یک مدل برنامه ریزی خطی فازی دربکارگیری تکنیک گسترش کارکرد کیفیت

محمد خلیل زاده[۱]، دانشجوی دکتری تحقیق در عملیات،
دانشگاه برونل لندن و دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف
امین ملایری[۲]، دانشجوی کارشناسی مهندسی صنایع،
دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده فنی مهندسی گلپایگان

1. mapgmmk2@brunel.ac.uk
2. amin_malayeri@yahoo.com

چکیده: تکنیک گسترش کارکرد کیفیت (Quality Function Deployment) یک ابزاری ثابت شده برای پیشرفت فرآیندو بهبود محصول جهت بیشینه سازی رضایت مشتری است. نـدای مـشتری (Voice Of Customer) را بـه مشخـصات فنـی و مهندسـی (Design Requirements) ترجمه می کند وDR ها را براساس الزامات وخواسته‌های مشتری(Customer Requirements) اولویت بندی می‌نماید. به‌منظور ارائهٔ روابط میان الزامات مشتری و ویژگیهای مهندسی محصول، از روشهای فازی استفاده می‌شـود. درایـن مقاله، یک روش جدید جهت ارزیابی روابط فازی نرمال، بدست می‌آید. سپس، یک مدل برنامه ریزی خطی فازی جهت تعیین سطح هریـک از ویژگیهای مهندسی و طراحی محصول ارائه می‌گردد تا رضایت مشتری را باتوجه به محدودیتهای منابع، مشکلات فنی و تکنیکی ورقابت بازار، بیشینه نمائیم. برای این منظور، مثالی جهت تشریح مدل ارائه می‌شود.

کلمات کلیدی: گسترش کارکرد کیفیت (QFD) ، اعداد فازی، برنامه ریزی خطی فازی، رضایت مشتری.

مقدمه:

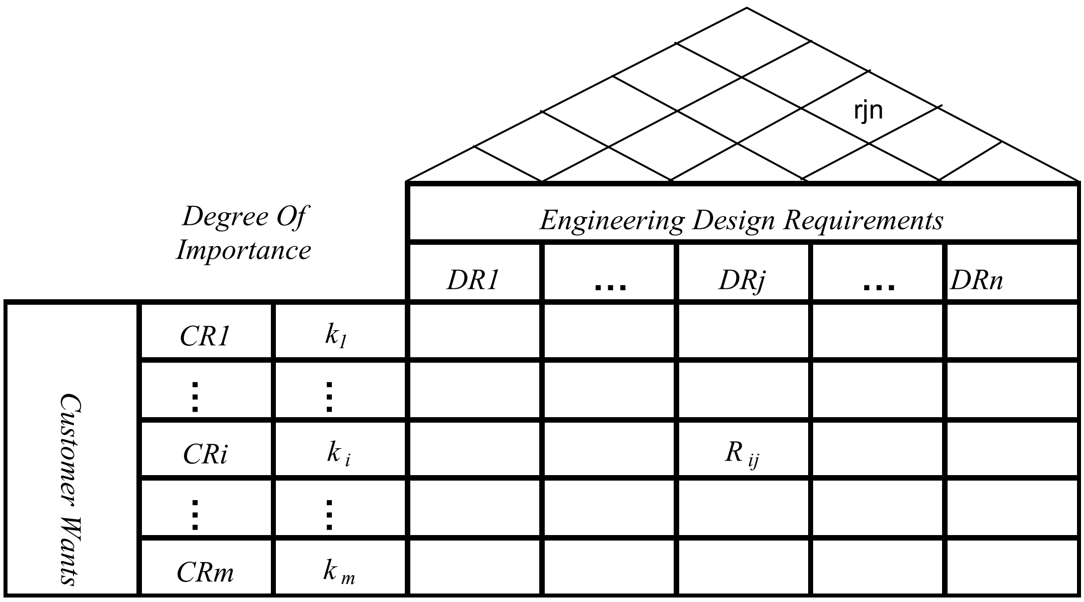
تکنیک گسترش کارکرد کیفیت (QFD) برای اولین بار در سال ۱۹۷۲ در ژاپن توسط دکتر میزانو در شرکت صنایع سنگین میتسوبیشی به کار گرفته شد. پس از گذشت چهار سال از اولین تجربه به کارگیری و پیاده سازی، این تکنیک در شرکت تویوتا نیز به اجرا در آمد. استفاده از این تکنیک کارامد علاوه بر افزایش میزان رضایت مشتری سهم بسزایی در کاهش برخی هزینه ها در این شرکت داشت که انها را به سوی استفاده بیشتر از این تکنیک سوق داد. تکنیک گسترش کارکرد کیفیت برای اولین بار در سال ۱۹۸۴ در آمریکا توسط دکتر کلازینگ در شرکت زیراکس به کار گرفته شد (۱). QFD جهت پیشرفت فرآیند و به وجود آوردن مزیت‌های رقابتی به شکل موفقیت آمیزی در بسیاری از سازمانها به کار گرفته شده است. امروزه، شرکتها QFD را به عنوان یک ابزار توانمند که تصمیمات راهبردی و عملیاتی را هدایت می‌کند، به کار می‌برند. QFD راهکارهای سیستمی است که اطمینان حاصل نمائیم ندای مشتری درتمامی مراحل برنامه ریزی و طراحی محصول لحاظ می‌شود. خواسته‌های مشتری درمورد یک محصول با انجام نظرسنجی توسط بخش بازاریابی دریافت می‌شوند و درقسمت الزامات مشتری QFD آورده می‌شوند. تعدادی از مشخصات فنی و مهندسی که بر الزامات و خواسته‌های مشتری تأثیرگذار هستند، توسط تیم مهندسی و طراحی شناسایی می‌گردند. به طور کلی، یک تیم QFD جهت تعیین سطوح پیشرفت ویژگیهای فنی و مهندسی محصول، ازطریق تجزیه و تحلیل روابط میان الزامات مشتری و ویژگیهای فنی و مهندسی محصول با درنظر گرفتن هزینه، مشکلات فنی و تکنیکی وسایرمحدودیتهای سازمانی تشکیل می‌گردد.لازم به یادآوری است که QFD چندین محدودیت دراجرا دارد و می‌توان تحقیقات بیشتر را درجهت توسعه QFD انجام داد: به دلیل کمبود اطلاعات دقیق از الزامات مشتری، اعضای تیم QFD روابط میان CR ها و DR ها و همچنین میان DR ها را براساس تجارب قبلی وبه طور ذهنی مشخص می‌نمایند.همچنین، اطلاعات برای طراحی محصول غالباً غیر دقیق و محدود است. به ویژه هنگام توسعه یک محصول کاملاً جدید، مهندسان معمولاً دانش و تجربه کاملی درمورد تأثیرات ویژگیهای فنی و مهندسی محصول بر الزامات مشتری ندارند. بدین منظور، برخی محققان، سیستمهای رایانه‌ای جهت یاری رسانیدن به مهندسان درطراحی عوامل فنی ارائه نموده‌اند. با این وجود، بسط این گونه سیستمها غالباً به دانش و تجربیات تخصصی برای ایجاد قوانین و پی‌بردن به حقایق نیاز دارد تا از کارکرد خوب آنها اطمینان حاصل آید.

