

طراحی آزمایش به روش تاگوچی

**Design of Experiment with Taguchi  
Method**



## طراحی آزمایش چیست؟

- ✓ روش تعریف و بررسی تمام شرایط ممکن در یک آزمایش شامل چند فاکتور، طراحی آزمایشات نامیده می شود..
- ✓ طراحی آزمایش، دانشی است که به کمک آن می توان میزان اثرپذیری هر یک از عوامل موثر بر فرآیند را بر مشخصه های خروجی به شکل یک معادله بیان کرد.
- ✓ طراحی آزمایش را می توان بصورت ایجاد تغییرات هدفمند در مشخصه های ورودی یا فاکتورهای یک فرآیند برای مشاهده تغییرات در مشخصه خروجی یا پاسخ تعریف کرد.
- ✓ اینکه این عوامل چگونه باشند تا بهترین مشخصه خروجی بدست آید مهم است. به این سوالات طراحی آزمایش (Design Of Experiments) پاسخ می دهد.
- ✓ از اهداف کلی طراحی آزمایش می توان به موضوعاتی همچون کاهش تعداد آزمایشات و در نتیجه کاهش زمان و هزینه، تعیین متغیرهایی که بیشترین تاثیر را در پاسخ دارند، حذف فاکتورهای غیر ضروری، محاسبه درصد اهمیت هر متغیر، تعیین میزان خطا و تعیین شرایط بهینه اشاره کرد.

طراحی آزمایش در بعضی از نشریات طراحی فاکتوریلی نیز نامیده می شوند

$$N=L^m \quad \text{طراحی فاکتوریلی کامل}$$

آزمایشات فاکتوریلی جزئی منجر به کاهش تعداد آزمایشات می گردند. اما مستلزم انجام عملیات و محاسبات ریاضی بسیار زیادی در مراحل طراحی آزمایشات و تحلیل نتایج است.

تاگچی با استفاده از آرایه های متعامد (Orthogonal Arrays) تعداد آزمایش ها را بسیار کاهش داده است. این آرایه ها با ویژگی های خاصی از بین تعداد کل آزمایش ها در روش فاکتوریل کامل انتخاب می شوند.

آرایه های متعامد را بصورت  $L_n(x^y)$  نشان می دهند.

$L$  حرف اول کلمه Latin squares (آرایه ای که در طراحی آزمایش ها بکار می رود و خصوصیات ویژه ای دارد)،  $n$  بیانگر تعداد آزمایش ها،  $x$  نشانه تعداد سطح های فاکتور و  $y$  بیانگر حداکثر تعداد فاکتورهایی است که با آرایه مورد نظر قابل بررسی است. بعنوان مثال در آرایه  $L_8(2^7)$  تعداد آزمایش ها ۸ می باشد و با این آرایه حداکثر ۷ فاکتور دو سطحی قابل بررسی است.

یک آرایه متعامد از سطرها و ستون هایی تشکیل شده است که هر سطر مشخص کننده سطوح فاکتورها در یک آزمایش است و هر ستون مشخص کننده یک فاکتور است.

Experiment Number	Column number						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

- در هر ستون تعداد سطوح یک فاکتور بدفعات مساوی تکرار می شود.
- تمام سطوح تعیین شده برای فاکتورها در انجام آزمایشات بکار می روند.
- ترتیب قرار گرفتن سطوح فاکتورها به هیچ وجه نباید تغییر کند. زیرا هر کدام از ستون ها با ستون دیگر متعامد است.
- سطوح تمام فاکتورها در ستون های مختلف به یک تعداد با هم روبرو می شوند.

- ✓ کاهش تعداد آزمایش ها و هزینه ها
- ✓ امکان بررسی فاکتورهای گسسته (نوع ماده و ...)
- ✓ تعیین سهم فاکتورها
- ✓ امکان تخمین نتایج در شرایط بهینه
- ✓ امکان تخمین نتایج در سطوح دلخواه
- ✓ تعیین سهم خطا
- ✓ تعیین سهم اثرات متقابل در نظر گرفته شده

✓ پاسخ (Response)

پاسخ، متغیر خروجی فرآیند و به عبارتی مشخصه ای است که در پایان انجام آزمایشات اندازه گیری می شود و شرایط بهینه بر اساس نزدیک بودن به اهداف پاسخ مشخص می شود. بر این اساس پاسخ بصورت زیر ارزیابی می شود:

۱- پاسخ هایی از نوع بزرگتر (بیشتر) - بهتر [The Bigger (Higher) is the Better]

مواقعی استفاده می شود که در پایان آزمایش ها حد بالای پاسخ اندازه گیری شده در نظر باشد. مانند: درصد خلوص محصول، میزان تولید، راندمان فرآیند و ...

