

شرکت سازه گستر سایپا

راهنمای
تجزیه و تحلیل سیستم اندازه گیری
(MSA)


S.G.S.Co.

امور کیفیت
مرداد ۸۴

مدرک شماره ۸
(ویرایش اول)

یادآوری:

- ۱- جهت اطمینان از اعتبار این مدرک به شبکه اینترنت سازه گستر سایپا مراجعه فرمائید.
- ۲- کلیه حقوق این مدرک محفوظ و مخصوص سازه گستر سایپا می باشد.

شماره مدرک: ۸	خلاصه تغییرات مدرک	 S.G.S.Co.	
عنوان مدرک: راهنمای تجزیه و تحلیل سیستم اندازه گیری (MSA)			
صفحه مرتبط	خلاصه تغییرات	تاریخ	ردیف

فهرست مطالب		
صفحه	عنوان	شماره فصل
۲	کلیات	۰
۲	مقدمه	۰
۲	واژگان و تعاریف	۱-۰
۷	خواص سیستم اندازه‌گیری	۲-۰
۸	سیستم‌های اندازه کمی	۳-۰
۸	ثبات	۱
۹	گرایش	۱-۱
۱۱	ارتباط خطی	۲-۱
۱۴	تکرارپذیری	۳-۱
۱۵	تجدیدپذیری	۴-۱
۱۵	نوسانات قطعه به قطعه	۵-۱
۱۶	%(R/R)	۶-۱
۱۷	نوسانات درون قطعه‌ای	۷-۱
۱۹	روش برد	۸-۱
۲۱	تجزیه و تحلیل سیستم‌های وصفی	۹-۱
۲۱	روش متقاطع	۲
۲۴	روش بیزی	۱-۲
۲۵	روش سیگنال	۲-۲
۲۶	روش تحلیلی	۳-۲
۲۰	تست‌های مخرب و غیر تکرارپذیری	۴-۲
۳۰	ثبات	۳
۳۱	تغییرپذیری	۱-۳
۳۴	ارزیابی اجرای MSA	۲-۳
۳۴	مراحل ارزیابی سیستم‌های اندازه‌گیری	۴
۲۸	یک قانون نانوشته در MSA	۱-۴
۳۹	چک ارزیابی MSA	۲-۴
۴۱		۳-۴

فصل ۰: کلیات

۱-۰ مقدمه

داده‌های حاصل از اندازه‌گیری، امروز بیش از هر زمان دیگری مورد کاربرد دارند. برای مثال، امروزه حدود کنترل آماری يك فرآیند با داده‌های حاصل از اندازه‌گیری- و یا آمارهایی که از آنها استخراج می‌شود- مقایسه می‌گردند و تعیین می‌شود که آیا فرآیند به تنظیم(هایی) نیاز دارد یا خیر. استفاده دیگری که از داده‌های حاصل از اندازه‌گیری صورت می‌گیرد، بررسی وجود و یا عدم وجود رابطه بین دو متغیر است. برای مثال، ممکن است در يك فرآیند تولید لازم باشد بدانیم که آیا بین بعد خاصی از قطعه تولیدی و درجه حرارت پلاستیک تزریقی، رابطه‌ای وجود دارد یا خیر. وجود یا عدم‌وجود چنین رابطه‌ای را با استفاده از يك روش آماری بنام "رگرسیون" می‌توان مورد بررسی قرار داد. مطالعاتی از این دست، مصادیقی از موضوعی هستند که دکتر دمینگ آن را مطالعه تحلیلی می‌نامد.

مطالعه تحلیلی، مطالعه‌ای است که به شناسایی علت‌هایی می‌پردازد که بر روی فرآیند تأثیر می‌گذارند.

مطالعات تحلیلی از جمله مهمترین کاربردهای داده‌های اندازه‌گیری هستند، چرا که به بهترین نحوی به درك بهتر فرآیند كمك می‌کنند.

مزایای حاصله از يك چنین روش مبتنی بر داده‌ای، به طرز گسترده‌ای به کیفیت داده‌های اندازه‌گیری بستگی دارد. چنانچه کیفیت داده‌ها پایین باشد، مزایای استفاده از چنین روشی نیز پایین خواهد بود. به عکس هرچه کیفیت داده‌ها بالاتر باشد، مزایای استفاده از این روش بالاتر خواهد بود.

کیفیت داده‌های اندازه‌گیری

کیفیت داده‌های اندازه‌گیری بستگی به ویژگی‌های آماری دارد که از چند اندازه‌گیری تحت شرایط پایدار، از يك سیستم اندازه‌گیری بدست می‌آید.

برای مثال، فرض کنید که يك سیستم اندازه‌گیری تحت شرایط پایدار برای اندازه‌گیری‌های متعددی از يك ویژگی در نظر گرفته شده‌است.

اگر تمام اندازه‌های گرفته شده به اندازه واقعی نزدیک باشند، کیفیت داده‌ها بالا و در غیر این صورت کیفیت داده‌ها پائین به حساب می‌آیند.

یکی از متداولترین دلایل وجود داده‌های با کیفیت پایین وجود نوسان‌های بسیار در داده‌ها است. بسیاری از این نوسانات به دلیل تأثیرات متقابلی است که بین سیستم اندازه‌گیری و محیط پیرامون آن وجود دارد.

چنانچه این تأثیرات باعث به وجود آمدن نوسانات بسیار زیادی شود، ممکن است کیفیت داده‌ها آنقدر پایین باشد، که عملاً "استفاده‌ای نداشته باشند. به عنوان مثال، يك دستگاه اندازه‌گیری با

نوسانات فراوان، برای تجزیه و تحلیل يك فرآیند توليدي مناسب نیست، چرا که ممکن است نوسانات سیستم اندازه‌گیری حتي نوسانات فرآیند تولید را تحت‌الشعاع قرار دهد. عمده کار مدیریت يك سیستم اندازه‌گیری معطوف به نظارت و کنترل بر نوسانات مي‌باشد. چنانچه کیفیت داده‌هاي يك سیستم اندازه‌گیری قابل قبول نباشد، آنگاه چاره‌اي جز بهبود آن وجود ندارد. این امر بیشتر از آنکه به معنای بهبود خود داده‌ها باشد به معنای بهبود سیستم اندازه‌گیری است.

۲-۰ واژگان و تعاریف

(۱) فرآیند اندازه‌گیری (Measurement Process)

در این جزوه، اندازه‌گیری به این گونه تعریف می‌شود:

"تخصیص اعداد به موارد مشخص به منظور تبیین روابط بین ویژگی‌های خاص"

این تعریف نخستین بار در ۱۹۶۳ توسط "آیزنهارت" ارائه شد.

فرآیند تخصیص‌دهی عدد به عنوان فرآیند اندازه‌گیری تعریف می‌شود، و مقدار تخصیص داده شده به عنوان مقدار اندازه در نظر گرفته می‌شود.

از این تعریف چنین بر می‌آید که فرآیند اندازه‌گیری می‌تواند به عنوان يك فرآیند توليدي در نظر گرفته شود که خروجی آن عدد (داده) است. چنین نگرشی به سیستم اندازه‌گیری از آن جهت مفید است که به ما اجازه می‌دهد مفاهیم، اصول و ابزاری را در تجزیه و تحلیل سیستم اندازه‌گیری به کار ببندیم که قبلاً در کنترل آماری فرآیند (SPC) به کار گرفته بودیم.

(۲) سنج (Gage):

هر وسیله‌ای که برای دستیابی به اندازه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، گاهی اوقات اختصاصاً برای وسایلی که نقش ابزار برو/نرو را در کارگاه‌ها ایفا می‌کنند، به کار گرفته می‌شود.

(۳) سیستم اندازه‌گیری (Measurement System):

مجموعه عملیات، روش‌ها، سنج‌ها و سایر ابزار، نرم افزارها و نفراتی که برای تخصیص يك عدد به يك ویژگی مورد اندازه‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

(۴) تبعیض، قابلیت خواندن، ریزنگری (تجهیزات) (Discrimination, Readability, Resolution):

کوچکترین واحد قابل خواندن، ریزنگری اندازه‌گیری یا حد مقیاس دستگاه نام دارد.

(۵) مقدار مرجع (Reference Value):

عبارتست از ارزش پذیرفته شده برای يك محصول یا مصنوع.

(۶) مقدار واقعی (True Value):

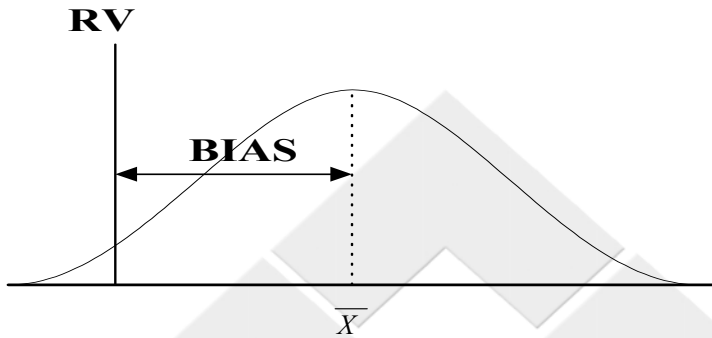
مقدار حقیقی از يك محصول یا مصنوع که معمولاً ناشناخته می‌باشد.

(V) گرایش (Bias):

اختلاف بین میانگین اندازه‌گیری‌های انجام شده با مقدار مرجع گرایش نام دارد.

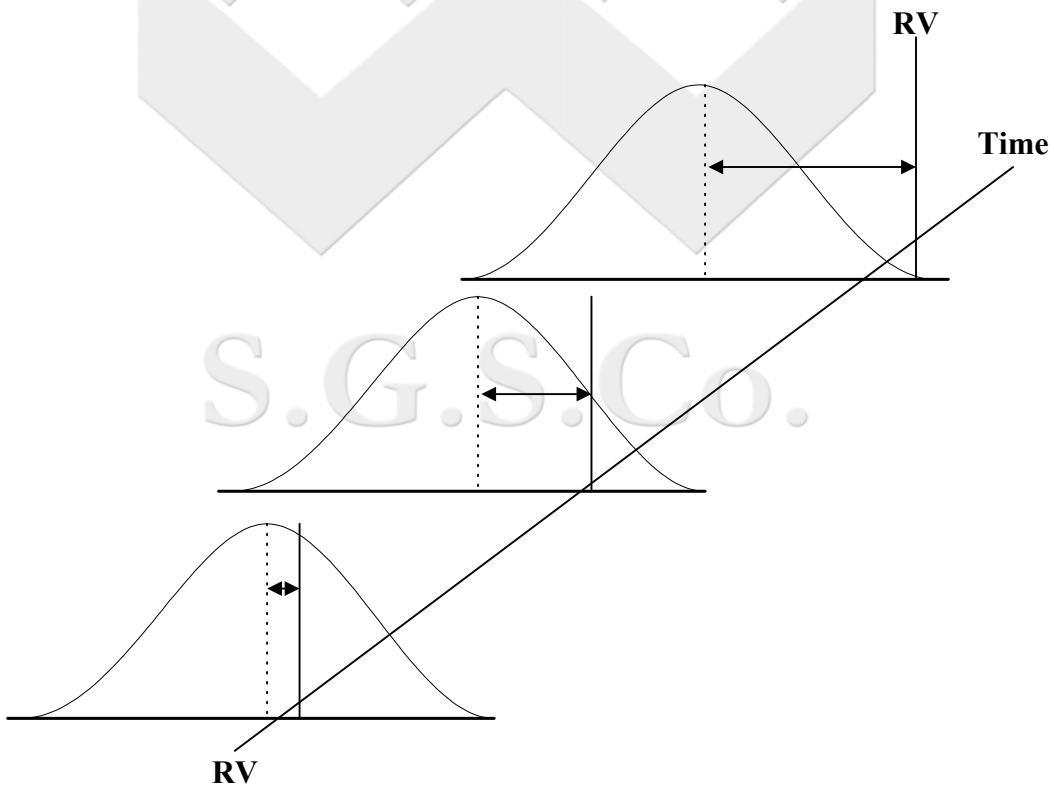
(A) ثبات**(Stability):**

عبارتست
آماري يك



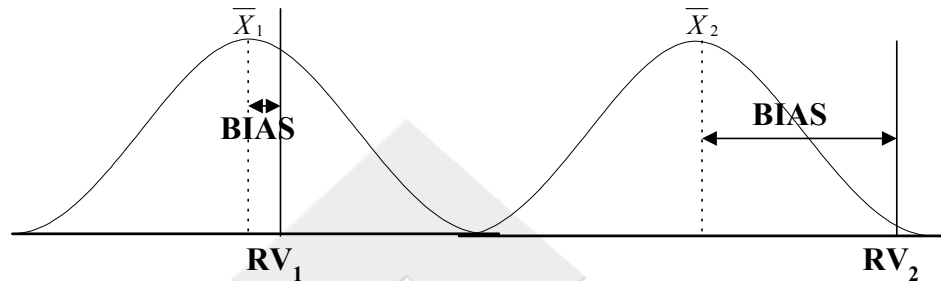
از کنترل
فرآیند

اندازه‌گیری با توجه به موقعیت آن در طول زمان، یا به عبارت دیگر تغییرات گرایش در طول زمان و تحت کنترل آماری بودن آن ثبات نام دارد.



(۹) ارتباط خطي (Linearity):

عبارتست از تغییرات گرایش در گستره طبیعی و عملیاتی يك سیستم اندازه‌گیری

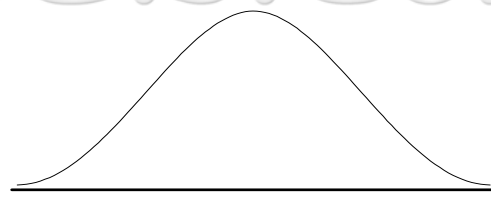
**(۱۰) دقت (Precision):**

عبارتست از نزدیک بودن مقادیر اندازه‌گیری شده، هنگامی که تکرارهای اندازه‌گیری روی قطعه یا قطعات ثابت انجام می‌پذیرد.

