شرکت پویاسیستم پارسیان

دوره آموزشی

تجزیه و تحلیل سیستمهای اندازه گیری

Measurement System Analysis

(MSA)

مقدمه

MSA (Measurement System Analysis) یک روش هدفمند برای تجزیه و تحلیل سیستم اندازه‌گیری میباشد. در این روش عناصر سیستم اندازه‌گیری تجزیه و مطالعه می‌شوند، سپس تاثیر متقابلشان را بررسی می‌کنند.

سیستم اندازه‌گیری شامل انسان، تجهیزات، قطعه، روش اندازه گیری، محیط (نور- گرما- هوا و ...) می باشد.

امروزه ارقام به دست آمده از اندازه گیری تحت عناوین مختلف و بسیار بیشتر از گذشته مورد استفاده قرارمی گیرد. معمولاً سیستمهای اندازه‌گیری دارای دو کاربرد عمده می باشند، یکی تعیین مقدار یک پارامتر جهت اعلام نظر در مورد رد یا قبول قطعه که با دیدگاه تحویل کالا به مشتری انجام می شود. کاربرد دیگر سیستمهای اندازه‌گیری تعیین و ثبت مشخصه قطعات جهت اعلام نظر در مورد فرآیند و کنترل مشخصه‌های فرآیند است.

فصل اول – تعاریف و مفاهیم

تفاوت کالیبراسیون و MSA

در کالیبراسیون، ابزار اندازه گیری به تنهایی و در شرایطی ایده ال, مثلا در یک اتاق اندازه گیری, با پرسنل آموزش دیده, قطعات استاندارد (Master/Gauge) و دستورالعمل استاندارد مورد بررسی قرار می گیرد.

کالیبراسیون برای تعیین توانایی سیستم اندازه گیری در شرایط واقعی ناتوان است . این در حالی است که در MSA می توان کارایی سیستم اندازه گیری را در شرایط زیر تعیین کرد :

- وقتی ابزار اندازه گیری یا گیج در محل واقعی استفاده شود .
- وقتی ابزار توسط چندین اپراتور مورد استفاده قرار می گیرد .
- وقتی قطعات تولیدی واقعی اندازه گیری می شوند .
- وقتی از ابزار در شرایط محیطی متغیر استفاده می شود .
- وقتی از ابزار به صورت متوالی و مداوم استفاده می شود .

بنابراین کالیبراسیون به تنهایی کافی نیست و برای کنترل صحت و میزان تغییرات وسایل اندازه گیری تحت شرایط واقعی , به روشهای دیگری نیازمندیم .

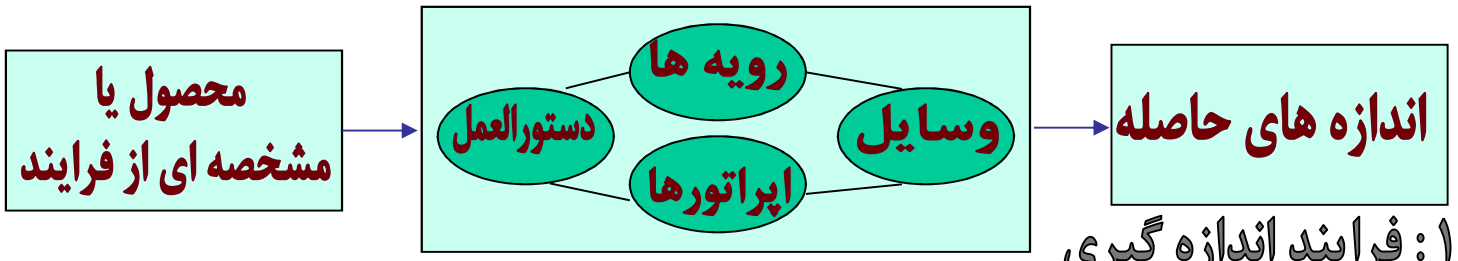
اهداف تجزیه و تحلیل سیستم های اندازه گیری

اجرای تجزیه و تحلیل سیستم اندازه گیری مشخص می کند که آیا نتایج به دست آمده ازیک سیستم اندازه گیری , قابل قبول , حاشیه ای (لب مرزی) یا غیر قابل قبول است .

از این روش در هر یک از موارد زیر می توان استفاده کرد :

- ارزیابی وسایل یا روشهای اندازه گیری جدید .
- مقایسه ابزار اندازه گیری در حالتهای قبل و بعد از تعمیر یا تنظیم .
- مقایسه روش اندازه گیری بازرسی نهایی تأمین کننده با روش اندازه گیری بازرسی مواد ورودی
- ایجاد مبنایی برای مقایسه یک ابزار اندازه گیری با ابزار اندازه گیری دیگر .
- تدوین دستورالعمل ارزیابی ابزارهای اندازه گیری جهت اطمینان از کارایی آنها .
- برقراری روشی مناسب برای اطمینان از صحت مقادیر قابلیت و توانایی فرایندهای تولید .
- تعیین توانایی سیستم اندازه گیری .
- ایجاد مبنایی برای تعیین زمان های کالیبراسیون ابزار اندازه گیری .

فرایند اندازه گیری , فرایندی است که محصول آن , ارقام است

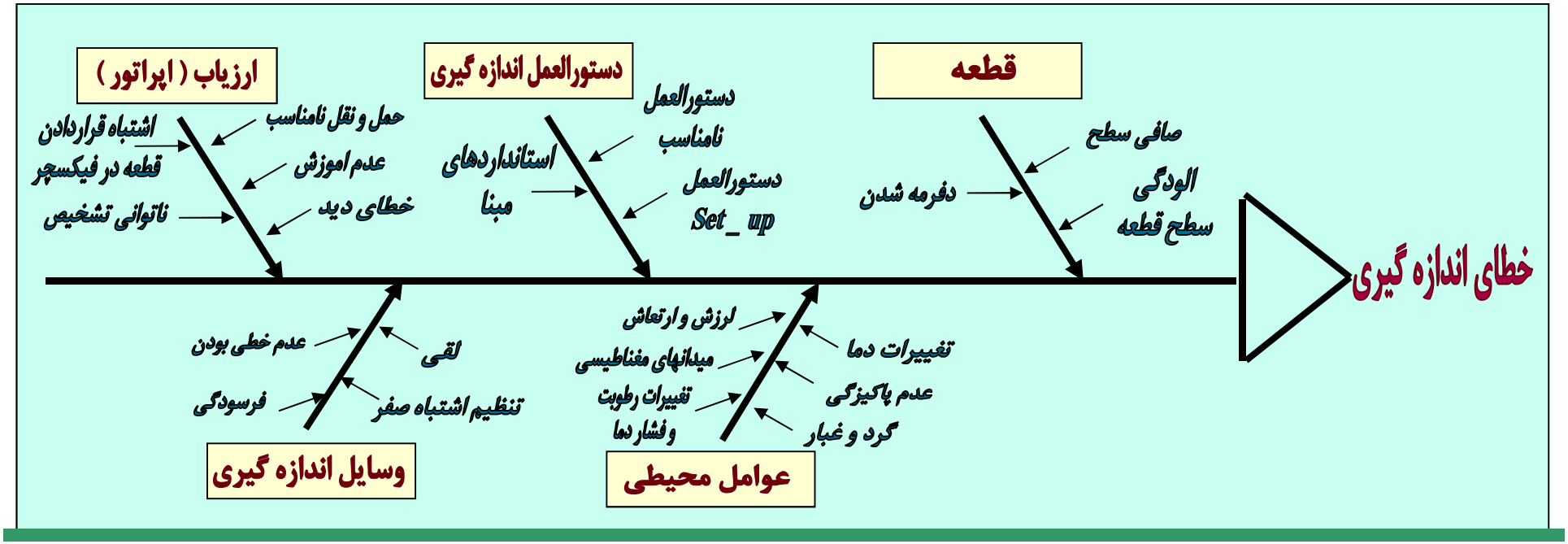


شکل ۱ _ ۱ : فرایند اندازه گیری

منشا و علل خطاهای اندازه گیری

سیستم اندازه گیری فقط منحصر به وسایل و ابزار اندازه گیری نیست بلکه عوامل بسیاری از فرایند های تولید و حتی تجهیزات تست در این سیستم تاثیر گذارند . در شکل ۱ _ ۲ نمودار علت و معلول خطاهای اندازه گیری رسم شده است . در این نمودار برخی از علل نوسان ها و خطاهای اندازه گیری نشان داده شده است .

شکل ۱ _ ۲ : نمودار علت و معلول خطاهای اندازه گیری



خطاهای سیستم اندازه گیری

به هنگام اندازه گیری خروجی فرایندها , همیشه پراکندگی مشاهده می شود . این پراکندگی , ناشی از دو منبع زیر است :

۱. فرایند تولید : بخاطر وجود تغییرات فرایند تولید, اندازه های قطعات تولید شده با هم متفاوت است

۲. سیستم اندازه گیری : روشهای مختلف اندازه گیری و نقصهایی که در سیستم های اندازه گیری وجود دارد باعث می شود در اندازه گیری های مکرر یک قطعه نتایج یکسانی به دست نیاید .

به طور کلی , رابطه بین این پراکندگی ها به صورت زیر قابل بیان است :

پراکندگی ناشی ازسیستم اندازه گیری+پراکندگی ناشی ازفرایندتولید=کل پراکندگی مشاهده شده

چرا تجزیه و تحلیل سیستم اندازه گیری ؟ به خاطر سود بیشتر چرا که ممکن است قطعات مردود به دست مشتری برسد و باعث نارضایتی او شود و یا قطعات خوب جزو مردودیها طبقه بندی و به عنوان معیوب (دوباره کاری) و ضایعات (دور ریز) در نظر گرفته شود .

چه موقع باید MSA پیاده کرد ؟ ازآنجا که اندازه گیریهای انجام شده ملاک رد یا قبول محصول خروجی است, هرقدر پراکندگی ناشی از سیستم اندازه گیری کمتر باشد, پراکندگی مشاهده شده به پراکندگی واقعی فرایند تولید نزدیکتر است و با اطمینان بیشتری می توان در مورد محصول مورد نظر تصمیم گیری کرد. بنابراین باید توجه داشت قبل از اقدام به هرکاری که در آن از نتایج اندازه گیریها استفاده می شود (بازرسی محصول, DOE, SPC , ...) ابتدا باید مطمئن شد قسمت اعظم پراکندگی مشاهده شده ناشی از سیستم اندازه گیری نیست .

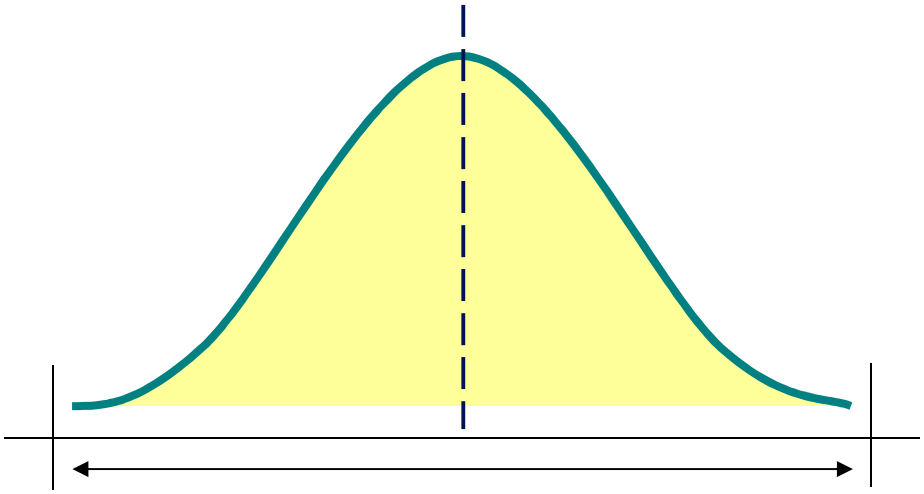
خطاهای سیستم اندازه گیری

همانطور که در شکل دیده می شود , سیستم اندازه گیری نیز مانند سایر فرایندهای تولیدی,دارای توزیع احتمال است و می توان پارامتر های میانگین و پراکندگی آن را تعیین کرد . خطاهای سیستم اندازه گیری , ناشی از تغییر در میانگین و پراکندگی توزیع احتمال است . بنابراین , خطاها را می توان به دو دسته تقسیم کرد :

۱. صحت (خطاهای مربوط به میانگین)
Accuracy

۲. دقت (خطاهای مربوط به پراکندگی)
Precision

میانگین اندازه های گرفته شده



شکل ۱ _ ۳ : تابع توزیع سیستم اندازه گیری

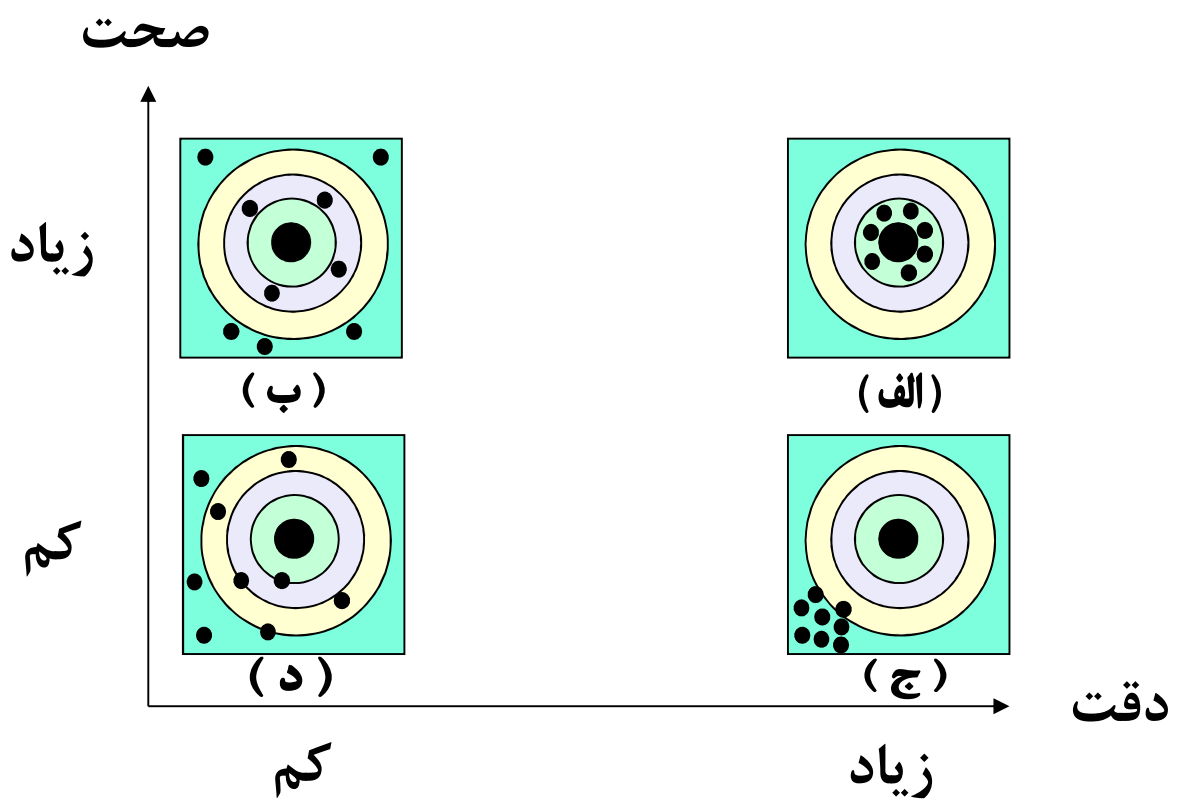
مشکلات سیستم اندازه گیری در ارتباط با دقت یا صحت

هر سیستم اندازه گیری , ممکن است مشکلاتی در ارتباط با هر یک از این خطاها داشته باشد . مثلا یک ابزار اندازه گیری , ممکن است قطعات را با دقت اندازه گیری کند (در اندازه گیری های مکرر، پراکندگی اندکی بین اندازه های خوانده شده وجود دارد) , ولی دارای صحت نباشد و یا ابزار دیگری دارای صحت مناسب باشد (میانگین اندازه های خوانده شده به اندازه واقعی قطعه بسیار نزدیک است) ولی دقیق نباشد (پراکندگی بین اندازه های خوانده شده بسیار زیاد است). سرانجام ممکن است در یک سیستم اندازه گیری نه دقت وجود داشته باشد نه صحت .

