مقاله پژوهشی

طراحی مدل توسعه‌ی معماری پلتفرمِ محصول با رویکرد چند هدفه شامل DFC و DFV و DFSC، مطالعه‌ی موردی: سیستم آنتن آرایه فازی

مسعود مرآتی
دانشجوی دکتری تخصصی رشته مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران masoud_merati@yahoo.com

مهدی کرباسیان[1]
(نویسنده مسئول)، استاد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
استاد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ایران mkarbasi@mut-es.ac.ir

عباس طلوعی اشلقی
استاد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران toloie@srbiau.ac.ir

حسن حاله
استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی مهندسی گلپایگان، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران hhaleh@iut.ac.ir

چکیده: در این تحقیق از روش طراحی برای تنوع‌پذیری (DFV) و دو شاخص تنوع نسلی (GVI) و شاخص اتصال (CI) برای اندازه‌گیری یک معماری محصول استفاده می‌شود و با استفاده از تابع ارتقاء کیفیت (QFD) و ماتریس ساختار طراحی (DSM)، شاخص‌های مذکور شناسایی و رتبه‌بندی می‌شوند. همچنین رویکرد DFV همزمان با مقوله های طراحی برای هزینه (DFC) و طراحی برای زنجیره تامین (DFSC) مدلسازی می‌شود و یک مدل ریاضی کاربردی جهت توسعه‌ی معماری پلتفرم محصول حاصل می‌گردد که به دنبال تنوع‌پذیری محصول و کاهش هزینه‌ها و مدیریت فرایند زنجیره تامین است؛ چرا که معماری پلتفرمِ قوی یک مزیت رقابتی برای شرکت‌ها محسوب می‌شود. مطالعه‌ی موردی، سیستم آنتن آرایه فازی است که با استفاده از تکنیک LP متریک و نرم‌افزار گمز به حل مسئله پرداخته می‌شود. پس از اجرای مدل، اعتبارسنجی آن انجام شده و با در نظر گرفتن سه هدف شامل هزینه کل و امتیاز ارزیابی (شایستگی) تأمین‌کنندگان و جابه‌جایی‌پذیری (تنوع‌پذیری) و هفت پارامتر اصلی مدل، تحلیل حساسیت و دیگر مقایسات و نتایج ارایه می‌گردد که روابط بین اهداف و اثرگذاری و اثرپذیری اهداف و پارامترهای مدل از همدیگر را بررسی و تحلیل می‌نماید. در مورد مقایسه‌ی اهداف با همدیگر، یافته‌ها رابطه‌ی معکوس هدف هزینه کل با اهداف تنوع‌پذیری و امتیاز ارزیابی و رابطه‌ی مستقیم اهداف تنوع‌پذیری و امتیاز ارزیابی را نشان می‌دهد. همچنین نتایج تحلیل حساسیت نشانگر اثرپذیری بالاتر هدف جابه‌جایی‌پذیری از پارامترهای مورد بررسی بود و امتیاز ارزیابی تأمین‌کنندگان و هزینه کل در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند.

واژگان کلیدی: پلتفرم محصول، طراحی برای تنوع‌پذیری (DFV)، طراحی برای هزینه (DFC)، طراحی برای زنجیره تأمین (DFSC)، سیستم آنتن آرایه فازی

۱. مقدمه

شـــرکت‌ها جهت ماندن در میدان رقابت، باید توانایی بر طرف نمودن نیاز مشتریان خود در زمینه‌های گوناگون را داشته باشند. یکی از راه‌های در اختیار داشتن بازار، ارائه‌ی محصولات بر اساس نیاز مصرف‌کنندگان و بررسی نیاز مشتریان خاص است. بسیاری از شرکت‌ها از طریق دسته‌بندی محصولات خود به خانواده‌ها و ایجاد انواع مختلف محصولات مبتنی بر پلتفرم برای بدست آوردن محصولات اقدام می‌کنند. از طرفی پیچیده شدن بازارها و نیاز گسترده‌ی مشتریان بـه محصـولات جدید و متنوع با هزینه‌ی کمتر، تولیدکنندگان را با چالش جدیـدی مواجـه سـاخته است که بر مبنای آن مـی‌بایسـت طیـف وسـیعی از محصـولات متنوع را در زمان کوتاهی تولیـد و عرضـه نماینـد. تحـت چنـین شرایطی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۱
دوره ۱۲/ شماره ۲
صفحات ۱۷۱-۱۹۸

[1] (Corresponding author): mkarbasi@mut-es.ac.ir

تنوع و تعدد بیش از حد عوامل تولید اعم از منـابع اولیـه مورد نیاز و اقلام و مجموعه‌های تولیدی، پیچیدگی‌های فراوانـی را در سطوح مدیریتی و عملیات اجرایی به دنبال دارد. به‌صورت کلی طراحی برای X[۲] به استفاده از یک روش رسمی برای بهینه‌سازی جنبه خاصی از یک طرح یا محصول اشاره دارد که متغیر X، موارد تمرکز را نشان می‌دهد. تکنیک‌های مختلف DFX[3] در یک طرح مشترک، نگاشت و خوشه‌بندی می‌شوند و تعاملات و پیوندهای بین آن‌ها شناسایی می‌شوند[۱]. دستورالعمل‌های طراحی معمولا رویکرد و روش‌های متناظر را پیشنهاد می‌کنند که ممکن است به تولید و بکارگیری دانش فنی به‌منظور کنترل، بهبود و یا حتی ابداع ویژگی‌های خاص یک محصول کمک کند. در واقع یک رویکرد مدیریت بالقوه برای هماهنگی و مدیریت الزامات می‌باشد[۲]. بـر این اساس، راهبردهایی مد نظر است که طراحی برای تنوع‌پذیری، طراحی برای زنجیره تأمین و طراحی برای هزینه و ... را به‌صورت همزمان در یک مدل ترکیبی جهت بهبود طراحی محصول در نظر گیرد.

۲. پیشینه پژوهش

در این بخش چند نمونه پیشینه پژوهش‌های انجام شده در زمینه‌های مورد بحث در این تحقیق شامل معماری پلتفرم محصول، طراحی برای هزینه، طراحی برای تنوع‌پذیری و طراحی برای زنجیره تأمین شرح داده شده است.

جیاو و همکاران (۲۰۰۷) یک چارچوب تصمیم برای آشکار کردن یک دید کلی در طراحی خانواده محصول و توسعه محصول مبتنی بر پلتفرم معرفی کرده است که شامل هر دو مورد رو به جلو و رو به عقب است. این بررسی با توجه به موضوعات مختلف در رابطه با خانواده‌های محصولات از جمله مسایل اساسی و تعاریف، سبد محصولات و موقعیت خانواده محصولات، طراحی خانواده محصولات مبتنی بر پلتفرم و همچنین مدیریت زنجیره تأمین می‌باشد [۳].

میرلس کارنیرو (۲۰۲۰) چندین روش مانند QFD و FMEA به‌منظور تکمیل چارچوب و کمک به توسعه‌ی محصول، آزمایش کرده‌اند. این روش‌ها با چندین نرم‌افزار مانند تئوری مجموعه فازی به نرم‌افزار LeanDfX اقتباس شده‌اند. به‌عنوان یک مطالعه موردی برای آزمایش روش‌های اجرا شده و توسعه‌یافته از یک پروژه داخلی از یک AGV (وسایل حمل و نقل خودکار) در یک شرکت پرتغالی استفاده شده است. نتیجه‌گیری شد که این روش، چارچوب LeanDfX را ارتقا داده و اجازه استفاده آسان از آن را می‌دهد. به کمک آن تمرکز در فرآیند طراحی از همان ابتدا در آنچه برای مشتری مهم است ایجاد شد یعنی فقط بر روی آنچه ممکن است به پروژه افزوده شود تمرکز می‌شود. سرانجام این امر همچنین باعث کاهش زمان صرف شده در فرآیند طراحی شد و در پایان می‌توان با همان زمان موجود، محصول بهتری داشت[۴].

شجاعی فردا و همکاران (۲۰۱۷) از طراحی بدیعی گرا (AD) برای ارائه چارچوبی برای تفسیر رویکردهای کاهش شاخص تنوع نسلی (GVI) و شاخص اتصال (CI) برای کمک به توسعه‌ی معماری خودرو در مطالعه‌ی معماری زیر بدنه‌ی خودرو استفاده کرده‌اند که شامل استانداردسازی و مدولاسیون برای کاهش هزینه‌ها و تلاش‌های آینده است[۵].

وانسوک و همکاران (۲۰۱۹) چارچوبی برای معماری توسعه برای محصولات مدولار (چشم‌انداز مدیریت تنوع حوزه‌های متقاطع یا بین حوزه‌ای) مطرح کرده‌اند. در این تحقیقات در واقع معماری توسعه (DA) را برای توصیف روابط بین عناصر در بازار، طراحی و حوزه‌های تولید و ارائه بینش برای مدیریت تنوع حوزه‌های متقاطع در مرحله‌ی توسعه محصول معرفی می‌کنند. چارچوب پیشنهادی معماری توسعه در مورد ماژول‌های خانواده شاسی جلو استفاده می‌شود[۶].

لاموته و همکاران (۲۰۱۸) یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای انتخاب خانواده محصول و طراحی زنجیره تأمین آن مورد بررسی قرار داده‌اند که ضمن انتخاب انواع محصول، هزینه عملیاتی زنجیره تأمین حاصل را بهینه می‌کند. این کار برای مسئله تأمین‌کننده خودرو اعمال شده است[۷].

آمید و همکاران (۲۰۰۶) یک مدل خطی چندهدفه فازی جهت انتخاب تأمین‌کننده در یک زنجیره تأمین بر اساس سه فاکتور قیمت، کیفیت و خدمات با تکنیک تصمیم‌گیری فازی نامتقارن فرموله کرده‌اند. در این تحقیق تکنیک تصمیم‌گیری فازی نامتقارن برای اولین‌بار با مثالی گویا در مسئله انتخاب تأمین‌کننده فازی به کار می‌رود تا تصمیم‌گیرنده بتواند وزن‌های متفاوتی را به معیارهای متنوع اختصاص دهد[۸].

وینازی (۲۰۲۰) تحقیقی در مورد توسعه‌ی مدل زنجیره تأمین برای بهبود بهره‌وری در صنعت تولید کالاهای سرمایه‌ای و صنعتی در مورد وضعیت فعلی شرکت‌های تولیدکننده‌ی هند و نیاز آنان به مدیریت زنجیره تأمین جهت بهبود وضع رقابتی انجام داده است. قبل از انجام تحقیق یک مطالعه آزمایشی برای محتوا و اعتبارسنجی پرسشنامه نهایی انجام شده است. لیست جمعیت

[2] DFX

[3] Design For X

هدف شناسایی و پاسخ‌ها پس از چندین پیگیری جمع‌آوری شده است. داده‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و یک مدل رگرسیون خطی به‌عنوان رابطه‌ای بین SCSFها و PIPها ساخته شده و رتبه‌بندی SCSFها با استفاده از آمار توصیفی انجام شده است[۹]. با توجه به بررسی و مقایسه‌ی منابع متعدد و تحلیل نتایج آن‌ها مشخص گردید که هر کدام از منابع، یک یا چند مقوله‌ی مهم و اساسی در ارتباط با طراحی پلتفرم محصول را در بر می‌گیرند. اما در این تحقیق به علت جذاب بودن، حساس‌تر بودن و کاربردی‌تر بودن برخی مباحث تحلیل شده در منابع، در نهایت DFV در یک رویکرد ترکیبی همزمان با مقوله‌های DFC و DFSC مدل‌سازی شده و مسئله با یک مورد مطالعه حل می‌شود که از حیث نوآوری، جدید بودن و جامعیت موضوع، تحقیقی جدید و کاربردی را رقم می‌زند.

۳. بیان مسئله

توسعه‌ی یک معماری پلتفرمِ قوی، مزیتی رقابتی برای شرکت‌ها به حساب می‌آید و در بهبود نسل‌های آینده محصول مؤثر است، بنابر این نیاز به نوعی طراحی تنوع‌پذیر محصول می‌باشد که همزمان هزینه‌ها و فرایند زنجیره‌ی تأمین مدیریت گردد و به این ترتیب به توسعه‌ی معماری پلتفرم محصول کمک کند.

پژوهش حاضر به دنبال یافتن مدل ریاضی و کاربردی جهت توسعه‌ی معماری پلتفرم محصول با در نظر گرفتن مقوله‌های طراحی برای هزینه (DFC)[۴]، طراحی برای زنجیره تأمین (DFSC)[۵] همراه با طراحی برای تنوع‌پذیری یا تنوع‌سازی (DFV)[۶] می‌باشد و در واقع یک مدل ترکیبی جهت بهینه‌سازی این سه شاخص مهم در توسعه‌ی طراحی پلتفرم محصول مورد نظر است که هدف آن تنوع‌پذیری محصول و کاهش هزینه‌ها و مدیریت فرایند زنجیره تأمین می‌باشد.

