نشریه مهندسی مکانیک امیرکبیر

نشریه مهندسی مکانیک امیرکبیر، دوره ۵۰، شماره ۱، سال ۱۳۹۷، صفحات ۳ تا ۱۴
DOI: 10.22060/mej.2017.11668.5151

استفاده از روش طراحی اصل محور به منظور کاهش تکرارپذیری در فرآیند طراحی مفهومی یک سامانه پیچیده

محمدعلی شاهی آشتیانی، علیرضا علی‌پور*

دانشکده مهندسی هوافضا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

چکیده: فرآیند طراحی یک سامانه پیچیده دربردارنده سه بخش طراحی مفهومی، طراحی اولیه و طراحی جزئیات می‌باشد که نخستین و مهمترین آن فرایند طراحی مفهومی است. در سال‌های گذشته معیارهایی همچون سازگاری با محیطزیست، کاهش سوخت مصوفی و زمان طراحی، طراحی خانوادگی، بازیافت‌پذیری و غیره به معیارهای سنتی طراحی همچون ماندگاری، قابلیت اطمینان، عملکرد و زیبایی افزوده شده‌است که سبب افزایش همگیرایی بین نیازمندی‌های یک محصول و پیچیده شدن فرآیند طراحی مفهومی آن شده‌است. بنابراین طراحان نیازمند بکارگیری روش‌های نوین برای طراحی سامانه‌های پیچیده هستند که ضمن اجابت همزمان نیازهای نوین و سنتی، توانایی کاهش تکرارپذیری و پیچیدگی در فرآیند طراحی محصول را نیز داشته باشد. هدف از این تحقیق، بهره‌گیری از روش طراحی اصل محور در فرآیند طراحی مفهومی دم یک هواپیما است تا میزان کارایی این روش در انتخاب پیکربندی مناسب، کاهش میزان تکرار و اجابت متوازن نیازمندی‌های دم هواپیما را مورد ارزیابی قرار دهد. در همین راستا برای تبدیل نیازمندی مشتری به شاخص‌های طراحی، از روش ارتقا تابع کیفیت نیز بهره گرفته شده‌است. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده این است که ترکیب روش ارتقاء تابع کیفیت و طراحی اصل محور تأثیر به سزایی بر افزایش خلاقیت، کاهش تکرارپذیری، شناسایی مناسب نیازهای مشتری و در نهایت انتخاب مناسب طرح دارد.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۱۲ خرداد ۱۳۹۵
بازنگری: ۲۸ دی ۱۳۹۵
پذیرش: ۱۵ اسفند ۱۳۹۵
ارائه آنلاین: ۲۳ اسفند ۱۳۹۵

کلمات کلیدی:
طراحی مفهومی
تکرار در فرآیند طراحی
نیازهای مشتری
طراحی اصل محور
روش ارتقاء تابع کیفیت

۱- مقدمه

فرآیند طراحی یک سامانه پیچیده (مانند هواپیما، خودرو و غیره)، عموماً با حلقه‌های تکرار متعدد همراه است. این فرآیند با شناسایی نیازها آغاز و با انجام یک سری فعالیت‌ها جهت پیدا کردن پاسخ مناسب و اجابت نیازمندی‌ها پیش می‌رود و در نهایت با تعیین مشخصات آن محصول، خاتمه می‌یابد [۱]. به طور کلی فرآیند طراحی یک سامانه پیچیده از سه بخش طراحی مفهومی، طراحی اولیه و طراحی جزئیات تشکیل شده است. طراحی مفهومی یک محصول را می‌توان به عنوان اولین و مهمترین گام از فرآیند طراحی، تولید و توسعه آن محصول به شمار آورد. در طی فرآیند طراحی مفهومی، شکل و مشخصات کلی، هزینه و جدول زمانی توسعه سامانه مورد نظر تعیین می‌شود. نقطه شروع فرآیند طراحی مفهومی، تعریف مسأله طراحی و شناسایی نیازهای موجود برای محصول مورد نظر است. در واقع می‌توان وظیفه ابتدایی طراحی مفهومی را انتخاب مسیر پیش‌روی طراحی، توسعه و انتخاب پیکربندی مناسب برای محصول به نحوی که جوابگوی نیازهای تعیین شده باشد، بیان نمود [۲].

تصمیم‌هایی که در فاز طراحی مفهومی گرفته می‌شود، تأثیر به سزایی در هزینه، عملکرد، ایمنی و تأثیرات زیست محیطی یک محصول خواهد داشت. نشان داده شده که تصمیم‌های اتخاذ شده در این بخش از طراحی، در تعیین بیش از ۷۵ درصد هزینه کلی محصول تأثیرگذار است. بر این اساس، استفاده از ابزارهای مناسب برای انجام هرچه بهتر فرآیند طراحی مفهومی، امروزه بسیار مورد توجه طراحان و مهندسین قرار گرفته است. به این منظور در دو دهه اخیر، تحقیقات مختلفی در خصوص تأثیر تصمیم‌های اخذ شده در فاز طراحی مفهومی بر فعالیت‌های پایین دستی طراحی صورت پذیرفته که نتیجه آن، ابداع روش‌های متنوع و جدید (از قبیل روش طراحی اصل محور، روش تریز[1]، روش ارتقا تابع کیفیت و مهندسی همزمان) در این زمینه بوده است [۳].

طراحی محصولات پیچیده، طی دو دهه اخیر، دستخوش دگرگونی‌های زیادی شده است. به عبارت دیگر، در طراحی‌های سنتی، مفاهیمی از قبیل دوام و ماندگاری، قابلیت اطمینان، توانایی انجام مأموریت و زیبایی از اهمیت بیشتری برخوردار بودند، در حالی که در سال‌های اخیر، معیارهایی جدیدی از قبیل میزان سازگاری با محیط زیست، قابلیت رقابت‌پذیری، کاهش مصرف سوخت، بازیافت‌پذیری و یا قابلیت استفاده مجدد[2] در انتهای چرخه عمر محصول، به معیارهای سنتی بیان شده اضافه شده است [۴].

در بسیاری از موارد در طراحی یک سامانه پیچیده، نیازهای نوین و سنتی در تضاد با یکدیگر هستند. در واقع تقویت هرکدام از آنها ممکن است باعث ایجاد محدودیت‌هایی در اجابت نیازمندی گروه دیگر شود. این در حالی است

1 TRIZ
2 Reusing

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: ar_alipour66@Mut.ac.ir

که با توجه به معیارها و نیازمندی مشتری از یک سو و طراحی یک محصول موفق، هر دو گروه از این نیازمندی‌ها باید در حد مطلوبی در فرآیند طراحی محصول، تأمین شوند، بدون اینکه برای نیازمندی‌های گروه دیگر ایجاد محدودیت کنند.

مجموعه دم در هواپیما، یکی از فرآیندهای پیچیده انتخاب و تصمیم‌گیری را به خود اختصاص داده است؛ به عبارت دیگر، امروزه علاوه بر معیار پایداری و کنترل (معیار سنتی)، معیارهایی از قبیل قابلیت حفظ تعادل، قابلیت مانوردهی، وزن سازه، زیبایی ظاهری (معیارهای نوین) نیز مورد توجه طراحان قرار گرفته است. بدیهی است عدم توجه همزمان به معیارهای فوق در فرآیند طراحی مجموعه دم، می‌تواند موجب افزایش حلقه‌های تکرار (افزایش هزینه) در فرآیند طراحی گردد. بر این اساس در این تحقیق، از روش طراحی اصل محور در فرآیند طراحی مفهومی مجموعه دم یک هواپیما استفاده شده و تأثیر آن در کاهش فرآیند تکرار و کاهش همگیرایی[1] بین نیازهای عملکردی (به کمک اصل استقلال) و همچنین انتخاب پیکربندی مناسب (با بهره‌گیری از روش ارتقا تابع کیفیت و اصل اطلاعات)، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است.

۲- طراحی اصل محور

طراحی یک محصول که قادر به اجابت کلیه نیازمندی‌های تعیین شده از سوی مشتری باشد، تابعی از فرآیند پیچیده تصمیم‌گیری و انتخاب صحیح پارامترهای طراحی در طول فرآیند طراحی است. در واقع هر تصمیم اشتباه و یا انتخاب نامناسب، می‌تواند مانعی برای موفقیت محصول باشد. تاکنون روش‌های متعددی در این زمینه ارائه شده که یکی از آنها روش طراحی اصل محور[2] است [۵].

