مقاله پژوهشی

ارزیابی طرح‌های مهندسی با رویکرد تنوع‌پذیری (مطالعه موردی: رادار آرایه فازی)

مهدی کرباسیان
نویسنده مسئول دانشیار،دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی مدیریت و مهندسی صنایع، اصفهان، ایران.

پرستو دیوسالار[1]
دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی مالک اشتر، اصفهان، ایران

ام‌البنین یوسفی،
استادیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی مدیریت و مهندسی صنایع، اصفهان، ایران

جعفر قیدر خلجانی
استادیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی مدیریت و مهندسی صنایع، اصفهان، ایران

چکیده: گسترش تنوع محصولات، به مشتریان کمک می‌کند تا محصولی را بیابند که متناسب با نیازهای فردی آن ها است. از این رو شرکت‌ها به دنبال یافتن روش‌هایی برای مدیریت بهتر و رویه‌های ایجاد تنوع در محصول هستند و یک طراحی منطبق با تنوع‌پذیری می‌تواند برای سازمان مزیت رقابتی محسوب شود. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی طرح‌های مهندسی با رویکرد تنوع‌پذیری، مدل بهینه‌سازی را ارائه داده است که طرح‌های مهندسی را از نظر دو پارامتر مقدار تغییرات مورد نیاز طرح جهت استانداردسازی در حال حاضر و تلاش تولیدکنندگان در آینده جهت طراحی مجدد اجزا مورد بررسی قرار می‌دهد. پارامتر مقدار تغییرات مورد نیاز طرح جهت استانداردسازی در حال حاضر به کمک شاخص تنوع نسلی و شاخص اتصالات و پارامتر تلاش تولیدکنندگان در آینده جهت طراحی مجدد اجزا به کمک شاخص اشتراکات به دست می‌آید. به کار گیری مدل توسعه داده شده در پژوهش حاضر و همینطور تعیین حد مجاز اجزای در الویت استانداردسازی و میزان تلاش در آینده، منجر به انتخاب طرح مهندسی خواهد شد که می‌تواند هزینه‌های اصلاح محصول، تلاش جهت طراحی مجدد و زمان عرضه به بازار را کاهش دهد. مدل توسعه داده شده در این تحقیق بر روی یکی از رادارهای آرایه فازی صنایع الکترونیک ایران پیاده‌سازی شده و با استفاده از آن طرح مهندسی بهینه رادار مورد نظر تعیین شده است.

کلمات کلیدی: انتخاب طرح مهندسی برتر، مدل بهینه‌سازی ریاضی، رویکرد تنوع‌پذیری

۱- مقدمه

۱-۱- بیان مساله

امروزه افزایش و پیچیدگی نیاز مشتریان سبب تنوع محصولات موجود در بازار شده است. به همین خاطر شرکت‌ها برای جلب رضایت مشتری و تقویت رقابت‌پذیری خود سعی دارند تا تنوع بیشتری به بازارها ارائه دهند. گسترش مدل‌های مختلف محصولات، به مشتریان اجازه می‌دهد تا محصولی را بیابند که کاملا متناسب با نیازهای فردی آن‌ها است. از این رو شرکت‌ها به دنبال یافتن روش‌هایی برای مدیریت بهتر و رویه‌های ایجاد تنوع در محصول می‌روند و یک طراحی منطبق با تنوع‌پذیری می‌تواند برای سازمان مزیت رقابتی محسوب شود تا تلاش برای طراحی محصولات آینده شرکت را به حداقل رسانده و زمان عرضه محصول به بازار و هزینه‌های مربوط به آن را کاهش دهد. بنابراین باید طرحی تولید شودکه علاوه بر داشتن معیارهای

Corresponding author: mkarbasi@mut-es.ac.i

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۲
دوره ۱۱/ شماره ۳
صفحات ۲۴۳- ۲۶۰

ارزیابی عمومی، بتواند به سرعت جوابگوی تغییرات در نیاز مشتریان بوده و با حداقل هزینه و تلاش و در زمانی کوتاه تر آن را برآورده سازد. علی رغم اهمیت زیاد طرح‌های توسعه محصول جدید که منجر به تنوع محصول خواهند شد، درصد زیادی از این پروژه‌های توسعه با شکست مواجه می‌شوند. بنابراین ارزیابی گزینه‌ها در مراحل اولیه طراحی و انتخاب بهترین گزینه یکی از گلوگاه‌های کلیدی در فرآیند توسعه‌ی محصولات جدید می‌باشد. انتخاب بهترین طرح مهندسی که منجر به رضایت مشتری و تقویت رقابت‌پذیری می‌شوند نیازمند یک ارزیابی اثربخش در مراحل اولیه توسعه طرح می‌باشد. هدف پژوهش حاضر یافتن معیارهای جامع و کامل جهت ارزیابی طرح‌های مهندسی و توسعه‌ی مدل ریاضی اثربخش جهت ارزیابی می‌باشد تا به کمک آن‌ها بتوان در مراحل اولیه طراحی محصول جدید به ارزیابی طرح‌های مهندسی پرداخته و بهترین طرح مهندسی را انتخاب کرد.

۱-۲- مبانی نظری:

- **طراحی برای تنوع‌پذیری[1]**

رویکرد تنوع‌پذیری مجموعه ای از روش های ساختاری است که به تیم طراحی کمک می‌کند تاثیر تنوع را بر هزینه‌های چرخه عمر محصول کاهش دهد[۴]. هدف این رویکرد، طراحی نوعی معماری است که برای تطبیق با تغییرات آتی، مستلزم حداقل تلاش مجدد است[۵]. داشتن این معماری می‌تواند پتانسیل سودآوری محصول را افزایش دهد. همینطور طراحی فعلی محصول را با نگاهی به آینده محصول انجام داده و هزینه‌های توسعه‌ای را کاهش می‌دهد. از طرفی داشتن چنین معماری سبب می‌شود که با ایجاد تغییرات جزئی بتوان نیاز های بازارهای آینده را محقق کرد. یک امتیاز رقابتی برای هر شرکت، ارائه سریع محصولات به بازار است. یک روش موثر برای کسب این امتیاز، مهندسی آینده، طراحی تنوع‌پذیر و داشتن معماری مناسب می‌باشد .

- **شاخص تنوع نسلی**

شاخص تنوع نسلی، شاخص میزان تغییرات مورد نیاز یک مولفه برای انطباق با معیارهای تنوع‌پذیری [2]است. این شاخص نشان می‌دهد که هر یک از اجزا و قطعات محصول برای برآوردن نیازهای آینده مشتریان به چه میزان تغییر و طراحی مجدد نیاز دارند.[۵].

- **شاخص اتصالات**

شاخص اتصالات، میزان شدت اتصال بین قطعات یک محصول را نشان می‌دهد. هر چه ارتباط بین قطعات قوی تر باشد تغییر یک قطعه مستلزم تغییر قطعات دیگر است و این بدین معنی ست که کار برای تطابق محصول با نیازهای آینده و توسعه آن سخت‌تر می‌شود. درک اتصالات در یک طراحی، برای طراحی یک معماری مقاوم به تغییرات بعدی و توجه به خواسته های مشتری، لازم است[۵].

- **شاخص اشتراکات**

شاخص اشتراکات بیانگر میزان مشابهت مشخصه‌های طراحی محصول جدید با محصولاتی است که در گذشته در سازمان تولید می‌شد. این شاخص تنها شباهت قطعات را نشان نمی‌دهد بلکه می‌توان به کمک آن به درصد مشابهت در نوع مواد، فرایندها، روش مونتاژ و روش ساخت پی‌برد[۶]. محققان اغلب از شاخص اشتراکات به عنوان یک پروکسی برای پیش‌بینی مقدار هزینه فعالیت مورد نیاز برای طراحی، تولید و مونتاژ یک متغیر محصول جدید استفاده می‌کنند[۷] [۸].

در پژوهش حاضر، این شاخص به بررسی اشتراکات بین مشخصه‌های طراحی مؤلفه‌های غیر مشترک دو نسل فعلی و آینده محصول می‌پردازد. هر چه این مؤلفه‌ها در محصول فعلی و محصول آینده به هم نزدیک‌تر باشند بدین معنی است که سازنده در آینده به تلاش کمتری برای تولید محصول نیاز دارد و طرح از منظر شاخص اشتراکات طرح بهتری است.

[1] Design for Variety (DFV)

[2] Engineering Metrics (EM)

۳-۱- پیشینه پژوهش

وانگ و همکارانش[۶] در سال ۲۰۱۹ به کمک شاخص اشتراکات توانستند روشی جهت ارزیابی خانواده محصولات ارائه دهند تا تاثیر تغییرات در خانواده محصول را در زمان معرفی یک نوع جدید از محصول شناسایی کنند. شاخص اشتراکات یکی از شاخص‌های تنوع‌پذیری است که برای ارزیابی میزان فعالیت مورد نیاز جهت طراحی، ساخت و مونتاژ یک محصول جدید از یک خانواده محصول استفاده شده است. برای ارزیابی سودمندی این روش، از آن برای ارزیابی تغییرات پلت فرم ناشی از نسل‌های متوالی scanner head از دو تولید کننده استفاده شده‌است. این روش نشان داد که یک تولیدکننده با بهبود کارایی اجزای آن و زمان مونتاژ می‌تواند طراحی آن زیرسیستم را بهبود ببخشد.

