



PRESENTING A FRAMEWORK FOR ROBUST QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD), UNDER THE CONDITION OF INPUTS BEING FUZZY

Fatemeh Karimi, Soudabeh Namdar Zangeneh & Hamid Shahriary*

Fatemeh Karimi, MSc, Department of Industrial Engineering, Alzahra University.

Soudabeh Namdar Zangeneh, Faculty Member of Industrial Engineering Department, Alzahra University.

Hamid Shahriary, Faculty Member of Industrial Engineering Department, Khajeh Nasir Toosi.

Keywords

QFD,
Fuzziness, Robustness,
Engineering Characteristics,
Customer requirements

ABSTRACT

QFD method is a tool for improving the quality of production and services. The existing input data for QFD such as the weight of customer requirements, the weight of the relationship between customer requirements and engineering characteristics, and also the weight of the relationship between engineering characteristics are often limited, not exact, or in the best state ambiguous, which leads to uncertainty in the results. The impression of input data uncertainty is apparent in QFD output which causes variability of the analysis results of QFD. Being fuzzy is a characteristic that leads to uncertainty in input data in consequently changes in output results. Therefore, a few studies have been conducted on evaluating the changeability of the obtained results from QFD by the title of "Robust QFD". In the present study, we introduce a framework for Robust QFD, which evaluates the power of QFD based on having the exact output data, under the condition of uncertainty resulting from having fuzzy inputs. In order to evaluate and study the desirability of the presented framework, the proposed methodology is demonstrated on a numeral example and an index for Robustness has been introduced. The findings indicate that the proposed methodology helps to a more certain resulting from QFD.



ارائه چارچوبی برای QFD (توسعه عملکرد کیفیت) استوار، در شرایط فازی بودن ورودی‌ها

فاطمه کریمی، سودابه نامدار زنگنه و حمید شهریاری*

چکیده:

روش QFD یکی از ابزارهای بهبود کیفیت تولید و خدمات است. اطلاعات ورودی QFD، از جمله، وزن نیازمندی‌های مشتری، وزن رابطه‌ی بین نیازمندی‌های مشتری و مشخصات مهندسی و وزن رابطه‌ی بین مشخصات مهندسی، اغلب محدود، غیر دقیق یا در بهترین حالت، مبهم است که موجب بروز عدم قطعیت در نتایج می‌گردد. تأثیر عدم قطعیت در ورودی‌ها، در خروجی QFD ظاهر می‌شود که موجب تغییر نتایج می‌گردد. فازی بودن، ویژگی است که منجر به عدم قطعیت در ورودی و به موجب آن تغییر در نتایج خروجی خواهد شد. تحقیقات معدودی در زمینه‌ی بررسی تغییرپذیری نتایج QFD، با عنوان QFD استوار، صورت گرفته که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به تغییرپذیری در هنگام ناسازگاری نیازمندی مشتریان اشاره کرد. در این مطالعه، چارچوبی برای QFD استوار، که قدرت QFD مبنی بر داشتن اطلاعات دقیق خروجی، تحت عدم قطعیت ناشی از فازی بودن ورودی‌ها و بررسی تأثیر آن بر نتایج خروجی را بررسی می‌نماید، معرفی می‌کنیم. به منظور بررسی مطلوبیت چارچوب، روش پیشنهادی برای یک مثال عددی، نشان داده شده و شاخصی برای استواری نتایج معرفی گردیده است و نیز نتایج آن با مطالعات فاقد عدم قطعیت، مقایسه گردیده است. یافته‌ها نشان می‌دهند که روش پیشنهادی به نتیجه‌گیری مطمئن‌تر از QFD، به خوبی کمک می‌نماید.

کلمات کلیدی

QFD، فازی بودن، شاخص استواری، تغییرپذیری، شاخص استواری

۱. مقدمه

کیفیت محصول از جمله‌ی مهمترین ویژگی‌های مورد توجه تولید کنندگان و مصرف کنندگان است. در جهان رقابتی کنونی، ارتقای کیفیت محصول برای شرکت‌ها امری ضروری و مورد توجه است. در این زمینه روش‌های مختلفی ارائه شده است که یکی از آن‌ها توسعه‌ی عملکرد کیفیت^(۱) (QFD) است. QFD یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای پشتیبانی از برنامه ریزی محصول است [۱].

QFD از طریق نظر سنجی از مشتریان، تبدیل خواسته‌ها به ویژگی‌های مهندسی و روندی که طی می‌نماید، اختصاص بهینه‌ی منابع به تولید و خدمات را در بر خواهد داشت. از این رو پرداختن به این موضوع، نتایج جالب توجه برای شرکت‌های تولیدی و خدماتی در بر خواهد داشت. مفهوم گسترش کیفیت برای اولین بار توسط پروفیسور یوجی آکائو^۲ در سال ۱۹۶۶، مطرح شد و در سال ۱۹۶۹ در قالب یک مقاله‌ی علمی توسط وی انتشار یافت. آکائو در ادامه‌ی تحقیقات خود در مورد QFD، در آوریل ۱۹۷۲ اقدام به ارائه‌ی ایده‌ی خود در مورد مفهوم گسترش کیفیت در قالب یک سیستم با عنوان هینشیتو تنکی سیستم^۳ نمود. این واژه به زبان ژاپنی معادل سیستم توسعه‌ی عملکرد کیفیت است. نقطه‌ی عطف تکامل روش QFD در سال ۱۹۷۸ با انتشار کتابی با عنوان توسعه‌ی عملکرد کیفیت از سوی آکائو و شیگرو^۴ همراه بود. از زمان پیدایش متدولوژی QFD تاکنون مقالات بسیاری در این زمینه به چاپ رسیده است که یا در زمینه QFD بوده و یا تلفیقی

تاریخ وصول: ۹۲/۰۷/۰۶

تاریخ تصویب: ۹۳/۰۲/۰۲

فاطمه کریمی: دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه الزهرا (س)،

Fatemeh313karimi@yahoo.com

سودابه نامدار زنگنه، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه الزهرا (س)،

S_zangeneh@yahoo.com

*نویسنده مسئول مقاله: حمید شهریاری: دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه

خواجه نصیرالدین طوسی، hshahriari@kntu.ac.ir

چارچوب را در مثالی تشریح نمودند [۲۰]. چن، با استفاده از متد عدم قطعیت، رویکردی را برای مدلسازی برنامه ریزی QFD، ارائه کرد [۲۱]. لیانگ، مدل های برنامه ریزی خطی فازی برای طراحی محصول جدید با استفاده از QFD به همراه FMEA [۲۲]. ژوان و همکاران، از روش QFD فازی برای انتخاب پیمانکار نوسازی مسکن، استفاده نمود [۲۳]. هاوو، QFD فازی را از برنامه ریزی محصول به توسعه ی اجزاء توسعه داد [۲۴]. کیم و همکاران شاخصی را برای استوار بودن QFD معرفی نمودند [۲۵]. لیانگ و همکاران، مدل برنامه ریزی خطی فازی برای طراحی محصول جدید با استفاده از مراحل چهارگانه ی QFD، براساس مفهوم زنجیره ی میانه - پایان، پیشنهاد دادند [۲۶]. هاوو، با استفاده از رویکرد QFD فازی و تصمیم گیری چند معیاره، طراحی و انتخاب محصول را تشریح نمود [۲۷]. جیا، رویکردی را برای توسعه ی استراتژی تولید براساس QFD فازی پیشنهاد داد [۲۸]. زندی، برای ارزیابی چارچوب e-CRM در تولید چابک، مدل QFD فازی را مطرح نمود [۲۹]. یینگ مینگ و همکاران، با تلفیق نرمال سازی فازی و میانگین وزنی فازی، اهمیت فنی در QFD فازی را رتبه بندی نمود. وانگ، از QFD فازی برای دادن مجوز به ثبت اختراع استفاده نمود [۳۰]. همان طور که پیداست در سال‌های ابتدایی پیدایش این مفهوم، بیش‌تر مطالعات روی مدل کردن روابط معطوف بوده و در سال‌های اخیر کاربردهای QFD فازی بیش‌تر مورد بررسی قرار گرفته است و نیز استواری در نتایج به دست آمده تحت شرایط وجود عدم قطعیت، کمتر مورد توجه قرار گرفته است که کیم و همکاران نیز به این نکته اشاره نموده‌اند و براساس اهمیت توجه به استواری نتایج و در عین حال کم توجهی به این مسئله در تحقیقات، چارچوب اولیه خود را ارائه نموده‌اند. از این رو ما نیز در این مقاله به استواری نتایج اهمیت ویژه داده‌ایم و با استفاده از مقالات مرتبط با این موضوع، رویکردی جدیدی را برای استواری نتایج QFD که همان میزان قطعیت رتبه‌بندی مشخصات مهندسی تحت عدم قطعیت ناشی از فازی بودن ورودی‌هاست، بیان نموده‌ایم.

۲. QFD ساده

QFD ساده به حالتی اطلاق می‌شود که هیچ گونه عدم قطعیتی در هیچ یک از اطلاعات ورودی وجود نداشته باشد. برای تحلیل این نوع QFD روش‌های متعددی پیشنهاد شده است که ما در این جا از یک نوع تکنیک استفاده نموده‌ایم. در طی این مقاله، از نماد- گذاری زیر استفاده نموده‌ایم.

