PFMEA

تجزيه و تحليل حالات خطا و آثار آن **FMEA** ناميده مي شود. **FMEA** يك ابزار نظام يافته بر پايه كار تيمي است كه در تعريف، شناسايي، ارزيابي، پيشگيرانه، حذف يا كنترل علل و حالات و اثرات خطاهاي بالقوه در يك سيستم، فرايند، طرح يا خدمت بكار گرفته مي شود، پيش از آنكه محصول يا خدمت نهايي بدست مشتري برسد.

اهداف **FMEA**

1- جلوگيري از رخداد خطا
2- كمك در ايجاد و توسعه يك محصول، فرايند يا خدمتي جديد
3- ثبت پارامترها و شاخصها در طراحي و توسعه، فرايند يا خدمت

انواع **FMEA**

1- **FMEA** در طراحي **DFMEA (Design FMEA)**
2- **FMEA** در فرايند **PFMEA (Process FMEA)**
3- **FMEA** در سيستم SFMEA (System FMEA)
4- FMEA در خدمات Service FMEA

Process FMEA

موضوعات عمومي **PFMEA**

PFMEA تكنولوژي ها و روشهاي مختلف را جهت توليد خروجي موثر بكار مي گيرد.

- الزامات عملياتي فرايند
- توجه به نگهداري و تعميرات فرايند

ويژگيهايي كه در **PFMEA** مورد توجه هستند

- استاندارد سازي
- شرايط تست
- قابليت تعويض / جايگزيني
- دسترسي
- كنترلها
- اطلاعات فني و روشهاي اجرايي
- قابليت حمل و نقل
- قابليت توليد
- ايمني در فرايند
- قابليت اطميناني

- نرم افزار

سوالات مطرح شده در **PFMEA**

- چگونه اين فرايند نمي تواند آنچه را كه از آن انتظار مي رود، انجام دهد؟
- براي جلوگيري از بروز اين خطاهاي بالقوه در فرايند چه بايد كرد؟

ايجاد و ساختار **FMEA**

1- توصيف FMEA (سربرگ فرم)

FMEA بعنوان يك دفتر ثبت است و بايستي گاه براي توسعه محصولات جديد يا محصولات موجود مورد استفاده قرار بگيرد، لازم است كه سربرگ فرم FMEA داراي تمامي موارد زير باشد:

1- FMEA براي چه چيزي انجام مي شود؟
2- چه كساني در اجراي FMEA مشاركت دارند؟
3- FMEA بر چه مستنداتي اثر مي گذارد؟
4- در چه زماني شروع شده است؟
5- آخرين تغييرات در مستندات FMEA در چه زماني بوده است؟
6- چه كسي مسئول نگهداري مستنداد FMEA بوده و بازنگريهاي آن را تصويب مي نمايد؟

همچنين : خدمات / فرايند / طراحي / سيستم براي تعيين نوع FMEA به كار رفته.

عملكرد

تمامي عملكردهاي مربوطه چيستند؟

برخي مشكلات عمومي كه تعصبا در هنگام تكميل كردن اين ستون مشاهده مي گردد عبارتند از:

الف- تمامي عملكردها و وظايف ذكر نمي گردند

ب- شرح عملكرد بصورت واضح بيان نمي گردد

ج- شرح عملكرد دقيق نيست

توجه: استفاده از لغات كلي در اين مرحله و مراحل ديگر مجاز نمي باشد.

حالات خطا

روش رويكرد عملكرد: بررسي چگونگي بروز خطا در عملكردها و وظايف تعريف شده طرح، فرايند، سيستم يا خدمات كه در ستون قبلي آمده است.

اثرات

بيان كننده پيامدهاي خطا هستند. اگر اين خطا رخ دهد، مشتري چه چيزي را تجربه مي كند؟ سه مورد عمومي كه ممكن است در تشخيص درست پيامدهاي خطا ايجاد اشكالي كنند عبارتند از:

1- پيامد ذكر شده ممكن است دقيقا از ديدگاه مشتري بيان نشده باشد

2- احتمال دارد تداخل فيمابين اثرات موضعي، فراگير يا اثرهاي سطح بعدي به وجود آيد
3- توصيف فني اثر خطا ممكن است بازگو كننده تجربه واقعي مشتريان از اثر خطا نباشد

وخامت

وخامت اثرخطا چقدر است؟ وخامت اثر خطا را معمولا بين 1 تا 10 امتياز مي دهند
عدد بيشتر براي وخامت بيانگر موارد زير است:

- احتمال به خطر افتادن ايمني مشتري
- بالا بودن هزينه خطا در حد ايجاد چالش مالي براي سازمان

علل بروز خطا

براي هر خطاي بالقوه اي كه ذكر گرديده است، همه علل و دلايلي كه ممكن است به خاطر آنها خطا رخ دهد را در پاسخ به سوال «چه چيزي باعث بروز اين خطا مي شود؟» ليست نماييد.
برخي از اشكالات عمده در تشخيص و ثبت علل خطا در FMEA به شرح زير است:

1- برخي از روشهاي اجرايي براي FMEA، جستجو براي علل را محدود مي كنند مثلا ذكر عللي كه فقط مربوط به طراحي است
2- تمامي علل را در فرم FMEA وارد مي كنند

رخداد (وقوع)

پاسخ به سوال «اين خطا يا علل بروز خطا چقدر رخ مي دهد؟» منجر به تكميل ستون رخداد در جدول FMEA خواهد شد.

كنترلهاي جا ري

در ستون بعدي يعني احتمال كشف از تيم خواسته مي شود كه اثربخشي روش شناسايي خطا يا علل بروز خطا را ارزيابي نمايد و به صورت يك مقدار عددي بيان كند براي اين منظور لازم است كه تيم اطلاعات مناسبي درباره كنترلهاي جاري و موجود در سازمان در اختيار داشته باشد تا بتواند اثربخشي روش شناسايي، را ارزيابي كند.

كشف

احتمال اينكه بتوان خطا يا علل به وجود آورنده خطا را شناسايي كنيم چقدر است؟
مجزا براي احتمال كشف و شناسايي در FMEA وجود دارد:

1- احتمال اينكه خطا قبل از رسيدن به دست مشتري، مورد شناسايي قرار بگيرد چقدر است؟
2- احتمال اينكه خطا قبل از اينكه منجر به بروز فاصله شود؟ توسط مشتريان شناسايي گردد چقدر است؟

عدد اولويت ريسك (**RPN**)

RPN : حاصلضرب سه معياري است كه تاكنون درباره آنها بحث شد: عدد وخامت عدد رخداد و عدد احتمال كشف

اقدامات پيشنهادي

بمنظور تكميل ستون اقدامات پيشنهادي بايستي به اين سوالات پاسخ داد

1- براي جلوگيري از بروز خطاي بالقوه يا علل بالقوه آن چه بايد كرد؟
2- براي كاهش وخامت و پيامدهاي خطاي بالقوه چه بايد كرد؟
3- براي افزايش احتمال كشف خطا يا علت آن پيش از آنكه به دست مشتري برسد چه بايد كرد؟
4- به منظور اعلام هشدار به موقع به مشتريان، هنگام بروز مشكلات بالقوه اي كه پيامدهاي خطرناكي به دنبال دارند چه بايد كرد/

در مورد تاكيد سيستم براي تصميم گيري بر اقدامات پيشنهادي بايستي براي خطاهايي باشد كه داراي RPN هاي بالاتري هستند.

تبصره: براي تعريف اقدامات اصلاحي:

1- اولويت دهي به خطاهايي كه وخامت آنها بزرگتر يا مساوي 9 است و بررسي كردن اين خطاها
2- جهت پيشگيري
3- خطاهايي كه هم رخداد و هم وخامت بالايي دارند بايستي مورد توجه قرار بگيرند و براي اقدامات پيشنهادي در نظر گرفته شوند.

وضعيت اقدامات پيشنهادي

در اغلب مواقع اقدامات پيشنهادي انجام شده بر روي خطاهاي FMEA مورد ارزيابي دقيق قرار نمي گيرند و هزينه هاي صرف شده براي آنها در قبال كيفيت و قابليت اعتماد به دست آمده بررسي نمي گردند. چه بسا برخي از اقدامات پيشنهادي وقتي به طور كامل و دقيق به انجام مي رسند خود باعث بروز خطاهايي شوند كه اگر اثرات و نتايج اين اقدامات مورد ارزيابي قرار نگيرد از نظر دور خواهد ماند.

SPC

اگر قرار باشد يك محصول مشخصات مورد نظر مشتري را دارا باشد آنگاه اين محصول بايد به وسيله يك فرايند پايدار يا تكرارپذير توليد گردد. به عبارت ديگر، فرايند توليد بايد از تغييرپذيري كمي در طول مقدار هدف يا ابعاد اسمي مشخصات كيفي محصول برخوردار باشد. كنترل فرايند آماري (SPC)مجموعه اي قدرتمند و توانا از ابزار حل مشكل است كه در ايجاد ثبات در فرايند و بهوبد كارايي آن از طريق كاهش تغييرپذيري مفيد واقع مي گردد.

درSPC از هفت ابزار استفاده مي شود كه عبارتند از:

هيستوگرام، برگه كنترل، نمودار پارتو، نمودار علت و معلول، نمودار تمركز نقصها، نمودار پراكندگي، نمودار كنترل

دلايل استفاده از نمودارهاي كنترل:

- *بهبود كارايي:* استفاده صحيح از اين نمودارها موجب كاهش ضايعات و دوباره كاريها و افزايش بهره وري و ظرفيت توليد مي شوند.
- *جلوگيري در توليد قطعات معيوب:* استفاده از نمودارهاي كنترل سبب مي شود به جاي اينكه محصولات از لحاظ خوب يا بد جداسازي شوند، فرايند تحت كنترل قرار گيرد و از توليد قطعات معيوب جلوگيري شود.
- *بدست آوردن اطلاعاتي براي تنظيم صحيح فرايند:* روند نقاط بر روي نمودار كنترل اطلاعاتي را آشكار مي سازد كه ارزش خاصي براي مهندسين با تجربه دارد. وجود اين اطلاعات اجازه مي دهد تا تغييرات مورد نياز جهت بهبود عملكرد فرايند اجرا شود.
- *بدست آوردن اطلاعاتي درباره كارايي فرايند:* اين نمودارها اطلاعاتي درباره پارامترهاي مهم فرايند و ميزان ثبات آنها در طول زمان به ما مي دهد. اينگونه اطلاعات كمك مي كند تا بتوان تخميني از كارائي فرايند بدست آورد.
- *جلوگيري از تنظيمهاي غيرضروري فرايند:* نمودار كنترل با تشخيص اختلاف بين انحرافات تصادفي و تغييرات غيرعادي، از تنظيم فرايند براساس اختلافات تصادفي جلوگيري مي كند.

- نمودارهاي كنترلي

نمودارهاي كنترلي براي داده هاي متغير

1- نمودار R و X

2- نمودار S و X

3- MR Chart

نمودارهاي كنترلي براي داده هاي وصفي

1- نمودار كنترل معيوب ها

2- نمودار كنترل نقص ها

نمودار كنترل معيوب ها و كنترل نقص ها هركدام به دو دسته تقسيم مي شوند:

نمودار كنترل معيوبها:

الف) نمودار P (نمودار نسبت اقلام معيوب)

ب) نمودار np (نمودار تعداد درصد اقلام معيوب) براي نمونه هاي با اندازه مساوي

نمودار كنترل نقصها:

الف) نمودار C (نمودار تعداد نقص ها) براي نمونه هاي با اندازه مساوي

ب) نمودار u (نمودار تعداد نقص ها در واحد)

نمودار كنترل شامل يك خط مركز CL كه مقدار متوسط مشخصه كيفي را در حالت تحت كنترل نشان مي دهد و دو خط در بالا و پائين خط مركز بعنوان UCL و LCL كه حد كنترل بالا و حد

كنترل پائين ناميده مي شوند مي باشد. اين حدود كنترل به گونه اي انتخاب مي شوند كه اگر فرايند تحت كنترل باشد تقريبا" كليه نقاطي كه براساس اطلاعات نمونه محاسبه شده اند بين اين حدود واقع شوند. اگر نقطه اي خارج از حدود كنترل قرار گيرد، نتيجه گيري مي شود كه فرايند در شرايط خارج از كنترل بسر مي برد و اقدامات اصلاحي مورد نياز است تا منبع ايجاد انحراف يا انحرافات با دليل تعيين و حذف گردد.

نمودار نسبت اقلام معيوب (**p**)

اگر پس از بررسي محصول، آن را در يكي از دو گروه "قابل قبول" و "غيرقابل قبول" قرار دهيم براي سنجش نسبت اقلام غيرقابل قبول از يك زمان به زمان ديگر يا از يك نمونه به نمونه ديگر از نمودار p استفاده مي شود. اين نمودار براي گزارش نسبت تعداد قطعات معيوب به كل قطعات يا گزارش نسبت معيوب ها در كي محصول ، يك مشخصه كيفي يا گروهي از مشخصه هاي كيفي بكار مي رود.

P=d/n = تعداد كل اقلام نمونه / تعداد اقلام معيوب نمونه = نسبت اقلام معيوب نمونه

اهداف نمودار اقلام معيوب

1- تعيين سطح كيفي متوسط
2- متوجه ساختن مديريت از تغييرات در ميانگين كيفيت
3- بهبود كيفيت محصول
4- ارزيابي وضعيت كاري و عملكرد پرسنل واحدهاي اجرايي و مديران از نظر كيفي
5- تعيين معيار پذيرش يك محصول (با داشتن نسبت اقلام معيوب مي توان تحويل يا عدم تحويل محصول را به مشتري بررسي كرد.)
6- تعيين مواردي كه استفاده از نمودارهاي كنترل كمي لازم است. نمودار اقلام معيوب، وجود مشكلات در فرايند را مشخص مي كند ولي نمودارهاي كنترل كمي مثل نمودار X و R علت تغيير را بررسي مي كند.

محاسبات : حداقل 25 نمونه از فرايند توليد بررسي مي شود. اين نمونه ها، خود شامل چند قطعه مي گردد (حجم نمونه يا n) سپس تعداد اقلام موجود در هر نمونه بايد شمارش گردد (d) كليه اطلاعات در جدول ثبت مي گردد

ابتدا براي هر نمونه تعداد اقلام معيوب (d) مربوط به آن نمونه را برحجم نمونه (n) كه عدد ثابتي است تقسيم كرده و در ستون نسبت اقلام معيوب (p) را مي نويسيم. سپس در قسمت زير جدول جمع هر نمونه ها و همه اقلام معيوب را مي نويسيم. ميانگين معيوبها را با تقسيم كل اقلام معيوب بر كل اقلام انتخاب شده بدست مي آوريم.

p = كل اقلام نمونه برداري شده / كل اقلام معيوب مشاهده شده

p در واقع خط مركزي نمودار p است. اكنون حدود كنترل بالا و پايين محاسبه مي شود.

