

طرح ریزی و بهبود بسط عملکرد کیفیت با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی و برنامه‌ریزی آرمانی

عادل آذر^{۱*}، بیژن نهاوندی^۲، علی رجب زاده^۳

- ۱- دانشیار گروه مدیریت، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۳- استادیار گروه مدیریت، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

پذیرش: ۸۶/۹/۳

دریافت: ۸۵/۴/۷

چکیده:

مشخصه‌های مهندسی به عنوان اولین عامل مؤثر بر عملکرد محصول در بهبود کیفیت و طراحی محصول قلمداد شده و برای بهینه‌سازی نیازهای مشتری^۱ بهبود می‌یابند. این در حالی است که منابع محدود در رقابت فزاینده بازار و پیچیدگی محصول نیازمند یک سیستم مدیریت کیفیت و توسعه محصول مشتری مدار برای دستیابی به بالاترین سطح رضایت خاطر مشتریان است. بسط عملکرد کیفیت^۲ و خانه کیفیت^۳ آن به عنوان ابزارهایی قدرتمند برای بهبود طراحی و کیفیت محصول و ایجاد یک سیستم کیفیت مشتری مدار محسوب می‌شوند. در این پژوهش، یک چارچوب ادغامی از QFD فازی و برنامه‌ریزی آرمانی برای گزینش نیازهای فنی^۴ محصول ارائه شده است. در این چارچوب برای استخراج ضرایب استفاده شده در مدل ریاضی از رویکرد فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی^۵ استفاده شده است. بعلاوه اینکه رویه ارائه شده قادر به در نظر گرفتن ماهیت چند هدفه مسأله می باشد. در این راستا سایر اهداف طراحی همچون محدودیت منابع مالی، امکان‌پذیری تکنولوژیکی، میزان توسعه‌پذیری و درجه رقابتی بودن نیازهای فنی نیز لحاظ شده است. در نهایت مدل آرمانی ارائه شده در برگزیده سطوح اهمیت نیازهای فنی با استفاده از متدولوژی فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی، محدودیت

E-mail: azara@modares.ac.ir

* نویسنده مسؤل مقاله:

1. Customer Needs
2. QFD: Quality Function Deployment
3. HOQ: House of Quality
4. TRs: Technical Requirements
5. Fuzzy-ANP: Fuzzy Analytic Network Process



بودجه، میزان امکانپذیری تکنولوژیکی، میزان توسعه‌پذیری و درجه رقابتی بودن یک نیاز به‌عنوان محدودیتهای سیستمی برای تعیین آن دسته از نیازهای فنی است که در فاز طراحی محصول باید مد نظر قرار گیرند. این چارچوب در شرکت پاک‌نام (که تولیدکننده محصولات شوینده و پاک‌کننده می باشد) برای محصول پودر یکتا ویژه ماشین به‌کار گرفته شده است.

کلید واژه‌ها: بسط عملکرد کیفیت فازی، خانه کیفیت، فرایند تحلیل شبکه‌ای، اعداد فازی مثلثی، برنامه‌ریزی آرمانی.

۱- مقدمه

مدیریت کیفیت جامع^۱ که ارائه‌دهنده دامنه وسیعی از تکنیکها برای تضمین بهبود کیفیت و بهره‌وری می‌باشد - در چهار دهه گذشته در صدر عناوین پژوهشی قرار داشته است. در واقع امروزه دیگر بدون کنترل کیفیت در عرصه و لایه‌های سازمان و یا مدیریت کیفیت جامع، دستیابی به نتایج موردنظر و کافی غیرممکن است. در گذشته این مهندسان و طراحان محصول بودند که به جای مشتری در سازمان تصمیم‌گرفته و ایفای نقش می‌کردند. اما امروزه دیگر نقش او از یک « مصرف‌کننده قانع » به بازیگر اصلی صحنه‌های کسب و کار تغییر یافته است.

در این میان QFD یک روش بسیار مؤثر و کارا برای تحقق « مشتری‌گرایی » در سازمان محسوب می‌شود. هدف QFD به عنوان یک ابزار برنامه‌ریزی کاهش دو نوع ناهماهنگی در سازمان است: اول در صورتی‌که ویژگیهای محصول با نیازهای از پیش تعیین‌شده مشتریان مطابق نباشد و دوم اینکه محصول نهایی با مشخصه‌های فنی محصول همخوانی نداشته باشد. این ابزار برای غلبه بر مورد اول میان ویژگیهای محصول و صدای مشتریان^۲ ارتباط برقرار می‌کند و بالاخره دومین تعارض را از طریق تغییر و انتقال مشخصه‌های فنی به اجزای محصول، جزئیات، فرایندها و مشخصه‌های تولید کاهش می‌دهد [۱، صص ۳۹۰-۴۱۱].

در پژوهش حاضر برای رتبه‌بندی خواسته‌های مشتری (CNS) و نیازمندیهای فنی (TRs) از ANP استفاده شده است. در کنار این ابزار برای لحاظ کردن قضاوت انسانی از تئوری مجموعه‌های فازی بهره‌گیری شده است. خروجی این فرایند مشخص‌شدن اوزان اهمیت

1. TQM: Total Quality Management
2. VOC: Voice Of Customers

خواسته‌های مشتری و نیازمندیهای فنی محصول موردنظر می‌باشد که در جای خود اهمیت فراوان دارد و پاسخگوی بسیاری از سؤالهای کارشناسان تیم QFD می‌باشد. از آنجا که هر سازمانی در یک زمان قادر به تمرکز بر کلیه نیازهای فنی یک محصول نبوده و در این مورد با محدودیتهای بسیاری همچون محدودیت منابع، امکانپذیری تکنولوژیکی و... برای یک نیاز مواجه می‌باشد، لازم است که دست به گزینش میان این نیازها زده و تعدادی از آنها را که از ارجحیت بیشتری برخوردارند و با محدودیتهای فعلی سازمان سازگارترند، انتخاب کند. به این منظور پژوهش موردنظر سعی داشته که با طراحی یک مدل ریاضی و با توجه به محدودیتهای سیستمی موجود در HoQ برای تصمیمهای مربوط به بهبود طراحی در حداقل زمان ممکن و با کمترین هزینه، آن دسته از نیازهای فنی را که تیم در مرحله طراحی باید بر آنها تمرکز کند، مشخص نماید و از اینرو فرایند طراحی محصول در خانه کیفیت هدفمندتر کند.

به این ترتیب، سازمان مقاله حاضر اینگونه می‌باشد: در بخش ۲ پیشینه تحقیق مرور و در بخش ۳ به مرور مختصری راجع به تاریخچه QFD و ادبیات مربوط به آن پرداخته شده است. سپس در بخش ۴ ANP و کاربرد آن در QFD و همچنین ساختار شبکه‌ای و سوپر ماتریس^۱ خانه کیفیت بحث شده است. در بخش ۵، مطالبی راجع به ماهیت فازی QFD و در بخش ۶ متدولوژی تصمیم‌گیری مورد نظر برای تعیین آن دسته از نیازمندیهای فنی که در فاز طراحی باید مد نظر قرار گیرند، بیان شده است. در بخش ۷، کاربرد عملی آن برای محصول پودر یکتا ویژه ماشین و در بخش ۸ نتیجه‌گیری و در نهایت در بخش ۹ پیشنهادهای پژوهشی ارائه شده است.

۲- مروری بر پیشینه تحقیق

در دهه اخیر مطالعات چندی به منظور کمی‌کردن عناوین برنامه‌ریزی در خانه کیفیت (HOQ) صورت گرفته است. برخی از این مطالعات از تئوری مجموعه‌های فازی برای رتبه‌بندی کردن نیازمندیهای طراحی (TRs) و یا خواسته‌های مشتریان^۲ (CNS) استفاده کرده‌اند. از جمله مهمترین مطالعات در این زمینه می‌توان به مطالعات خو و هو^۳ در سال ۱۹۹۶، ژو^۴ در سال

1. Super Matrix
2. Customer needs
3. Khoo & Ho
4. Zhou



۱۹۹۸، چان^۱ و همکاران در سال ۱۹۹۹، تمپونی^۲ و همکاران در سال ۱۹۹۹، کیم^۳ و همکاران در سال ۲۰۰۰ اشاره کرد [۲، صص ۲۹۹-۳۱۱؛ ۳، صص ۲۳۷-۲۴۰؛ ۴، صص ۲۴۹۹-۳۵۱۸؛ ۵، صص ۳۴۰-۳۵۴؛ ۶، صص ۵۰۴-۵۱۸]. سایر مطالعات بر کاربرد فرایند تحلیل سلسله مراتبی^۴ (AHP) تمرکز داشته‌اند [۷]. در این مورد می‌توان به مطالعاتی که به وسیله فوکودا و ماتسورا^۵ در سال ۱۹۹۳، آرماکاست^۶ و همکاران در سال ۱۹۹۴، دوکاس^۷ و همکاران در سال ۱۹۹۵، پارک و کیم^۸ در سال ۱۹۹۸، وونگ و بای^۹ در سال ۲۰۰۲ صورت گرفته است، اشاره کرد [۸، صص ۱۳-۱۹؛ ۹، صص ۷۲-۷۹؛ ۱۰، صص ۲۳۵-۲۴۰؛ ۱۱، صص ۵۶۹-۵۸۱؛ ۱۲، صص ۳۶۲-۳۷۱].