CR_i : i امین نیازمندی مشتری، $i = 1, 2, \dots, m$ ، EC_j : j امین مشخصه ی مهندسی، $j = 1, 2, \dots, n$ ، قدرت رابطه ی بین

از آن با سایر تکنیک‌ها. برای مثال زارع مهرجردی و همکاران با تلفیق QFD و DEA که یک مدل برنامه‌ریزی خطی است، به ارزیابی و رتبه‌بندی اهمیت نسبی مشخصات مهندسی [۲] و فرپور خانپشتانی و نورالسنا، با تلفیق EFQM, Strategy MAP, SWOT, BSC, QFD، به تدوین و پیاده سازی استراتژی در شرکت پست جمهوری اسلامی ایران پرداخته‌اند [۳]. ولی تلفیق QFD و منطق فازی و بررسی استوار بودن، در مقالات کمتری نسبت به بررسی جداگانه هر کدام از این سه موضوع، دیده می‌شود. کیم و موسکوویچ، مدل چند معیاره‌ی فازی را برای توسعه ی عملکرد کیفیت ارائه داند [۴]. خو و هو، چارچوبی را برای استقرار یک سیستم فازی QFD توسعه داده اند [۵]. ورما و همکاران، مکانیزم QFD برای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم را توسعه دادند [۶]. کالارگرس، بر ساده سازی محاسبات QFD بر اساس منطق فازی تمرکز کرد [۷]. مینگ ژو، روند رتبه بندی فازی را در QFD به کار گرفتند [۸]. تمپنی و همکاران، نیازمندی‌های خانه‌ی کیفیت را براساس منطق فازی، تحلیل نمودند [۹]. وانگ، QFD را به صورت یک مسئله تصمیم گیری چند معیاره در نظر گرفته است و یک مدل فازی را برای به دست آوردن رتبه بندی اهمیت EC ها توسعه داده است [۱۰]. کیم، رویکرد چند معیاره ی QFD فازی را با استفاده از رگرسیون خطی فازی برای تخمین روابط تابعی بین نیازمندی‌های مشتری و مشخصات مهندسی و نیز بین مشخصات مهندسی پیشنهاد داد [۱۱]. وانگاس و لایب، یک رویکرد QFD فازی را برای تعیین مقادیر هدف مشخصات مهندسی با استفاده از روش میانگین موزون فازی توسعه دادند [۱۲]. تانگ و همکاران، 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 ی مهندسی را پیشنهاد دادند [۱۳]. کونگ (۲۰۰۳)، از AHP فازی برای تعیین وزن های اهمیت نیازمندی های مشتری در QFD استفاده نمود [۱۴]. بای و کونگ، برای تعیین مشخصات مهندسی در QFD، روش الگوریتم ژنتیک غیر دقیق را پیشنهاد داد [۱۵]. کنگیز، مدل بهینه سازی فازی برای فرآیند تصمیم‌گیری QFD را با استفاده از رویکرد شبکه‌ی تحلیلی ارائه نمود. لیانگ، برای ارزیابی طراحی مهندسی در فرآیند QFD با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی خطی، رویکردی را پیشنهاد داد. ییزنگ و همکاران، با تلفیق میانگین موزون فازی و عملگر ارزش مورد انتظار فازی، مشخصات مهندسی را رتبه بندی نمودند [۱۶]. چن و همکاران، رویکرد مدلسازی مقدار مورد انتظار فازی را برای تعیین مقادیر هدف مشخصات مهندسی پیشنهاد داد [۱۷]. لینگ، QFD با وزن فازی را برای ارزیابی مقادیر مشتری جزء، ارائه کرد [۱۸]. ایلونورا، مدیریت استراتژیک خدمات لجستیک با رویکرد QFD فازی، پیشنهاد داد [۱۹]. کیم و همکاران، چارچوبی را برای QFD استوار پیشنهاد دادند و این

ممکن است عدم قطعیت در QFD از چهار منبع ایجاد شود که عبارتند از: فازی بودن، ناسازگاری، نوسان و کامل نبودن [۲۰]. هر کدام از چهار نوع عدم قطعیت را به صورت زیر تشریح می‌نماییم. فازی بودن: برای ماهیت مبهم یا ابهام درک مشتری از وزن‌های نسبی، به حساب می‌رود [۵]. ناسازگاری: ناشی از دیدگاه‌های مختلف یا سلیقه‌ی مشتریان متعدد است [۲۰]. نوسان: ناشی از تغییر نیازمندی‌های مشتریان در طول زمان است [۳۳]. کامل نبودن: از کمبود اطلاعات یا قابلیت پردازش اطلاعات محدودی از مشتریان، ناشی می‌شود [۳۴]. در این مطالعه سعی بر آن است که عدم قطعیت ناشی از فازی بودن اطلاعات ورودی را در نظر گرفته و چارچوبی را برای QFD استوار در چنین شرایطی، ارائه نماییم.

۳-۲. عرض متوسط یک عدد فازی (میزان عدم قطعیت)

برای به دست آوردن عرض متوسط یک عدد فازی باید گام‌های زیر طی شود.

گام ۱: بازه $[0,1]$ را به N تعداد زیر بازه تقسیم کنید و هر کدام را یک مقدار α در نظر بگیرید. گام ۲: سپس برای هر مقدار α ، برش α را محاسبه نمایید. گام ۳: عرض هر کدام از برش‌های α را از طریق تفاضل حد بالا و پایین، محاسبه نمایید. گام ۴: تمام عرض‌های به دست آمده را جمع کرده و سپس به $N+1$ تقسیم کنید. مقدار به دست آمده، میزان عدم قطعیت را بیان می‌کند [۳۵].

۴. چارچوب QFD استوار در شرایط فازی بودن

ورودی‌ها

برای فائق آمدن بر محدودیت‌های QFD ساده که بخش اعظمی از مطالعات روی این مسئله را شامل می‌شود، QFD استوار را پیشنهاد می‌نماییم. این رویکرد دارای چهار گام اصلی است که عبارتند از: مدلسازی عدم قطعیت، استخراج تغییرپذیری، رتبه‌بندی ECها و ارزیابی استوار و بهبود. سه گام نخست، مفهومی متناظر با QFD ساده دارد که عبارتند از: جمع آوری اطلاعات ورودی به HOQ، محاسبه‌ی اهمیت ECها و اولویت بندی ECها. تنها تفاوت، در نظر گرفتن عدم قطعیت و تأثیر آن بر ارزیابی و پردازش، است. فرض می‌کنیم که عدم قطعیت ناشی از فازی بودن وزن CR ها (\tilde{k}_i) ، وزن رابطه‌ی بین CR ها و EC ها (\tilde{r}_{ij}) و نیز وزن رابطه‌ی EC ها (\tilde{p}_{jk}) ، مجاز است و تغییر پذیری، فقط برای مقادیر اهمیت EC ها (\tilde{W}_j) ، در نظر گرفته می‌شود.

گام ۱: مدلسازی عدم قطعیت

این گام، درجه و الگوی عدم قطعیت را در یک روش کمی، نشان می‌دهد. وزن CR ها (\tilde{k}_i) ، وزن رابطه‌ی بین CR ها و EC ها (\tilde{r}_{ij}) و نیز وزن رابطه‌ی بین EC ها (\tilde{p}_{jk}) ، به صورت یک عدد فازی در نظر گرفته می‌شود. برای بررسی استوار بودن نتایج، هر یک از ورودی‌های

CR_i و EC_j ، p_{jk} : قدرت رابطه‌ی بین EC_k و EC_j و W_j :

اهمیت مشخصه‌ی مهندسی Z_m .

در QFD ساده، رتبه بندی مشخصات مهندسی به این صورت محاسبه می‌شوند: ۱- به وسیله قرارداد، هر نماد در ماتریس رابطه، مقداری را که بیانگر شدت سلول‌های نیازمندی‌های مشتری (CR_i) و مشخصات مهندسی (EC_j) ، r_{ij} است، دریافت می‌نماید. ۲- این مقادیر پس از نرمال شدن از طریق رابطه‌ی ۱، در شاخص مطلوبیت مشتری (k_i) ضرب می‌شوند. ۳- رتبه بندی اهمیت هر $EC (W_j)$ ، با استفاده از رابطه‌ی ۲ و مقایسه به دست می‌آید. این رتبه بندی برای تعیین، جزئی تر شدن مشخصات مهندسی و تخصیص منابع بهتر، کاربرد دارد [۳۱]. برای به دست آوردن W_j ، از رابطه‌ی ۱ استفاده می‌نماییم [۳۲].

$$r'_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n r_{ik} p_{kj}}{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n r_{ik} p_{kj}} \quad (1)$$

$$W_j = \frac{\sum_{i=1}^m k_i r'_{ij}}{\sum_{i=1}^m k_i}, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

که p_{kj} ، قدرت رابطه‌ی بین EC_k و EC_j است. در این حالت، عدم قطعیت در نظر گرفته نشده است و مقادیر به دست آمده با فرض قطعی بودن اطلاعات ورودی، همراه است.

۳. عدم قطعیت و تغییرپذیری

اطلاعات ورودی موجود برای QFD، اغلب محدود، غیر دقیق یا در بهترین حالت مبهم است. در هنگام توسعه‌ی محصول جدیدی که چرخه‌ی عمر کوتاهی دارد، درجه‌ی عدم قطعیت در اطلاعات ورودی، مهم تر است. تأثیر عدم قطعیت در اطلاعات ورودی، در خروجی QFD منتشر می‌شود که موجب تغییر پذیری نتایج تحلیل QFD می‌شود. عدم قطعیت در اطلاعات ورودی وجود داشته و تغییرپذیری متناسب با تغییر در ورودی‌ها به دست می‌آید. یکی از منابعی که موجب وجود عدم قطعیت در QFD ساده می‌شود، فازی بودن اطلاعات ورودی به آن است. مخصوصاً زمانی که محصول، خیلی خلاقانه و به صورت یک اختراع جدید باشد، این مطلب صدق می‌کند و مطالعه‌ی QFD در چنین شرایطی را لازم می‌سازد [۲۵]. عدم در نظر گرفتن عدم قطعیت، نتایج تحلیل‌های QFD را با اشتباه همراه می‌سازد.

۳-۱. انواع عدم قطعیت

استواری به دست می‌آید. هرچه مقدار به دست آمده به عدد یک نزدیک‌تر باشد، نتایج به دست آمده استوارتر است.