در مدلهای فازی گذشته، روابط میان ویژگیهای فنی و مهندسی محصول به طور مناسبی درنظر گرفته نشده‌اند. این مقاله نه‌تنها روابط فازی میان CR ها و DR هارا درنظر می‌گیرد، بلکه ارتباط میان خود DR ها را نیز مورد توجه قرار می‌دهد. برخلاف راهکارهای فعلی، تعاریف جدید برای اعداد فازی ارائه می‌دهیم تا برش α با عدم قطعیت کمتری تعیین شود. به منظور تعیین سطوح بهینه DR ها، یک مدل خطی فازی تحت محدودیت منابع، مشکلات فنی و رقابت بازار جهت دستیابی به رضایت بهینه مشتری ارائه می‌دهیم ویک مثال تشریحی برای روشن نمودن این راهکار استفاده می‌شود.در بخش بعدی، یک ماتریس QFD براساس روابط فازی نرمال معرفی می‌گردد و تعاریف جدیدی برای برشهای α درهر رابطه فازی بدست می‌آید. سپس، وزن دهی ویژگیهای فنی و مهندسی براساس روابط فازی در هر برش α انجام می‌شود دربخش۳، مسئله برنامه ریزی QFD با یک مدل فاری فرمولسازی می‌شود تا سطوح برآورد DR ها جهت بیشینه سازی رضایت مشتری تعیین گردد. در بخش ۴، مثالی برای تشریح راهکارمان ارائه می‌دهیم. سرانجام، نتایج در بخش ۵ مطرح می‌شوند.

۲- ماتریس روابط فازی

روابط میان الزامات وخواسته‌های مشتری CR ها و مشخصات فنی و مهندسی DR ها در تکنیک گسترش کارکرد کیفیت QFD به‌صورت ماتریسی ارائه می‌شوند که خانه کیفیت (House Of Quality) نامیده می‌شود. مطابق شکل(۱)، این ماتریس دارای دو بعد که یکی خواسته‌های مشتری (CR) و دیگری ویژگیهای فنی و مهندسی محصول (DR) است. یک ماتریس مثلثی بالای ویژگیهای فنی و مهندسی براساس روابط میان آنهاقراردارد. روابط میان خواسته‌های مشتری و خصوصیات فنی و مهندسی محصول درقسمت میانی خانه

کیفیت نمایش داده می‌شوند. در شکل، R_{ij} میزان ارتباط میان CR i ام و DR j ام و r_{jn} درجه وابستگی بین DR j ام و سایر DR هـا را مشخص می‌سازد.



شکل ۱: ماتریس روابط گسترش کارکرد کیفیت

به‌منظور تعیین میزان ارتباط بین CR ها و DR ها و همچنین میان خود DR ها، و اسرمن (۲) رابطه نرمال زیر را ارائه نموده است:

$$R'_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{n} R_{ik} r_{kj}}{\sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{n} R_{ik} r_{kj}}, \qquad (۱)$$

به‌طوریکه R'_{rj} میزان ارتباط نرمال میان الزام مشتری **i** و ویژگی طراحی و مهندسی **j**، $\sum_j R'_{ij} = 1 , j = 1,2,..., n, i = 1,2,..., m$ برای هر i می‌باشد روابط براساس مقیاس ۹-۳-۱ یا ۹-۵-۱ کمی می‌شوند تا درجات ارتباط ضعیف، متوسط و قـوی میـان CR هـا و DR ها و همچنین بین DR ها را مشخص سازند. با وجود اینکه این ارتباطات به طور ذاتی غیر دقیق هستند، جهت ارزیـابی درجـه ارتباطـات از سیستم قطعی استفاده می‌شود. اما دراین مقاله ارتباطات با اعداد فازی نشان داده می‌شوند تا دریک حالت مبهم و غیر قطعی ارزیـابی شـوند. بنابراین، $\tilde{R}_{ik}$ و $\tilde{\gamma}_{kj}$ اعداد فازی هستند که میزان ارتباط میان CR ها و DR ها و همچنین بین DRهارا مشخص می کنند. ارتبـاط فازی نرمال مربوطه را می‌توان بصورت زیر نشان داد:

$$\tilde{\Re}'_{rj} = \frac{\sum_{k=1}^{n} \tilde{\Re}_{ikj} \tilde{\gamma}_{kj}}{\sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{n} \tilde{\Re}_{ik} \tilde{\gamma}_{kj}}, \qquad (۲)$$

