

## واژگان کلیدی:

Six Sigma، طراحی آزمایش ها، طراحی مقاوم، روش های ناگوچی، طراحی برای Six Sigma، کنترل کیفیت آماری

## معرفی:

Six Sigma به عنوان یک روش ابتکاری پیشرفت کیفیت به خوبی شناخته شده است و در مورد اصول، ابزارها و تاثیرات آن در کیفیت مطالب زیادی نگاشته شده است. با فراگیر نمودن آموزش کارکنان و سرلوحه قرار دادن رشد Six Sigma، درک درست ارزش متدولوژی های گسترش یافته در Six Sigma به تاثیر گذارتر شدن کاربرد آن منجر خواهد شد. این مقاله مروری کوتاه دارد بر ابزارهایی که در Six Sigma از آن استفاده می شود و در نهایت به طور خاص به بررسی نقش عملی «طراحی آزمایش ها» می پردازد. هم چنین تعدادی از نسخه های طراحی آزمایش ها که توسط افراد درگیر در کیفیت در سالهای پیش از بکارگیری Six Sigma مورد استفاده قرار می گرفت نیز، با توجه ویژه به انگیزش و شیوه ی مربوط به هر یک از چارچوب های طراحی آزمایش ها خلاصه و دسته بندی شده است.

## Six Sigma و طراحی آزمایشها:

امروزه Six Sigma در قالب پروژه هایی با مراحل شناخته شده تعریف (Define)، اندازه گیری (Measure)، تجزیه و تحلیل (Analyze)، بهبود (Improve) و کنترل (Control) یا مراحل 5 گانه DMAIC اجرا می شود. عموماً پس از مرحله تعریف پروژه، ویژگی های کلیدی فرایند در مراحل اندازه گیری و تجزیه و تحلیل مشخص شده و محک زده می شوند. به دنبال آن در مرحله بهبود، فرایند در جهت افزایش کارایی تغییر می یابد. سپس مرحله کنترل در نظارت و حفاظت از منافع کمک می کند. پیوند معمول بین این مراحل، به کارگیری تفکر آماری است که در آن اطلاعات به دست آمده از طریق اندازه گیری بطور انکارناپذیری بیانگر مقادیر واقعی می باشند. این مطالب همچنین در جدول شماره 1 که ابزارهای اصلی مربوط به مراحل DMAIC در آن به طور خلاصه آمده است، به چشم می خورد.

جدول 1: خلاصه ای از ابزارهای اصلی Six Sigma

ابزار	مرحله
1- انتخاب پروژه	- تعریف:
2- تجزیه و تحلیل سود و اثر	
3- تعیین مسیر پروژه	
1- تعیین نقاط بحرانی کیفیت (CTQ)	- اندازه گیری:
2- بسط تابع کیفیت (QFD)	
3- برنامه ریزی فرایند	
4- تجزیه و تحلیل نوع خرابی و علت آن (FMEA)	
ابزار	مرحله
5- مشخص نمودن ویژگی ها و اهداف آن	- تجزیه و تحلیل:
6- بهین گزینی کیفیت (Benchmarking)	
7- آمار توصیفی	
8- تجزیه و تحلیل سیستم اندازه گیری (MSA)	
1- تجزیه و تحلیل قابلیت	- تجزیه و تحلیل:
2- شاخص های عملکرد کوتاه مدت و دراز مدت	
3- آزمون فرض ها	
4- فاصله اطمینان	

5- برآورد اندازه نمونه	
6- شناسایی عوامل انحراف	
7- تجزیه و تحلیل چند متغیره	
8- تحلیل واریانس (ANOVA)	
9- تحلیل همبستگی	
10- تحلیل رگرسیون	
1- چارچوب طراحی آزمایشها	- بهبود :
2- طرح های عاملی	
3- طرح های عاملی کسری	
4- طرح های بلوک بندی شده متعادل	
5- طرح های آشیانی	
6- طرح های سطح پاسخ	
7- مدلسازی ریاضی	
8- عملیات تکاملی	
1- طرح های کنترل	- کنترل :
2- تعیین تولرانس	
3- نظارت و کنترل فرایند	
4- خطا ناپذیر سازی	
5- ساختار گروهی	
6- مستند سازی	
7- سیستم های کیفیت	

جزئیات و ترتیب کاربرد ابزارهای DMAIC از سازمانی به سازمان دیگر و از پروژه ای به پروژه دیگر می تواند متفاوت باشد. به هر حال، آنچه که تاثیر سراسری Six Sigma را ممکن می سازد، یکپارچگی و جریان منطقی آن است. این مطلب درست است، زیرا میزان قابل توجهی از فعالیت های مراحل اندازه گیری و تجزیه و تحلیل با فعالیتهای مرحله بهبود \_ که در تغییرات و بهینه سازی مؤثر است \_ تداخل دارد. از آنجا که طراحی آزمایشهای آماری بخش عمده این فاز مهم را تشکیل می دهد، مروری کوتاه بر روشی که در گذشته جهت بهبود کیفیت به کار گرفته می شد، مفید خواهد بود.

بیش از 7 دهه از زمانی که فیشر<sup>1</sup> طراحی آزمایشها را برای مطالعه کارآمد سیستم های پیچیده در اختیار آمارشناسان قرار داد می گذرد. به هر حال، برای مدتی این روش قدرتمند در صنعت به خوبی توسعه نیافته بود، در حالی که در آزمایش ها از روش «بررسی یک عامل در هر بار» استفاده می شد. تکنیک های رفع اشکال شاینین<sup>2</sup> که ظرف حدوداً 2 دهه گسترش یافت، در دهه 70 بسیار مورد توجه بودند. سالهای آموزش و تلاش های پراکنده باکس، هانتز و هانتز<sup>3</sup> در دانشگاه و صنعت موجب پیشرفت فعالیت آن ها گردید که نتیجه آن ساخت BH<sup>2</sup> بود؛ یک نام خانگی در طراحی آزمایش های کاربردی. در دهه 80، توجه باکس و دیگر آمارشناسان به سمت روش های تاگوچی<sup>4</sup> جلب شد. بحث و مناظره در مورد روش های تاگوچی در زمینه کیفیت، در دهه 90 مانند چرخه های آکادمیک انجام گرفت؛ تنها برای اینکه زیر سایه ضرورت Six Sigma و داستان های موفقیت شرکت های پیشرو در آمریکا قرار گیرد.

پیشرفت در گسترش طراحی آزمایشها برای اهداف کیفیت ممکن است در متدولوژی های رده بندی شده ای که افراد در گیر در امر کیفیت و مدیران در دهه های اخیر با آن ها مواجه شده اند، دیده شود. جدول (2) یک مسیر زمانی تقریبی برای صورت ظاهری این متدولوژی ها می دهد. سال مشخص شده در جدول، زمانی را نشان می دهد که متدولوژی مذکور در آن سال مورد قبول واقع شده و محبوب بوده است.