۲- پاسخ هایی از نوع کمتر - بهتر [The Smaller is The Better]

پاسخ هایی همچون میزان ناخالصی، قیمت تمام شده، میزان آلودگی هوا، میزان ضایعات موجود در محصول، میزان مصرف سوخت و ... در این تقسیم بندی قرار می گیرند.

۳- پاسخ هایی از نوع نزدیکتر به یک مقدار مشخص - بهتر [The Nominal (Target) is The Better]

پاسخ هایی مثل میزان ترکیبات در یک دارو، میزان جرم مولکولی پلیمر و ... در این مجموعه اند.

### فاکتور (Factor)

عامل یا متغیری است که اثر آن بر سیستم بررسی می شود. بعبارت دیگر با تغییر فاکتورها، سعی می شود پاسخ به میزان مورد نظر خود نزدیک شود.

### ❖ فاکتورهای کنترلی و اغتشاشگر (Control & Noise Factors)

فاکتورهایی را که می توان مقادیر آنها را ثابت نگهداشت کنترلی و آنهایی را که مقادیر ثابتی ندارند و یا ثابت نگه داشتن آنها آسان و به صرفه نیست فاکتورهای اغتشاشگر یا غیر کنترلی می نامند مانند تغییرات ولتاژ و تغییرات دما محیط در مواقعی که کنترل آن غیر ممکن است.



## تعریف یک سری مفاهیم اولیه

### سطح (Level)

مقادیر یا حالاتی که برای هر فاکتور در نظر گرفته می شود، سطح آن فاکتور نامیده می شود.

### اثر اصلی (Main Effect)

اثر اصلی یک فاکتور میزان تغییر پاسخ در اثر تغییر در میزان سطح یک فاکتور است. عبارت دیگر به میزان تغییری که یک عامل به تنهایی در پاسخ ایجاد می کند اثر اصلی آن فاکتور می گویند.

مثال:

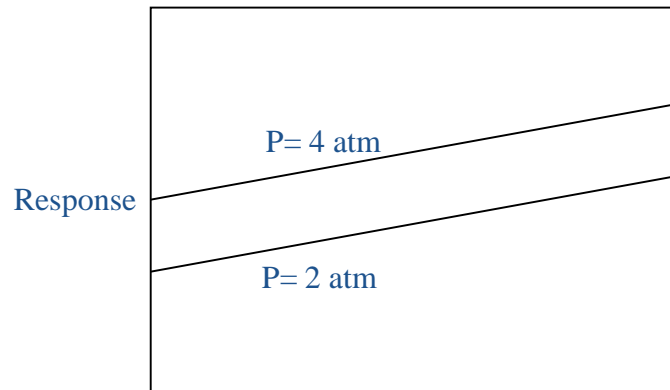
آزمایش اول:  $T=25^{\circ}\text{C}$  ,  $P=3 \text{ atm}$  ,  $\text{Conc.}=15\% \rightarrow R=60$

آزمایش دوم:  $T=25^{\circ}\text{C}$  ,  $P=5 \text{ atm}$  ,  $\text{Conc.}=15\% \rightarrow R=70$

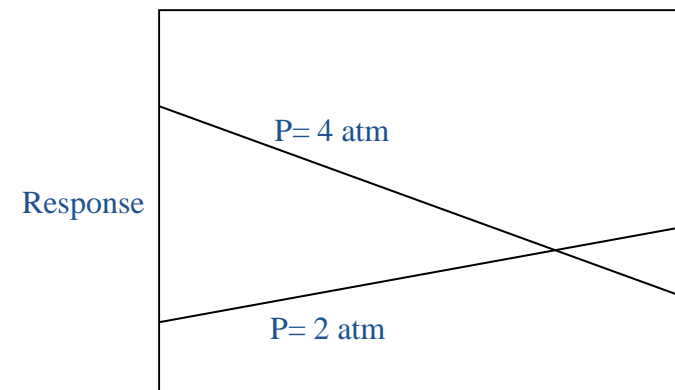
در مثال فوق پاسخ آزمایش اول ۶۰ و پاسخ آزمایش دوم ۷۰ است و با توجه به اینکه سطح فاکتورهای دما و غلظت تغییر نکرده این تغییر در پاسخ بدلیل اثر اصلی فشار است.

