استفاده از رویکرد FMCDM در فرایند طراحی محصول مشتری مدار
مورد مطالعاتی: شرکت ایران ترانسفوری

حسن فارسیجانی[۱]، محمدعلی ترابنده[۲]
۱- دانشیار دانشگاه شهیدبهشتی
۲- دانشجوی دکتری، دانشگاه شهیدبهشتی

چکیده
فرایند طراحی محصول مبتنی بر خواست مشتری، بطور ضروری به عنوان یک بخش مهم از مهندسی معاصر و دستیابی به کلاس جهانی است. بسیاری از اصول و رویکردها، همانند گسترش عملکرد کیفیت (QFD) در جهت کمک به مهندسان به منظور شناسایی ارتباط بین الزامات مشتری و الزامات طراحی معرفی شده اند. البته شناسایی الزامات مشتری و ارزیابی گزینه های طراحی هنوز به مقدار زیادی به تجربه و دانش طراح بستگی دارد. این امر موجب تأثیرگذاری کارایی و اثربخشی فرایند طراحی مشتری محور خواهد شد و حتی توسعه طراحی را پیچیده تر خواهد گردانید.
این مقاله یک چهارچوب دقیق در جهت شناسایی و اولویت بندی الزامات مشتری در فرایند طراحی ترانسفورماتورهای ویژه در شرکت ایران ترانسفوری ارائه می کند. به منظور شناسایی الزامات مشتری و همچنین الزامات طراحی در ارضای الزامات مشتری از پرسشنامه شناخت موقعیت نوآوری(ISQ) استفاده شده است. همچنین به منظور وزن دهی اهمیت الزامات مشتری بر اساس الزامات طراحی، پرسشنامه مبتنی بر ابزارتصمیم گیری چندمعیاره فازی(FMCDM) بکارگرفته شده است. تکمیل فرایند FMCDM با دو روش نرم افزاری و غیر نرم افزاری صورت گرفته و نتایج با یکدیگر مورد مقایسه قرار می گیرند.
کلید واژه ها : ISQ - QFD – FMCDM

۱- مقدمه

جلوگیری کردن از شکست محصول در مرحله اولیه فرایند طراحی محصول، با بکارگیری از رویکرد فعالانه و رو به آینده بسیار موثرتر است تا اینکه صرفاً در برابر شرایط ناسازگار یک اقدام انفعالی و واکنشی داشته باشیم. بنابراین نیاز به ابزاری می باشد که به طور وسیعی بر نوآوری محصولات جهت باقی ماندن در فضای رقابتی تمرکز داشته باشد. [۱۰]
با توجه به اینکه نیازهای انسانی، افراد را وادار به خرید محصولات می کند در نتیجه می بایست با شناسایی نیازهای مشتریان، قادر بود آن ها را به زبانی قابل فهم جهت پایه ریزی الزامات فنی، تبدیل نمود. بنابراین ضمن اینکه به نیازهای مشتری ارج نهاده ایم و بر اساس اهمیتی که برای الزامات کیفی خود در محصول قائل هستند، این الزامات را رتبه بندی می کنیم، الزامات و مشخصه های طراحی در محصول را نیز می بایست شناسایی کنیم. در واقع این شناسایی الزامات فنی بر اساس شناسایی الزامات کیفی بدست می آید.

نویسنده مسئول: محمدعلی ترابنده Email: m.a.torabandeh@gmail.com

در واقع رویکردی که بتواند در زمان کمتر قابلیت تصمیم گیری دقیق در اولویت بندی الزامات مشتری داشته باشد، می بایست بکارگرفته شود. از این رو در این تحقیق هدف این است که به نحوی مطلوب و دقیق وزن دهی و اولویت بندی گزینه های ناشی الزامات کیفی مشتری انجام گیرد، و روشی هم بکار گرفته شود می بایستی از لحاظ زمانی نیز صرفه جویی داشته باشد.
مورد مطالعاتی این تحقیق ترانسفورماتورهای ویژه می باشند. خاصیت ترانسفورماتورهای ویژه این است که بصورت سفارشی تولید می شوند. بنابراین برای این تحقیق مناسب می باشند.

۲-پیشینه تحقیق

گسترش عملکرد کیفیت که برای اولین بار در سال ۱۹۷۲ در ژاپن عرضه گردید ، در جهت بهبود کیفیت در توسعه محصول ، طراحی گردیده است.گسترش عملکرد کیفیت (QFD[3]) بدین صورت تعریف می‌گردد: «چگونه ما کیفیتی را که مشتریانمان انتظار و توافق بر اتفاق آن در یک مسیر پویا دارند درک کنیم.» [۲]
QFD همچنین به‌عنوان «ماتریس خانه کیفیت» شناخته می‌شود. دلیل آن این است که ماتریسهایی در QFD تناسب و هماهنگی بوجود می‌آورند به نحوی که تشکیل یک نمودار به شکل خانه را می‌دهند. [۱۱]
QFD به نحوی تنظیم و جهت‌گیری شده است که تشکیل یک تیم از افرادی را می‌دهد که دپارتمان های عملیاتی مختلفی را که در توسعه محصول مشارکت دارند، ارائه می‌دهند، مثل بازاریابی، مهندس طراحی، تضمین کیفیت، مهندسی تولید، مهندسی تست، بخش مالی، حمایت تولیدی و ... (کرو، ۱۹۹۶، ص ۷۳). [۱۱]
در ماتریس خانه کیفیت ، سمت چپ آن بیانگر ورودی الزامات مشتری است که چه چیزها را بیان می‌کند . سمت راست آن ، بیانگر ارزیابی رقابتی گزینه های کیفی از دید مشتریان است. سقف آن ، بیانگر الزامات فنی مورد نظر جهت ارضای الزامات کیفی مشتریان است و ارتباطات دو به دوی آن ها را مشخص می کند. داخل ماتریس روابط متقابل و درجه ارتباط بین الزامات کیفی مشتریان و الزامات فنی را بیان می‌کند. و قسمت پایینی ماتریس، خروجی آن یعنی اهمیت الزامات فنی در طراحی محصول را نشان می‌دهد. [۱۴]