در استفاده از این جدول، با در نظر گرفتن چه وقت، چگونه، چرا، چه کسی، کجا و چه چیز، بایستی به موارد زیر توجه شود :

- 1) پیدایش، پیشرفت و انتشار هر یک از متدولوژی‌های داده شده، در زمانی قبل و یا بعد از سال مشخص شده رخ داده است. به عنوان مثال می‌توان به کتابها و مجلات نگاشته شده در زمینه طراحی آزمایشها، در دهه های 50 و 60 اشاره نمود.
- 2) متدولوژیها به هیچ وجه نسبت به یکدیگر ناسازگار نیستند.
- 3) متدولوژی جدیدتر، الزاما متدولوژیهای قبلی را منسوخ نمی‌کند.
- 4) یک تمرکز / کاربر / محیط / کاربرد جدیدتر در بیشتر مواقع روشهای ثبت شده قدیمی را نیز در بر می‌گیرد، تا اینکه بخواهد راه آن‌ها را مسدود کند.

جدول 2: ترتیب زمانی تقریبی طراحی آزمایش‌های کاربردی

چه چیز (کاربرد)	کجا (محیط)	به کسی (کاربرها)	چرا (تمرکز)	چگونه (رده)	چه وقت (حدود)
فرایندهای طبیعی	آزمایشگاه‌ها	نشمندان	مطالعه عوامل شناخته شده	یک عامل در یک زمان	سنتی
فرایندهای صنعتی/ محصولات	فروشگاه‌ها	کنسین‌ها	جستجوی عوامل ناشناخته	تکنیکهای Shainin	1975
فرایندهای موجود	تولید	بارشناسان	مرحله بهبود عملکرد	متدولوژیهای BH <sup>2</sup>	1980
فرایندهای جدید/ محصولات	عملیات	مهندسين	کاهش تغییرات عملکرد	روشهای تاگوچی	1985
سیستم‌های جدید	توسعه	مدیران	کمینه کردن هزینه	طراحی مقاوم	1990
قراردادها	شرکت‌ها	مدیران اجرایی ارشد	بیشینه کردن سود	Six Sigma	1995
ارزش‌ها	تجارت	سرمایه‌گذاران	گسترش بازار	PostSixSigma	2000

با مرور پیشرفت‌ها تا به امروز، نه تنها به اهمیت فزاینده نقش طراحی آزمایشها پی می‌بریم، بلکه متوجه انتقال جالب توجه مالکیت آن می‌شویم. اگر هر شخصیت پیشرو را نماینده‌ی یکی از مراحل پیشرفت بدانیم، می‌توان گفت رونالد فیشر طراحی آزمایشها را از نقطه نظر آمار ریاضی توسعه داد، دوریان شاینین از استدلال‌های آماری و احتمالی برای تهیه نسخه‌ای از طراحی آزمایشها که حتی برای تکنسین‌ها کاربرد داشته باشد استفاده نمود، جرج باکس<sup>5</sup> تئوری را به روش‌های عملی برای آمارشناسان و مهندسان کاربردی تبدیل کرد. گنجیچی تاگوچی موضوع را برای کاربران ساده کرد و آن را به منظور طراحی مقاوم، که که وسعت کاربرد آن از نظر مدیران تحسین برانگیز است، به کار گرفت. در حالی که مایک هر<sup>6</sup> نتایج کار را برای جلب اعتماد مدیران اجرایی ارشد یا CEO ها جمع‌بندی نمود. بار دیگر توجه شود که این سبک طبقه‌بندی کاربران، بهترین تقریب است. چرا که نه با یکدیگر

ناسازگارند و نه قابل جایگزین کردن با دیگری. با این زمینه تاریخی، مباحث بخشهای بعدی روشهای آماری اصلی که در مطالعات پیشرفت کیفیت مورد توجه بوده اند را روشن خواهد ساخت.

### مطالعه کیفیت :

مفهوم کیفیت به روش های مختلفی قابل بیان است. این مفهوم از دیدگاه کاربردی " تناسب برای استفاده" تا فلسفه "نسبت خرابی به جمعیت" گسترش می یابد، اما برای پرسنل در یک خط تولید با یک اداره تجاری، کیفیت مطلوب می تواند توسط مجموعه ای از ویژگیها به صورت محدود تعریف شود. به عنوان مثال ابعاد یک قطعه قالب ریزی شده به نام  $y$  ممکن است در محدوده ای بین  $S_L, S_U$  (که به ترتیب حد پایین و حد بالا را بر حسب میلیمتر نشان می دهند) خواسته شود. در شرایط دیگری،  $y$  ممکن است زمان پاسخ به شکایت یک مشتری (از زمان تماس مشتری با شرکت، تا زمان تماس شرکت با مشتری جهت پاسخگویی) باشد و این زمان نباید بیش از  $S_R$  ساعت باشد. در می یابیم که برای اثبات اینکه  $S_R, S_L, S_U$  مناسب ترین مقادیری هستند که انتظار مشتری را برآورده می کنند، مطالعات کافی از قبل و در جای دیگر صورت گرفته است.

با وجود معیارهای فیزیکی که به عنوان شاخص برای کیفیت استفاده می شوند و راهی که ویژگیها در آن وارد می شوند، تمامی مشکلات کیفیت در زمان تولید کالا و خدمات تنها ناشی از یک علت است: انحراف. اگر هیچ گونه انحرافی در دنیای واقعی وجود نداشت، آنگاه هیچ مشکل کیفی نیز به وجود نمی آمد؛ چون هر واحد کالا با هر خدمتی دقیقاً همان خصوصیات پیش بینی شده را دارا بود. از این رو برخورد با مشکلات کیفیت نیازمند مدیریت کافی بر انحراف است. برای سادگی، تنها به انحراف در ویژگیهای یک محصول تولیدی اشاره می کنیم؛ اگر چه استدلالهایی که در این مقاله ذکر شده بطور مشابه برای عملیات خدماتی نیز به کار می رود.

### نقش پیدا کردن انحراف و پیش گیری از آن در کیفیت :

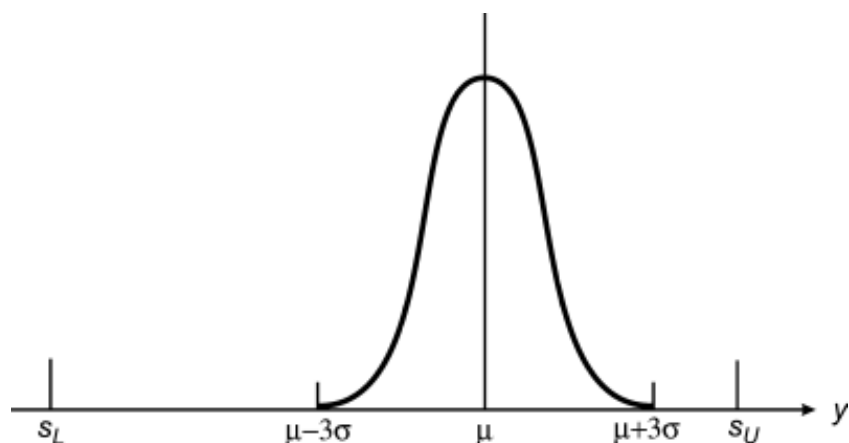
شاید به خاطر داشته باشید که دیدگاه سنتی در اطمینان از کیفیت، آزمایش و بازرسی است. چنین روندی منحصراً قسمتهای معیوب محصول را پیدا می کند و آن ها را از انتقال به مراحل بعدی فرایند یا رسیدن به دست مشتری باز می دارد. در این روش کنترل عیب تنها نتیجه است که حاصل می شود و در بهبود کیفیت هیچ تاثیری نخواهد داشت. روش بهتر این است که به عقب برگردیم، با تمرکز بر فرآیندی که در ابتدا محصول را تولید می کند. دو ابزار اصلی نظارت و کنترل آماری در این قسمت وارد کار می شوند: تجزیه و تحلیل قابلیت فرایند و نمودارهای کنترل فرایند در تجزیه و تحلیل قابلیت فرایند، اندازه گیری های ویژگی های کیفی یک کالا،  $y$ ، جهت سطح عمومی و میزان انحراف تجزیه و تحلیل می شوند. یک شاخص ظرفیت فرایند ( $C_{pk}$ ) میزان تطابق انحراف موجود با ویژگی ها را اندازه گیری می کند.