## اثرات متقابل

میزان تغییری را که دو یا چند فاکتور همزمان در پاسخ ایجاد می کنند، اثر متقابل می گویند که بصورت  $A * B$  نمایش داده می شود.



Levels of Factor -Temperature



Levels of Factor -Temperature

اگر نتایج بصورت فوق گزارش می شد، اثرات متقابل بین این دو فاکتور از بین می رفت.

خطوط موازی نشان می دهد اگر دما از سطح ۱ به سطح ۲ برود میزان تغییر در پاسخ بدون در نظر گرفتن سطح فاکتور فشار یکسان است.

اثر متقابل فاکتورهای دما و فشار نمایش داده شده است. مشاهده می شود که روند تغییرات فاکتور فشار بر پاسخ با افزایش دما از سطح ۱ به سطح ۲ تغییر کرده است.

۱- انتخاب آرایه متعامد مناسب

$$\text{DOF}_{\text{Factor}} = \text{Number of level} - 1$$

$$\text{DOF}_{\text{interaction (A*B)}} = \text{DOF}_{\text{Factor A}} * \text{DOF}_{\text{Factor B}}$$

$$\text{DOF}_{\text{Experiment}} = \text{DOF}_{\text{Factor}} + \text{DOF}_{\text{Interaction}}$$

برای انتخاب آرایه متعامد مناسب، درجه آزادی آرایه متعامد باید از درجه آزادی کل آزمایش بزرگتر یا مساوی باشد.

$$\text{DOF}_{\text{Orthogonal Array}} > \text{DOF}_{\text{Experiment}}$$

$$\text{DOF}_{\text{Orthogonal Array}} = n - 1 \quad n \text{ اندیس آرایه می باشد}$$

## مثال برای انتخاب آرایه متعامد

در یک فرایند شیمیایی اثر درجه حرارت، مدت زمان واکنش و غلظت یک ماده هر کدام در دو سطح بررسی می شود. آرایه متعامد مناسب را با توجه به عدم وجود اثرات متقابل انتخاب کنید؟

$$\text{DOF}_{\text{Factor}} = \text{Number of level} - 1 = 2 - 1 = 1$$

$$\text{DOF}_{\text{Factors}} = 3 * 1 = 3$$

$$\text{DOF}_{\text{Interactions}} = 0$$

$$\text{DOF}_{\text{Experiment}} = 3 + 0 = 3$$

چون درجه آزادی آزمایش سه است، باید آرایه ای انتخاب گردد که اندیس (n) آن حداقل ۴ باشد. پس از آرایه متعامد  $L_4$  استفاده می شود.

آرایه متعامد $L_4$			
متغیر ۳	متغیر ۲	متغیر ۱	شماره آزمایش
۱	۱	۱	۱
۲	۲	۱	۲
۲	۱	۲	۳
۱	۲	۲	۴

## مشخص کردن ستون اثرات متقابل

بررسی ستون اثرات متقابل به دو روش ممکن است:

➤ استفاده از **Triangular Tables**

جدول مثلثی برای آرایه  $L_8$  بصورت زیر است:

1	2	3	4	5	6	7
(1)	3	2	5	4	7	6
	(2)	1	6	3	4	5
		(3)	7	6	5	4
			(4)	1	2	3
				(5)	3	2
					(6)	1
						(7)

Diagram details: A dashed arrow points from the circled cell (2) in row 3, column 2 to the circled cell 4 in row 3, column 6. A dashed arrow points from the circled cell 6 in row 1, column 6 to the circled cell 7 in row 2, column 6. A dashed arrow points from the circled cell 7 in row 2, column 6 to the circled cell 4 in row 3, column 6.

در این جدول از تلاقی بین دو ستون می توان اثرات متقابل را پیدا کرد.