$UCL = p + 3\ (p(1-p)/n)$ $LCL = p - 3\ (p(1-p)/n)$

نمودار تعداد اقلام معيوب (n p)

اين نمودار در شرايطي كه حجم نمونه ثابت است بكار مي رود.

$UCL = np + 3 \quad np(1-P)$

$LCL = np - 3np(1-P)$

$np = (np_1 + np_2 + \ldots + np_k) / K$

كه در آن np موارد نامنطبق در هر گروه است و n تعداد نمونه ها در هر گروه.

نمودارهاي كنترل نقص ها

اين نمودارها تعداد نقص هاي موجود در محصول را مشخص مي كند در حالي كه نمودار p نسبت اقلام معيوب در يك محصول را كنترل مي كند.

نمودار كنترل نقص ها بر دو نوعند:

الف) نمودار تعداد نقص ها (نمودار C)

ب) نمودار تعداد نقص ها در واحد (نمودار u)

موارد استفاده نمودار C

وقتي موارد مغاير در يك سري از محصولات بصورت پراكنده وجود دارند مثل حبابهاي موجود در شيشه و ... يا در جايي كه متوسط سرعت ايجاد محصول مغاير افزايش مي يابد

اهداف نمودارهاي كنترل نقص ها:

- تعيين سطح كيفيت متوسط
- بهبود كيفيت فرايند توليد
- بررسي تغييرات در ميانگين سطح كيفيت
- ارزيابي عملكرد پرسنل عملياتي و مديران از نظر كيفي
- قضاوت در مورد قابل قبول بودن محصول جهت تحويل به مشتري
- تعيين مواقع مورد نياز به استفاده از نمودارهاي X و R (به دليل دقت بيشتر)

چون اين نمودارها در مورد خطاها بكار مي روند استفاده از آنها در ارزيابي كيفي واحدهاي عملياتي (واحدهاي مالي، فروش و خدمات پس از فروش و ...) بسيار مناسب و سودمند مي باشند.

براي تهيه نمودار تعداد نقص ها (نمودار c) بايد پس از تعيين تعداد نمونه ها ، تعداد نقصهاي موجود در هر قطعه يا محصول (در هر نمونه) شمارش و ثبت شود.

محاسبه حدود كنترل : ابتدا ميانگين تعداد نقص ها محاسبه مي شود. مقدار c از تقسيم جمع كل تعداد نقص ها بر تعداد نمونه ها بدست مي آيد كه در آن C_1 و C_2 تعداد نقص ها در هر گروه است.

$C = (C_1 + C_2 + \ldots + C_k) / K$

سپس حدود كنترل محاسبه مي شود.

$UCL = C + 3 \quad C$

$LCL = C - 3C$

نمودار تعداد نقص ها در واحد (نمودار **u**)

نمودار C وقتي بكار مي رود كه حجم نمونه يك واحد منفرد باشد اگر حجم نمونه بيشتر باشد براي اينكه تصوير بهتري از كيفيت فرايند داشته باشيم (بخصوص در مواردي كه ميانگين مقدار نقص ها كوچك باشد) بهتر است از نمودار u استفاده شود.

اين نمودار هنگامي بكار مي رود كه تعداد نمونه ها در هرگروه (n) متغيير باشد .

مراحل تهيه

ابتدا ميانگين تعداد نقص ها در واحد (U) مشخص مي شود.

ميانگين تعداد نقص ها در واحد = u

جمع كل اقلام انتخاب شده / جمع كل نقص هاي موجود در نمونه ها = u

$UCL = u + 3\ (u/n)$

$LCL = u - 3(u/n)$

نكته: اگر n در هر گروه متفاوت باشد ابتدا براي هر گروه u محاسبه مي شود.

$u = C/n$

كه در آن C تعداد نقص ها و n تعداد نمونه ها در آن گروه است.

پس از آن u محاسبه مي شود.

$U = (C_1 + C_2 + \ldots + C_k) / (n_1 + n_2 + \ldots + n_k)$

سپس حدود كنترل محاسبه مي شود.

$UCL = u + 3 \quad (u/n)$

$LCL = u - 3(u/n)$

n ميانگين اندازه گروههاست.

تهيه نمودارهاي كنترل (**R** و **X**)

تعداد نمونه ها يعني تعداد دفعاتي كه به دستگاه يا ماشين مربوطه مراجعه نموده و اندازه گيري را انجام داده و ثبت مي كنيم. حجم نمونه يعني تعداد قطعاتي كه در هربار مراجعه به ماشين از مجموعه قطعات توليدي برداشته و بررسي مي شود. تعداد نمونه ها بايد به حد كافي بزرگ باشد تا بتوان براساس اطلاعات بدست آمده از آنها در مورد كل فرايند توليد قضاوت نمودو در تهيه نمودارهاي X و R بهتر است حداقل ***20*** نمونه 4 يا 5 يا 6 تايي انتخاب شوند. مثلا" در مورد ***20*** نمونه 5 تايي، ***100*** مقدار اندازه گيري شده در برگ اطلاعات ثبت مي گردد.

انجام محاسبات: در اين مرحله ابتدا براي هر كدام از نمونه ها ميانگين مقادير اندازه گيري شده محاسبه مي شود.

نمونه / جمع مقادير اندازه گيري شده = ميانگين نمونه

كوچكترين اندازه - بزرگترين اندازه = دامنه

در مرحله بعدي X يعني ميانگين همه ميانگين ها و R يعني ميانگين دامنه ها محاسبه مي شود :

تعداد نمونه ها (k) / مجموع همه ميانگين ها = ميانگين ميانگين ها

تعداد نمونه ها (k) / مجموع همه دامنه ها = ميانگين دامنه ها

پس از محاسبه X و R حدود كنترل براي نمودار R و X به تفكيك محاسبه مي شود:

كه حد بالاي نمودار R با UCL_R و حد پايين آن با LCL_R نشان داده مي شود. و از فرمول زير محاسبه مي شود:

$UCL_R = D_4 . R$

$LCL_R = D_3 . R$

D_3 و D_4 ضرايبي هستند كه براساس حجم نمونه n از جدول زير محاسبه مي شوند.

N	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_4	3.27	2.57	2.27	2.11	2.00	1.92	1.86	1.82	1.78
D_3	*	*	*	*	*	0.8	0.14	0.18	0.22
A_2	1.88	1.02	0.73	0.58	0.84	0.42	0.37	0.34	0.31

براي محاسبه حدود كنترل نمودار X نيز از فرمولهاي زير استفاده مي شود :

$UCL_{(X)} = X + A_2 \times R$

$LCL_{(X)} = X - A_2 \times R$

حال حدود كنترل بالا و پايين را روي نمودار رسم مي كنيم

با مشاهده و بررسي نمودارهاي كنترل مي توان تغييرات فرايند و تغييرات ميانگين را مشخص نمود. منحني هاي X و R به تفكيك رسم شده و بررسي مي گردند. گاهي اوقات با مقايسه بين دو منحني به وجود علل خاص كه فرايند توليد را تحت تاثير قرار مي دهند پي برده مي شود.

نمودارهاي **X** و **S**

نمودارهاي X و S يكي ديگر از انواع نمودارهاي كلي مي باشد. اين نمودارها مانند نمودارهاي X و R هستند با اين تفاوت كه در اين نمودارها به جاي دامنه تغييرات R از انحراف استاندارد S استفاده مي شود.

قوانين عمومي براي شناسايي حالتهاي خارج از كنترل

1. يك نقطه خارج از حدود كنترل
2. دو نقطه پشت سر هم نزديك به حدود كنترل
3. هفت نقطه پشت سر هم بالا يا پايين خط مركزي (پنج نقطه در حالت سختگيرانه)

4. هفت نقطه پشت سر هم داراي روند رو به بالا يا رو به پايين (5 نقطه در حالت سختگيرانه)
5. رفتار آشفته و غيرتصادفي
6. تغييرات ناگهاني
7. دو نقطه از سه نقطه متوالي در حدود 1/3 انتهايي نزديك حدود كنترل
8. 4 نقطه از 5 نقطه متوالي در حدود 2/3 انتهايي
9. هفت نقطه پشت سرهم يا ده نقطه از 11 نقطه و يا 12 نقطه از 14 نقطه بالا يا پايين خط مركزي

احتمال خارج از كنترل بودن فرايند	تعداد نقاط پشت سر هم	محل قرار گيري نقاط
%99	1	خارج از حد بالا يا پايين كنترل
%50	1	بين خط مركزي و يكي از حدود كنترل (بالا يا پايين)
%75	2	
%88	3	
%94	4	
%97	5	
%98	6	
%99	7	

اقدامات اصلاحي و پيشگيرانه بر روي نتايج SPC به دو صورت انجام مي پذيرد:

1- خارج از كنترل بودن فرايند: در صورتيكه بازرس كنترل كيفيت و يا مدير كنترل كيفيت متوجه خارج از كنترل بودن فرايند شوند، دستور توقف خط توليد را صادر مي نمايند. در صورتيكه مشكل با اقدامات انجام شده (مانند تنظيمات و آموزش اپراتور) برطرف نشود، لازم است اقدام اصلاحي و پيشگيرانه انجام شود .

2- پايين بودن قابليت يا كارايي فرايند: در صورتيكه قابليت يا كارايي فرايند از عددي كه تعيين شده است پايين تر باشد بازرس كنترل كيفيت يا مدير كنترل كيفيت دستور توقف توليد را صادر مي نمايند. در صورتيكه مشكل با اقدامات انجام شده (مانند تنظيمات و آموزش اپراتور) برطرف نشود، لازم است اقدام اصلاحي و پيشگيرانه انجام شود. در هر صورت در هنگام پايين بودن قابليت يا كارايي فرايند بايد كليه محصولات توليد شده بازرسي ***00***1% شوند.

قابليت فرايند Process Capability

براساس مقدار $\delta 6$ از تغييرات ذاتي سيستم بيان مي شود و فقط در فرايندهاي پايدار كه تحت كنترل مي باشند بكار مي رود. مقدار δ براساس مقدار تقريبي R/d_2 محاسبه مي شود. $\delta = R / d_2$ $= \delta_{R/d2}$

كارايي فرايند Process Performance

براساس مقدار $\delta 6$ از تغييرات كل سيستم بيان مي شود و با S يعني انحراف استاندارد نمونه محاسبه مي شود. (δ_S)

C_P : ايندكس قابليت فرايند است و برابر است با تفاوت حدود بالا و پايين تقسيم بر 6 δ.

$C_P = (USL - LSL) / 6\delta_{R/d2}$

P_P : ايندكس كارايي فرايند است و فقط براي مقايسه با C_{pk} يا C_P بكار مي رود و از فرمول زير محاسبه مي شود:

$P_P = (USL - LSL) / 6\delta_S$

C_{Pk} : ايندكس قابليت فرايند است و براي بررسي مركزيت فرايند بكار مي رود و برابر است با كمترين مقدار CPU و CPL. مقدار عددي C_{PK} برابر است با فاصله بين مركز فرايند و نزديكترين حد ويژگي تقسيم بر نصف گستره فرايند.

P_{pk} : ايندكس كارايي فرايند است و براي بررسي مركزيت فرايند بكار مي رود و برابر است با حداقل تفاوت حدود بالا و پايين كنترل از مقدار ميانگين تقسيم بر $3\delta_s$

الف – در منحني توزيع نرمال اگر عدد $C_p < 1$ باشد يعني حدود بالا و پاييني بين حدود استاندارد بالا و پايين است و در اين حالت منحني از دو طرف به اندازه $3\delta + \mu$ و $3\delta - \mu$ پراكندگي دارد.

ب – در حالتيكه $C_p = 1$ باشد در حدود 27 مغايرت در هر 10000 واحد محصول وجود دارد. در اين حالت حدود بالايي و پاييني استاندارد درست بر روي LSL و USL واقع مي شود.

ج – در اين حالت $C_p > 1$ است و حد پاييني و بالايي استاندارد از $\mu - 3\delta$ و $\mu + 3\delta$ كمتر است.

در چنين حالتي تعداد زيادي از محصولات توليد شده با خصوصيات مورد نظر مغايرت دارند و فرايند بايد بررسي شود.

MSA

اين تكنيك شامل روشهايي جهت ارزيابي كيفيت سيستم اندازه گيري با استفاده از تكنيكهاي آماري به است به گونه اي كه اطمينان حاصل شود تجهيزات اندازه گيري بازرسي و آزمون همواره تحت كنترل بوده و خطاهاي سيستم اندازه گيري در حد مجاز بوده و سيستم اندازه گيري از قابليت مورد انتظار برخوردار مي باشد.

كاربرد اين تكنيك براي دستيابي به نتايج ذيل مي باشد:

- ارزيابي وسايل يا روش هاي اندازه گيري جديد و موجود
- مقايسه ابزار اندازه گيري در حالت قبل و بعد از تعمير يا تنظيم
- مقايسه روش هاي اندازه گيري بازرسي نهايي پيمانكاران فرعي با روش اندازه گيري و بازرسي مواد ورودي
- ايجاد مبنايي براي مقايسه يك ابزار اندازه گيري با ابزار اندازه گيري ديگر
- تدوين دستورالعمل ارزيابي ابزارهاي اندازه گيري جهت اطمينان از كارايي آنها
- برقراري روشي مناسب براي اطمينان از صحت مقادير قابليت و توانايي فرايندهاي توليد
- تعيين توانايي سيستم اندازه گيري
- ايجاد مبنايي براي تعيين زمان هاي كاليبراسيون ابزار اندازه گيري

تداركات لازم براي مطالعه سيستم اندازه گيري

1- براي هر آزمون به جهت اهميت آگاهي از ميزان صحت و درستي اندازه گيري (A ccuracy) وجود استانداردهاي مرجع اندازه گيري تاييد شده قابل رديابي به استانداردهاي ملي لازم است.

2- اندازه گيري هاي در حين اجراي مطالعه بايستي بطريقي برنامه ريزي شود كه شخص اندازه گير به جهت تكرار اندازه گيري هر قطعه اطلاعي از شماره قطعه نداشته و در نتيجه نتواند اندازه قطعه نمونه را حدس بزند كه در غير اينصورت موجب ورود بارياس ناخواسته ناشي از اطلاع قبلي اندازه گير از مقدار اندازه قطعه در محاسبات مي شود.

3- كليه اندازه گيريها در شرايط محيطي واقعي انجام مي شود.