(۱۱) تکرارپذیری (Repeatability):

عبارتست از نوسانات بدست آمده از يك سیستم اندازه‌گیری هنگامی که يك ابزار اندازه‌گیری، به وسیله يك بازرس چند بار برای اندازه‌گیری يك مشخصه خاص از قطعه (یا قطعات) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

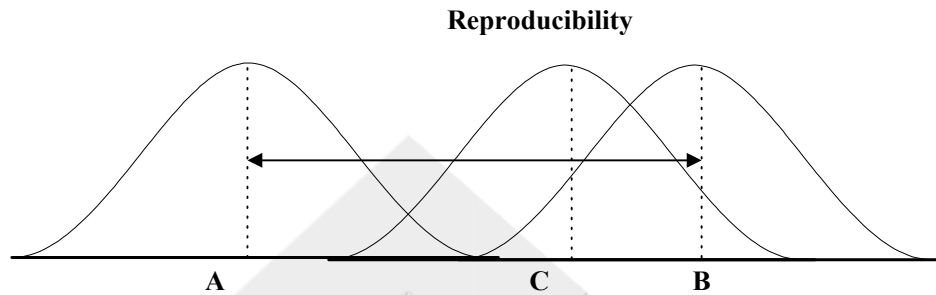
S.G.S.Co.



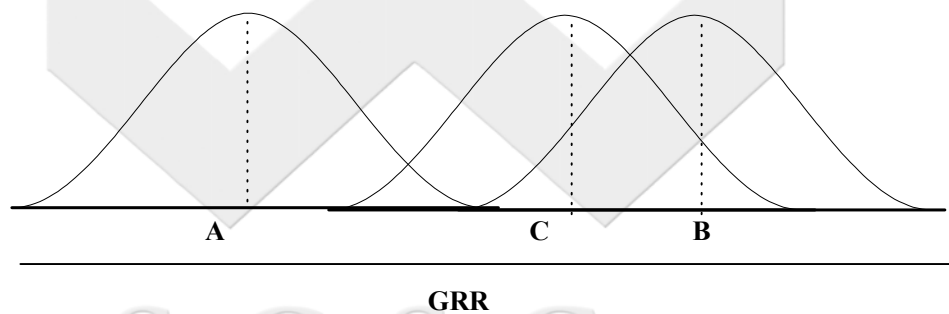
Repeatability

(۱۲) تجدیدپذیری (Reproducibility):

عبارتست از نوسانات بین میانگین اندازه‌گیری‌های بدست آمده، هنگامی که چند بازرس با يك ابزار مشخصه‌ای از قطعه (یا قطعات) را اندازه‌گیری می‌نمایند.

**(۱۳) گنج R&R (یا GRR):**

ترکیب تکرارپذیری و تجدیدپذیری بصورت توام، که برای يك سیستم اندازه‌گیری تخمین زده می‌شود.

**(۱۴) توانمندی سیستم اندازه‌گیری (Measurement System Capability):**

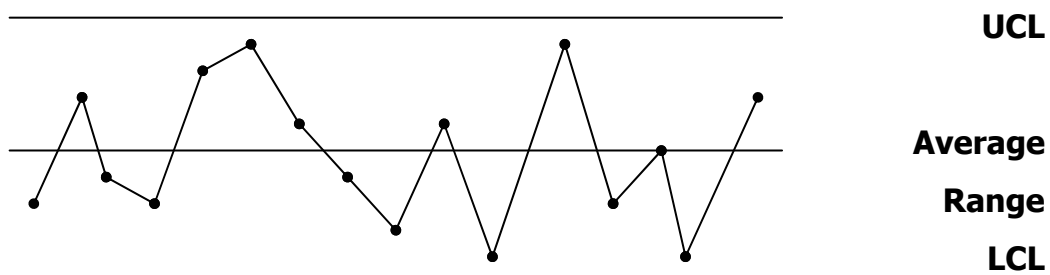
تخمین از نوسانات سیستم اندازه‌گیری در کوتاه مدت (مانند GRR به همراه نمودارهای مربوطه)

(۱۵) عملکرد سیستم اندازه‌گیری (Measurement System Performance):

تخمین از نوسانات سیستم اندازه‌گیری در بلند مدت (مانند نمودارهای کنترل در بلند مدت)

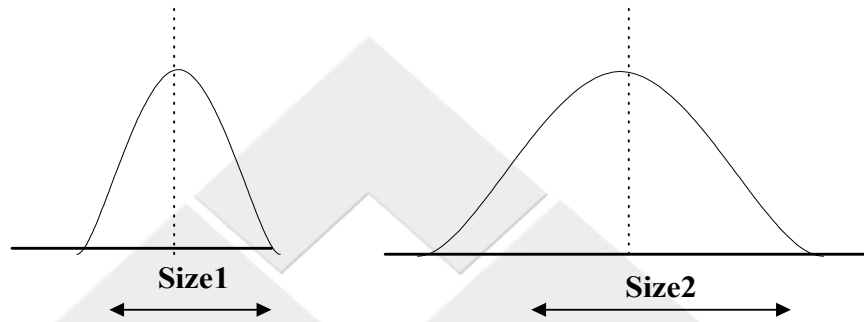
(۱۶) سازگاری (Consistency):

عبارتست از میزان تغییرات تکرارپذیری در طول زمان



(۱۷) تناسب (Uniformity):

عبارتست از تغییرات تکرارپذیری در گستره طبیعی و عملیاتی سیستم اندازه‌گیری یا عبارت دیگر یکنواخت بودن تکرارپذیری در این گستره

**(۱۸) عدم اطمینان (Uncertainty):**

یک تخمین از بازه‌ای که با توجه به مقدار اندازه‌گیری شده، مقدار واقعی می‌تواند در آن قرار گیرد.

۲-۰ خواص سیستم اندازه‌گیری

یک سیستم اندازه‌گیری ایده‌آل در دفعات مکرر استفاده فقط داده‌های درست تولید می‌کند. در چنین سیستمی نوسانات صفر، گرایش صفر و امکان طبقه‌بندی نادرست برای قطعات نیز صفر می‌باشد. با توجه به هدف تجزیه و تحلیل سیستم اندازه‌گیری که به دنبال این است، قطعات سالم همیشه بصورت سالم و قطعات خراب همیشه به صورت خراب طبقه‌بندی شوند، پس بایستی در یک سیستم اندازه‌گیری خوب گرایش و نوسانات اگر صفر نباشند، لااقل از یک حد معینی کوچکتر باشند در این صورت احتمال طبقه‌بندی نادرست قطعات نیز کم خواهد بود.

فصل ۱: سیستم‌های اندازه‌گیری کمی

۱-۱ ثبات (Stability)

همانگونه که در تعریف ثبات به آن اشاره شده، ثبات سیستم اندازه‌گیری به معنای تحت کنترل (آماري) قرار داشتن آن، در طول زمان می‌باشد. به بیان دیگر يك سیستم اندازه‌گیری وقتی ثبات دارد که فقط علل تصادفي نوسانات در آن وجود داشته باشد. بمنظور تعیین ثبات اندازه‌گیری به شرح زیر عمل می‌نمائیم.

۱- نمونه‌ای را که معمولاً در حیطه وسط تولید قرار دارد انتخاب می‌نمائیم.

۲- این نمونه را طی دوره‌های مشخص سه تا پنج بار اندازه‌گیری می‌نمائیم. اندازه‌گیری می‌بایست بر اساس آگاهی‌های لازم از سیستم اندازه‌گیری صورت پذیرد و در واقع بایستی زمان‌های اندازه‌گیری طوری تعیین شود تا مجال وقوع علل خاص به سیستم اندازه‌گیری داده شود.

۳- میانگین و برد اندازه‌گیری‌های مکرر را بر روی نمودار (\bar{X}, R) ترسیم می‌نمائیم.

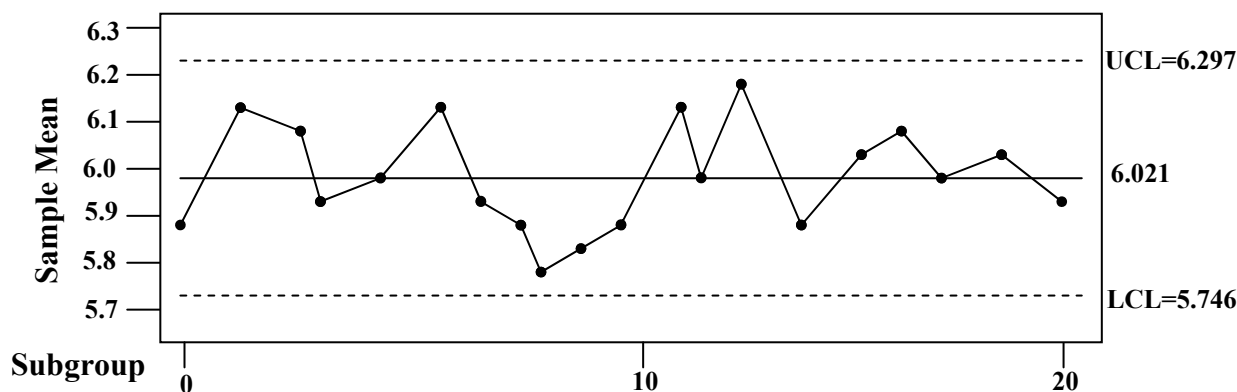
۴- محدوده‌های کنترل را محاسبه نموده، نقاط خارج از حدود کنترل را بر اساس تجزیه و تحلیل‌های انجام شده، پس از حذف ریشه علل آن، از فرآیند خارج نماییم.

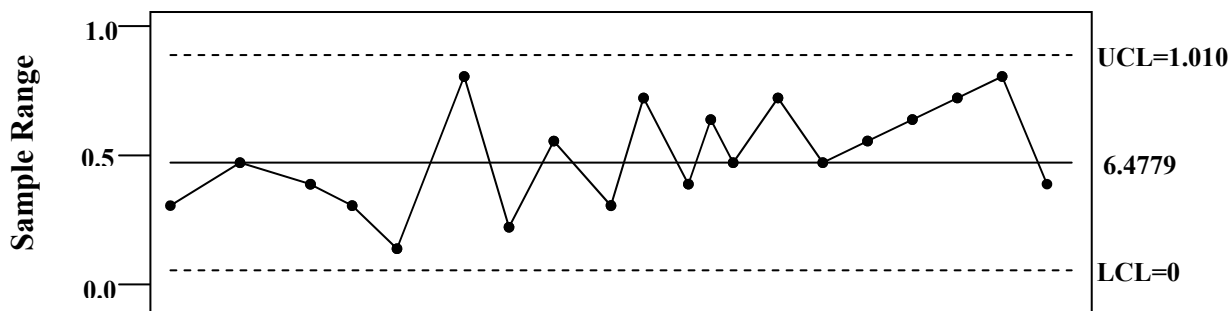
با توجه به نمودارهای رسم شده (\bar{X}, R) ، نقاط خارج از محدوده کنترل بردها نشان‌دهنده تکرارپذیری و نقاط خارج از محدوده کنترل میانگین‌ها نشان‌دهنده مسایل مربوط به گرایش می‌باشد.

اگر يك فرآیند اندازه‌گیری ثبات داشته باشد، داده‌های آن می‌تواند برای تعیین گرایش سیستم اندازه‌گیری مورد استفاده قرار گیرد (البته اگر مقدار مرجع آن مشخص باشد). همچنین انحراف معیار سیستم اندازه‌گیری بعنوان يك تخمین از تکرارپذیری سیستم اندازه‌گیری می‌تواند بکار گرفته شود.

مثال:

بمنظور مشخص کردن ثبات برای يك ابزار اندازه‌گیری جدید، تیم مربوطه يك قطعه را که نزدیک حیطه وسط تولید قرار دارد انتخاب نموده و این قطعه توسط آزمایشگاه ۲۰ بار (هر بار ۵ مرتبه) اندازه‌گیری شده است. بعد از ۴ هفته داده‌های جمع‌آوری شده و نمودار (\bar{X}, R) آن مطابق، با شکل زیر ترسیم شده‌اند.





تحلیل از نمودارهای کنترل نشاندهنده این است که فرآیند اندازه‌گیری دارای ثبات می‌باشد.

۲-۱ گرایش (Bias)

اگر فرآیند اندازه‌گیری ثبات داشته باشد، می‌توان از داده‌های مطالعات ثبات برای تعیین گرایش استفاده نمود. در غیر این صورت قبل از شروع به مطالعه گرایش بایستی قبلاً ثبات سیستم اندازه‌گیری به اثبات رسیده باشد. برای محاسبه گرایش به ترتیب زیر عمل می‌نمائیم.

- يك نمونه انتخاب نموده و مقدار مرجع آن را مشخص می‌نمائیم. (می‌توان از قطعه‌ای که تقریباً در حیطه وسط تولید قرارداد یا گیج بلوک یا ... استفاده نمود).
- قطعه مذکور را به تعداد $r \geq 10$ اندازه‌گیری نمایید. (در يك تحلیل گرافیکی می‌توان هیستوگرام اندازه‌گیری‌های مکرر را رسم نموده، بایستی تقریباً نرمال باشد. در غیر اینصورت بایستی علل خاص آن شناسایی و حذف شود).
- میانگین اندازه‌گیری‌های مکرر را محاسبه نمایید.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^r x_i}{r}$$

- با استفاده از جدول ضمیمه پس از استخراج d_2^* مقدار انحراف معیار تکرارپذیری را محاسبه نمایید.

$$\sigma_{RPT} = \frac{\max(x_i) - \min(x_j)}{d_2^*} \quad 1 \leq i, j \leq r$$

- با استفاده از تابع t (به ضمیمه مراجعه نمایید) مقادیر زیر را محاسبه نمایید:

$$Bias = \bar{X} - RV$$

$$\sigma_b = \frac{\sigma_{RPT}}{\sqrt{r}}$$

$$t = \frac{Bias}{\sigma_b}$$

- گرایش وقتی قابل قبول است که برای سطح $(1-\alpha)\%$ اطمینان (معمولاً α برابر با **0.05** است) داشته باشیم.

$$Bias - \left[\frac{d_2 \sigma_b}{d_2^*} (t_{v,1-\alpha/2}) \right] \leq O \leq Bias + \left[\frac{d_2 \sigma_b}{d_2^*} (t_{v,1-\alpha/2}) \right]$$

که در آن مقادیر V, d_2, d_2^* از جدول ضمیمه قابل استحصال بوده و $t_{v,1-\alpha/2}$ با استفاده از جدول تابع t قابل استخراج می‌باشد.