۵. مثال عددی

به منظور روشن نمودن موضوع، از یک مثال عددی فرضی کمک گرفته‌ایم. خانه‌ی کیفیت نشان داده شده در شکل (۱) را در نظر می‌گیریم و عملیات را روی اطلاعات آن انجام می‌دهیم. فرض می‌کنیم ۴ نوع نیازمندی مشتری شناسایی شده و ۵ مشخصه‌ی مهندسی برای برآوردن آن‌ها تعیین شود. وزن هر کدام از مقادیر در شکل (۱) آورده شده است. طبق سناریو ۱ و با در نظر نگرفتن عدم قطعیت، وزن متناسب با هر توصیف در حالت قطعیت، در جدول (۱) آورده شده است که این اوزان با توجه به مثال و به طور فرضی در نظر گرفته شده است و هر تحلیل‌گر می‌تواند وزن دلخواه و متناسب با پروژه مد نظر خود را تعریف نماید. در شکل (۲) تابع عضویت هر یک از متغیرهای زبانی برای توصیف وزن‌ها آورده شده است که شامل اعداد فازی مثلثی و دوزنقه‌ای است.

جدول ۱. وزن اهمیت‌ها در حالت قطعیت

اهمیت	نماد	نمره
خیلی قوی / مهم	●	۰/۹۵
قوی / مهم	○	۰/۸۰
نسبتاً قوی / مهم	⊗	۰/۷۰
متوسط	□	۰/۵۰
نسبتاً ضعیف / غیر مهم	▲	۰/۳۰
ضعیف / غیر مهم	◇	۰/۲۰
خیلی ضعیف / غیر مهم	▼	۰/۱۰

مذکور را ثابت فرض می‌کنیم و سایرین را فازی در نظر می‌گیریم تا از این طریق ورودی‌ای که بیشترین تأثیر در بروز عدم قطعیت دارد را شناسایی نماییم و آن را بهبود دهیم و سپس مراحل بعدی را طی می‌نماییم.

گام ۲: استخراج تغییرپذیری

این گام، تغییرپذیری مقدار اهمیت ECها را به عنوان نتیجه‌ای از عدم قطعیت ورودی‌ها، استخراج می‌کند. مقدار اهمیت EC طبق رابطه‌ی ۱-۲، محاسبه می‌شود. در QFD ساده فرض می‌شود که k_i ها و r_{ij} ها، ثابت باشند. در مدل ارائه شده، \tilde{k}_i ، \tilde{r}_{ij} و \tilde{p}_{jk} یک عدد فازی است و از این رو، اهمیت ECها، \tilde{W}_j ، یک عدد فازی دیگر است.

گام ۳: اولویت بندی ECها

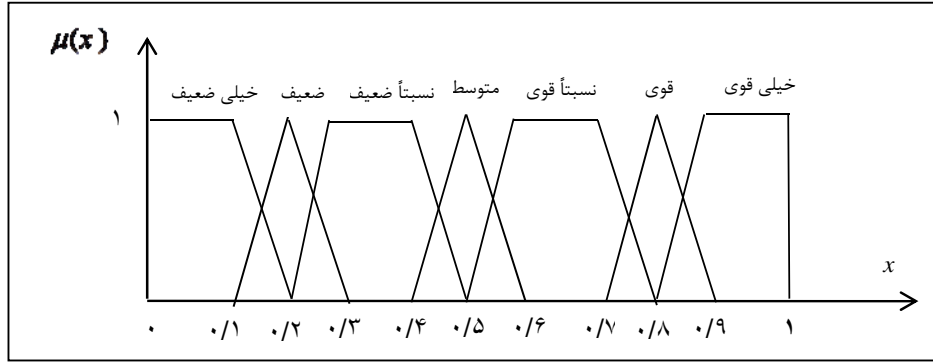
این گام، ECها را بر اساس مقادیر \tilde{W}_j که در گام ۲ به دست آمده است، اولویت بندی می‌کند. اولویت بندی برای حالت بدون عدم قطعیت به صورت ساده و از بیشتر به کمتر انجام می‌شود و در حالت فازی بودن، با استفاده از ترسیم تابع عضویت برای هر وزن اهمیت مشخصه‌ی مهندسی و مقایسه و یا از طریق غیر فازی‌سازی به دست می‌آید.

گام ۴: ارزیابی و بهبود استوار بودن

اولویت‌بندی EC انجام شده در گام ۳، به طور طبیعی، قطعی نیست. از این رو، همیشه امکان خطا در اولویت بندی وجود دارد. پایداری تصمیمات اولویت بندی از جمله نگرانی‌هاست که در این جا با نام استوار بودن، به آن اشاره شده است. شاخصی که درجه‌ی استوار بودن را ارزیابی می‌کند، می‌توان معرفی کرد. با استفاده از شاخص استوار بودن، تحلیل‌های مختلفی برای تدبیر استراتژی‌های بهبود استوار بودن، می‌تواند تشکیل شود. در شاخص ارائه شده، رتبه‌بندی صورت گرفته در هر مرحله با در نظر گرفتن عدم قطعیت با حالتی که عدم قطعیت وجود ندارد، مقایسه شده و براساس رابطه‌ای که ارائه می‌شود، میزان

		مشخصات مهندسی مورد نیاز				
		EC_1	EC_2	EC_3	EC_4	EC_5
EC_5		□	●	●		
EC_4				●		
EC_3		□	●			●
EC_2		●	□			□
EC_1		●				
		درجه‌ی اهمیت				
CR_1	◇	□			●	
CR_2	□		□	●		●
CR_3	⊗	◇	□	●		●
CR_4	□	◇			●	

شکل ۱. خانه‌ی کیفیت مثال عددی



شکل ۲. تابع عضویت واژه های زبانی روابط و همبستگی‌ها در حالت عدم قطعیت فازی [۳۲]

فرض می‌شود که هر وزن CR و وزن رابط بین CR و EC و همچنین همبستگی بین EC ها، فازی است. چون تمام وزن‌ها فازی هستند، از این رو دارای حد پایین (k_i^L) و حد بالا (k_i^U) می‌باشند. مقادیر (k_i^L) ، (k_i^U) ، $(r'_{ij})^L$ ، $(r'_{ij})^U$ و $(p_{jk})^L$ ، $(p_{jk})^U$ در ستون سوم سناریو ۲ جدول (۲) آورده شده است. یکی از حالت‌های سناریو ۳ که وزن اولین نیازمندی مشتری را قطعی و سایر وزن‌ها را فازی در نظر گرفته است در ستون چهارم جدول (۲) آورده شده است.

$$(r'_{ij})^L_{\alpha} = \min \sum_{k=1}^n z_{ik} (p_{kj})^L_{\alpha}$$

$$s.t. \sum_{k=1}^n z_{ik} ((p_{kj})^L_{\alpha} + \sum_{l=1, l \neq j}^n (p_{kl})^U_{\alpha}) = 1, \quad (3)$$

$$(r_{ik})^L_{\alpha} t \leq z_{ik} \leq (r_{ik})^U_{\alpha} t, \quad \forall k, t > 0$$

$$(r'_{ij})^U_{\alpha} = \max \sum_{k=1}^n u_{ik} (p_{kj})^U_{\alpha}$$

$$s.t. \sum_{k=1}^n u_{ik} ((p_{kj})^U_{\alpha} + \sum_{l=1, l \neq j}^n (p_{kl})^L_{\alpha}) = 1, \quad (4)$$

که t, s, z_{ik} و u_{ik} ، متغیرهای تصمیم‌گیری هستند که به صورت زیر تعریف می‌شوند.

$$t = \frac{1}{\sum_{l=1}^n \sum_{k=1}^n r_{ik} (p_{kl})^U_{\alpha} + \sum_{k=1}^n r_{ik} (p_{kj})^L_{\alpha}}, \quad z_{ik} = tr_{ik}, \quad \forall k \quad (5)$$

$$s = \frac{1}{\sum_{l=1}^n \sum_{k=1}^n r_{ik} (p_{kl})^L_{\alpha} + \sum_{k=1}^n r_{ik} (p_{kj})^U_{\alpha}}, \quad u_{ik} = sr_{ik}, \quad \forall k \quad (6)$$

۵-۱. تحلیل HOQ

در این مثال، وزن CR ها و روابط و همبستگی‌ها فازی است. تحلیل HOQ، با سه سناریوی مختلف روی عدم اطمینان وزن‌های CR و روابط و همبستگی‌ها، انجام شده است. سناریوی ۱ هیچ عدم قطعیتی را در وزن‌های CR و روابط و همبستگی‌ها در نظر نمی‌گیرد. از این رو، فرض می‌شود که مانند QFD ساده، وزن‌های CR و وزن روابط و همبستگی‌ها، قطعی هستند. در سناریوی ۲ فرض می‌شود که هر وزن CR و وزن رابط بین هر CR و EC و همچنین همبستگی بین EC ها، فازی است و هر کدام توسط یک عدد فازی مرتبط با نوع کیفی خود، توصیف شوند. در سناریوی ۳ هر یک از وزن‌های CR و وزن رابط بین هر CR و EC و همچنین همبستگی بین EC ها را به طور مجزا قطعی فرض می‌کنیم و سایر وزن‌ها را فازی در نظر می‌گیریم که در این صورت، به تأثیرگذاری عاملی که فازی بودن آن تأثیر بیشتری در بروز عدم قطعیت دارد، پی می‌بریم. ویژگی‌های این سه سناریو در شکل (۳) آورده شده است.