۱-۲- اعداد فازی مثلثی

بسیاری از داده‌های ورودی که در QFD بکار گرفته می‌شوند بوسیله مشتریان یا توسعه دهندگان محصول مورد تخمین قرار می گیرند. از آنجایی که انسانها عمدتاً راحت‌تر به استفاده عبارات زبانی نسبت به اعداد در توصیف آنچه ادراک می کنند هستند، ارزش‌های تخمینی می‌توانند به سادگی در قالب عبارات زبانی بیان شوند. به عنوان مثال، در QFD، مشتریان ممکن است اهمیت الزامات مشتریان را در عبارات زبانی متنوعی مانند «شدیداً مهم»، «قویاً مهم»، «خیلی مهم» و... تخمین بزنند. البته این عبارات زبانی اغلب مبهم و غیر قابل درک هستند. بسیار مناسب است که با این عبارات بصورت فازی بجای قطعی برخورد شود. تئوری فازی بوسیله زاده مطرح گردید که جهت‌گیری آن برخورد با اطلاعات ذهنی، مبهم و غیردقیق است. در نتیجه این عبارات غیردقیق یا مبهم (یا متغیرهای زبانی) می‌توانند در قالب مجموعه‌های فازی، بصورت دقیق کمی گردند. [۸]
X را به عنوان مجموعه‌ای از اهداف که آن را مرجع می‌نامیم در نظر می‌گیریم و اعضای آن با علامت X شناخته می‌گردند. یک مجموعه فازی $\tilde{A}$ در X بوسیلهٔ تابع عضویت $\mu_{\tilde{A}}(x)$ تعریف می‌گردد، به نحوی که هریک از اعضای X درون این تابع در قالب عددی در بازه [۱ و ۰] قرار می‌گیرند. یک عدد فازی مثلثی بصورت $\tilde{A}$= (a,b,c) ، بطوریکه $a \leqslant b \leqslant c$ که از طریق تابع عضویت مثلثی شکل رابطه۱ بدست می‌آید: [۴]

[3]- Quality Function Deployment

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} (x-a)/(b-a) & , \quad a \leqslant x \leqslant b \\ (c-x)/(c-b) & , \quad b \leqslant x \leqslant c \\ 0 & , \quad \text{در غیر اینصورت} \end{cases} \qquad (1)$$

b بیانگر جزئی است که بیانگر بیشترین ارزش عضویت است، و a و c به ترتیب بیانگر ارزشهای پایین‌تر و بالاتر می‌باشند.
در صورتیکه دو عدد فازی مثلثی $\tilde{A}$ و $\tilde{B}$ را به ترتیب (a_1 , b_1 , c_1) و (a_2 , b_2 , c_2) در نظر بگیریم. برخی از اعمال جبری میان آنها بصورت روابط ۲ تا۶ قابل نمایش است : [۷]

$$\tilde{A}(+)\tilde{B} = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2), \qquad (2)$$
$$\tilde{A}(-)\tilde{B} = (a_1 - a_2, b_1 - b_2, c_1 - c_2), \qquad (3)$$
$$\tilde{A}(\cdot)\tilde{B} = (a_1.a_2, b_1.b_2, c_1.c_2), \qquad (4)$$
$$\tilde{A}(:)\tilde{B} = \left(a_1/c_2, b_1/b_2, c_1/a_2\right), \qquad (5)$$
$$K > o \ , K \cdot \tilde{A} = (ka_1, kb_1, kc_1), \qquad (6)$$

در مقاله‌ای، اولنیک و لویس[۴]، در حجم های آماری تعریف شده جهت نظرسنجی متخصصان، انواع مختلف مقیاس های قطعی و غیرفازی را در پر کردن پرسشنامه ها ، جهت تکمیل بخش های مختلف ماتریس خانه کیفیت بکار بردند، و آن ها را مورد مقایسه قرار دادند. نتایج حاکی از آن بود، که استفاده از گروه مقیاس‌های متفاوت، نتایجی متفاوت در خروجی ماتریس خواهند داشت، که این بیانگر ناکارامد بودن مقیاس های غیرفازی در تصمیم‌گیری بودند. چون اینگونه مقیاس ها نمی توانند همانند مقیاس فازی زبان کیفی پرکنندگان پرسشنامه ها را به خوبی به اعداد کمی تبدیل نمایند. [۹]

۲-۲- QFD فازی

یک مجموعه زنجیره از نظریات جهت بکارگیری تئوری فازی در QFD، و همچنین رویکردهای متنوع توسعه یافته‌ای پیرامون QFD فازی مطرح گردیده است. برای مثال خو و هو[۵]، مفهوم QFD فازی و متغیرهای زبانی فازی شده را جهت منطقی کردن بیشتر آنها پیشنهاد داده‌اند. در کنار آن، آنان روابط میان الزامات مشتری و روابط میان الزامات طراحی را نیز مورد ملاحظه قرار داده‌اند. چان و دیگران[۶]، اعداد فازی و متدهای آنتروپی را جهت استخراج اهمیت الزامات مشتری بکار بردند، و سپس نتایج را جهت دستیابی به اهمیت نهایی الزامات مشتری تلفیق کردند. [۱۲]
وانگ[۷] به QFD همانند یک مسأله تصمیم گیری چند معیاره نگریست و یک متد جدید فازی را جهت دستیابی به رتبه بندی اهمیت الزامات طراحی، توسعه داد. شن و دیگران[۸]، ترجمه تبدیل الزامات مشتری را به روندهای تجزیه و تحلیل آینده، بسیار ضروری و با اهمیت یافتند. آنها یک شاخص گرایش به آینده را به اهمیت الزامات مشتری به منظور محاسبهٔ اهمیت نهایی الزامات مشتریان، افزودند. [۱۲]
شن و دیگران اشاره کردند که اهمیت رتبه بندی الزامات طراحی می تواند تحت تأثیر عوامل متعددی باشد از جمله نوع اعداد فازی، روشهای دیفازی کردن، و تعداد اعداد فازی. این نتیجه دریافت شده است که روشهای دیفازی کردن، نسبتاً نتیجه وسیع-تری بر رتبه بندی نتایج دارد. سون و چوی[۹] QFD فازی را در زنجیره تأمین که شامل قابلیت اعتماد در ارزیابی و تخمین بود

