

انتخاب طرح مفهومی اثربخش براساس الزامات کارکردی و غیرکارکردی در مرحله طراحی مفهومی برای یک زیردریایی کلاس H

مهدی کرباسیان*

دانشیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، دانشکده مهندسی صنایع، شاهین شهر

ام البنین یوسفی

استادیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، دانشکده مهندسی صنایع، شاهین شهر، yousefi_1302@yahoo.com

ندا حاج حیدری

کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، دانشکده مهندسی صنایع، edahajheidari@gmail.com

چکیده در دنیای رقابتی امروز توجه به نیازهای مشتریان و درک درست از آن‌ها به‌عنوان اولین فاز از توسعه و طراحی مفهومی در چرخه عمر سیستم، موفقیت نهادهای اقتصادی را تضمین کرده و هدف سیستم مورد نظر را مشخص می‌نماید. در این زمینه می‌بایست تمامی نیازها در نظر گرفته شده و به‌صورت صحیح و در تعامل دایمی با مشتری تفسیر شود. تفسیر صحیح مجموعه این نیازها منجر به ایجاد دو دسته از الزامات با نام‌های الزامات کارکردی و الزامات غیرکارکردی خواهد شد. توجه به هر دوی این الزامات و مقادیر آن‌ها و در نهایت ارزیابی طرح‌های در دست احداث بر اساس این مقادیر در مراحل اولیه چرخه عمر منجر به کاهش هزینه‌ها و مشتری‌مداری سیستم خواهد شد. هدف تحقیق حاضر که بر روی یک زیردریایی کلاس H صورت گرفته است، انتخاب طرح مفهومی بهینه به منظور طراحی و ساخت محصول، با استفاده از محاسبه شاخص اثربخشی و بر اساس الزامات تعیین شده در مرحله طراحی مفهومی است. در طی انجام این پژوهش، ابتدا تمامی نیازهای مشتریان و سایر ذینفعان شناسایی و پس از تفسیر در دو دسته الزامات کارکردی و غیرکارکردی قرار گرفته است. سپس مقادیر کمی الزامات کارکردی با استفاده از نظر کارشناسان و مقادیر کمی الزامات غیرکارکردی با استفاده از روش‌های گوناگون و بر اساس فرایندها محاسبه شده است. همچنین از ماتریس مقایسه زوجی به منظور تعیین اوزان هر یک از الزامات استفاده شده و میزان شاخص اثربخشی طرح‌های مورد نظر بر اساس مقادیر وزنی و مقادیر کمی هر دسته از الزامات برای هر یک از طرح‌های مفهومی تعیین گردیده است. در نهایت از میان دو طرح مفهومی مورد نظر، طرح مفهومی بهینه و اثربخش انتخاب و به صنعت معرفی شده است.

کلمات کلیدی چرخه عمر، الزامات کارکردی، الزامات غیرکارکردی، اثربخشی، زیر دریایی کلاس H

۱- مقدمه

تضمین می‌کند طرح مفهومی انتخاب شده برای رفع نیاز مشتری کاملاً اثربخش است یا خیر؟ منظور از طرح مفهومی راه‌حلی است که برای رفع نیاز مشتریان ارایه می‌گردد. تعیین تطابق مشخصات و الزامات موجود در طرح مفهومی ارایه شده، با نیاز مشتریان به سادگی امکان‌پذیر نمی‌باشد. مطابق با خواسته‌ها و نیازهای مشتریان دو دسته الزام ایجاد می‌گردد. این الزامات عبارت‌اند از: الزامات کارکردی^۲ و الزامات غیرکارکردی^۳. الزامات کارکردی در حقیقت منجر به ایجاد پارامترهای فنی در یک

فرایندهای توسعه محصول نوآورانه نیاز شرکت‌های زیادی است. عدم اطمینان و خطرهای زیاد در این فرایند شرکت‌ها را ملزم به استفاده از روش‌های مناسب به منظور دستیابی به موفقیت نموده است. در این زمینه باید اطمینان حاصل شود که هیچ یک از نیازهای^۱ مشتریان جا نماند یا فراموش نشده است. بنا بر این تحلیل درست و کامل این نیازها و تبدیل آن‌ها به الزامات در طول فرایند توسعه مفهومی مسئله مهمی است که در نهایت

* (Corresponding author) mkarbasi@mut-es.ac.ir

² Functional Requirements

³ Non-Functional Requirements

¹ Needs

ناسا^۵ الزامات را تعاریف نیازهای مشتریان دانسته که به شکل یک مسئله درمی‌آید. الزامات معمولاً به صورت اظهارات اجباری بیان شده و مجموع آن‌ها به‌عنوان یک راه‌حل در طراحی محصول در نظر گرفته می‌شود. فرایند تعیین الزامات یک فرایند بازگشتی و تکراری است که الزامات ذینفعان، الزامات محصول و الزامات سطح پایین (به‌عنوان مثال زیر سیستم‌ها) را توسعه می‌دهد. اسناد مربوط به تعیین الزامات نمایانگر ارتباط با مشتریان و سایر ذینفعان است [۲].

مطابق یک تعریف دیگر، الزام بیانگر قابلیت یا کارکردی است که برای تحقق نیاز مشتری یا حل مشکل او مورد نیاز است. مدیریت الزامات (به‌عنوان یکی از حوزه‌های مهم در مهندسی سیستم‌ها) دارای نقش به‌سزایی در شناسایی دقیق نیازها و بیان آن‌ها در قالب الزامات شفاف و در نهایت تلاش در جهت تحقق آن‌ها در یک بازه زمانی مشخص است. مطابق تحقیقاتی که بر روی پروژه‌های نیروی هوایی ایالت متحده انجام شده است، مشخص گردیده که بیش از ۴۰٪ خطاهای رخ داده در پروژه‌ها ناشی از خطا در الزامات بوده است [۱].

