بکارگیری QFD و روشهای طرح استوار در بهبود عملکرد (مطالعه موردی: دستگاههای بافندگی)

کامبیز رادمان[۱]*، فاطمعه قلعه بان بخشایش[۲]
*مجتمع دانشگاهی فناوری اطلاعات، ارتباطات و امنیت- دانشگاه صنعتی مالک اشتر
radman_mut@hotmail.com

چکیده:

در دنیای امروز که وابستگی جوامع بشری به مزایای فناوری، خدمات و مبادله اطلاعات روز به روز بیشتر می شود، مفهوم پیچیده کیفیت جایگاه ویژه ای پیدا کرده است. کیفیت از دو دیدگاه، یکی واقعیت و عینیت یک شی و دیگری، ادراک و احساس انسان از عینیت آن شی مورد توجه و بحث قرار گرفته است. "تاگوچی[۳]" ضمن توجه به جنبه عینی کیفیت، بعد بسیار مهمی از آن به نام "ضرر اجتماعی[۴]" که محصول بر جامعه وارد می نماید، را مطرح نموده است. بنابراین با نگرش به مفهوم کیفیت که عاملی در کاهش هزینه هاست، روش هایی در دو بخش عمده یکی«روش بهبود کیفیت قبل از ساخت[۵]» و دیگری «حین ساخت[۶]» ارایه شده اند. در این مقاله با توجه به مفهوم بینش مشتری مداری و استفاده از ابزار توانمند QFD[۷] (بسط وظایف کیفی) در جمع آوری و طبقه بندی خواسته های مشتری، بکارگیری روش بهبود کیفیت قبل از ساخت که به "طراحی پارامتری[۸]" شهرت دارد، مد نظر بوده و از بین سه روش کاهش انحراف مشخصه کیفی، «روش طرح استوار[۹]» به علت غیر حساس کردن عملکرد محصول به عوامل اغتشاش[۱۰] مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت، یک مطالعه موردی از بکارگیری QFD و روش طرح استوار در بهبود عملکرد دستگاه های بافندگی ارایه شده است.

واژگان کلیدی: طرح استوار- عوامل اغتشاش-QFD- کاهش انحراف، آرایه های متعامد

۱- مقدمه

در دنیای امروز که وابستگی جوامع بشری به مزایای فناوری، خدمات و مبادله اطلاعات روز به روز بیشتر می شود، مفهوم پیچیده کیفیت جایگاه ویژه ای پیدا کرده است. تعاریف مختلف کیفیت به دو جنبه تاکید دارند، یکی واقعیت و عینیت یک شی و دیگری، ادراک و احساس

---

[۱] کارشناس ارشد مهندسي صنايع- محقق مجتمع دانشگاهي ICT
[۲] محقق مركز مطالعات آماري بانك مركزي ايران

[3] **Taghouchi**
[4] **Society Loss**
[5] **Off-Line Quality Control**
[6] **On-Line Quality Control**
[7] **Quality Function Deployment**
[8] **Parametric Design**
[9] **Robust Design Methode**
[10] **Signal – to – Noise(S/N) Ratios**

انسان از عینیت آن شی(یعنی استنباط ارزشی از ان شی در ذهن) است. در این ارتباط "تاگوچی[1]" که اساس جنبه عینی کیفیت را مد نظر قرار می دهد و در یکی از تالیفات خود در سال ۱۹۸۶ با عنوان ‹ آشنایی با مهندسی کیفیت› منتشر گردید، توجه همگان را به بعد بسیار مهمی از کیفیت بنام "ضرر اجتماعی[2]" که محصول برجامعه وارد می نماید، جلب نموده و بدین ترتیب به مفهوم استمرار بهبود کیفیت بطور خاص و بینش مشتری محوری بطور عام می رسد. طبق نظر وی کیفیت ضرری است که یک محصول از زمانی که برای مشتری ارسال می شو، برای جامعه به بار می آورد که اندازه ضرر اجتماعی میزان مطلوبیت آن را تعیین نموده و هر چه ضرر کمتر باشد، محصول مطلوبتر خواهد بود. تاگوچی، این ضرر اجتماعی را با هرگونه تغییرپذیری مشخصه کیفی مورد نظر حول مقدار اسمی(مقدار مطلوب) یا ارمانی آن مرتبط می داند. که در واقع این ضرر می تواند از ایجاد زحمت و نارضایتی تا خسارت مالی و ضرر فیزیکی تغییر نماید. این تغییرپذیری ناخواسته که به سبب تاثیر منابع انحراف اغتشاش(داخلی و خارجی) حول مقادیر اسمی مشخصه های کیفی به وجود می آید، به شکل یک توزیع با یک پراکندگی برای هر مشخصه کیفی نمایان می شود. در نتیجه، کاهش هر چه بیشتر تغییرپذیری هر مشخصه کیفی و یا به عبارت دیگر، هر چه متمرکز شدن توزیع هر مشخصه کیفی حول مقدار اسمی آن، با بهبود کیفیت محصول معادل می گردد[۱].

تاگوچی، با این نگرش به مفهوم کیفیت که عاملی در کاهش هزینه هاست، روش هایی را ارایه داده که از طریق اندازه گیری سطح کیفی و ابزار بهبود کیفیت به توان یک برنامه بهبود میفیت مستمری را در یک سازمان بوجود آورد. این روش ها اساسا در دو بخش عمده یکی«روش بهبود کیفیت قبل از ساخت[3]» و دیگری «حین ساخت[4]» معرفی شده اند. در این مقاله با توجه به مفهوم بینش مشتری مداری و استفاده از ابزار توانمند QFD[5] (بسط وظایف کیفی) در جمع آوری و طبقه بندی خواسته های مشتری، بکارگیری یکی از روش های بهبود کیفیت قبل از ساخت که به "طراحی پارامتری[6]" شهرت دارد، در کارخانه بافندگی پودینه بافت برای ارتقا کیفیت محصول تولیدی آن بدون هیچ هزینه اضافی، مورد اجرا گذاشته شده است. این کار بدون هیچ سرمایه گذاری اضافی در عوامل تولید نظیر: مواد، دستگاه ها، روش ها، نیروی انسانی از طریق کشف مقادیر بهینه پارامترهای طراحی(عوامل قابل منترلی) که کمترین تاثیر را در هزینه ساخت دارند، صورت گرفت.

دستگاه بافندگی مورد نظر از نوع کتن با شماره ke2، دو دهنه و دو شانه مربوط به کمپانی مایر نوع بافت پرلون و نخ مورد استفاده نایلون ۴۰ درخشان بود. منظور از بهبود کیفیت محصول در اینجا، کاهش تعدا زدگی های موجود در پارچه بافته شده در دستگاه فوق می باشد که عوامل موثر در ایجاد زدگی عبارتند از: سرعت چله پیچی، سرعت ماشین بافندگی و تایمینگ ماشین بافندگی. عامل چهارم، کسر زوایه بین دو شمع در چله پیچی می باشد که بنا به مشکلات اجرایی موفق به انجام آن نشده و تاثیر حاصل از آن خود را در خطای آزمایش نشان داد. هر یک از چهار عامل فوق در سه سطح مورد بررسی قرار گرفته و 3^4 ترکیب حاصل آمد. چون اجرای ۸۱ آزمایش وقت و هزینه زیادی را صرف می نمود لذا بهترین ترکیبات آن را با توجه به اولویت تاثیر عوامل با استفاده از روش استوار تاگوچی(L_9) انتخاب نموده و این ۹ آزمایش را اجرا و با تعیین اثر عوامل، بهترین سطح هر عامل مشخص شده و این ترکیب بهترین سطوح در جهت کمترین زدگی را ارایه می نمایند.

۲- چگونگی ارزیابی، ایجاد، بهبود و حفظ کیفیت محصولات

شوارت[7] در دهه ۱۹۲۰، زمانی که در ازمایشگاه های تلفن بل آمریکا کار می کرد، اساس روش های آماری را برای کنترل کیفیت پایه ریزی نمود و آنها را در اوایل دهه ۱۹۳۰ منتشر نمود. وی ناکید داشت که تغییرپذیری، یک واقعیت زندگی است. بر اساس همین نظریه، روش های کنترل کیفیت برای مقابله با تغییرپذیری، سیر تکاملی خود را شروع نمود. ایشیکاوا[8] سیر تکاملی تلاش های کنترل کیفیت را به سه

---

[1] **Taghouchi**
[2] **Society Loss**
[3] **Off-Line Quality Control**
[4] **On-Line Quality Control**
[5] **Quality Function Deployment**
[6] **Parametric Design**
[7] **Shouvart**
[8] **Ishikava**

دوره تقسیم نموده است: ۱- بازرسی یا کنترل محصول، ۲- کنترل فرآیند، ۳- بهبود طراحی محصول و طراحی فرآیند ساخت. بر اساس یافته های وی، روش های آماری برای بازرسی محصول و کنترل فرآیند ساخت، طی ۶۰ سال تکمیل شدند و درحالیکه توسعه روش های آماری برای بهبود طراحی محصول و طراحی فرآیند ساخت، در آغاز حرکت است. در این ارتباط تاگوچی سهم عمده ای را در این سیر تکاملی دارد. وی با بکارگیری روش های طرح آزمایش های آماری[1] را برای بهبود طراحی محصول و طراحی فرآیند ساخت توسعه داده و بدین طریق نقطه شروع خوبی را برای تحقیقات بیشتر در روش های آماری مربوط به بهبود طراحی، و بکارگیری بیشتر روش های موجود ایجاد کرده است[۲].