در سیستم اندازه گیری ایده ال , خطای ناشی از عدم صحت و دقت برابر صفر است ,

اما چنین سیستمی وجود ندارد یا مقرون به صرفه نیست .

شکل مربوط به مفهوم دقت و صحت



شکل ۱ـ ۴ : مفهوم و صحت و دقت : (الف) دارای صحت و دقت . (ب) دارای صحت ولی فاقد دقت .
(ج) فاقد صحت , ولی دارای دقت . (د) فاقد صحت و دقت .

صحت و دقت

صحت Accuracy

تفاوت بین میانگین اندازه های به دست امده و اندازه واقعی قطعه را نشان می دهد . هرچه این تفاوت کمتر باشد , سیستم اندازه گیری صحت مناسب تری خواهد داشت و میانگین توزیع احتمال اندازه گیری بر اندازه واقعی منطبق خواهد شد .

صحت یک سیستم اندازه گیری معمولا با شاخص (تمایل) سنجیده می شود . تمایل بدون اینکه بر پراکندگی اعداد تاثیر بگذارد , باعث می شود که میانگین مقادیر اندازه گیری شده کوچکتر یا بزرگتر از اندازه واقعی باشد .

دقت Precision

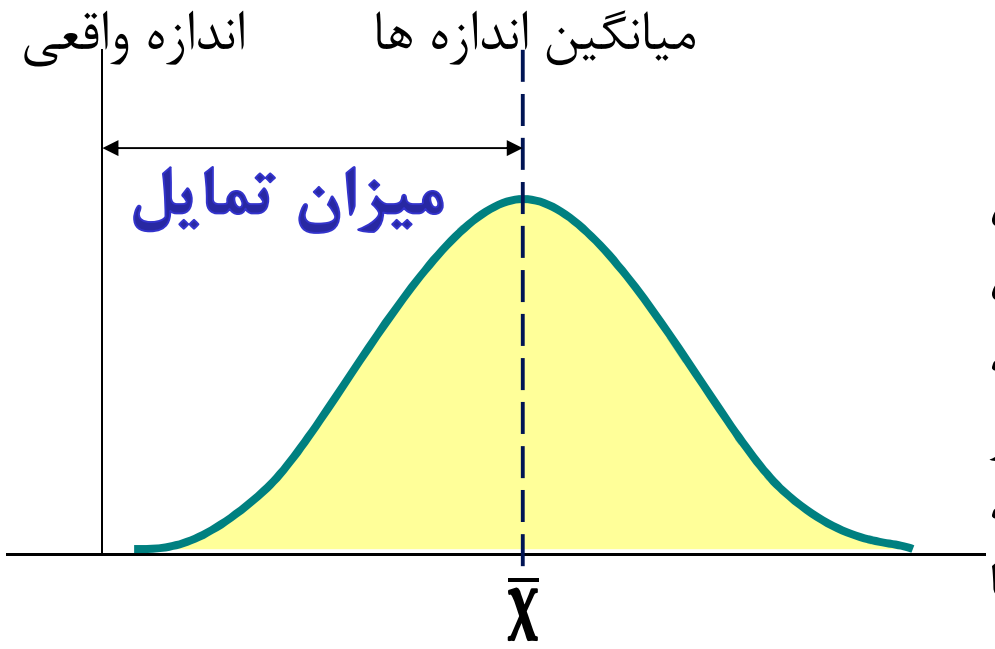
نشان دهنده میزان پراکندگی است که در اندازه گیری های مکرر یک قطعه به دست می آید . هرچه این پراکندگی کمتر باشد , دقت سیستم اندازه گیری بیشتر خواهد بود, به این معنا که پراکندگی توزیع احتمال آن کمتر خواهد بود .

دقت یا پراکندگی ناشی از اندازه گیری معمولا به دو قسمت تقسیم می شود :

۱. تکرار پذیری
۲. تکثیر پذیری

تعریف تمایل

تمایل برابر است با تفاوت میانگین اندازه های مشاهده شده و اندازه واقعی آنچه اندازه گیری می شود .

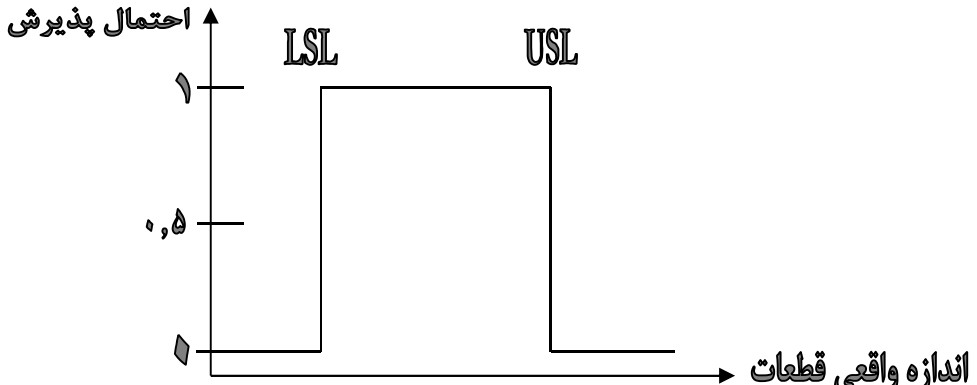


شکل ۱ – ۶ : تمایل

برای تعیین میزان تمایل سیستم اندازه گیری باید قطعه ای را که اندازه واقعی آن کاملا مشخص است , به عنوان مبنا انتخاب و چندین بار اندازه گیری کرد . سپس با مقایسه میانگین نتایج به دست آمده با اندازه واقعی , مقدار تمایل سیستم اندازه گیری بدست می اید .

شکل یک سیستم اندازه گیری ایده آل

شکل ۱ _ ۵ یک سیستم اندازه گیری ایده آل را نشان می دهد که در آن , پراکندگی ناشی از سیستم اندازه گیری , صفر است . بنابراین همانطور که مشاهده می شود , احتمال پذیرش قطعات در محدوده (USL – LSL) برابر یک و در خارج از آن , برابر صفر است .



شکل ۱ - ۵ سیستم اندازه گیری ایده ال

تکرار پذیری

تکرارپذیری برابر است با پراکندگی ناشی از سیستم اندازه گیری در هنگامی که یک قطعه با استفاده از یک ابزار ,به طور مکرر اندازه گیری شود .

در واقع تکرار پذیری شاخصی است که توانایی یا ناتوانی سیستم اندازه گیری را برای دستیابی به نتیجه ای یکسان در اندازه گیری های مکرر نشان می دهد .

چه عللی باعث می شوند تا سیستم اندازه گیری دستخوش تغییرات شوند ؟

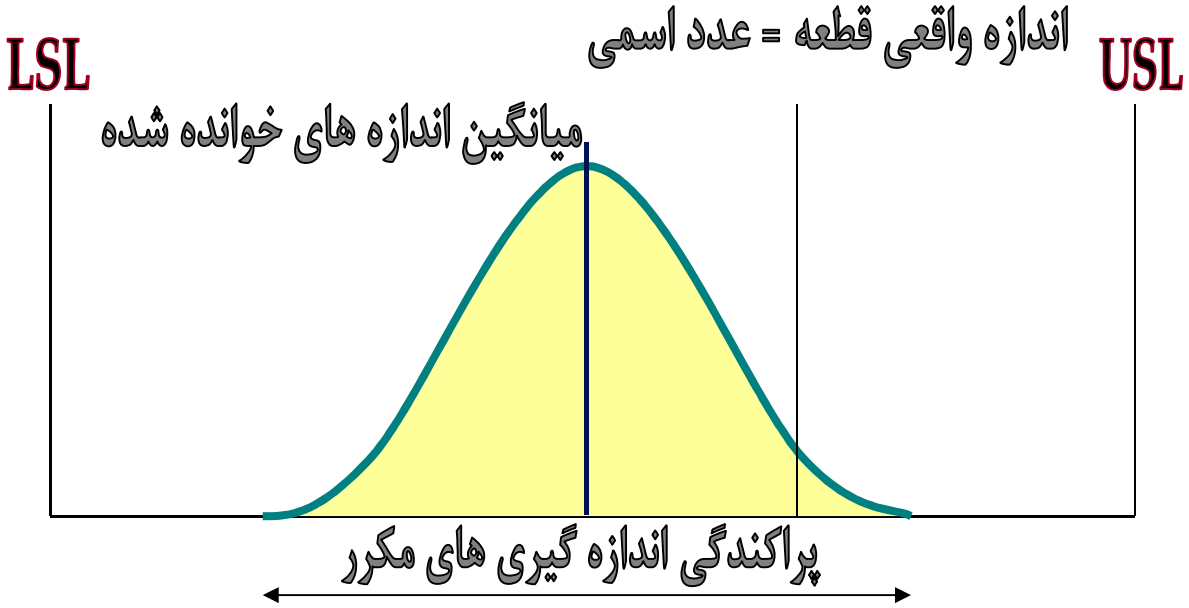
علل بیشماری می توانند سیستم اندازه گیری را دستخوش تغییرات کنند , مثل :

اصطکاک , فرسودگی ابزار , روش اندازه گیری غلط , ناتوانی بازرس در اجرای عملیات بازرسی و عدم خواندن صحیح ابزار در هر بار اندازه گیری .

اگر سیستم اندازه گیری , قابلیت تکرار پذیری داشته باشد , در اندازه های بدست آمده از یک قطعه پراکندگی زیادی وجود نخواهد نداشت .

تکرار پذیری

نکته : پراکندگی حاصل از اندازه گیری باید در مقایسه با حدود تلرانس (USL-LSL) کوچک باشد .



شکل ۱ - ۷ : تکرار پذیری

تکثیر پذیری

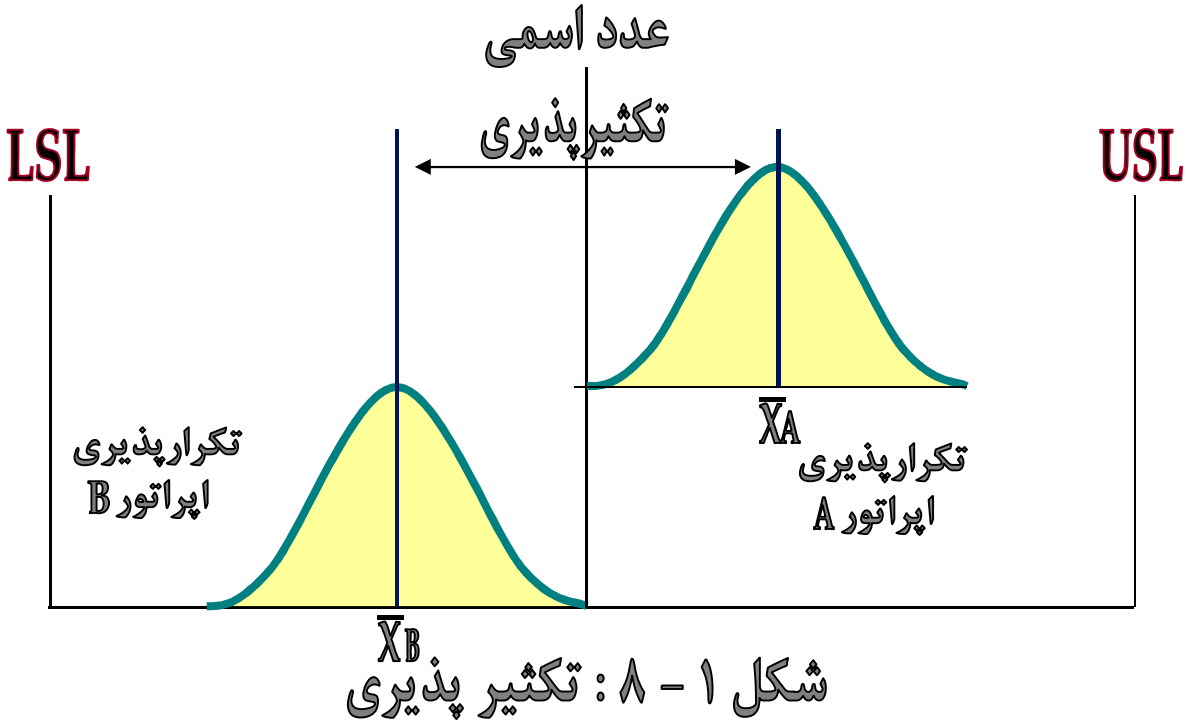
تکثیر پذیری برابر است با پراکندگی ناشی از تغییر هر یک از عوامل موثر در یک سیستم اندازه گیری (اپراتور , روش , ابزار و ...) که در اندازه گیری های مکرر به دست می آید .

تکثیر پذیری اپراتور

هنگامی که اپراتورهای مختلف , قطعات مشابهی را با یک ابزار اندازه گیری می کنند ,تکثیر پذیری , تغییرات وابسته به انسان را در اندازه گیری ها با استفاده از یک ابزار و یک روش نشان می دهد . تغییرات ناشی از به کارگیری چند ابزار به وسیله یک نفر در اندازه گیری ها , نوع دیگری از تکثیر پذیری است .

تکثیر پذیری

توضیح : اختلاف بین میانگین اندازه های خوانده شده اپراتور A و B بیانگر پراکندگی ناشی از تکثیر پذیری است .



شکل ۱ - ۸ : تکثیر پذیری

فصل دوم : تجزیه وتحلیل سیستمهای اندازه گیری مشخصه های کمّی

مشخصه هایی که در سیستم اندازه گیری قطعات بررسی می شوند , عموما دو دسته اند :

۱. مشخصه های کمّی : خروجی سیستم اندازه گیری به صورت یک عدد بیان می شود.

۲. مشخصه های وصفی : خروجی فرایند اندازه گیری به صورت (رد / قبول) قطعه است .

شاخص های مورد استفاده در فرایند اندازه گیری کمّی

تا این مرحله از بحث توضیحاتی اجمالی در مورد پارامترهای فرایند اندازه گیری که شامل میانگین و پراکندگی (صحت و دقت) بود ارائه شد . حال این پارامترها به تفصیل مطرح و شاخص های مورد استفاده در آنها , نظیر تمایل (BIAS) , توانایی ابزار اندازه گیری (Cg و Cgk) , ثبات (پایداری سیستم اندازه گیری) , تکرار پذیری و تکثیر پذیری تشریح خواهند شد . سپس با بیان پراکندگی کل سیستم اندازه گیری به صورت نسبتی از پراکندگی کل تولید و یا حدود مشخصه مهندسی پارامتر مورد نظر , شاخص هایی برای اظهار نظر در مورد مطلوبیت سیستم اندازه گیری بدست خواهد امد .