تمام اقداماتی که به منظور طراحی یک سیستم انجام می‌شود با ارایه مفاهیم آغاز می‌گردد. مفاهیم به‌عنوان ایده‌های اصلی در نظر گرفته شده و مجموعه‌ای از اقدامات، به منظور پیشروی این ایده‌ها (در مرحله طراحی مفهومی از چرخه عمر سیستم) انجام می‌گیرد. با پیشرفت چرخه عمر سیستم ایده‌ها به الزامات رسمی‌تر ارتقا می‌یابند. به عبارت دیگر نیازها به الزامات گسسته تبدیل خواهند شد. مطابق استاندارد ISO/IEC ۲۰۰۸ تعیین الزامات، خدمات مورد نیاز را برای کاربران و سایر ذینفعان فراهم می‌کند. تحلیل این الزامات منجر به ایجاد یک دیدگاه کلی شده که در نهایت تولید محصول یا ارایه خدمات مورد نیاز را فراهم می‌نماید. الزامات غیرکارکردی دارای سه ویژگی اساسی هستند این ویژگی‌ها عبارت‌اند از: ۱) ذهنی بودن^۶: علت این امر تفسیر متفاوت این الزامات توسط افراد مختلف است. ۲) نسبی بودن^۷: این ویژگی به علت متفاوت بودن اهمیت این الزامات در سیستم‌های گوناگون به آن‌ها تعلق می‌گیرد. علاوه بر این راه‌های دستیابی به این گونه الزامات نسبی است و یک راه‌حل واحد برای دستیابی به هر یک از آن‌ها در همه سیستم‌ها وجود ندارد. ۳) تعامل^۸: این ویژگی نشان می‌دهد، که الزامات غیرکارکردی بر یکدیگر اثرهای متقابل می‌گذارند و ممکن دستیابی به یک

محصول می‌شوند، که ارزیابی سیستم بر اساس آن‌ها و مطابقتشان با نیازهای مشتری در مرحله طراحی مفهومی، اطمینان مورد نظر را حاصل می‌نماید که کارکرد سیستم مطابق با خواست و نیاز مشتری است. در کنار این الزامات، عوامل دیگری که از آن‌ها تحت عنوان الزامات غیرکارکردی یاد می‌شود نیز باید در نظر گرفته شوند. الزامات غیرکارکردی در واقع محدودیت‌ها و شرایطی است که سیستم تحت آن‌ها کار کرده و اهداف و انتظارات ذینفعان را برآورده می‌سازد. این الزامات که اغلب به صورت ذهنی ایجاد می‌شوند و ممکن است در شرایط مختلف دارای معانی متفاوتی باشند، ساختن یک راه‌حل برای یک نیاز را با محدودیت‌هایی روبرو می‌سازند و اغلب پارامترهای کیفیتی یک محصول را در بر گرفته و مبتنی بر کیفیت می‌باشند. تحقیق حاضر تلاشی در جهت بهبود کیفیت زیردریایی کلاس H و رضایت‌مندی مشتریان از محصول نهایی ارایه شده، بر اساس این دو دسته از الزامات و تولید محصولی با بیش‌ترین میزان اثربخشی (از نظر سطح کیفیت و رضایت‌مندی مشتریان) است. در ادامه این پژوهش، ابتدا مروری بر پیشینه تحقیق انجام خواهد شد، سپس به بیان مسئله پرداخته و روند انجام کار مشخص می‌شود. در نهایت از میان دو طرح مفهومی ارایه شده، طرح مفهومی اثربخش و بهینه معرفی خواهد شد.

۲- پیشینه پژوهش

تمام مخلوقات و سیستم‌های موجود در طبیعت، در فرایند شکل‌گیری و تکامل خود دارای چرخه عمر^۴ هستند. منظور از چرخه عمر مجموعه‌ای از مراحل است که تا شکل‌گیری کامل محصول به صورت مداوم تکرار می‌شود. اولین مرحله، مرحله توسعه مفهومی است. این مرحله دربرگیرنده، انجام تحلیل و طرح‌ریزی یک سیستم جدید، بررسی امکان‌پذیری تحقق آن و معماری سیستمی است که به بهترین وجه ممکن نیاز بهره‌بردار را برآورده می‌نماید. فرایند تعریف و تحلیل نیازهای ذینفعان اولین فاز از مرحله توسعه مفهومی است. در این مرحله پایه‌ای ایجاد می‌گردد که سیستم طراحی شده و محصول مورد نظر تحقق می‌یابد. هدف اصلی تحلیل نیازها، شناسایی افراد ذینفع و انتظارات آنان است. منظور از انتظارات نیازها، خواسته‌ها، قابلیت‌ها، قیود و محدودیت‌هایی است که ذینفعان تعیین می‌کنند. این موارد توسط یک فرد یا گروه خاص تعیین شده و در نهایت مجموعه‌ای از الزامات را ایجاد می‌نماید [۱].

^۵ National Aeronautics and Space Administration (NASA)

^۶ Subjective

^۷ Relative

^۸ Interacting

^۴ Life Cycle

استفاده از نمودارهای مدیریتی و فنی، پیچیدگی نسبی فرایندهای طراحی را مورد بررسی قرار می‌دهد. این نمودارها بر اساس نظر متخصصان طراحی شده‌اند. در نهایت با استفاده از این نمودارها و ساعات کاری متخصصان مختلف در اجرای یک طرح، مقدار کمی این الزام غیرکارکردی محاسبه شده است [۶].

هولتا- اوتا و ویک^{۱۶} به الزام غیرکارکردی ماژولاریتی پرداخته‌اند. آنان ضمن معرفی ماژولاریتی به‌عنوان شاخصی که باعث صرفه‌جویی در هزینه‌های تولید می‌شود از ماتریس ساختار طراحی (DSM)^{۱۷} بر مبنای اجزای بین محصولات و رابطه بین آن‌ها استفاده نموده و آن را اندازه‌گیری کرده‌اند [۷].

کریس سولوریس^{۱۸} الزام غیرکارکردی انعطاف‌پذیری^{۱۹} را به‌عنوان یکی از فاکتورهای مهم در افزایش مزیت رقابتی سیستم‌های تولیدی در نظر می‌گیرد. وی انعطاف‌پذیری را به‌عنوان فاکتوری معرفی می‌کند که در کنار هزینه، زمان و کیفیت دارای اهمیت زیادی است. سپس با تاکید بر این نکته که بهینه‌سازی این چهار عامل در کنار یکدیگر امکان‌پذیر نیست و هر یک از این الزامات باید به‌صورت کمی اندازه‌گیری شوند، بیان می‌کند که تحقیقات زیادی برای اندازه‌گیری مقادیر کمی هزینه و زمان وجود دارد. این در حالی است که انعطاف‌پذیری یک عامل رقابتی عمده در صنعت به شمار می‌رود. در این مقاله یک روش به منظور تعیین مقدار کمی انعطاف‌پذیری ارائه شده است. این مقدار کمی به کمک تعیین میزان پتانسیل‌های تغییرات در یک سیستم محاسبه می‌شود [۸]. مطابق با استاندارد ۲۴۷۶۵ ISO/IEC ۲۰۱۰ الزام غیرکارکردی انعطاف‌پذیری نشان دهنده قابلیت است که به واسطه آن می‌توان تغییراتی در یک سیستم یا اجزای آن ایجاد نمود. این تغییرات به منظور استفاده از سیستم‌ها در شرایط غیر از شرایط طراحی در نظر گرفته می‌شوند [۳].