ژانگ و همکارانش[۱۲] در سال ۲۰۱۹ به بررسی طراحی خانواده محصول هواپیما به منظور کاهش هزینه‌های طراحی، چرخه توسعه و گسترش بازار آن پرداختند. این تحقیق به تحلیل تاثیر اشتراکات بر انواع مختلف هواپیماها می‌پردازد. شاخص‌های اشتراکات محصولات موجود به طور خلاصه بیان شده و محدودیت‌های آن در کاربرد طراحی هواپیماها مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌است. سپس یک شاخص اشتراکات جدید براساس ساختار تجزیه اجزا پیشنهاد شده است. مدلی برای محاسبه ارزش برنامه هواپیما بر اساس هزینه‌های توسعه، هزینه‌های تولید، قیمت فروش، هزینه بهره‌برداری و هزینه‌های باقی مانده پیشنهاد شده و تاثیر اشتراکات بر زمان و هزینه‌های اقتصادی توسعه و ساخت، و قیمت فروش، تحلیل و تعیین شده‌اند.

خال خلیب و همکارانش[۱۱] در سال ۲۰۱۷ به کمک رویکرد تنوع‌پذیری به طراحی قسمت زیرین خودرو پرداخته اند. این رویکرد به خودروسازان کمک می‌کند تا با حداقل تغییر به نیازهای متغیر بازار پاسخ دهند. این پژوهش به کمک طراحی بدیهه گرا، چارچوبی را برای تفسیر رویکردها به منظور کاهش شاخص تنوع نسلی و شاخص اتصالات ارائه داده و به کمک آن استانداردسازی و ماژولارسازی قسمت زیرین خودرو را جهت کاهش هزینه و تلاش در آینده انجام می‌دهد.

گوپال نادادر و همکارانش[۹] در سال ۲۰۱۲ نشان دادند که چگونه شاخص تنوع نسلی به طراحان کمک می‌کند تا نیاز محصول به تغییرات در آینده را شناسایی کنند همینطور کاربرد شاخص تنوع نسلی را در گوشی‌های اپل بیان کرده و نیز ۵ نسل از گوشی های آیفون را مورد تحلیل قرار دادند. در این پژوهش پس از ارزیابی عمر بازار، ماتریس QFD تشکیل شده و در ادامه ضمن پیش بینی تغییرات در نیاز مشتریان و ساخت ماتریس تنوع نسلی، مقادیر شاخص تنوع نسلی محاسبه می‌شود.

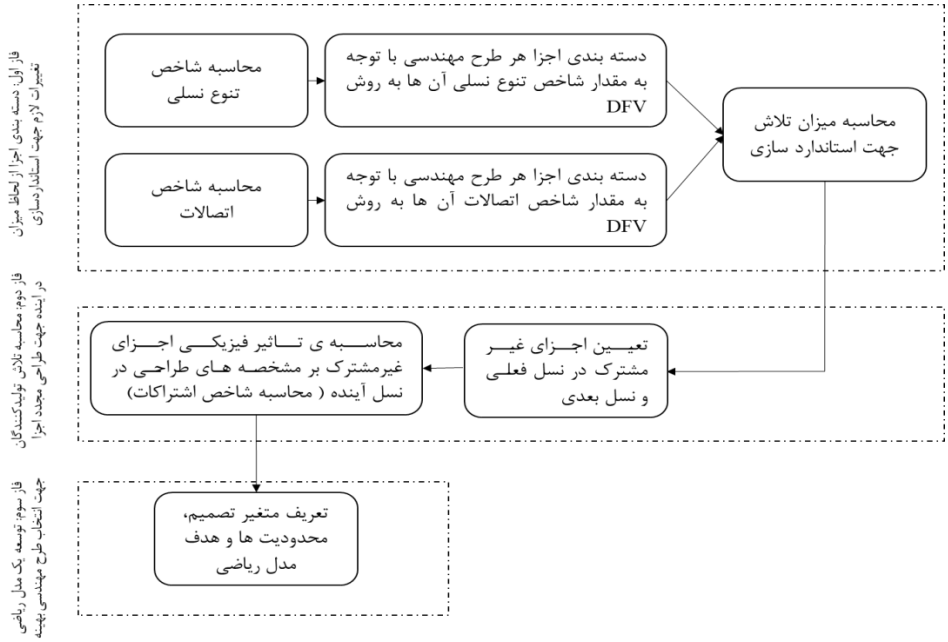
ساراج گاپتا و گل اکودان[۴] در سال ۲۰۰۸ چارچوبی را برای ایجاد طرح‌های مهندسی قوی با رویکرد تنوع‌پذیری و قابلیت مونتاژپذیری ارائه دادند. گزینه‌های طراحی مهندسی به دست آمده از این چارچوب پیشنهادی ابتدا بر اساس شاخص‌های مونتاژ که شامل ۱۳ معیار نظیر روش اتصال، وزن، تعداد اجزای منحصر به فرد، طول، حرکت اجزا است رتبه‌بندی می‌شوند. پس از آن، گزینه‌های الویت یافته بار دیگر به کمک شاخص تنوع نسلی مورد ارزیابی قرار گرفته و تغییرات مواردی مانند هزینه، وزن، عمر باتری و ... در طول زمان ارزیابی می‌شوند تا شاخص‌های تنوع‌پذیری نیز محاسبه شده و در نهایت طرح مهندسی برتر انتخاب شود.

مارک مارتین و کسوکه ایشی [۱۰] در سال ۲۰۰۲ به کمک شاخص تنوع نسلی و شاخص اتصالات روش طراحی برای تنوع‌پذیری را ارائه دادند. آن‌ها به کمک این روش شاخص تنوع نسلی و اتصالات هر یک از اجزا محصول را به دو دسته‌ی بالا و پایین تقسیم کرده و سپس با ارائه‌ی یک استاندارد نشان دادند که کدام یک از قطعات در الویت استانداردسازی قرار دارند. به کمک این دسته‌بندی سازنده در می‌یابد که برای برآوردن نیاز آینده مشتری کدام اجزا در الویت استانداردسازی و طراحی مجدد هستند.

۲- تشریح روش پیشنهادی

مدل مفهومی پژوهش حاضر در شکل ۱ نشان داده شده است. پژوهش حاضر شامل سه فاز اصلی و هشت گام می‌باشد. در فاز اول ابتدا شاخص‌های تنوع نسلی و اتصالات محاسبه شده و سپس با به کارگیری روش DFV اجزای هر یک از طرح‌های مهندسی دسته‌بندی می‌شوند. در ادامه با توجه به وزن هر دسته و تعداد اجزایی که به آن دسته تعلق دارند میزان تلاش جهت استانداردسازی هر طرح مهندسی حساب می‌شود. در فاز دوم، پس از شناسایی اجزای غیر مشترک بین دونسل، تاثیر

فیزیکی اجزای غیر مشترک بر هر یک از مشخصه‌های طراحی در نسل آینده که در واقع همان شاخص اشتراکات است به دست می‌آید. در فاز سوم با به کارگیری مدل ریاضی توسعه داده شده، طرح مهندسی برتر انتخاب می‌شود.



شکل۱: مدل مفهومی پژوهش

۲-۱- تعیین مقادیر کمی معیارهای تنوع‌پذیری

یکی از جنبه‌های پراهمیت ارزیابی محصول، سنجش آن به کمک معیارهای تنوع‌پذیری است. زیرا این معیارها تعیین می‌کنند که برای تطبیق آن محصول با نیازهای آینده مشتریان به چه میزان زمان، هزینه و تلاش احتیاج است. در پژوهش حاضر، معیارهای تنوع‌پذیری با استفاده از تحقیقات پیشین صورت گرفته در این زمینه شناسایی شده‌اند. معیارهای ارزیابی طرح‌های مهندسی از نظر تنوع‌پذیری شامل شاخص تنوع نسلی، شاخص اتصالات و شاخص اشتراکات می‌باشد.