مجموعه کارهای تاگوچی و همکارانش که آثار شگرفی بر موضوع کیفیت داشته، تحت عنوان «فلسفه ضرر اجتماعی کیفیت» معروف است. از آمجا که تعریف مفهوم کیفیت تاگوچی، و روش های پیشنهادی وی یکه راهبرد کاملی را برای ایجاد، بهبود وحفظ کیفیت محصولات و ارزیابی آنها در مراحل مختلف تحقیق یک محصول ارایه می دهد، عناصر اصلی این فلسفه، تحت سه موضوع بنیادی مربوط به کیفیت محصولات و در قالب سه سوال ذیل مطرح می گردد:۱- چگونه باید کیفیت را ارزیابی نمود؟، ۲- چگونه باید کیفیت و هزینه را به طور کارا بهینه کرد؟، ۳- چگونه باید کیفیت را به طور اقتصادی و کارا حفظ نمود؟

واضح است که هر شرکتی در حفه خود باید در مقایسه با شرکتهای رقیب کارآمد باشد تا بتواند سلامت مالی و اعتباری بقای خود را حفظ نماید. در این راستا، یک معادله ساده برای محاسبه سود یک شرکت می تواند: هزینه- فروش=سود باشد. پس شرکت از طریق افزایش فروش و کاهش هزینه، مب تواند سود را بالا برد. در این باره می توان ادعا کرد که بهبود کیفیت موثرترین راه بدست آوردن همزمان فروش بالا و هزینه پایین است. در نگاه اول این دو مغایر بنظر می رسند ولی می توان نشان داد که با ارزیابی صحیح کیفیت و بکارگیری ابزارهای مناسب ایجاد و بهبود کیفیت، این دو موضوع مغایر هم نبوده بلکه به طریقی که مشتری محصولات را ارزیابی می کند با هم مرتبط نیز هستند و اعلب شرکت ها معیارهایی مانند: درصد اقلام معیوب، میزان خرابی، هزینه های دوباره کاری و اسقاطی، شاخص های قابلیت فرآیند، اطلاعات مربوط به ضمانت و غیره را بکار می گیرند. این معیارها با هزینه ها مرتبط بوده و پس از وقوع، قابل شناسایی هستند و فقط فعالیت های کنشی را به دنبال دارند و تنها بیانگر این موضوع اند که نیاز به اقدام اصلاحی وجود دارد. بنابراین از نقطه نظر فنی، این معیارها برای ارزیابی، ایجاد و بهبود کیفیت که فعالیتهای کنشی را می طلبد، شاخص های ضعیفی هستند. یک ارزیاب خوب و مفید از کیفیت همواره باید در مصادیق زیر صدق نماید: ۱- یک ارزیاب خوب کیفیت، باید در چرخه توسعه محصول بکار بده شود، ۲- یک ارزیاب خوب کیفیت، باید بتواند اهداف مشتری و مهندسی را به طور مناسب بیان دارد، ۳- یک ارزیاب خوب کیفیت، باید بتواند رابطه بین هزینه و کیفیت را بیان نماید. تاگوچی دو ارزیاب کیفیت. یکی تابع ضرر کیفیت(QLF)[2] و دیگری آماره عملکرد[3] که در مصادیق فوق صدق می نمایند را ارایه داده است[۳].

۳- تابع ضرر کیفیت

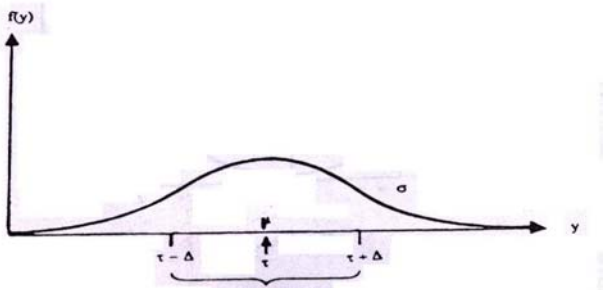
بر اساس کیفیت ارایه شده توسط تاگوچی، ضرر اجتماعی به بار آنمده توسط یک محصول با هر گونه تغییرپذیری مشخصه کیفی مورد نظر حول مقدار آرمانی آن مرتبط است و این ضرر می تواند از ایجاد زحمت و نارضایتی تا خسارت مالی و ضرر فیزیکی تغییر نماید. این تغییرپذیری که به سبب تاثیر منابع اغتشاش حول مقادیر آرمانی مشخصه های کیفی به وجود می آید به شکل یک توزیع با پراکندگی برای هر مشخصه کیفی نمایان می شود. در نتیجه، کاهش هر چه بیشتر تغییرپذیری هر مشخصه کیفی، و یا به دیگر هر چه بیشتر متمرکز شدن توزیع هر مشخصه کیفی حول مقدار آرمانی آن با بهبود کیفیت محصول معادل می گردد و ضرر اجتماعی ناشی از محصول کاهش می یابد. تابع ضرر کیفیت، این تغیرپذیری را برحسب معیارهای مالی ارایه می دهد که برآوردی از هزینه هایی است که وقتی محصول بر مبنای اهداف عملکردی عمل نمی کند مشتری منحمل می شود. این هزینه ها می تواند شامل هزینه های اسقاطی یا دوباره کاری، هزینه های تعویض محصول معیوب، هزینه ناشی از صرف وقت و تعمیر و یا دیگر هزینه های ناشی از عوارض جانبی باشد. زیرا اینها عواملی هستند که

---

[1] **Design Of Expriment**
[2] **Quality Loss Function**
[3] **Performance Statistic**

بر سهم بازار محصول اثر می گذارند. تاگوچی این هزینه ها را ضرر به اجتماع می خواند و تابع ضرر کیفیت یک برآورد مالی از این ضررها را ارایه می دهد[۴].

برای تشریح بیشتر، فرض کنید Yمشخصه کیفی متقارن مورد نظر بوده و مقدار آرمانی آن با τ نشان داده شود. همچنین فرض کنید مقدار این مشخصه کیفی، یعنی y بتواند به علت منابع اغتشاش در طول عمر محصول و بین واحدهای تولید شده حول مقدار آرمانی τ تغییر نماید. به زبان آماری، مشخصه کیفی Y یک متغییر تصادفی با یک توزیع احتمال است که پارامترهای توزیع احتمالY، مقادیر تنظیم اسمی مشخصات طراحی می باشد. چنانچه همانند قبل، قانون توزیع احتمال آن به صورت زیر خواهد بود.



تصویر ۱- بازه رواداري

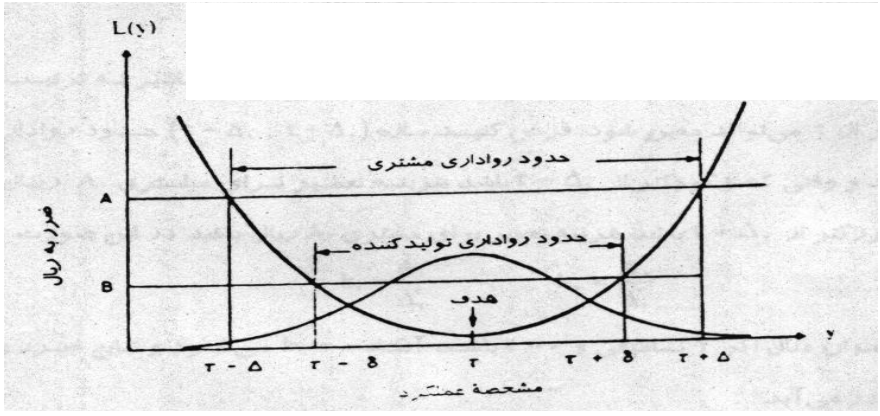
هر تغییرY از مقدار آرمانی آن، باعث ضرری به مشتری می شود. فرض کنید $L(y)$ بیانگر ضرری بر حسب ریال باشد که برای مشتری مفروض در یک زمان مفروضی از طول مدت عمر آن محصول به علت انحراف Y از τ به وجود می آید. معمولا تعیین شکل واقعی $L(y)$ کار مشکلی است. اما یک تقریب مجذوری از $L(y)$ که از طریق بسط تیلور مشخصه کیفی حول مقدار آرمانی آن با حذف مشتق های سوم و بالاتر به دست می آید به طور مناسبی بیانگر ضررهای اقتصادی ناشی از تغییرپذیری عملکردی مشخصه کیفی Y است که تاگوچی آن را به صورت زیر ارایه می دهد:

$$L(y) = L(\tau + y - \tau) = L(y) + \frac{L'(\tau)}{1!}(y-\tau) + \frac{L''(\tau)}{2!}(y-\tau)'' + \dots \qquad (۱)$$