نظریه طراحی اصل محور، همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، فرآیند طراحی را به صورت نگاشت از «چه چیزی را باید به دست آورد؟[3]» به «چگونه باید به دست آورد؟[4]» و از میان چهار دامنه نیازهای مشتری[5]، نیازهای عملکردی[6]، پارامترهای طراحی[7] و متغیرهای فرآیندی[8] توصیف می‌کند. در واقع روش طراحی اصل محور، فرآیند طراحی را با این سوال که چه چیزی را می‌خواهیم به دست آوریم، آغاز و با پاسخ به این سوال که چگونه خواسته ما تحقق پیدا می‌کند به پایان می‌رسد [۶].

طراحی اصل محور یک ابزار طراحی برای حل گره‌های طراحی به صورت سازمان یافته و مؤثر از راه تبدیل نیازهای مشتری به نیازمندی‌های عملکردی، پارامترهای طراحی و متغیرهای- فرآیندی می‌باشد [۴]. هدف

1 Coupling
2 Axiomatic Design
3 What?
4 How?
5 Customer Needs
6 Functional Requirements
7 Design Parameters
8 Process Variable

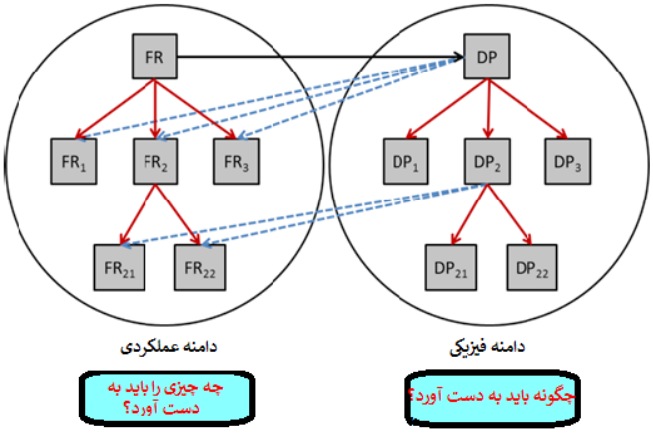

Fig. 1. Design Process in Axiomatic Design approach

شکل ۱: روند کلی طراحی در روش طراحی اصل محور

نهایی طراحی اصل محور این است که پایه‌های علمی برای فرآیند طراحی ایجاد نموده و فعالیت طراحی را با مجهز نمودن طراحان به یک بنیان نظری بهبود دهد، بنیانی که مبتنی بر روند فکری استدلالی و ابزار منطق است. به بیان دیگر، طراحی اصل محور می‌تواند جستجوی تصادفی را کاهش داده، از میزان سعی و خطا در فرآیند طراحی بکاهد و طرح مناسب را از میان طرح‌های ارائه شده انتخاب نموده و در نهایت با علمی نمودن پایه‌های طراحی، به طراح توان خلاقیت دهد [۷].

روش طراحی اصل محور ادعایی بسیار بزرگ دارد: «اصل‌هایی وجود دارند که بر طراحی حاکم هستند». اساس روش طراحی اصل محور بر این استوار است که در تبدیل دامنه نیازمندی و عملکردی به دامنه فیزیکی، رعایت دو اصل الزامی است:

- اصل اول- اصل استقلال: حفظ استقلال ملزومات عملکردی.
- اصل دوم- اصل اطلاعات: کمینه نمودن مقدار اطلاعات طراحی.

در فرآیند نگاشت، لازم است یک تصمیم‌گیری صحیح بر پایه اصل استقلال صورت پذیرد. هنگامی که مسأله منجر به چند طرح که همگی اصل اول را رعایت می‌کنند شود، اصل دوم برای انتخاب بهترین طرح به کار می‌رود. اگر فقط یک عملکرد مورد نیاز باشد، اصل اول خود به خود ارضاء شده و پارامتر طراحی مناسب به کمک اصل دوم انتخاب می‌گردد [۸]. در واقع هر دو اصل مطرح شده در روش طراحی اصل محور، طراح را به سمت ارائه راه حل مناسب هدایت می‌کنند. برای این منظور هر دو اصل بیان شده باید به صورت صحیح و منطقی مدیریت شوند [۹].

در این مقاله سعی شده ابتدا با بهره‌گیری از روش ارتقا تابع کیفیت[9]، پیکربندی مناسب برای مجموعه دم هواپیما انتخاب شود. این کار احتمال اجابت نشدن نیازمندی‌های مورد انتظار از مجموعه دم هواپیما را در اولین انتخاب پیکربندی به حداقل رسانده و می‌تواند موجب کاهش فرآیند تکرار در طول فرآیند طراحی مفهومی گردد. همچنین استفاده از ماتریس‌های طراحی به دست آمده که طبق اصل استقلال باید دارای کمترین میزان همگیرایی

9 Quality Function Deployment(QFD)

باشند، در کاهش فرآیند تکرار در طراحی مفهومی و افزایش خلاقیت طراح در انتخاب پارامترهای طراحی مناسب تأثیر بسزایی دارند.

۳- طراحی مجموعه دم هواپیما

هدف و کاربرد اصلی مجموعه دم هواپیما برقراری پایداری در هواپیما و ارتقا کنترل‌پذیری است. به همین دلیل می‌توان گفت که دم هواپیما یکی از مهم‌ترین اجزای هواپیما به شمار می‌آید. طراح هواپیما نه تنها وظیفه تعیین اندازه، موقعیت و پیکربندی دم را بر عهده دارد، بلکه باید سطح کنترل‌پذیری و اجزای مرتبط با آن را نیز تعیین کند.

به طور کلی مجموعه دم، اشاره‌ای کلی به هر پیکربندی است که سبب برقراری تعادل هواپیما در طول پرواز می‌شود و ممکن است به صورت یک دم معمولی در عقب هواپیما[1]، دم جلویی[2]، پیکربندی سه سطحی و یا هر شکلی که به برآورده شدن این هدف کمک می کند، باشد. مجموعه دم، هم بیانگر دم افقی و هم دم عمودی است. در حالی که هریک از این دو وظیفه‌ای خاص دارند. طبق شکل ۲ دم افقی و دم عمودی به ترتیب وظیفه برقراری پایداری و کنترل هواپیما در راستای طولی[3]، سمتی[4] و یا حتی در بعضی مواقع عرضی[5] را بر عهده دارند [۱۰].

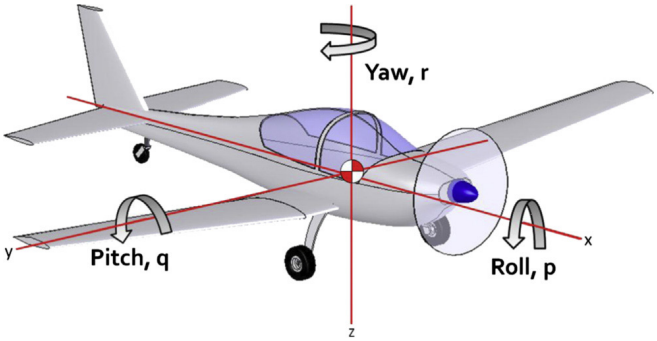

Fig. 2. Influence of tail on the pitch, yaw and roll stability and control direction

شکل ۲: تاثیر دم افقی و عمودی در کنترل طولی، سمتی و عرضی هواپیما [۱۰]

در طول فرآیند طراحی مفهومی یا اولیه، اندازه نمودن[6] دم هواپیما یکی از پیچیده‌ترین مراحل طراحی به شمار می‌آید. همین موضوع سبب افزایش میزان تکرار در فرآیند طراحی دم نسبت به دیگر اجزای هواپیما شده است [۱۱].