۱-۱-۲- شاخص تنوع نسلی[3]

برای محاسبه شاخص تنوع نسلی ابتدا با تحلیل بازار، عمر محصول و روند تغییر نیاز مشتریان، تعیین می‌شود که محصول مورد نظر در چه آینده ای احتیاج به تغییر دارد و مشتریان تا چه زمانی مایل هستند از پلتفرم فعلی محصول استفاده می‌کنند. پس از تشخیص عمر محصول، در گام بعد با تحلیل نیاز آینده مشتریان، الزامات کارکردی محصول در آینده تعیین می‌شود. بدین صورت که با تحلیل نیاز به الزامات عملکردی رسیده و سپس از الزامات عملکردی، الزامات کارکردی به دست می‌آید. پس از تعیین نیاز مشتری و الزامات کارکردی با رسم یک خانه کیفیت، تعیین می‌شود که کدام نیازها و کدام الزامات کارکردی با هم در ارتباط هستند. سپس ارتباط نیاز مشتری و الزامات کارکردی، مقدار هر یک از الزامات کارکردی تعیین می‌گردد. برای مثال الزام کارکردی مربوط به نیاز قابلیت ردگیری اهداف با سرعت بالا، ایجاد گشتاور است که مقدار آن توسط خبرگان طراحی مقدار 10 rpm است. این مقادیر با محاسبات رویه ای[4] به دست می‌آید. پس از تعیین مقادیر الزامات کارکردی محصول فعلی، باید تعیین شود که این مقادیر متناسب با تغییرات نیاز مشتریان در آینده چه تغییری می‌کند. برای این کار ابتدا تعیین می‌شود که هر یک از نیازهای مشتری تا چه میزان تغییر خواهد کرد. این مقدار تغییر به صورت کیفی یعنی کم، متوسط و زیاد تعیین می‌شود و سپس تعیین می‌شود که متناسب با تغییر نیاز، تغییرات در الزامات کارکردی در آینده به چه میزان است. به مقدار الزامات کارکردی در آینده مقدار هدف الزام کارکردی گفته می‌شود. برای مثال در آینده به دلیل

[3] Generational variety index (GVI)

[4] Procedural calculations

وجود تهدیدهای متنوع دشمن، نیاز مشتری به ردگیری دقیق اهداف زیاد می‌شود و در نتیجه با محاسباتی که توسط طراحان محصول انجام می‌شود مقدار گشتاور محصول در آینده باید 12 rpm باشد. پس از تعیین ارتباط بین نیاز مشتریان و الزامات کارکردی محصول باید تعیین شود که کدام یک از اجزای محصول وظیفه دارند آن الزامات کارکردی را محقق کنند. بدین منظور در جدولی ارتباط بین اجزای محصول و الزامات کارکردی مشخص می‌شود. میزان قوی یا ضعیف بودن این ارتباط با اعداد ۱، ۳، ۶ و ۹ مشخص می‌شود. بدین صورت که اگر آن جزء مورد نظر نقش کمی در برآورده کردن الزام کارکردی مربوطه داشته باشد عدد ۱ و اگر نقش زیادی داشته باشد عدد ۹ را به آن تخصیص می دهیم. در این بخش می‌توان تنها اجزای اصلی که وظیفه برآورده کردن الزامات کارکردی را دارند در جدول مذکور فهرست کرد و از اجزای فرعی صرف نظر کرد.

حال تعیین می‌شود که برای محقق شدن مقدار هدف الزام کارکردی در آینده، اجزای محصول چه میزان باید تغییر کنند. این تغییر نیز با اعداد ۱، ۳، ۶ و ۹ مشخص می‌شود. بدین صورت که اگر جهت برآوردن الزام کارکردی مربوطه نیاز باشد که اجزا، طراحی مجدد شوند عدد ۹ و اگر نیازی به تغییر جز نباشد عدد ۱ به آن جز یا قطعه اختصاص می‌یابد. نحوه اختصاص دادن این مقادیر به اجزا مطابق جدول ۱ می‌باشد. این مقادیر در ماتریسی ثبت می‌شوند که در ستون‌های آن اجزا و در سطرهای آن الزامات کارکردی قرار دارند. نهایتاً با جمع اعداد هر یک از ستون‌ها که مربوط به اجزا محصول می‌باشد، شاخص تنوع نسلی هر یک از اجزا محاسبه می‌شود.

جدول ۱: میزان تغییرات اجزا[۱۳]

توضیحات	درجه‌بندی
مستلزم طراحی مجدد کلی قطعات است. (>۵۰ ٪)	۹
مستلزم طراحی مجدد جزئی قطعات است. (<۵۰ ٪)	۶
مستلزم تغییرات ساده و متعدد است. (< ۱۵ ٪)	۳
لزومی به ایجاد تغییر نیست.	۱

تیم توسعه برای تعیین ماتریس شاخص تنوع نسلی و تخمین هزینه تغییر قطعات از تخصص مهندسی و قضاوت خود استفاده می‌کند و مقادیر هدف بعدی معیار مهندسی را تعیین می‌کند. این مقادیر در ماتریس شاخص تنوع نسلی با سیستم درجه‌بندی ۱/۳/۶/۹ نشان داده می‌شوند[۱۳].

۲-۱-۲- شاخص اتصالات

برای محاسبه شاخص اتصالات ابتدا دیاگرام مقدماتی طرح ترسیم می‌شود. سپس با تعیین جریان‌های ورودی و خروجی به هر یک از قطعات، استنتاج می‌شود که کدام یک از قطعات با یکدیگر در ارتباط هستند. در مرحله بعد به وسیله سیستم درجه بندی ۹/۶/۳/۱/۰ تیم، حساسیت هر جز را با یک تغییر کوچک در این ویژگی تخمین می‌زند. این اعداد در واقع نشان می‌دهند اگر لازم باشد که آن جریان ها یا مشخصه‌ها ارتقا و یا تغییر کنند تا چه میزان نیاز به تغییر قطعه است. اگر یک تغییر کوچک در مشخصه سبب تغییر در آن جزء و قطعه شود، آنگاه جزء حساسیت بالایی دارد. اگر ویژگی نیاز به تغییر بزرگی برای ایجاد تغییر در جزء و قطعه دریافت‌کننده داشته باشد، آنگاه دارای حساسیت پایین است.اگر هیچ مشخصه‌ای بر قطعه تاثیر نگذارد عدد ۰، اگر تغییر عمده در مشخصات سبب تغییر قطعه شود عدد ۱، اگر حساسیت متوسط رو به پایین باشد عدد ۳، اگر حساسیت متوسط رو به بالا باشد عدد ۶ و اگر تغییر اندک در مشخصه سبب تغییر قطعه شود عدد ۹ را به آن قطعه اختصاص می دهیم.

اطلاعات تغییر قطعات در ماتریس اتصالات ثبت می‌شوند. مجموع یک ستون که قدرت اطلاعاتی را که توسط آن جزء به سایر اجزا عرضه می‌شود را نشان می‌دهد و شاخص CI-S نام دارد و مجموع یک سطر که اطلاعاتی است که توسط هر مؤلفه دریافت می‌شود که شاخصCI-R نامیده می‌شود. شاخص بالای CI-S نشان می‌دهد که یک قطعه اطلاعات بسیاری در اختیار دیگر قطعات قرار می‌دهد و اگر این قطعه عوض شود احتمال بیشتری وجود دارد که منجر به بروز تغییرات در قطعات دیگر شود. شاخص بالای CI-R در یک قطعه نشان می‌دهد که با تغییر قطعات دیگر احتمال بروز تغییر در این قطعه افزایش می‌یابد[۱۳].

۳-۱-۲- محاسبه شاخص DFV

به کمک شاخص‌های تنوع نسلی و اتصالات می‌توان قطعات و اجزایی که احتیاج به استانداردسازی دارند را شناسایی کرد و در نهایت می‌توان نشان داد که با استانداردسازی کدام قطعات و اجزا هر طرح مهندسی می‌توان آن طرح را نسبت به تغییرات آینده مقاوم نمود. بدیهی است که در ارزیابی نهایی هر طرحی که قطعات و یا اجزای کمتری برای استانداردسازی داشته باشد

طرح بهتری می‌باشد. بدین معنی که طرح مورد نظر نیاز به تلاش و تغییرات کمی جهت استانداردسازی و مقاوم‌سازی نسبت به تغییرات آینده احتیاج دارد. محاسبه این شاخص به شرح زیر می‌باشد[۱۳]:

گام ۱: محاسبه شاخص تنوع نسلی و شاخص اتصالات

گام ۲: مرتب کردن اجزا طبق شاخص تنوع نسلی

الف) رده‌بندی ترتیب شاخص تنوع نسلی

اجزا را به ترتیب شاخص تنوع نسلی هر یک به صورت نزولی مرتب می‌کنیم. این ترتیب نشان می‌دهد که کدام جزء بیشتر در معرض تغییر هستند.

ب) پس از اینکه اجزا را طبق شاخص تنوع نسلی به صورت نزولی فهرست شدند، مقدار شاخص اتصالات را که شامل CI-S و CI-R می‌باشند در کنار هر جزء می‌نویسیم.