قاسمی و همکاران^{۲۰} با توجه و تاکید بر الزامات غیرکارکردی در طراحی مفهومی، ماژولاریتی را به‌عنوان یکی از این الزامات در طراحی نرم‌افزارها مورد توجه قرار داده‌اند. این الزام به بهبود ویژگی‌هایی مانند تعمیرپذیری^{۲۱}، قابلیت حمل^{۲۲}، انعطاف‌پذیری و سازگاری کمک می‌کند. آنان اذعان داشتند که، اندازه‌گیری

الزام منجر به تقویت یا ضعف دستبایی به یک الزام دیگر شود. در میان این سه ویژگی، ویژگی سوم از اهمیت بیش‌تری برخوردار است. لازم به ذکر است که استاندارد ۲۴۷۶۵ ۲۰۱۰ IEEE & ISO/IEC برای ۲۷ الزام غیرکارکردی تعاریف نسبتاً ثابتی ارائه کرده است، این درحالی است که همواره باید به ویژگی ذهنی و نسبی آن‌ها توجه شود [۳].

مودراک و سولتیسوا^۹ ماژولاریتی^{۱۰} فرایند را به‌عنوان یک الزام غیرکارکردی مهم در فرایند طراحی مفهومی در نظر می‌گیرند. آن‌ها تاثیر ماژولاریتی فرایند بر اثربخشی^{۱۱} سیستم‌های بزرگ را مورد بررسی قرار می‌دهند و ضمن ارائه یک روش ریاضی برای اندازه‌گیری ماژولاریتی اصولی را ارائه می‌دهند که در طراحی و ارزیابی ساختار فرایندهای تولید مورد استفاده قرار می‌گیرد [۴]. مطابق با استاندارد ۲۴۷۶۵ ۲۰۱۰ IEEE & ISO/IEC ماژولاریتی نشان دهنده قابلیت مجزا و گسسته بودن یک سیستم است. مطابق این الزام تغییر در یک جز، مولفه یا فرایند از سیستم تاثیر کمی بر روی سایر اجزاء، مولفه‌ها یا فرایندها دارد [۳].

بشیر و تامسون^{۱۲} بر این نکته تاکید دارند که اندازه‌گیری کلیدی برای کنترل هر فرایند است. آن‌ها همچنین بیان می‌کنند که فرایندهای مهندسی طراحی، به دلیل کمبود نتایج کمی در ارائه بازخورد و عملکرد با مشکلات زیادی روبرو شده و این امر موجب هزینه‌های اضافی و برنامه‌ریزی‌های اشتباه و سخت خواهد شد. از این رو آن‌ها با ارائه یک راه‌حل برای تخمین الزام غیرکارکردی پیچیدگی^{۱۳} محصول در مرحله طراحی، مقدار دقیق این معیار را به‌صورت کمی به دست آورده‌اند [۵]. مطابق با استاندارد ۲۴۷۶۵ ۲۰۱۰ IEEE & ISO/IEC از الزام غیرکارکردی پیچیدگی به منظور شناسایی یک الزام غیرکارکردی دیگر به نام سادگی^{۱۴} استفاده می‌شود. سادگی نشان دهنده درجه‌ای است که یک سیستم یا اجزای آن دارای طراحی و اجرای سر راست و قابل فهم باشند و به عبارت دیگر ویژگی است که سیستم را قابل درک می‌کند [۳].

شفیعی منفرد و جناب^{۱۵} یک رویکرد جدید برای تجزیه و تحلیل الزام غیرکارکردی پیچیدگی ارائه نموده‌اند. این رویکرد با

^{۱۶} Holta -Otto and Weck

^{۱۷} Design Structure Matrix

^{۱۸} Chryssolouris

^{۱۹} Flexibility

^{۲۰} Modrak et, al

^{۲۱} Maintainability

^{۲۲} Portability

^۹ Modrak and Soltysova

^{۱۰} Modularity

^{۱۱} Effectiveness

^{۱۲} Bashir and Thomson

^{۱۳} Complexity

^{۱۴} Simplicity

^{۱۵} Shafei-monfared and Jenab

اوهیوشی^{۳۲} به بررسی ماژولاریتی به‌عنوان یکی از الزامات غیرکارکردی پرداخته است. وی ضمن تاکید بر اهمیت ارزیابی کمی ترکیب اجزا در زمان طراحی محصول جدید، از ماتریس ساختار طراحی (DSM) به منظور سنجش ماژولاریتی استفاده نموده است [۱۲].

اثربخشی عبارت است از درجه و میزان نیل به اهداف تعیین شده. به بیان دیگر اثربخشی نشان می‌دهد که تلاش‌های انجام شده تا چه میزان به موفقیت منجر می‌شود. به‌طور کلی اثربخشی یعنی انجام کارهای درست و اثربخشی سازمان نشان دهنده میزان درجه‌ای است که یک سازمان به هدف‌های مورد نظر خود نایل آمده است. اولین قدم برای تعیین مقدار اثربخشی تعیین معیارهای اثربخشی است. به این معنا که با چه پیمانیهایی می‌خواهیم اثربخشی را اندازه‌گیری کنیم [۱۳]. با توجه به این که تامین نیازها مطابق خواست مشتری یکی از راه‌های افزایش اثربخشی است، می‌توان معیارهای مورد نیاز برای سنجش اثربخشی را میزان برآورده شدن هر یک از نیازها و به دنبال آن الزامات در نظر گرفت. در این زمینه باید مقدار کمی هر یک از این الزامات را اندازه‌گیری کرد و سپس از آن‌ها به‌عنوان معیارهای برای تعیین اثربخشی استفاده نمود. صاحب نظران معتقدند که یکی از راه‌های افزایش اثربخشی سازمان تامین نیازها و انتظارات مشتریان است. دمینگ یکی از پیشگامان مدیریت کیفیت جامع^{۳۳}، کیفیت را با رضایت مشتری یکی می‌داند. با افزایش کیفیت، رضایت مشتریان بالا رفته و اثربخشی سیستم ارتقا می‌یابد [۱۴].