فرآیند طراحی دم بر مبنای قابلیت تعادل هواپیما آغاز می‌شود؛ اما پایداری و کنترل‌پذیری هواپیما نیز دو موضوع بسیار مهم هستند که در اولویت‌های بعدی نیازمندی‌ها در نظر گرفته می‌شوند. در این مقاله فرآیند طراحی دم هواپیما (شکل ۳) براساس گام‌های زیر دنبال می‌شود [۲]:

۱. تعیین پیکربندی دم.
۲. انتخاب ضریب حجمی دم افقی (V_h).
۳. تعیین طول بازوی گشتاور (l_h).
۲. تعیین مساحت دم (s_h).
۵. تعیین ضریب گشتاور آیرودینامیکی طولی بال و بدنه ($C_{mo\text{-}wf}$).
۶. محاسبه ضریب برآی دم افقی به منظور برقراری تعادل طولی در حالت سیر (C_{Lc}).
۷. انتخاب ایرفویل مناسب برای دم افقی.
۸. انتخاب نسبت منظری (AR_h).
۹. انتخاب نسبت باریک شوندگی (λ_h).
۱۰. تعیین اندازه وتر نوک دم ($C_{h\,tip}$).
۱۱. تعیین اندازه وتر ریشه دم ($C_{h\,root}$).
۱۲. طول وتر متوسط دم (MAC_h).
۱۳. طول دهانه دم (b_h).
۱۴. زاویه عقبگرد[7] دم افقی (Λ_h).
۱۵. زاویه سراشیبی (هفتی)[8] دم افقی (Γ_h).
۱۶. زاویه نصب دم (i_h).
۱۷. بررسی وضعیت واماندگی[9] دم افقی.
۱۸. بررسی و تعیین پایداری استاتیکی و دینامیکی هواپیما.

در این مقاله سعی شده ضمن تعیین جایگاه روش طراحی اصل محور به عنوان ابزاری قدرتمند جهت ارتقا کیفیت محصول، میزان تأثیر استفاده از این روش در ارتقا فرآیند طراحی، افزایش قدرت تصمیم‌گیری طراح (ابتکار) و کاهش تکرارپذیری گام‌های طراحی نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

٤- فرآیند طراحی مجموعه دم به کمک روش طراحی اصل محور

همان‌طور که بیان شد، فرآیند طراحی مجموعه دم هواپیما یک فرآیند تکراری (سعی و خطا) است که این موضوع سبب افزایش زمان و در نتیجه افزایش هزینه طراحی می‌گردد. در ادامه این بخش، کاربرد روش طراحی اصل محور در انتخاب پیکربندی مناسب برای مجموعه دم هواپیما (با استفاده از اصل اطلاعات) و شناسایی نیازمندی‌های همگیر در فرآیند طراحی (با کمک اصل استقلال) و در نهایت طراحی یک دم مناسب در زمان کمتر مورد بررسی قرار گرفته است.

۴- ۱- جایگاه روش طراحی اصل محور در فرآیند طراحی دم هواپیما

روش طراحی اصل محور تنها محدود به فاز طراحی مفهومی نمی‌شود

1 Conventional tail
2 Canard
3 Pitch
4 Yaw
5 Roll
6 Sizing
7 Sweep
8 Dihedral
9 Stall

بلکه در بخش طراحی جزئیات[1] و طراحی به منظور تولید[2] نیز کاربرد دارد [۱۲]. در این نوشتار، طراحی اصل محور برای انجام فرآیند طراحی جزئیات یا طراحی به منظور تولید مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. به عبارت دیگر می‌توان گفت که این روش هیچ تغییری در نحوه تعیین پارامترهای مربوط به دم هواپیما از قبیل مساحت، طول بازوی گشتاور و ... ایجاد نخواهد کرد.

Fig. 4. Guidance about AD place on the tail design process.

شکل ٤: جایگاه روش طراحی اصل محور در فرآیند طراحی دم هواپیما

محور کلاسیک نیازمندی‌های یک محصول به دو بخش نیازهای عملکردی[4] و قیود[5] تقسیم می‌شوند. اما در روش طراحی اصل محور ارتقا یافته، این نیازها در پنج گروه قیود، نیازمندی‌های عملکردی، نیازمندی‌های غیرعملکردی[6]، معیارهای گزینشی[7] و معیارهای بهینه‌سازی[8] تقسیم‌بندی می‌شوند [۱۳]. در این مقاله از روش اصل محور ارتقا یافته استفاده شده است.

۵- موضوع مورد مطالعه

۵- ۱- توضیح مختصر پیرامون موضوع

در این بخش، کاربرد روش طراحی اصل محور و مزایای استفاده از آن در فرآیند طراحی مجموعه دم هواپیما مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در بخش ۵-۲ توضیح داده می‌شود که یک طراح چگونه می‌تواند نیازهای مشتری

4 Functional requirements
5 Constrains
6 Non-Functional Requirements
7 Selection Criteria
8 Optimization Criteria

Fig. 3. Block diagram of tail design process

شکل ۳: نمودار مربوط به فرآیند طراحی دم هواپیما [۲]

همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده، فرآیند طراحی یک محصول در روش طراحی اصل محور با تعریف و شناسایی نیازمندی‌های آن محصول (از طریق مطالعات آماری، نظرسنجی، و با استفاده از برخی ابزارهای کاربردی مانند روش ارتقا تابع کیفیت) صورت می‌گیرد. پس از تعیین نیازمندی‌های فنی با استفاده از تکنیک‌های موجود در روش طراحی اصل محور، فرآیند طراحی مفهومی با بهره‌گیری از دیگر گام‌های موجود در روش طراحی اصل محور (مانند تجزیه نیازمندی‌های عملکردی، نگاشت بین دامنه‌های طراحی و تهیه ماتریس‌های طراحی[3]) ادامه می‌یابد [۱۳]. در روش طراحی اصل

1 Detail Design
2 Manufacturing Design
3 Design matrix

را به نیازمندی‌های فنی متناظر با نیازهای مشتری نگاشت کند. در بخش ۳–۵ توضیحاتی پیرامون تجزیه نیازمندی‌های فنی تعیین شده و تعیین ماتریس‌های طراحی متناظر با نیازهای عملکردی و پارامترهای طراحی ارائه می‌گردد. بخش ۴–۵ به ارائه راهکاری برای انتخاب پیکربندی مناسب برای مجموعه دم هواپیما با توجه به نیازمندی‌های فنی و با بهره‌گیری از روش ارتقا خانه کیفیت می‌پردازد. در نهایت مراحل اندازه نمودن دم هواپیما و بررسی نحوه تأثیر ماتریس‌های طراحی به دست آمده در کاهش میزان تکرارپذیری فرآیند طراحی مجموعه دم هواپیما در بخش ۵–۵ مورد بررسی قرار گرفته است.

۵– ۲– نگاشت نیازهای مشتری به نیازمندی‌های تکنیکی

اولین گام در فرآیند طراحی یک محصول، شناسایی نیاز مشتری (صدای مشتری[1]) است. یکی از ابزارهای قدرتمند برای تبدیل نیاز مشتری به نیاز فنی (زبان طراح)، روش ارتقا تابع کیفیت است. نیازهایی که توسط مشتری بیان می‌شود، غالباً مبهم، کلی و دارای همگیرایی بالا با یکدیگر هستند و در صورتی که مبنای طراحی قرار گیرند، می‌توانند موجب ایجاد یک طرح نامطلوب شوند؛ بنابراین ارائه راهکارهایی که بتواند این نیازهای کلی را به نیازمندی‌های فنی قابل فهم برای طراح بنگارد، الزامی است [۱۴].

ساخت آسان، هزینه مستقیم عملیاتی، هزینه غیرمستقیم محصول، رقابت‌پذیری، بازدهی بالا، اجابت الزامات عملکردی هواپیما، زیبایی ظاهری، وزن پایین، الزامات مقررات هوانوردی و صلاحیت پروازی (از قبیل قابلیت‌های مانوردهی، کیفیت پروازی، ایمنی، بار کاری خلبان و غیره)، توان مقابله با عوامل مزاحم (بازیابی اثرات کانال پیچش)، طول عمر بالا، قابلیت بازیافت و استفاده مجدد اجزا، از جمله نیازهای مشتری هستند که در این نوشتار برای مجموعه دم هواپیما بیان شده است. از سوی دیگر، پایداری و کنترل‌پذیری هواپیما (مطابق الزامات و مقررات هوانوردی) و تولید نیروها و گشتاورهای مناسب جهت ارضای نیازمندی‌های مربوط به تعادل هواپیما از جمله نیازمندی‌های اساسی است که برای هر مجموعه دم باید در نظر گرفته شود [۱۱]. قابل ذکر است که در طراحی مجموعه دم هواپیما، نیازمندی کنترل‌پذیری و پایداری در تضاد با یکدیگر هستند، به این معنا که تقویت یکی از آنها موجب تضعیف دیگری می‌شود.