برای مثال اثرات متقابل بین ستون های ۶ و ۲ در ستون ۴ می باشد

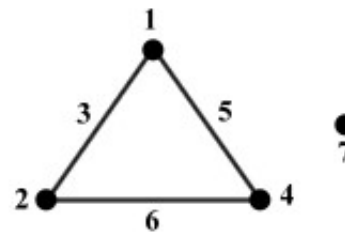
## مشخص کردن ستون اثرات متقابل

➤ استفاده از گراف های خطی

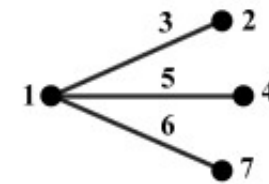
در این گراف ها گره ها بیانگر فاکتورها، پاره خط ها نشانگر اثرات متقابل و شماره ها بیانگر شماره ستون ها هستند.



نمودار خطی در آرایه متعامد  $L_4$



نمودار خطی در آرایه متعامد  $L_8$



## مثال برای انتخاب آرایه متعامد و ستون اثرات متقابل

آرایه ای انتخاب کنید که در آن ۵ فاکتور دوسطحی (A,B,C,D,E) و اثرات متقابل A\*B و A\*C بررسی شوند و ستون مربوط به اثرات متقابل مشخص شوند؟

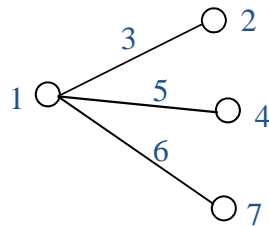
$$DOF_{\text{factors}} = 5 * (2 - 1) = 5$$

چون درجه آزادی هر فاکتور ۱ است، درجه آزادی اثرات متقابل برابر است با  $DOF_{\text{Interaction}} = 1 * 1 = 1$

$$DOF_{\text{total interaction}} = 1 + 1 = 2$$

$$DOF_{\text{experiment}} = 5 + 2 = 7$$

در نتیجه آرایه متعامد  $L_8$  انتخاب می شود.



با توجه به جدول مثلثی اثرات متقابل برای  $L_8$  مشخص است که اثرات متقابل بین فاکتور اول و دوم در ستون سوم و اثر متقابل فاکتور اول و سوم در ستون پنجم قرار می گیرد.

نمودار خطی در آرایه متعامد  $L_8$

Experiment Number	Column number						
	A	B	A*B	C	A*C	D	E
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2



## محاسبه اثر اصلی فاکتورها

اثر اصلی فاکتور A در سطح L برابر است با مجموع پاسخ ها در آن سطح تقسیم بر تعداد پاسخ ها

مثال:

اگر در بررسی یک فرآیند شیمیایی، سطوح فاکتورها و نتایج بدست آمده مطابق جدول های زیر باشد، اثر اصلی فاکتورها را محاسبه کنید؟

فاکتور	سطح ۱	سطح ۲
A	دما (°C) ۲۷	۳۲
B	زمان (min) ۲۰	۳۰
C	غلظت (mM) ۱	۲

نتیجه	غلظت	زمان	دما	تست
1.27	۱	۲۰	۲۷	۱
1.24	۲	۳۰	۲۷	۲
0.99	۲	۲۰	۳۲	۳
1.78	۱	۳۰	۳۲	۴

$$A_1 = \frac{1.27 + 1.24}{2} = 1.255$$

$$B_1 = \frac{1.27 + 0.99}{2} = 1.13$$

$$C_1 = \frac{1.27 + 1.78}{2} = 1.525$$

$$A_2 = \frac{0.99 + 1.78}{2} = 1.385$$

$$B_2 = \frac{1.24 + 1.78}{2} = 1.51$$

$$C_2 = \frac{1.24 + 0.99}{2} = 1.115$$

فاکتور	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>2</sub> -L <sub>1</sub>
A	1.255	1.385	0.13
B	1.13	1.51	0.38
C	1.525	1.115	-0.41

در ستون (L<sub>2</sub>-L<sub>1</sub>) با در نظر گرفتن قدرمطلق اعداد، فاکتوری که بیشترین سهم را دارد مشخص می شود. برای مثال فوق: C>B>A

با استفاده از جدول فوق، سطح بهینه فاکتورها بر اساس نوع پاسخ مشخص می شود. در مثال فوق اگر فرض شود پاسخ ها از نوع بیشتر بهترند، هر ستونی که عدد بزرگتری داشته باشد، سطح فاکتور در آن بهینه می شود. در این صورت شرایط بهینه A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>1</sub> است.

