

وزن‌دهی نیازمندی‌های طراحی در بسط عملکرد کیفیت با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای - ارائه یک رویکرد فازی

نویسندگان: بیژن نهاوندی*^۱، دکتر عادل آذر^۲، دکتر عباس مقبل باعرض^۳، نوید جعفری نژاد^۴ و رضا فرهی^۵

۱. دانشجوی دکتری مدیریت - تولید و عملیات، دانشگاه تربیت مدرس
۲. دانشیار گروه مدیریت دانشگاه تربیت مدرس
۳. استادیار گروه مدیریت، دانشگاه تربیت مدرس
۴. دانشجوی دکتری مدیریت - تولید و عملیات، دانشگاه تربیت مدرس
۵. کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، کارشناس بازاریابی و فروش پژوهشگاه صنعت نفت، واحد بازاریابی و فروش

*E-Mail: bnahavandi@gmail.com

چکیده

بسط عملکرد کیفیت، به‌عنوان ابزاری قدرتمند، برای بهبود طراحی و کیفیت محصول و ایجاد یک سیستم کیفیت مشتری‌مدار، محسوب می‌شود. خانه کیفیت به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای بسط عملکرد کیفیت، ماتریسی است که نقشه ادراکی فرآیند طراحی (به‌عنوان زیر بنای ادراک نیازهای مشتری و اولویت‌بندی نیازمندی‌های فنی مورد نیاز برای ارضای این خواسته‌ها) را فراهم می‌آورد. این پژوهش درصدد تعریف یک روش برای بهبود نتایج اولویت‌بندی و وزن‌گذاری خواسته‌های مشتری و نیازمندی‌های طراحی تحت شرایط فازی می‌باشد. به همین منظور، برای اولویت‌بندی و وزن‌گذاری نیازهای فنی با توجه به میزان وابستگی متقابل بین خواسته‌های مشتری و نیازمندی‌های طراحی و همچنین وابستگی داخلی درون اجزای هریک، روشی بر مبنای فرایند تحلیل سلسله مراتبی توسعه یافته پیشنهاد شده است. روشی که برای در نظر گرفتن وابستگی‌ها و ارتباطات متقابل به کار رفته است، فرایند تحلیل شبکه‌ای، به‌عنوان شکل عمومی و بهبود یافته فرایند تحلیل سلسله مراتبی می‌باشد. برای پیاده‌سازی روش پیشنهادی یک محصول در صنعت پاک‌کننده‌ها به نام پودر ماشین لباس‌شویی انتخاب شده است. در این مورد پس از استخراج خواسته‌های مشتری و نیازمندی‌های طراحی و به کارگیری روش پیشنهادی، نتایج نشان می‌دهد که قدرت پاک‌کنندگی و افزایش قدرت لکه بری به ترتیب دارای بیشترین و کمترین اهمیت می‌باشند. همچنین پی. وی. پی به‌عنوان با اهمیت‌ترین نیازمندی طراحی و آنزیم از نظر اهمیت دارای پایین‌ترین وزن می‌باشند. چارچوب روش پیشنهادی را می‌توان در فرایند طراحی هر محصول دیگری نیز به کار گرفت.

کلید واژه‌ها: بسط عملکرد کیفیت، خانه کیفیت، نیازمندی‌های طراحی، نیازهای مشتری، فرآیند تحلیل شبکه‌ای، منطق فازی

دانشور

رفتار

مدیریت و پیشرفت

Management and
Achievement

• دریافت مقاله: ۸۴/۱۱/۱۵

• پذیرش مقاله: ۸۹/۲/۶

Scientific-Research Journal
Of Shahed University
Seventeenth Year, No.41
Jun.-Jul. 2010

دوماهنامه علمی - پژوهشی

دانشگاه شاهد

سال هفدهم - دوره جدید

شماره ۴۱

تیر ۱۳۸۹

مقدمه

امروزه موفقیت یک محصول به میزان زیادی به چگونگی برآوردن نیازهای مشتریان آن وابسته است. بسط عملکرد کیفیت (Quality Function Deployment (QFD)) یک ابزار برنامه‌ریزی با کاربری‌های متعدد برای اطمینان از این موضوع می‌باشد که ندای مشتریان از طریق تحقیق و توسعه و مراحل ساخت محصول شنیده شود. مفهوم اساسی بسط عملکرد کیفیت، عبارت است از ترجمه نیازهای مشتری (Customer Needs (CNS)) به نیازهای طراحی محصول (Design Requirements (DRs)) یا مشخصه‌های مهندسی و متعاقباً به مشخصه‌های قطعات، نقشه‌های فرآیند و نیازمندی‌های تولید. در هر مرحله آن، از یک ماتریس به نام خانه کیفیت (House of Quality (HoQ)) برای شناسایی نیازهای مشتری و اولویت‌بندی نیازمندی‌های طراحی به منظور ارضای نیازهای مشتری استفاده می‌شود [۱]. تعیین دقیق اوزان اهمیت برای نیازهای مشتری و نیازمندی‌های طراحی بسیار ضرورت دارد، زیرا مجموعه ارزش‌های مورد انتظار برای مشخصه‌های فنی و مهندسی را به طور قابل توجهی تحت تأثیر خود قرار می‌دهند. روش‌های گوناگونی سعی در تعیین این اوزان اهمیت داشته‌اند. ساده‌ترین شیوه برای اولویت‌بندی نیازها استفاده از مقیاس نمره‌دهی نقطه‌ای است [۲]. اما، این شیوه قادر به ترسیم نقشه ادراک انسان نمی‌باشد. در سال‌های اخیر، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (Analytic Hierarchy Process (AHP)) [۳] برای تعیین اهمیت نسبی «ندای مشتری (Voice of Customer (VoC))» در خانه کیفیت پیشنهاد شده است. این روش توسط پژوهشگران بسیاری برای شناسایی و اولویت‌گذاری نیازهای مشتری در خانه کیفیت استفاده شده است [۴، ۵، ۶، ۷، ۸]. این پژوهش، شکل جامع‌تری از این روش به نام فرآیند تحلیل شبکه‌ای (Analytic Network Process (ANP)) [۹]، را نه تنها برای وزن‌دهی خواسته‌های مشتریان، بلکه برای کل فرآیند اولویت‌بندی در خانه کیفیت ارائه می‌دهد. فرآیند تحلیل شبکه‌ای ما را قادر به محاسبه درجه وابستگی

متقابل میان خواسته‌های مشتری و نیازمندی‌های طراحی و وابستگی داخلی میان آنها می‌نماید. داده‌های مورد نیاز بسط عملکرد کیفیت از نوع داده‌های زبانی است. برای مثال، ادراک، قضاوت و ارزیابی انسانی راجع به درجه اهمیت خواسته‌های مشتری یا شدت ارتباط آنها، معمولاً ذهنی و نامعین هستند [۱۴، ۱۵، ۱۶]. در نتیجه ارزیابی قطعی برای دستیابی صریح به درجات اهمیت خواسته‌های مشتری و نیازمندی‌های طراحی به نظر ناکافی می‌آید. این همان موضوعی است که تا به حال راجع به آن مطالعات زیادی صورت نگرفته و ادبیات آن محدود به پژوهش اخیر توسط بویوکوزان (Büyüközkan) و همکاران می‌شود [۱۳]. از اینرو در مقاله حاضر ارزش زبانی این خواسته‌ها و الزامات به اعداد مثلثی فازی (Triangular Fuzzy Numbers (TFNs)) تبدیل شده‌اند. این اعداد برای ساخت جدول مقایسه زوجی در تحلیل سلسله مراتبی و شبکه‌ای به منظور بهبود کیفیت قضاوت راجع به خواسته‌های مشتری و الزامات طراحی استفاده شده‌اند. از نکات حائز اهمیت در این تحقیق همانا به کارگیری فراماتریس (Super matrix) فرآیند تحلیل شبکه‌ای برای توجه به نوع و میزان رابطه میان خواسته‌های مشتریان و نیازمندی‌های طراحی در خانه کیفیت و همچنین پرداختن به ارتباط متقابل میان آنها و سنجش شدت این روابط با استفاده از متغیرهای زبانی است.

ساختار مقاله حاضر به این صورت است: در بخش دوم به مرور مختصری بر مطالعات پیشین پرداخته شده، در بخش سوم رویکرد فراماتریس که توسط ساعتی (Saaty) [۹] ارائه شده و نحوه کاربرد آن در خانه کیفیت مورد بحث قرار گرفته است. در بخش چهارم، مدلی که در آن تحلیل شبکه‌ای فازی برای تعیین اولویت نیازمندی‌های طراحی در خانه کیفیت به کار رفته، ارائه شده است. در بخش پنجم مطالعه موردی و در بخش ششم نتیجه‌گیری و پیشنهادات پژوهشی آمده است.