در این تحقیق از روش طراحی برای تنوع‌پذیری (DFV) و دو شاخص تنوع نسلی (GVI)[7] و شاخص اتصال(CI)[۸] برای اندازه‌گیری یک معماری محصول استفاده می‌شود و با استفاده از تابع ارتقاء کیفیت (QFD)[9] و ماتریس ساختار طراحی (DSM)[۱۰]، شاخص‌های طراحی برای تنوع‌پذیری شناسایی و رتبه‌بندی شده و رویکرد DFV با DFC و DFSC جهت توسعه‌ی معماری پلتفرم محصول مدل‌سازی می‌شوند.

۴. تعاریف اولیه

۱.۴. طراحی پلتفرم[۱۱]

یک پلتفرم را به‌عنوان مجموعه‌ای از اجزای مشترک، ماژول‌ها یا قطعاتی تعریف می‌کنند که از این طریق می‌توان یک جریان از انواع محصول مشتق را به طور مؤثر تولید و توسعه داد و در طیف وسیعی از محصولات پیاده سازی شود. پلتفرم مجموعه‌ای از پارامترهای مشترک، ویژگی‌ها و یا مؤلفه‌های ثابت هستند که از یک محصول به محصول دیگر در یک خانواده‌ی محصول مشخص، ثابت می‌مانند. به عبارتی تعریف خلاصه و مناسبی از پلتفرم عبارت است از: پلتفرم، مجموعه‌ی مشترکی از ماژول‌های فیزیکی یا غیر فیزیکی است که می‌توان از آن چندین محصول بدست آورد[۱۰]. همچنین ماژولار بودن را می‌توان به‌عنوان یک مشخصه‌ی تدریجی در نظر گرفت که به گفته‌ی سالوادور[۱۲] می‌توان آن را با ویژگی‌های جداسازی، اشتراکی، ترکیب‌پذیری، اتصال عملکردی و استانداردسازی رابط، توصیف کرد[۱۱].

۲.۴. طراحی برای تنوع‌پذیری (DFV)

اصطلاح طراحی به‌عنوان فعالیت‌های فرآیند ساخت شناخته می‌شود که شکل و ابعاد اجزا، ترتیب و اتصالات همچنین مواد آن‌ها را تعیین می‌کند. همچنین تنوع به طور سنتی به تولیداتی اشاره دارد که طیف وسیعی از نیازهای مشتری را برآورده می‌کنند. تنوع در تولید می‌تواند در تنوع محصولات، فرآیندهای تولید و منابع تولید ظاهر شود که در این پژوهش تنوع محصول مد نظر است[۱۲]. درجه بالایی از تنوع اجزاء باعث ایجاد اثرات مختلفی در طول چرخه‌ی عمر محصول می‌شود[۱۳]. اصطلاح طراحی برای تنوع‌پذیری یا تنوع‌سازی (DFV) به‌عنوان امکانات طراحی و معماری محصول تعیین می‌شود که هزینه‌های توسعه و تولید محصولات متنوع را به حداقل می‌رساند[۱۴]. بنابر این روش DFV روندی ساختاریافته است که به تیم‌ها کمک می‌کند تا معماری خاصی برای پلتفرم محصول طراحی نمایند پس DFV روشی برای توسعه‌ی معماری پلتفرم محصول است. DFV از عوامل بیرونی

[4] Design for Cost
[5] Design for Supply Chain
[6] Design for Variety
[7] Generational variety Index
[8] Coupling Index
[9] Quality Function Deployment
[10] Design Structure Matrix
[11] Platform Design
[12] Salvador

برای تغییر محصول استفاده می‌کند (نیازهای مشتری، مقررات و مانند آن‌ها) تا قطعاتی را تخمین بزند که نیازمند تغییر هستند. این روش شامل تأثیرات اتصال محصول نیز هست تا مشخص نماید که تغییر یک قطعه چگونه بر قطعات دیگر تأثیر خواهد گذاشت. شرکت‌ها با استفاده از روش DFV می‌توانند پلتفرمی برای محصول ایجاد کنند که راحت‌تر می‌تواند بر نسل‌های بعدی تأثیر بگذارد. بعضی از منابع هدف شیوه‌های طراحی برای تنوع را کمک به تولیدکنندگان برای مدیریت و کاهش تأثیر منفی تنوع محصول بر عملکرد عملیاتی بیان می‌کنند[۱۵].

۱.۲.۴. شاخص تنوع نسلی (GVI)

شاخص تنوع نسلی، شاخص میزان طراحی مجدد مورد نیاز یک مؤلفه (قطعه) برای انطباق با معیارهای مهندسی آینده (EM)[۱۳] است یا بطور خلاصه مقیاسی برای میزان زحمت بازطراحی مورد نیاز برای طراحی‌های آینده‌ی محصول می‌باشد. شاخص تنوع نسلی مبتنی بر تغییرات لازم عناصری است که تحت تأثیر عوامل بیرونی هستند یعنی غیر قابل کنترل می‌باشند. نمونه محرک‌های بیرونی شامل مواردی مانند نیازمندی‌های مشتری، الزامات قابلیت اطمینانی، کاهش هزینه‌ها و مانند آن‌ها هستند. تغییر محرک‌های بیرونی به مرور زمان منجر به بروز تغییر در نسل‌های قطعات تولیدی می‌شود[۱۶].

مراحل تعیین GVI عبارت‌اند از: ۱- مشخص کردن عمر مطلوب و عمر بازاری برای پلتفرم محصول. ۲- ساخت ماتریس QFD: فرایند QFD یکی از موفق‌ترین روش‌هایی است که در فرایند طراحی محصول استفاده می‌شود. روشی برای مرتبط نمودن الزامات مشتری با قطعات در طراحی است و در اینجا یک واحد ساختاری جهت محاسبه‌ی شاخص GVI می‌باشد[۱۷]. ۳- لیست کردن تغییرات مورد انتظار برای خواسته‌های مشتری: یک ستون به فاز یک اضافه شود و به صورت کیفی، بازه‌ی تغییرات برای نیازهای مشتری بررسی شود (بالا/متوسط/پایین). ۴- تخمین مقادیر هدف معیارهای مهندسی (EM): در این مرحله مقادیر هدف معیارهای مهندسی (EMTV)[۱۴]در دوره‌ای که پلتفرم محصول توسعه‌یافته است مشخص می‌شوند. ۵- محاسبه‌ی ماتریس مقادیر هدف نرمال شده: مقادیر هدف محاسبه شده در مرحله ۴ را می‌توان بر اساس مقادیر کنونی بازار نرمال‌سازی کرد و تغییرات را به صورت دیداری ارایه نمود. ۶- ساخت ماتریس GVI : تیم از مهارت و قضاوت مهندسی برای تخمین هزینه‌های تغییر اجزا جهت انطباق دقیق با مقادیر هدف EM در آینده استفاده می‌کند. ماتریس GVI از سیستم امتیازبندی (۹/۶/۳/۱) استفاده می‌کند. ۷- محاسبه‌ی GVI : در نهایت GVI برای هر بخش با جمع کردن مقادیر در هر ستون مربوط به ماتریس GVI به دست می‌آید[۱۸].

۲.۲.۴. شاخص اتصال (CI)

شاخص اتصال، میزان شدت اتصال بین قطعات در یک محصول را نشان می‌دهد. تعریف اولریخ[۱۵] از اتصال نشان می‌دهد که دو قطعه زمانی همبند (متصل) هستند که تغییر یک قطعه، مستلزم تغییر قطعه‌ی دیگر باشد. تیم با ترسیم جریان‌های مشخصات[۱۶] در ابتدای فرایند طراحی، آشکارا روابط اتصال بین اجزا را توضیح می‌دهد. از ماتریس اتصال، دو شاخص به دست می‌آید. شاخص اتصال-عرضه (CI-S)[۱۷] میزان شدت اطلاعات ارائه شده توسط هر جزء برای اجزای دیگر را نشان می‌دهد و در واقع این شاخص، میزان شدت مشخصات را نشان می‌دهد یک قطعه در قطعات دیگر ایجاد می‌کند. شاخص اتصال-دریافت (CI-R)[۱۸] اطلاعات دریافتی مربوط به هر جزء است و در واقع این شاخص میزان شدت مشخصات را نشان می‌دهد که یک قطعه از قطعات دیگر دریافت می‌کند. شاخص‌های CI-S وI-R بیانگر میزان شدت اتصال در یک قطعه هستند. شاخص بالای CI-S نشان می‌دهد که یک قطعه اطلاعات بسیاری در اختیار دیگر قطعات قرار می‌دهد و اگر آن قطعه تغییر کند، بیشتر احتمال دارد که منجر به بروز تغییرات در قطعات دیگر شود. شاخص بالایCI-R در یک قطعه نشان می‌دهد که با تغییر قطعات دیگر احتمال بروز تغییر در آن قطعه بیشتر است[۱۸].

مراحل توسعه‌ی شاخص اتصال (CI) عبارت‌اند از: ۱- ساخت طرح فیزیکی اولیه برای محصول. ۲- رسم حجم کنترل (ناظر) اطراف قطعات: حجم کنترل (CV)[۱۹] یک حد مرزی در اطراف سیستم است که نشان‌دهنده‌ی جریان به درون و خارج از سیستم است. ۳- مشخص کردن جریان‌های مشخصات مورد نیاز بین قطعات: جریان‌های مشخصات درون فرم‌های ماتریسی قرار می‌گیرند و برای این کار از ماتریس ساختار طراحی (DSM) استفاده می‌شود. ماتریس ساختار طراحی در واقع یک ابزار الگوسازی شبکه‌ای است که برای نمایش اجزای تشکیل‌دهنده یک سامانه و تعاملات بین آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد و در نتیجه می‌تواند معماری یک

[13] Engineering Measure
[14] Engineering measures target values
[15] Ulrich
[16] Specification Flows
[17] Coupling Index - Supply
[18] Coupling Index - Receive
[19] Control Volume

سامانه یا ساختار طراحی آن سامانه را برجسته و نمایان کند [۱۹]. ماتریس ساختار طراحی نوع خاصی از چیدمان و معماری را برای پارتیشن بندی سیستم تعیین می‌کند به گونه‌ای که ماژول‌ها دارای حداکثر روابط متقابل داخلی و حداقل روابط متقابل خارجی باشند[۲۰]. ۴- ساخت یک شکل گرافیکی از جریان‌های مشخصات. ۵- تخمین حساسیت اجزا به تغییرات: به حساسیتی بالا امتیاز ۹ و به حساسیتی پایین امتیاز ۱ داده می‌شود. ۶- محاسبه‌ی شاخص اتصال: مجموع در یک ستون ماتریس، نشان دهنده‌ی توان اطلاعاتی است که به وسیله آن جزء برای سایر اجزا تأمین می شود یا همان شاخص اتصال- تأمین یا عرضه (CI-S) و مجموع در یک ردیف، نشان دهنده‌ی اطلاعاتی است که دریافت شده است که همان شاخص اتصال- دریافت (CI-R) می‌باشد. در هر ردیف و ستون حساسیت‌ها با هم جمع می شوند. اگر مثلا CI-S برای جزئی بالا باشد به این معنی است که طراحی آن تأثیر قوی بر روی سایر اجزا دارد و یا اگر جزئی یک CI-R نسبتاً بالا داشته باشد به این معنی است که سایر اعضا تأثیر قوی بر روی آن دارند[۱۸].

