مدیریت صنعتی
دانشکدهٔ مدیریت دانشگاه تهران
دورهٔ ۵، شمارهٔ ۲
پاییز و زمستان ۱۳۹۲
ص. ۱۲۰-۱۰۳

تبیین نقش انتقال تکنولوژی در QFD فازی برای رقابتی‌شدن محصول (مورد مطالعاتی : شرکت ایران ترانسفوری)

حسن فارسیجانی[۱]، محمدعلی ترابنده[۲]

چکیده: امروزه با گسترش رقابت میان شرکت‌ها، ساخت محصول یا خدمت مطابق با الزامات مشتریان، مسئله‌ای مهم تلقی می‌شود. به‌گفتهٔ دیگر، شرکت‌ها می‌بایست شناسایی مطلوبی از نیازمندی‌های مشتریان داشته باشند و بتوانند آنها را در الزامات فنی محصول خود پیاده‌سازی کنند و برای عملی‌کردن الزامات فنی محصول، باید تضادهای میان این الزامات را در کوتاه‌ترین زمان ممکن برطرف کنند. پژوهش حاضر، ابزاری برای طراحی محصول ترانسفورماتور مبتنی بر الزامات مشتری، در شرکت ایران ترانسفوری ارائه می‌دهد. برای این کار، ابتدا از ابزار QFD فازی استفاده شده است. در فرایند ماتریس خانهٔ کیفیت، برای وزن‌دهی به الزامات مشتریان، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی به‌کار رفته و از نرم‌افزار تصمیم‌گیری پیشرفته برای محاسبهٔ پایایی استفاده شده است. در خروجی ماتریس خانهٔ کیفیت، اهمیت الزامات فنی طراحی بر اساس الزامات مشتریان بیان می‌شود، اما بین این الزامات فنی تضادهایی وجود دارد که براساس اهمیت این الزامات، از ابزار TRIZ برای رفع تضادها در کمترین زمان ممکن استفاده شده است و این به معنای انتقال تکنولوژی است.

واژه‌های کلیدی: انتقال تکنولوژی، روش فازی، ماتریس خانهٔ کیفیت، FAHP، QFD، TRIZ.

۱. دانشیار دانشگاه شهیدبهشتی، گروه مدیریت صنعتی، تهران، ایران
۲. کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۱۱/۱۸
تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۲/۰۱/۲۶
نویسندهٔ مسئول مقاله: محمدعلی ترابنده
E-mail: m.a.torabandeh@gmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

پیشگیری از شکست محصول در مرحلهٔ اولیهٔ فرایند طراحی با به‌کارگیری از رویکرد فعالانه و رو به آینده، بسیار مؤثرتر است تا اینکه فقط در برابر شرایط ناسازگار یک اقدام انفعالی و واکنشی داشته باشیم (رگازونی و روسو،۲۰۱۰). همچنین بی‌توجهی به خواسته‌های مشتریان، سبب خارج‌شدن از بازار رقابت می‌شود. بنابراین وجود ابزاری که بتواند با توجه به نیاز مشتریان و نوآوری محصولات، در فضای رقابتی تمرکز داشته باشد، محسوس است. نتیجهٔ این کار افزایش کارایی در طراحی محصول است، چون تناقضات طراحی در مراحل اولیهٔ طراحی شناسایی می‌شوند و به‌دلیل صرفه‌جویی در زمان، محصول در بازار رقابت باقی خواهد ماند.

ترانسفورماتور محصولی است که هم در مراکز خدماتی، مثل بیمارستان‌ها و هم در مراکز تولیدی به‌کار می‌رود. هریک از مشتریان خواستار مطابقت این محصول با الزامات کیفی خود و همچنین ویژگی‌های محیطی خاص مرکز فعالیتشان هستند. برای مثال در بیمارستان، ایمنی بالا از خطر آتش‌سوزی و در یک شرکت نفتی، قابلیت کار ترانسفورماتور در شرایط محیطی آلوده، برای سفارش‌دهندگان اهمیت بیشتری دارد. بنابراین نیازهای ویژهٔ مشتریان، تولیدکنندگان را ملزم می‌کنند تا بسته به شرایط سفارش‌دهنده، تغییراتی در پارامترهای فنی این محصولات ایجاد کنند. اما تغییر در هریک از پارامترهای فنی، سبب تأثیرگذاری و گاهی تضعیف پارامترهای فنی دیگر می‌شود. از این روی می‌بایست تکنیکی به‌کار برد که بتوان این‌گونه تضادهای طراحی را با حفظ کارایی برای باقی‌ماندن در فضای رقابتی برطرف کرد. این تکنیک نیازمند آگاهی کامل به علم مکانیک طراحی محصول دارد تا مناسب‌ترین راه حل را در کوتاه‌ترین زمان ممکن ارائه دهد و در واقع الزامات فنی اولویت‌بندی‌شدهٔ محصول را بر اساس اهمیت نیازهای سفارش‌دهندگان با از بین بردن تناقضات، عملی کند. در این پژوهش برای اولویت‌بندی الزامات فنی طراحی، از ابزار گسترش عملکرد کیفیت (QFD)[1] و به‌منظور ارتقای دقت، از منطق فازی استفاده می‌شود. همچنین برای برطرف‌کردن تضادهای پارامترهای فنی طراحی، تکنیک نوآوری نظام‌یافته (TRIZ) به‌کاربرده شده است. بنابراین یک انتقال تکنولوژی بین علوم پایه و علوم مدیریت صورت می‌گیرد.

هدف کلی از انجام این پژوهش، افزایش کارایی در طراحی محصول (ترانسفورماتورهای ویژه)، در شرکت ایران ترانسفوری است. برای دست‌یابی به هدف کلی پژوهش، نخست باید اهداف فرعی را مد نظر قرار داد؛ یعنی شناسایی الزامات سفارشیِ مشتریان و اولویت‌بندی الزامات

1. Quality Function Deployment

Archive of SID

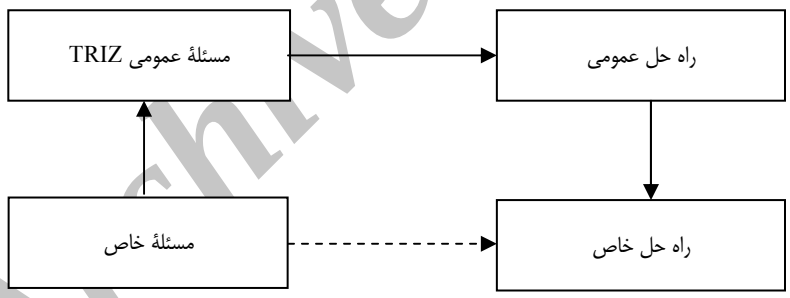
www.SID.ir

فنی بر اساس موارد سفارش‌شده در طراحی محصول، به جای ایجاد مصالحه رفع تضادهای موجود در میان الزامات طراحی یا اجزای مختلف سیستم هنگام طراحی محصول.