$$CPI = \frac{\text{مقدار مجاز انحراف}}{\text{مقدار موجود انحراف}} \quad (1)$$

که ماهیتاً همان نسبت « ندای مشتری » ( آنطور که توسط ویژگیها منعکس می شود) به « ندای فرایند » ( آنگونه که توسط داده های اندازه گیری شده انعکاس می یابد ) است.

همان طور که در شکل (1) نشان داده شده است، اگر میانگین ( $\mu$ ) و انحراف استاندارد ( $\sigma$ ) به گونه ای باشند که باعث شود محدوده تغییرات  $\mu \pm 3\sigma$  که معمولاً با سه برابر انحراف استاندارد نشان داده می شود در فاصله مناسبی از نزدیک ترین حد مشخصات طراحی قرار گیرد، آن گاه گفته می شود این مرحله قادر به برآوردن نیازهاست.

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{\mu - S_L}{3\sigma}, \frac{S_U - \mu}{3\sigma} \right\} \quad (2)$$



شکل 1: تجزیه و تحلیل قابلیت فرایند

مقدار  $C_{PK}$  مشخص می کند که آیا فرایند مجاز به ادامه هست یا نه. پیش از دوره Six Sigma معمولاً حداقل  $C_{PK}$  برای محافظت کافی در برابر تولید محصول خارج از محدوده مجاز مشخصات،  $1/33$  بود.

سطح دیگری از محافظت در برابر انحراف، شکل نمودارهای کنترل آماری فرایند را به خود می گیرد، که رفتار فرایند را به صورت تابعی از زمان نشان می دهد. از آنجا که فرایند تا زمانی قادر به ادامه است که  $\mu, \sigma$  آن در مقدار مربوط به خود باقی بمانند، وجود نمودارهای کنترل لازم به نظر می رسد. تغییر ساختار یافته در  $\mu$  یا  $\sigma$  منجر به ایجاد رفتار ناخواسته در فرایند و نتیجتاً حصول عیب در تولید محصول می گردد. به این ترتیب مطالعات قابلیت فرایند و نمودارهای کنترل به ترتیب بررسی های استاتیک و دینامیک بر روی فرایند انجام می دهند و این دو با هم یک نظام پیشگیری از تولید محصول معیوب به دست می دهند.

### نقش مداخله فعالانه در کیفیت:

در حالی که ممانعت از حصول عیب در فرایند برای نگهداری سطح کیفیت ضروری است، به آسانی مشاهده می شود که مادامی که اینگونه فعالیتها تنها به صورت غیر فعال مشاهدات خروجی نهایی فرایند را تجزیه و تحلیل نمایند، هیچ گونه پیشرفتی با تجزیه و تحلیل قابلیت فرایند و یا ترسیم نمودارهای کنترل به دست نمی آید. تجزیه و تحلیل داده ها بیان می کند که آیا رفتار خروجی رضایت بخش هست یا نه. سپس در مورد « ادامه » یا « توقف » فرایند تصمیم گیری می شود.

باید در نظر داشته باشیم که حتی اگر خروجی فرایند با توجه به بعضی معیارها رضایت بخش ارزیابی شود ( برای مثال، وقتی قضاوت یک نمودار کنترلی درباره فرایند « تحت کنترل آماری » است، هنوز هیچ نشانه ای از اینکه وضعیت موجود بهترین کارایی را برای آن فرایند بخصوص داراست، در دست نیست. یک نمودار کنترل P را در نظر بگیرید که یک فرایند تحت کنترل آماری را نشان می دهد. شیوه مرسوم در کتب درسی این است که از پیش آمدن وقفه در روند فرایند اجتناب شود؛ که در حقیقت این واقعیت که فرایند با نسبتی از محصول نا منطبق که برابر با مقدار خط وسط نمودار است ادامه پیدا می کند را نادیده می گیرد. در حالی که عکس العمل نشان ندادن به معنای آن است که هیچ گونه پیشرفتی رخ نخواهد داد.

در وضعیتی که خروجی رضایت بخش نباشد، بهبود تنها با تغییر در ورودی فرایند حاصل می شود. وضعیت هر طور که باشد، خروجی یا متغیر پاسخ  $y$  تنها از طریق یک دستکاری آگاهانه و منطقی در

ورودیهای  $x_1, x_2, \dots, x_k$  می تواند بهینه شود، (شکل 2) که  $x_i$ ;  $i=1, 2, \dots, k$  عوامل قابل کنترل نظیر دما، فشار، نرخ جریان، نوع مواد و... هستند که آنها را تحت عنوان عامل ها می شناسیم. یک نیاز بحرانی برای تنظیم یا بهینه سازی عوامل آن است که پیوند ورودی \_ خروجی در جایی که  $y^{\wedge}$  متغیر پاسخ پیش بینی شده برای مقادیر داده شده  $x_i$  در رابطه تابع  $f_c$  است، شناسایی شود.

$$\hat{y} = f_c(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (3)$$



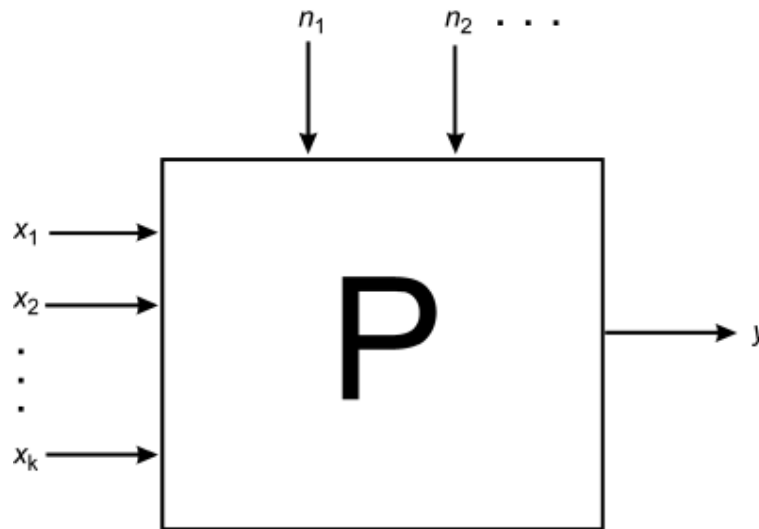
شکل 2: عوامل و متغیر پاسخ در یک فرایند

از دیدگاه واقع بینانه تر، ساختار یک فرآیند به گونه ای است که در شکل (3) نشان داده شده است، که در آن  $n_1, n_2, \dots$  عوامل غیر قابل کنترل هستند که به آنها نویز گفته می شود. اینگونه متغیرها تمایل دارند متعدد غیر قابل شناسایی و غیر قابل اندازه گیری باشند؛ به عنوان مثال پراکندگی در مواد خام و قطعات اولیه، پراکندگی به واسطه استهلاک و خستگی تجهیزات. همچنین عوامل محیطی مانند دمای محیط، رطوبت نسبی، لرزشها و گردو غبار. تاثیر نویز از طریق پراکندگی مشاهده شده در  $y$  در وضعیتی که متغیرهای قابل کنترل ثابت نگه داشته شوند، نشان داده می شود. به این ترتیب متغیر پاسخ حقیقی یا  $y$  می تواند به عنوان ترکیبی از یک جزء قطعی به نام  $y^{\wedge}$  و یک جزء احتمالی به نام  $e$  (که به صورت تابعی  $f_n$ ) از عوامل نویز تعریف می شود، در نظر گرفته شود.

