

INSO
11502-7
1st. Edition
2014



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۱۵۰۲-۷

چاپ اول

۱۳۹۳

روش‌های آماری در مدیریت فرایند - قابلیت و
عملکرد - قسمت ۷: قابلیت فرایندهای
اندازه‌گیری

**Statistical methods in processmanagement —
Capability andperformance —Part 7:Capability
of measurement processes**

ICS : 03.120.30

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه 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 می شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادات در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت 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 شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ 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 بین المللی بهره گیری می شود.

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 می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استانداردهای کالاهای صادراتی و درجه بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سامانه های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) و وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهی نامه تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) و 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 فرایند مدیریت - قابلیت و عملکرد-قسمت ۷: قابلیت فرایندهای
اندازه‌گیری»

رئیس:

امیری ، حسین
(لیسانس مهندسی کامپیوتر نرم افزار)

دبیر:

کشاوری ، فرزاد
(لیسانس مهندسی کامپیوتر نرم افزار)

اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

خندزاد ، بهزاد
(لیسانس مهندسی کامپیوتر نرم افزار)

خندزاد ، بیتا
(فوق لیسانس هوش مصنوعی و رباتیک)

درفشی ، رکسانا
(لیسانس زبان انگلیسی)

ستاری ، آناهیتا
(لیسانس مهندسی متالوژی)

سروشیان ، سپیده
(لیسانس مهندسی کامپیوتر نرم افزار)

ندائی فرخد ، لیلا
(لیسانس مهندسی کامپیوتر نرم افزار)

سمت و / یا نمایندگی

مدیر عامل شرکت نوآوران مبانی پرداز

کارشناس رایانه شرکت پیشاهنگان آمایش

کارشناس رایانه شرکت نوآوران مبانی پرداز

کارشناس ارشد اداره مرکزی هواپیمائی جمهوری
اسلامی ایران هما

کارشناس تایید صلاحیت سازمان ملی استاندارد

مترجم ارشد شرکت پیشاهنگان آمایش

کارشناس رایانه شرکت پیشاهنگان آمایش

رئیس تحلیل و طراحی گروه کارخانجات پارت
لاستیک

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ب	آشنایی با سازمان ملی استاندارد
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
ه	پیش گفتار
و	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات و تعاریف
۸	۴ نمادها و اصطلاحات اختصاری
۱۰	۵ اصول اساسی
۱۳	۶ پیاده سازی
۲۰	۷ مطالعات انجام شده در محاسبه ی اجزای عدم قطعیت
۲۵	۸ محاسبه ی عدم قطعیت ترکیبی
۲۸	۹ قابلیت
۲۹	۱۰ قابلیت فرایند اندازه گیری در مقایسه با فرایند قابلیت تولید
۳۱	۱۱ بررسی مداوم ثبات فرایند اندازه گیری
۳۳	۱۲ قابلیت فرایندهای اندازه گیری منسوب
۴۰	پیوست الف (اطلاعاتی) مثالها
۴۶	پیوست ب (اطلاعاتی) روشهای آماری مورد استفاده

پیش گفتار

استاندارد «روش‌های آماری در فرایند مدیریت - قابلیت و عملکرد - قسمت ۷: قابلیت فرایندهای اندازه‌گیری» 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 22514-7: 2012, Statistical methods in process management — Capability and performance - Part 7: Capability of measurement processes

مقدمه

هدف از فرایند اندازه‌گیری، تولید نتایج اندازه‌گیری به دست آمده از خصوصیات تعریف شده در بخش‌ها یا فرایندها می‌باشد. قابلیت فرایند اندازه‌گیری، ناشی از خواص آماری اندازه‌گیری‌های حاصل از فرایندهای سنجش است که در شیوه‌ای قابل پیش‌بینی انجام می‌شود.

محاسبه‌ی شاخص‌های قابلیت و عملکرد بر اساس نتایج اندازه‌گیری است. عدم قطعیت فرایند اندازه‌گیری به کار رفته برای تولید شاخص‌های قابلیت و عملکرد باید پیش از معنادار شدن شاخص‌ها بتوانند تخمین زده شود. عدم قطعیت اندازه‌گیری حقیقی، نیازمند این است که به اندازه‌ی کافی کوچک باشد.

اگر فرایند اندازه‌گیری به منظور قضاوت اینکه آیا خصوصیت تولید مطابق با مشخصه است یا خیر، استفاده شود، آنگاه عدم قطعیت فرایند اندازه‌گیری باید با مشخصه خود مقایسه شود. در صورتی که فرایند اندازه‌گیری به منظور کنترل فرایند مشخصه به کار برده شود، آنگاه عدم قطعیت نیازمند این است که با تغییر فرایند مقایسه شود. حدود قابل قبول باید در هر دو مورد در نظر گرفته شود.

کیفیت نتایج اندازه‌گیری توسط عدم قطعیت فرایند اندازه‌گیری به دست می‌آید. این نتایج توسط خواص آماری اندازه‌گیری‌های متعدد، یا تخمین خواص بر اساس دانش فرایند سنجش است.

روش‌های تعریف شده در این بخش از این استاندارد، تنها به پیاده‌سازی عدم قطعیت، اشاره دارد. (اطلاعات بیشتر در پیاده‌سازی عدم قطعیت در استاندارد بین‌المللی ISO 1745-2 آمده است). بنابراین، تنها در صورتی مفید خواهد بود که عدم قطعیت روش و عدم قطعیت مشخصه در مقایسه با پیاده‌سازی عدم قطعیت، کوچک باشند. این بخش از این استاندارد، روش‌هایی را برای تعریف و محاسبه‌ی شاخص‌های قابلیت برای فرایند اندازه‌گیری بر اساس عدم قطعیت تخمین زده شده، ارائه می‌کند. رویکرد داده شده در ISO/IEC راهنمای ۳-۹۸، راهنمای بیان عدم قطعیت در اندازه‌گیری‌ها (GUM) بر اساس این رویکرد است.

روش‌های آماری در فرایند مدیریت - قابلیت و عملکرد - قسمت ۷: قابلیت فرایندهای اندازه‌گیری

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد تعیین روندی برای معتبر ساختن سامانه‌های اندازه‌گیری و فرایند اندازه‌گیری است، به منظور بیان اینکه آیا فرایند اندازه‌گیری داده شده می‌تواند نیازها را برای یک کار اندازه‌گیری مشخص با توصیه‌ی معیارهای پذیرش برآورده سازد. معیارهای پذیرش به صورت قابلیت C_{MS} یا نسبت قابلیت Q_{MS} تعریف می‌شوند.

یادآوری ۱ - این بخش از این استاندارد، از رویکرد به کار برده شده در راهنمای ISO/IEC بند ۹۸-۳ پیروی می‌کند، به بیان عدم قطعیت در اندازه‌گیری (GUM) می‌پردازد و یک روند اساسی و ساده شده را برای بیان و ترکیب عدم قطعیت اجزای مورد استفاده در تخمین شاخص قابلیت برای یک فرایند اندازه‌گیری واقعی، ارائه می‌دهد.

یادآوری ۲ - این بخش از این استاندارد، در ابتدا به منظور استفاده در فرایندهای اندازه‌گیری یک بعدی ساده، بهبود یافته است و معرف این است که عدم قطعیت روش و عدم قطعیت مشخصه در مقایسه با پیاده‌سازی عدم قطعیت، بسیار کوچک هستند. همچنین می‌تواند در موارد مشابهی که اندازه‌گیری‌ها برای تخمین قابلیت فرایند یا عملکرد فرایند مورد استفاده قرار می‌گیرند، به کار رود. برای فرایندهای اندازه‌گیری هندسی، مانند بافت سطح، شکل، جهت‌گیری و اندازه‌گیری‌های موقعیت مناسب نمی‌باشد که به چندین نقطه‌ی اندازه‌گیری یا اندازه‌گیری‌های همزمان در چندین جهت، بستگی دارد.

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 می‌شوند.

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:

2-1 ISO 3534-1:2006, Statistics — Vocabulary and symbols — Part 1: General statistical terms and terms used in probability

2-2 ISO 3534-2:2006, Statistics — Vocabulary and symbols — Part 2: Applied statistics

2-3 ISO 5725-1, Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 1: General principles and definitions

2-4 ISO 5725-2, Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results - Part 2: Basic method For the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method

2-5 ISO 5725-3, Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and result - Part 3: Intermediate measures of the precision of a standard measurement method

2-6 ISO 5725-4, Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results - Part 4: Basic methods for the determination of the trueness of a standard measurement method

2-7 ISO 5725-5, Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results - Part 5: Alternative methods for the determination of the precision of a standard measurement method

2-8 ISO 5725-6, Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results - Part 6: Use in practice of accuracy values

2-9 ISO 7870-1, Control charts – Part 1: General guidelines

2-10 ISO/IEC Guide 98-3:2008, Uncertainty of measurement - Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد علاوه بر کلیه اصطلاحات و تعاریف در استانداردهای بین‌المللی ISO 3534-1, ISO 3534-2 و ISO 5725، اصطلاحات و تعاریف زیر بکار می‌روند:

۱-۳

بیشینه خطای اندازه‌گیری مجاز

بیشینه خطای اندازه‌گیری

حد خطا

MPE

بیشینه مقدار خطای اندازه‌گیری در ارتباط با مقدار کمی مرجع معلوم، که توسط مشخصه‌ها یا قواعد ارائه شده برای اندازه‌گیری، ابزار اندازه‌گیری، یا سامانه اندازه‌گیری، مجاز می‌شود.

یادآوری ۱ - معمولاً، اصطلاح «بیشینه خطاهای مجاز» یا «حدود خطا»، در مواردی که دو مقدار بیشینه وجود دارد، استفاده می‌شود.

یادآوری ۲ - اصطلاح «رواداری»، نباید به منظور تعیین «حداکثر خطای مجاز» مورد استفاده قرار گیرد.

به استاندارد بین‌المللی ISO/IEC Guide 99:2007 بند ۴-۲۶ مراجعه شود.

۲-۳

آزمونه

کمیت موردنظر برای اندازه‌گیری

یادآوری ۱ - مشخصه‌ی آزمونه، نیازمند دانش نوع کمیت، شرح حالت پدیده، بدنه^۱، یا ماده‌ی حامل کمیت، شامل هر جزء مرتبط و مواد موجود درگیر، می‌باشد.

یادآوری ۲ - در نسخه‌ی دوم VIM و استاندارد بین‌المللی IEC 60050-300:2001، آزمونه به عنوان «کمیت تحت اندازه‌گیری» تعریف می‌شود.

یادآوری ۳ - اندازه‌گیری شامل سامانه اندازه‌گیری، تحت شرایطی که اندازه‌گیری انجام می‌شود، ممکن است پدیده، بدنه یا ماده را تغییر دهد، مانند اینکه کمیت مورد اندازه‌گیری می‌تواند متفاوت از آزمونه‌ای باشد که تعریف شده است. در این حالت، تصحیح کافی مورد نیاز است.

مثال ۱ - اختلاف پتانسیل بین ترمینال‌های باتری ممکن است در هنگام استفاده از ولت‌متر با هدایت داخلی قابل توجه، برای انجام اندازه‌گیری، کاهش یابد. اختلاف پتانسیل مدار باز می‌تواند توسط مقاومت‌های داخلی باتری و ولت‌متر، اندازه‌گیری شود.

1-body

مثال ۲ - طول میل‌ه‌ی فولادی در حالت تعادل با دمای محیط ۲۳ درجه سلسیوس، با طول در دمای مشخص ۲۰ درجه سلسیوس متفاوت خواهد بود، که همان اندازه است. در این حالت، اصلاح، ضروری است.

یادآوری ۴ - در شیمی، «آنالیت» یا نام ماده یا ترکیب، اصطلاحاتی هستند که گاهی برای «اندازه» استفاده می‌شوند. این استفاده به دلیل عدم ارجاع این اصطلاحات به کمیت‌ها، اشتباه می‌باشند.

به استاندارد بین‌المللی ISO/IEC Guide 99:2007 بند ۲-۳ مراجعه شود.

۳-۳

عدم قطعیت اندازه‌گیری

اندازه‌گیری عدم قطعیت

عدم قطعیت

پارامتر غیرمنفی توصیف‌کننده‌ی پراکندگی مقادیر کمی منسوب به یک اندازه (بند ۳-۲)، بر اساس اطلاعات مورد استفاده

یادآوری ۱ - عدم قطعیت اندازه‌گیری شامل اجزای ناشی از عیوب سیستماتیک، مانند اجزای مرتبط با اصلاحیات و مقادیر کمی مختص استانداردهای اندازه‌گیری، به علاوه‌ی تعریف عدم قطعیت، می‌باشد. گاهی عیوب سیستماتیک تخمین زده شده، صحیح نمی‌باشند، ولی در عوض، اجزای عدم قطعیت اندازه‌گیری مرتبط، گنجانده می‌شوند.

یادآوری ۲ - ممکن است پارامتر برای مثال انحراف استاندارد با نام عدم قطعیت اندازه‌گیری استاندارد (یا مضرب مشخص شده از آن)، یا نیمی از عرض یک بازه، احتمال پوشش اعمال شده را داشته باشد.

یادآوری ۳ - در کل، عدم قطعیت اندازه‌گیری شامل اجزای بسیاری می‌باشد. بعضی از این اجزاء، بر اساس ارزیابی نوع A عدم قطعیت اندازه‌گیری، از توزیع آماری مقادیر کمی از سری‌های اندازه‌گیری بوده و می‌توانند توسط انحرافات استاندارد مشخص شوند. اجزای دیگری که ممکن است توسط ارزیابی نوع B عدم قطعیت اندازه‌گیری، بررسی شوند، همچنین می‌توانند توسط انحرافات استاندارد مشخص شوند، به وسیله‌ی توابع چگالی احتمال، بر اساس تجربه یا اطلاعات دیگر، ارزیابی می‌شوند.

یادآوری ۴ - در کل، برای مجموعه‌ی اطلاعات داده شده، علم بر این است که عدم قطعیت اندازه‌گیری با مقدار کمی ارائه شده‌ی منسوب به اندازه (بند ۳-۲)، همراه می‌شود. اصلاح مقادیر، منجر به اصلاح عدم قطعیت مرتبط می‌شود.

به استاندارد بین‌المللی ISO/IEC Guide 99:2007 بند ۲-۲۶ مراجعه شود.

۴-۳

ارزیابی نوع A عدم قطعیت اندازه‌گیری

ارزیابی نوع A

ارزیابی یک جزء از عدم قطعیت اندازه‌گیری (بند ۳-۳) توسط آنالیز آماری مقادیر کمی اندازه‌گیری به دست آمده تحت شرایط اندازه‌گیری تعریف شده

یادآوری ۱ - برای انواع شرایط اندازه‌گیری، به شرایط تکرارپذیری اندازه‌گیری، شرایط دقت اندازه‌گیری و شرایط تولید مجدد اندازه‌گیری، توجه کنید.

یادآوری ۲ - به منظور دستیابی اطلاعاتی در رابطه با آنالیز آماری، برای مثال به استاندارد بین‌المللی ISO/IEC راهنمای ۳-۹۸ مراجعه کنید.

یادآوری ۳ - همچنین به استاندارد بین‌المللی ISO/IEC راهنمای 98-3:2008 بند ۲-۳-۲، و استانداردهای بین‌المللی ISO 5725، ISO 13528، ISO/TS 21748 و ISO 21749 مراجعه شود.

به استاندارد بین‌المللی ISO/IEC Guide 99:2007 بند ۲-۲۸ مراجعه شود.

۵-۳

ارزیابی نوع B عدم قطعیت اندازه‌گیری

ارزیابی نوع B

ارزیابی جزئی از عدم قطعیت اندازه‌گیری (بند ۳-۳) که با استفاده از ابزاری متفاوت از ارزیابی نوع A عدم قطعیت اندازه‌گیری تعیین می‌شود (بند ۳-۴)

مثال: ارزیابی بر اساس اطلاعات

- ارتباط با مقادیر کمی معتبر منتشر شده،
- ارتباط با مقدار کمی ماده‌ی مرجع تأیید شده،
- به دست آمده از گواهی برسنجی^۱،
- در رابطه با تغییر در خروجی مدار الکتریکی^۲
- به دست آمده از کلاس دقت ابزار اندازه‌گیری تأیید شده،
- به دست آمده از حدود استنباط شده از تجربه‌ی شخصی.

یادآوری ۱ - همچنین به استاندارد بین‌المللی ISO/IEC راهنمای 98-3:2008 بند ۳-۳-۲ مراجعه شود.

به استاندارد بین‌المللی ISO/IEC Guide 99:2007 بند ۲-۲۹ مراجعه شود.

۶-۳

عدم قطعیت اندازه‌گیری استاندارد

عدم قطعیت اندازه‌گیری استاندارد

عدم قطعیت استاندارد

عدم قطعیت اندازه‌گیری (بند ۳-۳) بیان شده به عنوان انحراف استاندارد

به استاندارد بین‌المللی ISO/IEC Guide 99:2007 بند ۲-۳۰ مراجعه شود.

۷-۳

عدم قطعیت اندازه‌گیری استاندارد ترکیبی

عدم قطعیت اندازه‌گیری ترکیبی

عدم قطعیت اندازه‌گیری استاندارد (بند ۳-۶) با استفاده از عدم قطعیت اندازه‌گیری استاندارد منفرد مرتبط با کمیت‌های ورودی به مدل اندازه‌گیری، به دست می‌آید.

یادآوری ۱ - در مورد همبستگی (ارتباط) کمیت‌های ورودی در مدل اندازه‌گیری، کواریانس‌ها هم باید در هنگام محاسبه‌ی عدم قطعیت اندازه‌گیری استاندارد ترکیبی، موردنظر قرار بگیرند. همچنین به استاندارد بین‌المللی ISO/IEC راهنمای 98-3:2008 مراجعه شود.

1-Calibration

2-drift

به استاندارد بین‌المللی ISO/IEC Guide 99:2007 بند ۲-۳۱ مراجعه شود.