در این پژوهش، دو نوع اعداد فازی $\tilde{\Re}_{ik}$ و $\tilde{\gamma}_{kj}$ در بازهٔ [۰و۱] تعریف می‌شوند، به نحویکه $\tilde{\Re}'_{ij}$ نیز درهمین بازه قرار مـی‌گیـرد. بمنظـور تعریف تابع عضویت ارتباط فازی نرمال $\tilde{\Re}'_{ij}$ ، از مفهوم برش α استفاده مـی‌شـود. ازآنجائیکـه $\tilde{\Re}'_{ij}$ تـابعی از $\tilde{\Re}_{ik}$ و $\tilde{\gamma}_{kj}$ اسـت، ابتـدا $\tilde{\Re}_{ik}$ و $\tilde{\gamma}_{kj}$ را می‌توان با استفاده از سطوح مختلف برشهای α به شکل زیر بیان نمود (۳):

$$(\Re_{ik})_\alpha = \left[\min_{R_{ik}} \left\{ R_{ik} \in \Re_{ik} \middle| \mu_{\Re ik}(R_{ik}) \ge \alpha \right\}, \quad \max_{R_{ik}} \left\{ R_{ik} \in \Re_{ik} \middle| \mu_{\tilde{\Re} ik}(R_{ik}) \ge \alpha \right\} \right] = \left[(\Re_{ik})^L_\alpha, (\Re_{ik})^U_\alpha \right]$$

$$(\gamma_{kj})_\alpha = \left[\min_{r_{kj}} \{ r_{kj} \in \gamma_{kj} \mid \mu_{\tilde{\gamma} kj}(r_{kj}) \ge \alpha \}, \quad \max_{r_{kj}} \{ r_{kj} \in \gamma_{kj} \mid \mu_{\tilde{\gamma} kj}(r_{kj}) \ge \alpha \} \right] = \left[(\gamma_{kj})^L_\alpha, (\gamma_{kj})^U_\alpha \right]$$

به نحویکه $\mu_{\tilde{\gamma} kj}(r_{kj}.) \in [0,1], \mu_{\tilde{\Re} ik}(R_{ik}) \in [0,1], \alpha \in [0,1]$ درجات عضویت R_{ik} و r_{kj} هستند.علاوه برآن، براساس مفاهیم مبسوط دیگر، درجه عضویت ارتباط فازی نرمال $\tilde{\Re}'_{ij}$ را می‌توان به‌صورت زیر نشان داد:

$$\mu_{\tilde{\Re}'_{ij}}(R'_{ij}) = \sup_{R,r} \min \left\{ \mu_{\tilde{\Re} ik}(R_{ik}), \mu_{\tilde{\gamma} kj}(r_{kj}), \forall k, j \;\middle|\; R'_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{n} R_{ikj} r_{kj}}{\sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{n} R_{ik} r_{kj}} \right\} \tag{۴}$$

تابع عضویت $\tilde{\Re}'_{ij}$ از برشهای α $\tilde{\Re}'_{ij}$ استنتاج می‌شود. براساس معادلهٔ (۴)، حدود پائین و بالای برشهای α $\tilde{\Re}'_{ij}$ بدست می‌آیند:

$$(\Re'_{ij})^L_\alpha = \min R'_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{n} R_{ik} r_{kj}}{\sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{n} R_{ik} r_{kj}}, \tag{۵الف}$$
$$s.t. (\Re_{ik})^L_\alpha \le R_{ik} \le (\Re_{ik})^U_\alpha, \forall k$$
$$(\gamma_{kj})^L_\alpha \le r_{kj} \le (\gamma_{kj})^U_\alpha, \quad \forall k, j$$

$$(\Re'_{ij})^U_\alpha = \max R'_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{n} R_{ik} r_{kj}}{\sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{n} R_{ik} r_{kj}}, \tag{۵ب}$$
$$s.t. (\Re_{ik})^L_\alpha \le R_{ik} \le (\Re_{ik})^U_\alpha, \forall k$$
$$(\gamma_{kj})^L_\alpha \le r_{kj} \le (\gamma_{kj})^U_\alpha, \quad \forall k, j$$

براساس فرمولهای فوق، حدود پائین و بالای برشهای $(\Re'_{ij})^U_\alpha, (\Re'_{ij})^L_\alpha, \tilde{\Re}'_{ij}\alpha$ با بیان ساده زیر نشان داده می‌شوند:

$$(\Re'_{ij})^L_\alpha = \frac{\sum_{k=1}^{n} (\Re_{ik})^L_\alpha (\gamma_{kj})^L_\alpha}{\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{n} (\Re_{ik})^U_\alpha (\gamma_{kj})^U_\alpha},$$

(۶)

$$(\Re'_{ij})^U_\alpha = \frac{\sum_{k=1}^{n} (\Re_{ik})^U_\alpha (\gamma_{kj})^U_\alpha}{\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{n} (\Re_{ik})^L_\alpha (\gamma_{kl})^L_\alpha}$$

با نتایج حاصل از معادلهٔ (۶)، حداکثر حدود ممکن در هر برش αبدست می‌آیند. بنابراین این حدود ممکن است از مقادیر واقعی بزرگتر باشند، به نحویکه منجر به عدم دقت می‌شوند. به منظور حل این مشکل ، رابطهٔ اصلاح شدهٔ زیر براساس رابطهٔ (۱) ارائه می‌شود:

$$R'_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{n} R_{ik} r_{kj}}{\sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{n} R_{ik} r_{kj}} = \frac{\sum_{k=1}^{n} R_{ik} r_{kj}}{\sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^{n} \sum_{k=1}^{n} R_{ik} r_{kl} + \sum_{k=1}^{n} R_{ik} r_{kj}}, \qquad (۷)$$

در جایی که

$$0 \le (\Re_{ik})^L_\alpha \le R_{ik} \le (\Re_{ik})^U_\alpha \le 1 \forall k \quad \forall k, i = 1, \ldots, m$$
$$0 \le (\gamma_{kj})^L_\alpha \le r_{kj} \le (\gamma_{kj})^U_\alpha \le 1 \quad \forall k, j.$$

با قرار دادن

$$\varphi = \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^{n} \sum_{k=1}^{n} R_{ik} r_{kl}, \phi = \sum_{k=1}^{N} R_{ik} r_{kj}$$