$$y = \hat{y} + e, \quad (4)$$

به قسمی که

$$e = f_n(n_1, n_2, \dots) \quad (5)$$



شکل 3: متغیر پاسخ همراه با عوامل نویز

چون بیشتر عوامل پیچیده تر و نامفهوم تر از آن هستند که توسط اصول اولیه علمی و مهندسی تجزیه و تحلیل شوند، برای بدست آوردن رابطه (3) باید از تکنیکهای آزمایشی استفاده نمود. روش « علمی » سنتی تغییر یک عامل در هر بار آزمایش عموماً مفید نمی باشد؛ چون نه تنها نیاز به مشاهدات متعدد دارد، بلکه تاثیرات متقابل بین عوامل موجود را نیز نشان نمی دهد. در دهه 20، فیشر و سایرین رسماً قوانین و روندهایی را برای آنچه که عموماً با نام طراحی آزمایشها به آن اشاره می شود بنا نهادند که محققان را قادر به مطالعه تجربی مؤثر و کارا بر روی سیستمهای "ناشناخته" می سازد. در پیشرفتهای بعدی، تکنیکهای طراحی آزمایشها به کاربردهایی برای مقاصد مختلف منجر شد از جمله جداسازی عوامل (یعنی مشخص کردن یک دسته مهم در میان تعداد زیاد)، توصیف رفتار فرآیند (مانند به وجود آمدن تابع انتقال که مدل ریاضی ورودی - خروجی برای رابطه (3) است)، و بهینه سازی عملکرد فرآیند (مثلاً توسط کاربرد متدولوژی سطح پاسخ)

طراحی آزمایشها به چند دلیل مفید است :

- 1) هدف آن تغییر عملیات یک فرآیند یا محصول برای کارایی بهتر است، تا حفظ وضعیت موجود. لذا ابزاری مناسب برای اهداف پیشرفت است.
- 2) در پس روندهای آزمایشی عملی، شالوده ای بر پایه ریاضیات دارد.
- 3) به حداقل تلاش تجربی برای یک مقدار داده شده از اطلاعات نیاز دارد. یا به عکس، حداکثر مقدار اطلاعات را برای یک مقدار مشخص از داده ها به دست می دهد. نتیجتاً هم در منابع آزمایشی صرفه جویی می شود، هم در زمان.
- 4) داده ها جای خود را به تکنیکهای تشریحی قابل فهم و تفاسیر شهودی می دهند. امروزه با دسترسی گسترده به بسته های نرم افزاری تجزیه و تحلیل داده ها بسیار ساده شده است.
- 5) نیازی به اطلاعات قبلی درباره خواص موضوع مورد مطالعه ندارد. هر چند اطلاعاتی از این دست می تواند برای طراحی آزمایشها ی حقیقی مفید باشد.
- 6) نتایج برخاسته از مطالعه یک طرح آزمایشی همیشه می تواند توسط اجزای تاییدی آزمایشها اثبات شود و هر گونه بهبود نتیجه گیری بدون صرف هزینه زیاد بدست می آید. به این ترتیب طراحی آزمایشها می تواند نیاز به راه حل های فنی گران برای مشکلات را بر طرف نماید.

جدول (3) تفاوت میان کیفیت از راه نظارت بر فرآیند و کیفیت توسط طراحی آزمایشها را بطور خلاصه بیان می‌کند. تفاوت میان یک شیوه انفعالی و یک شیوه فعال به وضوح مشخص است:

جدول 3: بازبینی فرآیند در مقایسه با طراحی آزمایشها برای کیفیت نظارت بر فرآیند

ویژگی	بازبینی بر فرآیند	طراحی آزمایشها
شیوه	اقدام پیش‌گیرانه	زودتر اقدام کردن
رفتار	تدافعی	بیش فعال
شاخص‌ها	تطابق	بهبود
گسترش	هم‌جهت با پیشروی فرآیند	در جهت مخالف فرآیند
اجرا	نظارت انفعالی	مداخله برنامه‌ریزی شده
قالب	ممتد (ادامه دار)	پروژه به پروژه
هدف	اجتناب از پیدایش عیب	خلق ارزش
ورودی نیروی انسانی	دستورالعمل‌ها	ارتباط
اطلاعات مورد استفاده	روال همیشگی	تولید شده
توجه	کنترل خرابی	نقاط بحرانی کیفیت
معیارهای کلیدی	شناخته شده	معمولاً ناشناخته
موقعیت	محل تولید	تقاطع تابع
وسیله	آمار توصیفی	تابع انتقال
طبیعت	فعال (online)	غیر فعال (offline)
هدف	کنترل	بهینه‌سازی
مشکلات	شناسایی شده	مطالعه شده
پرسش	درباره عملیات	ورای شرایط موجود
احتیاجات	راه اندازی تکی	منابع اختصاص داده شده
راه حل‌ها	چاره ساز	بنیادین
خروجی مورد نظر	پایدار	تغییر یافته
کاربران	افراد	گروه‌ها
موجودیت	خطوط مشخص	عملیات عمومی
کارکرد	وابسته به قانون	بر اساس دانسته‌ها
ثمره	مداوم	افزایشی



نزدیک	بعید	کاهش عیوب به صفر
-------	------	------------------

در Six Sigma ، طراحی آزمایشها به ویژه در تعیین روابط علت و معلولی (cause & effect) و مشخص نمودن «مقدار بحرانی» عوامل مؤثر در فرآیند تحت مطالعه مؤثر است. مطالعات چند متغیره نیز برای شناسایی عواملی از فرآیند که اثر آنها باید با اجرای آزمایشات طرح شده مشخص شود، به کار می رود.