در این مقاله نیازهای مشتری، به نیازمندی‌های فنی (مانند نیازهای عملکردی و قیود)، نیازهای غیرعملکردی، معیارهای گزینشی و معیارهای بهینه‌سازی تقسیم می‌شود. در اولین گام در فرآیند طراحی، طراح باید میزان اهمیت هریک از نیازهای تعیین شده توسط مشتری و همچنین نیازمندی‌های تکنیکی متناظر با آنها را تعیین کند. این کار می‌تواند از راه‌های مختلف مانند نظرخواهی از مشتریان، بررسی وضعیت محصولات مشابه در بازار و یا تجربه طراح صورت پذیرد. در گام بعد با قرار دادن نیازهای مشتری، میزان اهمیت هر یک از آنها و همچنین نیازمندی‌های تکنیکی متناظر با آنها در خانه کیفیت می‌توان اطلاعات مفیدی مانند اولویت هریک از نیازهای عملکردی، میزان و نحوه تأثیر نیازمندی‌های تکنیکی بر یکدیگر، وضعیت محصولات رقیب در بازار و غیره را به دست آورد. نیازهای مشتری و نیازمندی‌های تکنیکی متناظر با هریک از آنها به صورت زیر تعیین می‌شوند.

نیازهای غیر عملکردی:

- ساخت آسان (۸)
- تطابق با بدنه هواپیما (۷)
- عدم ایجاد محدودیت برای نیازمندی‌های عملیاتی (۸)

قیدها:

- بازدهی اقتصادی (۹)
- وزن کم (۸)
- هزینه پایین (۸/۵)

معیارهای گزینشی:

- بیشترین بازیافت‌پذیری (۸)
- بیشترین ظرفیت برای استفاده مجدد (۸)

معیارهای بهینه سازی:

- طول عمر بیشتر (۸)
- مصرف مواد سازنده (۸)

همچنین جدول‌های ۱ و ۲ به ترتیب نشان‌دهنده نیازهای مشتری و نیازمندی‌های عملکردی متناظر با آنها برای دم افقی و دم عمودی است. نکته قابل توجه این که تنها نیازهای عملکردی در فرآیند تجزیه و نگاشت بین دامنه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند و دیگر گروه‌های مربوط به نیازمندی‌های تکنیکی چارچوب یک طراحی مناسب برای محصول مورد نظر را تعیین می‌کنند. این نیازها در واقع داده‌های خام برای استفاده در خانه کیفیت هستند. در این مقاله از یک برنامه ارتقا تابع کیفیت معتبر [۱۵]، به منظور مدل‌سازی استفاده شده است.

شکل ۵ نشان‌دهندهٔ خانه کیفیت مورد استفاده برای بررسی و شناسایی نیازمندی‌های مربوط به دم هواپیمای مورد مطالعه است. در این شکل، در ستون سمت چپ خانه کیفیت نیازهای تعیین شده توسط مشتری و میزان

جدول ۱: نیازهای مشتری و نیازمندی‌های عملکردی متناظر با آن‌ها برای دم افقی هواپیما

Table 1. CNs and their corresponding TRs for horizontal tail.

نیازهای عملکردی دم افقی	نیازهای مشتری دم افقی
تولید نیروها و گشتاورهای مناسب برای برقراری تعادل بر اساس استانداردهای موجود	برقراری تعادل (۸/۵)
ارضا کردن مشخصه‌های خوش‌دستی	پایداری و کنترل (۹)
قرار گرفتن دم خارج از ناحیه عبوری جریان های مخرب	داشتن صلاحیت پروازی مناسب (۸)

1 Voice of Customer

جدول ۲: نیازهای مشتری و نیازمندی‌های عملکردی متناظر با آن‌ها برای دم عمودی هواپیما

Table 2. CNs and their corresponding TRs for vertical tail.

نیازهای عملکردی دم عمودی	نیازهای مشتری دم عمودی
تولید نیروها و گشتاورهای مناسب برای برقراری تعادل براساس استانداردهای موجود	برقراری تعادل (۸/۵)
ارضا کردن مشخصه‌های خوش‌دستی	پایداری و کنترل (۹)
قابلیت مقابله با چرخش هواپیما	بازیابی هواپیما (۸/۵)

اهمیت هریک از آنها بیان شده‌اند. در ردیف سوم این خانه، خانه‌های ۱ تا ۳، ۶ و ۷، ۱۰ تا ۱۲، ۱۴ تا ۱۶، ۱۹ و ۲۰ و ۲۳ تا ۲۵ به ترتیب نشان‌دهندهٔ نیازهای غیرعملکردی، معیارهای بهینه‌سازی، نیازهای عملکردی مربوط به دم افقی، نیازهای عملکردی مربوط به دم عمودی، معیارهای گزینش و در نهایت قیدها می‌باشند. همچنین در ماتریس همبستگی[1]، ارتباط بین نیازمندی‌های تکنیکی بیان شده است. اطلاعات به دست آمده از این بخش علاوه بر آسان نمودن اعمال تغییرات در فرآیند طراحی، بیانگر نحوه تأثیر این نیازمندی‌های تکنیکی بر یکدیگر نیز است [۱۶].

برای مثال در خانه شماره (۲۳-۶) موجود در ماتریس همبستگی، علامت "Θ" درج شده است که بیانگر تأثیر بالای دو نیازمندی تکنیکی مربوطه (طول عمر بیشتر و بازدهی اقتصادی) بر یکدیگر است. علامت‌های "O" و "▲" نیز به ترتیب بیانگر تأثیر متوسط و ضعیف نیازمندی‌های تکنیکی بر یکدیگرند. همچنین در بخش ارزیابی مقایسه‌ای[2]، ارضای نیازمندی‌های تکنیکی تعیین شده در محصولات موجود مشابه در بازار، با محصولی که در حال طراحی است، مقایسه می‌شود.

در این مقاله دو هواپیمای CARVAN و AVANTI-P180 از کلاس هواپیماهای دو موتوره سبک پیستونی، به عنوان محصولات رقیب انتخاب شده‌اند. سقف خانه کیفیت نیز چگونگی تأثیر نیازمندی‌های تکنیکی بر یکدیگر را نشان می‌دهد. برای مثال، خانه مربوط به دو نیازمندی تکنیکی طول عمر بیشتر و بازدهی اقتصادی در این بخش با علامت "++" پر شده که نشان‌دهنده این است که برآورده شدن یکی از آنها تأثیر مستقیمی در ارضای دیگری دارد. درنهایت میزان اهمیت هریک از نیازمندی‌های تکنیکی در قسمت انتهایی خانه کیفیت و با توجه به اطلاعات موجود در خانه کیفیت مشخص می‌شود.

۵- ۳- انجام فرآیند تجزیه نیازهای عملکردی

با تجزیه نیازهای عملکردی اصلی به نیازهای عملکردی فرعی، می‌توان ساختار فرآیند طراحی را تشکیل داد. در این فرآیند، نیازهای عملکردی اصلی به نیازهای عملکردی جزئی‌تری تقسیم می‌شوند که در واقع توصیف‌کننده نیاز اصلی هستند. در طی فرآیند تجزیه نیازهای عملکردی، پارامترهای طراحی متناظر با این نیازها نیز به بخش‌های کوچک‌تری تجزیه می‌شوند. در واقع می‌توان گفت برای هریک از نیازهای عملکردی فرعی یک پارامتر طراحی فرعی نیز تعریف می‌شود. با توجه به تعریف فوق می‌توان فرآیند تجزیه را از دو دیدگاه مورد توجه قرار داد:

الف) تجزیه عملکردی: هدف این نوع تجزیه اصلاح عملکرد اصلی است که توسط سامانه در نظر گرفته شده اجرا می‌شود.