اگر مقدار عددی گرایش مخالف صفر باشد ممکن است به دلایل زیر باشد.

- خطا در قطعه اصلی یا مرجع
 - مشکلاتی که در ابزار وجود دارد و بایستی تعمیر گردد.
 - ابزار به طور صحیح کالیبره نشده است.
 - در اندازه یا مشخصه ابزار اشتباه به وجود آمده است.
 - ابزار به طور صحیح توسط اپراتور استفاده نشده است و نیاز به اصلاح رویه مذکور وجود دارد.
 - غلط بودن الگوریتم تصحیح.
- چنانچه سیستم اندازه‌گیری دارای گرایش مخالف صفر باشد، اگر امکانپذیر است، بایستی از طریق کالیبره نمودن مجدد و اصلاح سخت افزار و نرم افزار به عدد مذکور رسید. اگر عدد گرایش مخالف صفر باشد و نتوان آن را اصلاح نمود، می‌توان از طریق اصلاح رویه (عدد تصحیح) از سیستم مذکور استفاده نمود. باید توجه داشت که در این حالت ریسک خطای اپراتور زیاد خواهد شد و در این مورد بایستی با مشتری هماهنگ نمود.

مثال:

یک مهندس ساخت برای ارزیابی گرایش یک سیستم اندازه‌گیری از یک قطعه که ۱۵ بار توسط اپراتور مربوطه اندازه‌گیری شده است استفاده می‌نماید. با توجه به نتایج بدست آمده در جدول زیر تعیین نمایید آیا گرایش این سیستم اندازه‌گیری قابل قبول است یا خیر

		Reference Value=6.00	Bias
T	1	5.8	-0.2
R	2	5.7	-0.3
I	3	5.9	-0.1
A	4	5.9	-0.1

L	5	6.0	0.0
S	6	6.1	0.1
	7	6.0	0.0
	8	6.1	0.1
	9	6.4	0.4
	10	6.3	0.3
	11	6.0	0.0
	12	6.1	0.1
	13	6.2	0.2
	14	5.6	-0.4
	15	6.0	0.0

حل:

$$\sigma_{RPT} = \frac{6.4 - 5.6}{3.55333} = 0.22514$$

$$\sigma_b = \frac{0.22514}{\sqrt{15}} = 0.05813$$

$$Bias = 6.0067 - 6.00 = 0.0067$$

$$T(10.8, 0.975) = 2.206$$

$$-0.11859 = 0.0067 \left[\frac{3.47193}{3.5533} * 0.05813 * (2.26) \right]$$

می باشد.

$$+0.1319 = 0.0067 \left[\frac{3.47193}{3.5533} * 0.05813 * (2.26) \right]$$

که در این صورت

۲-۱- ارتباط خطی Linearity

در محاسبات مربوط به گرایش، خطای سیستم اندازه‌گیری را در یک نقطه که برابر با اندازه همان قطعه مرجع می‌باشد، بدست آوریم. اما آیا خطای سیستم در نقاط دیگر و اندازه‌های دیگر نیز به همان میزان می‌باشد؟ ارتباط خطی به دنبال جوابگویی به سؤال فوق می‌باشد. در واقع در ارتباط خطی ما به دنبال این هستیم که بینیم تغییرات گرایش در دامنه کاربرد ابزار اندازه‌گیری چگونه است. به همین منظور و با استفاده از فرمول‌های رگرسیون معادله بهترین خطی که نشان‌دهنده تغییرات گرایش نسبت به تغییرات قطعات مرجع است را محاسبه می‌نمائیم.

- ۱- چند قطعه (حداقل ۵ قطعه) انتخاب نموده که دامنه عملیاتی گنج را پوشش دهد.
- ۲- مقادیر مرجع هر یک از این قطعات را مشخص می‌نمائیم.
- ۳- هر یک از قطعات را به دفعات اندازه‌گیری نموده (حداقل ۱۰ مرتبه) مقادیر را ثبت می‌نمائیم. توجه داشته باشید که قطعات بایستی بصورت تصادفی و غیر قابل شناسایی برای اپراتور اندازه‌گیری شود.
- ۴- برای هر یک از قطعات مقدار گرایش را محاسبه نمایید.

$$Bias_{i,j} = X_{i,j} - RV_i$$

تعداد قطعات $1 \leq i \leq n \rightarrow n =$

$1 \leq j \leq r \rightarrow r =$

تعداد تکرارها

$$\frac{Bias_i}{Bias_i} = \frac{\sum_{j=1}^r Bias_{i,j}}{r}$$

۵- برای هر يك از قطعات (**RV**ها)، نمودار گرایش‌های منفرد و میانگین آن را روی يك نمودار رسم نمایید.

۶- اکنون معادله بهترین خطی که از این نقاط عبور می‌نماید بصورت **Y=ax+b** می‌باشد که در آن **Y=Bias** و **X=RV** حال برای محاسبه ضریب زاویه و عرض از مبدأ این خط از فرمول‌های زیر استفاده می‌نمائیم:

$$a = \frac{\sum xy - \left(\frac{1}{n.r} \sum x \cdot \sum y\right)}{\sum x^2 - \frac{1}{n.r} (\sum x)^2}$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x}$$

$\bar{y} =$ میانگین کل گرایش‌ها
 $\bar{x} =$ میانگین **RV**ها

۷- اکنون برای يك X_0 داده شده (**RV** دلخواه) و برای سطح α اطمینان مقادیر و حدود قابل قبول را محاسبه می‌نمائیم.

$$Lower = b + ax_0 - \left[t_{r.n-2,1-\alpha/2} * \left(\frac{1}{r.n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \right)^{1/2} * s \right]$$

$$Upper = b + ax_0 + \left[t_{r.n-2,1-\alpha/2} * \left(\frac{1}{r.n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \right)^{1/2} * s \right]$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{r.n} y_i^2 - b \sum_{i=1}^{r.n} y_i - a \sum_{i=1}^{r.n} x_i y_i}{r.n - 2}}$$

که در آن:

۸- برای قابل قبول بودن ارتباط خطی، خط **Bias=0** بایستی در داخل محدوده تعیین شده در گام ۷ قرار داشته باشد

۹- اگر در گام ۸ تجزیه و تحلیل گرافیکی نشان‌دهنده وضعیت قابل قبول برای ارتباط خطی باشد، در اینصورت فرض زیر بایستی درست باشد

$$|t| = \frac{|a|}{\frac{s}{\sqrt{\sum (x_j - \bar{x})^2}}} \leq t_{r.n-2,1-\alpha/2}$$

چنانچه فرض فوق صحیح باشد، سیستم اندازه‌گیری بایستی يك مقدار واحد گرایش برای تمام RVها داشته باشد. این مقدار قابل قبول، بایستی برابر با صفر باشد.

$$|t| = \frac{|b|}{\sqrt{\frac{1}{n.r} + \frac{\bar{x}^{-2}}{\sum (x_i - \bar{x})^2}}} \leq t_{r,n-2,1-\alpha/2}$$

مثال: سرپرست يك کارخانه برای تعیین میزان ارتباط خطي از ۵ قطعه که (يك از آنان ۱۲ مرتبه اندازه‌گیری شده‌اند استفاده شده است و نتایج آن مطابق با جدول زیر می‌باشد.

Part Reference Value		1	2	3	4	5
		2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
	1	2.70	5.10	5.80	7.60	9.10
	2	2.50	3.90	5.70	7.70	9.30
	3	2.40	4.20	5.90	7.80	9.50
T	4	2.50	5.00	5.90	7.70	9.30
R	5	2.70	3.80	6.00	7.80	9.40
I	6	2.30	3.90	6.10	7.80	9.50
A	7	2.50	3.90	6.00	7.80	9.50
L	8	2.50	3.90	6.10	7.70	9.50
S	9	2.40	3.90	6.40	7.80	9.60
	10	2.40	4.00	6.30	7.50	9.20
	11	2.60	4.10	6.00	7.60	9.30
	12	2.40	3.80	6.10	7.70	9.40

مطلوبست تعیین میزان ارتباط خطي و اینکه آیا قابل قبول است یا خیر

حل:

$$\overline{Bias1} = 0.491667$$

$$\overline{Bias2} = 0.125$$

$$\overline{Bias3} = 0.025$$

$$\overline{Bias4} = -0.29167$$

$$\overline{Bias5} = -0.61667$$

با توجه به فرمول رگرسیون ضریب زاویه و عرض از مبدأ برابر است با:

$$a = -0.1316$$

$$b = 0.7366$$

$$s = 0.1543$$

در اینصورت محدوده‌های مجاز برابر است با:

$$\sum xy = -82.4$$

$$\sum y^2 = 11.82$$

$$\sum y = -3.2$$

$$\sum x = 360$$

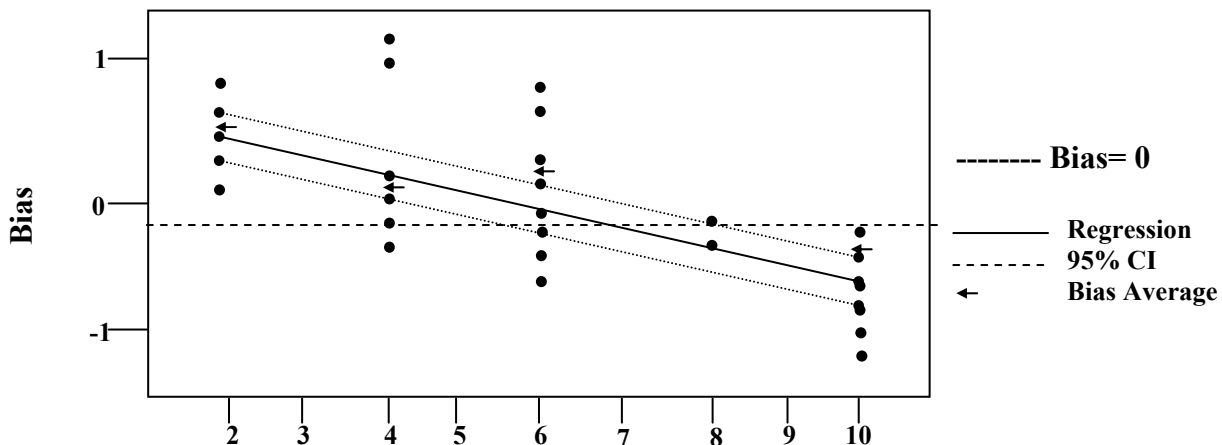
$$\bar{x} = 6$$

$$Upper : 0.7366 - 0.1316x + \left[2.00172 \left[\frac{1}{60} + \frac{(x-6)^2}{480} \right]^{1/2} * 0.1543 \right]$$

$$Lower : 0.7366 - 0.1316x - \left[2.00172 \left[\frac{1}{60} + \frac{(x-6)^2}{480} \right]^{1/2} * 0.1543 \right]$$

$$t_{(58,975)} = 2.00172$$

با توجه به تحلیل گرافیکی و اینکه $|10.158|, |12.043|$ بزرگتر از **2.00172** می‌باشند نتیجه می‌گیریم که ارتباط خط مناسب و قابل قبولی وجود ندارد. از آنجائیکه که ریسک زیادی برای خطا بازرسان موجود می‌باشد، استفاده از این سیستم بایستی منوط به هماهنگی با مشتری باشد.



با توجه به تعریف تکرارپذیری این معیار بستگی به مسائل موجود در خود دستگاه یا ابزار دقیق و یا موقعیت و جایی که ابزار دقیق در هنگام اندازه‌گیری روی آن قرار می‌گیرد دارد. برای محاسبه تکرارپذیری به شرح زیر عمل می‌نمائیم.

- ۱- ۱۰ قطعه را انتخاب نموده، این قطعات بایستی در حیطه تولید قرار داشته باشند.
- ۲- از بازرس مربوطه می‌خواهیم تا قطعات را اندازه‌گیری نموده، عدد خوانده شده را ثبت می‌نمائیم (با این قطعات بطور تصادفی به بازرس داده شود و بازرس بایستی قطعات را شناسایی نماید)
- ۳- این عمل (گام ۲) را چند بار تکرار می‌نمائیم. (معمولاً ۲ یا ۳ بار)
- ۴- برد اندازه‌گیری‌های مکرر را برای هر قطعه محاسبه می‌نمائیم.
- ۵- میانگین بردهای بدست آمده در گام ۴ را محاسبه می‌نمائیم. (\bar{R})
- ۶- در اینصورت انحراف معیار تکرارپذیری برابر خواهد بود با

$$\sigma_{RPT} = \frac{\bar{R}}{d_2^*}$$

و نوسانات دستگاه (EV) برابر است با

$$EV = \sigma_{RPT} * 5.15$$

با d_2^* توجه به جدول ضمیمه قابل استخراج می‌باشد.

5.15 برابر است با ۹۹٪ سطح زیر سختی نرمال)

۵-۱- تجدیدپذیری Reproducibility

چنانچه سیستم اندازه‌گیری بیش از یک بازرس/ اپراتور داشته باشد، علاوه بر مقدار تکرارپذیری، اختلاف بین بازرسان نیز حائز اهمیت می‌باشد برای محاسبه تجدیدپذیری به طریق زیر عمل می‌نمائیم.