[4] -Olewnik & Lewis
[5] -Khoo & Ho
[6] -Chan et al
[7] -Wang
[8] -Shen et al
[9] -Sohn & Choi

بکار بردند. آنها از روش تصمیم گیری چند معیاره برای گزینش یک طراحی با یک تلفیق بهینه از قابلیت اعتماد و رضایت مشتری استفاده کردند. [۱۲]

ونگاس و لابیب[۱۰] یک روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP[۱۱]) را به عنوان یکی از تکنیک های تصمیم گیری چند معیاره (MCDM[۱۲]) برای استخراج اهمیت الزامات مشتری و عوامل دربرگیرنده آینده، همانند رضایت مشتری، هزینه، و سختی طراحی جهت دستیابی به اهمیت نهایی الزامات طراحی پیشنهاد دادند. لین[۱۳]نگران سختی و مشکلاتی که در طراحی الزامات مهندسی همراه می‌شد بود و این عامل را جهت محاسبه اهمیت الزامات طراحی، اضافه کرد. تی‌سای[۱۴]انتگرال فازی را به منظور رتبه‌بندی الزامات طراحی با اهمیتی که در راستای شاخص پیش‌بینی تصمیم گیرنده از بازار می‌داد، به کار برد. باياکوژکن و دیگران[۱۵]یک سلسله مراتب شبکه‌ای را براساس چارچوب QFD تدوین کردند و تجزیه و تحلیل گسترده فازی را در محاسبهٔ هریک از ماتریس های مقایسه زوجی بکار بردند. [۱۲]

نتایج بعداً دریک ابر ماتریس برای‌محاسبه اهمیت الزامات‌طراحی، یکپارچه شدند. چن و دیگران[۱۶]یک رویکرد ارزش مورد انتظار فازی یکپارچه را پیشنهاد دادند، که دو مدل ارزش مورد انتظار فازی جهت تعیین اهمیت الزامات طراحی، تدوین گردیدند . چن و دیگران روش میانگین وزن دهی شده فازی و روش ارزشی مورد انتظار فازی را جهت ارزیابی اهمیت الزامات طراحی، تلفیق کردند. آنها ارزشهای زبانی الزامات مشتری را به اعداد فازی ترجمه کردند و اهمیت الزامات طراحی را با استفاده از روش متعارف QFD محاسبه کردند. کاهرامن و دیگران[۱۷]روش فرایند تجزیه وتحلیل شبکه‌ای (ANP)را به‌منظور تعیین اهمیت هریک از الزامات طراحی ومحدودیتهای منابع در برگیرنده مثل بودجه هزینه برای تشکیل یک مسأله برنامه‌ریزی چند هدفه بکار گرفتند و الزامات طراحی مهم را استخراج کردند. [۱۲]

کراستاک [۱۸] در مقاله اش تشریح می کند که تکنیک تحلیل سلسله مراتبی از ابزارهای بسیار مفید است که در تعیین وزن نسبی الزامات در ماتریس خانه کیفیت بکار می رود . در QFD به روش سنتی ، مقیاس ها بصورت اعداد مطلق بیان می گردند ، اما در تکنیک تحلیل سلسله مراتبی ، از جداولی که الزامات را به بصورت دو به دو مورد مقایسه قرار می دهند، و با اختصاص دادن وزنی که بیانگر شدت رابطه است و عددی بین صفر و یک را اختیار می کند استفاده می شود. این سبب می شود که ارزیابی ما دقیق تر گردد. اما از جمله مسائلی که در تکنیک تحلیل سلسله مراتبی مطرح است این است که به دلیل مقایسه زوجی الزامات، زمان زیادی صرف می شود . در واقع در تکنیک تحلیل سلسله مراتبی تمامی عوامل تعریف شده مساله تعریف می گردند سپس بر اساس شباهتی که به یکدیگر دارند بصورت سلسله مراتبی تقسیم می شوند . بنابراین در تکنیک تحلیل سلسله مراتبی بر خلاف روش سنتی الزامات اولویت بندی می شوند که این مورد سبب می شود الزاماتی که از نظر خصوصیات و ابعاد در یک سطح نیستند در یک طبقه نگیرند که این خود دقت بالای تکنیک تحلیل سلسله مراتبی را می رساند. [۹]

همچنین از نظر درک الزامات تکنیک تحلیل سلسله مراتبی موقعیت بهتری نسبت به روش سنتی دارد چون بین تک تک الزامات مقایسه زوجی صورت می گیرد. در ضمن در تکنیک تحلیل سلسله مراتبی، شاخصی به عنوان شاخص سازگاری در نظر

---

[10] -Venegas & Labib
[11]- Analytical Hierarchy Process
[12]- Multi Criteria Decision Making
[13] -Lin
[14] -Tsai
[15] -Buyukozkan et al
[16] -Chen et al
[17] -Kahraman et al
[18] -Crostack

گرفته شده است تا درصورتیکه مقایسه بین الزامات غیر منطقی صورت گرفته باشد مشخص شود . بنابراین از جمله دیگر تفاوت های تکنیک تحلیل سلسله مراتبی با روش سنتی این است که در تکنیک تحلیل سلسله مراتبی ساز و کار بازخور و کنترل از نتایج نیز در نظر گرفته شده است تا در صورت کشف ناسازگاری ها اقدامات اصلاحی مناسب صورت گیرد. [۷]