۸-۳

عدم قطعیت اندازه‌گیری گسترده

عدم قطعیت گسترده

محصول عدم قطعیت اندازه‌گیری استاندارد ترکیبی (بند ۳-۷) و فاکتوری بزرگتر از عدد یک.

یادآوری ۱ - فاکتور، بستگی به نوع توزیع احتمال کمیت خروجی در مدل اندازه‌گیری و احتمال پوشش انتخابی دارد.

یادآوری ۲ - اصطلاح «فاکتور» در این تعریف، به فاکتور پوشش اشاره دارد.

یادآوری ۳ - عدم قطعیت اندازه‌گیری گسترده، در پاراگراف ۵ از توصیه‌ی INC-1 (1980) (به GUM مراجعه شود) «عدم

قطعیت کلی» و در اسناد IEC با سادگی و وضوح «عدم قطعیت» نامیده می‌شود.

به استاندارد بین‌المللی ISO/IEC Guide 99:2007 بند ۲-۳۵ مراجعه شود.

۹-۳

اندازه‌گیری اریبی (تمایل)^۱

اریبی

تخمین خطای اندازه‌گیری سیستماتیک

به استاندارد بین‌المللی ISO/IEC Guide 99:2007 بند ۲-۱۸ مراجعه شود.

۱۰-۳

نتیجه‌ی اندازه‌گیری

مجموعه‌ی مقادیر کمی منسوب به اندازه (بند ۳-۲)، به همراه اطلاعات مرتبط در دسترس

یادآوری ۱ - در حالت کلی، نتیجه‌ی اندازه‌گیری حاوی «اطلاعات معتبر» درباره‌ی مجموعه مقادیر کمی می‌باشد که ممکن است بعضی به طور غالب، نماینده‌ی سایر اندازه‌ها باشند. که ممکن است به شکل تابع چگالی احتمال (PDF) بیان شود.

یادآوری ۲ - در حالت کلی، نتیجه‌ی اندازه‌گیری، به صورت مقدار کمی اندازه‌ی منفرد و عدم قطعیت اندازه‌گیری بیان می‌شود. در صورتی که عدم قطعیت اندازه‌گیری برای بعضی از اهداف قابل اغماض در نظر گرفته شود، نتیجه‌ی عدم قطعیت اندازه‌گیری می‌تواند به صورت مقدار کمی اندازه‌ی منفرد بیان شود. در بیشتر زمینه‌ها، بیان نتیجه‌ی اندازه‌گیری روش رایجی است.

یادآوری ۳ - در ادبیات مرسوم و در نسخه‌ی قبلی VIM، نتیجه‌ی اندازه‌گیری، به صورت مقدار منسوب به اندازه تعریف شده و به معنی نشانه‌ای یا نتیجه‌ی نادرست، یا نتیجه‌ی درست، بنابر زمینه، توضیح داده می‌شود.

به استاندارد بین‌المللی ISO/IEC Guide 99:2007 بند ۲-۹ مراجعه شود.

۱۱-۳

مدل اندازه‌گیری

مدل اندازه‌گیری

مدل

1-bias

رابطه‌ی ریاضی در میان تمام مقادیر شناخته شده در اندازه‌گیری
یادآوری ۱ - شکل عمومی مدل اندازه‌گیری معادله‌ی $h(Y, X_1, \dots, X_n) = 0$ که Y ، کمیت خروجی در مدل اندازه‌گیری، اندازه (بند ۳-۲) است، مقدار کمی که از اطلاعات مربوط به کمیت‌های موجود در مدل اندازه‌گیری $X_1, \dots, X_n$ ناشی می‌شود.
یادآوری ۲ - در حالت‌های بسیار پیچیده‌ای که دو یا چند کمیت خروجی در مدل اندازه‌گیری وجود داشته باشد، مدل اندازه‌گیری شامل بیشتر از یک معادله می‌باشد.
 به استاندارد بین‌المللی ISO/IEC Guide 99:2007 بند ۲-۴۸ مراجعه شود.

۱۲-۳

کار^۱ اندازه‌گیری

- کمیتی از اندازه (بند ۳-۲) مطابق با تعریف
- یادآوری ۱** - کار اندازه‌گیری، مشابه با هدف استفاده از روش اندازه‌گیری است.
- یادآوری ۲** - کار اندازه‌گیری می‌تواند به عنوان مثال در موارد زیر مورد استفاده قرار گیرد:
- مقایسه‌ی نتایج اندازه‌گیری با یک یا دو حد مشخصه به منظور بیان اینکه آیا مقدار اندازه، مقدار قابل قبولی است.
 - بیان اینکه آیا اندازه، فرایند تولید را در مشخصه‌های داده شده مشخص می‌کند.
 - به دست آوردن بازه‌ی اطمینان از طول متوسط داده شده برای اختلاف بین دو مقدار از اندازه‌ی مشابه.

۱۳-۳

فرایند اندازه‌گیری

مجموعه عملیات برای تعیین مقدار یک کمیت
 به استاندارد بین‌المللی ISO 9000:2005 بند ۳-۱۰-۲ مراجعه شود.

۱۴-۳

ریزننگری

- کوچکترین تغییر در کمیت اندازه‌گیری که منجر به تغییر محسوس در نشانه‌ی مربوطه ارائه شده توسط ابزار اندازه‌گیری می‌شود.
- یادآوری ۱** - ریزنگری می‌تواند برای مثال بستگی به نوفه^۲ (داخلی یا خارجی) یا اصطکاک داشته باشد. همچنین ممکن است بسته به مقدار کمیت اندازه‌گیری باشد.
- به استاندارد بین‌المللی ISO/IEC Guide 99:2007 بند ۴-۱۴ مراجعه شود.
- یادآوری ۲** - برای یک دستگاه نمایش دیجیتال، ریزنگری معادل با درجه‌ی دیجیتال است.
- یادآوری ۳** - ریزنگری لزوماً خطی نیست.

۱۵-۳

مقدار کمیت مرجع

مقدار مرجع

1-task
2-noise

مقدار کمی، به عنوان اساسی برای مقایسه‌ی مقادیر کمیت‌های مشابه مورد استفاده قرار می‌گیرد.
یادآوری ۱ - مقدار کمیت مرجع، می‌تواند مقدار کمی صحیح اندازه باشد، در حالی که نامشخص بوده یا یک مقدار کمی قراردادی مشخص باشد.

یادآوری ۲ - مقدار کمی مرجع به همراه عدم قطعیت اندازه‌گیری، معمولاً با اشاره به:

الف) ماده، برای مثال ماده‌ی مرجع تأیید شده

ب) دستگاه، برای مثال لیزر تثبیت شده

ج) روش اندازه‌گیری مرجع

د) مقایسه‌ی استانداردهای اندازه‌گیری

به دست می‌آید.

به استاندارد بین‌المللی ISO/IEC Guide 99:2007 بند ۵-۱۸ مراجعه شود.

۱۶-۳

تکرارپذیری اندازه‌گیری

تکرارپذیری

دقت اندازه‌گیری تحت شرایط تکرارپذیری اندازه‌گیری

به استاندارد بین‌المللی ISO/IEC Guide 99:2007 بند ۲-۲۱ مراجعه شود.

۱۷-۳

قابلیت تکثیر اندازه‌گیری

قابلیت تکثیر

دقت اندازه‌گیری تحت شرایط قابلیت تکثیر اندازه‌گیری

به استاندارد بین‌المللی ISO/IEC Guide 99:2007 بند ۲-۲۵ مراجعه شود.

۱۸-۳

ثبات فرایند اندازه‌گیری

خاصیت یک فرایند اندازه‌گیری، در شرایطی که خواص آن در زمان ثابت باقی بماند.

۱۹-۳

اقلام^۱

موجودیت^۲

هدف

هر آنچه که بتوان به طور مجزا تعریف کرده و در نظر گرفت.

1-Item
2-entity

۴ کوتاه نوشت‌ها

۴-۱ نمادها

a	نصف عرض توزیع مقادیر ممکن از کمیت ورودی
a_{OBJ}	بیشینه انحراف شکل
α	سطح اهمیت
β_i	اریبی
β_0	عرض از مبدأ تابع برسنجی
$\hat{\beta}_0$	عرض از مبدأ تخمینی تابع برسنجی
β_1	شیب تابع برسنجی
$\hat{\beta}_1$	شیب تخمینی تابع برسنجی
C_{MP}	شاخص قابلیت فرایند اندازه‌گیری
C_{MS}	شاخص قابلیت سامانه اندازه‌گیری
C_P	شاخص قابلیت فرایند
C_{pK}	شاخص قابلیت فرایند حداقل
$C_{p,obs}$	شاخص قابلیت فرایند مشاهده شده
$C_{p,p}$	شاخص قابلیت فرایند حقیقی
d_{LR}	فاصله از آخرین مقدار مرجع، در حالی که تمام اپراتورها نتیجه را با عدم رضایت ارزیابی کرده‌اند، فاصله از اولین مقدار مرجع، در حالی که نتایج اپراتورها تأیید شده است
d_{LR}	از مقدار مرجع نهایی، درحالی که تمام اپراتورها، نتایج را به عنوان اولین مقدار مرجع تأیید شده، برای حالتی که تمام اپراتورها نتیجه‌ی ارضا کننده نباشد
d	بازه‌ی میانگین
k	فاکتور پوشش ^۱
K	تعداد اندازه‌گیری‌های چند باره در یک مرجع. مرجع می‌تواند استاندارد مرجع یا یک قطعه‌کار مرجع باشد
k_{CAL}	فاکتور پوشش حاصل از گواهی برسنجی
l	طول اندازه‌گیری
L	کمترین حد مشخصه
M_{PE}	حداکثر خطای مجاز
m_{ij}	فراوانی در آزمون- بوکر ^۲
N	تعداد استاندارد
n	تعداد اندازه‌گیری‌ها
P	احتمال
P_P	شاخص عملکرد فرایند
$P_{P,obs}$	شاخص عملکرد فرایند مشاهده شده
$P_{P,P}$	شاخص عملکرد فرایند حقیقی
Q_{attr}	نسبت قابلیت فرایند اندازه‌گیری اسنادی

1-coverage factor

2-Bowker-test

$P_{P,P}$	شاخص عملکرد فرایند حقیقی
Q_{attr}	نسبت قابلیت فرایند اندازه گیری اسنادی
Q_{MS}	نسبت قابلیت سامانه اندازه گیری
Q_{MP}	نسبت قابلیت فرایند اندازه گیری
R_E	ریزننگری سامانه اندازه گیری
s	انحراف استاندارد نمونه (برای تکرارپذیری سامانه اندازه گیری)
T	دما
$t_{1-(\alpha/2)}$	مقدار بحرانی دو جانبه توزیع t محقق
U	حد مشخصه‌ی بالایی
u_{α}	عدم قطعیت استاندارد در ضریب انبساط
u_{AV}	عدم قطعیت استاندارد حاصل از تکرارپذیری اپراتور
u_{BI}	عدم قطعیت استاندارد حاصل از اریبی اندازه گیری
u_{CAL}	عدم قطعیت اندازه گیری استاندارد برسنجی در استاندارد
u_{MP}	عدم قطعیت استاندارد ترکیبی در فرایند اندازه گیری
u_{EV}	عدم قطعیت استاندارد حاصل از مقدار حداکثر از تکرارپذیری یا ریزننگری
u_{EVR}	عدم قطعیت استاندارد حاصل از تکرارپذیری در استانداردها
u_{EVO}	عدم قطعیت اندازه گیری حاصل از تکرارپذیری در بخش‌های آزمون
u_{GV}	عدم قطعیت استاندارد حاصل از قابلیت تولید سامانه اندازه گیری
u_{IAi}	عدم قطعیت استاندارد حاصل از روابط متقابل
u_{LIN}	عدم قطعیت استاندارد حاصل از خطی بودن سامانه اندازه گیری
u_{MP}	عدم قطعیت استاندارد ترکیبی در فرایند اندازه گیری
u_{MPE}	عدم قطعیت استاندارد محاسبه شده بر اساس حداکثر خطای مجاز
u_{MS}	عدم قطعیت استاندارد اندازه گیری ترکیبی در سامانه اندازه گیری
$u_{MS-REST}$	عدم قطعیت استاندارد حاصل از سایر اجزای تأثیرگذار دیگر، شامل نشده در آنالیز سامانه اندازه گیری
u_{OBJ}	عدم قطعیت استاندارد حاصل از بخش غیرهمگن آزمون
u_{RE}	عدم قطعیت استاندارد حاصل از ریزننگری سامانه اندازه گیری
u_{REST}	عدم قطعیت استاندارد حاصل از اجزای تأثیرگذار دیگر، شامل نشده در آنالیز سامانه اندازه گیری
u_{STAB}	عدم قطعیت استاندارد حاصل از ثبات سامانه اندازه گیری
u_T	عدم قطعیت استاندارد حاصل از دما
u_{TA}	عدم قطعیت استاندارد حاصل از ضرایب انبساط
u_{TD}	عدم قطعیت استاندارد حاصل از اختلاف بین قطعه کار و سامانه اندازه گیری
U_{attr}	عدم قطعیت در اندازه گیری اسنادی
U_{CAL}	عدم قطعیت در برسنجی استاندارد
U_{MS}	عدم قطعیت سامانه اندازه گیری
U_{MP}	عدم قطعیت فرایند اندازه گیری
y_j	مقدار اندازه گیری j ام
y	میانگین اندازه گیری‌ها
x_g	میانگین حسابی مقادیر نمونه

x_i کمیت ورودی اندازه‌گیری i ام x_m

مقدار کمی مرجع

۴-۱۲ اصطلاحات اختصاری

ANOVA

آنالیز پراکندگی

DOE

طراحی آزمایشات

GPS

مشخصات هندسی تولید

R&R

تکرارپذیری و تجدیدپذیری

GUM

راهنمای بیان عدم قطعیت اندازه‌گیری

MPE

حداکثر خطای مجاز

SPC

کنترل آماری فرایند

VIM

واژگان بین‌المللی اندازه‌گیری

۵ اصول اساسی

۵-۱ کلیات

روش تعریف شده در این بخش از این استاندارد، بخش بزرگی از تخمین عدم قطعیت اندازه‌گیری که در روش اتفاق می‌افتد را پوشش می‌دهد. در بعضی از مواردی که پیش‌شرط برای این روش در نظر گرفته شده (هیچ پیوستگی مابین تأثیر اجزاء، فاکتور حساسیت وجود نداشته، مدل ساده‌ی خطی وجود دارد) وجود ندارد، کاربر باید روش عمومی موجود را برای تعیین عدم قطعیت اندازه‌گیری که در استاندارد بین‌المللی ISO/IEC راهنمای 98-3:2008 تعریف شده را به کار بگیرد.

روشی که در ادامه می‌آید، پیاده‌سازی عدم قطعیت را نشان می‌دهد (به استاندارد بین‌المللی ISO 17450-2 مراجعه شود). بنابراین باید پیش از به کار بردن روش، تعیین گردد که عدم قطعیت روش و عدم قطعیت مشخصه در مقایسه با پیاده‌سازی عدم قطعیت، کوچک هستند. علاوه بر این، روش مناسب نبوده و نباید برای فرایندهای اندازه‌گیری هندسی پیچیده، مانند بافت سطح، شکل، جهت‌گیری و مکان اندازه‌گیری‌ها که بستگی به چندین نقطه‌ی اندازه‌گیری یا اندازه‌گیری همزمان در چندین جهت یا هر دو دارد، مورد استفاده قرار بگیرد.

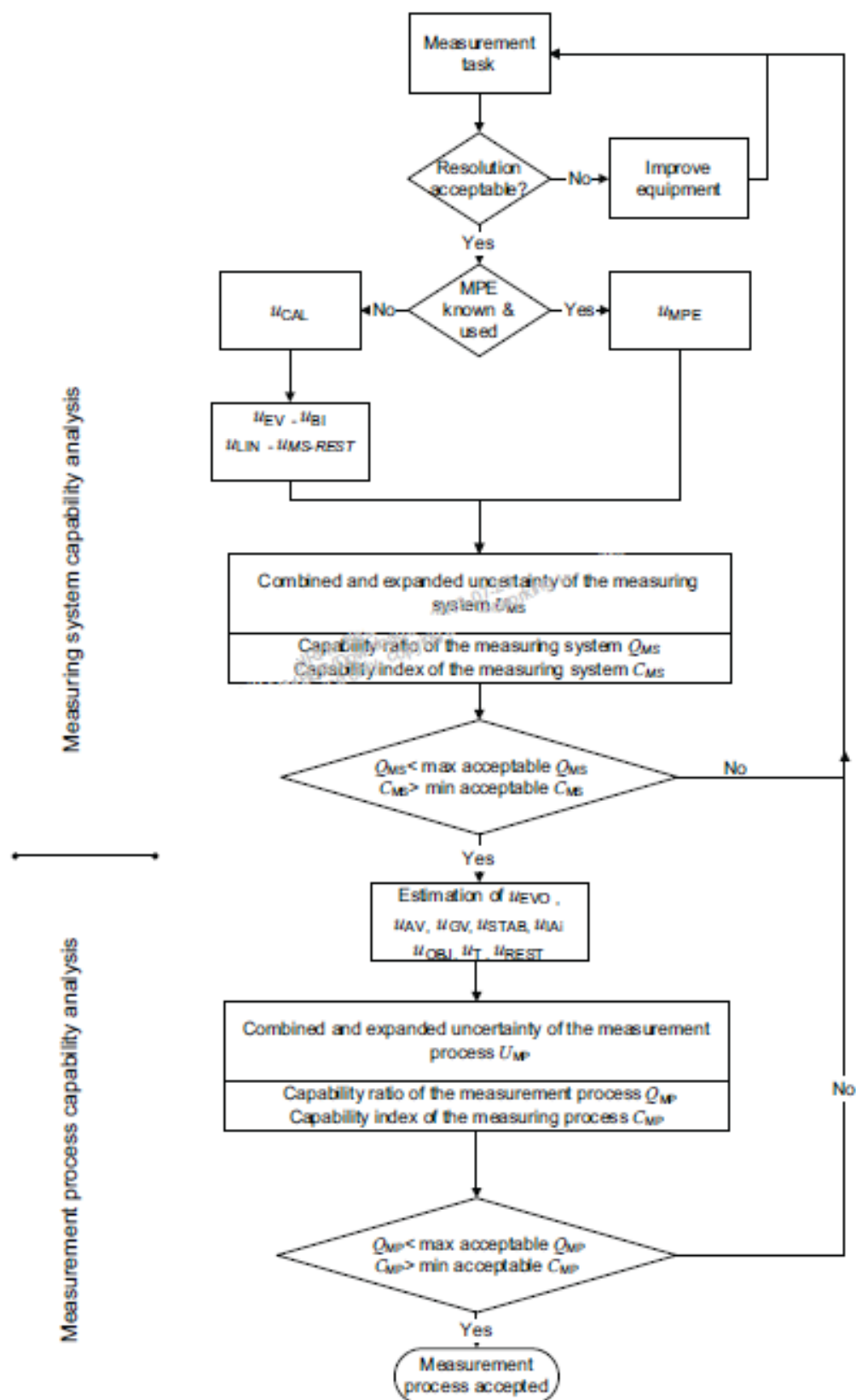
ISO/IEC راهنمای ۹۸-۳ (GUM)، ارزیابی عدم قطعیت استاندارد را توسط ابزار مناسب، مجاز می‌شمارد. این ارزیابی توسط عملیات آماری حاصل از مشاهدات مکرر، به صورت ارزیابی عدم قطعیت نوع A و ارزیابی توسط هر ابزار دیگری به صورت ارزیابی عدم قطعیت نوع B، تمییز داده می‌شود. در ارزیابی عدم قطعیت استاندارد ترکیبی، هر دو نوع ارزیابی باید توسط عدم قطعیت مربع و عملیات با همان روش، شناسایی شوند. عدم قطعیت استاندارد به منظور دستیابی به عدم قطعیت استاندارد اندازه‌گیری، جمع یا ترکیب می‌شوند. این ارزیابی از عدم قطعیت بر اساس ISO/IEC راهنمای ۹۸-۳، با استفاده از قانون گسترش عدم قطعیت^۱، انجام

1-law of propagation of uncertainty

می‌شود. جزئیات کامل این روند و مفروضات اضافی، بر اساس اطلاعات داده شده در ISO/IEC راهنمای ۳-۹۸ می‌باشد.

