مدیریت صنعتی
Journal of Industrial Management
دانشکدهٔ مدیریت دانشگاه تهران
دورهٔ ۸، شمارهٔ ۲
تابستان ۱۳۹۵
صص. ۲۶۲- ۲۴۱

# گسترش عملکرد کیفیت (QFD) با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی فازی

جلیل حسن قاسمی[۱]، عالیه کاظمی[۲]، مهناز حسین‌زاده[۳]

**چکیده:** کیفیت محصولات و خدمات مهم‌ترین جنبهٔ رضایت مشتری است. گسترش عملکرد کیفی (QFD) به‌عنوان ابزار مهمی در ترجمهٔ صدای مشتری و لحاظ‌کردن آن در اولویت‌بندی الزامات فنی تولید به‌شمار می‌رود. سطح رضایت مشتریان در QFD به میزان برآورده‌شدن نیازهای آنها بستگی دارد. با توجه به محدودیت‌های موجود، میزان برآورده‌شدن این نیازها متفاوت است. مقالهٔ حاضر با هدف حداکثرکردن رضایت مشتریان براساس محدودیت‌های موجود، از یک مدل برنامه‌ریزی خطی فازی استفاده کرده است. ابتدا از روش دلفی فازی نیازهای مشتریان اولویت‌بندی شدند، سپس با توجه به روابط موجود در QFD که هدف آنها در نهایت برآورده‌کردن نیازهای مشتریان است؛ مسئله به‌صورت یک مدل برنامه‌ریزی خطی تبدیل می‌شود. در این تحقیق پس از توسعهٔ مدل QFD، مدل پیشنهادی در قالب مطالعهٔ موردی در صنعت ساختمان به‌کار می‌رود. پس از اجرای مدل، درصد اجرای بهینهٔ هر یک از الزامات فنی تولید مشخص می‌شود.

***واژه‌های کلیدی: دلفی فازی، گسترش عملکرد کیفی (QFD)، مدل برنامه‌ریزی خطی فازی.***

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشکدهٔ مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲. استادیار مدیریت صنعتی، دانشکدهٔ مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۳. استادیار مدیریت صنعتی، دانشکدهٔ مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران

**تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹٤/۰۳/۰۸**
**تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۵/۰٤/۰٦**
**نویسندهٔ مسئول مقاله: عالیه کاظمی**
**E-mail: aliyehkazemi@ut.ac.ir**

Archive of SID
www.SID.ir

## مقدمه

امروزه کیفیت و مشتری‌مداری به‌عنوان یکی از چالش‌های جدی رقابتی مطرح است. حفظ و گسترش بازار محصول، مستلزم عرضهٔ محصولات و خدمات با کیفیت از طریق تأمین نیازهای مشتریان در طراحی و تولید محصولات یا ارائهٔ خدمات است. روش گسترش عملکرد فعالیت‌های کیفی (QFD) یکی از موفق‌ترین ابزارهای ارتقای کیفیت است که با درنظر گرفتن خواسته‌های مشتری در سنگ بنای توسعهٔ کیفیت محصول، موجب می‌شود محصول یا خدمت با توجه به خواستهٔ مشتری و در راستای تأمین نیازهای او طراحی و تولید شود (نورالسنا، اصغرپور و نصیری، ۱۳۸۴). یعنی آنچه مشتری می‌خواهد را از طریق نظم و جامعیتی که QFD به فرایند طراحی محصول می‌دهد، در محصول اعمال کنیم.

اولین و مهم‌ترین گام در جلب رضایت مشتریان، شناخت نیازها و انتظارات مشتریان و پاسخگویی به تغییرات ایجادشده در بازار است (آذر و نهاوندی، ۱۳۸۷). QFD ابزار کیفیتی پیشرفته‌ای است که سهم بازار را از طریق جلب رضایت مشتریان واقعی محصول افزایش می‌دهد (رضایی، آشتیانی و هوشیار، ۱۳۸۴: ۵-۴). یکی از ابزارهایی که در گسترش مشخصه‌های کیفیت به‌کار می‌رود، تکمیل ماتریس خانهٔ کیفیت[1] و در نتیجه تعیین ضریب اهمیت خواسته‌های مشتری است (مهرگان و قاسمی، ۱۳۸۱). خانهٔ کیفیت عمومی‌ترین بخشی است که در QFD استفاده می‌شود. این خانه، شامل اتاق‌هایی است که کیفیت مدنظر و مشخص‌شدهٔ مشتریان (CRs)[2] را که چه چیزهایی[3] نامیده می‌شوند با ویژگی‌های فنی (DRs)[4] که چگونه‌ها[5] نام دارند، مرتبط می‌سازد (فضلی و علیزاده، ۱۳۸۷).

در پژوهش حاضر برای رتبه‌بندی نیازهای مشتریان از دلفی فازی، برای رتبه‌بندی الزامات فنی از مدل QFD و درنهایت برای تعیین میزان اجرای بهینهٔ هر الزام فنی به‌منظور بیشینه‌سازی میزان رضایت مشتریان از مدل برنامه‌ریزی خطی استفاده شده است. از آنجا که اجرای این پژوهش مستلزم استفاده از قضاوت‌های شفاهی و متغیرهای زبانی است، بنابراین استفاده از منطق فازی ضرورت پیدا می‌کند.

ساختار مقاله به این ترتیب ادامه دارد؛ در بخش بعد پیشینهٔ تحقیق و به‌دنبال آن دربارهٔ QFD توضیح داده می‌شود. بخش بعد به مرور مختصر کاربرد جبر فازی در QFD اختصاص

---

1. House of Quality (HOQ)
2. Customer Requirements
3. WHATs
4. Design Requirements
5. HOWs

Archive of SID

www.SID.ir

دارد. در ادامه ضمن توضیح دربارهٔ ماتریس روابط فازی و مدل برنامه‌ریزی خطی فازی، یک مثال عددی بیان می‌شود و در نهایت مقاله با نتیجه‌گیری و ارائهٔ پیشنهادها پایان می‌یابد.

## پیشینهٔ پژوهش

در دهه‌های اخیر پژوهش‌های زیادی به‌منظور بهبود و بسط روابط بین CRs و DRs در QFD صورت گرفته است تا رضایت مشتریان حداکثر شود. فانگ و همکارانش (۲۰۰۲)، در زمینهٔ بهینه‌سازی غیرخطی فازی QFD پژوهش‌هایی اجرا کردند. چن و ونگ (۲۰۰۳)، مدل برنامهٔ خطی فازی را جهت بهبود روابط ماتریس خانهٔ کیفیت ارائه نمودند. چن و همکارانش (۲۰۰۶)، ترکیب روش‌های میانگین موزون و ارزش انتظاری را به‌منظور رتبه‌بندی ویژگی‌های فنی بررسی کردند. کاهرمان و همکاران (۲۰۰۶)، نیز به بررسی بهینه‌سازی فازی فرایندهای QFD با استفاده از AHP و ANP پرداختند. بوتانی و ریزی (۲۰۰۶)، با وزن‌دهی به خود مشتریان، مدل QFD فازی را در مدیریت استراتژیک برای خدمات مطرح کردند.

چن و کو (۲۰۰۸) با اضافه‌کردن مدل کانو به برنامه‌ریزی خطی فازی، مدل برنامه‌ریزی غیرخطی فازی را ابداع کردند. بوتانی (۲۰۰۹)، رویکردی بر پایهٔ فازی QFD به‌منظور شناسایی شاخص‌های چابکی در جهت بهبود پایه‌های رقابتی ارائه داد. در سال ۲۰۰۹ نیز چن و کو FMEA[1] و مدل برنامه‌ریزی خطی را ترکیب کردند (چن و کو، ۲۰۰۹). چن و کو (۲۰۱۰)، همچنین یک مدل برنامه‌ریزی خطی فازی برای توسعهٔ محصول جدید در فرایند چهارمرحله‌ای QFD ارائه نمودند.

جیا و بای (۲۰۱۰)، با استفاده از QFD فازی به اولویت‌بندی استراتژی‌های تولید پرداختند. خادمی زارع و همکارانش (۲۰۱۰)، به رتبه‌بندی اقدامات استراتژیک با استفاده از مدل Topsis و AHP در QFD پرداختند. وانگ و چین (۲۰۱۱)، رتبه‌بندی ویژگی‌های فنی QFD را در محیط فازی با ادغام دو روش میانگین موزون فازی و نرمالایزکردن فازی ارائه کردند. روغنیان و علی‌پور (۲۰۱۴)، به توسعهٔ یک مدل فازی به‌منظور دستیابی به ویژگی‌های ناب برای کسب مزیت رقابتی با استفاده از روش‌های QFD، AHP و PROMETHEE پرداختند. آذر و همکارانش (۱۳۸۶)، نیز عملکرد کیفیت را با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی و برنامه‌ریزی آرمانی توسعه دادند. رحمانی و همکارانش (۱۳۹۱)، به توسعه یک مدل ریاضی برای گسترش عملکرد کیفیت با رویکرد فازی پرداختند.