4- نمونه هاي انتخاب شده بايستي در زماني انتخاب شود كه نتايج SPC نشاندهنده پايداري فرايند در هر مرحله مورد نظر باشد و ترجيحا" در مواردي نظير دستگاههايي كه لازم است در ابتداي روز گرم شوند در اين مواقع تا گرم شدن دستگاه اكيدا" از نمونه برداري اجتناب شود.

5- از آنجائي كه مطالعات ارزيابي كارايي سنجه (كمي) براي ارزيابي نسبت اجزاي نوسانات سيستم اندازه گيري به نوسانات فرايند مي باشد لذا لازم است نمونه هاي انتخاب شده در زمانهايي متوالي انتخاب شوند، بطوري كه بيانگر تمام دامنه كاري فرايند كه ناشي از شرايط متفاوت توليد است باشند مثل مواردي نظير ساعات مختلف روز، دماهاي مختلف روز، شيفتهاي توليدي، اپراتورهاي مختلف دستگاههاي مختلف

و ... بطور مثال نمونه برداري مي تواند به اين منظور روزي يكبار را انجام شود. اين قطعات بايستي داراي اندازه هايي در پايين تلرانس مجاز، ميانه و حدود بالايي تلرانس باشد.

6- بايستي با برنامه ريزي روشهاي ارزيابي نظير قضاوت فني، مشاهدات چشمي و مواردي نظير امكان عدم تاثير گذاري ارزياب (دستگاههايي كه اندازه گيري با فشار دادن دكمه انجام مي شود) قبلا" تعيين گردد.

7- بايستي تعداد ارزيابان، تعداد قطعات نمونه و تعداد دفعات تكرار قرائت ها در ابتدا تعيين شود كه از فاكتورهاي مهم در اين انتخاب ابعاد و پيكربندي قطعه است. بطور مثال براي ابعاد مهم تعداد قطعات (Pa rts) و تعداد ارزيابي (Trial) بيشتري لازم مي باشد. در صورتي كه براي قطعات بزرگ و حجيم به نمونه برداري كمتر و دفعات ارزيابي بيشتري احتياج است.

8- از آنجايي كه هدف ارزيابي كلي سيستم اندازه گيري است بايستي ارزيابان از ميان كساني انتخاب شوند كه معمولا" با سيستم اندازه گيري كار مي كنند.

9- بايستي مطمئن گرديد كه روش اندازه گيري (بازرس و ابزار) دقيقا" ويژگي مورد نظر را براساس دستورالعمل تعريف شده اندازه گيري نمايد.

10- كليه قطعات نمونه برداري شده بايستي كاملا" براي فرد ثبت كننده در مطالعه قابل شناسايي باشد در عين حال در بهترين حالت ارزياب نبايستي بداند كه قطعه شماره چند را اندازه گيري مي نمايد.

11- در قرائت ابزارها (كمي) قرائت ها بايستي به نزديكترين زينه (Resolution) گرد شود و در صورت امكان اندازه ها تا نيم زينه (نصف ريزنگري) موجود خوانده شود.

12- مطالعه بايستي توسط شخصي قرائت شود كه از اهميت احتياطهاي لازم در اجراي يك مطالعه قابل اعتماد، مطلع باشد.

13- كليه ارزيابها در هر مطالعه بايستي دستورالعمل مشابهي با مراحل يكسان را براي قرائت انجام دهند.

14- براي جلوگيري از ورود نوسانات درون قطعه اي ((W ithin Part Variation قطعات نظير اختلاف توازي، و البته قطعات گرد و غيره مي بايستي مواضع مورد اندازه گيري روي قطعات بطريق مناسبي علامتگذاري گرديده و ارزياب موظف گردد كه اندازه گيري قطعات را از محل علامتگذاري شده انجام دهد.

15- كوچكترين واحدي كه ابزار اندازه گيري مي توانند نشان دهند بايد حداقل ده برابر كوچكتر از اندازه مشخصه محصول يا تغييرات فرايند باشد. براي مثال اگر مشخصه محصول در حد يك صدم مي باشد ابزار بايد قابليت نشان دادن تغييرات يك هزارم را داشته باشند.

بطور كلي كليه ابزارهاي اندازه گيري به دو دسته سيستمهاي اندازه گيري كمي (Variable) و وصفي (Attribute) تقسيم بندي مي شوند.

4-2- سيستمهاي اندازه گيري كمي:

در بررسي و مطالعه سيستمهاي اندازه گيري كمي نو سانات سيستم اندازه گيري ناشي از تمايل (B ias) ، ارتباط خطي (Linearity) ، ثبات (Stability) و تكرارپذيري و تكثيرپذيري (R&R) بشرح زير مورد بررسي قرار ميگيرد:

الف- ثبات (پايداري)**Stability**

اندازه گيري يك فرايند است. بديهي است كه پايداري اين فرايند نيز مانند هر فرايند ديگري طي گذشت زمان تحت كنترل قرار گيرد توانايي پايدار ماندن فرايند اندازه گيري كه براساس دو مشخصه آن يعني صحت و دقت مورد بررسي قرار مي گيرد تحت عنوان ثبات مطرح مي گردد.

براي بررسي ثبات سيستم اندازه گيري يك قطعه مرجع (كه توسط يك وسيله اندازه گيري دقيقتر اندازه گيري شده و اندازه آن مشخص است) و اندازه آن حتي الامكان طي گذشت زمان ثابت مي ماند همچنين شبيه قطعات توليدي است انتخاب شده و توسط وسيله اندازه گيري طي فواصل زماني مختلف مورد اندازه گيري واقع مي شود. در هر بار اندازه گيري قطعه مرجع چند بار (معمولا بين 3 تا 5 بار) اندازه گيري مي شود و اندازه ها در فرم جمع آوري اطلاعات نمودار مبنا براي تهيه نمودار ثبات ثبت مي شوند اين كار در فواصل زماني مختلف تكرار شده و بين 25 تا 30 بار (بصورت معمول) انجام مي شود.

پس از انجام اندازه گيرها و ثبت نتايج، نمودارهاي X و R براي داده هاي حاصله رسم نموده و با تجزيه و تحليل برقراري ثبات را مورد بررسي قرار داده و پس از بررسي نمودارهاي X و R حالتهاي خارج از كنترل و علل آنها شناسايي و حذف مي شوند در چنين حالتي، شرايطي را كه براي حفظ ثبات لازم است برقرار كرده و عواملي را كه تاثير منفي روي ثبات دارد را حذف كرده ايم اين نتايج در نمودارهاي كنترلي كه حدود آن براساس وضعيت با ثبات بدست آمده در فرم نمودار ثبات ثبت شده و به هنگام مواجهه با هريك از الگوهاي خارج از كنترل اقدام اصلاحي لازم انجام مي گيرد.

هرگاه ابزار اندازه گيري تحت بررسي داراي سابقه خوبي از نظر ثبات (پايداري) باشد مي توانيم پريود اندازه گيري را افزايش دهيم و برعكس.

ب- تمايل (**Bias**):

تمايل عبارت است از اختلاف بين ميانگين ارقام جمع آوري شده و ارزش واقعي آنچه كه دوره اندازه گيري مي شود. جهت بررسي ميزان تمايل در سيستم اندازه گيري در محدوده خاصي از فرايند كرده و با اندازه گيري مكرر و مقايسه ميانگين نتايج به دست آمده با اندازه مبنا مقدار تمايل را بدست مي آوريم.

هرگاه تمايل محاسبه شده زياد باشد مي تواند به يكي از دلايل زير باشد:

1- خطا در مقدار مرجع يا نمونه
2- ابزار اندازه گيري بطور مناسبي كاليبره نشده است (روش كاليبراسيون نياز به بازنگري دارد)
3- محاسبات انجام شده يا روش انجام محاسبات غلط است.
4- ابزار مستهلك شده است (البته در آناليز ثبات نشان داده مي شود)
5- ابزار اندازه گيري براي اندازه گيري اين ويژگي مناسب نيست.

6- ارزياب بطور مناسب از ابزار اندازه گيري استفاده نمي كند.

توجه: پريود زماني انجام مطالعات Bias فرم تعيين پريود مطالعات MSA هر دو ماه يكبار يا برحسب مورد بنا به تشخيص مدير تضمين كيفيت / سرپرست كنترل كيفيت مي باشد.

توانايي ابزار اندازه گيري

با محاسبه شاخصهاي توانايي ابزار اندازه گيري، مي توان تغييراتي ذاتي يك وسيله اندازه گيري را بررسي كرد با استفاده از شاخصهاي C_g و C_{gk} مي توان تمايل و تكرارپذيري يك ابزار را تواما ارزيابي كرد اين شاخصها معمولا براي ابزار جديد و يا از تعمير برگشته و نيز براي تصديق يك روش اندازه گيري مطابق پريود مطالعات MSA هر سه ماه يكبار محاسبه مي گردد.

روش محاسبه:

1- ابتدا بايستي يك قطعه مرجع با اندازه اي برابر با عدد اسمي نقشه، پارامتر مورد بررسي انتخاب گردد اندازه اين قطعه مرجع نبايد در طي ارزيابي تغيير كند.

2- در محيط واقعي فرايند (حتي الامكان) قطعه مرجع را 50 بار (حداقل 25 بار) اندازه گيري نماييد. و پس از هر بار اندازه گيري قطعه مرجع را رها كنيد و سپس آن را برداشته و اندازه گيري بعدي را انجام دهيد (اگر از فيكسچر استفاده مي شود پس از هر دفعه اندازه گيري آن را از فيكسچر در آورده و دوباره درون فيكسچر قرار دهيد)

و نتايج را در فرم مطالعه توانايي ابزار اندازه گيري ثبت نماييد.

3- محاسبات مربوطه را انجام دهيد:

$$x_g = (1 / n) \sum x_i$$

$$S_g = \sum (x_i - x_g)^2 / (n-1)$$

$$T = USL - LSL$$

$i = 1, 2, \ldots, n$ اندازه واقعي قطعه مرجع يا استاندارد = x_m

برحسب وضعيت x_m به x_g داريم:

شاخص	براساس حدود تلرانس	براساس حدود فرايند
C_g	$C_g = (0.2T) / 6S_g$	$C_g = [0.15(6\sigma_p)] / 6S_g = (15\sigma_p)/S_g$
C_{gk}	$C_{gk} = [(0.1T) - \lvert X_g - X_m \rvert] / 3S_g$	$C_{gk} = [0.5 \times 0.15(\sigma_p) - \lvert X_g - X_m \rvert]/3S_g$ $= [(0.45\sigma_p - \lvert X_g - X_m \rvert] / 3S_g$
حداقل معيار پذيرش	1	1.33

نكته **1**: از آنجائيكه معمولا واريانس فرايند $6\sigma_p$ بخصوص در مورد فرايندهاي جديد نامعلوم است و نيز در طي زمان تغيير مي كند بهتر است براي محاسبه شاخصهاي توانايي فرايند از حدود تلرانس به جاي

$6\sigma_p$ استفاده شود چون در طي زمان ثابت است و نيز در مستندات نقشه قطعات مورد قبول مشتري نيز مي باشد.

نكته **2**: اگر فرايند داراي حدود تلرانس يكطرفه باشد نمي توان براي آن C_g و C_{gk} را براساس تلرانس محاسبه كرد بهتر است در صورتيكه SPC اجرا مي شود براي محاسبه شاخصهاي توانايي ابزار از حدود فرايند استفاده گردد.

حداقل پذيرش C_g و C_{gk} براي سازمان براساس حدود فرايند عدد 1.33 و براساس حدود تلرانس عدد 1 مي باشد در صورتيكه مقدار محاسبه شده C_g و C_{gk} كمتر از مقدار پذيرش تعيين شده باشد اقدامات اصلاحي لازم جهت بهبود و افزايش توانايي ابزار انجام مي گيرد.

ج- ارتباط خطي (**Linearity**)

ارتباط خطي عبارتست از بررسي اينكه آيا ابزار اندازه گيري در تمام محدود قابل اندازه گيري اش يكسان كار مي كند براي تعيين ارتباط خطي بايد مقادير تمايل را در كل محدوده كاربرد ابزار اندازه گيري محاسبه كنيم در صورتيكه مقدار تمايل براي محدوده كاربرد ابزار ثابت باشد و يا اينكه با بزرگ شدن اعداد ما، تمايل آنها تغيير كوچكي داشته باشد ابزار مورد قبول خواهد بود اگر تفاوت در تمايل اندازه هاي بدست آمده در طول محدوده كاربرد ابزار اندازه گيري تشكيل يك خط راست را بدهد رابطه خطي براي آن ابزار وجود دارد در غير اينصورت آن ابزار غيرقابل استفاده خواهد بود.

روش محاسبه:

1- قطعات مختلفي كه در دامنه كاري ابزار اندازه گيري قرار دارند تعيين كرده و براي پنج قطعه از آنها نمونه مرجع انتخاب نماييد در صورتيكه نمونه مرجع در دسترس نباشد مي توان از قطعات خط توليد، پنج قطعه را انتخاب كرده و اندازه واقعي هريك از آنها را با چند اندازه گيري با استفاده از يك ابزار دقيق تر بدست آورد (همچنين مي توان از قطعات استاندارد كه اندازه آنها مشخص است نيز استفاده كرد).

2- هريك از اين قطعات را دوازده بار با ابزار اندازه گيري مورد مطالعه و توسط فردي كه معمولا قطعات را در فرايند اندازه گيري مي كند اندازه گيري كنيد و نتايج را در فرم ثبت نتايج مطالعات ارتباط خطي ثبت نماييد.

3- مقدار تمايل را براي هريك از قطعات محاسبه نماييد مقدار تمايل اجرا بالا و اندازه واقعي قطعه را با X نمايش دهد.

4- ميانگين تمايلها و اندازه واقعي قطعات را بصورت نمودار ارتباط خطي رسم كنيد و خطي كه بهترين موقعيت ميان نقاط ترسيم شده را دارد را ترسيم نمايند هر چه شيب خط به صفر نزديكتر باشد خطي بودن ابزار اندازه گيري بهتر است.

Y = تمايل (Bias) X = اندازه واقعي قطعه مرجع a = شيب خط b = عرض از مبدا R^2 = درجه تناسب

$$Y = ax + b$$
$$a = [\sum xy - (\sum x \sum y/n)] / [(\sum x^2) - ((\sum x)^2 / n)]$$
$$b = \sum y/n - a [\sum x/n]$$
$$R^2 = [\sum xy - (\sum x \sum y / n)^2] / [\sum x^2 - ((\sum x)^2 / n)][\sum y^2 - (\sum y)^2 / n]$$
$$\%Linearity = | a | \times 100$$

نتايج:

- هر چقدر مقدار R^2 به عدد يك نزديكتر باشد بين نقاط رسم شده در نمودار، ارتباط خطي بهتري برقرار است.
- هرچقدر درصد خطي بودن به صفر نزديكتر باشد شيب خط كمتر مي باشد يعني در تمايل اندازه هاي بدست آمده در طول حدوده كاربرد ابزار اندازه گيري، تفاوت كمي ديده مي شود.