ب) تجزیه فیزیکی: تجزیه ابزارها و راه‌حل‌های موجود برای رسیدن به عملکردی مورد انتظار [۱۷].

برای توسعه مناسب و کافی نیازهای عملکردی فرعی باید همه عواملی که در تعیین نیازهای عملکردی فرعی تأثیرگذار هستند (مانند نیازهای عملکردی و پارامترهای طراحی اصلی)، ماتریس طراحی به وجود آمده برای لایه‌های قبلی و حتی قیود موجود برای لایه‌های قبلی، در نظر گرفته شود. پارامترهای طراحی اصلی، اولین و با اهمیت‌ترین پارامترهایی هستند که برای انجام بهتر فرآیند تجزیه باید مورد توجه قرار گیرند. بعد از آن، نیازهای عملکردی اصلی و قیود موجود در لایه‌های قبلی و در نهایت ماتریس‌های طراحی به وجود آمده در لایه‌های قبلی طراحی، باید معیار و مبنای فرآیند تجزیه قرار گیرند [۱۸]. در طراحی اصل محور، تجزیه با انجام فرآیند زیگزاگ[3] بین دامنه‌ها صورت می‌گیرد. با استفاده از این روش در هر یک از دامنه‌ها نمودارهای سلسله مراتبی برای نیازهای عملکردی، پارامترهای طراحی و متغیرهای فرآیندی به وجود می‌آیند.

در این مقاله پس از تعیین نیازهای مشتری و نیازمندی‌های تکنیکی متناظر با آنها، فرآیند تجزیه نیازهای عملکردی و پارامترهای طراحی اصلی با بهره‌گیری از تکنیک زیگزاگ صورت می‌گیرد. نیازهای عملکردی (FR[4]) و نیازهای پارامترهای (DP[5]) تجزیه شده برای دم افقی هواپیما به صورت زیر می‌باشد.

الف- نیازهای عملکردی

FR1= تولید نیروها و گشتاورهای لازم برای برقراری تعادل طولی براساس استاندارد FAR.23. 161.C.

FR1.1= تعیین پارامترهای هندسی دم افقی.

FR2=اجابت مشخصه‌های پروازی برای فازهای مختلف پروازی (سطح ۱ از مشخصه‌های پروازی طولی در معیار Cooper- Harper).

FR2.1= تأمین پایداری طولی مناسب.

FR2.1.1= اجابت پایداری استاتیکی طولی.

FR2.1.2= اجابت پایداری دینامیکی طولی.

FR2.1.2.1= میراشدن مود دوره تناوب بلند.

FR2.1.2.2= میراشدن مود دوره تناوب کوتاه.

FR2.2= تأمین کنترل‌پذیری طولی مناسب.

1 Correlation Matrix
2 Benchmarking
3 Zigzag
4 Functional Requirement
5 Design Parameter

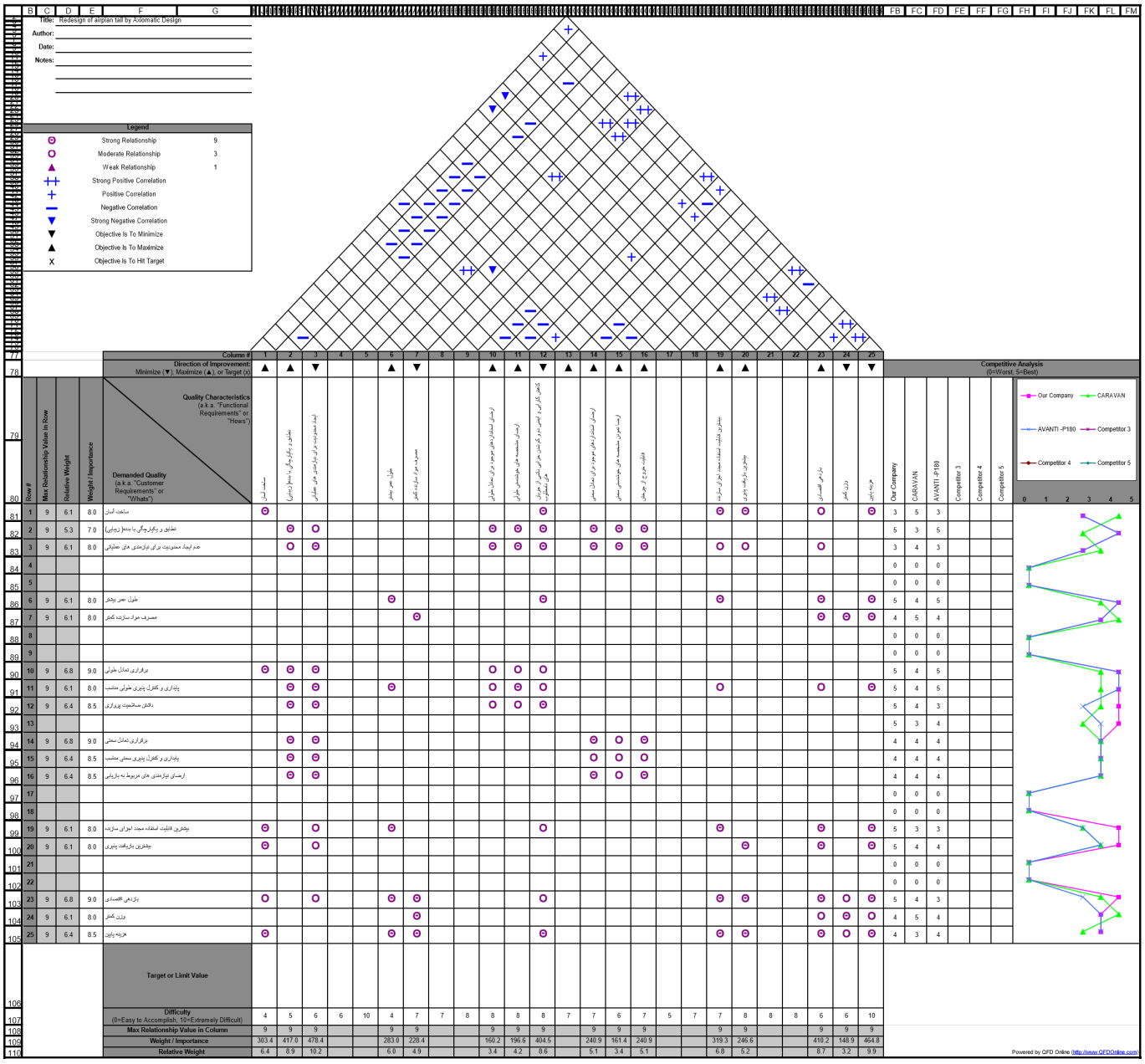

Fig. 5. HoQ for airplane tail

شکل ۵: خانه کیفیت مربوط به دم هواپیما

FR2.2.1= تولید نیروی لازم برای کنترل کردن هواپیما در شرایط برخاست.

FR3= خارج نمودن دم از مسیر گردابه‌ها و جریان‌های خطرناک.

FR3.1= مقاوم بودن دم افقی در برابر واماندگی.

FR3.1.1= انتخاب موقعیت مناسب دم افقی نسبت به موقعیت بال هواپیما.

FR3.1.2= کاهش تولید گردابه‌ها و جریان‌های مخرب و خطرناک توسط دم.

ب- نیازهای پارامترهای طراحی

DP1= اندازه نمودن مناسب و صحیح دم افقی.

DP1.1= استفاده از روابط و قوانین مربوطه در تعیین پارامترهای دم افقی.

DP2= اندازه نمودن دم افقی.

DP2.1= معیارهای پایداری استاتیکی و دینامیکی طولی.

DP2.1.1= تعیین محدوده مناسب برای تغییرات ضریب گشتاور پیچشی ($-۱/۵ < C_{m\alpha} < -۰/۳$).

DP2.1.2= ارزیابی میرایی مودهای دوره تناوب بلند و دوره تناوب کوتاه.

DP2.1.2.1= مقدار میرائی مناسب برای مود دوره تناوب کوتاه ($-۰/۳ < \xi_{sp} < ۲$).

DP2.1.2.2= مقدار میرائی مناسب برای مود دوره تناوب بلند ($\xi_{ph} > ۰/۰۴$).