مروری بر مطالعات پیشین

روش‌شناسی به کار رفته در این پژوهش علی‌رغم روش تحلیل سلسله مراتبی دارای ادبیات گسترده‌ای نمی‌باشد. در اینجا به‌طور مختصر به برخی از آنها اشاره می‌شود. هامالاینین و سِپالاینین (Hamalainen and Seppalainen, 2032)، از فرا ماتریس برای تصمیم‌گیری در یک مجتمع انرژی استفاده کرده‌اند [۱۷]. مید و سارکیس (Mead and Sarkis)، از فرآیند تحلیل شبکه‌ای برای ارزیابی استراتژی‌های تدارکات و پشتیبانی در یک سازمان که در پی انطباق با محیط‌های رقابتی پویا بود، بهره‌جسته‌اند [۱۸]. لی و کیم (Lee and Kim) طی دو تحقیق در دو سال پیاپی برای انتخاب پروژه‌های مختلف سیستم‌های اطلاعاتی که دارای نوعی وابستگی متقابل میان آنها بود، یک مدل ادغامی از تحلیل شبکه‌ای و برنامه‌ریزی آرمانی صفرویک ارائه داده‌اند [۱۹، ۲۰]. سارکیس (Sarkis)، از تحلیل شبکه‌ای برای تصمیم‌گیری در محیط زنجیره تأمین سبز استفاده کرده است [۲۱]. به‌تازگی چانگ (Chung) و همکاران این روش را در برنامه‌ریزی سبب محصول برای سازندگان نیمه هادی به کار برده‌اند [۲۲]. راوی (Ravi) و همکاران نیز با ادغام آن در کارت امتیاز متوازن (Balanced Scorecard (BSC))، به تحلیل پشتیبانی معکوس برای پایان دوره عمر رایانه‌ها پرداخته‌اند [۲۳]. تا به حال سه تحقیق در زمینه کاربرد فرآیند تحلیل شبکه‌ای در بسط عملکرد کیفیت انجام پذیرفته است. پرتوی (Partovi) از آن برای کمی کردن چشم‌انداز خدمات استراتژیک در شرکت هسکیت استفاده کرده است [۱۰]. در این تحقیق از تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین شدت رابطه میان متغیرهای سطر و ستون و از تحلیل شبکه‌ای برای تعیین شدت اثر هم‌افزایی میان متغیرهای ستون استفاده شده است. پرتوی و کاریدوریا (Partovi and Coridorria) مدلی مشابه را برای اولویت‌بندی و ایجاد تغییرات قانونی در ورزش فوتبال به‌منظور جذاب‌تر کردن آن برای تماشاگران ارائه داده‌اند [۱۱]. کارساک و همکاران (Karsak)، از رویکرد تحلیل شبکه‌ای برای تسهیل تجزیه و تحلیل وابستگی در

برنامه‌ریزی محصول استفاده کرده‌اند [۱۲]. مهم‌ترین گام‌های چارچوب مورد استفاده را می‌توان به این صورت خلاصه کرد: اولین مرحله مطالعه و شناسایی خواسته‌های مشتری و نیازمندی‌های طراحی می‌باشد. سپس طبق مدل لی و کیم [۲۰] و ساعتی و تاکیزاوا [۲۴]، اهمیت آنها تعیین می‌شود. در ادامه، بدنه خانه کیفیت به وسیله اوزان به‌دست آمده از طریق مقایسه زوجی نیازمندی‌های طراحی با توجه به هر یک از خواسته‌های مشتری تکمیل می‌گردد. بعد از آن، اولویت‌بندی نیازمندی‌های طراحی با استفاده از تحلیل وابستگی میان خواسته‌های مشتری و نیازمندی‌های طراحی به‌دست خواهد آمد.

فرآیند تحلیل شبکه‌ای در خانه کیفیت

ساعتی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی را برای مدل‌سازی در شرایط پیچیده معرفی کرده است [۳]. در سال‌های اخیر، یک شکل کامل‌تر از آن به‌عنوان یک رویکرد دقیق‌تر برای مدل‌سازی (ارزیابی) تصمیم‌گیری در محیط‌های پیچیده ارائه شده است، که بازخورد و روابط حاکی از وابستگی داخلی میان معیارهای تصمیم‌گیری و گزینه‌ها را نیز مورد توجه قرار می‌دهد. این روش همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد به نام فرآیند تحلیل شبکه‌ای شناخته شده است [۲۴]. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی روشی معروف است که مسأله را به سطوح گوناگون متشکل از سلسله مراتب، تجزیه می‌کند [۳]. در این روش فرض می‌شود که هر عنصر در سلسله مراتب مستقل از سایر عناصر بوده و یک مقیاس نسبی اندازه‌گیری بوسیله مقایسات زوجی عناصر در هر سطح از سلسله مراتب با توجه به یک عنصر در سطح بعدی پدید می‌آید. اما، در بسیاری از حالات، یک وابستگی متقابل میان معیارها و گزینه‌ها وجود دارد. فرآیند تحلیل شبکه‌ای را می‌توان به‌عنوان یک ابزار اثربخش در حالاتی که ارتباط متقابل میان عناصر یک سیستم، تشکیل یک ساختار شبکه‌ای می‌دهد، مورد استفاده قرار داد [۹]. تحلیل سلسله مراتبی یک ارتباط مافوق-مادونی یک طرفه میان سطوح تصمیم

برقرار می‌کند، در حالی که تحلیل شبکه‌ای وابستگی میان سطوح و معیارهای تصمیم را در یک شکل جامع‌تر قلمداد می‌کند. فرآیند تحلیل شبکه‌ای نیز از یک مقیاس نسبی بر اساس مقایسات زوجی استفاده می‌کند، اما همچون تحلیل سلسله مراتبی که یک ساختار مافوق-مادونی اکید را تحمیل می‌کند، عمل نکرده و قادر به مدل‌سازی یک مسأله به گونه‌ای است که در آن یک رویکرد سیستمی با بازخورد حاکم باشد. بنابراین در سیستم‌هایی که در آنها عناصر یک سطح ممکن است به‌طور مستقیم یا غیر مستقیم توسط عناصر سطوح دیگر تحت تسلط قرار گیرند و یا بر عناصر سطوح دیگر مسلط شوند، می‌توان از تحلیل شبکه‌ای استفاده کرد. وابستگی بیرونی عبارت است از، وابستگی میان اجزا به نحوی که اجازه جریان بازخورد را بدهد و وابستگی داخلی، وابستگی متقابل درون یک سطح با بازخورد میان اجزای آن است [۲۴].

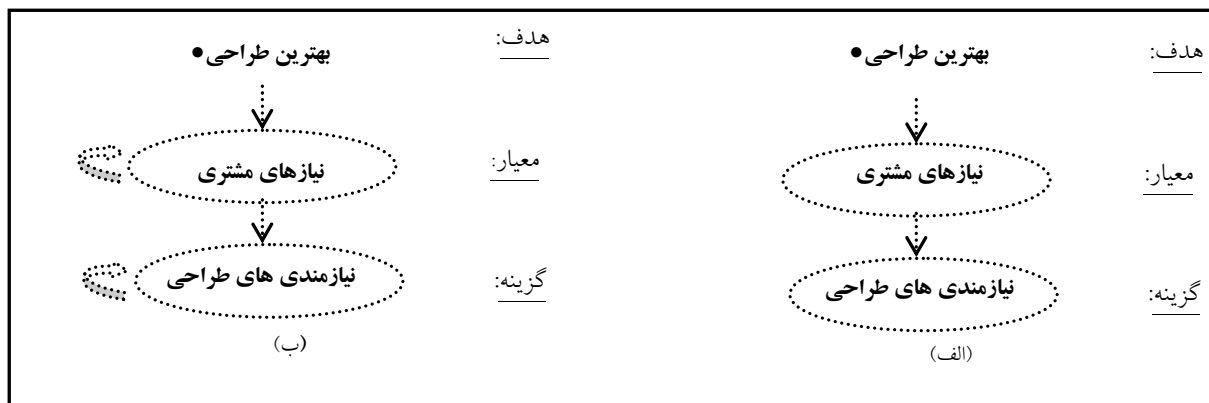
بیشتر چارچوب‌های مدل‌سازی و تصمیم‌گیری در تحلیل سلسله مراتبی و شبکه‌ای با استفاده از شکل و گراف قابل توضیح هستند. برای مثال، در رویکرد سلسله مراتبی خطوط یک طرفه‌ای وجود دارد که نشان‌دهنده تسلط یا کنترل یک سطح روی سایر اجزاء می‌باشد. در رویکرد شبکه‌ای، که اجازه وقوع وابستگی متقابل میان عناصر و سطوح آنها وجود دارد، دارای نمایشی شامل پیکان‌های دو طرفه برای ایجاد ارتباط میان سطوح باشد. یک پیکان دوار برای نمایش رابطه متقابل درون یک سطح استفاده می‌شود. همان‌گونه که بیان شد، عناصر شبکه ممکن است از جهات بسیاری با هم در تعامل باشند. از یک نقطه نظر کلی، فرآیند تحلیل شبکه‌ای شامل دو مرحله است: اول؛ تشکیل ساختار شبکه‌ای و دوم؛ محاسبه اولویت‌های عوامل، به گونه‌ای که همه‌ی تعاملات میان عناصر لحاظ شوند. همه‌ی این ارتباطات