□ بعد از تعیین شرایط بهینه، باید پاسخ در این شرایط محاسبه شود ( $Y_{exp}$ ).

$$Y_{exp} = Y_{ave} + (A_2 - Y_{ave}) + (B_2 - Y_{ave}) + (C_1 - Y_{ave})$$

آزمایشی در شرایط بهینه پیش بینی شده انجام شده و نتایج آن با  $Y_{exp}$  مقایسه گردد.

□ اگر جواب آزمایش با جواب  $Y_{exp}$  یکسان نباشد یکی از حالات زیر اتفاق افتاده است:

✓ محاسبات اشتباه هستند و باید تکرار شوند.

✓ یک یا چند فاکتور اصلی در نظر گرفته نشده است.

✓ اثرات متقابلی وجود داشته که در نظر گرفته نشده است.

مثال:

فاکتورهای زیر در تهیه پاپ کرون از ذرت موثر هستند. آزمایشی طراحی کنید که تعداد ذرت های بو نداده حداقل باشد و پاسخ را در شرایط بهینه پیش پینی کنید.

فاکتور	سطح ۱	سطح ۲
A	تنظیمات گرمایی	حالت دوم
B	جنس صفحه حرارتی	آلباز مس
C	نوع روغن	بادام زمینی

تست	A	B	C	نتیجه
1	1	1	1	5
2	1	2	2	8
3	2	1	2	7
4	2	2	1	4

	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>2</sub> -L <sub>1</sub>
A	6.5	5.5	-1
B	6	6	0
C	4.5	7.5	3

با توجه به اینکه پاسخ از نوع کمتر بهتر است، شرایط بهینه بصورت زیر می باشد:  $A_2B_2C_1$  و  $A_2B_1C_1$

فاکتور B هیچ سهمی در آزمایش ها ندارد.

$$Y_{ave} = \frac{\sum Y_i}{n_i} = \frac{(5 + 8 + 7 + 4)}{4} = 6$$

$$Y_{exp} = Y_{ave} + (A_2 - Y_{ave}) + (B_1 - Y_{ave}) + (C_1 - Y_{ave})$$

$$Y_{exp} = 6 + (5.5 - 6) + (6 - 6) - (4.5 - 6) = 4$$

در آنالیز واریانس، سهم تغییرات هر فاکتور در پراکندگی کل پاسخ ها مشخص می شود.  
در آنالیز واریانس از دو روش استاندارد و آنالیز S/N استفاده می شود.

### آنالیز واریانس – روش استاندارد

تعریف مفاهیم در روش استاندارد

**$S_T$  = Total Variation = Sum of Square of all trial run results – Correction Factor**  
**Correction Factor = C. F. = (average of data)<sup>2</sup> \* number of data**

$$S_T = \sum_{i=1}^N Y_i^2 - C.F.$$

$$C.F. = \frac{T^2}{N}$$

$$S_A = \frac{A_1^2}{N_{A_1}} + \frac{A_2^2}{N_{A_2}} + \dots - C.F.$$

مجموع مربعات یک فاکتور

$$f_e = f_T - (f_A + f_B + \dots)$$

واریانس از تقسیم مجموع مربعات هر فاکتور بر درجه آزادی آن فاکتور بدست می آید:

$$V_A = \frac{S_A}{f_A}$$

ضریب فیشر از تقسیم واریانس هر فاکتور بر واریانس خطا محاسبه می شود:

$$F_A = \frac{V_A}{V_e}$$

از ضریب فیشر برای معنی دار بودن اثر فاکتورها استفاده می شود. اگر  $F$  جدول ANOVA از  $F$  بدست آمده از جدول های فیشر بزرگتر باشد، گفته می شود اثر فاکتور در درصد اطمینان مربوطه معنی دار است و فاکتور در این درصد اطمینان اهمیت دارد.

