پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری
دوره ۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷

پیاده‌سازی مدل رگرسیون خطی فازی با استفاده از مقدار h بهینه برای شناسایی روابط عملکردی در QFD

منیره احمدی منش[۱]، فاطمه خریدار[۲]، زهرا ناجی عظیمی[۳*]

۱- دانشجوی دکترای مدیریت گرایش تحقیق در عملیات، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- دانشجوی دکترای مدیریت گرایش تحقیق در عملیات، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳- دانشیار گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

دریافت: ۱۳۹۶/۵/۱۵ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۳۰

چکیده

امروزه مهم‌ترین جنبه طراحی محصول، طراحی بر اساس نیازها و خواسته‌های مشتریان است؛ ازاین‌رو، یکی از روش‌هایی که به‌منظور افزایش رضایت مشتری مورداستفاده قرار می‌گیرد، رویکرد گسترش عملکرد کیفیت (QFD) است. در برنامه‌ریزی QFD به دلیل ابهام و نادقیق بودن ویژگی‌ها در روابط، اغلب ضرایب فازی مورداستفاده قرار می‌گیرند؛ لذا در این تحقیق برای شناسایی روابط کارکردی غیردقیق و مبهم بین نیازمندی‌های مشتری و مشخصه‌های مهندسی، از رویکرد رگرسیون خطی فازی استفاده شد. در این رویکرد، در حالت داده‌های غیرفازی، مقادیر بهینه پارامترها به‌طوری تعیین می‌شود که مجموعه خروجی مدل رگرسیون دارای درجه عضویت بزرگ‌تر یا مساوی h باشند که این مقدار، میزان فازی‌بودن خروجی مدل رگرسیون فازی را نشان می‌دهد. در این مطالعه، هدف استفاده از مدل رگرسیون خطی فازی، شناسایی روابط کارکردی در QFD با مقدار h بهینه در شرکت صنعتی لاماالکترونیک است. نتایج این مطالعه حاکی از آن است که مقادیر گستره ضرایب در حالت h بهینه، نسبت به زمانی که این مقدار صفر است، جواب‌های بهتری داده و قابلیت اطمینان سیستم را افزایش می‌دهد.

---

* نویسنده مسئول مقاله: E-mail: Znajiazimi@um.ac.ir

واژگان کلیدی: گسترش عملکرد کیفیت؛ روابط عملکردی؛ مدل رگرسیون خطی فازی؛ h بهینه.

۱- مقدمه

اکنون در اقتصاد جهانی مشتریان بقای سازمان را رقم می‌زنند. سازمان‌ها دیگر نمی‌توانند نسبت به انتظارها و خواسته‌های مشتریان بی‌تفاوت باشند. آن‌ها باید همه فعالیت‌ها و توانمندی‌های خود را متوجه مشتری کنند؛ چراکه تنها منبع برگشت سرمایه مشتریان هستند [۱]. بنابراین، امروزه مهم‌ترین جنبه طراحی محصول، طراحی بر اساس نیازها و خواسته‌های مشتریان است. طراحی محصول طبق انتظارات مشتریان نیاز به طرح و برنامه مشخصی دارد؛ به‌طوری‌که محصول تولیدشده باید دارای قابلیت‌های موردنظر بوده و قیمتی برابر یا کمتر از محصولات تولیدی رقبا داشته باشد. به‌منظور رسیدن به این هدف، استفاده از روش گسترش عملکرد کیفیت[1] لازم و ضروری به نظر می‌رسد. این تکنیک، روشی ساخت‌یافته است که در آن نیازهای مشتری، به شرایط فنی مناسب برای هر مرحله از توسعه و بهبود محصول تبدیل می‌شود [۲]. بدین ترتیب، شناسایی نیازهای مشتریان و اهمیت آن، اولین قدم در کاربرد روش QFD است [۳؛ ۴؛ ۵؛ ۶] و تولیدکننده باید طراحی یا بهبود محصولات را براساس الزامات دقیق و کمی برای مشخصه‌های مهندسی که از صدای مبهم و کیفی مشتریان ترجمه شده است، پایه‌ریزی کند. این مفهوم، کلید و پایه و اساس QFD است و معمولاً بر اساس شناسایی روابط کارکردی بین نیازهای مشتری[2] (CR) و مشخصه‌های مهندسی[3] (EC) به دست می‌آید [۷].

بنابراین رکن مهم روشQFD تعیین روابط کارکردی بین نیازمندی‌های مشتریان و مشخصه‌های مهندسی با توجه به نظرات متخصصان باتجربه طراحی محصول، به کمک اعداد قطعی یا فازی است. اگرچه ممکن است شناسایی وجود رابطه بین نیازمندی‌های مشتریان و مشخصه‌های مهندسی نسبتاً ساده باشد، اما تعیین شدت روابط برای متخصصان امری دشوار است؛ به‌خصوص وقتی اعداد مربوط به مشخصه‌های مهندسی افزایش پیدا می‌کند. لذا روش کاربردی که روابط را به‌صورت

1. Quality Function Deployment (QFD)
2. Customer Requirements (CR)
3. Engineering Characteristics (EC)

دقیق در QFD شناسایی می‌کند، روش رگرسیون است. این روش‌ها شامل رگرسیون آماری سنتی و رگرسیون فازی است. ازآنجایی‌که شناسایی نیازمندی‌های مشتریان و مشخصه‌های مهندسی معمولاً توسط متخصصان باتجربه به‌صورت کیفی و ذهنی صورت می‌گیرد و با افزایش مشخصه‌ها و نیازمندی‌ها تصمیم‌گیری دشوارتر می‌گردد و درنهایت، طراح نمی‌تواند به‌طور دقیق مشخص کند یک مشخصه مهندسی به‌طور مستقیم نتیجه کدام نیازمندی و با چه درجه اهمیتی است؛ بنابراین برای افزایش دقت در شناسایی روابط، روش رگرسیون خطی را می‌توان پیشنهاد نمود. باید خاطرنشان کرد، در برنامه‌ریزی QFD به دلیل ابهام و نادقیق بودن ویژگی‌ها در روابط، اغلب ضرایب فازی مورداستفاده قرار می‌گیرند [۸].

در روش رگرسیون خطی فازی[1]، در حالت داده‌های غیرفازی، هدف تعیین مقادیر بهینه پارامترها به‌طوری است که مجموعه خروجی مدل رگرسیون، دارای درجه عضویت بزرگ‌تر مساوی h باشد. این مقدار، میزان فازی‌بودن خروجی مدل رگرسیون فازی را نشان می‌دهد و معمولاً از طریق تیم طراحی به‌صورت ذهنی تنظیم می‌شود. هر چه مقدار h با دقت بیشتری تعیین شود، روابط بین CR ها وEC ها دقیق‌تر شناسایی می‌شود؛ بنابراین، تعیین این مقدار در فرآیند رگرسیون خطی فازی فرآیندی حیاتی و مهم است. این مقاله بر آن است مدل FLR را با مقدار h بهینه که توسط لیو، ژو و چن[2] [۸] در QFD معرفی‌شده، در شرکت لاماالکترونیک (تولیدکننده قطعات ماشین) بکار برد تا رویکردی نظام‌مند را برای شناسایی روابط بین CRs و ECs بیان کند.

۲- مبانی نظری تحقیق

در این بخش، ابتدا رویکرد گسترش عملکرد کیفیت (QFD) توضیح داده خواهد شد و سپس مدل FLR به‌صورت کلی بیان می‌شود.