توسط مقایسات زوجی (Pairwise Comparison) و یک فرا ماتریس ارزیابی می‌شود. یک فرا ماتریس، ماتریسی است شامل تأثیرات میان عوامل، که با توجه به بردارهای اولویت به دست می‌آید [۲۵]. رویکرد پیشنهادی ساعتی و تاکیزاوا (Saaty and Takizawa) در حالتی که بتوان شبکه‌ای متشکل از دو خوشه مجزا به نام گزینه‌ها و معیارها متصور شد، برای مواجهه با وابستگی عوامل یک سیستم قابل استفاده است. فرا ماتریس یک سلسله مراتب سه سطحی شامل هدف، معیارها و گزینه‌ها به صورت زیر است. در این فرا ماتریس $W_{۲۱}$ بردار تأثیر هدف روی معیارها، $W_{۳۲}$ ماتریس تأثیر معیار روی هر کدام از گزینه‌ها و I نیز ماتریس واحد است [۲۴].

$$(۱) \quad W = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{گزینه‌ها} \\ \text{معیار} \\ \text{هدف} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{گزینه‌ها} \\ \text{معیار} \\ \text{هدف} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ W_{۲۱} & W_{۲۲} & 0 \\ 0 & W_{۳۲} & I \end{bmatrix} \end{matrix}$$

ساختار شبکه‌ای خانه کیفیت

نمایش سلسله مراتبی خانه کیفیت در شکل ۱ (الف) و نمایش شبکه‌ای آن نیز در شکل ۱ (ب) ارائه شده است. مدل شبکه‌ای در این حالت به صورتی سلسله مراتبی با وابستگی درونی میان اجزاء و بدون بازخورد است. نیازهای مشتری معرف معیارها است، در حالی که نیازمندی‌های طراحی معرف گزینه‌های استاندارد فرآیند تحلیل شبکه‌ای می‌باشند و هر دوی آنها دارای همبستگی داخلی میان خودشان می‌باشند؛ اما هیچ گونه بازخوردی وجود ندارد. برای مثال، نیازهای مشتری به نیازمندی‌های طراحی وابسته نمی‌باشند [۱۳].



شکل ۱. (الف) نمایش سلسله مراتبی خانه کیفیت، (ب) نمایش شبکه‌ای خانه کیفیت [۱۳].

و در نهایت نیز برای به کارگیری این شیوه تصمیم‌گیری یک مطالعه موردی در صنعت پاک‌کننده‌ها و شوینده‌ها ارائه شده است.

گام‌های تصمیم‌گیری

برای به کارگیری تحلیل شبکه‌ای فازی در اولویت‌بندی نیازمندی‌های طراحی، از مراحل ارائه شده در شکل ۲ پیروی می‌شود:

- گام ۱: شناسایی نیازهای مشتری و تعیین نیازهای طراحی محصول مؤثر بر آنها.
- گام ۲: تعیین درجات اهمیت نیازهای مشتری با داده‌های زبانی و با فرض اینکه هیچ گونه وابستگی میان آنها وجود ندارد: محاسبه W_1 .
- گام ۳: تعیین درجات اهمیت نیازهای طراحی محصول با داده‌های زبانی و با فرض اینکه هیچ وابستگی میان آنها وجود ندارد: محاسبه W_2 .
- گام ۴: تعیین ماتریس همبستگی داخلی نیازهای مشتری با توجه به داده‌های زبانی برای هر یک از آنها و با استفاده از نمایش شماتیک وابستگی داخلی میان نیازهای مشتری: محاسبه W_3 .
- گام ۵: تعیین ماتریس همبستگی داخلی نیازهای طراحی محصول با توجه به داده‌های زبانی برای هر یک از آنها و با استفاده از نمایش شماتیک وابستگی داخلی میان نیازهای طراحی محصول: محاسبه W_4 .

بر اساس نمایش شماتیک شکل ۱-ب، مفهوم فراماتریس عمومی برای مدل خانه کیفیت مورد استفاده در این مطالعه به این صورت است:

$$W = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{نیازمندی‌های} \\ \text{خواسته‌های} \\ \text{طراحی} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{نیازمندی‌های} \\ \text{طراحی} \end{matrix} & \begin{matrix} \text{هدف} & \text{مشتری} & \text{طراحی} \\ \left[\begin{array}{ccc} 0 & 0 & 0 \\ W_1 & W_3 & 0 \\ 0 & W_2 & W_4 \end{array} \right] \end{matrix} \end{matrix} \quad (2)$$

که در این صورت W_1 بردار تأثیر هدف، یعنی ساخت محصولی است که خواسته‌های مشتریان را ارضاء کند. W_2 ، ماتریس تأثیر خواسته‌های مشتری روی هر کدام از نیازمندی‌های طراحی و W_3 و W_4 ماتریس‌های وابستگی داخلی خواسته‌های مشتری و وابستگی داخلی نیازمندی‌های طراحی می‌باشند. واژه «تأثیر» (Impact) به کار رفته در عبارات نشان‌دهنده توان بالقوه نیازمندی‌های طراحی برای ارضای نیازهای نهفته در خواسته‌های مشتری بوده و به‌طور مشابه برای هر کدام از خواسته‌های مشتری نسبت به هدف نیز این گونه است [۱۳].

فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی (Fuzzy-ANP) در خانه کیفیت

در این بخش پس از ارائه گام‌های تصمیم‌گیری، اعداد مثلثی فازی و روش تحلیل توسعه‌ای بحث خواهند شد

اعداد مثلثی فازی

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

تابع عضویت آن $\mu_M(x): R \rightarrow [0, 1]$ برابر است با:

$$\mu_M(x) = \begin{cases} 0 & x < l \text{ or } x > u \\ (x-l)/(m-l), & l \leq x \leq m \\ (x-u)/(m-u), & m \leq x \leq u \end{cases} \quad (3)$$

به طوری که $l \leq m \leq u$ و l و u نشان‌دهنده حدود بالا و پایین عدد M می‌باشند و همچنین m حد وسط M است. در صورتی که داشته باشیم $l = m = u$ را دیگر یک عدد غیر فازی می‌نامیم. عملگرهای اصلی برای دو عدد مثلثی فازی M_1 و M_2 به صورت زیر تعریف می‌شوند [27]:

$$\begin{aligned} M_1 + M_2 &= (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \\ M_1 \otimes M_2 &= (l_1 \cdot l_2, m_1 \cdot m_2, u_1 \cdot u_2) \\ \lambda \otimes M_1 &= (\lambda l_1, \lambda m_1, \lambda u_1), \lambda > 0, \lambda \in R \\ M_1^{-1} &\approx (\sqrt{u_1}, \sqrt{m_1}, \sqrt{l_1}) \end{aligned} \quad (4)$$

باید توجه داشت که حاصل ضرب دو عدد مثلثی فازی یا معکوس یک عدد مثلثی فازی، دیگر یک عدد مثلثی فازی نیست و این روابط فقط تقریبی از حاصل ضرب واقعی دو عدد مثلثی فازی، و معکوس یک عدد مثلثی فازی را بیان می‌کند [13]. در این تحقیق فرض شده است که تصمیم‌گیرندگان از مجموعه زبانی جدول ۱ برای وزن‌دهی و انجام مقایسات زوجی استفاده کرده‌اند.