DP2.2= استفاده از الویتور مناسب برای کنترل هواپیما در شرایط برخاست.

DP2.2.1= انحراف کافی زاویه الویتور.

DP3= انتخاب پیکربندی مناسب برای دم افقی.

DP3.1=

- انتخاب موقعیت مناسب دم افقی نسبت به بال.
- کاهش تأثیر جریان‌های خطرناک.

DP3.1.1= انتخاب پیکربندی مناسب برای دم هواپیما.

DP3.1.2= استفاده از ابزارهای مناسب.

ماتریس طراحی متناظر با نیازهای عملکردی و پارامترهای طراحی تعیین شده، در شکل ۶ نشان داده شده است.

			DP1	DP2				DP3	
			DP1.1	DP2.1			DP2.2	DP3.1	
				DP2.1.1	DP2.1.2		DP2.2.1	DP3.1.1	DP3.1.2
					DP2.1.2.1	DP2.1.2.2			
FR1	FR1.1		X	0	0	0	0	0	0
FR2	FR2.1	FR2.1.1	X	X	0	0	0	0	0
		FR2.1.2 FR2.1.2.1	0	X	X	0	0	0	0
		FR2.1.2 FR2.1.2.2	0	0	0	X	0	0	0
	FR2.2	FR2.2.1	0	X	0	0	X	0	0
FR3	FR3.1	FR3.1.1	0	0	0	0	0	X	0
		FR3.1.2	X	X	X	0	X	0	X

Fig. 6. Design Matrix for horizontal tail

شکل ٦: ماتریس طراحی مربوط به دم افقی

۵- ۴- انتخاب پیکربندی مناسب مجموعه دم با استفاده از فاز دوم خانه کیفیت

انتخاب پیکربندی مناسب برای دم هواپیما، اهمیت زیادی در فرآیند طراحی دم هواپیما دارد. تأثیر این بخش بر سایر بخش‌های فرآیند طراحی دم، انتخاب پیکربندی مناسب برای دم را به امری پیچیده تبدیل نموده است. در شرکت‌های بزرگ هواپیماسازی معمولاً دو یا سه تیم طراحی به طور همزمان و مجزا بر روی پیکربندی‌های مختلف کار می‌کنند تا بتوانند بهترین پیکربندی را برای دم هواپیما انتخاب کنند. اگر بتوان با بهره‌گیری از یک روش مناسب قبل از انجام فرآیند طراحی، مناسب‌ترین پیکربندی را انتخاب کرد، دیگر نیازی به طراحی دم هواپیما در گروه‌های مختلف نخواهد بود [۱۹].

نیازی به گفتن نیست که انتخاب پیکربندی نامناسب می‌تواند سبب افزایش تکرار در فرآیند طراحی و در نتیجه افزایش زمان و هزینه در فرآیند طراحی شود. استفاده از اصل اطلاعات در روش طراحی اصل محور می‌تواند تأثیر زیادی در انتخاب بهترین پیکربندی برای محصول مورد نظر داشته باشد [۲۰].

از سوی دیگر همان‌طور که در شکل ۷ نشان داده شده است، بهره‌گیری از فاز دوم خانه ارتقا کیفیت می‌تواند در انتخاب پیکربندی مناسب برای محصول مورد نظر مفید باشد. در خانه کیفیت مربوط به فاز دوم تابع ارتقا کیفیت که در شکل ۶ نشان داده شده، نیازمندی‌های تکنیکی تعیین شده در سمت چپ خانه قرار داده می‌شوند و میزان اهمیت هریک از آنها با توجه به نتایج فاز اول تابع ارتقا کیفیت تعیین می‌گردد. همچنین در بخش افقی بالای خانه کیفیت نیز پارامترهای طراحی کلی که در واقع همان پیکربندی‌های مختلف دم هواپیما هستند- که هر کدام قادر به رفع نیازمندی‌های مربوط به دم هواپیما می‌باشند- قرار داده می‌شوند.

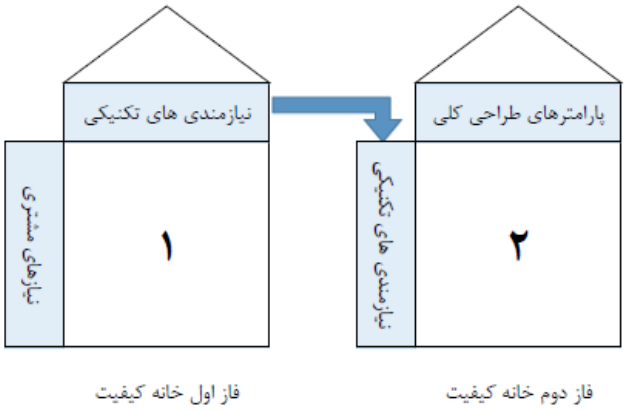

Fig. 7. Second phase of QFD.

شکل ۷: فاز دوم تابع ارتقا کیفیت.

در گام بعدی رابطه بین نیازمندی‌های تکنیکی و پارامترهای طراحی کلی تعریف شده در ماتریس ارتباطات، تعیین می‌شود. علامت Θ بیانگر رابطه بالا و عمیق، علامت O نشان‌دهنده رابطه متوسط و علامت ▲ نشان‌دهنده رابطه ضعیف بین نیازمندی‌های تکنیکی و پارامترهای طراحی کلی تعیین شده می‌باشند. در صورتی که رابطه‌ای بین نیازمندی‌های تکنیکی و پارامترهای طراحی اصلی وجود نداشته باشد، خانه مربوطه خالی می‌ماند. سقف خانه کیفیت (ماتریس همبستگی[1]) در فاز دوم خانه ارتقا کیفیت خالی

1 Correlation Matrix

می‌ماند. علت این موضوع این است که پارامترهای طراحی کلی تعیین شده به صورت کاملاً مجزا هستند و انتخاب یکی از آنها بیانگر کنار گذاشتن دیگر گزینه‌ها است؛ بنابراین ماتریس همبستگی در خانه کیفیت فاز دوم کاملاً خالی خواهد بود.

پس از تکمیل خانه کیفیت مربوطه می‌توان وزن نسبی و وزن مطلق هریک از پارامترهای طراحی کلی (پیکربندی‌های مختلف) را به دست آورد. از بین پیکربندی‌های موجود، گزینه‌ای که بیشترین وزن را داشته باشد، به عنوان مناسب‌ترین پیکربندی برای دم هواپیما تعیین می‌شود. خانه کیفیت نشان داده شده در شکل ۸، خانه کیفیتی است که به منظور انتخاب بهترین پیکربندی برای دم هواپیما به کار گرفته شده است. در این خانه، دم معمولی در عقب هواپیما، دم تی شکل[1]، دم صلیبی[2]، دم جلویی و پیکربندی سه سطحی[3] به عنوان پارامترهای طراحی کلی در نظر گرفته شده‌اند. هر یک از این پیکربندی‌ها تا حدی می‌توانند نیازمندی‌های تعیین شده برای دم هواپیما را برآورده کنند. وقتی این خانه کیفیت کامل شود اطلاعات بسیار سودمندی برای گزینش بهترین پیکربندی در اختیار طراح قرار می‌دهد.

بر اساس خانه کیفیت نشان داده شده در شکل ۸، پیکربندی دم معمولی مناسب‌ترین پیکربندی برای دم هواپیما می‌باشد. یعنی با انتخاب این پیکربندی احتمال برآورده شدن نیازمندی‌های تکنیکی تعیین شده، بیش از دیگر پیکربندی‌ها خواهد بود.