که در آن بر اساس نگرش تاگوچی $L(\tau) = 0, L'(\tau)$ به علت حداقل بودن ضرر در نقطه $y=\tau$ برابر صفر می شود. بنابراین مقدار ضرر کیفیت می تواند از طریق معادله زیر تقریب شود:

$$L(y) = k(y-\tau)^2 \qquad (۲)$$

که در آن k ثابتی است که مقدار آن در صورت معلوم بودن $L(y)$ برای هر مقداری از مشخصه کیفیY می تواند تعیین شود. شکل این تابع مجذوری(شکل توزیع نرمال) مشخصه کیفی Y در نمودار زیر نشان داده شده است.



تصویر ۲- تابع ضرر

همانطور که در تصویر۲ ملاحظه می شود، چنانچه بازه $(\tau-\Delta,\tau+\Delta)$ حدود رواداری[1] مشتری باشد و وقتی که مقدار مشخصه کیفی محصول(y) خارج از این بازه قرار گیرد، عملکرد محصول رضایت بخش نباشد و هزینه تعمیر یا دورریختن محصول برای مشتری برابر Aریال شود آنگاه از معادله(۱) داریم:

$$L(y)=A=k\Delta^2 \Rightarrow k=\frac{A}{\Delta^2} \qquad (۳)$$

حدود رواداری تولیدکننده $(\tau-\delta,\tau+\delta)$ نیز می تواند از تابع ضرر (۱) به دست آید. فرض کنید قبل از اینکه یک محصول ارسال شود، هزینه تعمیر قطعه ای از حدود رواداری مشتری تجاوز کند برابر B ریال باشد، در این صورت داریم:

$$B=(A/\Delta^2)(y-\tau)^2 \Rightarrow y=\tau\pm(B/A)^{\frac{1}{2}}.\Delta \qquad (۴)$$

$$\delta=(B/A)^{\frac{1}{2}}.\Delta$$

و از آنجایی که معمولا مقدار B به مراتب کمتر از A است، بازه رواداری تولید کننده باریکتر از بازه رواداری مشتری خواهد بود.
بنابراین تابع ضرر کیفیت، کیفیت هرمحصول را برحسب عملکرد آرمانی آن، که برآورد کننده نیازی از مشتری است به صورت معیارهای مالی ارزیابی می کند. یعنی تابع ضرر کیفیت می تواند در حتی نخستین مراحل چرخه تحقق یک محصول بکار گرفته شود و از آنجایی که ارزیابی تابع ضرر میفیت بر اساس معیارهای مالی است، آن می تواند به عنوان ابزاری جهت پیدا نمودن نقطه تعادل بین هزینه و کیفیت، توسط بخش برنامه ریزی کیفیت بکار برده شود تا بدین طریق مدیریت بتواند سود را افزایش دهد. از آنجایی که بهبود دادن کارآیی هزینه های کیفیت، باعث کاهش ضرر می گردد، هدف بهبود کیفیت باید به زبان مدیریت، کاهش ضرر باشد.

۴- آماره عملکرد

آماره عملکرد که تاگوچی آنها را نسبت های علامت به اغنشاش می نامد. تغییرپذیریمشخصه های کیفی را حول عملکرد آرمانی آنها اندازه گیری می نماید. این آماره ها معیاری از استواری[2] عملکرد مشخصه های میفی در مقابل عوامل غیر قابل کنترلی است که محصول در کارخانه و یا در زمان بکارگیری با آن مواجه می شود. به عبارت دیگر یک آماره عملکرد، اثر عوامل اغتشاش را روی مشخصه کیفی مورد بررسی، برآورد می نماید. این آماره عملکرد که تابعی از پارامترهای طراحی(θ) بوده و کیفیت را مورد ارزیابی قرار داده و به عنوان معیار عملکرد مطلوبی از دانش مهندسی محصول به حساب می اید. به زبان فنی(مهندسی)، هدف بهبود کیفیت باید افزایش مقدار آماره عملکرد باشد.
تاگوچی بیش از ۶۰ معیار عملکرد برای کاربردهای مهندسی تعریف نموده است که از آن جمله می توان به این مورد اشاره نمود: برای مشخصه های کیفی نامنفی پیوسته با مقادیر آرمانی ثابت، سه آماره عملکرد که وابسته به نوع تابع ضرر مشخصه کیفی است، به صورت زیر تعریف می نکاید. برای این منظور، فرض کنید $y_1,y_2,...,y_n$ مقادیر n مشاهده از مشخصه کیفی Y باشد. در این صورت آماره های عملکرد تاگوچی که با نماد $Z(\theta)$ نشان داده می شود، عبارتند از:

الف- آماره عملکرد هر چه کمتر، بهتر

$$Z(\theta)=-\log(\frac{1}{n}\sum_t y_t^2)$$

ب- آماره عملکرد هر چه بیشتر، بهتر

$$Z(\theta)=-\log(\frac{1}{n}\sum_t \frac{1}{y_t^2})$$

ج- آماره عملکرد یک مقدار اسمی

$$Z(\theta)=-\log(\frac{\bar{y}}{s})^2$$ ه

که در آن صورت همان میانگین و مخرج واریانس داده هاست.

---

[1] **Tolerance Design**
[2] **Robustness**

همانطور که مشاهده می گردد، تابع ضرر کیفیت و آماره عملکرد معیارهای مرتبطی هستند که تغییرپذیری مشخصه کیفی را حول مقدار آرمانی(هدف) آن اندازم گیری می نمایند. آماره عملکرد به سهولت می تواند به تابع ضرر کیفیت تبدیل گردیده و بر حسب معیارهای مالی بیان گردد. بدین ترتیب، اهداف مهندسی می تواند به زبان مدیریت که معیارهای مالی است، بیان شده و باعث ارتباطات و حصول اهداف شرکت گردد[۵].

۵- چگونه باید کیفیت و هزینه را به طور کارآ بهینه نمود؟

چرخه عمر یک محصول از دیدگاه هزینه می تواند به دو قسمت عمده، یکی قبل از فروش و دیگری بعد از فروش به مشتری تفکیک گردد. در این ارتباط، تمام هزینه های ایجاد شده قبل از فروش محصول، به صورت هزینه های واحد ساخت، و کلیه هزینه های ایجاد شده بعد از فروش محصول، به عنوان ضرر کیفی شناخته گردید. در این مورد، هدف کنترل میفیت یا تضمین کیفیت یا مهندسی کیفیت، کاهش بهبنه هر دوی این هزینه هاست. در این زمینه راهبرهای مختلفی وجود دارد که بسته به وضعیت بازار و سیاست هر شرکت، یکی انتخاب می گردد. برای روشن تر شدن موضوع، بازاری را با دو تامین کننده یک نوع محصول مشابه و مشتریانی که قادر به ارزیابی ضرر کیفی خود باشند در نظر بگیرید. در ضمن، تامین کنندگان از لحاظ قیمت و ضرر کیفی محصول با هم متفاوت هستند. در چنین بازاری، تامین کننده مطلوب کسی است که مجموع ضرر کیفی و قیمت محصول آن کمتر باشد. برای تامین کننده ای به عنوان یک تامین کننده مطلوب شناخته گردد، باید یکی از سه راهبرد عمده ذیل را انتخاب نماید:

۱- حداقل سازی هزینه واحد ساخت، در حالی که محصولی با کیفیت مشابه آنچه رقیب دارد به مشتری تحویل دهد. در این حالت، تامین کننده قادر به حداکثر ساختن سود در واحد ساخت خواهد بود.

۲- حداقل سازی ضرر کیفی در حالیکه هزینه واحد ساخت محصول از نظر قیمت با رقیب خود در بازار یکسان باشد. با انتخاب این راهبرد، تامین کننده می تواند شهرتی در کیفیت برای خود به وجود آورد.