1. Failure Model and Effects Analysis

Archive of SID

www.SID.ir

با توجه به مرور تحقیقات انجام‌شده، مشاهده می‌شود که در تحقیقات قبلی برای اولویت‌بندی الزامات فنی تولید، از ماتریس روابط بین CRs و DRs و همچنین ماتریس همبستگی بین DRs (چن و کو، ۲۰۰۹؛ بوتانی و ریزی، ۲۰۰۶؛ رضایی و همکاران، ۱۳۸۴) استفاده شده و ماتریس همبستگی بین CRs در نظر گرفته نشده است. در مقالهٔ حاضر، علاوه‌بر وزن‌دهی به خود مشتریان توسط تیم QFD، ابتدا با استفاده از روش دلفی فازی نیازهای مشتریان رتبه‌بندی شدند؛ سپس برای اولویت‌بندی الزامات فنی تولید، علاوه‌بر موارد یادشده در تحقیقات پیشین، ماتریس همبستگی بین CRs نیز لحاظ گردید و در نهایت بر اساس وزن‌های به‌دست‌آمده و محدودیت‌های مسئله، مدل برنامه‌ریزی خطی آن ارائه شد.

## روش‌شناسی پژوهش

تحقیق حاضر بر اساس هدف پژوهش، از نوع تحقیقات کاربردی است؛ بر اساس ماهیت مطالعه، از نوع تحقیقات توصیفی به‌شمار می‌رود؛ بر اساس زمان تحقیق، از نوع تحقیقات آینده‌نگر است و بر اساس نوع داده‌ها، از نوع تحقیقات غیرآزمایشی از نوع پیمایشی محسوب می‌شود. این پژوهش به رتبه‌بندی الزامات فنی تولید با رویکرد بهینه‌سازی خطی فازی می‌پردازد. به‌منظور اجرای این تحقیق نیز، طی هماهنگی‌های انجام‌شده با مدیر عامل شرکت شهرک‌های صنعتی استان گلستان، موافقت شد داده‌های لازم برای این تحقیق در اختیار محقق قرار گیرد.

### گسترش عملکرد کیفی

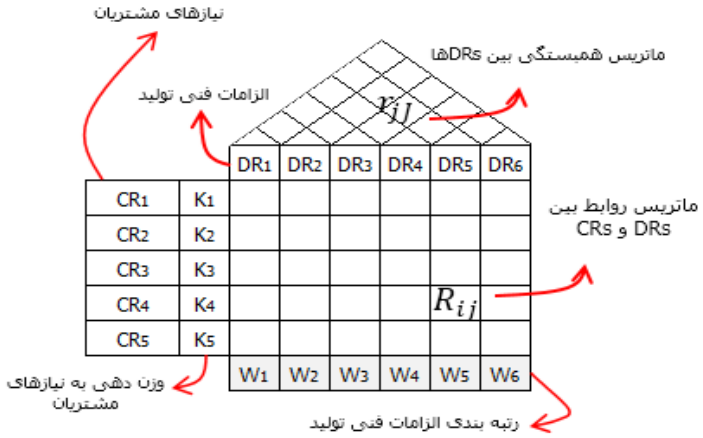
QFD به‌طور موفقی در بسیاری از صنایع به‌عنوان ابزاری برای بهبود فرایند، رضایت مشتری و کسب مزیت رقابتی شناخته شده است (آزادی و فرزین پور، ۲۰۱۳). دیاگرام QFD یا HOQ روش سیستماتیکی برای نمایش مهم‌ترین مشخصات فنی محصول با توجه به نیازهای مشتریان است (چن و همکاران، ۲۰۰۶). اولین مرحله در روش چهارمرحله‌ای QFD، طرح‌ریزی محصول است که به‌واسطهٔ شباهت بسیار زیاد ماتریس آن به شکل خانه، به آن خانهٔ کیفیت[1] اطلاق می‌شود (رضایی و همکاران، ۱۳۸۴). شکل۱ نمونه‌ای از ماتریس خانهٔ کیفیت است.

در HOQ اولین ستون نیازهای مشتریان ($CR_i$)، دومین ستون وزن‌دهی به نیازهای مشتریان ($K_i$)، اولین سطر مشخصه‌های تولیدی ($DR_j$)، آخرین سطر رتبه‌بندی الزامات فنی تولید ($W_j$)، $R_{ij}$ ماتریس روابط بین $CR_i$ و $DR_j$، و $r_{jJ}$ ماتریس همبستگی بین $DR_j$ ها است.

1. House of Quality (HOQ)

Archive of SID

www.SID.ir




**شکل ۱. ماتریس خانهٔ کیفیت (HOQ)**

## کاربرد جبر فازی در QFD

پروفسور لطفی‌زاده در سال ۱۹۶۵ برای اولین بار با معرفی نظریهٔ مجموعه‌های فازی[1]، مدل‌سازی اطلاعات نادقیق و چندارزشی‌بودن به جای یک‌ارزشی‌بودن، سؤال‌هایی که دو پاسخ یا حالت دارند را با معادلات ریاضی بیان کرد (لطفی‌زاده، ۱۹۶۵). به‌طورکلی می‌توان گفت جایی که پیچیدگی سیستم در حدی است که نمی‌توان با دقت و صراحت دربارهٔ پارامترها، مشخصه‌ها و رفتار سیستم قضاوت کرد، مفهوم فازی برای مدل‌سازی و تحلیل مطرح می‌شود (اصغرپور، ۱۳۸۷). در دهه‌های اخیر استفاده از مجموعه‌های فازی در روش QFD به‌دلیل مبهم‌بودن متغیرهای ورودی به‌طور شایان توجهی افزایش یافته است. بیشتر روش‌های فازی استفاده شده بر اساس وزن‌دهی ساده روابط بین مشخصه‌های فنی و نیازهای مشتری است. در QFD فازی ماتریس ارتباطات و ماتریس همبستگی را به‌صورت اعداد فازی یا متغیرهای کلامی تعریف می‌کنند (نوری و بختیاری، ۱۳۸۸).

## اعداد فازی مثلثی

اعداد فازی می‌توانند نمایندهٔ پارامترها و کمیت‌های نادقیق مسائل و مدل‌های ریاضی در مهندسی باشند. عدد فازی مثلثی[2] عمدتاً به‌دلیل خطی‌بودن و ساده‌بودن محاسبات با آن، برای حل مسائل مهندسی همواره در کانون توجه بوده است (حاتمی و رنجبر، ۱۳۸۷). هر عدد فازی مثلثی به‌صورت سه تایی $(a_1, a_M, a_2)$ نشان داده می‌شود. عدد مثلثی A با تابع عضویت

1. Fuzzy Set Theory
2. Triangular fuzzy number

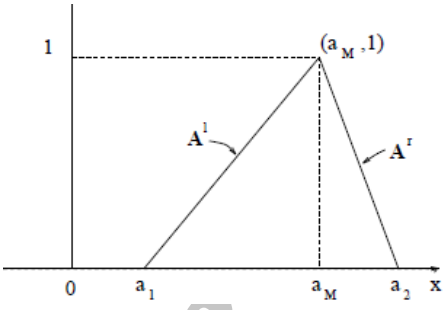
Archive of SID

www.SID.ir

$\mu_A(x)$ روی R به‌صورت رابطهٔ ۱ تعریف می‌شود. شکل ۲ نیز نمایش یک عدد فازی مثلثی است (بوجادزیو، ۲۰۰۷).

رابطهٔ ۱)

$$A=\mu_A(x)=\begin{cases}\dfrac{x-a_1}{a_M-a_1} & ,a_1\le x\le a_M\\ \dfrac{x-a_2}{a_M-a_2} & ,a_M\le x\le a_2\\ 0 & \text{سایر}\end{cases}$$




**شکل ۲. عدد فازی مثلثی**

## ماتریس روابط فازی

مهم‌ترین وظیفه در فرایند QFD، تعیین میزان اهمیت هریک از DRsها با توجه به روابط بین DRsها و CRs ها و همچنین روابط بین خود DRsها با هم است. همان‌طور که در شکل ۱ (ماتریس خانهٔ کیفیت) مشخص است، $R_{ij}$ به میزان اهمیت روابط بین $CR_i$ و $DR_j$، $r_{jJ}$ به میزان اهمیت همبستگی بین $DR_j$ و $DR_J$، $k_i$ به میزان اهمیت هریک از نیازهای مشتریان و درنهایت $W_j$ به رتبه‌بندی اهمیت هر $DR_j$ می‌پردازد. برای نرمالایزکردن روابط بین $CR_i$ و $DR_j$، واسرمن رابطهٔ ۲ را ارائه کرد.