جدول ۱. مقیاس زبانی مورد استفاده در تحقیق 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	(۳/۲, 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)

گام ۶: تعیین اولویت‌های متقابل نیازهای مشتری: $w_e = W_3 \times w_i$

گام ۷: تعیین اولویت‌های متقابل نیازهای طراحی محصول: $W_A = W_4 \times W_2$

گام ۸: تعیین اولویت‌های کلی نیازهای طراحی محصول: $W_{ANP} = W_A \times W_C$

شکل ۲. گام‌های تصمیم‌گیری برای تعیین اولویت‌های کلی نیازمندی‌های طراحی

دروندهای اصلی مورد نیاز در تحلیل شبکه‌ای برای محاسبه W_1, W_2, W_3, W_4 و W_5 داده‌های حاصل از مقایسات زوجی عناصر موجود در هر خوشه می‌باشند که در رویکرد سلسله مراتبی نیز استفاده می‌شود. در تحلیل سلسله مراتبی به روش سنتی، مقایسه زوجی بر اساس یک مقیاس نسبی صورت می‌گیرد. اگر چه مقیاس گسسته مزایای سادگی فهم و سهولت کاربرد را دارد، اما به عدم اطمینان و ابهام مرتبط با نقشه ذهنی انسان (یا قضاوت او) توجهی ندارد. نظریه مجموعه‌های فازی که نظریه‌ای مهم برای مواجهه با ابهام موجود در یک سیستم است اولین بار توسط زاده (Zadeh) بیان شد [26]. در تحقیق حاضر از اعداد مثلثی فازی استفاده شده است. در اینجا به طور مختصر به آن می‌پردازیم.

ماتریس مقایسات زوجی، ارزش S_k که خود یک عدد مثلثی فازی است، به صورت زیر به دست می آید:

$$S_k = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (6)$$

که در آن k بیان گر شماره سطر و i, j به ترتیب نشان دهنده گزینه‌ها و شاخص‌ها می‌باشند. برای محاسبه $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ عملیات زیر صورت می‌گیرد:

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (7)$$

و برای به دست آوردن عبارت عمل زیر انجام می‌شود:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (8)$$

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 مثلثی فازی باشند، درجه بزرگی M_2 و M_1 به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup[\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(x))] \quad (10)$$

که به طور کاملاً برابری داریم:

$$V(M_2 \geq M_1) = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1, & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 1, & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

برای مقایسه M_1 و M_2 ، نیازمند مقادیر $V(M_2 \geq M_1)$ و $V(M_1 \geq M_2)$ هستیم. میزان بزرگی یک عدد مثلثی فازی از k عدد مثلثی فازی دیگر نیز از رابطه زیر به دست می‌آید:

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

تصمیم‌گیری گروهی با استفاده از روش تحلیل توسعه‌ای چانگ (Chang's Extend Analysis Approach)

همان‌طور که پیش از این گفته شد، برای محاسبه W_1, W_2, \dots, W_n نیاز به انجام مقایسات زوجی با داده‌های زبانی است. ماتریس‌های نام برده را می‌توان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی محاسبه کرد. انواع متعددی از روش‌های فازی برای آن وجود دارد. مثلاً می‌توان به روش‌هایی که توسط لارهوون و پدریک (Laarhoven and Pedrycz) [۲۸]، بوکلی (Buckely) [۲۹] و چانگ (Chang) [۳۰] و... ارایه شده است، اشاره کرد. اما محاسبات و پیچیدگی مراحل برخی از این روش‌ها سبب شده که چندان با اقبال مواجه نباشند. برای مثال روش پیشنهادی لارهوون و پدریک بر اساس روش حداقل مجذورات لگاریتمی بنا شده بود [۳۱]. در این مطالعه، روش تحلیل توسعه‌ای چانگ ترجیح داده شده است زیرا مراحل آن آسان‌تر از سایر رویکردهای تحلیل سلسله مراتبی فازی است و در ضمن شبیه تحلیل سلسله مراتبی سنتی است. ونگ و همکاران (Kwong et al) این روش را برای اولویت‌بندی نیازمندی‌های مشتری در بستر عملکرد کیفیت به کار بستند [۳۲]. بوزداگ و همکاران (Bozdag et al) نیز از این رویکرد برای ارزیابی گزینه‌های تولید یکپارچه کامپیوتری استفاده کردند [۳۳]. بویوکوزان و همکاران (Büyüközkan et al)، به طور مشابه از آن برای گزینش مناسب‌ترین نرم‌افزار انتخاب استراتژی بهره جستند [۳۴]. در ادامه به تشریح مراحل تحلیل توسعه‌ای چانگ می‌پردازیم [۳۵]:

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

$$M^1 g_i, M^2 g_i, \dots, M^m g_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

در حالی که همه $M_j g_i$ ها ($j=1, 2, \dots, m$) اعداد فازی مثلثی هستند. در این روش برای هر یک از سطرهای

شده، انتخاب شد. داده‌های موجود در این پژوهش به وسیله مصاحبه با کارشناسان تیم بسط عملکرد کیفیت در شرکت مذکور جمع‌آوری شده است. تیم مورد نظر در این پژوهش شامل کارشناسانی از واحدهای مختلف همچون پژوهش و توسعه، امور مشتریان و تحقیقات بازار، کیفیت و تولید بوده‌اند. خواسته‌های مشتری برای بهبود پودر یکتا ویژه ماشین و مشخصه‌های طراحی برای ارضای خواسته‌های مشتریان در جدول ۲ نشان داده شده است.

پس از شناسایی خواسته‌های مشتری و نیازمندی‌های طراحی محصول پودر ماشین لباس شویی، پرسشنامه مورد نیاز برای انجام مقایسات زوجی طراحی و در بین کارشناسان توزیع شد. یکی از محققین به هنگام تکمیل پرسشنامه‌ها حضور فعال داشته و در واقع روش جمع‌آوری داده‌ها ترکیبی از پرسشنامه و مصاحبه بوده است. به منظور درک بهتر نحوه کاربرد روش چانگ در این مطالعه، این روش را برای جدول ۳ به صورت زیر اجرا می‌کنیم. با توجه به رابطه (۶) برای محاسبه S_k ها داریم:

$$= \min V(M \geq M_i), \quad k = 1, 2, \dots, n; k \neq i \quad (12)$$

برای محاسبه وزن شاخص‌ها در ماتریس مقایسات زوجی داریم:

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad k = 1, 2, \dots, n; k \neq i \quad (13)$$

بنابراین بردار وزن شاخص‌ها به صورت زیر خواهد بود:

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (14)$$

که A_i شامل n عنصر و $n = 1, 2, \dots, n$ می‌باشد. با استفاده از نرمال‌سازی، بردارهای وزنی نرمال شده به صورت زیر به دست می‌آید: (که W یک عدد غیر فازی است).

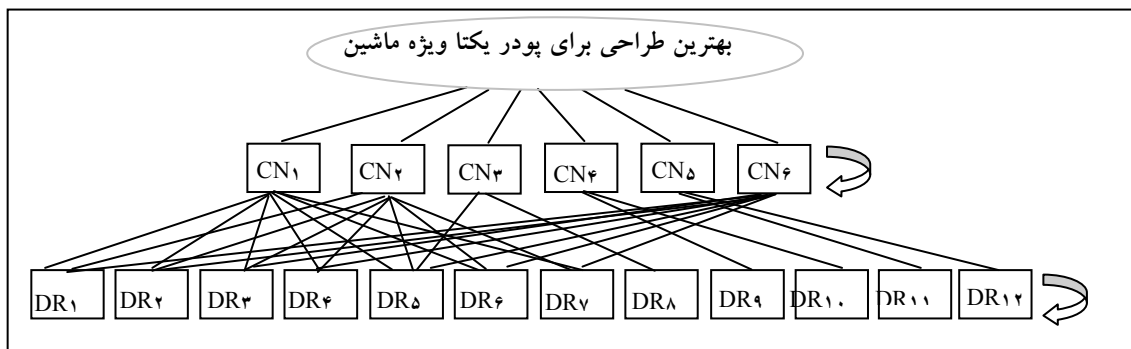
$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (15)$$

بررسی یک مطالعه موردی

در این قسمت پژوهشی که با استفاده از چارچوب تصمیم فوق، در شرکت پاک‌نام صورت پذیرفته ارایه می‌شود. شرکت پاک‌نام یکی از شرکت‌های برتر داخلی است که در صنعت پاک‌کننده‌ها و شوینده‌ها فعال می‌باشد. در این پژوهش پس از بررسی و با توجه به نظر کارشناسان شرکت مذکور، محصول پودر یکتا ویژه ماشین به عنوان نمونه برای به‌کارگیری رویکرد ارایه