۲-۱- گسترش عملکرد کیفیت (QFD)

مفهوم گسترش عملکرد کیفیت برای اولین بار توسط آکائو در سال ۱۹۶۹ در قالب یک مقاله علمی منتشر شد. رشد و ارتقای مفاهیم QFD و استقرار عملی آن در صنایع

1. Fuzzy Linear Regression (FLR)
2. Liu, Zhou, Chen

ژاپن در سال ۱۹۸۰ با اعطای جایزه دمینگ به شرکت کایابا به دلیل استفاده مناسب از این روش به اوج خود رسید. شرکت فورد در سال ۱۹۸۶ ضمن استفاده از QFD در طراحی قطعات خودرو در زمره اولین پیشگامان استفاده از این ابزار در آمریکا قرار گرفت و از آن تاریخ به بعد، استفاده از QFD در صنایع ایالات‌متحده و اروپا، به‌تدریج به‌عنوان ابزاری کارآمد و مؤثر در طراحی محصولات جدید گسترش یافت [۹]. QFD به‌طورکلی با سه دیدگاه آکائو، ماکابه و فوکوها[1] شناخته می‌شود که پرکاربردترین آن‌ها روش ماکابه است. در این روش که به‌طور اساسی برای طراحی محصول به وجود آمده است، دو رویکرد ماتریس رحمی[2] و مدل چهار مرحله‌ای[3] وجود دارد. در این تحقیق، تمرکز بر روی رویکرد دوم است که برای بهبود محصولات در قالب‌های زیادی به کار می‌رود و دارای چهار ماتریس جداگانه «برنامه‌ریزی نیازهای مشتری»، «گسترش مشخصه‌های محصول»، «کنترل کیفیت و فرآیند» و «دستورالعمل اجرایی» است [۱۰].

به‌طور خلاصه، روش QFD بدین‌صورت است که در مرحله اول شناسایی و درک خواسته‌ها و نیازهای مشتریان صورت می‌گیرد. قدم بعدی تعیین روش شناسایی نیازهای مشتری است (مانند مصاحبه، نظرات مشتریان و گروه‌های متمرکز). سپس نیازهای جمع‌آوری‌شده ارزیابی و مهم‌ترین آن‌ها با استفاده از ابزارهایی مانند نمودار وابستگی بین عوامل، نمودار درختی و مدل کانو انتخاب می‌شوند. در مرحله بعدی، تبدیل این نیازها به مشخصه‌های مهندسی است. مشخصه‌های مهندسی به‌عنوان اولین عامل مؤثر بر عملکرد محصول در بهبود کیفیت و طراحی محصول قلمداد شده و برای بهینه‌سازی نیازهای مشتری بهبود می‌یابند. این در حالی است که منابع محدود در رقابت فزاینده بازار و پیچیدگی محصول نیازمند یک سیستم مدیریت کیفیت و توسعه محصول مشتری‌مدار برای دستیابی به بالاترین سطح رضایت خاطر مشتریان است [۱۱؛ ۱۲].

با توجه به اینکه اجرای کامل رویکرد چهار ماتریسی، زمان‌بر است، در این مقاله بر ماتریس اول آن، یعنی خانه کیفیت، تکیه شده است. به‌طورکلی، در این ماتریس

1. Akao, Makabeh and Fokuha
2. Matrix of matrices
3. Four-phases model

ابتدا باید ضمن شناسایی خواسته‌های مشتریان، اهمیت هر یک را تعیین نمود و سپس مشخصه فنی و مهندسی برای ارضاء خواسته‌ها را مشخص کرد. در مرحله بعد، به بررسی ارتباط خواسته‌های مشتری با مشخصه فنی و مهندسی پرداخته می‌شود و درنهایت، رتبه‌بندی مشخصه فنی و مهندسی انجام می‌گیرد [۱۳].

۲-۲- مدل رگرسیون خطی فازی

تحلیل رگرسیون روشی آماری است که تغییرات متغیر وابسته از طریق متغیر یا متغیرهای مستقل تبیین و پیش‌بینی می‌شود. اگرچه مدل رگرسیون خطی کلاسیک کاربردهای بسیار دارد، اما در بعضی مواقع ساختن مدل با مشکلاتی مواجه است که عبارت‌اند از: تعداد کم یا نامناسب بودن مشاهدات؛ مشکلات تعریف تابع توزیع مناسب؛ ابهام در رابطه بین متغیرهای وابسته و مستقل؛ ابهام در وقوع یا درجه وقوع رویدادها؛ بی‌دقتی و خطا. برای حل این مشکل می‌توان از روش‌های دیگر از قبیل رگرسیون استوار و رگرسیون خطی فازی استفاده کرد که در اینجا رگرسیون خطی فازی موردبحث قرار می‌گیرد. رگرسیون فازی در حالت کلی به سه نوع تقسیم می‌شود:

الف) رگرسیون فازی در حالتی که روابط بین متغیرها (ضرایب مدل رگرسیونی) فازی فرض شوند؛

ب) رگرسیون فازی در حالتی که مشاهدات در متغیر وابسته و متغیرهای مستقل، نادقیق و فازی باشند؛

ج) رگرسیون فازی در حالتی که هم روابط بین متغیرها و هم مشاهدات، فازی در نظر گرفته شوند.

در این تحقیق، تمرکز بر مدل‌هایی است که داده‌ها در آن قطعی (غیرفازی) ولی ارتباط بین متغیرها فازی است؛ به‌عبارت‌دیگر، مدل رگرسیون خطی فازی موردبحث در این تحقیق شامل خروجی فازی، ضرایب فازی و یک بردار ورودی غیرفازی است. رگرسیون خطی با ضرایب فازی را اولین بار رضایی، حسینی و آشتیانی [۹] معرفی کردند. در رگرسیون خطی با ضرایب فازی مورداستفاده در اینجا، فرض می‌شود که مشاهدات و متغیرها دقیق بوده و ابهام در مدل و ضرایب رگرسیون است. ایده اصلی

این رویکرد، کمینه‌کردن فازی‌بودن مدل با استفاده از حداقل‌کردن گستره[1] کلی ضرایب فازی با به‌کارگیری داده‌های موجود است.

روش‌های رگرسیون خطی فازی موجود را بر اساس توابع معیارها می‌توان به دو دسته تقسیم‌بندی نمود:

۱- روش‌های FLR با استفاده از حداقل‌کردن میزان فازی بودن معیارها؛

۲- روش‌های FLR با استفاده از معیار حداقل مربعات.

با استفاده از روش اول، مدل رگرسیون خطی فازی می‌تواند با استفاده از انواع ضرایب فازی شامل ضرایب فازی عمومی[2]، تشریحی[3] و مثلثی[4] ساخته شود. همچنین در این نوع از روش‌ها، مقدار h محدوده توزیع احتمالی پارامترهای فازی را تعیین می‌کند. بنابراین، انتخاب مقدار مناسب آن در تحلیل FLR بسیار مهم است. در حقیقت، اگر به h مقدار بزرگی تخصیص یابد، FLR با استفاده از ضرایب فازی مثلثی به سمت کاهش میزان فازی‌بودن میل می‌کند و اگر مقدار h خیلی کوچک انتخاب شود، FLR تمایل به درجه عضویت کمتر داشته که این امر قابلیت مدل را پایین می‌آورد. بنابراین لازم است از روشی استفاده شود که به تصمیم‌گیرنده کمک کند مقدار h بهینه را تعیین نماید [۹].

۳-۲- الگوریتم تصمیم

هدف از الگوریتم تصمیم مسئله در این تحقیق، تعیین رابطه دقیق و مستقیم مشخصه‌های مهندسی محصول، بر اساس نیازمندی‌های مشتریان با تمرکز بر فرآیند طراحی و اهداف از پیش تعیین‌شده است. مراحل الگوریتم تصمیم مسئله تحقیق به دو بخش تقسیم می‌شود؛ بخش اول، پیاده‌سازی مدل QFD است که در آن به شناسایی نیازمندی‌های مشتریان، مشخصه‌های مهندسی و روابط بین آن‌ها توسط متخصصین تیم طراحی پرداخته می‌شود. در بخش دوم، خروجی حاصل از مدل QFD برای شناسایی دقیق و مستقیم روابط و میزان اهمیت مشخصه‌های مهندسی بر اساس اهمیت نیازمندی‌های مشتری در مدل رگرسیون خطی فازی قرار می‌گیرد. این مراحل به‌طور خلاصه در زیر آمده است:

---

1. Spread
2. general LP-type fuzzy coefficients
3. exponential fuzzy coefficients
4. triangular fuzzy coefficients

۱-۳-۲- بخش اول: پیاده‌سازی مدل QFD

۱-۱-۳-۲- انجام مصاحبه اولیه با مشتریان و پیمایش نظرات آن‌ها برای شناسایی نیازمندی‌های مهم مشتریان (CR)

در ابتدای فرآیند، به شناسایی نیازمندی‌های مشتریان از طریق مصاحبه و پرسشنامه پرداخته می‌شود. سپس بر اساس نیازمندی‌های مهم مشتریان میانگین نظرات آن‌ها اخذ می‌شود. مقادیر میانگین نظرات همان متغیرهای مستقل در مدل رگرسیون یا همان X ها هستند.