R^2	ميزان همبستگي
1-0.9	بسيار بالا
0.89-0.7	بالا
0.69-0.4	متوسط
0.39-0.2	پايين
0.19-0	بسيار پايين

چنانچه سيستم اندازه گيري داراي ارتباط غيرخطي باشد مي تواند به دلايل زير باشد:

1- دستگاه اندازه گيري در محدوده اندازه گيري اش كاليبره نشده است.
2- در جمع آوري نمونه هاي اصلي خطا صورت گرفته است.
3- دستگاه اندازه گيري مستهلك شده است.
4- بروز مشكلاتي در طرح مشخصات داخلي دستگاه

لازم به ذكر است كه دستگاهي كه داراي ارتباط خطي نيست فقط براي اندازه گيري بعد خاصي استفاده مي گردد.

توجه: محاسبات مربوطه و رسم نمودار با استفاده از نرم افزار Minitab امكانپذير مي باشد.

پريود زماني انجام مطالعات ارتباط خطي مطابق فرم تعيين پريود مطالعات M S A هر دو ماه يكبار و يا برحسب مورد بنا به تشخيص مدير تضمين كيفيت / سرپرست كنترل كيفيت مي باشد.

4-3- ارزيابي سيستمهاي اندازه گيري كمي به روش ميانگين و دامنه (**R،X**)

روش ميانگين و دامنه يك روش رياضي است كه مي تواند هم تكرارپذيري و هم تجديدپذيري را براي يك سيستم اندازه گيري برآورد كند. مطابق فرم مطالعه كارايي ابزارهاي اندازه گيري كمي مراحل دستورالعمل اجرايي بصورت ذيل است:

4-3-1 – جمع آوري نمونه ها

1- بطور تصادفي قطعاتي را از توليد انتخاب كنيد. هر قطعه ممكن است مطابق با حدود و مشخصات فني باشد يا نباشد. اندازه واقعي قطعه تاثيري به تكرارپذيري و تكثيرپذيري ندارد. اما لازم است قطعاتي انتخاب شوند كه كل اندازه هاي توليد شده مشخصه مورد نظر را در بر بگيرند.

2- براي حداقل تعداد نمونه مورد نياز و حداقل تكرار اندازه گيري روي هر قطعه از جدول استفاده كنيد.

3- قطعات بايد بطور تصادفي و بدون هيچ نظم و يا ترتيب خاصي براي اندازه گيري در اختيار اپراتورها قرار گيرد.

حداقل تعداد اندازه گيري	حداقل تعداد حلقه	ابزار اندازه گيري	بازرس اپراتور
5	10	1	1
3	15	2 1	1 2
2	10	2 بيشتر از 3 1 يا 2 بيشتر از 3	2 1 يا 2 بيشتر از 3 بيشتر از 3

از آنجايي كه استفاده از آناليز سيستم اندازه گيري براي شناخت كل سيستم است. استفاده از روشهاي گرافيكي خيلي مهم است . اين ابزارها ما را قادر مي سازد كه چشم انداز بهتري به مدل نوسانات و روابط فيمابين داشته باشيم. داده هاي آناليز سيستم اندازه گيري مي تواند بصورت گرافيكي توسط چارتهاي كنترل نشان داده شوند. ايده استفاده از كنترل چارتها براي پاسخگويي سوالات در مورد سيستم اندازه گيري اولين بار توسط شركت Western Electric استفاده شده است. چارت كنترل دامنه براي تعيين اين است كه فرايند تحت كنترل است يا نه. دليل استفاده از اين روش اين است كه بدون توجه به ميزان بزرگي خطا در اندازه گيري (با هر مقدار خطاي اندازه گيري) بدانيم كه دامنه كنترل در نمودار دامنه را پوشش مي دهد در همين ارتباط، قبل از انجام مطالعه بايستي دلايل ويژه وجود خطا رفع شود.

استفاده از نمودار كنترل آماري بصورت ذيل است:

1- رسم نمودار دامنه براي هر تركيب ارزياب قطعه

2- تخمين و رسم حدود كنترل

3- سنجش و ارزيابي نمودارها

a: اگر در نمودار دامنه كليه دامنه ها تحت كنترل باشد پس ارزيابها داراي پايداري هستند و نمودار ميانگين را رسم و مورد بررسي و ارزيابي قرار مي دهيم. در غير اينصورت عدم پايداري مي تواند ناشي از تكنيك ارزيابي، خطاي قرارگيري ارزياب (Position Error) و ناپايداري ابزار اندازه گيري باشد. چنين دلايل بخصوصي بايستي تصحيح گشته و نمودار دامنه قبل از رسم نمودار ميانگين تحت كنترل درآورده شود.

b: اگر در نمودار ميانگين، ميانگين ها از حدود كنترل خارج شده اند فضاي بين حدود كنترل نمايانگر خطاي اندازه گيري (پارازيت Noise) مي باشد و اگر تعداد نصف يا بيشتر ميانگين ها خارج از حدود كنترل افتاد پس سيستم اندازه گيري براي نشاندهي نوسانات قطعه به قطعه (Part to Part Variation) شايسته و مناسب بوده و سيستم اندازه گيري داده هاي مفيدي را براي كنترل فرايند به ما مي دهد. اگر كمتر از نصف نقاط خارج از حدود كنترل افتاد سپس سيستم اندازه گيري براي نشاندهي نوسانات قطعه به قطعه مناسب بوده ولي نمي تواند براي كنترل فرايند بكار رود.

4-3-3 – محاسبات عددي

محاسبات تكرارپذيري و تجديدپذيري ابزارهاي اندازه گيري در فرم جمع آوري داده ها براي محاسبات R&R ثبت شود .

الف- تكرارپذيري

تكرارپذيري، عبارتست از پراكندگي ناشي از سيستم اندازه گيري به هنگام اندازه گيري مكرر قطعات. مقدار خطاي تكرارپذيري از رابطه $EV= 5.15(R / d_2)$ به دست مي آيد كه در آن R مقدار خط مركزي نمودار دامنه است و d_2 از جدول ، به دست مي آيد كه در آن، سطر جدول (m) نمايانگر تعداد دفعات اندازه گيري از يك قطعه و ستون جدول (g) نشان دهنده حاصلضرب تعداد قطعات در تعداد بازرسان است.

ب- تكثيرپذيري

تكثيرپذيري، پراكندگي ناشي از تغيير هريك از عوامل مؤثر در سيستم اندازه گيري، مانند اپراتور اندازه گيري، ابزار و ... در هنگام اندازه گيري مكرر قطعات است. مقدار خطاي تكثيرپذيري از رابطه زير بدست مي آيد.

$$X_{DIF} = \max X - \min X$$

$$AV= [5.15(X_{DIF} / d_2)]^2 - [(EV)^2 / n.r]$$

که در آن EV مقدار تکرارپذيري، X_{DIF} / d_2 انحراف معيار تکثيرپذيري، n تعداد قطعات مورد استفاده و تعداد دفعاتي است که هر قطعه اندازه گيري مي شود. در انحراف معيار تکرارپذيري d_2از ضميمه 2 به دست مي آيد که در آن سطر جدول (m) نشان دهنده تعداد اپراتور و ستون جدول (g) برابر يك است. لازم به ذکر است وقتي رابطه $[(5.15X_{DIF})/d_2]^2 >> (EV)^2 / n.r$ برقرار باشد، براي ساده سازي آن از رابطه $AV=(5.15X_{DIF}) / d_2$ استفاده مي شود و اگر $[(5.15X_{DIF})/d_2]^2 <= (EV)^2 / n.r$ باشد مقدار زير راديکال صفر و يا منفي خواهد شد. در اين صورت، مقدار تکثيرپذيري در مقايسه با تکرارپذيري بسيار کوچك و قابل چشم پوشي است و مقدار تکثيرپذيري برابر صفر در نظر گرفته مي شود.

ج- شاخص R&R

براي تعيين ميزان دقت سيستم اندازه گيري بايد انحراف معيار آن محاسبه شود تا به وسيله آن دامنه نوسان تعيين شود. براي انجام اين کار از GR&R استفاده مي شود که برابر است با برايند تکرارپذيري و تکثيرپذيري و از رابطه زير، به دست مي آيد.

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

در واقع R&R نشان دهنده يك فاصله 99 درصدي براي دامنه نوسان هاي سيستم اندازه گيري است. براي اظهارنظر راجع به کم يا زياد بودن R&R بايد اين شاخص را بر يك مقدار مرجع (RF) تقسيم و براساس نسبت به دست آمده، در مورد تاييد يا رد صلاحيت سيستم اندازه گيري اظهارنظر کرد. به همين ترتيب مي توان شاخص هايي را براي بررسي نوسان هاي ناشي از تکرارپذيري و تکثيرپذيري مورد استفاده قرار داد که روابط مورد نظر به صورت زير است:

$$R\&R\% = (R\&R / RF) \times 100\%$$

$$AV\% = (AV\% / RF) \times 100\%$$

$$EV\% = (EV / RF) \times 100\%$$

0% <= R&R% <= 20%	سيستم اندازه گيري مورد قبول است
20% <R&R% <= 30%	پذيرش سيستم اندازه گيري مشروط است. پذيرش يا عدم پذيرش سيستم اندازه گيري در اين حالت به اهميت فعاليت اندازه گيري، هزينه ابزار، هزينه تعميرات، نظر مشتري و ... مربوط است.
30% < R&R %	سيستم اندازه گيري مورد قبول نيست، بايد درصد خطاهاي تکرارپذيري و تکثيرپذيري بررسي شود و

اقداماصلاحي لازم انجام گيرد.	

د- مقادير **RF**

RF مي تواند يكي از سه مقدار زير باشد:

1- در جايي كه براي پارامتر مورد نظر SPC انجام مي شود، پراكندگي فرايند توليد به عنوان مقدار مرجع قرار گيرد. در اين حالت براي فاصله اطمينان 99 درصد مقدار $RF=5.15\sigma_p$ است كه σ_p انحراف معيار توليد است.

2- وقتي SPC اجرا نمي شود و براي پارامتر مورد نظر از طرف مشتري، حدود و مشخصات فني داده شده است، تلرانس نقشه به جاي RF قرار مي گيرد.

3- وقتي كه SPC اجرا نمي شود و از طرف مشتري نيز حدود و مشخصات فني داده نشده از TV استفاده مي شود.

$$TV= (R\&R)^2 + (PV)^2$$

در رابطه بالا، PV نشان دهنده نوسان هاي قطعه به قطعه است كه در واقع نماينده نوسان هاي واقعي فرايند توليد مي باشد. TV نيز نشان دهنده پراكندگي كامل در مقادير اندازه گيري شده است كه برايندي از پراكندگي سيستم اندازه گيري و نوسان هاي فرايند توليد است.

ه – نوسان قطعه به قطعه (**PV**)

نوسان قطعه به قطعه، برابر با پراكندگي قطعات استفاده شده در آزمايش است. در صورتي كه قطعات استفاده شده در آزمايش تمام دامنه فرايند انتخاب شده باشند و يا محدوده تلرانس را پوشش دهند در اين صورت، انحراف معيار قطعات انتخاب شده تقريبا معادل انحراف معيار فرايند توليد خواهد بود.

نوسان قطعه به قطعه به صورت زير محاسبه مي شود:

$$\sigma_p = R_p / d_2$$

براي محاسبه كافي است كه به ازاي هر قطعه، متوسط اندازه هاي به دست آمده محاسبه شود و اختلاف كمترين و بيشترين متوسط اندازه گيري به دست آيد و سپس نوسانات قطعه به قطعه به طريق زير محاسبه شود:

$$PV = 5.15 \times \sigma_p = 5.15 \times (R_p / d_2)$$

$$PV\% = [(PV) / (TV)] \times 100\%$$

مقدار $5.15 / d_2$ در برخي از جداول با k_3 نشان داده مي شود. مقدار d_2 به تعداد قطعات وابسته است.

و- قدرت تفكيك سيستم اندازه گيري

اين شاخص به حداقل فواصل قابل تشخيص متوسط سيستم اندازه گيري اشاره دارد. در صورتي كه سيستم اندازه گيري داراي توانايي تفكيك مناسب نباشد، ممكن است توان تشخيص نوسان هاي موجود در فرايند را در قطعاتي كه مورد اندازه گيري قرار مي گيرند نيز نداشته باشد. در اين وضعيت بايد از

سيستم اندازه گيري تواناتري استفاده شود. معمولا با بررسي نمودار X به هنگام مطالعات GR&R، مي توان نسبت به مناسب بودن قدرت تفكيك ابزار اظهارنظر كرد. در واقع ، خارج بودن تعداد زيادي از نقاط از حدود كنترل X به اين معناست كه ابزار، داراي قدرت تفكيك مناسب است. علاوه بر روش فوق، قدرت تفكيك را مي توان بصورت رابطه زير كه نشان دهنده تعداد طبقه بندي هاي حاصل از سيستم اندازه گيري بر روي محدوده توليد است نيز بيان كرد.

قدرت تفكيك = [(PV) / (R&R)] × 1.41

مقدار به دست آمده از رابطه فوق بايد به نزديك ترين عدد صحيح، گرد شود.

اگر اين مقدار كمتر از 2 باشد، سيستم اندازه گيري، مناسب نخواهد بود. چنانچه قدرت تفكيك برابر 2 باشد، بدين معناست كه ارقام را مي توان به دو گروه «زياد» و «كم» تقسيم كرد و اين سيستم اندازه گيري فقط براي بازرسي مناسب خواهد بود. براي اينكه سيستم اندازه گيري براي تعيين مشخصات فرايند مناسب محسوب شود، مقدار قدرت تفكيك بايد 5 يا بيشتر باشد.

4-4- ارزيابي سيستمهاي اندازه گيري وصفي

شاخصهاي مورد مطالعه

1- كارايي (**Effectivenes**)

عبارتست از توانايي يك اپراتور در شناسايي صحيح قطعات منطبق و نامنطبق.

اين شاخص با عددي بين صفر و يك بيان مي شود كه در آن عدد 1 بهترين حالت را نشان مي دهد.

E = (تعداد فرصتهاي شناسايي صحيح) / (تعداد دفعاتي كه وضعيت قطعه به درستي تشخيص داده شود)

تعداد فرصتهاي شناسايي صحيح: تابعي است از تعداد قطعاتي كه در آزمايش استفاده شده × تعداد دفعاتي كه هر قطعه بازرسي شده است.