بیان مسئله

QFD تنها مشخص می‌کند که چه چیز و چه کاری باید انجام شود، اما چگونگی انجام کار را با در نظر گرفتن تناقضات طراحی تعیین نمی‌کند. بنابراین نیاز به ابزاری وجود دارد که به جای مصالحه میان تضادها و تناقض‌ها، با آنها مقابله کند. ابزاری که به‌کار گرفته می‌شود باید به‌طور وسیعی بر نوآوری محصولات تمرکز داشته باشد. ابزار TRIZ چگونگی انجام کار را با مقابله بر تناقض‌ها نشان می‌دهد. همچنین با توجه به اینکه نیازهای انسانی، افراد را وادار به خرید محصولات می‌کند، درنتیجه برای منحصربه‌فرد بودن، شرکت‌ها باید نیازهای افراد را به زبان TRIZ ترجمه کنند (پلت و هی، ۲۰۱۱).

TRIZدر فرایندهای نوآورانه، روش سعی و خطا را نمی‌پذیرد و همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، تلاش می‌کند با تبدیل مسائل خاص به مسائل کلی و عمومی، زمان لازم را برای ابداع و نوآوری کاهش دهد (ترنینکو، ۲۰۰۱: ۲۲).



شکل ۱. نمودار فرایند تبدیل مسئلهٔ خاص به مسئلهٔ عمومی

منبع: یاکواینگ و دگشنگ، ۲۰۱۱

برای اینکه خروجی‌های گسترش عملکرد کیفیت که رتبه‌بندی الزامات فنی محصول هستند، توانایی پیاده‌سازی داشته باشند، باید تناقضات احتمالی موجود میان آنها و محیطشان برطرف شود که البته برای پایداری در بازار رقابتی، این کار باید در کمترین زمان ممکن انجام گیرد. بنابراین در اینجا از ابزار تکنیکی جدید و نظام‌یافته‌ای استفاده می‌شود که همزمان هر دوی این مسائل را حل می‌کند.

Archive of SID

www.SID.ir

برای دست‌یابی به هدف کلی پژوهش، نخست باید اهداف فرعی شامل، شناسایی الزامات سفارشیِ مشتریان و اولویت‌بندی الزامات فنی بر اساس موارد سفارش‌شده در طراحی محصول، به جای ایجاد مصالحه رفع تضادهای موجود در میان الزامات طراحی یا اجزای مختلف سیستم هنگام طراحی محصول را مد نظر قرار داد. بنابراین سؤال‌های پژوهش این‌گونه مطرح می‌شوند:

۱. اولویت‌بندی نیازهای مختلف مشتریان در طراحی محصول چگونه است؟

۲. اولویت‌بندی الزامات طراحی محصول با در نظرگرفتن الزامات مشتریان چگونه است؟

۳. چگونه می‌توان تعارضات به‌وجودآمده در سیستم طراحی محصول را با استفاده از TRIZ به‌طور نسبی شناسایی کرد؟

۴. چگونه می‌توان تعارضات به‌وجودآمده در سیستم برای طراحی محصول را با استفاده از TRIZ به‌طور نسبی برطرف کرد؟

ادبیات پژوهش

گسترش عملکرد کیفیت

گسترش عملکرد کیفیت (QFD) این‌گونه تعریف شده است: چگونه ما کیفیتی را درک کنیم که مشتریانمان بر ایجاد آن در یک مسیر پویا توافق دارند (شاهین و نیک‌نشان، ۲۰۰۸).

QFD همچنین با نام «ماتریس خانهٔ کیفیت» شناخته می‌شود؛ زیرا ماتریس‌هایی که در QFD تناسب و هماهنگی را به‌وجود می‌آورند، به‌نحوی است که تشکیل یک نمودار به شکل خانه را می‌دهد (شاهین و نیک‌نشان، ۲۰۰۸).

سمت چپ ماتریس خانهٔ کیفیت، بیانگر ورودی الزامات مشتری است (چه چیزهایی را سفارش می‌دهد). سمت راست آن، بیانگر ارزیابی رقابتی گزینه‌های کیفی از دید مشتریان است. سقف آن، الزامات فنی مورد نظر برای ارضای الزامات کیفی مشتریان را نشان می‌دهد و ارتباط دوبه‌دوی آنها را مشخص می‌کند. داخل ماتریس روابط متقابل و درجهٔ ارتباط بین الزامات کیفی مشتریان و الزامات فنی را نشان می‌دهد و قسمت پایینی ماتریس، خروجی آن، یعنی اهمیت الزامات فنی در طراحی محصول را مشخص می‌کند (زیافی، یانگ و مینگ، ۲۰۱۲).

اولنیک و لویس (۲۰۰۷)، در حجم‌های آماری تعریف‌شده برای نظرسنجی متخصصان، به‌منظور تکمیل بخش‌های مختلف ماتریس خانهٔ کیفیت، انواع مختلف مقیاس‌های قطعی و غیرفازی را در پُرکردن پرسش‌نامه‌ها به‌کار برده و آنها را مقایسه کردند. نتایج نشان داد استفاده از گروه مقیاس‌های متفاوت، نتایجی متفاوت در خروجی ماتریس خواهند داشت که این بیانگر ناکارآمد بودن مقیاس‌های غیرفازی در تصمیم‌گیری بودند؛ زیرا این‌گونه مقیاس‌ها نمی‌توانند

Archive of SID

www.SID.ir

همانند مقیاس فازی زبان کیفی پُرکنندگان پرسش‌نامه‌ها را به خوبی به اعداد کمی تبدیل کنند. بنابراین در این پژوهش برای افزایش دقت در ترجمهٔ نیاز کیفی مشتریان، از اعداد فازی استفاده شده است.

کراستاک (۲۰۰۷) در مقالهٔ خود تشریح می‌کند که روش تحلیل سلسله‌مراتبی از ابزارهای بسیار مفیدی است که برای تعیین وزن نسبی الزامات در ماتریس خانهٔ کیفیت به‌کار می‌رود. در QFD به‌روش سنتی، مقیاس‌ها به‌صورت اعداد مطلق بیان می‌شوند، اما در روش تحلیل سلسله‌مراتبی از جداولی استفاده می‌شود که الزامات را به‌صورت دوبه‌دو مورد مقایسه قرار می‌دهد و با اختصاص دادن وزنی (عددی بین صفر و یک) شدت رابطه را بیان می‌کند. این عمل سبب ارزیابی دقیق‌تری می‌شود. همچنین در روش تحلیل سلسله‌مراتبی، تمامی عوامل مطرح‌شدهٔ مسئله تعریف می‌شوند، سپس بر اساس شباهتی که به یکدیگر دارند، به‌صورت سلسله‌مراتبی تقسیم می‌شوند. بنابراین در روش تحلیل سلسله‌مراتبی، برخلاف روش سنتی، الزامات اولویت‌بندی می‌شوند و این کار موجب می‌شود الزاماتی که از نظر خصوصیات و ابعاد در یک سطح نیستند، در یک طبقه قرار نگیرند که این خود نشان‌دهندهٔ دقت بالای روش تحلیل سلسله‌مراتبی است.