برای ارزیابی سامانه اندازه‌گیری یا فرایند اندازه‌گیری، نسبت قابلیت Q_{MS} یا Q_{MP} یا شاخص قابلیت C_{MS} یا C_{MS} می‌تواند بر اساس عدم قطعیت اندازه‌گیری استاندارد ترکیبی و مشخصه محاسبه شود. عدم قطعیت گسترده‌ی ترکیبی باید به طور قابل توجهی کمتر از خصوصیات مشخصه‌ی اندازه‌گیری شده، باشد. در صورتی که جزئیات عدم قطعیت تخمینی از یک آزمون (ارزیابی نوع A)، مطابق با پراکندگی مورد انتظار این اجزا در فرایند اندازه‌گیری حقیقی نباشد، اجزا ممکن است به طور تجربی تخمین زده شوند. در عوض، باید از طریق یک مدل ریاضی (ارزیابی نوع B؛ برای مثال دمای ثابت در آزمایشگاه اندازه‌گیری، در هنگام مطالعه‌ی تغییرات دمای نرمال در مکان برنامه‌های آینده)، استخراج شود. مسئول^۱ باید درک کاملی از مدل مورد استفاده، داشته باشد.

شکل ۱، رویکرد گام به گام روش را تعریف می‌کند. خطی بودن، تکرارپذیری، اریبی بودن، می‌تواند بر اساس مقدار MPE مشخص شود (حداکثر خطای مجاز).



شکل ۱- تجزیه و تحلیل قابلیت فرایند اندازه گیری

۵-۲ ریزنگری

ریزننگری تأثیرگذار در عدم قطعیت اندازه‌گیری است. ریزنگری هیچ گاه نباید کمتر از اثر ریزنگری باشد. در صورتی که عدم قطعیت گسترده‌ی محاسبه شده بر اساس ریزنگری حقیقی، بیشتر از نیاز به فرایند اندازه‌گیری باشد، سامانه اندازه‌گیری باید بهبود یابد.

با پیش فرض، برای استفاده از سامانه اندازه‌گیری به منظور تعریف انطباق با یک مشخصه‌ی دو جانبه، بدون وجود قانون مشخصی میان عرضه کننده و خریدار، وضوح باید کمتر از $1/20$ بازه‌ی مشخصه باشد. با پیش فرض، برای استفاده از سامانه اندازه‌گیری به منظور کنترل فرایند تولید با استفاده از ابزار SPC، مطابق با مشخصه‌ی دوجانبه، بدون وجود قانون مشخصی بین عرضه کننده و خریدار، وضوح باید کمتر از $1/5$ تغییر فرایند باشد.

۵-۳ MPE شناخته شده و مورد استفاده

در صورتی که سامانه اندازه‌گیری استفاده شود، حداکثر خطای مجاز (MPE)، یا اغلب یک عدد، باید برای یک سامانه حقیقی تعریف شود. سامانه برسنجی به منظور سندیت دادن تطابق با نیاز به تعریف خصوصیات اندازه‌گیری^۱ ارائه شده به صورت یک یا چند حداکثر خطای مجاز، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مورد، مقدار MPE، یا در صورت تأثیر بیشتر از یک خصوصیت اندازه‌گیری بر کار اندازه‌گیری، نتیجه‌ی ترکیبی از مقادیر MPE حقیقی، می‌تواند برای محاسبه‌ی قابلیت سامانه اندازه‌گیری به جای روش تجربی، مورد استفاده قرار بگیرد. در صورتی که نیاز به استفاده از جمعیتی از ابزار مختلف به صورت سامانه اندازه‌گیری باشد، روش مورد استفاده‌ی MPE ممکن است پیشنهاد شود. اگر تنها بتوان یک سامانه اندازه‌گیری تعریف شده را در ارتباط با یک فرایند اندازه‌گیری مورد استفاده قرار داد، روش تجربی، به دلیل کوچک بودن نرمال عدم قطعیت ترکیبی، ارجح است.

۵-۴ حدود کیفیت و قابلیت برای سامانه اندازه‌گیری و فرایند اندازه‌گیری

در صورتی که نیاز به سازمان‌بندی فرایند اندازه‌گیری مشخص باشد، قراردادن حد عدم قطعیت اندازه‌گیری، حائز اهمیت است. در این راه، انتخاب سامانه اندازه‌گیری برای انجام کار اندازه‌گیری در آینده، ساده است. اگر هیچ نیازی به Q_{MP} بیشینه یا C_{MS} وجود نداشته باشد، Q_{MS} محاسبه می‌شود. روش آمده، بر اساس پیش شرطی است که بعضی از اجزای عدم قطعیت همراه با فرایند اندازه‌گیری مانند غیرهمگن بودن شیء اندازه‌گیری شده، وضوح و دما باید ریاضی‌وار مدل‌سازی شوند.

۶ پیاده‌سازی

۶-۱ کلیات

مشابه با فرایندهای دیگر، فرایند اندازه‌گیری تحت تأثیر هر دو منبع تغییر سیستماتیک و تصادفی می‌باشد. به منظور تخمین و کنترل تغییر فرایند اندازه‌گیری، شناسایی تمام منابع تغییر مهم و در صورت امکان

1-metrological

نظارت بر آنها، ضروری است. در کل، اجزای عدم قطعیت کوچکتر از ۱۰٪ بزرگترین جزء عدم قطعیت، حائز اهمیت نیستند.

۶-۲ فاکتورهای تأثیرگذار بر فرایند اندازه‌گیری

۶-۲-۱ کلیات

در عملیات صنعتی، عدم قطعیت گزارش شده از فرایند اندازه‌گیری، معمولاً محدود به عدم قطعیت استخراج شده از تکرارپذیری فرایند اندازه‌گیری در استاندارد مرجع یا نام عمومی آن محصول تولید شده با عنوان قطعه‌کار، می‌باشد. عدم قطعیت برآمده از انحراف خطی، به طور عمد بر صفر تنظیم شده یا از مشخصه‌ی تولیدکننده به دست می‌آید، برای مثال، در شرایط حد خطا (M_{PE})، به تصویب می‌رسد. استفاده از آزمون شناخته شده‌ی تکرارپذیری در استاندارد مرجع برای تخمین تکرارپذیری و اریبی فرایند اندازه‌گیری، پیشنهاد می‌شود. بر اساس این آزمون، می‌توان شاخص قابلیت اندازه‌گیری را تخمین زد. این روش ممکن است توسط استفاده از بیش از یک استاندارد مرجع، موجود در نزدیک یا داخل حدود مشخصه، گسترش یابد. در هر دو حالت، سامانه اندازه‌گیری می‌تواند توسط استفاده از خطاهای سیستماتیک شناخته شده، اصلاح شود.

در صورتی که خطی بودن سامانه اندازه‌گیری حتماً مشخص و معین باشد، می‌تواند به وسیله‌ی مطالعه‌ی خطی بر اساس کمینه سه استاندارد مرجع انجام شود. نتیجه‌ی این جستجو (تابع رگرسیون) می‌تواند در تصحیح نتیجه‌ی اندازه‌گیری مورد استفاده قرار بگیرد. بدین وسیله، عدم قطعیت حاصل از انحراف خطی، کاهش خواهد یافت.

۶-۲-۲ اجزای عدم قطعیت متعلق به سامانه اندازه‌گیری

۶-۲-۲-۱ انواع

اجزای عدم قطعیت مرتبط با سامانه اندازه‌گیری همچنین

- حداکثر خطای مجاز

یا

- ترکیبی از

- عدم قطعیت برسنجی،

- تکرارپذیری و/یا ریزنگری،

- اریبی (تمایل)^۱،

- خطی بودن، و

- اجزای دیگر عدم قطعیت

می‌باشد.

1-Bias

۶-۲-۲-۲ تخمین عدم قطعیت با استفاده از مقدار MPE

زمانی که ابزار اندازه‌گیری یا استاندارد اندازه‌گیری، برای تطابق با مقادیر MPE تعیین شده برای هر خصوصیتی از اندازه‌گیری، شناخته شده‌اند، این مقادیر MPE باید برای تخمین جزء عدم قطعیت، مشابه جدول ۱، استفاده شوند.

جدول ۱- عدم قطعیت MPE

اجزای عدم قطعیت	نماد	آزمون / مدل
مقدار MPE	u_{MPE}	عدم قطعیت استاندارد به سبب حداکثر خطای مجاز. $u_{MPE} = \frac{M_{PE}}{\sqrt{3}}$ توزیع مستطیلی مفروض است. در مواردی که یک مقدار MPE بر فرایند اندازه‌گیری تأثیر می‌گذارد، عدم قطعیت استاندارد ترکیبی می‌تواند به صورت زیر محاسبه شود: $u_{MPE} = \sqrt{\frac{M_{PE1}^2}{3} + \frac{M_{PE2}^2}{3} \dots}$

۶-۲-۲-۳ ریزنگری سامانه اندازه‌گیری

سامانه اندازه‌گیری پیشنهادی واقعی، باید وضوح بالای کافی داشته باشد، به طوری که عدم قطعیت گسترده اندازه‌گیری شده از عدم قطعیت ریزنگری، خیلی کمتر (مقدار مرسوم ۵٪) از بازه‌ی مشخصه برای خصوصیتی که باید اندازه‌گیری شود (اندازه)، باشد.

ریزننگری سامانه اندازه‌گیری یا گامی در آخرین رقم از سامانه نمایش دیجیتال، یا مقدار اندازه‌گیری گرد شده، همواره منجر به عدم قطعیت جزء می‌شود. زمانی که جزء عدم قطعیت تکرارپذیر، از اطلاعات تجربی استخراج شود، در صورتی که جزء عدم قطعیت تکرارپذیر (u_{EVR}) بیشتر از جزء بر پایه‌ی ریزنگری باشد، تأثیر ریزنگری و غیره در نظر گرفته می‌شود.

اگر عدم قطعیت جزء تکرارپذیر، بیشتر از جزء ریزنگری باشد، جزء ریزنگری، در جزء تکرارپذیر شامل می‌شود. اگر که نه، جزء u_{EVR} باید به مدل، مطابق با آنچه که در جدول ۲ نشان داده شده است، افزوده شود.

جدول ۲ - عدم قطعیت حاصل از ریزنگری

اجزای عدم قطعیت	نماد	آزمون / مدل
ریزننگری سامانه اندازه‌گیری	u_{RE}	$u_{RE} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{R_E}{2} = \frac{R_E}{\sqrt{12}}$ که R_E ریزنگری است و فرض می‌شود که از توزیع مستطیلی پیروی می‌کند. در صورت استفاده از مقیاس‌های متناظر، توزیع مطلق می‌تواند مثال دیگری از توزیع نرمال باشد.

۴-۲-۲-۶ محاسبه‌ی تکرارپذیری، اریبی و خطی بودن با استفاده از استانداردهای مرجع یا قطعه‌کارهای برسنجی شده

استانداردهای مرجع یا قطعه‌کارها به منظور ارائه‌ی مراجع، معمولاً استانداردهای ملی یا بین‌المللی یا استانداردهای به اصطلاح مورد توافق (استانداردهای پذیرفته شده توسط مشتری و عرضه‌کننده)، باید قابل یافتن^۱ باشند. عدم قطعیت حاضر در طول برسنجی، باید تعیین شود.

جدول ۳- عدم قطعیت برسنجی استاندارد

اجزای عدم قطعیت	نماد	آزمون/ مدل
برسنجی	U_{CAL}	انجراف استاندارد عدم قطعیت به سبب برسنجی (بنابر سند رسمی). در مواردی که عدم قطعیت در پروتوکل به صورت عدم قطعیت گسترده داده شده باشد، باید توسط فاکتور پوشش مرتبط تقسیم شود: $U_{CAL} = U_{CAL}/k_{CAL}$

آنالیزهای خطی، باید اغلب به مقدار کافی انجام شوند، مانند حالت مقدار تخمین زده شده برای M_{PE} ، بین دو آنالیز خطی افزایش نیابد.

۴-۲-۲-۵ روش تجربی (با استفاده از آنالیز رگرسیون)

روش تجربی، چگونگی تعیین داده‌های اندازه‌گیری را با رابطه‌ی $Y = A + BX$ در نظر می‌گیرد (چگونگی تغییر متغیر وابسته‌ی Y را به صورت تابعی از متغیر مستقل X ، تعریف می‌کند). زمانی که داده‌های اندازه‌گیری برآمده از سامانه اندازه‌گیری، توسط مقادیر (نامشخص) A و B از پارامترهای تابع برسنجی، مشخص می‌شوند، به وسیله‌ی استانداردهایی با مقادیر برسنجی شده‌ی X_i داده شده در واحدهای استاندارد «شبیه‌سازی» شده و پاسخ‌های مربوطه یا نشانه‌های Y_i به دست آمده از ابزار، ثبت می‌شوند.

¹-traceable

جدول ۴- عدم قطعیت حاصل از سامانه اندازه‌گیری

اجزای عدم قطعیت	نماد	آزمون / مدل
عدم قطعیت حاصل از خطی بودن	U_{LIN}	مثال ۱: $U_{LIN} = 0$ مثال ۲: $U_{LIN} = \frac{a}{\sqrt{3}}$ که a نصف عرض بازه‌ی توزیع یکنواخت یا مقدار MPE شناخته شده است. مثال ۳: U_{LIN} به همراه U_{EVR} به طور تجربی تعیین می‌شود. (مثال ۲ در زیر) مثال ۴: U_{LIN} بر اساس نتایج حاصل از سند رسمی برسنجی به دست بیاید.
عدم قطعیت حاصل از اریبی	U_{BI}	U_{BI} می‌تواند با استفاده از اندازه‌گیری‌های استاندارد مرجع، بر اساس فاصله‌ی بین مقادیر استاندارد و مقادیر متوسط اندازه‌گیری شده محاسبه شود: $U_{BI} = \frac{ \bar{x}_g - x_m }{\sqrt{3}}$
تکرارپذیری با استفاده از استانداردهای مرجع	U_{EVR}	مثال ۱: حداقل ۳۰ بار تکرار اندازه‌گیری استاندارد مرجع که به موجب آن U_{EVR} می‌تواند تخمین زده شود. k بار تکرار اندازه‌گیری در هر استاندارد مرجع متفاوت ($N \geq 2$) با $N * K \geq 30$ تخمین حاصل از تابع رگرسیون خطی تخمین U_{LIN} و U_{EVR} با استفاده از روش آنووا ^۱
سایر اجزای عدم قطعیت ذکر نشده در بالا	$U_{MS.REST}$	برای مثال جابجایی مقیاس (با استفاده از صورت‌های اندازه‌گیری متفاوت)

۶-۲-۳ اجزای عدم قطعیت افزوده شده متعلق به فرایند اندازه‌گیری

۶-۲-۳-۱ کلیات

در آنالیز فرایند اندازه‌گیری تعریف شده، تحت شرایط حقیقی، شناسایی و تعیین اجزای عدم قطعیت اضافی فرایند، باید به همراه هم با تعریف اجزای عدم قطعیت حاصل از سامانه اندازه‌گیری در بالا، انجام شوند.

۶-۲-۳-۲ تعیین اجزای عدم قطعیت حاصل از آزمون‌ها (نوع A)

1-ANOVA

جدول ۵- عدم قطعیت حاصل از تکرارپذیری و قابلیت تولید فرایند اندازه‌گیری

اجزای عدم قطعیت	نماد	آزمون / مدل
تکرارپذیری با استفاده از قطعه‌کارها	U_{EVO}	همواره از حداقل ۵ قطعه‌کار استفاده شود
اثر تغییر اپراتورها در شرایط اندازه‌گیری	U_{AV}	- با استفاده از حداقل ۲ اپراتور اندازه‌گیری شود یا - با استفاده از ۲ سامانه اندازه‌گیری متفاوت اندازه‌گیری شود (در صورتی که مرتبط باشد)
تکثیرپذیری سامانه اندازه‌گیری (مکان اندازه‌گیری)	U_{GV}	حداقل اندازه نمونه: ۳۰
اثر تغییر در زمان در شرایط تکثیرپذیری اندازه‌گیری	U_{STAB}	تخمین اجزای عدم قطعیت با استفاده از روش ANOVA. [VIM, GUM, ISO 5725, ISO 13528, ISO/TS 21748, ISO 21749]
اثر متقابل	U_{LAI}	در صورت عدم وجود اثر اپراتور، تعداد قطعه‌کارها باید افزایش یابد.