۳.۲.۴. مراحل روش DFV و استانداردسازی و مدولار کردن حین طراحی

مراحل روش طراحی برای تنوع‌پذیری عبارت‌اند از: ۱- تهیه‌ی GVI و CI برای طرح مورد نظر ۲- ترتیب کردن اجزا (قطعات) که این مرحله شامل دو قسمت می‌شود. الف) رتبه‌بندی GVI: بر اساس GVI، اجزا از بزرگ به کوچک مرتب می‌شوند. این‌ها اجزایی هستند که احتمال زیادی دارد که در زمان پلتفرم محصول و در اثر محرک‌های خارجی تغییر کنند. ب) مشخص کردن شاخص‌های اتصال و هزینه‌های طراحی: GVI و CI-R در برابر CI-S می‌توانند در تصویر مقایسه شوند چرا که آن‌ها شاخص‌هایی هستند از این که چه قدر انتظار می‌رود یک جزء تغییر کند و CI-S معیاری از این است که این تغییرات چگونه منتشر می‌شوند. ۳- تعیین این که کجا باید تلاش‌ها متمرکز شوند یا در واقع این که کجا باید استانداردسازی یا مدولار شود. برای استانداردسازی، ابتدا باید روی قطعاتی که هزینه طراحی بالا و GVI بالایی دارند، تمرکز کرد. نکته دیگر استانداردسازی قطعات CI-S بالا است، زیرا از پتانسیل بالایی در ایجاد تغییرات در سایر قطعات برخوردار هستند. استانداردسازی شامل کاهش GVI و رساندن CI-R به صفر است. این بدان معنی است که هیچ اتصال خارجی یا داخلی نیازی به تغییر قطعه ندارد. قطعاتی که امکان استانداردسازی ندارند و نیاز به تغییر دارند باید مدولار شوند. این بدان معناست که وقتی قطعات تغییرکنند، نیازی به تغییر در هیچ یک از قطعات دیگر نیست. این مدولارسازی به تغییرات هندسی و همچنین تغییر در سیگنال، ماده و جریان انرژی قطعه اشاره دارد. مدولارسازی قطعه نیاز به کاهش CI-S به صفر دارد. از روش‌های مورد استفاده برای کاهش GVI و CI-R نیز برای کاهش CI-S استفاده می‌شود[۵]. ۴- معماری پلتفرم محصول را توسعه دهید. این کار به گروه کمک می‌کند تا برای نحوه‌ی چیدمان مجدد نقشه‌برداری بین قطعات فیزیکی و کاربردها و همچنین نحوه‌ی تعریف واسطه‌ها تصمیم‌گیری کنند[۲۱]. به طور کلی می‌توان گفت هدف تیم طراحی، پلتفرم معماری محصول به گونه‌ای است که بیشتر طراحی‌های ممکن در بین نسل‌های مختلف استانداردسازی شوند. در روش DFV، استاندارد سازی و مدولار کردن بر بخش‌هایی تمرکز دارد که هزینه‌ی بیشتری برای طراحی دوباره در نسل‌های آینده دارد. [۲۲].

۳.۴. طراحی برای هزینه (DFC)

طراحی برای هزینه یک روش طراحی و یکی از ابزارهای پشتیبانی برای مهندسی هم‌زمان (CE)[20] و بخش مهمی از DFX[21] است که تأکید مساوی بر قیمت و کیفیت دارد. DFC با استفاده از ابزارهای طراحی و حفظ کیفیت محصول و تأثیر بر روی تمام فعالیت‌ها در بخش‌های مختلف یک سازمان به گونه‌ای محصول را طراحی می‌کند که کمترین هزینه و بیشترین سطح رضایت مشتری را در پی داشته باشد[۲۳]. طراحی برای هزینه یک اصل توسعه‌ی محصول است که هدف آن بهینه‌سازی هزینه کلی محصول و فرآیندهای چرخه عمر آن از جمله هزینه‌های مواد، زنجیره تأمین، ساخت، نگهداری محصول و گارانتی، هزینه طراحی و توسعه و زمان عرضه به بازار است[۲۴].

۴.۴. طراحی برای زنجیره تأمین (DFSC)

DFSC در اوایل چرخه طراحی انجام می‌شود و به شناسایی تعداد قطعات سازنده‌ی انتخابی که به دلایل چرخه عمر، در دسترس بودن، سازگاری یا اعتبار فرآیند قبل از طراحی اولیه مورد بررسی قرار می‌گیرد، کمک می‌کند. مراحل طراحی برای زنجیره تأمین شامل بررسی درستی درخت محصول (BOM)[22]، تحلیل چرخه عمر BOM و اضافه کردن ارزش می‌شود [۲۵]. هدف از طراحی برای زنجیره تأمین (DFSC) طراحی یک محصول جدید و زنجیره تأمین مربوط به آن به صورت همزمان است. طراحی برای زنجیره

[20] Concurrent Engineering
[21] Design For X
[22] Bill Of Material

تأمین به طور همزمان طراحی محصول و تصمیمات طراحی زنجیره تأمین را برای دستیابی به اهداف طراحی مرتبط با کیفیت محصول، هزینه‌ها و حتی اثرات زیست محیطی بهینه می‌کند[۲۶]. اصول طراحی برای تأمین زنجیره تأمین (DFSC) یا طراحی برای لجستیک (DFL) توسط لی[۲۳] تعریف شده است. این آثار تأکید بر علاقه‌های مختلف در تطبیق طراحی یک خانواده محصول به‌منظور کاهش هزینه‌ها و زمان تحویل یک زنجیره تأمین معین دارد. آن‌ها به طور عمده چگونگی کاهش تنوع تولیدی را بررسی می‌کنند و عواقب موجود در ذخیره‌ی ایمنی به لطف این موارد کاهش می‌یابد: انواع مختلفی از تعویق (تاخیر) انواع محصول (زمان، مکان یا فرم به تعویق افتادن)، یا استانداردسازی یا مدولار نمودن فرایند و محصول، معکوس نمودن عملیات که باعث معکوس شدن اجزا در لیست مواد (BOM) می‌شود. اخیرا ون هوک[۲۴] تحولات تعویق یا تاخیر اعمال شده برای زنجیره تأمین را تحلیل کرده است. اندرسون و پاین[۲۵] همچنین به‌منظور پیشنهاد محصولات بیشتر سفارشی شده، ادغام این مفاهیم را تأکید کردند[۷]. طراحی برای زنجیره تأمین به‌صورت خلاصه طراحی برای بهبود بهره‌وری زنجیره تأمین، چرخاندن موجودی و کاهش زمان تحویل، طراحی برای کارایی بالای مونتاژ و تولید، طراحی برای بهبود کارایی لجستیک، کاهش هزینه لجستیک محصول (بسته‌بندی، حمل و نقل و غیره) می‌باشد[۲۷].

۵. روش پژوهش

از نظر دسته‌بندی تحقیقات بر اساس هدف اصلی، می‌توان پژوهش حاضر را یک تحقیق توسعه‌ای- کاربردی محسوب کرد زیرا این پژوهش بر اساس روش‌هایی مانند DFV بوده و به مباحث کاهش هزینه‌های ناشی از طراحی مجدد و دیگر هزینه‌ها و طراحی برای زنجیره تأمین در صنایع الکترونیک ایران پرداخته است. همچنین پژوهش حاضر به لحاظ ماهیت، توصیفی- پیمایشی است. جهت پیشبرد و تجزیه و تحلیل داده‌ها از پیمایش خبرگان استفاده می‌شود. داده‌پردازی نیز به صورت کمی می‌باشد. لذا این پژوهش از نظر بکارگیری آن در یک پروژه صنعتی، کاربردی است.

مراحل این پژوهش شش گام دارد که عبارت‌اند از: ۱- تعیین ساختار QFD ۲- تشکیل ماتریس QFD و تعیین دامنه تغییرات ۳- بدست آوردن شاخص تنوع نسلی (GVI) ۴- تشکیل ماتریس ساختار طراحی (DSM) و تعیین شاخص‌های اتصال (CI-R و CI-S) ۵- تحلیل داده‌ها و محاسبه معیار DFV ۶- توسعه‌ی مدل که پس از مدلسازی ریاضی، حلِ مدل ترکیبی بدست آمده جهت معماری پلتفرم محصول شامل فاکتورهای طراحی برای تنوع‌پذیری (DFV) (به دست آمده در ۵ مرحله‌ی قبل) و طراحی برای هزینه (DFC) و طراحی برای زنجیره تأمین (DFSC) انجام شده و اعتبارسنجی و آنالیز حساسیت مدل با استفاده از داده‌های مطالعه موردی توسط تکنیک‌های جدید مانند Lp متریک و با کمک نرم‌افزار گمز صورت می‌گیرد.

۶. مفروضات، علایم و نمادهای ریاضی مسئله

مفروضات مدل ریاضی مسئله عبارت‌اند از: ۱- پارامترها قطعی و معین می‌باشند. ۲- مدل چند محصولی می‌باشد. ۳- پلتفرم‌ها به‌صورت چندگانه تعیین می‌شوند. ۴- برای خرید قطعات از تأمین‌کنندگان تخفیف در نظر گرفته شده است. ۵- امکان خرید قطعات از تأمین‌کنندگان داخلی و خارجی وجود دارد. ۶- هزینه‌ی خرید قطعه از هر تأمین‌کننده مشخص است. ۷- ظرفیت تولید دارای محدودیت می‌باشد. ۸- امکان جابجایی‌پذیری قطعات در محصول وجود دارد.

۷. مدل ریاضی مسئله

مدل حاضر یک مدل ریاضی ترکیبی است که هدف آن بهینه‌سازی سه شاخصه‌ی مهم در معماری پلتفرم محصول یعنی طراحی برای تنوع‌پذیری (DFV)، طراحی برای زنجیره تأمین (DFSC) و طراحی برای هزینه (DFC) می‌باشد. به عبارت دیگر هدف این تحقیق، طراحی مدلی است که با استفاده از آن قطعاتی از یک محصول، طراحی مجدد شوند که اولا موجب تولید محصولات متنوع با کم‌ترین هزینه و زحمت گردد (طراحی برای تنوع‌پذیری) و در عین حال کل هزینه‌ها کمینه گردند یعنی تولید محصول، تأمین و کاربرد قطعات و جایگزینی آن‌ها و به طور کل طراحی پلتفرم به صرفه شود (طراحی برای هزینه) و همچنین در مباحث زنجیره تأمین مواردی مانند مسیر تأمین (انتخاب تأمین‌کننده)، میزان خرید قطعات، میزان تولید محصول و ... مد نظر قرار گیرد و مدیریت شود که همان حوزه‌ی طراحی برای زنجیره تأمین را در بر می‌گیرد.

[23] lee
[24] Van Hoek
[25] Anderson and Pine

علایم و نمادهای ریاضی مدل مسئله به‌صورت زیر می‌باشند.

اندیس‌ها		پارامترها	
i, i', l	قطعه	SC_{ijk}	هزینه‌ی خرید (تامین) قطعه i از محصول j از تأمین‌کننده k
j	محصول	SD_{ijk}	میزان تخفیف تأمین‌کننده k برای خرید قطعه i از محصول j
k	تأمین‌کننده	DI_k	فاصله از تأمین‌کننده k
p	پلتفرم (سکوی مشترک)	TC_k	هزینه‌ی انتقال قطعه i از تأمین‌کننده k
X_{ijk}	اگر قطعه i از محصول j از تأمین‌کننده k خریداری شود یک و در غیر این‌صورت صفر	CAP_i	ظرفیت تولید محصول j
V_{ijp}	اگر قطعه i برای تولید محصول j در پلتفرم p انتخاب شود یک و در غیر این‌صورت صفر	DE_j	میزان تقاضای محصول j
$R_{ii'j}$	اگر قطعه i' به جای قطعه i در محصول j قابل جایگزینی باشد یک و در غیر این‌صورت صفر	M	یک عدد بزرگ
Z_{pi}	اگر قطعه i در پلتفرم p بکار برده شود یک و در غیر این‌صورت صفر	C_p	هزینه‌ی تولید چند سکوی مشترک (پلتفرم)
L_{pj}	اگر محصول j از پلتفرم p استفاده کند یک و در غیر این‌صورت صفر	CO_{ik}	امتیاز انتخاب تأمین‌کننده k برای تامین قطعه‌ی i
P_p	اگر از پلتفرم p استفاده شود یک و در غیر این‌صورت صفر	$CR_{ii'j}$	هزینه جایگزینی قطعه i' به جای i در محصول j
D_j	اگر تقاضا برای محصول j وجود داشته باشد یک و در غیر این‌صورت صفر	VA_i	معیار نیاز به طراحی مجدد یا باز طراحی قطعه i
H_{ik}	میزان قطعه i خریداری شده از تأمین‌کننده k	GVI_i	شاخص تنوع نسلی قطعه i
U_{ijp}	میزان تولید محصول j با قطعه i در پلتفرم p	CI_R	شاخص اتصال- دریافت قطعه i
		CI_S	شاخص اتصال- عرضه (تامین) قطعه i

با توجه به مفروضات، علایم و نمادها، مدل ریاضی مسئله به‌صورت زیر ارایه می‌شود.