فرایند تجزیه و تحلیل شبکه‌ای، جهت بررسی روابط غیرخطی و همچنین ارتباطات متقابل میان الزامات مشتری و الزامات طراحی در QFD بکار می رود. برای مثال پرتوی[19]هم مدل AHP و هم مدل ANP را برای کمی کردن دیدگاه خدمات استراتژیک به عنوان چارچوب QFD بکار برد. کارساک و دیگران[20] یک رویکرد تصمیم گیری سیستماتیک را به منظور تعیین اهمیت الزامات طراحی براساس هم مدل ANP و هم برنامه‌ریزی هدف صفر و یک ارائه دادند. پرتوی و کاردویرا[21] از این متد پرتوی جهت اولویت بندی و طراحی یک مجموعه از تغییرات قانونی برای بازی فوتبال پیروی کردند . ارتای[22] و دیگران از متغیرهای زبانی به عنوان ورودی برای فرایند QFD استفاده کردند و الزامات طراحی را براساس رویکرد ANP فازی، مشابه با رویکرد بایاکوژکن و دیگران[23] اولویت بندی کردند. پرتوی یک مدل یکپارچه براساس QFD، ANP و فرایند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) جهت حل و فصل مسأله مکان یابی راحت و مسأله گزینش فرایند بکار برد . بدین دلیل که رویکرد ANP روابط متقابل و دو سویه را در میان اجزای QFD تشریح کند از ویژگی منحصر بفردی برخوردار است. [۴]

بنابراین همانطور که تشریح شد، جهت تولید محصولات مطابق با خواست و الزامات مشتریان، می بایست در ابتدا از ابزاری استفاده کرد که نیازهای مشتری را به الزامات طراحی تبدیل کند. همچنین نیازهای مشتریان می بایست به صورت روشمند و سلسله مراتبی شده با در نظر گرفتن معیارها اولویت بندی گردند، و مقیاس هایی برای بیان اهمیت الزامات مشتریان بکار روند که به بهترین بیانگر الزامات کیفی و زبانی آن ها باشند و با مقیاس های مطلق فاصله داشته باشند. تفاوت در بکارگیری مقیاس ها منجر به تفاوت در اولویت بندی نهایی الزامات مشتری، و در نتیجه تفاوت در رتبه بندی الزامات کمی در ماتریس خانه کیفیت می شود. بنابراین مقیاس های بکار رفته می بایست دقت لازم را داشته باشند.

۳-روش تحقیق

تحقیق حاضر را می‌توان در گروه تحقیقات کاربردی از نوع بررسی موردی قرار داد. چون به کاربردی کردن ابزار MCDMفازی، در فرایند گسترش عملکرد کیفیت در صنعت ترانسفورماتور به منظور وزن دهی الزامات مشتریان می پردازد و با مقایسه دو روش نرم افزاری و غیرنرم افزاری، پیشنهاد جهت بکارگیری روش مناسب در سایر تکنیک های تصمیم گیری چند معیاره ارائه می دهد، و چون ترانسفورماتور را به عنوان یک سیستم مورد مطالعه قرار می دهد، از نوع بررسی موردی می باشد.

جامعه آماری در این تحقیق، کارشناسان خبره در زمینه آشنایی با انواع ترانسفورماتورهای ویژه در شرکت ایران ترانسفوری می-باشند. این کارشناسان از بخش‌های خدمات فروش، طراحی و مهندسی، و تولید انتخاب گردیده‌اند. بنابراین قلمروی مکانی تحقیق را بخش‌های ذکر شده در شرکت ایران ترانسفوری تشکیل می‌دهند.

تعداد کارشناسان خبره ۳۰ نفر در مجموع این سه بخش بوده است که با توجه با تعداد کم جامعه آماری از نمونه گیری استفاده نگردید. همچنین تعداد ۷۶ درصد از پاسخ دهندگان دارای مدرک کارشناسی ، و ۲۴ درصد باقیمانده دارای مدرک کارشناسی ارشد بودند که یا مهندس برق و یا مهندس مکانیک بودند.

---

[19] -Partovi
[20] -karsak et al
[21] -Partovi & Corredoira
[22] -Ertay et al
[23] -Buyukozkan et al

با توجه به عدم آشنایی تخصصی محقق پیرامون ترانسفورماتور جهت آشنایی با سیستم مورد نظر، اجزا و محیط آن از پرسشنامه موقعیت های نوآوری (ISQ)[۲۴]به عنوان یک پرسشنامه با سوالات باز – پاسخ به عنوان پرسشنامه شماره ۱ این تحقیق استفاده شده است.

کارشناسان عقیده دارند که اگر مساله به درستی تعریف وبیان شده باشد، نیمی از مراحل خود را طی کرده است . به همین دلیل ، ابتدا باید مساله به صورت صحیح ودقیق تعریف شود، یعنی مساله مورد نظر به دقت بررسی وابعاد مختلف آن شناخته شود، بنابراین جهت خلاقیت در حل مسأله باید سیستم های پیرامون مساله را به خوبی درک کند . بدین منظور باید پس از بررسی مسأله از دیدگاه های مختلف ، کلیه اطلاعات مربوط به مسأله مستندسازی شوند . پرسشنامه موقعیت های نوآوری (ISQ)محققان را در پیشبرد این فعالیت ها یاری می دهد. [۱]

از آنجایی که در فرایند طراحی محصول «تعریف مساله» مستلزم تعریف مشخصه کامل محصولی است که باید طراحی گردد و این مشخصه شامل ویژگی‌های فیزیکی، عملکردی، هزینه، کیفیت و کارایی عملیاتی است لذا با توجه به ماهیت ISQ، این پرسشنامه می‌تواند اثربخش باشد. [۳]

ISQ همچنین به کاربران امکان می‌دهد به ساختاری برای فرمول بندی جدید دست یابند. در بسیاری از مسائل کوچکتر جریان سهل تری از تعریف یک مساله مورد نیاز است . بخش های پرسشنامه یک تصویر کامل را به وسیله پرس و جو درباره محیط مساله، سابقه، منابع، آلودگی، پیامدهای مطلوب و اثرات مضر ارائه میدهند. [۲]

پرسشنامه شماره ۲. این پرسشنامه به نام فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) است. هدف این پرسشنامه وزن‌دهی ترانسفورماتورهای شناسایی شده ویژه از پرسشنامه شماره۱می‌باشد. در واقع وزن‌های استخراج شده، وزن‌های الزامات کیفی مشتریان از دیدگاه خبرگان سازمان است. بدین ترتیب ترانسفورماتورهای ویژه بر اساس معیارهای کیفی مشتریان، در قالب فرایند تحلیل سلسله مراتبی بصورت دو به دو مورد مقایسه قرار می‌گیرند.