یادآوری ۱ - در شرایط خاص (برای مثال هزینه‌ی بالای آزمون)، دو تکرار هم قابل قبول است.

یادآوری ۲ - اگر تعداد نمونه‌ها کوچکتر از ۳۰ باشد، آزمون t محققان می‌تواند برای گسترش عدم قطعیت گسترده، استفاده شود. به بند ۸ مراجعه شود.

۳-۳-۲-۶ تعیین اجزای عدم قطعیت، گنجانده نشده در آزمون‌ها (نوع B)

علاوه بر اجزای عدم قطعیت تخمین زده شده از سامانه اندازه‌گیری (بند ۳-۲-۶) و اجزای عدم قطعیت تخمین زده شده از فرایند اندازه‌گیری (۳-۳-۲-۶)، اجزای عدم قطعیت افزوده شده باید با استفاده از مدل‌های ریاضی، تعیین شوند.

جدول ۶ - سایر عدم قطعیت‌ها در فرایند اندازه‌گیری

اجزای عدم قطعیت	نماد	آزمون / مدل
غیرهمگن بودن بخش	u_{OBJ}	$u_{OBJ} = \frac{a_{OBJ}}{\sqrt{3}}$ که a_{OBJ} حداکثر خطای مجاز و قابل پیش‌بینی به سبب هدف است. (برای مثال انحراف شکل)
دما	u_T	اثر دما می‌تواند با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود: $u_T = \sqrt{u_{TD}^2 + u_{TA}^2}$ عدم قطعیت حاصل از اختلاف دما، برای مثال در تایید ISO 14253-2 تخمین زده می‌شود. $u_{TD} = \frac{\Delta T \cdot \alpha \cdot l}{\sqrt{3}}$ α ضریب انبساط است؛ ΔT اختلاف دما است؛ و توزیع مستطیلی فرض می‌شود. عدم قطعیت در ضرایب انبساط می‌تواند در تأیید ISO 15530-3 تخمین زده شود. $u_{TA} = \frac{ T - 20^\circ\text{C} \cdot u_\alpha \cdot l}{\sqrt{3}}$ T دمای متوسط در طول اندازه‌گیری است؛ u_α عدم قطعیت در ضریب انبساط است؛ l مقدار مشاهده شده برای اندازه‌گیری طول است.

یادآوری ۱ - T در فرمول‌های بالا معرف دما است. نباید با بازه‌ی مشخصه یا مقدار هدف استفاده شده در قسمت‌های دیگر از این بخش در این استاندارد، اشتباه گرفته شود.

یادآوری ۲ - در حالتی که جبران اختلاف دما انجام نشود، سهم این اختلاف باید در تخمین موجود فرمول بالا، در نظر گرفته شود.

یادآوری ۳ - بخشی از شیء که باید اندازه‌گیری شود، شامل شیء اندازه‌گیری شده توسط دستگاه‌های تعبیه شده می‌باشد.

۶-۳-۲-۴ تأثیر نوسانات درون قطعه‌ای بر نتیجه‌ی اندازه‌گیری

در بیشتر فرایندهای اندازه‌گیری، سطح قطعه‌کار در طی سنجش با سامانه اندازه‌گیری در ارتباط است. بر اساس بافت سطح حاصل از انحراف و انحرافات هندسی از هندسه‌ی اسمی، ارتباط بین سامانه اندازه‌گیری و قطعه‌کار، منجر به جزء عدم قطعیت می‌شود. براساس اندازه و تکرار اندازه‌گیری در قطعه‌کار، انحراف شکل، تأثیر مشابهی نخواهد داشت (اگر اندازه مرتبط با مقدار حداکثر باشد، و تنها یک اندازه انتخاب شود، آنگاه تأثیر انحراف شکل مستقیم خواهد بود، اما در صورتی که قطعه‌کار را بچرخانیم و مقدار مشاهده شده‌ی

حداکثر را انتخاب کنیم، آنگاه انحراف شکل در ارزیابی ادغام شده و تأثیری بر عدم قطعیت اندازه‌گیری ندارد).

جزء a_{OBJ} می‌تواند از الزامات مورد نیاز در طراحی یا توسط آزمون‌های مناسب برای یافتن حداکثر انحراف شکل یا غیرهمگن‌های مشابه، به دست بیاید.
جزء U_{OBJ} مطابق جدول ۱۰ به مدل اضافه می‌شود.

۵-۳-۲-۶ ریزنگری

اگر جزء تکرارپذیری که از قطعه‌کار (U_{EVO}) استفاده می‌شود، بیشتر از جزء ریزنگری باشد، آنگاه جزء ریزنگری شامل جزء تکرارپذیر می‌شود. در غیر این‌صورت، جزء U_{RE} باید به مدل مشابه جدول ۱ اضافه شود.

۶-۳-۲-۶ تأثیر دما

۱-۶-۳-۲-۶ محاسبه‌ی عدم قطعیت

عدم قطعیت حاصل از تأثیر دما U_T ، باید بر اساس جزء عدم قطعیت حاصل از تغییر دما و عدم قطعیت حاصل از ضرایب انبساط شناخته نشده، محاسبه شود.

$$U_T = \sqrt{U_{TD}^2 + U_{TA}^2}$$

۲-۶-۳-۲-۶ جزء عدم قطعیت حاصل از تغییرات دما و انبساط

دمای مرجع استاندارد برای مشخصات هندسی محصول (GPS) و اندازه‌گیری‌های GPS برابر با 20°C می‌باشد (به استاندارد بین‌المللی ISO 1 مراجعه شود). ممکن است دماهای مرجع برای کاربردهای دیگری علاوه بر هندسی (برای مثال تأثیرات الکتریکی حاصل از دما) وجود داشته باشد، که می‌تواند در اثر دمای مطلق به علاوه‌ی زمان و گرادیان‌های دمایی طولی حاصل از انبساط خطی، خمش و غیره حاصل از سامانه اندازه‌گیری، اتفاق بیفتد. انجام اندازه‌گیری و شیء اندازه‌گیری شده، باعث جزء عدم قطعیت U_{TD} می‌شوند. تبدیل دما به طول، توسط معادله‌ی انبساط خطی به دست می‌آید:

$$\Delta L = \Delta T \cdot \alpha \cdot l$$

که:

ΔT : اختلاف دمای مرتبط؛

α : ضریب انبساط دمایی ماده؛

l : طول مؤثر تحت نظر است.

انحراف شناخته شده‌ی دما از دمای مرجع، در صورت مناسب بودن، می‌تواند به صورت جزء خطای سیستماتیک، اصلاح شود.

عدم قطعیت U_{TD} می‌تواند برای مثال، مطابق با استاندارد بین‌المللی ISO 14253-2، تخمین زده شود.

۳-۶-۳-۲-۶ عدم قطعیت در ضریب انبساط

سهام عدم قطعیت از تغییرات ضریب انبساط قطعات اندازه‌گیری شده، اغلب می‌تواند وجود داشته باشد. در این مورد، عدم قطعیت U_{TD} توسط رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$U_{TD} = \frac{|T - 20^{\circ}\text{C}| \cdot U_{\alpha} \cdot l}{\sqrt{3}}$$

که $U_{0\alpha}$ عدم قطعیت استاندارد ضریب انبساط قطعه کارها می‌باشد. متناوباً، عدم قطعیت U_{TD} می‌تواند منطبق با استاندارد بین‌المللی ISO 15530-3، تخمین زده شود.

۷ مطالعات انجام شده در محاسبه‌ی اجزای عدم قطعیت

۷-۱ سامانه اندازه‌گیری

۷-۱-۱ کلیات

سفارش مطالعه به منظور ارائه‌ی اطلاعات معنی‌دار، تعیین وضوح سامانه اندازه‌گیری شرط لازم بوده و برای فرایند اندازه‌گیری حقیقی، کافی است.

تأیید اینکه عدم قطعیت استاندارد حاصل از تکرارپذیری، کوچکتر از عدم قطعیت استاندارد حاصل از وضوح می‌باشد، ضروری است. در غیر اینصورت، عدم قطعیت حاصل از وضوح، باید در عوض تکرارپذیری استفاده شود ($\max\{U_{EVR}, U_{EVO}, U_{RE}\}$).

روش به کار برده شده، بر اساس دانش خطی بودن سامانه اندازه‌گیری می‌باشد. اگر خطی بودن شناخته شده در نظر گرفته شود، تکرارپذیری و اریبی، می‌توانند از یک (یاچند) استاندارد استفاده کنند.

۷-۱-۲ تکرارپذیری و اریبی بر اساس یک استاندارد مرجع

۷-۱-۲-۱ کلیات

اگر جزء عدم قطعیت U_{LIN} معادل با صفر یا تخمینی از حداکثر خطای مجاز (M_{PE}) باشد، جزء U_{EVR} باید به طور تجربی تعیین شود. تعیین عدم قطعیت U_{EVR} ، از تکرارپذیری تخمینی حاصل از اندازه‌گیری‌ها بر روی استاندارد مرجع یا قطعه کار، حاصل می‌شود. تخمین اثر ترکیبی اریبی و تکرارپذیری، باید بر اساس پراکندگی حداقل ۳۰ اندازه‌گیری تکرار شده باشد. در این حالت، اریبی و تغییر به همراه یکدیگر به صورت دو جزء عدم قطعیت متفاوت U_{BI} و U_{EVR} ، استفاده می‌شوند.

۷-۲-۱-۲ پیش‌شرط‌ها

- مقدار کمی مرجع از استاندارد مرجع یا قطعه کار باید مقدار کمی نزدیک به مقدار هدف داشته باشد. حداکثر انحراف استاندارد مرجع از مقدار هدف به خصوصیات سامانه اندازه‌گیری بستگی دارد.
- مقدار کمیت مرجع x_m از استاندارد مرجع یا قطعه کار باید (به طور معمول توسط برسنجی) تعیین شود.
- استاندارد مرجع یا قطعه کار باید حذف شده و بین هر اندازه‌گیری جایگزین شود.

- در حالت رواداری تک جانبه‌ی فیزیکی، «حد طبیعی»، مقدار کمی مرجع استاندارد مرجع یا قطعه‌کار باید مقدار کمی نزدیک به مقدار مشخصه داشته باشد.

۷-۱-۲-۳ روش

حداقل ۳۰ اندازه‌گیری در استاندارد مرجع یا قطعه‌کاربرسنجی شده، انجام می‌شود. براساس مقدار حقیقی، اریبی اندازه‌گیری (B_i)، عدم قطعیت تکرارپذیری استاندارد حاصل از استاندارد مرجع و عدم قطعیت استاندارد اریبی، به صورت زیر تخمین زده می‌شود:

$$u_{EVR} = s = \sqrt{\frac{1}{K-1} \cdot \sum_{i=1}^K (x_i - x_g)^2} \text{ و } B_i = |x_g - x_m|$$

K : تعداد اندازه‌گیری‌های تکرار شده؛

x_i : مقدار منفرد i ام اندازه‌گیری؛

x_g : میانگین حسابی تمام مقادیر نمونه.

$$u_{BI} = \frac{B_i}{\sqrt{3}} = \frac{|x_g - x_m|}{\sqrt{3}}$$

این فرمول تنها در مواردی استفاده می‌شود که نمی‌توان بین خطاهای تصادفی و حسابی، تمیز داد. تا زمانی که تنظیم صفر ابزار اندازه‌گیری، بتواند باعث تغییر بیشتر شود، تنظیم صفر در سامانه اندازه‌گیری با استفاده از استاندارد یا قطعه‌کار بین هر جستجو، حائز اهمیت است. اگر بیش از یک استاندارد در آزمون، به منظور تعیین تکرارپذیری استفاده شود، بیشترین انحراف میانگین از استاندارد مرتبط، باید به عنوان مقدار اریبی، استفاده شود. اگر پراکندگی، ثابت فرض شود، پراکندگی میانگین باید استفاده شود.

۷-۱-۳ آنالیز خطی بودن بر اساس حداقل سه استاندارد مرجع

۷-۱-۳-۱ محاسبات در صورت وجود انحرافات خطی

در بند ۶-۲-۳، آزمون زیر (به استاندارد بین‌المللی ISO 11095 مراجعه شود) برای تعیین عدم قطعیت انحرافات، از خطی بودن سامانه اندازه‌گیری استفاده می‌شود. در صورت وجود انحرافات خطی، تخمین عدم قطعیت اجزا u_{LIN} (عدم قطعیت خطی) و u_{EVR} (تکرارپذیری در استاندارد) باید بر اساس روش زیر محاسبه شود.

۱. با حداقل سه استاندارد مرجع، سه اندازه‌گیری مکرر انجام شود. حداقل اندازه نمونه ۳۰ است.
۲. آنالیز رگرسیون انجام می‌شود. مشاهده می‌شود که انحراف استاندارد باقیمانده^۱، پیش از گسترش اندازه‌گیری، ثابت باقی می‌ماند. انحراف استاندارد باقیمانده، پس از این در تخمین عدم قطعیت استفاده می‌شود.

۳. آنالیز پراکندگی^۲ انجام می‌شود (ANOVA).

1-residual
2-Variance

۴. اجزای عدم قطعیت u_{LIN} و u_{EVR} بر اساس نتایج ANOVA در بند ۳ بالا، تخمین زده می‌شود.
۵. نتایج اندازه‌گیری در اندازه‌گیری‌های آینده، مطابق با محاسبه‌ی خطی بودن، در صورت مناسب بودن، اصلاح می‌شود.

۷-۱-۳-۲ پیش‌شرط‌ها

- عموماً، پیش‌شرط‌های زیر به کار برده می‌شوند.
- انحراف استاندارد باقیمانده (انحراف استاندارد از اندازه‌گیری‌های تکرار شده در استانداردها) همواره ثابت است (به جدول ۹ مراجعه شود).
 - تابع رگرسیون خطی است (خط رگرسیون).
 - عدم قطعیت در رابطه با مقادیر «صحیح» استانداردهای مرجع، در مقایسه با اندازه‌ی انحرافات از استاندارد اندازه‌گیری‌ها، کوچک هستند.
 - اندازه‌گیری‌ها نماینده‌ی استفاده‌ی سامانه اندازه‌گیری، با در نظر گرفتن محیط و شرایط دیگر می‌باشند.
 - اندازه‌گیری‌های تکرار شده از استانداردهای مرجع، مستقل از یکدیگر بوده و به طور نرمال توزیع شده‌اند.
 - مقادیر استانداردها، تقریباً با فواصل برابر در بازه‌ی اندازه‌گیری مرتبط، قرار دارند.

۷-۱-۳-۳ شرایط

- شرایط روش به طور آشکار در زیر تعریف شده است.
- خط رگرسیون، بر اساس مقادیر اندازه‌گیری شده با استفاده از نمایش گرافیکی مشابه شکل ۲، نشان داده می‌شود. که تأثیر اولیه را دارد:
۱. آیا فرایند اندازه‌گیری، در طول آزمون تحت کنترل است،
 ۲. درستی پیش‌شرط‌ها (برای مثال، ثابت انحراف استاندارد باقیمانده)؛
 ۳. مقادیر اندازه‌گیری در مقایسه با مقدار «صحیح» مناسب، و
 ۴. وجود دورافتادگی‌ها^۱ و روند زمانی^۲ که به تحقیق بیشتری نیاز دارد.