- ۱- چند قطعه ($n \geq 5$) انتخاب می‌نمائیم. (بهرتر است تعداد قطعات * تعداد بازرسان ≤ 15 باشد)
- ۲- از بازرسان می‌خواهیم که قطعه انتخاب شده را اندازه‌گیری نمایند (بصورت تصادفی و غیر قابل شناسایی)
- ۳- اندازه‌گیری‌های مربوط به هر یک از بازرسان را ثبت می‌نمائیم. (معمولاً اندازه‌گیری‌ها روی هر یک از قطعات ۲ یا ۳ بار تکرار می‌شود.)
- ۴- میانگین کل اندازه‌گیری‌های بدست آمده برای هر بازرس را محاسبه می‌نمائیم.
- ۵- برد میانگین‌های کل برای بازرسان را محاسبه می‌نمائیم. $\overline{X_{DIFF}}$
- ۶- در اینصورت انحراف معیار تجدیدپذیری برابر است با:

$$\sigma_{RPD} = \frac{\overline{X_{DIFF}}}{d_2^*}$$

و نوسانات بازرسان (AV) برابر است با

$$AV = \sqrt{\left(\frac{\bar{X}_{DIFF}}{d_2^*} * 5.15\right)^2 - \frac{(EV)^2}{n.r}}$$

که در آن n تعداد قطعات و r تعداد تکرارهای اندازه‌گیری روی هر قطعه می‌باشد.

۱-۶- نوسانات قطعه به قطعه (Part to Part Variation)

همانطوریکه بعداً نیز به آن اشاره خواهیم نمود برای اینکه تعیین کنیم، خطاهای دقت یک سیستم اندازه‌گیری یعنی تکرارپذیری و تجدیدپذیری قابل قبول هستند یا خیر بایستی آن را با یک معیار مقایسه نمائیم. بعنوان مثال ممکن است برای سیستم اندازه‌گیری ابعادی 0.1 میلیمتر در یک صنعت خطای زیادی باشد در حالیکه همین خطا در یک صنعت دیگر و برای سیستم اندازه‌گیری دیگری قابل چشم پوشی باشد.

به همین منظور معمولاً خطاهای دقت سیستم اندازه‌گیری را نسبت به تolerانس فرآیند (Process Variation) یا تolerانس طراحی (USL, LSL) مقایسه و تصمیم‌گیری می‌نمایند. حال چنانچه معیار برای تصمیم‌گیری تolerانس فرآیند باشد (بعداً توضیح داده خواهد شد که چه موقع از تolerانس فرآیند و یا طراحی استفاده می‌نمائیم) نیاز داریم تا این مقدار را محاسبه نمائیم. یکی از راه‌های تخمین این مقدار استفاده از قطعات انتخاب شده برای تعیین تکرارپذیری و تجدیدپذیری می‌باشد به اینصورت که:

$$\bar{X}_{Pi} = \text{میانگین کل قطعه } i \text{ ام} \quad R_p = \text{Max} \bar{X}_{Pi} - \text{min} \bar{X}_{Pj}$$

(برد میانگین‌های کل قطعات اندازه‌گیری شده = R_p)

$$PV = \frac{R_p}{d_2^*} * 5.15 \quad \text{که} \quad \frac{R_p}{d_2^*} = \sigma_p$$

بایستی این موضوع را نیز در نظر گرفت که هنگامی می‌توان از PV محاسبه شده در بالا، بعنوان نوسانات کل فرآیند استفاده نمود که این نوسانات (نوسانات قطعات) در مقایسه با نوسانات تکرارپذیری (\bar{R}) بسیار بزرگتر بوده و بعبارت دیگر نوسانات تکرارپذیری نوسانات قطعات را پوشش ندهد. به همین منظور و با توجه به اینکه محدوده کنترل برای میانگین‌های هر قطعه تابعی از نوسانات تکرارپذیری می‌باشد، وقتی می‌توان از قطعات مذکور بعنوان نماینده کل فرآیند استفاده نمود که بیش از ۵۰٪ از \bar{X}_{Pi} ها، داخل محدوده‌های کنترل میانگین نباشد در غیر اینصورت قطعات از تمام فرآیند انتخاب نشده و یا نوسانات تکرارپذیری در مقایسه با نوسانات فرآیند بسیار زیاد می‌باشد و در هر حالت PV محاسبه شده را نمی‌توان معتبر فرض نمود.

$$UCL_{\bar{X}_p} = \bar{X} + (A_2 \cdot \bar{R})$$

$$LCL_{\bar{X}_p} = \bar{X} - (A_2 \cdot \bar{R})$$

۱-۷ - (R,R) %

در بخش‌های قبل توضیح داده شده که چگونه **EV**، **AV** و **PV** را محاسبه می‌نمائیم. در این بخش به دنبال محاسبه معیاری جهت تصمیم‌گیری راجع به اینکه دقت، سیستم اندازه‌گیری قابل قبول است یا خیر می‌باشیم قبلاً توضیح داده شد که **EV** و **AV** هر دو از جنس پراکندگی بوده و در عین حال با یکدیگر وابستگی دارند. همانطوریکه در علم آمار و احتمالات هم به آن اشاره شده مجموع دو پراکندگی (σ)، برابر است با جذر مجموع مربعات آنها، پس برای اینکه ما بتوانیم پراکندگی کل سیستم اندازه‌گیری را محاسبه کنیم بایستی به طریق زیر عمل نمائیم.

$$\text{دقت کل سیستم} = \sqrt{EV^2 + AV^2} = (R, R)$$

حال برای بررسی قابل قبول بودن این دقت نیاز داریم تا آنرا نسبت به تolerانس طراحی با تolerانس فرآیند بسنجیم.

الف) چنانچه این سیستم اندازه‌گیری برای بازرسی (قبول یا رد کردن قطعات) بکار گرفته می‌شود بایستی شاخص **(R,R) %** را به طریق زیر محاسبه نمود:

$$\%(R, R) = \frac{(R, R)}{USL - LSL} * 100$$

ب) چنانچه این سیستم اندازه‌گیری جهت تجزیه و تحلیل و مطالعات فرآیند (مثل **SPC**) بکار گرفته می‌شود بایستی شاخص **(R,R) %** را به طریق زیر محاسبه نمود:

$$\%(R, R) = \frac{(R, R)}{TV} \quad \text{که} \quad TV = \sqrt{PV^2 + AV^2 + EV^2}$$

در هر دو حالت (چه مطالعات فرآیند چه بازرسی)، با توجه به مقدار **(R,R) %** به شرح زیر تصمیم‌گیری می‌نمائیم.

(۱) اگر $\%(R, R) \leq 10\%$ سیستم اندازه‌گیری قابل قبول است.

(۲) اگر $10\% < \%(R, R) \leq 30\%$ سیستم اندازه‌گیری ممکن است قابل قبول باشد

(۳) اگر $\%(R, R) > 30\%$ سیستم اندازه‌گیری غیر قابل قبول است.

توجه داشته باشید در محاسبه **(R,R) %** برای مطالعات فرآیند می‌توان از **5.15** فاکتورگیری نموده و

$$\text{نوشت: } \frac{1}{d_2^*} = K_1, K_2, K_3$$

که در آن K_1 تابعی از تعداد تکرارها و برای **EV** کاربرد دارد و K_2 تابعی از تعداد بازرسان و برای **AV** کاربرد دارد و K_3 تابعی از تعداد قطعات و برای **PV** کاربرد دارد.

همچنین از نسبت زیر می‌توان برای تعیین دقت سیستم اندازه‌گیری استفاده نمود

$$\text{ndc} = 1.41 * \frac{PV}{GRR} \text{ تعداد طبقات مجزا}$$

شرط قابل قبول بودن نسبت فوق این است که بزرگتر یا مساوی ۵ باشد.

۸-۱- نوسانات درون قطعه‌ای (Within Part Variation)

در بعضی مواقع با توجه به ماهیت اندازه‌گیری، نوسانات درون قطعه‌ای از اهمیت زیادی برخوردار می‌شوند. این نوسانات ریشه در ماهیت قطعه داشته و همانند اندازه‌گیری قطر یک سوارخ، ممکن است بستگی به بیضی بودن یا بیضی نبودن سوارخ داشته باشد. این خطاها در دفعات مختلف اندازه‌گیری، بر روی تکرارهای اندازه‌گیری تاثیر گذاشته و عدم آگاهی از آنها، سبب خواهد شد تا تخمین تکرارپذیری و تجدیدپذیری دقیق نباشد. برای محاسبه این نوع خطا به ترتیب گام‌های زیر عمل می‌نمائیم.

- (۱) بردهای مربوط به **min, max** را محاسبه می‌نمائیم. (سطرهای ۵ و ۱۰ و ۱۵)
- (۲) میانگین بردهای محاسبه شده در گام قبلی را محاسبه نموده و در سطر ۱۸ ثبت می‌نمائیم.
- (۳) **EV** را با توجه به فرمول مربوطه و میانگین بردها در گام قبلی محاسبه می‌نمائیم.
- (۴) میانگین مربوط به هر قطعه بازرسی را محاسبه می‌نمائیم. (سطرهای ۴ و ۹ و ۱۴)
- (۵) میانگین کل هر بازرسی را محاسبه می‌نمائیم (ستون آخر سطرهای ۴ و ۹ و ۱۴)
- (۶) \bar{X}_{DIFF} را محاسبه نموده و در سطر ۱۹ ثبت می‌نمائیم.
- (۷) **AV** را با توجه به فرمول ارائه شده محاسبه می‌نمائیم.
- (۸) **RGE** را محاسبه می‌نمائیم. (بردهای سطری)
- (۹) $\bar{X}_{WIV} = \frac{\sum RGE}{a.t}$ را محاسبه می‌نمائیم که برابر است با هر قطعه (سطر ۱۷)
- (۱۰) برد \bar{X}_{WIV} محاسبه می‌نمائیم (ستون آخر سطر ۱۷)
- (۱۱) $X_{WIV} = \frac{\sum \bar{X}_{WIV}}{n}$ را محاسبه می‌نمائیم که برابر است با X_{WIV} (تعداد قطعات = n)
- (۱۲) برد بردهای بدست آمده در گام ۸ را محاسبه می‌نمائیم. (R_{RGE} ها)
- (۱۳) در اینصورت $EV_{WIV} = \frac{\sum R_{RGE}}{n.a} * k_1$

(۱۴) محاسبه **WIV** با توجه به فرمول زیر:

$$WIV = \left[\frac{\sqrt{(R_{XWIV} * K_3)^2 - (EV_{WIV})^2}}{2} \right] + X_{WIV}$$

(۱۵) در اینصورت می‌توان در فرمول **(R,R)** بجای **TV** نوشت:

$$TV = \sqrt{EV^2 + AV^2 + PV^2 + WIV^2}$$

تمرین:

سرپرست کنترل کیفیت جهت تعیین میزان خطای **(R,R)** برای مشخصه قطر میله، که توسط یک ماشین خاص تولید می‌شود ۵ قطعه را انتخاب کرده است. این ۵ قطعه توسط بازرسان و شیف (سه بازرس) ۲ بار اندازه‌گیری شده و در هر بار اندازه‌گیری، چرخاندن میکرومتر حداقل و حداکثر قطر میله مطابق جدول زیر ثبت شده است. مطلوبست محاسبه **(R,R)** با توجه به خطای **WIV**.

قطعه بازرسان	1		2		3		4		5	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
بازرس ۱	0.68	0.58	1.07	0.93	0.87	0.78	0.97	0.83	0.58	0.42
	0.67	0.57	1.08	0.92	0.85	0.77	0.96	0.81	0.59	0.40
بازرس ۲	0.59	0.51	1.08	0.92	0.82	0.73	0.84	0.71	0.49	0.31
	0.60	0.50	1.07	0.93	0.81	0.75	0.85	0.70	0.48	0.32
بازرس ۳	0.56	0.49	1.10	0.95	0.84	0.77	0.87	0.74	0.56	0.39
	0.55	0.47	1.08	0.94	0.84	0.76	0.88	0.73	0.57	0.38

۹-۱- روش برد (Range Method)

روش برد یک روش اصلاح شده است که یک تخمین سریع از سیستم اندازه‌گیری فراهم می‌آورد. این روش تنها تصویر کلی از سیستم اندازه‌گیری بدست می‌دهد و نمی‌تواند تعیین کننده تکرارپذیری و تجدیدپذیری باشد و معمولاً برای چک کردن سریع، و بررسی تغییرات GRR بکار می‌رود. این روش چنانچه از ۵ قطعه بعنوان نمونه استفاده شود، ۸۰٪ اگر از ۱۰ قطعه استفاده شود ۹۰٪ توانایی شناسایی یک سیستم غیر قابل قبول را دارا می‌باشد.

مثال:

برای تعیین اینکه آیا سیستم اندازه‌گیری قابل قبول می‌باشد یا خیر در یک سیستم اندازه‌گیری از ۲ بازرس و ۵ قطعه استفاده شده است و نتایج به شرح زیر می‌باشد مطلوبست تعیین GRR

قطعه	بازرس ۱	بازرس ۲
1	0.85	0.80
2	0.75	0.70
3	1.00	0.95
4	0.45	0.55
5	0.50	0.60

حل:

با توجه به اندازه‌گیری انجام شده برد مربوط به هر قطعه برابر است با:

قطعه	برد
1	0.05
2	0.05
3	0.05
4	0.10
5	0.10

S.G.S.Co.

در اینصورت:

$$\bar{R} = \frac{\sum R_i}{5} = 0.07$$

$$GRR = \frac{\bar{R}}{d_2^*} = \frac{0.07}{1.19} = 0.0588$$

فصل ۲: تجزیه و تحلیل سیستم‌های اندازه‌گیری وصفی

در فصل ۱ با تجزیه و تحلیل سیستم‌های اندازه‌گیری کمی آشنا شدیم. در این فصل سعی داریم تا چند روش را برای تحلیل سیستم‌های اندازه‌گیری وصفی معرفی نمائیم.

