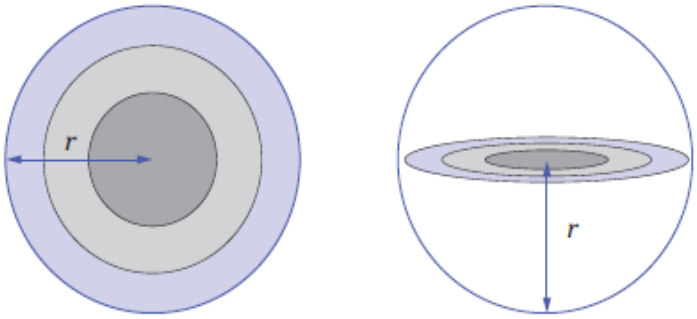
کمیت D می‌تواند به صورت پروکسی یک بعدی برای کمیت دو بعدی از مکان سوراخ دریافت شده، در نظر گرفته شود.

دو توزیع نرمال تک متغیره، به صورت شکل ج-۱ فرض می‌شود. این توزیع‌ها به عنوان توزیع مکان پردازش دو فرایند، فرایندA و فرایندB در نظر گرفته می‌شوند. (شکل ج-۱). ماتریس‌های کورایانس به صورت زیر است:

$$\Sigma_A \begin{bmatrix} \frac{r^2}{9} & 0 \\ 0 & \frac{r^2}{9} \end{bmatrix}$$

$$\Sigma_B \begin{bmatrix} \frac{r^2}{9} & 0 \\ 0 & \delta^2 \end{bmatrix}$$

که δ مقدار کوچکی است.



شکل پ-۱- دو توزیع از فرایند A (شکل چپ) و فرایند B (شکل راست)

با توجه به شکل ج-۱، می‌توان نتیجه گرفت که به طور قطع، فرایند B قابلیت بیشتری نسبت به فرایند A دارد. هرچند،

$$var(D_A) = \frac{r^2}{9}\left(2 - \frac{\pi}{2}\right), var(D_B) = \frac{r^2}{9},$$

در نتیجه، با در نظر گرفتن انحراف استاندارد D، فرایند A قابلیت بیشتری نسبت به فرایند B دارد.

کمیت D، به قطع، کمیتی برای تضمین است. این مثال عددی، نشان می‌دهد که شباهت تضمین کمیت با کنترل کمیت، ضرورتی ندارد.

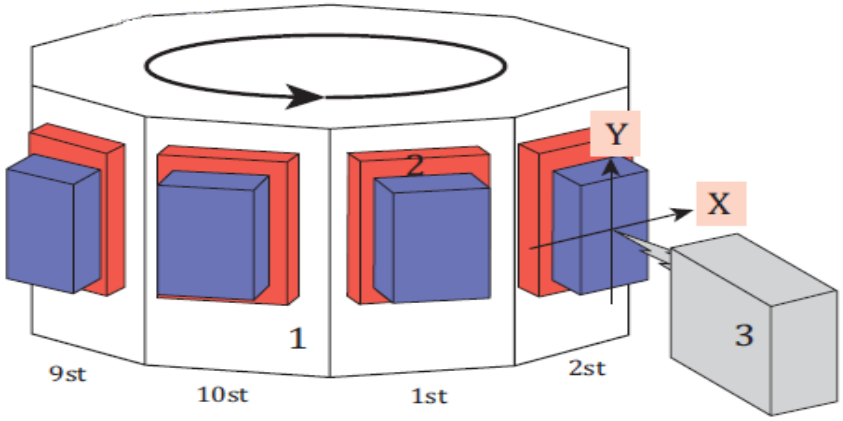
پ-۲ مثال عملی

بخش‌های فرایند تولید توسط انتقال ماشین زیر را در نظر بگیرید، که یک سامانه معلق در جهت محور افقی (جهت مختصات- x) به صورتی که در شکل ج-۱ نشان داده شده است، می‌باشد. در این فرایند، سوراخ‌کاری، برش بخش‌ها، پیچ‌زنی[1] وغیره، در هر ایستگاه به نوبه‌ی خود انجام می‌شوند. موضوع این مطالعه، سوراخ‌کاری است.