معادلهٔ (۷) به صورت زیر بیان می‌شود:

$$f(\phi) = \frac{\phi}{\varphi + \phi}$$

$$f'(\phi) = \frac{\varphi}{(\varphi + \phi)^2} \ge 0$$

$f(\phi)$ یک تابع افزایشی است و

$$\sum_{k} (\Re_{ik})_{\alpha}^{L} (\gamma_{kj})_{\alpha}^{L} \leq \phi \leq \sum_{k} (\Re_{ik})_{\alpha}^{U} (\gamma_{kj})_{\alpha}^{U}.$$

بنابراین :

$$\min f(\phi) = \frac{\sum_{k=1}^{n} (\Re_{ik})_{\alpha}^{L} (\gamma_{kj})_{\alpha}^{L}}{\varphi + \sum_{k=1}^{n} (\Re_{ik})_{\alpha}^{L} (\gamma_{kj})_{\alpha}^{L}}$$

و

$$\max f(\phi) = \frac{\sum_{k=1}^{n} (\Re_{ik})_{\alpha}^{U} (\gamma_{kj})_{\alpha}^{U}}{\varphi + \sum_{k=1}^{n} (\Re_{ik})_{\alpha}^{U} (\gamma_{kj})_{\alpha}^{U}}$$

علاوه برآن

$$\sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^{n} \sum_{k=1}^{n} (\Re_{ik})_{\alpha}^{L} (\gamma_{kl})_{\alpha}^{L} \leq \varphi \leq \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^{n} \sum_{k=1}^{n} (\Re_{ik})_{\alpha}^{U} (\gamma_{kl})_{\alpha}^{U}$$

به نحویکه حدود اصلاح شده تحتانی و فوقانی برشهای α برای $m(\Re'_{ij})_{\alpha}^{U}, m(\Re'_{ij})_{\alpha}^{L}, \tilde{\Re}'_{ij}$ به شکل زیر می‌توانند بیان شوند:

$$m(\Re'_{ij})_{\alpha}^{L} = \min f(\phi) = \frac{\sum_{k=1}^{n} (\Re_{ik})_{\alpha}^{L} (\gamma_{kj})_{\alpha}^{L}}{\sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^{n} \sum_{k=1}^{n} (\Re_{ik})_{\alpha}^{U} (\gamma_{kl})_{\alpha}^{U} + \sum_{k=1}^{n} (\Re_{ik})_{\alpha}^{L} (\gamma_{kj})_{\alpha}^{L}}$$

$$m(\Re'_{ij})_{\alpha}^{U} = \max f(\phi) = \frac{\sum_{k=1}^{n} (\Re_{ik})_{\alpha}^{U} (\gamma_{kj})_{\alpha}^{U}}{\sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^{n} \sum_{k=1}^{n} (\Re_{ik})_{\alpha}^{L} (\gamma_{kl})_{\alpha}^{L} + \sum_{k=1}^{n} (\Re_{ik})_{\alpha}^{U} (\gamma_{kj})_{\alpha}^{U}} \qquad (۸)$$

با مقایسه معادلات (۶) و (۸) به وضوح درمی‌یابیم که معادلۀ دوم حد کوچکتری در هر برش α نسبت به معادلۀ اول دارد. هنگامیکه حدود پائین وبالای برشهای α برای ارتباط فازی نرمال تعیین شدند، جهت تعیین میزان درجات اهمیت DR ها در فرآیند طراحیQFD به کار

می‌روند. میزان اهمیت فازی j امین DR، $\widetilde{W}_j$ ، j=1,2,...n، با جمع حاصل ضرب درجه اهمیت هریک از الزامات مشتری (CR) در ارتباط فازی نرمال مربوطه، به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\widetilde{W}_j = \sum_{i=1}^{m} k_i . \widetilde{\Re}'_{ij} \ , \qquad (۹)$$

دررابطهٔ فوق، k_i میزان اهمیت i امین خواسته مشتری، i=1,2,...,m است. بنابراین حدود پائین و بالای برش α برای $\widetilde{W}_j$ در هر برش α به طریق زیر بدست می‌آیند:

$$(W_j)_\alpha = \left[(W_j)_\alpha^L, (W_j)_\alpha^U\right] \quad = \left[\sum_{i=1}^{m} k_i . m(\Re'_{ij})_\alpha^L, \sum_{i=1}^{m} k_i . m(\Re'_{ij})_\alpha^U, \right] \qquad (۱۰)$$

۳- مدلهای فازی

این مقاله یک مدل برنامه ریزی خطی براساس وزن دهی فازی DR ها جهت تعیین سطوح اجرای DR ها ارائه می‌دهد تا حداکثر سطح رضایت مشتری حاصل آید. درمدل ارائه شده، x_j سطح برآورد ویژگی فنی و مهندسی j ام را به صورت درصد مشخص می‌سازد. درصد افزایش هزینه مربوط به آن، c_j می‌باشد که جهت افزایش کیفیت مورد نیاز است. مجموع هزینه‌ها نمی‌تواند از یک مقدار مشخص بیشتر شود.

همانگونه که قبلاً ذکر شد، ارتباطات میان CR ها و DR ها و همچنین بین خود DR ها ذاتاً فازی هستند و میزان اهمیت ویژگیهای فنی و مهندسی (DR) نیز فازی می‌باشند. همچنین هزینه‌ها نیز فازی هستند. علاوه بر محدودیت هزینه، اولویت بندی براساس تأثیرات ویژگیهای فنی و مهندسی محصول بر رضایت مشتری انجام گرفته است. همچنین سطح اجرای هرDR دریک حد مشخص شده است. به‌عنوان مثال، $0 \le \varepsilon_j \le x_j \le \eta_j \le 1$ با درنظرگرفتن محدودیت هزینه، مشکلات فنی و تکنیکی و رقابتهای تجاری یک مدل برنامه ریزی خطی فازی به شکل زیر ارائه می‌گردد