گام ۱: مدلسازی عدم قطعیت

در این گام به کمک روابط (۲) و (۳) حد پایین و حد بالای رابطه‌ی نرمال شده‌ی فازی بین نیازمندی‌های مشتری و مشخصات مهندسی را تعیین می‌نماییم. روابط (۵) و (۶) برای خطی‌سازی برنامه استفاده شده است [۳۲]. محدودیت اول تضمینی برای نرمالسازی است و محدودیت دوم، هریک از متغیرها را بین حدود بالا و پایین ذکر شده قرار می‌دهد. ستون دوم جدول (۲)، وزن‌های تعیین شده برای سناریوی ۱ را معرفی می‌نماید. در سناریوی ۲



شکل ۳. جریان گام‌های چارچوب QFD استوار پیشنهاد

جدول ۲. مدلسازی عدم قطعیت مثال عددی

سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳	
۲,۰	$[0,1 + 0,1\alpha, 0,3 - 0,1\alpha]$	۲,۰	k_1
۵,۰	$[0,4 + 0,1\alpha, 0,6 - 0,1\alpha]$	$[0,4 + 0,1\alpha, 0,6 - 0,1\alpha]$	k_2
۷,۰	$[0,5 + 0,1\alpha, 0,8 - 0,1\alpha]$	$[0,5 + 0,1\alpha, 0,8 - 0,1\alpha]$	k_3
۵,۰	$[0,4 + 0,1\alpha, 0,6 - 0,1\alpha]$	$[0,4 + 0,1\alpha, 0,6 - 0,1\alpha]$	k_4
۵,۰	$[0,4 + 0,1\alpha, 0,6 - 0,1\alpha]$	$[0,4 + 0,1\alpha, 0,6 - 0,1\alpha]$	r_{11}

سناریو ۳	سناریو ۲	سناریو ۱	
.	.	.	r_{12}
.	.	.	r_{13}
$[0.8 + 0.1\alpha, 1]$	$[0.8 + 0.1\alpha, 1]$	۹۵٫۰	r_{14}
.	.	.	r_{15}
.	.	.	r_{21}
$[0.4 + 0.1\alpha, 0.6 - 0.1\alpha]$	$[0.4 + 0.1\alpha, 0.6 - 0.1\alpha]$	۵٫۰	r_{22}
$[0.8 + 0.1\alpha, 1]$	$[0.8 + 0.1\alpha, 1]$	۹۵٫۰	r_{23}
.	.	.	r_{24}
$[0.8 + 0.1\alpha, 1]$	$[0.8 + 0.1\alpha, 1]$	۹۵٫۰	r_{25}
$[0.1 + 0.1\alpha, 0.3 - 0.1\alpha]$	$[0.1 + 0.1\alpha, 0.3 - 0.1\alpha]$	۲٫۰	r_{31}
$[0.4 + 0.1\alpha, 0.6 - 0.1\alpha]$	$[0.4 + 0.1\alpha, 0.6 - 0.1\alpha]$	۵٫۰	r_{32}
$[0.8 + 0.1\alpha, 1]$	$[0.8 + 0.1\alpha, 1]$	۹۵٫۰	r_{33}
.	.	.	r_{34}
$[0.8 + 0.1\alpha, 1]$	$[0.8 + 0.1\alpha, 1]$	۹۵٫۰	r_{35}
$[0.1 + 0.1\alpha, 0.3 - 0.1\alpha]$	$[0.1 + 0.1\alpha, 0.3 - 0.1\alpha]$	۲٫۰	r_{41}
.	.	.	r_{42}
.	.	.	r_{43}
$[0.8 + 0.1\alpha, 1]$	$[0.8 + 0.1\alpha, 1]$	۹۵٫۰	r_{44}
.	.	.	r_{45}
$[0.8 + 0.1\alpha, 1]$	$[0.8 + 0.1\alpha, 1]$	۹۵٫۰	p_{11}
.	.	.	p_{12}
.	.	.	p_{13}
.	.	.	p_{14}
.	.	.	p_{15}
.	.	.	p_{21}
$[0.8 + 0.1\alpha, 1]$	$[0.8 + 0.1\alpha, 1]$	۹۵٫۰	p_{22}
$[0.4 + 0.1\alpha, 0.6 - 0.1\alpha]$	$[0.4 + 0.1\alpha, 0.6 - 0.1\alpha]$	۵٫۰	p_{23}
.	.	.	p_{24}
$[0.4 + 0.1\alpha, 0.6 - 0.1\alpha]$	$[0.4 + 0.1\alpha, 0.6 - 0.1\alpha]$	۵٫۰	p_{25}
.	.	.	p_{31}
$[0.4 + 0.1\alpha, 0.6 - 0.1\alpha]$	$[0.4 + 0.1\alpha, 0.6 - 0.1\alpha]$	۵٫۰	p_{32}
$[0.8 + 0.1\alpha, 1]$	$[0.8 + 0.1\alpha, 1]$	۹۵٫۰	p_{33}
.	.	.	p_{34}
.	.	.	p_{35}
.	.	.	p_{41}
.	.	.	p_{42}
.	.	.	p_{43}
$[0.8 + 0.1\alpha, 1]$	$[0.8 + 0.1\alpha, 1]$	۹۵٫۰	p_{44}

سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳
P_{45}	.	.
P_{51}	.	.
P_{52}	$[0.4 + 0.1\alpha, 0.6 - 0.1\alpha]$	$[0.4 + 0.1\alpha, 0.6 - 0.1\alpha]$
P_{53}	$[0.8 + 0.1\alpha, 1]$	$[0.8 + 0.1\alpha, 1]$
P_{54}	.	.
P_{55}	$[0.8 + 0.1\alpha, 1]$	$[0.8 + 0.1\alpha, 1]$

گام ۲: استخراج تغییر پذیری

گام ۲ تغییر پذیری W را بر اساس مدل عدم قطعیت ارائه شده در گام ۱، به دست می‌آورد. در سناریو ۱ هیچ تغییرپذیری در W وجود ندارد، زیرا هیچ گونه عدم قطعیتی فرض نشده است. W با استفاده از روابط و، از طریق جایگزینی وزن‌ها به دست می‌آید. در سناریو ۲، تغییر پذیری W براساس اطلاعات فازی وزن‌ها، به دست می‌آید. مقدار مینیمم و ماکزیمم ممکن برای W_j ، که به صورت W_j^L و W_j^U ، نشان داده می‌شود، با حل مسئله‌ی برنامه‌ریزی خطی مینیمم‌سازی (ماکزیمم‌سازی) (۷) و (۸)، به دست می‌آید [۳۲].

مقادیر به دست آمده برای W_j در سناریو ۱ در جدول (۳) آورده شده است. مقادیر فازی برای سناریو ۲ و ۳ در نمودارهای ۲ تا ۷ آورده شده است. جدول (۵) در ضمیمه، اوزان مشخصات مهندسی از سناریو ۲ آورده شده است. همچنین، یکی از حالت‌های سناریو ۳

که قطعی در نظر گرفتن k_1 است، در جدول (۶) در ضمیمه آورده شده است. جدول (۴) میزان عدم قطعیت به دست آمده در سناریو ۲ و حالت‌های مختلف سناریو ۳ را بیان می‌کند.

$$(W_j)^L = \min(v_1 (r'_{1j})^L + v_2 (r'_{2j})^L + \dots + v_m (r'_{mj})^L) \quad (7)$$

$$s.t. v_1 + v_2 + \dots + v_m = 1,$$

$$z \cdot (k_i)^L \leq v_i \leq z \cdot (k_i)^U, i = 1, 2, \dots, m, z \geq 0,$$

$$(W_j)^U = \max(v_1 (r'_{1j})^U + v_2 (r'_{2j})^U + \dots + v_m (r'_{mj})^U) \quad (8)$$

$$s.t. v_1 + v_2 + \dots + v_m = 1,$$

$$z \cdot (k_i)^L \leq v_i \leq z \cdot (k_i)^U, i = 1, 2, \dots, m, z \geq 0,$$

جدول ۳. مقادیر اوزان مشخصات مهندسی (W) در حالت قطعیت (سناریو ۱)

مشخصه مهندسی	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5
وزن اهمیت	۰,۰۹۵۹	۰,۰۱۵۷	۰,۲۲۶۵	۰,۲۹۴۱	۰,۲۲۶۵
رتبه	۴	۳	۲	۱	۲

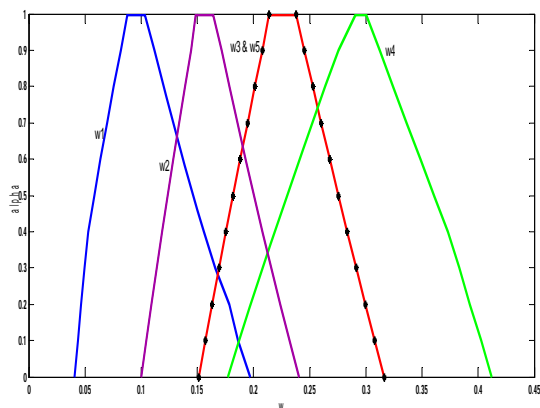
گام ۳: اولویت بندی EC ها

در گام ۳، براساس تغییرپذیری به دست آمده در گام ۲، EC ها اولویت بندی می‌شوند. اولویت بندی در سناریو ۱ به صورت QFD ساده می‌باشد. EC ای که بیشترین مقدار را دارد، دارای اولویت بالاتری است که در نمودار (۱) نشان داده شده است. W_4 از اولویت بالاتری برخوردار است. در سناریو ۲ و ۳، اولویت بندی EC ها از طریق غیر فازی‌سازی به روش مرکز جرم از رابطه‌ی ۲-۱۶ و مقایسه، به دست می‌آید، البته از روی اعداد فازی به دست آمده نیز می‌توان به رتبه‌بندی پرداخت که نتایج سناریو ۲ در نمودار (۲) آورده شده است. همانطور که پیداست، W_4 از اولویت بالاتری برخوردار است. نمودارهای (۳) تا (۷) تغییرات وزن اهمیت

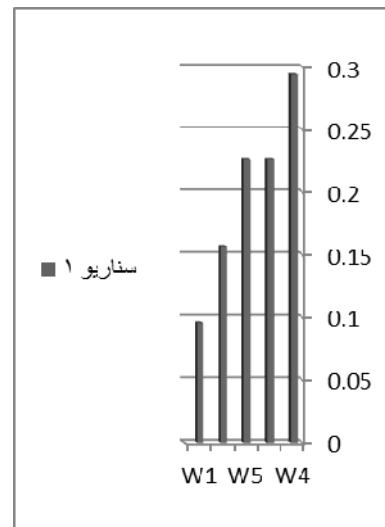
مشخصات مهندسی تحت کلیه حالات بیان شده در سناریو ۳ را نشان می‌دهند که برای راحتی در مقایسه‌ی حدود پایین و بالای به دست آمده، نتایج مربوط به هر مشخصه مهندسی به تفکیک آورده شده است. همان طور که پیداست در این نمودار حدود پایین و بالای به دست آمده تفاوت زیادی با هم ندارند و اگر تمامی این حالات برای تمامی مشخصات مهندسی را در نموداری مانند نمودار (۲) و در کنار هم نشان دهیم، خواهیم دید که در تمامی موارد، W_4 از اولویت بالاتری برخوردار است و تنها در ۵ مورد اختلاف در اولویت سایر مشخصات مهندسی وجود دارد که این اختلاف ناشی از تغییر در اولویت W_3 و W_5 است که گاهی در اولویت دوم و گاهی در اولویت سوم قرار دارند.