۷-۱-۳-۴ مثالی از آنالیز خطی

فرمول رگرسیون خطی:

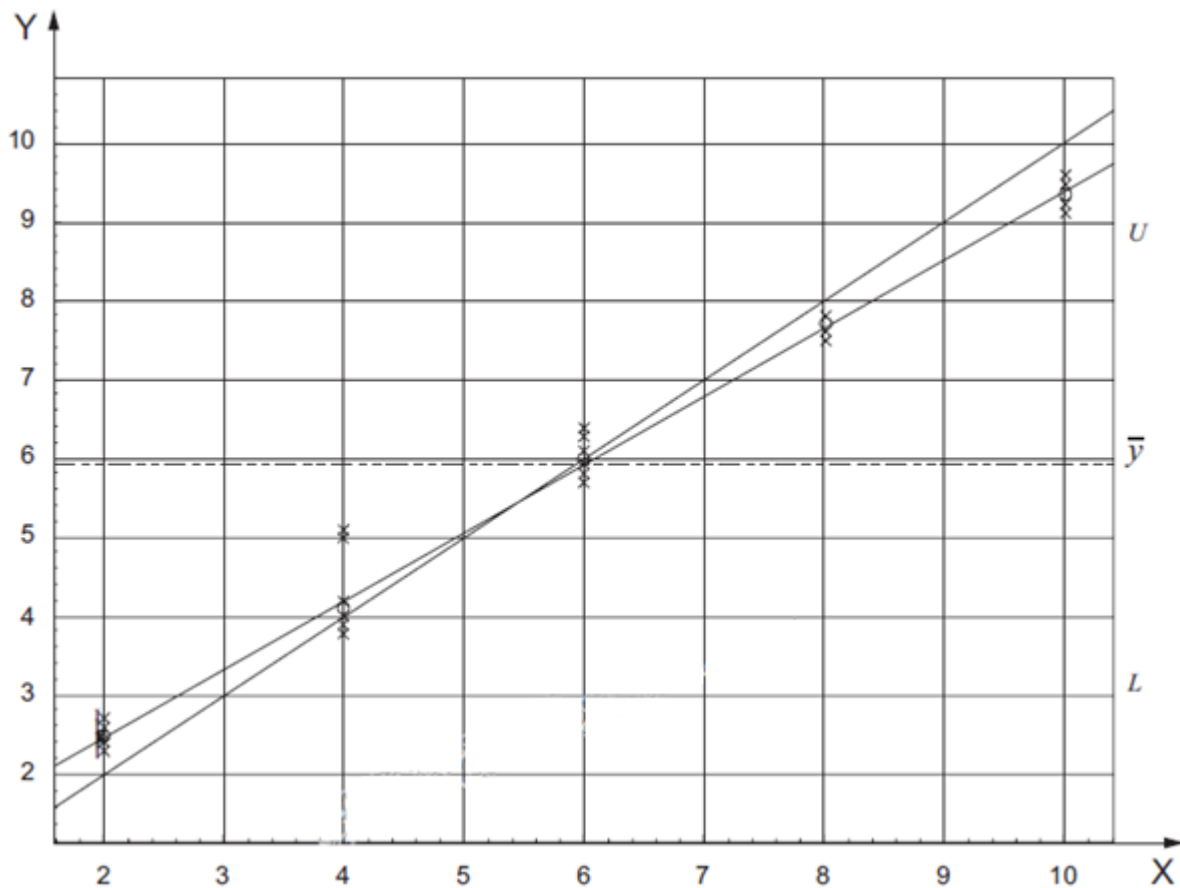
$$y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_i + \varepsilon_{ij}$$

3-outliers

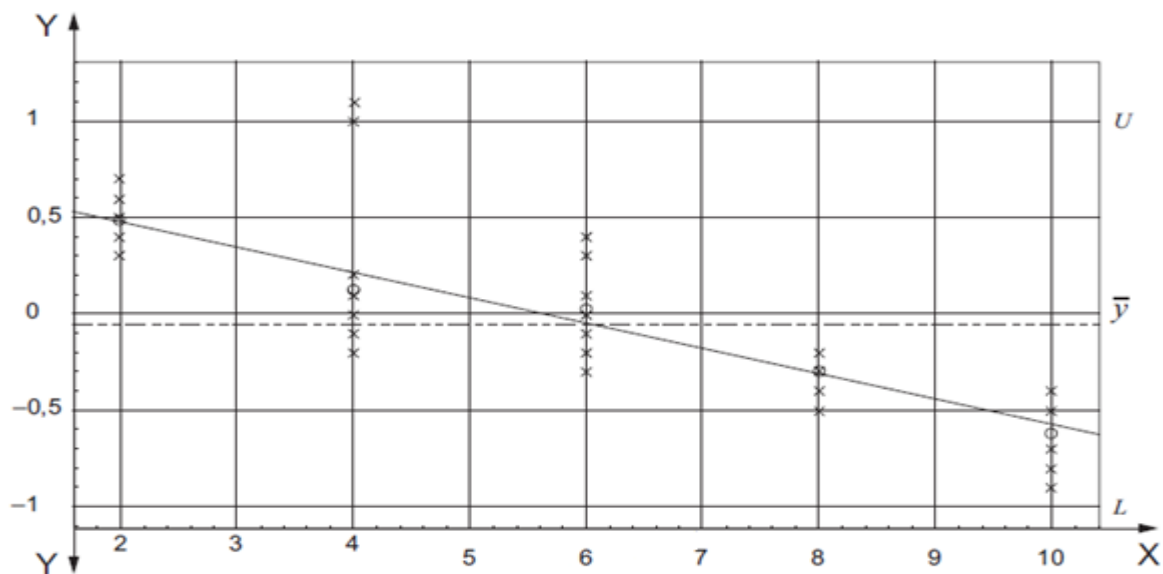
1-temporal trends

جدول ۷- داده‌های اندازه‌گیری شده

i	x_m	Observations on standards												$\bar{y}_i$	s
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	2,0	2,7	2,5	2,4	2,5	2,7	2,3	2,5	2,5	2,4	2,4	2,6	2,4	2,49	0,12
2	4,0	5,1	3,9	4,2	5,0	3,8	3,9	3,9	3,9	3,9	4,0	4,1	3,8	4,13	0,45
3	6,0	5,8	5,7	5,9	5,9	6,0	6,1	6,0	6,1	6,4	6,3	6,0	6,1	6,03	0,20
4	8,0	7,6	7,7	7,8	7,7	7,8	7,8	7,8	7,7	7,8	7,5	7,6	7,7	7,71	0,10
5	10,0	9,1	9,3	9,5	9,3	9,4	9,5	9,5	9,5	9,6	9,2	9,3	9,4	9,38	0,15



شکل ۲- نمایش گرافیکی خطی بودن



کلید

X قطر (مرجع)

$\bar{Y}$ ریپی (مقدار - مرجع)

شکل ۳- خط شناسایی $\bar{Y}$ منهای خط رگرسیون

اگر یک یا چند دورافتادگی^۱ وجود داشته باشد، آزمون باید بعد از حذف دورافتادگی‌های یافت شده، تکرار شود.

کاربر می‌تواند برای یافتن دورافتادگی‌ها از استاندارد بین‌المللی ISO 16269-4 کمک بگیرد. عدم موفقیت در کشف وجود دورافتادگی‌ها، منجر به اصلاح نادرست خواهد شد. اطلاعات در رابطه با چگونگی محاسبه‌ی اجزای عدم قطعیت و تابع رگرسیون در پیوست جدول الف-۳ آمده است.

۷-۱-۴ تخمین اجزای عدم قطعیت

محاسبه‌ی تخمین عدم قطعیت را به دلیل عدم تطابق تابع رگرسیون، u_{LIN} و تکرارپذیری اندازه‌گیری در استانداردها (خطای خالص) u_{EVR} ، باید در آنالیز پراکندگی جدول پیوست الف-۵ به دست آورد.

جدول ۸- عدم قطعیت حاصل از خطی بودن

اجزای عدم قطعیت	نماد	آزمون / مدل
خطی بودن	u_{LIN}	$y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_i + \varepsilon_{ij}$ $\hat{y} = 0.7367 - 0.1317x$ خطی بودن = 0.58 mm (در حد مشخصه بالا $x = 10mm$) $u_{LIN} = \frac{0.58}{\sqrt{3}}$

1-Outlier

۷-۲ اجزای عدم قطعیت فرایند اندازه‌گیری

۷-۲-۱ کلیات

اجزای فرایند اندازه‌گیری، انجام شده تحت شرایط حقیقی باید به اجزای عدم قطعیت تخمینی از سامانه اندازه‌گیری، محاسبه شده در بند ۶-۲-۲، افزوده شوند.

در بند ۶-۲-۳، آزمون استاندارد (آزمون دقت)، به منظور تخمین اجزای عدم قطعیت u_{GV} ، u_{AV} ، u_{EVO} و u_{IAi} ، تعریف می‌شود.

۷-۲-۲ اجزای عدم قطعیت حاصل از آنالیز پراکندگی

آنالیزهای تکرارپذیری و قابلیت تولید، تخمین‌های مستقلی از تکرارپذیری و قابلیت تولید فرایند اندازه‌گیری، ارائه می‌دهند.

آنالیزها باید بر اساس حداقل ۵ قطعه کار، با همچنین

(۱) حداقل ۳ اپراتور با حداقل ۲ اندازه‌گیری تکراری، یا

(۲) حداقل ۲ اپراتور با حداقل اندازه‌گیری تکراری

انجام شوند.

یا اگر در مواردی تنها یک اپراتور، سامانه‌های اندازه‌گیری متفاوت را استفاده کند، قلم^۱ ۲ باید توسط حداقل

۲ سامانه اندازه‌گیری متفاوت جایگزین شود، به طوری که، تخمین قابلیت تولید سامانه، انجام شود.

در کل، باید حداقل اندازه نمونه از ۳۰ اندازه‌گیری، وجود داشته باشد.

پراکندگی‌ها را تجزیه کرده و اجزای عدم قطعیت با در نظر گرفتن ارتباط متقابل بین آنها و پراکندگی‌ها، تخمین زده می‌شوند. به هنگام تخمین اجزای عدم قطعیت، باید تمیزی بین موقعیت‌های متفاوت وجود داشته باشد.

تجزیه‌ها در پیوست جدول الف-۴ وجود دارند.

اجزای عدم قطعیت دیگر (برای مثال، ثبات u_{STAB}) می‌توانند به مدل ANOVA افزوده شوند. در این حالت، آزمون باید به طور مناسب گسترش یابد، به طوری که روابط متقابل معینی بتوانند از آزمایش حذف شوند، طرح تجربی مناسب برای محدود کردن سعی تجربی، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

مثال‌های بیشتر در این آنالیز در استاندارد بین‌المللی ISO/TR 12888 وجود دارد.

۸ محاسبه‌ی عدم قطعیت ترکیبی

۸-۱ کلیات

عدم قطعیت ترکیبی سامانه اندازه‌گیری و فرایند اندازه‌گیری، باید مشابه آنچه در جدول ۹ آمده است، محاسبه شود. در صورت عدم وجود ارتباط بین اجزا، محاسبه می‌تواند تنها در روش داده شده انجام شود. اطلاعات بیشتر در رابطه با محاسبه در راهنمای ISO/IEC 28-3 : 2008 (بند ۵) آمده است.

1-item

جدول ۹ - محاسبه‌ی عدم قطعیت

اجزای عدم قطعیت	نماد	عدم قطعیت اندازه‌گیری ترکیبی
برسنجی استاندارد یا قطعه کار	u_{CAL}	$u_{MS} = \sqrt{u_{CAL}^2 + u_{LIN}^2 + u_{BI}^2 + u_{EV}^2 + u_{MS-REST}^2}$ که $u_{EV} = \max\{u_{EVR}, u_{RE}\}$
انحراف از خطی بودن	u_{LIN}	
اریبی	u_{BI}	
تکرارپذیری استانداردها	u_{EVR}	
ریزننگری	u_{RE}	
سایر اجزاس عدم قطعیت (سامانه اندازه‌گیری)	$u_{MS-REST}$	
تکرارپذیری قطعه کار	u_{EVO}	$u_{MP} = \{u_{CAL}^2 + u_{LIN}^2 + u_{BI}^2 + u_{EV}^2 + u_{MS-REST}^2 + u_{AV}^2 + u_{GV}^2 + u_{STAB}^2 + u_{IAi}^2 + u_{OBJ}^2\}$ که $u_{EV} = \max\{u_{EVR}, u_{EVO}, u_{RE}\}$
تکثیرپذیری اپراتور	u_{AV}	
تکثیرپذیری سامانه اندازه‌گیری (مکان‌های متفاوت فرایند اندازه‌گیری)	u_{GV}	
تکثیرپذیری در طول زمان	u_{STAB}	
ارتباط متقابل	u_{IAi}	
غیرهمگن بودن مولفه مورد اندازه‌گیری	u_{OBJ}	
دما	u_T	
سایر اجزای عدم قطعیت (فرایند اندازه‌گیری)	u_{REST}	

عدم قطعیت ترکیبی سامانه اندازه‌گیری، می‌تواند با استفاده از فرمول زیر تخمین زده شود:

$$u_{MS} = \sqrt{u_{CAL}^2 + u_{LIN}^2 + u_{BI}^2 + u_{EV}^2 + u_{MS-REST}^2}$$

که

$$u_{EV} = \max\{u_{EVR}, u_{RE}\}$$

در یک روش مشابه، عدم قطعیت استاندارد ترکیبی فرایند اندازه‌گیری، می‌تواند به وسیله فرمول زیر تخمین زده می‌شود:

$$u_{MP} = \sqrt{u_{CAL}^2 + u_{LIN}^2 + u_{BI}^2 + u_{EV}^2 + u_{MS-REST}^2 + u_{AV}^2 + u_{GV}^2 + u_{STAB}^2 + u_{OBJ}^2 + u_T^2 + u_{REST}^2 + \sum_i u_{IAi}^2}$$

که

$$u_{EV} = \max\{u_{EVR}, u_{RE}, u_{EVO}\}$$

۸-۲ محاسبه‌ی عدم قطعیت گسترده

می‌توان گستردگی U_{MS} حاصل از عدم قطعیت استاندارد u_{MS} را توسط ضرب عدم قطعیت در فاکتور پوشش k به دست آورد.

$$U_{MS} = k \cdot u_{MS}$$

روش مشابهی برای گستردگی U_{MP} حاصل از عدم قطعیت استاندارد u_{MP} استفاده می‌شود:

$$U_{MP} = k \cdot u_{MP}$$

محاسبه‌ی عدم قطعیت گسترده، بر اساس تقریب ۹۵٪ بازه‌ی اطمینان می‌باشد؛ بنابراین، فاکتور پوشش $k=2$ استفاده می‌شود.

یادآوری ۱ - اگر اندازه‌ی نمونه n کوچکتر از مقدار ترجیحی ۳۰ باشد، آنگاه استفاده از توزیع t محقق در عوض توزیع نرمال استاندارد، به منظور تخمین اجزای عدم قطعیت، ضروری است، نتیجه‌ی آن عدم قطعیت اندازه‌گیری گسترده است:

$$U = t_{1-(1-\alpha/2)}(v) \cdot u$$

تعداد درجه آزادی v ، به وسیله‌ی محصول تعداد قطعه‌کارها، تعداد اپراتورها، تعداد گجها و کاهش مقدار ۱ از تعداد تکرارپذیری اندازه‌گیری‌ها منهای ۱ $((n \cdot p \cdot (k - 1))$ ، به دست می‌آید.

مثال ۱ - ۳ قطعه‌کار، ۲ اپراتور، ۲ گج، و ۳ بار تکرار اندازه‌گیری:

برای $v = 3.2.2 \cdot (3 - 1) = 24$ ، $t_{1-(1-\alpha/2)}(24) = 2.11$ به دست می‌آید.

مثال ۲ - ۳ قطعه‌کار، ۲ اپراتور، ۲ گج و ۲ بار تکرار اندازه‌گیری:

برای $v = 3.2.2 \cdot (2 - 1) = 24$ ، $t_{1-(1-\alpha/2)}(12) = 2.23$ به دست می‌آید.

۹ قابلیت

۹-۱ نسبت‌های قابلیت

۹-۱-۱ کلیات

قابلیت فرایند اندازه‌گیری می‌تواند همچنین به صورت نسبت عملکرد یا شاخص قابلیت، محاسبه شود. محاسبه‌ی شاخص‌ها، ترجیح داده می‌شود.

برای ارزیابی سامانه اندازه‌گیری یا فرایند اندازه‌گیری، نسبت عملکرد (Q_{MS} یا Q_{MP}) بر اساس عدم قطعیت اندازه‌گیری داده شده در عبارت ۸، محاسبه می‌شود. مطابق با عبارت ۸، تمییز بین نسبت عملکرد برای سامانه اندازه‌گیری (Q_{MS}) و فرایند اندازه‌گیری (Q_{MP})، انجام می‌شود.

مقدار بیشتر از ۱۵٪ برای Q_{MS} و ۳۰٪ برای Q_{MP} (با روش معمول)، پیشنهاد می‌شود.

۹۵٪ بازه‌ی اطمینان برای عدم قطعیت نسبت‌های محاسبه شده، باید محاسبه شود.

پراکندگی فرایند (۹۹/۷۳٪ بازه‌ی فرایند تولید)، زمانی که فرایند اندازه‌گیری به عنوان بخشی از سامانه SPC (کنترل فرایند آماری) استفاده می‌شود، می‌تواند به عنوان یک شکل جایگزین مرجع به کار برده شود.

۹-۱-۲ نسبت عملکرد سامانه اندازه‌گیری

$$Q_{MS} = \frac{2 \cdot U_{MS}}{U - L} \cdot 100\%$$

فرمول بر اساس مشخصه به صورت مرجع، می‌باشد.

۹-۱-۳ نسبت عملکرد فرایند اندازه‌گیری

$$Q_{MP} = \frac{2 \cdot U_{MP}}{U - L} \cdot 100\%$$

فرمول بر اساس مشخصه به صورت مرجع، می‌باشد.

۹-۲ شاخص‌های قابلیت

دو شاخص قابلیت (برای سامانه و فرایند) می‌تواند بر اساس تعریف کلی شاخص قابلیت، محاسبه شود، که در استاندارد بین‌المللی ISO 3534-2:2006 بند ۲-۷ وجود دارد.

قابلیت سامانه اندازه‌گیری می‌تواند به صورت شاخص قابلیت C_{MS} ، بیان شود.

$$C_{MS} = \frac{0,3 \cdot (U - L)}{6\hat{u}_{MS}}$$

قابلیت فرایند اندازه‌گیری، می‌تواند به صورت شاخص قابلیت C_{MP} ، بیان شود.

$$C_{MP} = \frac{0,3 \cdot (U - L)}{3\hat{u}_{MP}}$$

C_{MP} و C_{MS} ، بیشتر از ۱/۳۳ پیشنهاد می‌شود.