اسمیت و همکاران^{۳۴} ضمن تاکید بر این موضوع که ایجاد ایده‌ها و طرح‌های مفهومی از روش‌های اصولی میسر است، اثربخشی را به‌عنوان یک عامل کلیدی در بررسی و تجزیه و تحلیل طرح‌های مفهومی ایجاد شده در نظر می‌گیرند. آن‌ها در این مقاله چهار روش متفاوت برای اندازه‌گیری اثربخشی طرح‌های مفهومی ارائه می‌دهند. این روش‌ها مبتنی بر نوآوری، تنوع، کمیت و کیفیت ایده‌ها هستند [۱۵].

۳- بیان مسئله

در مرحله طراحی مفهومی پس از تحلیل نیاز مشتریان، راه‌حل‌ها یا مفهوم‌هایی که مشخصات طراحی را برآورده می‌کنند به شکل

ماژولاریتی در مرحله طراحی یک مسئله حیاتی است و منجر به ایجاد یک طراحی استاندارد خواهد شد [۹].

آکن و همکاران^{۳۵} الزام غیرکارکردی سازگاری^{۳۶} را به‌عنوان قابلیت معرفی می‌کنند که دارای تعاریف متعددی است. آن‌ها با تاکید بر مفهوم تغییرپذیری^{۳۷} دو روش جایگزین برای اندازه‌گیری سازگاری معرفی می‌کنند. روش اول بر مبنای روش‌های تصمیم‌گیری است و سازگاری را پاسخی به اصلاح نیازها در نظر می‌گیرد. روش دوم ضمن معرفی ویژگی‌های طراحی تاثیرگذار بر سازگاری اعم از ماژولاریتی، اینترفیس^{۳۸}، حساسیت عملکرد و غیره با استفاده از یک ابزار نرم‌افزاری به بررسی پیکره‌بندی^{۳۹} سیستم می‌پردازد. این رویکرد دارای ماهیت اکتشافی است [۱۰]. مطابق با استاندارد ۲۰۱۰ ۲۴۷۶۵ IEEE & ISO/IEC سازگاری نشان دهنده درجه‌ای است که یک سیستم یا اجزای آن به‌طور مؤثر با شرایط عملیاتی وفق داده شوند. در برخی از موارد این الزام مشابه با الزام انعطاف‌پذیری در نظر گرفته می‌شود [۳].

کاستینو و همکاران^{۴۰} یک روش کمی برای ارزیابی گسترش‌پذیری^{۴۱} و ماژولاریتی سیستم‌های چندعامله هولونیک ارائه کرده‌اند. در این گونه سیستم‌ها مجموعه‌ای متشکل از چندین عامل سیستم را به وجود می‌آورند و دستیابی و نیل به اهدافی امکان‌پذیر می‌گردد که به وسیله سیستم‌های تک عاملی میسر نیست. مطابق تحقیقات صورت گرفته در این مقاله، الزام غیرکارکردی ماژولاریتی و گسترش‌پذیری به دو الزام غیرکارکردی دیگر تحت عنوان‌های اتصالات کارکردی^{۴۲} و همبستگی‌های کارکردی^{۴۳} وابسته می‌باشند. اتصالات کارکردی نشان دهنده ارتباطات خارجی بین عوامل یک سیستم و همبستگی‌های کارکردی نشان دهنده ارتباطات داخلی بین عوامل است [۱۱]. لازم به ذکر است که مطابق با استاندارد ۲۰۱۰ ۲۴۷۶۵ IEEE & ISO/IEC گسترش‌پذیری نشان دهنده قابلیت است که به واسطه آن می‌توان ظرفیت کارکردی یک سیستم یا اجزای آن را افزایش داد [۳].

^{۳۲} Ohyoshi

^{۳۳} Total Quality Management

^{۳۴} Smith et,al

^{۳۵} Uckun et, al

^{۳۶} Adaptability

^{۳۷} Changeability

^{۳۸} Interface

^{۳۹} Configuration

^{۴۰} Cossentino et, al

^{۴۱} Extensibility

^{۴۲} Functional Coupling

^{۴۳} Functional Cohesion

اولیه طراحی مشخص نموده، راه را روشن می‌سازد و از ایجاد هزینه‌های اضافی جلوگیری می‌نماید.

۱-۳- شناسایی الزامات

محصول مورد نظر، یک سامانه رهایی بخش دریایی است که به منظور افزایش ایمنی و نجات جان افراد طراحی و ساخته می‌شود. برای این سامانه تعدادی نیاز از طرف مشتریان و سایر ذینفعان اعلام شده است. مطابق با فاز اول از چرخه عمر و همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، تمامی الزامات نشأت گرفته از نیازهای مشتریان هستند. به منظور تفسیر الزامات از بطن نیازها از فرم‌هایی مطابق با شکل ۱ استفاده شده است. با استفاده از این فرم‌ها نیازهای فنی مشتریان و سایر ذینفعان به الزامات کارکردی تبدیل شده است. به منظور تفسیر الزامات کارکردی و با توجه به ماهیت فنی آن‌ها از نظر خبرگان و کارشناسان استفاده گردیده است. شناسایی الزامات غیرکارکردی معمولاً سخت‌تر از الزامات کارکردی است. این الزامات مشخص نمی‌کنند که سیستم چه کاری باید انجام دهد، بلکه تعیین می‌کنند که سیستم چگونه می‌تواند کار مورد نظر را انجام دهد و در نهایت محصولی تولید نماید که مورد رضایت مشتری باشد. با توجه به ماهیت ذهنی آن‌ها تفسیر این گونه از الزامات در تعامل با مشتری و زیر نظر استادان و خبرگان صورت گرفته و در نهایت با تعاریفی از استاندارد ۲۰۱۰ IEEE & ISO/IEC مطابقت داده شده است. لازم به ذکر است که خبرگان متشکل از ۷ نفر از اعضای پروژه بوده و عبارت‌اند از مدیر پروژه، اوماسیون (۲ نفر) و کارشناسان و متخصصان فنی (۴ نفر).