درصد سهم (P)

$$S'_A = \text{pure sum of squares} = S_A - (V_e \times f_A)$$

$$P_A = \frac{S'_A}{S_T}$$

$$P_e = 100 - (P_A + P_B + \dots)$$

اگر سهم مربوط به خطا در آزمایشی کمتر از ۱۵٪ باشد، طراحی آزمایش قابل قبول است و اگر سهم مربوط به خطا در آزمایشی زیاد باشد (بالای ۵۰٪) حتما فاکتورها و اثر متقابل مهمی از آزمایش حذف شده است.

کارخانه ای برای سختکاری صفحات فولاد تولیدی خود از فرآیند حرارتی استفاده می کند که در آن فولاد از بالای دمای بحرانی به سرعت سرد و لایه ای سخت بر روی آن تشکیل می شود. گروه مهندسی این کارخانه در تلاش است با تشخیص فاکتورهای موثر بر فرآیند میزان سختی را افزایش دهد. اگر فاکتورهای موثر بر فرآیند و اثرات متقابل در نظر گرفته شده مطابق جدول زیر باشند درصد اهمیت هر فاکتور، معنی دار بودن فاکتورها در درصد اطمینان ۹۹٪ و شرایط بهینه را مشخص کنید.

فاکتور	سطح ۱	سطح ۲	
A	800	925	دما(°F)
B	20	40	زمان(sec)
C	20	40	غلظت گاز
D	نوع ۱	نوع ۲	نوع روغن سرد کننده
E	سریع	آرام	سرعت سرد کردن
A*B			
B*C			

Experiment Number	Column number							نتیجہ
	A	B	A*B	C	D	B*C	E	
1	1	1	1	1	1	1	1	66
2	1	1	1	2	2	2	2	75
3	1	2	2	1	1	2	2	54
4	1	2	2	2	2	1	1	62
5	2	1	2	1	2	1	2	52
6	2	1	2	2	1	2	1	82
7	2	2	1	1	2	2	1	52
8	2	2	1	2	1	1	2	78



برای مشخص کردن درصد سهم هر فاکتور باید جدول ANOVA را تشکیل داد

$$C.F. = \frac{(66 + 75 + 54 + 62 + 52 + 82 + 52 + 78)^2}{8} = 33930.125$$

$$S_A = \frac{(66 + 75 + 54 + 62)^2}{4} + \frac{(52 + 82 + 52 + 78)^2}{4} - 33930.125 = 6.125$$

$$S_B = \frac{(66 + 75 + 52 + 82)^2}{4} + \frac{(54 + 62 + 52 + 78)^2}{4} - 33930.125 = 105.125$$

$$S_{(A \times B)} = \frac{(66 + 75 + 52 + 78)^2}{4} + \frac{(54 + 62 + 52 + 82)^2}{4} - 33930.125 = 55.125$$

چون فاکتورها دو سطحی هستند، درجه آزادی فاکتورها یک می شود. از طرفی چون آرایه  $L_8$  استفاده شده است، درجه آزادی کل نیز ۷ می شود، پس می توان نوشت:

$$DOF_{error} = DOF_{total} - (DOF_{factors} + DOF_{interaction}) = 7 - (5 + 2) = 0$$

## روش هایی برای ادغام کردن

فاکتور	درجه آزادی	مجموع مربعات
A	1	6.125
B	1	105.125
A*B	1	55.125
C	1	666.125
D	1	190.125
B*C	1	3.125
E	1	1.125
Error	0	---
کل آزمایش	7	1026.875

هنگامیکه مشارکت یک فاکتور کم باشد، می توان مجموع مربعات برای آن فاکتور را با مجموع مربعات خطا ترکیب کرد. روش حذف کردن میزان مشارکت یک فاکتور و تعدیل کردن مقدار مشارکت فاکتورهای دیگر، ادغام کردن می گویند.

(A,E, B\*C) حذف می شوند و درجه آزادی و مجموع مربعات به خطا اضافه می شود. از آنجاییکه اثر متقابل A\*B مهم می باشد، بهتر است فاکتور اصلی A حذف نشود. بنابراین فاکتور E و اثر متقابل B\*C حذف می شود و مجموع درجه آزادی آنها (۲) به خطا تعلق می گیرد.