از آنجا که سوال های ابزار بکارگرفته شده در تحقیق، معرف ویژگی هایی است که محقق قصد اندازه گیری آن ها را دارد، و این موضوع به تأیید خبرگان سازمان رسید، می توان گفت اعتبار محتوا در این تحقیق وجود دارد.

مشتریان شامل کارخانه های تولیدی و نیروگاه ها می باشند، و مراجعه به این مشتریان و جمع آوری نظرات آن ها برای محقق امکانپذیر نبود، همچنین این مشتریان اگر اطلاعاتی داشته باشند، پیرامون ترانسفورماتورهای نرمال است نه ویژه ، بنابراین تصمیم گرفته شد که جهت سهولت و همچنین دریافت اطلاعاتی صحیح به خبرگان شرکت ایران ترانسفو، که هم دارای تخصص پیرامون طراحی ترانسفورماتورهای ویژه هستند، و هم اینکه نسبت به نیاز مشتریان آگاهی دارند استفاده گردد.

همانطور که گفته شد پرسشنامه شماره ۲ فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) را بکار گرفت. اساس انجام مقایسات زوجی این است که گزینه هایی که براساس معیارها مورد مقایسه قرار می‌گیرند می‌بایست از یک سنخیت برخوردار باشند تا انجام مقایسه منطقی باشد. در حین انجام پرسشنامه شماره ۲، نظر کارشناسان خبره این بود که دو طرفه کردن انجام مقایسات زوجی ترانسفورماتور ها و معیارهای کیفی مشخص شده معقول نیست. هنگامی ترانسفورماتورهای ویژه را بر اساس معیارهای کیفی مورد مقایسه قرار می دهیم چون در اینجا سنخیت موارد مورد مقایسه همانند یکدیگر می باشند انجام مقایسه معقول است، اما هنگامی که رابطه را دو طرفه کنیم و جای معیارها و گزینه ها را عوض بکنیم بر اساس نظر کارشناسان خبره، بدین دلیل که معیارهای کیفی از یک سنخ نیستند، مقایسه زوجی میان آن ها بسته به نوع ترانسفورماتور بی‌معنا است. مثلاً معیارهای کیفی

[24] -Innovation Situation Questionnaire

نوسانات ولتاژ کمتر، زمان ارسال محصول به مشتری، حجم ترانسفورماتور و ... بدین دلیل که از یک سنخیت نمی باشند، نمی توان بسته به نوع ترانسقورماتور، اهمیت و برتری هریک را نسبت به دیگری مورد مقایسه قرار داد.
بنابراین تصمیم گرفته شد که در محاسبات روابط بصورت غیرخطی در نظر گرفته نشود، و فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP[۲۵]) پیاده گردد.

۱-۳- انجام محاسبات FAHP

انجام محاسبات FAHP هم با استفاده از نرم افزار Super Decisions، و هم با استفاده از روش کلاسیک آن صورت پذیرفته، سپس نتایج آن ها مورد مقایسه قرار گرفته است. نرم افزار Super Decisions، نرم افزاری قدرتمند در تصمیم گیری تلقی می گردد. از جمله قابلیت های این نرم افزار، امکان استفاده از مقیاس های فازی، و انجام تحلیل های غیر خطی است. [۵]

همانطور که توضیح داده شد، AHP یک تکنیک مفید برای رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم، مشاهده آن‌ها از بعد رقابتی و انتخاب بهترین آن‌ها براساس ترجیحات تصمیم گیرنده است (تیلور، ۲۰۰۴). امروزه این روش بصورت گسترده برای حل مسائل تصمیم گیری چند معیاره استفاده می‌شود .

AHP شامل شش گام زیر است (کارامان و دیگران ، ۲۰۰۸) : [۱۴]
۱) تعریف دقیق مساله و تدوین ساختار سلسله مراتبی،
۲) ساخت ماتریس مقایسه زوجی،
۳) محاسبه بردار اولویت،
۴) محاسبه ارزش بیشینه،
۵) آزمون سازگاری،
۶) رتبه بندی و محاسبه معیار و وزن ها

امتیاز های اصلی AHP ، توانایی در رتبه بندی گزینه ها بر اساس اثربخشی ، توانایی در شناسایی قضاوت های ناسازگار ، و ساختاربندی مطلوب سازماندهی شده است. البته از جمله نقاط ضعف AHP این است که قضاوت های افراد می تواند مبهم و یا غیر قابل شناخت باشد، به همین علت نتایج ممکن است مورد سوگیری قرار بگیرند. تلاش های بسیاری در جهت بهبود این محدودیت ها انجام شده است. یکی از این تلاش‌ها، ترکیب تئوری فازی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی در یک رویکرد واحد است که AHP فازی نامیده می‌شود.
مراحل روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به روش چانگ[۲۶]به شرح زیر است : [۱۳]
۱) رسم نمودار سلسله مراتبی،