۳- حداقل سازی مجموع ضرر کیفی و هزینه واحد ساخت. این راهبردی است که منابع و منافع تاکین کننده و مشتری را تواما به بهترین وجه ممکن بینه می نماید.

تاگوچی برای بهینه سازی کارآی هزینه های واحد ساخت و ضدد کیفی در هر یک از سه راهبرد فوق، یم روش سه مرحله ای را در طراحی محصول، طراحی فرآیند ساخت و سه روش متفاوت را در مرحله ساخت، پیشنهاد نموده است. وی روش های پیشنهادی خویش را در مراحل طراحی محصول و طراحی فرایند ساخت، روش **کنترل کیفیت قبل از ساخت**[1] و روش های مرحله ساخت را روش **کنترل کیفیت حین ساخت**[2] می نامد. روش های کنترل کیفیت قبل از ساخت باعث ایجاد کیفیت و بهینه شدن هزینه های کیفی و واحد ساخت می گردد در حالی که روش های کنترل کیفیت حین ساخت عمدتا باعث حفظ دستاوردهای ناشی از فعالیت های مراحل قبل می گردد[۶].

۶- کنترل کیفیت قبل از ساخت

روش کنترل کیفیت قبل از ساخت که باعث ایجاد کیفیت و بهینه شدن هزینه های کیفی و واحد ساخت می گردد، دارای سه مرحله زیر است: ۱- طراحی سیستم یا سامانه[3] ، ۲-طراحی پارامتری[4]، ۳- طراحی رواداری[5]

---

[1] **Off-Line Quality Control**
[2] **On-Line Quality Control**
[3] **System Design**
[4] **Parameter Design**
[5] **Tolerance Design**

این مراحل سه گانه یک کیفیت عملکردی[1] خوبی را برای محصول(یا فرآیند ساخت) ایجاد نموده و هزینه های واحد ساخت و عملیاتی محصول را بهینه می سازند. یک کیفیت عملکردی خوب به معنای حداقل تغییرپذیری عملکردی محصول تحت منابع اغتشاش است. یعنی: محصولی که تحت شرایطی با دامنه گسترده در طول عمر مفیدش طبق انتظارات از پیش تعیین شده عمل نماید. در کیفیت عملکردی، آرمان این است که عملکرد محصول علیرغم نوسات در منابع سه گانه اغتشاش (برونی، درونی، واحد به واحد) به صورت طبیعی(قابل پیش بینی) باقی بماند و کیفیت بر حسب یک عملکرد عینی و به عنوان درجه انحراف از مقدار آرمانی که در مشخصات فنی تعیین گردیده، اندازه گیری شود.

۶-۱- طراحی سیستم یا سامانه:

در این مرحله. طراح انواع معماری یا فناوری را برای دست یابی به عملکرد مطلوبی از محصول(یا فرآیند ساخت) بررسی نموده و منابسترین آنها را انتخاب می نماید. این یک مرحله بسیار خلاقی است که در آن تجربه و مهارت طراح نقش بسیار مهمی را ایفا می کند. معمولا. تنها یک معماری بر اساس قضاوت طراح انتخاب می شود ولی برای محصولات بسیار پیچیده. دو یا سه تا از بهترین فغناوری ها انتخاب می گردد و هر یک به طور جداگانه توسعه می یابد تا در پایان بهترین معماری مشخص گردد. طراحی سیستم نقش مهمی را می تواند در کاهش حساسیت عملکرد محصول(یا فرآیند ساخت) به منابع اغتشاش و کاهش هزینه های ساخت ایفا نماید. از بین روش های انتخابی. روش بسط وظایف کیفی(QFD[2]) با توجه به خصوصیات خاص خودش. از فنونی است که می تواند کیفیت و بهره وری مرحله طراحی سیستم را بهبود بخشد.

۷- مختصری در مورد QFD

مابه[3] مهندس ژاپنی اولین بار در سال۱۹۷۲ با استفاده از ابزارهای کنترل کیفیت رویکردی مانند QFD را در کارخانه کشتی سازی "کوبه میتسوبیشی[4]" استفاده نمود. QFDدر سال ۱۹۹۶ توسط "آکائو[5]" در ژاپن متولد گردید. وی از این ابزار به عنوان یک رویکرد طراحی و بهبود گرا یاد نمود. سپس در سال ۱۹۸۳ وارد آمریکا گردیده و اکنون در کشورهای بسیاری مورد استفاده قرار می گیرد. از QFD می توان به عنوان ماشین مترجم « نیازمندی های مشتریان» به «مشخصات فنی و مهندسی » یا به عبارتی "مبدل تقاضاهای مشتریان به ویژگی های کیفیت" و آماده ساختن یک طرح باکیفیت برای محصول نهایی از طریق گسترش سیستماتیک روابط بین تقاضاهای مشتری و ویژگی های کیفیت محصول، تعریف نمود. این فرآیند معمولا با کیفیت اجزای عملکردی آغاز گشته و سپس به کیفیت همه قسمتها و فرآیند ها گسترش می یابد. تکنیک QFD با متدهایی نظیر سی ماتریسی، هجده ماتریسی و چهار ماتریسی و غیره در دنیا معرفی و شناخته شده است. در این بین متد چهار ماتریسی که انستیتوی تامین کنندگان آمریکا هم آنرا مورد تائید و استفاده قرار داده به علل زیر مورد توجه بیشتر قرار گرفته است[۷]: ۱- رواج بیشتر نسبت به سایر دیدگاه های موجود در بین متخصصان و کاربران QFD ، ۲- سادگی یادگیری و خلاصه بودن نسبت به سایر رویکردها، ۳-ارتباط منطقی و ساده مراحل مختلف با یکدیگر، ۴- پوشش مراحل مهم تولید محصول با استفاده از چهار ماتریس
اولین ماتریس این روش را " خانه کیفیت(HoQ)[6]" گویند. متخصصین QFD اذعان دارند که اگر این ماتریس به صورت کامل و جامع تکمیل گردد پروژه در همان گام اولیه خاتمه می یابد[۷،۸]. بنا به اهمیت این ماتریس، هفت بخش آن به قرار زیر آورده شده

---

[1] **Performance(Fanctional)Quality**
[2] **Quality Function Deployment**
[3] **Makabe**
[4] **Mitsubishi's Kobe**
[5] **Akao**
[6] **House Of Quality**

است: الف- نیازهای مشتریان، ب- ویژگی های محصول، ج- اهمیت نیازهای مشتری، د- ماتریس طرحریزی، هـ- ارتباط بین نیازهای مشتری و ویژگی های محصول، و- ماتریس همبستگی بین مشخصه های مهندسی، ز- اولویت ها و اهداف هریک از مشخصه های مهندسی

نگارندگان با استفاده از این تکنیک و طراحی استوار، گامی نوین در راستای بهبود عملکرد محصول برداشته اند. برای این منظور از طریق توزیع پرسشنامه های مناسب حال پروژه و بررسی فرم های تکمیل شده های توانستند داده های خام قابل قبولی را برای خانه کیفیت تهیه نموده. و جهت تعیین سطوح مناسب، طرح استوار را وارد کار نموده اند، که در بخش ۱۰ مقاله بیشتر روشن خواهد شد. همانطور که گفته شد، این مقاله روی روش های بهبود کیفیت قبل از ساخت تمرکز دارد، و از سویی طراحی پارامتری نقش بسزایی در کاهش حساسیت عملکرد محصول(یا فرایند ساخت) به منابع اغتشاش و کاهش هزینه های ساخت داشته و از آنجایی که طرح استوار و روش های وابسته به آن بر طراحی پارامتری متمرکز است، لذا در ذیل مطالب بیشتری در این خصوص ارایه می گردد.