مفهوم TRIZ

جنریچ آلتشولر با فرایند نوآوری نظام‌یافتهٔ خود، جان تازه‌ای به دانش نوآوری و اکتشاف بخشید. نوآوری نظام‌یافته، امروزه با نام TRIZ شناخته می‌شود. واژهٔ TRIZ سرواژهٔ عبارت روسی است که به‌صورت تیریز تلفظ می‌شود و «نظریهٔ حل ابتکاری مسئله»[1] ترجمهٔ انگلیسی آن است (ترنینکو، ۲۰۰۱ : ۲۶).

امروزه تصمیم‌گیری در مورد طراحی محصول از عوامل مؤثر برای پایداری در فضای رقابتی است، اما الزامات فنی محصول بدون در نظرگرفتن الزامات مشتری، سبب کوتاه‌شدن عمر سازمان‌ها می‌شود. بنابراین می‌بایست ابزاری را به‌کار برد که بین این دو الزام ارتباط برقرار کرده و بتواند درخواست مشتری را به الزامات فنی ترجمه کند. همچنین گاهی بین الزاماتی که در طراحی می‌بایست رعایت شود، تضاد به‌وجود می‌آید، یا روندهایی مبتنی بر روش‌های تکراری گذشته، بدون درنظر گرفتن تغییرات در محیط سیستم، در طراحی محصول لحاظ می‌شوند. بنابراین باید رویکردی مناسب نیز برای رفع این‌گونه مشکلات و تناقض‌ها در نظر گرفت.

1. Theory of Inventive Problem Solving (TIPS)

Archive of SID

www.SID.ir

آلتشولر دریافت بسیار اتفاق افتاده که یک راه‌حل مشابه، بارها و بارها و با فاصلهٔ زمانی طولانی به‌کار گرفته شده است. بنابراین اگر بتوان راه حل‌های پایه‌ای را در دسترس نوآوران قرار داد، این فاصلهٔ زمانی کاهش خواهد یافت. درنتیجه با مؤثر شدن فرایند نوآورانه، فاصلهٔ زمانی بین پیشرفت‌ها نیز کاهش‌یافته و مرز بین فناوری‌های مختلف شکسته خواهد شد (ترنینکو، ۲۰۰۱: ۵۱).

فرسنر در پژوهشی کاربرد دانش TRIZ را در پروژه‌های تولید پاک بررسی کرد و نشان داد که قابلیت مهمی که ابزار TRIZ ارائه می‌کند، این است که برای دست‌یابی به راه‌حل‌های نوآورانه، دانش عمومی در زمینهٔ مورد نظر کافی است؛ زیرا این ابزار، راه‌حل‌هایی که به آگاهی از سطوح پیچیده و تخصصی دانش نیاز دارند را برای رفع تضادها، به راه‌حل‌هایی در سطح عمومی در قالب چهل اصل و به‌شکل ضابطه تبدیل می‌کند (فرسنر، ۲۰۱۰).

در پژوهشی وانگ و چن (۲۰۱۰)، تلاش کردند تا به رویکرد شش سیگما در صنعت خدمات، کاربرد گسترده‌تری دهند و روش TRIZ را با این رویکرد برای افزایش کاربرد روش‌های سنتی شش سیگما ترکیب کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد از ترکیب این دو ابزار می‌توان در بهبود خدمات بانکی استفاده کرد.

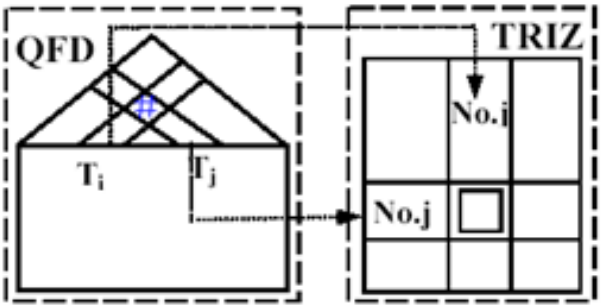
ارتباط QFD و TRIZ

همان‌طور که توضیح داده شد، در فرایند QFD خروجی ماتریس خانهٔ کیفیت (رتبه‌بندی الزامات فنی)، پایان کار نیست. سقف ماتریس خانهٔ کیفیت بیانگر ارتباطات زوجی میان الزامات فنی است، حال اینکه برآورده‌کردن تمامی الزامات فنی با هم شدنی نیست. با توجه به رتبه‌بندی نهایی این الزامات که از ماتریس خانهٔ کیفیت به‌دست می‌آید، بهبود در یک پارامتر فنی، سبب تضعیف در پارامتر دیگر می‌شود که به آن تضاد یا تعارض[1] می‌گویند. حال با استفاده از ابزار TRIZ برای رفع چنین مشکلاتی، پارامترهای فنی (۳۹ پارامتر) مطرح و ترجمه می‌شوند و در ماتریسی به نام ماتریس تناقضات[2] وارد می‌شوند که در قسمت سطر آن پارامتر بهبود شونده و در قسمت ستون آن پارامتر تضعیف شونده قرار دارد. حال به‌منظور رفع تضاد به‌وجودآمده، از چهل اصلی استفاده می‌شود که برای رفع تضادها استخراج شده است (لو، لیائو، ژیانگ و لی، ۲۰۰۶). شکل ۲ این ارتباط را به خوبی نشان می‌دهد.

1. Conflict
2. Contradiction Matrix

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲. ارتباط میان QFD و TRIZ

منبع: لو و لیائو، ۲۰۱۱

کیم و یون (۲۰۱۲) نیز با بررسی ۵۰۰ کارخانهٔ خودروسازی در جهان، از ترکیب دو ابزار QFD و TRIZ برای حل تضادهایی استفاده کردند که بین اجزای خدمت و تولید وجود داشت. نتایج پژوهش آنها نشان داد که به‌کارگیری چهل اصل TRIZ، می‌تواند به نحوی مطلوب تضادهای بین پارامترهای خدمت و تولید را برطرف کند.

در پژوهشی دیگر، ژنگ از مدل ترکیبی QFD و TRIZ استفاده کرد. در این روش جدید که بر اساس ماتریس خانهٔ کیفیت از QFD بود، از ابزار TRIZ برای حل مشکلات محصولات تولیدی کم‌مصرف و از روش تحلیل پوششی داده‌ها، برای انتخاب راه‌حل‌های پیشنهادشدهٔ ابزار TRIZ استفاده شده است (ژنگ، ۲۰۱۰).