رابطهٔ ۲)

$$R_{ij}^{norm}=R_{ij}^{'}=\frac{\sum_{l=1}^{J}R_{il}r_{lj}}{\sum_{j=1}^{J}\sum_{l=1}^{J}R_{il}r_{lj}}$$

در رابطهٔ ۲، $R'_{ij}$ رابطهٔ نرمال‌شده بین $CR_i$ و $DR_j$ می است که در آن به ازای هر i، $\sum_j R'_{ij}=1$ است. نوع ارتباط و تأثیرگذاری مشخصه‌های فنی بر خواسته‌های مشتری با

Archive of SID

www.SID.ir

استفاده از ارزش‌گذاری سه سطحی (ضعیف ـ متوسط ـ قوی) تعریف می‌شوند، سپس به هر یک از سطوح نیز با استفاده از یک مقیاس فاصله‌ای مانند ۱، ۳ و ۵ یا ۱، ۵ و ۹ مقدار کمی اختصاص داده می‌شود (نجمی و همکاران، ۱۳۸۵). برای بیان دقیق‌تر این روابط چن و ونگ براساس منطق فازی رابطهٔ ۳ را ارائه دادند.

رابطهٔ ۳)
$$\widetilde{R}_{ij}^{'} = \frac{\sum_{l=1}^{J} \widetilde{R}_{il} \otimes \widetilde{r}_{lj}}{\sum_{j=1}^{J}\sum_{l=1}^{J} \widetilde{R}_{il} \otimes \widetilde{r}_{lj}}$$

با استفاده از مفهوم برش آلفا می‌توان بین مجموعه‌های معمولی و فازی ارتباط برقرار کرد. زیرمجموعهٔ عناصری از مجموعهٔ فازی A که درجهٔ عضویت آنها حداقل به بزرگی α باشد (α > ۰) را «برش A» می‌گویند و با $A_\alpha$ نشان می‌دهند (مؤمنی، ۱۳۹۱). بنابراین:

$$A_a = \{x \in X \mid \mu_A(x) \geq \alpha\}$$

آلفا برش روابط فازی $\tilde{R}_{il}$، براساس یک حد پایین و بالا $[(R_{il})_\alpha^L , (R_{il})_\alpha^U]$ به‌صورت رابطهٔ ۴ تعریف می‌شود:

رابطهٔ ۴-۱)
$$(R_{il})_a^L = \inf\{x \mid \mu_{\tilde{R}il}(x) \geq \alpha\}$$

رابطهٔ ۴-۲)
$$(R_{il})_a^U = \sup\{x \mid \mu_{\tilde{R}il}(x) \geq \alpha\}$$

در رابطهٔ بالا $\mu_{\tilde{R}_{il}}(x)$ درجهٔ عضویت x در مجموعه $\tilde{R}_{il}$ است. چن و ونگ نیز رابطهٔ ۳ را براساس سطوح برش مختلف به‌صورت رابطهٔ نرمال‌شدهٔ ۵، تعدیل کردند.

رابطهٔ ۵-۱)
$$m(R_{ij}^{'})_a^L = \frac{\sum_{l=1}^{J} (R_{il})_a^L (r_{lj})_a^L}{\sum_{\substack{m=1 \\ m\neq j}}^{J}\sum_{J=1}^{J} (R_{iJ})_a^U (r_{Jm})_a^U + \sum_{j=1}^{J} (R_{iJ})_a^L (r_{Jm})_a^L}$$

رابطهٔ ۵-۲)
$$m(R_{ij}^{'})_a^U = \frac{\sum_{l=1}^{J} (R_{il})_a^U (r_{lj})_a^U}{\sum_{\substack{m=1 \\ m\neq j}}^{J}\sum_{J=1}^{J} (R_{il})_a^L (_{lm})_a^L + \sum_{j=1}^{J} (R_{il})_a^U (r_{lj})_a^U}$$

Archive of SID

www.SID.ir

تعیین میزان اهمیت هر مشخصهٔ فنی باعث می‌شود تا هریک از آنها که وزن بیشتری دارند، بیشتر در کانون توجه قرار گیرند و بهتر اجرا شوند؛ زیرا رضایت مشتری را دربردارند. برای اولویت‌بندی میزان اهمیت هر مشخصهٔ فنی چن و ونگ رابطهٔ ۶ را پیشنهاد کردند.

رابطهٔ ۶)
$$(W_j)_a = [W_{j_a}^{L}, W_{j_a}^{U}] = \left[ \frac{\sum_{j}^{I} (K_i)_a^L .m(R_{ij}^{'})_a^L}{\sum_{j=1}^{I} (K_i)_a^U}, \frac{\sum_{j=1}^{I} (K_i)_a^U .m(R_{ij}^{'})_a^U}{\sum_{j=1}^{I} (K_i)_a^L} \right]$$

در رابطهٔ ۶، $W_j$ میزان اهمیت هریک از $DR_j$ هاست. برای اولویت‌بندی نیازهای مشتریان ($k_i$) می‌توان از روش دلفی فازی[1] استفاده کرد (کارساک، ۲۰۰۴). از آنجا که میزان اهمیت همهٔ مشتریان برای سازمان‌ها برابر نیست، می‌توان علاوه‌بر اولویت‌بندی نیازهای آنها، خود مشتریان را نیز اولویت‌بندی کرد (بوتانی، ۲۰۰۶). گام‌های زیر مراحل اجرای روش دلفی فازی است:

گام ۱. ابتدا به مشتریان ویژه‌ای که نظر آنها به‌عنوان خبره جمع‌آوری شده است، وزن داده می‌شود. این اوزان توسط تیم QFD به مشتریان اختصاص می‌یابد.

رابطهٔ ۷)
$$\tilde{f}_m = [(f_m)^a, (f_m)^b, (f_m)^c]$$

در رابطهٔ ۷، $\tilde{f}_m$ وزن مشتری mام است.

گام ۲. نظر خبرگان به‌صورت بیانات زبانی جمع‌آوری‌شده، سپس به اعداد فازی مثلثی تبدیل می‌شود.

رابطهٔ ۸)
$$\tilde{k}_{i,m} = \left[ (k_{i,m})^a, (k_{i,m})^b, (k_{i,m})^c \right]$$

$\tilde{k}_{i,m}$ بیان‌های زبانی خبرگان است که به اعداد فازی مثلثی تبدیل شده است. $\tilde{k}_{i,m}$ به‌معنای نظر مشتری mام ($\mathrm{Cust_m}$, m = ۱, ۲, …, n) نسبت به نیاز iام ($\mathrm{CR_i}$, i = ۱, ۲, …, I) است.

گام ۳. میانگین موزون[2] نظر خبرگان محاسبه می‌شود.

رابطهٔ ۹)
$$\tilde{k}_i = [(k_i)^a, (k_i)^b, (k_i)^c] = \sum_{m=1}^{n} (k_{i,m})^a .(f_m)^a, \sum_{m=1}^{n} (k_{i,m})^b .(f_m)^b, \sum_{m=1}^{n} (k_{i,m})^c .(f_m)^c$$

گام ۴. اختلاف بین گام ۲ و گام ۳ محاسبه‌شده و نتایج آن برای بازنگری دوباره برای خبرگان ارسال می‌شود.

1. Fuzzy delphi method
2. Weighted average

Archive of SID

www.SID.ir

گام ۵. نظرهای اصلاح‌شدهٔ خبرگان دوباره جمع‌آوری می‌شود.

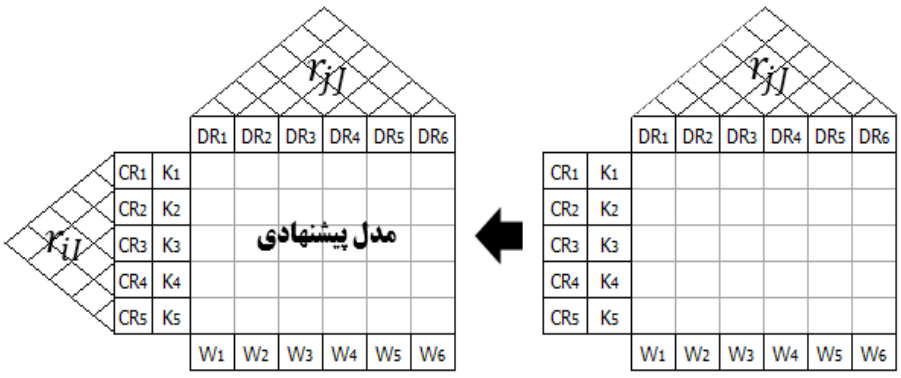
رابطهٔ ۱۰)
$$\tilde{k}_{i,m} = [(k'_{i,m})^a, (k'_{i,m})^b, (k'_{i,m})^c]$$

گام ۶. میانگین موزون نظرهای اصلاح‌شده مانند گام ۳ محاسبه می‌شود. اختلاف بین میانگین نظرهای اولیه و اصلاح‌شده براساس رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود (بوجادزیو، ۲۰۰۷).