2- احتمال عدم تشخيص قطعه نامنطبق**P(miss)**

عبارت از شانس پذيرش يك قطعه نامنطبق

$P_{(miss)}$ = (تعداد فرصتهاي شناسايي قطعات نامنطبق) / (تعداد دفعاتي كه وضعيت قطعه به درستي تشخيص داده نشده است)

تعداد فرصتهاي شناسايي قطعات نامنطبق = تعداد قطعات نامنطبق × تعداد دفعاتي كه مورد بازرسي قرار گرفته اند.

3- احتمال اعلان خط اشتباه **P(EA)**

عبارتست از شانس رد يك قطعه سالم. اين نوع خطا به اندازه عدم تشخيص قطعه نامنطبق اهميت ندارد اما به هر حال عدم پذيرش يك قطعه سالم باعث انجام دوباره كاري و بازرسي مجدد بر روي اين قطعه

خواهد شد كه هيچ ضرورتي براي آن وجود ندارد. در صورتيكه هزينه هاي P(FA) بزرگ باشد هزينه هاي تلف شده به خاطر دوباره كاري و بازرسي مجدد به صورت غيرواقعي بزرگ خواهد بود.

(تعداد فرصتهاي شناسايي قطعه سالم) / (تعداد دفعاتي كه به اشتباه قطعه سالم، رد شده باشد) = **p(FA)**

تعداد فرصتهاي شناسايي قطعه سالم = تعداد قطعات منطبق × تعداد دفعاتي كه مورد بازرسي قرار گرفته اند.

4- تمايل (**B**)

شاخصي براي بيان ميزان تمايل يك فرد به طبقه بندي قطعات تحت عنوان سالم يا معيوب و همواره مقداري بزرگتر يا مساوي صفر خواهد داشت:

$$B = [P(FA)]/[P(miss)]$$

B=1 يعني هيچ تمايلي وجود ندارد.

B>1 يعني تمايل به رد كردن قطعات وجود دارد.

B<1 يعني تمايل به پذيرش قطعات وجود دارد.

چگونگي جمع آوري داده هاي وصفي

برخلاف مطالعات كمي، قطعات براي ارزيابي داده هاي وصفي نبايد به تصادف انتخاب شوند. بلكه بايستي آگاهانه و در صورت امكان با دستگاههاي دقيق تحت عنوان منطبق با نامنطبق ارزيابي شوند تعداد نمونه و تعداد دفعات آزمايش مطابق جدول زير مي باشد:

حداقل تكرار اندازه گيري روي هر قطعه	حداقل تعداد قطعات	تعداد اپراتور
5	24	1
4	18	2
3	12	3 يا بيشتر

از بين قطعات انتخاب شده بايد يك سوم كاملا نامنطبق، يك سوم كاملا نامنطبق و يك سوم حاشيه اي باشند خود قطعات حاشيه اي مي بايست نيمي در واقع منطبق و نيم ديگر نامنطبق باشند. پس از انتخاب قطعات، نشانه گذاري (شماره گذاري) قطعات توسط مدير تضمين كيفيت صورت مي گيرد و نتايج در فرم ثبت نتايج مشخصه هاي وصفي ثبت مي گردد.

محاسبات و نتيجه گيري

محاسبات مربوط به شاخصها در فرم كاربرگ پردازش داده هاي وصفي انجام مي گيرد. نتيجه گيري براي چهار شاخص محاسبه شده براساس جدول زير مي باشد:

پارامتر	قابل قبول	حاشيه اي	غيرقابل قبول
E	**0.9** يا بيشتر	**0.8 – 0.9**	كمتر از **0.8**
P(Fa)	**0.05** يا كمتر	**0.05 – 0.1**	بيشتر از **0.1**
P (miss)	**0.02** يا كمتر	**0.02 - .0.05**	بيشتر از **0.05**
B	**0.8 – 1.2**	**1.2-1.5** يا **0.5-** .**0.8**	بيشتر از **1.5** يا كمتر از **0.5**

كه در موارد لزوم به انجام اقدامات اصلاحي، اقدامات لازم انجام شده و مطالعات قابليت بازرسي بايد مجددا تكرار شود.پريود زماني اين مطالعات نيز همانند **R&R** بر داده هاي كمي مي باشد.

توجه: روش مطالعه تشريح شده در بالا براي يك مشخصه / پارامتر مورد مطالعه بوده در صورتيكه چندين مشخصه / پارامتر مورد مطالعه قرار گيرد از يك ماتريس به نام ماتريس جمع مشخصه هاي وصفي جهت ثبت وضعيت واقعي نمونه با همكاري مدير تضمين كيفيت و مدير توليد تعيين مي گردد و نتايج مطالعه براي هر مشخصه در ماتريس مشخصه هاي وصفي ثبت مي گردد بقيه مراحل همانند مراحل بالا مي باشد.

5-4- پريود زماني انجام مطالعات **R&R**

مطالعات R&R در موارد زير به تشخيص مدير كنترل و تضمين كيفيت در صورت نياز انجام مي شود:

الف – در مرحله تكوين محصول جديد

ب – بعد از تعمير يا اصلاح ابزار كنترلي

ج- ورود يك اپراتور جديد كنترلي به سيستم اندازه گيري

د- مشكوك شدن به فرايند اندازه گيري با توجه به نمودارهاي كنترلي

ه – در مرحله توليد انبوه بصورت پريوديك بين دو فاصله انجام كاليبراسيون.

QFD

روش بسط عملكرد كيفي (QFD) به عنوان ابزاري مهم جهت برنامه‌ريزي و مديريت كيفيت مي‌باشد . اهداف اصلي اين روش عبارتند از :

- تبديل و ترجمه خواسته‌هاي مشتري به مشخصه‌هاي كيفي با زبان توليد
- تعيين ارتباط خواسته‌هاي مشتري با مشخصه‌هاي كيفيتي
- ارزيابي بازار و خواسته‌هاي مشتري
- ارزيابي و مقايسه مشخه‌هاي كيفيتي با معيارهاي فني
- تعيين نكات مهم فروش
- تعيين اهداف كيفيت در قالب طرحهاي تجاري
- انتخاب مشخصه‌هاي كيفيتي كه مي‌بايست بر روي قطعه اصلي يا هركدام از قطعات لحاظ شود
- و در نهايت در نظرگرفتن كنترلهاي مورد لزوم در فرآيند توليد براي ارضاء اين الزامات و خواسته‌ها

تعاريف

سيستم كيفيت : شامل فعاليتهاي مربوط به كيفيت طراحي ، تطابق و خدمات محصول مي‌باشد و به دو بخش كنترل كيفيت غيرمستقيم و كنترل كيفيت مستقيم تقسيم مي‌شود .

كنترل كيفيت غيرمستقيم : شامل كليه فعاليتهاي كنترل كيفيت خارج از خطوط توليدي مي‌باشد . اين فعاليتها به كنترل كيفيت در مرحله طراحي از طريق تحقيقات بازاريابي و بهبود محصول / فرآيند برمي‌گردد

كنترل كيفيت مستقيم : شامل فعاليتهاي مربوط به كيفيت تطابق و خدمات محصول از طريق توجه به ساخت ، بازرسي و خدمات به مشتري مي‌باشد .

مهندسي كيفيت : سلسله فعاليتهايي است كه با تجزيه و تحليل مشخصه‌هاي كيفي و هزينه‌هاي كيفي منجر به توليد محصولاتي مي‌شود كه ضمن افزايش رضايت مشتري ، هزينه كلي را مينيمم مي‌كند .

ارزيابي مقايسه‌اي (**Benchmarking**) : به ارزيابي عملكرد به وسيله تطبيق دادن و مقايسه با عملكرد ساير رقبا گفته مي‌شود .

روش اجرا:

1- كليات

1-1- روش بسط عملكرد كيفيت (QFD) يكي از ابزارهاي مورد استفاده در مهندسي كيفيت در بخش كنترل كيفيت غيرمستقيم مي‌باشد . اين روش براي يك محصول جديد قبل از شروع به طراحي

محصول ، جهت شناسايي نيازهاي مشتري و براي محصول در حال توليد در مرحله بهبود كيفيت و طراحي مجدد آن با توجه به انتظارات مشتري از محصول ، مورد استفاده قرار مي‌گيرد .

1-2- تعريف روش بسط عملكرد كيفيت (QFD) :

بسط عملكرد كيفيت (QFD) روش و ابزاري مهم براي برنامه‌ريزي و مديريت كيفيت مي‌باشد . در اين روش خواسته‌هاي مشتري ، دقيقاً شناسايي و تحليل مي‌شود و همان خواسته‌ها در قالب محصول توليدي به زبان مهندسي تبديل مي‌شود . استفاده از اين روش باعث درك كامل كليه كاركنان طراحي و توليد از خواسته‌هاي مشخص مشتري مي‌شود و در نتيجه آنچه كه توليد مي‌شود دقيقاً همان چيزي خواهد بود كه مشتري درخواست كرده‌است .

1-3- فوايد QFD :

فوايد QFD مي‌تواند به چهار گروه كلي تقسيم شود :

مشتري مداري : تمركز روي نيازهاي مشتري ، استفاده مؤثر از اطلاعات رقابتي ، اولويت‌بندي منابع

كاهش زمان اجراء : كاهش زمان تغيير طراحي ، كاهش زمان مشخص شدن مشكلات ، اجتناب از بهبود غيرضروري در آينده

بسط تيم كاري : استفاده از نظرات كليه افراد مؤثر ، تصميم‌گيريهاي صحيح

تهيه مستندات ـ تهيه مستندات اصلي طراحي ، جمع‌آوري اطلاعات ، مطالعات و ارزيابي تطبيقي ، تهيه چارچوبي براي تجزيه و تحليل حساسيت

2- روش اجراي بسط عملكرد كيفيت (**QFD**) :

فرآيند كامل QFD در چهار مرحله به شرح ذيل انجام مي‌گيرد .

مرحله اول : طرحريزي محصول (خانه كيفيت) (PRODUCT PLANNING)

مرحله دوم : طراحي محصول (PRODUCT DESIGN)

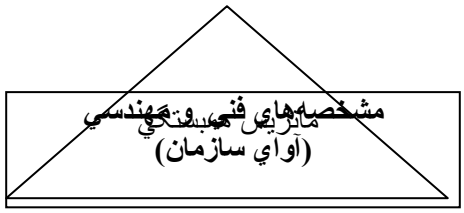
مرحله سوم : طرحريزي فرآيند (PROCESS PLANNING)

مرحله چهارم : برنامه‌ريزي كنترل فرآيند (برنامه‌ريزي توليد) (P RODUCTION PLANNING)

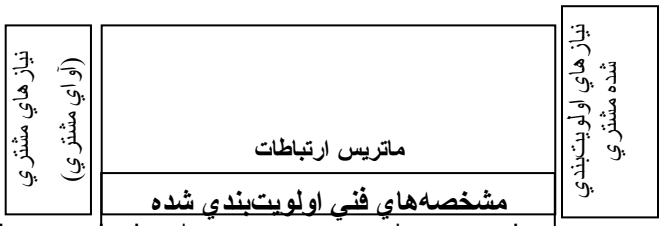
بهتر است در انجام تفكيك QFD هر چهار مرحله آن به منظور تعريف دقيق‌تر و شفاف‌تر از محصول مورد بررسي وبهبوددر مشخصه‌هاي كيفي آن انجام گيرد ولي با توجه به سياست تيم QFD مي‌توان از انجام برخي مراحل صرفنظر شود .

2-1- مرحله اول – طرحريزي كيفيت :

اولين مرحله با تكميل خانه كيفيت صورت مي‌پذيرد در اين مرحله الزامات و خواسته‌هاي كيفي مشتريان به مشخصه‌ها و الزامات طراحي (فني و مهندسي) محصول تبديل مي‌شوند . ساختار خانه كيفيت در شكل ذيل نشان داده شده‌است .



(ساختار خانه كيفيت)



ديواره‌هاي جانبي خانه : نيازمنديهاي مشتري مي‌باشد . در طرف چپ فهرستي از نيازها و چيزهايي كه مشتري از محصول انتظار دارد ، قرار مي‌گيرد . در طرف راست اين نيازها با توجه به پارامترهايي همچون درجه اهميت ، نسبت بهبود و امتيازات فروش رتبه‌بندي مي‌شود .

سقف خانه : مشخصه‌هاي فني مرتبط با نيازهاي مشتري مي‌باشد .

ديوارهاي داخلي خانه : ارتباط بين نيازمنديهاي مشتري و مشخصه‌هاي فني مي‌باشد .

بام خانه : روابط متقابل بين مشخصه‌هاي فني و مهندسي مي‌باشد .

پايه خانه : مشخصه‌هاي فني اولويت‌بندي شده و مواردي همچون مقايسات فني و مقادير هدف مي‌باشد .

2-1-1- قدم اول : تعيين نيازها و انتظارات مشتري از محصول (WHATs) :

در اين مرحله فهرستي از نيازها و انتظارات مشتري از محصول تهيه مي‌شود . اين فهرست معمولاً مبهم و به طور طبيعي كلي مي‌باشد كه بايستي به اطلاعاتي منطقي و گروه‌بندي شده تبديل شود تا جايي كه كاملاً يك مشخصه كيفي خاص را بيان نمايد .

نيازهاي مشتري مي‌تواند از طريق كارخانه مصرف كننده ، مشتري نهايي ، فروشندگان ، تعميركاران و به وسيله دستورالعمل سنجش رضايت مشتريان تعيين شود . همچنين علاوه بر موارد فوق مي‌تواند توسط اعضاي تيم (با استفاده از روش طوفان ذهني) و با توجه به مواردي از قبيل الزامات ايمني ، قوانين و مقررات ، نظرات واحدهاي داخلي سازمان ، خروجي D FMEA مطابق دستورالعمل FMEA انجام مي‌گيرد .

