

طراحی آزمایشات

تالیف : جمشید ناظمی

خلاصه :

بسیار مشاهده شده است که مهندسين و دانشمندان براي شناخت پديده ها آزمایشاتی را انجام میدهند. اجرای آزمایش همواره متضمن هزینه نمودن است و لذا اجرای آزمونهای مناسب نیاز هر محقق است. طراحی آزمایشاتی که با حداقل هزینه بیشترین اطلاعات حاصل شود آرمان هر مهندس یا محقق است. طراحی آزمایشات و روشهایی آماری زیادی در مقالات و کتب ارائه شده است ولی پیچیدگی و مباحث پایه آماری سبب شده است که از این ابزارها استفاده فرآگیر و درخور بعمل نیاید. این مقاله با مرور مشکلات و نقائص روشهای سنتی مورد استفاده در صنعت در صدد است تا با مروری ساده بر تکنیک طراحی آزمایشات DOE، مراحل کار را به صورت سیستماتیک در اختیار صنعتگران و آزمایشگران قرار دهد.

چگونگی طراحی آزمایش، تحلیل آزمایش و روش علمی کاهش تعداد آزمایش برای مواردیکه هزینه انجام آزمایش زیاد است مورد بررسی قرار گرفته است. مقاله همچنین به موردی که در بسیاری از کاربردهای عملی مشاهده میشود و اطلاعات برخی از آزمایشات موجود نیست میپردازد و روش تخمین مقادیر آزمایشاتی که امکان انجام آن میسر نبوده و یا داده کسب شده به دلیل نحوه اجرا مشکل دارد را در اختیار میگذارد.¹

واژه های کلیدی : طراحی آزمایشات ، تحلیل واریانس

مقدمه

مهندسين و دانشمندان براي شناخت پديده ها از آزمایش استفاده میکنند. با اجرای هر آزمایش محقق درصدد است که با بکارگیری نتایج آزمایش، فرضیه خود را مورد آزمون قرار دهد. این نوع آزمایشات نه تنها در تحقیقات پایه بلکه در بررسیهای مهندسين براي بهبود کیفیت نیز بارها بکار گرفته میشود.

¹Missing data problem

در اجرای آزمایش ، یکی از روشهای معمول، برخورد سنتی با اجرای آزمایش است که در آن یکی از عوامل متغیر نگاه داشته شده و سایر عوامل ثابت فرض میشود.² این روش برخورد تابع خوش شانسی، تجربه قبلی و تخمین قبل از تاثیر عوامل است و به تعداد زیادی آزمایش برای بدست آوردن اطلاعات محدودی نیاز دارد.

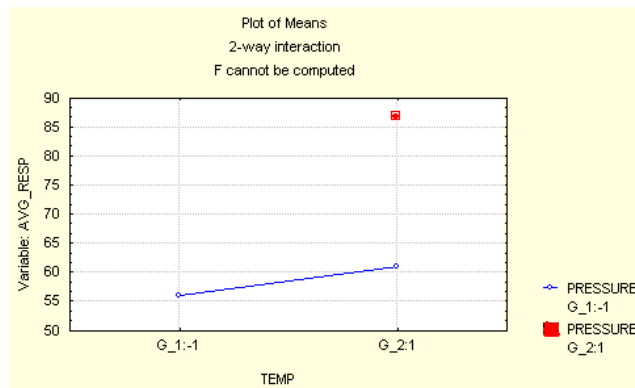
روش آزمایش يك متغیر در هر زمان عمدتاً غیرقابل اتکا، زمان بر و ناکارآمد است و بدست آوردن جواب بهینه برای فرآیند تحت بررسی به سختی حاصل میشود.
کاربرد طراحی آزمایشات

در مقابل روش OFAT، طراحی آزمایشات (DOE) که چندین عامل را به صورت همزمان مورد بررسی قرار میدهد روشی کارآ است. این نحوه برداشت از آزمایشات چیزی است که آماردانها به آن باور دارند اما در صنعت لازم است که مهندسين نسبت به کاربردی بودن آن متقاعد شوند.