رابطهٔ ۱۱)
$$d(\tilde{\tilde{k}}_i, \tilde{\tilde{k}}'_i = 0/5\{\max\left[\left|(\tilde{\tilde{k}}_i)^a - (\tilde{\tilde{k}}'_i)^a\right|, \left|(\tilde{\tilde{k}}_i)^c - (\tilde{\tilde{k}}'_i)^c\right|\right] + \left|(\tilde{\tilde{k}}_i)^b - (\tilde{\tilde{k}}'_i)^b\right|\}$$

گام ۷. این مراحل باید تا جایی ادامه داده شود که اختلاف بین میانگین نظرهای اولیه و اصلاح‌شده کمتر از ۰/۲ شود ($d(\tilde{\tilde{k}}_i, \tilde{\tilde{k}}'_i) < 0/2$).

با توجه به رابطه‌های بالا، $W_j$ براساس ماتریس روابط بین الزامات فنی و نیازهای مشتری ($CR_i$ و $DR_j$) و ماتریس همبستگی بین الزامات فنی با خودشان ($DR_j$ و $DR_J$) تعیین می‌شود. در این مقاله علاوه‌بر موارد فوق، ماتریس همبستگی بین نیازهای مشتریان با خودشان ($CR_j$ و $CR_J$) نیز در مدل QFD لحاظ شده است. شکل ۳ ماتریس خانهٔ کیفیت براساس مدل پیشنهادی را نشان می‌دهد.




**شکل ۳. ماتریس خانهٔ کیفیت براساس مدل پیشنهادی**

www.SID.ir

برای به‌دست آوردن ماتریس روابط ($R_{ij}$)، ابتدا ماتریس روابط براساس رابطهٔ ۵ محاسبه می‌شود. سپس با توجه به خروجی آنها، ماتریس روابط جدید ($R"_{ij}$) با در نظر گرفتن همبستگی بین نیازهای مشتریان با خودشان در رابطهٔ ۱۲ به‌دست می‌آید.

رابطهٔ ۱-۱۲)
$$m(R^{"}_{Jf})^{L}_{a} = \frac{\sum_{l=1}^{I} (R_{if})^{L}_{a} (r_{iJ})^{L}_{a}}{\sum_{\substack{m=1 \\ m \neq j}}^{I} \sum_{J=1}^{I} (Rif)^{U}_{a} (r_{im})^{U}_{a} + \sum_{j=1}^{I} (R_{ij})^{L}_{a} (r_{iJ})^{L}_{a}}$$

رابطهٔ ۲-۱۲)
$$m(R^{"}_{Jf})^{U}_{a} = \frac{\sum_{l=1}^{I} (R_{if})^{U}_{a} (r_{iJ})^{U}_{a}}{\sum_{\substack{m=1 \\ m \neq j}}^{I} \sum_{J=1}^{I} (R_{if})^{L}_{a} (r_{im})^{L}_{a} + \sum_{j=1}^{I} (R_{if})^{U}_{a} (r_{iJ})^{U}_{a}}$$

درنهایت رابطهٔ ۶ نیز برای محاسبهٔ وزن مشخصه‌های فنی به‌صورت زیر تغییر می‌یابد:

رابطهٔ ۱۳)
$$(W_j)_a = [W^{L}_{j_a}, W^{U}_{j_a}] = \left[ \frac{\sum^{I}_{j=1} = (K_i)^{L}_{a} . m(R^{*}_{ij})^{L}_{a}}{\sum^{I}_{j=1} (K_i)^{U}_{a}}, \frac{\sum^{I}_{j=1} (K_i)^{U}_{a} . m(R^{*}_{ij})^{U}_{a}}{\sum^{I}_{j=1} (K_i)^{L}_{a}} \right]$$

## مدل برنامه‌ریزی خطی فازی

میزان اجرای هر یک از مشخصه‌های فنی، براساس اولویت‌بندی آنها صورت می‌گیرد. چن و ونگ (۲۰۰۳) دو مدل برنامه‌ریزی خطی فازی براساس حد بالا و پایین آلفا برش برای تعیین درصد بهینهٔ اجرای هریک از مشخصه‌های فنی تولید به‌صورت زیر ارائه کردند.

رابطهٔ ۱-۱۴)
$$(Z)^{L}_{a} = \max \sum_{j=1}^{J} (W_j)^{L}_{a} . x_{j,}$$
$$s.t:$$
$$\sum_{j=1}^{J} (c_j)^{U}_{a} . x_j \leq B,$$
$$(W_s)^{U}_{a} . x_s - (W_P)^{u}_{a} . x_p \geq 0,$$
$$0 \leq \varepsilon_j \leq x_j \leq \tau_j \leq 1, \forall_j, s, p \in \{1,2,..., J\}$$

Archive of SID

www.SID.ir

$$(Z)_a^U = \max \sum_{j=1}^{J} (W_j)_a^U . x_j,$$

$$s.t:$$

$$\sum_{j=1}^{J} (c_j)_a^L . x_j \le B, \qquad \text{رابطهٔ ۲-۱۴)}$$

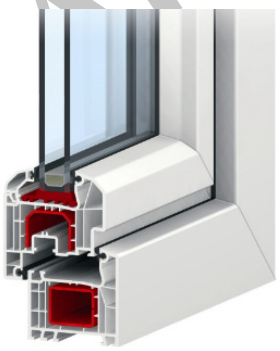
$$(W_s)_a^U . x_s - (W_P)_a^L . x_p \ge 0,$$

$$0 \le \varepsilon_j \le x_j \le \tau_j \le 1, \forall_j, s, p \in \{1,2,...,J\}$$

متغیر تصمیم ($x_j$) در مدل بالا میزان اجرای بهینهٔ هریک از الزامات فنی تولید است. $x_j = ۰$ به‌معنای این است که آن مشخصهٔ فنی تأثیری در رضایت مشتری ندارد و درصد اجرای آن صفر است و $x_j = ۱$ نشان می‌دهد مشخصهٔ فنی مد نظر بیشترین تأثیر را در رضایت مشتری دارد و به‌طور کامل اجرا می‌شود. تابع هدف نیز حداکثرکردن رضایت مشتری است. هر مشخصهٔ فنی که وزن بیشتری دارد، بیشتر باید اجرا شود تا رضایت مشتری حاصل شود. محدودیت اول، محدودیت بودجه است که مجموع هزینهٔ تغییرات نباید از بودجهٔ کل (B) بیشتر شود. $C_j$ نیز هزینهٔ هر واحد اجرای $x_j$ است. محدودیت دوم، محدودیت ترجیح الزامات فنی است، یعنی درصورتی که مشخصهٔ فنی سوم نسبت به مشخصهٔ فنی اول ترجیح داده شود، این محدودیت به‌صورت $(W_3)_a^U x_3 - (W_1)_a^L x_1 \ge 0$ نوشته می‌شود. در واقع $W_s$ وزن مشخصهٔ فنی مربوط به اولویت بیشتر، $W_p$ مشخصهٔ فنی مربوط به اولویت کمتر، $\varepsilon_j$ میزان رقابت‌پذیری هر الزام فنی بین رقبا و $\tau_j$ معرف میزان دشواری اجرای هر الزام فنی است. درنهایت با حل این مدل در نرم‌افزار Lingo 9.0 جواب‌های بهینه مدل به‌دست می‌آید.

## مثال عددی

مطالعهٔ موردی این مقاله مربوط به صنعت ساختمان بخش در و پنجره UPVC است. شکل ۴ نمای برش‌خوردهٔ محصول را نشان می‌دهد.



**شکل ٤. محصول درب و پنجره UPVC**

Archive of SID

www.SID.ir

اعضای تیم QFD متشکل از یک مهندس صنایع، مدیر فروش، سرپرست تولید و سرپرست کنترل کیفیت‌اند که وظیفهٔ تکمیل‌کردن ماتریس خانهٔ کیفیت را دارند. خبرگان این تحقیق نیز مشتریان سازمان هستند که جدول‌های ۵ و ۶ براساس نظر آنها تکمیل شده است. جدول‌های ۱، ۲ و ۳ نیز مشتریان و میزان اهمیت آنها برای سازمان، خواسته‌های مشتریان و مشخصه‌های فنی تولید را نشان می‌دهد.