۸- طراحی پارامتری

تلاش عمده این مرحله بر آن است که حساسیت عملکرد محصول(یا فرایند ساخت) به منابع اغتشاش بیشتر کاهش یافته و میانگین مشخصه های کیفی مورد نظر بر روی مقادیر آرمانی آنها متمرکز گردد. این کار از طریق تعیین مقادیر عوامل قابل منترل نافذی که کمترین اثر را در هزینه ساخت دارند، طوری صورت پذیرد که تغییرپذیری محصول(یا فرآیند ساخت) کاهش یافته و درنتیجه ضرر کیفی حداقل گردد. در طراحی پارامتری، حدود رواداری، پهن در نظر گرفته می شود، یعنی قطعات و مواد با درجه پایین به کار برده می شود تا بدین طریق تحت این شرایط هزینه ساخت، پایین حساسیت عملکرد محصول به منابع اغتشاش حداقل گردیده و ضرر کیفی کاهش می یابد. در پایان طراحی پارامتری چنانچه ضرر کیفی در داخل مشخصات قرار گیرد، طراحی محصول(یا فرایند ساخت) با کمترین هزینه صورت گرفته و نیاز به اجرای مرحله بعدی، یعنی طراحی رواداری نمی باشد. اگر متوسط ضرر کیفی(Q) یک محصول در رابطه با مشخصه کیفی Y به صورت ذیل باشد، واضح است که از بین دو مولفه آن، معمولا حذف اولی به مراتب راحتر از کاهش مولفه دومی است.چرا که مولفه اول را می توان توسط پارامترهای قابل تنظیمی که به همین منظور طراح در محصول یا فرآیند تعبیه نموده به راحتی حذف کرد ولی کاهش مولفه دومی نیاز به کاهش واریانس دارد که کاری مشکل است.

$$Q = k(\mu - \tau)^2 + k\delta^2$$

سه روش کاهش واریانس به ترتیب اولویت کارآیی از پایین به بالاترین عبارتند از:۱- روش جداسازی محصولات، ۲- روش کشف علت و حذف آن، ۳- روش طرح استوار. که به ئلیل اهمیت به بند سوم عنایت بیشتری می گردد[۸].

۹- روش طرح استوار

این روش باعث غیر حساس شدن عملکرد محصول به عوامل اغتشاش می گردد. طرح استوار، از کشف اثرهای غیر خطی موجود در رابطه بین پارامترهای محصول(یا فرآیند)، عوامل اغتشاش و مشخصه های کیفی بهره برداری می نماید. معمولا مشخصه کیفی یک محصول با پارامترهای طراحی(عوامل قابل کنترل) و عوامل اغتشاش از طریق یک تابع غیر خطی پیچیده مرتبط بوده و ممکن است ترکیب های متعددی از مقادیر پارامترهای طراحی محصول بتواند تحت شرایط اسمی عوامل اغتشاش(یعنی وقتی که عوامل اغتشاش دقیقا در مقادیر اسمی خود قرار دارند)، مقدار هدف مشخصه کیفی محصول را ارایه دهد. اما به علت وجود اثرهای غیر خطی، این ترکیب های مختلف مقادیر پارامترهای طراحی محصول حتی وقتی که تغییرپذیری عوامل اغتشاش یکسان باشد، تغییرپذیری کاملا مختلف را برای مشخصه کیفی به وجود می آورد. هدف اصلی طرح استوار، کشف ترکیبی از مقادیر پارامترهای طراحی محصول از طریق بهره جویی از اثرهای غیر خطی است که کمترین تغییرپذیری حول مقدار آرمانی(هدف) مشخصه کیفی ایجاد گردد.

کشف اثرهای غیر خطی می تواند از طریق دستور ساده ریاضی زیر درک گردد. برای این منظور فرض کنید $X = (x_1, x_2, ..., x_n)^T$ بیانگر عوامل اغتشاش و $Z = (z_1, z_2, ..., z_q)^T$ بیانگر پارامترهای طراحی محصول باشند. فرض کنید توابع زیر وابستگی مقادیر Y را به مقادیر X,Z توصف نماید: $y=f(x,z)$ در این صورت انحراف مشخصه کیفی از مقدار هدف آن، یعنی $\Delta y = y - \tau$، که به علت انحراف عوامل اغتشاش از مقادیر متناظر اسمی آنها ایجاد می شود، یعنی Δx_i، می تواند از طریق دستور زیر که گرفتن دیفرانسیل کل از تابع بالا است، تقریب شود:

$$\Delta y = (\frac{\partial f}{\partial x_i}).\Delta x_i + (\frac{\partial f}{\partial x_2}).\Delta x_2 + ... + (\frac{\partial f}{\partial x_n}).\Delta x_n$$

همچنین اگر انحراف در عوامل اغتشاش ناهمبسته باشند، آنگاه واریانس مشخصه کیفی Y، یعنی δ_Y^2، می تواند بر حسب واریانس های هر یک از عوامل اغتشاش($\delta_{x_1}^2$) به صورت زیر بیان می گردد:

$$\delta_Y^2 = (\frac{\partial f}{\partial x_i})^2.\delta_{x_1}^2 + (\frac{\partial f}{\partial x_2})^2.\delta_{x_2}^2 + ... + (\frac{\partial f}{\partial x_n})^2.\delta_{x_n}^2$$

در نتیجه واریانس مشخصه کیفی δ_Y^2، برابر مجموع حاصلضرب واریانس هی عوامل اغتشاش $\delta_{x_1}^2$، در ضرایب حساسیت[1]، یعنی $(\partial f / \partial x_i)^2$ می باشد که در آن ضرایب حساسیت خود تابعی از مقادیر قابل کنترل هستند.

یک محصول استوار(یا فرآیند استوار)[2] محصولی است که در آن ضرایب حساسیت کمترین مقادیر را داشته باشند. در نتیجه، روشن است که برای محصولات استوار می توان، حدود رواداری ساخت پهن تر، قطعات و مواد با درجه پایین تر، و شرایط محیطی با دامنه گسترده تری را بکار گرفت. روش طرح استوار، یک راهکار کارآیی برای رسیدن به محصولات و فرآیندهای استوار است[۹].

از طریق روش طراحی پارامتری در طراحی محصول می توان با تغییرپذیری ناشی از اثرات هر یک از سه منبع اغتشاش، یعنی منابع اغتشاش برونی، درونی و واحد به واحد، مبارزه نمود و حساسیت محصول را نسبت به آنها کاهش داد. در نتیجه، طراحی پارامتری مهمترین مرحله برای بهبود کیفیت و کاهش هزینه واحد تولید است که در آن فواید زیر حاصل می گردد:

۱- محصول می تواند در یک دامنه وسیعتری از شرایط محیطی بکار رفته و بنابراین هزینه عملیاتی(بکارگیری) محصول پایین تر باشد، ۲- قطعات و مواد با درجه پایین تر می تواند در محصول بکار گرفته شود، ۳- می توان از روش های جبرانی پر هزینه اجتناب گردد و در نتیجه محصول ساده تر و ارزانتر گردد، ۴- فوایدی که می تواند از استوار ساختن فرآیند ساخت بدست آید، از طریق طراحی پارامتری نیز در مرحله طراحی محصول تحقق یابد. در کشورهای در حال توسعه، اغلب مهندسان، این مرحله مهم از طراحی محصول را رد نظر نمی گیرند. آنها پس از اینکه فناوری مربوط را از ادبیات و دیگر منابع مانند: مهندسی معکوس، بدست آوردند آنچه که به نظر خودشان بهینه می رسد طراحی می کنند و یک نمونه می سازند. چنانچه مقدار هدف حاصل شد طراحی را موفق می خوانند در غیر صورت با تغییر پارامتری سعی می کنند مقدار هدف بدست آید. این نوع تنظیم و جور کردن به منظور بدست آوردن مقدار هدف، متعلق به فرآیند ساخت است نه فرآیند طراحی، و واژه اصلی آن اصلاح یا کالیبراسیون می باشد.

از طریق روش طراحی پارامتری در طراحی فرایند ساخت نمی توان اثرات منابع اغتشاش درونی و برونی راروی عملکرد محصول برای محیط به کارگیری کاهش داد. زیرا این مهم تنها در مرحله طراحی محصول و از طریق انتخاب مواد و قطعات امکان پذیر است. ولی تغییرپذیری واحد به واحد می تواند از طریق بکارگیری این روش در طراحی فرآیند ساخت کاهش یابد. چون اجرای طراحی پارامتری در طراحی فرایند باعث کاهش حساسیت تغییرپذیری واحد به واحد نسبت به کلیه منابع اغتشاش که بر روی فرایند اثر می گذارند، گردیده و فواید ذیل حاصل می گردد: ۱- مخارج و صرف وقت ناشی از بازرسی نهایی و اقلام معیوب می تواند به طور چشمگیری کاهش یابد، ۲- مواد اولیه می تواند از منابع متعدد خریداری شده و مخارج بازرسی آنها کاهش یابد، ۳- می توان تجهیزات ساخت ارزانتری را بکار گرفت، ۴- شرایط با دامنه گسترده تری می تواند در فرآیند اعمال گشته و درنتیجه نیاز کمتری به بکارگیری روش های کنترل میفیت حین ساخت احساس خواهد شد. در نهایت هزینه ساخت به علت بکارگیری این روش ها به طور چشمگیری کاهش می یابد.