مراحل کار در تمایل

مراحل کار در تمایل به صورت زیر است :

۱. قطعه ای که اندازه یکی از مشخصه های آن را به طور دقیق می دانیم به عنوان مبنا انتخاب می کنیم . در صورتی که اندازه مشخصه مورد نظر را ندانیم , با یک وسیله اندازه گیری دقیق , قطعه را چند بار اندازه گیری کرده , از میانگین اندازه های بدست آمده به عنوان اندازه مبنا استفاده می کنیم (X_R) .

۲. قطعه مورد نظر توسط اپراتور یا ارزیاب ماهر و با وسیله اندازه گیری ۱۰ مرتبه متوالی اندازه گیری و ارقام حاصله ثبت می شود .

۳. میانگین ۱۰ اندازه حاصله را بدست آورده , اندازه مبنا را از آن کم می کنیم . مقدار حاصله , نشان دهنده تمایل سیستم اندازه گیری است .

$$\text{میانگین اندازه های به دست آمده} = \overline{X} = \sum_{i=1}^{n} \frac{X_i}{n}$$

$$\text{تمایل} = \overline{X} - X_R$$

مثال تمایل

مثال ۲ _ ۱ : فرض کنید اندازه یک قطعه مبنا 0.8 میلیمتر است . با این فرض که با اســتفاده از وسایل اندازه گیری , قطعه مورد نظر ۱۰ بار اندازه گیری شده و نتایج زیر بدست آمده است (اندازه ها بر حسب میلی متر است) .

X 1 = 0.75	X 4 = 0. 8	X 7 = 0.75	X 10 = 0.7
X 2 = 0.75	X 5 = 0.65	X 8 = 0.75	
X 3 = 0. 8	X 6 = 0. 8	X 9 = 0.75	

پاسخ : با توجه به مقادیر حاصل , محاسبات به صورت زیر خواهد بود :

$$\overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{10} X_i}{10} = \frac{0.75 + 0.75 + \ldots + 0.75 + 0.7}{10} = \frac{7.5}{10} = 0.75$$

$X_R = 0.8$

$$\text{تمایل} = \overline{X} - X_R = 0.75 - 0.8 = -0.05$$

توانایی ابزار اندازه گیری

با محاسبه شاخص های توانایی ابزار اندازه گیری (Cg و Cgk), می توان تغییرات ذاتی وسیله اندازه گیری را بررسی کرد وتکرار پذیری و تمایل وسیله را بطور همزمان ارزیابی نمود. این شاخص ها معمولا برای ابزارجدید و یا از تعمیر برگشته و نیز برای تصدیق روش اندازه گیری به کار می روند . مراحل محاسبه شاخصهای توانایی به شرح زیر می باشد:

- ابتدا یک قطعه مرجع که با عدد اسمی نقشه پارامتر مورد بررسی هم اندازه است انتخاب شود . اندازه این قطعه مرجع نباید در طی ارزیابی تغییر کند .
- حتی الامکان اندازه گیری در محیط واقعی فرایند تولید انجام گیرد .
- قطعه مرجع را ۵۰ ودرصورت عدم امکان ۲۵ بار اندازه گیری کنید. پس از هراندازه گیری, قطعه مرجع را بر زمین گذاشته, سپس آن را بردارید و اندازه گیری بعدی را انجام دهید. اگر از فیکسچر استفاده می کنید، پس از هر اندازه گیری, قطعه را از فیکسچر درآورید و دوباره درون فیکسچر قرار دهید.
- نتایج را ثبت و سپس نمودار روند را برای تایید تصادفی بودن مشاهدات رسم کنید.
- مقادیر $\overline{X}_g$ و Sg را برای اندازه ها محاسبه کنید :

$$\overline{X}_g = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{N}$$

$$S_g = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(X_i - \overline{X}_g\right)^2}}{n-1}$$

- مقدار $\overline{X}_g - X_m$ را که نشان دهنده تمایل ابزار اندازه گیری است محاسبه کنید .
- شاخص های توانایی ابزار Cg و Cgk را محاسبه کنید .
- نتایج را با حداقل معیار پذیرش مقایسه کنید .

فرمولهای شاخصهای Cg و Cgk

الف – بر اساس حدود فرایند

$$C_g = \frac{0.15(6\sigma_p)}{6S_g} = \frac{0.15\sigma_p}{6S_g}$$

حداقل معیار پذیرش = ۱/۳۳

$$C_{gk} = \frac{0.5T * 0.15(6\sigma_p) - \left|\overline{X_g} - X_m\right|}{3S_g} = \frac{0.45\sigma_p - \left|\overline{X_g} - X_m\right|}{3S_g}$$

ب – براساس حدود تلرانس

$$C_g = \frac{0.2T}{6S_g} \qquad C_{gk} = \frac{0.1T - \left|\overline{X_g} - X_m\right|}{3S_g}$$

حداقل معیار پذیرش = ۱

نکته ۱) از آنجا که معمولا واریانس فرایند (σ^2_p) بخصوص در مورد فرایندهای جدید نا معلوم است و در طی زمان تغییر می کند , بهتر است برای محاسبه شاخص های توانایی ابزار, به جای σ^2_p از حدود تلرانس استفاده شود .

نکته ۲) اگر فرایند دارای حدود تلرانس یکطرفه باشد نمی توان برای آن Cg و Cgk را براساس تلرانس محاسبه کرد . بهتر است در صورت اجرای SPC , برای محاسبه شاخصهای توانایی ابزار از حدود فرایند استفاده شود .

ثبات

اندازه گیری , یک فرایند است و طبعا پایداری آن همانند هر فرایند دیگر باید در طول زمان , تحت کنترل قرار گیرد .

بررسی پایداری فرایند اندازه گیری که بر اساس دو مشخصه مهم آن (صحت و دقت)مورد بررسی قرار می گیرد , تحت عنوان ((ثبات)) مطرح می شود .

بنابراین , هر گاه با گذشت زمان , دقت و صحت یک فرایند اندازه گیری تغییر نکند , می توان گفت : فرایند اندازه گیری از ثبات مناسبی برخوردار است . در صورتی که یکی از این دو شاخص تغییر کند , ثبات فرایند بر قرار نخواهد بود . مثلا , اگر در طی زمان بررسی سیستم اندازه گیری , مقادیر بدست آمده به علت گرم شدن ابزار اندازه گیری , روند افزایشی یا کاهشی داشته باشند , ثبات در سیستم اندازه گیری (از نظرصحت) بر قرار نیست و سیستم تا زمان برقراری ثبات باید بازبینی و اصلاح شود . همچنین , ممکن است با گذشت زمان به علت فرسودگی ابزار و یا تجربه بیشتر ارزیاب , دقت سیستم اندازه گیری تغییر کند .

بنابراین , در هر فرایند اندازه گیری , تغییرات صحت و دقت باید کنترل شود . همانگونه که در هر فرایند تولیدی برای کنترل پایداری فرایند در طول زمان از نمودارهای کنترل استفاده می شود برای بررسی ثبات سیستم های اندازه گیری نیز نمودارهای کنترلی ($\mathbf{R}$ و $\overline{\mathbf{X}}$) به کار می روند که در ادامه مطالب , نحوه استفاده از نمودارهای کنترل برای بررسی ثبات توضیح داده می شود .

مراحل بررسی ثبات

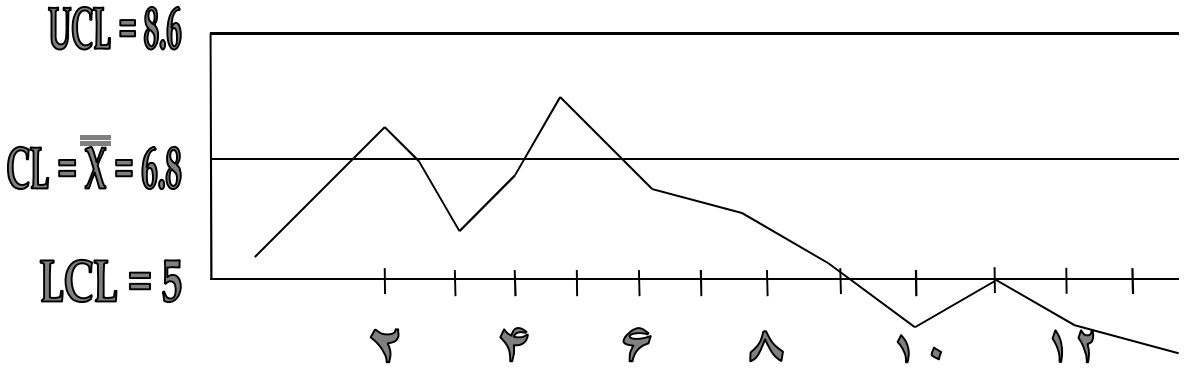
۱ -باید یک قطعه مرجع (قطعه مرجع باید توسط وسیله اندازه گیری دقیق تر اندازه گیری و اندازه آن ثبت شود) را که اندازه آن حتی الامکان با گذشت زمان ثابت می ماند و شبیه قطعات تولیدی است انتخاب کرده .

۲- قطعه انتخاب شده را در فواصل زمانی مختلف با استفاده از همان وسیله اندازه گیری که باید ثبات آن بررسی گردد , اندازه گیری کنید. در هر بار اندازه گیری , قطعه مرجع چند بار ـ معمولا ۳ تا ۵ بار ـ اندازه گیری شده و اندازه ها ثبت می شوند . این کار در فواصل زمانی مختلف و معمولا بین ۲۵ تا ۳۰ بار تکرار می شود . البته باید توجه داشت که تعداد نمونه گیری و تناوب بین آنها ـ برای تحت کنترل داشتن سیستم انداز گیری ـ باید با توجه به آگاهی های لازم از فرایند و سیستم اندازه گیری انجام شود .

۳- پس از اندازه گیری ها و ثبت نتایج می توانیم نمودارهای $\overline{X}$ و R مبنا را برای داده های حاصله رسم کنیم و با تجزیه و تحلیل هر یک از نمودارها , بر قراری ثبات را بررسی کرده و در صورت نیاز اقدام اصلاحی برای برقراری ثبات انجام دهیم . در صورت تحت کنترل بودن این دو نمودار می توان آنها را نمودار مبنا تلقی کرده و از حدود آنها برای بررسی ثبات فرایند اندازه گیری استفاده کرد .

رسم نمودار کنترل $\bar{X}$ مبنا

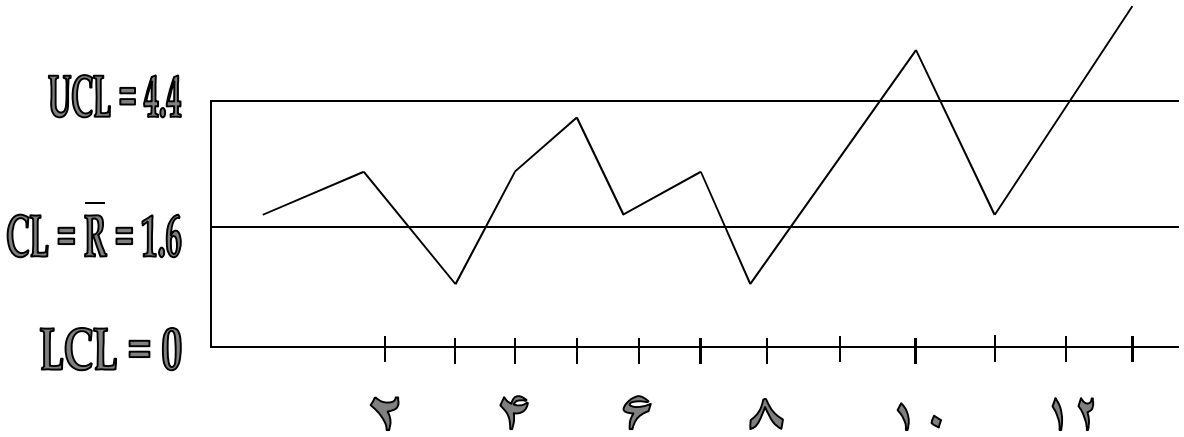
تغییرات در نمودار $\bar{X}$ نشان دهنده میزان تغییر تمایل یک سیستم اندازه گیــری در طــول زمان است . مثلا , حرکت تدریجی میانگین نمونه های اندازه گیری شده در طول زمان به سمت خارج از حدود کنترل نشان می دهد که تمایل سیستم با گذشت زمان ثابــت نیست .



نمودار کنترل $\bar{X}$ نمایانگر میزان تغییرات در میزان تمایل است . نقاط زیر LCL نشان می دهند که ابزار نیاز به کالیبراسیون دارد .

نمودار R

تغییر در نمودار R با گذشت زمان , نشان دهنده تغییر در میزان دقت سیستم اندازه گیری است . کاهش مقادیر R با گذشت زمان , بهبود دقت و در نتیجه بهبود سیستم اندازه گیری را نشان می دهد . به همین ترتیب , افزایش مقادیر R با گذشت زمان نشان دهنده کاهش دقت سیستم اندازه گیری است که به اقدام اصلاحی نیاز دارد .مثلا , ممکن است به علت فرسودگی ابزار اندازه گیری , نوسانهای ناشی از فرسودگی بر اندازه ها تاثیر بگذارد و با گذشت زمان , نوسان ها بیشتر و در نتیجه دقت کمتر شود .



نمودار کنترل R نمایانگر تغییرات در میزان دقت است . نقاط ۱۰ و ۱۳ نشان می دهند که دقت ابزار اندازه گیری کم شده است و اقدام اصلاحی باید انجام گیرد .

جاری کردن نمودارهای $\bar{X}$-R برای بررسی تداوم ثبات

پس از آنکه نمودارهای مربوطه بررسی شده و حالت های خارج از کنترل و علل آن شناسایی و حذف شوند ، در واقع شرایط حفظ ثبات را برقرار ساخته و عواملی را که تاثیر منفی بر ثبات دارند حذف کرده ایم . اکنون لازم است از طریق بازبینی فرایند و ثبت نتایج طی گذشت زمان , تداوم برقراری ثبات را بررسی کرده و در مواقع لزوم , اقدام اصلاحی را انجام دهیم .

این نتایج در نمودارهای کنترلی که حدود آنها بر اساس وضعیت با ثبات به دست آمده است , ثبت می شوند و به هنگام رویارویی با هر یک از الگوهای خارج از کنترل , اقدام اصلاحی لازم صورت می گیرد .

دلایل فرایند خارج از کنترل

معمولا فرایند اندازه گیری ممکن است به دو دلیل از کنترل خارج شود .

- فرایند اندازه گیری دستخوش تغییرات شده و نیاز به اصلاح داشته باشد .
- قطعه استاندارد تغییر کند (مثلا فرسوده شود .) .

هنگامی که یکی از این دو حالت روی دهد باید فرایند اندازه گیری متوقف شده و پس از شناخت و رفع عامل خارج از کنترل و برقراری مجدد ثبات , دوباره شروع به کار کند .

جاری کردن نمودارهای $\bar{X}$-R برای بررسی تداوم ثبات

نکته : برای رسم نمودار جاری ثبات باید از همان قطعه مرجع اولیه استفاده شود و اندازه نمونه (تعداد دفعات اندازه گیری قطعه مرجع) با اندازه نمونه نمودار مبنا برابر باشد

نکاتی که در خصوص تناوب نمونه برداری باید با توجه به شرایط فرایند اندازه گیری و تولید رعایت شود:

۱. در حالتی که تولید به صورت محموله ای انجام می شود , بهتر است اندازه گیری پس از تولید کامل هر بچ انجام گیرد .

۲. به هنگام استفاده از یک ابزار اندازه گیری جدید , همواره باید از فواصل نمونه گیری کوتاه تر استفاده کرد , ولی اگر یک ابزار اندازه گیری به مدت چند ماه از ثبات خوبی برخودار باشد , می توان فاصله نمونه گیری را بیشتر کرد .