**جدول ۱. مشتریان و میزان اهمیت آنها برای سازمان**

| | مشتریان | درجهٔ اهمیت برای سازمان (بیانات زبانی) | درجهٔ اهمیت برای سازمان (فازی) |
|---|---|---|---|
| Cust 1 | ۱. پیمانکاران ساختمانی | زیاد | H |
| Cust 2 | ۲. مشتریان عادی | متوسط | M |
| Cust 3 | ۳. مشتریان نمایندگی | زیاد | H |
| Cust 4 | ۴. انبوه سازان | خیلی زیاد | VH |
| Cust 5 | ۵. مشتریان درصدی | زیاد | H |

**جدول ۲. خواسته‌های مشتریان**

| | |
|---|---|
| CR 1 | ماندگاری محصول |
| CR 2 | زیبایی و تنوع |
| CR 3 | عدم بخار بین شیشه‌ها |
| CR 4 | روانی دستگیره |
| CR 5 | عایق گرما و صدا |

**جدول ۳. مشخصه‌های فنی تولید**

| | |
|---|---|
| DR 1 | نوع و مقدار گاز |
| DR 2 | چسب حاشیهٔ شیشه |
| DR 3 | ضخامت شیشه |
| DR 4 | نوع یراق‌آلات |
| DR 5 | نوع پروفیل |

**جدول ٤. اعداد فازی مثلثی**

| بیانات زبانی | اعدادفازی مثلثی |
|---|---|
| VH | (۰/۸ ، ۱ ، ۱) |
| H | (۰/۶ ، ۰/۸ ، ۱) |
| M | (۰/۳، ۰/۵ ، ۰/۷) |
| L | (۰، ۰/۲ ، ۰/۴) |
| VL | (۰ ، ۰ ، ۰/۲) |

ابتدا نیازهای مشتریان به روش دلفی فازی اولویت‌بندی می‌شود. محاسبات مقاله براساس اعداد فازی مثلثی جدول ۴ است. با توجه به جدول ۵ نظرهای اولیهٔ خبرگان جمع‌آوری شدند و

Archive of SID

www.SID.ir

میانگین موزون آنها به‌دست آمد. در ستون Expert وزن‌هایی اختصاص‌داده شدهٔ خبرگان (درجه اهمیت) نوشته شده است.

**جدول ۵. نظرهای اولیه خبرگان**

| | Expert | CR1 | CR2 | CR3 | CR4 | CR5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Cust 1 | H | L | M | VH | L | L |
| Cust 2 | M | L | M | H | L | L |
| Cust 3 | H | VL | L | H | M | L |
| Cust 4 | VH | M | L | H | M | H |
| Cust 5 | H | L | H | H | H | M |

| | Expert | | | CR1 | | | CR2 | | | CR3 | | | CR4 | | | CR5 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cust 1 | ۰/۶ | ۰/۸ | ۱ | ۰ | ۰/۲ | ۰/۴ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۷ | ۰/۸ | ۱ | ۱ | ۰ | ۰/۲ | ۰/۴ | ۰ | ۰/۲ | ۰/۴ |
| Cust 2 | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۷ | ۰ | ۰/۲ | ۰/۴ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۷ | ۰/۶ | ۰/۸ | ۱ | ۰ | ۰/۲ | ۰/۴ | ۰ | ۰/۲ | ۰/۴ |
| Cust 3 | ۰/۶ | ۰/۸ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰/۲ | ۰ | ۰/۲ | ۰/۴ | ۰/۶ | ۰/۸ | ۱ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۷ | ۰ | ۰/۲ | ۰/۴ |
| Cust 4 | ۰/۸ | ۱ | ۱ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۷ | ۰ | ۰/۲ | ۰/۴ | ۰/۶ | ۰/۸ | ۱ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۷ | ۰/۶ | ۰/۸ | ۱ |
| Cust 5 | ۰/۶ | ۰/۸ | ۱ | ۰ | ۰/۲ | ۰/۴ | ۰/۶ | ۰/۸ | ۱ | ۰/۶ | ۰/۸ | ۱ | ۰/۶ | ۰/۸ | ۱ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۷ |
| AVERAGE | | | | ۰/۰۲ | ۰/۰۹ | ۰/۱۹ | ۰/۱۶ | ۰/۱۶ | ۰/۲۹ | ۰/۱۸ | ۰/۳۲ | ۰/۴۷ | ۰/۰۷ | ۰/۱۸ | ۰/۳۰ | ۰/۰۶ | ۰/۱۶ | ۰/۲۷ |

اختلاف بین نظرها با میانگین موزون آنها محاسبه می‌شود و نتایج برای بازنگری دوباره برای خبرگان ارسال می‌شود. نظرهای اصلاح‌شدهٔ خبرگان به‌صورت جدول ۶ است.

**جدول ٦. نظرهای اصلاح‌شدهٔ خبرگان**

| | Expert | CR۱ | CR۲ | CR۳ | CR۴ | CR۵ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Cust۱ | H | L | H | M | L | L |
| Cust۲ | M | M | L | H | M | M |
| Cust۳ | H | L | L | H | M | L |
| Cust۴ | VH | L | L | H | M | L |
| Cust۵ | H | H | L | H | H | L |

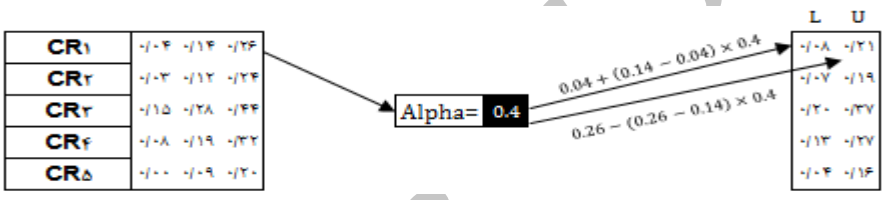
| | Expert | | | CR۱ | | | CR۲ | | | CR۳ | | | CR۴ | | | CR۵ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cust۱ | ۰/۶ | ۰/۸ | ۱ | ۰ | ۰/۲ | ۰/۴ | ۰/۶ | ۰/۸ | ۱ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۷ | ۰ | ۰/۲ | ۰/۴ | ۰ | ۰/۲ | ۰/۴ |
| Cust۲ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۷ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۷ | ۰ | ۰/۲ | ۰/۴ | ۰/۶ | ۰/۸ | ۱ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۷ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۷ |
| Cust۳ | ۰/۶ | ۰/۸ | ۱ | ۰ | ۰/۲ | ۰/۴ | ۰ | ۰/۲ | ۰/۴ | ۰/۶ | ۰/۸ | ۱ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۷ | ۰ | ۰/۲ | ۰/۴ |
| Cust۴ | ۰/۸ | ۱ | ۱ | ۰ | ۰/۲ | ۰/۴ | ۰ | ۰/۲ | ۰/۴ | ۰/۶ | ۰/۸ | ۱ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۷ | ۰ | ۰/۲ | ۰/۴ |
| Cust۵ | ۰/۶ | ۰/۸ | ۱ | ۰/۶ | ۰/۸ | ۱ | ۰ | ۰/۲ | ۰/۴ | ۰/۶ | ۰/۸ | ۱ | ۰/۶ | ۰/۸ | ۱ | ۰ | ۰/۲ | ۰/۴ |
| AVERAGE | | | | ۰/۰۴ | ۰/۱۴ | ۰/۲۶ | ۰/۰۳ | ۰/۱۲ | ۰/۲۴ | ۰/۱۵ | ۰/۲۸ | ۰/۴۴ | ۰/۰۸ | ۰/۱۹ | ۰/۳۲ | ۰/۰۰ | ۰/۰۹ | ۰/۲۰ |

Archive of SID

www.SID.ir

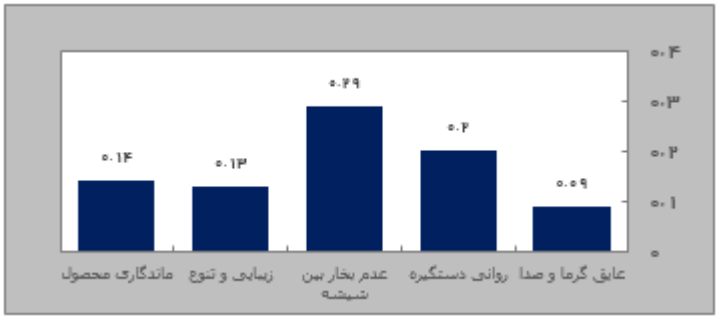
با توجه به رابطهٔ ۱۱ اختلاف بین دو میانگین موزون محاسبه می‌شود. از آنجا که اختلاف محاسبه کمتر از ۰/۲ است، آخرین میانگین محاسبه‌شده به‌عنوان وزن نیازهای مشتریان انتخاب می‌شود. حد بالا و پایین اولویت‌های مشتریان براساس آلفا برش به‌صورت رابطهٔ ۱۵ به‌دست می‌آید. همچنین جدول ۷ نتایج اولویت‌بندی نیازهای مشتریان را در سطح α = ۱ نشان می‌دهد.