#### چارچوب آزمایشی آمارشناسان :

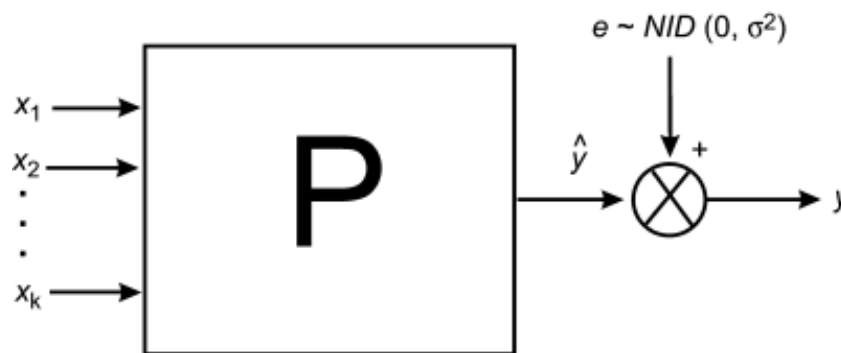
چندین دهه پیش از پذیرش طراحی آزمایشها به طور جدی در صنعت برای توصیف ویژگیها و بهبود فرآیند، عمدتاً توسط مهندسان شیمی، جرج باکس پس از کار در ICI<sup>8</sup> به امریکا رفت تا گسترش مفاهیم و روندهای مفید در حل مسائل صنعتی را ادامه دهد. کتاب جامع باکس، هانتز و هانتز یا  $BH^2$  برای آمارشناسانی که قصد به کارگیری طراحی آزمایشها بصورت عملی را داشتند، به یک مرجع معتبر تبدیل شد.  $BH^2$  موضوع را در پرتو پژوهش علمی مطرح نمود، در حالی که بر روش استدلال قیاسی-استقرایی مکرر همانند اثبات فواید استراتژی آزمایش های متوالی تاکید می ورزید.

طی دهه های 60 و 70 طراحی آزمایشها و تکنیکهای همراه آن نظیر متدولوژی سطح پاسخ، جهت به دست آوردن روابط ورودی \_ خروجی فرآیندها به فرم رابطه (3)، برای مقاصدی مانند توصیف فرآیند، پیش بینی خروجی و کنترل ورودی بکار گرفته شد. هدف، هدایت متغیر پاسخ به سوی مقادیر مطلوب و یا یک مقدار مرزی (مثلاً بیشینه یا کمینه) است.

اثر عوامل ناشناخته یا کنترل ناپذیر (مانند نویز ها با  $e$  نشان داده می شود که معمولاً توزیع آن را به صورت یک توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس  $\sigma^2$  فرض می کنیم. این مطلب در شکل (4) نشان داده شده است و بصورت زیر نشان داده می شود :

$$y = \hat{y} + e, \quad (4)$$

$$e \sim \text{NID}(0, \sigma^2) \quad (6)$$



شکل 4: چارچوب آزمایشی آمارشناسان

بنا بر این روابط 3,4,5,6 تشکیل پایه ای بر اساس یکی از موضوعات بررسی شده توسط آمارشناسان می دهند. به عنوان مثال کل موضوع  $BH^2$  بر این پایه استوار است.

#### طرح آزمایش شاینین

زمانی که چارچوب اصلی طراحی آزمایشها در دسترس آمارشناسان بود، تلاش های موازی بسیاری انجام شد، به ویژه از طریق تمرین های مشاوره ای دوریان شاینین برای پیشرفت تکنیک های آزمایشی

شهودي و در عين حال آماری مناسب براي تمرین هاي سازگار با صنعت. ثمره این تلاش ها، چیزی است که امروزه به آن سیستم شاینین در طراحی آزمایش ها می گویند. طرح پژوهشی شاینین، بویژه برای توجه به مشکلات شناخته شده در محصول یا رفتار فرایند مناسب است، و از مطالعات تطبیقی واحدهای سخت افزاری در جستجو های سیستماتیک برای علل انحراف یا عدم تطابق استفاده بسیار می کند. در این روش همچنین برخی از مفاهیم و روش های کنترل فرایند آماری برای اهداف نظارت بر فرایند، یکی می شوند.

کاربرد تکنیک های شاینین در فروشگاه ها بسیار آسان است و نیازی نیست که کاربر درکی از مبانی تئوری آماری یا احتمالی داشته باشد. طرح های آزمایش متداول، اگرچه در طرح پژوهش وجود دارند، اما مهم ترین بخش آن به شمار نمی روند. در واقع اثربخشی بعضی از روش ها از نقطه نظر طراحی آزمایش های رسمی بصورت بحرانی مرور شده است. عامل پیش برنده آزمایش های شاینین در درجه اول بر طرف نمودن مشکل است، و در اکثر موارد هدف آن برگرداندن محصول یا رفتار فرایند به حالت قابل قبول است، تا این که بخواهد آگاهانه در پی پیشرفت غیر منتظره ای باشد.

### آزمایش های تاگوچی

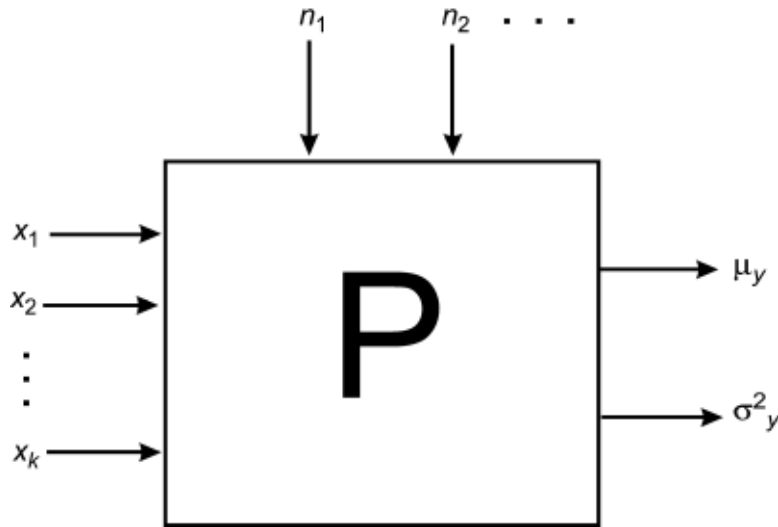
از آنجا که نیاز به تکنیک های آزمایشی برای رفع عیب و بهینه سازی هیچ گونه مرز جغرافیایی نمی شناسد، جالب توجه است که تقریباً در یک محدوده زمانی یکسان، که باکس و همکارانش در حال خلاصه نمودن حدود تحلیلی طرح های آزمایشی بودند و شاینینی مشغول گسترش الگوریتم عملی خود بود، پیشرفت چشمگیری توسط گنجی تاگوچی در ژاپن اتفاق افتاد. دیدگاه کیفیتی تاگوچی در کتاب های مختلف به خوبی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. به عنوان یک نتیجه از رابطه متقابل تاگوچی با عملیات و مهندسی طراحی، همین بس که وی توانست چندین دیدگاه جهت تمیز شیوه خود در طراحی آزمایش ها از شیوه های آمارشناسان دیگر ارائه دهد:

1) طراحی آزمایش ها بسیار مهم تر از آن است که تنها به آمار شناسان واگذار شود، بنا بر این مهندسان خود باید بتوانند آن را برای مقاصد بهبود کیفیت استفاده کنند.

2) کیفیت باید ذاتی و درونی باشد، بنا بر این مطالعات طراحی آزمایش ها در یک محصول یا چرخه تحقق یک فرایند (که به آن «طراحی شاخص ها» می گویند)، باید حتی الامکان در جهت خلاف روند پیشروی فرایند اجرا شود.

3) مدیریت نویز ها باید بصورت فعال انجام پذیرد، تا آنجا که پراکندگی به عنوان جزء متناقض درونی (آنتی تز) برای کیفیت شناخته شود. همچنین برای کاهش تاثیرات اجتناب ناپذیر نویز و در نتیجه کاهش پراکندگی، باید از طراحی آزمایش ها استفاده شود.