:

$$\begin{aligned} &\widetilde{Z} = \max \sum_{j=1}^{n} \ \widetilde{W}_j . x_j \\ &s.t. \sum_{j=1}^{n} \ \widetilde{c}_j . x_j \ \widetilde{\le} \ \widetilde{B}, \\ &\qquad w_s . x_s \ge w_p . x_p \quad s, p \in \{1,2,...,n\} \\ &\qquad 0 \le \varepsilon_j \le x_j \le \eta_j \le 1, \quad \forall j, \end{aligned} \qquad (۱۱)$$

$\widetilde{c}_j$ نشاندهندۀ هزینه فازی مرتبط با اجرای ویژگی فنی و مهندسی jام، j=1,2,...,n ، $\widetilde{B}$ حداکثر هزینه ممکن برای اجرای همه ویژگیهای فنی و مهندسی ,$\widetilde{\leq}$ نشانگر «تقریباً کوچکتر یا مساوی با» است. مقدار تابع هدف $\widetilde{Z}$ نیز به وضوح فازی است. از آنجائیکه میزان اهمیت ویژگیهای فنی و مهندسی فازی است، برای یافتن تابع عضویت $\widetilde{Z}$ باید حدود پائین و بالای برشهای α $\widetilde{Z}$ را بیابیم که به شکل زیر نشان داده می‌شوند:

$$
\begin{aligned}
(Z)_\alpha^L &= \min Z, \\
s.t.\quad & (W_j)_\alpha^L \leq w_j \leq (W_j)_\alpha^U, \quad \forall_{j,} \\
& (C_j)_\alpha^L \leq c_j \leq (C_j)_\alpha^U, \quad \forall_{j,}
\end{aligned}
\qquad \text{(۱۲ الف)}
$$

$$
\begin{aligned}
(Z)_\alpha^U &= \max Z, \\
s.t.\quad & (W_j)_\alpha^L \leq w_j \leq (W_j)_\alpha^U, \quad \forall_{j,} \\
& (C_j)_\alpha^L \leq c_j \leq (C_j)_\alpha^U, \quad \forall_{j,}
\end{aligned}
\qquad \text{(۱۲ ب)}
$$

یا به صورت کامل:

$$
\begin{aligned}
(Z)_\alpha^L = & \min_{\substack{(W_j)_\alpha^L \leq w_j \leq (W_j)_\alpha^U \\ (C_j)_\alpha^L \leq c_j \leq (C_j)_\alpha^U \\ \forall_j}} \quad \max \sum_{j=1}^{n} w_j , x_j , \\
& s.t. \sum_{j=1}^{n} c_j . x_j \leq \widetilde{B}, \\
& \quad w_s . x_s \geq w_p . x_p \quad s, p \in \{1,2,...,n\} \\
& \quad 0 \leq \varepsilon_j \leq x_j \leq \eta_j \leq 1, \quad \forall j,
\end{aligned}
\qquad \text{(۱۳ الف)}
$$

$$
\begin{aligned}
(Z)_\alpha^U = & \max_{\substack{(W_j)_\alpha^L \leq w_j \leq (W_j)_\alpha^U \\ (C_j)_\alpha^L \leq c_j \leq (C_j)_\alpha^U \\ \forall_j}} \quad \max \sum_{j=1}^{n} w_j , x_j , \\
& s.t. \sum_{j=1}^{n} c_j . x_j \leq \widetilde{B}, \\
& \quad w_s . x_s \geq w_p . x_p \quad s, p \in \{1,2,...,n\} \\
& \quad 0 \leq \varepsilon_j \leq x_j \leq \eta_j \leq 1, \quad \forall j,
\end{aligned}
\qquad \text{(۱۳ب)}
$$

برای روابط ریاضی فوق، جهت یافتن کوچکترین مقدار تابع هدف در هر برش $(Z)_\alpha^L, \alpha$ سطوح میزان اهمیت را با مقادیر حداقل آنها درتابع هدف جایگزین می کنیم و همچنین درمحدودیتها، حداکثر میزان هزینه فازی برای انجام هر ویژگی فنی و مهندسی وحداقل هزینه

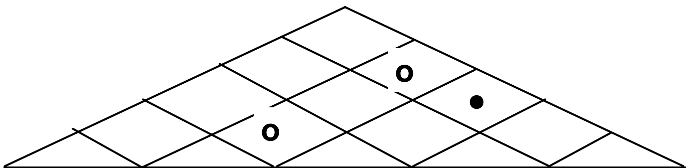
ممکن برای انجام همه ویژگیهای فنی و مهندسی درنظرگرفته می‌شوند تا ناحیهٔ موجه کوچکتر گردد. از طرف دیگر، حداکثر مقدار تابع هدف در هر برش $(Z)_\alpha^U,\alpha$ ، با درنظرگرفتن شرایط معکوس $(Z)_\alpha^L$ بدست می‌آید. مدلهای (۱۳ الف) و (۱۳ ب) می‌توانند به شکل زیر فرموله شوند:

$$
\begin{aligned}
(Z)_\alpha^L &= \max \sum_{j=1}^{n} (W_j)_\alpha^L, x_j, \\
s.t. \sum_{j=1}^{n} (c_j)_\alpha^U . x_j &\le (B)_\alpha^L , \\
(W_s)_\alpha^L . x_s - (W_p)_\alpha^U . x_p &\ge 0 \quad s,p \in \{1,2,\ldots,n\} \\
0 \le \varepsilon_j \le x_j &\le \eta_j \le 1, \quad \forall j,
\end{aligned}
\tag{الف۱۴}
$$

$$
\begin{aligned}
(Z)_\alpha^U &= \max \sum_{j=1}^{n} (W_j)_\alpha^U, x_j, \\
s.t. \sum_{j=1}^{n} (C_j)_\alpha^L . x_j &\le (B)_\alpha^U , \\
(W_s)_\alpha^U . x_s - (W_p)_\alpha^L . x_p &\ge 0 \quad s,p \in \{1,2,\ldots,n\} \\
0 \le \varepsilon_j \le x_j &\le \eta_j \le 1, \quad \forall j,
\end{aligned}
\tag{ب۱۴}
$$

هنگامیکه حدود پائین و بالا برای تابع هدف فازی $\tilde{Z}$ در برشهای مختلف α بدست آمدند، تابع عضویت آن ساخته می‌شود. در تعیین سطوح اجرای ویژگیهای فنی و مهندسی، حداکثر دامنه و ممکن ترین مقدار $\tilde{Z}$ برای تیم طراحی QFD مفید می‌باشد.