روش پژوهش

پژوهش حاضر را می‌توان در گروه پژوهش‌های کاربردی قرار داد؛ زیرا با کاربردی‌کردن اصولی که از مطالعات علوم پایه‌ای چون فیزیک به‌دست‌آمده، در تصمیم‌گیری‌های مدیریت کمک می‌کند تا کارایی در طراحی محصول افزایش یابد. درواقع می‌توان گفت در این پژوهش نوعی انتقال تکنولوژی صورت می‌گیرد؛ زیرا با برقراری ارتباط میان علوم پایه و علوم مدیریت، دانش موجود در علوم پایه، در علم مدیریت به‌کار گرفته می‌شود. همچنین از آنجاکه ترانسفورماتور را در چارچوب یک سیستم مورد بررسی قرار می‌دهد و هدف افزایش کارایی در طراحی آن است، مطالعهٔ موردی به‌شمار می‌رود. با توجه به شمار اندک جامعهٔ آماری که صاحب‌نظران و متخصصان در طراحی ترانسفورماتور ویژه هستند، نمونه‌گیری در این مطالعه انجام نگرفته است، ضمن اینکه برای شناسایی الزامات مشتری، از نظر خبرگان بخش فروش و برای شناسایی الزامات طراحی، از نظر خبرگان بخش مهندسی استفاده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

کارشناسان عقیده دارند که اگر مسئله به‌درستی تعریف و بیان شده باشد، نیمی از مراحل خود را طی کرده است. به همین دلیل برای پیاده‌سازی روش TRIZ، ابتدا باید مسئله به‌صورت صحیح و دقیق تعریف شود؛ یعنی مسئلهٔ مورد نظر به‌دقت بررسی و ابعاد مختلف آن شناخته شود. بنابراین برای خلاقیت در حل مسئله، باید اطلاعات پیرامون مسئله را به خوبی درک کرد. برای این کار، پس از بررسی مسئله از دیدگاه‌های مختلف، باید کلیهٔ اطلاعات مربوط به مسئله مستندسازی شوند. پرسش‌نامهٔ موقعیت‌های نوآوری (ISQ)[1]، محققان را در پیشبرد این فعالیت‌ها یاری می‌دهد (ترنینکو، ۲۰۰۱: ۵۱). از آنجایی که در فرایند طراحی محصول، «تعریف مسئله» مستلزم تعریف مشخصهٔ کامل محصولی است که باید طراحی شود و این مشخصه شامل ویژگی‌های فیزیکی، عملکردی، هزینه، کیفیت و کارایی عملیاتی است؛ لذا با توجه به ماهیت ISQ، این پرسش‌نامه می‌تواند اثربخش باشد (طهماسبی‌پور و شهبازی، ۱۳۹۱) که در پژوهش پیش رو با نام پرسش‌نامهٔ اول از آن استفاده شده است.

ISQ همچنین به کاربران امکان می‌دهد به ساختاری برای فرمول‌بندی جدید دست یابند. در بسیاری از مسائل کوچکتر جریان ساده‌تری از تعریف یک مسئله مورد نیاز است. بخش‌های پرسش‌نامه یک تصویر کامل را به‌وسیلهٔ پرس‌وجو دربارهٔ محیط مسئله، سابقه، منابع، آلودگی، پیامدهای مطلوب و آثار مضر ارائه می‌دهند (شهبازی و حجازی، ۱۳۹۱). با استفاده از پرسش‌نامهٔ اول، اجزای فنی اصلی ترانسفورماتور، الزامات مورد نیاز مشتریان و همچنین سایر سیستم‌های مشابه با سیستم فعلی (ترانسفورماتور نرمال) که ترانسفورماتورهای ویژه هستند، شناسایی شدند و نتایج آن در ماتریس خانهٔ کیفیت (شکل ۳) مشاهده می‌شود.

پرسش‌نامهٔ دوم فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) نام دارد. در روش AHP مقایسات به‌صورت خطی و یک‌طرفه انجام می‌گیرد. در این پژوهش با توجه به ویژگی‌های مطلوب مشتری، ترانسفورماتورهای ویژه که از یک سنخ هستند، به‌صورت زوجی مورد مقایسه قرار می‌گیرند. چنانچه قرار باشد این مقایسات دوطرفه باشند (ANP)، بسته به نوع ترانسفورماتور نیز ویژگی‌های مطلوب مشتریان بایستی مقایسه شوند، اما با توجه به اینکه این ویژگی‌ها از یک سنخ نیستند، این امر منطقی نیست. هدف این پرسش‌نامه وزن‌دهی به ترانسفورماتورهای شناسایی‌شدهٔ ویژه از پرسش‌نامهٔ اول است. در واقع وزن‌های استخراج‌شده، وزن‌های الزامات کیفی مشتریان از دیدگاه خبرگان سازمان است. بدین ترتیب ترانسفورماتورهای ویژه بر اساس معیارهای کیفی مشتریان، در قالب فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، دوبه‌دو مورد مقایسه قرار می‌گیرند.

1. Innovation Situation Questionnaire

Archive of SID

www.SID.ir

در پرسش‌نامهٔ سوم، هدف مشخص‌کردن میزان رابطهٔ دوبه‌دو میان پارامترهای فنی در طراحی ترانسفورماتورهای ویژه است. در این پرسش‌نامه، ارتباط دوبه‌دوی هریک از این پارامترها با استفاده از مقیاس‌های فازی مورد بررسی قرار می‌گیرد، ضمن اینکه برای آگاهی از جهت ارتباط الزامات فنی، از ISQ استفاده شده است؛ زیرا پارامترهای مهم فنی، محدودیت‌ها و جهت ارتباط، از جمله مسائلی هستند که در ISQ به‌سادگی شناسایی می‌شوند. با توجه به مواردی که بیان شد، پرسش‌نامهٔ سوم این پژوهش در مورد سیستم ترانسفورماتور (مورد مطالعه) است. محدودیت‌های این نوع ترانسفورماتور، مواردی است که به‌صورت الزامات کیفی مشتریان شناسایی می‌شوند و چون سیستم امکان ارضای همهٔ آنها را ندارد، بنابراین سیستم‌های مشابه با این سیستم شناسایی می‌شوند که ترانسفورماتورهای ویژه هستند. هر یک از این ترانسفورماتورها برای رفع برخی محدودیت‌های ترانسفورماتور معمولی که آن را نرمال می‌نامند، طراحی می‌شوند.

هدف از پرسش‌نامهٔ چهارم، تعیین میزان تأثیر هریک از انواع ترانسفورماتورهای ویژه، بر تغییر پارامترهای طراحی نسبت به ترانسفورماتورهای نرمال است.

در این پژوهش همان‌طور که بیان شد با استفاده از پرسش‌نامهٔ دوم، به وزن‌دهی ترانسفورماتورهای ویژه بر اساس الزامات کیفی مشتریان از دید خبرگان پرداخته شده است. برای ورود اطلاعات به ماتریس خانهٔ کیفیت، نام ترانسفورماتورهای ویژه در سمت چپ ماتریس و وزن‌های محاسبه‌شده در سمت راست ماتریس قرار می‌گیرند. برای وزن‌دهی الزامات کیفی، از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP)[1] استفاده شده است.