نام مشتری:	نام مصاحبه کننده:
آدرس مشتری:	تاریخ مصاحبه:
تلفن و پست الکترونیک:	مدل فعلی محصول مورد استفاده:
تمایل به دریافت بازخورد:	نوع استفاده:
اظهارات مشتری (گزاره‌های کلامی)	الزام تفسیر شده:
نتیجه:	

شکل ۱- فرم تفسیر الزامات

ایده‌ها یا جایگزین‌هایی ایجاد می‌گردند. انتخاب راه‌حل‌ها و طرح‌های مفهومی مناسب از میان این طرح‌ها، موفقیت یا عدم موفقیت یک سازمان در فرایند توسعه و طراحی محصول جدید را تضمین می‌کند. نکته مهم در این مسئله چگونگی تعیین میزان موفقیت یا عدم موفقیت یک طرح است. این موضوع با تعیین مقادیر دقیق و کمی الزامات تعیین شده توسط مشتریان در هر طرح، ارتباط مستقیم دارد. بنا بر این موضوع مهمی که در شناسایی الزامات مورد توجه قرار می‌گیرد، کمیت بخشی به این الزامات است. به منظور تعیین اثربخشی، هر یک از الزامات باید صحت‌گذاری شوند و الزامی قابل صحت‌گذاری است که قابل اندازه‌گیری باشد. از این رو، چنانچه یک الزام قابل اندازه‌گیری نباشد، باید آن را کمیت پذیر کرد. دستیابی به مقادیر کمی الزامات کارکردی که نمایانگر مشخصات فنی محصولات هستند، کار ساده‌ای نیست. علت این امر نبود یک چارچوب مشخص برای این‌گونه از الزامات است. این مقادیر بر اساس علوم کارشناسان، تجارب مشابه یا سعی و خطا توسط طراحان مشخص می‌شود. نکته حایز اهمیت این است که برخی از این الزامات توسط افراد ناآشنا با فرایند شناسایی نیازهای عملیاتی سیستم و تعریف الزامات تهیه می‌شود. بنا بر این در فرایند تحلیل الزامات، تعامل مستمر با ذینفعان یا کاربران نهایی سیستم امری ضروری است که به شناخت بهتر نیازها و تعیین مقادیر کمی الزامات کمک می‌کند.

بر خلاف الزامات کارکردی، الزامات غیرکارکردی عموماً کمیت‌پذیر نمی‌باشند. به‌عنوان مثال "انعطاف‌پذیری" یکی از آن‌ها است که در بیش‌تر سیستم‌ها مد نظر قرار می‌گیرد. برای تعیین اثربخشی سیستم‌ها، دستیابی به مقادیر کمی این الزامات ولو در سطح محدود امری ضروری است. به منظور کمیت بخشی به این الزامات و با توجه به ویژگی‌های آن‌ها، باید شناخت کاملی از نیازها و همچنین تفاوت‌هایی که میان کاربران مختلف وجود دارد، ایجاد گردد. همانند الزامات کارکردی این الزامات نیز دارای یک چارچوب مشخص نمی‌باشند.

شناسایی الزامات کارکردی و غیرکارکردی تاثیرگذار بر روی فرایند طراحی و توسعه محصول جدید مطابق نیاز مشتریان، آشنایی با روش‌های تعیین مقادیر آن‌ها به‌صورت کاملاً کمی، تعیین درجه اهمیت آن‌ها و سپس محاسبه شاخص اثربخشی طرح‌های مفهومی بر اساس این الزامات در مرحله طراحی مفهومی، مراحل است که در این پژوهش طی می‌گردد. دستیابی به مقادیر دقیق اثربخشی یک طرح مفهومی بر اساس نیازهای مشتریان، موفقیت یا عدم موفقیت طرح مورد نظر را در مراحل

۳-۲-۳- تعیین مقادیر کمی الزامات طرح‌های مفهومی

تعیین مقادیر کیفی الزامات در مرحله طراحی مفهومی کمک شایانی به تعیین موفقیت یا عدم موفقیت یک سیستم نمی‌کند. بنا بر این باید مقادیر دقیق این الزامات اعم از الزامات کارکردی و غیرکارکردی تعیین شود.

۳-۲-۱- مقادیر کمی الزامات کارکردی

مقادیر کمی الزامات کارکردی مطابق با نظر طراحان برای هر دو طرح مفهومی مشخص گردیده است. این الزامات در نهایت در طراحی فنی محصول لحاظ می‌شوند و بدیهی است که برای هر چهار عملیاتی دارای مقادیر یکسان‌اند. جدول ۱ این مقادیر را برای طرح‌های مفهومی ۱ و ۲ نشان می‌دهد.

جدول ۱ مقادیر کمی الزامات کارکردی طرح‌های مفهومی

شماره طرح مفهومی	الزامات کارکردی			
	حد اکثر عمق (متر)	سرعت حد اکثر (گره)	حد اکثر فشار (bar)	حد اکثر زمان (ساعت)
۱	۴۸۰	۳	۵	۷۲
۲	۶۰۰	۴	۵	۳۰

۳-۲-۲- مقادیر کمی الزامات غیرکارکردی

فرایندهای مورد نیاز برای پیاده‌سازی طرح‌های مفهومی پیش از تعیین اجزای آن مشخص می‌شوند. روند اجرای فرایندهای ارایه شده، زمان اجرای آن‌ها و احتمالی یا قطعی بودن اجرای آن‌ها از جمله مواردی است که در کیفیت اجرای عملیات تاثیر می‌گذارد. هر دو طرح مفهومی شامل چهار مرحله عملیاتی هستند. روند انجام فرایندها نیز در هر یک از مراحل متفاوت است. از این رو مقادیر الزامات غیرکارکردی در هر یک از مراحل متفاوت از یکدیگر می‌باشد. به منظور محاسبه الزامات غیرکارکردی از روش‌های بررسی شده مناسب در پیشینه پژوهش استفاده شده است. در زیر هر یک از آن‌ها به تفصیل شرح داده شده‌اند.