۲-۱-۳-۲- تعیین اهمیت نسبی و نهایی خواسته‌های مشتری

در این گام برای تعیین اهمیت نسبی خواسته‌های مشتریان از ایشان خواسته شد با استفاده از داده‌های کلامی به مقایسات زوجی بین هر کدام از نیازمندی‌ها بپردازند. برای محاسبه اهمیت نسبی هریک از این نیازمندی‌ها، داده‌های کلامی بیان‌شده توسط مشتریان به اعداد قطعی تبدیل شد. نحوه تبدیل متغیرهای کلامی به اعداد قطعی در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱ اعداد قطعی متناسب با متغیرهای کلامی

متغیرهای زبانی	اعداد قطعی
اهمیت یکسان	۱
نسبتاً بااهمیت	۵
بسیار بااهمیت	۷
کاملاً بااهمیت	۹

$$\mathbf{RICR}_i = \frac{\sum_{\mathbf{k=1}}^{\mathbf{q}}(\sum_{i=1}^{m} PC_{ij}(\mathbf{k}) \times \sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{m}} \sum_{\mathbf{j=1}}^{\mathbf{m}} PC_{ij}(\mathbf{k})^{-1})}{\mathbf{q}}, i, j = 1, 2, \dots, m, \ k = 1, 2, \dots, q. \quad (۱)$$

$\mathbf{RICR}_i$ = **اهمیت نسبی نیازمندی‌های مشتری**

نظرات هر مشتری برای تعیین اهمیت نیازمندی‌های مشتری در مقایسه با یکدیگر $PC_{ij}(\mathrm{k})$=

تعداد مشتری =q

شماره مشتری =K

گفتنی است اهمیت نهایی نیازمندی‌های مشتریان از تحلیل رقابتی محصول در بین رقبا و میزان نرخ فروش به دست می‌آید، اما ازآنجایی‌که محصول موردبررسی برای شرکت کاملاً جدید بود و تاکنون به عرضه آن نپرداخته است، لذا قابلیت تحلیل رقابتی و نرخ فروش را نداشت. بنابراین، اهمیت نهایی نیازمندی‌ها از نرمالیزه‌کردن اهمیت نسبی نیازمندی‌های مشتریان به دست آمد.

۳-۱-۳-۲- تبدیل نیازمندی‌های مشتری به مشخصه‌های مهندسی (EC)

با توافق اعضای تیم بر نیازمندی‌های مشتری و نهایی شدن آن‌ها، نوبت به تعیین مشخصه‌های مهندسی می‌رسد که بیشترین تأثیر را بر آن‌ها دارند. لذا پس از محاسبه اهمیت نهایی نیازمندی‌های مشتریان، این نیازمندی‌ها با کمک تیم طراحی به مشخصه‌های مهندسی تبدیل شد.

۴-۱-۳-۲- تعیین رابطه بین نیازمندی‌ها و مشخصه‌های مهندسی

ماتریس ارتباطات میان خواسته‌های مشتری، با تحلیل اثر هر خواسته روی سایر خواسته‌های مشتری و مقایسات زوجی این خواسته‌ها به دست می‌آید. در اینجا، کیفیت روابط درونی خواسته‌های مشتری و جهت این روابط با استفاده از نظرات کارشناسان تیم QFD به دست آمده است. این ارتباط معمولاً با استفاده از سه سطح رابطه بکار گرفته شده است: رابطه ضعیف/کم، ارتباط متوسط/ میانه‌رو و ارتباط قوی. این علائم با سنجش داخلی به عدد تبدیل شده که معمولاً این علائم را با اعداد ۱، ۳ و ۹ نمایش می‌دهند [۱۴]. ماتریس همبستگی بین مشخصه‌های مهندسی از الزامات طراحی محصول است؛ زیرا بعضی از الزامات طراحی به هم وابسته و در این ماتریس میزان ارتباط آن‌ها سنجیده می‌شود و درجه همبستگی آن‌ها با استفاده از همان علائم نمادین ماتریس ارتباطات در نظر گرفته شد.

۵-۱-۳-۲- محاسبه اهمیت نهایی مشخصه‌های مهندسی

در این گام، محققان درصدد تعیین درجات اهمیت نهایی مشخصه‌های مهندسی با استفاده از مقیاس کلامی و با توجه به هر خواسته مشتری بوده‌اند. نحوه محاسبه اهمیت نهایی مشخصه‌های مهندسی در فرمول ۲ مورداشاره قرار گرفته است. گفتنی است R_{ij} نشان‌دهنده سطح روابط بین نیازمندی‌های مشتری و مشخصه‌های

مهندسی، C_{ij} سطح همبستگی بین مشخصه‌های مهندسی و $FIEC_j$ اهمیت نهایی مشخصه‌های مهندسی را نشان می‌دهد.

$$FIEC_j = \sum_{i=1}^{m}(FICR_i \times R_{ij}) + \frac{1}{n-1}\sum_{i=1,i\neq j}^{m}(\sum_{i=1}^{m}(FICR_i \times R_{ij})) \times C_{ij} \ , \ i,j=1,2\ldots n \quad (۲)$$

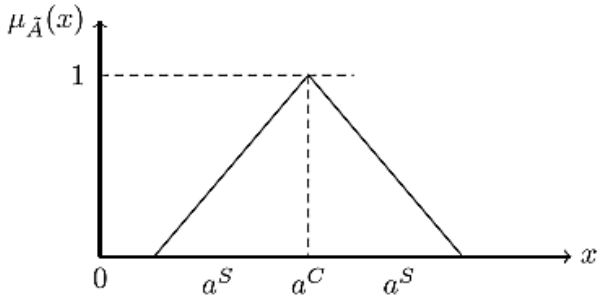
۲-۳-۲- بخش دوم: شناسایی دقیق روابط و اهمیت مشخصه‌های مهندسی با مدل رگرسیون خطی فازی

۱-۲-۳-۲- فرموله‌کردن مدل رگرسیون خطی فازی با فرض $h = 0$ بر اساس رابطه و اوزان به‌دست‌آمده از مرحله چهارم و پنجم بخش اول

در یک مدل FLR کلاسیک، n مشاهده به‌صورت $(y_1, x_1), (y_2, x_2), \ldots, (y_i, x_i), \ldots, (y_n, x_n)$ داده شده‌است که y_i به ترتیب نشان‌دهنده خروجی قطعی i ام است و $x_i =$ $(x_{i0}, x_{i1}, \ldots, x_{ij}, \ldots, x_{im})^T$بردار ورودی قطعی i ام با $x_{i0} = 1$ برای $i = 1,2, \ldots, n$ است. به‌طورکلی، روابط فازی بین متغیر وابسته y و متغیرهای مستقل $x_1, x_2, \ldots, x_m$ معمولاً به‌صورت زیر بیان شده می‌شود:

$$\tilde{y} = f(x) = \tilde{A}_0 + \tilde{A}_1 x_1 + \cdots + \tilde{A}_j x_j + \cdots + \tilde{A}_m x_m \quad (۳)$$

ضرایب فازی $\tilde{A}_j \ , j = 0, 1, \ldots, m$ مجموعه‌ای از اعداد فازی مثلثی متقارن هستند (شکل۱) و به‌صورت $\tilde{A}_j = (a_j^c, a_j^s)$ نشان داده می‌شوند که در آن، a_j^c مرکز عدد فازی مثلثی و a_j^s گستره راست (چپ) عدد است.