$$min\, Z_1 = \sum_i \sum_j \sum_k \sum_p SC_{ijk}.X_{ijk}.Z_{pi}.L_{pj}.H_{ik} - \sum_i \sum_j \sum_k \sum_p SD_{ijk}.X_{ijk}.Z_{pi}.L_{pj}.H_{ik} + \sum_k DI_k.TC_k.X_{ijk} + \sum_p C_p.P_p + \sum_i \sum_j MC_{ij}.V_{ijp}.Z_{pi}.L_{pj}.U_{ijp} + \sum_i \sum_{i'} \sum_j CR_{ii'j}.R_{ii'j} \quad (1)$$

$$max\, Z_2 = \sum_i \sum_k CO_{ik}.X_{ijk} \quad (2)$$

$$min\, Z_3 = \sum_i \sum_{i'} \sum_j VA_i.R_{ii'j} \quad (3)$$

$$VA_i = \frac{GVI_i}{CI_R_i + CI_S_i} \quad (4)$$

$$\sum_l V_{ijp} = 1 \qquad \forall i \quad (5)$$

$$\sum_l X_{ijk} = 1 \qquad \forall i \quad (6)$$

$$X_{ijk} \le V_{ijp} \qquad \forall i,j,k \quad (7)$$

$$H_{ik} \le M.X_{ijk} \qquad \forall p,i,j,k \quad (8)$$

$$U_{ijp} \le M.X_{ijk} \qquad \forall p,i,j,k \quad (9)$$

$$U_{ijp} \le CAP_j \qquad \forall i,j,p \quad (10)$$

$$U_{ijp} \ge DE_j \qquad \forall p,i,j \quad (11)$$

$$U_{ijp} \le M.V_{ijp} \qquad \forall p,i,j \quad (12)$$

$$\sum_i \sum_{i'} R_{ii'j} = 1 \qquad \forall i,i' \quad (13)$$

$$R_{ii'j} \le V_{ijp} \qquad \forall p,i,i',j \quad (14)$$

$$\sum_p L_{pj} \le D_j \qquad \forall j \quad (15)$$

$$L_{pj} \le P_p \qquad \forall p,j \quad (16)$$

$$\sum_j L_{pj} \ge P_p \qquad \forall p \quad (17)$$

$$\sum_j L_{pj} \le P_p.M \qquad \forall p \quad (18)$$

$$D_j \le DE_j \qquad \forall j \quad (19)$$

$$D_j.M \ge DE_j \qquad \forall j \quad (20)$$

$$U_{ijp} \le M.Z_{pi} \qquad \forall p,i,j \quad (21)$$

$$U_{ijp} \le M.L_{pj} \qquad \forall p,i,j \quad (22)$$

$$Z_{pi} \le L_{pj} \qquad \forall p,i,j \quad (23)$$

$$V_{ijp} \le Z_{pi} \qquad \forall p,i,j \quad (24)$$

$$X_{ijk}, V_{ijp}, R_{ii'j}, Z_{pi}, L_{pj}, P_p, D_j \in \{0,1\} \quad (25)$$

$$U_{ijp}, H_{ik} \ge 0 \quad (26)$$

رابطه (۱) به‌عنوان تابع هدف اول مسئله به دنبال حداقل کردن هزینه‌ی کل به واسطه‌ی حداقل ساختن هزینه‌های زنجیره تأمین شامل هزینه‌ی خرید قطعات، هزینه‌ی تولید محصول، هزینه‌ی انتخاب تأمین‌کننده (هزینه‌ی مسیر تأمین یا هزینه‌ی حمل) و حداقل ساختن هزینه‌های پلتفرم و حداقل نمودن هزینه‌ی مربوط به طراحی برای تنوع‌پذیری شامل هزینه‌ی جایگزینی یا طراحی مجدد قطعات می‌باشد. رابطه (۲) به‌عنوان تابع هدف دوم مسئله به دنبال حداکثر ساختن امتیاز ارزیابی (شایستگی) در انتخاب تأمین‌کنندگان می‌باشد که مرتبط با انتخاب مسیر تأمین می‌باشد. رابطه (۳) به‌عنوان تابع هدف سوم به دنبال کاهش نیاز به طراحی مجدد قطعات در مقوله‌ی طراحی برای تنوع‌پذیری می‌باشد. در مورد رابطه (۴) که همان معیار نیاز به طراحی مجدد قطعه i می‌باشد، هرچه عدد GVI بیشتر باشد نیاز به طراحی مجدد است، زیرا GVI، شاخص میزان طراحی مجدد مورد نیاز یک مؤلفه (قطعه) برای انطباق با معیارهای مهندسی آینده است و از طرفی بالا بودن CI-R و CI-S در مؤلفه‌ای نشان دهنده‌ی آن است که مؤلفه (قطعه) تا حد امکان بازطراحی نشود چرا که بر دیگر مؤلفه‌های داخلی تأثیر دارد و نیاز به طراحی مجدد را کاهش می‌دهد. محدودیت (۵) نشان می‌دهد که هر قطعه فقط یک‌بار امکان انتخاب شدن را دارد. محدودیت (۶) بیان می‌کند که هر قطعه صرفاً یکبار از هر تأمین‌کننده برای هر محصول تأمین می‌شود. محدودیت (۷) بیان می‌کند در صورتی یک قطعه از تأمین‌کننده خریداری می‌شود که انتخاب شده باشد. محدودیت (۸) نشان می‌دهد اگر قطعه‌ای از تأمین‌کننده خریداری نشود مقدار بهینه‌ای نیز برای آن وجود نخواهد داشت. محدودیت (۹) بیان می‌کند در صورتی که یک قطعه برای یک محصول از تأمین‌کننده خریداری نشود امکان تولید محصول وجود نخواهد داشت. محدودیت (۱۰) نشانگر محدودیت ظرفیت تولید است. محدودیت (۱۱) نشانگر محدودیت تأمین تقاضا برای محصول می باشد. محدودیت (۱۲) نشانگر این است که در صورتی که قطعه‌ای انتخاب نشود امکان تولید محصول وجود ندارد. محدودیت (۱۳) نشان می‌دهد که هر قطعه فقط یکبار به جای قطعه‌ی دیگر در یک محصول قابل استفاده است. محدودیت (۱۴) نشان می‌دهد که اگر قطعه‌ای انتخاب نشود امکان جابجایی برای آن وجود نخواهد داشت. محدودیت (۱۵) نشان می‌دهد که در صورتی از پلتفرم برای ایجاد محصول استفاده می‌شود که آن محصول تقاضا داشته باشد. محدودیت (۱۶) نشان می‌دهد که اگر از پلتفرم مربوطه استفاده نشود محصول نیز نمی‌تواند از آن پلتفرم استفاده نماید. محدودیت (۱۷) بیان می‌کند که اگر پلتفرم به هیچ محصولی تخصیص داده نشود، ایجاد نمی‌گردد. در غیر این‌صورت اگر پلتفرم p تشکیل شود

می‌تواند برای ایجاد محصولات متنوع استفاده شود که در محدودیت (۱۸) نشان داده می‌شود. محدودیت‌های (۱۹) و (۲۰) وجود تقاضا برای محصول j را نشان می‌دهند. محدودیت (۲۱) نشان می‌دهد در صورتی که قطعه در پلتفرم وجود نداشته باشد امکان تولید آن نیز وجود ندارد. محدودیت (۲۲) نشان می‌دهد که اگر محصول از پلتفرم استفاده نکند امکان تولید آن در پلتفرم مربوطه وجود ندارد. محدودیت (۲۳) نشان می‌دهد که اگر محصول از پلتفرم استفاده نکند نیازی وجود قطعه در پلتفرم نیست. محدودیت (۲۴) نشان می‌دهد اگر قطعه ای در پلتفرم وجود نداشته باشد امکان انتخاب آن قطعه برای تولید محصول وجود ندارد. رابطه (۲۵) نشانگر بازه‌ی متغیرهای تصمیم باینری مسئله است و رابطه (۲۶) نشانگر بازه‌ی متغیرهای تصمیم عدد صحیح مسئله است.

۸. مراحل عملیاتی انجام پژوهش

۱.۸. مطالعه‌ی موردی

در این پژوهش سیستم آنتن آرایه فازی[۲۶] مورد مطالعه قرارگرفته است. سیستم‌های آنتن آرایه فازی یکی از پیشرفته‌ترین سیستم‌های الکترونیکی و مخابراتی محسوب می‌شوند. توانایی جابجایی پرتو آنتن بدون نیاز به چرخش مکانیکی سازه آنتن، امکان انجام چند عملیات مختلف با یک سیستم یا انجام بسیار سریع یک عمل را فراهم می‌کند. از مشخصات این گونه رادارها می‌توان اسکن بسیار سریع محیط اطراف (در حد میلی ثانیه)، قابلیت هدایت چندین موشک به سمت هدف، مقاومت بالا بر علیه اقدامات ضد الکترونیک و کشف بسیار مشکل محل رادار توسط سیستم‌های الکترونیکی گیرنده و هشدار راداری را نام برد. اجزای این محصول که شامل ۵ ماژول اصلی می‌باشند مطابق جدول (۱) طی جلساتی با خبرگان صنعت و پس از مصاحبه با آنان و مطالعه‌ی منابع مرتبط استخراج گردیده است[۲۸] .

جدول ۱- اجزای اصلی سیستم آنتن آرایه فازی [۲۸]

ردیف	فارسی	لاتین
۱	سروو	Servo
۲	کارت پردازنده	Control & Process
۳	شیفترهای فاز و تی- آر- ام	TRM & Phase shifters
۴	آنتن آرایه	Antenna array
۵	باتری	Power section

۲.۸. مرحله‌ی اول پژوهش: تعیین ساختار QFD

پس از مشخص نمودن قطعات محصول مورد مطالعه، برای ایجاد GVI، گروه خبرگان ابتدا باید تخمین بزند که چه محرک‌های خارجی ممکن است نیازمند تغییر محصول در طول زمان باشند.

برای ایجاد GVI، از یک ساختار گسترش عملکرد کیفیت اصلاح شده استفاده می‌شود[۲۹].

به‌عنوان مثال نیازهای مشتری، هزینه، قابلیت اطمینان، تغییر مقررات، استانداردها و ... را می‌توان محرک‌های تغییر در نظر گرفت. در این مرحله نیازهای مشتری و رابطه‌ی آن‌ها با معیارهای مهندسی طبق جدول (۲) فهرست می‌شود.

جدول۲- نیازهای مشتری و معیارهای مهندسی مرتبط با آن

نیازهای مشتری	معیارهای مهندسی (EM)					
	میلی در ثانیه	تعداد عملیات در ثانیه	تعداد در عملیات	نقاط در اینچ	زمان متوسط بین	هزینه واحد (دلار)
اسکن سریع محیط اطراف و تشخیص اهداف	X					
قابلیت انجام چند عملیات مختلف		X				
مقاومت بالا در مقابل عملیات ضد الکترونیک و کشف			X			
کیفیت تصاویر راداری				X		
قابلیت اطمینان جهت حصول نتیجه					X	
هزینه‌ی پایین						X

[26] Phased array antenna system

۳.۸. مرحله‌ی دوم پژوهش: تشکیل ماتریس QFD و تعیین دامنه تغییرات

در این مرحله، معیارهای مهندسی از مرحله‌ی قبل به قطعات مورد استفاده در طراحی ترسیم می‌شود.

ماتریس QFD در جدول (۳) نمایش داده شده است. «X» نشان می‌دهد که قطعه می‌تواند بر معیارهای مهندسی تأثیر گذارد[۱۸].

جدول ۳- ماتریس QFD

معیارهای مهندسی	قطعات				
	سروو	کارت پردازنده	شیفترهای فاز و تی- آر- ام	آنتن آرایه	باتری
میلی در ثانیه	X	X	X	X	
تعداد عملیات در ثانیه	X	X		X	X
تعداد در عملیات	X			X	
نقاط در اینچ	X	X	X	X	
زمان متوسط بین وقفه‌ها (ساعت)	X	X	X	X	X
هزینه واحد (دلار)	X	X	X	X	X

۴.۸. مرحله‌ی سوم پژوهش: بدست آوردن GVI

برای تعیین ماتریس GVI، گروه از تخصص و قضاوت مهندسی خود برای تخمین هزینه‌ی تغییر قطعات استفاده می‌کند.

ماتریس GVI از یک سیستم رده‌بندی (۹/۶/۳/۱) برای این تخمین‌ها استفاده می‌کند. GVI برای هر قطعه با جمع کردن هر ستون ماتریس GVI محاسبه می‌شود. محاسبه‌ی GVI در جدول (۴) نشان داده شده است.