• ماژولاریتی

ماژولاریتی به‌عنوان یک معیار کلیدی در طراحی مفهومی در نظر گرفته می‌شود. این الزام دارای مزایای زیادی بوده و موجب کاهش هزینه‌ها می‌گردد. همواره رسیدن به ماژولاریتی کامل قابل دستیابی نیست و محصولات طراحی شده به شدت تحت تاثیر محدودیت‌های فنی قرار می‌گیرند به منظور محاسبه

ماژولاریتی از نمودار بلوک دیاگرام فیزیکی (FBD)^{۳۵} استفاده شده است. به کمک این نمودار روابط بین فرایندها تعیین می‌گردد. هر بلوک این دیاگرام نشان دهنده یک فرایند است. در برخی از مواقع ممکن است یک فرایند پیش‌نیاز فرایند(های) دیگر باشد. در این صورت بلوک‌های مربوط به این فرایندها به صورت سری قرار می‌گیرند. اما گاهی اوقات لازم است که دو یا چند فرایند بدون هیچ گونه تقدم یا تاخیر انجام گیرند. در این‌گونه مواقع بلوک‌های مربوط به صورت موازی ترسیم گردیده و از نماد AND استفاده می‌شود. در نمودارهای FBD از نماد OR نیز به منظور نشان دادن وقوع یکی از دو فرایند استفاده می‌گردد. پس از ترسیم نمودار FBD، ماتریس DSM تعریف شده است. به کمک این ماتریس روابط بین فرایندها مشخص می‌شود. مطابق این ماتریس در صورتی که بین دو فرایند ارتباط مستقیم وجود داشته باشد عدد ۱ و در غیر این صورت عدد ۰ لحاظ می‌گردد. سپس مقادیر ماژولاریتی با استفاده از یک شاخص به نام SMI^{۳۶} و از رابطه ۱ تعیین گردیده است. این مقادیر عددی بین ۰ تا ۱ می‌باشند [۴].

^{۳۵} Functional Block Diagram (FBD)

^{۳۶} Singular Modularity Index (SMI)

چهار مرحله عملیاتی ماموریت مورد نظر را انجام می‌دهند. در هر مرحله تعدادی فرایند توسط اپراتورها و به منظور تکمیل عملیات انجام می‌شود. اساس تغییر درخت در هر مرحله نیز متفاوت بودن فرایندها در هر مرحله است. به‌عنوان مثال طرح مفهومی شماره ۱ (مطابق جدول ۲) این مرحله عملیاتی را با انجام ۷ فرایند به پایان می‌رساند. به دلیل محرمانه بودن ماموریت نام فرایندها ذکر نشده است. کلیه این اطلاعات توسط خبرگان ارایه و سپس با استفاده از رابطه ۱ ماژولاریتی برای هر مرحله محاسبه شده است.

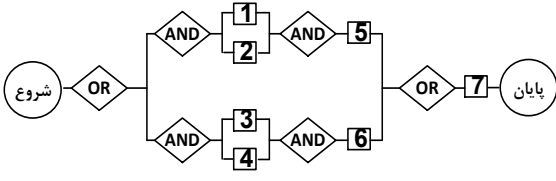
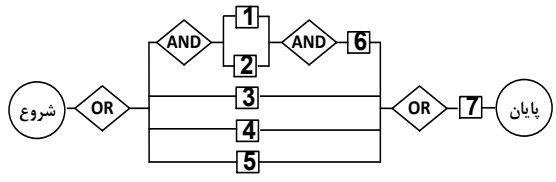
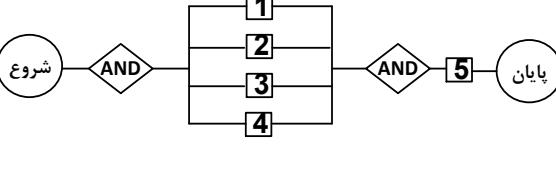
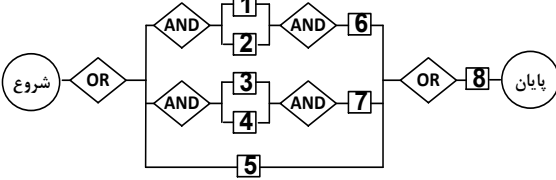
$$SMI = 1 - \frac{1}{N \times \delta_i} \sum_{i=1}^{N-1} \delta_i (\delta_i - \delta_{i+1}) \quad (1)$$

در رابطه ۱، SMI نشان دهنده ماژولاریتی، N نمایانگر تعداد فرایندها در هر مرحله δ_i نشان دهنده مقادیر ویژه ماتریس DSM برای هر یک از فرایندها است. به منظور محاسبه مقادیر ویژه ماتریس DSM از نرم‌افزار متلب استفاده شده است. اطلاعات مربوط به محاسبه این شاخص برای هر دو طرح مفهومی به ترتیب در جداول ۲ و ۳ ارایه گردیده است. همان‌گونه که پیش‌تر نیز ذکر شد، هر دو طرح مذکور در طی

جدول ۲ محاسبه الزام غیرکارکردی ماژولاریتی طرح مفهومی ۱

شماره مرحله	نمودار ساختار فرایندها (FBD)	ماتریس DSM	ماژولاریتی (SMI)																																																																
۱		<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>6</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>7</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>		1	2	3	4	5	6	7	1	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	0	0	1	0	4	0	0	0	0	0	1	0	5	0	0	0	0	0	0	1	6	1	1	1	1	0	0	1	7	0	0	0	0	1	1	0	۰/۷۵
	1	2	3	4	5	6	7																																																												
1	0	0	0	0	0	1	0																																																												
2	0	0	0	0	0	1	0																																																												
3	0	0	0	0	0	1	0																																																												
4	0	0	0	0	0	1	0																																																												
5	0	0	0	0	0	0	1																																																												
6	1	1	1	1	0	0	1																																																												
7	0	0	0	0	1	1	0																																																												
۲		<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>6</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>7</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>		1	2	3	4	5	6	7	1	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	0	0	1	0	4	0	0	0	0	0	0	1	5	0	0	0	0	0	0	1	6	1	1	1	0	0	0	1	7	0	0	0	1	1	1	0	۰/۷۷
	1	2	3	4	5	6	7																																																												
1	0	0	0	0	0	1	0																																																												
2	0	0	0	0	0	1	0																																																												
3	0	0	0	0	0	1	0																																																												
4	0	0	0	0	0	0	1																																																												
5	0	0	0	0	0	0	1																																																												
6	1	1	1	0	0	0	1																																																												
7	0	0	0	1	1	1	0																																																												
۳		<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>6</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>		1	2	3	4	5	6	1	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	1	5	0	0	0	0	0	1	6	1	1	1	1	1	0	۰/۶۳															
	1	2	3	4	5	6																																																													
1	0	0	0	0	0	1																																																													
2	0	0	0	0	0	1																																																													
3	0	0	0	0	0	1																																																													
4	0	0	0	0	0	1																																																													
5	0	0	0	0	0	1																																																													
6	1	1	1	1	1	0																																																													
۴		<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>5</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>		1	2	3	4	5	1	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	1	5	1	1	1	1	0	۰/۶۰																												
	1	2	3	4	5																																																														
1	0	0	0	0	1																																																														
2	0	0	0	0	1																																																														
3	0	0	0	0	1																																																														
4	0	0	0	0	1																																																														
5	1	1	1	1	0																																																														