رابطهٔ ۱۵)
$$\text{عدد فازی مثلثی} = (a, b, c) \begin{cases} \text{حدپایین} = a + (b - a) \times \alpha \\ \text{حدبالا} = c - (c - b) \times \alpha \end{cases}$$




**جدول ۷. اولویت‌بندی نیازهای مشتریان در سطح α = ۱**

| ماندگاری محصول (CR1) | زیبایی و تنوع (CR2) | عدم بخار بین شیشه (CR3) | روانی دستگیره (CR4) | عایق گرما و صدا (CR5) |
|---|---|---|---|---|
| ۰/۱۴ | ۰/۱۳ | ۰/۲۹ | ۰/۲۰ | ۰/۰۹ |

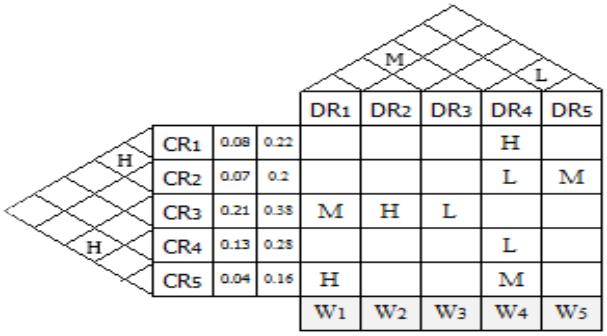



**شکل ۵. اولویت‌بندی نیازهای مشتریان در سطح α = ۱**

Archive of SID

www.SID.ir

شکل ۶ ماتریس خانهٔ کیفیت براساس مدل پیشنهادی که در نهایت تیم QFD آن را تکمیل می‌کند، به نمایش گذاشته است.

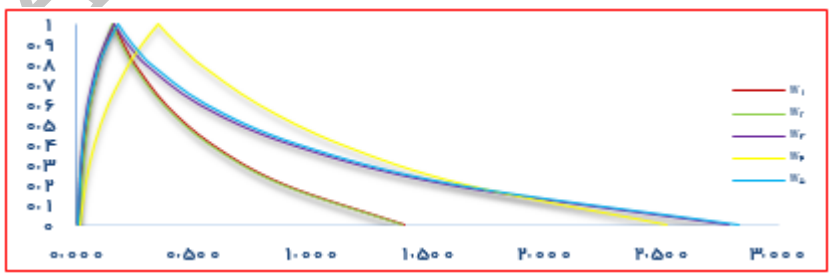



**شکل ٦. ماتریس خانهٔ کیفیت براساس مدل پیشنهادی**

با توجه به رابطه‌های ۵، ۱۲و ۱۳، مقادیر $W_j$ برای سطوح مختلف برش آلفا به‌صورت جدول ۸ است. نمایش اعداد فازی مثلثی $W_j$، در شکل۷ نشان داده شده است.

**جدول ۸. حد بالا و پایین $W_j$ ها**

| | W ۱ | | W ۲ | | W ۳ | | W ۴ | | W ۵ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Alpha-cut | L | U | L | U | L | U | L | U | L | U |
| ۱ | ۰/۱۵۸ | ۰/۱۵۸ | ۰/۱۵۸ | ۰/۱۵۸ | ۰/۱۶۲ | ۰/۱۶۲ | ۰/۳۴۸ | ۰/۳۴۸ | ۰/۱۷۵ | ۰/۱۷۵ |
| ۰.۹۵ | ۰/۱۴۱ | ۰/۱۷۷ | ۰/۱۳۹ | ۰/۱۷۵ | ۰/۱۳۹ | ۰/۱۸۹ | ۰/۳۱۲ | ۰/۳۸۷ | ۰/۱۵۱ | ۰/۲۰۴ |
| ۰.۹ | ۰/۱۲۵ | ۰/۱۹۸ | ۰/۱۳۴ | ۰/۱۹۵ | ۰/۱۱۹ | ۰/۲۲ | ۰/۲۷۹ | ۰/۴۳ | ۰/۱۳ | ۰/۲۳۶ |
| ۰.۸۵ | ۰/۱۱۲ | ۰/۲۲۱ | ۰/۱۱ | ۰/۲۱۵ | ۰/۱۰۲ | ۰/۲۵۵ | ۰/۲۴۹ | ۰/۴۷۷ | ۰/۱۱۱ | ۰/۲۷۳ |
| ۰.۸ | ۰/۰۹۹ | ۰/۲۴۷ | ۰/۰۹۸ | ۰/۲۴۳ | ۰/۰۸۷ | ۰/۲۹۸ | ۰/۲۲۲ | ۰/۵۲۷ | ۰/۰۹۵ | ۰/۳۱۵ |
| ۰.۶ | ۰/۰۶۱ | ۰/۳۷۸ | ۰/۰۶۱ | ۰/۳۷۳ | ۰/۰۴۶ | ۰/۵۲۵ | ۰/۱۳۴ | ۰/۷۷۶ | ۰/۰۵ | ۰/۵۵۱ |
| ۰.۴ | ۰/۰۳۷ | ۰/۵۷۷ | ۰/۰۳۸ | ۰/۵۷ | ۰/۰۲۳ | ۰/۹۱۶ | ۰/۰۷۵ | ۰/۱۳ | ۰/۰۲۵ | ۰/۹۴۵ |
| ۰.۲ | ۰/۰۲۲ | ۰/۸۸۹ | ۰/۰۲۳ | ۰/۸۷۹ | ۰/۰۱ | ۰/۵۸۷ | ۰/۰۳۶ | ۰/۶۵۹ | ۰/۰۱۲ | ۰/۶۱۹ |
| ۰ | ۰/۰۱۲ | ۰/۴۰۱ | ۰/۰۱۳ | ۰/۳۹۳ | ۰/۰۰۴ | ۰/۸۸۶ | ۰/۰۱۳ | ۰/۵۲۱ | ۰/۰۰۵ | ۰/۸۲۸ |




**شکل ۷. اعداد مثلثی فازی برای $W_j$ ها**

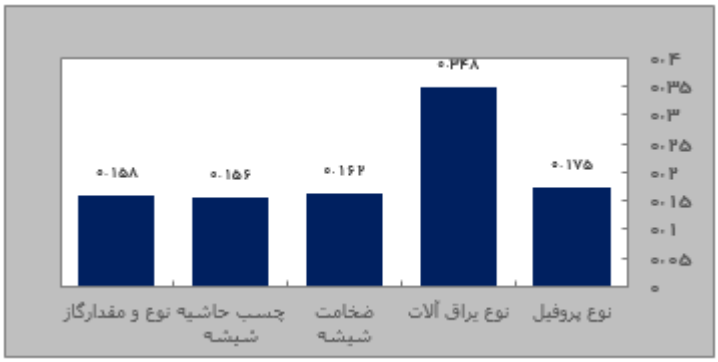
Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۹ و شکل ۸ نتایج اولویت‌بندی الزامات فنی تولید را در سطح $\alpha = ۱$ نشان می‌دهد.

**جدول ۹. اولویت‌بندی الزامات فنی تولید در سطح $\alpha = ۱$**

| نوع و مقدار گاز (DR1) | چسب حاشیهٔ شیشه (DR2) | ضخامت شیشه (DR3) | نوع یراق‌آلات (DR4) | نوع پروفیل (DR5) |
|---|---|---|---|---|
| ۰/۱۵۸ | ۰/۱۵۶ | ۰/۱۶۲ | ۰/۳۴۸ | ۰/۱۷۵ |




**شکل ۸. اولویت‌بندی الزامات فنی تولید در سطح $\alpha = ۱$**

پس از محاسبهٔ اولویت وزن $W_j$ ها، باید هزینهٔ اجرا، میزان دشواری و میزان رقابت‌پذیری هرالزام فنی محاسبه شود. جدول ۱۰ هزینهٔ اجرا، میزان دشواری و رقابت‌پذیری هر واحد $DR_j$ را نشان می‌دهد.