مثال زیر دلایلی برای شناخت کارایی طراحی آزمایشات بر روش سنتی تک عاملی در اختیار میگذارد. يك مهندس درصدد است که ترکیب فشار و دما را در يك کوره پخت برای کسب بهترین استحکام محصول تولیدی خود بررسی نماید. وی تصمیم میگیرد که با اجرای آن آزمایش ترکیب بهینه دما و حرارت را پیدا نماید لذا به صورت زیر آزمایشات خود را طراحی مینماید و در هر آزمایش از سه نمونه استفاده میکند :

- فشار استاندارد و دمای استاندارد
- فشار استاندارد و دمای جدید
- فشار جدید و دمای جدید

با اجرای آزمایشات فوق که در آن محقق در هر آزمایشی يك عامل را ثابت نگاه میدارد نتایج آزمایش را میتوان در شکل 1 ملاحظه نمود :



شکل 1- نمودار فشار و دما برای آزمایش تک عاملی

²OFAT : On factor at a time.

همانطور که از شکل 1 برمی آید یک آزمایش است که در بررسی نیامده است و آن آزمایش ترکیب دمای استاندارد و فشار جدید است. جدول اجرای آزمایش فوق را میتوان به شکل زیر خلاصه نمود:

ثابت نگهداشتن عامل فشار	دمای استاندارد	دمای جدید
1- استاندارد	4 نمونه	4 نمونه
2- جدید	-	4 نمونه

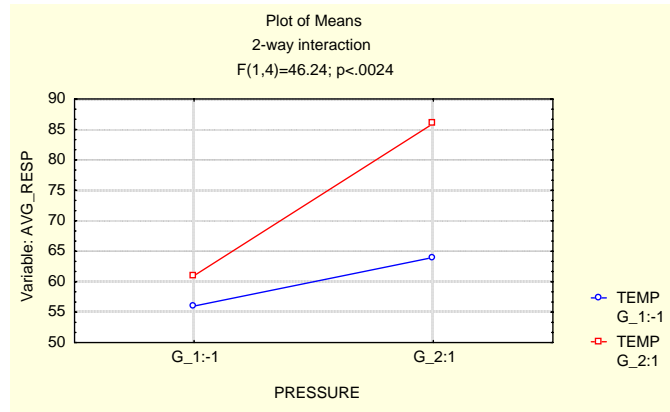
جدول 1- آزمایش یک عاملی در هر زمان برای دو عامل دما و فشار

در مثال فوق اگر محقق از روش طراحی آزمایشات استفاده می نمود در آن صورت به یک مدل فاکتوریل 2^2 با دو عامل (فشار و دما) و دو سطح برای هر یک (استاندارد و جدید) نیاز داشت. در این حالت برای هر آزمایش از 3 نمونه میتوان استفاده نمود که تعداد نمونه های موجود نیز تفاوتی با روش قبل نداشته باشد. جدول 2 طرح این آزمایش را نشان میدهد.

آزمایش	دما	فشار	تعداد نمونه
اول	استاندارد	استاندارد	3
دوم	جدید	استاندارد	3
سوم	استاندارد	جدید	3
چهارم	جدید	جدید	3

جدول 2- طرح آزمایشات بهبود یافته تغییر دو عامل همزمان

با توجه به جدول فوق بررسی نتایج این آزمایش برای هر یک از موارد 6 نمونه برای نتیجه گیری داریم. لذا در این گونه آزمایش برای تعیین تاثیر فشار با مقایسه میانگین نمونه های ناشی از فشار استاندارد (6 مورد) با نمونه های ناشی از فشار جدید (6 مورد) میتوان نتیجه گیری نمود و به همین ترتیب در مورد دما نیز چنین نتیجه گیری قابل استنتاج است. نمودار شکل 2 نتایج ناشی از این آزمایش را تصویر میکند.



شکل 2- نمودار فشار و دما برای آزمایش همزمان عوامل

با بررسی نتایج کسب شده در نمودار شکل 2 براساس آزمایش انجام شده میتوان نتیجه گیری نمود که ماکزیمم متغییر پاسخ به ازای دمایی استاندارد و فشار جدید حاصل میشود و کمترین میزان برای دمایی استاندارد و فشار استاندارد حاصل میشود. این نوع تحلیل را بررسی اثر متقابل عوامل مینامند.³

چگونه يك آزمایش طراحی میگردد

طراحی آزمایش از بروز يك مشکل یا طرح مسئله تحقیقی آغاز میشود. در هر آزمایش يك مشخصه کیفیتی یا متغییر پاسخ تعریف میگردد که آزمایشگر درصدد اندازه گیری آن است (مانند: استحکام کششی يك مفتول، مقاومت در مقابل شکست در تست عملکرد قطعات). در مسائل و مشکلات کیفیتی معمولا مهندس جستجوگر عوامل موثر بر متغییر پاسخ را شناسایی می نماید ولی از میزان تاثیر عوامل اصلی آگاه نبوده و تاثیر متقابل عوامل را نیز نمی شناسد.