۱۰ قابلیت فرایند اندازه‌گیری در مقایسه با فرایند قابلیت تولید

۱۰-۱ ارتباط بین قابلیت فرایند مشاهده شده و نسبت قابلیت اندازه‌گیری شده

ارتباط زیر بین قابلیت فرایند مشاهده شده یا عملکرد فرایند وجود دارد $(C_{p;obs}P_{p;obs})$ ، قابلیت یا عملکرد فرایند حقیقی $(C_{p;p}P_{p;p})$ و نسبت قابلیت (Q_{MP}) فرایند اندازه‌گیری:

$$C_{p;p} = \left(\frac{1}{C_{p;obs}^2} - 2,25 \cdot Q_{MP}^2 \right)^{-0,5}$$

جزئیات انحراف این فرمول در پیوست ب-۴ آمده است

فرمول بر اساس مفروضات زیر می‌باشد:

- اندازه‌گیری خصوصیات تولیداتی که به طور نرمال توزیع شده‌اند.
- فرایند تولید به طور نرمال توزیع شده است و در حالت کنترل آماری است.
- محاسبه‌ی شاخص C_p براساس $99/73\%$ مقدار مرجع تخمین زده شده توسط ۶ انحراف استاندارد.
- انحراف استاندارد تجربی، مشاهده شده به صورت زیر است:

$$s_{obs}^2 \sim (\sigma_P^2 + \sigma_{MP}^2) X^2(v)$$

که

σ_P : انحراف استاندارد فرایند تولید را نشان می‌دهد؛

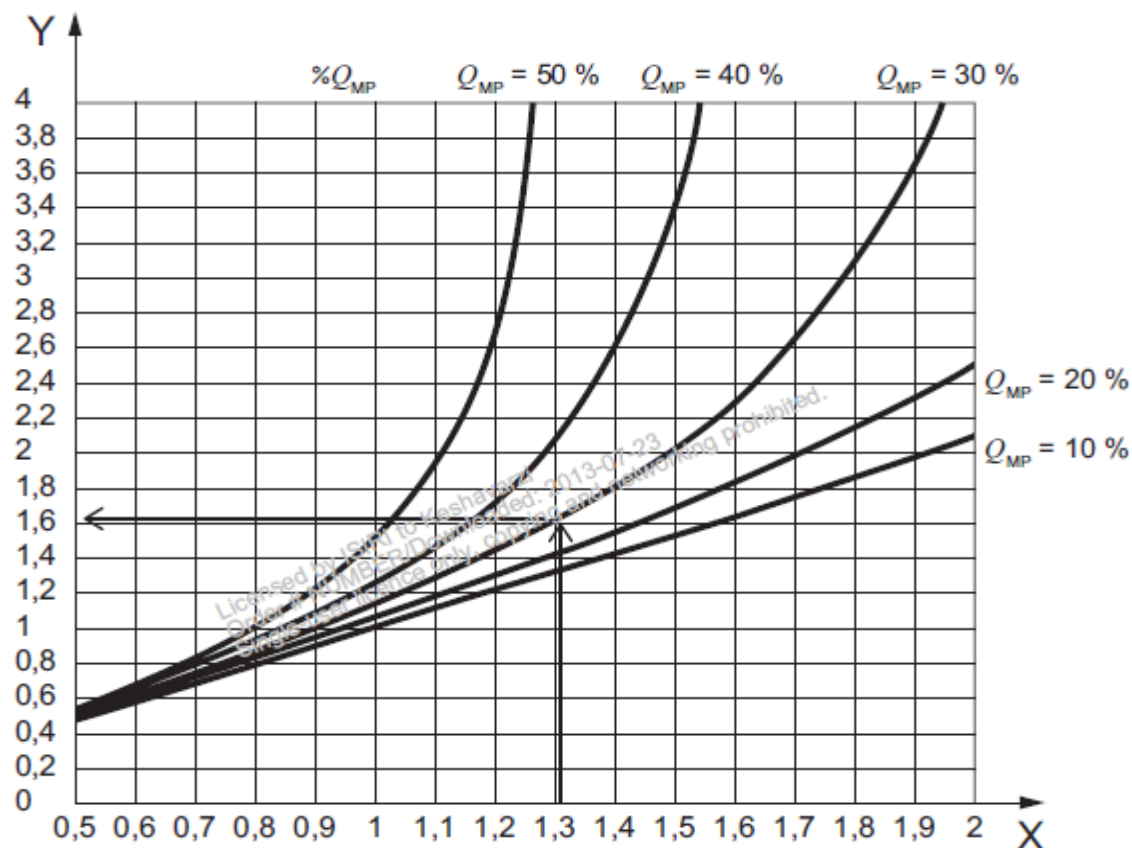
σ_{MP} : انحراف استاندارد فرایند اندازه‌گیری را نشان می‌دهد.

مساحت عدم قطعیت با در نظر گرفتن حدود مشخصه، متقارن است.

فاکتور پوشش برای محاسبه‌ی عدم قطعیت ترکیبی برابر با ۲، استفاده می‌شود.

مثال ۱- فرمول بالا، شکل ۵ و جدول ۱۰ و ۱۱ در زیر، نشان‌دهنده‌ی شاخص قابلیت حقیقی $2/21$ از فرایند تولید حقیقی می‌باشند، در حالی که شکل قابلیت اندازه‌گیری $Q_{MP} = 40\%$ شاخص قابلیت مشاهده شده‌ی $1/33$ را نتیجه می‌دهد.

یادآوری ۱ - این مثال در رابطه با شاخص‌های قابلیت تئوری می‌باشد. قابلیت‌های تخمین زده شده، متغیرهای تصادفی تحت خطا بوده و شاخص قابلیت مشاهده شده تخمین زده شده در این موقعیت در حول $1/33$ با انحرافی مطابق با اندازه‌ی نمونه، تغییر می‌کند.



کلید

X مقدار C مشاهده شده

Y مقدار C حقیقی

شکل ۴- شاخص قابلیت فرایند به تنهایی به عنوان تابعی از شاخص قابلیت مشاهده شده برای بازه‌ی کسر قابلیت فرایند اندازه‌گیری

جدول ۱۰- شاخص‌های حقیقی و مشاهده شده

Observed C - value	Real C - value for the process with...				
	$Q_{MP} = 10 \%$	$Q_{MP} = 20 \%$	$Q_{MP} = 30 \%$	$Q_{MP} = 40 \%$	$Q_{MP} = 50 \%$
0,67	0,67	0,68	0,70	0,73	0,77
1,00	1,01	1,05	1,12	1,25	1,51
1,33	1,36	1,45	1,66	2,21	18,82
1,67	1,72	1,93	2,53	na	na
2,00	2,10	2,50	4,59	na	na

مثال ۱ - مقدار قابلیت $C_p = 1,00$ بر اساس اندازه‌گیری‌های حاصل از فرایند تولید و فرایند اندازه‌گیری با Q_{MP} محاسبه می‌شود.

$$C_{p;p} = \left(\frac{1}{C_{p;obs}^2} - 2,25 \cdot Q_{MP}^2 \right)^{-0,5} = \left(\frac{1}{1^2} - 2,25 \cdot 0,3^2 \right)^{-0,5} = 1,1185$$

۱۰-۲ ارتباط بین قابلیت فرایند مشاهده شده و قابلیت اندازه گیری

ارتباط بین فرایند و قابلیت اندازه گیری، همچنین می تواند محاسبه شود. ارتباط زیر بین قابلیت فرایند مشاهده شده یا عملکرد فرایند $(C_{p;obs} P_{p;obs})$ ، قابلیت یا عملکرد حقیقی $(C_{p;p} P_{p;p})$ و شاخص قابلیت C_{MP} فرایند اندازه گیری، وجود دارد:

$$C_{p;p} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\sigma_{MP}^2 / \sigma_P^2)^2}}$$

جدول ۱۱- شاخص های حقیقی و مشاهده شده

Observed C - value	Real C - value for the process when...				
	$C_{MP} = 2$	$C_{MP} = 1,66$	$C_{MP} = 1,33$	$C_{MP} = 1$	$C_{MP} = 0,5$
0,67	0,67	0,67	0,68	0,68	0,73
1,00	1,01	1,02	1,03	1,05	1,25
1,33	1,36	1,37	1,39	1,45	2,21
1,67	1,72	1,75	1,79	1,93	59
2,00	2,10	2,14	2,24	2,5	Na

۱۱ بررسی مداوم^۱ ثبات فرایند اندازه گیری

۱۱-۱ بررسی مداوم ثبات

زمانی که قابلیت فرایند اندازه گیری محاسبه می شود ثبات کوتاه- مدت به علاوه ی بلند - مدت، باید در نظر گرفته شوند. هرچند، تغییر ایجاد شده در اریبی، توسط جمع شدن، آسیب غیر عمدی یا اجزای عدم قطعیت افزوده شده ی جدید، که به وسیله ی زمان محاسبه ی قابلیت شناخته شده نیست، می تواند اریبی را در فرایند اندازه گیری در طول زمان تغییر دهد. نمودار کنترل، برای تعیین آن تغییرات قابل توجه ممکن در فرایند اندازه گیری، استفاده می شود.

ترتیب زیر پیشنهاد شده است:

مرحله ۱:

انتخاب استاندارد مرجع مناسب یا قطعه کار برسنجی شده با مقدار مشخص برای خصوصیت آزمون.

مرحله ۲:

انجام اندازه گیری مناسب استاندارد مرجع (قطعه ار).

مرحله ۳:

رسم مقادیر اندازه‌گیری شده بر روی نمودار کنترل. محاسبه‌ی حدود عمل مطابق با روش‌های شناخته شده‌ی تکنیک‌های رسم نمودار کنترل کیفیت (به استاندارد بین‌المللی ISO 7870-1 مراجعه شود).
مرحله ۴:

بررسی حالت غیر قابل کنترل. اگر هیچ سیگنال خارج از کنترلی یافت نشود، آنگاه فرض بر این است که فرایند اندازه‌گیری، تغییر قابل توجهی نکرده است. در صورتی که سیگنال خارج از کنترلی یافت شود، فرض می‌شود که فرایند تغییر کرده و باید دوباره بررسی شود. با این رویکرد، فرایند اندازه‌گیری به طور مداوم، تحت نظارت بوده و تغییرات قابل توجهی یافت می‌شود.
یادآوری ۱ - در نظر گرفتن تعیین بازه‌ی کیفیت، توسط برسنجی سامانه اندازه‌گیری، حائز اهمیت است.

۱۱-۲ نظارت بر خطی بودن

در صورتی که شکی در رابطه با خطی بودن سامانه اندازه‌گیری در طی برسنجی وجود داشته باشد و تابع رگرسیون به طور تجربی تعیین شده باشد، روش ارائه شده در اینجا می‌تواند برای نظارت مداوم بر خطی بودن سامانه اندازه‌گیری، استفاده شود.
این روش می‌تواند برای نظارت پیوسته‌ی اندازه‌گیری با نمودار کنترل کیفی مناسب (نمودار SPC) استفاده شود. یک نمودار وقتی سیگنال می‌دهد که نیاز به بروز شدن داشته باشد.
مرحله ۱:

محاسبه‌ی حدود کنترل با اشکال آماری موجود در بند ۷-۱-۳.
حدود کنترل بالایی/پایینی:

$$U_{CL} = \frac{\hat{\sigma}}{\hat{\beta}_1} \cdot t_{(1-\varepsilon/2k)}(nK - 2)$$

$$L_{CL} = \frac{\hat{\sigma}}{\hat{\beta}_1} \cdot t_{(1-\varepsilon/2k)}(nK - 2)$$

مرحله ۲:

انتخاب استانداردهای مرجع K . استانداردهای مرجع (حداقل ۲)، باید در روشی که مقادیر اسمی آنها در بازه‌ی مشاهداتی که در طول شرایط تولید حقیقی اتفاق می‌افتد باشد، انتخاب شوند.
مرحله ۳:

تکرار اندازه در استاندارد مرجع. برای مثال، استانداردهای مرجع باید در یک هفته‌ی کاری، هر روز اندازه‌گیری شوند.
مرحله ۴:

تبدیل مقادیر اندازه‌گیری p در استانداردهای K . تبدیل مقادیر p استانداردهای K با کمک تابع رگرسیون:

$$x = \frac{y - \beta_0}{\beta_1}$$

سپس، هر تفاوتی بین مقادیر «صحیح» و تبدیل شده، محاسبه می‌شود.

مرحله ۵:

رسم اختلافات در نمودار کنترل

مرحله ۶:

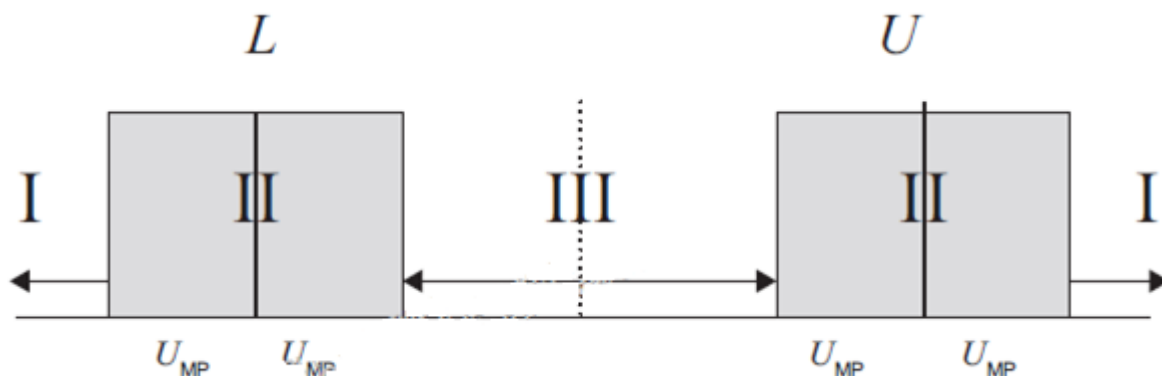
تصمیم‌گیری اعتبار تابع رگرسیون. این تصمیم بستگی به این دارد که آیا تمام اختلافات استانداردها در حدود کنترل هستند. تمام قوانین SPS را به صورت تعریف شده در استاندارد بین‌المللی ISO 7870-1، به کار ببرید.

۱۲ قابلیت فرایندهای اندازه‌گیری منسوب

۱-۱۲ کلیات

به دلیل طبیعت اندازه‌گیری‌های منسوب، تنها ممکن است یک خروجی منطبق یا نامنطبق به دست آورد. برای ایجاد قابلیت فرایند اندازه‌گیری، تعداد اندازه‌گیری بیشتر لازم است.

رویکرد مناسب برای محاسبه‌ی قابلیت فرایندهای اندازه‌گیری منسوب، که احتمال نتیجه‌ی آزمون مشخص وابسته به نوع خصوصیت وجود دارد، باید در نظر گرفته شود. برای مثال، احتمال نتیجه‌ی آزمون صحیح، نزدیک به ۱۰۰٪ مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی حقیقی می‌باشد که خارج از حدود عدم قطعیت می‌باشد. اطلاعات مربوط به حدود مشخصه در شکل ۵، آمده است. از طرف دیگر، در صورتی که نتایج اندازه‌گیری در وسط بازه‌ی عدم قطعیت باشد، احتمال تقریباً ۵۰٪ نتایج اندازه‌گیری خواهد بود (تصمیم‌گیری بر مبنای شانس خالص). منطقه‌ی عدم قطعیت باید به صورت قانون حساب سرانگشتی^۱ بوده و بیشتر از ۲۰٪ نباشد.



شکل ۵- بازه‌ی عدم قطعیت (II)

در اصل، رویکرد به کار برده شده، تمایزی را بین محاسبه‌ی قابلیت اندازه‌گیری (روش جدول متقاطع^۲)، بودن یا با مقادیر مرجع (رویکرد کشف سیگنال)، ایجاد می‌کند. در صورتی که مقادیر در دسترس باشند، رویکرد دو- مرحله‌ای استفاده می‌شود.

1-Rule of Thumb

2-crosstab

۱۲-۲ محاسبات قابلیت بدون استفاده از مقادیر مرجع

زمانی که نیاز به محاسبه‌ی قابلیت اندازه‌گیری بدون استفاده از مقادیر مرجع باشد، تنها آزمون وجود یا عدم وجود اختلافات قابل توجه بین اپراتورها انجام می‌شود. هرچند، ارزیابی وجود یا عدم وجود آزمون که منجر به نتیجه‌ی صحیح می‌شود، نمی‌تواند انجام شود. این حقیقت باید همواره زمانی که مقادیر مرجع موجود هستند، در نظر گرفته شود.

انتخاب بخش‌های آزمون، ممکن است تأثیر قطعی بر خروجی این روش آزمون داشته باشد. در این مورد نمی‌تواند در نظر گرفته شود. حداقل نسبت (برای مثال ۴۰٪) از بخش‌های آزمون باید در بازه‌ی عدم قطعیت وجود داشته باشد (منطقه II در شکل ۵).

حداقل ۴۰ بخش آزمون، باید ۳ بار توسط ۲ اپراتور متفاوت به نام A و B، آزمایش شوند. هر ۱۲۰ نتیجه‌ی اندازه‌گیری متفاوت در ۴۰ بخش، که اپراتور A یا اپراتور B به دست می‌آورند، در یکی از ۳ کلاس زیر در نظر گرفته می‌شوند.

- کلاس ۱: هر ۳ نتیجه‌ی آزمون در سه بخش مشابه، نتیجه‌ی «خوب^۱» بدهد.
- کلاس ۲: هر ۳ نتیجه‌ی آزمون در سه بخش مشابه، نتایج متفاوت بدهد.
- کلاس ۳: هر ۳ نتیجه‌ی آزمون در سه بخش مشابه، نتیجه‌ی «بد^۲» بدهد.

خلاصه‌ای از مثال این آزمون در جدول ۱۲، آمده است.

جدول ۱۲- نتیجه‌ی آزمون حاصل از فرایند اندازه‌گیری منسوب

Frequency n_{ij}		Operator B		
		Class 1 Result "++"	Class 2 Different results	Class 3 Result "--"
Operator A	Class 1 Result "++"	7	3	1
	Class 2 Different results	10	4	7
	Class 3 Result "--"	2	1	5

اکنون، دو اپراتور در جدول ۱۲ با استفاده از آزمون بوکر تقارن، می‌توانند آزمایش شوند. اگر هیچ اختلاف قابل توجهی بین اپراتورها وجود نداشته باشد، فراوانی نتایج در جدول ۱۲، با تقارن کافی در ارتباط با قطر اصلی^۳ خواهد بود.

فرض $i \neq j$ با $H_0 = m_{ij} = m_{ji} (i, j = 1, \dots, 3)$ گویای آن است که فراوانی‌های متقارن m_{ij} و m_{ji} در ارتباط با قطر اصلی، مشابه هستند.

1-Good
2-Bad
3-diagnol

آماره آزمون $\chi^2 = \sum_{i>ju} \frac{(n_{ij}-n_{ji})^2}{n_{ij}+n_{ji}} = \frac{(10-3)^2}{10+3} + \frac{(2-1)^2}{2+1} + \frac{(1-7)^2}{1+7} = 8,603$ در توزیع χ^2 با درجه آزادی ۳ می‌باشد.