گام ۳: تعیین کانون تلاش

پس از تعیین شاخص‌های تنوع نسلی و اتصالات تیم توسعه می‌تواند متوجه اشکالات طرح فعلی شده و طراحی را تغییر دهد تا طراحی بهتری جهت تولید محصول ایجاد کند؛ اما پیچیدگی فرایند طراحی سبب می‌شود که طراحان نتوانند گام اول تغییر طراحی را شناسایی کنند. در ادامه بیان می‌شود که چگونه طراحان باید بدانند که ابتدا باید روی کدام اجزا متمرکز شوند.

این روش دسته‌بندی اجزا، هر یک از اجزا را بر مبنای مقادیر شاخص تنوع نسلی و شاخص‌های اتصالات CI-S و CI-R فهرست می‌کند. بدین صورت که هر جزء با توجه به مقادیر شاخص تنوع نسلی و شاخص‌های اتصالات CI-S و CI-R که دارد در یک دسته قرار می‌گیرد. در این دسته‌بندی مقادیر شاخص تنوع نسلی و شاخص‌های اتصالات CI-S و CI-R در دو دسته H(بالا) و L(پایین) قرار می‌گیرند.

امتیاز H برای قطعاتی انتخاب می‌شود که مستلزم طراحی‌های عمده می‌باشند (بیش از ۵۰٪ تلاشی که صرف طراحی می‌شود). این بدان معناست که جزء با شاخص کلی تنوع نسلی به میزان ۹ و بیش از آن، امتیاز H را می‌گیرد. البته هر تیم طراحی می‌تواند در صورت تمایل روش خاص خود را جهت امتیاز دهی به اجزا انتخاب کند. برای مثال اگر زمان و منابع محدودی برای محصولات بعدی در اختیار باشد، تیم ممکن است به این نتیجه برسد که طراحی مجدد عمده قطعات، میسر نیست. در این حالت، آن‌ها ممکن است امتیاز بالایی را برای یک طراحی مجدد جزئی (مقدار شاخص تنوع نسلی ۶) یا حتی پایین تر از آن تعیین کنند. جدول دسته‌بندی شاخص تنوع نسلی پژوهش حاضر مطابق جدول۲ است.

جدول۲: دسته‌بندی شاخص تنوع نسلی[۱۳]

دسته‌بندی شاخص تنوع نسلی	مقدار شاخص تنوع نسلی
H(بالا)	≥ 9
L(پایین)	< 9

بدین ترتیب می‌توان اجزای طرح مهندسی را طبق مقدار شاخص تنوع نسلی شان به دو دسته H(بالا) و L(پایین) دسته‌بندی کرد. برای شاخص اتصالات نیز رویکردی نسبی اتخاذ می‌شود. حد شاخص اتصالات را با CID نشان می‌دهیم که مقدار آن طبق رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$CID = \frac{\sum_{i=1}^{M}(CI-S)_i}{M}$$ رابطه۱

در رابطه ۱، i شمارنده اجزا و M نیز تعداد اجزای طرح مهندسی هستند. اگر شاخص‌های CI-R و CI-S برای یک جزء برابر با شاخص CID و یا بیشتر از آن باشند امتیاز H (بالا) گرفته و اگر کمتر باشند امتیاز L(پایین) می‌گیرند که در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳: دسته‌بندی شاخص اتصالات[۱۳]

امتیاز	شاخص اتصالات
H(بالا)	$\geq CID$
L(پایین)	$< CID$

پس از تعیین مقدار H(بالا) و L(پایین) برای مقادیر شاخص تنوع نسلی و اتصالات به کمک روشی اکتشافی می‌توان دریافت که کدام اجزا جهت استانداردسازی و تغییر در اولویت قرار دارند. رویکرد اصلی برای کاهش روند طراحی مجدد، استانداردسازی اجزا می‌باشد. با توجه به اینکه اجزایی که شاخص تنوع نسلی در آن‌ها بالا است به دلیل تغییر نیازهای مشتری مستلزم طراحی مجدد عمده هستند، اولین اجزایی هستند که باید آن‌ها را استانداردسازی کرد. با وجود اینکه اجزا با شاخص CI-R بالا نیز مستلزم طراحی مجدد عمده می‌باشند، شاخص تنوع نسلی بالا عمدتا بدین معنا است که طراحی مجدد بیشتر تحت تاثیر قرار می‌گیرد و ابتدا باید به آن توجه نمود. یک فرض دیگر این است که اجزایی را استاندارد نمود که اطلاعات بسیاری عرضه می‌کنند. این قطعات CI-S بالایی دارند. بنابراین قطعاتی با شاخص تنوع نسلی بالا و CI-S بالا در راس فهرست استانداردسازی قرار دارند. در آخر عامل CI-R است که سبب طراحی مجدد می‌شود. این عامل نشان‌دهنده اطلاعات دریافتی از اجزای دیگر است. از آن جایی که این شاخص عموماً راحت تر کاهش می‌یابد تیم می‌تواند ابتدا به شاخص‌های CI-R پایین و تنوع نسلی و CI-S بالا توجه کند و سپس به سراغ شاخص‌های CI-R بالا برود. نحوه دسته‌بندی اجزا مطابق مقادیر شاخص تنوع نسلی و شاخص‌های اتصالات CI-S و CI-R در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴: نحوه دسته‌بندی اجزا[۱۳]

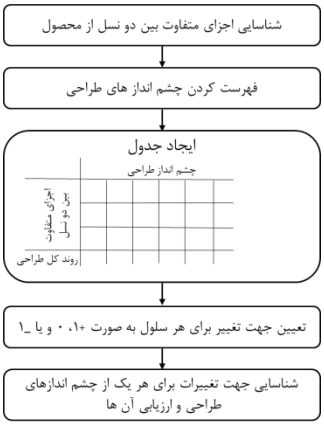
CI-S	CI-R	GVI	الویت اجزا جهت استاندارسازی	وزن
H	L	H	۱	۰.۲۲۲
H	H	H	۲	۰.۱۹۴
L	L	H	۳	۰.۱۶۷
L	H	H	۴	۰.۱۳۹
H	L	L	۵	۰.۱۱۱
H	H	L	۶	۰.۰۸۳
L	L	L	۷	۰.۰۵۶
L	H	L	۸	۰.۰۲۸

به کمک جدول ۴ می‌توان دریافت که کدام یک از اجزای هر طرح مهندسی نیازمند استانداردسازی جهت کاهش روند طراحی مجدد هستند. این استانداردسازی به صورت کاهش شاخص تنوع نسلی تا مقدار پایین (L) و ماژولارسازی که سبب کاهش شاخص اتصالات می‌شود انجام می‌پذیرد. البته گاهی این استانداردسازی به علت مخارج طراحی و ساخت، نیاز به تغییرات کلی اجزا و قطعات و فقدان فناوری مورد نیاز میسر نیست. از آن جایی که در پژوهش حاضر نتایج این روش در مدل بهینه‌سازی استفاده می‌شود لازم است تا برای نشان دادن وضعیت هر یک از طرح‌های مهندسی از یک عدد استفاده شود. بنابراین برای هر یک از این ۸ دسته یک وزن در نظر گرفته می‌شود. برای تعیین وزن هر یک از دسته‌ها، به دسته اول عدد ۸، دسته دوم عدد ۷ و همینطور الی آخر و دسته‌ی هشتم عدد ۱ نسبت داده شد. سپس با نرمال کردن این اعداد وزن هر یک از دسته‌ها مشخص شده است. در گام بعد تعیین می‌شود که با توجه به شاخص‌های تنوع نسلی و اتصالات هر یک از اجزای طرح مهندسی، جز کدامیک از این دسته‌ها قرار می‌گیرد به بیان دیگر چه تعداد اجزا متعلق به هر یک از دسته‌ها می‌باشند.

در آخر با ضرب وزن هر دسته در تعداد اجزای مربوط به آن دسته، عددی که میزان تغییرات لازم را نشان می‌دهد حاصل می‌شود. بدیهی است که هر چه این عدد بیشتر باشد نشان‌دهنده تلاش بیشتر جهت استانداردسازی و طراحی مجدد اجزای آن طرح مهندسی می‌باشد. سپس از آن عدد در مدل بهینه‌سازی استفاده می‌شود.