روش فاکتوریل

یکی از روشهای معمول در طراحی آزمایشات را فاکتوریل کامل⁴ می نامند که عبارتست از مجموعه کاملی از آزمایشات که تمام مقادیر هر يك از عوامل با تمام مقادیر سایر عوامل ترکیب میشوند. این روش به دلیل بررسی تمام عوامل و به ازای تمام سطوح مقداری هر يك از عوامل به تعداد زیادی آزمایش احتیاج دارد لذا معمولا برای سادگی اجرای آزمایش برای هر يك از عوامل دو سطح در نظر گرفته میشود که آن دو را سطح بالا (High) و سطح پایین (Low) می نامند.

³Interaction Effect

⁴Complete Factorial

در مثال گذشته طرح این نوع آزمایش را میتوان به صورت جدول 1 برنامه ریزی نمود :

آزمایش	دما	فشار	مقدار پاسخ
1	-	-	
2	+	-	
3	-	+	
4	+	+	

جدول 1- طراحی آزمایشات برای مثال نمونه

همانطور که از جدول برمی آید کلیه حالت‌های آزمایش در طراحی انجام شده دیده شده است. سوالی که یک محقق با آن برخورد میکند تعیین تعداد نمونه برای هر نوع آزمایش است. از نظر آماری هر چه تعداد آزمایشات بیشتر باشد. نتایج بدست آمده با احتمال بیشتری نتیجه صحیح را ارایه می نمایند در عمل به دلیل هزینه ناشی از آزمایش و عوامل محیطی تعداد آزمایش را تعیین میشود که از پرداختن بیشتر به آن می گذریم ولی توصیه می کنیم که تعداد نمونه برای تمام آزمایشات مساوی در نظر گرفته میشود. (در مثال قبل 3 نمونه)

اجرای تصادفی آزمایشات

در اجرای آزمایشات تاکید می شود که اجرای آزمایشات به صورت کاملاً تصادفی صورت گیرد تا تاثیر سایر عوامل ناشناخته که در بررسی کنار گذاشته شده اند به صورت غیر سیستماتیک بر نتایج آزمایشات تاثیر بگذارد. برای مثال اگر فرض نماییم که آزمایش نوع اول و دوم در جدول یک را در صبح و آزمایشات سوم و چهارم را در بعدازظهر اجرا نمایم و در انتهای بررسی نیز بدین نتیجه برسیم که عامل دما تاثیر در میزان نتیجه داشته است و به ازای دمایی جدید نتیجه خوبی حاصل شده است. آیا واقعا دمایی جدید موثر بوده است یا به دلیل آنکه این آزمایشات در بعدازظهر اجرا شده است و دمایی محیط متفاوت بوده است به چنین نتیجه ای رسیده ایم؟

بنابراین توصیه می شود که آزمایشات به صورت کاملاً تصادفی اجرا شود و مثلاً برای مورد فوق اگر مجبور شویم آزمایشات را در صبح و بعدازظهر اجرا کنیم لازم است که یک آزمایش با دمایی استاندارد را صبح و یک آزمایش دیگر با دمایی استاندارد در بعدازظهر اجرا شود.

تحلیل و تفسیر نتایج

ارزیابی و محاسبه نتایج این آزمایشات در بسیاری از نرم افزارهای آماری تعبیه شده است اما تجربه گر لازم است برداشتی کلی از چگونگی محاسبه و تحلیل و تفسیر نتایج داشته باشد. روش کار بسیار ساده است که در ذیل بدان میپردازیم:

گام اول محاسبه اثر عوامل اصلی:

برای تعیین اثر عوامل اصلی (دما، فشار) حاصلضرب می توان مقادیر هر عامل را در مقدار (-) و یا (+) در نظر گرفته و میانگین بگیریم. تفاوت این دو میانگین اثر هر عامل تلقی می شود. به عبارت دیگر اثر عامل دما بشرح زیر است:

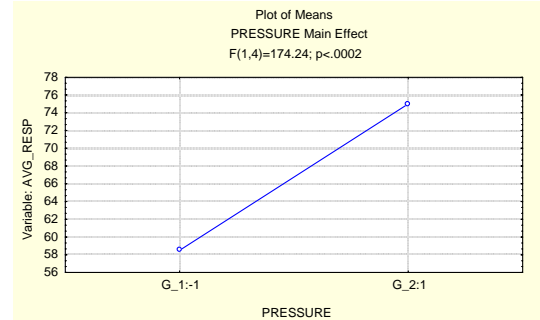
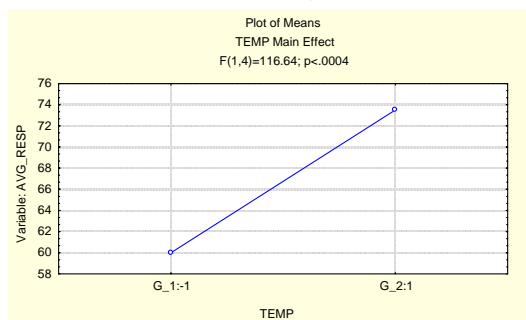
میانگین استاندارد در دمای استاندارد - میانگین استحکام در دمای جدید \cong اثر عامل دما

در مثال فوق نتایج جدول 3 تاثیر عوامل را نشان میدهد⁵.

Mean = 66.7500		Sigma = 13.25079	
		Effect Estimate	
Temperature		13.5	
Pressure		16.5	
Temp-press		8.5	

جدول 3- نتیجه تاثیر عوامل در طراحی آزمایشات برای مثال نمونه

برای سهولت برداشت و تعیین اثر عوامل میتوان مقادیر محاسبه شده را در قالب نمودار ارتباطی هر عامل تصویر نموده و پاسخ را به راحتی مشاهده نموده و نوع تاثیر را در حالت استاندارد یا جدید مقایسه نمود شکل 2 نمودارهای تاثیر عوامل اصلی را نشان میدهد:



شکل 2- نمودار تعیین اثر اصلی عوامل فشار و دما

همانطور که از شکل فوق برمی آید با افزایش هر کدام از عوامل دما (فشار) متغیر پاسخ، افزایش می یابد.

گام دوم: محاسبه اثرات متقابل:

طبق تعریف در صورتیکه اثر هر عامل به مقدار اثر دوم ارتباط داشته باشد دو عامل بر یکدیگر اثر متقابل دارند. لذا اگر اثر یک عامل بر متغیر پاسخ به ازای تمام مقادیر عوامل دیگر ثابت باشد در آنصورت اثر متقابل بین عوامل صفر است. برای عوامل با دو سطح مختلف، اثر متقابل با رابطه زیر محاسبه می گردد.

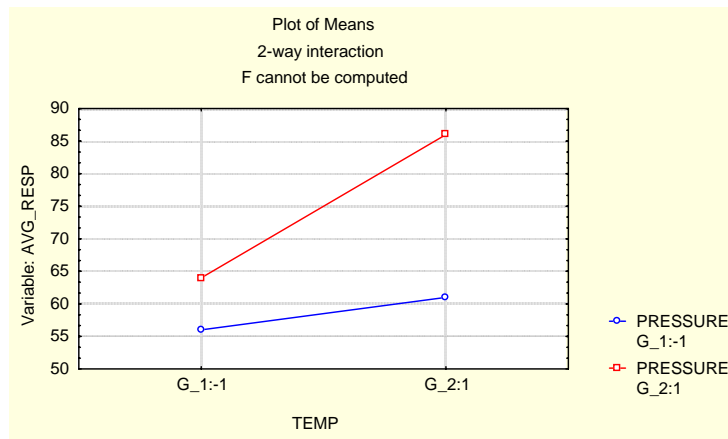
(اثر همان عامل به ازای مقدار سطح پایین عامل دوم - اثر یک عامل به ازای مقدار سطح بالای عامل دوم) $\times \frac{1}{2}$ = اثر متقابل

برای مثال فوق:

		AVG_RESP
-1	-1	56.00000
-1	1	64.00000
1	-1	61.00000
1	1	86.00000

$$\text{اثر متقابل} = \frac{1}{2} T * P = [(86 - 61) - (64 - 56)]$$

تفسیر و تحلیل نتایج با بکارگیری نمودارهای اثر متقابل عوامل واضح تر است و می توان میزان اثر متقابل را شناسایی نمود برای مثال نتیجه مطابق شکل 3 خواهد بود که بهترین جواب (حداکثر شدن متغیر پاسخ) برای هر دو فاکتور نسبتاً به موازات هم صورت می گیرد و با افزایش عوامل جواب بهتر می شود.⁶



شکل 3- نمودار تعیین اثر متقابل عوامل فشار و دما

انواع حالت‌های مختلفی که در آزمایشات برای اثر متقابل عوامل ملاحظه می‌شود نحوه برخوردی متفاوت را می‌طلبد که جدول زیر حالت‌های مختلف و تفسیر آن را بیان می‌کند.

تفسیر	نمونه نمودار	رفتار عوامل	حالت
با افزایش فاکتور، همواره جواب بهینه یک مقدار خاص از فاکتور دوم است.		دو خط موازی (بدون اثر متقابل)	حالت اول
با افزایش یک فاکتور همواره جواب بهینه یک مقدار خاص از فاکتور دوم است فقط میزان متغیر در سطح پایین و بالا تفاوت دارد		دو خط ناموازی (با اثر متقابل جزئی)	حالت دوم
با تغییر یک فاکتور جواب بهینه به ازای مقادیر متفاوت فاکتور دوم حاصل می‌شود		دو خط متنافر (دارای اثر متقابل)	حالت سوم

جدول 4- حالت‌های مختلف و کلی تاثیر متقابل عوامل

گام سوم: بررسی آماری:

صرفنظر از تحلیل عمومی که در گامهای اول و دوم حاصل می شود لازم است که محقق مطمئن شود که اثر عوامل بر متغیر پاسخ از نظر آماری معنی دار بوده⁷ و صرفاً به علت يك رفتار تصادفی بوجود نیامده است. برای این هدف روشی تحت عنوان آنالیز واریانس وجود دارد که در آن انحرافات ناشی از هر عامل نسبت به انحراف کل سنجیده می شود⁸ و آماره ای که برای این منظور تعریف شده است نسبت F نامیده میشود و برای ارزیابی هر عامل آماره F محاسبه شده با F بحرانی (مقدار F به ازای α درصد ریسک خطا) مقایسه می شود که در آن اگر (بحرانی F > محاسباتی F) باشد عامل مورد بررسی از نظر آماری معنی دار است.

اگر چه این ارزیابی میتواند توسط نرم افزارهای کامپیوتری صورت گیرد ولی حتی در صورتیکه نرم افزار خاصی نیز وجود نداشته باشد میتوان با بکارگیری صفحات گسترده معمول و رایج نیز مطابق مکانیزم معین شده و با طراحی جدول زیر محاسبات آماری را انجام داده و نتیجه گیری نمود. جدول زیر چگونگی محاسبه را با تشریح روش تکمیل و محاسبه ستونها از یکدیگر تشریح نموده است.

روش کار و محاسبه	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	آزمایش	دم	فشار	دم-فشار	مقدار پاسخ 1	مقدار پاسخ 2	\bar{Y}	y^2	دما	فشار	فشار-دما
I	-1	-1	1	56.52	55.5	112	6272.5	-112	-112	112	1
II	1	-1	-1	60	62	122	7444	122	-122	-122	2
III	-1	1	-1	63	65	128	8194	-128	128	-128	3
IV	1	1	1	88	84	172	14800	172	172	172	4

⁷Statistically Significant

8

	34	66	54	36710.5	534	جمع ستون \sum_4	5
	17	16.5	13.5	----	66.75	میانگین (5)/4	6
	1156	4356	2916			$(5)^2$	7
12.5	144.5	544.5	364.5	1066		Ss= (7)/(n*2)	8
4	1	1	1			درجه آزادی	9
3.125	144.5	544.5	364.5			Mean square= (8)/9	10
	46.24	174.24	116.64			F - ratio (10)/[10,11]	11
	119.15	119.15	119.15			F critical [1,4 درجه آزادی]	12

جدول 5- روش محاسبه برای تعیین اثر عاملها

خواننده علاقه مند با بکارگیری نرم افزارهای آماری این مجموعه فعالیتها را می تواند در نرم افزارهای کاربردی پیاده سازی نماید. خروجی معمول نرم افزارها مطابق جدول 6 است که معنادار بودن عوامل و اثرات متقابل را با مقدار P نمایش می دهد. مثلا در صورتیکه مقدار عدد P کمتر از $\alpha = 0.05$ باشد،⁹ در آن صورت عامل از نظر آماری معنی دار است. جدول 6 یک نمونه خروجی نرم افزار Statistica را نشان میدهد.