آزمون فرضیه صفر، بیان کننده‌ی این است که تغییر از یک دسته به دسته‌ی دیگر، تصادفی است. در صورتی که مقدار آزمون بزرگتر از فراکتایل $1-\alpha$ در توزیع χ^2 با درجه‌ی آزادی ۳ باشد، فرضیه تقارن در سطح، رد می‌شود. در این مورد، فرضیه به دلیل اینکه مقدار محاسبه شده‌ی $8/603$ بزرگتر از مقدار $7/815$ که 95% فراکتایل از توزیع χ^2 است، رد می‌شود.

در اصل، این روش همچنین با بیشتر از ۲ اپراتور انجام می‌شود. در این موارد، هر اپراتور سه آزمون در شیء اندازه‌گیری شده، انجام می‌دهد و سپس تمام ترکیبات از دو ترکیب اپراتورها باید به طور جداگانه، آزمایش شوند.

یادآوری ۱ - در این حالت، سطح قابل توجه، برای تمام بیانی‌ها توسط آزمون‌های متعدد، تغییر می‌کند.

۱۲-۳ محاسبات قابلیت با استفاده از مقادیر مرجع

۱۲-۳-۱ محاسبه‌ی بازه‌ی عدم قطعیت

این روش بر اساس تشخیص سیگنال می‌باشد، بنابراین به قطعه‌کارهایی با مقادیر مرجع شناخته شده، احتیاج دارد. برای اشاره به مساحت ریسک در اطراف حدود مشخصه، تقریباً 25% از قطعه‌کارها باید در نزدیکی یا کمتر از حد مشخصه و 25% قطعه‌کارها در حد مشخصه‌ی بالا باشند.

هدف از این روش، تعیین بازه‌ی عدم قطعیت، درحالتی که اپراتور قادر به تصمیم‌گیری بدون ابهام است، می‌باشد. شکل ۶ نشان می‌دهد که نتایج آزمون فرایند اندازه‌گیری، مجموعه‌ای از مقادیر مرجع را به دست می‌آورد.



شکل ۶- نتیجه آزمون فرایند اندازه‌گیری منسوب

۱۲-۳-۲ نمادها

در شکل ۶، مقادیر اندازه‌گیری مرجع، به شکل کد، معرفی شده‌اند. نشان مثبت سبز، به این معناست که اپراتور، نتیجه را از قطعه آزمون به صورت تأیید شده، بیان می‌کند. شکلک سبز به این معناست که هر سه اپراتور، نتیجه حاصل از قطعه آزمون را به صورت تأیید شده یا رد شده در هر سه آزمون، بیان کرده‌اند، و اینکه این ارزیابی مطابق با مقدار مرجع است. شکلک قرمز، حالتی را نشان می‌دهد که حداقل یکی از اپراتورها به نتیجه‌ای رسیده است که مطابق با مقدار مرجع نیست.

۱۲-۳-۳ مراحل کاری برای تعیین بازه‌ی عدم قطعیت

مرحله ۱:

مرتب کردن جدول مطابق با اندازه‌ی مرجع اندازه‌گیری شده. در شکل ۶، مرتب‌سازی به طور نزولی - حاصل از بیشترین مقدار مرجع کاهش یافته به کمترین مقدار مرجع، انجام شده است.

مرحله ۲:

انتخاب مقدار مرجع نهایی برای حالتی که تمام اپراتورها، تمام نتایج را به طور نارضایت‌بخش (تأیید نشده) ارزیابی کرده‌اند. این حالت، انتقال از نماد «>-» به نماد «>+» است.

-	۰/۵۶۶۱۵۲
+	۰/۵۶۱۴۵۷

مرحله ۳:

انتخاب مقدار مرجع اولیه برای حالتی که تمام اپراتورها برای اولین بار، تمام نتایج تأیید شده را ارزیابی کرده‌اند. این حالت، انتقال از نماد «>x» به نماد «>+» است.

x	۰/۵۴۳۰۷۷
+	۰/۵۴۲۷۰۴

مرحله ۴:

انتخاب مقدار مرجع نهایی برای حالتی که تمام اپراتورها برای آخرین بار، تمام نتایج را به صورت تأیید شده، ارزیابی می‌کنند. این حالت انتقال از نماد «>+» به نماد «>x» است.

+	۰/۴۷۰۸۳۲
x	۰/۴۶۵۴۵۴

مرحله ۵:

انتخاب مقدار مرجع اولیه، برای حالتی که هر اپراتور، بار دیگر برای اولین بار تمام نتایج را به طور نارضایت‌بخش (تأیید نشده)، ارزیابی می‌کند. این حالت، انتقال از نماد «>x» به نماد «>-» است.

x	۰/۴۴۹۶۹۶
+	۰/۴۴۶۶۹۷

مرحله ۶:

محاسبه‌ی بازه‌ی d_{UR} حاصل از مقدار مرجع نهایی، برای حالتی که تمام اپراتورها نتیجه را به صورت نارضایت‌بخش (تأیید نشده) به مقدار مرجع اولیه و برای حالتی که تمام اپراتورها، نتیجه را به صورت تأیید شده، ارزیابی می‌کنند.

$$d_{UR} = 0,566\ 152 - 0,542\ 704 = 0.023\ 448$$

مرحله ۷:

محاسبه‌ی بازه‌ی d_{LR} حاصل از مقدار مرجع نهایی، برای حالتی که تمام اپراتورها، نتیجه را به صورت تأیید شده به مقدار مرجع اولیه و برای حالتی که تمام اپراتورها نتیجه را به صورت نارضایتبخش (تأیید نشده)، ارزیابی کرده‌اند.

$$d_{UR} = 0.470\,832 - 0.446\,697 = 0.024\,135$$

مرحله ۸:

محاسبه‌ی میانگین « d » دو بازه:

$$d = (d_{UR} + d_{LR})/2 = 0.023\,448 + 0.024\,135 = 0.023\,791\,5$$

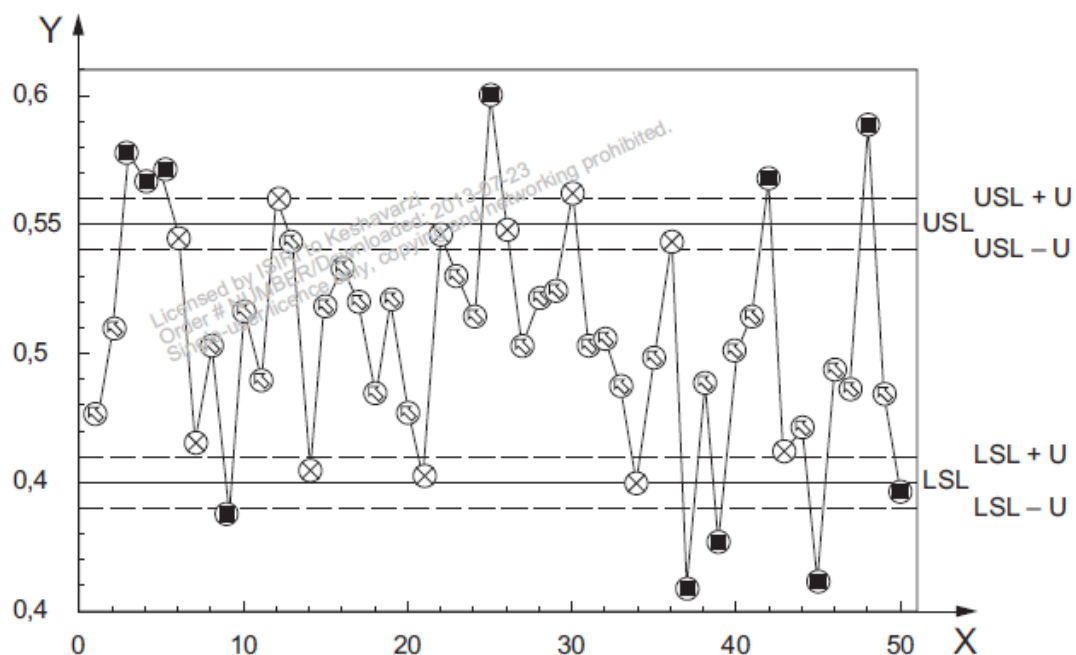
مرحله ۹:

محاسبه بازه‌ی عدم قطعیت:

$$U_{attr} = d/2 = (0.023\,791\,5)/2$$

$$U - L = 0,1\,mm \quad \text{که} \quad Q_{attr} = 2 \cdot U_{attr}/U - L = 2 \cdot [(0.023\,791\,5)/2]/0,1 = 0,24$$

بنابراین، $Q_{attr} = 24\%$ به دست می‌آید.



کلید

X عدد مرجع

Y مطالعه ویژگی

شکل ۷- نمودار مقدار

شکل ۷، راه دیگری برای نشان دادن قابلیت اندازه‌گیری تمام نتایج آزمون، تمام مقادیر مرجع و بازه عدم قطعیت، می‌باشد. بعضی از مسئولان این نمایش را ترجیح می‌دهند.

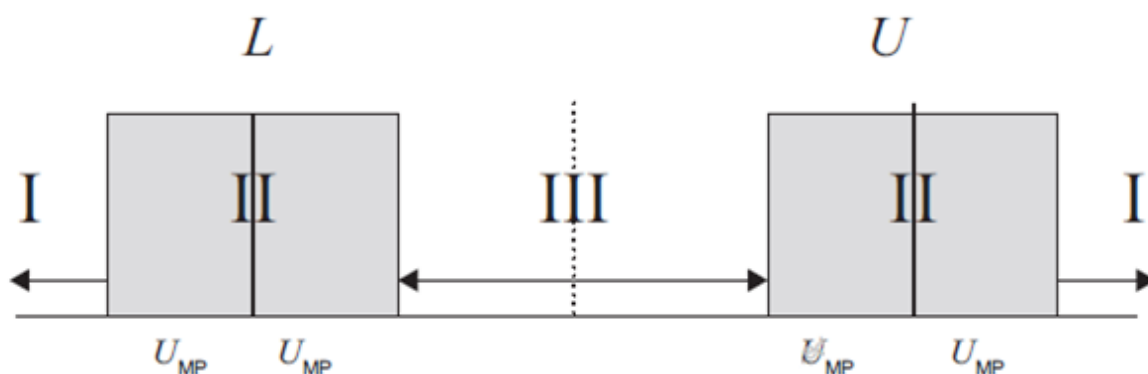
یادآوری ۱ - تلاش برای این روش، قابل توجه است، به طوری که در این مثال، به علاوه‌ی ۵۰ اندازه‌گیری مرجع، کمینه ۴۵۰ اندازه‌گیری دیگر باید ساخته شده و به اثبات برسند.

برای انتخاب قطعه‌کارها، باید فرض شود که منطقه عدم قطعیت، پوشش داده خواهد شد (شکل ۶).

۴-۱۲ بررسی مداوم

به دلیل این حقیقت که سامانه اندازه‌گیری می‌تواند تغییر کند، بررسی دوره‌ای سامانه، ضروری است، (برای مثال سایش).

برای نظارت مداوم فرایند اندازه‌گیری، حداقل یک اپراتور باید حداقل سه قطعه‌کار را با مقادیر مرجع تعریف شده، اندازه‌گیری کند. قطعه‌کارها باید در مسیری انتخاب شوند که مقادیر مرجع، بیرون از بازه‌های عدم قطعیت قرار بگیرند، به طوری که یک نتیجه‌ی واضح، انتظار برود (تمام آزمون‌ها مطابق با مقدار مرجع هستند؛ شکل ۸، برای مثال قطعه‌کار در منطقه I (پایین‌تر)، قطعه‌کار در منطقه III و قطعه‌کار در منطقه I (بالایی)).



شکل ۸ - بازه‌ی عدم قطعیت

در صورتی که تمام نتایج آزمون مطابق با مقدار مرجع باشند، آزمون پذیرفته می‌شود. در غیر اینصورت، سامانه اندازه‌گیری نباید تا زمانی که تصحیح یا تغییر نکرده‌اند، استفاده شود.

اندازه‌ی بازه‌ی عدم قطعیت، همچنین می‌تواند به طور تجربی تعیین شده یا از نیازمندی‌های تعریف شده حقیقی برای فرایند اندازه‌گیری مناسب (Q)، ناشی شود.

$$U_{MP;max} = Q_{MP} \cdot (U - L) / 2$$

در نظر بگیرید که عدم قطعیت گسترده، معمولاً به صورت ۹۵٪ سطح داده شود. در این آزمون، محاسبه نمی‌شود.

از توزیع دو جمله‌ای برای محاسبه‌ی بازه‌ی اطمینان استفاده کنید.

پیوست الف

(اطلاعاتی)

مثال‌ها

الف-۱ مثالی از مطالعه خطی بودن با حداقل سه استاندارد

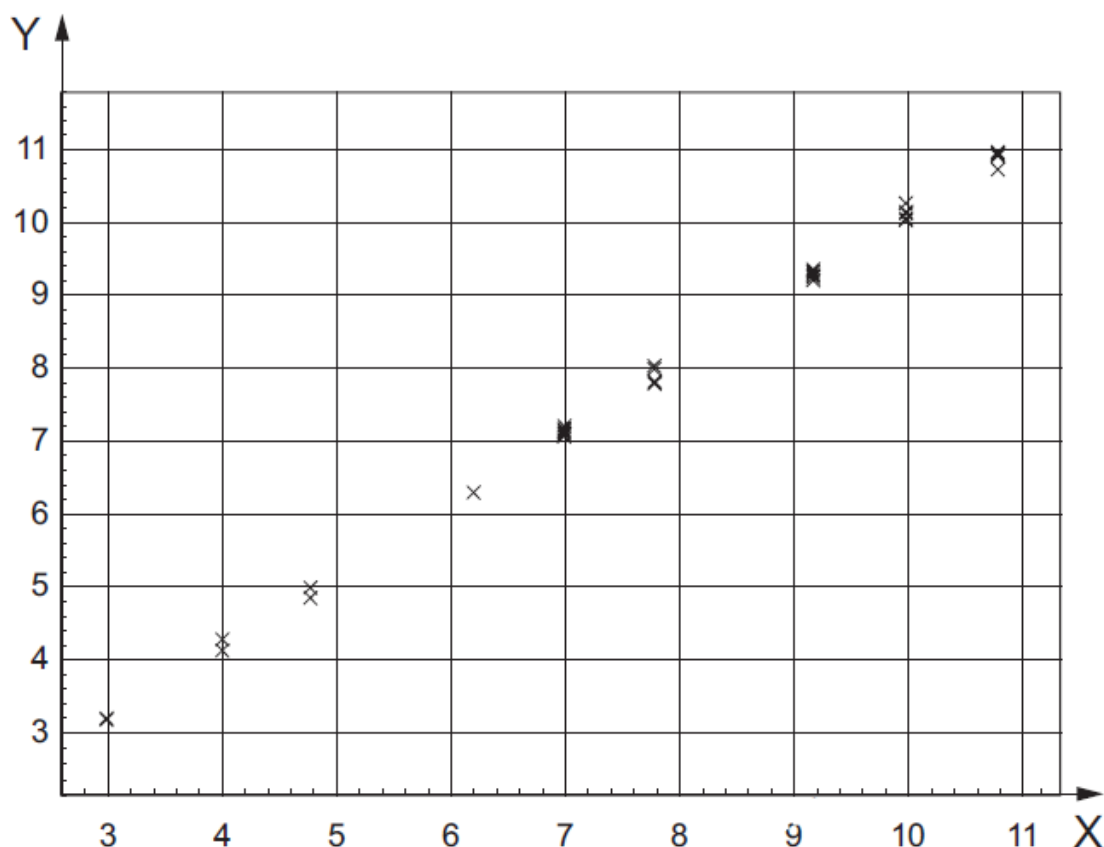
الف-۱-۱ کلیات

این مثال از استاندارد بین‌المللی ISO 11095 برداشت شده است. این مثال، آزمایشی که بر روی تصویربرداری سامانه انجام شده است را تعریف می‌کند (میکروسکوپ نوری با دستگاه اندازه‌گیری). داده‌ها، مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر صحیح از بازه‌هایی در طیفی از ۰/۵ میکرون تا ۱۲ میکرون، می‌باشند. مطابق با گواهی برسنجی، فرض بر این است که عدم قطعیت برسنجیبرس u_{CAL} برابر با $0.05 \mu m$ است.

جدول الف ۱- مقادیر حاصل از اندازه‌گیری تکراری در مواد مرجع

Conventional true values x_n of the 10 reference materials	Values y_{nj} from $K = 4$ repeatability measurements on $N = 10$ reference materials			
	y_{n1}	y_{n2}	y_{n3}	y_{n4}
6,19	6,31	6,27	6,31	6,28
9,17	9,27	9,21	9,34	9,23
1,99	2,21	2,19	2,22	2,20
7,77	8,00	7,81	7,95	7,84
4,00	4,27	4,15	4,15	4,15
10,77	10,93	10,73	10,92	10,89
4,78	4,95	4,87	5,00	5,00
2,99	3,24	3,17	3,21	3,21
6,98	7,14	7,07	7,18	7,20
9,98	10,23	10,02	10,07	10,17

Data in Table A.1 are plotted in Figure A.1.