تا به حال چند پژوهش عمده در زمینه کاربرد فرایند تحلیل شبکه‌ای ANP در QFD انجام پذیرفته است. پرتویی^{۱۰} در سال ۲۰۰۱ م. از ANP برای کمی‌کردن چشم‌انداز خدمات استراتژیک در شرکت هسکیت^{۱۱} استفاده کرد [۱۳، صص ۴۷۶-۴۹۹]. در این پژوهش از AHP برای تعیین شدت رابطه میان متغیرهای سطر و ستون و از ANP برای تعیین شدت تأثیر هم‌افزایی میان متغیرهای ستون استفاده شد. پرتوی و کاریدوریا^{۱۲} در سال ۲۰۰۲ م. مدلی مشابه را برای اولویت‌بندی و طراحی تغییرات قانونی در بازی فوتبال به منظور جذاب‌تر کردن آن برای هواداران ارائه دادند [۱۴، صص ۶۴۲-۶۵۶]. کارساک^{۱۳} و همکاران از رویکرد ANP برای تسهیل تحلیل وابستگی در برنامه‌ریزی محصول با به‌کارگیری برنامه‌ریزی ریاضی استفاده کردند [۱۵، صص ۱۷۱-۱۹۰]. همچنین بویوکوزان^{۱۴} و همکاران در سال ۲۰۰۴ م. از فرایند تحلیل شبکه‌ای با رویکرد فازی برای رتبه‌بندی نیازمندیهای طراحی^{۱۵} در خانه کیفیت استفاده کردند [۱۶، صص ۴۴۳-۴۶۱]. کهرمان^{۱۶} و همکاران نیز در سال ۲۰۰۶ م. یک

1. Chan
2. Temponi
3. Kim
4. Analytic hierarhy process
5. Fukuda & Matsura
6. Armacost
7. Doukas
8. Park and Kim
9. Kwong & Bai
10. Partovi
11. Heskette
12. Partovi and Coridororia
13. Karsak
14. Bu`yu`ko`zhan
15. TRs.Design Requirements
16. Kahraman

چارچوب بهینه‌سازی فازی برای فرایند برنامه‌ریزی QFD ارائه کردند [۱، صص ۳۹۰-۴۱۱]. هرچند در تحقیقاتی که اخیراً صورت گرفته، سعی شده است که با استفاده از روشهای کمی تصمیم‌گیری و از سوی دیگر با به‌کارگیری منطق فازی (به لحاظ فازی بودن ماهیت QFD) سعی بر افزایش دقت و کاهش ابهام تصمیمها شود. در تحقیق حاضر با تلفیق مناسب این روشها و در نهایت ارائه یک مدل ریاضی چند هدفه آرمانی، تلاشی نو در جهت پربارتر کردن تصمیمها در QFD شده است که به این ترتیب ارائه رویکردی جدید در آن ارائه شده است.

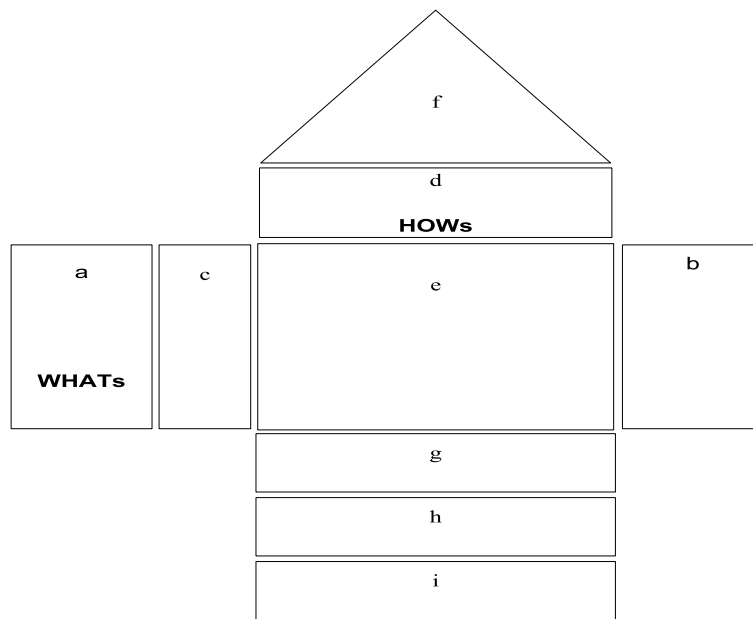
۳- QFD و تاریخچه آن

ریشه واژه "بسط عملکرد کیفیت" از یک اصطلاح ژاپنی و مرکب از سه بخش زیر است [۱۷]:
- هین شیتسو^۱: به معنای "کیفیت"، "ویژگیها"، "مشخصه‌ها" یا "صفات";
- کین^۲: به معنای "عملکردها" یا "مکانیزمها";
- تن کای^۳: به معنای "گسترش"، "تکامل"، "افاضه" یا "توسعه";

در مقام تعریف، آکائو QFD را این‌گونه تعریف می‌کند: « روشی برای توسعه هدفمند کیفیت طراحی به منظور ارضای مصرف‌کننده و ترجمه تقاضای مصرف کنندگان به مشخصه‌های طراحی و نکات اصلی تضمین کیفیت قابل استفاده در مرحله تولید» [۱۸]. QFD همچنین مقدار زیادی اطلاعات را درون یک یا چند نمودار خلاصه می‌کند [۱۷]. QFD با خانه کیفیت (HOQ) آغاز می‌شود. ماتریس خانه کیفیت مثل موتوری است که کل فرایند را پیش برده و ابزاری برای برنامه‌ریزی و هدایت کلیه فعالیت‌های فرایند است. به‌طورکلی دو دیدگاه یگانه برای خانه کیفیت روش QFD وجود دارد. اولین دیدگاه مربوط به تعیین روابط میان نیازها و خواسته‌های مشتری است و دیگری مربوط به همبستگی میان خواسته‌های مشتری (چه چیزها)^۴ و همبستگی میان نیازهای فنی (چگونه‌ها)^۵ است. بنابراین می‌توان گفت که خانه کیفیت یک نوع نقشه ادراکی برای برنامه‌ریزی و ارتباط بین‌بخشی است [۱۹، ص ۶۵]. شکل ۱

1. Hin Shitsu
2. Kin
3. Ten Kai
4. Whats
5. Hows

اجزای یک خانه کیفیت را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود «چه چیزها» و «چگونه‌ها» و ارتباط میان آنها و سایر اجزا مشخص است [صص ۳۴۰-۳۵۴].



شکل ۱ نمای یک خانه کیفیت

علی‌رغم گزارش موارد مستند از کامیابیهای حاصل شده از به‌کارگیری HoQ، برخی شرکتها در فرایند استفاده از آن ناکام بوده‌اند [صص ۹۲-۱۰۶]. مهمترین مشکلات شناسایی شده در استفاده از HoQ عبارتند از: ۱- بسیار وقت‌گیر است. ۲- اندازه ماتریسها بسیار بزرگ است. ۳- دستیابی به توافق راجع به نیازمندیهای فنی متعارض مشکل است و ۴- ترجمه و طبقه‌بندی نیازهای مشتری و اولویت‌بندی آنها مشکل است [صص ۹۲-۱۰۶؛ صص ۶۱-۲۱؛ صص ۷۰-۲۲؛ صص ۲۷۷-۲۸۱؛ صص ۷۷-۸۳؛ صص ۶۶-۶۸؛ صص ۲۵۰-۳۴۰].

مقاله حاضر با بهره‌گیری از فرایند تحلیل شبکه‌ای و همچنین تئوری مجموعه‌های فازی سعی در مقابله با برخی از این مشکلات و تسهیل تشکیل و اجرای HoQ دارد. در عمل،

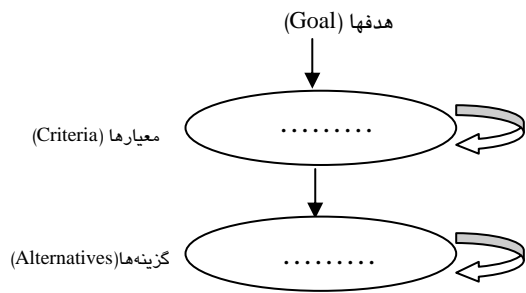
چارچوب ارائه شده در برگرفته یک فرایند نظام‌مند برای ارزیابی و لحاظ روابط متقابل و داخلی میان خواسته‌های مشتری و نیازمندیهای فنی می‌باشد. یکی از اهداف اصلی این مطالعه تلاش برای اثربخش‌تر کردن ارتباطات میان اعضای تیم QFD با به‌کارگیری متدولوژی ارائه شده است. به‌هرحال باید گفت QFD یک روش اندازه‌گیری چند شاخصه می‌باشد که با ملحوظ داشتن اجزای اصلی یک سازمان و یک سری فعالیت‌های پیچیده، قصد دستیابی به انتظارات مشتری و در نهایت ارضای مشتریان را دارد [صص ۲۵۰-۳۴۰].

۴- ANP و کاربرد آن در QFD

فرایند تحلیل شبکه‌ای در سال ۱۹۷۱م. به‌وسیله ساعتی^۱ توسعه داده شد. هدف آن نیز ساختارمند کردن فرایند تصمیم‌گیری با توجه به یک سناریو متأثر از فاکتورهای چندگانه مستقل از هم بود [۷]. این تکنیک فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) را به عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری چند معیاره به‌وسیله جایگزینی "شبکه"^۲ به جای "سلسله مراتب"^۳ بهبود می‌بخشد. در این ساختار سلسله مراتبی بالاترین نقطه هدف مسأله می‌باشد و سطوح میانی شامل فاکتورهای نمایانگر سطح بالاتر است. آخرین سطح شامل گزینه‌ها یا فعالیت‌هایی است که برای رسیدن به هدف باید به آنها توجه کرد [صص ۱۶۱-۱۶۷].

ساختار سلسله مراتبی از بالا به پایین جوابگوی یک سیستم پیچیده نمی‌باشد. ANP نه تنها یک ساختار سلسله مراتبی صرف بر مسأله تحلیل نمی‌کند بلکه مسأله را با استفاده از یک سیستم با رویکرد بازخورد مدلسازی می‌کند. یک سیستم با بازخورد را می‌توان با شبکه‌ای که در آن گره‌ها نشانگر سطوح یا اجزا می‌باشند، نشان داد [۷]. وقتی که اجزای ترکیب Y وابسته به ترکیب X است، این ارتباط با یک پیکان از X به Y نشان داده می‌شود. همه این ارتباطات به‌وسیله مقایسه‌های زوجی^۴ و یک سوپر ماتریس ارزیابی می‌شود. یک سوپر ماتریس، ماتریسی شامل تأثیرات میان عوامل است که با توجه به این بردارهای اولویت به‌دست می‌آید [صص ۲۷-۴۹۱-۵۰۲]. شکل ۲ یک ساختار شبکه‌ای را نشان می‌دهد:

-
1. T.L.Saaty
 2. Network
 3. Hierarchy
 4. Nodes
 5. Pairwise Comparison



شکل ۲ یک ساختار شبکه‌ای با وابستگی داخلی در هر سطح

W_n سوپرماتریس این ساختار را نشان می‌دهد، به طوری که W_{r1} بردار تأثیر هدف بر معیار، W_{r2} ماتریس تأثیر معیار بر هر یک از گزینه‌ها، W_{r3} نشان‌دهنده وابستگی داخلی است و I نشان‌دهنده ماتریس واحد بوده و صفرها بیانگر عدم تأثیرپذیری عناصر مستقل از هم می‌باشند:

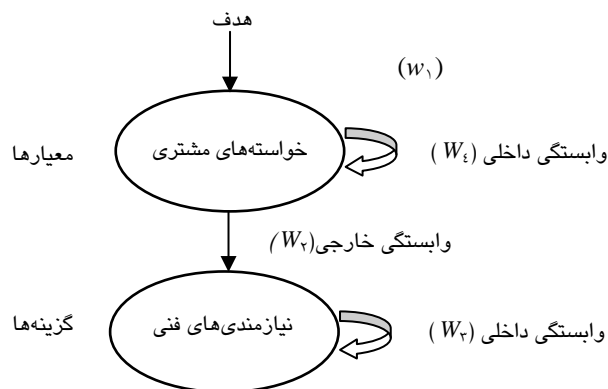
$$\begin{bmatrix} \cdot & \cdot & \cdot \\ W_{r1} & W_{r2} & \cdot \\ \cdot & W_{r3} & I \end{bmatrix} W_n =$$

با اندکی تغییر در سوپر ماتریس، ANP به سوپر ماتریس مدل QFD به صورت زیر است:

$$W = \begin{matrix} & \begin{matrix} G & CNs & TRs \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{هدف (G)} \\ \text{خواسته‌های مشتری (CNs)} \\ \text{نیازمندیهای طراحی (TRs)} \end{matrix} & \begin{bmatrix} \cdot & \cdot & \cdot \\ W_1 & W_2 & \cdot \\ \cdot & W_3 & W_4 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

در این ماتریس، W_1 بردار تأثیر هدف (دستیابی به بهترین طراحی و ساخت محصولی که خواسته‌های مشتریان را ارضا کند) بر نیازهای مشتری؛ W_2 ماتریس تأثیر نیازهای مشتری بر هر کدام از نیازهای فنی و W_3 و W_4 به ترتیب نشان‌دهنده وابستگی داخلی در نیازهای مشتری و وابستگی داخلی در نیازهای فنی است. ساختار شبکه‌ای مدل HOQ

نیز به صورت زیر است (شکل ۳).



شکل ۳ نمایش شبکه‌ای مدل HOQ

۵- به کارگیری منطق فازی در QFD

بیشتر داده‌های مورد نیاز در عملیات و فعالیت‌های QFD در شکل زبان طبیعی بیان می‌شوند. برای مثال، مشتریان در اظهار انتظارهای خود از محصول اصطلاحاتی همچون "استفاده آسان"، "ایمن" و یا "راحت" به کار می‌برند که همگی به صورتی گنگ و سر بسته می‌باشند. به دست آوردن کشفش و میزان ابهام موجود در یک نیازمندی، مبحثی مهم است [۲۸، صص ۶۰-۶۹]. سیمنسون^۱ در سال ۱۹۹۳م. [۲۹] عنوان کرد که ترجیحات مشتریان غالباً فازی و نامطمئن می‌باشند، برای مثال مشتری ممکن است در بیان اهمیت یک نیاز نسبت به نیاز دیگر از اصطلاح "بسیار مهم" استفاده کند [۲۹، صص ۶۸-۲۸۴]. بعلاوه رابطه میان مشخصه‌های فنی نیز به گونه‌ای کیفی شناسایی می‌شوند و به طور ذاتی مبهم می‌باشند، به عنوان مثال "رابطه شدید". بنابراین باید به دنبال رویکردی بود که با استفاده از آن بتوان اطلاعات مبهم را کمی کرد [۱۷].

تئوری مجموعه‌های فازی که تئوری مهمی برای مواجهه با ابهام یک سیستم می‌باشد، اولین بار

1. Simenson



به‌وسیله زاده^۱ در سال ۱۹۶۵م. ارائه شد [۳۰، صص ۳۳۸-۳۵۳]. یک متغیر کلامی متمایز از یک متغیر عددی است که ارزش آن به جای اعداد با عبارتها یا اصطلاحات نشان داده می‌شود [۳۱، صص ۱۹۹-۲۲۴]. تئوری مزبور امکان کاربرد عملگرها و برنامه‌ریزی ریاضی را در یک دامنه فازی فراهم می‌کند. تئوری مجموعه‌های فازی ابزاری کامل و اثربخش برای مدلسازی عدم اطمینان ناشی از حالات روحی است که به صورتی تصادفی و آشوبناک می‌باشند. در خانه کیفیت (HoQ) ارزیابی و قضاوت انسان راجع به اهمیت نسبی هر یک از خواسته‌های مشتریان همیشه ذهنی و غیردقیق است. همان‌گونه که مشخص است، بیشتر متغیرهای درون‌داد مدل، در رویکرد سنتی QFD، به صورتی دقیق فرض می‌شوند و به عنوان داده‌های عددی^۲ با آنها برخورد می‌شود. اما QFD به عنوان یک مفهوم و مکانیزم برای ترجمه صدای مشتری (VOC) به مشخصه‌های محصول از طریق مراحل گوناگون برنامه‌ریزی، مهندسی، پردازش و تولید محصول مستلزم داده‌های مفهومی و زبانی که به‌طور اصالت مبهم و نامطمئن هستند، می‌باشد. با استفاده از ابزارهایی که تئوری مجموعه‌های فازی و مفاهیم حاکم بر آنها در اختیار می‌گذارد، می‌توان داده‌های زبانی را به دقتی تقریبی رساند [۱، صص ۳۹۰-۴۱۱]. در QFD لازم است که تشخیص ذهنی کارشناسان را به مقیاسهای عددی تبدیل کرد. به همین منظور از تصمیم‌گیرنده خواسته می‌شود که شدت این روابط را در صورت ضعیف، میه‌وسيله یا قوی بودن با مقیاسهای چون ۱-۳-۵، ۱-۳-۹ و یا ۱-۵-۹-۱۰ درجه‌بندی کند. به‌این‌گونه یکی از مسائل مهم در QFD کلاسیک این است که انتخاب هر کدام از مقیاسها می‌تواند نتیجه را به‌شدت تحت تأثیر قرار دهد. با توجه به مطالب ارائه شده این نتیجه استنباط می‌شود با داده‌های زبانی- که QFD به‌شدت درگیر آن می‌باشد- باید به عنوان داده‌های فازی برخورد کرد و نه داده‌های دقیق. در مقابل باید دانست که بهره‌گیری از متغیرهای کلامی اجازه مدلسازی دقیق از اظهارات غیردقیق را می‌دهد.

پژوهش حاضر سعی دارد برای تکمیل خانه کیفیت با استفاده از مفاهیم تئوری مجموعه‌های فازی و اعداد فازی در ترکیب با ANP نتایج را بهبود بخشیده و تا حد ممکن آنها را به واقعیت نزدیک کند. در این پژوهش از یک روش AHP فازی به نام متد تحلیل توسعه‌ای چانگ^۳ استفاده شده است. در ادامه به بررسی برخی روابط و عملگرهای

1. Zadeh
2. Numerical data
3. Changs extent analysis method

اصلی حاکم بر اعداد فازی مثلثی^۱ و همچنین ارائه متد تحلیل توسعه‌ای پرداخته می‌شود.

۵-۱- اعداد فازی مثلثی (TFNs)

یک عدد فازی مثلثی را می‌توان به صورت $M=(l, m, n)$ در نظر گرفت.

تابع عضویت آن $[\cdot, 1]$ $R \rightarrow \mu_M(x)$ برابر است با:

$$\mu_M(x) = \begin{cases} 0 & x < l \text{ or } x > u \\ (x-l)/(m-l), & l \leq x \leq m \\ (x-u)/(m-u), & m \leq x \leq u \end{cases}$$

به طوری که $1 \leq m \leq u$ و l و u نشان‌دهنده حدود بالا و پایین عدد M می‌باشند و همچنین m حد وسط M است. در صورتی که داشته باشیم $l=1, u=m$ را دیگر یک عدد غیر فازی می‌نامیم. عملگرهای اصلی برای دو عدد فازی مثلثی M_1 و M_2 به صورت زیر است [۳۲]:

$$\begin{aligned} M_1 + M_2 &= (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \\ M_1 \otimes M_2 &= (l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2) \\ \lambda \otimes M_1 &= (\lambda l_1, \lambda m_1, \lambda u_1), \lambda > 0, \lambda \in R \\ M_1^{-1} &= (1/u_1, 1/m_1, 1/l_1) \end{aligned}$$

در این پژوهش فرض شده است تا تصمیم‌گیرندگان از مجموعه کلامی زیر برای وزندی استفاده می‌کنند (جدول ۱):

جدول ۱ مقیاس کلامی استفاده شده در پژوهش برای سنجش درجه اهمیت نسبی (RI)

مقیاس کلامی اهمیت نسبی	مقیاس فازی مثلثی	مقیاس فازی مثلثی طرف مقابل
اهمیت یکسان	(۱/۲, ۱, ۳/۲)	(۲/۳, ۱, ۲)
نسبتاً با اهمیت	(۱, ۳/۲, ۲)	(۱/۲, ۲/۳, ۱)
با اهمیت	(۲/۲, ۲, ۵/۲)	(۲/۵, ۱/۲, ۲/۳)
اهمیت زیاد	(۲, ۵/۲, ۳)	(۱/۳, ۲/۵, ۱/۲)
کاملاً با اهمیت	(۵/۲, ۳, ۷/۲)	(۲/۷, ۱/۳, ۲/۵)

1. TFNs.Triangular Fuzzy Number



۵-۲- تصمیم گیری گروهی با استفاده از متد تحلیل توسعه‌ای چانگ (EA)

همان طور که پیش از این عنوان شد، برای محاسبه W_1 و W_2 و W_3 و W_4 نیاز به انجام مقایسه‌های زوجی با داده‌های کلامی است. ماتریسهای نام برده را می‌توان با استفاده از متدلوژی AHP فازی محاسبه کرد. انواع متعددی از روشهای AHP فازی وجود دارد. برای مثال می‌توان به روشهایی که به وسیله بوکلی^۱، لارهوون^۲ و پدريکز^۳، چانگ^۴ و ... ارائه شده است، اشاره کرد [۳۳، صص ۲۳۳-۲۴۷؛ ۳۴؛ ۳۵؛ ۳۵۲]. اما محاسبات و پیچیدگی مراحل برخی از این روشها باعث شده که چندان با اقبال مواجه نباشند. برای مثال روش پیشنهادی لارهوون و پدريکز براساس روش حداقل مجذورات لگاریتمی بنا شده بود. در این مطالعه، متد تحلیل توسعه‌ای چانگ ترجیح داده شده است، زیرا مراحل آن آسانتر از سایر رویکردهای AHP فازی است و در ضمن شبیه AHP کلاسیک است. در ادامه مراحل رویکرد تحلیل توسعه‌ای (EA) با توجه به بهبودهای انجام شده به وسیله ژو^۵ و همکاران در سال ۱۹۹۹ می‌آید [۳۶، صص ۴۵۰-۴۵۶].