۳. ممکن است اندازه گیری قطعه استاندارد در زمانهای ثابت , باعث پنهان ماندن برخی مشکلات گردد . مثلا ابزار اندازه گیری در مواقع خاصی از روز که هوا گرم تر است (هنگام ظهر) دچار مشکل شود . در این حالت بهتر است زمانهای اندازه گیری به صورت تصادفی انتخاب شوند .

چگونگی جمع آوری داده های کمّی جهت محاسبه تکرارپذیری و تکثیرپذیری

برای محاسبه قابلیت یک سیستم اندازه گیری با استفاده از داده های کمّی، به هنگام انتخاب قطعات و جمع آوری و ثبت اطلاعات ، باید به نکات زیر توجه کرد:

۱) قدرت تمایز (Discrimination) ابزار اندازه گیری باید ۱۰ برابر تلرانس مشخصه مورد اندازه گیری باشد .مثلا اگر تلرانس یک پارامتر ۱ / ۰ باشد , ابزار اندازه گیری باید حداقل دقت ۰ ۱ / ۰ داشته باشد .

۲) به طور تصادفی قطعاتی را از تولید انتخاب کنید . هر قطعه ممکن است مطابق با حدود و مشخصات فنی باشد یا نباشد . اندازه واقعی قطعه , تاثیری بر تکرار پذیری و تکثیر پذیری ندارد , اما لازم است قطعاتی انتخاب شوند که کل اندازه های تولید شده مشخصه مورد نظر را در بر بگیرند .

۳) به منظور شناسایی قطعه و آسان سازی فرایند جمع آوری داده ها , قطعات را باید شماره گذاری یا کد گذاری کرد .

۴) برای حداقل تعداد نمونه مورد نیاز و حداقل تکرار اندازه گیری روی هر قطعه از جدول صفحه بعد استفاده کنید .

۵) روش بازرسی و تجهیزات آن را بررسی کنید تا مطمئن شوید مطابق دستورالعمل و رویه های معتبر سازمان انجام شود .

۶) با اپراتورهای مسئول بازرسی قطعات صحبت کنید و هدف از انجام این مطالعه , و روش جمع آوری داده ها و نقش خودشان را برای آنها بیان کنید .

چگونگی جمع آوری داده های کمّی جهت محاسبه تکرارپذیری و تکثیرپذیری

۷) قطعات باید بطور تصادفی و بدون هیچ نظم وترتیب خاصی برای اندازه گیری در اختیار اپراتـور هـا قرار گیرد. پس از هر بار اندازه گیری توسط یک اپراتور , مقـدار آن را در برگـه جمـع آوری داده ثبت کنید. دفعات دیگر اندازه گیری قطعات توسط اپراتور هم باید بـه صـورت تصـادفی باشـد و مقادیر مربوطه در برگه ای غیر از برگه اول ثبت شوند, چرا که اندازه گیری هـای قبلـی نبایـد در معرض مشاهده اپراتورها باشد تا باعث جهت گیری آنها در اندازه گیریها نشود .

۸) ثبت اندازه گیری انجام شده روی هر قطعه را به صورت قبل ادامه دهید تا زمانی که به تعداد دفعات اندازه گیری مورد نیاز دست یابید . دقت کنید هر سری از اندازه گیریها در برگـه جداگانـه ثبـت شود .

۹) پس از ثبت مشاهدات , برای بررسـی دقت سیسـتم انـدازه گیـری , بایـد پارامترهـــای تکرارپـــذیری و تکثیرپذیری محاسبه شوند .

جدول اندازه نمونه برای داده های کمّی

جدول (۲ ـ ۱)

حداقل تعداد اندازه گیری	حداقل تعداد قطعه	ابزار اندازه گیری	بازرس / اپراتور
۵	۱۰	۱	۱
۳	۱۵	۲	۱
۳	۱۵	۱	۲
۲	۱۰	۲	۲
۲	۱۰	۳ و بیشتر	۱ یا ۲
۲	۱۰	۱ یا ۲	۳ و بیشتر
۲	۱۰	۳ و بیشتر	۳ و بیشتر

تکرار پذیری(Repeatability

تعریف :

تکرار پذیری عبارت است از پراکندگی ناشی از سیستم انـدازه گیـری بـه هنگام اندازه گیری مکرر قطعات .

فرمول :

مقدار خطای تکرار پذیری از رابطه زیر به دست می آید :

$$EV = 5.15\frac{\overline{R}}{d_2}$$

R = مقدار خطای مرکزی نمودار دامنه **d2 = جدول ضمیمه ۲**

نکته: بازه ۱۵ / ۵ در توزیع نرمال اسـتاندارد برابـر ۹۹٪ داده هـا اسـت . اگـر بخواهیـد محسبات ازدقت بالاتر برخوردار باشد, می توانیدازعدد ۶استفاده کنیدکه ۷۳ / ۹۹٪ داده ها را پوشش می دهد . البته , معمولا از عدد ۱۵ / ۵ استفاده می شود .

مثال تکرار پذیری

۱۰ قطعه از یک فرآیند , طوری انتخاب شده اند که کل محدوده تولید را پوشش می دهند . از آنجا که تنها یک اپراتور در اندازه گیری قطعات دخیل است , بر اساس جدول ۲ ـ ۱ هر یک از نمونه ها باید ۵ مرتبه توسط بازرس اندازه گیری شود . ارقام به دست آمده درجدول شماره ۲ ـ ۲ ارائه شده است

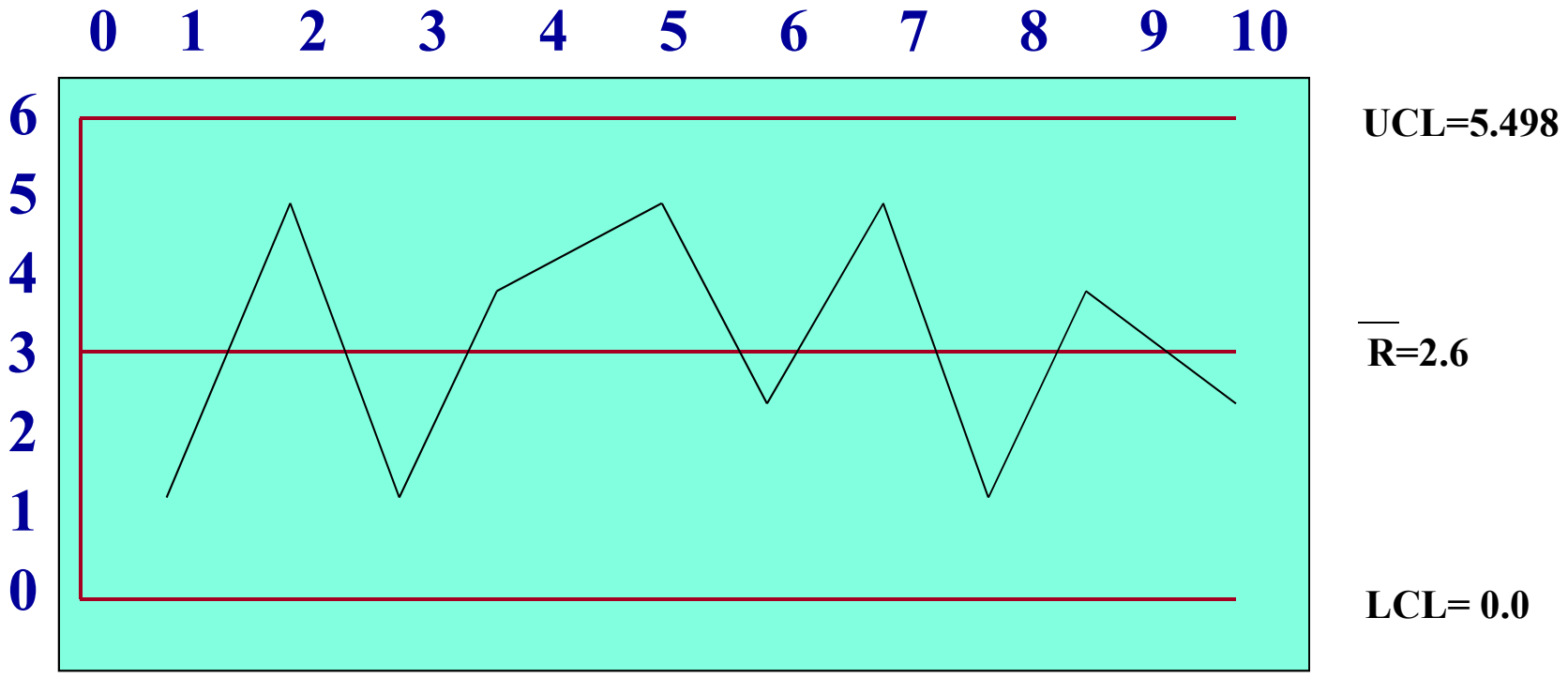
جدول (۲ ـ ۲)مقادیر اندازه گیری شده برای محاسبه تکرار پذیری

شماره قطعات / دفعات اندازه گیری	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱	۲۱۷	۲۲۰	۲۱۷	۲۱۷	۲۱۶	۲۱۷	۲۱۶	۲۱۵	۲۱۶	۲۲۰
۲	۲۱۶	۲۱۶	۲۱۶	۲۱۲	۲۱۹	۲۱۹	۲۱۶	۲۱۶	۲۱۲	۲۲۰
۳	۲۱۶	۲۱۸	۲۱۶	۲۱۲	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۱۶	۲۱۵	۲۲۰
۴	۲۱۷	۲۱۹	۲۱۶	۲۱۱	۲۱۷	۲۱۷	۲۱۷	۲۱۶	۲۱۴	۲۱۹
۵	۲۱۶	۲۱۸	۲۱۷	۲۱۳	۲۱۷	۲۱۷	۲۱۹	۲۱۵	۲۱۵	۲۱۸
دامنه	۱	۴	۱	۳	۴	۲	۴	۱	۴	۲

مراحل محاسبه تکرار پذیری (قدم اول) شکل نمودار R

نمودار دامنه مربوط به اعداد جدول ۲ ـ ۲ را تهیه کرده از تحت کنترل بودن آن اطمینان حاصل کنید, حدود نمودار دامنه از روابط زیر به دست می آید :

$$UCL = D4\,\overline{R}$$
$$CL = \overline{R}$$
$$LCL = D3\,\overline{R}$$



مراحل محاسبه تکرار پذیری (قدم اول)

اگر هر یک از دامنه های به دست آمده, عددی بزرگتر از UCL باشد, مراحل زیر را انجام دهید:

الف _ قطعه را مجدد اندازه گیری کنید تا مشخص شود که خارج از کنترل بودن دامنه , ناشی از خطا در ثبت اطلاعات است یا خطای اندازه گیری .

ب _ اگر در ثبت اطلاعات اشتباهی صورت گرفته , داده های تاثیر پذیرفته را از محاسبات حذف و میانگین دامنه ها و UCL و LCL را مجدد محاسبه کنید . اگر برای بیش از یک داده در ثبت اطلاعات اشتباه رخ داده , آزمایش را از ابتدا تکرار کنید .

پ _ اگر یک دامنه به دلیل خطای مربوط به روش اندازه گیری از UCL تجاوز کند , داده تاثیر پذیرفته را از محاسبات حذف کرده , میانگین دامنه , UCL و LCL را دوباره محاسبه کنید.

ت _ اگر بیش از یک دامنه به دلیل خطای اندازه گیری از UCL تجاوز کند , قبل از ادامه محاسبات , روش اندازه گیری باید مورد بازبینی قرار گیرد . در صورت لزوم , آزمایش پس از بهبود روش اندازه گیری مجددا تکرار شود .

مراحل محاسبه تکرار پذیری (قدم دوم)

در این مثال چون هیچ دامنهای از UCL تجاوز نکرده است به قدم دوم می رویم .
خطای تکرار پذیری را از رابطه ذکر شده EV محاسبه کنید .

با توجه به نمودار دامنه : $R = 2.6$ و با استفاده از جدول ضمیمه ۲ مقدار $d_2 = 2.34$
است . مقدار $5.15 / d_2$ را در برخی از متون با K1 نمایش می دهند .

$$\text{خطای تکرار پذیری} \quad EV = \frac{5.15 * 2.6}{2.34} = 5.72$$

تکثیر پذیری(Reproducibility)

تعریف:

پراکندگی ناشی از تغییر هر یک از عوامل موثر در سیستم انـدازه گیـری , ماننـد اپراتور اندازه گیری , ابزار و ... در هنگام اندازه گیری مکرر قطعات است .

فرمول :

$$\overline{X}_{DIF} = Max\overline{X} - Min\overline{X} \qquad AV = \sqrt{\left[5.15\frac{\overline{X}_{DIF}}{d_2}\right] - \frac{(EV)^2}{n.r}}$$

EV = مقدار تکرار پذیری

$\overline{X}_{DIF}$ / d2 = انحراف معیار تکثیر پذیری

n = تعداد قطعات مورد استفاده

r = تعداد دفعاتی که هر قطعه اندازه گیری می شود

مقدار 5.15 / d_2 را در برخی از متون با K2 نمایش می دهند .

نکته : با تغییر هر یک از عوامل سیستم اندازه گیری (بازرس , ابزار و ...) به محاسبه تکثیر پذیری نیاز داریم .

مثال تکثیر پذیری

از یک فرایند تولید , پانزده قطعه انتخاب و هر یک ازقطعات سه مرتبــه توســط دو بازرس اندازه گیری می شود . ارقام بدست آمده در جداول ادامه (شماره ۲ و۳) ارائه شده .