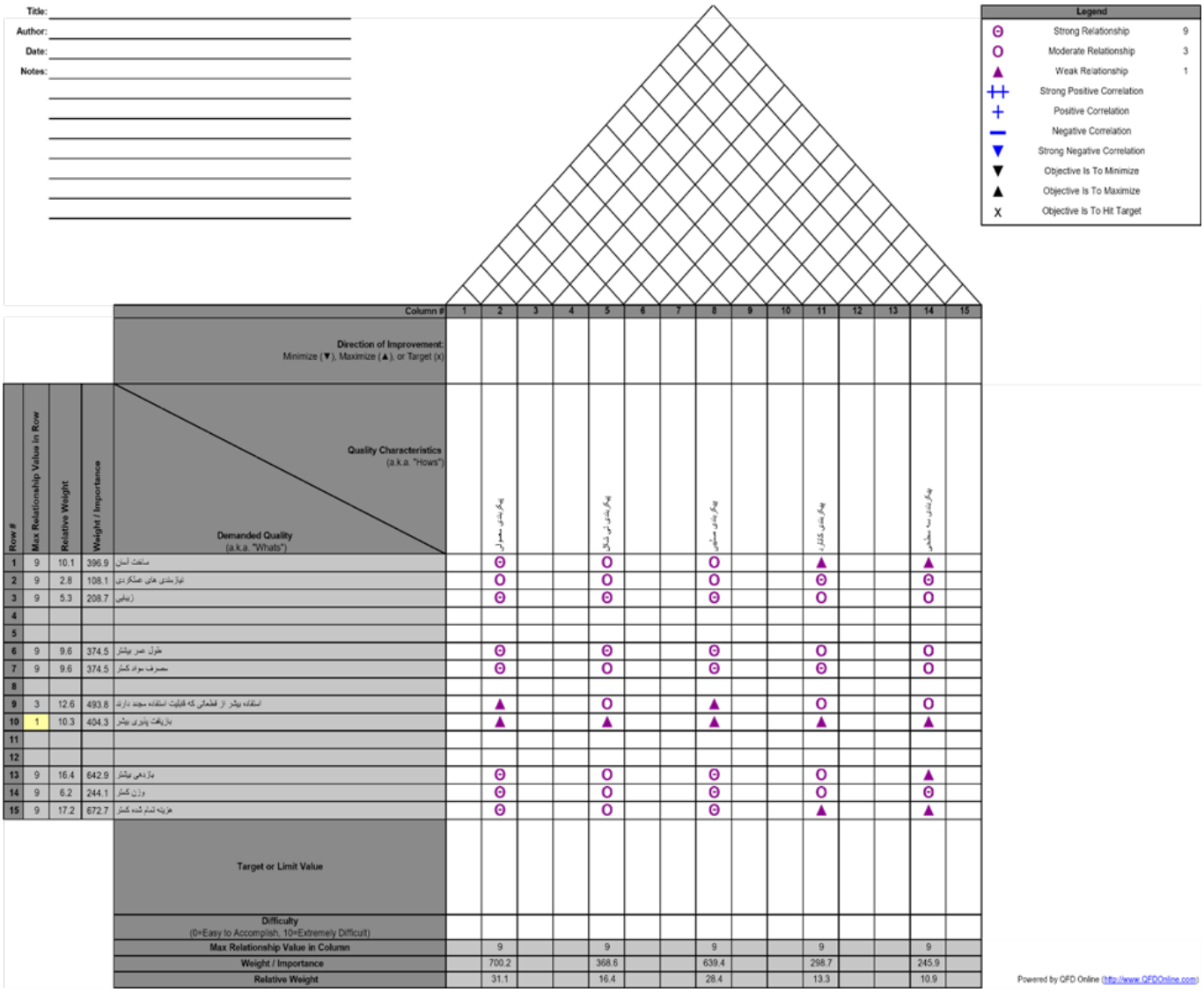

Fig. 8. HoQ for selection the best configuration of airplane tail.

شکل ۸: خانه کیفیت مربوط به انتخاب بهترین پیکربندی دم هواپیما

1 T tail Configuration
2 Cruciform Configuration
3 Tree Surface configuration

۵- ۵- چگونگی تأثیر طراحی اصل محور بر فرآیند اندازه نمودن دم هواپیما

هدف اصلی دم هواپیما فراهم‌نمودن پایداری و کنترل‌پذیری مناسب برای هواپیما است. طراح یک هواپیما نه تنها باید نوع، اندازه و موقعیت دم هواپیما را تعیین کند، بلکه تعیین سامانه کنترلی دم هواپیما را نیز بر عهده دارد؛ اما پیش از هر نوع فعالیتی برای تعیین سامانه کنترلی هواپیما باید نوع پیکربندی دم تعیین شود [۱۰].

در این مقاله نوع و پیکربندی دم هواپیما به کمک فاز دوم خانه ارتقا کیفیت تعیین شده است. در گام بعدی اندازه نمودن دم که شامل تعیین ابعاد شکل دم است، صورت می‌پذیرد. این کار با طی مراحل هجده‌گانه تعیین شده در بخش ۳ صورت می‌پذیرد. در الگوریتم بیان شده برخی از پارامترها با انجام محاسبات و برخی با تصمیم‌گیری طراح مبتنی بر اصول مهندسی تعیین می‌شوند. برخی از پارامترهای دیگر از قبیل زاویه انحراف به سمت پایین، زاویه انحراف باد به سمت کنار و زاویه حمله مؤثر نیز در فرآیند طراحی و اندازه نمودن دم تعیین می‌شوند هر چند که در فرآیند ساخت کاربردی ندارند [۲].

همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده، طراح برای تعیین پارامترهای مورد نیاز دم، باید طی یک فرآیند گام به گام اقدام نموده و میزان برآورده‌شدن نیازمندی‌های مربوط به پایداری و کنترل‌پذیری را بررسی کند. در روش‌های سنتی، اگر پیکربندی طراحی شده نتواند نیازمندی‌های مربوط به پایداری و کنترل‌پذیری را برآورده کند، طراح ناچار است دم طراحی شده را اصلاح کند و فرآیند طراحی را از گام ۱ تا ۱۸ تکرار کند. این کار سبب طولانی شدن فرآیند طراحی و افزایش هزینه‌های آن می‌شود. یکی از راهکارهای کاهش تکرار در فرآیند طراحی، استفاده از ماتریس‌های طراحی به دست آمده از انجام فرآیند تجزیه در روش طراحی اصل محور است که با توجه به اصل استقلال به دست آمده‌اند. برای مثال طراح می‌تواند با مطالعه ماتریس طراحی مربوط به دم افقی (شکل ۶) از ارتباط بین ارضای نیازمندی‌های مربوط به پایداری استاتیکی دم (FR2.1.1) با نیازمندی مربوط به تعادل طولی هواپیما (FR1) آگاهی یابد. بنابراین طراح می‌تواند تشخیص دهد، زمانی که در حال تعیین ضریب نیروی برآ مورد نیاز برای برقراری تعادل طولی است (گام ۶)، می‌توان ارضای نیازمندی مربوط به پایداری استاتیکی طولی هواپیما (گام ۱۸) با توجه به ضریب نیروی بالا برنده تعیین شده در گام ششم را مورد بررسی قرار داد. در صورت اجابت نیازمندی مربوط به پایداری استاتیکی طولی، فرآیند طراحی ادامه می‌یابد و در غیر این صورت طراح فقط گام‌های ۱ تا ۶ طراحی را باید تکرار کند تا نیازمندی‌های مربوط به پایداری استاتیکی برآورده شود. این بدان معنی است که طراح می‌تواند با بهره‌گیری از نتایج به دست آمده از روش طراحی اصل محور میزان تکرار در فرآیند طراحی را از ۱۸ گام به ۶ گام کاهش دهد و این کار سبب کاهش زمان و هزینه طراحی و در نهایت افزایش قدرت رقابت‌پذیری محصول در بازار می‌شود. به علاوه انتخاب پیکربندی مناسب به کمک فاز دوم روش ارتقا تابع کیفیت و براساس نیازمندی‌های تکنیکی تعیین شده احتمال تکرار فرآیند طراحی به دلیل انتخاب پیکربندی نامناسب را تا حد بسیار بالایی کاهش می‌دهد.

۶- نتیجه‌گیری

در این نوشتار تلاش شده است تا با بهره‌گیری از روش طراحی اصل محور در فرآیند طراحی مفهومی دم یک هواپیما، بهترین پیکربندی برای دم هواپیما انتخاب شده و از میزان تکرار در فرآیند طراحی دم کاسته شود. در این مقاله از روش ارتقا تابع کیفیت که یکی از روش‌های بسیار کاربردی برای انتقال صدای مشتری به طراحان به شمار می‌رود، برای پوشش برخی از کاستی‌های روش طراحی اصل محور استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان‌دهندهٔ این است که روش ترکیبی مورد استفاده، روشی بسیار مناسب برای افزایش خلاقیت طراح، کاهش فرآیند تکرار و در نهایت بهینه‌سازی محصولات موجود به شمار می‌آید.