رابطه معمولی o
رابطه ضعیف Δ
رابطه قوی •



			نیاز های طراحی مهندسی				
		درجه اهمیت	DR1	DR2	DR3	DR4	DR5
خواسته های مشتری	CR1	15%	o			•	
	CR2	25%		o	•		•
	CR3	45%	Δ	o	•		•
	CR4	15%	Δ			•	

شکل ۲. ماتریس گسترش عملکرد کیفیت برای یک مداد

۴- یک مثال تشریحی

یک مثال ساده جهت توجیه مدلهای ارائه شده دراین بخش تشریح می‌گردد (۴). این مثال دررابطه با یک مداد است. چهار خواسته مشتری (CR)وپنج خصوصیت طراحی ومهندسی(DR)درنظرگرفته می‌شوند. شکل ۲ خانه کیفیت را دراین رابطه نشان می‌دهد. دراین مثال، CR هاشامل:«سهولت نگهداری مداد»(CR1)،«لکه ایجاد نمی‌کند» (CR2)، «دوام نوک مداد»(CR3)و«مداد نمی چرخد» (CR4) و DR ها : «طول مداد» (DR1)«فاصله زمانی میان تراشیدن مداد» (DR2)، «حداقل ذرات تولید شده»(DR3)، «شش وجهی بودن»(DR4) و «حداقل ذرات حاصل از پاک کردن» (DR5)می باشند.

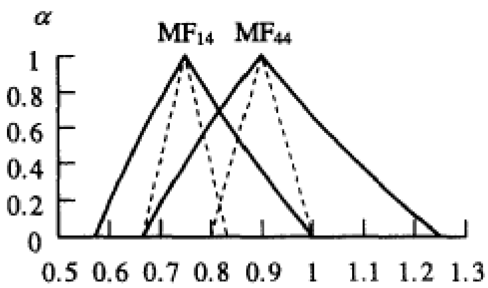
جهت استخراج درجات اهمیت فازی DR ها، ارتباطات فازی $\widetilde{\Re}_{ik}$ میان CR ها و DR ها و همچنین میان خود DR ها ($\widetilde{\gamma}_{kj}$) باید تعیین شوند. ارتباطات براسسا مفاهیم «بدون ارتباط» ، «ارتباط ضعیف»، «ارتباط متوسط» و «ارتباط قوی» طبقه بندی می‌شوند. این عبارات کیفی به اعداد فازی مثلثی (۰و۰و۰)، (۰/۲و۰/۱و۰) ، (۰/۴و۰/۳و۰/۲) و (۱و۰/۹ و۰/۸) ترجمه می‌شوند. عدد میانی درهر پرانتز، امکان پذیر ترین حالت و درجه عضویت مساوی با یک دارد. به عنوان مثال: $\mu_S\ (0/9)=1$ در این مقاله سیستم ۰/۹-۰/۳-۰/۱ جهت نشان دادن حداکثر مقدار ممکن برای ارتباط ضعیف، متوسط و قوی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۵).

با درنظرگرفتن روابط کیفی نشان داده شده درشکل ۲، روابط فازی نرمال $\widetilde{\Re}'_{ij}$ از طریق معادلات ریاضی فوق محاسبه می‌شوند. برای بدست آوردن $\widetilde{\Re}'_{ij}$ ، حدود پائین وبالای برشهای α برای $\widetilde{\Re}_{ik}$ و $\widetilde{\gamma}_{kj}$ براساس توابع عضویت آنها از پیش باید تعیین شوند. تابع عضویت یک عدد فازی مثلثی به سهولت از طریق توابع خطی بدست می‌آید. به عنوان مثال، فرض کنید که $\widetilde{\Re}_{ik}$ به صورت «قوی» ارزیابی می‌گردد و تابع عضویت عدد فازی (۱و۰/۹و۰/۸)= $\widetilde{S}$ می‌تواند بصورت ذیل بیان شود:

$$\mu_{\bar{S}}(R_{ik}) = \begin{cases} \dfrac{(R_{ik} - 0.8)}{(0.9 - 0.8)}, & 0.8 \le R_{ik} \le 0.9, \\ \dfrac{(1.0 - R_{ik})}{(1.0 - 0.9)}, & 0.9 \le R_{ik} \le 1.0. \end{cases}$$

برشهای α از تابع عضویت متناسب به صورت زیر خواهد بود:

$$\left[(\Re_{ik})_{\alpha}^{L}, (\Re_{ik})_{\alpha}^{U}\right] = \left[0.8 + 0.1\alpha, 0.1 - 0.1\alpha\right]$$



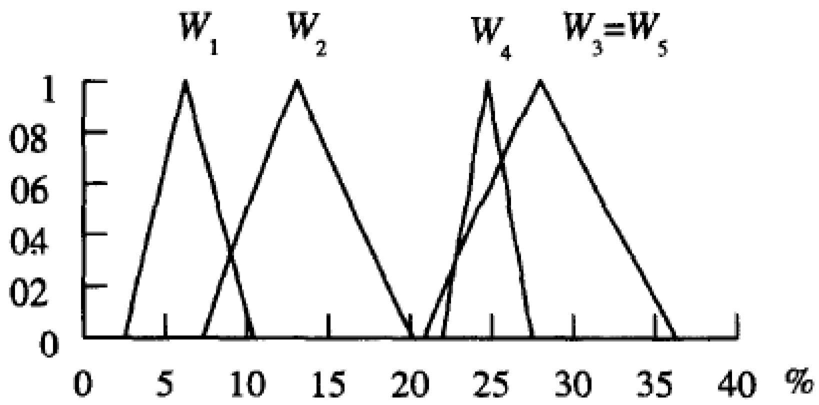
شکل ۳. دو تابع عضویت تشریح شده از $\widetilde{\Re}_{44}$ **و** $\widetilde{\Re}_{14}$.