۲-۱-۴- شاخص اشتراکات

همانطور که اشاره شد گاهی برخی از اجزایی که نیازمند استانداردسازی هستند و در الویت استانداردسازی قرار دارند، به دلیل مخارج طراحی و ساخت، نیاز به تغییرات کلی آن جزء و کمبود دانش و فناوری، استاندارد نمی‌شوند. بدین معنی که این اجزا نمی‌توانند نیازهای آینده مشتریان را برآورده سازند و در نسل‌های بعدی محصول حتما باید تغییر کنند. بنابراین این اجزا در نسل فعلی و نسل آینده غیر مشترک هستند. برای بررسی این اجزا غیر مشترک از شاخص اشتراکات استفاده می‌شود. به کمک شاخص اشتراکات مشخص می‌شود که بین اجزای غیر مشترک دو نسل فعلی و آینده تا چه میزان مشخصه‌های طراحی تغییر می‌کند. هر چه مقدار مشخصه‌های طراحی نسل آینده از نسل فعلی بیشتر باشد بدین معنی است که طرح مهندسی طرح بدتری است؛ زیرا در آینده تلاش بیشتری جهت طراحی مجدد این اجزا طرح مهندسی صورت می‌گیرد. شاخص اشتراکات، با در نظر گرفتن چندین چشم انداز طراحی، تغییرات بین هر نسل از محصولات را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد. این تجزیه و تحلیل با شناسایی مولفه‌های یک پلت فرم آغاز می‌شود که به صورت فیزیکی بین دو نسل مختلف متفاوت و غیر مشترک است. سپس این مؤلفه‌ها در سطر یک جدول لیست می‌شوند. همانطور که گفته شد از فهرست مؤلفه‌های یکسان بین دو نسل از محصول صرف نظر می‌شود. در ستون جدول نیز چشم اندازهای طراحی قرار می گیرند که شامل تعداد انواع مختلف مواد، میزان مواد، تعداد فعالیت‌های لازم برای تولید هر قطعه، زمان مونتاژ و فرایند تولید است. این جدول با در نظر گرفتن این که چگونه اجزا در نسل جدید محصول نسبت به اجزا در پلت فرم قبلی تغییر کرده‌است، تکمیل می‌شود. نحوه تغییر هر چشم‌انداز طراحی با استفاده از مقادیر +۱، ۰ و -۱ مشخص می‌شود. به عنوان مثال، شرکت HP از مواد کمتری برای ساختscanner head استفاده کرد. بنابراین -۱ برای توصیف میزان کاربرد مواد استفاده شده است. در مقابل، از +۱ برای توصیف افزایش و "۰ "برای توصیف تغییرات صفر در واحدها استفاده شده است. پس از فهرست اسامی مؤلفه‌های متفاوت در دو نسل، ستون مربوط به روند کلی طراحی قرار دارد که در هر بخش از آن جمع درایه‌های ستون قرار می‌گیرد. پس از آن در سطر بعد عدد نرمال شده "روند کلی طراحی" قرار می‌گیرد که از تقسیم اعداد هر بخش از سطر "روند کلی طراحی" بر تعداد اجزای مختلف لیست شده در سطر به دست می‌آید[۶]. برای مثال اگر نسل فعلی محصولی دارای ۱۰ جزء بوده و بین نسل فعلی و نسل آینده این محصول ۳جزء غیر مشترک وجود داشته باشد و ۲جزء از این ۳ جزء، مشخصه طراحی "زمان مونتاژ" را در نسل آینده افزایش داده و ۱ جزء تاثیری در زمان مونتاژ نداشته باشد، در سطر روند کلی طراحی مربوط به ستون زمان مونتاژ عدد ۲=۱+۱+۰ نوشته شده و در سطر بعدی جهت نرمال کردن، این عدد را بر عدد ۱۰ که تعداد اجزای محصول در نسل فعلی می‌باشد تقسیم می‌کنیم. در نهایت میانگین مقدار نرمال شده‌ی تمامی مشخصه‌های طراحی، شاخص اشتراکات طرح مهندسی را نشان می‌دهد. این مقدار با پارامتر CmI_i در مدل نشان داده می‌شود. شکل ۲ به روند محاسبه شاخص اشتراکات اشاره شده است.



شکل۲: مراحل محاسبه شاخص اشتراکات(۶)

۲-۲- ارائه مدل ریاضی جهت ارزیابی طرح‌های مهندسی

در فاز پایانی پژوهش حاضر برای ارزیابی n طرح مهندسی با معیارهای تنوع‌پذیری یک مدل ریاضی طراحی شده است. به کمک این مدل می‌توان طرح مهندسی را که به کمترین تغییر و طراحی مجدد در حال حاضر و به کمترین تغییر در مشخصه‌های طراحی در نسل آینده نیاز دارد دست یافت. در مدل مطرح شده، پارامتر AC_i نشان‌دهنده تغییرات مورد نیاز فعلی طرح i ام جهت استانداردسازی می‌باشد. با اعمال این تغییرات طرح مهندسی برای برآوردن نیاز آینده مشتری مهیا می‌شود؛ اما گاهی برخی قطعات و اجزا که نیازمند استانداردسازی هستند و در الویت استانداردسازی قرار دارند؛ به دلیل مخارج طراحی و ساخت و نیاز به تغییرات کلی قطعات و کمبود دانش و فناوری، استاندارد نمی‌شوند. بدین معنی که این قطعات و اجزا نمی‌توانند نیازهای آینده مشتریان را برآورده سازند و در نسل‌های بعدی محصول حتما باید تغییر کنند. بنابراین این قطعات در نسل فعلی و نسل آینده غیر مشترک هستند. برای بررسی این قطعات غیر مشترک از شاخص اشتراکات به کمک شاخص اشتراکات مشخص می‌شود که بین قطعات و اجزای غیر مشترک دو نسل فعلی و آینده به چه میزان مشخصه‌های طراحی تغییر می‌کنند. هر چه مقدار مشخصه‌های طراحی نسل آینده از نسل فعلی بیشتر باشد بدین معنی است که طرح مهندسی طرح بدتری است؛ زیرا در آینده تلاش بیشتری جهت طراحی مجدد این اجزا و قطعات طرح مهندسی صورت می‌گیرد. شاخص CmI_i، شاخص اشتراکات، نشان‌دهنده تلاش تولیدکنندگان در آینده جهت طراحی مجدد اجزا و قطعات طرح مورد نظر به منظور برآورده ساختن نیاز آینده مشتریان می‌باشد.

اندیس مدل:

i: شمارنده طرح‌های مهندسی $(i = 1.2. \dots . n)$

پارامترهای مدل:

AC_i **:** مقدار تغییرات مورد نیاز طرح جهت استانداردسازی در حال حاضر در صورت انتخاب طرح مهندسی i ام

NC_i : مجموع تعداد اجزای در الویت استانداردسازی در صورت انتخاب طرح مهندسی i ام

LNC: حد مجاز تعداد اجزای در الویت استانداردسازی-

CmI_i **:** تلاش تولیدکنندگان در اینده جهت طراحی مجدد اجزا در صورت انتخاب طرح مهندسی i ام

$LCmI_i$ **:** حد مجاز تلاش تولیدکنندگان در اینده جهت طراحی مجدد اجزا در صورت انتخاب طرح مهندسی i ام

متغیر تصمیم مدل:

X_i **:** برابر با یک اگر طرح مهندسی i انتخاب شود، برابر با صفر اگر طرح مهندسی i انتخاب نشود.

تابع هدف:

حداقل شدن تلاش جهت طراحی مجدد

$$Min\ Z = \frac{\sum_i^n AC_i X_i}{\sum_i^n AC_i} + \frac{\sum_i^n CmI_i X_i}{\sum_i^n CmI_i}$$ رابطه ۲

محدودیت های مدل:

$$\sum_i^n X_i \leq 1$$ رابطه ۳

$$\sum_i^n NC_i\, X_i \le LNC \qquad \text{رابطه ۴}$$

$$\sum_i^n CmI_i\, X_i \le \sum_i^n LCmI_i\, X_i \qquad \text{رابطه ۵}$$

$$X_i \in \{0.1\} \quad ; \forall i \quad i = 1. \ldots . n$$

تابع هدف مدل ریاضی فوق از مجموع نرمال‌شده‌ی مقدار تغییرات فعلی طرح جهت استانداردسازی در حال حاضر و مقدار تغییرات مشخصه‌های طراحی آن در آینده تشکیل شده است. پارامتر AC_i نشان می‌دهد که با انتخاب طرح مهندسی i، چه میزان تغییر جهت استانداردسازی این طرح در حال حاضر مورد نیاز است تا این طرح بتواند در آینده با حداقل تلاش و هزینه نیازهای مشتریان آینده را برآورده سازد. پارامتر $\mathrm{CmI_i}$ نشان می‌دهد که با انتخاب طرح مهندسی i، مشخصه‌های طراحی این طرح در آینده به چه میزان تغییر می‌کند تا بتواند پاسخگوی نیاز های آینده مشتریان باشد. محدودیت اول نشان می‌دهد که از بین طرح‌های مهندسی باید حداکثر یک طرح انتخاب شود. محدودیت دوم نشان می‌دهد که مجموع تعداد اجزای در الویت اول، دوم و سوم استادندازدسازی هر یک از طرح‌های مهندسی، نباید از حد مجاز تعیین شده بیشتر باشد. حد مجاز تعداد اجزایی که در الویت استانداردسازی قرار دارند به انتظارات تولیدکننده و توانایی صنعت بستگی دارد و متناسب با محصولات مختلف می‌تواند متفاوت باشد. در پژوهش حاضر برای رادار آرایه فازی این مقدار با در نظر گرفتن هزینه و تلاش جهت استانداردسازی ۱۰ جزء در نظر گرفته شده است. بدین معنا که طرح‌هایی قابل قبول خواهند بود که بیش از ۱۰ جزء آن ها در الویت اول، دوم و سوم استانداردسازی قرار نداشته باشد.