بخش موضوع در شکل ج-۳ نشان داده شده است. تضمین کیفیت، مکان سوراخ ، کمیت هندسی D است که در فرمول ج-۱ نشان داده شده است. در این مورد، منطقه مشخصه آن، دایره‌ای با قطر ۰/۱mm است.

شکل ج-۴، هیستوگرام مقدار D را نشان می‌دهد. اندازه‌ی نمونه‌ی آن ۵۰ است. شاخص قابلیت فرایند C_p برابر با ۱/۳۵ است. شاخص C_p نشان می‌دهد که سطح قابلیت فرایند، بالاست. هرچند، زمانی که به مرحله تولید انبوه می‌رسد، مشکل عدم تطابق به وجود می‌آید. با وجود قابل قبول بودن قابلیت فرایند، چرا مشکل به وجود آمده است؟

.



کلید

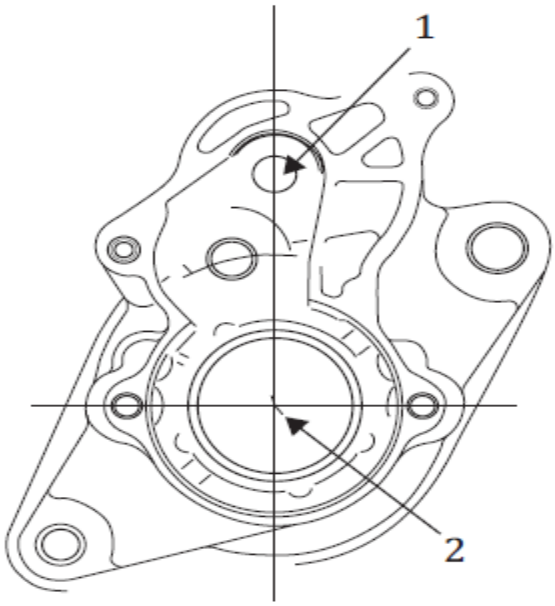
۱- معلق

۲- جیگ