	درجه اهمیت		نیازهای طراحی مهندسی				
			DR1	DR2	DR3	DR4	DR5
نیاز های مشتری	CR1	15%	0.25			0.75	
	CR2	25%		0.19	0.405		0.405
	CR3	45%	0.023	0.185	0.396		0.309
	CR4	15%	0.1			0.9	
اهمیت فنی			6%	13%	28%	25%	28%

شکل ۴. روابط نرمالایزه شده برای $\alpha = 1$

	درجه اهمیت		نیازهای طراحی مهندسی				
			DR1	DR2	DR3	DR4	DR5
نیاز های مشتری	CR1	15%	[.208,.292]			[.708,.791]	
	CR2	25%		[.146,.237]	[.353,.461]		[.353,.461]
	CR3	45%	[.01,.037]	[.141,.234]	[.342,.456]		[.342,.456]
	CR4	15%	[.5,.150]			[.85,.95]	
اهمیت فنی			[4.3%,8.3%]	[10%,16.5%]	[24.2%,32%]	[23.4%,26%]	[24.2%,32%]

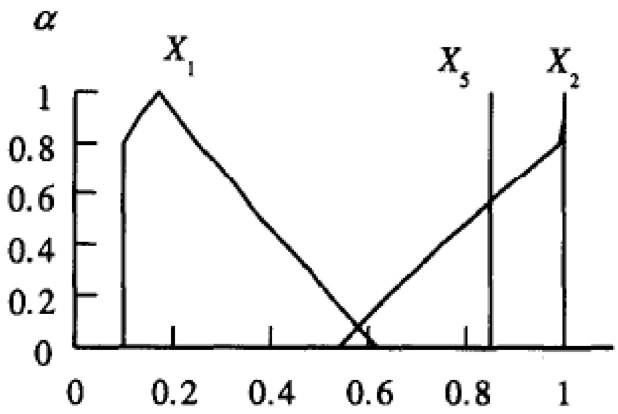
شکل ۵. حدود بالا و پایین روابط نرمالایزه شده برای α=۵



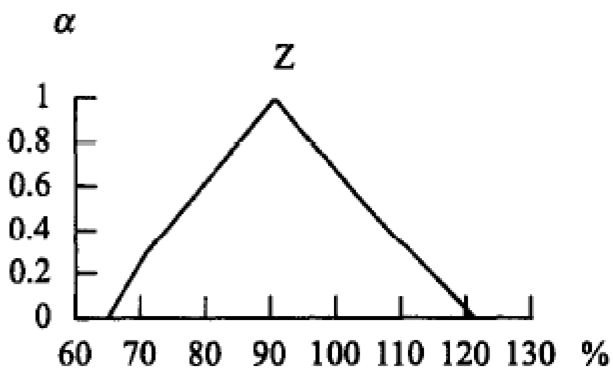
شکل ۶. توابع عضویت اهمیت نسبی پنج تکنیک فازی.

سطح اجرایی	C_j	α-cut	ε_j	η_j
x_1	(0.9,0.1,1.1)	[0.9+0.1α,1.1-0.1α]	0.1	0.1
x_2	(0.5,0.6,0.7)	[0.5+0.1α,0.7-0.1α]	0.1	0.1
x_3	(0.4,0.5,0.6)	[0.4+0.1α,0.6-0.1α]	0.1	0.1
x_4	(0.2,0.3,0.4)	[0.2+0.1α,0.4-0.1α]	0.1	0.1
x_5	(0.4,0.5,0.6)	[0.4+0.1α,0.6-0.1α]	0.1	0.85

جدول ۱. پارامترهای هزینه فازی و حدود بالا و پایین محدودیتهای اجرایی.



شکل ۷. توابع عضویت X ۱ ، X ۵ ، X ۲ بر مبنای محدودیت ها



شکل ۸. توابع عضویت ارزش های هدف فازی

هنگامیکه برشهای α برای تمامی روابط مشخص شدند، آنها را در معادلات ارائه شده جهت بدست آوردن حدود پائین وبالای برشهای αبرای ارتباطات فازی نرمال، جایگزاری می‌کنیم. برای روش نمودن این موضوع معادلات (۶) و (۸) برای یافتن توابع عضویت MF_{14} و MF_{44} بکار می‌بریم و $\tilde{\mathfrak{R}}'_{14}$و $\tilde{\mathfrak{R}}'_{44}$ در هر برش α درشکل ۳ نشان می‌دهیم. درشکل، خطوط پیوسته با معادلهٔ (۶) بدست می‌آیند، درحالیکه خطوط منقطع ازطریق معادله (۸) حاصل می‌شوند. همانگونه که مشهود است، خطوط منقطع دامنه باریکتری برای دو تابع عضویت دارند و درنتیجه عدم قطعیت آنها نیز کمتر است.

در برش1=α ، مقادیر نرمال روابط میان CR ها و DR ها، همان مقادیر قطعی و ممکن ترین حالت می‌باشند که در شکل ۴ نشان داده شده اند. درسطوح ممکن دیگر، مقادیر نرمال روابط در حدود پائین و بالای برشهای α ظاهر می‌گردند. به عنوان مثال، مقادیر نرمال برای α=۰/۵ در شکل ۵ نشان داده شده‌اند.