Summary of all Effects; design: (test2.sta)						
1-TEMP, 2-PRESSURE						
	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-level</i>
	<u>Effect</u>	<u>Effect</u>	<u>Error</u>	<u>Error</u>		
1	1	364.5000	4	3.125000	116.6400	.000417
2	1	544.5000	4	3.125000	174.2400	.000190
12	1	144.5000	4	3.125000	46.2400	.002443

جدول 6- جدول آنالیز واریانس - خروجی نرم افزار

P $\alpha = 1\%$ $\alpha = 5\%$

F P ⁹

چگونگی بهبود طرح آزمایش با در نظر گرفتن محدودیت هزینه یا اجرا:

در عمل بسیار مشاهده می شود که به دلیل آزمایش مخرب و یا پرهزینه بودن اجرای آزمایش درصدد هستیم که با کاهش تعداد آزمایشات نتایج مطلوب را کسب کنیم.¹⁰ در این روش آزمایشات به میزان کسری از تعداد مورد نیاز در طرح فاکتوریل کامل خواهد بود (مانند $\frac{1}{2}$ و $\frac{1}{4}$ و ...)

همانطور که ملاحظه شده است برای بررسی دو عامل به $2^2 = 4$ آزمایش و برای سه عامل به $2^3 = 8$ آزمایش احتیاج داریم لذا اگر مجبور باشیم که با 4 آزمایش تحلیل خود را برای سه عامل انجام دهیم طراحی مزبور را 2^{3-1} می نامیم. برای طراحی فوق لازم است ابتدا قواعد طراحی آزمایشات را مرور نماییم و سپس تغییرات را بر روی آن اعمال کنیم، تا بتوانیم تعداد آزمایشات را کم کنیم. فرض کنیم سه عامل دما، فشار، زمان را بر متغیر پاسخ مورد بررسی قرار می دهیم در اینصورت آزمایشات فاکتوریل به شرح زیر خواهد بود.

گام اول:

اجرا فاکتور دما فاکتور فشار فاکتور زمان

ابتدا عوامل را در ستونهای مستقل ثبت میکنیم.

گام دوم:

<u>اجرا</u>	<u>فاکتور دما</u>	<u>فاکتور فشار</u>	<u>فاکتور زمان</u>
(+)	-	-	-

اولین آزمایش، اجرای تمام عوامل به ازای سطح پایین تمام آنها است.

گام سوم:

<u>اجرا</u>	<u>فاکتور دما</u>	<u>فاکتور فشار</u>	<u>فاکتور زمان</u>
(1)	-	-	-
دما	+	-	-

تجربه دوم اجرای آزمایشی است که اولین عامل در حد بالا و سایر موارد در حد پایین است.

گام چهارم:

<u>اجرا</u>	<u>فاکتور دما</u>	<u>فاکتور فشار</u>	<u>فاکتور زمان</u>
-------------	-------------------	--------------------	--------------------

¹⁰Fractional Factorial

(1)	-	-	-
دما	+	-	-
فشار	-	+	-
دما-فشار	+	+	-

تجربه سوم و چهارم اجرای آزمایشات مربوط به عامل دوم است که یکبار به تنهایی در حد بالا و بار دیگر همزمان با عامل اول در حد بالا انجام شود. به همین ترتیب در مورد عامل سوم نیز گامهای اول تا چهارم روش تکرار می شود.

گام پنجم:

اجرا	عامل دما	عامل فشار	عامل زمان
(1)	-	-	-
دما	+	-	-
فشار	-	+	-
دما-فشار	+	+	-
زمان	-	-	+
دما- زمان	+	-	+
فشار- زمان	-	+	+
دما-فشار- زمان	+	+	+

با دانستن چگونگی طراحی آزمایشات فاکتوریل و اضافه نمودن این فرضیه که اثرات متقابل عوامل اهمیت کمتری دارند می توان اثر عامل سوم را با اثرات درجه های بالاتر مثلا اثر متقابل دو عامل اول و دوم مخلوط نمود.¹¹ لذا در مثال فوق طرح آزمایش بصورت زیر تبدیل می گردد.