فرض شود که مجموعه $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ مجموعه‌ای از گزینه‌ها و $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ یک مجموعه هدف باشند. طبق متد چانگ با انتخاب هر گزینه کل متد برای هر gi اجرا می‌شود. بنابراین به تعداد m ارزش تحلیلی توسعه یافته برای هر گزینه به دست می‌آید که با علائم زیر نشان داده می‌شود:

$$M_{1gi}, M_{2gi}, \dots, M_{mgi} \quad , \quad i = 1, 2, \dots, n$$

در حالی که همه M_{jgi} ها ($j=1, 2, \dots, m$) اعداد فازی مثلثی هستند، در روش EA برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسات زوجی، ارزش S_i که خود یک عدد فازی مثلثی است، به صورت زیر به دست می‌آید:

$$S_k = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1}$$

1. Buckley, 1965
2. Laarhoven, 1983
3. Pedrycz, 1983
4. Chung, 1992
5. Zhu

که در آن k بیانگر شماره سطر و i, j به ترتیب نشاندهنده گزینه‌ها و شاخصها می‌باشند. برای محاسبه $\sum_{j=i}^m M_{gi}^j$ عملیات زیر صورت می‌گیرد:

$$\sum_{j=i}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{j=i}^m l_j, \sum_{j=i}^m m_j, \sum_{j=i}^m u_j \right)$$

و برای به دست آوردن $\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1}$ عمل زیر انجام می‌شود:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=i}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{j=i}^m l_j, \sum_{j=i}^m m_j, \sum_{j=i}^m u_j \right)$$

سپس معکوس بردار در معادله قبلی به دست می‌آید:

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right)$$

در این روش پس از محاسبه S_k ها باید درجه بزرگی آنها را نسبت به هم به دست آورد. به طور کلی اگر M_1 و M_2 دو عدد فازی مثلثی باشند، درجه بزرگی M_1 و M_2 به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$V(M_1 \geq M_2) = \sup[\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(x))]$$

که به طور کاملاً برابری داریم:



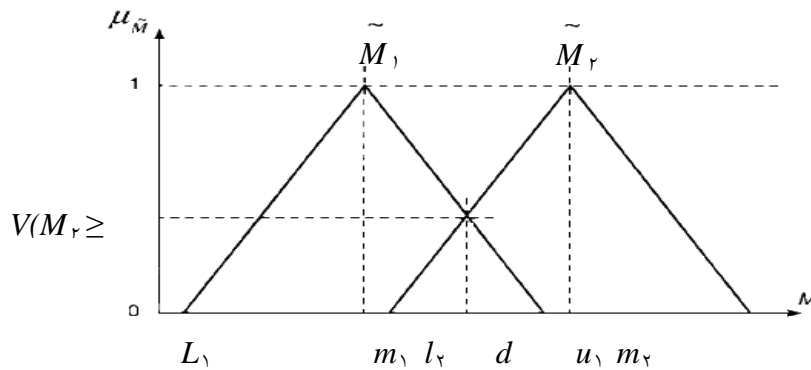
$$V(M_2 \geq M_1) = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d)$$

$$= \begin{cases} 1, & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ \cdot, & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

d عرض بالاترین نقطه تقاطع میان μ_{M_2} و μ_{M_1} است (شکل ۴). برای مقایسه M_2 و M_1 ، نیازمند مقادیر $V(M_1 \geq M_2)$ و $V(M_2 \geq M_1)$ هستیم. میزان بزرگی یک عدد فازی مثلثی از k عدد فازی مثلثی دیگر نیز از رابطه زیر به دست می آید:

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ and } (M \geq M_2) \text{ and } \dots \text{ and } (M \geq M_k)]$$

$$= \min V(M \geq M_i), \quad i = 1, 2, 3, \dots, k.$$



شکل ۴ نمایش تقاطع میان دو عدد فازی مثلثی M_2 و M_1

برای محاسبه وزن شاخصها در ماتریس مقایسات زوجی داریم:

$$d'(A_i) = \min V(s_i \geq s_k) \quad k = 1, 2, \dots, n; k \neq i$$

بنابراین بردار وزن شاخصها به صورت زیر خواهد بود:

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T$$

که A_i شامل n عنصر و $i = 1, 2, \dots, n$ است.

با استفاده از نرمالسازی، بردارهای وزنی نرمال شده به صورت زیر به دست می آید:

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T$$

که W یک عدد غیر فازی است.

۶- متدلوژی تصمیم

الگوریتم تصمیم مسأله در این پژوهش، انتخاب میان نیازمندیهای فنی محصول (TRs) با تمرکز بر فرایند طراحی و اهداف از پیش تعیین شده می باشد. در یک نگاه کلی، الگوریتم پیشنهادی به دو قسمت عمده قابل تقسیم است. در مرحله اول با استفاده از رویکرد ANP فازی^۱، خانه کیفیت به دست آمده برای محصول تکمیل شده و سپس در مرحله دوم، نتایج حاصل از مراحل اول با یک مدل برنامه ریزی آرمانی صفر و یک^۲، برای تعیین آن دسته از نیازمندیهای فنی که تیم طراحی در کلیه مراحل طراحی باید بر آنها تمرکز کند، تلفیق می شود. ابزار قدرتمند ANP با رویکرد فازی که امکان مدلسازی روابط درونی خانه کیفیت محصول را داده و برای به ظهور رساندن صدای مشتری در خانه کیفیت به کار گرفته شده است، به عنوان یکی از اهداف اصلی چارچوب تصمیم مسأله پژوهش حاضر قلمداد می شود. از طرفی لازم است که دیگر اهداف و پارامترهای طراحی (اهداف و پارامترهای نوع دوم)^۳ از جمله محدودیت منابع، امکانپذیری تکنولوژیکی یک نیاز فنی، میزان توسعه پذیری یک نیاز فنی و درجه رقابتی بودن یک نیاز فنی، را نیز مد نظر قرار داد. هزینه پولی هر واحد با توجه به نیازهای فنی تعیین می شود و اولویتهای این نیازها نیز با توجه به اهداف مذکور از طریق مقایسات زوجی و با استفاده از اعداد فازی مثلثی (TFNs) به دست می آید که در آن اولویتهای تقریبی نیازهای فنی با در نظر گرفتن این

1. Fuzzy-ANP
2. ZOGP: Zero-One Goal Programming
3. Second type metrics



اهداف و برای تخصیص به روابط درونی خانه کیفیت محاسبه می‌شوند. تعیین اوزان اهمیت نسبی هر یک از این اهداف نیز لازم می‌باشد. در ادامه کار مشاهده می‌شود که اوزان مربوط به اهداف ذکر شده برای طراحی بعلاوه اوزان مربوط به روابط درونی خانه کیفیت در نهایت محدودیتهای سیستمی مدل آرمانی برنامه‌ریزی محصول را تشکیل می‌دهند. در انتها، تمامی داده‌های محاسباتی حاصل برای فرموله کردن مدل آرمانی صفر و یک به منظور تعیین آن دسته از نیازهای فنی که باید در فرایند طراحی مورد توجه تیم طراحی قرار گیرد، در هم ادغام می‌شوند. مراحل سیزده‌گانه الگوریتم تصمیم مسأله پژوهش در جدول ۲ خلاصه شده است. لازم به ذکر است که مراحل مربوط به مقایسات زوجی با استفاده از اعداد فازی مثلثی و متد تحلیل توسعه‌ای انجام می‌شود.

جدول ۲ گامهای الگوریتم ارزیابی تصمیم در این پژوهش

گام ۱	شناسایی نیازهای مشتری و نیازهای فنی مؤثر بر آنها و تعیین روابط درونی خانه کیفیت
گام ۲	تعیین درجه‌های اهمیت نسبی نیازهای مشتری با استفاده از داده های کلامی، با فرض اینکه وابستگی میان آنها وجود ندارد: محاسبه w_1
گام ۳	تعیین درجه‌های اهمیت نیازهای فنی با توجه به هر نیاز مشتری و با استفاده از داده های کلامی با فرض اینکه هیچ گونه وابستگی میان آنها وجود ندارد: محاسبه w_2
گام ۴	تعیین ماتریس وابستگی داخلی نیازهای مشتری با استفاده از داده‌های کلامی و نمایش شماتیک وابستگی داخلی میان نیازها: محاسبه w_3
گام ۵	تعیین ماتریس وابستگی بلخی نیازهای فنی با استفاده از داده‌های کلامی و نمایش شماتیک وابستگی بلخی میان نیازها: محاسبه w_4
گام ۶	تعیین اولویت نیازهای مشتری: محاسبه $w_c = W_3 \times w_1$
گام ۷	تعیین اولویت نیازهای فنی: محاسبه $w_A = W_4 \times W_2$
گام ۸	تعیین اولویت کلی نیازهای فنی: محاسبه $w^{ANP} = W_A \times w_c$
گام ۹	شناسایی واحدهای اندازه‌گیری و محدودیتهای منابع.
گام ۱۰	تعیین نرخهای ترجیح نیازهای فنی محصول با توجه به سایر اهداف طراحی (که در اینجا اهداف نوع دوم خوانده می‌شود) با استفاده از مقایسات زوجی
گام ۱۱	تعدیل واحدهای اندازه‌گیری با توجه به محدودیت منابع و تعدیل اولویت نیازهای فنی با توجه به اهداف نوع دوم
گام ۱۲	محاسبه اوزان نسبی اهداف با استفاده از مقایسات زوجی
گام ۱۳	فرموله کردن و حل مدل صفر و یک آرمانی برای تعیین مجموعه نیازهای فنی محصول که باید در فاز طراحی مد نظر قرار گیرند

در این پژوهش استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی صفر و یک موزون^۱ به عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری ترجیح داده شده است، زیرا قادر به ترکیب اهداف چندگانه و جستجو برای حداقل کردن انحراف کلی از اهداف طراحی می‌باشد. این خصوصیت برنامه‌ریزی آرمانی، ما را قادر به دخالت دادن اهداف چندگانه‌ای همچون محدودیت منابع، امکان‌پذیری تکنولوژیکی یک نیاز فنی و... در فرایند طراحی می‌کند. تلفیق مدل‌های برنامه‌ریزی آرمانی و روشهایی چون AHP یا ANP - که برپایه مقایسات زوجی قرار دارند- برای فرموله کردن مسائلی که دربرگیرنده اهداف کیفی هستند، بسیار اثربخش است. نتایج پژوهشهای بسیاری در زمینه‌های متعدد نشان می‌دهد که ترکیب AHP و ZOGP به راه‌حلهای واقعی‌تری برای مسائل منتهی شده است [۳۷، صص ۷۲-۳۸؛ ۸۰-۲۳۷-۲۴۸].