شکل ۱ تابع عضویت برای یک عدد فازی مثلثی متقارن $\tilde{A} = (a^C, a^S)$

خروجی فازی $\tilde{y}_i = (y_i^c, y_i^s)$ که y_i^c و y_i^s به ترتیب ارزش‌های مرکز و گستره $\tilde{y}_i$ را نشان می‌دهند، می‌تواند به‌صورت زیر محاسبه شود:

$$y_i^C = a_0^C x_{i0} + a_1^C x_{i1} + \cdots + a_m^C x_{im} = \sum_{j=0}^{m} a_j^C x_{ij} \quad (۴)$$

$$y_i^S = a_0^S |x_{i0}| + a_1^S |x_{i1}| + \cdots + a_m^S |x_{im}| = \sum_{j=0}^{m} a_j^S |x_{ij}|, \quad (۵)$$

ارزش‌های مرکز و گستره ضرایب فازی $\tilde{A}_j = (a_j^c, a_j^s), j = 0, 1, \dots, m$ که به شکل اعداد فازی مثلثی متقارن هستند، به‌وسیله حل مدل FLR زیر تعیین شدند:

$$\begin{cases} \min \Delta = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=0}^{m} a_j^S \, |x_{ij}| & \\ s.t: & \\ (1-h) \sum_{j=0}^{m} a_j^S |x_{ij}| - \sum_{j=0}^{m} a_j^C x_{ij} \geq -y_i, & i = 1,2, \dots, n \\ (1-h) \sum_{j=0}^{m} a_j^S |x_{ij}| + \sum_{j=0}^{m} a_j^C x_{ij} \geq y_i, & i = 1,2, \dots, n \\ a_j^S \geq 0, & j = 0, 1, \dots, m. \\ a_j^C \qquad free & \end{cases} \quad (۶)$$

هدف از مدل (۶) حداقل‌کردن میزان فازی‌بودن سیستم (Δ) با محدودیت‌هایی است که نشان می‌دهد هر خروجی قطعی y_i باید در فاصله h از خروجی‌های فازی $\tilde{y}_i$ قرار گیرد، یعنی درجه عضویت $\mu_{\tilde{y}_i}(y_i)$ از هر خروجی قطعی y_i باید بزرگ‌تر مساوی h شود.

در حل مدل (۶)، با تغییر دادن h، مقادیر بهینه مرکزی ($\hat{a}_j^c$) تغییری نمی‌کنند و تنها مقادیر گستره (a_j^s) متفاوت خواهند شد که این امر موجب کاهش میزان ابهام و فازی بودن مدل می‌شود.

به‌علاوه، ضرایب فازی بهینه به‌دست‌آمده در مدل (۶) FLR با قرار دادن $h = h_1$ به‌صورت $\tilde{A}_j^{h_1} = \left(\hat{a}_j^c, \left(a_j^s\right)^{h_1}\right), j = 0, 1, \dots, m$ و خروجی‌های فازی مترادف با آن به‌صورت $\tilde{y}_i^{h_1} = (\hat{y}_i^c, (y_i^s)^{h_1}), i = 0, 1, \dots, n$ نشان داده می‌شود. لیو و چن [۵] اثبات کردند که در صورت حل مدل با فرض $h = h_1$ ضرایب فازی بهینه و خروجی‌های فازی برای h_2 به‌صورت زیر استنباط شود:

$$\tilde{A}_j^{h_2} = \left(\hat{a}_j^C, \left(a_j^S\right)^{h_2}\right) = \left(\hat{a}_j^C, \frac{1-h_1}{1-h_2}\left(a_j^S\right)^{h_1}\right) \quad (۷)$$

$$\tilde{y}_i^{h_2} = (\hat{y}_i^C, (y_i^S)^{h_2}) = \left(\hat{y}_i^C, \frac{1-h_1}{1-h_2}(y_i^S)^{h_1}\right) \quad (۸)$$

۲-۲-۳-۲- محاسبه مقدار h بهینه به‌منظور حصول نتایج دقیق‌تر و کاراتر میزان اهمیت مشخصه‌های مهندسی به‌دست‌آمده

در مدل FLR(۶)، قرار دادن مقدار h مهم است؛ زیرا راه‌حل را به‌طور مستقیم تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. لیو و چن با محاسبه دو درجه عضویت سیستمی و میزان فازی بودن سیستمی، با فرض اینکه ضرایب فازی به‌صورت اعداد فازی مثلثی متقارن باشند، رویکردی جدید را بر مبنای سازگاری سیستم برای بهینه‌کردن ارزش h در مدل FLR پیشنهاد کردند [۵].

فرض کنید که $\mu_{\tilde{y}_i}(y_i)$ درجه عضویت خروجی قطعی مشاهد شده y_i را با توجه به خروجی فازی $\tilde{y}_i$ نشان می‌دهد. لیو و چن [۵] سازگاری $\tilde{y}_i$ را به‌صورت زیر تعریف کردند:

$$Z_i = \frac{\mu_{\tilde{y}_i}(y_i)}{\Delta\tilde{y}_i}, \quad (۹)$$

در اینجا به‌منظور دستیابی به راه‌حل‌های شدنی، مخرج کسر $\Delta\tilde{y}_i$ مثبت فرض شده است؛ یعنی $y_i^S \neq 0$. ارزش بالاتر Z_i عملکرد بهتر از $\tilde{y}_i$ است که با y_i نشان داده خواهد شد. بنابراین، مبتنی بر رابطه (۹)، یک مفهوم از سازگاری سیستم برای اندازه‌گیری قابلیت اطمینان[1] مدل FLR به‌دست‌آمده در (۶) ارائه شده است و به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Z = \sum_{i=1}^{n} Z_i = \sum_{i=1}^{n} \frac{\mu_{\tilde{y}_i}(y_i)}{\Delta\tilde{y}_i} \quad (۱۰)$$

سپس در FLR برای گرفتن ارزش h، ضرایب فازی بهینه را که از مدل (۶) به دست آمده است، به‌وسیله $\tilde{A}_j^h = (\hat{a}_j^C, (a_j^S)^h), j = 0, 1, \ldots, m$ مشخص نموده و خروجی‌های

1. The system credibility

فازی مترادف با آن به‌وسیله $\tilde{y}_j^h = (\hat{y}_j^C, (y_j^S)^h), j = 0, 1, \dots, n$ تعیین می‌شود. پس میزان فازی‌بودن بهینه $\Delta\tilde{y}_i^h$ و درجه عضویت $\mu_{\tilde{y}_i^h}(y_i)$ از خروجی قطعی y_i با توجه به h، به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta\tilde{y}_i^h = (y_i^S)^h = \sum_{j=0}^{m}\left(a_j^S\right)^h|x_{ij}| \qquad (۱۱)$$

و

$$\mu_{\tilde{y}_i^h}(y_i) = 1 - \frac{|\hat{y}_i^C - y_i|}{(y_i^S)^{h=1}} - \frac{\left|\sum_{j=0}^{m}\hat{a}_j^C x_{ij} - y_i\right|}{\sum_{j=0}^{m}\left(a_j^S\right)^h|x_{ij}|}, \qquad (۱۲)$$

در ادامه، حین ترکیب رابطه‌های نتایج مدل FLR با توجه به ارزش‌های متفاوت h در (۷) و (۸) و تعریف سازگاری در (۹)، لیو و چن [۵] محاسبه‌ای را برای مقدار بهینه h که قابلیت اطمینان سیستم را از مدل FLR به‌وسیله حل مدل برنامه‌ریزی زیر حداکثر می‌کند، ارائه کرده‌اند. Z^0 قابلیت اطمینان سیستم را وقتی $h = 0$ است، نشان می‌دهد و P^0 یک پارامتر است، به این صورت:

$$P^0 = \sum_{i=1}^{n}\frac{1-\mu_{\tilde{y}_i^0}(y_i)}{\Delta\tilde{y}_i^0} \qquad (۱۳)$$