محدودیت سوم نیز نشان می‌دهد که مقدار تغییرات آینده در مشخصات طراحی محصول نباید از محدوده مجاز مورد نظر خبرگان و تولیدکنندگان محصول بیشتر باشد. این محدوده مجاز می‌تواند مطابق نظر خبرگان سخت‌گیرانه و یا سهل‌گیرانه باشد.

۳- مطالعه موردی

محصول مورد مطالعه در پژوهش حاضر یک نوع رادار آرایه فازی در صنایع الکترونیک ایران است. از آن جایی که تکنولوژی مربوط به رادارها همواره در حال رشد است رادارها به سرعت متنوع شده و انواع جدیدی از آن به بازار عرضه می‌شود. از طرفی با وجود تهدیدهای مختلف و متفاوت، نیاز مشتریان این محصول نیز دائما در حال تغییر است. بنابراین طراحی مهندسی که علاوه بر تحقق معیارهای عمومی بتواند پاسخگوی نیاز آینده نیز باشد از نیازهای بنیادی این صنعت به شمار می‌رود. در پژوهش حاضر، سه طرح مهندسی برای رادار آرایه فازی وجود دارد که به کمک مدل ریاضی پیشنهادی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۳-۱- مقادیر شاخص تنوع نسلی

جدول ۵ نشان‌دهنده شاخص تنوع نسلی اجزای طرح مهندسی ۱، ۲ و ۳ می‌باشد که نشان می‌دهد تغییرات هر یک از اجزای این طرح‌های مهندسی در آینده چگونه است.

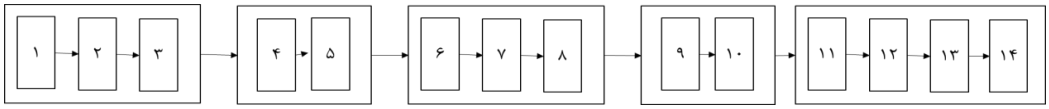
جدول۵: شاخص تنوع نسلی اجزای طرح‌های مهندسی

شاخص تنوع نسلی / اجزا	اجزای طرح مهندسی													
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
شاخص تنوع نسلی برای هر جزء طرح مهندسی ۱	۱۰	۴	۷	۳	۳	۱۵	۱	۲۱	۳	۳	۱۲	۱۵	۱۷	۱۰
شاخص تنوع نسلی برای هر جزء طرح مهندسی ۲	۱۳	۱۲	۶	۱	۴	۳	۳	۲۴	۹	۱۲	۷	۷	۲۰	۲۵
شاخص تنوع نسلی برای هر جزء طرح مهندسی ۳	۱۲	۹	۹	۷	۹	۳	۹	۲۴	۴	۱	۸	۱۵	-	-

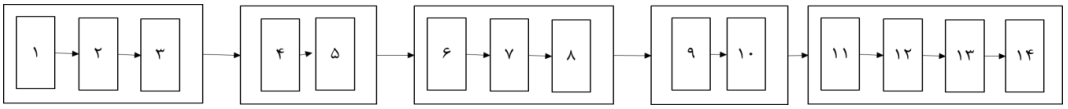
۳-۲- مقادیر شاخص اتصالات

اشکال۳-۵ نشان‌دهنده‌ی دیاگرام مقدماتی طرح مهندسی ۱، ۲ و ۳ است.

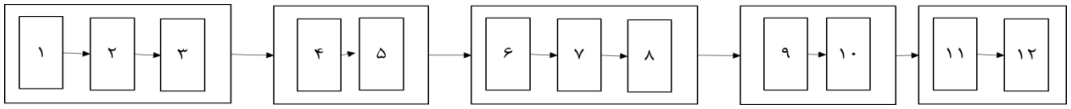
جدول ۶ نشان‌دهنده‌ی مقدار شاخص اتصالات طرح مهندسی ۱، ۲ و ۳ است.



شکل۳: دیاگرام مقدماتی طرح مهندسی۱



شکل۴: دیاگرام مقدماتی طرح مهندسی۲



شکل۵: دیاگرام مقدماتی طرح مهندسی۳

جدول ۶: مقدار شاخص اتصالات هر یک از طرح‌های مهندسی

طرح مهندسی	اجزای طرح مهندسی														CI-S/CI-R
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	
طرح مهندسی ۱	۶	۲۸	۱	۱۳	۳	۱۵	۶	۸	۶	۱۶	۹	۱۵	۷	۱۵	CI-R
	۹	۹	۹	۱۲	۴	۹	۹	۱۶	۱۵	۱۵	۱۳	۹	۱۰	۱۰	CI-S
طرح مهندسی ۲	۱۰	۱۹	۱۸	۱۴	۹	۱۷	۴	۱۵	۱۰	۷	۱۶	۱۳	۵	۱۰	CI-R
	۱۲	۱۶	۹	۱۸	۱۲	۹	۱۳	۱۳	۱۳	۱۰	۱۷	۶	۸	۱۰	CI-S
طرح مهندسی ۳	۱۳	۱۷	۱۰	۱۱	۱۵	۱۰	۱۳	۱۲	۱۰	۹	۱۳	۳	-	-	CI-R
	۱۲	۱۰	۱۰	۱۲	۱۸	۱۰	۱۳	۱۲	۱۰	۱۰	۹	۱۰			CI-S

باتوجه به جدول۶ و سطر مربوط به شاخص‌های اتصال طرح مهندسی ۱، می‌توان دریافت که جزء۱۲ بیشترین شاخص CI-S را دارد و این بدین معناست که اتصال این جزء بیشتر از اجزای دیگر است و اگر در طراحی‌های بعدی نیاز به تغییر این جزء باشد اجزای مرتبط با آن نیز باید تغییر خواهند کرد. این مساله به طراحان کمک می‌کند زیرا نشان می‌دهد که طراحان تمایل دارند کدام جزء تغییر نکند. همینطور جزء ۹ بیشترین مقدار شاخص CI-R را دارد و این بدین معناست که جزء مرتبط با آن بیشترین تاثیر را روی این جزء مذکور می‌گذارند و با تغییر هر یک این جزء دستخوش تغییر می‌شود.

باتوجه به جدول ۶ و سطر مربوط به شاخص‌های اتصال طرح مهندسی ۲ است می‌توان دریافت که جزء ۱ بیشترین شاخص CI-S را دارد و این بدین معناست که اتصال این جزء بیشتر از اجزای دیگر است و اگر در طراحی‌های بعدی نیاز به تغییر این جزء باشد اجزای مرتبط با آن نیز تغییر خواهند کرد. برای مثال تاثیر این جزء بر جزء ۹ بسیار زیاد است و با تغییر کوچکی در جزء ۱، جزء ۹ تغییر می‌کند. همینطور جزء ۹ بیشترین مقدار شاخص CI-R را دارد و این بدین معناست که جزء مرتبط با آن بیشترین تاثیر را روی این جزء می‌گذارند.

باتوجه به جدول ۶ و سطر مربوط به شاخص‌های اتصال طرح مهندسی ۳ است می‌توان دریافت که اجزای ۱ و ۵ و ۷ و ۱۱ بیشترین شاخص CI-S را دارد و این بدین معنا است که اتصالات این اجزا بیشتر از اجزای دیگر است و اگر در طراحی‌های بعدی نیاز به تغییر این اجزا باشد اجزای مرتبط با آن ها نیز تغییر خواهند کرد. همینطور جزء ۱ و ۱۲ بیشترین مقدار شاخص CI-R را دارد و این بدین معناست که اجزای مرتبط با آن ها بیشترین تاثیر را روی اجزای مذکور می‌گذارند.

۳-۳- محاسبه میزان تغییرات جهت استانداردسازی اجزای رادار آرایه فازی

برای محاسبه مقدار شاخص تنوع نسلی و شاخص اتصالات، اجزا دسته‌بندی می‌شوند. دسته‌بندی اجزای هر طرح مهندسی در جدول ۷ آمده است. نمره هر یک از طرح‌های مهندسی از ضرب تعداد اجزای عضو آن دسته در وزن آن دسته حاصل شده است. این نمرات نشان‌دهنده میزان تغییرات لازم جهت استانداردسازی هریک از طرح‌های مهندسی می‌باشد و در مدل بهینه‌سازی با پارامتر AC_i نشان داده می‌شوند.