جدول ۲. خواسته‌های مشتری برای بهبود پودر یکتا ویژه ماشین و مشخصه‌های طراحی برای ارضای خواسته‌های مشتریان

معادل	مشخصه‌های طراحی برای ارضای خواسته‌های مشتریان (DRs)	معادل	خواسته‌های مشتری برای بهبود پودر یکتا ویژه ماشین (CNs)
DR _۱	اکتیو	CN _۱	قدرت پاک‌کنندگی
DR _۲	آنزیم ΔE^*	CN _۲	خاصیت از بین بردن لکه چربی
DR _۳	نانیونیک	CN _۳	پایین بودن دانه‌های سفید روی لباس
DR _۴	صابون	CN _۴	عدم تداخل رنگ
DR _۵	بیلدر	CN _۵	افزایش لطافت و نرمی
DR _۶	ظرفیت تبادل یونی	CN _۶	خاصیت لکه بری
DR _۷	ظرفیت بافری		
DR _۸	فسفونات		
DR _۹	PVP		
DR _{۱۰}	PH		
DR _{۱۱}	بتونیت		
DR _{۱۲}	ASH%		



شکل ۳. نمایش شبکه‌ای خانه کیفیت برای محصول پودر یکتا ماشین لباس شویی

$$W' = (0,897, 1, 0,997)^t$$

اوزان به هنجار شده از رابطه $W_i = \frac{W'_i}{\sum W'_i}$ به

دست می‌آیند:

$$W = (0,0,35,0,3)$$

پس از جمع‌آوری کلیه نظرات، هر یک از داده‌های زبانی با عدد فازی متناظر جایگزین و با استفاده از میانگین هندسی پاسخ‌ها ادغام شده و این مقادیر ترکیبی به عنوان درونداد روش چانگ مورد استفاده قرار گرفته است. کلیه محاسبات روش تحلیل توسعه‌ای توسط رایانه و با استفاده از نرم‌افزار مناسب (Matlab) صورت گرفته است.

۵-۱- اجرای گام‌های تصمیم‌گیری

گام ۱: خواسته‌های مشتری و نیازمندی‌های طراحی و روابط حاکم میان آنها برای محصول پودر ماشین لباس شویی در شکل ۵ به صورت شماتیک نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، ساختار کلی خانه کیفیت این محصول شبکه‌ای می‌باشد:

گام ۲: در این گام با فرض اینکه هیچ‌گونه وابستگی میان خواسته‌های مشتری وجود ندارد، برای به دست آوردن اهمیت نسبی هر یک از خواسته‌های مشتری از اعضای تیم بسط عملکرد کیفیت خواسته شد تا با به‌کارگیری مقیاس زبانی و با توجه به هدف دستیابی به بهترین طراحی برای پودر ماشین لباس شویی به مقایسه

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

$$= (7,15,9,0,6,12,28)^{-1} = (0,0,814,0,1103,0,1398)$$

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

آن‌گاه:

$$S_1 = (2,25,2,79,3,84) \times (0,0,814,0,1103,0,1398) = (0,1831,0,3071,0,5368)$$

$$S_2 = (2,32,3,14,4,24) \times (0,0,814,0,1103,0,1398) = (0,1880,0,3463,0,5927)$$

$$S_3 = (2,58,3,13,4,24) \times (0,0,814,0,1103,0,1398) = (0,2100,0,3452,0,6780)$$

حال درجه بزرگی هر یک از عناصر فوق را بر سایر عناصر با استفاده از روابط (۱۰ و ۱۱) محاسبه می‌کنیم:

$$V(S_1 \geq S_2) = 0,9; V(S_2 \geq S_1) = 1$$

$$V(S_1 \geq S_3) = 0,897; V(S_3 \geq S_1) = 1$$

$$V(S_2 \geq S_3) = 1; V(S_3 \geq S_2) = 0,997$$

همچنین با توجه به رابطه (۱۲) برای محاسبه درجه

بزرگی یک S_k بر سایر S_k ها داریم:

$$V(S_1 \geq S_2, S_3) = \min(0,9,0,897) = 0,897$$

$$V(S_2 \geq S_1, S_3) = \min(1,1) = 1$$

$$V(S_3 \geq S_1, S_2) = \min(1,0,997) = 0,997$$

این اعداد بیانگر اوزان غیر نرمال می‌باشند. از رابطه

(۱۴) W' عبارتست از:

زوجی خواسته‌های مشتری پردازند (بخش اول پرسشنامه). نتایج حاصل از این پرسشنامه‌ها پس از ادغام و به‌کارگیری روش تحلیل توسعه‌ای به صورت بردار ویژه W_1 ارایه شده است:

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

بردار W_1 درجه اهمیت نسبی خواسته‌های مشتری را نشان می‌دهد. این بردار حاصل اجرای روش تحلیل توسعه‌ای روی جدول ۶ می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، نیازهای مشتری به ترتیب اهمیت عبارتند از: قدرت پاک‌کنندگی، عدم تداخل رنگ، از بین بردن لکه چربی، خاصیت لکه‌بری، پایین بودن دانه‌های سفید روی لباس و در نهایت افزایش لطافت و نرمی.

گام ۳: در این گام با فرض اینکه هیچ‌گونه وابستگی متقابلی میان نیازمندی‌های طراحی وجود ندارد، این نیازها با توجه به هرخواسته مشتری با یکدیگر مقایسه می‌شوند. نتیجه این عمل به‌دست آوردن یک بردار ویژه ستونی برای هرخواسته مشتری می‌باشد. در انجام مقایسات زوجی، سؤال را به اشکال مختلفی می‌توان طرح کرد. برای مثال، به منظور تعیین اهمیت نسبی نیازمندی‌های طراحی برای خواسته مشتری «افزایش لطافت و نرمی لباس» می‌توان این سؤال را مطرح کرد: «با توجه به خواسته مشتری افزایش لطافت و نرمی لباس، بیلدر در مقایسه با بتونیت از چه درجه اهمیتی برخوردار است؟» در اینجا ذکر این نکته ضروری است که، سؤالات با توجه به ارتباطات میان خواسته‌های مشتری و نیازمندی‌های طراحی در خانه کیفیت طرح

می‌شوند. در صورتیکه نیازی در خانه کیفیت با خواسته‌ای ارتباط نداشته باشد طرح سؤال برای آن نیاز نسبت به آن خواسته لزومی ندارد. پس از انجام مقایسات زوجی و ادغام نظرات، برای به دست آوردن اوزان اهمیت نسبی از مراحل تحلیل سلسله مراتبی فازی بر اساس روش تحلیل توسعه‌ای استفاده می‌شود. جدول ۳، اوزان اهمیت نسبی نیازمندی‌های طراحی را با توجه به خواسته افزایش لطافت و نرمی لباس نشان می‌دهد. درجه اهمیت نسبی سایر نیازمندی‌های طراحی نیز با توجه به سایر خواسته‌ها و روابط درونی خانه کیفیت، به‌دست آمده که در جدول ۴، نمایش داده شده است. ترانهاده داده‌های نشان داده شده در این ماتریس، بدنه خانه کیفیت را در بر می‌گیرد.

گام ۴: همبستگی داخلی خواسته‌های مشتری از طریق تحلیل تأثیر هر خواسته روی سایر خواسته‌ها با استفاده از مقایسه زوجی تعیین می‌شود. بدین منظور می‌توان از تصمیم‌گیرندگان چنین سؤالی را پرسید: «قدرت پاک‌کنندگی در مقایسه با افزایش قدرت لکه‌بری با توجه به خاصیت از بین بردن لکه چربی از چه درجه اهمیتی برخوردار است؟» بردار نهایی به‌دست آمده برای خاصیت از بین بردن لکه چربی در جدول ۵، آمده است. روابط میان خواسته‌های مشتری که با توجه به نظر کارشناسان تیم بسط عملکرد کیفیت تعیین شده، در شکل ۶، آمده است. جدول ۶، بردارهای ویژه نهایی به‌دست آمده از مقایسات زوجی در این گام را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود بردار ویژه اوزان برای CN_1 ، CN_3 و CN_4 صفر شده است، که این موضوع نشان‌دهنده خواسته‌های مستقل است.