2-1-2- قدم دوم : تعيين مشخصه‌هاي فني و مهندسي محصول (HOWs) :

هدف خانه كيفيت طراحي يا تغيير طراحي يك محصول مي‌باشد . به روشي كه انتظارات مشتري را برآورد نمايد تيم QFD در اين مرحله بايستي به وسيله تيم QFD مشخصه‌هاي فني و مهندسي كه روي يك يا بيش از يك نياز مشتري تأثير مي‌گذارد و همچنين قابل اندازه‌گيري باشند را مطرح نمايد . بايد توجه داشت در اين مرحله ويژگي‌هاي قطعات و زير مجموعه‌هاي محصول نمي‌بايست مورد برسي قرارگيرد (اين موارد در مرحله طراحي محصول بررسي مي‌شوند

در مقابل و زير هر يك از مشخصات فني محصول سه علامت ↑ يا ↓ ● درج شده‌است علامت ↑ يا ↓ به معني آنست كه افزايش يا كاهش هرچه بيشتر خصوصيت مورد نظر ، هدف طراحان محصول بوده و علامت ● نشانه عدم تمايل طراحان محصول به كاهش يا افزايش (انحراف

) خصوصيت مورد نظر از مقدار هدف مربوطه مي‌باشد و تنها رسيدن به هدف تعيين شده براي خصوصيت مورد نظر اهميت دارد

2-1-3- قدم سوم : تعيين رابطه بين نيازهاي مشتري (WHATs) و مشخصه‌هاي فني و مهندسي(HOWS) در ماتريس ارتباطات :

با استفاده از ماتريس رابطه ، درجه اين رابطه را بين مشخصه‌هاي فني و مهندسي و نيازهاي مشتريان تعيين نماييد . استفاده از علائمي براي نشان دادن درجه رابطه بين نيازهاي مشتري و مشخصه‌هاي فني معمول مي‌باشد . مثلاً

رابطه قوي را نشان مي دهد(9) ●

رابطه متوسط را نشان مي دهد(3) ◯

رابطه ضعيف را نشان مي دهد(1) △

پس از اين كه ماتريس رابطه تكميل شد سطر و ستونهاي خالي را ارزيابي نماييد چنانچه يك سطر خالي بماند مبين اين است كه هيچ مشخصه فني و مهندسي مرتبط به نياز ، مشخص نشده‌است كه بايستي توسط تيم QFD مشخصه‌هاي فني و مهندسي ديگري به منظور ارضاء آن نياز مشتري در نظر گرفته شود . اگر ستوني خالي بماند ، مبين اين است كه مشخصه تعريف شده مربوط به هيچ يك از نيازهاي مشتري نمي‌باشد كه اين ستون بايستي حذف شود . همچنين بايد توجه داشت هر يك از نيازهاي مشتريان بايد حداقل با يكي از مشخصات فني محصول ارتباط قوي داشته باشند .

2-1-4- قدم چهارم : تعيين ماتريس رابطه بين مشخصه‌هاي فني (H OWs) :

بام خانه كيفيت كه ماتريس رابطه همبستگي ناميده مي‌شود براي تعيين هر نوع رابطه متقابل بين هر يك از مشخصه‌هاي فني استفاده مي‌شود . براي اين روابط نيز از علائم زير استفاده مي‌شود :

يك رابطه قوي را نشان مي دهد.(همبستگي مثبت) ◯

يك رابطه مثبت را نشان مي دهد. +

يك رابطه منفي را نشان ميدهد. -

يك رابطه منفي قوي را نشان مي دهد.(همبستگي منفي) ◯

مشخصه‌هاي فني متضاد (داراي همبستگي منفي) خيلي مهم مي‌باشند . چون غالباً نتيجه نيازهاي متضاد مشتري مي‌باشد . مثالي از همبستگي منفي اين است كه اگر انتظارات مشتري از اتومبيل مصرف سوخت كم و ايمني بالا باشد ، مشخصه‌هاي فني معادل آن براي ايمني بالا ، استفاده از ضربگيرهاي قوي‌تر ، كيسه‌هاي هوا ، ترمز ضد قفل مي‌باشد كه افزايش وزن را به همراه داشته و در نتيجه مصرف سوخت را بالا مي‌برد.

2-1-5- قدم پنجم : انجام ارزيابي مقايسه‌اي نيازهاي مشتري و ارزيابي مقايسه‌اي مشخصه‌هاي فني و مهندسي :

2-1-5-1- ارزيابي مقايسه‌اي نيازهاي مشتري :

اين ارزيابي در طرف راست ماتريس رابطه خانه كيفيت قرار مي‌گيرد . اين ارزيابي در ستون "محصول ما " ميزان مرتفع نمودن نيازهاي مشتري را در محصول توليدي ما را به وسيله اختصاص دادن اعداد 1 تا 5 نشان مي‌دهد . براي نيازي كه بطور كامل در محصول توليدي ما لحاظ شده‌باشد ، عدد 5 و براي نيازي كه توسط مشتري بيان شده و در محصول ما لحاظ نشده است عدد 1 تعلق مي‌گيرد .

نتيجه اين ارزيابي تعيين نواحي كه بايستي بيشتر در طراحي روي آنها تمركز شود و جايگاه سازمان ما را در مقابل رقباي اصلي نشان مي‌دهد . نهايتاً شناختي از سازمان ، در مورد جايگاه محصولات آن در ارتباط با بازار نشان مي‌دهد .

2-1-5-2- ارزيابي مقايسه‌اي مشخصه‌هاي فني و مهندسي :

اين ارزيابي در پايين ماتريس رابطه خانه كيفيت قرار مي‌گيرد . اين ارزيابي در سطر "محصول ما " ميزان وجود مشخصه فني تعريف شده را در محصول توليدي ما را بوسيله اختصاص دادن اعداد 1 تا 5 نشان مي‌دهد . مشخصه فني‌اي كه بطور كامل در محصول توليدي ما لحاظ شده‌باشد عدد 5 و مشخصه‌اي كه در محصول توليدي لحاظ نشده‌است عدد 1 تعلق مي‌گيرد .

چنانچه ارزيابي مقايسه‌اي فني و مهندسي يك سازمان نشان دهد كه محصولش نسبت به رقيب بهتر است ، ارزيابي نياز مشتري نيز بايستي ارزيابي بهتري را نشان دهد . چنانچه اين طور نباشد اشتباهي در قضاوت مهندسي رخ داده كه بايستي اصلاح شود .

لازم به ذكر است كه در برخي از موارد ، عملا امكان ارزيابي و مقايسه شرايط و الزامات فني و مهندسي محصول ما با محصولات رقبا وجود نداشته و عدم تكميل اين قسمت از خانه كيفيت در مورد برخي از مشخصات فني و مهندسي ، لطمه چشمگيري به خانه كيفيت وارد نمي‌شود .

2-1-6- قدم ششم : بسط نيازهاي اولويت‌بندي شده مشتري :

براي اين اولويت بندي از پارامترهايي به شرح ذيل استفاده مي‌شود :

2-1-6-1- درجه اهميت :

در اين ستون درجه اهميت هر نياز از ديدگاه مشتري بوسيله تيم Q FD مشخص مي‌شود . نيازي كه بيشترين اهميت را دارد عدد 10 و نيازي كه كمترين اهميت را دارد عدد 1 مي‌گيرد .

2-2-6-2- برنامه شركت :

در اين ستون ميزان بهبود محصول جاري را مشخص مي‌نماييم . مقياس رتبه‌بندي اين ستون بايستي مشابه مقياس ارزيابي مقايسه‌اي نياز مشتري (1 تا 5) باشد . تيم Q FD تصميم مي‌گيرد كه آيا مي‌خواهند كه محصولاتشان بدون تغيير باقي بماند ،

بهبود يابد يا محصولاتي بهتر از محصول رقيب بسازند . بديهي است مقدار هدف براي يك نياز مشتري بايستي بزرگتر يا مساوي رتبه معادل آن در ستون ارزيابي مقايسه‌اي نيازهاي مشتري باشد .

2-1-6-3- نسبت بهبود :

نسبت مقادير ستون " برنامه شركت " به ارزيابي مقايسه نيازهاي مشتري (مربوط به محصول‌ما) در اين ستون ثبت مي‌گردد . (بديهي است مقادير اين ستون بزرگتر يا مساوي يك مي‌باشد) .

2-1-6-4- امتياز فروش :

تيم QFD هر يك از نيازهاي مشتري را كه تأثير بيشتري در فروش محصول دارد مشخص مي‌نمايد . هر يك از مشخصه‌هاي مشتري كه از درجه اهميت بالايي در نزد مشتريان برخوردار بوده و ارايه آنها در سطحي مطلوب موجب ايجاد انگيزه و رضايت بسيار زيادي در آنها مي‌شود ضريب 1/5 را گرفته و مواردي كه موجبات رضايت مشتريان را باعث مي‌شود

ولي به اندازه گروه اول ضريب 1/2 به آنها تخصيص مي‌يابد و ساير موارد كه نيازي به تصحيح و تاكيد بيشتري در مورد آنها نيست ضريب 1 مي‌گيرند .

2-1-6-5- محاسبه وزن مطلق هر نياز مشتري :

آنچه مسلم است اولويت بندي انجام شده از جانب مشتريان بدون توجه به شرايط سازمان (نقاط قوت و ضعف) و شرايط محيطي بازار (فرصتها و تهديدها) مي‌باشد بنابراين با ضرب مقادير امتياز فروش ، نسبت بهبود و درجه اهميت وزن ، مطلق محاسبه مي‌شود و در ستون وزن مطلق ثبت مي‌نماييم .

2-1-6-6- محاسبه وزن نسبي :

براي مقايسه نسبي نيازمنديهاي كيفي مشتريان در آخرين مرحله از قدم ششم اقدام به محاسبه ضرايب نسبي اهميت هريك از نيازهاي مشتريان مي‌نماييم براي اين منظور وزن مطلق هر يك از خواسته‌هاي كيفي مشتريان را به حاصل جمع اوزان مطلق تقسيم نموده ، عدد حاصل در 100 ضرب شده و در ستون وزن نسبي نوشته مي‌شود .

$$\text{وزن نسبي هر خواسته كيفي} = \frac{\text{وزن مطلق هر خواسته كيفي}}{\text{حاصل جمع اوزان مطلق خواسته‌هاي كيفي مشتري}} * 100$$

2-2-7- قدم هفتم : بسط مشخصه‌هاي فني و مهندسي اولويت‌بندي شده :

2-1-7-1- محاسبه وزن مطلق :

براي محاسبه وزن مطلق هر مشخصه فني از فرمول زير استفاده مي‌شود :

$$W_j = \sum_{i=1}^{n} Rij \; C_i$$ كه :

wj = بردار سطري وزنهاي مطلق براي مشخصه‌هاي فني (j=1،2،.....m)

Rij = اوزان تخصيصي به ماتريس رابطه (j=1،2،.....m ، i= 1،2،....، n)

Ci = بردار ستوني درجه اهميت نيازهاي مشتري(i =1،2،....n)

m = تعداد مشخصه‌هاي فني

n = تعداد نيازهاي مشتري

2-1-7-2- محاسبه وزن نسبي :

براي محاسبه وزن نسبي هر مشخصه فني از فرمول زير استفاده مي‌شود :

$$\text{وزن نسبي هر مشخصه فني} = \frac{\text{وزن مطلق مشخصه فني}}{\text{مجموع اوزان مطلق مشخصات فني}} * 100$$

2-1-7-3- مقدار هدف :

در اين سطر ميزان مقادير هدف براي هر مشخصه فني تعيين مي‌گردد . براي تعيين آنها مي‌توان از ميزان همبستگي خصوصيات فني (بام خانه كيفيت) ، نتايج حاصل از ارزيابي مقايسه‌اي موارد فني ، استفاده از DOE استفاده كرد .

لازم به ذكر است كه تعيين مقادير هدف ، در صورت امكان در آخرين مرحله خانه كيفيت صورت پذيرد تا بدين ترتيب حداكثر استفاده از داده‌هاي موجود در ماتريس باشد .

وزنهاي بدست آمده مي‌تواند با يك نمودار پارتو براي نمايش اهميت مشخصه‌هاي فني در برآوردن نيازهاي مشتري تحليل شود ملاحظات زماني و هزينه‌اي ، ماتريس همبستگي و همچنين نتايج ارزيابي مقايسه‌اي مشخصات فني و مهندسي مي‌تواند در رابطه با انتخاب مشخصه‌هاي فني براي ورود به مرحله دوم اقدام گردد

كليه موارد فوق الذكر در فرم ماتريس طرحريزي محصول (خانه كيفيت) ثبت مي‌شود .

2-2- مرحله دوم – طراحي محصول :

در اين مرحله مشخصه‌هاي فني و مهندسي از ستونهاي ماتريس طرحريزي محصول (مرحله اول) به عنوان سطرهاي ماتريس طراحي محصول (مرحله دوم) در نظر گرفته مي‌شود . در اين مرحله مي‌توان كليه مشخصه‌هاي فني و مهندسي و يا تعدادي از آنها و با توجه به اولويت بندي و تصميم‌گيري تيم QFD (وسيله نمودار پارتو و يا موارد ديگر) انتقال داده شود در اين مرحله مشخصه‌هايي از اجزا و قطعات تشكيل دهنده محصول كه ما را در دستيابي به انتظارات مشتريان كمك خواهند كرد مورد بررسي و تحليل قرار مي‌گيرند .

هدف اين مرحله ترجمه مشخصه‌هاي فني و مهندسي محصول از خانه كيفيت به مشخصه‌ها و ويژگي‌هايي است كه اجزا و قطعات محصول بايد داشته باشند . منظور از اجزا در اين مرحله اقلام محسوسي هستند كه از تركيب آنها محصول نهايي حاصل مي‌شود (مانند مواد خام ، عناصر و يا زير سيستم‌هاي محصول اصلي).

در اين مرحله وزن نسبي هر مشخصه فني در خانه كيفيت به عنوان درجه اهميت در ماتريس طراحي محصول در نظرگرفته مي‌شود و پس از درج مشخصه‌ها و ويژگي‌هاي قطعات در قسمت بالاي ماتريس ، جهت تعيين ماتريس ارتباطات
مطابق بند 2-1-3 و جهت تعيين اوزان مطلق و نسبي هر يك از مشخصات قطعات مطابق بندهاي 2-1-5-6 و 2-1-6-6 همين روش اجرايي اقدام مي‌شود و اين مشخصات با توجه به اوزان بدست آمده و اولويت بندي به ماتريس طرحريزي فرآيند انتقال مي‌يابند . كليه موارد فوق الذكر در فرم ماتريس طراحي محصول ثبت مي‌شود .

2-3- مرحله سوم – طرحريزي فرآيند :

در اين مرحله ، مشخصه‌هاي قطعات مربوط به ستونهاي ماتريس طراحي محصول به عنوان سطرهاي ماتريس طرحريزي فرآيند در نظرگرفته مي‌شودند و مشخصه‌هاي قطعات به پارامترهاي كنترلي كليدي فرآيند (قطعات ورودي و حين فرآيند) ترجمه مي‌شوند .(اين پارامترهاي كنترلي مي‌تواند از نمودار فرآيند عمليات (OPC) استخراج شود) هدف اين مرحله ايجاد اطمينان از برقراري فرآيندي است كه قطعات و اجزاي محصولات توليدي به مقادير هدفي كه از پيش براي آنها تعيين شده است دست مي‌يابند
بايد توجه داشت در اين مرحله مي‌توان با استفاده از دستورالعمل FMEA در شناسايي تكميلي پارامترهاي كنترلي فرآيند و از دستورالعمل DOE جهت در نظر گرفتن مقادير هدف آنها استفاده كرد . كليه محاسبات مطابق بند 2-2 انجام گرفته و در فرم ماتريس طرحريزي فرآيندثبت مي‌گردد با توجه به اوزان نسبي پارامترهاي كنترلي و اولويت بندي آنها اين موارد به ماتريس برنامه‌ريزي كنترل فرآيند انتقال مي‌يابد .