[25] -Fuzzy Analytical Hierarchical Process
[26] - چانگ

۲) تعریف اعداد فازی به منظور انجام مقایسه های زوجی،
۳) تشکیل ماتریس مقایسه زوجی ($\tilde{A}$) با بکارگیری اعداد فازی،
۴) محاسبه S_i برای هریک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی،
۵) محاسبه درجه بزرگی S_i ها نسبت به همدیگر،
۶) محاسبه وزن معیارها و گزینه ها در ماتریس های مقایسه زوجی،
۷) محاسبه بردار وزن نهایی
بصورت دقیق تر مراحل زیر را جهت وزن دهی الزامات مشتریان دنبال می کنیم: [۴:۱۰۸]
مرحله۱: رسم نمودار سلسله مراتبی
استخراج انواع الزامات کیفی مشتریان با استفاده های پرسشنامه های تشریحی ISQ صورت گرفته است . بنابراین ساختار سلسله مراتبی بر اساس ترتیب سطوح بصورت زیر می باشد:
سطح ۱ : هدف (انتخاب بهترین نوع ترانسفورماتور)، سطح ۲: الزامات کیفی مشتریان که ده مورد هستند که عبارتند از: نیاز به نگهداری و تعمیرات، حجم، طول عمر، وزن، قیمت، ایمنی ترانسفورماتور از خطر سوختن (از کار افتادگی) ، ایمنی محیط ترانسفوماتور از خطر آتش سوزی، قابلیت کار در شرایط محیطی آلوده، زمان تدارک ترانسفورماتور جهت ارسال به مشتری، نوسانات ولتاژ، که آن ها را با حروف C_1 تا C_{10} نمایش می دهیم. سطح ۳ : گزینه هایمان که شش مورد است که شامل ترانسفورماتورهای هرمتیک گازی ، هرمتیک روغنی ، با منبع انبساط، خشک، اتوترانس و ترانس زره ای می باشند که به ترتیب با حروف A_1 تا A_6نمایش می دهیم.
مرحله ۲ : تعریف اعداد فازی به منظور انجام مقایسه های زوجی.
مرحله ۳ : تشکیل ماتریس مقایسه زوجی با بکارگیری اعداد فازی.
در این قسمت ماتریس مقایسه زوجی گزینه ها ، نسبت به معیارهای کیفی را انجام می دهیم . ذکر این نکته ضروریست که با توجه به اینکه تمامی متخصصان جامعه آماری با تمامی ترانسفورماتورهای ویژه آشنایی نداشتند، هم چنین مشخصه های مورد بررسی، فنی می باشند، اعدادی که در ماتریس های مقایسات زوجی و همچنین ماتریس خانه کیفیت بکار رفته است بر اساس تعداد تکرار بیشتر آن ها، یا به عبارت دیگر مد می باشد. چون اگر از روش میانگین استفاده می شد با توجه به اینکه تعداد داده ها برای هر مقایسه متفاوت بود، فرایند طولانی می گردید، همچنین نظریات ارائه شده کارشناسان، رفتاری و انسانی نیست که ممکن است بین افراد تفاوت چشمگیر داشته باشد، بلکه نظرات پیرامون ویژگی های فنی می باشد، بنابراین بیشترین تعداد نظر یکسان و نزدیک به هم را می توان به عنوان مبنا قرار داد .
ماتریس مقایسه زوجی به صورت رابطه۷ خواهد بود:

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \cdots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \qquad (7)$$

که این ماتریس حاوی اعداد فازی زیر است:

$$\tilde{a}_{ij} = \begin{cases} 1 & i = j \\ \tilde{1}, \tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{7}, \tilde{9} \text{ or } \tilde{1}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{9}^{-1} & i \neq j \end{cases} \qquad (8)$$

مرحله۴: محاسبهٔ S_i برای هریک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی
S_iکه خود یک عدد فازی مثلثی است از رابطه ۹ محاسبه می شود:

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \otimes \left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}\right]^{-1} \qquad (9)$$

که دراین رابطه i بیانگر شماره‌سطر و j بیانگر شماره‌ستون می‌باشد. M_{gi}^{j} در این رابطه اعداد فازی‌مثلثی‌ماتریسهای مقایسه زوجی‌هستند. مقادیر $\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}$، $\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}$ و $\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}\right]^{-1}$ را می توان به ترتیب از روابط ۱۰،۱۱،۱۲ محاسبه کرد:

$$\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} = \left(\sum_{j=1}^{m} l, \sum_{j=1}^{m} m, \sum_{j=1}^{m} u_j\right) \qquad (10)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} = \left(\sum_{i=1}^{n} l_i, \sum_{i=1}^{n} m_i, \sum_{i=1}^{n} u_i\right) \qquad (11)$$

$$\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}\right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} l_i}\right) \qquad (12)$$

در روابط بالا l_i ، m_i و u_i به ترتیب مؤلفه های اول تا سوم اعداد فازی هستند.

مرحله۵: محاسبهٔ درجه بزرگی S_iها نسبت به همدیگر.

به طور کلی اگر $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ و $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ دو عدد فازی مثلثی باشند، درجهٔ بزرگی M_2 نسبت به M_1 به صورت رابطه۱۳ تعریف می شود:

$$V(M_2 \geqslant M_1) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1 & \text{if } m_2 \geqslant m_1 \\ 0 & \text{if } l_1 \geqslant u_2 \\ \dfrac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{Otherwise} \end{cases} \qquad (13)$$

از طرف دیگر میزان بزرگی یک عدد فازی مثلثی از Kعدد فازی مثلثی دیگر از رابطه ۱۴ بدست می آید:

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

$$= \text{Min} V(M \geqslant M_i), i = 1,2,,3, \dots, k \qquad (14)$$

مرحله ۶ : محاسبه وزن معیارها و گزینه ها در ماتریس های مقایسه زوجی.

بدین منظور از رابطه ۱۵ استفاده می شود:

$$\acute{d}(A_i) = \text{Min}\, V(S_i \geqslant S_k)\ k = 1,2, \dots, n, k \neq i \qquad (15)$$

بنابراین بردار وزن نرمالیزه نشده به صورت رابطه۱۶ خواهد بود :

$$\acute{W} = (\acute{d}(A_1), \acute{d}(A_2), \dots, \acute{d}(A_n))^T A_i (i = 1,2, \dots, n) \qquad (16)$$

مرحله ۷ : محاسبه بردار وزن نهایی

برای محاسبه بردار وزن نهایی باید بردار وزن محاسبه شده در مرحله قبل را نرمالیزه کرد بنابراین:

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \qquad (17)$$

نتایج عملیات FAHP به صورت جدول ۱ بیان می گردند.

همانطور که در جدول مشاهده می گردد ، ترانسفوماتور خشک دارای بیشترین وزن است .