$$DOF_{error} = DOF_{total} - (DOF_{factors} + DOF_{interaction}) = 7 - (4 + 1) = 2$$

$$V_A = \frac{S_A}{f_A} = \frac{6.125}{1} = 6.125 \quad V_E = \frac{S_E}{f_E} = \frac{4.25}{2} = 2.125 \quad F_A = \frac{V_A}{V_E} = \frac{6.125}{2.125} = 2.882$$

$$S'_A = S_A - (V_E \times f_A) = 6.125 - (2.125 \times 1) = 4 \quad P_A = \frac{S'_A}{S_T} \times 100 = \frac{4}{1026.875} \times 100 = 0.389$$

فاکتورها	درجه آزادی	مجموع مربعات	واریانس	ضریب فیشر	مربعات خالص	درصد سهم
A	1	6.125	6.125	2.882	4	0.389
B	1	105.125	105.125	49.47	103	10.03
A*B	1	55.125	55.125	25.941	53	5.161
C	1	666.125	666.125	313.47	664	64.662
D	1	190.125	190.125	89.47	188	18.307
B*C	(1)	(3.125)	Pooled	Pooled	---	---
E	(1)	(1.125)	Pooled	Pooled	---	---
Error	2	4.25	2.125			1.451
کل آزمایش	7	1026.875				100%

برای معنی دار بودن فاکتورها باید از جداول مربوط به  $F$  که در کتاب های آمار گزارش شده، استفاده کرد.

در ابتدا بیشترین درصد اطمینان (۹۹ درصد) در نظر گرفته می شود. چون درجه آزادی فاکتورها یک و خطا دو است، با استفاده از جدول های  $F$  می توان نوشت:

$$F_{0.99,1,2}=98.503$$

مقایسه عدد **98.503** و اعداد مربوط به ستون  $F$  در جدول ANOVA نشان می دهد که فقط فاکتور  $C$  در این درصد اطمینان معنی دارد.

اگر درصد اهمیت ۹۵ درصد در نظر گرفته می شود:

$$F_{0.95,1,2}=18.503$$

با توجه به جدول ANOVA مشخص می شود که کلیه فاکتورها به جز فاکتور  $A$  در ۹۵ درصد اطمینان اهمیت دارند.

در تحلیل نتایج برای آزمایشات همراه با تکرار، استفاده از نسبت S/N ارجح تر از تحلیل استاندارد با استفاده از میانگین نتایج است.

پارامترهای قابل کنترل: تغییرات ایجاد شده در خواص کیفی یک محصول در طی فرایند، بعلت تغییر در خواص فاکتورهایی است که در حین طراحی در نظر گرفته شده است. با تغییر این پارامترها می توان خواص کیفی محصول را تغییر داده و با تنظیم آن خواص کیفی مطلوب را بدست آورد. به این پارامترها، پارامترهای قابل کنترل یا سیگنال می گوئیم.

پارامترهای اغتشاشی یا نویز: در آزمایشات، مجموعه ای از فاکتورها و یا پارامترهای خارجی وجود دارند که در طراحی در نظر گرفته نشده است و روی خواص کیفی محصول اثر می گذارند. به این پارامترها، پارامترهای اغتشاشی و به اثر آنها، اغتشاش یا نویز گفته می شود.

نسبت سیگنال به نویز نشان دهنده حساسیت مشخصه کیفی مورد بررسی به فاکتورهای خارجی اثرگذار و غیر قابل کنترل (فاکتورهای اغتشاشی) در یک فرایند کنترل شده می باشد.

در هر آزمایش، ما همواره به دنبال بالاترین نسبت S/N در نتایج هستیم. مقدار S/N بالا نشان دهنده اینست که اثر پارامترهای قابل کنترل بیشتر از اثر پارامترهای غیرقابل کنترل و یا پارامترهای اغتشاشی است. طراحی فرایند تولید با بالاترین نسبت S/N همواره باعث ایجاد بهینه ترین کیفیت با حداقل واریانس می شود.

$$\frac{S}{N} = -10 \log (MSD)$$

انواع مختلف تابع MSD

۱- مشخصه نوع Nominal is Better

$$MSD = \frac{(y_1 - m)^2 + (y_2 - m)^2 + \dots}{r}$$

m مقدار هدف و r تعداد تکرار است.