۲-۱- روش متقاطع

در این روش با استفاده از یک مثال و علم احتمالات سعی در محاسبه بعضی از شاخص‌ها برای تایید و یا عدم تایید سیستم اندازه‌گیری می‌باشیم. به همین منظور ۵۰ قطعه، به ترتیب ۲۴ قطعه رد و ۱۶ قطعه قبول انتخاب شده‌اند.

Part	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	Reference	Ref Value	Code
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.476901	+
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.509015	+
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.576459	-
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.566152	-
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.570360	-
6	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0.544951	*
7	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0.465454	*
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.502295	+
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.437817	-
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.515573	+
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.488905	+
12	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0.559918	*
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.542704	+
14	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0.454518	*
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.517377	+
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.531939	+
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.519694	+
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.484167	+
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0520496	+
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0477236	+
21	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0452310	*
22	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0545604	*
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0529065	+
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.514192	+
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0599581	-
26	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0547204	*
27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0502436	+

28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0521642	+
29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0523754	+
30	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0.561457	*
31	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0503091	+
32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0505850	+
33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0487613	+
34	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0.449696	*
35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0498698	+
36	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0.543077	*
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.409238	-
38	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.488184	+
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.427687	-
40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.501132	+
41	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.513779	+
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.566575	-
43	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0.462410	*
44	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.470832	+
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.412453	-
46	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.493441	+
47	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.486379	+
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.587893	-
49	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.483803	+
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.446697	-

سربازرس این ۵۰ قطعه را هر کدام سه بار اندازه‌گیری نموده‌اند. عدد ۱ بمعنای قبول کردن و عدد ۰ بمعنای رد کردن قطعات می‌باشد. همچنین کدهای +، -، * بمعنی، هم رایی همه بازرسان در قبول قطعه سالم، هم رایی همه بازرسان در عدم پذیرش قطعه رد، عدم هم‌رایی بین بازرسان و مقدار مرجع می‌باشد. حال با توجه به مقدار جدول فوق جداول بین بازرسان را به شرح زیر محاسبه می‌نمائیم.

		B		Total	
		.00	1.00		
A	.00	Count	44	6	50
		Expected Count	15.7	34.3	50.0
	1.00	Count	3	97	100
		Expected Count	31.3	68.7	100.0
Total		Count	47	103	150
		Expected Count	47.0	103.0	150.0

			C		Total
			.00	1.00	
B	.00	Count	42	5	47
		Expected Count	16.0	31.0	47.0
	1.00	Count	9	94	103
		Expected Count	35.0	68.0	103.0
Total		Count	51	99	150
		Expected Count	51.0	99.0	150.0

			C		Total
			.00	1.00	
A	.00	Count	43	7	50
		Expected Count	17.0	33.0	50.0
	1.00	Count	8	92	100
		Expected Count	34.0	66.0	100.0
Total		Count	51	99	150
		Expected Count	51.0	99.0	150.0

هدف از این جداول تعیین توافقی بین بازرسان می‌باشد. به همین منظور شاخص کاپا Kappa را محاسبه می‌نماییم. عدد ۱ نشان‌دهنده توافقی کامل بین بازرسان و عدد صفر نشان‌دهنده عدم توافقی بین آنها می‌باشد.

$$Kappa = \frac{P_0 - P_e}{1 - P_e}$$

مجموع نسبت‌های مشاهده شده در سلول‌های قطر $P_0 =$
مجموع نسبت‌های مورد انتظار در سلول‌های قطر $P_e =$

باید توجه داشت که کاپا بیشتر یک اندازه‌گیری است تا یک تست و مقدار آن چنانچه بیشتر از 0.75 باشد نشان‌دهنده توافقی عالی و اگر کمتر از 0.40 باشد نشان‌دهنده توافقی ضعیف می‌باشد.

Kappa	A	B	C
A	-	.86	.78
B	.86	-	.79
C	.78	.79	-

برای تصمیم‌گیری در مورد یک سیستم اندازه‌گیری به این روش بایستی برای هر بازرس شاخص‌های زیر را محاسبه نماییم.

$$\text{Miss Rate} = \frac{\text{تعداد دفعات قطعات رد پذیرفته شده}}{\text{شانس پیدا کردن قطعات رد}} \quad \text{نرخ اشتباه}$$

$$\text{False Alarm Rate} = \frac{\text{تعداد دفعات قطعات سالم رد شده}}{\text{شانس پیدا کردن قطعات سالم}} \times 100\%$$

نرخ اعلان نادرست

$$\text{Effectiveness} = \frac{\text{تعداد دفعات تشخیص قطعات بطور صحیح}}{\text{کل فرصت‌های شناسایی قطعات}} \times 100\%$$

اثر بخشی

در اینصورت با توجه به مقادیر بدست آمده برای هر بازرسی و با توجه به جدول زیر تصمیم‌گیری می‌نمائیم.

تصمیم‌گیری	اثر بخشی	نرخ اشتباه	نرخ اعلان اشتباه
سیستم اندازه‌گیری قابل قبول است	$\geq 90\%$	$\leq 2\%$	$\leq 5\%$
سیستم ممکن است برای تمام یا بعضی از بازرسان قابل قبول باشد	$\geq 80\%$	$\leq 5\%$	$\leq 10\%$
سیستم غیر قابل قبول برای تمام یا بعضی از بازرسان بوده و نیاز به اصلاح دارد	$< 80\%$	$> 5\%$	$> 10\%$

۲-۲- روش بیزی

یکی از ایرادات عمده‌ای که به روش متقاطع می‌توان گرفت این است که، انتخاب قطعات سالم و رد در نمونه‌ها بعهد ما می‌باشد. ولی در عمل و در تولید ممکن است درصدی از قطعات معیوب با آنچه که ما در نمونه‌ها انتخاب نموده‌ایم برابر نباشد (بعنوان مثال نسبت $\frac{16}{50}$ قطعه معیوب در مثال قبل) پرواضح است که چنانچه این نسبت (معیوب‌ها) هر چه کمتر باشد احتمال نرخ اشتباه نیز کمتر خواهد بود. چنانچه تخمینی از نسبت قطعات سالم و خراب داشته باشیم می‌توان محاسبات دقیقتر و واقعی‌تری از شاخص‌های فوق ارائه داد. به همین منظور از روشی بنام روش بیز که قضیه آن در ضمیمه آورده شده است استفاده می‌نمائیم.

$$\text{False Alarm Rate} = P(G|\text{Called bad})$$

$$\text{Miss Rate} = P(B|\text{Called good})$$

مثال:

فرض کنید برای بازرسی **B** جدول زیر را داشته باشیم. با فرض $P_p = P_{PK} = 1.33$ مطلوبست MR و FA

			REF		Total
			.00	1.00	
B	.00	Count	45	2	47
		%Within REF	93.8%	2.0%	31.3%
	1.00	Count	3	100	103
		%Within REF	6.3%	98.0%	68.7%
Total		Count	48	102	150
		%Within REF	100.0%	100.0%	100.0%

حل:

$$P(bad) = 27 * 10^{-4}$$

$$P(good) = 9973 * 10^{-4}$$

با توجه به فرض مسئله پس

پس خواهیم داشت:

$$FA = P(g | Cbad) = \frac{P(Cbad | g)P(g)}{P(Cbad | g)P(g) + P(Cbad | b)P(b)} = \frac{(0.02)(0.9973)}{(0.02)(0.9973) + (0.938)0.0027} = 0.89$$

$$MR = P(b | Cgood) = \frac{P(Cg | b)P(b)}{P(Cg | b)P(b) + P(Cg | g)P(g)} = \frac{(0.063)(0.0027)}{(0.063)(0.0027) + (0.98)(0.9973)} = 0.000173$$

۲-۲- روش سیگنال

یک روش برای تعیین احتمالات خطا در سیستم اندازه‌گیری روش سیگنال می‌باشد. برای این منظور با توجه به مفهوم منحنی عملکرد گیج (بعداً توضیح داده خواهد شد)، مفاهیم زیر را تعریف می‌کنیم.

A = بزرگترین قطعه در مرز **LSL** که همه بازرسی‌ها آنرا رد کرده‌اند

B = کوچکترین قطعه قبول که همه بازرسی‌ها آنها را قبول کرده‌اند

C = بزرگترین قطعه قبول که همه بازرسی‌ها آنرا قبول کرده‌اند

D = کوچکترین قطعه در مرز **USL** که همه بازرسی‌ها آنرا رد کرده‌اند

سپس تعریف می‌کنیم:

$$\bar{R} = \frac{d_{USL} + d_{LSL}}{2}$$

$$d_{isl} = B - A, \quad d_{usl} = D - C$$

پس در اینصورت

$$GRR = \frac{\bar{R}}{d_2^*} * 5.15$$

مثال: در مثال روش متقاطع **GRR** را با روش سیگنال محاسبه نمایید.

Ref Value	Code	Ref Value	Code
0.599581	-	0.503091	+
0.587893	-	0.502436	+
0.576459	-	0.502295	+
0.570360	-	0.501132	+
0.566575	-	0.498698	+
0.566152	-	0.493441	+
0.561457	*	0.488905	+
0.559918	*	0.488184	+
0.547204	*	0.487613	+
0.545604	*	0.486379	+
0.544951	*	0.484167	+
0.543077	*	0.483803	+
0.542704	+	0.477236	+
0.531939	+	0.476901	+
0.529065	+	0.470832	+
0.523754	+	0.465454	*
0.521642	+	0.462410	*
0.520496	+	0.454518	*
0.519694	+	0.452310	*
0.517377	+	0.449696	*
0.515573	+	0.446697	-
0.514192	+	0.437817	-
0.513779	+	0.427687	-
0.509015	+	0.412453	-
0.505850	+	0.409238	-

حل با توجه به جدول فوق خواهیم داشت:

$$d_{LSL} = 0.470832 - 0.446697 = 0.024135$$

$$d_{USL} = 0.566152 - 0.542704 = 0.023448$$

$$\bar{R} = \frac{0.024135 + 0.023448}{2} = 0.0237915$$

$$GRR = \frac{\bar{R}}{d_2^*} = \frac{0.0237915}{1.27931} * 5.15 = 0.09577$$

۲-۴- روش تحلیلی

یک سیستم اندازه‌گیری ایده‌آل، فقط قطعاتی را که اندازه آنها بین **LSL** و **USL** می‌باشد قبول کرده و سایر قطعات را مردود می‌نماید. متأسفانه چنین سیستمی در عمل ممکن است وجود نداشته باشد و سایر قطعات نزدیک به تolerانس، ممکن است در عین رد (قبول) بودن قبول (رد) گردند.

در عمل ما با سیستم‌هایی سر و کار داریم که احتمال قبولی قطعه در نقاط نزدیک به $\frac{USL + LSL}{2}$

بسیار بالاتر از سایر نقاط مرزی می‌باشد بعبارت دیگر هر چه به طرف نقاط مرزی پیش می‌رویم، احتمال قبول قطعه کم شده و در نتیجه احتمال روی آن افزایش می‌یابد.

از مفهوم فوق برای مطالعه گیج‌های اندازه‌گیری مشخصه‌های کیفی استفاده می‌شود. این تجزیه و تحلیل را می‌توان برای گیج‌های دو منظوره و یک منظوره استفاده نمود. تجزیه و تحلیل فوق شبیه به هم بوده و فقط تعبیر بزرگترین قطعه و کوچکترین قطعه تغییر می‌نماید. بعنوان مثال ما چگونگی تجزیه و تحلیل یک گیج برای محدوده **LSL** را تشریح می‌نماییم.

هر کدام از این قطعات **20** بار اندازه‌گیری می‌شوند. کوچکترین قطعه (بدترین قطعه حول خوش محدوده پایینی) بایستی در این **20** بار آزمایش **20** بار رد شده باشد و بزرگترین قطعه (بهترین

قطعه) $\frac{USL + LSL}{2}$ بایستی در این، **20** بار آزمایش **20** بار قبول شده باشد. **6** قطعه دیگر را طوری

انتخاب می‌کنیم که تعداد قبولی آنها در این بیست بار آزمایش بین ۱ تا ۱۹ باشد در اینصورت احتمال قبولی قطعه برابر خواهد بود با:

$$P'a = \left\{ \begin{array}{l} \frac{a+0.5}{m} \text{ اگر } \frac{a}{m} < 0.5, a \neq 0 \\ \frac{a-0.5}{m} \text{ اگر } \frac{a}{m} > 0.5, a \neq 20 \\ 0.5 \text{ اگر } \frac{a}{m} = 0.5 \\ 0 \text{ اگر } a = 0 \text{ (کوچکترین قطعه)} \\ 1 \text{ اگر } a = 20 \text{ (بزرگترین قطعه)} \\ 0.025 \quad a = 0 \text{ به جز کوچکترین قطعه} \\ 0.975 \quad a = 20 \text{ به جز بزرگترین قطعه} \end{array} \right.$$

در اینصورت می‌توان گفت که برای هر X_T (مقدار قطعه)

$$\text{محدوده پایینی} - B = X_T(P'a = 0.5) = \text{تمایل}$$

که Xt از راه تناسب برای مقدار **0.5** قابل محاسبه است.

$$\text{تکرارپذیری} = \frac{X_T(P'a = 0.995) - X_T(P'a = 0.005)}{1.08}$$

برای اینکه تمایل را محک بزیم و ببینیم بطور قابل ملاحظه‌ای از صفر بیشتر است یا خیر، مقدار τ را محاسبه کرده اگر مقدار فوق از **2.093** بیشتر باشد می‌توان ادعا کرد، تمایل به صورت ملاحظه‌ای

$$\tau = \frac{31.3 * | \text{تمایل} |}{\text{تکرارپذیری}} \quad \text{از صفر بیشتر است:}$$

$$2.093 = t(0.025 * 19)$$

تمرین:

جهت اطمینان از اینکه قطر شفت‌های تولید شده توسط یک ماشین **C.N.C** از مقدار معینی بیشتر هستند از یک گیج استوانه‌ای **No Go** استفاده می‌شود. با فرض اینکه تolerانس این قطعه 5.00 ± 0.01 باشد ۱۰ قطعه را انتخاب نموده و مقادیر **a** و **P(a)** و نیز مقدار X_T (قطر شفت) را به شرح زیر بدست آورده‌ایم. مطلوبست تکرارپذیری، تمایل و اینکه آیا این مقدار تمایل قابل قبول است یا خیر،

P'(a)	a = 0	P'a = 0	$X_T = 4.9837$
	a = 0	P'a = 0.025	$X_T = 4.9840$
	a = 1	P'a = 0.075	$X_T = 4.9850$
	a = 3	P'a = 0.175	$X_T = 4.9860$
	a = 5	P'a = 0.275	$X_T = 4.9870$
	a = 8	P'a = 0.425	$X_T = 4.9880$
	a = 16	P'a = 0.775	$X_T = 4.9890$
	a = 18	P'a = 0.875	$X_T = 4.9895$
	a = 20	P'a = 0.975	$X_T = 4.9900$
	a = 20	P'a = 1.0	$X_T = 4.9920$

حل بایستی $X_T(P'a = 0.005), X_T(P'a = 0.5), X_T(P'a = 0.995)$ را محاسبه نمایم.

$$X_T = 4.9880 \rightarrow P'a = 0.425$$

$$\rightarrow X_T(P'a = 0.5) = 4.98821$$

$$X_T = 4.9890 \rightarrow P'a = 0.775$$

$$Bias = 4.99 - (4.9882) = 0.0018$$

$$X_T = 4.9837 \rightarrow P'a = 0$$

$$\rightarrow X_T(P'a = 0.005) = 4.9838$$

$$X_T = 4.9840 \rightarrow P'a = 0.025$$

$$X_T = 4.9900 \rightarrow P'a = 0.975$$

$$\rightarrow X_T(P'a = 0.995) = 4.9916$$

$$X_T = 4.9920 \rightarrow P'a = 1.0$$

$$Repeatability = \frac{4.9916 - 4.9838}{1.08} = 0.00726$$

$$\tau = \frac{31.3 * 0.0018}{0.00726} = 7.717$$

چون مقدار τ از **2.093** بیشتر است می‌توان ادعا نمود که تمایل اختلاف قابل ملاحظه‌ای با صفر دارد و غیر قابل قبول می‌باشد.

S.G.S.Co.

فصل ۳: تست‌های مخرب و غیر تکرارپذیر

در این فصل سعی داریم تا با توجه به فنون توضیح داده شده در فصول قبلی در بعضی حالات تجزیه و تحلیل سیستم اندازه‌گیری را تست‌های مخرب و غیر تکرارپذیری تعمیم دهیم. به همین منظور در مورد اینگونه سیستم‌ها، مطالعات و تحلیل را به ۲ بخش برای ثبات و تغییرپذیری تقسیم می‌نمائیم.

۳-۱-۲- ثبات

۳-۲-۲- حالت اول (S_1):

• شرایط:

- اندازه‌گیری روی قطعات قابل تکرار نبوده، پس این مطالعه می‌تواند برای تست‌های مخرب و سیستم‌های غیر تکرارپذیری مورد استفاده قرار گیرد.
- دوره عمر مشخصه قطعه مورد مطالعه شناخته شده است و این دوره بیشتر از زمان مطالعه سیستم اندازه‌گیری بوده و مشخصه مورد نظر در طول این دوره تغییر نمی‌کند.
- قطعات گستره مورد استفاده نوسانات فرآیند را برای آن مشخصه پوشش می‌دهند.
- ارتباط خطی سیستم اندازه‌گیری شناخته شده است (مستند شده است)، این ارتباط خطی برای کل گستره مورد انتظار مشخصه در دسترس است و چنانچه ارتباط خطی وجود ندارد، داده‌ها بایستی تنظیم و تصحیح گردند.

• روش تحلیل:

- به وسیله اندازه‌گیری ($n \geq 30$) قطعه، نوسانات کل و توانمندی فرآیند را مشخص نمایید. (۳۰ قطعه یکبار اندازه‌گیری) این مطالعه مقدماتی همچنین بایستی شامل بررسی سازگاری قطعات از یک توزیع یکسان باشد.
- از آنجائیکه $\sigma_{Total}^2 = \sigma_{PROCESS}^2 + \sigma_{Measurement}^2$ ، حال تعداد یک یا چند قطعه را از یک نمونه جداگانه، انتخاب نموده به وسیله نمودار (X, MR) و (\bar{X}, R) (با استفاده از محدودهای کنترل مشخص شده در مطالعه مقدماتی) تحت کنترل بودن را بررسی می‌نمائیم.
- با توجه به اینکه قطعات از یک نمونه جداگانه می‌باشند، هر گونه الگوی عدم کنترل نشاندهنده تغییر در سیستم اندازه‌گیری می‌باشد.

۳-۱-۲-۲- حالت ۲ (S_2):

• شرایط:

- دوره عمر مشخصه قطعه مورد مطالعه شناخته شده است و این دوره بیشتر از زمان مطالعه سیستم اندازه‌گیری بوده و مشخصه مورد نظر در طول این دوره تغییر نمی‌کند.
- قطعات گستره مورد استفاده نوسانات فرآیند را برای آن مشخصه پوشش می‌دهند.
- قطعات بصورت m بخش جداگانه هستند. در صورتیکه $m=2$ باشد این حالت را مطالعه تست و تست مجدد می‌گویند.

- روش تحلیل:
- از روش نمودار برد (Range chart) برای بررسی سازگاری فرآیند اندازه‌گیری استفاده نمایید (که با سازگاری داخل بچ (m)، آمیخته شده است)
- خطای سیستم اندازه‌گیری $\sigma_e = \bar{R}/d_2^*$ را محاسبه نموده و آنرا با σ_E (تکرارپذیری) مقایسه نمایید.
- با توجه به اینکه $\sigma_e^2 = \sigma_E^2 + \sigma_{btwn}^2$ پس خطای کل اندازه‌گیری يك کران بالا برای σ_E^2 می‌باشد، لذا می‌توان از این خطا برای بررسی سازگاری فرآیند تولید استفاده نمود.

۱-۲- تغییرپذیری

۱-۲-۲-۱- حالت ۱ (V1)

- شرایط
- دوره عمر مشخصه قطعه مورد مطالعه شناخته شده است و این دوره بیشتر از زمان مطالعه سیستم اندازه‌گیری بوده و مشخصه مورد نظر در طول این دوره تغییر نمی‌کند.
- قطعات گستره مورد استفاده نوسانات فرآیند را برای آن مشخصه پوشش می‌دهند.
- قطعات بصورت $m=2$ بخش جداگانه هستند، این حالت را مطالعه تست و تست مجدد می‌گویند.
- روش تحلیل
- تکرارپذیری را برابر با خطای کل اندازه‌گیری در نظر بگیرید. $\sigma_E = \sigma_e$
- با توجه به تکرار ۲ برای هر قطعه تخمین، ارتباط خطی با مقایسه نقاط با خط $X=Y$ امکانپذیر خواهد بود

۱-۲-۲-۲- حالت ۲ (V2)

- شرایط:
- دوره عمر مشخصه قطعه مورد مطالعه شناخته شده است و این دوره بیشتر از زمان مطالعه سیستم اندازه‌گیری بوده و مشخصه مورد نظر در طول این دوره تغییر نمی‌کند.
- قطعات گستره مورد استفاده نوسانات فرآیند را برای آن مشخصه پوشش می‌دهند.
- قطعات به صورت m بخش جداگانه هستند.
- تحلیل
- استفاده از روش **GRR** (هر قطعه m تکرار)
- استفاده از روش **ANOVA**

ارزیابی اجرای MSA

در فصول گذشته سعی شد، تا با استفاده از روشهای آماری چگونگی ارزیابی و تحلیل سیستم های اندازه گیری باتوجه به شاخص های تعریف شده برای سیستم های کمی و وضعی (variable Attribute &) تشریح گردد. در این فصل با فرض به اینکه ممیز یا ارزیاب با مفاهیم آشنا شده، مراحل ارزیابی و چک لیست های ممیزی برای MSA تشریح می گردد:

۴-۱-۱-۱-۴- مراحل ارزیابی سیستم های اندازه گیری:

۴-۱-۱-۲- شناسایی سیستم های اندازه گیری در یک سازمان :

اولین و مهمترین گام برای شروع ارزیابی MSA، در ابتدا شناسایی سیستم های اندازه گیری موجود در یک سازمان می باشد. از آنجائیکه معمولاً در صنایع خودرو و قطعه سازی کلیه دستورالعمل های بازرسی در قالب طرح کنترل (Control Plan) تهیه می شود بهترین مرجع، برای شناسایی این سیستم ها بررسی و مرور کردن طرح های کنترل که توسط سازمان تهیه شده است می باشد. نکته قابل بررسی این است که ممیزبایستی اطمینان حاصل نماید که :

الف) سیستم های اندازه گیری تعریف شده یا کلاً بازرسی های تعریف شده الزامات مشتری را پوشش دهد.

ب) روشها و ابزار اندازه گیری تعیین شده متناسب با پارامتر مورد اندازه گیری باشد.

۴-۱-۲-۲- تعریف سیستم های اندازه گیری و پوشش طرح کنترل توسط آنها:

در این گام ممیز سعی می نمایند تا یک یاچند مشخصه مورد اندازه گیری را در طرح های کنترل انتخاب و بررسی نماید که سازمان آیا در قالب تعریف سیستم های اندازه گیری قادر به پوشش دادن توانمندی برای مشخصه مورد نظر می باشد یا خیر. در این مرحله ارزیابان با تجربه سعی دارند که روی مشخصه های مهم محصول - فرآیند یا اندازه گیری هایی که با تolerانس های خیلی تنگ تعریف شده اند تمرکز نمایند دقت نمایند که در این مرحله الزامات ارزیابی همواره بعنوان مرجع حاکم بر قضاوت ارزیاب می باشد بعنوان مثال در استاندارد ISO TS -16949 الزام تحلیل سیستم اندازه گیری برای همه سیستم های اندازه گیری تعریف شده در طرح کنترل می باشد در حالیکه در چک لیست ساپکو ۷۹ تمرکز روی ایستگاههایی است که SPC اجرا می شود.

لحاظ داشتن موارد زیر در این مرحله بسیار مفید خواهد بود:

الف) دسته بندی و گروه بندی سیستم های اندازه گیری از طرف سازنده بلامانع است، مگر اینکه تجربه یا شواهد نشاندهنده این باشد که این گروه بندی غیرمنطقی است و نمی توان نتایج بدست آمده را به همه اعضای گروه تعریف شده تعمیم داد.

ب) در دسته بندی یا گروه بندی (به خصوص برای محاسبات شاخص های دقت)، منطقی است که روی تنگترین تolerانس های تعریف شده این مطالعات انجام پذیرد. (مگر اینکه توجیه دیگری ارائه گردد).

ج) چنانچه بازرسی یا اپراتور اندازه گیری نقشی در تخصیص عدد به قطعه مورد اندازه گیری، نداشته باشد می توان از محاسبات "تجدید پذیری" صرف نظر نمود. بسیاری از سازمانها در این مرحله اقدام به تهیه MSA PLAN می نمایند که در آن سیستم اندازه گیری و مطالعات آن تعریف شده است. در شکل زیر یک نمونه MSA PLAN ارائه می شود.

Attribute			Variable					Description	ID Code
E	PMR	PFA	STABL	LINER	BIAS	AV	EV		
			یکبار بعد از تعریف سیستم اندازه گیری	بعد از هر کالیبراسیون	-	بعد از هر کالیبراسیون و تعویض بازرسی	بعد از هر کالیبراسیون و تعویض بازرسی	تمام کولیس های ۰,۱ که توسط بازرسان QC آقایان علوی و حسینی برای اندازه گیری قطر خارجی بکار می رود - کولیس شماره XX	Calol
کالیبراسیون و تعویض اپراتور	کالیبراسیون و تعویض اپراتور	کالیبراسیون و تعویض اپراتور						نماد گیج های استوانه ای برو - نو که برای اندازه گیری قطرهای خارجی بکار می رود، اپراتور تولید تقوی. گیج ۷۷ با تنگ ترین تolerانس	GN08

۴-۱-۳- بررسی سوابق انجام MSA :

در این مرحله با توجه به نوع سیستم اندازه گیری (کمی یا وصفی) و الزامات استاندارد مرجع، ممیز بایستی با بررسی سوابق و البته تجارب شخصی در مورد کفایت و تناسب تحلیل های انجام شده تصمیم گیری نماید. لحاظ نمودن موارد زیر در این مرحله بسیار مفید خواهد بود.

الف) سیستم های اندازه گیری کمی:

۱) اولین و مهمترین بررسی روی سوابق و شروع آن معمولاً از بررسی مطالعات Stability می باشد. دقت نماید چون در مطالعه ثبات هدف بررسی اثر تغییرات زمان روی چگونگی داده های اندازه گیری می باشد معمولاً در اندازه گیری های ابعادی با تolerانس های بالا، اندازه

گیری های مشخصه های وزن، الکتریکی و ... دارای ثبات خواهد بود. مگر اینکه اشکالاتی در نحوه کالیبراسیون ابزار اندازه گیری موجود باشد.

(۲) در بررسی شاخص های BIAS و یا LINERITY دقت نمایید که مقادیر RV چگونه انتخاب شده است بعضی از شرکتها به اشتباه مقدار RV را از روی خود ابزار مورد مطالعه محاسبه می نمایند.

برای این منظور بهتر است از ابزار اندازه گیری با دقت بالاتر یا خدمات مراکز کالیبراسیون معتبر استفاده نمود.