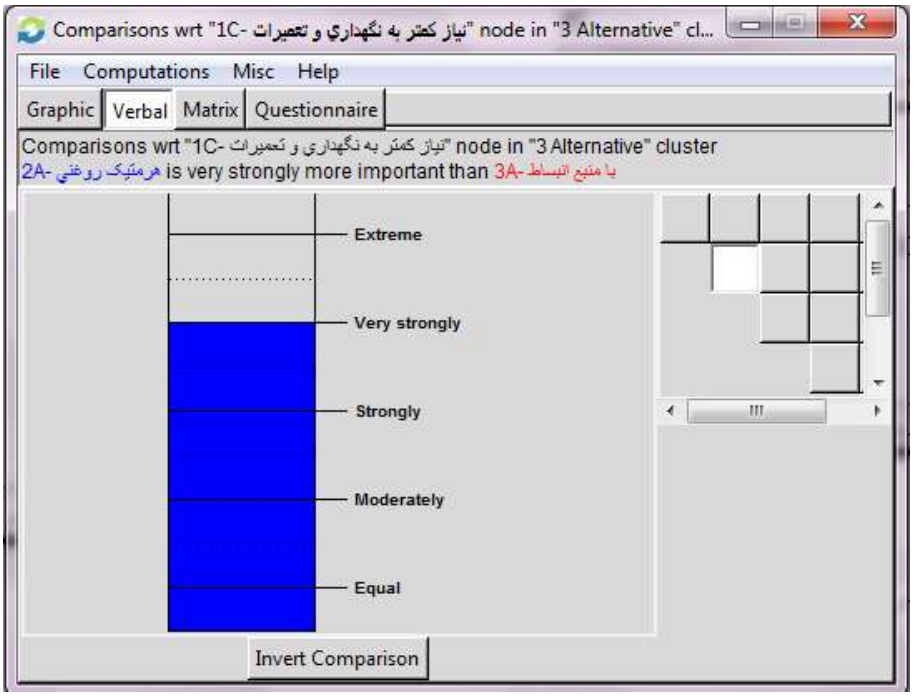
جدول۱–محاسبه وزن نهایی ترانسفورماتورهای ویژه

	C_{10}	C_9	C_8	C_7	C_6	C_5	C_4	C_3	C_2	C_1	
	۰	۰/۰۹۹	۰/۲۳۱	۰/۱۱۳	۰/۰۳٤	۰/۱۱۲	۰/۰۹	۰/۱۳۲	۰/۱٦۱	۰/۰۲٤	وزن
۰/۱۳٦	۰/۰۲۱	۰/۳٤٥	۰/۱۸۹	۰/۰۱۲	۰	۰/۱۸٤	۰/۲۳۳	۰	۰/۰۱۸	۰/۱٤۳	A_1
۰/۱۰۳	۰/۲۹٥	۰/۱۸۲	۰/۱۷٥	۰	۰	۰/۱٦٥	۰/۲۱۷	۰	۰/۰۱۸	۰/۱٥۳	A_2
۰/۰٦۸	۰	۰/۰۷۲	۰/۰۹	۰	۰	۰/۰۳٦	۰	۰	۰/۲۲٤	۰	A_3
۰/٤۷۲	۰/٦۳٦	۰/۳٥۱	۰/۱۸۹	۰/۹۸۷	۱	۰/۳٥٤	۰/۲۷۱	۰/۸٥۹	۰/۳۹	۰/۳۲۷	A_4
۰/۰٦۳	۰/۰٤٥	۰	۰/۱٦٥	۰	۰	۰	۰	۰/۱٤	۰	۰/۲۷۱	A_5
۰/۱٦۱	۰	۰/۰٤۸	۰/۱۸۹	۰	۰	۰/۳٦	۰/۲۸۷	۰	۰/۳٤۸	۰/۱۰۲	A_6

۲-۳- محاسبه وزن الزامات مشتری بااستفاده از نرم افزار Super Decisions

حال فرایند FAHP را با استفاده از نرم افزار انجام می‌دهیم. در نرم افزار- Super Decisions ، اعداد فازی با با استفاده از عبارت های زبانی بیان می گردند. مثلاً در جدول۲ بر اساس معیار نیاز کمتر به نگهداری و تعمیرات، دو ترانسفورماتور هرمتیک روغنی و با منبع انبساط مورد مقایسه قرار گرفته اند.

جدول ۲- انجام مقایسات زوجی ترانس ها بر اساس معیارها مطابق با عبارات زبانی

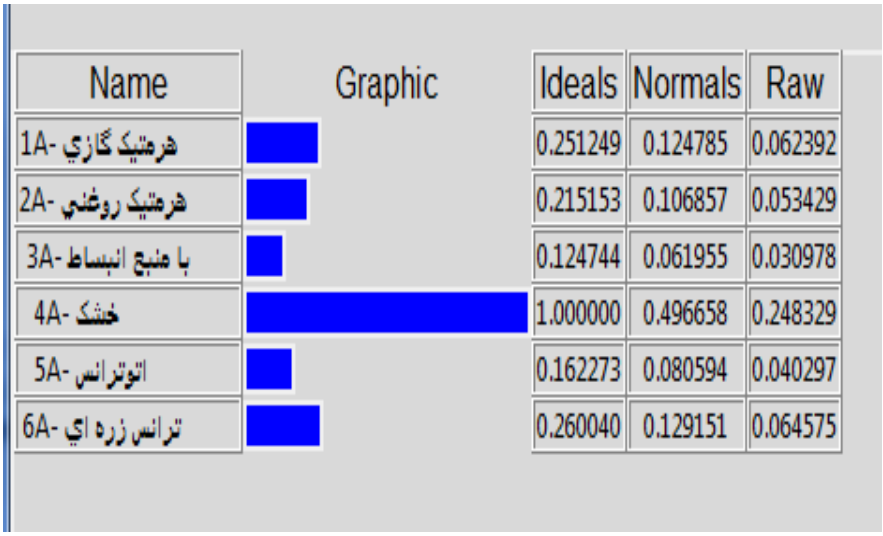


سپس بر اساس عبارات زبانی در مقایسات زوجی، ماتریس مقایسات زوجی تشکیل می گردد.

جدول۳- ماتریس مقایسات زوجی ترانس ها

به همین ترتیب بر اساس کلیه معیارها، ترانسفورماتورها بصورت دو به دو مورد مقایسه قرار می گیرند. همچنین خود معیارها نیز مورد مقایسه قرار می گیرند. در نهایت وزن نهایی ترانسفورماتورها بر اساس جدول۴ بدست می آید.