به‌طور واقعی، در مدل بالا (۱۳)، می‌تواند ارزش h بهینه بلافاصله مشتق شود و به‌صورت زیر بیان شود:

$$h^* = \begin{cases} \frac{1}{2}\left(1 - \frac{Z^0}{P^0}\right) & Z^0 \le P^0 \\ 0 & \text{در غیر صورت این} \end{cases} \qquad (۱۴)$$

۳-۲-۳-۲- محاسبه ضرایب مدل رگرسیون خطی فازی با استفاده از h بهینه

بعد از محاسبه مقدار h بهینه برای مدل FLR، ترکیب ضرایب فازی $\tilde{A}_j^0 = (\hat{a}_j^C, (a_j^S)^0), j = 0, 1, \dots, m$ که از مدل FLR با $h = 0$ به دست آمده است، ضرایب فازی بهینه $\tilde{A}_j^{h^*}$ بر طبق (۷) به‌صورت زیر به دست می‌آید:

$$\tilde{A}_j^{h^*} = \left(\hat{a}_j^C, \frac{1}{1-h^*}\left(a_j^S\right)^0\right). \quad (۱۵)$$

۳- پیشینه تحقیق

در ادامه به چند مورد از تحقیقات انجام‌شده که در زمینه QFD صورت گرفته است، اشاره می‌شود. نوری و بختیاری به‌منظور شناسایی مشخصه‌های اصلی طراحی وب‌سایت از رویکرد QFD استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مهم‌ترین الزام فنی با توجه به نیازهای مشتریان و نظرات کارشناسان، جدول محتوا، قالب‌بندی سایت و نوار ابزار است [۱۳]. ژیان پور و همکاران [۱۴] در مقاله‌ای برای تبدیل خواسته‌های مشتریان آموزش ضمن خدمت به الزامات آموزشی از رویکرد QFD استفاده کردند و نشان دادند که مهم‌ترین الزامات آموزش را می‌توان به ترتیب در محتوا، فضا و تجهیزات، اساتید و ساختار دوره‌های آموزشی ضمن خدمت سازمان جستجو کرد. حجتی و زارع‌نیا روش جدیدی را برای وزن‌دهی به خواسته‌های مشتریان و اولویت‌بندی مشخصه‌های فنی محصول با رویکرد QFD فازی پیشنهاد کردند که در آن موقعیت رقبا، وزن‌دهی متفاوت مشتریان گوناگون، عملکرد فعلی و نظر مشتریان، در نظر گرفتن سقف خانه کیفیت فازی، به‌علاوه استفاده از ریاضیات فازی به‌جای اعداد قطعی در مقایسه با روش‌های قبلی مدنظر قرار گرفته است [۱۵].

علاوه بر تحقیقات داخلی به چند مورد از تحقیقات خارجی مرتبط با مبحث موضوع در ادامه اشاره می‌شود. کاهرامان و ارتای[1] روشی را با تمرکز بر کاربرد ریاضیات فازی و نظریه احتمال جهت برخورد با ابهام در رویکرد QFD ارائه کردند [۱۶]. همچنین کیم و همکاران[2] رویکرد چندمعیاره QFD فازی را با استفاده از رگرسیون خطی فازی برای تخمین روابط بین نیازمندی‌های مشتری و مشخصات مهندسی و نیز بین مشخصات مهندسی پیشنهاد کردند [۱۷]. تانگ و همکاران[3] در سال ۲۰۰۲، مدل QFD تخصیص منابع با استفاده از برنامه‌ریزی خطی فازی برای در نظر گرفتن روابط بین مشخصات مهندسی و تأثیر یک منبع خاص روی یک مشخصه مهندسی را پیشنهاد کردند [۱۸].

1. Kahraman, Ertay
2. Kim et al
3. Tang et al

همان‌طور که مشاهده می‌شود، در همه این تحقیقات از QFD برای شناسایی مشخصات موردقبول مشتری استفاده شده است و در هیچ‌یک از تحقیقات ذکرشده، از رگرسیون خطی فازی برای تعیین مشخصه‌های مهندسی کمک گرفته نشده است؛ لذا این پژوهش به دنبال این است تا با استفاده از رگرسیون خطی فازی، به شناسایی دقیق روابط بین مشخصه‌های مهندسی و نیازمندی‌های مشتریان و تصمیم‌گیری بهتر برای طراحی محصول بپردازد.

۴- روش انجام تحقیق

مطالعه موردی

شرکت صنعتی لامااالکترونیک در سال ۱۳۷۱ تأسیس شده و در زمینه تولید قطعات برقی و الکترونیکی خودرو به‌ویژه تولید سنسور برای انواع خودروهای سبک و سنگین مخصوصاً خودروهای خانواده پژو فعال است. این شرکت یکی از قدیمی‌ترین شرکت‌های تأمین‌کننده خط ایران‌خودرو بوده که بیش از ۸۰٪ محصولات آن مستقیماً به خط ایران‌خودرو تحویل می‌شود. این شرکت به دنبال طراحی محصولی به نام سنسور فن پراید است. در این تحقیق، به‌منظور کمک به تیم طراحی محصول برای تشخیص اینکه هر مشخصه دقیقاً کدام نیازمندی مشتری را با چه درجه اهمیتی برآورده می‌کند، از مدل رگرسیون خطی فازی برای شناسایی روابط کارکردی در QFD استفاده می‌شود. بدین منظور گام‌های الگوریتم تصمیم، تمامی مفاهیم و روش‌های مورداستفاده در این الگوریتم و همچنین موارد مربوط به تشکیل تیم QFD و نحوه جمع‌آوری اطلاعات در ادامه تشریح می‌شود.

۵- نتایج پیاده‌سازی الگوریتم تصمیم

همان‌طور که در بخش قبل توضیح داده شد، الگوریتم پیشنهادی به دو مرحله کلی قابل‌تقسیم است. در مرحله اول با استفاده از رویکرد QFD، خانه کیفیت به‌دست‌آمده برای محصول سنسور فن پراید تکمیل شد. در مرحله دوم، با استفاده از نتایج حاصل از مرحله اول، مدل رگرسیون خطی فازی با فرض $h = 0$ ایجاد و حل شد، سپس برای دستیابی دقیق‌تر به ضرایب وابستگی، مدل با فرض h بهینه بررسی و حل گردید.

۱-۵- بخش اول: پیاده‌سازی مدل QFD

۱-۱-۵- گام اول: انجام مصاحبه اولیه با مشتریان و پیمایش نظرات آن‌ها برای شناسایی نیازمندی‌های مهم مشتریان (CR)

اولین کار صورت گرفته در تحقیق حاضر، تشکیل تیم توسعه محصول است. اعضای تیم در پژوهش حاضر، مدیرعامل شرکت لاماالکترونیک، مهندس طراح، مدیر بازرگانی، کارشناس کنترل کیفیت، مدیر تولید و محقق هستند. همان‌طور که قبلاً بیان شد، فرآیند QFD با شناسایی خواسته‌های مشتری و پس‌ازآن، مشخصه‌های مهندسی متقابل آن‌ها شروع می‌شود. لذا در ابتدای کار بایستی نظرات مشتریان در مورد قطعه موردنظر و ویژگی‌های مورد تقاضای آن‌ها بررسی می‌شد. بدین منظور با مشتریان مصاحبه حضوری به عمل آمد و خروجی این مصاحبه‌ها تعیین نیازمندی‌های مشتریان در مورد قطعه موردنظر بود. خواسته‌های مشتری برای محصول موردمطالعه در این تحقیق در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، هرکدام از آن‌ها به‌اختصار با $\boldsymbol{CR_1}$ تا $\boldsymbol{CR_{11}}$ نشان داده شده‌اند.