جدول ۴. میزان عدم قطعیت در حالت‌های مختلف سناریو ۲ و ۳

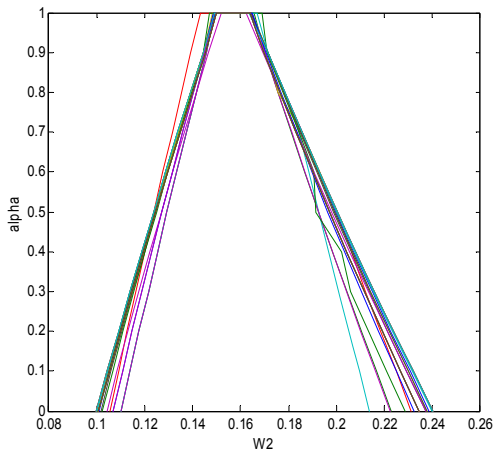
مشخصه مهندسی	عامل قطعی				
	k_1	k_2	k_3	k_4	همه فازی
r_{11}	۰.۰۸۷۵۱۸۱	۰.۰۷۰۷	۰.۰۸۸۴۶۳۶	۰.۱۲۷۷۶۳۶	۰.۰۸۷۵۱۸۱
r_{22}	۰.۰۸۶۹۷۲۷	۰.۰۷۴۶۷۲۷	۰.۰۹۳۱۵۴۵	۰.۱۲۷۷۶۳۶	۰.۰۸۶۹۷۲۷
r_{31}	۰.۰۸۰۸۹۰۹	۰.۰۷۵۹۰۹	۰.۰۹۱۲۰۹	۰.۱۲۷۷۶۳۶	۰.۰۸۰۸۹۰۹
r_{32}	۰.۰۸۷۵۱۸۱	۰.۰۷۰۷	۰.۰۸۸۴۶۳۶	۰.۱۲۷۷۶۳۶	۰.۰۸۷۵۱۸۱
r_{41}	۰.۰۶۴۰۱۸۳	۰.۰۷۲۵۴۵	۰.۰۹۳۶	۰.۱۰۶۶۰۹	۰.۰۶۴۰۱۸۳
p_{11}	۰.۰۷۵۳۰۹۱	۰.۰۷۷۰۲۷۳	۰.۰۹۳۳۴۵۵	۰.۱۰۶۷۴۵۵	۰.۰۷۵۳۰۹۱
p_{22}	۰.۰۸۶۷۶۳۶	۰.۰۷۱۳۴۵۵	۰.۰۹۰۴	۰.۱۲۷۷۶۳۶	۰.۰۸۶۷۶۳۶
p_{23}	۰.۰۸۷۳۰۹۱	۰.۰۷۵۳۳۶۴	۰.۰۹۱۷۰۹۱	۰.۱۲۷۷۶۳۶	۰.۰۸۷۳۰۹۱
p_{24}	۰.۰۸۷۳۰۹۱	۰.۰۷۵۳۳۶۴	۰.۰۹۱۷۰۹۱	۰.۱۲۷۷۶۳۶	۰.۰۸۷۳۰۹۱
p_{32}	۰.۰۸۶۶۷۲۷	۰.۰۷۲۹۶۳۶	۰.۰۸۷۸۷۱۸	۰.۱۲۷۷۶۳۶	۰.۰۸۶۶۷۲۷
p_{33}	۰.۰۸۶۶۷۲۷	۰.۰۷۲۹۶۳۶	۰.۰۸۷۸۷۱۸	۰.۱۲۷۷۶۳۶	۰.۰۸۶۶۷۲۷
p_{34}	۰.۰۷۳۴۱۸۳	۰.۰۷۱۹۶۳۶	۰.۰۹۳۷۶۳۶	۰.۱۰۶۹۴۵۵	۰.۰۷۳۴۱۸۳
p_{42}	۰.۰۸۶۵	۰.۰۷۰۳۳۶۴	۰.۰۸۷۴۰۹	۰.۱۲۷۷۶۳۶	۰.۰۸۶۵
p_{43}	۰.۰۸۶۴۷۲۷	۰.۰۷۲۹۶۳۶	۰.۰۸۷۸۷۱۸	۰.۱۲۷۷۶۳۶	۰.۰۸۶۴۷۲۷
p_{44}	۰.۰۸۶۴۷۲۷	۰.۰۷۲۹۶۳۶	۰.۰۸۷۸۷۱۸	۰.۱۲۷۷۶۳۶	۰.۰۸۶۴۷۲۷



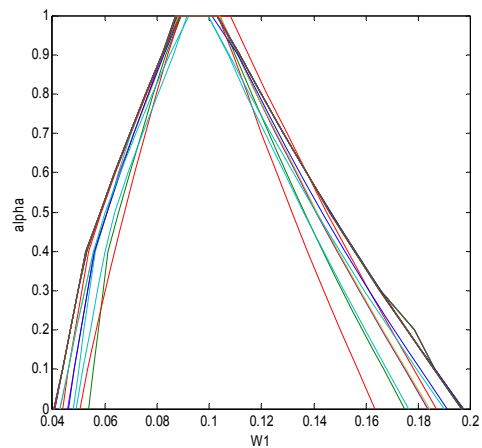
نمودار ۲. مقادیر نمودار ۳- مقادیر وزن اهمیت مشخصات مهندسی نمودار ۲ (از سناریو ۲)



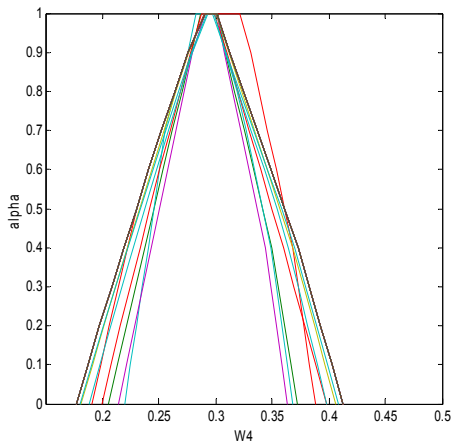
نمودار ۱. مقادیر وزن اهمیت مشخصات مهندسی (W) از سناریو ۱



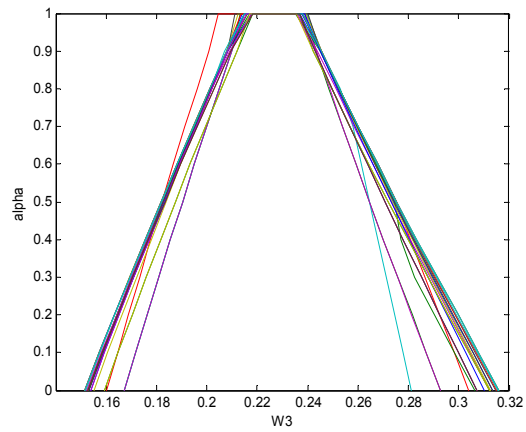
نمودار ۴. تغییرات وزن اهمیت مشخصه مهندسی دوم (W_2) در سناریو ۳



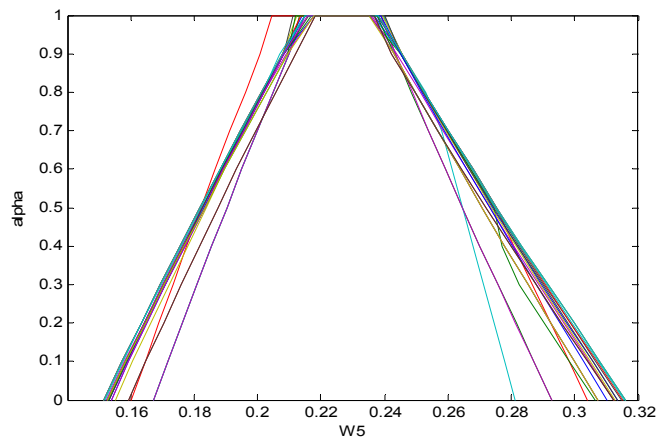
نمودار ۳. تغییرات وزن اهمیت مشخصه مهندسی اول (W_1) در سناریو ۳



نمودار ۶. تغییرات وزن اهمیت مشخصه مهندسی چهارم (W_4) در سناریو ۳



نمودار ۵. تغییرات وزن اهمیت مشخصه مهندسی سوم (W_3) در سناریو ۳



نمودار ۷. تغییرات وزن اهمیت مشخصه مهندسی پنجم (W_5) در سناریو ۳

گام ۴: ارزیابی استوار بودن و بهبود

در گام ۴، استوار بودن نتایج اولویت‌بندی در سناریوها ارزیابی شده و بهبود می‌یابد. ابتدا، برای تعیین میزان عدم قطعیت در بازه‌های به دست آمده برای هر یک از W_j ها، از یک شاخص استفاده می‌نماییم. این شاخص که در بخش ۲-۳ بیان شده است را عرض متوسط عدد فازی می‌نامیم. با استفاده از این شاخص، میزان عدم قطعیت هر بازه از سناریو ۲ محاسبه شده و سپس این مقادیر با هم مقایسه می‌شوند و از این طریق، مشخصات مهندسی که بیشترین مقدار عدم قطعیت را دارند، انتخاب می‌شوند. سپس وارد عوامل تشکیل دهنده مشخصه مهندسی با بیشترین عدم قطعیت می‌شویم. وزن هر یک از نیازمندی‌های مشتری، وزن رابطه‌ی نیازمندی مشتری و مشخصه مهندسی با عدم قطعیت بالا و نیز وزن رابطه‌ی بین مشخصات مهندسی دخیل در تعیین وزن اهمیت مشخصه مهندسی مذکور را به صورت مجزا قطعی در نظر گرفته و بقیه موارد را فازی فرض می‌کنیم که همان حالت‌های مختلف سناریو ۳ است و یک بار دیگر W_j ها را محاسبه می‌نماییم. W_j است که توسط شاخص عرض متوسط عدد فازی دارای عدم قطعیت کمتری است، نشان دهنده این است که قطعی در نظر گرفتن عامل مربوط به آن، میزان عدم قطعیت را به مقدار بیشتری کاهش می‌دهد و باید میزان عدم قطعیت آن را کاهش داد تا جواب‌های حاصل از این روش، قابل اتکاتر باشد. همان طور که از نمودارهای (۲) تا (۷) پیداست میزان تغییرات در حالت‌های مختلف کم می‌باشد و از این رو جواب‌های حاصله در مقایسه با حالت قطعیت