یک عدد فازی مثلثی به‌صورت $\tilde{A} = (a, b, c)$ ، به‌طوری که $a \leqslant b \leqslant c$ از طریق تابع عضویت مثلثی به‌دست می‌آید و در مقایسات از اهمیت دقیق مساوی (۱, ۱ , ۱) تا اهمیت مطلق (۹ , ۷ , ۷) را دربرمی‌گیرد (عطایی، ۱۳۸۹: ۲۳-۲۰). برای وزن‌دهی به الزامات مشتریان، مراحل زیر دنبال می‌شوند (عطایی، ۱۳۸۹: ۲۳-۲۰):

مرحلهٔ اول) ایجاد ساختار سلسله‌مراتبی: استخراج انواع الزامات کیفی مشتریان با استفاده از پرسش‌نامه‌های تشریحی ISQ صورت گرفته است. بنابراین ساختار سلسله‌مراتبی بر اساس ترتیب سطوح به‌شرح زیر است:

سطح ۱: هدف (انتخاب بهترین نوع ترانسفورماتور)؛

سطح ۲: الزامات کیفی مشتریان 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

1. Fuzzy Analytical Hierarchical Process

Archive of SID

www.SID.ir

خطر آتش‌سوزی، قابلیت کار در شرایط محیطی آلوده، زمان تدارک ترانسفورماتور برای ارسال به مشتری، نوسان‌های ولتاژ که در جدول با حروف C_1 تا C_1. نمایش داده شده است.

سطح ۳: گزینه‌ها که شامل شش مورد است: ترانسفورماتورهای هرمتیک گازی، هرمتیک روغنی، با منبع انبساط، خشک، اتوترانس و ترانس زره‌ای که در جداول به‌ترتیب با حروف A_1 تا A_6 نام‌گذاری شده‌اند.

مرحلهٔ دوم) تعریف اعداد فازی برای انجام مقایسه‌های زوجی

مرحلهٔ سوم) تشکیل ماتریس مقایسهٔ زوجی با به‌کارگیری اعداد فازی

در این قسمت، ماتریس مقایسهٔ زوجی گزینه‌ها نسبت به معیارهای کیفی انجام می‌گیرد. ماتریس مقایسهٔ زوجی به‌شرح رابطهٔ ۱ خواهد بود.

$$\widetilde{A}=\begin{bmatrix} 1\tilde{a}_{12}\dots\tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21}\,1\,\dots\tilde{a}_{2n} \\ \vdots\vdots\ddots\vdots \\ \tilde{a}_{n1}\tilde{a}_{n2}\dots\ 1 \end{bmatrix}$$ رابطهٔ ۱)

که این ماتریس حاوی اعداد فازی زیر است:

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

مرحلهٔ چهارم) محاسبهٔ S_i برای هریک از سطرهای ماتریس مقایسهٔ زوجی. S_i نیز که خود یک عدد فازی مثلثی است، از رابطهٔ ۲ به‌دست می‌آید.

$$S_i=\sum_{j=1}^{m} M_{9i}^{j}\otimes\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{9i}^{j}\right]^{-1}$$ رابطهٔ ۲)

که دراین رابطه؛ i: بیانگر شمارهٔ سطر و j بیانگر شماره‌ستون است. M_{9i}^{j}: اعداد فازی مثلثی ماتریس‌های مقایسهٔ زوجی هستند.

مقادیر $\sum_{j=1}^{m} M_{9i}^{j}$، $\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{9i}^{j}$ و $\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{9i}^{j}\right]^{-1}$ را می‌توان به‌ترتیب با استفاده از روابط ۳ تا ۵ محاسبه کرد.

$$\sum_{j=1}^{m} M_{9i}^{j}=\left(\sum_{j=1}^{m} l,\sum_{j=1}^{m} m,\sum_{j=1}^{m} u_j\right)$$ رابطهٔ ۳)

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{9i}^{j}=\left(\sum_{i=1}^{n} l_i,\sum_{i=1}^{n} m_i,\sum_{i=1}^{n} u_i\right)$$ رابطهٔ ۴)

Archive of SID

www.SID.ir

$$\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{9i}^{j}\right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} l_i}\right)$$ رابطهٔ ۵)

در روابط بالا؛ l_i، m_i و u_i، به‌ترتیب مؤلفه‌های اول تا سوم اعداد فازی هستند.

مرحلهٔ پنجم) محاسبهٔ درجه بزرگی S_iها نسبت به همدیگر.

به‌طور 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 به‌صورت رابطهٔ ۶ تعریف می‌شود.

$$V(M_2 \geqslant M_1)=\mu_{M_2}(d)=\begin{cases}1 \text{ if } m_2 \geqslant m_1\\ 0 \text{ if } l_1 \geqslant u_2\\ \dfrac{l_1-u_2}{(m_2-u_2)-(m_1-l_1)} \text{ Otherwise}\end{cases}$$ رابطهٔ ۶)

از سویی دیگر، میزان بزرگی یک عدد فازی مثلثی از K عدد فازی مثلثی دیگر، از رابطهٔ ۷ محاسبه می‌شود.

$$V(M \geqslant M_1, M_2, \ldots M_k)=V[(M \geqslant M_1)\text{and}(M \geqslant M_2)\text{and}\ldots\text{and}\ (M \geqslant M_k)] =$$ رابطهٔ ۷)

مرحلهٔ ششم) محاسبهٔ وزن معیارها و گزینه‌ها در ماتریس‌های مقایسهٔ زوجی (رابطهٔ ۸).

$$\acute{d}(A_i)=\text{Min } V(S_i \geqslant S_k)\ k=1,2,\ldots,n,\ k\neq i$$ رابطهٔ ۸)

بنابراین بردار وزن نرمالیزه نشده به‌صورت رابطهٔ ۹ خواهد بود.

$$\acute{W}=(\acute{d}(A_1),\acute{d}(A_2),\ldots,\acute{d}(A_n))^T A_i (i=1,2,\ldots,n)$$ رابطهٔ ۹)

مرحلهٔ هفتم) محاسبهٔ بردار وزن نهایی: برای محاسبهٔ بردار وزن نهایی، باید بردار وزن محاسبه‌شده در مرحلهٔ قبل را نرمالیزه کرد (رابطهٔ ۱۰).

$$W=(d(A_1),d(A_2),\ldots,d(A_n))^T$$ رابطهٔ ۱۰)

پس از محاسبهٔ بردار وزن نهایی، به‌منزلهٔ وزن نهایی الزامات مشتریان وارد ماتریس خانهٔ کیفیت می‌شود.

در سقف ماتریس خانهٔ کیفیت از اعداد فازی محاسبه‌شده در پرسش‌نامهٔ سوم استفاده می‌شود که برای سهولت در محاسبات، دیفازی می‌شوند.

Archive of SID

www.SID.ir

در بدنهٔ ماتریس خانهٔ کیفیت از اعداد فازی پرسش‌نامهٔ چهارم استفاده می‌شود که این اعداد نیز برای سهولت در محاسبات دیفازی می‌شوند. وزن‌های خروجی ماتریس خانهٔ کیفیت الزامات طراحی بر اساس اهمیت هستند.

در نهایت با استفاده از چهل اصل TRIZ، تناقضاتی که میان پارامترهای طراحی و محیطشان وجود دارند، شناسایی‌شده و برطرف می‌شوند. برای این کار از جداول ماتریس تناقضات استفاده می‌شود.