جدول ۳. درجه اهمیت نسبی نیازمندی‌های فنی با توجه به "افزایش لطافت و نرمی"

W_j	بتونیت	ASH%	بیلدر	افزایش لطافت و نرمی
۰,۳۰	(۰,۶۲,۰,۷۹,۱,۰۴)	(۰,۶۳,۱,۱,۴۴)	(۱,۱,۱)	بیلدر
۰,۳۵	(۰,۶۳,۱,۱۴,۱,۶۵)	(۱,۱,۱)	(۰,۶۹,۱,۱,۵۹)	ASH%
۰,۳۵	(۱,۱,۱)	(۰,۶۱,۰,۸۷,۱,۵۹)	(۰,۹۷,۱,۲۶,۱,۶۱)	بتونیت

جدول ۴. بردارهای ویژه ستونی با توجه به هر خواسته مشتری

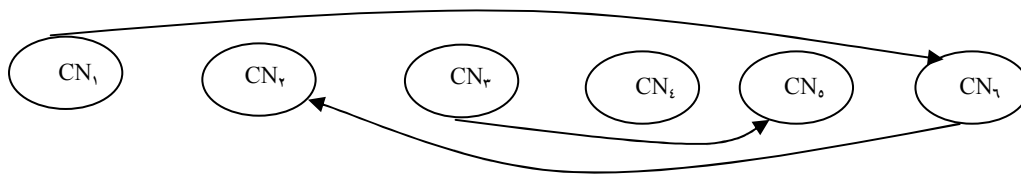
ردیف	W	قدرت پاک کنندگی	از بین بردن لکه چربی	پایین بودن دانه-های سفید روی لباس	عدم تداخل رنگ	افزایش لطافت و نرمی	افزایش قدرت لکه بری
۱	اکتیو	۰,۲۷	۰,۱۷	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۱۵
۲	آنزیم (ΔE^*)	۰,۰۹	۰,۲۵	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۲۶
۳	نانیونیک	۰,۱۶	۰,۱۸	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۲۱
۴	صابون	۰,۱۴	۰,۱۵	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۱۷
۵	بیلدر	۰,۰۸	۰,۰۶	۰,۲۵	۰,۰۰	۰,۳۱	۰,۰۶
۶	ظرفیت تبادل یونی	۰,۱۳	۰,۱۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۸
۷	ظرفیت بافری	۰,۱۳	۰,۰۹	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۷
۸	فسفونات	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۷۵	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
۹	PVP	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۱,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
۱۰	PH	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
۱۱	بتونیت	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۳۵	۰,۰۰
۱۲	ASH%	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۳۵	۰,۰۰

جدول ۵. اوزان اهمیت نسبی همبستگی خواسته‌های مشتری با توجه به "از بین بردن لکه چربی" (توجه شود که سایر خواسته‌های مشتری که تأثیری بر از بین بردن لکه چربی ندارند در ماتریس مقایسه زوجی در نظر گرفته نمی‌شوند.)

W_j	از بین بردن لکه چربی	خاصیت لکه بری	قدرت پاک کنندگی	از بین بردن لکه چربی
۰,۵۴	(۱,۶۵,۲,۱۵,۲,۶۶)	(۰,۷۹,۱,۳۶,۱,۸۹)	(۱,۱,۱)	قدرت پاک کنندگی
۰,۴۳	(۱,۳۶,۱,۹۶,۲,۱۵)	(۱,۱,۱)	(۰,۵۳,۰,۷۴,۱,۲۶)	خاصیت لکه بری
۰,۰۳	(۱,۱,۱)	(۰,۴,۰,۵۱,۰,۷۴)	(۰,۳۸,۰,۴۶,۰,۶۱)	از بین بردن لکه چربی

جدول ۶. اوزان اهمیت نسبی همبستگی داخلی خواسته‌های مشتری

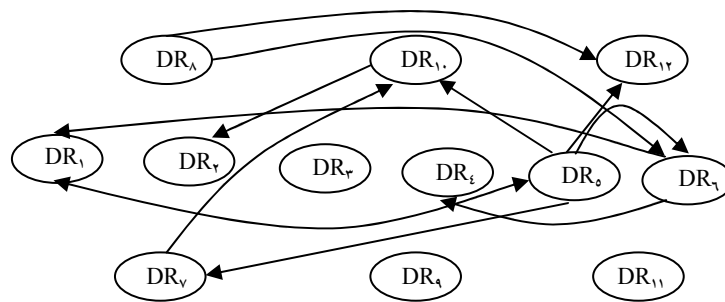
W_3	قدرت پاک کنندگی	از بین بردن لکه چربی	پایین بودن دانه‌های سفید روی لباس	عدم تداخل رنگ	افزایش لطافت و نرمی	افزایش قدرت لکه بری
۱,۰۰	۱,۰۰	۰,۵۴	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۸۷
۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۱,۰۰	۰,۰۰	۰,۵۳	۰,۰۰
۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۱,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۴۷	۰,۰۰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



شکل ۴. روابط داخلی میان خواسته‌های مشتری

جدول ۷. ماتریس همبستگی داخلی نیازمندی‌های طراحی با توجه به "اکتیو"

W_j	اکتیو	ظرفیت تبادل یونی	بیلدر	اکتیو
۰,۲۲	(۰,۴۳,۰,۵۵,۰,۷۶)	(۰,۵,۱,۱,۵)	(۱,۱,۱)	بیلدر
۰,۲۸	(۰,۴۶,۰,۶۱,۰,۸۷)	(۱,۱,۱)	(۰,۶۷,۱,۱,۲)	ظرفیت تبادل یونی
۰,۵۰	(۱,۱,۱)	(۱,۱۴,۱,۶۵,۲,۱۵)	(۱,۳۱,۱,۸۲,۲,۳۲)	اکتیو



شکل ۵. روابط درونی میان نیازمندی‌های طراحی

گام ۶: در این گام بردار اولویت‌های متقابل خواسته‌های مشتری (W_C)، به دست می‌آید.
 گام ۷: بردار اولویت‌های متقابل نیازهای طراحی (W_A)، محاسبه می‌شود.
 گام ۸: در نهایت اولویت‌های کلی نیازهای فنی که نمایانگر روابط متقابل درونی خانه کیفیت می‌باشند، با به دست آوردن W^{ANP} حاصل می‌شوند.

$$W_A = W_4 \times W_2 = \begin{pmatrix} 0.1692 & 0.1106 & 0.1077 & 0.0000 & 0.1331 & 0.1001 \\ 0.0473 & 0.1338 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.1397 \\ 0.1625 & 0.1815 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.2144 \\ 0.0666 & 0.0681 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0782 \\ 0.2571 & 0.1846 & 0.1396 & 0.0000 & 0.2729 & 0.1526 \\ 0.1930 & 0.1581 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.1565 \\ 0.0286 & 0.0202 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0147 \\ 0.0238 & 0.0271 & 0.0527 & 0.0000 & 0.1488 & 0.0222 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0409 & 0.1158 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.1209 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.3467 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0985 & 0.0000 \end{pmatrix}$$

گام ۵: با اجرای این مرحله، همبستگی داخلی میان نیازمندی‌های طراحی به دست می‌آید. همان‌طور که در مرحله قبل برای تعیین همبستگی داخلی خواسته‌های مشتری ملاحظه شد، در اینجا نیز ابتدا روابط داخلی میان نیازمندی‌های طراحی تعیین و سپس مقایسات زوجی زبانی صورت گرفته است.

برای مثال، یکی از سؤالات قابل طرح در این مرحله بدین صورت است: «بیلدر در مقایسه با ظرفیت تبادل یونی با توجه به اکتیو از چه درجه اهمیتی برخوردار است؟» جدول ۷، نیز اوزان به دست آمده برای اکتیو را نشان می‌دهد. همبستگی داخلی موجود میان نیازهای مختلف طراحی در شکل ۷، و در نهایت اوزان اهمیت نسبی به دست آمده بر اساس این روابط در جدول ۸، خلاصه شده است.