۳- واحد پردازش

شکل پ-۲- مکانیزم معلق ماشین انتقال

1-tapping screws

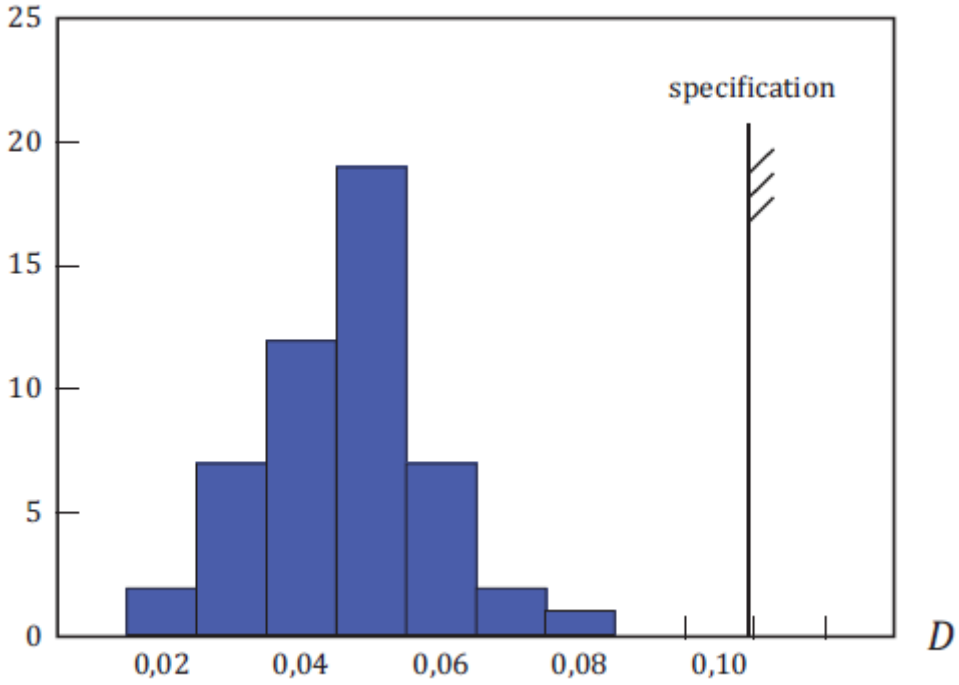


کلید

۱- موقعیت سوراخ

۲- نقطه‌ی مرجع

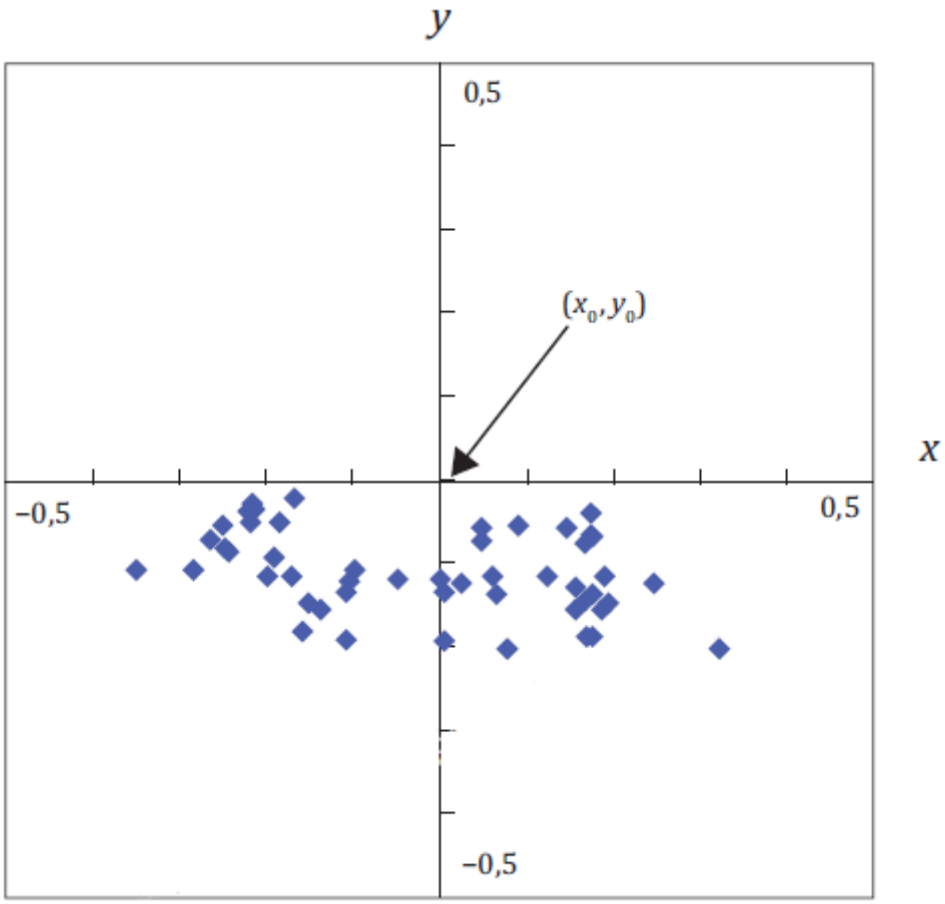
شکل ج-۳- طرح درشت از بخش



شکل ج-۴- هیستوگرام کمیت هندسی D

شکل ج-۴ طرح‌های دو بعدی از مرکز سوراخ حفر شده را نشان می‌دهد، که مکان مختصات، مکان هدف (x_0, y_0) است. شکل ج- ۵ اشاره می‌کند که تغییرپذیری مختصات x بزرگتر از مختصات y است. انحرافات استاندارد مکان برای مختصات x و مختصات y، به صورت s_x و s_y نشان داده می‌شود. پس، $s_x = 0.0177$ و $s_y = 0.0050$ است.