عوامل نویز در یک مطالعه تاگوچی ممکن است شامل نویز در فرایند (مانند انحرافات در تنظیم دما و یا سرعت) و نویز در محصول (مانند تغییرات از قطعه ای به قطعه دیگر در خواص قطعات مورد استفاده در فرایند ساخت) باشند. همچنین می توانند به تنش های محیطی وارد بر یک محصول، یا خرابی قطعات محصول در اثر گذشت زمان باز گردند. تاگوچی احساس کرد طبیعت نویز هرچه که باشد، تاثیر آن روی محصول یا فرایند نباید الزاماً به عنوان زیان در نظر گرفته شود. لذا به جای آن که با سطح نویز مانند یک  $\sigma^2$  ثابت و اجتناب ناپذیر (آن طور که در رابطه (7) آمده است) رفتار کند، تلاش کرد تا نویز را به کمک طراحی آزمایش ها کاهش دهد. همان طور که در شکل (5) نمایش داده شده، عوامل نویز  $n_1, n_2, \dots$  در مطالعه آزمایش شبیه سازی می شوند و واریانس  $y(\sigma_y^2)$  به عنوان یک متغیر پاسخ که می تواند مانند میانگین  $\mu_y$  و یا مشخصه های کیفی تغییر کند، در نظر گرفته می شود.

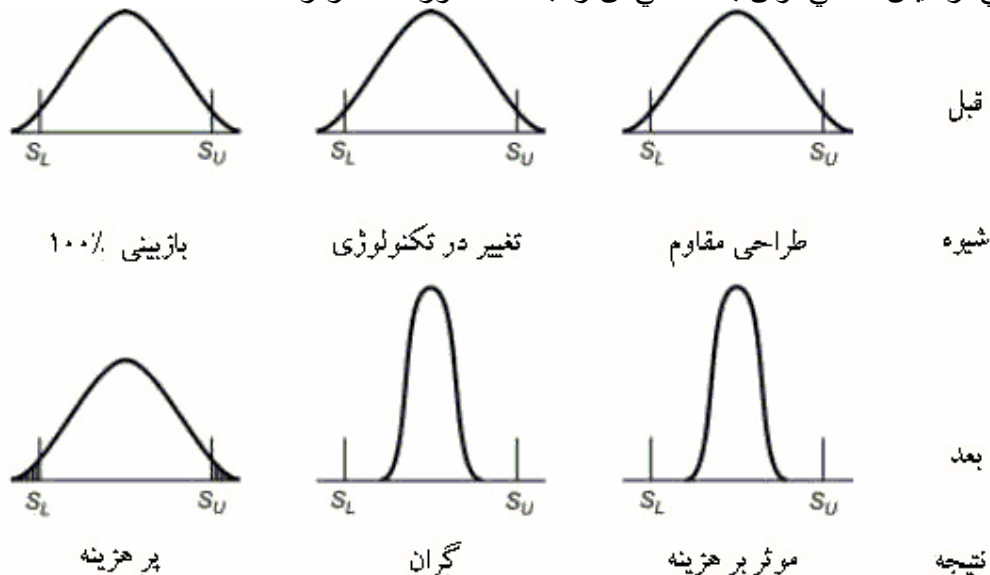


شکل 5: چارچوب آزمایشی تاگوچی

### طراحی مقاوم:

کار تاگوچی پس از همکاری او با مهندسان تحقیق و توسعه در آزمایشگاه های Bell و شرح دیدگاهش برای رسیدن به کیفیت درونی (ذاتی) و پایایی به صورتی موثر بر هزینه، به طور گسترده در آمریکا پس از دهه 80 شناخته شد. ایده بهینه سازی پارامترهای فیزیکی برای محافظت محصولات و فرایندها از تاثیرات مضر نویز تولیدی و محیطی، خیلی زود منجر به محبوبیت طراحی مقاوم یا مهندسی مقاوم گردید. طراحی مقاوم روش هایی برای کشف فرصت ها جهت بردن  $\mu_y$  به مقدار مورد انتظار، کاهش  $\sigma_y^2$  به مقداری کمتر، و در صورت امکان پیدا کردن ترکیب  $X_i$  برای کم هزینه ترین راه حل ارائه می کند. در عین داشتن ارزش عملی، مفهوم «مقاوم» بودن در فرایندهای کاری غیر تولیدی نیز کاربرد گسترده ای یافته است.

در مباحث آماری، ماهیت طراحی مقاوم ممکن است به صورت زیر ارزیابی شود. وقتی  $\sigma_y^2$  خیلی بزرگ است، اغلب با یک منحنی توزیع که از حدود ویژگی های  $y$  تجاوز می کند نمایانده می شود. این مطلب در طرح های ردیف اول در شکل (6) نشان داده شده است. در همه طرح ها فرض شده که پاسخ متوسط در نقطه میانی تلورانس واقع است. هرچند اگر این طور نباشد هم، با استفاده از روش های متداول طراحی آزمایش ها می توان به سادگی آن را به محل مورد انتظار رساند.



## شکل 6: شیوه های مختلف کاهش واریانس

بطور شهودی، سراسر ترین راه رفتار با چنین عملکرد کیفی غیر قابل قبولی بازرسی 100% است. این کار محصولات معیوب را از مجموعه خارج می کند. با این حال این روش تنها در صورتی درست عمل می کند که بازرسی به کلی عاری از خطا باشد. همچنین نیازمند مدیریت مناسب، نیروی انسانی، منابع ماشینی و زمان است. از همه مهم تر آن که اگر شیوه بازرسی یا آزمایش مخرب باشد، بازرسی 100% امکان پذیر نیست. در واقع بازرسی را به هیچ وجه نمی توان یک روش بهبود کیفیت به شمار آورد، حتی اگر این روش به طور موفقیت آمیز اعمال شود، هنوز باید هزینه ای برای ضایعات یا دوباره کاری صرف شود، که یا با افزایش قیمت محصول جبران می شود، یا تولید کننده متضرر می شود. گزینه دیگر برای کاهش واریانس، استفاده از راه حل های تکنولوژیکی است. در این روش یا برای کاهش نویز تلاش می شود، (مانند استفاده از کنترل محیطی بهتر برای فرایند) یا از منابع فیزیکی بهتر استفاده می شود (مانند به کارگیری ماشین آلات پیشرفته تر و مواد اولیه خالص تر). تغییر در تکنولوژی یا راه حل های تکنولوژیکی می تواند به انجام پروژه های کلان با هزینه سنگین بیانجامد. این اقدام ممکن است منجر به دستیابی به مقادیر مناسب تر  $y$  گردد، اما واضح است که قیمت کالا جهت جبران هزینه های صرف شده افزایش می یابد.

با این همه هنوز گزینه دیگری برای رویارویی با مشکل واریانس وجود دارد که برای کاربران طراحی آزمایش ها قابل استفاده است. آن هم شیوه طراحی مقاوم است که در آن از آزمایش های طرح شده برای کشف راه هایی جهت مدیریت نویز و کاهش پراکندگی به شکلی پیشگیرانه و موثر در هزینه استفاده می شود. این روش به راه حل هایی منجر می شود که از دیدگاه مدیریتی بیش از سایر روش ها جالب توجه هستند.