جدول۴- محاسبه‌ی GVI

معیارهای مهندسی	قطعات				
	سروو	کارت پردازنده	شیفترهای فاز و تی- آر- ام	آنتن آرایه	باتری
میلی در ثانیه	۱	۶	۳	۹	
تعداد عملیات در ثانیه	۳	۹		۳	۳
تعداد در عملیات	۳			۶	
نقاط در اینچ	۶	۳	۱	۶	
زمان متوسط بین وقفه‌ها (ساعت)	۳	۱	۱	۳	۱
هزینه واحد (دلار)	۳	۱	۱	۳	۱
GVI	۱۹	۲۰	۶	۳۰	۵

۵.۸. مرحله‌ی چهارم پژوهش: تشکیل ماتریس DSM و تعیین CI

ماتریس DSM مربوط به این پژوهش در جدول (۵) نمایش داده شده است.

جدول۵- محاسبه‌ی ماتریس ساختار طراحی (DSM) و تعیین CI-R و CI-S

مشخصات دریافت‌کننده قطعات	مشخصات تأمین‌کننده قطعات					
	سروو	کارت پردازشگر	شیفترهای فاز و TRM	آنتن آرایه	باتری	**CI-R**
سروو		۱۴	۱۲	۷	۱۴	۴۷
کارت پردازشگر	۷		۷	۷	۱۲	۳۳
شیفترهای فاز و TRM	۱۲	۱۴		۷	۱۴	۴۷
آنتن آرایه	۷	۱۴	۷		۱۴	۴۲
باتری	۷	۱۲	۷	۷		۳۳
CI-S	۳۳	۵۴	۳۳	۲۸	۵۴	

۶.۸. مرحله‌ی پنجم پژوهش: تحلیل داده‌ها و محاسبه‌ی معیار DFV

قطعات را از بالاترین به پایین ترین مقدار شاخص GVI به ترتیب کنید. این‌ها قطعاتی هستند که به دلیل محرک‌های خارجی تمایل بیشتری به تغییر در طول بازه‌ی زمانی پلتفرم محصول دارند. نتایج برای سیستم آنتن آرایه فازی در جدول (۶) نشان داده شده است.

جدول۶- شاخص GVI

	CI-S	**CI-R**	**GVI**
آنتن آرایه	۳۳	۴۷	۳۰
کارت پردازنده	۵۴	۳۳	۲۰
سروو	۳۳	۴۷	۱۹
شیفترهای فاز و تی- آر- ام	۲۸	۴۲	۶
باتری	۵۴	۳۳	۵

برای هر یک از قطعات همانطور که در جدول (۷) نشان داده شده است، شاخص‌های اتصال یعنی CI-R و CI-S را به شاخص GVI اضافه کرده تا شاخص‌های دخیل در محاسبه‌ی معیار DFV حاصل گردد.

جدول ۷- شاخص‌های DFV

	CI-S	**CI-R**	**GVI**
آنتن آرایه	۳۳	۴۷	۳۰
کارت پردازنده	۵۴	۳۳	۲۰
سروو	۳۳	۴۷	۱۹
شیفترهای فاز و تی- آر- ام	۲۸	۴۲	۶
باتری	۵۴	۳۳	۵

۷.۸. مرحله‌ی ششم پژوهش: توسعه‌ی مدل

۱.۷.۸. روش حل پژوهش

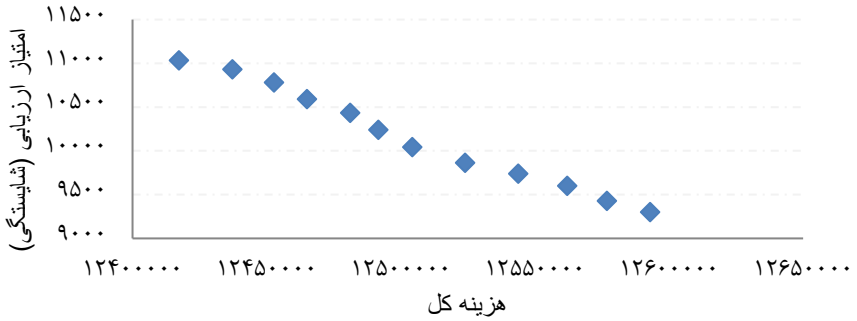
در این تحقیق ابتدا مطالعات کتابخانه‌ای صورت گرفت و بر اساس مطالعات انجام شده یک مدل ریاضی طراحی گردید. به‌منظور اعتبار سنجیِ مدل با استفاده از روش ال پی متریک[۲۷]، مدل به صورت چند هدفه به کمک نرم‌افزار گمز حل و اعتبارسنجی انجام گرفت. از آنجایی که مسائل تصمیم‌گیری چندهدفه به ندرت حل منحصر به فردی دارند، تصمیم‌گیرنده جوابی را از میان مجموعه جواب‌های کارا انتخاب می‌کند. این روش مجموع توان انحرافات نسبی اهداف را از مقدار بهینه‌شان حداقل کرده و توابع هدف چندگانه را به صورت یک هدف ترکیب می‌نماید. این روش برای

[27] LP-Metric

اولین‌بار توسط وانگ و مسعود در سال ۱۹۷۹ مطرح شد و بعدها توسط اصغرپور (۱۹۹۸) [۳۰] و دیب[28] (۲۰۰۱) [۳۱] مورد بحث قرار گرفت. روش LP متریک به دو دلیل بیشتر مورد توجه قرار گرفت: ۱- به اطلاعات کمتری از تصمیم گیرنده (DM)[29] نیاز دارد. ۲- استفاده از آن در عمل ساده است. روش LP متریک به‌منظور سنجش نزدیکی یک راه حل، از ایده آل مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲.۷.۸. اعتبار سنجیِ مدل با استفاده از روش ال پی متریک (LP-Metric):

با استفاده از روش ال پی متریک، اعتبارسنجی مدل صورت گرفته و مدل به صورت سه هدفه مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. برای تعیین اعتبارسنجی مدل از نمودارهای پارتو استفاده می‌شود که نمودار پارتوی هدف هزینه کل و امتیاز ارزیابی به‌عنوان نمونه در نمودار (۱) نشان داده شده است و در ادامه نتایج مقایسه‌ی سایر اهداف شرح داده می‌شود.



شکل ۱- نمودار پارتوی هدف هزینه کل و امتیاز ارزیابی (شایستگی)

همانگونه که در نمودار (۱) مشاهده می‌شود یک ارتباط معکوس بین هدف هزینه و امتیاز شایستگی وجود دارد و با کاهش هزینه شاهد افزایش امتیاز شایستگی (ارزیابی) تأمین‌کننده هستیم. بنابر این یک رابطه‌ی معکوس بین این دو هدف نشان داده می‌شود. از سوی دیگر نشان داده می‌شود که هیچ یک از نقاط بر نقطه‌ی دیگری غالب نبوده و لذا تمامی نقاط نشانگر نقاط بهینه بین دو هدف مزبور می‌باشند. در ادامه‌ی بررسی یافته‌ها نشان می‌دهد که بین دو هدف امتیاز ارزیابی (شایستگی) و تنوع‌پذیری یک رابطه‌ی مستقیم وجود دارد و از سوی دیگر هیچ یک از نقاط بر دیگری برتری ندارند. بنابر این هر نقطه نشانگر یک نقطه‌ی بهینه در رابطه‌ی چند هدفه می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که با افزایش هزینه، امکان تنوع‌پذیری و جابه جایی قطعات محصول کاهش می‌یابد. بنابر این می‌توان گفت یک رابطه‌ی معکوس بین هدف هزینه و تنوع‌پذیری مشاهده می‌شود. با ارائه‌ی نمودارهای پارتو در خصوص ارتباط بین اهداف می‌توان اعتبار مدل را تایید نمود چون روابط بین اهداف به صورت معکوس و مستقیم بر اساس نمودارهای پارتو حاصل گردیده است.

۳.۷.۸. تحلیل حساسیت

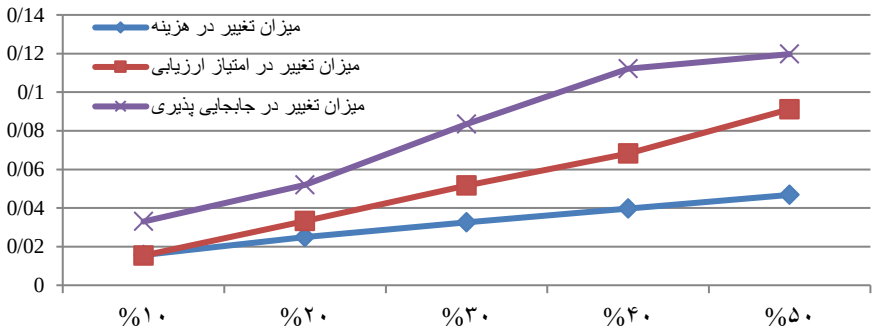
در این بخش به تحلیل حساسیت پارامتری مسئله پرداخته می‌شود. در این بخش هفت پارامتر (هزینه‌ی خرید قطعه، میزان تخفیف، هزینه‌ی انتقال قطعه، هزینه تولید محصول، ظرفیت تولید محصول، میزان تقاضای محصول و هزینه‌ی جایگزینی قطعات) مورد تحلیل قرار گرفته و اثر آن بر سه هدف مدل بررسی می‌شود. پارامترهای مورد نظر پارامترهایی هستند که امکان تغییر آن‌ها وجود داشته و لذا این تغییر می‌تواند اثر مثبت یا منفی بر اهداف ایجاد کند. به‌عنوان نمونه در جدول (۸) نتایج تحلیل حساسیت پارامتر هزینه خرید و نمودار مرتبط با آن نمایش داده شده است و در ادامه نتایج تحلیل حساسیت سایر پارامترها بررسی می‌گردد.

[28] Deb

[29] Decision Makers

جدول ۸- تحلیل حساسیت هزینه خرید

هزینه خرید	هزینه کل	امتیاز ارزیابی (شایستگی)	جابه‌جایی‌پذیری (تنوع‌پذیری)	میزان تغییر در هزینه	میزان تغییر در امتیاز ارزیابی	میزان تغییر در جابه‌جایی پذیری
۰%	۱۲۵۹۲۹۸۳	۹۲۹۸	۴۸۵			
۱۰%	۱۲۷۹۰۱۱۱	۹۱۵۵	۵۰۱	۰.۰۱۵۶۵۴	۰.۰۱۵۳۸	۰.۰۳۲۹۹
۲۰%	۱۳۱۰۸۱۶۸	۸۸۵۱	۵۲۷	۰.۰۲۴۸۶۷	۰.۰۳۳۲۰۶	۰.۰۵۱۸۹
۳۰%	۱۳۵۳۵۴۸۵	۸۳۹۴	۵۷۱	۰.۰۳۲۵۹۹	۰.۰۵۱۶۳۳	۰.۰۸۳۴۹۱
۴۰%	۱۴۰۷۲۵۰۳	۷۸۲۲	۶۳۵	۰.۰۳۹۶۷۵	۰.۰۶۸۱۴۴	۰.۱۱۲۰۸۴
۵۰%	۱۴۷۳۰۸۳۳	۷۱۰۹	۷۱۱	۰.۰۴۶۷۸۱	۰.۰۹۱۱۵۳	۰.۰۱۱۹۶۸۵