پایایی پرسش‌نامه با استفاده از نرم‌افزار Super Decisions در مورد تجزیه‌وتحلیل سلسله‌مراتبی و از طریق ضریب سازگاری مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این پژوهش از روش ضریب آلفای کرونباخ استفاده نشده است؛ زیرا این ضریب برای محاسبهٔ پایایی در مطالعات رفتارشناسی استفاده می‌شود؛ در حالی‌که پژوهش حاضر به مطالعهٔ فنی دربارهٔ ویژگی‌های ترانسفورماتورها پرداخته است. برای داشتن پایایی می‌بایست مقدار ضریب سازگاری کمتر از ۰/۱ باشد. ضریب سازگاری هریک از ماتریس‌های مقایسهٔ زوجی به‌شرح جدول ۱ است.

جدول ۱. ضریب سازگاری معیارها

ماتریس معیار	نرخ سازگاری
مقایسه بین خود معیارها	۰/۰۹
نیاز کمتر به نگهداری و تعمیرات	۰/۰۵
حجم کمتر	۰/۰۷
طول عمر بیشتر	۰/۰۷
وزن کمتر	۰/۰۸
قیمت کمتر	۰/۰۶
ایمنی ترانسفورماتور از خطر سوختگی و از کار افتادگی	۰/۰۷
ایمنی محیط ترانسفورماتور از خطر آتش‌سوزی	۰/۰۱
قابلیت کار در شرایط محیطی آلوده	۰/۰۴
زمان تدارک کمتر جهت ارسال به مشتری	۰/۰۴
نوسان‌های کمتر ولتاژ	۰/۰۶

همان‌طور که مشاهده شد، ضریب سازگاری برای همهٔ پارامترها کمتر از ۰/۱ است. بنابراین تحقیق حاضر از پایایی برخوردار است. در مورد پرسش‌نامه‌های دیگر با توجه به اینکه ماهیت فنی دارند، نه رفتاری و همچنین مقایسهٔ زوجی بین آنها مطرح نمی‌شود، پایایی معنا ندارد.

یافته‌های پژوهش

نتایج عملیات FAHP به‌صورت جدول ۲ بیان می‌شوند.

Archive of SID

www.SID.ir

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

جدول۲. محاسبهٔ وزن نهایی ترانسفورماتورهای ویژه

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	جمع امتیاز
وزن	۰/۰۲۴	۰/۱۶۱	۰/۱۳۲	۰/۰۹	۰/۱۱۲	۰/۰۳۴	۰/۱۱۳	۰/۲۳۱	۰/۰۹۹	۰	
A_1	۰/۱۴۳	۰/۰۱۸	۰	۰/۲۲۳	۰/۱۸۴	۰	۰/۰۱۲	۰/۱۸۹	۰/۳۴۵	۰/۰۲۱	۰/۱۲۶
A_2	۰/۱۵۳	۰/۰۱۸	۰	۰/۲۱۷	۰/۱۶۵	۰	۰	۰/۱۷۵	۰/۱۸۲	۰/۲۹۵	۰/۱۰۳
A_3	۰	۰/۲۲۴	۰	۰	۰/۰۳۶	۰	۰	۰/۰۹	۰/۰۷۲	۰	۰/۰۶۸
A_4	۰/۳۲۷	۰/۳۹	۰/۸۵۹	۰/۲۷۱	۰/۳۵۴	۱	۰/۹۸۷	۰/۱۸۹	۰/۳۵۱	۰/۶۳۶	۰/۴۷۲
A_5	۰/۲۷۱	۰	۰/۱۴	۰	۰	۰	۰	۰/۱۶۵	۰	۰/۰۴۵	۰/۰۶۳
A_6	۰/۱۰۲	۰/۳۴۸	۰	۰/۲۸۷	۰/۲۶	۰	۰	۰/۱۸۹	۰/۰۴۸	۰	۰/۱۶۱

با استفاده از پرسش‌نامه‌های سوم و چهارم، ارتباط دوبه‌دوی الزامات فنی و همچنین میزان تأثیر هریک از انواع ترانسفورماتورهای ویژه بر تغییر الزامات فنی شناسایی شد که نتایج نظرسنجی‌ها در ماتریس خانهٔ کیفیت آورده می‌شود. در ادامه، اعداد فازی درون ماتریس خانهٔ کیفیت از طریق رابطهٔ ۱۱ دیفازی می‌شوند.

$$(a+4b+c)/6$$ رابطهٔ ۱۱)

وزن نهایی الزامات با استفاده از نرم‌افزار Super Decisions نیز به‌دست آمد و ملاحظه شد که وزن‌های محاسبه‌شده با نرم‌افزار و اعداد جدول ۲، تا یک رقم اعشار یکسان هستند. بنابراین تصمیم گرفته شد که اعداد محاسبه‌شده با نرم‌افزار، به‌دلیل دقت بالا در ادامهٔ عملیات محاسباتی به‌کار گرفته شوند.

در ماتریس، W_i^* اهمیت نسبی ترانسفورماتورهای ویژه نامیده می‌شود که براساس الزامات مشتریان و به‌کمک نرم‌افزار محاسبه شده است، دو متغیر RI_j و RI_j^* به‌صورت رابطهٔ ۱۲ و ۱۳ تعریف می‌شوند (خادمی زارع و زارعی، ۲۰۱۰).

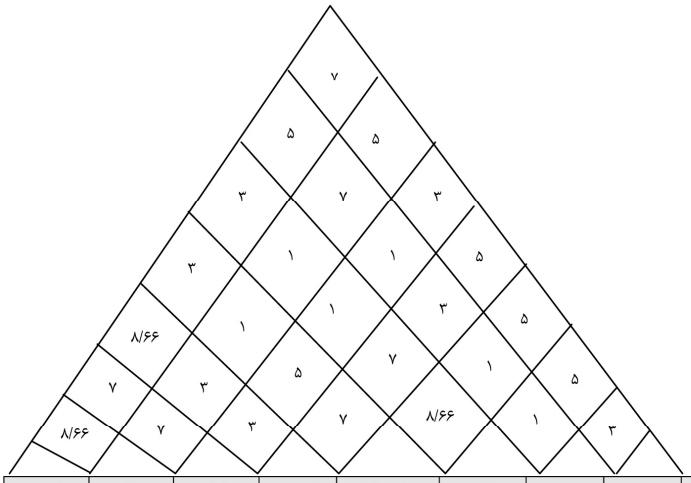
$$RI_j=\sum_{i=1}^{n} W_i^* \times R_{ij}$$ رابطهٔ ۱۲)

$$RI_j^*=RI_j+\sum_{k=j} T_{kj} \times RI_k$$ رابطهٔ ۱۳)

Archive of SID

www.SID.ir

R_{ij}، در ماتریس روابط خانهٔ کیفیت، نشان‌دهندهٔ رابطه و تأثیر هریک از انواع ترانسفورماتورهای ویژه بر طراحی الزامات فنی است. RI_k اهمیت نسبی k اُمین الزام فنی را نشان می‌دهد و T_{kj} نشان‌دهندهٔ درجهٔ همبستگی بین k امین و j امین الزام فنی در سقف ماتریس خانهٔ کیفیت است. حاصل رابطهٔ ۲ اهمیت نهایی پارامترهای فنی است.