این خواسته‌ها پس از بررسی و تجزیه‌وتحلیل پرسشنامه‌های تکمیل‌شده مشتریان و مصاحبه صورت گرفته با آن‌ها، با تعدیل و اصلاح جملات توسط تیم توسعه محصول استخراج شده است.

جدول ۲ نیازمندی‌های مشتری قطعه سنسور فن پراید

ردیف	نیازمندی‌های مشتریان
CR_1	داشتن کیفیت بالا
CR_2	بسته‌بندی مناسب
CR_3	داشتن برچسب و هولوگرام
CR_4	دارابودن ظاهر مناسب
CR_5	استفاده راحت
CR_6	دارا بودن آچارخور مناسب
CR_7	طول عمر یا دوام بالا
CR_8	تحمل گرما و سرما
CR_9	شکننده‌نبودن کانکتور
CR_{10}	استفاده از مواد مناسب برای جنس بدنه
CR_{11}	راحت بسته‌شدن رزوه

۲-۱-۵- گام دوم: تعیین اهمیت نسبی خواسته‌های مشتری با استفاده از داده‌های کلامی
نتایج حاصل از این پرسشنامه‌ها پس از ادغام و محاسبات صورت گرفته در جدول ۳ بیان شده است.

جدول ۳ اهمیت نسبی نیازمندی‌های مشتریان

نیازمندی‌های مشتری	$RICR_i$
۱	۰/۱۷۷۹
۲	۰/۰۵۶۹
۳	۰/۰۴۶۷
۴	۰/۰۶۳۳
۵	۰/۰۸۰۳
۶	۰/۰۸۰۴
۷	۰/۰۸۸۴
۸	۰/۰۹۱۳
۹	۰/۰۹۸۰
۱۰	۰/۰۸۳۸
۱۱	۰/۰۷۰۷

با توجه به اینکه محصول موردبررسی کاملاً جدید بود، لذا وضعیت رقابتی آن در بازار لحاظ نشده است. بنابراین اهمیت نسبی نرمالیزه شده اهمیت نهایی نیز خواهد بود.

۳-۱-۵- گام سوم: تبدیل نیازمندی‌های مشتری به مشخصه‌های مهندسی (EC)
در این تحقیق سعی شده است تا حد ممکن مشخصه‌های مهندسی سنجش‌پذیر باشند. جدول ۴ مشخصه‌های مهندسی($\mathbf{EC_1}$ تا $\mathbf{EC_8}$) را نشان می‌دهد.

جدول ۴ مشخصه‌های مهندسی

ردیف	مشخصه‌های مهندسی
۱	جنس بدنه
۲	جنس کانکتور
۳	دقت رزوه
۴	فیش استاندارد
۵	عدم زدگی در فیش و نشیمنگاه
۶	عدم پلیسه در فیش و نشیمنگاه
۷	اندازه آچارخور
۸	بی‌متال مناسب

۴-۱-۵- گام چهارم: تعیین رابطه بین نیازمندی‌ها و مشخصه‌های مهندسی

در این مرحله، ارتباط بین نیازمندی‌ها و مشخصه‌های مهندسی توسط متخصصین مربوطه صورت گرفت. در ادامه نیز رابطه بین مشخص‌های مهندسی تعیین شد.

۵-۱-۵- گام پنجم: محاسبه اهمیت نهایی مشخصه‌های مهندسی

با توجه به فرمول گفته‌شده در بخش قبل به تعیین اهمیت مشخصه‌های مهندسی پرداخته خواهد شد. نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۵ بیان شده است.

جدول ۵ اهمیت نهایی مشخصه‌های مهندسی

مشخصه مهندسی	$FIEC_j$
۱	۱۲۹۴۰/۳۲۵
۲	۸۰۴/۶۶۷
۳	۴۳۲/۹۴۸
۴	۲۷۳/۸۶۲
۵	۲۷۳۶/۱۵۲
۶	۱۷۵۴/۵۶۴
۷	۴۸۳/۲۶۱۶
۸	۱۰۶۴/۰۸۳

۲-۵- بخش دوم: شناسایی دقیق روابط و اهمیت مشخصه‌های مهندسی با مدل رگرسیون خطی فازی

۱-۲-۵- گام اول: فرموله‌کردن مدل رگرسیون خطی فازی با فرض $h = 0$

با توجه به اینکه میزان اهمیت مشخصه‌های مهندسی، متغیر وابسته (y) است و متغیر مستقل، میزان اهمیت نیازمندی‌های مشتریان برای هر مشخصه مهندسی است، در این قسمت هر مشخصه مهندسی یک متغیر وابسته لحاظ می‌شود که شامل کلیه نیازمندی‌های مشتریان به‌عنوان متغیرهای مستقل است. لذا این مطالعه، با استفاده از مدل رگرسیون خطی فازی به دنبال یافتن ضرایب A_j است. در ابتدا، طبق مراحل گفته‌شده در قبل با فرض $h = 0$ مدل فرموله و توسط نرم‌افزار C حل شد (ر.ک. پیوست). نتایج به‌دست‌آمده از حل مدل در جدول ۶ آمده است.

جدول ۶ روابط بین نیازمندی‌های مشتری و مشخصه‌های مهندسی $(\mathbf{h = 0})$

	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8
x_0								
x_1	(۲/۸۰ ,۰/۵۸۰)						(۳/۹۸,۰/۰۲)	(۰,۰/۰۳۳)
x_2					(۲۷/۷۱,۰,۱)			
x_3		,۰/۰۳) (۱/۰۹۲	(۰/۵۸ ,۰/۲)		(۰/۶۷۱ ,۰)	(۰/۷۵۳ ,۰,۵)		(۰/۵۱۳ ,۰)
x_4	(۲/۸۵ ,۰)							
x_5								
x_6								
x_7								
x_8		(۲/۴۸,۰)	(۱/۷۸,۰)	,۰/۰۸) (۰/۱۵۵		(۵/۶۹,۰/۰۴)		(۳/۱۶,۰)
x_9								
x_{10}			(۰/۰۳۳, ۰)					

از حل مدل می‌توان دریافت هر مشخصه مهندسی که یک متغیر وابسته است، به کلیه نیازمندی‌های مشتری به‌طور مستقیم ارتباطی ندارد. لذا مقادیر متغیرهای غیرمرتبط با هر مشخصه مهندسی مقدار صفر را به خود گرفته است. در تفسیر نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت اولین مشخصه مهندسی که عبارت است از جنس بدنه، به‌طور مستقیم حاصل از نیازمندی‌های کیفیت بالا و ظاهر مناسب است. همچنین حساس و شکننده‌نبودن جنس کانکتور (استفاده از برنج) به خاطر نیاز مشتری مبنی بر شکننده‌نبودن جنس کانکتور است. مشخصه سوم مهندسی حاصل از شکننده‌نبودن کانکتور و دقت رزوه و راحت بسته‌شدن رزوه ایجاد شده است. اما فیش استاندارد تنها به دلیل نیاز مشتری به کیفیت بالا ایجاد شده است. توجه به رابطه زیاد بین عدم‌زدگی در فیش و بسته‌بندی مناسب در اظهارات مشتریان، به‌عنوان یک مشخصه مهندسی، رابطه مستقیمی با بسته‌بندی مناسب خواهد داشت. ایجاد مشخصه عدم‌پلیسه در فیش ناشی از نیاز مشتری مبنی بر شکننده‌نبودن جنس کانکتور است و نیز استاندارد بودن اندازه آچارخور مبنی بر نیاز مشتری به کیفیت بالاست. برآورده شدن نیاز کیفیت بالا و شکننده‌نبودن جنس کانکتور، در انتخاب بی‌متال مناسب لحاظ شده است. همچنین نیاز به شکننده‌نبودن کانکتور در جنس کانکتور، دقت رزوه، عدم پلیسه در فیش و اندازه آچارخور مناسب برآورده می‌گردد.