ذاتی موجود در ارزیابی نیازهای مشتری و نیازمندی‌های طراحی نمی‌باشد. در حقیقت، تعیین اهمیت نسبی نیازهای مشتری و نیازمندی‌های طراحی مستلزم میزان دقت بالایی از قضاوت ذهنی و ترجیح فردی است. به همین دلیل، از یک رویکرد فازی با استفاده از اعداد مثلثی فازی استفاده شده است. دوم اینکه، روش تحلیل سلسله مراتبی بر اساس فرض استقلال پایه گذاری شده است، در حالی که در خانه کیفیت، روابط متقارن و نامتقارنی میان سطر و ستون یا در درون هر یک از آنها وجود دارد. چنین روابطی را با ادغام ماتریس‌های همبستگی در خانه کیفیت سنتی که با همه روابط به عنوان همبستگی‌های دوطرفه متقارن برخورد می‌کند، نمی‌توان به صورتی دقیق دانست. در مقابل، از آنجا که رویکرد تحلیل شبکه‌ای قادر به در نظر گرفتن همبستگی‌های متقارن و نامتقارن به گونه‌ای مناسب است، اوزان واقعی تری برای نیازمندی‌های طراحی ارائه می‌دهد [۱۳].

$$\omega^{AHP} = W_{\nu} \times W_{\lambda} = \begin{pmatrix} DR_1 \\ DR_2 \\ DR_3 \\ DR_4 \\ DR_5 \\ DR_6 \\ DR_7 \\ DR_8 \\ DR_9 \\ DR_{10} \\ DR_{11} \\ DR_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.1481 \\ 0.1130 \\ 0.1176 \\ 0.0977 \\ 0.0591 \\ 0.1765 \\ 0.0735 \\ 0.0298 \\ 0.2761 \\ 0.0000 \\ 0.0043 \\ 0.0043 \end{pmatrix}$$

همان‌گونه که در این پژوهش دیدیم، یک مشکل عمده رویکرد تحلیل شبکه‌ای، افزایش تعداد ماتریس‌های مقایسات زوجی است که این امر در نتیجه‌ی لحاظ روابط متقابل درونی میان عناصر می‌باشد. برای مثال در مدل تحلیل شبکه‌ای فازی ارائه شده در مقاله حاضر، ۱۸ ماتریس مقایسه زوجی و حدود ۲۰۰ پرسش مقایسه زوجی که در قالب ماتریس‌های مقایسات

$$W_c = W_{\nu} \times W_{\lambda} = \begin{pmatrix} CN_1 \\ CN_2 \\ CN_3 \\ CN_4 \\ CN_5 \\ CN_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.005293 \\ 0.00081 \\ 0.0452 \\ 0.02800 \\ 0.00047 \\ 0.1226 \end{pmatrix}$$

خروجی نشان می‌دهد که مهم‌ترین نیاز طراحی "PVP" با درجه اهمیت ۰.۲۷۶۱ می‌باشد. پس از آن "بیلدر" با درجه اهمیت ۰.۱۶۷۱، در درجه دوم اهمیت قرار دارد. کم اهمیت‌ترین نیاز فنی نیز طبق این روش "ASH/" با درجه اهمیت ۰.۰۰۰۶ می‌باشد.

$$\omega^{ANP} = W_A \times W_C = \begin{pmatrix} TR_1 \\ TR_2 \\ TR_3 \\ TR_4 \\ TR_5 \\ TR_6 \\ TR_7 \\ TR_8 \\ TR_9 \\ TR_{10} \\ TR_{11} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.1102 \\ 0.0441 \\ 0.1163 \\ 0.0462 \\ 0.1671 \\ 0.1247 \\ 0.0174 \\ 0.0567 \\ 0.2761 \\ 0.0381 \\ 0.0020 \\ 0.0006 \end{pmatrix}$$

به منظور مقایسه، اوزان اهمیت نیازمندی‌های طراحی توسط تحلیل سلسله مراتبی فازی نیز محاسبه شده است. این روش "PVP" را با همان درجه اهمیت به مهم‌ترین نیاز برگزیده و "اکتیو" را با درجه اهمیت ۰.۱۴۸۱ در درجه دوم اهمیت قرار داده است. در این روش کم اهمیت‌ترین نیاز "PH" با درجه اهمیت صفر می‌باشد. تعیین اهمیت نسبی نیازمندی‌های طراحی، مسأله‌ای اساسی در کاربردهای خانه کیفیت، برای برنامه‌ریزی محصول است. برای بررسی این مسأله تا به حال به‌طور گسترده‌ای از تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است. با این وجود، در به‌کارگیری این رویکرد دو اشکال وجود دارد: اول اینکه، این روش سنتی با استفاده از یک مقیاس ۱ تا ۹ قادر به دخالت دادن عدم اطمینان و ابهام

زوجی مطرح گردیده نیاز بوده‌است. در عوض این مدل فازی قادر به ارائه یک تحلیل دقیق‌تر از طریق ادغام روابط متقابل است که در سایر روش‌ها نمی‌توان آن را یافت.

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادهای پژوهشی

۶-۱- نتیجه‌گیری

هر چند استفاده از روش‌های ابتدایی تصمیم‌گیری آسان‌تر است، اما نتایج حاصل از چنین روش‌هایی ممکن است به اندازه روش تحلیل شبکه‌ای فازی اثربخش نباشند. اما باید گفت که تحلیل شبکه‌ای فازی، علی‌رغم دقت بالای خروجی‌ها، زمان بر و هزینه‌بر است. از این رو تحلیل هزینه و فایده توسط مدیریت سازمان به هنگام به کارگیری آنها ضروری به نظر می‌رسد. برای مثال، به منظور تحلیل و شناسایی نیازهای مشتری و نیازمندی‌های طراحی در بسط عملکرد کیفیت، استفاده از روش بسیار دقیقی همچون فرایند تحلیل شبکه‌ای در ترکیب با رویکرد فازی می‌تواند دارای ترجیح بالاتری باشد، زیرا قادر به مدل‌سازی کارآمدتر فرایند برنامه‌ریزی محصول - به دلیل وابستگی شدید به

قضایات‌های ذهنی مشتریان و کارشناسان سازمان - و همچنین در نظر گرفتن ارتباطات میان خواسته‌ها و نیازمندی‌ها می‌باشد. به همین ترتیب این رویه برای محصولات و فرآیندهای حیاتی که بقای سازمان در گرو آنها می‌باشد، پیشنهاد می‌شود. در این پژوهش اولویت‌نهایی خواسته‌های مشتریان به این ترتیب استخراج شد: قدرت پاک‌کنندگی (۰/۳۴)، عدم تداخل رنگ (۰/۲۸)، از بین بردن لکه چربی (۰/۲۷)، خاصیت لکه‌بری (۰/۰۵)، پایین بودن دانه‌های سفید روی لباس (۰/۰۴) و در نهایت افزایش لطافت و نرمی (۰/۰۱).

همچنین نتایج حاصل از اولویت‌بندی و وزن‌گذاری نیازمندی‌های طراحی با استفاده از دو روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و همچنین فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی در جدول شماره ۸ خلاصه شده است:

به‌طور کلی می‌توان گفت که نتایج نهایی نشان می‌دهد که ترکیب رویکرد فازی با فرآیند تحلیل شبکه‌ای ابزار مفیدی برای پیاده‌سازی بسط عملکرد کیفیت در عمل است. به کارگیری چنین رویکردهایی در بسط عملکرد کیفیت در وهله اول، سبب شناسایی بهتر

جدول ۸. اوزان اهمیت نسبی همبستگی داخلی نیازمندی‌های طراحی

ASH%	بتونیت	PH	PVP	فسفونات	ظرفیت بافری	ظرفیت تبادل یونی	بیلدر	صابون	نانیونیک	آنزیم (ΔE^*)	اکتو	W
۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۴۴	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۵۰	اکتو
۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۵۴	۰,۰۰	آنزیم (ΔE^*)
۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۱,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	نانیونیک
۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۴۷	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	صابون
۰,۲۹	۰,۰۰	۰,۴۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۷۸	۰,۴۱	۰,۵۶	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۲۲	بیلدر
۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۳۳	۰,۰۰	۰,۵۳	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۲۸	ظرفیت تبادل یونی
۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۳۷	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۲۲	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	ظرفیت بافری
۰,۴۳	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۱,۰۰	۰,۰۰	۰,۲۶	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	فسفونات
۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۱,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	PVP
۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۲۳	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۴۶	۰,۰۰	PH
۰,۰۰	۱,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	بتونیت
۰,۲۸	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	ASH%

جدول ۹. مقایسه اوزان و رتبه‌های نیازمندی‌های طراحی محصول پودر ماشین لباس‌شویی

نیاز	DR _۱	DR _۲	DR _۳	DR _۴	DR _۵	DR _۶	DR _۷	DR _۸	DR _۹	DR _{۱۰}	DR _{۱۱}	DR _{۱۲}
اوزان AHP-f	۰/۱۴۸۱	۰/۱۱۳۰	۰/۱۱۷۶	۰/۰۹۷۷	۰/۰۰۵۹۱	۰/۰۷۶۵	۰/۰۷۳۵	۰/۰۲۹۸	۰/۰۲۷۶۱	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۴۳
رتبه در AHP-f	۲	۴	۳	۵	۸	۶	۷	۹	۱	۱۱	۱۰	۱۰
اوزان ANP-f	۰/۱۱۰۲	۰/۰۴۴۱	۰/۱۱۶۳	۰/۰۴۶۲	۰/۱۶۷۱	۰/۱۲۴۷	۰/۰۱۷۴	۰/۰۵۶۷	۰/۲۷۶۱	۰/۰۳۸۱	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۰۶
رتبه در ANP-f	۵	۸	۴	۷	۲	۳	۱۰	۶	۱	۹	۱۱	۱۲

تصمیم‌گیری فازی برای مدل‌سازی ابهام ذاتی موجود در بسط کیفیت استفاده شود.