طراحی مقاوم به دو دلیل عمده در گسترش حوزه آزمایش های صنعتی توفیق یافت:

- 1) طراحی آزمایش ها خیلی زودتر به کار گرفته می شود، از تنظیم دقیق سیستم های فیزیکی موجود تا بهینه سازی محصولات یا فرایند های جدید در مرحله طراحی. این از تغییرات قیمت به سبب مشکلات کیفی که پس از شکل گیری کامل فرایند تولید بروز می کنند، جلوگیری می کند.
- 2) طرح ها می توانند از قبل به نحو مقتضی جهت خنثی نمودن اثرات نویز پیش بینی شده در مدت تولید و در طول عمر فرآورده، تنظیم شوند. به این ترتیب سهم طراحی آزمایش ها، از یک تمرکز کیفی ایستا، به حوزه مهندسی پایایی گسترش می یابد.

در امتداد نقش های گسترده آزمایش های صنعتی، تاگوچی و طرفداران شیوه او نیز مجموعه ای از طرح های آزمایش و روش های تجزیه و تحلیل منتشر کردند که برای تعداد زیادی از آمارشناسان از نقطه نظر دقت و بازدهی بحث برانگیز بود. یک مقایسه بین تصویر های (4) و (5)، به سهولت راه های مختلف بیان روابط بین عوامل نویز و پراکندگی پاسخ را آشکار می سازد. علاوه بر این، اقدامات مختلفی توسط تاگوچی انجام شد که متخصصان صنعت و دانشگاه مشتاقانه درباره آن به مطالعه و بحث پرداختند. اخیراً تلاش هایی در جهت ایجاد پل ارتباطی بین چارچوبی که معمولاً توسط آمارشناسان به کار گرفته می شود و آن چه که در روش تاگوچی بیان شده است، و به طور همزمان برای معرفی ابزارهای مهندسی کیفیت در جهت طرح، تحلیل و تفسیر آزمایش ها انجام شده و به طبع رسیده است. پژوهش های موردی نیز به درک نیاز به تلفیق بینش مهندسی با تکرر آماری کمک شایانی کرده است.

## چارچوب Six Sigma :

همانگونه که اشاره شد تلاش تاگوچی جهت گنجاندن طرح های آزمایش در حیطه کاری مهندسان، به جای واگذار نمودن آن به آمارشناسان شایسته تقدیر است. با این حال، این مرحله مهم و در عین حال تا اندازه ای بحث برانگیز از اقدامات کیفی، خیلی زود در اواخر دهه 90 توسط یک روش دیگر که به مراتب ساخت یافته تر و ریشه دارتر بود، کنار گذاشته شد. این روش Six Sigma نام داشت و موفقیت آن در... Motorola, Allied signal, General Electric آغاز شده بود. از لحاظ فنی شماره Sigma نمودی از کیفیت فرآورده به زبان میزان پراکندگی فرایند است. براساس شکل (1)، این عدد

مضرب  $\sigma$  از  $\mu, s_u$  است که فاصله بین  $\mu, s_u$  (نزدیکترین حد مشخصات) را می پوشاند. یک حفاظت  $6\sigma$  بیان می کند که، با فرض وجود توزیع نرمال، نرخ میزان خرابی کمتر از 2 فرصت در بلیون و حتی یک انتقال مجاز  $\mu$  به اندازه  $1/5\sigma$  به سمت  $s_u$  در طول زمان، این نرخ از  $3/4$  در میلیون تجاوز نمی کند. این معنای تحت اللفظی Six Sigma است، که بر مبنای آن یک استراتژی پیشرفته و بسیار پیچیده و تو در تو بنا شده است.

Six Sigma با توجه به خاستگاه خود در موتورولا، مایک هری را به عنوان مشهورترین طرفدار خود دارد. یک استراتژی با هدف حذف عیوب از هر محصول، فرآیند و یا قرار داد، نتیجه تغییر و تحولات Six Sigma تا به امروز است. Six Sigma از تفکر آماری جهت تلفیق مدیریت استقرار یافته و ابزارهای آماری، در قالب مراحل تعریف / اندازه گیری / تجزیه و تحلیل / بهبود / کنترل، یا DMAIC جهت بهبود کیفیت مشتری مدار استفاده می کند. همان طور که قبلاً اشاره شد، طراحی آزمایش ها به طور چشمگیری در مرحله بهبود مؤثر است. ابتکار دیگر، طراحی برای Six Sigma یا DFSS است که به صورت شیوه ای منظم برای کارکنان طراحی و تحقیق و توسعه، در قالب شناسایی / طراحی / بهبود / تصدیق، یا IDOV توسعه یافته است. البته این نام گذاری با توجه به کاربرد آن در سازمان قابل تغییر است. طبیعتاً مفاهیم تکنیکهای طراحی آزمایش در مراحل طراحی و بهبود در DFSS نقش مهمی ایفا می کنند.

Six Sigma در چند سال اخیر همچون طوفانی صنعت را در بر گرفت، زیرا تعریف آن بر مبنای آن است که از بالا به پایین، و از سوی مدیران ارشد اجرایی (CEO ها) در یک سازمان پذیرفته و اجرا شود. امروزه Six Sigma بیشتر به عنوان یک امر ضروری در روابط تجاری شناخته می شود، تا یک شگرد فنی یا ریاضی.

در نتیجه آموزش جدی کارمندان فعال، با گواهی صلاحیت از طریق یک سلسله مراتب تخصیص نظیر کمر بند سیاه ارشد<sup>9</sup>، کمر بند سیاه<sup>10</sup> و کمر بند سبز<sup>11</sup> ضروری است. وجود پروژه هایی برای کارآموزان Six Sigma لازم به نظر می رسد. مسائل انتخاب شده برای پروژه ها منحصر به موضوعات مهندسی نیستند و مطالب کیفیتی مربوط به حوزه های معاملاتی، بازرگانی و مالی را نیز به خوبی و با نگرش روشن، استوار و مشتری مدار در بر می گیرند.

در پروژه های Six Sigma، اگر چه فرصت های خرابی در میلیون یا «سطوح سیگما» معمولاً به عنوان شاخص کارایی به کار می روند، اثرات پیشرفت توسط منافع مالی ثبت شده نیز بیان می شوند. از زمانی که یک آزمایش صنعتی به یک تحلیل باقیمانده از یک مدل ریاضی مرحله ای یا یک نمودار سه بعدی تجسمی از یک سطح پاسخ می انجامید تا کنون تغییرات زیادی رخ داده است.

در یک پروژه Six Sigma، طراحی آزمایشها نقش بحرانی ایفا می کند، اما بیشتر یک وسیله است تا یک هدف. آنچه مهم است، عامل تعیین کننده در نتیجه کار است. لذا می توان گفت مایک هری یک قدم جلوتر از گنجیچي تاگوچی رفته است. امروزه طراحی آزمایشها با تاکید سطوح بالای مدیریت، توسط کمر بندهای سطوح مختلف مهارت، علاوه بر سیستم های فیزیکی، در معاملات نیز اعمال می شود؛ بدون آنکه در انحصار آمارشناسان باشد.