فرم عمومی مدل آرمانی استفاده شده به صورت زیر است که برگرفته از مدل ارائه شده به وسیله گایر و لئونگ^۲ در سال ۲۰۰۱م. و کارساک و همکاران در سال ۲۰۰۲م. است [۱۵، صص ۱۷۱-۱۹۰؛ ۳۹، صص ۴۶۲-۴۸۲]:

$$\begin{aligned} \min \quad & \omega_i^{ANP} (d_i^- + \sum_{i=2}^s \omega_i \left(\frac{d_i^-}{R_i} + \frac{d_i^+}{R_i} \right) + \sum_{i=s+1}^m \omega_i (d_i^-) \quad s.t. \\ & \sum_{j=1}^n w_j^{ANP} x_j + d_i^- - d_i^+ = 1 \\ & \sum_{j=1}^n r_{ij} x_j + d_i^- - d_i^+ = R_i, \quad i = 2, \dots, s \\ & \sum_{j=1}^n w_{ij} + d_i^- - d_i^+ = 1, \quad i = s+1, \dots, m \\ & x_j \in \{0,1\}, \quad j = 1, \dots, n \quad d_i^-, d_i^+ \geq 0, \quad i = 1, \dots, m \end{aligned}$$

در این مدل ω_i (اوزان اهداف) $i=1,2,\dots,m$ ، d_i^-, d_i^+ متغیرهای انحراف مساعد یا نامساعد از i امین هدف $i=1,2,\dots,m$ ، x_j متغیر صفر و یک انتخاب برای j امین نیاز

1. Weighted ZOGP
2. Gayar and Leung



فنی ($j = 1, \dots, m$)، نشان‌دهنده اولویت ناشی از وابستگی داخلی z آمین نیاز فنی می‌باشد. مقدار منبع قابل استفاده به وسیله z آمین نیاز فنی، نشان‌دهنده محدودیت i آمین منبع و W_{ij} نرخ ترجیح z آمین نیاز فنی با توجه به پارامتر i ام ($i = s + 1, \dots, m$) ; $j = 1, \dots, n$ است.

۷- پیاده‌سازی متدلوژی تصمیم

در این پژوهش، چارچوب تصمیم ارائه‌شده در شرکت پاک‌نام (که از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان محصولات شوینده و پاک‌کننده می‌باشد) به کار گرفته شده است. محصول پودر یکتا ویژه ماشین طبق نظر و پیشنهاد کارشناسان (از آنجا که دارای سهم عمده‌ای از بازار محصولات این شرکت است و مهمترین محصول شرکت محسوب می‌شود) به عنوان مورد مطالعه انتخاب شد. پودر یکتا ویژه ماشین - که در نوع خود اولین محصول در کشور می‌باشد - حاوی ماده PVP است که از تداخل رنگ لباسها هنگام شستشو جلوگیری می‌کند و رنگ پارچه را ثابت نگه می‌دارد. به همین دلیل این محصول به‌طور ویژه مخصوص البسه رنگی است. این پودر همچنین حاوی آنزیمهای سه گانه پروتئاز، آمیلاز و سلولاز برای افزایش شویندگی است. در این مطالعه خواسته‌های مشتری (CNs) که برای بهبود پودر یکتا ماشین تعیین شده است، عبارتند از قدرت پاک‌کنندگی (CN1)، خاصیت از بین بردن لکه چربی (CN2)، پایین بودن دانه‌های سفید روی لباس (CN3)، عدم تداخل رنگ (CN4)، افزایش لطافت و نرمی (CN5)، خاصیت لکه‌بری (CN6)، نیازمندیهای فنی (TRs) برای ارضای خواسته‌های مشتریان نیز به این شرح است: اکتیو (TR1)، آنزیم ΔE^* (TR2)، نانیونیک (TR3)، صابون (TR4)، بیلدر (TR5)، ظرفیت تبادل یونی (TR6)، ظرفیت بافبری (TR7)، فسفونات (TR8)، PVP (TR9)، PH (TR10)، بنتونیت (TR11)، $ASH\%$ (TR12). یک نمونه از مقایسات زوجی با استفاده از داده‌های کلامی برای «از بین بردن لکه چربی» با توجه به خواسته‌های مشتری در جدول ۳ و همچنین برای «اکتیو» با توجه به نیازهای فنی در جدول ۴ عنوان شده است. توجه شود که مقایسات در پایین قطر دارای ارزش معکوس بالای قطر می‌باشند.

جدول ۳ اهمیت نسبی خواسته‌های با توجه به «از بین بردن لکه چربی»

از بین بردن لکه چربی	افزایش قدرت لکه‌بری	قدرت پاک‌کنندگی	از بین بردن لکه چربی
قدرت پاک‌کنندگی	یکسان تا نسبتاً با اهمیت		افزایش قدرت لکه‌بری
افزایش قدرت لکه‌بری	کاملاً بی‌اهمیت		از بین بردن لکه چربی
از بین بردن لکه چربی			

جدول ۴ اهمیت نسبی نیازمندیهای فنی با توجه به «اکتیو»

اکتیو	ظرفیت تبادل یونی	بیلدر	اکتیو
بیلدر	بی اهمیت تا نسبتاً بی‌اهمیت		ظرفیت تبادل یونی
ظرفیت تبادل یونی	نسبتاً بی‌اهمیت تا اهمیت یکسان		اکتیو
اکتیو			

گامهای متدلوژی ANP فازی برای خانه کیفیت پودر یکتا به صورت زیر اجرا می‌شود:
 گام ۱ و ۲: شناسایی CNs و TRs و درجه‌های اهمیت CNs: محاسبه W_1 . با فرض اینکه هیچگونه وابستگی میان CNs وجود ندارد و با مقایسه زوجی میان این خواسته‌ها با استفاده از متغیرهای کلامی و با توجه به هدف دستیابی به بهترین طراحی برای محصول پودر یکتا ماشین و اجرای متد تحلیل توسعه‌ای متدلوژی AHP فازی، بردار ویژه زیر برای خواسته‌های مشتری محاسبه شده است:

$$\begin{pmatrix} 0.34 \\ 0.27 \\ 0.04 \\ 0.28 \\ 0.01 \\ 0.05 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} CN_1 \\ CN_2 \\ CN_3 \\ CN_4 \\ CN_5 \\ CN_6 \end{pmatrix} = W_1$$

گام ۳: تعیین درجه‌های اهمیت TRs با توجه به هر CNs: محاسبه W_2 . درجه‌های اهمیت

با توجه به هر CNs در جدول ۵ آمده است.

جدول ۵ بردارهای ستونی با توجه به هر خواسته مشتری

افزایش قدرت لکه‌بری	افزایش لطافت و نرمی	عدم تداخل رنگ	پایین بودن دانه های سفید روی لباس	از بین بردن لکه چربی	قدرت پاک‌کنندگی	W _۲
۰/۱۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۷	۰/۲۷	اکتیو
۰/۲۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۵	۰/۰۹	آنزیم (ΔE*)
۰/۲۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۸	۰/۱۶	نانیونیک
۰/۱۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۵	۰/۱۴	صابون
۰/۰۶	۰/۳۰	۰/۰۰	۰/۲۵	۰/۰۶	۰/۰۸	بیلدر
۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۰	۰/۱۲	ظرفیت تبادل یونی
۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۹	۰/۰۰	ظرفیت بافری
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۷۵	۰/۰۰	۰/۰۰	فسفونات
۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	PVP
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	PH
۰/۰۰	۰/۳۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	بنتونیت
۰/۰۰	۰/۳۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	ASH%

CN _۶	CN _۵	CN _۴	CN _۳	CN _۲	CN _۱	
↑	-	-	-	-	-	CN _۱
-	↑	-	-	-	-	CN _۲
↑	-	-	-	-	-	CN _۳
-	-	-	-	-	-	CN _۴
-	-	-	-	-	-	CN _۵
-	-	-	-	↑	-	CN _۶

شکل ۵ نمایش وابستگی داخلی میان خواسته‌های مشتری

گام ۴: تعیین وابستگی داخلی CNs با توجه به هر CN: محاسبه W_3 . جهت روابط میان CNs که با توجه به نظر کارشناسان تیم QFD تعیین شده است (شکل ۶ را ببینید). در این شکل خط تیره نشان دهنده عدم تأثیر میان دو عنصر است. بردار نهایی حاصل از مقایسات زوجی با داده های کلامی در جدول ۱۰ آمده است.

گام ۵: تعیین ماتریس همبستگی داخلی TRs با توجه به هر TR: محاسبه W_4 . همچون گام قبل ابتدا برای وابستگی ها با توجه به نظر اعضای تیم مشخص شده و سپس مقایسات زوجی با استفاده از داده های کلامی صورت می گیرد. شکل ۷ برای روابط و جدول ۱۱ اوزان اهمیت بدست آمده از مقایسات زوجی با داده های کلامی را نشان می دهد.