به جز در ۵ حالت یکسان است. با توجه به نمودارهای (۳) تا (۷)، می‌توان مشاهده نمود که همواره W_4 رتبه‌ی اول را به خود اختصاص داده است. از این رو، با توجه به جدول (۶) درمی‌یابیم که ثابت نگه داشتن k_4 باعث کاهش بیشتری در میزان عدم قطعیت W_4 خواهد شد. بنابراین برای دستیابی به نتایج قطعی تر، لازم است تا مقدار k_4 به صورت دقیق‌تری توسط تیم طراحی تعیین گردد. همان طور که از نمودارهای بالا پیداست میزان تغییرات در حالت‌های مختلف کم می‌باشد و از این رو جواب‌های حاصله در مقایسه با حالت قطعیت به جز در ۵ حالت یکسان است. با توجه به نمودارهای ۲ تا ۷، می‌توان مشاهده نمود که همواره W_4 رتبه‌ی اول را به خود اختصاص داده است. از این رو، با توجه به جدول (۶) در می‌یابیم که ثابت نگه داشتن k_4 باعث کاهش بیشتری در میزان عدم قطعیت W_4 خواهد شد. بنابراین برای دستیابی به نتایج قطعی تر، لازم است تا مقدار k_4 به صورت دقیق‌تری تعیین گردد. شاخصی نیز برای استوار بودن نتایج به صورت احتمال این که t عدد EC که جزء بالاترین اولویت‌ها از سناریو ۱ هستند، در بین t عدد EC که بالاترین اولویت را با وجود عدم قطعیت دارند، باقی بماند، تعریف می‌شود. یعنی در ابتدا تحلیل‌گر علاقه‌مندی خود را مبنی بر استواری t عدد EC ، مشخص می‌نماید. سپس استوار بودن این t عدد EC را نسبت به t عدد EC با بالاترین اولویت در سناریو ۱ می‌سنجد. شاخص استوار بودن، نشان داده شده با $RI(t)$ ، از طریق حالت‌های مختلف ارائه شده در سناریو ۳ به صورت رابطه (۷)، محاسبه شده است:

$$RI(p) = \frac{\sum_k^K \{1 \mid \text{if } \text{rank}_k(EC^{(q)}) \leq p \text{ for all } q, q = 1, \dots, p\}}{K} \quad (7)$$

EC بالا، معلوم شد که بر این اساس $RI(2) = 0.898$ می‌شود. که نشان دهنده بالا بودن میزان استواری در نتایج است. اگر بازه‌ها و متغیرهای زبانی برای توصیف نیازمندی‌های مشتری و رابطه‌ی آن‌ها با مشخصات مهندسی، بزرگتر در نظر گرفته شود و یا اینکه تمامی نقاط را در برنگیرد، نتایج به دست آمده از استواری پایین‌تری برخوردار خواهند بود. عکس این مطلب نیز صادق است. همانطور که مثال ذکر شده، بازه‌ها را کوچکتر در نظر گرفته است و در نتیجه میزان استواری نتایج در حالات مختلف، بیشتر است.

۶. بحث و نتیجه‌گیری

چارچوب پیشنهادی، به مدلسازی عدم قطعیت ناشی از فازی بودن اطلاعات ورودی و بررسی تأثیر آن بر نتایج خروجی و تحلیل آن کمک می‌نماید. به منظور ارزیابی و بررسی مطلوبیت چارچوب ارائه شده، روش پیشنهادی برای یک مثال، نشان داده شده و شاخصی برای استواری معرفی گردیده است و نیز نتایج آن با مطالعات بدون

اگر فرض کنیم که q رتبه‌ی EC در سناریو ۱، $(t, \dots, 1, q)$ و H تعداد حالات سناریو سوم باشد، $EC^{(q)}$ ، EC ای است که در سناریو ۱ دارای رتبه q است و $\text{rank}_p(EC^{(q)})$ نشان دهنده رتبه‌ی $EC^{(q)}$ در h مین حالت سناریو ۳ است، $(h=1, \dots, H)$. در واقع، این شاخص از بین H حالت موجود، حالتی را که رتبه‌ی EC در سناریو ۱ برابر با q ($q=1, \dots, t$) است در شبیه‌سازی نیز از کمتر یا مساوی t است، تعیین می‌نماید و برابر یک قرار می‌دهد سپس برای هر t ، احتمالی را با تقسیم تعداد این حالات بر کل حالات موجود به دست می‌آورد. هر چه مقدار احتمال به دست آمده به یک نزدیک‌تر باشد، نتایج حاصل از QFD از استواری بالاتری برخوردار است. فرض کنید که تحلیل‌گر به گروه‌های بالای ۲ تا EC علاقه مند است. پس، p روی ۲ تنظیم شده و $RI(2)$ محاسبه شده است. تحت مدل عدم قطعیت سناریو ۳، در ۴۴ مورد از ۴۹ حالت محاسبه شده، EC_3 و EC_4 ، برای ماندن در گروه دو

مهندسی، میزان عدم قطعیت با روش ذکر شده، محاسبه شده است. با مقایسه‌ی میزان عدم قطعیت در هر حالت برای هر یک از مشخصات مهندسی، مؤلفه‌ای که بیشترین کاهش را برای مشخصه‌ی مهندسی با بالاترین عدم قطعیت در سناریوی دوم را دارد، مشخص شده است. این بدان معناست که، قطعی‌تر در نظر گرفتن، مؤلفه‌ی مشخص شده، میزان عدم قطعیت نتایج را به مقدار بیشتری کاهش می‌دهد. این چارچوب در قالب یک مثال عددی، پیاده‌سازی شده است و برای بررسی میزان استواری در نتایج به دست آمده، شاخصی نیز معرفی شده است که این شاخص نتایج حاصل از QFD ساده و بدون وجود عدم قطعیت را با QFD دارای عدم قطعیت ناشی از فازی بودن ورودی‌ها را مقایسه می‌نماید. همان طور که مشاهده شد، ممکن است نتایج حاصل از QFD ساده، دارای اشتباه باشد، از این رو با در نظر گرفتن عدم قطعیت، و بررسی تغییرپذیری نتایج آن، می‌توان استواری و دقت در نتایج را مورد تحلیل و بررسی قرار داد. QFD استوار، مشکلات ناشی از خطا در نتایج به دست آمده را کاهش می‌دهد. شاخص استواری نیز، به صورت احتمال این که t عدد EC که جزء بالاترین اولویت‌ها از سناریو ۱ هستند، در بین t عدد EC که بالاترین اولویت را با وجود عدم قطعیت دارند، باقی بماند، تعریف می‌شود. ما فرض کردیم که تحلیل گر به استواری ۲ تا EC علاقه مند است. پس، t روی ۲ تنظیم شده و $RI(2)$ محاسبه شده است. تحت مدل عدم قطعیت سناریو ۳، در ۴۴ مورد از ۴۹ حالت محاسبه شده، EC_3 و EC_4 ، برای ماندن در گروه دو EC بالا، معلوم شد که بر این اساس $RI(2) = 0,898$ می‌شود. که نشان دهنده بالا بودن میزان استواری در نتایج است. علی‌رغم محدودیت منابع در حوزه‌ی QFD استوار، توانستیم تحت عدم قطعیت حاصل از فازی بودن ورودی‌ها، چارچوب جدیدی را ارائه نماییم که امیدواریم به تحلیل‌گران در تحلیل QFD کمک نماید.

ضمیمه

جدول ۵. محاسبات اوزان اهمیت مشخصات مهندسی در حالت فازی بودن تمام ورودی‌ها (سناریو ۲)

α	W_1		W_2		W_3		W_4		W_5						
	L	U	عرض	L	U	عرض	L	U	عرض	L	U				
۰	۰,۰۴۰۷	۰,۱۹۷۲	۰,۱۵۶۵	۰,۰۹۹۶	۰,۲۴۰۵	۰,۱۴۰۶	۰,۱۵۱۵	۰,۳۱۶۲	۰,۱۶۶۷	۰,۱۱۷۷	۰,۴۱۲۳	۰,۲۳۵۲	۰,۱۵۱۵	۰,۳۱۶۲	۰,۱۶۶۷
۰,۱	۰,۰۴۳۷	۰,۱۸۶۳	۰,۱۴۲۶	۰,۱۰۴۰	۰,۳۳۳۱	۰,۱۲۲۷	۰,۱۵۷۴	۰,۳۰۷۰	۰,۱۵۰۵	۰,۱۱۷۲	۰,۴۰۲۵	۰,۲۰۳۳	۰,۱۵۷۴	۰,۳۰۷۰	۰,۱۵۰۵
۰,۲	۰,۰۴۶۷	۰,۱۷۱۵	۰,۱۳۱۸	۰,۱۰۹۱	۰,۲۲۳۶	۰,۱۱۴۸	۰,۱۶۳۳	۰,۲۹۹۷	۰,۱۳۶۴	۰,۱۱۷۵	۰,۳۹۲۷	۰,۱۹۵۲	۰,۱۶۳۳	۰,۲۹۹۷	۰,۱۳۶۴