شکل (۲): نمودار تحلیل حساسیت هزینه خرید

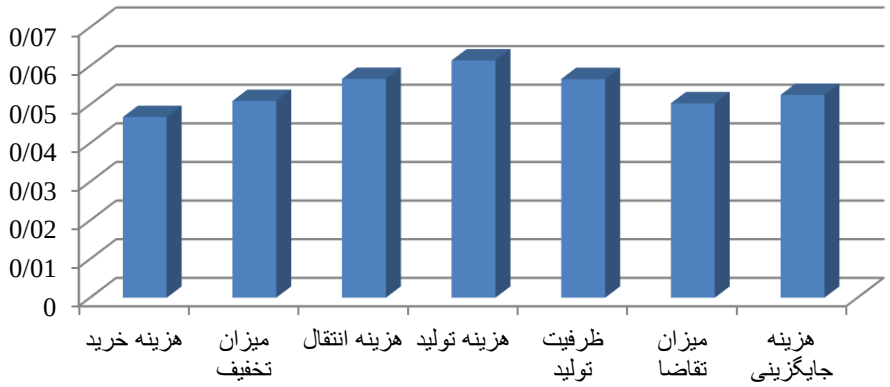
همانگونه که در نمودار (۲) دیده می‌شود پارامتر هزینه‌ی خرید بیش از همه بر هدف جا به جایی پذیری (تنوع‌پذیری) اثرگذار می‌باشد. پس از آن بیشترین اثرگذاری بر امتیاز ارزیابی (شایستگی) تأمین‌کنندگان و در نهایت بر هزینه کل است. افزایش بر هزینه خرید می‌تواند منجر به افزایش در هزینه‌ی کل شود در حالی که این اثرگذاری در امتیاز ارزیابی (شایستگی) کاهش، بر تنوع‌پذیری (جابجایی پذیری) افزایش را موجب شده است. نکته جالب توجه این است که افزایش ۵۰ درصدی بر هزینه خرید می‌تواند منجر به ۵ درصد افزایش در هزینه‌ی کل شود در حالی که این اثرگذاری در امتیاز ارزیابی ۹ درصد و بر جابجایی پذیری ۱۲ درصد می‌باشد. در تحلیل حساسیت پارامتر میزان تخفیف، اثر بیشتری از سوی پارامتر میزان تخفیف بر هدف جابه جایی پذیری نسبت به سایر اهداف مشاهده می‌شود. البته لازم به ذکر است که پارامتر میزان تخفیف بر هدف هزینه کل اثر منفی و بر امتیاز ارزیابی (شایستگی) اثر مثبت و بر هدف تنوع‌پذیری (جا به جایی پذیری) نیز اثر منفی دارد. در تحلیل حساسیت پارامتر هزینه‌ی انتقال نتایج نشان می‌دهد که اثر هزینه انتقال بیش از همه باز بر هدف جابه جایی پذیری قطعات مشاهده می‌شود. پس از آن بیشترین اثر بر بر امتیاز ارزیابی (شایستگی) و در نهایت بر هزینه کل است. افزایش در هزینه انتقال منجر به افزایش جابجایی پذیری (تنوع‌پذیری) می‌شود. این در حالی است که این اثر بر امتیاز ارزیابی (ارزشیابی) کاهشی و بر هزینه کل افزایشی می‌باشد. در تحلیل حساسیت پارامتر هزینه تولید نشان داده می‌شود که افزایش هزینه تولید منجر به بیشترین اثر بر جابه جایی پذیری (تنوع‌پذیری) البته بسیار نزدیک به امتیاز ارزیابی (شایستگی) شده و افزایش این هزینه می‌تواند منجر به افزایش جابه جایی پذیری (تنوع‌پذیری) شود. این در حالیست که این افزایش بر امتیاز ارزیابی اثر کاهشی و بر هزینه کل اثر افزایشی دارد. در تحلیل حساسیت پارامتر ظرفیت تولید نشان داده می‌شود افزایش ظرفیت تولید منجر به بهبود جواب برای اهداف هزینه کل و امتیاز ارزیابی (شایستگی) می‌شود و این پارامتر بر هدف تنوع‌پذیری (جابه جایی پذیری) اثر منفی دارد. نتایج تحلیل حساسیت پارامترهای میزان تقاضا و هزینه جایگزینی (طراحی مجدد قطعه) مطرح می‌کند که میزان تقاضا و هزینه جایگزینی

قطعات تنها بر امتیاز ارزیابی اثر منفی دارند و باعث بدتر شدن جواب می شوند و بر هر دو هدف دیگر اثر مثبت دارند.

لازم است که مقایسه‌ای نیز بین میزان اثرپذیری هر یک از پارامترها از هر یک از اهداف صورت گیرد. به‌عنوان نمونه در جدول (۹) نتایج برای هدف هزینه کل و نمودار مرتبط با آن نمایش داده شده است و در ادامه نتایج برای سایر اهداف بررسی می‌گردد.

جدول ۹- مقایسه اثرپذیری پارامترها از هدف هزینه کل

هزینه کل	هزینه خرید	میزان تخفیف	هزینه انتقال	هزینه تولید	ظرفیت تولید	میزان تقاضا	هزینه جایگزینی
۱۰%	۰,۰۱۵٦٥٤	۰,۰۱۲۳٥۳	۰,۰۱٤٤٤	۰,۰۱٤۳٤٦	۰,۰۱۲۲۹	۰,۰۰۹۷۷۱	۰,۰۱٤۱۳٥
۲۰%	۰,۰۲٤۸٦۷	۰,۰۲٥۳۸	۰,۰۲٦۸٤۱	۰,۰۲۷۹۱۲	۰,۰۲٤۳۱۲	۰,۰۲۲۹۳٥	۰,۰۲٥۹٥
۳۰%	۰,۰۳۲٥۹۹	۰,۰۳٤٦۷٤	۰,۰۳٥٦۱۳	۰,۰٤۱٤۹۲	۰,۰۳۳۱٦۱	۰,۰۳۳۳۰۹	۰,۰۳٥۰۱۷
٤۰%	۰,۰۳۹٦۷٥	۰,۰٤۱۳٤۳	۰,۰٤۸۳٤۳	۰,۰٥٤۰۰۱	۰,۰٤٦۰۳۷	۰,۰٤۲۲٦۳	۰,۰٤۳۲۰۳
٥۰%	۰,۰٤٦۷۸۱	۰,۰٥۰۹۳۱	۰,۰٥٦٦٥۹	۰,۰٦۱٤۳۷	۰,۰٥٦٦۲٥	۰,۰٥۰۳٤٤	۰,۰٥۲٥۲٤



شکل (۳): نمودار مقایسه اثرپذیری پارامترها از هدف هزینه کل

همانگونه که در نمودار (۳) دیده می‌شود پارامتر هزینه‌ی تولید دارای بیشترین اثرپذیری از هدف هزینه کل می‌باشد. این اثر در حدود ۶ درصد پیش بینی می‌شود در حالی که ظرفیت تولید و هزینه‌ی انتقال دارای اثری حدود ۵ درصد هستند. همچنین کم اثرپذیرترین پارامتر، هزینه‌ی خرید است. طبق یافته‌ها برای هدف امتیاز ارزیابی (شایستگی)، هزینه جایگزینی دارای بیشترین اثرپذیری بوده و پارامتر میزان تقاضا در رتبه دوم و هزینه انتقال در رتبه سوم قرار می‌گیرند. همچنین مهمترین پارامتر اثرپذیر از هدف جابجایی‌پذیری (تنوع‌پذیری)، میزان تخفیف می‌باشد سپس ظرفیت تولید و میزان تقاضا قرار دارند.

۹. نتیجه‌گیری

در این تحقیق یک مدل ترکیبی جهت معماری پلتفرم محصول با در نظر گرفتن شاخص‌های هزینه، زنجیره تأمین و تنوع‌پذیریِ محصول و در راستای بهبود این شاخص‌ها ارایه شد. همچنین از روش طراحی برای تنوع‌پذیری و دو شاخص تنوع نسلی و شاخص اتصال برای اندازه‌گیری یک معماری محصول استفاده گردید و با استفاده از تابع ارتقاء کیفیت و ماتریس ساختار طراحی، شاخص-های طراحی برای تنوع‌پذیری، شناسایی و رتبه‌بندی شدند و با حل مدل، اعتبارسنجی و تحلیل حساسیت‌ها انجام شد و نتایج و تحلیل‌های کاربردی به دست آمد. در مورد مقایسه‌ی اهداف با همدیگر، یافته‌ها رابطه‌ی معکوس هدف هزینه کل با اهداف تنوع‌پذیری و امتیاز ارزیابی و رابطه‌ی مستقیم دو هدف تنوع‌پذیری و امتیاز ارزیابی را با یکدیگر نشان می‌دهد. نتایج تحلیل حساسیت انجام شده نشانگر اثرپذیر بالاتر هدف جابه جایی پذیری (تنوع‌پذیری) نسبت به سایر اهداف از پارامترهای مورد بررسی (هزینه‌ی خرید قطعه، میزان تخفیف، هزینه‌ی انتقال قطعه، هزینه تولید محصول، ظرفیت تولید محصول، میزان تقاضای محصول و هزینه‌ی جایگزینی قطعات) بود. این اثرپذیر در هفت تحلیلِ انجام شده مشاهده گردید و الگوی مشابه تکرارشونده این بود که هدف

جابه جایی پذیری (تنوع‌پذیری) به نسبت به دو هدف دیگر دارای اثرپذیری بیشتری می‌باشد. نکته قابل تامل اینکه در افزایش هزینه‌ی انتقال و هزینه‌ی تولید و هزینه‌ی جایگزینی دیده می‌شود که در افزایش بسیار بالای این پارامترها، جابجایی پذیری به امتیاز ارزیابی و هزینه کل بسیار نزدیک می‌گردد. بنابر این می‌توان گفت با افزایش میزان پارامترها می‌توان شاهد کاهش شیب تغییر جابه‌جایی‌پذیری بود. هدف امتیاز ارزیابی (شایستگی) تأمین‌کنندگان و هزینه‌ی کل در اثرپذیر از پارامترها بعد از هدف جابه جایی پذیری در رتبه‌های بعدی قرار دارند. همچنین حداکثر واکنش هزینه کل به افزایش پارامترها چه مثبت و چه منفی در حد پایینی می‌باشد. در مورد بررسی اثرپذیری پارامترها از اهداف به طور خلاصه می‌توان بیان کرد که در مقایسه‌ی اثرپذیری پارامترها از هدف هزینه کل، هزینه تولید دارای بیشترین اثرپذیری از هزینه کل می‌باشد در حالی که در خصوص امتیاز ارزیابی، هزینه جایگزینی است که بیشترین اثر را دارد. در خصوص جابجایی‌پذیری نیز میزان تخفیف بیشترین نقش را ایفا می‌کند.

مراجع

[1] Itani, Anas and Ahmad, Rafiq and Al-Hussein, Mohamed. (2019). A Collaborative Scheme for DFX Techniques in Concurrent Engineering Mitigated with Total Design Activity Model, International Conference on Modular and Offsite Construction (MOC) Summit Proceedings, May 2019, Banff, Canada

[2] Sassanelli, C and Pezzotta, G and Pirola, F and Terzi, S and Rossi, M. (2016). Design for Product Service Supportability (DfPSS) approach: a state of the art to foster Product Service System (PSS) design. In Product-Service Systems across Life Cycle, 2016. Elsevier.

[3] Jiao, Jianxin and Zhang, Lianfeng and Pokharel, Shaligram. (2007). Process Platform Planning for Variety Coordination From Design to Production in Mass Customization Manufacturing, IEEE Transactions on Engineering Management, 54(1)

[4] Meireles Carneiro, Tomas de. (2020). The articulation of advanced tools for product development, A thesis presented for the degree of Master in Mechanical Engineering, Mechanical Engineering Department Faculty of Engineering of the University of Porto Porto, Portugal

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

[6] Kwansuk, Oh and Jong Wook, Lim and Seongwon, Cho and Junyeol, Ryu and Yoo S., Hong. (2019). A Framework for Development Architecture for Modular Products: Cross-Domain Variety Management Perspective, Proceedings of the Design Society International Conference on Engineering Design, ICED19 5-8 August 2019, Delft, The Netherlands

[7] Lamothe, J and Hadj-Hamou, K and Aldanondo, M. (2018). An optimization model for selecting a product family and designing its supply chain, Journal of Operational Research,169 (3)

[8] Amid, A and Ghodsypour, S.H. and O'Brien, C. (2006). Fuzzy multiobjective linear model for supplier selection in a supply chain, International Journal of Production Economics, 104

[9] Vinay Ashokbhai, Parikh. (2020). Development of Supply Chain Model For Improved Productivity in Capital and Industrial Goods Manufacturing Industry, A PhD Synopsis Submitted to Gujarat Technological Universityfor the Degree of Doctor of Philosophy

[10] Holtta-Otto, Katja. (2005). Modular Product Platform Design, Doctoral Dissertation, Helsinki University of Technology Department of Mechanical Engineering Machine Design

[11] Dambietz, F. M., Greve, E., Krause, D. (2021). Simulation-Based Performance Analysis for Future Robust Modular Product Architectures, in Proceedings of the International Conference on Engineering Design (ICED21), Gothenburg, Sweden, August 2021

[12] Landahl, J and Johannesson, H. (2018). Product Variety And Variety In Production, International Design Conference - Design 2018

[13] Rennpferdt, Christoph and Greve, Erik and Krause, Dieter. (2021). Variety-driven design to reduce complexity costs of a tire curing press family, 31st CIRP Design Conference 2021, Hamburg University of Technology, Institute of Product Development and Mechanical Engineering Design, Denickestrasse 17, 21073 Hamburg, Germany

[14] Kipp, T and Krause, D. (2008). Design For Variety – Efficient Support For Design Engineers, International Design Conference - Design 2008, Dubrovnik – Croatia

developing product platforms in the specific setting of the housebuilding industry, Res Eng Design

[23] Xiaochuan, Chen and Jianguo, Yang., Beizhi, Li. (2004). Methodology and Technology of Design For Cost (DFC), The 5th World Congress on Intelligent Control and Automation, (WCICA'04) June 14-18, 2004, Hangzhou, China

[24] Moroson, Bogdan. (2022). Design For Excellence (DFX). NeuronicWorks Inc, Handbook of North York, Canada

[25] Brian Morrison, B. (2016). Design for Excellence (DFX) Driving Product Optimization Through Early Stage Supplier Engagement, manufacturing partner to innovators

[26] Hou, Shixuan and Gao, Jie and Wang, Chun. (2021). Design for mass customisation, design for manufacturing, and design for supply chain: A review of the literature, The institution of Engineering and Technology, 4(1).