جدول ۶ ماتریس وابستگی داخلی میان خواسته های مشتری (CNs)

افزایش قدرت	افزایش لطافت و نرمی	عدم تداخل رنگ	پایین بودن دانه های سفید	از بین بردن لکه چربی	قدرت پاک کنندگی	W_3
۰/۸۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۵۴	۱/۰۰	قدرت پاک کنندگی
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۰	از بین بردن لکه چربی
۰/۰۰	۰/۵۳	۰/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	پایین بودن دانه های سفید
۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	عدم تداخل رنگ
۰/۰۰	۰/۴۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	افزایش لطافت و نرمی
۰/۱۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۴۳	۰/۰۰	افزایش قدرت لکه بری

TR_{12}	TR_{11}	TR_{10}	TR_9	TR_8	TR_7	TR_6	TR_5	TR_4	TR_3	TR_2	TR_1	
-	-	-	-	-	-	-	↑	-	-	-	-	TR_1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	TR_2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	TR_3
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	TR_4
↑	-	↑	-	-	↑	↑	-	-	-	-	↑	TR_5
-	-	-	-	-	-	-	-	↑	-	-	↑	TR_6
-	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	TR_7
↑	-	-	-	-	-	↑	-	-	-	-	-	TR_8
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	TR_9
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↑	-	TR_{10}
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	TR_{11}
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	TR_{12}

شکل ۶ نمایش وابستگی داخلی میان نیازمندی های فنی

جدول ۷ ماتریس وابستگی داخلی میان نیازمندی‌های فنی (TRs)

W _۴	اکتیو	آنزیم (ΔE*)	نانیونیک	صابون	بیلدر	ظرفیت تبادل یونی	ظرفیت بافری	فسفونات	PVP	PH	بنتونیت	ASH%
اکتیو	۰/۵۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۴۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
آنزیم (ΔE*)	۰/۰۰	۰/۵۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
نانیونیک	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
صابون	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۴۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
بیلدر	۰/۲۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۵۶	۰/۴۹	۰/۷۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۴۰	۰/۰۰	۰/۲۹
ظرفیت تبادل یونی	۰/۲۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۳۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
ظرفیت بافری	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۳۷	۰/۰۰	۰/۰۰
فسفونات	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۶	۰/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۴۳
PVP	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
PH	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۲	۰/۰۰	۰/۰۰
بنتونیت	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۰
ASH%	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۸

گام ۶: تعیین اولویت نیازهای مشتری: محاسبه $W_c = W_r \times W_1$ در این گام اولویتهای متقابل CNs، به صورت زیر بدست آمده است:

$$W_c = W_r \times W_1 = \begin{pmatrix} CN_1 \\ CN_r \\ CN_r \\ CN_\varepsilon \\ CN_o \\ CN_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ۰۰۰/۵۲۹۳ \\ ۰۰/۰۰۸۱ \\ ۰۰/۰۰۴۵۳ \\ ۰۰/۲۸۰۰ \\ ۰۰/۰۰۴۷ \\ ۰/۱۲۲۶ \end{pmatrix}$$

گام ۷: تعیین اولویت نیازهای فنی: محاسبه $W_A = W_\varepsilon \times W_r$ در این گام اولویتهای

متقابل TRs، به صورت زیر حاصل شده است:

$$W_A = W_\epsilon \times W_\gamma = \begin{pmatrix} 0.1692 & 0.1106 & 0.1077 & 0.0000 & 0.1331 & 0.1001 \\ 0.0473 & 0.1338 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.1397 \\ 0.1635 & 0.1815 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.2144 \\ 0.0666 & 0.0681 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0782 \\ 0.2071 & 0.1846 & 0.1396 & 0.0000 & 0.2729 & 0.1536 \\ 0.1930 & 0.1581 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.1565 \\ 0.0286 & 0.0202 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0147 \\ 0.2328 & 0.0271 & 0.0527 & 0.0000 & 0.1488 & 0.2222 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0409 & 0.1158 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.1209 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.3467 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0985 & 0.0000 \end{pmatrix}$$

گام ۸: تعیین اولویت کلی نیازهای فنی: محاسبه $W^{ANP} = W_A \times W_C$. اولویت های کلی نیازهای فنی، W^{ANP} ، که منعکس کننده روابط درونی خانه کیفیت برای محصول پودر یکتا ماشین است به صورت زیر بدست می آید:

$$W^{ANP} = W_A \times W_C = \begin{pmatrix} TR_1 \\ TR_2 \\ TR_3 \\ TR_4 \\ TR_5 \\ TR_6 \\ TR_7 \\ TR_8 \\ TR_9 \\ TR_{10} \\ TR_{11} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.1102 \\ 0.0441 \\ 0.1163 \\ 0.0462 \\ 0.1671 \\ 0.1247 \\ 0.0174 \\ 0.0567 \\ 0.2761 \\ 0.2381 \\ 0.0266 \end{pmatrix}$$

تحلیل فازی نشان می دهد که مهمترین نیاز طراحی "PVP" با درجه اهمیت ۰/۲۷۶۱ می باشد. پس از آن "بیلدر" با درجه اهمیت ۰/۱۶۷۱ در درجه دوم اهمیت قرار دارد. کم اهمیت ترین نیاز فنی نیز طبق تحلیل فازی "ASH%" با درجه اهمیت ۰/۰۰۰۶ می باشد.

گام ۹: شناسایی واحدهای اندازه گیری و محدودیت های منابع. با نظر کارشناسان تیم QFD، محدودیت بودجه، به عنوان تنها محدودیت منبع در ساخت پودر یکتا ماشین شناسایی شد. از این رو هزینه لازم برای ساخت یک واحد از پودر ۳۶۰۰ ریال تعیین شد، که این رقم از حاصل جمع هزینه تک تک نیازهای طراحی به دست آمده است. ماتریس b این جدول را نشان



می دهد. بودجه در دسترس شرکت برای طراحی ۳۴۰۰ ریال می باشد.

$$b = \begin{pmatrix} TR_1 \\ TR_2 \\ TR_3 \\ TR_4 \\ TR_5 \\ TR_6 \\ TR_7 \\ TR_8 \\ TR_9 \\ TR_{10} \\ TR_{11} \\ TR_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 388 \\ 180 \\ 388 \\ 108 \\ 220 \\ 612 \\ 180 \\ 180 \\ 252 \\ 180 \\ 180 \\ 432 \end{pmatrix}$$

گام ۱۰ و ۱۱: تعیین نرخ های ترجیح نیازهای فنی محصول با توجه به سایر اهداف طراحی و تعدیل آنها. انجام این گام، امکان دخالت دادن سایر اهداف طراحی (که در اینجا پارامترهای نوع دوم خوانده می شوند) در تعیین مجموعه نیازهای فنی که در طراحی پودر باید مد نظر قرار گیرند، فراهم می کند. امکانپذیری تکنولوژیکی^۱ (T)، میزان توسعه پذیری^۲ (E) و درجه رقابتی بودن^۳ (C) یک نیاز با بررسی نظرات کارشناسان و توافق اعضای تیم QFD به عنوان پارامترهای نوع دوم قابل ملاحظه در تعیین مجموعه اهداف طراحی پودر یکتا ماشین انتخاب شدند. این پارامترها بدین صورت تعریف شده اند: منظور از امکانپذیری تکنولوژیکی این است که با توجه به منابع تکنولوژیکی موجود در ساخت پودر یکتا ماشین و عدم تغییر در آن تا چه میزان می توان یک نیاز را بسط داد. منظور از میزان توسعه پذیری این است که بهبود و ارتقا در رویه های طراحی یک نیاز فنی تا چه اندازه به توسعه و بهبود نیازهای فنی آینده در محصول پودر یکتا ماشین و محصولات دیگر منجر می شود. و بالاخره منظور از درجه رقابتی بودن این است که یک نیاز در مقایسه با نیازهای دیگر تا چه میزان قادر به ایجاد مزیت رقابتی در محصول پودر یکتا ماشین نسبت به محصولات مشابه سایر رقبا در بازار خواهد بود. در واقع هدف آن تقویت و ایجاد شایستگیهای ممتاز^۴ در محصول می باشد. ذکر این نکته لازم و ضروری است که پارامترهای مذکور با توجه به شرایط و خصوصیات محصول و سازمان مطالعه شده تعیین شده است. در عمل ممکن است برای یک محصول در سازمانی دیگر پارامترهای متفاوتی برگزیده شود. ماتریس اوزان اهمیت

1. Technological feasibility
2. Extensibility
3. Competitiveness
4. Distinctive Competencies

هر یک از نیازها با توجه به پارامترهای مورد نظر به صورت زیر نشان داده شده است:

$$W^T = \begin{pmatrix} TR_1 \\ TR_2 \\ TR_3 \\ TR_4 \\ TR_5 \\ TR_6 \\ TR_7 \\ TR_8 \\ TR_9 \\ TR_{10} \\ TR_{11} \\ TR_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.09 \\ 0.09 \\ 0.07 \\ 0.09 \\ 0.07 \\ 0.09 \\ 0.09 \\ 0.07 \\ 0.08 \\ 0.08 \\ 0.08 \\ 0.08 \end{pmatrix}$$

$$W^E = \begin{pmatrix} TR_1 \\ TR_2 \\ TR_3 \\ TR_4 \\ TR_5 \\ TR_6 \\ TR_7 \\ TR_8 \\ TR_9 \\ TR_{10} \\ TR_{11} \\ TR_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.07 \\ 0.11 \\ 0.08 \\ 0.06 \\ 0.09 \\ 0.09 \\ 0.08 \\ 0.09 \\ 0.09 \\ 0.06 \\ 0.09 \\ 0.09 \end{pmatrix}$$

$$W^C = \begin{pmatrix} TR_1 \\ TR_2 \\ TR_3 \\ TR_4 \\ TR_5 \\ TR_6 \\ TR_7 \\ TR_8 \\ TR_9 \\ TR_{10} \\ TR_{11} \\ TR_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.04 \\ 0.16 \\ 0.08 \\ 0.05 \\ 0.08 \\ 0.08 \\ 0.10 \\ 0.12 \\ 0.12 \\ 0.03 \\ 0.08 \\ 0.11 \end{pmatrix}$$