جدول شماره ۲

شماره قطعات / نوبت اندازه گیری	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۱	۲۱۷	۲۱۶	۲۱۸	۲۲۰	۲۲۳	۲۱۴	۲۱۸	۲۲۳	۲۲۵	۲۱۲	۲۰۴	۲۱۳	۲۲۱	۲۱۹	۲۰۴
۲	۲۱۶	۲۱۴	۲۱۶	۲۲۲	۲۲۱	۲۱۳	۲۱۶	۲۲۰	۲۲۴	۲۱۰	۲۰۴	۲۱۰	۲۳۰	۲۱۸	۲۰۳
۳	۲۱۵	۲۱۷	۲۱۵	۲۲۰	۲۲۰	۲۱۳	۲۱۵	۲۲۲	۲۲۴	۲۱۰	۲۰۷	۲۱۲	۲۳۰	۲۱۷	۲۰۴
میانگین	۲۱۶	۲۱۵/۷	۲۱۶/۳	۲۲۰/۷	۲۲۱/۳	۲۱۳/۳	۲۱۶/۳	۲۲۱/۷	۲۲۴/۳	۲۱۰/۷	۲۰۵	۲۲۱/۷	۳۳۰/۳	۲۱۸	۲۰۲/۷
دامنه	۲	۳	۳	۲	۳	۱	۳	۳	۱	۲	۳	۳	۱	۲	۱

میانگین بازرس اول = ۲۱۶/۱۳

دامنه بازرس اول = ۲/۲

مثال تکثیر پذیری

جدول شماره ۳

شماره قطعات / نوبت اندازه گیری	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۱	۲۱۸	۲۱۵	۲۱۷	۲۲۰	۲۲۲	۲۱۲	۲۱۶	۲۲۱	۲۲۵	۲۱۳	۲۰۵	۲۱۴	۲۳۲	۲۲۰	۲۰۵
۲	۲۱۶	۲۱۷	۲۱۹	۲۲۱	۲۳۴	۲۱۴	۲۱۶	۲۲۲	۲۲۶	۲۱۱	۲۰۴	۲۱۲	۲۳۱	۲۱۹	۲۰۴
۳	۲۱۷	۲۱۷	۲۱۶	۲۲۱	۲۲۱	۲۱۵	۲۱۸	۲۳۴	۲۲۶	۲۱۰	۲۰۶	۲۱۲	۲۳۰	۲۱۹	۲۰۴
میانگین	۲۱۷	۲۱۶/۳	۲۱۷/۳	۲۲۰/۷	۲۲۳/۳	۲۱۳/۷	۲۱۶/۷	۲۲۲/۳	۲۲۵/۷	۲۱۱/۳	۲۰۵/۷	۲۱۲/۷	۲۳۱	۲۱۹/۳	۲۰۴/۳
دامنه	۲	۲	۳	۱	۳	۳	۲	۳	۱	۳	۲	۲	۲	۱	۱

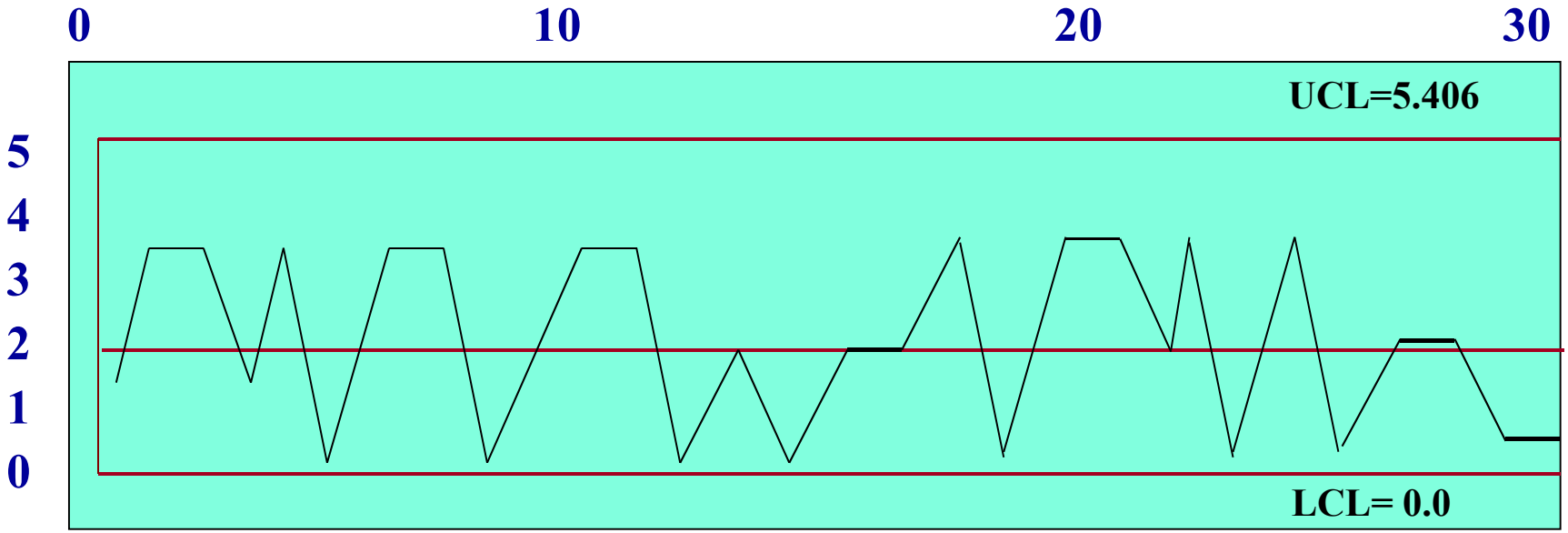
۲۱۷/۰۹ = میانگین بازرس دوم

۲ = دامنه بازرس دوم

پاسخ مثال تکثیر پذیری

نمودار دامنه برای محاسبه تکثیر پذیری

$$\overline{R} = \frac{R_1 + R_2}{2} = \frac{2.2 + 2}{2} = 2.1$$



خطای تکثیر پذیری را از رابطه AV محاسبه کنید :

$$EV = 5.15\ \overline{R} / d_2 = 5.15 * 2.1 / 1.693 = 6.39$$

$$AV = \sqrt{(2.78)^2 - (6.39)^2 / 15 * 3} = 2.6$$

شاخص R & R (Gage Repeatability & Reproducibility)

برای تعیین میزان دقت سیستم اندازه گیری باید انحراف معیار آن محاسبه شود تا بوسیله آن , دامنه نوسان ها تعیین شود . برای انجام این کار از GR & R استفاده می شود که برابر است با برآیند تکرار پذیری و تکثیر پذیری و از رابطه زیر به دست می اید .

$$R\ \&\ R = \sqrt{EV^{2} + AV^{2}}$$

R & R نشان دهنده چیست ؟

در واقع R & R نشان دهنده یک فاصله ۹۹ درصدی برای دامنه نوسان های سیستم اندازه گیری است . برای اظهار نظر راجع به کم یا زیاد بودن R & R باید این شاخص را بر یک مقدار مرجع (RF) تقسیم و بر اساس نسبت به دست آمده , در مورد تایید یا رد صلاحیت سیستم اندازه گیری اظهار نظر کرد . به همین ترتیب , می توان شاخص هایی را برای بررسی نوسانهای ناشی از تکرار پذیری و تکثیر پذیری مورد استفاده قرار داد .

روابط نوسان های ناشی از تکرار پذیری و تکثیر پذیری

$$AV\% = \frac{AV}{RF} * 100\% \qquad EV\% = \frac{EV}{RF} * 100\% \qquad R\ \&\ R\% = \frac{R\ \&\ R}{RF} * 100\%$$

در روابط فوق RF با توجه به نوع فرایند و نظر مشتری تعیین می شود.

RF می تواند یکی از سه مقدار زیر باشد :

- **در جایی که برای پارامتر مورد نظر SPC اجرا می شود , پراکندگی فرایند تولید به عنوان مقدار مرجع قرار گیرد . در این حالت برای فاصله اطمینان ۹۹ درصد مقدار RF = 5.15 δp است که δp انحراف معیار تولید است .**
- **وقتی SPC اجرا نمی شود و برای پارامتر مورد نظر از طرف مشتری , حدود و مشخصات فنی داده شده است , تلرانس (Tolerance) بجای RF قرار می گیرد .**
- **وقتی که SPC اجرا نمی شود و از طرف مشتری نیز حدود و مشخصات فنی داده نشده است , از TV استفاده می شود .**

$$TV = \sqrt{R\ \&\ R^2 + PV^2}$$

جدول حدود R & R%

مقدار R & R% باحدود درج شده در جدول مقایسه و صلاحیت سیستم های اندازه گیری بررسی می شود . این حدود مستقل از مقادیر RF هستند .

نکته : در صورتی که R&R % برای ابزار جدید محاسبه شود, حداثر سطح پذیرش آن باید برابر با ۱۰٪ باشد .

سیستم اندازه گیری مورد قبول	0% ≤ R & R% ≤ (20%)
پذیرش سیستم اندازه گیری مشروط است . پذیرش یا عدم پذیرش سیستم اندازه گیری در این حالت به اهمیت فعالیت اندازه گیری , هزینه ابزار , هزینه تعمیرات , نظر مشتری و ... مربوط است	(20%) < R & R% ≤ 30%
سیستم اندازه گیری مورد قبول نیست . باید درصد خطاهای تکرار پذیری و تکثیر پذیری بررسی شود و اقدام اصلاحی لازم انجام گیرد .	30 % < R & R%

نوسانهای قطعه به قطعه (PV) Part Variation

نوسانهای قطعه به قطعه , برابر با پراکندگی قطعات استفاده شده در آزمایش است . همانطور که قبلا گفته شده , قطعات باید از تمام دامنه فرایند انتخاب شده باشند و یا محدوده تلرانس را پوشش دهند . در این صورت , انحراف معیار قطعات انتخاب شده تقریبا معادل انحراف فرایند تولید خواهد بود .

محاسبه :

$$\delta p = \frac{Rp}{d_2}$$

برای محاسبه Rp کافی است که به ازای هر قطعه , متوسط اندازه های به دست آمده محاسبه شود و اختلاف کمترین و بیشترین متوسط اندازه گیری ها به دست می آید و سپس نوسان های قطعه به طریق زیر محاسبه می شود :

$$PV = 5.15 * \delta p = 5.15 * \frac{Rp}{d_2}$$

$$PV\% = \frac{PV}{TV} * 100\%$$

مثال ۱

در یک فرایند تولیدی برای تعیین دقت سیستم اندازه گیری که توسط دو بازرس کنترل مـی شـود , پنج نمونه به طور تصادفی انتخاب و هر یک از نمونه هـا , سـه مرتبـه توسـط هـر یـک از اپراتورها اندازه گیری شود . ارقام به دست آمده در جدول ارائه شده است . لازم است باتوجه به در خواست‌مشتری میزان R&R% سیستم اندازه گیری با RF = TV محاسبه شود .

جدول مقادیر اندازه گیری شده توسط دو اپراتور (مثال)

شماره قطعات	اپراتور اول					اپراتور دوم				
دفعات اندازه گیری	۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۵
۱	۲۱۷	۲۲۰	۲۱۷	۲۱۴	۲۱۶	۲۱۶	۲۱۶	۲۱۶	۲۱۲	۲۲۰
۲	۲۱۶	۲۱۶	۲۱۶	۲۱۲	۲۱۹	۲۱۹	۲۱۶	۲۱۵	۲۱۶	۲۲۰
۳	۲۱۶	۲۱۸	۲۱۶	۲۱۲	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۱۶	۲۱۲	۲۲۰
میانگین	۳/۲۱۶	۰/۲۱۸	۳/۲۱۶	۷/۲۱۲	۳/۲۱۸	۳/۲۱۸	۳/۲۱۷	۷/۲۱۵	۳/۲۱۳	۲۲۰
دامنه (R)	۱	۴	۱	۲	۴	۴	۴	۱	۴	۰

۹ / ۲۱۶ = میانگین اپراتور دوم

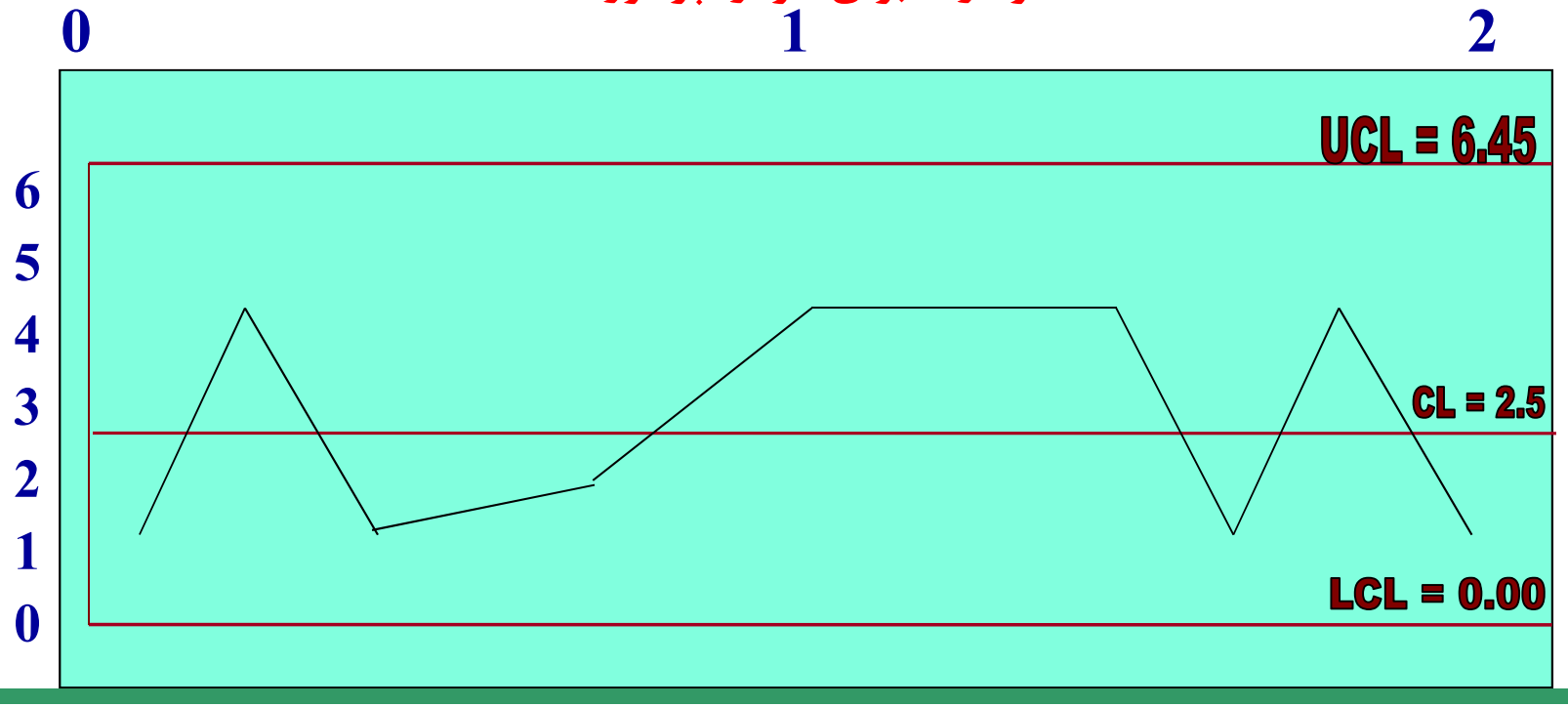
۳ / ۲۱۶ = میانگین اپراتور اول

نکته

قبل از محاسبات باید اطمینان حاصل کنیم که نمودار تحت کنترل است . تحت کنترل بودن نمودار R به این معنا است که تفاوت قابل ملاحظه ای بین تکرار پذیری اپراتورهای مختلف وجود ندارد . در این مثال, هیچ کدام از مقادیر دامنه بیشتر از حدود UCLR نیست و لذا می توان به محاسبات ادامه داد . (با $n = 3$ مقدار $D_4 = 2.58$ است) .

$$UCL_R = R * D_4 = 2.5 * 2.58 = 6.45$$

نمودار R برای هردو اپراتور



محاسبات

$$EV = 5.15 \frac{R}{d_2} = \frac{5.15 * 2.5}{1.72} = 7.5$$

$$AV = \sqrt{\left[5.15 \frac{\bar{X}_{DIF}}{d_2}\right]^2 - \frac{EV^2}{n.r}} = 0.725$$

$$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2} = \sqrt{7.5^2 + 0.725^2} = 7.53$$

نکته

برای محاسبه R&R% , AV% و EV% باید بر اساس درخواست مشتری از TV استفاده شود . بنابراین , برای محاسبه TV از رابطه $TV = \sqrt{R\&R^2 + PV^2}$ استفاده کرد و لذا برای محاسبه PV به این صورت عمل می کنیم :

هر قطعه , ۶ بار (۶ = ۲ * ۳ = تعداد اپراتورها * دفعات اندازه گیری) اندازه گیری شده است که برای ۵ قطعه , متوسط اندازه گیری ها به صورت زیر است :

شماره قطعه	۱	۲	۳	۴	۵
میانگین اندازه گیری	۳/۲۱۷	۷/۲۱۷	۲۱۶	۲۱۳	۱۷/۲۱۹

در نتیجه : مقدار d_2 با استفاده از جدول ضمیمه ۲ با $m = 5$ و $g = 1$ برابر با ۲ / ۴۸ است و بنابراین $K_3 = 2.08$

محاسبات جدید

$$PV = K3 * R = 6.17 * 2.08 = 12.83$$

$$TV = \sqrt{R\&R^{۲} + PV^{۲}} = \sqrt{7.53^{۲} + 12.831^{۲}} = 14.87$$

$$R\&R\% = \frac{R\&R}{TV} * 100 = \frac{۷,۵۳}{۱۴,۸۷} * 100 = 50.6\%$$

$$AV\% = \frac{AV}{TV} * 100 = \frac{۰,۷۲۵}{۱۴,۸۷} * 100 = 4.87\%$$

$$EV\% = \frac{EV}{TV} * 100 = \frac{۷,۵}{۱۴,۸۷} * 100 = 50.43\%$$

$$PV\% = \frac{PV}{TV} * 100 = \frac{۱۲,۸۳}{۱۴,۸۷} * 100 = 86.28\%$$

با توجه به این نتایج سیستم اندازه گیری برای پارامتر مورد نظر مناسب نیست. با بررسی درصدهای خطای تکرارپذیری و تکثیرپذیری مشخص می شود که علت اصلی عدم تکرارپذیری مناسب، وسیله اندازه گیری است.