2-4- مرحله چهارم – برنامه‌ريزي كنترل فرآيند :

پارامترهاي كنترلي فرآيند كه در مرحله سوم استخراج شده‌اند به عنوان سطرهاي ماتريس برنامه‌ريزي كنترل فرآيند در نظر گرفته مي‌شوند . در اين مرحله چهار معيار ارزيابي به قرار ذيل براي هر يك از سطرهاي ماتريس برنامه‌ريزي كنترل فرآيند با وزنهاي 1 (غير بحراني) ، 2 (بحراني) و 3 (بسيار بحراني) تعيين مي‌شود :

- سختي كنترل
- تواتر مشكلات بالقوه
- وخامت (شدت) مشكلات بالقوه
- توانايي تشخيص مشكلات

با ضرب وزن‌هاي چهار عامل فوق معيار ارزيابي عمليات (عددي بين 1 و 81) براي هر يك از سطرهاي ماتريس محاسبه مي‌شود . واضح است كه هر چه معيار ارزيابي عمليات عدد بزرگتري باشد ، فرآيند مورد نظر بحراني‌تر تشخيص داده مي‌شود و بايد كنترل بيشتري اعمال شود .

پس از تعيين فرآيندها و عمليات بحراني در سطرهاي ماتريس ، الزامات مربوط به كنترل آنها به منظور پيشگيري از بروز خطا و شكست در آنها ، در ستونهاي ماتريس برنامه‌ريزي كنترل فرآيند تعيين مي‌شود.

پاره‌اي از اين الزامات عبارتنداز :

- تدوين دستورالعمل نگهداري و تعميرات
- طراحي و استفاده از وسايل اندازه‌گيري جديد
- استفاده از روشهاي جلوگيري از بروز خطا
- تدوين و اعمال اقدامات لازم براي پيشگيري از خرابي
- تجزيه و تحليل كار / فرآيند
- تدوين دستورالعمل‌هاي كاري
- ارايه آموزشهاي مورد نياز به كارگران
- ارتقاي كيفي ابزار و تجهيزات
- آموزش پيمانكاران فرعي
- تجزيه و تحليل سيستم اندازه‌گيري (MSA)
- انجام SPC و تهيه نمودارهاي كنترلي

كليه موارد فوق الذكر در فرم ماتريس طرحريزي كنترل فرآيند ثبت مي‌شود .

خروجي اين مرحله طرح‌هايي براي بهبود مستمر

و يا اقدامات اصلاحي و يا پيشگيرانه مي‌باشد .

با توجه به مراحل چهارگانه فوق الذكر مي‌توان گفت اين چهار مرحله خواسته‌ها و انتظارات مشتريان را به مرحله ساخت و توليد محصول انتقال مي‌دهد و به طور كلي مشخص مي‌كند كه " نيازهاي كيفي مشتريان " (ورودي مرحله اول) ، با چه " مواد و قطعات " (خروجي مرحله دوم) ، با چه " كنترل فرآيندهاي ساخت و توليد " (خروجي مرحله سوم) و با چه " الزامات كنترل فرآيند " (خروجي مرحله چهارم) تامين و برآورده مي‌شوند . به عنوان مثال در مورد " آفتابگير خودرو " ، " باز نشدن دوخت دور آفتابگير " يكي از نيازهاي عنوان شده مشتري بوده است كه " استحكام دوخت دور آفتابگير " به عنوان مشخصه فني و مهندسي متناظر آن در نظر گرفته مي‌شود كه در ماتريس طراحي محصول " ضخامت روكش PVC " به عنوان مشخصه اجزاي تشكيل دهنده آن در نظر گرفته مي‌شود كه در نتيجه " كنترل ضخامت روكش PVC " به عنوان يكي از پارامترهاي كنترلي در ماتريس طرحريزي فرآيند عنوان مي‌شود و در نتيجه در ماتريس طرح‌ريزي كنترل فرآيند " تدوين دستورالعمل كنترلي " به عنوان تصميم جهت ارضاء كردن اين نياز مطرح مي‌شود .

DOE

روش DOE جهت تعيين پارامترهاي موثر بر كيفيت در مرحله طراحي محصولات جديد و همچنين بهينه كردن و كاهش تغييرپذيري فرايند و بهبود بازده آن بكار مي رود.

روش اجرا

طراحي آزمايشها شامل يك آزمايش يا يكسري از آزمايشهايي مي شود كه به طور آگاهانه در متغيرهاي ورودي فرايند تغييراتي ايجاد مي گردد تا از اين طريق ميزان تغييرات حاصل در پاسخ خروجي فرايند مشاهده و شناسايي شود. فرايند را مي توان تركيبي از دستگاهها، روشها و افراد تصور نمود كه مواد ورودي را به يك محصول خروجي تبديل مي كنند. اين محصول خروجي داراي يك يا چند مشخصه كيفي يا پاسخهاي قابل مشاهده است. بعضي از متغيرهاي فرايند قابل كنترل و ساير آنها غيرقابل كنترل هستند (گرچه آنها مي توانند در شرايط آزمايش قابل كنترل باشند.) در بعضي موارد اين عاملهاي غيرقابل كنترل *عاملهاي اغتشاش* ناميده مي شوند.

اهداف يك آزمايش ممكن است شامل موارد ذيل گردد:

1- تعيين متغيرهاي قابل كنترلي كه بيشترين اثر را بر روي پاسخ دارند.
2- تعيين مقادير متغيرهاي قابل كنترلي كه بيشترين اثر را بر روي پاسخ دارند، به گونه اي كه متغير پاسخ y به مقدار اسمي خود نزديك تر باشد.
3- تعيين مقادير متغيرهاي قابل كنترلي كه بيشترين اثر را بر روي پاسخ دارند، به گونه اي كه تغييرات در متغيرپاسخ y كوچك باشد.
4- تعيين مقادير متغيرهاي قابل كنترلي كه بيشترين اثر را بر روي پاسخ دارند، به گونه اي كه اثرات متغيرهاي غيرقابل كنترل حداقل گردد.
5- بنابراين روشهاي طراحي آزمايشها را مي توان در توسعه يا رفع مشكلات فرايند و نتيجتا" بهبود عملكرد آن و يا دست يافتن به فرايندي كه نسبت به منابع تغييرات خارجي فاقد حساسيت و يا مقاوم است استفاده كرد.

روشهاي طراحي آزمايشها مي توانند در استقرار كنترل آماري فرايند مفيد واقع گردند. بعنوان مثال، فرض كنيد كه نمودار كنترل حالت خارج از كنترل را نشان مي دهد و فرايند چندين متغير ورودي قابل كنترل دارد. اگر بدانيم كدام يك از متغيرهاي ورودي مهم هستند آنگاه مي توان فرايند را به حالت تحت كنترل برگردانيد در غير اينصورت برگرداندن فرايند به حالت تحت كنترل بسيار مشكل خواهد بود. روشهاي طراحي آزمايشها را مي توان جهت شناسايي متغيرهايي كه بر روي فرايند اثر مي گذارند استفاده كرد.

طراحي آزمايشها يكي از ابزارهاي مهندسي مهم در راستاي بهبود فرايندهاي توليد محسوب مي شود. اين ابزار كاربرد فراواني در توسعه يك فرايند توليد دارد. كاربرد اين فنون در مراحل اوليه توسعه فرايند مي تواند نتايج زير را به همراه داشته باشد:

1- بهبود بازده
2- كاهش تغييرات
3- كاهش زمان توسعه
4- كاهش هزينه ها

همچنين روشهاي طراحي آزمايشها مي تواند نقش مهمي در فعاليت هاي طراحي مهندسي كه شامل طراحي و توسعه محصولات جديد و بهبود محصولات موجود مي گردد ايفا نمايد. بعنوان مثال مي توان به موارد زير كه بعضي از كاربردهاي طراحي آزمايشهاي آماري در طراحي مهندسي را نشان مي دهند اشاره كرد:

1- ارزيابي و مقايسه شكل و ابعاد اساسي طراحي
2- ارزيابي مواد
3- تعيين پارامترهاي كليدي طراحي محصول كه بر عملكرد آن اثر مي گذارند.

استفاده از طراحي آزمايشها در هريك از مواد فوق مي تواند توليد محصول را بهبود، عملكرد و قابليت اطمينان آن را افزايش و قيمت محصول و زمان توسعه آن را كاهش دهد.

روشهاي طراحي آزمايشها از روشهاي مهم بهبود فرايند هستند. به منظور استفاده از اين روشها افرادي كه آزمايش را انجام مي دهند بايد قبل از انجام آزمايش درك دقيق و واضحي در مورد هدف آزمايش، عاملهايي كه مورد مطالعه قرار مي گيرند، چگونگي نتيجه گيري در مورد آزمايش و حداقل يك درك كيفي از چگونگي تجزيه و تحليل داده ها داشته باشند. مراحل مورد نياز جهت طراحي يك آزمايش عبارتند از:

1- درك و بيان مسئله

در عمل، غالبا" تشخيص اينكه يك مشكل يا مسئله را مي توان از طريق طراحي آزمايشها حل كرد، بسيار دشوار است. به همين علت شايد نتوان به طور واضح مسئله را بيان كرد. با اين حال بايد بدانيم كه ارائه كليه نظرات به طور كامل در مورد مسئله و اهداف آزمايش ضرورت دارد.

معمولا" تهيه اطلاعات بايد قشر وسيعي از افراد نظير واحدهاي مهندسي، كنترل كيفيت، فروش و ... و همچنين مديريت، مشتريان و اپراتورها (كساني كه معمولا" اطلاعات بيشتري دارند و معمولا" نيز ناديده گرفته مي شوند.) را در بر گيرد. غالبا" بيان صريح و واضح مسئله يا مشكل و اهداف آزمايش در درك بهتر فرايند و حل مسئله كمك به سزائي خواهد داشت.

2- تعيين متغير پاسخ

در انتخاب متغير پاسخ، شخص آزمايشگر بايد اطمينان داشته باشد كه متغير انتخاب شده اطلاعات مفيدي را در مورد فرايند مورد مطالعه فراهم مي نمايد. در اغلب موارد ميانگين يا انحراف معيار (يا هر دو) مشخصه اندازه گيري شده متغير پاسخ خواهد بود. متغيرهاي پاسخ چندگانه زياد غيرمعمول نيستند. كارائي ابزار اندازه گيري نيز عامل مهمي محسوب مي شود. اگر ابزار اندازه گيري از كارايي خوبي برخوردار نباشد آنگاه آزمايش فقط بوجود اثرات بزرگ پي خواهد برد و يا اينكه آزمايش بايد تكرار گردد.

3- انتخاب عاملها و سطوح

آزمايشگر بايد عاملهايي را كه در آزمايش تغيير داده خواهند شد، دامنه هاي مربوط به تغييرات عاملها و سطوح خاصي كه براي آزمايش در نظر گرفته خواهد شد را انتخاب نمايد . به منظور انجام چنين كاري بايد شناخت و دانش كافي در مورد فرايند وجود داشته باشد. معمولا" اين شناخت تركيبي از تجارب عملي و درك تئوري است. كليه عواملي كه ممكن است به گونه اي در آزمايش نقش مهمي داشته باشند بايد مورد بررسي قرار گيرند تا از تاكيد بيش از حد در مورد عاملهايي كه ممكن است تحت نفوذ تجارب قبلي واقع گردند، مخصوصا" زماني كه در مراحل اوليه آزمايش به سر مي بريم و يا اينكه از عمر فرايند مدت زيادي نگذشته است، اجتناب نمائيم. وقتي كه هدف غربال عاملها يا ويژگي شناسي فرايند باشد معمولا" بهتر است كه تعداد سطوح عامل مورد مطالعه كم در نظر گرفته شود. (در اغلب موارد از دو سطح استفاده مي شود.)

4- انتخاب نوع آزمايش طراحي شده

اگر سه مرحله قبل به نحو توضيح انجام گيرند آنگاه اين مرحله نسبتا" ساده خواهد بود. انتخاب نوع طرح شامل انتخاب اندازه نمونه (تعداد دفعاتي كه آزمايش بايد تكرار شود.) و تعيين ترتيب صحيح انجام آزمايش مي گردد.

5- انجام آزمايش

وقتي آزمايش انجام مي شود، بايد فرايند انجام آن را به دقت تحت نظر گرفت تا اطمينان حاصل گردد كه همه چيز طبق نقشه پيش مي رود. وجود خطا در روش آزمايش در اين مرحله معمولا" منجر به از بين رفتن صحت آزمايش مي گردد. يكي از عوامل موفقيت، از پيش برنامه ريزي كردن است. در يك محيط توليدي پيچيده به راحتي مي توان جوانب برنامه ريزي و لجستيكي انجام آزمايش طراحي شده را كمتر از ميزان مورد نياز برآورد نمود. روش اجراي آزمايشها بايد كاملا" تصادفي باشد به گونه اي كه اثر عوامل غيرقابل كنترل حداقل گردد.

6- تجزيه و تحليل داده ها

روشهاي آماري را بايد براي تجزيه وتحليل داده ها استفاده كرد تا نتايج حاصل معتبر و عاري از قضاوتهاي شخصي باشد. اگر آزمايش بطور صحيح طراحي و طبق برنامه اجرا شده باشد آنگاه نوع

روشهاي آماري مورد نياز پيچيده نخواهد بود. روشهاي نموداري ساده نيز نقش مهمي را در تعبير و تفسير داده ها ايفا مي كنند. يكي از روشهاي مهم تجزيه و تحليل داده ها روش *آناليز واريانس* است.

6-1- آناليز واريانس براي آزمايشهاي تك عاملي

فرض كنيد يك عامل داراي a سطح مختلف است كه مي خواهيم آنها را با يكديگر مقايسه كنيم. پاسخ مشاهده شده در هريك از سطوح اين عامل يك متغير تصادفي را تشكيل مي دهد. داده هاي حاصل را مي توان به صورت جدول زير نشان داد. در اين جدول y_{ij} مشاهده j كه در سطح I عامل مورد نظر تهيه شده است را نشان مي دهد. براي انجام محاسبات، فرض مي شود كه تعداد مشاهدات تهيه شده در هريك از سطح عامل مورد مطالعه (n) يكسان است.