[27] Sharifi, H and Ismail, H. S. and Reid, I. (2006). Achieving agility in supply chain through simultaneous "design of" and "design for" supply chain, Journal of Manufacturing Technology Management, 17(8).

[28] Sohailifar, Mohammad Reza and Sadeghzadeh, Ramadan Ali (2016). Phased Array Antennas, Tehran, Student Technical Publications, first edition (in persian)

[29] Hauser, J. R. and D. Clausing. (1988). "The House of Quality", Harvard Business Review, 66 (3)

[30] Asgharpour, M. J., (1998). Multiple Criteria Decision Making. Tehran, Tehran University Press.

[31] Deb, K. (2001). Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms. New York: Wiley.

[15] Boer, Henrike and Boer, Harry. (2018). Design-for-variety and operational performance The mediating role of internal, supplier and customer integration, Journal of Manufacturing Technology Management

[16] Martin, M.V. and K.J.M.E.T. Ishii. (1999). Design for variety: a methodology for developing product platform architectures, PhD thesis, Stanford University

[17] Moubachir, Y and Bouami, D. (2015). A new approach for the transition between QFD phases. Procedia Cirp, 26, 82-86.

[18] Martin, M.V. and K.J.M.E.T. Ishii (2000). Design for variety: a methodology for developing product platform architectures, Proceedings of DETC2000ASME Design Engineering Technical Conferences September 10 - 13, 2000, Baltimore, MD

[19] Liu, A and Hu, H and Zhang, X and Lei, D. (2017). Novel two-phase approach for process optimization of customer collaborative design based on fuzzy-QFD and DSM. IEEE Transactions on Engineering Management, 64(2)

[20] karbasian, M and Mohebbi, B and khayambashi, B and cheshmberah, M and Morady. G, M. (2015). Maximum Maintainability of Complex Systems via Modulation Based on DSM and Module Layout Case Study: Laser Range finder, International Journal of Industrial Engineering & Production Research, 26(4)

[21] Rubio-Maya, Olivier and Guarin-Grisale, Alvaro and Carrizosa-Isaza, Pablo. (2014). Aplicaction of the Methodology for the Design Variety (DFV) in the Development of a Plataform of Productos, DYNA, 89(3)

[22] Veenstra, Vanessa S and Halman, Johannes I. M. and Voordijk, Johannes T. (2006). A methodology for

Designing a product platform architecture development model with a multi-objective approach including DFC, DFV and DFSC, Case study: Phased array antenna system

Masoud Merati
PhD Student in Industrial Management, Faculty of Management and Economics, science and research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. masoud_merati@yahoo.com

Mahdi Karbasian*
(Corresponding Author), Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Management and Economics, science and research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Professor, Department of Industrial Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Esfahan, Iran. mkarbasi@mut-es.ac.ir

Abbas Toloie Ashlaghi
Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Management and Economics, science and research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. toloie@srbiau.ac.ir

Hassan Hale
Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Golpayegan Faculty of Technical and Engineering, Isfahan University of Technology, Iran. hhaleh@iut.ac.ir

Abstract: Since the development of a strong platform architecture is considered a competitive advantage for companies and is effective in improving the future generations of the product, therefore there is a need for a kind of diversified product design that simultaneously manages the costs and supply chain process and thus help to develop the architecture of the product platform. In this research, the design for vareity (DFV) method and two generational variety index (GVI) and coupling index (CI) are used to measure a product architecture and by using the quality improvement function (QFD) and the design structure matrix (DSM), design indicators for variety are identified and ranked. Also, the DFV approach is simultaneously modeled with the categories of design for cost (DFC) and design for supply chain (DFSC) and a mathematical model applied to the development of the product platform architecture is obtained, which seeks to diversify the product and reduce costs and Supply chain process management. The case study of the current research is the phased array antenna system, in which the problem is solved using one of the new optimization techniques (LP metric) and GAMS software. After the implementation of the model, its validation was carried out and considering three objectives including the total cost and the evaluation score (competence) of the suppliers and the objective of variety and the seven main parameters of the model, sensitivity analysis and other comparisons and results. A review is provided. Regarding the comparison of the goals with each other, the findings show the inverse relationship of the total cost goal with the variety and the evaluation score goals and the direct relationship between the two variety and the evaluation score goals. Also, the results of the sensitivity analysis showed the higher effectiveness of the goal of variety among the investigated parameters, and the evaluation score (competence) of suppliers and the total cost were ranked next.

Keywords: Product Platform, Design for Vareity (DFV), Design for Cost (DFC), Design for Supply Chain (DFSC), Phased array antenna system

1. Introduction

Companies are required to meet their customers' various needs to remain competitive. Offering products based on consumer demands and specific customer needs is one of the ways to dominate the market. Most companies try to acquire customers by categorizing their products for families and offering different platform-based products. On the other hand, market complexities and customers' growing needs for new and diverse products at a low cost have made manufacturers face a new challenge, based on which they have to produce and supply a wide range of diversified products within a short period. Under such circumstances, excessive production factors, including the required raw materials, production items, and collections, lead to many complications at the managerial and operational levels. Design for X (DFX) refers to a formal approach to optimizing a specific aspect of a design or product, where the X variable represents the items of focus. Different DFX methods are mapped and clustered in a collaborative scheme, and interactions and links between them are detected [1]. Design guidelines usually recommend approaches and techniques to help generate and apply know-how to control, improve, or even innovate product features. DFX is a potential management approach to coordinate and manage requirements [2]. Accordingly, some strategies are needed to simultaneously consider DFV, DFSC, DFC, and others in a hybrid model for product design improvement.

2- Research Implementation Process

The research implementation process includes six phases as follows:
Phase 1-Determine the QFD structure
Phase 2- Create the QFD matrix and determine the range of changes
Phase 3- Compute the GVI
Phase 4- Create a DSM matrix and determine the CI-R and CI-S
Phase 5- Data analysis and DFV calculation
Phase 6- The development of the model that, after mathematical modeling, the solution of the hybrid model obtained for the architecture of the product platform includes the factors of Design for Variability (DFV) (obtained in the previous 5 steps), Design for Cost (DFC) and Design for Supply Chain (DFSC) and validation and sensitivity analysis of the model is done using case study data by new techniques such as Lp metric and with the help of Gems software.

3.Assumptions, signs and mathematical symbols of the problem

The model's assumptions are as follows:1-The parameters are definite. 2-The study's model is a multi-product one. 3-Platforms are defined in multiple ways. 4-Discounts are included for procuring components from suppliers. 5-It is possible to purchase components from domestic and foreign suppliers. 6-The cost of component procurement from each supplier is known. 7-The production capacity is limited. 8-It is possible to replace product components.

Table (1): Description of indices and decision variables and model parameters

Indexes	
i, i', l	component
j	Product
k	Supplier
p	Platform
Decision variables	
X_{ijk}	If component i of product j is purchased from supplier k 1 and zero otherwise
V_{ijp}	If component i is selected to produce product j on platform p 1 and zero otherwise

$R_{ii'j}$	If component i' can be replaced instead of component i in product j 1 and zero
Z_{pi}	If component i is used on platform p 1 and zero otherwise
L_{pj}	If product j uses platform p 1 and zero otherwise
P_p	If platform P is used 1 and zero otherwise
D_j	If there is demand for product j 1 and zero otherwise
H_{ik}	Amount of component i purchased from supplier k
U_{ijp}	Production rate of product j with component i on platform p

Parameters	
SC_{ijk}	The cost of purchasing component i of product j from supplier k
SD_{ijk}	The discount amount of supplier k for the purchase of component i of
DI_k	Distance from supplier k
TC_k	The transportation cost of component i from supplier k
MC_{ij}	The production cost of product j with component i
CAP_i	Production capacity of Product j
DE_j	Demand of product j
M	A big number
C_p	The cost of producing platforms
CO_{ik}	The selection score of the supplier k from which the component i is
$CR_{ii'j}$	The cost of replacing component i' instead of component i in product j
VA_i	Criteria for the need to redesign the component i
GVI_i	The Generational Variety Index of component i
CI_R_i	The Coupling Index – Receiving of component i
CI_S_i	The Coupling Index – Supplying of component i

4. Mathematical model of the problem

In this section, according to the mentioned assumptions, signs and symbols, the mathematical model of the problem is presented.

$$\begin{aligned} min\, Z_1 = & \sum_i \sum_j \sum_k \sum_p SC_{ijk} . X_{ijk} . Z_{pi} . L_{pj} . H_{ik} \\ & - \sum_i \sum_j \sum_k \sum_p SD_{ijk} . X_{ijk} . Z_{pi} . L_{pj} . H_{ik} + \sum_k DI_k . TC_k . X_{ijk} \\ & + \sum_p C_p . P_p + \sum_i \sum_j MC_{ij} . V_{ijp} . Z_{pi} . L_{pj} . U_{ijp} \\ & + \sum_i \sum_{i'} \sum_j CR_{ii'j} . R_{ii'j} \end{aligned} \quad (1)$$

Eq. (1), as the first objective function, seeks to minimize total costs by mitigating SC costs, including component procurement, product manufacturing, supplier selection (supply path or transportation cost), and product platform, and to minimize DFV, including component replacement or redesign cost.

$$max\, Z_2 = \sum_i \sum_k CO_{ik} . X_{ijk} \quad (2)$$

Eq. (2), as the second objective function, seeks to maximize supplier selection's evaluation score (qualification-based) which is related to the supply path selection.

$$min\, Z_3 = \sum_i \sum_{i'} \sum_j VA_i . R_{ii'j} \quad (3)$$

Eq. (3), as the third objective function, seeks seeks to reduce the need to redesign parts in the category of design for variety.

$$VA_i = \frac{GVI_i}{CI_R_i + CI_S_i} \quad (4)$$

As for Eq. (4), the higher the GVI, the more redesign is needed. High CI-R and CI-S in a component imply that the component (part) should not be redesigned as much as possible because it influences other internal components. Therefore, VA_i (the need for redesign criterion) is defined as Eq. (5) to determine the component or part with the highest priority for replacement.

$$\sum_i V_{ijp} = 1 \qquad \forall i \quad (5)$$

Constraint (5) indicates that each component can be selected only once.

$$\sum_i X_{ijk} = 1 \qquad \forall i \quad (6)$$

Constraint (6) suggests that each component is provided only once from each supplier per product.

$$X_{ijk} \leq V_{ijp} \qquad \forall i, j, k \quad (7)$$

Constraint (7) implies that a component is purchased from the supplier if selected.

$$H_{ik} \leq M . X_{ijk} \qquad \forall p, i, j, k \quad (8)$$

Constraint (8) represents that if a component is not purchased from the supplier, it will have no optimum value.

$$U_{ijp} \leq M . X_{ijk} \qquad \forall p, i, j, k \quad (9)$$

Constraint (9) indicates that if a product component is not purchased from a supplier, it will be impossible to manufacture the product.

$$U_{ijp} \leq CAP_j \qquad \forall i, j, p \quad (10)$$

Constraint (10) signifies limited production capacity.

$$U_{ijp} \geq DE_j \qquad \forall p, i, j \quad (11)$$

Constraint (11) represents the limited supply of product demand.

$$U_{ijp} \leq M . V_{ijp} \qquad \forall p, i, j \quad (12)$$

Constraint (12) suggests that it is impossible to manufacture the product if a component is not selected.

$$\sum_i \sum_{i'} R_{ii'j} = 1 \qquad \forall i, i' \quad (13)$$

Constraint (13) shows that each component can be used only once in place of another product component.

$$R_{ii'j} \leq V_{ijp} \qquad \forall p, i, i', j \quad (14)$$

Constraint (14) signifies that if a component is not selected, it will be impossible to replace it.

$$\sum_p L_{pj} \leq D_j \qquad \forall j \quad (15)$$

Constraint (15) denotes that the platform is used to manufacture a product if that product is in demand.

$$L_{pj} \leq P_p \qquad \forall p, j \quad (16)$$

Constraint (16) shows that if the corresponding platform is not used, the product also cannot use that platform.

$$\sum_j L_{pj} \geq P_p \qquad \forall p \quad (17)$$

Constraint (17) indicates that the platform is not established if it is not assigned to any product. Otherwise, if the platform p is established, it can be used to manufacture diversified products, which is represented as a Constraint (18).

$$\sum_j L_{pj} \leq P_p . M \qquad \forall p \qquad (18)$$

$$D_j \leq DE_j \qquad \forall j \qquad (19)$$

$$D_j . M \geq DE_j \qquad \forall j \qquad (20)$$

Constraints (19) and (20) represent the demand for product j.

$$U_{ijp} \leq M . Z_{pi} \qquad \forall p, i, j \qquad (21)$$

Constraint (21) signifies that it is impossible to produce the component if it does not exist in the platform.

$$U_{ijp} \leq M . L_{pj} \qquad \forall p, i, j \qquad (22)$$

Constraint (22) indicates that if the product does not use the platform, it is impossible to produce it on the corresponding platform.

$$Z_{pi} \leq L_{pj} \qquad \forall p, i, j \qquad (23)$$

Constraint (23) suggests that there is no need for a component in the platform if the product does not use that platform.

$$V_{ijp} \leq Z_{pi} \qquad \forall p, i, j \qquad (24)$$

Constraint (24) indicates that if there is no component in the platform, it is impossible to select that component for product manufacturing.

$$V_{ijp} \leq Z_{pi} \qquad \forall p, i, j \qquad (25)$$

Eq. (25) signifies the range of binary decision variables.

$$V_{ijp} \leq Z_{pi} \qquad \forall p, i, j \qquad (26)$$

Eq. (26) represents the range of integer decision variables.