در مجموع می‌توان گفت نیاز مشتری به کیفیت بالا در چهار مشخصه جنس بدنه، فیش استاندارد، اندازه استاندارد آچارخور و بی متال مناسب دیده شده است.

مقدار قابلیت اطمینان سیستم در زمانی که h=0 است، طبق نتایج مربوط به جدول ۷ محاسبه شده و مقدار آن ۰/۷۲ است.

جدول ۷ نتایج مربوط به توابع در حالت h=0

	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8
$\Delta\tilde{y}_k^0$	۰/۵۸	۰/۰۴	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۳۳
$\mu_{\tilde{y}_k^0}(y_k)$	۰/۳۹۸	۰	۰	۰	۰	۰/۱۵۲	۰/۱۵	۰/۴۲

۲-۲-۵- گام دوم: محاسبه مقدار h بهینه

بعد از حل مدل فوق به ازای $h = 0$، باید مقادیر بهینه h به دست آید. طبق مدل ۱۳ که در بخش قبل گفته شد، مقادیر h^* به دست آمد. طبق رابطه ۱۰، قابلیت اطمینان سیستم معادل ۱/۳۰ به دست می‌آید. این مقادیر به ازای K= ۱ عبارت‌اند از:

جدول ۸ نتایج مرتبط با توابع در حالت h= h^*

	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8
$\Delta\tilde{y}_k^0$	۰/۲	۰/۱۵	۰/۲۱	۰/۱۵	۰/۲۸	۰/۲۳	۰/۴۱	۰/۱۵۲
$\mu_{\tilde{y}_k^0}(y_k)$	۰/۳۹۸	۰/۲۵۱	**۰/۴۸۷**	۰/۱۱۸	۰/۳۱۸	۰/۳۵۸	۰/۱۷۵	۰/۳۱۶

۳-۲-۵- گام سوم: محاسبه ضرایب مدل رگرسیون خطی فازی با استفاده از h بهینه در این مرحله، ضرایب فازی **در** ۸ مشخصه مهندسی با استفاده از مقدار بهینه h حاصل می‌شود. نتایج این مرحله در جدول ۹ آمده است.

جدول ۹ ضرایب بهینه فازی با استفاده از h بهینه

	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8
h^*	۰/۱۶۹	۰/۳۳۲	۰/۱۰۱	۰/۴۳۳	۰/۲۶۶	۰/۲۲۱	۰/۲۲	۰/۴۶۱

نتایج حاکی از آن است که مقادیر گستره ضرایب در حالتی که $\boldsymbol{h}$ بهینه است، نسبت به زمانی که $\boldsymbol{h = 0}$ است، جواب‌های بهتری داده و قابلیت اطمینان سیستم را افزایش می‌دهد (قابلیت اطمینان در حالت h=0 معادل ۰/۷۲ بوده، اما در حالت **h= h^*** معادل ۱/۳۰ به دست آمده است).

جدول ۱۰ روابط بین نیازمندی‌های مشتری و مشخصه‌های مهندسی (h*h=)

	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8
x_0								
x_1	(۲/۸۰ ,۰/۶۵)						(۳/۹۸,۰/۰۲)	(۰,۰/۰۳۳)
x_2					(۲۷/۷۱,۰)			
x_3		(۱/۰۹۲ ,۰)	(۰/۵۸ ,۰/۰۲)		(۰/۶۷۱ ,۰)	(۰/۷۵۳ ,۰)		,۰/۳) (۰/۵۱۳
x_4	(۲/۸۵ ,۰)							
x_8		(۲/۴۸,۰)	(۱/۷۸,۰)	(۰/۱۵۵ ,۰)		(۵/۶۹ ,۰/۵)		(۳/۱۶,۰)
x_{10}			(۰/۰۳۳, ۰)					

۶- مقایسه QFD در حالت فازی و قطعی بر روی داده‌های مسئله

طبق مطالعه انجام‌شده به روش QFD فازی سنتی با داده‌های مذکور [۱۹] نتایج به‌دست‌آمده از میزان اهمیت نیازمندی‌های مشتری حاکی از آن است که دارا بودن کیفیت بالا دارای بیشترین درجه اهمیت و دارا بودن آچارخور مناسب دارای کمترین درجه اهمیت است. همچنین در مورد اوزان مشخصه‌های مهندسی، مهم‌ترین مشخصه دقت رزوه و عدم اهمیت فیش استاندارد در مشخصه‌های مهندسی بوده است و نیز با توجه به روابط بین مشخصه‌های مهندسی و نیازمندی‌های مشتری، نیاز مشتری به کیفیت بالا در کلیه مشخصه‌های مهندسی دیده شده است. درحالی‌که نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه حال حاضر دقیق‌تر بوده و طراحان محصول می‌توانند با دقت و قابلیت اطمینان بیشتری به اعمال نیازمندی‌های مشتری در ویژگی‌های مهندسی بپردازند.

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله، در ابتدا مقدار بهینه‌شده h درFLR تعیین و سپس یک روش نظام‌مند برای شناسایی عملکردی ارتباط بین CR ها و EC ها درQFD با استفاده از مدل FLR با پارامتر بهینه بکار برده شد؛ به‌طوری‌که در این مدل، دیگر $\boldsymbol{h}$ توسط کاربر تعیین نشده است، بلکه با استفاده از خود ضرایب فازی به محاسبه مقدار بهینه $\boldsymbol{h}$ پرداخته

شد و سپس روابط بین نیازمندی‌های مشتری و مشخصه‌های مهندسی از طریق مدل رگرسیون خطی فازی با مقدار h بهینه به دست آمد. این روش در مقایسه با مطالعات قبلی QFD فازی سنتی روش محاسباتی بهتری را برای محاسبه مجموعه فازی هر جزء در مدل تحقیق فراهم ساخته، به‌طوری‌که مجموعه فازی به‌دست‌آمده دقیق‌تر است. همچنین به‌جای روش‌های تجمعی وزنی ساده مورداستفاده در مطالعات قبلی، از روش مقایسه دوبه‌دو برای استنتاج دقیق‌تر اهمیت نسبی نیازمندی‌های مشتری استفاده شد. بنابراین روابط دقیق‌تری بین نیازمندی‌ها و مشخصه‌های مهندسی بیان شده و این روش مبنای بهتری برای برنامه‌ریزی محصول و استراتژی‌های بازاریابی خواهد بود.

در پایان به‌منظور دستیابی به نتایج دقیق‌تر پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی، این مدل به‌صورت Full Fuzzy تعریف شود و نتایج آن با نتایج این مطالعه مقایسه شود. همچنین پیشنهاد می‌شود این روش با اعداد فازی ذوزنقه‌ای نیز موردبررسی قرار گیرد.

۸- منابع

[1]. Andalib Ardakani, D. keshavarz, P. “Study of Green Product Development and Its Impact on Customer's Subjective Image with Structural Equation Modeling Approach*”, Journal of New Research in Decision Making*, 1(3), 2016, 85-112.

[2]. Garibay, C., Gutiérrez, H., Figueroa, A. “Evaluation of a Digital Library by Means of Quality Function Deployment (QFD) and the Kano Model”, *the Journal of Academic Librarianship*, 36(2), 2010 125- 132.

[3]. Chien, T.K., Su, C.T. “Using the QFD concept to resolve customer satisfaction strategy decisions”. *Int. J. Qual. Reliab. Manag*. 20 (3), 2003, 345–359.

[4]. Karsak, E. E. "Fuzzy multiple objective programming framework to prioritize design requirements in quality function deployment”, *Computers & Industrial Engineering*, 47(2), 2004, 149–163.

[5]. Liu, X., Chen Y.”A systematic approach to optimizing h value for fuzzy linear regression with symmetric triangular fuzzy numbers”, *Mathematical Problems in Engineering*, 2013, 1-9

[6]. Zhong, S., Zhou, J., Chen, Y. ”Determination of target values of engineering characteristics in QFD using a fuzzy chance-constrained modelling approach”. *Neurocomputing*, 142 (1), 2014, 125–135.