جدول ۳ محاسبه الزام غیرکارکردی مازولاریتی طرح مفهومی ۲

شماره مرحله	نمودار ساختار فرایندها (FBD)	ماتریس DSM	ماژولاریتی (SMI)																																																																																	
۱		<table border="1" data-bbox="359 430 630 676"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>6</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>7</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>		1	2	3	4	5	6	7	1	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	4	0	0	0	0	0	1	0	5	1	1	0	0	0	0	1	6	0	0	1	1	0	0	1	7	0	0	0	0	1	1	0	۰،۷۷																	
	1	2	3	4	5	6	7																																																																													
1	0	0	0	0	1	0	0																																																																													
2	0	0	0	0	1	0	0																																																																													
3	0	0	0	0	0	1	0																																																																													
4	0	0	0	0	0	1	0																																																																													
5	1	1	0	0	0	0	1																																																																													
6	0	0	1	1	0	0	1																																																																													
7	0	0	0	0	1	1	0																																																																													
۲		<table border="1" data-bbox="359 743 630 990"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>6</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>7</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>		1	2	3	4	5	6	7	1	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	1	5	0	0	0	0	0	0	1	6	1	1	0	0	0	0	1	7	0	0	1	1	1	1	0	۰،۷۷																	
	1	2	3	4	5	6	7																																																																													
1	0	0	0	0	0	1	0																																																																													
2	0	0	0	0	0	1	0																																																																													
3	0	0	0	0	0	0	1																																																																													
4	0	0	0	0	0	0	1																																																																													
5	0	0	0	0	0	0	1																																																																													
6	1	1	0	0	0	0	1																																																																													
7	0	0	1	1	1	1	0																																																																													
۳		<table border="1" data-bbox="359 1070 630 1258"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>5</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>		1	2	3	4	5	1	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	1	5	1	1	1	1	0	۰،۶۰																																													
	1	2	3	4	5																																																																															
1	0	0	0	0	1																																																																															
2	0	0	0	0	1																																																																															
3	0	0	0	0	1																																																																															
4	0	0	0	0	1																																																																															
5	1	1	1	1	0																																																																															
۴		<table border="1" data-bbox="359 1281 630 1527"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>6</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>7</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>		1	2	3	4	5	6	7	8	1	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	1	0	4	0	0	0	0	0	0	1	0	5	0	0	0	0	0	0	0	1	6	1	1	0	0	0	0	0	1	7	0	0	1	1	0	0	0	1	8	0	0	0	0	1	1	1	0	۰،۸۲
	1	2	3	4	5	6	7	8																																																																												
1	0	0	0	0	0	1	0	0																																																																												
2	0	0	0	0	0	1	0	0																																																																												
3	0	0	0	0	0	0	1	0																																																																												
4	0	0	0	0	0	0	1	0																																																																												
5	0	0	0	0	0	0	0	1																																																																												
6	1	1	0	0	0	0	0	1																																																																												
7	0	0	1	1	0	0	0	1																																																																												
8	0	0	0	0	1	1	1	0																																																																												

• انعطاف پذیری

هر مرحله مشخص شده است. به منظور محاسبه انعطاف پذیری از شاخصی به نام POC^{TV} استفاده شده است. این شاخص نشان دهنده حساسیت نسبت به تغییرات است. از آنجاییکه انعطاف پذیری با حساسیت نسبت به تغییرات رابطه عکس دارد، بنا بر این می توان نتیجه گرفت که هر چه POC بیش تر باشد سیستم دارای انعطاف پذیری کمتری خواهد بود. سیستمی که

الزام غیرکارکردی انعطاف پذیری در عصر تولید انبوه به شدت در حال گسترش است. چنانچه بخواهیم محصولی تولید نماییم که کیفیت بالایی داشته و کاملاً مطابق با نیازهای مشتری باشد، باید مشخصه انعطاف پذیری را در نظر بگیریم. علت این امر تغییر نظرات مشتریان در حین طراحی محصول و در برخی از موارد پس از تولید آن است. در این سیستم با توجه به امکان تغییر فرایندهای سیستم در شرایط گوناگون مقدار انعطاف پذیری در

^{TV} Penalty of Change (POC)

$$POC = \sum_{i=1}^D pn(x_i) \times pr(x_i) \quad (2)$$

به تعداد توابع و عمق درخت سلسه مراتبی وابسته است پس می‌توان معیار کمی PC^{40} را برای اندازه‌گیری پیچیدگی سیستم با استفاده از رابطه زیر محاسبه نمود [۵].

$$PC = \sum_{j=1}^I F_j z_j \quad (3)$$

در رابطه ۳، PC نمایانگر پیچیدگی، F_j نشان دهنده تعداد توابع در سطح j و I نشان دهنده رتبه سطوح در درخت کارکردی (سطح ۱ رتبه ۱، سطح ۲ رتبه ۲، سطح ۳ رتبه ۳ و) است. نحوه محاسبه الزام غیرکارکردی پیچیدگی برای طرح‌های مفهومی ۱ و ۲ به ترتیب در جداول ۵ و ۶ ارایه گردیده است.