اجرا	عامل دما	عامل فشار	عامل زمان=دما* فشار
(1)	-	-	+
دما:a	+	-	-
فشار:b	-	+	-
دما-فشار:ab	+	+	+

¹¹ Confound

توجه نمایید که در آزمایش فوق اثر اصلی تمام عوامل را می توان تخمین زد و اثر عوامل اصلی با هم مخلوط نشده اند. زیرا آزمایش (1) برای تخمین اثر عامل زمان بکار گرفته می شود. آزمایش دوم برای تعیین اثر عامل دما و آزمایش سوم برای تعیین اثر فشار بکار گرفته میشود.

رابطه $C = ab$ در مثال فوق را ایجاد کننده¹² آزمایش می خوانند و با بررسی این رابطه میتوان مشخص نمود که چه اثراتی باهم مخلوط شده اند. (مثلا $ac=b, cb=a$)¹³ از آنجا که طراحی آزمایشات کسری چندین پاسخ داشته و به محقق ارتباط دارد لذا توصیه هایی برای طراحی آزمایشات کسر فاکتوریل بمنظور بدست آوردن اطلاعات مناسبتر از آزمایشات طرح شده است که عبارتند از:

1. عوامل اصلی را با یکدیگر مخلوط نکنید. (مثلا عامل $A =$ عامل B)
 2. تا حد امکان عوامل اصلی را با اثرات متقابل دو عامل مخلوط نکنید. (مثلا BC عامل $A =$)
 3. تا حد امکان هر اثر متقابل دو عامل را با اثر متقابل دو عامل دیگر مخلوط نکنید. (مثلا $AB = CD$)
- اگرچه در عمل مجبور میشویم که برخی از توصیه های فوق را کنار بگذاریم.

فرضیات پایه تحلیلهای آماری طراحی آزمایشات:

از آنجا که مبنای بررسی طراحی آزمایشات بر اساس آماره های مبتنی بر توزیع F است لذا بایستی به فرضیات و نکات زیر در هنگام اجرای آزمایش توجه نمود.
الف - مشاهدات دارای توزیع زمان هستند. توجه شود که با افزایش تعداد نمونه می توان این فرضیه را پذیرفت.

ب - مشاهدات مستقل از هم هستند. زیرا اگر دو عامل مستقل از هم نباشند در آنصورت یکی از متغیرها ترکیبی از متغیر دیگر است و متغیر پاسخ نیز بصورت مضاعف از یک عامل خاص تاثیر می پذیرد.

ج - عوامل مورد بررسی از نظر توزیع آماری دارای واریانس یکسان هستند. توجه شود که بنظر میرسد در تحلیل واریانس درصد بررسی واریانس هستیم در صورتیکه در واقع هدف بررسی میزان واریانس بین میانگین فرایند به علت تاثیر عوامل مورد بررسی است.

¹²Generator

¹³ $c*b = ab*b = cb = a$

آزمایشات ناقص

تجربه طراحی آزمایشات نشان داده است که همواره نمیتوان همه آزمایشات طراحی شده را اجرا نمود زیرا ترکیب عوامل در عالم خارج معنا ندارد و یا آنکه به دلیل برخی از خطاها و یا مشکلات اجرایی 4 تعداد نمونه در تمام آزمایشات مساوی نبوده و یا برخی از مقادیر آزمایشات به دلیل خطای تجربه وجود ندارد. اگرچه در برخی موارد آزمایشگر درصد برمیآید که آزمایشات لازم را تکرار و یا به هر صورت اجرا نماید ولی یکی از روشهای اجرایی تخمین مقادیر نامشخص است که به دو صورت کلی زیرا انجام میشود:

1- تخمین مقدار برای نمونه های نابرابر در آزمایش

اگر تعداد نمونه های هر گروه از آزمایش برابر نباشد در آنصورت میتوان مقدار داده های نامشخص را برابر میانگین مشاهدات نمونه ها در آن گروه ارزیابی نمود. با این تفاوت روش مجموع خطای سیستم حداقل میگذرد با استفاده از مقادیر تخمین زده شده، بررسی انجام میشود. تنها تفاوتی که بوجود میآید درجات آزادی سیستم است که به تعداد مشاهدات برآورده شده از درجات آزادی کاسته میشود. جدول زیر یک مثال نمونه را نشان میدهد.