(۳) در بررسی شاخص های EV و AV دقت نمایید که معمولاً ابزار اندازه گیری در حیطه ریزنگری خود خطای (R_gR) دارند. چنانچه مقدار EV بزرگتر از AV باشد به احتمال خیلی زیاد ابزار اندازه گیری مشکل کالیبراسیون دارد و اگر AV بزرگتر از EV باشد بازرسان از روش یکسانی برای انجام اندازه گیری استفاده نمی نمایند. چنانچه مقدار AV منفی شود توجه داشته باشید به این معنی است که خطای تکرار پذیری در مقایسه با خطای تجدید پذیری بسیار زیاد بوده و فعلاً می توان از بررسی خطای تجدید پذیری صرفنظر نمود

(۴) در مورد محاسبه خطای (R_rR) % دقت نمایید، چنانچه از TV (نوسانات کل) برای محاسبه (R_gR) % استفاده شده است بایستی حداقل ۵۰ درصد نقاط (میانگین های اندازه گیری قطعه/بازرس) خارج از محدوده های کنترل میانگین ها قرار گیرد در غیر اینصورت TV بدست آمده معتبر نیست (چون PV در مقایسه با خطاهای تکرار پذیری کوچک است) (۵) به شاخص ndc محاسبه شده دقت نمایید که بایستی $ndc \geq 5$ باشد.

ب) سیستم های اندازه گیری وصفی :

(۱) در مورد سیستم های وصفی مهمترین و شاید سخت ترین مرحله تعیین RV قطعات مرجع می باشد. برای اندازه گیری های کمی که وصفی شده اند می توان از مراکز کالیبراسیون معتبر استفاده نمود. برای سایر مشخصه های وصفی مثل صدادر بودن گیربگس، شید رنگ و ... می توان از مراجع که به تایید مشتری یا واحد فنی و مهندسی و ... رسیده است استفاده نمود.

(۲) در بسیاری از فرآیندها ممکن است عملاً تولید یا تهیه قطعات معیوب امکانپذیر نباشد. (در یک فرآیند خشن تراشی با توجه به فیکسچر طراحی شده همیشه طول قطر قطعات بیشتر از مقدار LSL بوده و به هیچوجه امکان ندارد که کوچکتر از تolerانس پائینی باشد) در اینصورت با توجه به مشاهدات ممیز، بررسی سوابق (نتایج بازرسی، CPK و...) / می توان از محاسبات و بررسی PMR و PFA برای بعضی از قطعات رد صرفنظر نمود.

۴-۱-۴- انجام اقدامات اصلاحی برای سیستم های اندازه گیری تا حصول نتیجه

در این مرحله با توجه به نتایج بدست آمده در مطالعات MSA می بایست سازمان اقدامات اصلاحی خود را در قالب طرحها و پروژه های تعریف شده ارائه نموده و سوابق آنرا به ممیز نشان دهد اقدامات اصلاحی می تواند شامل موارد زیر باشد.

- آموزش بازرسان و قراردادن قطعات مرجع، عکس و... برای شناسائی صحیح متغیرهای وصفی

- تغییر یا بهبود ابزار اندازه گیری

- تغییر یا بهبود روش اندازه گیری

دقت نمائید که معیارهای فوق می تواند (با توجه به مرجع مشتری) مبنایی برای تصمیم گیری در مورد مناسب بودن یا نبودن یک سیستم اندازه گیری باشد.

الف) تحت کنترل بودن نمودار میانگین و بردها در نمودار ثبات (بخصوص میانگین)

ب) برقرار بودن تساوی زیر برای گرایش :

$$BIAS - \left[\frac{d_2 \sigma_b}{d^*} (T_{V,1-a/2}) \right] \leq 0 \leq Bias + \left[\frac{d_2 \sigma_b}{d^*} (T_{V,1-a/2}) \right]$$

ج) برقراری تساویهای زیر برای بررسی ارتباط خطی:

$$|t_a| \leq t_{gm-2,1-a/2}$$

$$|t_a| \leq t_{gm-2,1-a/2}$$

د) کوچک بودن خطای (R,R) نسبت تolerانس طراحی یا فرآیند

$$\%(R,R) \leq 10\%$$

و) برای مشخصه های وصفی بایستی شاخص های PFA و PMR و E مقادیر زیر را داشته باشند.

$$E \geq 90\%$$

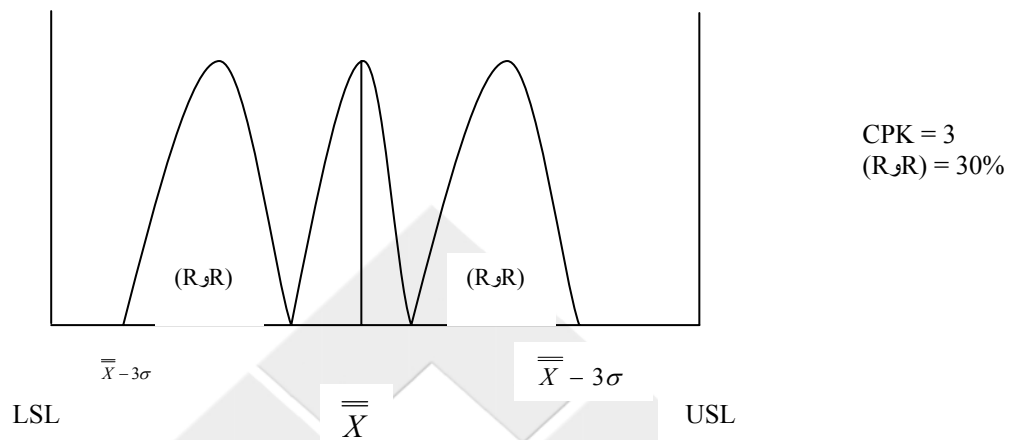
$$PMR \leq 2\%$$

$$PFA \leq 5\%$$

۴-۲- یک قانون نانوشته در MSA :

در بحث تجزیه و تحلیل سیستم های اندازه گیری متوجه شدیم که هدف غایی و نهایی MSA جلوگیری از ارسال محصول نامنطبق برای مشتری (عدم شناسایی قطعه رد) که منجر به نارضایتی وی می گردد و البته توانایی در شناسایی صحیح قطعات سالم (عدم شناسایی قطعه قبول که منجر به ضرر درون سازمانی می شود) می باشد. هر چه خطاهای دقت و صحت در این زمینه بیشتر باشند قدر مسلم ریسکهای تعریف شده بیشتر خواهد بود. بدیهی است در یک بررسی اجمالی چنانچه توانمندی فرآیند بالا باشد (احتمال وجود قطعه نامنطبق کم باشد) با وجود خطای اندازه گیری زیاد، کماکان ریسک ارسال محصول نامنطبق برای مشتری کم خواهد بود (به دلیل

احتمال کم وجود قطعه نامنطبق). تئوری بیز (Bayes) که در این دوره به آن پرداخته شده سعی داشت تا به نوعی این موضوع را اثبات نماید. شکل زیر این موضوع را نشان می دهد.



دقت نمایید که در چنین مواردی به دلیل توانمندی بالای فرآیند، کماکان با وجود خطای (R,R) زیاد، احتمال رد قطعه قبول و قبول قطعه رد بسیار کم خواهد بود، شاید فرمول زیر بتواند یک محک مناسبی در موارد اینچنینی باشد.

$$\%(R, R) \text{ تعدیل شده} = \frac{\%(R, R) \cdot CPK}{3} = \frac{30\% \cdot 3}{3} = 10\%$$

S.G.S.Co.

پیوست ۱

قضیه بیز:

فرض کنید که K پیشامد A_1, A_2, \dots, A_K داده شده باشند به طوریکه

فضای نمونه $S =$

$$A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_K = S$$

$$A_i \cap A_j = \Phi \forall i \neq j$$

در اینصورت برای هر پیشامد E داریم:

$$P(A_j | E) = \frac{P(E | A_j)P(A_j)}{\sum_{i=1}^K P(E | A_i)P(A_i)}$$

توضیح $P(B|A)$ را بخوانید "احتمال پیشامد B به شرط A و این برابر است با احتمال وقوع پیشامد B به شرط آنکه قبلاً A رخ داده باشد که به طریق زیر محاسبه می‌شود:

$$p(B | A) = \frac{P(B \cap A)}{P(A)}$$

S.G.S.Co.

n	$t_{.995}$	$t_{.99}$	$t_{.975}$	$t_{.95}$	$t_{.90}$	$t_{.80}$	$t_{.75}$	$t_{.70}$	$t_{0.60}$	$t_{0.55}$
1	63.66	31.82	12.71	6.31	3.08	1.376	1.000	.727	.825	.158
2	9.92	6.96	4.30	2.92	1.89	1.061	.816	.617	.289	.142
3	5.84	4.54	3.18	2.35	1.64	.978	.765	.584	.277	.137
4	4.60	3.75	2.78	2.13	1.53	.941	.741	.569	.271	.134
5	4.03	3.36	2.57	2.02	1.48	.920	.727	.559	.267	.132
6	3.71	3.14	2.45	1.94	1.44	.906	.718	.553	.265	.131
7	3.50	3.00	2.36	1.90	1.42	.896	.711	.549	.263	.130
8	3.36	2.90	2.31	1.86	1.40	.889	.706	.546	.262	.130
9	3.25	2.82	2.26	1.83	1.38	.883	.703	.543	.261	.129
10	3.17	2.76	2.23	1.81	1.37	.879	.700	.542	.260	.129
11	3.11	2.72	2.20	1.80	1.36	.876	.697	.540	.260	.129
12	3.06	2.68	2.18	1.78	1.36	.873	.695	.539	.259	.128
13	3.01	2.65	2.16	1.77	1.35	.870	.694	.538	.259	.128
14	2.98	2.62	2.14	1.76	1.34	.868	.692	.537	.258	.128
15	2.95	2.60	2.13	1.75	1.34	.866	.691	.536	.258	.128
16	2.92	2.58	2.12	1.75	1.34	.865	.690	.535	.258	.128
17	2.90	2.57	2.11	1.74	1.33	.863	.689	.534	.257	.128
18	2.88	2.55	2.10	1.73	1.33	.862	.688	.534	.257	.127
19	2.86	2.54	2.09	1.73	1.33	.861	.688	.533	.257	.127
20	2.84	2.53	2.09	1.72	1.32	.860	.687	.533	.257	.127
21	2.83	2.52	2.08	1.72	1.32	.859	.686	.532	.257	.127
22	2.82	2.51	2.07	1.72	1.32	.858	.686	.532	.256	.127
23	2.81	2.50	2.07	1.71	1.32	.858	.685	.532	.256	.127
24	2.80	2.49	2.06	1.71	1.32	.857	.685	.531	.256	.127
25	2.79	2.48	2.06	1.71	1.32	.856	.684	.531	.256	.127
26	2.78	2.48	2.06	1.71	1.32	.856	.684	.531	.256	.127
27	2.77	2.47	2.05	1.70	1.31	.855	.684	.531	.256	.127
28	2.76	2.47	2.05	1.70	1.31	.855	.683	.530	.256	.127
29	2.76	2.46	2.04	1.70	1.31	.854	.683	.530	.256	.127
30	2.75	2.46	2.04	1.70	1.31	.854	.683	.530	.256	.127
40	2.70	2.42	2.02	1.68	1.30	.851	.681	.529	.255	.126
60	2.66	2.39	2.00	1.67	1.30	.848	.679	.527	.254	.126
120	2.62	2.36	1.98	1.66	1.29	.845	.677	.526	.254	.126
∞	2.58	2.33	1.96	1.645	1.29	.842	.674	.524	.258	.126



S.G.S.Co.

Table Of Constants and Formulas for Control Charts

Subgroup Size	\bar{X} and R Charts*				\bar{X} and S Charts*			
	Chart for Averages (\bar{X})	Chart for Ranges (R)			Chart for Averages (\bar{X})	Chart for Standard Deviations (S)		
	Factors for Control Limits	Divisors for Estimate of Standard Deviation	Factors for Control Limits		Factors for Control Limits	Divisors for Estimate of Standard Deviation	Factors for Control Limits	
n	A ₂	d ₂	D ₃	D ₄	A ₃	C ₄	B ₃	B ₄
2	1.880	1.128	-	3.267	2.659	0.7979	-	3.267
3	1.023	1.693	-	2.574	1.954	0.8862	-	2.568
4	0.729	2.059	-	2.282	1.628	0.9213	-	2.266
5	0.577	2.326	-	2.114	1.427	0.9400	-	2.086
6	0.483	2.534	-	2.004	1.287	0.9515	0.030	1.970
7	0.419	2.704	0.076	1.924	1.182	0.9594	0.118	1.882
8	0.373	2.847	0.136	1.864	1.099	0.9650	0.185	1.815
9	0.337	2.970	0.184	1.816	1.032	0.9693	0.239	1.761
10	0.308	3.078	0.223	1.777	0.975	0.9727	0.284	1.716
11	0.285	3.173	0.256	1.744	0.927	0.9754	0.321	1.679
12	0.266	3.258	0.283	1.717	0.886	0.9776	0.354	1.646
13	0.249	3.336	0.307	1.693	0.850	0.9794	0.382	1.618
14	0.235	3.407	0.328	1.672	0.817	0.9810	0.406	1.594
15	0.223	3.472	0.347	1.653	0.789	0.9823	0.428	1.572
16	0.212	3.532	0.363	1.637	0.763	0.9835	0.448	1.552
17	0.203	3.588	0.373	1.622	0.739	0.9845	0.466	1.534
18	0.194	3.640	0.391	1.608	0.718	0.9854	0.482	1.518
19	0.187	3.689	0.403	1.597	0.698	0.9862	0.497	1.503
20	0.180	3.735	0.415	1.585	0.680	0.9869	0.510	1.490
21	0.173	3.778	0.425	1.575	0.663	0.9876	0.523	1.477
22	0.167	3.819	0.434	1.566	0.647	0.9882	0.534	1.466
23	0.162	3.858	0.443	1.557	0.633	0.9887	0.545	1.455
24	0.157	3.895	0.451	1.548	0.619	0.9892	0.555	1.445
25	0.153	3.931	0.459	1.541	0.606	0.9896	0.565	1.435

$$UCL_{\bar{X}} LCL_{\bar{X}} = \bar{X} \pm A_2 \bar{R}$$

$$UCL_R = D_4 \bar{R}$$

$$LCL_R = D_3 \bar{R}$$

$$\hat{\sigma} = \bar{R} / d_2$$

$$UCL_{\bar{X}} LCL_{\bar{X}} = \bar{X} \pm A_3 \bar{s}$$

$$UCL_s = B_4 \bar{s}$$

$$LCL_s = B_3 \bar{s}$$

$$\hat{\sigma} = \bar{s} / c_4$$

* From ASTM publication STP-15D, Manual on the Presentation of Data and Control Chart Analysis, 1976; pp 134-136. Copyright ASTM, 1916 Race Street, Philadelphia, Pennsylvania 19103. Reprinted, with permission.