**جدول ۱۰. هزینهٔ اجرا، میزان دشواری و رقابت‌پذیری هر واحد اجرای $DR_j$**

| | هزینه | | | میزان رقابت پذیری | میزان دشواری |
|---|---|---|---|---|---|
| | بیانات زبانی هزینه | اعداد فازی | آلفا برش هزینه | میزان رقابت پذیری ($\varepsilon_j$) | میزان دشواری ($\tau_j$) |
| $DR_1$ | متوسط | ( ۰/۳ ۰/۵ ۰/۷ ) | [ ۰/۳+۰/۲ $\alpha$ , ۰/۷-۰/۲ $\alpha$ ] | ۰/۱ | ۱ |
| $DR_2$ | کم | ( ۰ ۰/۲ ۰/۴ ) | [ ۰+۰/۲ $\alpha$ ,۰/۴-۰/۲ $\alpha$] | ۰/۱ | ۱ |
| $DR_3$ | متوسط | ( ۰/۳ ۰/۵ ۰/۷ ) | [ ۰/۳+۰/۲ $\alpha$ , ۰/۷-۰/۲ $\alpha$ ] | ۰/۱ | ۱ |
| $DR_4$ | خیلی زیاد | ( ۰/۸ ۱ ۱ ) | [ ۰/۸+۰/۲ $\alpha$ , ۱ ] | ۰/۳ | ۱ |
| $DR_5$ | زیاد | ( ۰/۶ ۰/۸ ۱ ) | [ ۰/۶+۰/۲ $\alpha$ , ۱-۰/۲ $\alpha$ ] | ۰/۳ | ۱ |

در نهایت مدل برنامه‌ریزی خطی فازی را باید برای تمام سطوح برش آلفا نوشت تا جواب‌های بهینه برای هر برش آلفا به‌دست آید. مدل برنامه‌ریزی خطی فازی برای یکی از

Archive of SID

www.SID.ir

سطوح برش (مثلاً سطح برش ۰/۹ = α) به‌صورت زیر است که با حل آن در نرم‌افزار Lingo9/0 جواب‌های بهینه برای هر الزام فنی به‌دست می‌آید. جدول ۱۱ تفسیر جواب‌های مدل برنامه‌ریزی خطی فازی فوق را نشان می‌دهد.

$$(Z)_a^L = \max\{\ 0/125\ x_1 + 0/123\ x_2 + 0/119\ x_3 + 0/278\ x_4 + 0/129\ x_5$$
$$s.t:$$
$$0/52\ x_1 + 0/22\ x_2 + 0/52\ x_3 + 0/22\ x_4 + 0/82\ x_5 \le 1,$$
$$0/12\ x_5 - 0/19\ x_1 \ge 0,$$
$$x_1 \ge 0/1,$$
$$x_2 \ge 0/1,$$
$$x_3 \ge 0/1,$$
$$x_4 \ge 0/3,$$
$$x_5 \ge 0/3,$$
$$x_1 \ge 0/1,$$
$$x_2 \ge 0/1,$$
$$x_3 \ge 0/1,$$
$$x_4 \ge 0/1,$$
$$x_5 \ge 0/1,$$
$$x_1^* = 0/1, x_2^* = 1, x_3^* = 0/40, x_4^* = 1, x_5^* = 0/3, Z^* = 0/515$$
$$(Z)_a^U = \max\{\ 0/198\ x_1 + 0/195\ x_2 + 0/220\ x_3 + 0/430\ x_4 + 0/236\ x_5$$
$$s.t:$$
$$0/48\ x_1 + 0/18\ x_2 + 0/48\ x_3 + 0/18\ x_4 + 0/78\ x_5 \le 1,$$
$$0/236\ x_5 - 125\ x_1 \ge 0,$$
$$x_1 \ge 0/1,$$
$$x_2 \ge 0/1,$$
$$x_3 \ge 0/1,$$
$$x_4 \ge 0/3,$$
$$x_5 \ge 0/3,$$
$$x_1 \ge 0/1,$$
$$x_2 \ge 0/1,$$
$$x_3 \ge 0/1,$$
$$x_4 \ge 0/1,$$
$$x_5 \ge 0/1,$$
$$x_1^* = 0/1, x_2^* = 1, x_3^* = 0/74, x_4^* = 1, x_5^* = 0/3, Z^* = 0/880$$

**جدول ۱۱. تفسیر جواب‌های مدل برنامه‌ریزی خطی فازی**

| جواب بهینه | تفسیر |
|---|---|
| $x^*_{۱} = ۰/۱۰$ | ۱۰ درصد از الزام فنی تولید اول، یعنی نوع و مقدار گاز باید اجرا شود تا حداکثر رضایت مشتری با توجه به محدودیت‌های مسئله به‌دست آید. |
| $x^*_{۲} = ۱$ | ۱۰۰ درصد از الزام فنی تولید دوم یعنی چسب حاشیهٔ شیشه باید اجرا شود تا حداکثر رضایت مشتری با توجه به محدودیت‌های مسئله به‌دست آید. |
| $Z^* = ۰/۸۸۰$ (حد بالا) | با توجه به محدودیت‌های سازمان در برآورده‌کردن نیازهای مشتریان، حداکثر میزان رضایت مشتریان در این سازمان ۸۸ درصد است. |

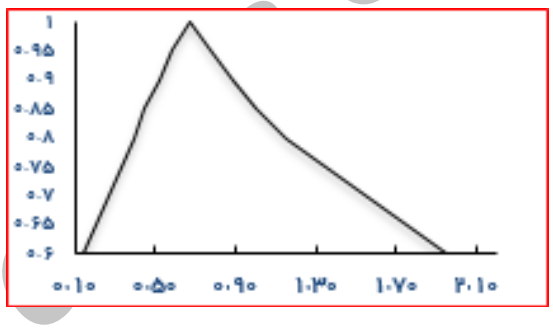
Archive of SID

www.SID.ir

با توجه به جواب‌های بهینهٔ به‌دست آمده از حل این مدل، جدول ۱۲ مقادیر مختلف $Z^*$ را به ازای آلفا برش‌های مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۹ نیز مشاهده می‌شود، مسئلهٔ برنامه‌ریزی خطی فوق به ازای آلفا برش‌های کمتر از ۰/۶ موجه نیست و تابع هدف نیز در دامنهٔ ۰/۱۴۵ تا ۱/۹۵۰ متغیر است.

**جدول ۱۲. حد بالا و پایین Z**

| | Max Z | |
|---|---|---|
| Alpha-cut | L | U |
| ۱ | ۰/۶۷۳ | ۰/۶۷۳ |
| ۰/۹۵ | ۰/۵۸۸ | ۰/۷۶۹ |
| ۰/۹ | ۰/۵۱۵ | ۰/۸۸۰ |
| ۰/۸۵ | ۰/۴۵۰ | ۱/۰۰۰ |
| ۰/۸ | ۰/۳۹۳ | ۰/۰۰۷ |
| ۰/۶ | ۰/۱۴۵ | ۰/۰۰۱ |
| ۰/۶ > | غیرموجه | غیرموجه |




**شکل ۹. اعداد مثلثی فازی برای مقادیر مختلف Z**

## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

گسترش عملکرد کیفیت، هنوز هم در بسیاری از صنایع یک فرایند جدید و نوین به‌شمار می‌رود. بنابراین هنگامی که شرکت‌ها، اهمیت انگیزهٔ مشتری را تشخیص دهند، گسترش عملکرد کیفیت به‌سرعت ابزار برنامه‌ریزی تولیدات و خدمات را در راستای رفع نیازهای مشتری به‌کار می‌گیرند. در هر محیط فازی می‌توان یک مسئلهٔ نظام ترجمان کیفی را بررسی کرد و راه‌حل‌های متفاوتی برای حل آن مسئله به‌کار گرفت تا بیشترین نزدیکی با نظر و خواستهٔ مشتری و نیز، هدف مدنظر

Archive of SID

www.SID.ir

تصمیم‌گیرنده یا (تصمیم‌گیرندگان) کسب شود. با توجه به ساختار مسئله و اعداد فازی مشخصه‌های فنی، هرچه عدد فازی مربوط به مشخصهٔ فنی به سمت راست متمایل‌تر شود، بهتر و ارجح‌تر است.

از آنجا که در پژوهش‌های مشابه، فقط به بحث همبستگی بین مشخصه‌های فنی پرداخته شده است، در این تحقیق تلاش شد تا علاوه‌بر لحاظ‌کردن همبستگی بین مشخصه‌های فنی، به ارتباطی که بین نیازهای مشتریان وجود دارد نیز پرداخته شود، و این نتایج تلاش به‌صورت یک مدل برنامه‌ریزی خطی ارائه شد.

در این تحقیق ابتدا نیازهای مشتریان به روش دلفی فازی اولویت‌بندی شدند. برای به‌دست‌آوردن ماتریس روابط ($R_{ij}$)، ابتدا محاسبات فازی براساس همبستگی بین الزامات فنی تولید انجام گرفت، سپس با توجه به خروجی آنها، ماتریس روابط جدید ($R''_{ij}$) با در نظرگرفتن همبستگی بین نیازهای مشتریان با خودشان محاسبه گردید و میزان اولویت هر الزام فنی مشخص شد. با توجه به اینکه میزان اجرای هر یک از مشخصه‌های فنی، براساس اولویت‌بندی آنها صورت می‌گیرد و نیز با در نظر گرفتن محدودیت‌های موجود (هزینهٔ اجرا، میزان دشواری و میزان رقابت‌پذیری هر مشخصهٔ فنی) مسئله به‌صورت یک مدل برنامه‌ریزی خطی، مدل‌سازی شد. جواب‌های این مدل، میزان اجرای بهینهٔ هر الزام فنی برای دستیابی به حداکثر رضایت مشتری است.