جدول ۴- محاسبه وزن های نهایی معیارها با استفاده از نرم افزار تصمیم گیری پیشرفته



Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
1A- هرمتیک گازي		0.251249	0.124785	0.062392
2A- هرمتیک روغني		0.215153	0.106857	0.053429
3A- با منبع انبساط		0.124744	0.061955	0.030978
4A- خشک		1.000000	0.496658	0.248329
5A- اتوترانس		0.162273	0.080594	0.040297
6A- ترانس زره اي		0.260040	0.129151	0.064575

پایایی پرسشنامه با استفاده ازنرم افزار Super Decisions در مورد تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی از طریق ضریب سازگاری مورد بررسی قرار می گیرد. در صورتیکه نرخ ناسازگاری، کوچک تر یا مساوی ۰/۱ باشد در مقایسات زوجی، سازگاری وجود دارد و می توان کار را ادامه داد در غیر اینصورت، تصمیم گیرنده باید در مقایسات زوجی تجدید نظر کند. [۶] بنابراین جهت داشتن پایایی می بایست مقدارضریب سازگاری کمتر از ۰/۱ باشد که در مورد همه معیارها صادق بود. همانطور که در جدول ۴

مشاهده می شود وزن نهایی گزینه ها که با نرم افزار محاسبه شده اند (ستون Normals) با یک رقم اعشار با میزان محاسبه شده در جدول ۱ تفاوت دارند. بنابراین به منظور سرعت بیشتر و زمان کمتر در جهت افزایش کارایی استفاده از نرم افزار مطلوب می باشد.

۴-نتیجه گیری و پیشنهادات

در این تحقیق تلاش بر شناسایی الزامات فنی محصول بر اساس الزامات مشتری، و رتبه بندی الزامات مشتری با در نظر گرفتن الزامات فنی مورد نیاز طراحی که می بایست در طراحی ترانسفورماتور پیاده گردند، بوده است. پرسشنامه شناخت موقعیت نوآوری کمک شایانی در شناسایی الزامات فنی کرد. همچنین بکارگیری تکنیک سلسله مراتب فازی، موجب گردید که علاوه بر اینکه مقیاس های اندازه گیری جهت مقایسه الزامات کیفی مشتریان بر اساس الزامات
فنی محصول به زبانی دقیق بیان گردند، با انجام مقایسه زوجی و محاسبه نرخ سازگاری، رتبه بندی این الزامات کیفی نیز با منطق و دقت بالایی صورت پذیرد.

همچنین با مقایسه نتایج رتبه بندی الزامات مشتریان با روش نرم افزاری، اطمینان از بکارگیری روش نرم افزاری به منظور پیاده سازی تکنیک سلسله مراتب فازی بالا رفت.

از پیشنهادات این تحقیق این است که سایر مدل های تصمیم گیری چندمعیاره نیز بکار گرفته شود، و دقت آن ها در نتایج با نرم افزار تصمیم گیری پیشرفته مورد مقایسه قرار گیرد.

در پایان این تحقیق توصیه می گردد، که جهت اجرایی شدن الزامات فنی طراحی محصول، با در نظر گرفتن الزامات مشتریان، تکنیک نوآوری نظام یافته (TRIZ) جهت رفع کردن تناقضات احتمالی طراحی پیاده سازی گردد. با استفاده از این تکنیک می توان به راه حل های نوآورانه در طراحی محصول در کمترین زمان ممکن دست یافت .

منابع

۱- ترنینکو ، جان ، ۱۳۸۰ ، نوآوری نظام یافته (TRIZ) ، ترجمه جعفری ، مصطفی و فهیمی ، امیرحسین و مورعی ، رضا ، انتشارات موسسه فرهنگی رسا ، تهران.

۲-شهبازی ، علیرضا و حجازی ، سید رضا ، ۱۳۹۱ ، کاهش ریسک ، مدیریت ریسک پروژه های نوآوری با بکارگیری ISQ روش TRIZ ، چهارمین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت نوآوری ، ۷ و۸ خرداد ، تهران .

۳-طهماسبی پور ، امین و شهبازی ، صادق ، ۱۳۹۱ ، کاربرد مهندسی خلاقیت (TRIZ) در فرایند طراحی محصول ، چهارمین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت نوآوری ، ۷ و ۸ خرداد ، تهران .

۴-عطائی، محمد ، ۱۳۸۹ ، تصمیم گیری چند معیاره فازی ، انتشارات دانشگاه شاهرود ، شاهرود.

۵-محمدی لرد ، عبدالمحمود، ۱۳۸۸، فرایندهای تحلیل سلسله شبکه‌ای (ANP) و سلسله مراتبی (AHP)، انتشارات البرز فردانش ، چاپ اول ، تهران .

۶- مومنی، منصور، ۱۳۸۹، مباحث نوین تحقیق در عملیات، منصور مومنی، چاپ اول، تهران.

7- Crostak , H and Hackenbroich , I" Investigations in to more exact weightings of customer demands in QFD", The Asian Journal On Quality , Vol 8 , 71 – 80, 2007.

8-Liu , H and Wang , Chi, "An advanced quality function deployment model using fuzzy analytic network process", Applied mathematical modeling , 3333 – 3351, 2010.

9- Olewnik , A and Lewis, K , "Limitation of house of quality to provide quantitative design information ", International Journal of Quality and Reliability Management , Vol 25 , 125 – 146 ,2007.

10- Regazzoni , D and Russo , D, "TRIZ tools to enhance risk management" , Elsevier , 40 – 51, 2011 .
11-Shahin , A and Nikneshan , P, "Integration of CRM and QFD / A novel model for enhancing customer participation in design and delivery", The TQM journal , Vol 20 , 68 – 86, 2008 .

12-Tien , H, "Product design and selection using fuzzy QFD and fuzzy MCDM approaches" , Elsevier, 482 – 496, 2008 .

13-Tzong-Rulee , L and Thiphuong , L, "Using FAHP to determine the Criteria for partner's selection within a green supply chain", Journal of manufacturing technology Management , Vol 23 , 25 – 55, 2012 .

14- Xiafei , L and Yang , W and Ming , Z ," Decision making model based on QFD method for power utility service improvement ', Systems Engineering Procedia , 243 – 251,2012 .