جدول ۷: دسته‌بندی اجزای طرح‌های مهندسی

میزان تغییرات طرح مهندسی(AC)			تعداد اجزا طرح مهندسی			CI-S	CI-R	GVI	الویت اجزا برای استاندارسازی	وزن
۳	۲	۱	۳	۲	۱					
۱.۵۸۳	۱.۷۲۲	۱.۸۰۶	۱	۰	۳	H	L	H	۱	۰.۲۲۲
			۴	۲	۱	H	H	H	۲	۰.۱۹۴
			۲	۳	۲	L	L	H	۳	۰.۱۶۷
			۰	۲	۱	L	H	H	۴	۰.۱۳۹
			۱	۳	۱	H	L	L	۵	۰.۱۱۱
			۰	۲	۲	H	H	L	۶	۰.۰۸۳
			۳	۰	۳	L	L	L	۷	۰.۰۵۶
			۱	۲	۱	L	H	L	۸	۰.۰۲۸

۳-۴- محاسبه شاخص اشتراکات

برای محاسبه شاخص اشتراکات اجزای غیر مشترک لیست شده و هر یک از آن‌ها از منظر مشخصه‌های طراحی سنجیده می‌شوند. در ادامه متناسب با تغییرات لازم برای هر یک از زیر سیستم ها اعداد ۱+ و ۰ و ۱- به هر یک از اجزا اختصاص داده شده است. این شاخص‌های غیر مشترک به کمک خبرگان طراحی محصول شناسایی می‌شوند. بدین صورت که پس از تعیین الویت استانداردسازی اجزا خبرگان صنعت با در نظر گرفتن توان مالی و دانش فعلی تعیین کرده اند که کدام یک از اجزایی که نیاز به استانداردسازی دارند در حال حاضر نمی‌توانند استانداردسازی شوند بنابراین نیاز است تا در نسل آینده تغییر کنند. پس این اجزا در نسل فعلی و آینده غیر مشترک هستند. جدول ۸ مربوط به تاثیر فیزیکی هر یک از اجزای غیر مشترک بر مشخصه‌های طراحی در آینده برای هر یک از طرح‌های مهندسی می‌باشد.

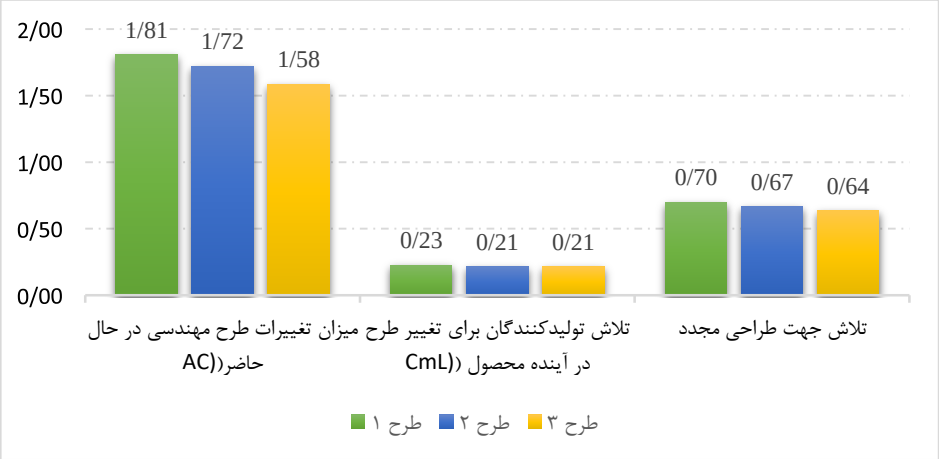
جدول۸: تاثیر فیزیکی هر یک از اجزای غیر مشترک بر مشخصه‌های طراحی در آینده برای هر یک از طرح‌های مهندسی

مشخصه‌های طراحی/ مقدار نرمال‌شده‌ی کلی مشخصه طراحی برای طرح‌های مهندسی	تنوع مواد	مقدار مواد	تعداد اجزا مرتبط (ماژولاریتی)	زمان مونتاژ	تعداد فرایند ساخت	مقدار نرمال‌شده‌ی کلی مشخصه طراحی
مقدار نرمال‌شده‌ی هر یک از مشخصه طراحی برای طرح مهندسی ۱	٪۳۵.۷۱ افزایش	٪۷.۱۴ افزایش	٪۳۵.۷۱ افزایش	٪۱۴.۲۸ افزایش	٪۲۱.۴۲ افزایش	٪۲۲.۵۸
مقدار نرمال‌شده‌ی هر یک از مشخصه طراحی برای طرح مهندسی ۲	٪۴۲.۸۵ افزایش	٪۰ بدون تغییر	٪۲۸.۵۷ افزایش	٪۱۴.۲۸ افزایش	٪۲۱.۴۲ افزایش	٪۲۱.۴۲
مقدار نرمال‌شده‌ی هر یک از مشخصه طراحی برای طرح مهندسی ۳	٪۱۶.۶۶ افزایش	٪۳۳.۳۳ افزایش	٪۰ بدون تغییر	٪۸.۳۳ افزایش	٪۵۰ افزایش	٪۲۱.۶۶

مقدار نرمال‌شده‌ی کلی مشخصه‌های طراحی، میانگین مقدار نرمال‌شده‌ی هر یک از مشخصه‌های طراحی می‌باشد و نشان می‌دهد که هر طرح مهندسی برای محقق کردن نیازهای مشتریان در آینده باید به چه میزان تغییر کند.

۴- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر مدل بهینه‌سازی را توسعه داده است که می‌تواند در مراحل اولیه طراحی، طرح مهندسی را انتخاب کند که برای برآوردن نیازهای آینده مشتریان به حداقل تغییر، هزینه و تلاش نیاز داشته باشد. پارامترهای مورد نیاز در مدل بهینه‌سازی طراحی شده شامل میزان تغییرات مورد نیاز طرح در حال حاضر و شاخص اشتراکات و حدود مجاز شاخص اشتراکات و تعداد اجزا در الویت استانداردسازی است. میزان تغییرات مورد نیاز طرح در حال حاضر، به کمک دو معیار شاخص تنوع نسلی و شاخص اتصالات به دست آمده است. پس از اینکه پارامترهای LNC و $LCmI_i$ توسط خبرگان طراحی تعیین شدند، مدل ریاضی طراحی شده به کمک نرم افزار GAMZ win 64 25.1.12 حل شده و در نهایت طرح مهندسی ۳ به‌عنوان طرح مهندسی بهینه انتخاب شده است. از آنجایی که مدل توسعه داده شده در پژوهش حاضر تنها یک متغیر تصمیم و از نوع صفر و یک دارد بنابراین تعداد جواب‌های ممکن برای این مدل به تعداد شمارنده‌های متغیر می‌باشد. همانطور که به آن اشاره شد، سه طرح مهندسی برای رادار آرایه فازی ارائه شده است و این بدین معنی است تعداد جواب های شدنی برای مسئله حاضر حداکثر ۳تا است. به منظور بررسی و تحلیل هر یک از طرح‌های مهندسی، مقدار هر یک از تابع هدف به ازای هر یک از طرح‌ها حساب شده و روی نمودار رسم شده است.



شکل۶: مقادیر تابع هدف مربوط به هر یک از طرح‌های مهندسی

در شکل ۶، مقادیر تابع هدف هر یک از طرح‌های مهندسی با عنوان تلاش جهت طراحی مجدد مشخص شده است. می‌توان دریافت طرح مهندسی ۳ به علت تلاش کمتری که جهت طراحی مجدد نیاز دارد طرح مناسبی از منظر رویکرد تنوع‌پذیری می‌باشد و این بدین معنی است که برای استانداردسازی در زمان حال (AC) و تغییرات طراحی در آینده (CmL) به تغییرات کمتری نیاز داشته و تلاش، هزینه و زمان کمتری را می‌طلبد.

۵- مراجع

[1] Olabanji, O. M., & Mpofu, K. (2019). Decision analysis for optimal design concept: Hybridized fuzzified weighted decision matrix and fuzzy TOPSIS using design for X tools. Procedia CIRP, 84, 434-441.

[2] Gunther Reinhart, Jan Aurich, Christopher A. Brown, Erhan Budak, M. Alkan Donmez, S. Jack Hu, Sami Kara, Eric Lutters, Ludger Overmeyer, Robert Schmitt, G€unther Schuh, A. Erman Tekkaya, Hans Kurt Toenshoff,(2014) CIRP Encyclopedia of Production Engineering

[3] Sami, C., Luc, L., Gunther, R., & Tolio, T. A. M. (2019). CIRP Encyclopedia of Production Engineering.

[۴] . حاج حیدری، ندا. (۱۳۹۷) ارزیابی طرح‌های مفهومی بر اساس الزامات کارکردی و غیر کارکردی در یک سامانه دریایی غیر قابل تعمیر. **پایان‌نامه کارشناسی ارشد**. رشته مهندسی صنایع. دانشکده مهندسی صنایع. دانشگاه صنعتی مالک اشتر.