به عبارت دیگر، در این مقاله استفاده از این روش ترکیبی به منظور نگاشت مناسب نیازهای مشتری به نیازمندی‌های تکنیکی و پارامترهای طراحی متناظر با آنها و شناسایی نقاط همگیرایی بین نیازمندی‌های عملکردی براساس ماتریس‌های طراحی به دست آمده (طبق اصل استقلال روش طراحی اصل محور) جهت کاهش فرآیند تکرار و همچنین انتخاب بهترین پیکربندی برای دم هواپیما (براساس فاز دوم روش ارتقا تابع کیفیت) استفاده شده است. در نهایت نشان داده شد که استفاده از این روش ترکیبی می‌تواند در کاهش میزان تکرار در فرآیند طراحی تأثیرگذار باشد.

به عنوان مثال، با مطالعه ماتریس طراحی مربوط به دم افقی که در شکل ۶ نشان داده شده است، ارتباط بین نیازمندی عملکردی ارضای نیازمندی‌های مربوط به پایداری استاتیکی دم با نیازمندی مربوط به تعادل طولی هواپیما مشخص می‌شود. یعنی زمانی که طراح در حال تعیین ضریب نیروی بالا برنده مورد نیاز برای برقراری تعادل طولی است)گام ششم) می‌تواند ارضای نیازمندی مربوط به پایداری استاتیکی طولی هواپیما (گام هجدهم) را با توجه به ضریب بالابرنده تعیین شده در گام ششم مورد بررسی قرار دهد.

در صورت اجابت نیازمندی مربوط به پایداری استاتیکی طولی، فرآیند طراحی ادامه می‌یابد و در غیر این صورت طراح فقط ناچار به تکرار گام‌های ۱ تا ۶ طراحی به منظور ارضای نیازمندی‌های مربوط به پایداری استاتیکی می‌باشد. این بدان معنا است که بهره‌گیری از نتایج به دست آمده از روش طراحی اصل محور میزان تکرار در فرآیند طراحی را از هجده گام به شش گام کاهش می‌دهد و این کار سبب کاهش زمان و هزینه طراحی و در نهایت افزایش قدرت رقابت‌پذیری محصول در بازار می‌شود.

از سوی دیگر انتخاب پیکربندی مناسب به کمک فاز دوم روش ارتقا تابع کیفیت و براساس نیازمندی‌های تکنیکی تعیین شده، احتمال تکرار فرآیند طراحی به دلیل انتخاب پیکربندی نامناسب را تا حد بسیار بالایی کاهش می‌دهد.

توضیح آن‌که با توجه به خانه کیفیت مربوط به فاز دوم روش ارتقا تابع کیفیت که در شکل ۸ نشان داده شد، می‌توان تشخیص داد که پیکربندی

معمولی، مناسب‌ترین پیکربندی برای دم هواپیمای مورد مطالعه بوده و انتخاب دیگر پیکربندی‌ها، سبب افزایش میزان اطلاعات (اصل دوم در طراحی اصل محور) و در نتیجه پیچیدگی فرآیند طراحی می‌شود.

با توجه به پیچیده بودن روند محاسبه میزان اطلاعات هر یک از پارامترهای طراحی کلی تعیین شده در روش ترکیبی بیان شده، محاسبه میزان پیچیدگی و اطلاعات هر یک از پارامترهای طراحی اصلی (ارضای اصل اطلاعات) با استفاده از قابلیت‌های روش ارتقا تابع کیفیت و با توجه به معیارهای زیست محیطی و معیارهای طراحی پایدار، می‌تواند موضوع مورد مطالعه محققان در پژوهش‌های آتی باشد.

برای سیلندر مربعی با انتهای آزاد نیم‌بیضوی در نزدیکی مرکز انتهای آزاد سیلندر اتفاق می‌افتد؛ همچنین شیب فرود بردارهای سرعت در سیلندر مربعی با انتهای آزاد نیم بیضوی اندکی بیش‌تر از سیلندر مربعی با انتهای آزاد تخت است.

منابع

[1] W. Hsu and I.M.Y.Woon, Current and Future Research in the Conceptual Design of Mechanical Products, *Computer Design*, 30 (1998) 377-389.

[2] M. H. Sadraey, *Aircraft design: A systems engineering approach*, 1st edition, Wiley Interscience, Place Published, 2013.

[3] B. Liu, Conceptual design: issues and challenges, *Computer Design*, 32 (2000) 849-850.

[4] A. Hosseinpour, *Integration of Axiomatic Design with Quality Function Deployment for Sustainable Modular Product Design*, M.SC Thesis in Department of Mechanical Engineering, University of Manitoba, Manitoba, 2013.

[5] A.Mollaian,M.Houshmand, A Statistical Solution to Mitigate Functional Requirements Coupling Generated from Process (Manufacturing) Variables Integration-Part I, in: *9th International Conference on Axiomatic Design*(*ICAD*), (2015) 69-75.

[6] Mary Kathryn Thompson,Where is the 'Why' in Axiomatic Design?, in: *8th International Conference on Axiomatic Design*(*ICAD*), (2014) 7-12.

[7] D. G. Lee and N. P. Suh, *Axiomatic Design and Fabrication of Composite Structures: Applications in Robots, Machine Tools, and Automobilesircraft design: A systems engineering approach*, 1st edition, Oxford University Press, New York , 2006.

[8] N. Fazli, *Axiomatic Design Science: Application in reducing Design Complexities of Special Structures*, Ph.D Thesis in Aerospace Department, Sharif University of Technology, Tehran , 2011.(in Persian)

[9] S. Rezzuti, A procedure based on robust design to orient towards reduction of information content, in: *9th International Conference on Axiomatic Design*(*ICAD*), (2015) 37-43.

[10] S. Gudmundsson, *General aviation aircraft design: applied methods and procedures*, 1st edition, University Elsvier, 2013.

[11] E. Torenbeek, *Synthesis of subsonic airplane design: an introduction to the preliminary design of subsonic general aviation and transport aircraft, with emphasis on layout, aerodynamic design, propulsion and performance*, 1st edition, Delft University Press, Netherlands, 1976.

[12] B. S. El-haik, *Axiomatic Quality: Integrating Axiomatic Design with Six-Sigma, Reliability, and Quality Engineering*, 1st edition, A JOHN WILEY & SONS, Netherlands, 2005.

[13] Mary Kathryn Thompson, A Classification of Procedural Errors in the Definition of Functional Requirements in Axiomatic Design Theory, in: *7th International Conference on Axiomatic Design*(*ICAD*), (2013) 107-112.

[14] R. Gilbert, M.Omar, A.Farid, An Integrated QFD and AD methodology for the satisfaction of temporary housing stakeholders, in: *8th International Conference on Axiomatic Design*(*ICAD*), (2014).

[15] QFD Online, http://www.QFDonline.com.

[16] N. Manchulenko, *Applying Axiomatic Design principles to the house of quality*, M.SC Thesis in industrial and manufacturing system engineering, University of Windsor, Canada, 2001.

[17] P. A. Marques, Value-based Axiomatic decomposition(PARTI): Theory and development of the proposed method, in: *7th International Conference on Axiomatic Design*(*ICAD*), (2013) 17-25.

[18] D. D. E. Tate, *A roadmap for decomposition: activities, theories, and tools for system design*, Ph.D Thesis in mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 1999.

Axiomatic Approach to Managing the Information Content in QFD: Applications in Material Selection, in: *7th International Conference on Axiomatic Design*(*ICAD*), (2013) 32-37.

[19] J. Roskam, *Airplane Design:Part II*, 1st edition, Roskam Aviation and Engineering Corporation, Kansas, 1985.

[20] A. G. Carlo Cavallini, P.Citti, L.Costanzo, An

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

M. A. Shahi-Ashtiani and A. Alipour, An Axiomatic Design approach to Reduce Repetition in Tail Conceptual Design Process, *Amirkabir J. Mech. Eng.*, 50(1) (2018) 3-14.

DOI: 10.22060/mej.2017.11668.5151