در این پژوهش با توجه به قابلیت‌های نرم‌افزار Excel و Lingo و ابزارهای کمکی برای جمع‌آوری نیازهای مشتریان مانند Google Form و...، تمام نیازهای مشتریان از یک فضای تحت وب به سرورهای سازمان انتقال یافت. در نهایت با توجه به روابط تعریف‌شده در نرم‌افزار Excel و مدل فرموله‌شده در Lingo، مسئله به راحتی حل شد و زمان لازم برای چنین محاسباتی در مقایسه با حل دستی به یک صدم کاهش یافت. این کاهش زمان محاسبات یکی از عوامل مهم در اجرای این پژوهش در سازمان مربوطه و سایر سازمان‌هاست.

با توجه به اینکه در قسمت سمت راست ماتریس خانهٔ کیفیت، ماتریس برنامه‌ریزی وجود دارد که به ارزیابی رقبا می‌پردازد و تحقیقات اندکی در این حوزه انجام گرفته است، پیشنهاد می‌شود محققان، استراتژی‌های مذاکره مانند استراتژی‌های رقابتی (چانه‌زنی توزیعی)، استراتژی‌های همکاری (چانه‌زنی ترکیبی)، استراتژی تبعیت و... را در ماتریس خانهٔ کیفیت لحاظ کنند.

به‌دلیل ماهیت متغیر نیازهای آدمی، خواسته‌ها و نیازها در طی زمان تغییر می‌کند. مدل کانو نیازهای متغیر را دسته‌بندی کرده است. از آنجا که میزان برآورده‌شدن نیازها برای افراد مختلف

Archive of SID

www.SID.ir

متفاوت است، بهتر است به نیازهایی که ارزش بالاتری دارند (مانند نیازهای انگیزشی) توجه شوند، ولی باید در نظر داشت که عمر این نیازها کم است و پس از مدت کوتاهی به نیازهای سطح پایین‌تر مانند نیازهای عملکردی و اساسی تبدیل می‌شوند و این سؤال را برای مدیران ایجاد می‌کند که «با توجه به عمر کم این نیازها، سرمایه‌گذاری روی آنها چقدر می‌تواند برای سازمان ارزش افزوده داشته باشد؟» و بسیاری از سؤال‌های دیگر که پاسخ به آنها برای پیشروبودن در صنعت مد نظر از رقبا حیاتی است. بنابراین پیشنهاد می‌شود این مهم با ترکیب مدل کانو و برنامه‌ریزی غیرخطی در QFD در کانون توجه قرار گیرد.

## *References*


Asgharpour, M. (2008). *Multiple Criteria Decision Making (MCDM)*. University of Tehran press (UTP). (*in Persian*)

Azadi, M., & Farzipoor Saen, R. (2013).A combination of QFD and imprecise DEA with enhanced Russell graph measure: A case study in healthcare. *Socio-Economic Planning Sciences*, 76(4); 281-291.

Azar, A. & Bizhan, N. (2007). Planning and Improvement of QFD Network Analysis and Goal Programing. *Modarres Human Science*, 12(37). (*in Persian*)

Bojadzive, G., & Bojadzive, M. (2007). Fuzzy Logic for Business, Finance, and Management, (2nd Edition). *World Scientific*, p.22.

Bottani, E. (2009). A fuzzy QFD approach to achieve agility. *International Journal of Production Economics* 119: 380–391.

Bottani, E., Rizzi, A. (2006). Strategic management of logistics service: A fuzzy QFD approach, *Int. J. Production Economics,* 103, 585–599.

Chen, L. H., & Ko, W-C. (2008). A Fuzzy Nonlinear Model for quality function deployment considering Kano's concept. *Mathematical and Computer Modeling*, 38, 559-570.

Chen, L. H., & Ko, W-C. (2009). Fuzzy Linear programing models for new product design QFD with FMEA. *Applied Mathematical Modeling*, 33, 663-647.

Chen, L. H., & Ko, W-C. (2010). Fuzzy linear programming models for NPD using a four-phase QFD activity process based on the means-end chain concept. *European Journal of Operational Research*, 201, 619-632.

Chen, L. H., & Weng, M-C. (2003). A Fuzzy Model for Exploiting Quality Function Deployment. *Mathematical and Computer Modeling*, 38, 559-570.


Archive of SID

www.SID.ir

Chen, Y., & Fung, R. Y. K., & Tang, J. (2006). Rating technical attributes in fuzzy QFD by integrating fuzzy weighted average method and fuzzy expected value operator. *European Journal of Operational Research*, 174, 1553-1566.

Delice, E. K., & Gungor, Z. (2009). A new mixed integer linear programming model for product development using quality function deployment. *Computers & Industrial Engineering*, 57, 906–912.

Fazli, S. & Alizade, M. (2008). Analysis and optimum Proritizing Customer Need's (Integrated Approch Kano and QFD). *Iranian Journal of Trade Studies*, (49): 145-170. (*in Persian*)

Fung, R. Y. K., & Tang, J., & Tu, Y., & Wang, D. (2010). Product design resources optimization using a non-linear fuzzy quality function deployment model. *International Journal of Production Research*, 40(3): 583-599.

Hamtami, H. & Ranjbar, M. (2008). Principle of Fuzzy Modeling. *Shahid Bahonar University of Kerman Press*. (*in Persian*)

Iraj, N. & Ali, B. (2009). Applicaion of QFD to Identify the Main Feature of Web Design Using Fuzzy Topsis. *Journal of Industrial Management*, 4(9). (*in Persian*)

Jia, G. Z., & and M. Bai. (2010). An approach for manufacturing strategy development based on fuzzy-QFD. *Computers & Industrial Engineering* 60 (3): 445-454.

Kahraman, C., & Ertay, T., & Buyukozkan, G. (2006). A fuzzy optimization model for QFD planning process using analytic network approach. *European Journal of Operational Research*, 171, 390-411.

Karsak, E. E., & Dursun, M. (2014). An integrated supplier selection methodology incorporating QFD and DEA with imprecise data. *Expert Systems with Applications*, 41, 6995–7004.

Karsak, E. E., (2004). Fuzzy multiple objective decision making approach to prioritize design requirements in quality function deployment. *int. j. prod. res.,* 42(18): 3957–3974.

Khademi, Z. H., & Zarei, M., & Sadeghieh, A., & Owlia, M. S. (2010). Ranking the strategic actions of Iran mobile cellular telecommunication using two models of fuzzy QFD. *Telecommunications Policy*, 34, 747-759.

Liu, Y., & Zhou, J., & Chen, Y. (2014). Using Fuzzy Non-linear Regression to Identify the Degree of Compensation among Customer Requirements in QFD. *Neurocomputing.*

Lotfizadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets, *Information and Control,* 8, 338–353.

Archive of SID

www.SID.ir

Luo, X. G., & Kwong, C. K., & Tang, J.F. (2010) .Determining optimal levels of engineering characteristics in quality function deployment under multi-segment market. *Computers & Industrial Engineering*, 59, 126–135.

Mehregan, M. & ghasemy, M. (2002). Using Kano's Model in Deteminig Quality Score Industrial Copmanies. *Management Knowledge*, 15(56). (*in Persian*)

Momeni, M. (2012). The New Topics of Operations Research. *Published By Author*. (*in Persian*)

Najmi, M. & Majid, E. & Kianfar, F. (2006). Prioritizing technical Characteristics in QFD using Fuzzy Topsis. *Industirl Engineering and Management Journal*, (34): 3-9. (*in Persian*)

Nourosana, R. & asgharpour, M. & Nasiri, Zh. (2005). Prioritizing Customer Requirment's in QFD. *International Journal of Engineering Science*, (2): 21-27. (*in Persian*)

Prasad, K. G. D., & Subbaiah, K. V., & Narayana Rao, K. (2014). Supply chain design through QFD-based optimization. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 25, 712 – 733.

Rezaii, K. & Ashtiani, H. & Houshiar, M. (2005). QFD "Customer Oriented Approach to Design and Improve Product Quality. *Atena Press*. (*in Persian*)

Roghanian, E., & Alipour, M. (2014). A fuzzy model for achieving lean attributes for competitive advantages development using AHP-QFD-PROMETHEE. *J Ind Eng Int*, 10:68.

Sener, Z., & Karsak, E. E. (2011). A combined fuzzy linear regression and fuzzy multiple objective programming approach for setting target levels in quality function deployment. *Expert Systems with Applications*, 38, 3015–3022.

Wang, Y. M., & Chin, K. S. (2011). Technical importance ratings in fuzzy QFD by integrating fuzzy normalization and fuzzy weighted average. *Computers and Mathematics with Applications*, 62, 4207-4221.

Wasserman, G. S. (1993). On how to prioritize design requirements during the QFD planning process. *IIE Transactions*, 25 (3), 59–65.

Yang, Z., & Chen, Y. (2014). Fuzzy Optimization Modeling Approach for QFD-Based New Product Design. *Journal of Industrial Engineering*, Article ID 548271.

Archive of SID

www.SID.ir