تعدیل b , W^T , W^E , W^C از طریق ضرب کردن ماتریس همبستگی داخلی نیازهای فنی (W_i) در تک تک آنها به صورت زیر انجام شده است:

$$b = W_i \times b = \begin{pmatrix} TR_1 \\ TR_2 \\ TR_3 \\ TR_4 \\ TR_5 \\ TR_6 \\ TR_7 \\ TR_8 \\ TR_9 \\ TR_{10} \\ TR_{11} \\ TR_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.45765 \\ 0.9650 \\ 2.8800 \\ 0.5064 \\ 1.5757 \\ 3.3823 \\ 1.0661 \\ 0.52656 \\ 2.5200 \\ 1.2382 \\ 1.800 \\ 1.2239 \end{pmatrix}$$

$$W^T = W_i \times W^T = \begin{pmatrix} TR_1 \\ TR_2 \\ TR_3 \\ TR_4 \\ TR_5 \\ TR_6 \\ TR_7 \\ TR_8 \\ TR_9 \\ TR_{10} \\ TR_{11} \\ TR_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.08 \\ 0.05 \\ 0.07 \\ 0.04 \\ 0.23 \\ 0.10 \\ 0.05 \\ 0.13 \\ 0.08 \\ 0.06 \\ 0.09 \\ 0.03 \end{pmatrix}$$

$$W^C = W_i \times W^C = \begin{pmatrix} TR_1 \\ TR_2 \\ TR_3 \\ TR_4 \\ TR_5 \\ TR_6 \\ TR_7 \\ TR_8 \\ TR_9 \\ TR_{10} \\ TR_{11} \\ TR_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.05 \\ 0.09 \\ 0.08 \\ 0.02 \\ 0.19 \\ 0.06 \\ 0.03 \\ 0.17 \\ 0.12 \\ 0.08 \\ 0.08 \\ 0.03 \end{pmatrix}$$

$$W^E = W_i \times W^E = \begin{pmatrix} TR_1 \\ TR_2 \\ TR_3 \\ TR_4 \\ TR_5 \\ TR_6 \\ TR_7 \\ TR_8 \\ TR_9 \\ TR_{10} \\ TR_{11} \\ TR_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.0744 \\ 0.0590 \\ 0.0800 \\ 0.0281 \\ 0.2157 \\ 0.0808 \\ 0.0399 \\ 0.1523 \\ 0.0900 \\ 0.0645 \\ 0.0900 \\ 0.0255 \end{pmatrix}$$

$$W^C = W_i \times W^C = \begin{pmatrix} TR_1 \\ TR_2 \\ TR_3 \\ TR_4 \\ TR_5 \\ TR_6 \\ TR_7 \\ TR_8 \\ TR_9 \\ TR_{10} \\ TR_{11} \\ TR_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.05 \\ 0.09 \\ 0.08 \\ 0.02 \\ 0.19 \\ 0.06 \\ 0.03 \\ 0.17 \\ 0.12 \\ 0.08 \\ 0.08 \\ 0.03 \end{pmatrix}$$



شکل ۷، خانه کیفیت (HoQ) محصول پودر یکتا ماشین را با داده های حاصل از رویکرد استفاده شده در این پژوهش و اجرای گامهای آن نشان می دهد.

گام ۱۲: محاسبه اوزان نسبی اهداف با استفاده از مقایسات زوجی. به طور کلی اهداف مورد نظر برای طراحی پودر یکتا ماشین در پژوهش حاضر عبارتند از در نظر گرفتن کلیه روابط داخلی موجود در خانه کیفیت محصول پودر یکتا ماشین، محدودیت منابع مالی سازمان، امکانپذیری تکنولوژیکی نیازهای فنی، میزان توسعه پذیری نیازهای فنی، درجه رقابتی بودن نیازهای فنی. از آنجا که این اهداف در فرایند تصمیم گیری درجه اهمیت یکسان ندارند، لازم است که اوزان نسبی اهمیت هر کدام از این اهداف از نظر کارشناسان و مدیران به دست آمده و در تابع هدف مدل آرمانی نشان داده شوند. بردار ω_{Gs} این اوزان را که با مقایسه زوجی اهداف و با استفاده از مقیاس کلامی به دست آمده است، نشان می دهد:

$$\omega_{Gs} = \begin{pmatrix} \text{fuzzy - ANP} \\ \text{Cost Budget} \\ \text{Technological Feasibility} \\ \text{Extensibility} \\ \text{Competitiveness} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.22 \\ 0.23 \\ 0.19 \\ 0.16 \\ 0.20 \end{pmatrix}$$

گام ۱۳: فرموله کردن و حل مدل صفر و یک آرمانی برای تعیین مجموعه نیازهای فنی محصول که باید در فاز طراحی مد نظر قرار گیرند. مدل آرمانی نهایی که از نوع صفر و یک

می باشد- با توجه به مدل ارائه شده در بخش ۵ به صورت زیر است:

$$\min \quad 0.22 d_1^+ + (0.22 / 3/400) d_2^+ + 0.19 d_3^+ + 0.16 d_4^+ + 0.20 d_5^+$$

$$s.t:$$

$$0.1102 x_1^+ + 0.441 x_2^+ + 0.1163 x_3^+ + 0.462 x_4^+ + 0.1671 x_5^+ + 0.1247 x_6^+ + 0.174 x_7^+ + 0.067 x_8^+ + 0.271 x_9^+ + 0.281 x_{10}^+ + 0.20 x_{11}^+ + 0.006 x_{12}^+ - d_1^+ + d_1^- = 1$$

$$0.4076 x_1^+ + 0.960 x_2^+ + 0.288 x_3^+ + 0.064 x_4^+ + 0.0707 x_5^+ + 0.0707 x_6^+ + 0.2382 x_7^+ + 0.1166 x_8^+ + 0.266 x_9^+ + 0.20 x_{10}^+ + 0.1232 x_{11}^+ + 0.1232 x_{12}^+ - d_2^+ + d_2^- = 3/400$$

$$0.08 x_1^+ + 0.05 x_2^+ + 0.07 x_3^+ + 0.04 x_4^+ + 0.22 x_5^+ + 0.10 x_6^+ + 0.05 x_7^+ + 0.13 x_8^+ + 0.08 x_9^+ + 0.06 x_{10}^+ + 0.09 x_{11}^+ + 0.03 x_{12}^+ - d_3^+ + d_3^- = 1$$

$$0.29 x_1^+ + 0.06 x_2^+ + 0.08 x_3^+ + 0.02 x_4^+ + 0.36 x_5^+ + 0.26 x_6^+ + 0.04 x_7^+ + 0.10 x_8^+ + 0.09 x_9^+ + 0.06 x_{10}^+ + 0.09 x_{11}^+ + 0.03 x_{12}^+ - d_4^+ + d_4^- = 1$$

$$0.05 x_1^+ + 0.09 x_2^+ + 0.08 x_3^+ + 0.02 x_4^+ + 0.19 x_5^+ + 0.06 x_6^+ + 0.03 x_7^+ + 0.17 x_8^+ + 0.12 x_9^+ + 0.08 x_{10}^+ + 0.08 x_{11}^+ + 0.03 x_{12}^+ - d_5^+ + d_5^- = 1$$

$$x_j = 0,1 \quad (j=1,2,\dots,12) \quad d_i^+ d_i^- \geq 0 \quad (i = 1,2,3,4)$$

پس از حل مدل با نرم افزار LINGO مجموعه جواب به ازای متغیرهای صفر و یک به صورت زیر استخراج شد:

$$x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = x_5 = x_6 = x_8 = x_9 = x_{10} = x_{11} = 1 \quad x_7 = x_{12} = 0$$

همان گونه که ملاحظه می شود، ده نیاز از دوازده نیاز به منظور بهبود در فاز طراحی انتخاب شده اند. صفر شدن متغیرهای X_7 , X_{12} به معنای عدم انتخاب این مشخصه های فنی برای بهبود در فاز طراحی می باشند. به این ترتیب ویژگیهای «اکتیو»، «آنزیم (ΔE^*)»، «نانیونیک»، «صابون»، «بیلدر»، «ظرفیت تبادل یونی»، «فسفونات»، «PVP»، «PH»، «بنتونیت» برای بهبود در فاز طراحی برگزیده می شوند و «ظرفیت بافری»، «ASH%» انتخاب نمی شوند. این موضوع به این معناست که تیم طراحی در مرحله بهبود و اعمال تغییرات ظرفیت بافری و $ASH\%$ را باید در سطح استانداردهای فعلی حفظ کند و توجه خود را معطوف به بهبود سایر نیازها کند.

۸- نتیجه گیری

در این پژوهش یک رویکرد ترکیبی از ANP فازی برای فرموله کردن و حل مسائل موجود در خانه کیفیت در QFD ارائه شد. حل چنین مسائلی به طور سنتی با استفاده از نظر کارشناسان صورت می گیرد، درحالی که در این مقاله با ارائه یک رویه سیستماتیک سعی بر کارآمد کردن QFD به عنوان ابزاری حیاتی برای طراحی و بهبود فرایند طراحی شد. متدولوژی ارائه شده تحقق این مهم را از طریق مد نظر قرار دادن روابط متقابل خواسته های مشتری، نیازمندیهای فنی، و وابستگی داخلی هر یک و از طرف دیگر در نظر گرفتن سایر اهداف طراحی همچون محدودیت منابع، امکانپذیری تکنولوژیکی، میزان توسعه پذیری و درجه رقابتی بودن یک نیاز به عنوان محدودیت های سیستمی حاکم بر فرایند طراحی و خانه کیفیت پودر یکتا، دنبال کرده است. در آمیختن منطق فازی با ANP نیز به نوبه خود نکته جدیدی بود که در این پژوهش به آن توجه شد. استفاده از منطق فازی در کاهش ابهام موجود در واژه های زبانی به کار گرفته شده برای انجام مقایسه های مورد نیاز در خانه کیفیت نقش به سزایی ایفا کرده است. استفاده از منطق فازی در این پژوهش دو مطلوبیت اساسی ایجاد کرده است:

- ۱- از آنجا که قضاوت های انسانی ماهیتی فازی دارند استفاده از اعداد فازی ترجیح بیشتری نسبت به اعداد قطعی دارند.
- ۲- به کارگیری اعداد فازی به اعضای تیم QFD این امکان را داده است که در ابراز ترجیحات

خود آزادی عمل بیش تری برخوردار بوده و انعطافپذیری بیشتری داشته باشند. در شرایط رقابت روزافزون کنونی، برای بالفعل کردن پتانسیل موجود در QFD باید از تعامل رویکردهای مختلف بهره گرفت. این مقاله با Δ پترکیب ANP فازی و برنامه‌ریزی آرمانی جوابی امکانپذیرتر و سازگارتر را نسبت به ANP ایجاد کرده است.