در نتیجه، قابلیت‌های فرایند، $C_p(x)$ و $C_p(y)$، به صورت $C_p(x) = 0.94$ و $C_p(y) = 3.35$ به دست می‌آید. قابلیت فرایند برای مختصات x، کمتر از مختصات yاست.



شکل ج-۵ طرح‌های دو بعدی از مرکز سوراخ ایجاد شده

برخی از دلایل تغییرپذیری مکان را می‌توان چنین ذکر کرد: تغییرپذیری مکان جیگ، برای تنظیم بخش و غیره؛ هرچند، نتیجه‌ی بالا توسط مکانیزم نوع معلق ماشین انتقال، به دست می‌آید (شکل ج-۲). در نتیجه، پذیرفته می‌شود که قابلیت کیفیت پایین، به دلیل تغییرپذیری موقعیت توقف معلق است که تغییرپذیری را در جهت مختصات x نشان می‌دهد و جدی‌ترین دلیل رایج در ماشین انتقال می‌باشد.

در حقیقت، انتخاب کمیت D به عنوان کنترل کمّی فرایند، منجر به شکست می‌شود.

پیوست ت

(اطلاعاتی)

ساختار تابع کیفیت

ساختار تابع کیفیت $q(x)$ برای مثال در ۸-۲ داده شده است.

ابتدا، مجموعه‌ای از توابع محدود $g_i(\Delta x)$ توسط $i = 1(1)M$ تعریف می‌شوند. این توابع منطقه رواداری را تعریف می‌کنند. یک تابع برای یک محدودیت رواداری داده شده است. نقطه‌ی هدف x_{target} با $q(x_{target}) = q_{max} = 1$ توسط مشخصه وجود دارد. انحراف از بردار هدف x_{target} (اختلاف از مقادیر اندازه‌گیری شده به مقدار هدف در هر بعد) محاسبه شده و به صورت $\underline{\Delta x}$ نشان داده می‌شود.

$$\Delta x = (x_{1\,target} - x_1, x_{2\,target} - x_2, \dots)^T$$

توابع محدود$g_i(\Delta x)$(برای مثال M=3) به منظور توابع خطی شدن به شکل زیر انتخاب می‌شوند:

$$g_i(\Delta x) = b_i^T . \Delta x + c_i$$

که b_i بردار شیب‌ها و c_i تابع iام می‌باشند.

برای هر انحراف، بردار Δx و محور Δxt در حالی‌که tپارامتر $t \in [0, +\infty)$ است، تعریف می‌شوند. این محور با $t = 0$ در نقطه هدف x_{target} آغاز می‌شود. با افزایش t، محور تا عبور از توابع محدود g_i گسترش می‌یابد.

برای تمام توابع تابع محدود I، پارامتر t_i می‌تواند محاسبه شود که رابطه‌ی زیر تحقق می‌بخشد:

$$0 = (b_i^T . \Delta x) t_i + c_i$$

در میان تمام t_iها، t_{min} حداقل، به دست می‌آید.

$$t_{min} = \min\{t_i / t_i \geq 0\}$$

توسط t_{min}، مقدار $a(x)$ محاسبه می‌شود، که اختلاف از هدف را نشان می‌دهد:

$$a(x, x_{target}) = 1/t_{min}(\Delta x, g_i(\Delta x))$$

بنابراین، $q(x)$، می‌تواند به $q_{max} = 1$ و $q_{bound} = 0.5$، با استفاده از توابع زیر، مقیاس‌بندی شود:

$$q(x) = \begin{cases} 1 - (x)/2 & \text{if } a(x) \leq 2 \\ 0 & \text{if } a(x) > 2 \end{cases}$$