۳. در تحقیقات آینده از خروجی چارچوب ارائه شده می‌توان به‌عنوان ورودی مدل‌های ریاضی همچون مدل‌های برنامه‌ریزی خطی، برای انتخاب دقیق‌تر و تصمیم‌گیری اثربخش‌تر مشخصه‌های فنی با توجه به محدودیت‌های کلی سازمان در حوزه طراحی محصول همچون محدودیت مالی و محدودیت سایر منابع بهره‌جست و بدین ترتیب به گسترش این حوزه از پژوهش پرداخت.

منابع

- Hauser JR, Clausing D. (1988) The house of quality. HBR; 66:pp 63-73.
- Griffin H, Hauser JR. (1993) The voice of the customer. Market Sci; 12(1):pp 1-27.
- Saaty TL. (1980) The analytic hierarchy process. New York: McGraw-Hill; pp 47-80.
- Akao Y. (1990) Quality function deployment: Integrating customer requirements into product design. Cambridge, MA: Productivity Press; pp 120-122.
- Armocost RT, Compton PJ, Mullens MA, Swart WW. (1994) An AHP framework for prioritizing custom requirements in QFD: An industrialized housing application. IIE Trans ; 26(4):pp72-79.
- Doukas L, William PW, Jeyaratnam C. (1995) Integrating quality factors into system design. In: Proc 1995 IEEE Int Engineering Management Conf, Singapore; pp 235-240.
- Fukuda S, Matsuura Y. (1993) 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.
- Xie M, Goh TN, Xie W. (1995) Prioritizing processes for better implementation of statistical process con-

روابط متقابل میان خواسته‌های مشتری از یک سو و نیازهای طراحی از سوی دیگر و همچنین شناسایی نیازمندی‌های متعارض می‌شود. و در وهله دوم، باعث تسهیل ارتباطات اثربخش‌تر و تصمیم‌گیری استراتژیک کسب و کار با همکاری فعال همه اعضای تیم بسط عملکرد کیفیت می‌گردد. روش پیشنهادی در این پژوهش را می‌توان در فرایند طراحی هر محصول دیگری نیز به کار برد.

پیشنهاد‌های پژوهشی

همواره در پس اجرای هر تحقیق علمی نکات مبهم و سرخ‌هایی وجود دارد که می‌توانند زمینه‌ساز تحقیقات آینده باشند. این تحقیق نیز از این موضوع مستثنی نبوده و موارد زیر را به‌عنوان پیشنهاد پژوهشی در آینده ارائه می‌دهد:

۱. روش ارائه شده در این تحقیق صرفاً در خانه کیفیت به‌عنوان یکی از مراحل بسط عملکرد کیفیت به‌کار رفت. پیشنهاد می‌شود که این چارچوب در تحقیقات آینده برای تمامی مراحل اجرای کامل بسط عملکرد کیفیت همچون خانه مربوط به طراحی قطعات نیز استفاده شود.

۲. در این تحقیق همان‌طور که دیدیم به‌منظور کاهش ابهام موجود در داده‌های زبانی، از منطق فازی در شکل روش تحلیل توسعه‌ای برای انجام محاسبات فرآیند تحلیل شبکه‌ای استفاده شد. پیشنهاد این است که در تحقیقات آینده از سایر روش‌های مختلف

22. Chung S H, Lee A H I, Pearn W L. (2005) Analytic network process (ANP) approach for product mix planning in semiconductors fabricator; *International Journal of Production Economics*; 96; pp15-36.
23. Ravi V, Shankar R, Tiwari M K. (2005) Analyzing alternatives in reverse logistics for end-of-life computers: ANP and balanced scorecard approach; *Computers & Industrial Engineering*; 48; pp327-356.
24. Saaty TL, Takizawa M. (1986) Dependence and independence: From linear hierarchies to nonlinear networks. *Euro J Oper Res*; 26:pp 229-237.
25. Saaty TL, Vargas LG. (1998) Diagnosis with dependent symptoms: Bayes theorem and the analytic hierarchy process. *Oper Res*; 46(4):pp 491-502.
26. Zadeh LA. (1965) Fuzzy sets. *Inf Control*; 8:pp 338-353.
27. Kaufmann A, Gupta MM. (1991) Introduction to fuzzy arithmetic theory and applications. New York: Van Nostrand Reinhold; pp 129-148.
28. Van Laarhoven PJM, Pedrycz W. (1983) A fuzzy extension of Saaty's priority theory. *Fuzzy Sets Syst*; 11:pp 229-241.
29. Buckley JJ. (1985) Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy Sets Syst*; 17:pp 233-247.
30. Chang D-Y. Extent analysis and synthetic decision. In: Phua PKH, Wang CM, Yeong WY, Leong TY, Loh HT, Tan KC, Chou FS, editors. (1992) *Optimization Techniques and Applications*, Vol. 1. Singapore: World Scientific. p 352.
۳۱. آذر، عادل، فرجی حجت (مؤلفین) (۱۳۸۱) *علم مدیریت فازی*، چاپ اول، تهران: نشر اجتماع، ص ۲۵۱.
32. Kwong CK, Bai H. (2003) Determining the importance weights for the customer requirements in QFD using a fuzzy AHP with an extent analysis approach. *IIE Trans*; 35:pp 619-626.
33. Bozdağ CH, Kahraman C, Ruan D. (2003) Fuzzy group decision making for selection among computer integrated manufacturing systems. *Comput Indust*; 51(1):pp 13-29.
34. Bu'yu'ko'zhan G, Kahraman C, Ruan D. (2003) A fuzzy multi-criteria decision approach for software development strategy selection. *Int J Gen Syst*. In press.
35. Zhu K-J, Jing Y, Chang D-Y. (1999) A discussion on extent analysis method and applications of fuzzy AHP. *Euro J Oper Res*; 116(2):pp 450-456.
- trol techniques. In: *Proc IEEE Annual Int Engineering Management Conf*. Singapore; pp 260-263.
9. Saaty TL. (1996) Decision making with dependence and feedback: The analytic network process. RWS Publications: Pittsburgh; pp 60-79.
10. Partovi FY. (2001) An analytic model to quantify strategic service vision. *Int J Serv Indust Manage*; 12(5):pp 476-499.
11. Partovi FY, Corredoira RA. (2002) Quality function deployment for the good of soccer. *Eur J Oper Res*; 137(3):pp 642-656.
12. Karsak EE, Sozer S, Alptekin SE. (2002) Product planning in quality function deployment using a combined analytic network process and goal programming approach. *Comput Indust Eng*; 44:pp 171-190.
13. Bu'yu'ko'zhan G, Ertay T, Kahraman C. (2004) Determining the Importance Weights for the Design Requirements in the House of Quality using the Fuzzy Analytic network Approach. *international journal of intelligent systems*, vol. 19, pp 443-461.
14. Khoo LP, Ho NC. (1996) Framework of a fuzzy quality function deployment system. *Int J Prod Res*; 34:pp 299-311.
15. Fung RYK, Popplewell K, Xie J. (1998) An intelligent hybrid system for customer requirement analysis and product attribute targets determination. *Int J Prod Res*; 36:pp 13-34.
16. Chan LK, Kao HP, Ng A, Wu ML. (1999) Rating the importance of customer needs in quality function deployment by fuzzy and entropy methods. *Int J Prod Res*; 37(11):pp 2499-2518.
17. Ha'ma'la'inen RP, Seppa'la'inen TO. (1986) The analytic network process in energy policy planning. *Socioecon Plan Sci*; 20(6):pp 399-405.
18. Meade L, Sarkis J. (1998) Strategic analysis of logistics and supply chain management systems using the analytical network process. *Transport Res Part E Log Transport Rev*; 34(3):pp 201-215.
19. Lee JW, Kim SH. (2000) Using analytic network process and goal programming for interdependent information system project selection. *Comp Oper Res*; 27:pp 367-382.
20. Lee JW, Kim SH. (2001) An integrated approach for interdependent information system project selection. *Int J Proj Manage*; 19:pp 111-118.
21. Sarkis J. (2003) A strategic decision framework for green supply chain management. *J Clean Prod*; 11(4):pp 397-340.