درجات اهمیت الزامات مشتری که $(\sum_i k_i = 100\%, k_i)$ درشکل ۲ فهرست شده‌اند، جهت تعیین میزان اهمیت ویژگیهای فنی و مهندسی محصول که فازی هستند، بکار می‌روند. درجه اهمیت ویژگی فنی و مهندسی j ام، $\tilde{W}_j$، با بکارگیری معادلهٔ (۹) بدست می‌آید. به عنوان نمونه، توابع عضویت میزان اهمیت فازی برای ویژگیهای طراحی و مهندسی محصول درشکل (۶) نشان داده شده‌اند. درجات اهمیت فازی $DR5, DR4, DR3$ که $\tilde{W}_5, \tilde{W}_4, \tilde{W}_3$ هستند، مقدار بالاتری نسبت به دوتای دیگر دارند. جهت دستیابی به حداکثر

میزان رضایت مشتری، این مقادیر برای تعیین میزان بهینه هر ویژگی فنی ومهندسی بکار می‌روند. سطح برآورد هرDR با درنظر گرفتن رقابت بازار، ۰/۱ است. علاوه برآن، مقدار پنجمین DR نمی‌تواند از ۰/۸۵ بدلیل مشکلات فنآوری تخطی نماید. همچنین، رضایت مشتری مرتبط با ویژگی مهندسی سوم نباید از ویژگی مهندسی چهارم کمتر باشد. به بیان دیگر : $\widetilde{W}_3.x_3 \geq \widetilde{W}_4.x_4$ کل بودجه اختصاص یافته جهت بهبود ویژگیهای فنی و مهندسی محصول، ۲ واحد می‌باشد که این میزان می‌تواند تا ده درصد افزایش یا کاهش یابد. هزینه هر واحد DR نیز فازی است و بصورت یک تابع مثلثی تعریف می‌شود. جدول (۱) حداقل و حداکثر سطح اجرای هر DR، اعداد فازی و برشهای α ی مربوطه را نشان می‌دهد. با جایگزاری برشهای α در معادلهٔ (۱۴)، سطوح اجرای همه DR ها در سطوح محتلف α بدست می‌آیند. همانگونه که در شکل (۷) نشان داده شده است، x_1 و x_2 اعداد فازی هستند، درحالیکه x_5, x_4, x_3 مقادیر قطعی و برابر با ٪۱۰۰ و ٪۱۰۰ و ٪۸۵ می‌باشند با برش α=0 ، مقادیر x_1,x_2 در فواصل [۰/۶۲ و۰/۱] و [۱ و ۰/۵۴] واقع می‌شوند. بنابراین، x_1 نمی‌تواند از ۰/۶۲فراتر رود، درصورتیکه x_2 مقدار کمتر از ۰/۵۴ نخواهد داشت. حدود پائین وبالای تابع هدف در هر برش α نیز می‌توانند تعیین گردند. شکل (۸) توابع عضویت مقادیر فازی تابع هدف را نشان می‌دهد. دامنه سطح کل رضایت مشتری باتوجه به مفهوم برش α در تعیین مقادیر اجرای DR ها، بدست می‌آید.

دامنه ممکن در حدفاصل [٪۱۲۱/۳ و٪۶۴/۹] قرار می‌گیرد. باتوجه به محدودیتهای مربوط به بودجه وفنآوری، ممکن ترین مقدار تابع هدف ٪۹۰/۷ است. همچنین درصورتیکه از روش میانگین وزنی جهت غیرفازی کردن اعداد فازی استفاده نمائیم، مقدار تابع هدف برابر با٪۹۱/۳خواهد شد که مقدار بیشتری نسبت به حالتی که روابط را قطعی درنظر می‌گیریم، بدست می‌آید.

۵- نتیجه گیری:

مدلهای توسعه داده شده جهت یاری رسانیدن به تکنیک گسترش کارکرد کیفیت (Quality Function Deployment) درتعیین سطوح اجرایی مشخصات فنی و مهندسی (DR ها) درمرحله طراحی محصول با معرفی مفهوم مجموعه های فازی، بدلیل وجود عدم دقت واطمینان در ارزیابی روابط میان الزامات وخواسته‌های مشتری CR ها و مشخصات فنی و مهندسی (DR ها) و همچنین خود DR ها پیشنهاد می‌شود. با درنظرگرفتن پارامترهای فازی مربوط به هزینه، رقابت و مشکلات فنآوری در جهت ارتقای کیفیت محصول، یک مدل خطی فازی جهت تعیین مقدار اجرای هرDR بسط داده می شود تا حداکثر رضایت مشتری حاصل آید.

برخلاف راهکارهای QFD موجود، راهکار پیشنهادی به تیم QFD اجازه می‌دهد که روابط میان CR ها و DR ها و همچنین میان DR ها را بدلیل وجود عدم قطعیت درمرحله طراحی محصول، با عبارات کیفی ارزیابی کند. اعداد فازی درتمامی مراحل حل مسئله بکار می‌روند. حد فاصل سطح برآورد DR ها و همچنین سطح کل رضایت مشتری به تیم QFD اطلاعات مفید تری را می‌توانند عرضه کنند.

منابع و مراجع :

[1] D. H. Besterfield, Total Quality Management, First Edition, Prentice Hall International Editions, (1995).

[2] G.S.Wasserman, On How to Prioritize Design Requirements During the QFD Planning Process, IIE Transactions 25(3), 59-65 (1993).

[3] H.S. Zimmermann, Fuzzy Set Theory and Its Applications, Third Edition, kluwer- Nijhoffg, Boston, MA, (1996).

[4] Lai-Kow Chan, Ming-LuWu, A systematic approach to quality function deployment with a full illustrative example, Elsevier, Omega (2005), 119 – 139.

[5] Kwang-Jae Kim and Herbert Moskowitz, Fuzzy multicriteria models for quality function deployment, European Journal of Operational Research, (2000), 504 -518

[6] M. Khalilzadeh and A. Malayeri, Implementing Fuzzy Programming in Quality Function Deployment, International Conference Of Quality Managers, (2005), Tehran, Iran.

[7] L.H. Chen and M.C.Weng, A Fuzzy Model for Exploiting Quality Function Deployment, Pergamon Mathematical and Computer Modeling, 2003, 559-57

[8]N. Rajam Ramasamy and V.Selladurai, Fuzzy logic Capproach to prioritise engineering characteristics in quality function deployment, International Journal of Quality & Reliability Management, (2004), Vol.21 No.9, 1012-1023.