درجه اهمیت	ASH%	بی‌نیت	PH	PVP	فسفورات	ظرفیت باتری	ظرفیت تبادل یونی	پیلر	صابون	تائیریک	زیم (H ₂ O ₂)	اکثر
	۱۱	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
قدرت پاک کنندگی						۰.۱۳	۰.۱۳	۰.۰۸	۰.۱۴	۰.۱۶	۰.۰۹	۰.۲۷
آزبین بردن لکه چربی						۰.۱۰	۰.۰۶	۰.۰۶	۰.۱۵	۰.۱۸	۰.۲۵	۰.۱۷
پایین بودن دانه های سفید روی لباس				۱.۰۰				۰.۲۵				
عدم تداخل					۰.۷۵			۰.۲۵				
افزایش لطافت و نرمی	۰.۳۵	۰.۳۵						۰.۳۰				
افزایش قدرت لکه بری						۰.۰۷	۰.۰۸	۰.۰۶	۰.۱۷	۰.۲۱	۰.۲۶	۰.۱۵
اوزان کلی	۰.۰۰۶	۰.۰۲۰	۰.۰۳۱	۰.۰۳۸	۰.۰۵۶	۰.۰۷۴	۰.۰۸۷	۰.۱۰۷	۰.۱۲۷	۰.۱۶۳	۰.۲۰۴	۰.۲۶۱
بودجه در دسترسی	۰.۱۲۳۳	۰.۱۸۰	۰.۱۲۳۸	۰.۲۵۲۰	۰.۵۲۶۵	۱.۰۶۶	۲.۳۳۲	۱.۰۰۵۷	۰.۰۰۶۴	۰.۲۸۰	۰.۹۶۵	۰.۴۵۷۶
امکان پذیری تکنولوژی	۰.۰۳	۰.۰۹	۰.۰۶	۰.۰۸	۰.۱۳	۰.۰۵	۰.۱۰	۰.۲۳	۰.۰۴	۰.۰۷	۰.۰۵	۰.۰۸
میزان توسعه پذیری	۰.۰۳	۰.۰۹	۰.۰۶	۰.۰۹	۰.۱۵	۰.۰۴	۰.۰۳	۰.۳۶	۰.۰۳	۰.۰۸	۰.۰۶	۰.۳۹
درجه رقابتی بودن	۰.۰۲	۰.۰۸	۰.۰۸	۰.۱۲	۰.۱۷	۰.۰۳	۰.۰۶	۰.۱۹	۰.۰۲	۰.۰۸	۰.۰۹	۰.۰۵

شکل ۷ خانه کیفیت پودر یکتا ماشین با استفاده از متدلوژی تصمیم

باید توجه داشت که گرچه این چارچوب صرفاً برای محصول پودر پیاده شد، اما با اندکی تغییر بخصوص در مورد اهداف طراحی و محدودیتها می توان آن را برای هر محصول دیگر نیز پیاده کرد.

۸-۱ پیشنهادات پژوهشی آینده

۱- متدلوژی ارائه شده در این تحقیق صرفاً درباره خانه کیفیت به عنوان یکی از مراحل QFD به کار رفت. پیشنهاد می شود که این چارچوب در تحقیقات آینده برای تمامی مراحل اجرای کامل QFD به کار گرفته شود.

۲- در این تحقیق همان طور که مشاهده شده به منظور کاهش ابهام موجود در داده های زبانی از منطق فازی در شکل متد تحلیل توسعه ای برای انجام محاسبات ANP استفاده شد. حال پیشنهاد این است که در تحقیقات آینده با استفاده از روشهای مختلف فازی و مقایسه نتایج نهایی حاصل از روشهای گوناگون، مناسبترین مدل فازی برای کاهش ابهام ذاتی موجود در خانه کیفیت ارائه شود.

۳- در این تحقیق سعی شد که انحرافات نامساعد از اهداف و پارامترهای طراحی حداقل شوند. در تحقیقات آینده می توان با تعیین مقداری مشخص برای هر یک از ویژگیهای فنی نسبت به اهداف طراحی، مجموع انحرافات نامطلوب ویژگیهای فنی از مقدار هدف را به حداقل رساند. همچنین می توان با تعیین حدود بالا و پایین برای هر آرمان به حداقل کردن انحرافات پرداخت.

۴- همان طور که مشاهده شده مدل آرمانی تحقیق حاضر از نوع موزون بود. در تحقیقات آینده می توان این مدل را در اشکال دیگر مثل ترتیبی- اولویتی حل کرد و نتایج را با هم مقایسه کرد.

۹- منابع

- [1] Kahraman c., Ertay T., Bu"yu"ko"zhan.G. O.R; Applicatins: A fuzzy Optimization Model for QFD Planning Process , *European Journal of Operation Research*,171,390-411, 2006.
- [2] Khoo, L.P., Ho, N.C., Framework of a fuzzy quality function deployment system. *International Journal of Production Research*, 34, 299-311, 1996.
- [3] Zhou, M., Fuzzy logic and optimization models for implementing QFD. *Computers and Industrial Engineering*, 35 (1-2), 237-240, 1998.
- [4] Chan, L.K., Kao, H.P., Ng, A., Wu, M.L., Rating the importance of customer needs in quality function deployment by fuzzyand entropy methods.



- International Journal of Production Research*, 37 (11), 2499–2518, 1999.
- [5] Temponi.C, Yen.J & Tiao.W.A, House of Quality: A Fuzzy Logic-Based Requirements Analysis, *European Journal of Operation Research*, 117, 340-354, 1999.
- [6] Kim, K.J., Moskowitz, H., Dhingra, A., Evans, G., Fuzzy multicriteria models for quality function deployment. *European Journal of Operational Research*, 121 (3), 504–518, 2000.
- [7] Saaty, T.L., *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York, 1980.
- [8] Fukuda, S., Matsuura, Y., Prioritizing the customer_s requirements by AHP for concurrent design. In: *Design for Manufacturability*, American Society of Mechanical Engineering, Design Engineering Division, vol. 52, pp. 13–19, 1993.
- [9] Armacost, R.L., Componation, P.J., Mullens, M.A., Swart, W.W., An AHP framework for prioritizing customer requirements in QFD: An industrialized housing application. *IIE Transactions*, 26 (4), 72–79, 1994.
- [10] Doukas, L., William, P.W., Jeyaratnam, C., Integrating quality factors into system design. In: *Proceedings of the IEEE International Engineering Management Conference*, pp. 235–240, 1995.
- [11] Park, T., Kim, K., Determination of an optimal set of design requirements using house of quality. *Journal of Operations Management*, 16, 569–581, 1998.
- [12] Kwong. C. K, Bai. H., A Fuzzy AHP Approach to the Determination of Importance Weights of Customer Requirements in Quality Function Deployment, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 13, 367-377, 2002.
- [13] Partovi FY., An analytic model to quantify strategic service vision. *International Journal of Service Industry Management*, 12(5):476–499, 2001.
- [14] Partovi FY, Corredoira RA., Quality function deployment for the good of soccer. *European Journal of Operations Reseach*, 137(3):642– 656, 2002.
- [15] Karsak, E.E., Sozer, S., Alpteki, S.E., Product planning in quality function deployment using a combined analytic network process and goal programming approach. *Computers & Industrial Engineering*, 44, 171–190, 2002.

- [16] Büyüözkhan .G,Ertay .T & Kahraman. C; Determining the ImportanceWeights for the Design Requirements in the House of Quality... . *international journal of intelligent systems*,(19),443-461, 2004.
- [17] Xie, M., Tan, K. C., and Goh, T. N., *Advanced QFD Applications*, American Society for Quality, Quality Press, Milwaukee, 2003.
- [18] Akao,Y & Mizono, S, *QFD: the Customer Driven Approach to Quality Planning and Deployment*. Asian Productivity Organization, 1994.
- [19] Shen, X.X., Tan, K.C., Xie, M., The implementation of quality function deployment based on linguistic data. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 12 (1), 65, 2001.
- [20] GriAn. A and Hauser. J, *The voice of the customer*, Technical report, Working paper 92-106, Marketing Science Institute, Cambridge, MA, 1992.
- [21] Hauser. J.R, *How Puritan±Bennett used the house of quality*, Sloan Management Review, 34 (3) 61-70, 1993.
- [22] King. R, *Listening to the voice of the customer: Using the quality function deployment system*, National Productivity Review, 277-281, 1987.
- [23] Sullivan. L.P, *The seven stages in company-wide quality control*, Quality Progress, 77-83, 1986.
- [24] G. Vasilash, *Hearing the voice of the customer*, Production, 66-68, 1989.
- [25] Temponi.C, Yen.J & Tiao.W.A. *House of Quality: A Fuzzy Logic-Based Requirements Analysis*, *European Journal of Operation Research*, 117, 340-354, 1999.
- [26] Shim, J.P, *Bibliographical research on the analytic hierarchy process*. Socio-Economic Planning Sciences, 23, 161–167, 1989.
- [27] Saaty TL, Vargas LG, *Diagnosis with dependent symptoms: Bayes theorem and the analytic hierarchy process*. *Journal of Operation Research*,46(4):491–502, 1998.
- [28] Liu, X. F. and Yen, A., *An Analytic Framework for Specifying and Analyzing Imprecise Requirements*, Proceedings of the 18th International Conference on Software Engineering, Los Alamitos, Calif. : IEEE Computer Society Press,



- 60-69, 1996.
- [29] Simenson, I., Get Closer to Your Customer by Understanding How They Choose, *California Management Review*, 35, 68-84, 1993.
- [30] Zadeh, L. A., Fuzzy Sets, *Information & Control*, 8, 338-353, 1965.
- [31] Zadeh, L. A., The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning, *Information Science*, 8, 199-224, 1975.
- [32] Kaufmann A, Gupta MM., Introduction to fuzzy arithmetic theory and applications. NewYork: Van Nostrand Reinhold, 1991.
- [33] Buckley JJ., Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy Sets Syst*,1985,pp17:233–247.[28] Van Laarhoven PJM, Pedrycz W., A fuzzy extension of Saaty’s priority theory. *Fuzzy Sets Syst*,11,pp229 –241; 1983.
- [34] Laarhoven, V. and W. Pedrycz . Some Applicational Aspects of Fuzzy Relations Equations In Systems Analysis, *Fuzzy Sets and Systems*, 1983.
- [35] Chang D-Y. Extent analysis and synthetic decision. In: Phua PKH, Wang CM, Yeong WY, Leong TY, Loh HT, Tan KC, Chou FS, editors., *Optimization Techniques and Applications*, Singapore: World Scientifi., Vol. 1, p 352, 1992.
- [36] Zhu K-J, Jing Y, Chang D-Y., A discussion on extent analysis method and applications of fuzzy AHP. *European Journal of erationResearch*,116(2):450–456, 1999.
- [37] Schniederjans, M. J., & Garvin, T., Using the analytic hierarchy process and multi-objective programming for the selection of cost drivers in activity-based costing. *European Journal of Operational Research*, 100, 72–80, 1997.
- [38] Badri, M. A, Combining the analytic hierarchy process and goal programming for global facility location–allocation problem. *International Journal of Production economics*, 62, 237–248, 1999.
- [39] El-Gayar, O. F., & Leung, P. .S. A multiple criteria decision making framework for regional aquaculture development. *European Journal of Operational Research*, 133, 462–482, 2001.