سطح عامل	مشاهدات	جمع	ميانگين
1	y_{11} y_{12} ..... y_{1n}	y_{1*}	y_{1*}
2	y_{21} y_{22} ..... y_{2n}	y_{2*}	y_{2*}
A	y_{a1} y_{a2} ..... ،y_{an}	y_{a*}	y_{a*}
		y_{**}	y_{**}

مشاهدات جدول فوق را مي توان به وسيله مدل زير توصيف نمود:

$$\mathbf{i = 1،2،...،a \quad ، \quad j = 1،2،...، n}$$

$$\mathbf{y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}} \qquad \text{رابطه (1)}$$

در اين مدل، y_{ij} مشاهده ij ، μ پارامتر مشترك براي همه سطوح كه ميانگين كل ناميده مي شود، T_i پارامتر مربوط به سطح iعامل يا اثر iعامل و E_{ij} مولفه خطاي تصادفي مدل را نشان مي دهند. هدف اصلي در اين تجزيه و تحليل، آزمايش يكسري فرضيه هاي خاص در مورد اثرات عامل مورد نظر و تخمين آنها مي باشد. به منظور آزمايش فرضيه ها، فرض مي گردد كه خطاهاي مدل داراي توزيع نرمال مستقل با ميانگين صفر و واريانس δ^2 هستند. همچنين فرض مي شود كه واريانس (δ^2) براي همه سطوح عامل مورد نظر ثابت است. معمولا" خطاهاي مدل در اثر خطاي اندازه گيري، اثرات متغيرهايي كه در آزمايش منظور نشده اند، تغييرات حاصل از انحرافات با دليل و غيره بوجود مي آيند. رابطه 1 مدلي را نشان مي دهد كه آن را بعلت اينكه فقط يك عامل را بررسي مي كند، *آناليز واريانس* يكطرف (One-Way Analysisi Of Variance) مي نامند. بعلاوه، نياز داريم كه مشاهدات بصورت تصادفي تهيه گردند تا محيطي كه عاملها در آن قرار دارند حتي الامكان از يكنواختي برخوردار باشد. اين طرح را طرح كاملا" تصادفي شده مي نامند.

در صورتي كه سطوح عامل مورد مطالعه (a سطح) توسط آزمايشگر انتخاب گردند و وي قصد داشته باشد نتايج حاصل را فقط براي سطح در نظر گرفته شده بكار ببرد.

(مدل اثرات ثابت) آناليز واريانس بصورت زير انجام خواهد شد:

در مدل اثرات ثابت ، اثرات عامل T_iمعمولا" بصورت انحرافات از ميانگين كل تعريف مي شوند.
در اينصورت:

$\Sigma T_i = 0$ رابطه (2)

فرض كنيد y_{i*} مجموع مشاهدات مربوط به سطح iعامل و y_{i*} ميانگين اين مشاهدات باشند. همچنين فرض كنيد كه y_{**} مجموع كل مشاهدات و y_{**}ميانگين كل مشاهدات باشند در اينصورت:

$y_{I*} = \Sigma \quad y_{ij} \quad ، \quad y_{i*} = y_{I*}/n \qquad i=1،2،\ldots،a$

$y_{**} = \Sigma \qquad \Sigma\, y_{ij}$ ، $y_{**} = y_{**}/n$ رابطه (3)

در رابطه هاي فوق N=an مجموع كل مشاهدات را نشان مي دهد.
در اينجا مي خواهيم فرضيه مساوي بودن ميانگين هاي مربوط به a سطح عامل را بررسي نمائيم. با استفاده از رابطه 2 فرضيه هاي مناسبي كه بايد آزمايش گردد عبارتند از:

$\mathbf{H_0 : T_i = T_2 = \ldots = T_a = 0}$

رابطه (4) $\mathbf{H_1 : T_i}$ حداقل براي يكي $\mathbf{i = 0}$

بعبارت ديگر اگر فرضيه خنثي درست باشد آنگاه هر مشاهده، متشكل از ميانگين كل μ و يك خطاي تصادفي E_{ij} خواهد بود. روش آزمون فرضيه هايي كه در رابطه 4 ارائه گرديده اند را *آناليز واريانس يكطرفه* مي نامند. نتيجه انجام آناليز واريانس يكطرفه بطور خلاصه بصورت جدول زير مي باشد:

	ميانگين مربعات	درجه آزادي	جمع مربعات	منبع اختلاف
$MS_E/F_0 = MS_{Factor}$	MS_{Factor}	a-1	SS_{Factor}	سطوح بين عاملي
	MS_E	a(n-1)	SS_E	خطا (در سطوح عامل)
		an-1	SS_T	جمع

در پايان اگر $F_0 > F\alpha$ و a-1 و a(n-1) آنگاه نتيجه مي گيريم كه ميانگينهاي سطوح عامل مورد نظر با هم تفاوت دارند.

6-2- آناليز واريانس براي آزمايشهاي عاملي

يك طرح عاملي زماني كه ارزيابي اثرات چندين عامل مورد نظر باشد، استفاده مي گردد. در بعضي از طرحها، عاملهاي مورد مطالعه همگي با هم تغيير مي كنند. در حقيقت، منظور از آزمايش عاملي، آزمايشي است كه در هر تكرار كامل آن كليه تركيبات سطوح عاملهاي مورد نظر بررسي مي گردند. در مواردي كه اثر يك عامل بستگي به سطوح عوامل ديگر دارد اصطلاحا" مي گوئيم بين اين چند عامل *اثر*

متقابل وجود دارد. در محاسبات اثر متقابل در اين بخش روش آناليز واريانس با دو عامل (بعلت كاربرد بيشتر) نشانداده مي شود. فرض كنيد اين دو عامل را با A و B نشان دهيم به طوري كه عامل A داراي a سطح و عامل B داراي b سطح باشد. اگر آزمايش n مرتبه تكرار شود آنگاه داده هاي حاصل را مي توان بصورت داده هاي ارائه شده در جدول زير نشان داد. بطور كلي مشاهده اي كه در مرتبه K آزمايش در خانه ij قرار مي گيرد را با yijk نشان مي دهيم.

		عامل B			
		1	2	…	b
عامل A	1	$y_{111}، y_{112}، \cdots y_{11n}$	$y_{121}، y_{122}، \cdots y_{12n}$		$y_{1b1}، y_{1b2}، \cdots y_{1bn}$
	2	$y_{211}، y_{212}، \cdots y_{21n}$	$y_{221}، y_{222}، \cdots y_{22n}$		$y_{2b1}، y_{2b2}، \cdots y_{2bn}$
	a	$y_{a11}، y_{a12}، \cdots، y_{a1n}$	$Y_{a21}، y_{a22}، \cdots y_{a2n}$		$y_{ab1}، y_{ab2}، \cdots y_{abn}$

در اين طرح مشاهدات بوسيله مدل زيرتوصيف مي گردند:

$$y_{ijk} = \mu + T_i + B_j + (TB)_{ij} + E_{ijk} \quad \begin{cases} i = 1,2,\ldots,a \\ j = 1،2،\ldots،b \\ k = 1،2،\ldots،n \end{cases}$$

در اين مدل μ ، اثر ميانگين كل، T_i اثر عامل A در سطح i، B_j اثر عامل B در سطح j و $(TB)_{ij}$ اثر متقابل بين A و B را نشان مي دهند. E_{ijk} خطاي تصادفي است كه داراي توزيع نرمال مستقل با ميانگين صفر و واريانس δ^2 مي باشد. هدف اصلي چنين آزمايشي بررسي فرضيه هاي زير است:
1- اثر عامل A معني دار نيست. 2- اثر عامل B معني دار نيست. 3- اثر متقابل AB معني دار نيست.

به منظور سهولت در انجام محاسبات، مجموع مشاهدات در سطح iعامل A را با yi** ، مجموع مشاهدات در سطح j عامل B را با y*j* ، مجموع مشاهدات در خانه ij جدول فوق را با yij* و مجموع كل مشاهدات را با y*** نشان مي دهيم. در اينصورت ميانگين سطر i، ميانگين ستون jو ميانگين خانه ijو ميانگين كل به ترتيب برابر خواهند بود با yi** و y*j* و yij* و y*** . نتيجه انجام آناليز واريانس براي مدل فوق بطور خلاصه بصورت جدول زير است:

منبع اختلاف	جمع مربعات	درجه آزادي	ميانگين مربعات	F_0
A	SS_A	a-1	$MS_A=SS_A / (a-1)$	$F_0 = MS_A / MS_E$
B	SS_B	b-1	$MS_B=SS_B / (b-1)$	$F_0 = MS_B / MS_E$
اثر متقابل (AB)	SS_{AB}	(a-1)(b-1)	$MS_{AB}=SS_{AB} / (a-1)(b-1)$	$F_0 = MS_{AB} / MS_E$

خطا	SS_E	ab(n-1)	$MS_E=SS_E$ / ab(n-1)	
جمع	SS_T	abn-1		

موارد داخل جدول از فرمولهاي زير بدست مي آيند:

$SST = \Sigma \ \Sigma \ \Sigma \ y2ijk - (y2*** \ / abn)$

$SSA = \Sigma \ (y2I** \ / bn) - \ (y2*** \ / abn)$

$SSB = \Sigma \ (y2*j* \ / an) - \ (y2*** \ / abn)$

جمع مربعات مربوط به اثرات متقابل معمولا" در دو مرحله محاسبه مي گردد:

$SSSubtotals = \Sigma \ \Sigma \ (y2ij* \ / n) - \ (y2*** \ / abn)$

$SSAB = SSSubtotals \ - SSA - SSB$

جمع مربعات خطا از طريق هريك از دو رابطه زير بدست مي آيد:

$SSE = SST - SSAB \ - SSA - SSB$

$SSE = SST - SSSubtotals$ يا

در پايان آناليز اگر مقدار F محاسبه شده از مقدار F حاصل از جدول توزيع F بيشتر باشد، فرضيه مورد نظر رد مي شود.

7- تعيين اعتبار نتايج

در آناليز واريانس فرض مي شود كه مشاهدات داراي توزيع نرمال مستقل با واريانس يكسان براي هر سطح عامل مورد مطالعه هستند. اين مفروضات را بايد با بررسي باقيمانده ها ارزيابي نمود.

7-1- آناليز باقيمانده ها براي آزمايشهاي تك عاملي

مقدار باقيمانده را مي توان از رابطه $e_{ij} = y_{ij} - y_{i*}$ و يا بعبارت ديگر اختلاف بين يك مشاهده و ميانگين سطح عامل متناظر با آن محاسبه نمود. فرض نرمال را مي توان با رسم باقيمانده ها بر روي يك كاغذ احتمال نرمال بررسي نمود. بمنظور بررسي فرض تساوي واريانس ها در سطوح مختلف عامل مورد مطالعه مي توان باقيمانده ها را برحسب سطوح عامل رسم و پراكندگي بين باقيمانده ها را با يكديگر مقايسه كرد. همچنين يكي از نمودارهاي مفيد ديگر مي تواند رسم باقيمانده ها برحسب y_{i*}باشد.تغييرپذيري در باقيمانده ها به هيچوجه نبايد به مقدار y_{i*} وابسته باشد.

فرض مستقل بودن را مي توان با رسم باقيمانده ها برحسب ترتيبي كه آزمايش تكرار شده است، بررسي نمود. وجود هرگونه روند بر روي اين نمودار، نظير يك سلسله از باقيمانده هاي مثبت و منفي، ممكن است حاكي از اين باشد كه مشاهدات مستقل نيستند. اين نوع اطلاعات مي تواند بيانگر اين واقعيت باشد كه ترتيب انجام و تكرار آزمايش ، عامل مهمي است و يا اينكه متغيرهائي كه با گذشت زمان تغيير مي كند متغيرهاي مهمي هستند كه در آزمايش طراحي شده شامل نگرديده اند.

7-2- آناليز باقيمانده ها براي آزمايشهاي عاملي

در اين بخش آناليز باقيمانده ها با دو عامل (بعلت كاربرد بيشتر) نشان داده مي شود:
در آزمايشهاي دو عاملي، باقيمانده ها را مي توان از رابطه $e_{ijk} = y_{ijk} - y_{ij}^*$ تعيين نمود. بعبارت ديگر باقيمانده ها عبارتند از اختلاف بين مشاهدات و ميانگينهاي خانه هاي متناظر با آنها. بقيه مراحل اين آناليز مطابق آناليز باقيمانده ها براي آزمايشهاي تك عاملي انجام مي شود.

8- نتيجه گيريها و پيشنهادها

وقتي كه داده ها مورد تجزيه و تحليل قرار گرفتند آنگاه شخص آزمايشگر بايد براساس نتايج حاصل نتيجه گيري و پيشنهاداتي نيز ارائه كند. در اين مرحله روشهاي نموداري، مخصوصا" اگر قرار باشد كه نتايج به افراد ديگري نيز ارائه گردد، مفيد خواهد بود. آزمايشهاي بعدي و آزمونهاي تائيدي نيز بايد انجام گيرند تا نسبت به اعتبار نتايج بدست آمده اطمينان حاصل گردد.

در تمام طول اين فرايند، بايد به اين نكته توجه داشت كه آزمايش بخش مهمي از فرايند يادگيري را تشكيل مي دهد. در اين قسمت فرضيه مربوط به سيستم، فرموله و آزمايشاتي انجام مي شوند و به همين صورت مراحل تكرار مي گردند تا به نتايج قطعي دست يافته شود. اين مراحل بيانگر اين واقعيت هستند كه آزمايش بصورت پي در پي و تكراري انجام مي گيرد. بايد توجه داشت كه طراحي يك آزمايش بزرگ و جامع در ابتداي يك بررسي و مطالعه اشتباهي بسيار بزرگ است.

يك آزمايش موفقيت آميز ، نياز به دانش عاملهاي مهم، دامنه هايي كه اين عاملها بايد در آن تغيير كنند، تعداد سطوح مناسبي كه بايد استفاده شود و واحدهاي اندازه گيري مناسب براي اين متغيرها دارد. به طور كلي، جوابهاي مربوط به اين سوالات را به طور دقيقي نمي دانيم ولي با گذشت زمان اطلاعاتي در مورد آنها بدست مي آوريم. با پيشرفت يك آزمايش ، بعضي از متغيرها حذف و تعدادي ديگر اضافه مي شوند. ناحيه اي كه بعضي از عاملها در آن بررسي مي شوند تغيير مي كند و يا حتي متغيرهاي پاسخ جديدي مورد استفاده قرار مي گيرند. نتيجتا" مراحل آزمايش، معمولا" بصورت متوالي انجام مي گيرد و بعنوان يك قانون كلي بيش از حدود 25% منابع موجود را نبايد صرف اولين آزمايش كرد. اين كار به ما اطمينان مي دهد كه منابع كافي براي دست يافتن به اهداف آزمايش وجود خواهد داشت.