---

[1] **Sensitivity Coefficient**
[2] **Robust Product or Process**

بنابراین وقتی هدف، طراحی محصولی(یا فرآیندی) پایدار و پایا باشد، طراحی پارامتری مهمترین مرحله آن خواهد بود. در این مرحله با استفاده از خاصیت غیر خطی، مقادیر پارامترهای طراحی(عوامل قابل کنترلی که طراح آنها را در محصول یا فرآیند تعبیه مینماید) طوری تعیین می گردند که اثرات منابع اغتشاش روی انها در رابطه با متغیر پاسخ به حداقل ممکن برسد. در واقع، طراحی پارامتری در طراحی محصول یا طراحی فرآیند ساخت راهکاری برای طراحی محصول یا فرآیندی است مه تحت دامنه گسترده تری از شرایط و علیرغم بکارگیری مواد و قطعات ارزان و متغیر و مستهلک شدن آسان، یک پایایی بسیار بالایی را از خود نشان می دهد.

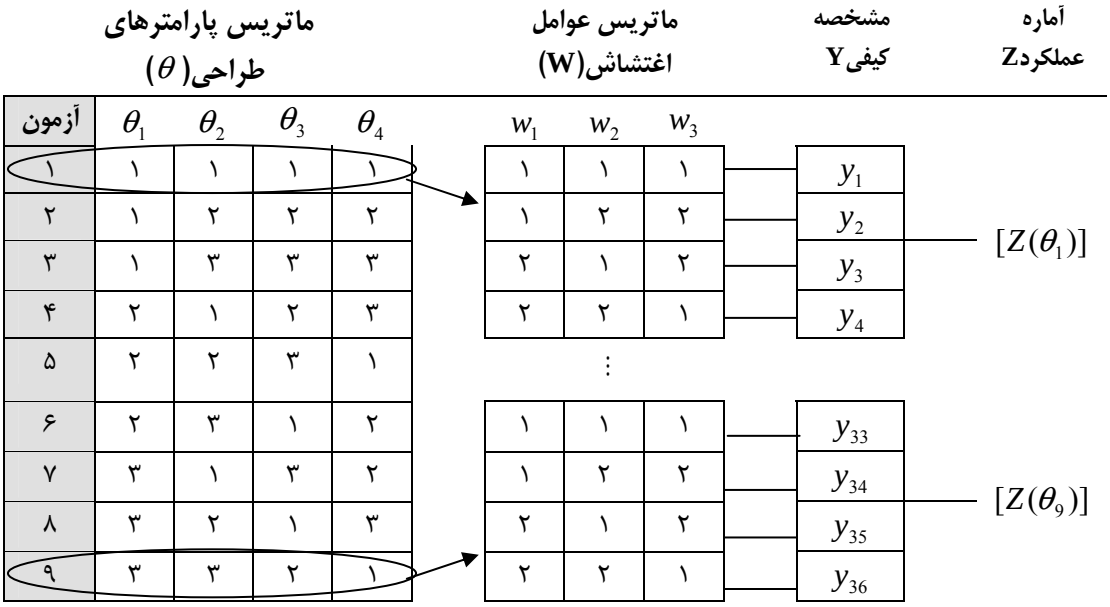
روش طرح استوار در طراحی پارامتری، بکارگیری طرح ازمایش های آماری است که طرح ریزی آنها از طریق آرایه های متعامد[1] صورت می گیرد. آزمایش های طراحی پارامتری شامل دو قسمت است، یکی ماتریس پارامترهای طراحی(عوامل قابل کنترل) و دیگری ماتریس عوامل اغتشاش. ستون های ماتریس پارامترهای طراحی نمایانگر عوامل قابل کنترل مورد بررسی و سطرهای آن نمایانگر ترکیب های مختلف سطوح پارامترهای طراحی است که مقادیر تنظیم پارامترهای طراحی را برای هر یک از آزمون های ازمایش مشخص می نماید. آزمایش کامل شامل یک ترکیبی از ماتریس های پارامترهای طراحی(θ) و عوامل اغتشاش(W) می باشد که نمودار طرح استاندارد L_9، یعنی طرح آزمایشی که در آن حداکثر چهار عامل هر یک در سه سطح مورد بررسی قرار می گیرد، نشان داده شده است(تصویر۳). هر یک از آزمون های ماتریس پارامترهای طراحی با تمام سطرهای ماتریس عوامل اغتشاش تقاطع داده می شود. در مثال طرح استانداردL_9، چهار امتحان برای هر آزمون وجود دارد. یعنی، برای هر ترکیبی از سطوح عوامل اغتشاش در ماتریس مربوط، یک امتحان وجود دارد. بدین طریق، مشخصه عملکرد مورد بررسی برای هر یک از چهار آزمون در هر نه(۹) آزمون، ارزیابی می گردند و درنتیجه تغییرپذیری موجود در مقادیر بدست آمده از مشخصه کیفی(عملکرد) مورد بررسی همانند تغییرپذیری عملکردی محصول(یا فرآیند) برای سطوح پارامترهای طراحی تحت شرایط منابع اغتشاش مورد بررسی خواهد یود. در مورد مشخصه های کیفی پیوسته، آماره عملکرد $(Z(\theta))$، بکار برده می شود. سپس درستی مقادیر پیش بینی شده پارامترهای طراحی توسط آزمایش هایی امتحان می گردد.

فواید یاد شده قوف، دقیقا اهداف طرح آزمایش ها هستند. در واقع، مطالعه تعداد بسیاری از عوامل و انتخاب ترکیب بهینه ای از سطوح آنها اساس یک کاربردی از خاصیت غیر خطی در طرح ازمایش هاست. در کشورهای در حال توسعه، جایی که مواد و قطعات بسیار متغییر هستند این مهمترین روش منترل کیفیت می باشد. در این کشورها، طراحی پارامتری باید توفیق بیشتری را نسبت به کشورهای صنعتی بدست اورد. اگر محصولی بتواند طوری طراحی شود که مشخصه های کیفی(عملکردی) آن به منابع اغتشاش برونی و درونی استوار باشد، آنگاه علیرغم وجود تغییرپذیری در مواد و قطعات بکار رفته، آن محصول بطور رضایت بخشی کار کرده و هزینه های آن پایین خواهد بود. دلیل اینکه بعضی از تولیدکنندگان در کشورهای در حال توسعه علیرغم داشتن دانش فنی کامل و بکارگیری فناوری کشورهای صنعتی، محصولاتی با کیفیت پایین تولید می نمایند، این است که مهندسان آنها، ازمایش انجام نمی دهند.آنها با چشم بسته مشخصات پارامترهای ارایه شده در ادبیات مربوطه و یا گفته های همکاران را قبول می نمایند.

روش طرح استوار، ریاضیات رسمی طرح آزمایش های اماری را برای اجرای طراحی پارامتری بکار می گیرد. ولی نگرش فکری بکارگیری این ریاضیات از خیلی جهات متفاوت است. این روش به طور روشن به دو مساله زیر توجه دارد: ۱- چگونگی کاهش اقتصادی تغییرپذیری عملکرد یک محصول در محیطی که مشتری آن را بکار می گیرد، ۲- چگونگی تضمین اینکه تصمیمات بهینه بدست امده در آزمایش های آزمایشگاهی، در ساخت و محیط هایی که مشتری، محصول را بکار می گیرد معتبر باشد. پاسخ های ارایه شده توسط روش طرح استوار به دو مساله فوق، آن را به ابزاری توانمند برای بهبود بهره وری در فعالیت های تحقیق و توسعه مبدل نموده است.

---

[1] **Orthognal Arrays(OA)**



تصویر۳ - نمودار ماتریس آزمایش پارانترهای طراحی و عوامل اغتشاش برای طرح استاندارد L_9

می توان این ازمایش ها را به یکی از دو روش زیر انجام داد: الف- از طریق آزمون های فیزیکی، ب- از طریق آزمون های شبیه سازی رایانه ای. آزمون های شبیه سازی رایانه ای زمانی انجام می گیرند که تابع مشخصه کیفی Y نسبت به پارامترهای طراحی θ و عوامل اغتشاش W یعنی $Y = f(\theta, w)$ مشخص شود و بتواند به صورت عددی ارزیابی گردد.