	شدت جریان	تلفات باباری	طول سیم‌پیچ	قدرت ترانس	سطح مقطع هسته	تلفات بی‌باری	نوع سیم‌پیچ	نوع بدنه	W_i^*
هرمتیک گازی	۷	۵	۳	۷	۷	۳	۳	۷	۰/۱۲۴
هرمتیک روغنی	۷	۵	۳	۷	۷	۳	۳	۷	۰/۱۰۶
با منبع انبساط	۵	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۷	۰/۰۶۱
خشک	۳	۵	۳	۳	۳	۳	۷	۷	۰/۴۹۶
اتوترانس	۷	۷	۷	۷	۱	۱	۵	۳	۰/۰۸
زره‌ای	۷	۷	۵	۳	۳	۳	۱	۳	۰/۱۲۹
RI_j	۴/۸۶۶	۵/۲۷۶	۳/۵۶۶	۴/۲۲۸	۳/۷۴۸	۲/۸۲۸	۴/۸۷۴	۶/۱۳۶	
RI_j^*	۱۹۹/۱۸۲	۱۵۶/۴۳۵	۱۳۲/۰۹۴	۱۶۴/۲۲۷	۱۳۱/۰۹۲	۱۲۳/۸۷۵	۱۰۷/۳۷	۱۴۵/۱۹۸	

شکل ۳. تکمیل فرایند ماتریس خانهٔ کیفیت

مطابق با خروجی ماتریس خانهٔ کیفیت، سمت راست ماتریس بیانگر اولویت‌بندی نیاز مشتریان در طراحی ترانسفوماتورهای ویژه است. بنابراین به سؤال اول پژوهش پاسخ داده شد. درواقع، ابتدا الزامات کیفی مشتریان در قالب مشخصهٔ کیفی مثل حجم، قیمت ، ایمنی و... با استفاده پرسش‌نامهٔ باز ISQ و با نظرسنجی از خبرگان، شناسایی شد. ترانسفورماتورهای ویژه، سبب تغییر در این پارامترهای کیفی می‌شوند که انواع آنها نیز با کمک پرسش‌نامهٔ ISQ

www.SID.ir

شناسایی شدند، سپس اولویت‌بندی ترانسفورماتورهای ویژه براساس الزامات مشتری از طریق فرایند FAHP تعیین شد.

همان‌طور که ملاحظه شد، در قسمت خروجی پایین ماتریس خانهٔ کیفیت، سه پارامتر فنی شدت جریان، قدرت ترانس و تلفات با باری، به‌ترتیب دارای بالاترین اهمیت هستند. بنابراین به سؤال دوم پژوهش در مورد اولویت‌بندی الزامات فنی در طراحی محصول (ترانسفورماتوهای ویژه)، پاسخ داد شد. در پاسخ به اینکه رابطهٔ مستقیم یا معکوس بین پارامترهای فنی و اجزای محیطشان چگونه ادراک شده، باید گفت پرسش‌نامهٔ ISQ کمک شایانی در درک این ارتباطات کرده است. سه پارامتر شدت جریان و قدرت ترانس و تلفات با باری با یکدیگر رابطهٔ مستقیم دارند. افزایش دو پارامتر اول مطلوب، اما افزایش پارامتر سوم نامطلوب است. مطابق با ۳۹ پارامتر TRIZ، می‌توان دو پارامتر بهبودشوندهٔ شدت جریان و قدرت ترانس را پارامتر فشار در نظر گرفت و پارامتر تلفات با باری که پارامتر تضعیف‌شونده است را پارامتر اتلاف انرژی مد نظر قرار داد. حال با مراجعه به جدول ماتریس تضاد تکنیکی، می‌توان این تناقض را به استفاده از اصل ۳۶ (اصل تغییر فاز) برطرف کرد. بر اساس این اصل، از اثرات تغییر فاز مثل تغییر حجم استفاده می‌شود. بنابراین می‌توان با افزایش سطح مقطع سیم‌پیچ‌ها، اتلاف انرژی را کاهش داد. ستون جدول ۳ بیانگر ماتریس رفع تضاد است که قسمت ستون سمت راست بیانگر پارامتر بهبودیابنده و قسمت ردیف بالای جدول بیانگر پارامتر تضعیف‌شونده است و عددی که محل تلاقی دو پارامتر را نشان می‌دهد، بیانگر اصلی است که برای رفع تضاد استفاده شده است.

جدول ۳. رفع تضاد با استفاده از ماتریس تناقضات

	پارامتر تضعیف‌شونده			
پارامتر بهبود یابنده		...	انرژی	...
	⋮			
	فشار		اصل ۳۶	
	⋮			

اما اگر سطح مقطع سیم‌پیچ را افزایش دهیم، نیاز به فضای بیشتری از هسته است که این مورد سبب می‌شود سطح مقطع هسته افزایش یابد. مطابق با خروجی ماتریس خانهٔ کیفیت، سطح مقطع هسته و تلفات بی‌باری، بعد از پارامتر طول سیم‌پیچ، اولویت‌های بعدی هستند و با یکدیگر رابطهٔ غیرمستقیم دارند. بنابراین بین دو پارامتر سطح مقطع هسته و تلفات بی‌باری، تضادی وجود ندارد. افزایش حجم جسم غیر متحرک که در اینجا ناشی از افزایش سطح مقطع هسته است،

Archive of SID

www.SID.ir

سبب افزایش طول آن می‌شود؛ یعنی فضای بیشتری را اشغال می‌کند، بنابراین اگر پارامتر بهبودیابنده را حجم جسم غیرمتحرک و پارامتر نامطلوب را افزایش طول جسم بنامیم با مراجعه به ماتریس رفع تناقضات و استفاده از اصل ۱۴ (کروی‌ساختن هسته)، می‌توانیم این مشکل را برطرف کنیم؛ زیرا اگر هسته کروی ساخته شود، فضای کمتری را اشغال می‌کند.

جدول ٤. رفع تضاد با استفاده از ماتریس تناقضات

		پارامتر تضعیف‌شونده		
پارامتر بهبود یابنده		...	طول جسم غیر متحرک	...
	...			
	حجم جسم غیر متحرک		اصل ۱۴	
	...			