آزمایش	دما	فشار Psi	مشاهده 1	مشاهده 2	مشاهده 3
1	15	10	20	24	X = ?
2	70	10	25	27	29
3	15	20	15	18	17
4	70	20	19	22	21

$$X = \frac{20 + 24}{2} = \frac{44}{2} = 22 \quad \text{مقدار برآورد شده}$$

2- تخمین مقدار برای مشاهدات نامشخص

اگر به هر دلیل امکان برگزاري يك آزمایش وجود نداشته باشد و یا نتایج آزمایش از نمونه مربوطه مخدوش شده باشد در آنصورت لازم است با در نظر گرفتن مجموع مشاهدات، مقادیر نامشخص را برآورد نموده و از اطلاعات اثرات ناشی از عوامل برای درجات بالاتر

صرفنظر نمود. برای این منظور میتوان اثرات عوامل درجات بالاتر را نادیده انگاشت و روابط مربوطه را معادل صفر در نظر گرفت. در این حالت برآورد مشاهدات نامشخص براساس این مجموعه معادلات انجام میشود.

جدول زیر يك نمونه محاسبات را نشان میدهد.

	1	2	3	-	12	13	23	123	مقدار
	دما	فشار	مواد	ا	دما-فشار	دما - مواد	فشار-مواد	دما-فشار-مواد	
1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	9
2	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	11
3	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	8
4	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	9.5
5	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	؟
6	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	10
7	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	8.5
8	1	1	1	1	1	1	1	1	10.5

برای تخمین مقدار نامشخص با برآورد رابطه برای ستون اثرات بالاتر (مثلا اثر درجه سوم در مثال فوق) مقدار مربوط به مشاهده نامشخص تعیین میشود.

$$\sum_{i=1}^8 Y_i^{123} = 0$$

با این روش بررسی آزمایش مانند معمول صورت میگیرد ولی تعداد درجات آزادی برای تحلیل واریانس کاسته میشود.

نتیجه گیری :

طراحی آزمایشات نسبت به آزمایشات سنتی ثابت فرض کردن يك عامل و تغییر عامل دیگر روش کارآمدتری برای تعیین اثر با بکارگیری روش طراحی آزمایشات (DOE) : دو یا چند عامل بر يك متغیر پاسخ نسبت به آزمایشات سنتی ثابت نمودن کلیه عوامل و تغییر يك عامل است زیرا:

- به ازای يك مجموعه اطلاعات مورد نیاز به منابع کمتری وجود احتیاج دارد (زمان کمتر، مواد کمتر، آزمایش کمتر). دربررسیهای صنعتی که انجام آزمایش پرهزینه است اهمیت این روش بیشتر ملاحظه می شود.
- تخمین تاثیر عوامل بسیار دقیقتر است. زیرا هرچه تعداد آزمایش بیشتر باشد تخمین تاثیر بیشتر است و با طراحی آزمایش مناسب از کلیه آزمایشات با حداکثر بهره برداری برای

نتیجه گیری استفاده می شود. در حالیکه در روشهای سنتی فقط از آزمایشات کاملاً مرتبط میتوان استفاده نمود.

- تعیین اثر متقابل عوامل به صورت سینماتیک صورت می گیرد در صورتیکه در روشهای سنتی بررسی یک عامل در هر زمان، تاثیرات متقابل قابل شناسایی نیستند. معمولاً در روش سنتی با تحلیل کلی آزمایشات و انجام مداوم آنها نتیجه گیری ابتدایی از تاثیرات بدست می آید.

- اطلاعات ناشی از آزمایشات به گونه ای جمع آوری می گردد که امکان پیش بینی نقاط بهینه و یافتن حداقل تغییرات در متغیرهای پاسخ نیز ممکن خواهد شد.

منابع :

1. D.C.Montgomery(1997), "Design and Analysis Of Experiments"
2. J.Antony (1998), "Some Key things industrial engineers should know about experimental design", logistic information management Vol 11, No.6, PP 386-392
3. D.Fairchild (1997) , "Experimental Design " , Quality engineerings