[7]. Ko, W.C., Chen, L.H. “An approach of new product planning using quality function deployment and fuzzy linear programming model”. *Int. J. Prod. Res*, 52 (6), 2014, 1728–1743.

[8]. Liu, Y., Zhou, J., Chen, Y. ”Using fuzzy non-linear regression to identify the compensation level among customer requirements in QFD”. *Neurocomputing*, 142 (1), 2014, 115–124.

[9]. Rezaei, K., Hosseini Ashtiani, H., Hoshiar, M. ”QFD A customer-oriented approach to designing and improving product quality”, *Cooperative Co., Ltd*. 2002

[10]. Mottiqi, H., Safari, H., Dehghani, K, "Using Fuzzy QFD in Strategic Product Management: Case Study in Pars Electric Co. ", *Management Research in Iran*, 15(2), 2011, 151-179

[11]. Azar, A., Nahavandi, B., Rajabzadeh, Ali (), “Planning and Improvement of Expansion of Quality Performance Using Process, Fuzzy Network Analysis and Ideal Planning”, *Management Research in Iran*, 12(4), 2008, 37-68

[12]. Hosseini Ashtiani, H., Hoshiar, M. (2001) "Customer-Oriented Approach to Designing and Improving Product Quality", *Tehran, Athena Publishing House*.

[13]. Nouri, I., Bakhtiari, A.”Application of QFD in order to identify the main characteristics of website design using fuzzy TOPSIS”. *Industrial Management Journal of Islamic Azad University*, Sanandaj Branch, , 4(9), 2009, 75-88

[14]. Zhianpour, H., Zinipour, H., Ahmadi Kahnali, R. () ”Application of QFD in converting the demands of in-service training clients into educational requirements (Case Study: Central Astan Quds Razavi Book Organization)”, *Public Management Research*, Fifth year, 15, 2012, 112-85.

[15]. Hojjati, S. M. H., Zareeniya, M. () “A New Approach to Weighting Customers' Desires and Prioritizing Product Technical Characteristics with Fuzzy QFD Approach”, *Engineering and Management, Sharif*, 1(30), . 1393, 150-137

[16]. Kahraman, C., Ertay, T. "A fuzzy optimization model for QFD planning process using analytic network approach", *European Journal of Operational Research*, 2(1), 2006, 171-390.

[17]. Kim, K. J., Moskowitz, H., Dhingra, A., Evans, G. "Fuzzy multicriteria models for quality function deployment", *European Journal of Operational Research*, 121(3), 2000 ,504-518

[18]. Tang, J. R., Fung, Y. K., Xu, B., Wang, D. (2002). "A new approach to quality function deployment planning with financial consideration", *Computers & Operations Research*, 29: 1447-1463.

[19]. Ahmadimanesh, M., Tavakoli, A., Naji, Z.(2013). "Product design and prototype selection using fuzzy QFD and linear assignment technique", Msc Thesis, Faculty of Economics & Administrative sciences, Ferdowsi of mashhad university

۹- پیوست

$$Y=\begin{bmatrix}12940.325\\804.6674\\432.9482\\273.8625\\2736.1524\\1754.564\\483.2616\\1064.0830\end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}\boldsymbol{min}\ \Delta= {} & 1.580751as11 + 98.735526as14 + 0.72576as15 + 0.6384034as112 \\ & + 0.72576as25 + 137.960245as27 + 29.275120as28 \\ & + 137.960245as37 + 29.275120as38 + 0.88690as310 \\ & + 1.580751as41 + 0.725760as45 + +0.727590as46 \\ & + 1.580751as51 + 85.7850671as52 + 43.139497as53 \\ & + 98.7355263as54 + 0.725760as55 + 0.727590as56 \\ & + 137.960245as57 + 29.275120as58 + 0.6384034as512 \\ & + 1.580751as61 + 85.7850671as62 + 43.139497as63 \\ & + 98.735526as64 + 0.725760as65 + 0.727590as66 \\ & + 29.275120as68 + 0.6384034as612 + 1.580751as71 \\ & + 0.725760as75 + 0.1756390as81 + 137.960245as87 \\ & + 29.275120as88 + 0.814406as89 + 0.7582423as811\end{aligned}$$

s.to:

1.580751as11 + 98.735526as14 + 0.72576as15 + 0.6384034as112 - 1.580751ac11 - 98.735526ac14 - 0.72576a15 - 0.6384034ac112 ≥ -12940.32589

0.72576as25 + 137.960245as27 + 29.2751204as28 - 0.72576ac25- 137.960245ac27 - 29.2751204ac28 ≥ -804.6674735

137.960245as37 +29.2751204as38 +0.88690as310 - 137.960245ac37 - 29.2751204ac38 + 0.88690ac310 ≥ -432.948233

1.580751as41 + 0.725760as45+ 0.727590as46 - 1.580751ac41 - 0.725760ac45 - 0.727590ac46 ≥ -273.8625486

1.580751as51+ 85.785067as52 + 43.139497as53 + 98.735526as54 + 0.725760as55 + 0.7275900as56 + 137.960245as57+29.275120as58 + 0.6384034as512- 1.580751ac51+ 85.785067ac52 - 43.139497ac53 - 98.735526ac54 - 0.725760ac55- 0.7275900ac56 - 137.960245ac57- 29.275120ac58- 0.6384034ac512 ≥ -2736.152400
1.580751as61+85.7850671as62 +43.1394972as63+98.735526as64 +0.725760as65+ 0.7275900as66 +29.2751204as68 +0.6384034as612-1.580751ac61-85.7850671ac62 - 43.1394972ac63-98.735526+ac64 -0.725760ac65- 0.7275900ac66 - 0.851359ac67- 29.2751204ac68-0.6384034ac612 ≥ -1754.56416

1.580751as71 +0.725760as75-1.580751ac71 - 0.725760ac75 ≥ -483.26165

1.580751as81 +137.96024as87 + 29.2751204as88 + 0.814406as89 + 0.7582423as811- 1.580751ac81 -137.96024ac87 - 29.2751204ac88 - 0.814406ac89 - 0.7582423ac811 ≥ -1064.083024

1.580751as11 + 98.7355267as14 + 0.72576as15 + 0.6384034as112 + 1.580751ac11 + 98.7355267ac14 + 0.72576a15 + 0.6384034ac112 ≥ 12940.325892

0.72576as25 + 137.96024as27 +29.27512043as28 + 0.72576ac25+137.96024ac27 +29.27512043ac28 ≥ 804.667473

137.96024as37 +29.27512as38 +0.88690as310+ 137.96024ac37 + 29.27512ac38 + 0.88690ac310 ≥ 432.948233

1.580751as41 + 725760as45+0.7275904as46+ 1.580751ac41+ 0.725760ac45 + 0.727590ac46 ≥ 273.86254865

1.580751as51+85.785067as52 +43.139497as53 +98.7355267as54 + 0.725760as55+ 0.727590as56 + 137.96024as57+ 29.275120as58 + 0.6384034as512+ 1.580751ac51+85.785067ac52 +43.139497ac53+98.7355267ac54+0.725760ac55+

0.727590ac56 +137.96024ac57+29.275120ac58+0.6384034ac512≥2736.152400

1.580751as61+85.7850671as62 +43.1394972as63 +98.735526as64 +0.725760as65+ 0.727590as66 +29.275120as68 +0.6384034as612+1.580751ac61+85.7850671ac62 +43.1394972ac63+98.735526ac64 +0.725760ac65+ 0.727590ac66 + 29.275120ac68+0.6384034ac612≥1754.56416

1.580751as71 +0.72576075+0.1.580751ac71 + 0.725760ac75≥483.261659

1.580751as81 +137.960245as87 +29.275120as88 +0.814406as89+ 0.7582423as811+1.580751ac81 + 137.960245ac87 +29.275120ac88 +0.814406ac89+ 0.7582423ac811≥1064.08302