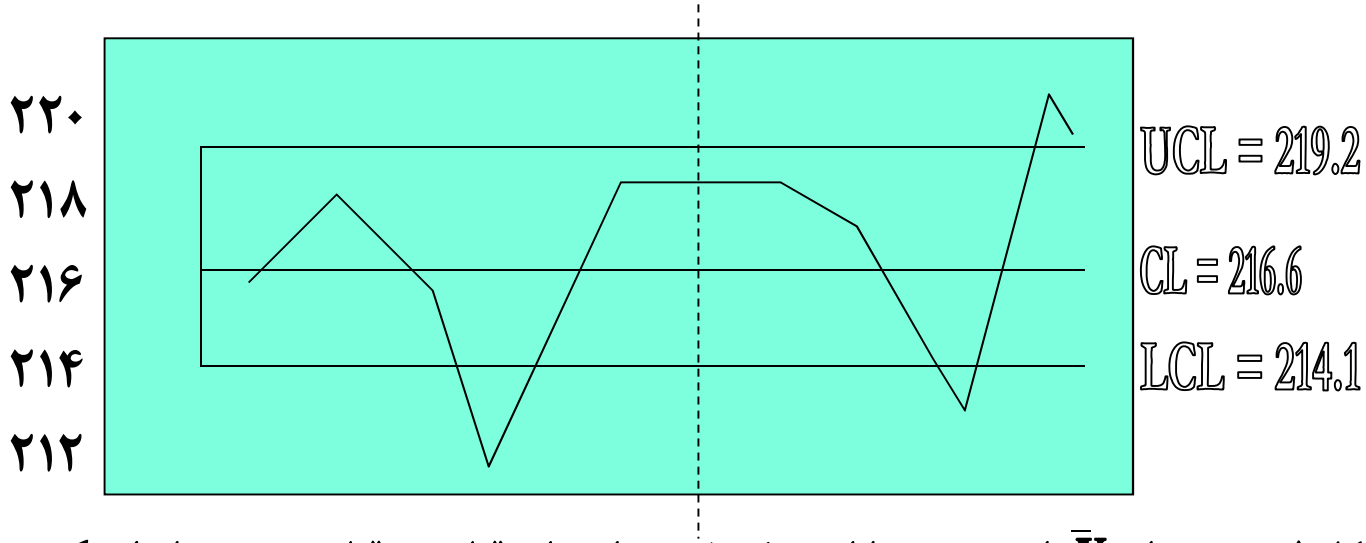
شکل نمودار $\bar{X}$

برای تجزیه و تحلیل بیشتر باید علاوه بر نمودار R ، نمودار $\bar{X}$ نیز برای داده ها رسم شود.
برای تعیین حدود کنترل این نمودار از روابط زیر استفاده می شود:

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$$

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$$

در این روابط A2 به ازاء ۳ بار اندازه گیری تعیین می شود و $\bar{\bar{X}}$ همان Xp است.



شکل فوق : نمودار $\bar{X}$ برای تعیین توانایی و کشف نوسان های قطعه به قطعه سیستم اندازه گیری

تجزیه وتحلیل نمودار $\overline{X}$

در نمودار $\overline{X}$ اگر تعداد زیادی از نقاط خارج از حدود UCL و LCL قرار گیرند بدین معنا است که سیستم اندازه گیری , توان تشخیص نوسان های طبیعی قطعات را دارد و در غیر این صورت , خطای تکرار پذیری آنقدر زیاد است که حتی نوسان های قطعات را نیز تشخیص نمی دهد . همچنین با مشاهده شیفت نقاط در نمودار $\overline{X}$ می توان به تفاوت تمایل بین اپراتور ها پی برد .

نکته:

اگر در یک سیستم اندازه گیری , حد اقل ۵۰ درصد نقاط خارج از حدود قرار بگیرند .آن سیستم مورد قبول است وگرنه باید سیستم اندازه گیری اصلاح گردد . در این مثال چون فقط ۳۰ درصد از نقاط خارج از حدود هستند و سیستم اندازه گیری مردود است و باید اقدام اصلاحی انجام گیرد .

مثال ۲

بررسی یک سیستم اندازه گیری با استفاده از یک اپراتور و ۳ ابزار اندازه گیری , برنامه ریزی شده و محدوده تلرانس مورد نظر ۲ میلیمتر است . با توجه به جدول ۲ _ ۱ با یک اپراتور و ۳ ابزار اندازه گیری , تعداد ۱۰ نمونه انتخاب و روی هر قطعه ۲ بار اندازه گیری انجام شود.میانگین دامنه و میانگین مربوط به هر اندازه گیری در جدول زیر امده است .

ابزار اندازه گیری	$\bar{R}$	$\bar{\bar{X}}$
A	۰ / ۰۵۳	۰ / ۰۳۸
B	۰ / ۰۵۲	۰ / ۰۳۵
C	۰ / ۰۵۴	۰ / ۰۳۶

پاسخ مثال ۲

ابتدا حد کنترل بالای نمودار R محاسبه می شود :

$$UCL_R = D_4 \bar{R} = 3.268 * 0.053 = 0.1732$$

پس از بررسی معلوم شد که تمام دامنه ها در محدوده UCL_R قرار دارند .

تکرار پذیری

$$EV = 5.15 \frac{\bar{R}}{d_2} = K_1 R = 4.44 * 0.053$$

$$EV = 0.24$$

(با استفاده از جدول ضمیمه $m = 2$ و $g = 10$, و مقدار d_2 برابر 1.16 خواهد بود .)

در صد پراکندگی به وجود آمده بر اثر تکرار پذیری عبارت است از :

$$EV\% = \frac{EV}{Tolerance} * 100 = \frac{۰,۲۴}{۲} * 100 = 11.8\%$$

پاسخ مثال۲ (ادامه)

تکثیر پذیری

در اینجا باید تکثیر پذیری بین سه ابزار اندازه گیری بررسی شود . برای انجام این کار , باید ابتدا بزرگترین و کوچک ترین میانگین سه ابزار را به دست آورد و تفاوت آنها را محاسبه کرد .

$$X\ Diff = X\ MAX - X\ MIN = 0.38 - 0.35 = 0.03$$

$$GV = \sqrt{\left[5.15 \frac{X Diff}{d_2}\right]^2 - \frac{EV^2}{n.r}} \qquad \text{GV (Gage Variation)}$$

$$GV = \sqrt{\left[\frac{۵,۱۵}{۱,۹۱} * 0.03\right]^2 - \frac{۰,۲۴^2}{۲*۱۰}} = 0.06 \qquad GV\% = \frac{۰,۰۶}{۲} * 100 = 3.03\%$$

پاسخ مثال ۲ (ادامه)

R & R %

$$R\&R = \sqrt{AV^{۲} + EV^{۲}} = \sqrt{0.24^{۲} + 0.06^{۲}} = 0.25$$

$$R\&R\% = \frac{R\&R}{Tolerance} * 100 = \frac{۰,۲۵}{۲} * 100 = 12.4\ \%$$

از آنجا که R&R% برابر با ۴ / ۱۲٪ است و ابزار های مورد نظر نیز جدید نیستند , می توان این سیستم اندازه گیری را پذیرفت .

اگر چه در اکثر مراجع , تکثیر پذیری را به عنوان خطای اپراتور معرفی می کنند , اما همواره باید به خاطر داشت که تغییر در هر یک از عوامل موثر بر سیستم اندازه گیری مانند روش , ابزار, محیط و ... نیز باعث به وجود آمدن تکثیر پذیری خواهد شد .

مثال ۳

ضخامت مشخصه ای از یک قطعه تولیدی در مرحله بازرسی نهایی توسط دو بازرس اندازه گیری می شود . برای اندازه گیری این مشخصه , دو کولیس در قسمت کنترل کیفی وجود دارد که هر یک از بازرسان ممکن است برای اندازه گیری , یکی از آنها را به صورت تصادفی انتخاب کنند . حدود مشخصات فنی برای مشخصه مورد نظر 43.35 ± 0.15 میلیمتر است (در واقع ۳ / ۰ میلیمتر تلرانس وجود دارد) . برای انجام مطالعات با توجه به جدول ۲-۱ تعداد ۱۰ نمونه از کل محدوده تولید انتخاب می شود و هر بازرس , با استفاده از هریک از کولیس ها , یک یک نمونه ها را دو بار اندازه گیری می کند . میانگین دامنه های اندازه گیری های هر اپراتور با هر یک از ابزارهای اندازه گیری در جدول زیر ذکر شده است .

جدول میانگین و دامنه مقادیر اندازه گیری شده توسط دو اپراتور و دو ابزار

بازرس	ابزار	$\overline{R}$
۱	A	۰ / ۰۰۵
۱	B	۰ / ۰۰۴
۲	A	۰ / ۰۰۵
۲	B	۰ / ۰۰۶

پاسخ مثال ۳

حد بالای نمودار دامنه به صورت زیر است :

$$UCL_R = (3.268) * (0.005) = 0.016$$

با توجه به مقادیر R در جدول صفحه قبل تمام دامنه ها کوچکتر از UCL_R هستند .

محاسبات تکرار پذیری

$$EV = \frac{5.15 * R}{d_2} = \frac{5.15}{1.128} * 0.005 = 0.023$$

$$EV\% = \frac{EV}{Tolerance} * 100 = \frac{۰,۰۲۳}{۰,۳} * 100 = 7.61\%$$

پاسخ مثال ۳ (ادامه)

محاسبات تکثیر پذیری

ازآنجا که در این مثال , هم اپراتور ها و هم ابزار اندازه گیری تغییر کرده است , تکثیرپذیری هم برای اپراتورها محاسبه می شود و هم برای ابزار اندازه گیری .

تکثیر پذیری اپراتورها

میانگین اعداد به دست امده از اپراتور ۱ برابر با ۳۲۵ / ۰ و برای اپراتور ۲ برابر ۳۳ / ۰ است

در نتیجه , دامنه پراکندگی مربوط به اپراتورها باین صورت محاسبه می شود :

$$\overline{X}_{diff} = 0.330 - 0.325 = 0.005$$

بنابراین تکثیر پذیری اپراتورها (AV) عبارت است از :

$$\text{Reproducibility (AV)} = \frac{5.15 * \overline{X}_{diff}}{d_2} = \frac{(5.15)(0.005)}{1.41} = 0.183$$

$$AV\ \% = \frac{AV}{Tolerance} * 100 = \frac{0.0183}{0.3} * 100 = 6.087\%$$

پاسخ مثال ۳ (ادامه)

تکثیر پذیری ابزار اندازه گیری

میانگین اندازه گیری ها با ابزار اندازه گیری A برابر ۳۳ / ۰ و میانگین اندازه گیری ها با ابزار اندازه گیری B برابر با ۳۲ / ۰ است بنابراین دامنه مربوط به ابزار اندازه گیری به این صورت محاسبه می شود :

$$RG = 0.33 - 0.32 = 0.01$$

تکثیرپذیری ابزار اندازه گیری (GV) عبارت است از :

$$\text{Reproducibility (GV)} = \frac{5.15 * R_G}{d_2} = \frac{(5.15)(0.01)}{1.41} = 0.0365$$

$$GV\% = \frac{۰,۰۳۶۵}{۰,۳} * 100 = 12.17\%$$

در نتیجه , تکثیر پذیری با استفاده از رابطه زیر حساب می شود :

$$\text{تکثیر پذیری کل} = \sqrt{AV^2 + GV^2} = \sqrt{(0.0183)^2 + (0.0365)^2} = 0.0408$$

پاسخ مثال ۳ (ادامه)

محاسبات GR&R

برای به دست آوردن GR&R از رابطه زیر استفاده می شود :

$$R\&R = \sqrt{(\text{تکرار پذیری})^2 + (\text{تکثیر پذیری کل})^2} = \sqrt{(0.0408)^2 + (0.023)^2} = 0.0468$$

$$R\&R\% = \sqrt{\frac{R\&R^2}{Tolerance} * 100^2} = \frac{۰,۰۴۶۸}{۰,۳} * 100 = 15.6\%$$

بدین ترتیب , توانایی سیستم اندازه گیری مورد قبول است .در میان اجزای تشکیل دهنده R&R% , مقدار تکثیر پذیری ابزار اندازه گیری با ۱۷ / ۱۲٪ , بیشترین درصد پراکندگی را به خود اختصاص داده است ,در حالی که هر کدام از مقادیر تکرار پذیری و تکثیر پذیری اپراتورها کمتر از ۱۰٪ است .

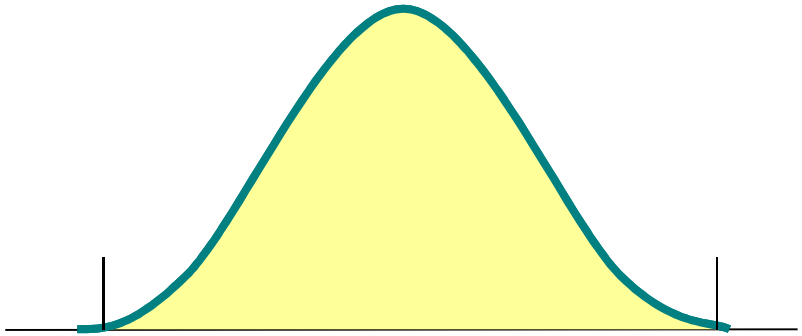
قدرت تفکیک پذیری سیستم اندازه گیری

این شاخص به حداقل فواصل قابل تشخیص توسط سیستم اندازه گیری اشاره دارد . در صورتی که سیستم اندازه گیری دارای توانایی تفکیک مناسب نباشد (شکل های صفحات بعد) ممکن است توان تشخیص نوسان های موجود در فرایند را در قطعاتی که مورد اندازه گیری قرارمی گیرند نیز نداشته باشد . دراین وضعیت باید ازسیستم اندازه گیری تواناتری استفاده شود . معمولا با بررسی نمودار $\overline{X}$ به هنگام GR&R , می توان نسبت به مناسب بودن قدرت تفکیک ابزار اظهار نظر کـرد . در واقع , خارج بودن تعداد زیادی از نقاط از حدود کنترل $\overline{X}$ به این معناست کـه ابـزار , دارای قدرت تفکیک مناسب است .

شکل:

در شکل زیر ارقام در یک طبقه قرار دارند , سیستم اندازه گیری با قدرت تفکیک ضعیف .