در نظر گرفتن عدم قطعیت، مقایسه گردیده است. برای انجام محاسبات وزن‌ها، از نرم‌افزار متلب استفاده شده است و یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که روش پیشنهادی از طریق بررسی سناریوهای مختلف روی فازی بودن ورودی‌ها و مقایسه‌ی میزان عدم قطعیت در هر حالت و بررسی بیشتر عامل با عدم قطعیت بیشتر و بهبود آن، به نتیجه‌گیری مطمئن‌تر از QFD، به خوبی کمک می‌نماید. در این مطالعه، با در نظر گرفتن فازی بودن ورودی‌ها به QFD به عنوان عامل ایجاد عدم قطعیت، چارچوبی برای QFD استوار در شرایط فازی بودن ورودی‌ها، ارائه شده است که شامل گام-های، مدل‌سازی عدم قطعیت، استخراج تغییرپذیری، اولویت‌بندی EC ها و ارزیابی استواری و بهبود می‌باشد که هر یک از گام‌های ذکر شده قبلاً تشریح شده‌اند. برای مدل‌سازی عدم قطعیت از سه نوع سناریوی مختلف استفاده شده است که در سناریو اول، عدم قطعیت در ورودی‌ها در نظر گرفته نشده است و مشخصات مهندسی با استفاده از رویکرد QFD ساده، اولویت‌بندی شده‌اند. در سناریوی دوم، تمامی ورودی‌های ذکر شده، فازی در نظر گرفته شده است و با استفاده از رویکرد QFD فازی، مشخصات مهندسی اولویت‌بندی شده‌اند. در این حالت، با استفاده از روش عرض متوسط فازی که در فصل قبل به آن اشاره شده است، میزان عدم قطعیت در نتایج اولویت‌بندی مشخصات مهندسی، تعیین شده است. سپس با مقایسه‌ی میزان عدم قطعیت‌ها، مشخصه‌ی مهندسی که دارای بیشترین عدم قطعیت است مشخص می‌شود. در سناریوی سوم، هر یک از اوزان دخیل در تعیین وزن اهمیت مشخصه‌ی مهندسی با بیشترین عدم قطعیت را قطعی فرض کرده و سایر اوزان، فازی در نظر گرفته شده است که با توجه به نوع رویکرد QFD فازی مورد استفاده و روابط مرتبط با آن که همه‌ی اوزان را در محاسبات دخیل می‌کند، در کل ۴۹ حالت، شامل مجموع تعداد نیازمندی‌های مشتریان، تعداد رابطه‌ی بین نیازمندی‌های مشتریان و مشخصات مهندسی و نیز تعداد رابطه‌ی بین مشخصات مهندسی است، را بررسی کرده‌ایم. سپس بار دیگر برای هر وزن اهمیت مشخصه‌ی

شهریاری

بودن ورودی‌ها

۱	۰.۰۸۷۸	۰.۰۸۱۹	۰.۰۷۵۷	۰.۰۶۶۶	۰.۰۶۳۸	۰.۰۵۸۲	۰.۰۵۲۹	۰.۰۴۹۸
۲	۰.۰۱۰۳	۰.۰۱۱۷	۰.۰۱۹۹	۰.۰۱۲۴	۰.۰۱۳۷	۰.۰۱۴۴	۰.۰۱۵۵	۰.۰۱۶۵
۳	۰.۰۱۵۲	۰.۰۲۹۸	۰.۰۴۴۲	۰.۰۵۷۷	۰.۰۷۳۴	۰.۰۸۸۱	۰.۱۰۲۹	۰.۱۱۵۸
۴	۰.۰۱۴۸۵	۰.۰۱۴۴	۰.۰۱۳۹	۰.۰۱۳۳	۰.۰۱۲۸	۰.۰۱۲۴	۰.۰۱۱۸	۰.۰۱۱۲
۵	۰.۰۱۶۴	۰.۰۱۷۱	۰.۰۱۷۸	۰.۰۱۸۵	۰.۰۱۹۲	۰.۰۲۰۴	۰.۰۲۰۸	۰.۰۲۱۵
۶	۰.۰۱۵۵	۰.۰۲۷۳	۰.۰۳۹۵	۰.۰۵۱۹	۰.۰۶۴۳	۰.۰۷۶۸	۰.۰۸۷۴	۰.۱۰۲۱
۷	۰.۰۲۱۴	۰.۰۲۰۸	۰.۰۲۰۳	۰.۰۱۹۴	۰.۰۱۸۲	۰.۰۱۷۱	۰.۰۱۷۵	۰.۰۱۶۹
۸	۰.۰۳۳۷	۰.۰۲۴۵	۰.۰۲۵۲	۰.۰۲۶۰	۰.۰۲۶۷	۰.۰۲۷۵	۰.۰۲۸۳	۰.۰۲۹۱
۹	۰.۰۲۳۸	۰.۰۳۷۴	۰.۰۵۱۵	۰.۰۶۵۵	۰.۰۷۹۶	۰.۰۹۳۸	۰.۱۰۸	۰.۱۲۲۱
۱۰	۰.۰۲۹۱	۰.۰۲۷۵	۰.۰۲۶۳	۰.۰۲۵۳	۰.۰۲۴۱	۰.۰۲۲۹	۰.۰۲۱۹	۰.۰۲۰۷
۱۱	۰.۰۳	۰.۰۳۱۴	۰.۰۳۴۳	۰.۰۳۶۴	۰.۰۳۸۶	۰.۰۴۱	۰.۰۳۳۳	۰.۰۳۲۳
۱۲	۰.۰۰۰۹	۰.۰۰۳۷	۰.۰۰۶۵	۰.۰۰۸۴	۰.۰۱۰۷	۰.۰۱۳۱	۰.۰۱۵۴	۰.۰۱۷۴
۱۳	۰.۰۲۱۴	۰.۰۲۰۸	۰.۰۲۰۳	۰.۰۱۹۴	۰.۰۱۸۲	۰.۰۱۷۱	۰.۰۱۷۵	۰.۰۱۶۹
۱۴	۰.۰۳۳۷	۰.۰۲۴۵	۰.۰۲۵۲	۰.۰۲۶۰	۰.۰۲۶۷	۰.۰۲۷۵	۰.۰۲۸۳	۰.۰۲۹۱
۱۵	۰.۰۲۳۸	۰.۰۳۷۴	۰.۰۵۱۵	۰.۰۶۵۵	۰.۰۷۹۶	۰.۰۹۳۸	۰.۱۰۸	۰.۱۲۲۱
غیر فازی سازی		۰.۰۹۹۹۱۹		۰.۱۵۹۹۱۱		۰.۲۲۷۷۱۵		۰.۲۹۴۸۲
جمع عرض‌ها		۰.۹۵۹۱		۰.۸۴۹۹		۱.۰۳۳۳		۱.۴۰۴۴
عدم قطعیت		۰.۰۸۷۱۹۱		۰.۰۷۷۲۶۴		۰.۰۹۳۹۴۶		۰.۱۲۷۶۷۳
رتبه		۴		۳		۲		۱

جدول ۶. محاسبات اوزان اهمیت مشخصات مهندسی در حالت ثابت بودن k_1 (سناریو ۳)

α	W_1			W_r			W_r			W_r			W_0		
	L	U	عرض	L	U	عرض	L	U	عرض	L	U	عرض	L	U	عرض
۰	۰.۰۵۴	۰.۱۷۴۸	۰.۱۲۰۸	۰.۱۰۲	۰.۲۲۲۸	۰.۱۱۲۶	۰.۱۶۷۱	۰.۳۹۲۹	۰.۱۲۵۸	۰.۲۰۵۲	۰.۳۷۷۳	۰.۱۶۷	۰.۱۶۷۱	۰.۳۹۲۹	۰.۱۲۵۸
۱	۰.۰۵۵۷	۰.۱۶۶۶	۰.۱۱۰۹	۰.۱۱۳۹	۰.۲۱۶۵	۰.۱۰۲۶	۰.۱۷۱۶	۰.۳۸۷۲	۰.۱۱۵۶	۰.۲۱۳۲	۰.۳۶۶۶	۰.۱۵۳۴	۰.۱۷۱۶	۰.۳۸۷۲	۰.۱۱۵۶
۲	۰.۰۵۷۵	۰.۱۵۸۶	۰.۱۰۱۱	۰.۱۱۷۷	۰.۲۱۰۳	۰.۰۹۲۶	۰.۱۷۶۲	۰.۳۸۱۶	۰.۱۰۵۴	۰.۲۱۱۲	۰.۳۶۰۹	۰.۱۳۹۷	۰.۱۷۶۲	۰.۳۸۱۶	۰.۱۰۵۴