5- Operational stages of Research Implementation

This study investigated the Phased array antenna system. Therefore, the components of this product were considered. These components included five main modules extracted during meetings, interviews with industry experts, and reviewing relevant literature, as shown in Table (2).

Table 2- Phased array antenna system components [3]

Row	Abbreviated signs	Main components
1	S	Servo
2	C	Control & Process section (Processor card)
3	T/R	TRM & Phase shifters
4	A	Antenna array
5	P	Power section

Customer needs and their relationship with engineering criteria are listed according to table (3).

Table (3): Customer requirements and related engineering criteria

Customer requirements	Engineering Metrics					
	Milli per second	Number of operations per second	Number in operation	Dots per inch	Mean Time Between Failures(hours)	Unit cost ($)
Rapid scanning of the surrounding environment and detection of targets	X					
The ability to perform several different operations		X				
High resistance to anti-electronic operations and detection			X			
The quality of radar images				X		
Reliability to achieve results					X	
Low cost						X

Table (4) shows the QFD matrix. "X" indicates that the component can influence the EMs [4].

Table (4): QFD matrix

Engineering Metrics	Components				
	Servo	Processor card	TRM & Phase shifters	Antenna array	Power section
Milli per second	X	X	X	X	
Number of operations per second	X	X		X	X
Number in operation	X			X	
Dots per inch	X	X	X	X	
Mean Time Between Failures(hours)	X	X	X	X	X
Unit cost ($)	X	X	X	X	X

The calculation of GVI is shown in table (5).

Table (5): Calculation of GVI

Engineering Metrics	Components				
	Servo	Processor card	TRM & Phase shifters	Antenna array	Power section
Milli per second	1	3	3	9	
Number of operations per second	3	9		3	3
Number in operation	3			6	
Dots per inch	6	3	1	6	
Mean Time Between Failures(hours)	3	1	1	3	1
Unit cost ($)	3	1	1	3	1
GVI	19	20	6	30	5

Table (6) shows the DSM matrix with CI-S and CI-R calculations related to this study.

Table 6- Calculation of design structure matrix (DSM) and determination of CI-R and CI-S

Components receiving specifications	Components supplying specifications					
	Servo	Processor card	TRM & Phase shifters	Antenna array	Power section	**CI-R**
Servo		14	12	7	14	47
Processor card	7		7	7	12	33
TRM & Phase shifters	12	14		7	١٤	47
Antenna array	7	14	7		١٤	٤٢
Power section	7	12	7	7		33
CI-S	33	54	33	28	54	

Rank the components in order from highest to lowest GVI value. These components are more likely to change during the product platform's lifespan due to external stimuli. Table (7) shows the Phased array antenna results.

Table (7): GVI index

Component	GVI
Antenna array	30
Processor card	20
Servo	19
TRM & Phase shifters	6
Power section	5

For each component,as shown in Table (8), add CI-R and CI-S to the GIV to obtain the indices involved in the DFV.

Table (8): DFV index

Component	GVI	CI-R	CI-S
Antenna array	30	47	33
Processor card	20	33	54
Servo	19	47	33
TRM & Phase shifters	6	42	28
Power section	5	33	54

6. Research model solution method

In this research, library studies were first conducted and a mathematical model was developed based on the studies. The multi-objective model was solved and validated using the LP-metric method and GAMS software.

6.1. Model validation using LP-metric method

To determine the validity of the model, Pareto diagrams are used, which is the Pareto diagram of the total cost target and the evaluation score as an example shown in graph (1).

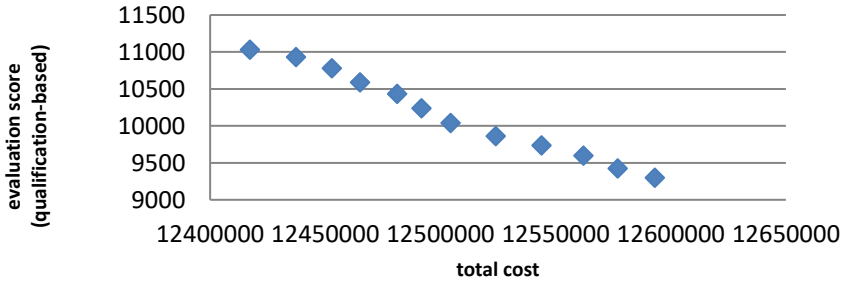


Figure 1- Pareto diagram of total cost objective and evaluation score

6.2. Sensitivity analysis

This section addresses the sensitivity analysis of the model's parameters. Seven parameters (i.e., component purchase cost, discount rate, component transportation cost, production cost, production capacity, product demand rate, and component replacement cost) were analyzed, and their effects on the model's three objectives were investigated. For example, in table (9) and graph (2), the results of the sensitivity analysis of purchase cost are presented.

Table (9): Sensitivity analysis of purchase cost

Purchase cost	Total cost	evaluation score (qualification-based)	replaceability (variety)	The amount of change in cost	The amount of change in evaluation score	The amount of change in replaceability
0%	125	9298	485			
10%	127	9155	501	0.01565	0.01538	0.03299
20%	131	8851	527	0.02487	0.03321	0.0519
30%	135	8394	571	0.0326	0.05163	0.08349
40%	140	7822	635	0.03968	0.06814	0.11208
50%	147	7109	711	0.04678	0.09115	0.11969

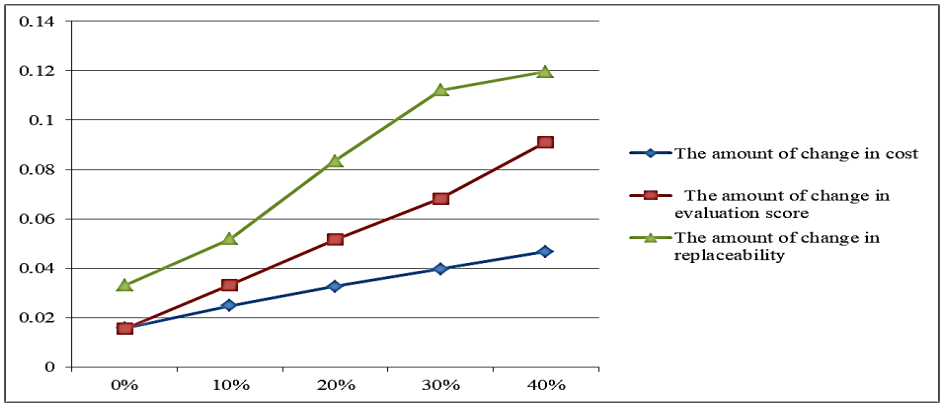


Figure (2): Purchase cost sensitivity analysis chart

Now it is necessary to compare the effectiveness of each parameter of each goal. For example, in Table (10) and Graph (3), the results related to the total cost objective are displayed, and the results for other objectives will be examined further.

Table 10- Comparing the effectiveness of the parameters of the total cost objective

total cost	purchase cost	discount rate	transportation cost	production cost	production capacity	demand rate	replacement cost
10%	0.015654	0.012353	0.01444	0.014346	0.01229	0.009771	0.014135
20%	0.024867	0.02538	0.026841	0.027912	0.024312	0.022935	0.02595
30%	0.032599	0.034674	0.035613	0.041492	0.033161	0.033309	0.035017
40%	0.039675	0.041343	0.048343	0.054001	0.046037	0.042263	0.043203
50%	0.046781	0.050931	0.056659	0.061437	0.056625	0.050344	0.052524

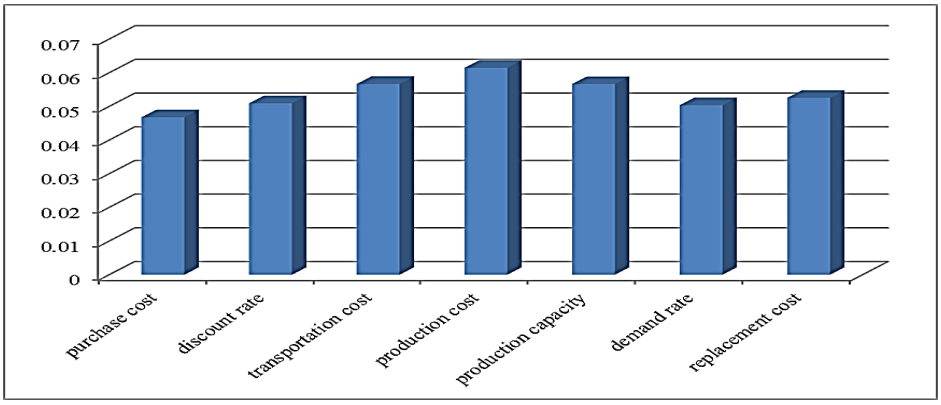


Figure (3): Comparison diagram of the effectiveness of the parameters of the total cost objective

7. Conclusion

In this research, a hybrid model for the architecture of the product platform was presented, taking into account the indicators of cost, supply chain and diversity of the product and in order to improve these indicators. Also, method of the design for variety and two indices of generational variety and coupling index were used to measure a product architecture, and by using the quality improvement function and design structure matrix, the design indicators for variety were identified and ranked and solved model, validation and sensitivity analysis were done and the results and applied analysis were obtained. Regarding the comparison of the goals with each other, the findings show the inverse relationship of the total cost goal with the variety goals and the evaluation score and the direct relationship between the two variety goal and the evaluation score goal. The results of the performed sensitivity analysis indicate the higher effectiveness of the goal of variety compared to other goals of the investigated parameters (part purchase cost, discount amount, transfer cost, product production cost, production capacity, product demand level and the cost of replacing parts). This effectiveness was observed in the seven analyzes performed, and the same repeating pattern was that the goal of variety is more effective than the other two goals. It is worth considering that it can be seen in the increase of transfer cost and production cost and replacment cost that in the very high increase of these parameters, variety is very close to the evaluation score and total cost. Therefore, it can be said that by increasing the amount of parameters, we can see a decrease in the slope of the variability change. The evaluation score (competence) of suppliers and the total cost are also in the next ranks. Also, the maximum reaction of the total cost to the increase of the parameters, whether positive or negative, is at a low level. Regarding the evaluation of the effectiveness of the parameters of the goals, it can be briefly stated that in the comparison of the effectiveness of the parameters of the total cost goal, the production cost has the most effectiveness of the total cost, while in terms of the evaluation score, the replacement cost has the most effect. Regarding variety, the amount of discount plays the biggest role.

8. Reference

[1] Itani, Anas and Ahmad, Rafiq and Al-Hussein, Mohamed. (2019). A Collaborative Scheme for DFX Techniques in Concurrent Engineering Mitigated with Total Design Activity Model, International Conference on Modular and Offsite Construction (MOC) Summit Proceedings, May 2019, Banff, Canada

[2] Sassanelli, C and Pezzotta, G and Pirola, F and Terzi, S and Rossi, M. (2016). Design for Product Service Supportability (DfPSS) approach: a state of the art to foster Product

Service System (PSS) design. In Product-Service Systems across Life Cycle, 2016 . Elsevier.

[3] Soheilifar, Mohammad Reza and Sadeqzadeh, Ramzan Ali (2016). Phased Array Antennas, Tehran, Student Technical Publications, first edition

[4] Martin, M.V. and K.J.M.E.T. Ishii (2000). Design for variety: a methodology for developing product platform architectures , Proceedings of DETC2000ASME Design Engineering Technical Conferences September 10 - 13, 2000, Baltimore, MD