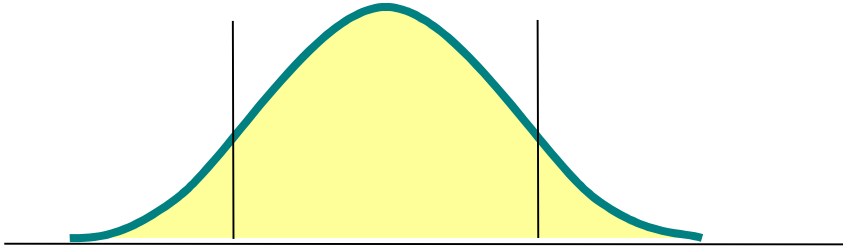
منحنی زنگوله ای نشان دهنده نوسان های تولید و خط عمودی ,نشان دهنده طبقه بنـدی هایی است که سیستم اندازه گیری قادر است بر روی محدوده تولید ایجاد کند .



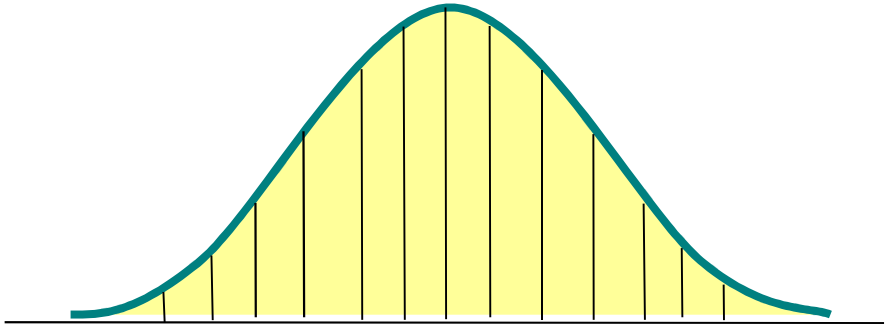
قدرت تفکیک پذیری سیستم اندازه گیری

در شکل زیر ارقام را می توان در ۲ یا ۴ طبقه تقسیم کرد , سیستم اندازه گیری با قدرت تفکیک متوسط .

منحنی زنگوله ای نشان دهنده نوسان های تولید و خط عمودی ,نشان دهنده طبقه بندی هایی است که سیستم اندازه گیری قادر است بر روی محدوده تولید ایجاد کند .



در شکل زیر ارقام را می توان در بیشتر از ۵ طبقه تقسیم کرد , سیستم اندازه گیری با قدرت تفکیک مناسب .



رابطه قدرت تفکیک پذیری با R&R

$$\text{قدرت تفکیک پذیری} = 1{,}41 * \frac{PV}{R\ \&\ R}$$

مقدار به دست آمده از رابطه فوق باید به نزدیک ترین عدد صحیح گرد شود

نکته :

سیستم اندازه گیری مناسب نیست قدرت تفکیک پذیری ۲ >

ارقام را می توان قدرت تفکیک پذیری ۲ =

به دو گروه ((زیاد)) و ((کم)) تقسیم کرد و سیستم اندازه گیری فقط برای بازرسی مناسب خواهد بود .

برای اینکه یک سیستم اندازه گیری برای تعیین مشخصات فرایند مناسب محسوب شود باید :

قدرت تفکیک پذیری ۵ >

ارتباط خطی (Linearity)

با استفاده از فاکتور خطی بودن مشخص می شود که آیا ابزار اندازه گیری در تمام محدوده قابل اندازه گیری اش یکسان کار می کند یا خیر و به عبارت دیگر , آیا اندازه قطعه بر تمایل سیستم اندازه گیری تاثیر می گذارد یا نه ؟

زمانی که از وسیله ای برای اندازه گیری چند مشخصه با اندازه های متفاوت استفاده می شود باید به هنگام بررسی ((صحت سیستم اندازه گیری)) , علاوه بر بررسی میزان تمایل ارتباط خطی آن نیز بررسی شود . برای تعیین ارتباط خطی لازم است مقادیر تمایل را در کل محدوده کاربرد ابزار اندازه گیری محاسبه کنیم . در صورتی که مقدار تمایل برای محدوده کاربرد ابزار ثابت باشد و یا با بزرگ شدن اعداد , تمایل آنها , تغییر کوچکی به صورت صعودی یا نزولی پیدا کند , ابزار مورد قبول خواهد بود . اگر تفاوت در تمایل اندازه های به دست آمده در طول محدوده کاربرد اندازه گیری یک خط راست ایجاد کند رابطه خطی برای آن ابزار وجود دارد (شکل صفحه بعد) و اگر تفاوت در تمایل اندازه های به دست آمده به صورت منحنی باشد , آن ابزار غیر قابل استفاده است , زیرا میزان تمایل آن در فواصل مختلف اندازه گیری قابل پیش بینی نیست .

روش محاسبه ارتباط خطی

- ۵ قطعه را که اندازه آنها کل محدوده مورد استفاده ابزار اندازه گیری را می پوشاند ، به صورت تصادفی انتخاب کنید.
- اندازه واقعی هر یک از این ۵ قطعه را از طریق چند بار اندازه گیری با یک ابزار دقیق تر به دست آورید.
- هر یک از این قطعات ۱۲ بار با ابزار مورد نظر و توسط فردی که معمولا قطعات را در فرایند اندازه گیری می کند، اندازه گرفته و ثبت شود.
- مقدار تمایل هر قطعه را به دست آورید. مقدار تمایل را با Y و اندازه واقعی قطعه را با X نمایش دهید.
- میانگین تمایل ها و اندازه واقعی قطعات را به صورت نمودار ارتباط خطی رسم کنید .
- خطی را که دارای بهترین موقعیت در میان نقاط ترسیم شده است , با استفاده از روش حداقل مربعات خطا برازش کنید .

معادله خط برازش شده : $Y = aX + b$

Y = تمایل X = اندازه واقعی قطعه مرجع a = شیب خط

روش محاسبه ارتباط خطی(ادامه)

- که در آن a و bبر اساس روابط زیر به دست می آیند:

$$a = \frac{\sum xy - \left[\frac{\sum x - \sum y}{n}\right]}{\sum x^2 - \frac{\left[\sum x\right]^2}{n}}$$

$$b = \sum \frac{y}{n} - a\left[\sum \frac{x}{n}\right]$$

n= تعداد قطعات مورد استفاده که در اینجا ۵ است.

- مقدار زیبندگی (R^2) و درصد ارتباط خطی را از فرمول زیر محاسبه کنید:

$$\text{زیبندگی } R^2 = \frac{\left[\sum xy - \frac{\sum x - \sum y}{n}\right]^2}{\left[\sum x^2 - \frac{\left[\sum x\right]^2}{n}\right]\left[\sum y^2 - \frac{\left[\sum y\right]^2}{n}\right]}$$

$$\text{درصد خطی بودن} = |a| * 100$$

جدول نشان دهنده میزان همبستگی حاصل از برازش خطی با توجه به مقادیر مختلف R^2

میزان همبستگی	R^2
بسیار بالا	0.9 - 1
بالا	0.7 - 0.89
متوسط	0.4 - 0.69
پایین	0.2 - 0.39
بسیار پایین	0 - 0.19

با توجه به مقادیر بالا می توان گفت که مقادیر بالاتر از ۰/۷ برای R^2 به معنای ارتباط خطی مناسب است .

نکته: هرچه مقدار R به عدد یک نزدیک تر باشد , بین نقاط رسم شده در نمودار ارتباط خطی بهتری برقرار است . همچنین درصد خطی بودن به صفر نزدیک تر باشد , شیب خط کمتر است , یعنی در تمایل اندازه های به دست آمده در محدوده کاربرد ابزار اندازه گیری , تفاوت کمی دیده می شود .

مثال زیبندگی و درصد خطی

یک بازرس از یک کولیس در چند ایستگاه کنترل کیفی استفاده می کند . برای بررسی میزان خطی بودن تمایل این کولیس , ۵ قطعه در محدوده کاربرد آن انتخاب و هر یک از قطعات ۱۲ بار توسط بازرس اندازه گیری شد . نتایج اندازه گیری ها در جدول صفحه بعد ذکر شده است .

مطابق جدول صفحه بعد و شکل درصد خطی بودن مقادیر زیر به دست می اید :

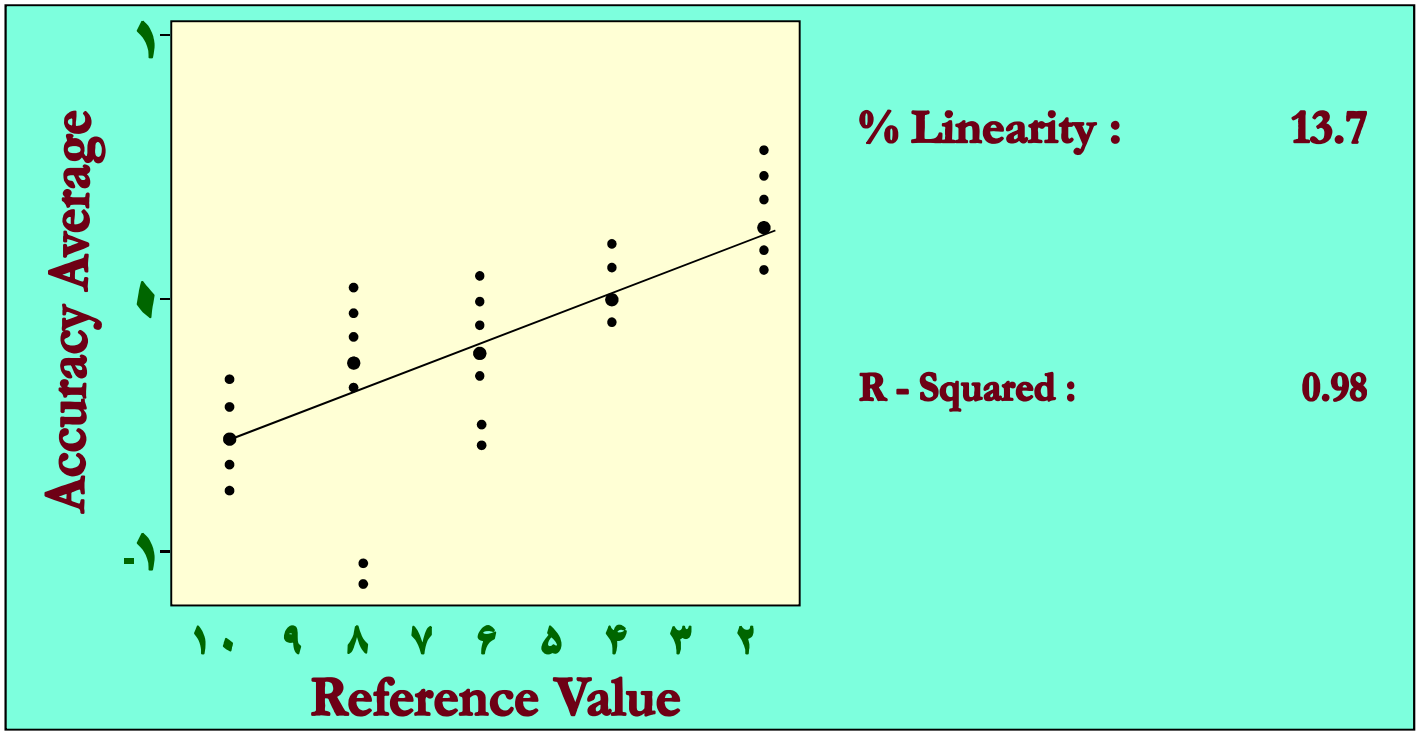
R^2 = زیبندگی = 0 . 98

درصد خطی بودن = | a | * 100% = | - 0.1317| * 100% = 13.2 %

جدول مثال خطی بودن

شماره قطعه		۱	۲	۳	۴	۵
اندازه واقعی قطعه		۲ /۰۰	۴ / ۰۰	۶ / ۰۰	۸ / ۰۰	۱۰ / ۰۰
دفعات اندازه گیری	۱	۲ / ۷۰	۵ / ۱۰	۵ / ۸۰	۷ / ۶۰	۹ / ۱۰
	۲	۲ / ۵۰	۳ / ۹۰	۵ / ۷۰	۷ / ۷۰	۹ / ۳۰
	۳	۲ / ۴۰	۴ / ۲۰	۵ / ۹۰	۷ / ۸۰	۹ / ۵۰
	۴	۲ / ۵۰	۵ / ۰۰	۵ / ۹۰	۷ / ۷۰	۹ / ۳۰
	۵	۲ / ۷۰	۳ / ۸۰	۶ / ۰۰	۷ / ۸۰	۹ / ۴۰
	۶	۲ / ۳۰	۳ / ۹۰	۶ / ۱۰	۷ / ۸۰	۹ / ۵۰
	۷	۲ / ۵۰	۳ / ۹۰	۶ / ۰۰	۷ / ۸۰	۹ / ۵۰
	۸	۲ / ۵۰	۳ / ۹۰	۶ / ۱۰	۷ / ۷۰	۹ / ۵۰
	۹	۲ / ۴۰	۳ / ۹۰	۶ / ۴۰	۷ / ۸۰	۹ / ۶۰
	۱۰	۲ / ۴۰	۴ / ۰۰	۶ / ۳۰	۷ / ۵۰	۹ / ۲۰
	۱۱	۲ / ۶۰	۴ / ۱۰	۶ / ۰۰	۷ / ۶۰	۹ / ۳۰
	۱۲	۲ / ۴۰	۳ / ۸۰	۶ / ۱۰	۷ / ۷۰	۹/۴۰
میانگین		۲ / ۴۹	۴ / ۱۳	۶ / ۰۳	۷ / ۷۱	۹ / ۳۸
تمایل		- ۰ / ۴۹	- ۰ / ۱۳	- ۰ / ۰۳	+ ۰ / ۲۹	+ ۰ / ۶۲

شکل مثال خطی بودن



فصل سوم – اندازه گیری قابلیت بازرسی داده های وصفی

در مطالعات تجزیه و تحلیل سیستم اندازه گیری برای داده های وصفی , تاکید بر قابلیت کارایی اپراتورها در شناسایی قطعات منطبق و نا منطبق و نیز میزان تمایل آنها به رد یک قطعه سالم یا قبول یک قطعه ناسالم است .

شاخص های مورد استفاده در مطالعات مربوط به داده های وصفی

هنگام انجام مطالعات قابلیت بازرسی برای داده های وصفی از شاخص های زیر استفاده می شود:

۱. کارایی (Effectiveness)
۲. احتمال عدم شناسایی قطعه نا منطبق (Probability of Miss)
۳. احتمال هشدار اشتباه (Probability of False Alarm)
۴. تمایل (Bias)

کارایی (Effectiveness)

کارایی عبارت است از توانایی اپراتور در شناسایی صحیح قطعات منطبق و نا منطبق .
این شاخص با عددی بین صفر و یک بیان می شود , به گونه ای که در آن , عدد یک بهترین حالت را نشان می دهد . کارایی به صورت زیر محاسبه می شود :

$$E = \frac{\text{تعداد دفعاتی که وضعیت قطعه به درستی تشخیص داده شده است}}{\text{تعداد فرصت های شناسایی صحیح}}$$

تعداد فرصت های شناسایی صحیح

((تعداد فرصت های شناسایی صحیح)) تابعی است از تعداد قطعاتی که در آزمایش استفاده شده و تعداد دفعاتی که هر قطعه بازرسی شده است . مثلا اگر ۱۰ قطعه انتخاب شده و هر یک ۳ بار در طول آزمایش بازرسی شده باشد ۳۰ (۱۰ * ۳) فرصت برای شناسایی صحیح وجود دارد .

احتمال عدم شناسایی قطعه نا منطبق
(Probability of Miss)

احتمال عدم شناسایی قطعه نا منطبق , عبارت است از امکان پذیرش یک قطعه نامنطبق .