۲- مشخصه نوع Smaller is Better

$$MSD = \frac{(y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_r^2)}{r}$$

۳- مشخصه نوع Bigger is Better

$$MSD = \frac{\left(\frac{1}{y_1} + \frac{1}{y_2} + \dots + \frac{1}{y_r}\right)}{r}$$

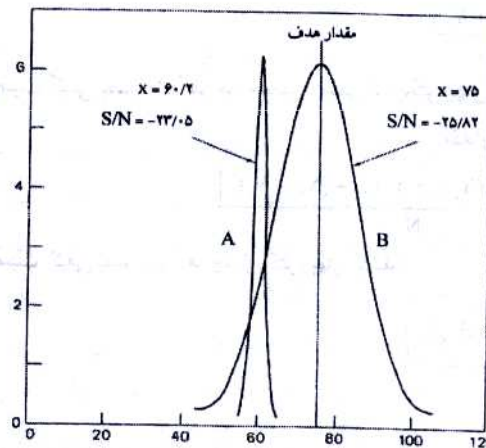
A مشاهدات: ۵۵ ۵۸ ۶۰ ۳۶ ۶۵

میانگین = ۶۰/۲

مقدار هدف = ۷۵

B مشاهدات: ۵۰ ۶۰ ۷۶ ۹۰ ۱۰۰

میانگین = ۷۵



شکل (۶-۳): مقایسه دو نوع توزیع متفاوت.

هر چه انحراف کمتر باشد نسبت S/N بزرگتری ایجاد می شود.

گروه A انحراف کمتری نسبت به گروه B دارد.

مطالعه قرقره های بالابر آسانسور ها نشان می دهد که سه فاکتور اصلی زیر در تعداد چرخش قرقره موثرند. شرایط بهینه را برای کاهش تعداد چرخش قرقره ها بدست آورید.

سطح ۲	سطح ۱	فاکتور	
New Design	Cur. Design	Spring rate	A
Type 2	Type 1	Cam Profile	B
Lighter	Heavier	Wt. of Push Rod	C

Test	A	B	C	Results		
1	1	1	1	2	3	4
2	1	2	2	4	5	3
3	2	1	2	4	5	6
4	2	2	1	3	5	7



$$MSD = \frac{(2^2 + 3^2 + 4^2)}{3} = 9.666$$

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10}^{MSD} = -10 \log_{10}^{9.666} = -9.86$$

$$MSD = \frac{(1^2 + 5^2 + 3^2)}{3} = 16.666$$

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10}^{MSD} = -10 \log_{10}^{16.666} = -12.218$$

$$MSD = \frac{(4^2 + 5^2 + 6^2)}{3} = 25.666$$

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10}^{MSD} = -10 \log_{10}^{25.666} = -14.094$$

$$MSD = \frac{(3^2 + 5^2 + 7^2)}{3} = 27.666$$

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10}^{MSD} = -10 \log_{10}^{27.666} = -14.094$$

Test	A	B	C	Results (S/N)
1	1	1	1	-9.853
2	1	2	2	-12.219
3	2	1	2	-14.094
4	2	2	1	-14.42

مراحل بعدی کار برای محاسبه اثر اصلی فاکتورها مطابق روشهای مطرح شده در قبل می باشد.

$$A_1 = \frac{-9.853 + (-12.219)}{2} = -11.036$$

$$A_2 = \frac{-14.094 + (-14.42)}{2} = -14.257$$

Factor	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>2</sub> -L <sub>1</sub>
A	-11.036	-14.257	-3.22
B	-11.974	-13.32	-1.347
C	-12.137	-13.157	-1.02

کلیه مراحل تا پایان مطابق روش استاندارد است

جواب بهینه گزارش شده بر اساس S/N است که باید به پاسخ های اولیه تبدیل شود.

$$MSD = 10^{-\left(\frac{S}{N}\right)/10}$$

$$MSD = 10^{-\left(\frac{9.856}{10}\right)} = 9.6738$$

$$MSD = \frac{(y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_r^2)}{r}$$

برای پاسخ هایی از نوع کمتر بهتر معادله زیر حاکم است:

برای محاسبه تقریبی جواب در شرایط بهینه فرض می شود کلیه پاسخ ها معادل پاسخ مورد انتظار می باشد.

$$MSD = \frac{r(y_{expected})^2}{r} \quad \rightarrow \quad y_{expected} = (MSD)^{\frac{1}{2}}$$

$$y_{expected} = (9.6738)^{\frac{1}{2}} = 3.11$$

Thank You !