پس از اینکه کیفیت و هزینه از طریق بکارگیری روش های کنترل کیفیت قبل از ساخت بهینه گردیدند، هنوز منابع تغییرپذیری مانند: نوسانات در مواد و قطعات خریداری شده، فرسایش ابزار، خرابی دستگاهها، خطای نیروی انسانی و غیره در مرحله ساخت باقی می ماند که باید برای حفظ دست آوردهای ناشی از فعالیت های مراحل قبل، کنترل گردد. این کار توسط روش های کنترل کیفیت حین ساخت انجام می گیرد چرا که این روش ها با هزینه ها در ارتباط هستند.روش طرح استوار، تابع ضرر کیفیت را برای انتخاب بهینه فنون، پیشنهاد می نماید. این فنون که در سه روش به نام های ۱- کشف و اصلاح[1]، ۲-کنترل پیشگیرانه[2] و ۳-جداسازی[3] مطرح هستند، هزینه را برای تعیین فراوانی اندازه گیری ها و تنظیم ها، تعیین حدود بهینه تنظیم ها، تعیین بهینه سیستم های کنترل فرآیند و سایر موارد کاهش داده و کیفیت را بهبود می بخشند. در نهایت با بیان نتایج حاصل از بکارگبری روش طرح استوار این بخش را خاتمه می دهیم:

۱-در اغلب موارد، کاهش واریانس منجر به حدود رواداری باریکتر نمی شود، ۲- در اغلب موارد، کاهش واریانس منجی ره محیط بکارگیری شدیدا کنترل شده ای نمی گردد، ۳- در اغلب موارد، کاهش واریانس منجر به بکارگیری مواد یا قطعات ارزانتر می شود[۱۰].

۱۰- مطالعه موردی(کارخانه بافندگی پودینه بافت)

یک آزمایش ماتریسی مرکب از یک مجموعه از آزمایش هاست که در هر آزمایش، جای هر عامل تغییر نموده و مطالعه از یک آزمایش به ازمایش دیگر صورت می گیرد. بعد از اجرای یک آزمایش ماتریسی داده هایی که از این آزمایشات بدست آمده، تجزیه گردیده و اثر پارامتری متفاوت تعیین می گردد. آزمایش های ماتریسی قابل اجرا هستند که از ماتریس ویژه ای به نام آرایه های متعامد استفاده نمایند و برای اینکه اثرهای چندین پارامتر به صورت موثر تعیین گردند، از تکنیک طرح استوار استفاده گردید. در این بخش تکنیک ازمایش های ماتریسی بر پایه آرایه های متعامد که در کارخانه پافندگی پودینه بافت بکارگرفته شد به تفضیل ارایه می گردد.

---

[1] **Detection and Correction**
[2] **Feedforward Control**
[3] **Screening**

در ابتدا با استفاده از موارد استخراجی از تحلیل فرم های توزیع شده در کارخانه. ۴ عامل مهم تر در زمینه چالش ایجاد شده(زدگی محصولات) در سرعت های مختلف چله پیچی و مسرعت ماشین بافندگی بدست آمدند. سپس با بکارگیری روش طرح استوار استفاده از متد L_9 مناسب دیده شد.

۱۰-۱- آزمایش ماتریسی برای یک فرآیند بافندگی

هدف، بررسی اثرات چهار عامل ذیل هر کدام در سه سطح می باشد:

A: سرعت چله پیچی B: سرعت ماشین بافندگی C: تایمینگ D: ستون خالی

در این حالت، از با استفاده از طرح L_9، ۹ آزمایش، از کل ترکیبات ممکنه سطوح عوامل انجام گرفت. زیرا $\frac{1}{9}$ از کل آزمایشات ممکنه انجام پذیرفت، یعنی: $\frac{1}{9}(3^4)=\frac{1}{9}(81)=9$

عاملها و سطوح انتخاب شده، در جدول ۱ آمده اند. سطح های جاری برای این ۴ عامل (سطوح قبل از کنترل کردن آزمایش ماتریسی) بوسیله مقادیر ثابت در جدول ۱ تعیین شده است:

S.:سرعت چله پیچی	S.M: سرعت ماشین بافندگی
Z: تایمینگ (که در شطوح دیگر به صورت تغییر حول این سطوح قابل اجرا هستند. مثلا برای سرعت چله پیچی S. -۱۰ و S. -۵ را داریم که این سطوح عامل ناحیه آزمایشی را مشخص می نماید.)	

عامل / سطوح		۱	۲	۳
سرعن چله چینی	A	S. -۱۰	S. -۵	S.
سرعت ماشین	B	S.M - ۵۰	S.M	S.M + ۵۰
تایمینگ	C	F	Z	B
	D			

Z: شرایط کنونی S.M: ۶۰۰ S.: ۴۰

جدول ۱- عوامل و سطوح آزمایش

هدف ما تعیین بهترین ترکیب از سطوح عوامل است که سطح معیوب مینیمم شود.

ترکیبات سطوح عوامل این ۹ آزمایش در جدول ۲ ارایه شده است، که چهار ستون جدول، نماینده ۴ عامل و ردیف ها نشان دهنده سطح هر عامل می باشند. بنابراین آزمایش اول با هر عامل در سطح اول کنترل شده است. به جدول ۱-۲ توجه نمایید که سطوح عوامل برای ازمایش اول S. -۱۰ و S.M - ۵۰ و F می باشند، به همین نحو با مراجعه کردن به جداول ۱ و۲ دیده می شود که آزمایش چهارم در سطح ۲ از عامل A، در سطح ۱ از عامل B، در سطح ۲ از عامل C و در سطح ۳ از عامل D کنترل شده است که به اختصار $A_2B_1C_2D_3$ است.

۱۰-۲- برآوردی از اثرهای عوامل

برای هر آزمایش آماره η_i (i نشان دهنده آزمایش iام است) از فرمول ذیل بدست می آید:

$$\eta_i = -\log_{10}(\frac{1}{4}\sum y_{ij}^2)$$

به عبارتی داخل پرانتز، میانگین مربع مشاهدات(نواقص) برای آزمایشiام است و η_i میانگین مربع ۴ مشاهده در آزمایش iام می باشد. در ستون آخر جدول ۲-۳ این میانگین مشهود است.

شماره ازمایش	سرعت چله پیچی(۱)	سرعت ماشین بافندگی(۲)	تایمینگ(۳)	D(۴)	η_i
۱	۱	۱	۱	۱	-۷,۹۵۸۸
۲	۱	۲	۲	۲	-۱۶,۱۲۷۵
۳	۱	۳	۳	۳	-۱۹,۴۲۰
۴	۲	۱	۲	۳	-۲۰,۴۴۳۴
۵	۲	۲	۳	۱	۰
۶	۲	۳	۱	۲	-۱۸,۳۵۶۹
۷	۳	۱	۳	۲	۰
۸	۳	۲	۱	۳	-۱۴,۹۴۸۵
۹	۳	۳	۲	۱	-۱۸,۸۶۴۹

جدول ۲- ترکیبات سطوح عوامل این ۹ آزمایش[۱]

نکته قابل توجه این که هدف ما یعنی مینیموم کردن سطوح معیوب با ماکزیمم کردن η_i معادل است. حال چگونگی برآورد اثرهایی از ۴ عامل، از مقادیر مشاهده شده η_i برای ۹ آزمایش را بررسی می شود.

ابتدا میانگین مقدار η_iها را برای ناحیه آزمایشی با استفاده از سطوح عوامل، توسط فرمول ذیل تعیین می گردد:

$$m = \frac{1}{9}\sum_{i=1}^{9}\eta_i = \frac{1}{9}(\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + ... + \eta_9) = -12.9022$$

با دقت در ستون های ۱و۲و۳و۴ جدول ۲ دیده می شود که هر سه سطح از هر عامل به طور مساوی در ۹ آزمایش به کار رفته است، بنابراین m یک میانگین متعادل روی تمام نواحی آزمایشی است. حال می خواهیم بدانیم چگونه می توان از داده های آزمایشی در ارزیابی اثر سرعت چله چینی در سطح سوم(A_3)استفاده کرد؟ با توجه به جداول، سرعت چله چینی در سطح سوم، برای آزمایش های ۷و۸و۹ می باشد که میانگین نسبت برای این آزماش ها، m_{A_3} است که از رابطه زیر بدست می آید:

$$m_{A_3} = \frac{1}{3}(\eta_7 + \eta_8 + \eta_9) = -11.2711$$

بنابراین اثر سرعت چله چینی در سطح سوم با (m_{A_3} - m) محاسبه می شود، یعنی: -۱۱,۲۷۱۱+۱۲,۹۰۲۲=۱,۶۳۱۱

با توجه به جدول ۲-۲، برای آزمایش های ۷و۸و۹ سطح سرعت ماشین بافندگی به ترتیب ۱و۲و۳ را و سطوح تایمینگ، ستون خالی مقادیر ۱و۲و۳ را می گیرد. بنابراین مقدار m_{A_3} نشانگر میانگین η_i، وقتی که سرعت چله چینی در سطح سوم اشت. و میانگین به طریقی روی تمتم سطوح هر یک از سه عامل دیگر متعادل شده است.