این خطا بسیار مهم است , چرا که باعث می شود قطعه نامنطبق پذیرفته شده , به دست مشتری (داخلی یا خارجی) برسد . از نظر ریاضی :

$$P(\text{miss}) = \frac{\text{تعداد دفعاتی که قطعه نامنطبق شناسایی نشده است}}{\text{تعداد فرصت های شناسایی قطعات نامنطبق}}$$

تعداد فرصت های شناسایی قطعات نامنطبق:

((تعداد فرصت های شناسایی قطعات نامنطبق)) , تابعی است از تعداد قطعات نامنطبق استفاده شده در آزمایش و تعداد دفعاتی که این قطعات تحت بازرسی قرار گرفته اند . مثلا اگر در آزمایش از ۵ قطعه نامنطبق استفاده شده و هر یک ۳ مرتبه بازرسی شده باشد ۱۵ (۳ * ۵) فرصت برای شناسایی قطعات نامنطبق وجود دارد .

احتمال هشدار اشتباه
(Probability of False Alarm)

احتمال هشدار اشتباه عبارت است از شانس رد یک قطعه سالم

این خطا به اندازه عدم شناسایی قطعه نامنطبق اهمیت ندارد , اما بهر حال , عدم پـذیرش هر قطعه سالم , باعث دوباره کاری بر روی قطعه و بازرسی مجددآن خواهـد شـد , در صورتی که هیچ ضرورتی برای این امر وجود ندارد . اگر P(FA) بسیار بزرگ باشـد , هزینه های تلف شده به خاطر دوباره کاری و بازرسی مجدد , به صـورت غیـر واقعـی بزرگ خواهد شد .

از نظر ریاضی :

$$P(FA) = \frac{\text{تعداد دفعاتی که قطعه سالم به اشتباه رد شده باشد}}{\text{تعداد فرصت های شناسایی قطعه سالم}}$$

((تعداد فرصت های شناسایی قطعه سالم)) تابعی است از تعداد قطعات منطبق استفاده شده در آزمایش و تعداد دفعاتی که این قطعات بازرسی شده اند . مـثلا اگـر ۶ قطعـه منطبـق در آزمایش استفاده شده و هر یک ۳ بار بازرسی شده باشد ۱۸ (۳ * ۶) فرصت برای شناسـایی قطعه سالم وجود خواهد داشت .

تمایل

((تمایل)) شاخصی است که میزان تمایل افراد را به طبقه بندی قطعات تحت عنوان سالم یا معیوب نمایش می دهد .

این شاخص تابعی است از P(miss) و P(FA) و همواره مقادیری بزرگتر یا مساوی صفر دارد . تمایل با استفاده از فرمول زیر محاسبه می شود و برای مقادیر مختلف آن تفسیرهایی وجود دارد که در صفحه بعد آمده است .

$$B = \frac{P(FA)}{P(miss)}$$

$B = 1$ هیچ تمایلی وجود ندارد .

$B > 1$ تمایل به رد کردن قطعه وجود دارد .

$B > 1$ تمایل به پذیرش قطعه وجود دارد .

به عنوان مثال , تصور کنید که مطالعات قابلیت بازرسی روی داده های وصفی فرایندی انجام شده و بر اساس آنها , $P(FA) = 0.04$ و $P(miss) = 0.17$ به دست آمده است .

با توجه به این مقادیر $B = 0.04 / 0.17$ به دست می آید . این مقدار نشان می دهد که اپراتور مورد مطالعه , تمایل شدیدی به پذیرش قطعات دارد .

چگونگی جمع آوری داده های وصفی

جمع آوری و انتخاب نمونه ها برای تحلیل داده های وصفی با استفاده از داده هـای وصـفی کاملا با انتخاب نمونه های مربوط به داده هـای متغیـر تفـاوت دارد . در هنگـام ارزیـابی داده های وصفی , قطعات نباید به تصادف انتخاب شوند , بلکه باید آگاهانه انتخاب شوند.

حداقل تکرار	حداقل اندازه نمونه	تعداد اپراتور ها
۵	۲۴	۱
۴	۱۸	۲
۳	۱۲	۳ یا بیشتر

گام اول: نمونه باید آگاهانه توسط سرپرست یا مهندس فرایند انتخاب شده و بـا دسـتگاه هـای دقیـق تحـت عنـوان ((منطبق)) یا ((نامنطبق)) دسـته بنـدی شـوند. تعـداد قطعات مورد نیاز برای انجـام MSA بـا اسـتفاده از داده های وصفی در جدول مقابل آمده است. (جدول۳ – ۱)

گام دوم: از میان قطعات انتخاب شده باید یک سوم کاملا منطبق , یک سوم کاملا نامنطبق و یک سوم حاشیه ای با شند . قطعات حاشیه ای باید به دو دسته تقسیم شوند , به گونه ای که نیمی از آنها ((منطبق)) و نیم دیگر ((نامنطبق)) باشند . به این صورت , ۵۰ درصد از کل قطعات منطبق و ۵۰ درصد دیگر نامنطبق خواهند بود .

گام سوم : پس از اینکه قطعات مورد نظر انتخاب شدند شماره گذاری (علامت گذاری) می شوند و به تصادف توسط هر یک از بازرس ها تحت بازرسی قرار می گیرند و نتایج بازرسی در برگه های ثبت نتـایج نوشـته می شود .آزمایش توسط هر بازرس تکرار می شود و این نتایج نیز در برگه ای جداگانه ثبت می شـود تـا بازرسان تحت تاثیر داده های قبلی قرار نگیرند . بازرسی تا جایی تکرار می شود که همه تکرارهای مـورد نیاز که در جدول فوق به آنها اشاره شد انجام شود .

مثال

در یک فرایند تولیدی, قطعات چاپگر, آبکاری می شوند. لکه ها و رسوبات روی قطعه بعد از آبکاری با بازرسی چشمی شناسایی می شود. در قسمت های مختلف این فرایند, سه نفر مسئول بازرسی هستند : اپراتور آبکاری, بازرس وسرپرست قسمت بازرسی. ابتدا ۱۷ قطعه از خط تولید انتخاب و پس از بررسی قطعات توسط مهندس کیفیت, مهندس تولید و سرپرست بازرسی, از بین آنها ۱۴ قطعه برای انجام بررسی برگزیده می شود (۸ قطعه منطبق و ۶ قطعه نامنطبق). هر قطعه ۳ بار توسط هر اپراتور تحت بازرسی قرار می گیرد. داده های بدست آمده در جدول مقابل (جدول ۳ ـ ۲) نشان داده شده اند. در این جدول حرف C به معنای ((سالم)) و حرف N به معنای ((نا سالم)) می باشد.

شماره نمونه	وضعیت واقعی قطعه	اپراتور ابکاری			بازرس فرایند			سرپرست بازرسی		
		۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳
۱	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
۲	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
۳	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
۴	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
۵	N	N	N	N	N	C	N	N	N	N
۶	C	N	N	N	C	C	C	C	C	C
۷	C	N	C	N	C	C	C	C	N	C
۸	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
۹	N	N	N	N	C	C	C	C	C	C
۱۰	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
۱۱	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
۱۲	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
۱۳	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
۱۴	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N

نتایج

بازرس	شناسایی صحیح قطعات منطبق (GC)	شناسایی صحیح قطعات نامنطبق (BC)	شناسایی صحیح قطعات منطبق و نامنطبق (TC)	تعداد اشتباه در شناسایی منطبق (FA)	تعداد اشتباه در شناسایی نامنطبق (Miss)	تعداد کل فرصت شناسایی (GT)
اپراتور آبکاری	۱۹	۱۸	۳۷	۵	۰	۴۲
بازرس فرایند	۲۴	۱۴	۳۸	۰	۷	۴۲
سرپرست بازرس	۲۳	۱۵	۳۸	۱	۵	۴۲

محاسبات

بازرس	E TC/GT	نتیجه	P(FA) FA/FA+GC	نتیجه	P(Miss) Miss / BC + Miss	نتیجه	Bias P(Miss)/P(FA)	نتیجه
اپراتور آبکاری	$\frac{37}{42} = 0.88$	–	$\frac{5}{24} = 0.21$	×	$\frac{0}{18} = 0$	✓	–	
بازرس فرایند	$\frac{38}{42} = 0.9$	✓	$\frac{0}{24} = 0$	✓	$\frac{4}{18} = 0.22$	×	–	
سرپرست بازرسی	$\frac{38}{42} = 0.9$	✓	$\frac{1}{24} = 0.04$	✓	$\frac{3}{18} = 0.17$	×	$\frac{0.04}{0.17} = 0.24$	×

✓ = قبول – = حاشیه‌ای × = رد

بررسی نتایج

ستون GC (Good Correct) : شناسایی صحیح قطعات منطبق

ستون GC نشان دهنده تعداد قطعات منطبقی است که بدرستی به وسیله بازرس تشخیص داده شده اند. ازآنجا که دراین آزمایش ۸ قطعه منطبق وجود داشت که هر یک ۳بار بازرسی شدند, ۲۴ فرصت برای شناسایی صحیح قطعات منطبق وجودداشته است. اپراتور آبکاری ۱ بار تشخیص صحیح داشته است که قطعات ۱ , ۳ , ۸ , ۱۰ , ۱۱ و ۱۳ همگی به درستی تشخیص داده شده اند (۱۸ نتیجه صحیح). قطعه۶ در هر ۳ بار اندازه گیری به اشتباه رد شده و قطعه۷ فقط یکبار پذیرفته شده است.

ستونBC (Bad Correct) : شناسایی صحیح قطعات نامنطبق

ستون BC نشان دهنده تعداد قطعات نامنطبقی است که بدرستی به وسیله بازرس شناسایی شده اند . از آنجا که در این مثال ۶ قطعه نامنطبق وجود داشت که هر یک سه بار تحت بازرسی قرار گرفتند ۱۸ فرصت برای شناسایی قطعات نامنطبق وجود داشته است . اپراتور آبکاری تمام قطعات نامنطبق را بدرستی تشخیص داده است .

ستون TC (Total Correct) : جمع کل شناسایی صحیح

مقدار ستون TC برابر است با مجموع ستون های GC و BC و عددی است که برای محاسبه فرمـول E استفاده می شود .

ستون FA (False Alarm) : هشدار اشتباه

ستون FA نشان دهنده تعداد قطعات سالمی است که هر نفر به اشتباه رد کرده است .

اپراتور آبکاری ۵ مرتبه هشدار اشتباه داشته است : ۳ بار برای قطعه ۶ و ۲ بار برای قطعه ۷ .

بررسی نتایج

ستون Miss : عدم شناسایی قطعه نامنطبق

ستون Miss نشان دهنده تعداد قطعات نامنطبقی است که به اشتباه , منطبق اعلام شده اند که اپراتور آبکاری هیچ مورد این چنین نداشته است . بازرس فرایند ۴ مرتبه نتوانسته قطعه نامنطبق را تشخیص دهد : یک بار برای قطعه ۵ و سه بار برای قطعه ۹ .

ستون GT (Grand Total) : جمع کل

ستون GT برابر است با جمع کل ستونهای TC , FA و Miss که باید تعداد کل بازرسی ها (تعداد قطعات ضرب در تعداد تکرار بازرسی برای هر قطعه) برابر باشد . در این مثال , ۱۴ قطعه , هر یک سه بار بازرسی شده و بنابراین کلا ۴۲ بار بازرسی انجام شده است .

بررسی و نتیجه گیری از مطالعات قابلیت بازرسی با داده های وصفی

کل مطالعات قابلیت بازرسی باید با استفاده از جداول (۳ _ ۳) و (۳ _ ۴)بر اساس چهار شاخص E , P(FA) , P(Miss) و B ارزیابی شوند . برای هر اپراتور یا گیج غیر قابل قبول یا حاشیه ای باید اقدامات اصلاحی صورت گیرد . وقتی که اقدام اصلاحی مورد نظر انجام شد , مطالعات قابلیت بازرسی باید تکرار شود .

جدول ۳ _ ۳ : جدول معیار ارزیابی قابلیت بازرسی برای داده های وصفی

پارامتر	قابل قبول	حاشیه ای	غیر قابل قبول
E	۰/۹ یا بیشتر	۰/۸ _ ۰/۹	کمتر از ۰/۸
P(FA)	۰/۰۵ یا کمتر	۰/۰۵ _ ۰/۱	بیشتر از ۰/۱
P(Miss)	۰/۰۲ یا کمتر	۰/۰۲ _ ۰/۰۵	بیشتر از ۰/۰۵
B	۰/۸ _ ۱/۲	۰/۵۰ _ ۰/۸۰ یا ۱/۲ _ ۱/۵	بیشتر از ۱/۵ یا کمتر از ۰/۵

جدول ۳ _ ۴ : جدول موارد خاص محاسبه تمایل

تصمیم گیری	B	P(Miss)	P(FA)
تمایل به پذیرش قطعات	صفر	بیشتر از صفر	صفر
تمایل به رد قطعات	بدون مقدار	صفر	بیشتر از صفر
مانند حالت B = 1 است , زیرا P(Miss) = P(FA) است	بدون مقدار	صفر	صفر

جدول مقادیر d_2

g \ m	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1.41	1.91	2.24	2.48	2.67	2.83	2.96	3.08	3.18	3.27	3.35	3.42	3.49	3.55
2	1.28	1.81	2.16	2.40	2.60	2.77	2.91	3.02	3.13	3.22	3.30	3.38	3.45	3.51
3	1.23	1.77	2.12	2.38	2.58	2.75	2.89	3.01	3.11	3.21	3.29	3.37	3.43	3.50
4	1.21	1.75	2.11	2.37	2.57	2.74	2.88	3.00	3.10	3.20	3.28	3.36	3.43	3.49
5	1.19	1.74	2.10	2.36	2.56	2.73	2.87	2.99	3.10	3.19	3.28	3.35	3.42	3.49
6	1.18	1.73	2.09	2.35	2.56	2.73	2.87	2.99	3.10	3.19	3.27	3.35	3.42	3.49
7	1.17	1.73	2.08	2.35	2.55	2.72	25.87	2.99	3.10	3.19	3.27	3.35	3.42	3.48
8	1.17	1.72	2.08	2.35	2.55	2.72	2.87	2.98	3.09	3.19	3.27	3.35	3.42	3.48
9	1.16	1.72	2.08	2.34	2.55	2.72	2.86	2.98	3.09	3.18	3.27	3.35	3.42	3.48
10	1.16	1.72	2.08	2.34	2.55	2.72	2.86	2.98	3.09	3.18	3.27	3.34	3.42	3.48
11	1.16	1.71	2.08	2.34	2.55	2.72	2.86	2.98	3.09	3.18	3.27	3.34	3.41	3.48
12	1.15	1.71	2.07	2.34	2.55	2.72	2.85	2.98	3.09	3.18	3.27	3.34	3.41	3.48
13	1.15	1.71	2.07	2.34	2.55	2.71	2.85	2.98	3.09	3.18	3.27	3.34	3.41	3.48
14	1.15	1.71	2.07	2.34	2.54	2.71	2.85	2.98	3.08	3.18	3.27	3.34	3.41	3.48
15	1.15	1.71	2.07	2.34	2.54	2.71	2.85	2.98	3.08	3.18	3.26	3.34	3.41	3.48
> 15	1.128	1.693	2.059	2.326	2.534	2.704	2.847	2.970	0.078	3.173	3.258	3.336	3.407	3.472

در تکرارپذیری: m = تعداد دفعات اندازه‌گیری، g = تعداد قطعات × تعداد بازرسان

در تکثیرپذیری: m = تعداد اپراتور، g = ۱

در نوسان قطعه به قطعه: m = تعداد قطعه، g = ۱