کلید

X مرجع (mm)

Y مقدار اندازه گیری شده (mm)

شکل الف-۱- نمودار مقادیر اندازه گیری شده و صحیح

الف-۱-۲ تخمین پارامترهای تابع رگرسیون

مقادیر داده شده:

$N=10$ تعداد استانداردها

$K=4$ تعداد تکرار اندازه گیری ها

مقادیر محاسبه شده:

$\bar{x} = 6,462$ میانگین حسابی مقادیر صحیح

$\bar{y} = 6,614$ میانگین حسابی مقادیر اندازه گیری شده

پارامترهای تخمین زده شده:

$\hat{\beta}_0 = 0,2358$ عرض از مبدأ محور y-

$\hat{\beta}_1 = 0,9870$ شیب

تابع رگرسیون $\hat{y}_n = 0,2358 + 0,9870x_n$

باقیمانده: $e_{nj} = y_{nj} - \hat{y}_n = y_{nj} - (0,2358 + 0,9870x_n)$

جدول الف-۲- محاسبه‌ی باقیمانده‌ها

True values x_n of the 10 reference materials	Estimated values $\hat{y}_n$	Residuals			
		e_{n1}	e_{n2}	e_{n3}	e_{n4}
6,19	6,345 5	-0,035 5	-0,075 5	-0,035 5	-0,065 5
9,17	9,286 9	-0,016 9	-0,076 9	0,053 1	-0,056 9
1,99	2,200 0	0,010 0	-0,010 0	0,020 0	0,000 0
7,77	7,905 0	0,095 0	-0,095 0	0,045 0	-0,065 0
4,00	4,183 9	0,086 1	-0,033 9	-0,033 9	-0,033 9
10,77	10,866 2	0,063 8	-0,136 2	0,053 8	0,023 8
4,78	4,953 8	-0,003 8	-0,083 8	0,046 2	0,046 2
2,99	3,187 0	0,053 0	-0,017 0	0,023 0	0,023 0
6,98	7,125 3	0,014 7	-0,055 3	0,054 7	0,074 7
9,98	10,086 4	0,143 6	-0,066 4	-0,016 4	0,083 6

الف-۱-۳ تخمین مؤلفه‌های عدم قطعیت

محاسبه‌ی تخمین عدم قطعیت به دلیل عدم انطباق تابع رگرسیون (عدم تناسب) u_{LIN} ، (جدول الف-۳) حاصل از تکرارپذیری استاندارد‌ها (خطای محض) u_{EVR} :

جدول الف-۳- محاسبه‌ی پراکندگی

Uncertainty component	Degrees of freedom ν	Sum of squares S_S	Estimated variance $\hat{\sigma}_i^2$	$u_i = \pm\sqrt{\hat{\sigma}^2} $	Test statistic F	Critical value F_0
Lack of fit	8	$S_{S\text{ LIN}}$	0,002 8	0,053 3	0,691 8	2,266 1
Repeatability on standard	30	$S_{S\text{ EVR}}$	0,004 1	0,064 1		
$S_{SE} = 0,146\ 2\ (0,146\ 222\ 631\ 4)$ $S_{SEVR} = 0,123\ 4\ (0,123\ 450\ 000\ 0)$ $S_{SLIN} = 0,022\ 8\ (0,022\ 772\ 631\ 4)$ $F_{0,95}(8,30) = 2,266\ 1$						

علاوه بر مؤلفه‌های عدم قطعیت تخمین زده شده حاصل از سامانه اندازه‌گیری موجود در الف-۱، بعضی از مؤلفه‌های عدم قطعیت افزوده شده $(u_{IAi}, u_{AV}, u_{EVO})$ حاصل از فرایند اندازه‌گیری باید توسط ارزیابی نتایج فرایند تحت شرایط حقیقی، تعیین شوند. در جدول الف-۴، داده‌های زیر جمع‌آوری شده‌اند:

جدول الف-۴- نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های سه اپراتور در ۱۰ بخش

Operator	Part no.	Measurement 1	Measurement 2	Measurement 3
1	1	8,120	8,435	8,480
1	2	7,445	6,815	7,490
1	3	9,965	10,010	9,560
1	4	6,140	5,960	6,365
1	5	5,690	5,600	5,780
1	6	2,855	2,450	2,585
1	7	10,685	10,595	10,775
1	8	6,725	6,275	6,545
1	9	4,970	5,105	5,510
1	10	9,875	10,100	9,875
2	1	8,200	8,290	8,245
2	2	7,300	7,120	7,075
2	3	9,660	9,340	9,250
2	4	6,095	6,185	6,185
2	5	5,080	5,340	5,440
2	6	2,315	2,585	2,315
2	7	10,450	10,840	11,050
2	8	6,240	6,120	6,300
2	9	5,015	5,285	5,150
2	10	10,080	9,800	9,970
3	1	8,525	8,435	8,345
3	2	7,535	7,355	7,085
3	3	9,830	9,695	9,515
3	4	6,140	6,140	6,050
3	5	5,780	5,735	5,555
3	6	2,630	2,360	2,585
3	7	10,865	11,000	11,180
3	8	6,590	6,500	6,725
3	9	5,060	5,195	5,105
3	10	10,190	9,785	9,965

توسط اندازه‌گیری‌های موجود در جدول الف-۴، آنالیز جدول پراکندگی در زیر (جدول الف-۵) می‌تواند محاسبه شود.

جدول الف-۵- آنالیز جدول پراکندگی

Uncertainty component	Degrees of freedom ν	Sum of squares S_S	Mean square M_S	Estimated variance $\hat{\sigma}_i^2$	$u_i = +\sqrt{\hat{\sigma}^2}$	Test statistic F	Critical value F_0 $\alpha = 5\%$
Operator	2	0,519	0,260	0,007 38	0,085 91	6,810	3,150
Part to part	9	526,9	58,54	6,500	na	1536	2,040
Interaction between operator and part	18	0,686	0,038 1	0,002 05	0,045 28	1,193	1,778
Reproducibility	60	1,917	0,0320	0,032 0	0,178 9	—	—

از آنجایی که رابطه متقابل بین اپراتور و بخش، قابل توجه نیست ($F < F_0$)، از ادغام استفاده می‌شود. در واقع می‌توان یک جدول پراکندگی اصلاح شده مانند جدول ب-۲ ایجاد کرد.

جدول الف-۶- آنالیز اصلاح شده‌ی جدول پراکندگی

Uncertainty component	Degrees of freedom ν	Sum of squares S_S	Mean square M_S	Estimated variance $\hat{\sigma}_i^2$	$u_i = +\sqrt{\hat{\sigma}^2}$	Test statistic F	Critical value F_0 $\alpha = 5\%$
Operator	2	0,519	0,260	0,007 54	0,086 83	7,776	3,150
Part to part	9	526,9	58,54	6,501	na	1754	2,002
Reproducibility	78	2,603	0,033 4	0,033 4	0,182 7	—	—

مؤلفه‌های عدم قطعیت فرایند اندازه‌گیری، به دست می‌آیند:

$$u_{AV} = 0,08683$$

$$u_{EVO} = 0,1827$$

الف-۳ تعیین مؤلفه‌های عدم قطعیت در نظر گرفته نشده توسط آزمایشات:

تعیین مؤلفه‌های عدم قطعیت نوع B در آزمایشات الف-۱ و الف-۲، گنجانده نمی‌شود.

مؤلفه‌ی عدم قطعیت ناشی از وضوح u_R :

$$u_{RE} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{12}} = 0,00144$$

مؤلفه‌ی عدم قطعیت u_{RE} کوچکتر از u_{EVR} است. بنابراین، مؤلفه‌ی u_{RE} استفاده نمی‌شود.

مؤلفه‌ها:

$$u_{OBJ}$$

$$u_T$$

$$u_{STAB}$$

$$u_{REST}$$

همه در صفر تنظیم می‌شوند.

الف-۴ تخمین عدم قطعیت ترکیبی گسترده

عدم قطعیت ترکیبی سامانه اندازه‌گیری: $u_{MS} = 0,0836$

و عدم قطعیت گسترده: $U_{MS} = 0,1672$

عدم قطعیت ترکیبی فرایند اندازه‌گیری: $u_{MP} = 0,2093$

و عدم قطعیت گسترده: $U_{MP} = 0,4185$

الف-۵ بررسی قابلیت سامانه اندازه‌گیری و فرایند اندازه‌گیری

اگر مشخصه داده شود، $U - L = 11 - 2 = 9$

منجر به نسبت‌های قابلیت زیر می‌شود:

$$\%Q_{MS} = 3,7\%$$

$$\%Q_{MP} = 9,3\%$$

همچنین منجر به شاخص‌های قابلیت زیر می‌شود:

$$C_{MS} = \frac{0,3 \cdot (U - L)}{6u_{MS}} = \frac{0,3 \cdot (11 - 2)}{6 \cdot 0,0836} = 5,38$$

$$C_{MP} = \frac{0,3 \cdot (U - L)}{6u_{MP}} = \frac{0,3 \cdot (11 - 2)}{3 \cdot 0,2093} = 4,30$$

پیوست ب
(اطلاعاتی)
روش‌های آماری مورد استفاده

ب-۱ آزمون F

در مقایسه‌ی دو پراکندگی، فرضیه‌ی برابری دو پراکندگی رد می‌شود، اگر:

$$\frac{s_1}{s_2} < \frac{1}{F_{1-\alpha/2}(v_2, v_1)} \text{ یا } \frac{s_1}{s_2} > F_{1-\alpha/2}(v_2, v_1)$$

یادآوری- اکثر اطلاعات مربوط به آزمون‌ها در استاندارد بین‌المللی ISO 2854 موجود است.

ب-۲ تخمین تابع رگرسیون

رابطه‌ی رگرسیون مشخص می‌کند که مشاهدات y_i رابطه‌ی زیر را ارضا می‌کنند:

$$y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_i + \varepsilon_{ij}$$

که:

y_{ij} آمین از K اندازه‌گیری و i آمین از N استاندارد

x_i مقدار حقیقی متعارف برای استاندارد i ام

ε_{ij} انحرافات توزیع $N(0, \sigma_r^2)$ حاصل از مقدار مورد انتظار

$\beta_0 + \beta_1 \cdot x_i$ میانگین استاندارد i ام

ε مانده است.

فرمول‌های تخمین پارامتر نامشخص: β_0 و β_1

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \beta_1 \bar{x}$$

باقی مانده ε_{ij} می‌تواند بر اساس تخمین y_{ij} ارزیابی شود:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (e_{ij})^2}{n \cdot k - 2} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (y_{ij} - \hat{y}_i)^2}{n \cdot k - 2}$$

که

$$\hat{y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \cdot x_n$$

برای تغییر استقلال اندازه‌گیری‌ها، ε_{ij} می‌تواند در زمان رسم شود و برای تغییر نرمالیت ε_{ij} می‌تواند در نمودار احتمال در نظر گرفته شود.

ب-۳ جداول ANOVA

جداول ANOVA برای استفاده در محاسبات در جداول الف-۳، الف-۵ و الف-۶:

جدول ب-۱- جدول آنالیز پراکندگی برای جدول الف-۳

Uncertainty component	Degrees of freedom ν	Sum of squares S_S	Estimated variance $\hat{\sigma}_i^2$	$u_i = +\sqrt{\hat{\sigma}^2}$	Test statistic F	Critical value F_0
Lack of fit	$n - 2$	$S_{S\text{LIN}}$	$\hat{\sigma}_{\text{LIN}}^2 = \frac{S_{S\text{LIN}}}{n - 2}$	$u_{\text{LIN}} = +\sqrt{\hat{\sigma}_{\text{LIN}}^2}$	$\frac{\hat{\sigma}_{\text{LIN}}^2}{\hat{\sigma}_{\text{EVR}}^2}$	$F_{1-\alpha(\nu_1, \nu_2)}$
Repeatability on standard	$nk - n$	$S_{S\text{EVR}}$	$\hat{\sigma}_{\text{EVR}}^2 = \frac{S_{S\text{EVR}}}{nk - n}$	$u_{\text{EVR}} = +\sqrt{\hat{\sigma}_{\text{EVR}}^2}$		
$y_{n\bullet} = \frac{1}{n} \sum_n y_{ij}$ $S_{SE} = \sum_i \sum_j (y_{ij} - \hat{y}_n)^2$ $S_{SEVR} = \sum_i \sum_j (y_{ij} - \hat{y}_{n\bullet})^2$ $S_{S\text{LIN}} = S_{SE} - S_{SEVR}$ $\nu_1 = n - 2$ $\nu_2 = nk - n$						

جدول ب-۲- جدول آنالیز پراکندگی برای جدول الف-۵

Uncertainty component	Degrees of freedom ν	Sum of squares S_S	Mean square M_S	Estimated variance $\hat{\sigma}_i^2$	$u_i = +\sqrt{\hat{\sigma}^2}$	Test statistic F
Operator	$N_A - 1$	S_{SAV}	$M_{SAV} = \frac{S_{SAV}}{N_A - 1}$	$\frac{M_{SAV} - M_{SIA}}{N_A N_R}$	$u_{AV} = +\sqrt{\hat{\sigma}_{AV}^2}$	$\frac{M_{SAV}}{M_{SIA}}$
Part to part	$N_P - 1$	S_{SPV}	$M_{SPV} = \frac{S_{SPV}}{N_P - 1}$	$\frac{M_{SPV} - M_{SIA}}{N_A N_R}$	na	$\frac{M_{SPV}}{M_{SIA}}$
Interaction	$(N_A - 1)(N_P - 1)$	S_{SIA}	$M_{SIA} = \frac{S_{SIA}}{(N_A - 1)(N_P - 1)}$	$\frac{M_{SIA} - M_{SEVO}}{N_R}$	$u_{IA} = +\sqrt{\hat{\sigma}_{IA}^2}$	$\frac{M_{SIA}}{M_{SEVO}}$
The critical value operator $F_0 \alpha = 5\%$ is $F_{1-\alpha}[(N_A - 1), (N_A - 1)(N_P - 1)]$ The critical value part to part $F_0 \alpha = 5\%$ is $F_{1-\alpha}[(N_P - 1), (N_A - 1)(N_P - 1)]$ The critical value interaction $F_0 \alpha = 5\%$ is $F_{1-\alpha}[(N_P - 1), (N_P N_R - 1)]$ $S_{SAV} = N_R N_P \sum_i (\bar{y}_{j..} - \bar{y}_{...})^2$ $S_{SPV} = N_R N_A \sum_j (\bar{y}_{.j.} - \bar{y}_{...})^2$ $S_{SIA} = N_R \sum_i \sum_j (\bar{y}_{ij.} - \bar{y}_{i..} - \bar{y}_{.j.} + \bar{y}_{...})^2$ $S_{SEVO} = \sum_i \sum_j \sum_m (y_{ijm} - \bar{y}_{ij.})^2$ $y_{...} = \sum_i \sum_j \sum_m y_{ijm}$ $\bar{y}_{...} = \frac{y_{...}}{N_R N_A N_P}$ $y_{j..} = \sum_i \sum_m y_{ijm}$ $\bar{y}_{j..} = \frac{y_{j..}}{N_R N_P}$ $y_{.j.} = \sum_i \sum_m y_{ijm}$ $\bar{y}_{.j.} = \frac{y_{.j.}}{N_R N_A}$ $y_{ij.} = \sum_m y_{ijm}$ $\bar{y}_{ij.} = \frac{y_{ij.}}{N_R}$						

آنالیز در رابطه با تکرارپذیری مؤلفه‌های عدم قطعیت اندازه‌گیری و اثرمتقابل بین سامانه اندازه‌گیری و بخش، مشابه با جدول الف-۴ با جانشینی اپراتور با سامانه اندازه‌گیری می‌باشد.

ب-۴ رابطه‌ی بین قابلیت فرایند اندازه‌گیری و قابلیت فرایند تولید

در محاسبات زیر، فرض بر حضور فرایند توزیع نرمال می‌باشد.

۱- برای خصوصیت محصول با $N(0, \sigma_r^2)$:

$$\hat{C}_P = \frac{U - L}{6s}$$

۲- شاخص قابلیت مشاهده شده توسط $C_{P;obs}$ نشان داده می‌شود.

$C_{P;obs}$ قابلیت، تحت تأثیر تغییر در فرایند تولید و تغییر در فرایند اندازه‌گیری، می‌باشد.

$$C_{P;obs} = \frac{U - L}{6\sqrt{\sigma_P^2 + \sigma_{MP}^2}}$$

که:

σ_P انحراف استاندارد از فرایند تولید را نشان می‌دهد؛

σ_{MP} انحراف استاندارد از فرایند اندازه‌گیری نشان می‌دهد.

که:

$$\begin{aligned} C_{P;obs} &= \frac{U - L}{6\sqrt{\sigma_P^2 + \sigma_{MP}^2}} \\ &= \frac{U - L}{6\sigma_P\sqrt{1 + \sigma_{MP}^2/\sigma_P^2}} \\ &= \frac{U - L}{6\sigma_P\sqrt{1 + (\sigma_{MP}/\sigma_P)^2}} \\ &= C_{P;P} \frac{1}{\sqrt{1 + (\sigma_{MP}/\sigma_P)^2}} \end{aligned}$$

۳- ارتباط بین نسبت قابلیت و شاخص قابلیت حقیقی $C_{P;P}$ را نشان می‌دهد.

به وسیله‌ی فرمول موجود در عبارت ۹:

$$Q_{MP} = \frac{2U_{MP}}{U - L} \Rightarrow Q_{MP} = \frac{4\sigma_{MP}}{U - L},$$

۴- به وسیله‌ی فرمول در نقطه ۲ در بالا:

$$6^2 \cdot \sigma_P^2 + 6^2 \cdot \sigma_{MP}^2 = \frac{(U - L)^2}{C_{p;obs}^2}$$

۵- به وسیله فرمول در نقاط ۱، ۳ و ۴ در بالا:

$$6^2 \cdot \frac{(U - L)^2}{6^2 \cdot C_{P;P}^2} + \frac{6^2}{4^2} \cdot Q_{MP}(U - L)^2 = \frac{(U - L)^2}{C_{p;obs}^2},$$

که $C_{P;P}$ شاخص قابلیت فرایند را نشان داده و تنها با استفاده از انحراف استاندارد σ_P فرایند محاسبه می‌شود.

$C_{P;P}$ بزرگتر از $C_{P;obs}$ است و این دو تنها تحت فرض غیرواقعی مشابه هستند که پراکندگی فرایند اندازه‌گیری برابر با ۰ است.
با استفاده از عبارت ۵:

$$\frac{1}{C_{P,P}^2} + \frac{9 Q_{MP}^2}{4} = \frac{1}{C_{P,P}^2}$$

و برای به دست آوردن $C_{P,P}$ به صورت تابعی از قابلیت مشاهده شده و کسر قابلیت فرایند اندازه‌گیری، بازآرایی می‌شود.

$$C_{P,P} = \left(\frac{1}{C_{P,P}^2} + \frac{9 Q_{MP}^2}{4} \right)^{-\frac{1}{2}}$$