بنابراین به پرسش‌های سوم و چهارم پژوهش در مورد شناسایی تضادهای موجود میان الزامات فنی ترانس و رفع این تضاد با استفاده از ابزار TRIZ نیز پاسخ داده شد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف اصلی این پژوهش، افزایش کارایی در طراحی محصول بود. این پژوهش ابزاری را ارائه کرد که فرایند طراحی محصول را ضابطه‌مند و تضادهای طراحی را رفع می‌کند. این اقدام نتیجهٔ بزرگی را در برداشت؛ به‌گونه‌ای که علاوه‌بر مد نظر قرار دادن الزامات مشتریان در طراحی محصول با استفاده از QFD، تضادها و مشکلات الزامات فنی که بر اساس الزامات مشتریان به‌دست آمده‌اند با استفاده از اصول TRIZ (به‌جای مصالحه و کنار آمدن با آنها) به‌سرعت با راه‌کارهای نوآورانه حل شدند. بنابراین زمان طراحی مطلوب و کم‌نقص محصول کاهش می‌یابد. ذکر این نکته ضروری است که وجه تمایز اصلی این پژوهش با سایر پژوهش‌هایی که در پیشینهٔ پژوهش مطرح شد، به‌کارگیری همزمان منطق فازی و روش تصمیم‌گیری چندمعیاره برای ارتقای دقت طراحی محصول در به‌کارگیری دو ابزار QFD و TRIZ است. درواقع دقت بالای روش تصمیم‌گیری چندمعیاره، بدین علت است که با طبقه‌بندی معیارها و مقایسهٔ صحیح گزینه‌ها بر اساس معیارهای هدف اولویت‌بندی گزینه‌ها را محقق می‌کند و با توجه به اینکه مقیاس به‌کارگرفته‌شده در این پژوهش فازی بود، نتایج از دقت بالاتری برخوردار شدند؛ زیرا منطق فازی به زبان کیفی مشتریان نزدیکتر است.

Archive of SID

www.SID.ir

همچنین می‌توان گفت که برای افزایش کارایی، عامل هزینه نیز در نظر گرفته شده است. چون در اولویت‌بندی الزامات کیفی مشتری در طراحی ترانسفورماتورهای ویژه، یکی از پارامترها قیمت بود که مد نظر قرار گرفت و هم اینکه در رفع تضادهای الزامات فنی با استفاده از اصول TRIZ، پیشنهادهایی در کاهش تلفات بی‌باری و با باری داده شده است که به‌معنای اتلاف انرژی و صرف هزینه‌های اضافی است. اهداف فرعی در قالب سؤال‌های پرسش‌نامه مطرح شده بودند که با پاسخ‌گویی به این سؤال‌ها اهداف مورد نظر محقق شدند.

از پیشنهادهای این پژوهش برای مطالعات آینده می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. به‌کارگیری ترکیب QFD و TRIZ در صنعت خدمات با توجه به ضرورت استفاده از راه‌حل‌های نوآورانه در این صنعت و الهام‌گیری از جدول ۳۹ پارامتر فنی. در بخش خدمات نیز با توجه به تجارب پژوهش‌های گذشته، پارامترهای تأثیرگذار در این بخش تعریف شوند و راه‌حل‌های مورد تأیید پژوهش‌های قبلی که برای حل تضادهای پارامترهای خدماتی به‌کار رفته‌اند، به‌عنوان یک اصل استخراج‌شده و در حل تضادهای سایر بخش‌های خدماتی اجرا شوند.

۲. به‌کارگیری ترکیب TRIZ و مدل تحلیل پوششی داده‌ها، چون مدل تحلیل پوششی داده‌ها با شناسایی بخش‌های ناکارا، کمک شایانی در شناسایی تضادهای موجود در سیستم می‌کند، پس از شناسایی این تضادها با استفاده از چهل اصل موجود، راه حل‌های مناسب استخراج شوند.

۳. توسعهٔ مهندسی ارزش با استفاده از TRIZ در قالب پژوهش‌های عملی، چرا که مهندسی ارزش تنها کارکردهای مفید را شناسایی می‌کند، اما ترکیب آن با TRIZ، سبب شناسایی و رفع کارکردهای زیان‌بار و متضاد نیز خواهد شد.

در پایان نیز باید یادآوری کرد محدودیت اصلی این پژوهش، عدم ارتباط مستقیم با سفارش‌دهندگان ترانسفورماتور بوده است، به همین دلیل از نظر کارشناسان بخش فروش استفاده شد.

منابع

ترنینکو، ج. (۱۳۸۰). *نوآوری نظام‌یافته (TRIZ)*. ترجمهٔ جعفری، م. و فهیمی، ا. ح. و مورعی، ر. تهران: مؤسسهٔ فرهنگی رسا.

شهبازی، ع. و حجازی، س. ر. (۱۳۹۱). کاهش ریسک، مدیریت ریسک پروژه‌های نوآوری با به‌کارگیری روش TRIZ، ISQ، *چهارمین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت نوآوری*. تهران، هفتم و هشتم خرداد ماه.

Archive of SID

www.SID.ir

طهماسبی‌پور، ا. و شهبازی، ص. (۱۳۹۱). کاربرد مهندسی خلاقیت (TRIZ) در فرایند طراحی محصـول. *چهارمین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت نوآوری*، تهران، هفتم و هشتم خرداد ماه.

عطایی، م. (۱۳۸۹). *تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی*، انتشارات دانشگاه شاهرود، شاهرود.

Crostak, H. and Hackenbroich, I. (2007). Investigations in to more exact weightings of customer demands in QFD, Germany. *The Asian Journal on Quality*, 8 (3): 71 – 80.

Fresner, J. and Jantschgi, J. (2010). The theory of inventive problem solving (TRIZ) as option generation tool within cleaner production projects, Austria, *Journal Of Cleaner Production*, 18 (2): 128- 136.

Khademi- Zare, H. and Zarei, M. (2010). Ranking the strategic actions of Iran mobile cellular telecommunication using two models of fuzzy QFD, (Iran). *Telecommunications Policy*, 5 (3): 747-759.

Kim, B. and Yoon, B. (2012). Developing a process of concept generation for new product – service systems: a QFD and TRIZ – based approach, Korea. *Springer*, 6 (2): 1- 26.

Lu, C. and Liao, Z. and Jiang, Sh. and Lin, G. (2006). Research on Innovative product design system based on QFD and TRIZ, China. *Trans tech publication*, 20 (4): 1144 – 1147.

Olewnik, A. and Lewis, K. (2007). Limitation of house of quality to provide quantitative design information, USA, *International Journal of Quality and Reliability Management*, 25 (10): 125 – 146 .

Pelt, A. and Hey, J. (2011). Using TRIZ and human – centered design consumer product development. *Procedia Engineering*, 7 (2): 688 – 693.

Regazzoni, D. and Russo, D. (2011). TRIZ tools to enhance risk management, Italy. *Elsevier*, 8 (2): 40- 51.

Shahin, A. and Nikneshan, P. (2008), Integration of CRM and QFD / A novel model for enhancing customer participation in design and delivery, Iran. *The TQM journal*, 20 (1): 68 – 86.

Wang, F. and Chen, K. (2010). Applying lean six sigma and TRIZ methodology in banking services, Taiwan, *Total Quality Management*, 21 (3): 301- 315.

Xiafei, L. and Yang, W. and Ming, Z. (2012). Decision making model based on QFD method for power utility service improvement, China. *Systems Engineering Procedia*, 5 (2): 243-251.

Yaqiang, Zh. and Dogsheng, Zh. (2011). The constructing way of management contradiction solving matrix based on TRIZ, China, Natural Sciences Funds in Hebei Province.

Zheng, H. and Zhang, H. (2010). An innovative design of energy – saving product based on QFD / TRIZ / DEA integration, China, Natural science foundation of Tianjin.

Archive of SID

www.SID.ir