میانگین نسبت برای سطوح A_1وA_2 و همچنین برای سطوح مختلف عامل های دیگر می تواند شبیه همین مقدار بدست آید:

---

[۱] ستون ها در این ماتریس دو بدو متعامد هستند.

$$m_{A_2}=\frac{1}{3}(\eta_4+\eta_5+\eta_6)=\frac{1}{3}(-20.4434+0+(-18.2282))=-12.8905$$

$$m_{A_1}=\frac{1}{3}(\eta_1+\eta_2+\eta_3)=-14.5022$$

$$m_{B_1}=\frac{1}{3}(\eta_1+\eta_4+\eta_7)=-9.4674 \qquad m_{B_2}=\frac{1}{3}(\eta_2+\eta_5+\eta_8)=-10.3587$$

$$m_{B_3}=\frac{1}{3}(\eta_3+\eta_6+\eta_9)=-18.83 \qquad m_{C_1}=\frac{1}{3}(\eta_1+\eta_6+\eta_8)=-13.7547$$

$$m_{C_2}=\frac{1}{3}(\eta_2+\eta_4+\eta_9)=-18.4787 \qquad m_{C_3}=\frac{1}{3}(\eta_3+\eta_5+\eta_7)=-6.4733$$

اما آزمایش ماتریسی بر پایه آرایه متعامد است و همه میانگین سطوح همان خاصیت شرح داده شده برای m_{A_3} را دارند و اثرات سطوح عوامل به شکل زیر بدست می ایند:

A_1 اثر$=m_{A_1}$ -m=-1.55

A_2 اثر=۰,۰۶۱۷

B_1اثر$=m_{B_1}$ -m=3.4848

B_2 اثر=۲,۵۹۳۵

B_3 اثر=-۵,۸۷۷۸

C_1 اثر=-۰,۸۰۲۵

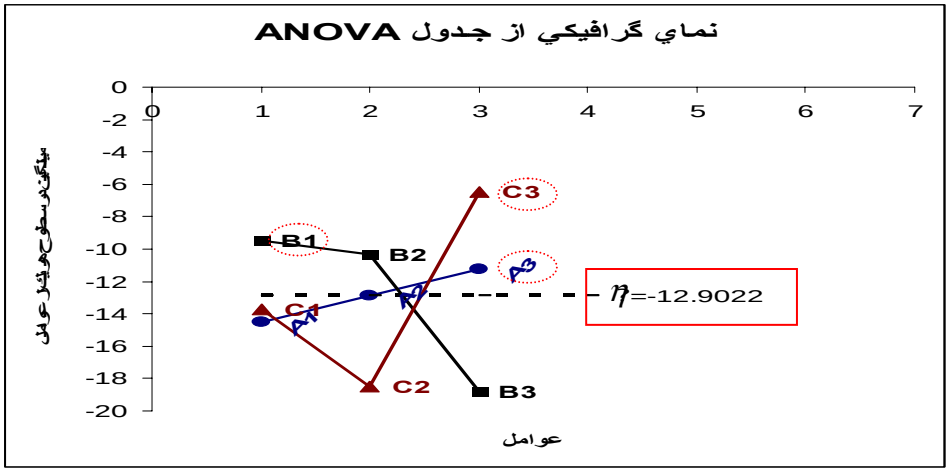
C_2 اثر=-۵,۵۲۶۵

C_3 اثر=۶,۴۷۸۹

به وسیله مقادیر عددی η_i مطابق جدول ۲، میانگین η_i برای هر سطح از ۴ عامل در جدول ۳ لیست شده است. این میانگین ها به طور گرافیکی در تصویر ۴ نمایش داده شده اند که اثرها جدا از هر عامل بوده و معمولا اثرهای اصلی نامیده می شوند. روش برآورد کردن اثرهای عوامل که در بالا بحث شد گاهی اوقات آنالیز میانگین ها (ANOVA) نامیده می شود.

سطوح / عامل	۱	۲	۳
A	-۱۴,۵۰۲۲	-۱۲,۸۹۰۵	-۱۱,۲۷۱۱
B	-۹,۴۶۷۴	-۱۰,۳۵۸۷	-۱۸,۸۳۷۷
C	-۱۳,۷۵۴۷	-۱۸,۴۷۸۷	-۶,۴۷۳۳
D	-۸,۹۴	-۱۱,۴۹	-۱۸,۲۷

جدول ۳- آنالیز میانگین ها (ANOVA)



تصویر ۴- نمای گرافیکی از جدول ANOVA

۱۰-۳- انتخاب بهترین سطوح عوامل

هدف اولیه در اجرا کردن آزمایش ماتریسی بهینه کردن محصول یا روش طراحی است که بهترین سطح برای هر عامل را تعیین نماید. بهترین سطح برای یک عامل، سطحی است که بیشترین مقدار η_i را در ناحیه آزمایشی داشته باشد. اثرهای اصلی برآورد شده، می توانند برای این هدف مشروط بر اینکه تغییرات η_i به عنوان یک تابع از سطوح عامل، که از مدل جمعی که در بخش بعد شرح داده می شود، باشد. زمانی که log می گیریم، تابع بطور یکنواخت کاهش و آن را بطور غیر مستقیم بیان می نماید. که ما η_i را max کردیم. لازم به توجه است که مقدار ۲۰- برای η_i بهتر لز ۴۰- می باشد، چون ۲۰- بزرگتر از ۴۰- است. از تصویر۴ می توان بهترین سطح برای هر عامل را که بیشترین مقدار برای η_i دارد را مشخص نمود.

طبق تصویر ۴، بهترین سرعت چله پیچی در سطح سوم، بهترین سرعت ماشین بافندگی در سطح اول و بهترین زمان تامینگ در سطح سوم است. یعنی می توان نتیجه گرفت که ترکیب $A_3B_1C_3$ مطلوب ترین ترکیب بوده و محصولی با کمترین زدگی را خواهد داشت.

۱۱- نتیجه گیری

بهینه سازی یک طرح فرآیند. تعیین بهترین ساختمان. سطوح عوامل قابل کنترل و فواصل اطمینان است. طرح استوار یک روش پیدا نمودن بهترین مجموعه از عوامل قابل کنترل برای ساخت و طراحی یک فرآیند غیر حساس با عوامل مهم است که این طرح شامل ۸ مرحله در ۳ بخش اصلی زیر می باشد: ۱- طرح آزمایش، ۲- اجرای آنها، ۳- تحلیل و تصدیق نتایج

لازم به ذکر است که استفاده از QFD به عنوان یک ابزار کارآمد در سامان دهی اطلاعات و طبقه بندی مناسب آنها در کنار طرح استوار این تکنیک را جهت تعیین سطوح مناسب، کارآمدتر نموده است. همانطور که دیده شد، با اجرای طرح استوار تاگوچی بهترین سطح عوامل بدست آمد. در آخر نگارندگان در تکمیل ماتریس خانه کیفیت با موارد کیفی زیادی همچون زیاد، کم، به ندرت و غیره مواجه بودند که به روش های مختلف آنها را کمی نمودند ولی نگارندگان. استفاده از رویکرد فازی را بهترین روش برای اینکار توصیه می نمایند[۱۱].

مراجع

[1] *Taghuchi, G. System of Experimental Design, Edited by Don Clausing, New york. Vol. 1 & 2,1987.*
[2] *Ishikawa، K. Qualityand Standardization Progress Economic Success, Quality Progress,mpp. 16-20.*
[3]*David, G. A.,what does product Quality Reality Mean?, Sloan Management Reviews, pp. 25-43, Fall 1984.*
[4] *Juran, G., Garyna, A,.Quality Planning and analysis, Quality progress, pp. 16-22, 1980.*
[5] *Shewhart, W. A, Economic Control of a manufactured product, D Van Nortsand Company, New York, NY, 1931.*
[6]*Edwards, D. Out of the Crisis , D Van Nortsand Company, New York, NY, 1931.*
[7] P.L. Sullivan, *Quality Function Deployment*, *Quality Progress*, Vol. 19, no. 6, pp. 39 – 50, 1986.
[8] M. Clayton, *Treading the quality path: a Progress report from Aston University*, in Pipe, Quality management in universities, Australian Government Publishing Service, Canberra, pp. 450-3, 1993.
[9] Crosby, P. Quality is Free, , *D Van Nortsand Company, New York, NY, 1931.*
[۱۰] قلعه بان بخشایش، فاطمه. **بهبود عملکرد محصول با استفاده ار روش های طرح استوار**، پروژه کارشناسی، دانشگاه علامه طباطبایی، دانشکده اقتصاد، سال ۱۳۷۸.
[۱۱] رادمان، کامبیز. **ارایه روشی در اولویت بندی مشخصه های مهندسی در خانه کیفیت(FuzzyQFD)**، ارایه در کنفرانس بین اللملی مهندسی صنایع. تابستان ۱۳۸۳.