۰.۳	۰.۰۵۹۳	۰.۱۵۰۹	۰.۰۹۱۶	۰.۱۲۰۵	۰.۲۰۴۲	۰.۰۷۸۲	۰.۱۷۰۹	۰.۳۷۵۸	۰.۰۹۴۹	۰.۳۲۹۲	۰.۳۵۵۳	۰.۱۲۶۱	۰.۱۷۰۹	۰.۳۷۵۸	۰.۰۹۴۹
۰.۴	۰.۰۶۱۱	۰.۱۴۳۵	۰.۰۸۷۴	۰.۱۲۵۴	۰.۱۹۳۳	۰.۰۷۳۹	۰.۱۸۷۱	۰.۲۷۰۲	۰.۰۸۴۶	۰.۲۳۷۳	۰.۳۴۹۷	۰.۱۱۲۴	۰.۱۸۷۱	۰.۲۷۰۲	۰.۰۸۴۶
۰.۵	۰.۰۶۵۲	۰.۱۳۶۳	۰.۰۷۱۱	۰.۱۲۹۳	۰.۱۹۲۵	۰.۰۶۳۲	۰.۱۹۰۳	۰.۲۶۴۷	۰.۰۷۴۴	۰.۲۴۵۵	۰.۳۴۱۵	۰.۰۹۶	۰.۱۹۰۳	۰.۲۶۴۷	۰.۰۷۴۴
۰.۶	۰.۰۶۹۵	۰.۱۲۹۳	۰.۰۵۹۱	۰.۱۳۳۳	۰.۱۸۷۴	۰.۰۵۳۴	۰.۱۹۵۱	۰.۲۵۹۲	۰.۰۶۴۱	۰.۲۵۳۸	۰.۳۳۳۲	۰.۰۷۹۴	۰.۱۹۵۱	۰.۲۵۹۲	۰.۰۶۴۱
۰.۷	۰.۰۷۴	۰.۱۲۲۶	۰.۰۴۸۶	۰.۱۳۷۴	۰.۱۸۱۱	۰.۰۴۳۷	۰.۲	۰.۲۵۲۸	۰.۰۵۳۸	۰.۲۶۲	۰.۳۲۵	۰.۰۶۳	۰.۲	۰.۲۵۲۸	۰.۰۵۳۸
۰.۸	۰.۰۷۸۷	۰.۱۱۶۱	۰.۰۳۷۴	۰.۱۴۱۴	۰.۱۷۵۶	۰.۰۳۴۲	۰.۲۰۴۹	۰.۲۴۸۶	۰.۰۴۳۷	۰.۲۷۰۴	۰.۳۱۶۸	۰.۰۴۶۴	۰.۲۰۴۹	۰.۲۴۸۶	۰.۰۴۳۷
۰.۹	۰.۰۸۳۵	۰.۱۰۹۹	۰.۰۲۶۴	۰.۱۴۵۶	۰.۱۷۰۱	۰.۰۲۴۵	۰.۲۰۹۸	۰.۲۴۳۳	۰.۰۳۳۵	۰.۲۷۸۸	۰.۳۰۸۷	۰.۰۲۹۹	۰.۲۰۹۸	۰.۲۴۳۳	۰.۰۳۳۵
۱	۰.۰۸۹۱	۰.۱۰۴	۰.۰۱۴۹	۰.۱۴۸۱	۰.۱۶۵۷	۰.۰۱۶۸	۰.۲۱۳۲	۰.۲۳۸۹	۰.۰۲۵۷	۰.۲۸۷	۰.۳۰۳۳	۰.۰۱۵۳	۰.۲۱۳۲	۰.۲۳۸۹	۰.۰۲۵۷
غیر فازی سازی		۰.۰۹۹۱۸۱۸		۰.۱۵۹۴۵۸۲		۰.۲۲۷۰۱۸۲		۰.۲۹۳۵۴۱۸		۰.۲۲۷۰۱۸۲		۰.۲۹۳۵۴۱۸		۰.۲۲۷۰۱۸۲	
جمع عرض‌ها		۰.۷۶۵		۰.۶۹۹۳		۰.۸۲۱۵		۱.۰۲۸۶		۰.۸۲۱۵		۱.۰۲۸۶		۰.۸۲۱۵	
عدم قطعیت		۰.۰۶۹۵۴۵۵		۰.۰۶۳۵۷۲۷		۰.۰۷۴۶۸۱۸		۰.۰۹۳۵۰۹۱		۰.۰۷۴۶۸۱۸		۰.۰۹۳۵۰۹۱		۰.۰۷۴۶۸۱۸	
رتبه		۴		۳		۲		۱		۲		۱		۲	

پی‌نوشت

[۲] زارع مهرجردی، یحیی؛ صالح اولیاء، محمد؛ تنها درود زنی، امیر. ارزیابی و رتبه‌بندی اهمیت نسبی الزامات فنی محصول با تلفیق مدل‌های QFD و DEA: مطالعه موردی (صنایع کاشی و سرامیک)، نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، ۱۳۹۱، ۲۳ (۲)، صص. ۱۷۵-۱۸۶.

[۳] فرج‌پور خان‌آپشتانی، قاسم؛ نورالسناء، رسول. چارچوبی تلفیقی جهت تدوین و پیاده‌سازی استراتژی در شرکت پست جمهوری اسلامی ایران، نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، ۱۳۹۰، ۲۳ (۱)، صص. ۷۷-۹۰.

[4] Moskowitz H, Kim K. On assessing the H value in fuzzy linear regression, Fuzzy Sets and Systems, 1993, Vol. 58, pp. 303-327.

1. Quality function development
2. Yoji Akao
3. Hinshitsu Tenki System
4. Shigeru
5. Robust index

مراجع

- [1] Kwong CK, Chen Y, Chan KY, Luo X. A generalised fuzzy least-squares regression approach to modeling relationships in QFD, Journal of Engineering Design, 2008, Vol. 21, pp. 601-613.

- value operator, *European Journal of Operational Research*, 2006, Vol. 174, pp. 1553-1566.
- [17] Chen Y, Fung RYK, Tang J. Fuzzy expected value modeling approach for determining target values of engineering characteristics in QFD, *International Journal of Production Research*, Vol. 43, 2005, pp. 3583-3604.
- [18] Hsu TH, Lin LZ. QFD with fuzzy and entropy weight for evaluating retail customer values, *Total Quality Management & Business Excellence*, 2006, Vol. 17, pp. 935-958.
- [19] Bottani E, Rizzi A. Strategic management of logistics service: A fuzzy QFD approach, *International Journal of Production Economics*, 2006, Vol. 103, pp. 585-599.
- [20] Kim KJ, Kim DH, Min DK. Robust QFD: framework and a case study, *Quality and Reliability Engineering International*, 2007, Vol. 23, pp. 31-44.
- [21] Chen YZ, Ngai EWT. A fuzzy QFD program modelling approach using the method of imprecision, *International Journal of Production Research*, 2008, Vol. 46, pp. 6823-6840.
- [22] Chen LH, Ko WC. Fuzzy linear programming models for new product design using QFD with FMEA, *Applied Mathematical Modeling*, 2009, Vol. 33, pp. 633-647.
- [23] Juan YK, Perng YH, Castro-LA, Couture D, Lu KS. Housing refurbishment contractors selection based on a hybrid fuzzy-QFD approach, *Automation in Construction*, 2009, Vol. 18, pp. 139-144.
- [24] Hao-Tien L. The extension of fuzzy QFD: From product planning to part deployment, *Expert Systems with Applications*, 2009, Vol. 36, pp. 11131-11144.
- [25] Kim DH, Kim KJ. Robustness indices and robust prioritization in QFD, *Expert Systems with Applications*, 2009, Vol. 36, pp. 2651-2658.
- [26] Chen LH, Ko WC. 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*, 2010, Vol. 201, pp. 619-632.
- [27] Hao-Tien L. Product design and selection using fuzzy QFD and fuzzy MCDM approaches, *Applied Mathematical Modeling*, 2011, Vol. 35, pp. 482-496.
- [5] Khoo LP, Ho NC. Framework of a fuzzy quality function deployment system, *International Journal of Production Research*, 1996, Vol. 34, pp. 299-311.
- [6] Verma D, Knezevic J. A fuzzy weighted wedge mechanism for feasibility assessment of system reliability during conceptual design, *Fuzzy Sets and Systems*, 1996, Vol. 83, pp. 179-187.
- [7] Kalargeros N, Gao JX. Focusing on its simplification and easy computerization using fuzzy logic principles, *International Journal of Vehicle Design*, 1998, Vol. 19.
- [8] Ming Z. Fuzzy logic and optimization models for implementing QFD, *Computers & Industrial Engineering*, 1998, Vol. 35, pp. 237-240.
- [9] Temponi C, Yen J, Amos Tiao W. House of quality: A fuzzy logic-based requirements analysis, *European Journal of Operational Research*, 1999, Vol. 117, pp. 340-354.
- [10] Wang J. Fuzzy outranking approach to prioritize design requirements in quality function deployment, *International Journal of Production Research*, 1999, Vol. 37, pp. 899-916.
- [11] Kim KJ, Moskowitz H, Dhingra A, Evans G. Fuzzy multi criteria models for quality function deployment, *European Journal of Operational Research*, 2000, Vol. 121, pp. 504-518.
- [12] Vanegas LV, Labib AW. A fuzzy quality function deployment (FQFD) model for deriving optimum targets, *International Journal of Production Research*, 2001, Vol. 39, pp. 99-120.
- [13] Tang J, Fung RYK, Xu B, Wang D. A new approach to quality function deployment planning with financial consideration, *Computers and Operations Research*, 2002, Vol. 29, pp. 1447-1463.
- [14] Kwong CK, Bai H. Determining the importance weights for the customer requirements in QFD using a fuzzy ahp with an extent analysis approach, *IIE Transactions*, 2003, Vol. 35, pp. 619-626.
- [15] Bai H, Kwong CK. Inexact genetic algorithm approach to target values setting of engineering requirements in QFD, *International Journal of Production Research*, 2003, Vol. 41, pp. 3861-3881.
- [16] Chen Y, Fung RYK, Tang J. Rating technical attributes in fuzzy QFD by integrating fuzzy weighted average method and fuzzy expected

- normalization and fuzzy weighted average, Computers and Mathematics with Applications, 2011, Vol. 62, pp. 4207-4221.
- [33] Shen XX, Xie M, Tan KC. Listening to the future voice of the customer using fuzzy trend analysis in QFD, Quality Engineering, 2001, Vol. 13, pp. 419-425.
- [34] Han CH, Kim JK, Choi SH. Prioritizing engineering characteristics in quality function deployment with incomplete information: A linear partial ordering approach, International Journal of Production Economics, 2004, Vol. 91, pp. 235-249.
- [35] Palash Dutta TA. Uncertainty modeling in risk analysis: A fuzzy set approach, International Journal of Computer Application, 2012, Vol. 43, pp. 35-39.
- [28] Jia GZ, Bai M. An approach for manufacturing strategy development based on fuzzy-QFD, Computers and Industrial Engineering, 2011, Vol. 60, pp. 445-454.
- [29] Zandi F, Tavana M. A fuzzy group quality function deployment model for e-CRM framework assessment in agile manufacturing, Computers and Industrial Engineering, 2011, Vol. 61, pp. 1-19.
- [30] Wang L, Juan YK, Wang J, Li KM, Ong C. Fuzzy-QFD approach based decision support model for licensor selection, Expert Systems with Applications, 2012, Vol. 39, pp. 1484-1491.
- [31] Yang k. Voice of the Customer Capture and Analysis, The McGraw-Hill Companies, 2008.
- [32] Wang YM, Chin KS. Technical importance ratings in fuzzy QFD by integrating fuzzy