Subgroup Size	Median Charts **				Charts for Individuals*			
	Chart for Medians (\bar{X})	Chart for Ranges (R)			Chart for Individuals (X)	Chart for Ranges (R)		
	Factors for Control Limits	Divisors for Estimate of Standard Deviation	Factors for Control Limits		Factors for Control Limits	Divisors for Estimate of Standard Deviation	Factors for Control Limits	
	\tilde{A}_2	D ₂	D ₃	D ₄	E ₂	D ₂	D ₃	D ₄
2	1.880	1.128	-	3.267	2.660	1.128	-	3.267
3	1.187	1.693	-	2.574	1.772	1.693	-	2.574
4	0.796	2.059	-	2.282	1.457	2.059	-	2.282
5	0.691	2.326	-	2.114	1.290	2.326	-	2.114
6	0.548	2.534	-	2.004	1.184	2.534	-	2.004
7	0.508	2.704	0.076	1.924	1.109	2.704	0.076	1.924
8	0.433	2.847	0.136	1.864	1.054	2.847	0.136	1.864
9	0.412	2.970	0.184	1.816	1.010	2.970	0.184	1.816
10	0.362	3.078	0.223	1.777	0.975	3.078	0.223	1.777

$$UCL_{\bar{X}} LCL_{\bar{X}} = \bar{X} \pm \tilde{A}_2 \bar{R}$$

$$UCL_R = D_4 \bar{R}$$

$$LCL_R = D_3 \bar{R}$$

$$\hat{\sigma} = \bar{R} / d_2$$

$$UCL_{X_1} LCL_{X_1} = \bar{X} \pm E_2 \bar{R}$$

$$UCL_R = D_4 \bar{R}$$

$$LCL_R = D_3 \bar{R}$$

$$\hat{\sigma} = \bar{R} / d_2$$

* From ASTM publication STP-15D, Manual on the Presentation of Data and Control Chart Analysis, 1976; pp 134-136. Copyright ASTM, 1916 Race Street, Philadelphia, Pennsylvania 19103. Reprinted, with permission.

** \tilde{A}_2 Factors Derived from ASTM-STP-15D Data and Efficiency Tables Contained in W.J. Dixon and F.J. Massey, Jr., Introduction to Statistical Analysis, Third Edition, 1969; Page 488; McGraw-Hill Book Company, New York.

APPRAISER/T RIAL#	PART										AVERAGE
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1. A 1											
2. 2											
3. 3											
4. Average											$\bar{X}_a =$
5. Range											$\bar{R}_a =$
6. B 1											
7. 2											
8. 3											
9. Average											$\bar{X}_b =$
10. Range											$\bar{R}_b =$
11. C 1											
12. 2											
13. 3											
14. Average											$\bar{X}_c =$
15. Range											$\bar{R}_c =$
16. Part Average (\bar{X}_p)											$\bar{X} =$ $R_p =$
17. $(\bar{R}_a = \quad + \bar{R}_b = \quad + \bar{R}_c = \quad) / [\# \text{ OF APPRAISERS} = \quad] =$											$\bar{R} =$
18. $[\text{Max } \bar{X} = \quad] - [\text{Min } \bar{X} = \quad] = \bar{X}_{DIFF}$											
19.* $[\bar{R} = \quad] * [D_4 = \quad] = USL_R$											
20.* $[\bar{R} = \quad] * [D_3 = \quad] = LCL_R$											
<p>*$D_4 = 3.27$ for 2 trials and 2.58 for 3 trials; $D_3 = 0$ for up to 7 trials. UCL_R represents the limit of individual R's Circle those that are beyond this limit. Identify the cause and correct. Repeat these readings using the same appraiser and unit as originally used or discard values and re-average and recompute R and the limiting value from the remaining observations.</p> <p>Notes: ----- -----</p>											

Part No. & Name:	Gage Name:	Date: Performed by:
Characteristics:	Gage No:	
Specifications:	Gage Type:	
Form data sheet: $\bar{R} =$	$\bar{X}_{DIFF} =$	$R_p =$

Measurement Unit Analysis	% Total Variation (TV)																				
Repeatability- Equipment Variation (EV) $EV = \bar{R} * K_1$ $= \underline{\quad} * \underline{\quad}$ $= \underline{\quad}$ <table border="1" style="float: right; margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">Trials</th> <th style="width: 10%;">K₁</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">4.56</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">3.05</td> </tr> </tbody> </table>	Trials	K ₁	2	4.56	3	3.05	$\%EV = 100[EV / TV]$ $= 100[\underline{\quad} / \underline{\quad}]$ $= \underline{\quad} \%$														
Trials	K ₁																				
2	4.56																				
3	3.05																				
Repeatability- Appraiser Variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} * K_2)^2 - (EV^2 / nr)}$ $= \sqrt{(\underline{\quad} * \underline{\quad})^2 - (\underline{\quad}^2 / \underline{\quad} * \underline{\quad})}$ $= \underline{\quad}$ <table border="1" style="float: right; margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">Appraisers</th> <th style="width: 10%;">2</th> <th style="width: 10%;">3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">K₂</td> <td style="text-align: center;">3.65</td> <td style="text-align: center;">2.70</td> </tr> </tbody> </table>	Appraisers	2	3	K ₂	3.65	2.70	$\%AV = 100[AV / TV]$ $= 100[\underline{\quad} / \underline{\quad}]$ $= \underline{\quad} \%$ <p>n= number of parts r=number of trials</p>														
Appraisers	2	3																			
K ₂	3.65	2.70																			
Repeatability & Reproducibility (R&R) $R \& R = \sqrt{(EV^2 + AV^2)}$ $= \sqrt{(\underline{\quad}^2 + \underline{\quad}^2)}$ $= \underline{\quad}$ <table border="1" style="float: right; margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">Parts</th> <th style="width: 10%;">K₃</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">3.65</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">2.70</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">2.30</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">5</td> <td style="text-align: center;">2.08</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">1.93</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">7</td> <td style="text-align: center;">1.82</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">8</td> <td style="text-align: center;">1.74</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">9</td> <td style="text-align: center;">1.67</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">1.62</td> </tr> </tbody> </table>	Parts	K ₃	2	3.65	3	2.70	4	2.30	5	2.08	6	1.93	7	1.82	8	1.74	9	1.67	10	1.62	$\%R \& R = 100[R \& R / TV]$ $= 100[\underline{\quad} / \underline{\quad}]$ $= \underline{\quad} \%$
Parts	K ₃																				
2	3.65																				
3	2.70																				
4	2.30																				
5	2.08																				
6	1.93																				
7	1.82																				
8	1.74																				
9	1.67																				
10	1.62																				
Part Variation (PV) $PV = R_p * K_3$ $= \underline{\quad} * \underline{\quad}$ $= \underline{\quad}$	$\%PV = 100[PV / TV]$ $= 100[\underline{\quad} / \underline{\quad}]$ $= \underline{\quad} \%$																				
Total Variation (TV) $TV = \sqrt{R \& R^2 + PV^2}$ $= \sqrt{(\underline{\quad}^2) + (\underline{\quad}^2)}$ $= \underline{\quad}$																					

All calculations are based upon predicting 5.15 sigma (99.0% of the area under the normal distribution curve).

K is 5.15/ d₂* where d₂* is dependent on the number of trials (m) and the number of parts times the number of appraisers (g) which is assumed to be greater than 15. d₂* values are form Table 2, p. 29.

AV-If a negative value is calculated under the square root sign, the appraiser variation (AV) defaults to zero (0).

K₂ is 5.15/ d₂* where d₂* is dependent on the number of appraisers (m) and (g) is 1, since there is only one range calculation.

K₃ is 5.15/ d₂* where d₂* is dependent on the number of parts (m) and (g) is 1, since there is only one range calculation.

d₂* is obtained form Table D₃ "Quality Control and industrial Statistics," A.J Duncan. (See Reference List, 4.)

APPRAISER TRIAL #	PART															APPRAISER AVG	
	1			2			3			4			5				
	MAX	MIN	RGE	MAX	MIN	RGE	MAX	MIN	RGE	MAX	MIN	RGE	MAX	MIN	RGE		
1.A 1																	
2. 2																	
3. 3																	
4. Average (All)																	
5. Range																	
6.B 1																	
7. 2																	
8. 3																	
9. Average (All)																	
10. Range																	
11.C 1																	
12. 2																	
13. 3																	
14. Average (All)																	
15. Range																	$R_0 =$
16.Part Average \bar{X}_p																$R_p =$	
17. AVE OF WIN (\bar{X}_{WIN})																$R_{x_{win}} =$	
18.	$\bar{R}_{REPEAT} = \frac{\sum \text{RANGE(LINES 5, 10, \&15)}}{\# \text{RANGEREADINGS}} = \text{(MAX/MIN RANGES ONLY)}$																
19.	$[Max \bar{X} =] - [Min \bar{X} =] = \bar{X}_{DIFF}$																
20.*	$\bar{R} =] * [D_4 =] = USL_R$																
21.*	$\bar{R} =] * [D_3 =] = LCL_R$																
* $D_4 = 3.27$ for 2 trials and 2.58 for 3 trials; $D_3 = 0$ for up to 7 trials. UCL_R represents the limit of individual R's Circle those that are beyond this limit. Identify the cause and correct. Repeat these readings using the same appraiser and unit as originally used or discard values and re-average and recompute R and the limiting value from the remaining observations.																	
Notes:																	

Part No. & Name:	Gage Name:	Date:
Characteristics:	Gage No:	Performed by:
Specifications:	Gage Type:	_____

Form data sheet: $\bar{R} =$ $\bar{X}_{DIFF} =$ $R_p =$

Measurement Unit Analysis	% Total Variation (TV)																				
Repeatability- Equipment Variation (EV) $EV = \bar{R} * K_1$ $= \underline{\quad} * \underline{\quad}$ $= \underline{\quad}$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>Trials</th> <th>K₁</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>4.56</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>3.05</td> </tr> </tbody> </table>	Trials	K ₁	2	4.56	3	3.05	$\%EV = 100[EV / TV]$ $= 100[\underline{\quad} / \underline{\quad}]$ $= \underline{\quad} \%$														
Trials	K ₁																				
2	4.56																				
3	3.05																				
Repeatability- Appraiser Variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} * K_2)^2 - (EV^2 / nr)}$ $= \sqrt{(\underline{\quad} * \underline{\quad})^2 - (\underline{\quad}^2 / \underline{\quad} * \underline{\quad})}$ $= \underline{\quad}$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>Appraisers</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K₂</td> <td>3.65</td> <td>2.70</td> </tr> </tbody> </table>	Appraisers	2	3	K ₂	3.65	2.70	$\%AV = 100[AV / TV]$ $= 100[\underline{\quad} / \underline{\quad}]$ $= \underline{\quad} \%$ <p>n= number of parts r=number of trials</p>														
Appraisers	2	3																			
K ₂	3.65	2.70																			
Repeatability & Reproducibility (R&R) $R \& R = \sqrt{(EV^2 + AV^2)}$ $= \sqrt{(\underline{\quad}^2 + \underline{\quad}^2)}$ $= \underline{\quad}$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>Parts</th> <th>K₃</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>3.65</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>2.70</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>2.30</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>2.08</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>1.93</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>1.82</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>1.74</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>1.67</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>1.62</td> </tr> </tbody> </table>	Parts	K ₃	2	3.65	3	2.70	4	2.30	5	2.08	6	1.93	7	1.82	8	1.74	9	1.67	10	1.62	$\%R \& R = 100[R \& R / TV]$ $= 100[\underline{\quad} / \underline{\quad}]$ $= \underline{\quad} \%$
Parts	K ₃																				
2	3.65																				
3	2.70																				
4	2.30																				
5	2.08																				
6	1.93																				
7	1.82																				
8	1.74																				
9	1.67																				
10	1.62																				
Part Variation (PV) $PV = R_p * K_3$ $= \underline{\quad} * \underline{\quad}$ $= \underline{\quad}$	$\%PV = 100[PV / TV]$ $= 100[\underline{\quad} / \underline{\quad}]$ $= \underline{\quad} \%$																				
Within- Part Variation (WIV) WIV= $WHERE X_{WIV} = \frac{\sum \bar{X}_{WIV} (LINE 17)}{\# X_{WIN} READINGS} = \underline{\quad} = \underline{\quad}$ $EV_{WIN} = \left(\frac{\sum R_{RGE} (LINES 5.10, \& 15)}{\# R_{RGE} READINGS} \right) * K_1 = \underline{\quad} * \underline{\quad} = \underline{\quad}$	$\%WIV = 100[WIV / TV]$ $= 100[\underline{\quad} / \underline{\quad}]$ $= \underline{\quad} \%$																				
Total Variation (TV) $TV = \sqrt{(R, R^2) + PV^2 + WIV^2}$ $= \sqrt{(\underline{\quad})^2 + (\underline{\quad})^2 + (\underline{\quad})^2}$ $= \underline{\quad}$																					