[5] Gupta, S., & Okudan, G. L. E. (2008, January). Framework for Generating Modularized Product Designs with Assembly and Variety Considerations. In International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference (Vol. 43291, pp. 171-180).

[6] Martin, M. V. (1999). Design for variety: A methodology for developing product platform architectures, doctorate degree thesis, Mechanical Engineering, Stanford university.

[7] Wong, F. S., & Wynn, D. C. (2019, July). A new method to assess platform changes over successive generations of product variants from multiple design perspectives. In Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design (Vol. 1, No. 1, pp. 2931-2940). Cambridge University Press.

[8] Martin, M. V., & Ishii, K. (1996, August). Design for variety: a methodology for understanding the costs of product proliferation. In International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference (Vol. 97607, p. V004T04A008). American Society of Mechanical Engineers.

[9] Thevenot, H. J., & Simpson, T. W. (2006). Commonality indices for product family design: a detailed comparison. Journal of Engineering Design, 17(2), 99-119.

[10] Nadadur, G., Parkinson, M. B., & Simpson, T. W. (2012). Application of the generational variety index: a retrospective study of iPhone evolution. In International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference (Vol. 45028, pp. 931-940). American Society of Mechanical Engineers.

[11] Martin, M. V., & Ishii, K. (2002). Design for variety: developing standardized and modularized product platform architectures. Research in engineering design, 13(4), 213-235.

[12] Shojaeefarda, M. H., Khalkhalib, A. Tavakoli Lahijanic, A. (2017). Using Design For Variety and Axiomatic Design To Architect Automotive Underbody, International journal of advanced production and industrial engineering, Vol 2 (2), 58-64.

[13] Lahijanic, A. T. International journal of advanced production and industrial engineering.

[14] Zhang, Y., Zheng, Y. A. N. G., Xianchao, M. A., Wenjun, D. O. N. G., Dayong, D. O. N. G., Zhaoguang, T. A. N., & Zhang, S. (2019). Exploration and implementation of commonality valuation method in commercial aircraft family design. Chinese Journal of Aeronautics, 32(8), 1828-1846.

[15] Martin, M. V., & Ishii, K. (2002). Design for variety: developing standardized and modularized product platform architectures. Research in engineering design, 13(4), 213-235.

[16] Haj Heidary. N, (2018), Evaluating conceptual design basing functional and non-functional requirements in non-maintainable marine system, a thesis of master of science, Malek Ashtar University of technology, (persian)

Evaluating engineering designs using design for variety approach. (Case study: phased array radar)

Mahdi Karbasian*
(Corresponding Author) Associate professor of industrial engineering, Malek ashtar university, Shahinshahr, Esfahan, Iran. mKarbasi@mut-es.ac.ir

Parastoo Divsalar
M.Sc student of faculty of industrial engineering, Malek ashtar university, Shahinshahr, Esfahan, Iran. divsalar.p@gmail.com

Ommolbanin Yousefi
Assistant professor of industrial engineering, Malek ashtar university, Shahinshahr, Esfahan, Iran. yousefi_1302@yahoo.com

Jafar gheidar kheljani
Associate professor of industrial engineering, Malek ashtar university, Tehran, Esfahan, Iran. kheljani@mut.ac.ir

In today's worlds, the increase and complexities in customers' needs have given rise to product varieties presented at markets. For this reason, companies in order to gain the customer's satisfaction and increase their competitiveness, try to present their products in more diverse shapes and forms. As a matter of fact, the spread in products varieties help customers find products proportionate to their individual needs. Hence, manufacturing companies seek methods for better management and effective procedures to create diversity in their manufactured products. A design conforming to diversification can be regarded as a competitive advantage to a company. For, this will minimize the company's efforts for designing future products as well as reduction in the required time for presenting the product to the market and relevant costs as well. That is why, organizations pursue the path to generate a design, which besides satisfying general evaluation criteria, is able to respond to changes in customers' needs. Not that, the design should be capable of meeting those needs with lowest cost and effort at the shortest time possible. It is of note that in spite of the high significance attached to designs for developing new products which in turn gives rise to diversity in products a large percentage of these development projects experience failure. Therefore, having a proper evaluation of available options at initial stages of design and selecting the most appropriate one is a key point at the entry point of the process of the developing new products.

The current research- with the aim of evaluating engineering designs- by adopting a diversification approach- has attempted to produce an optimization model. The model investigates engineering designs as regards two parameters: 1- The amount of change the plan needs for standardization at the present time, and 2- the amount of effort producers expend in future for redesigning the component parts. The first parameter is acquired with help of generational variety index (GVI) and the coupling index (CI). The second parameter is calculated by invoking commonality index (CMI).

GVI is the indicator of the amount of required changes in a component so it conforms with Engineering Metrics (EM). The index shows -in order to satisfy customers' future needs -

how much change and redesign is required for each component of the product [1]. In order to figure out generational variety index (GVI), first the product life time and its functional requirements are determined. Then, considering the changes in customers' needs in future, it is established how much changes each of functional requirements experience in product's next generation. Afterwards, given the changes in functional requirements, it is determined how much change is required by each of the component to satisfy their respective functional requirements.

CI or coupling index shows the connection strength between pieces of a product. That is, the higher the strength connection, the more it is required to replace other parts when changing one component. This means harder job for product conformity with future needs and development projects. Having proper understanding of connection in a design is quite necessary for designing an architecture resistant to later changes as well as taking into account customers' demands and wishes. In order to calculate the coupling index (CI), first, a preliminary diagram is plotted. Then, by determining the input and output flows to and from each part, it can be deduced which parts are connected together. Next, by using the rating system of 9/6/3/1/0 team, the sensitivity of each component is estimated by effecting a minor change in this feature[1].

With the help of Generational Variety and Coupling indices (GVI & CI), it is possible to identify those components and ingredients which need standardization. Eventually, it can be shown which components and ingredients of an engineering design require standardization so as to streamline that design vis-à-vis future changes. To this end, after calculating GVI and CI, each of the ingredients are rated. Next are determined those componential ingredients which are at the priority hierarchy of standardization.

To proceed, in order to work out the required rate of effort by producer in future, the Commonality Index (CMI) is calculated. This index represents the similarity degree of the characteristics of the new product design with those of past products manufactured at the organization. The latter index not only shows the similarities in parts and pieces. But also, using this index, one can ascertain the similarity percentage in material type, processes, montage methods, and construction manners. To determine CMI, first are listed different pieces which exist in two generations of a particular product. Next are determined such design features as montage time, material diversity, and the number of construction process. In continuation are established the manner of changes in each of design characteristics proportionate to different ingredients exploited at the two generations of the products [2].

In the final phase of the current research, in order to evaluate ***n*** engineering designs meeting Design for Variety (DFV) method criteria, a mathematical model is designed. This model helps us attain at an engineering design requiring lowest amount of change and redesign at the moment as well as least amount of change in design features for future generation of the product. In the proposed model, parameter Ac_i represents the now required changes in ***i***th design for standardization. By implementing these changes, the engineering design is prepared to meet the future needs of the customers. Sometimes, however, some of the parts and components which need standardization and which are placed at the top hierarchy of standardization, do not go through the standardization process. The reasons that are given are high design and construction costs, the need to bring about changes in the entirety of the component, and on occasion, lack of relevant knowledge and technology. This means the latter components cannot satisfy future needs of the customers. And they must be

changed in next generations of the product. And so, these components are considered non-common (shared) in both present and future generations. To investigate these non-common component parts, the commonality index (CMI) is utilized. Invoking the help of this index, it is determined to what extent- between non-shared parts and ingredients of the two generations- the design features are to be changed. The more design features for a future generation product-compared to those of the present generation- means that the developed engineering design is placed at the worst point of the continuum. For, in future, more efforts are needed to take place to redesign these parts and ingredients of the engineering design. The CMI depicts products' future efforts for redesigning the intended parts and components to meet customers' future needs.

The product under investigation in the present research study is a type of phased array radar manufactured at the Iranian Electronics Industry. Since radar technology is an ever-growing field, radars are rapidly diversified and newer types and models are presented at markets. On the other side, given variously different threats, the customers' need to the product is also changing constantly. Therefore, an engineering design which, besides satisfying general criteria, can address future market needs, is considered among fundamental needs of the above- mentioned industry. In the present research study, three engineering designs were developed for phased array radars. The designs were evaluated with the help of the proposed mathematical model. Assisted by GAMZ win 64 25.1.12 software, the designed mathematical model was solved. And finally, the engineering design No.3 was selected as the optimized engineering design.

Reference

[1]. Martin, M. V., & Ishii, K. (1999). Design for variety: A methodology for developing product platform architectures, doctorate degree thesis, Mechanical Engineering, Stanford university.

[2]. Wong, F. S., & Wynn, D. C. (2019, July). A new method to assess platform changes over successive generations of product variants from multiple design perspectives. In Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design (Vol. 1, No. 1, pp. 2931-2940). Cambridge University Press.