### تأثیرات آینده :

در اواخر قرن بیستم، طراحی آزمایشها دیگر یک ابزار مستقل تلقی نمی شد. همراه با یک سری ابزارهای کیفیتی ثابت شده نظیر تجزیه و تحلیل سیستمهای اندازه گیری (MSA)<sup>12</sup>، بسط تابع کیفیت (QFD)<sup>13</sup>، و تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن (FMEA)<sup>14</sup>، مجموعه ای ساخت یافته و مبتکرانه برای بهبود در کار را تشکیل می دهند که تحت عنوان Six Sigma شناخته می شود. آموزش، گواهینامه و چارچوب های کاربردی به کار رفته در Six Sigma در تاریخ طراحی آزمایش های کاربردی بی سابقه بودند.

تفاوت بین روش استفاده از طراحی آزمایش ها در گذشته، و روشی که اکنون انتظار می رود که در آینده گسترش یابد در جدول (4) آمده است. در حالی که پایه های تئوری طراحی آزمایشها ثابت می ماند،

گسترش فراگیر و تکامل آزمایشهای آماری در تلاش های پیشرفت جویانه، نتایج بالقوه بسیار مؤثرتر از قبل بوجود می آورد.  
جدول (4) : دگرگونی های مهم در گسترش طراحی آزمایش ها

آئی	آینده	گذشته
1	منابع محرک	مدیریت سطح بالا
2	تلاشهای آموزشی	برنامه های ساخت یافته
3	نقاط تمرکز آموزش	تلفیق ابزارهای کیفی مرتبط
4	انگیزه ی مطالعات	رضایت مشتری
5	طبیعت کاربرد	پروژه های مستند
6	هدف کاربرد	ترکیب بیشتر
7	اصول راهنما	تفکر آماری
8	سبک کاربرد	سازمانی
9	محدوده پژوهش	همچنین خدمات، معاملات و فرآیندهای مالی
10	مالکیت کاری	گروه ها
11	راهبري گسترش	کارمندان آموزش دیده به عنوان راهبر
12	شاخص عملکرد	تأثیرات مالی
13	معیارهای موفقیت	فاکتور های مهم کاری

تفاوت های ذکر شده در جدول (4)، زیر بنای آخرین قسمت از جدول (2)، یعنی *post Six Sigma* می باشند. از آنجا که نیاز جامعه به کیفیت ادامه دارد، ساخت عناوین جالب توجه در طول زمان توسط پایه گذاران متولوژی های جدید ادامه می یابد. ظاهر دقیق پیشرفت های آتی را نمی توان از هم اکنون مقرر نمود، اما می توان درباره آن حدس زد. دو مسیر مهم از قبل از تغییر هزاره موجود است. اولی مربوط به قدرت و دسترسی همگانی تکنولوژی کامپیوتری و قابلیت های محاسباتی به طور فزاینده است. از آنجا که پایگاه های اطلاعاتی حجیم مربوط به فعالیتهای صنعتی، تجاری و مالی امروزه به آسانی در دسترس هستند، تکنیکهای مربوط به «استخراج داده ها» توجه دانشمندان علوم محاسباتی و آمارشناسان را به سوی خود جلب نموده اند. در حالی که در طراحی آزمایش ها سعی بر آن است که برای به دست آوردن اطلاعات، داده ایجاد کننده، از طریق استخراج داده ها تلاش می شود از داده های موجود اطلاعات کسب شود. از آنجا که اقتصاد داده ها استراتژی طراحی آزمایش ها را مورد تاکید قرار می دهد، ابزارهای استخراج داده ها با رشد داده های خام شکل می گیرند. این دو رستگی در واقع نقش های مکمل این دو محدوده را در مطالعه سیستم ها و پدیده های پیچیده بیان می کند. در واقع شیوه استخراج داده ها پیشاپیش در مطالعات چند متغیره در مرحله تجزیه و تحلیل *Six Sigma*، که در آن پژوهش ها با استفاده از داده های موجود صورت می گیرد، آشکار است. یک ترکیب منصفانه و منطقی از استخراج داده ها، و تولید داده با استفاده از چارچوب کاری *Six Sigma*، منجر به دستیابی به افقی وسیع تر در جستجوی دانسته ها و راه حل ها خواهد شد. این بویژه زمانی درست است که بیاموزیم علاوه بر عملیات تولید به شیوه سنتی، محدوده های سرپرستی، خدمات و معاملات نیز زمینه های خوبی جهت دستیابی به پیشرفت در عملکرد می باشند.

توانایی در شناخت، توصیف، مدیریت، کنترل و حتی استفاده از پراکندگی، ابعاد تازه ای از تحقیقات و طراحی های سازگار با اطلاعات را می گشاید. وقتی نتایج از طریق عوامل تعیین کننده اندازه گیری شوند و موفقیت نیز بوسیله سود اشتراکی و سهم بازار نشان داده شود، تقاضاهای بسیاری برای کار، نه تنها از سوی مدیران اجرایی ارشد، بلکه از جانب تمام سرمایه گذاران خواهیم داشت.

مهم نیست عناوین واقعی متدولوژی های پس از سال 2000 چه باشند. آنچه مهم است، این است که در دوره های مختلف زمانی و در پس عناوین مختلف، که در جدول (2) ذکر شده اند، طراحی آزمایش ها همچنان یک بانی اصلی برای هر روش مبتکرانه، یا عامل محرک جدیدی برای کارایی و پیشرفت باقی مانده است. در واقع طراحی آزمایش ها هر کجا به کار برده شود، دانسته ها و دیدگاه های جدیدی عرضه می کند و همگام با ابزارهای دیگر در یک متدولوژی یا چارچوب کاری، برای کاربر ارزش آفرینی می نماید. انتظار می رود در سال های آینده نقش طراحی آزمایش ها در راههای مختلف ادامه و رشد درخواست جهانی برای برتری، گسترش یابد.

#### منابع :

- 1-T. N. Goh, 2002, `The Role of Statistical Design of Experiments in Six Sigma: Perspectives of a Practitioner`, *Quality Engineering*, 14(4) : 1532-4222
- 2- Montgomery, Douglas c. , *Design and Analysis of Experiments*, 5<sup>th</sup> Ed., Wiley, New York, 2001.
- 3- کنترل کیفیت آماری / مولف داگلاس سی. مونتگومری؛ مترجم رسول نورالسنا. - تهران: دانشگاه علم و صنعت ایران، مرکز انتشارات، 1376.
- 4- <http://www.sixsigmasource.com>
- 5- <http://healthcare.isixsigma.com>
- 6- [http://www.knowledgetrade.ie/Six\\_Sigma.html](http://www.knowledgetrade.ie/Six_Sigma.html)

---

#### پی نوشت:

- |                            |                                      |
|----------------------------|--------------------------------------|
| 1- Ronald Fisher           | 8- Imperial Chemical Industries      |
| 2- Dorian Shainin          | 9- Master Black Belts                |
| 3- Box, Hunter & Hunter    | 10- Black Belts                      |
| 4- Genichi Taguchi         | 11- Green Belts                      |
| 5- George Box              | 12- Measurement System Analysis      |
| 6- Mike Harry              | 13- Quality Function Deployment      |
| 7- Chief Executive Officer | 14- Failure Mode and Effect Analysis |