جدول ۵ محاسبه الزام غیرکارکردی پیچیدگی طرح مفهومی ۱

پیچیدگی مرحله (PC)	تعداد کارکردهای هر سطح				شماره مرحله
	سطح ۴	سطح ۳	سطح ۲	سطح ۱	
۵۱۹	۰	۱۴۶	۴۰	۱	۱
۱۶۲	۱۵	۲۱	۱۹	۱	۲
۱۴۸	۰	۳۷	۱۸	۱	۳
۱۴۸	۰	۳۷	۱۸	۱	۴

جدول ۶ محاسبه الزام غیرکارکردی پیچیدگی طرح مفهومی ۲

پیچیدگی مرحله (PC)	تعداد کارکردهای هر سطح				شماره مرحله
	سطح ۴	سطح ۳	سطح ۲	سطح ۱	
۳۷۲	۳۰	۶۳	۳۱	۱	۱
۲۳۴	۲۴	۳۷	۱۳	۱	۲
۲۳۶	۲۳	۳۷	۱۶	۱	۳
۲۲	۰	۳	۶	۱	۴

به‌عنوان مثال مرحله چهارم طرح مفهومی ۲ که دارای کم‌ترین میزان پیچیدگی است را در نظر بگیرید. این مرحله دارای درخت کارکردی با سه سطح (مطابق با شکل ۲) بوده است. در این مرحله سیستم مورد نظر بارگذاری می‌شود. منظور از بارگذاری سیستم شش کارکردی است که در سطح دوم نمایش داده شده است (خاموش کردن کلیه پروژکتورها، روشن کردن و تنظیم سرعت تراسترها، روشن کردن بی‌سیم و ...). این شش کارکرد در واقع مفهوم بارگذاری را برای اپراتورها روشن می‌کنند. سپس سطح سوم کارکرد (روشن کردن و تنظیم سرعت تراسترها) را برای اپراتورها شفاف‌تر می‌کنند. این کارکرد، شامل سه زیر کارکرد است. درخت کارکردی تا جایی ادامه می‌یابد که کلیه

دارای $POC = 0$ است دارای حد اکثر انعطاف‌پذیری است. رابطه کلی POC مطابق رابطه (۲) تعریف می‌شود. [۸].

در رابطه ۲، POC نمایانگر انعطاف‌پذیری، D نشان دهنده تعداد تغییرات بالقوه، X_i نشان دهنده آمین تغییر بالقوه، $pn(X_i)$ بیانگر جریمه^{۳۸} آمین تغییر بالقوه و $pr(X_i)$ نشان دهنده احتمال وقوع آمین تغییر بالقوه است. بر اساس این رابطه هر یک از تغییرات با احتمال نسبتاً مشخصی رخ می‌دهند. رخداد هر یک از این تغییرات منجر به ایجاد جریمه‌ای خواهد شد که می‌تواند بر روی زمان اجرای عملیات، هزینه یا سایر عوامل دیگر تاثیر بگذارد. در سیستم مورد بررسی تغییرات، زمان را تحت تاثیر قرار خواهند داد. اطلاعات مربوط به محاسبه الزام غیرکارکردی انعطاف‌پذیری برای هر دو طرح مفهومی در جدول ۴ ارایه شده است. داده‌های مربوط به احتمال وقوع و زمان انجام کارکردهای احتمالی پس از تعیین این کارکردها توسط متخصصان و در تعامل و مصاحبه با آنان تعیین گردیده است.

جدول ۴ محاسبه الزام غیرکارکردی انعطاف‌پذیری طرح‌های مفهومی

شماره مرحله	طرح مفهومی (۱)		طرح مفهومی (۲)	
	تعداد کارکردهای احتمالی	POC	تعداد کارکردهای احتمالی	POC
۱	۱۸	۲۰٫۷	۷	۱۱٫۸۵
۲	۵	۴/۱۵	۳	۱۰٫۴
۳	۵	۳٫۱	۳	۳٫۴۵
۴	۲	۳٫۱	۲	۲٫۶

• سادگی

برای محاسبه سادگی به‌عنوان یکی دیگر از الزامات غیرکارکردی، از الزام غیرکارکردی پیچیدگی استفاده شده است. به منظور تعیین پیچیدگی فرایندهای محصول هر یک از کارکردها تا پایین‌ترین سطح تجزیه شده‌اند. در همین راستا باید به مفهوم تجزیه کارکردی^{۳۹} توجه گردد. در فرایند تجزیه کارکردی هر تابع (کارکرد) که در طراحی یک سیستم در نظر گرفته می‌شود به مجموعه‌ای از زیر توابع تجزیه می‌شود. رابطه بین توابع و زیر توابع می‌تواند به‌صورت اشکال مختلف ارایه شود. یکی از این اشکال درخت کارکردی است. این درخت شامل بلوک‌هایی است که توسط شاخه‌ها به یکدیگر متصل می‌شوند و بلوکی که در بالاترین سطح واقع می‌شود نشان دهنده تابع اساسی است. تعداد سطوح در تجزیه نشان دهنده پیچیدگی سیستم مورد نظر می‌باشد. اگر فرض شود که پیچیدگی محصول

^{۳۸} Penalty

^{۳۹} Functional Decomposition

^{۴۰} Product Complexity

در نهایت به‌عنوان یک طرح مفهومی انتخاب شود و زمینه‌ساز ایجاد یک قابلیت در محصول نهایی گردد. مقادیر کمی الزامات کارکردی برای این طرح‌ها با توجه به تجربه‌ها و علوم فنی کارشناسان و مشخصات محصولات مشابه تعیین گردیده است. از آنجاییکه برخی از مقادیر الزامات کارکردی کاملاً به‌صورت تجربی و بر اساس علوم فنی کارشناسان حاصل شده بودند، تعیین میزان اثربخشی این الزامات بر اساس این مقادیر به‌صورت کیفی اشتباهی رایج بود. پس به منظور بررسی اثربخشی این طرح‌های مفهومی مقادیر کمی این الزامات در نظر گرفته شده و با محصولات مشابه و موجود مقایسه گردیده است. سپس با استفاده از روابط زیر مقدار اثربخشی طرح‌های مفهومی اندازه‌گیری شده است [۱۵].

$$M_1 = \sum_{j=1}^m f_j \times S_j \times 100\% \quad (4)$$

$$S_j = \frac{T_j - C_j}{T_j} \quad (5)$$

در رابطه ۴، M_1 نشان دهنده اثربخشی بر اساس الزامات کارکردی، m نشان دهنده تعداد الزامات کارکردی، f_j نمایانگر وزن هر یک از الزامات و S_j مطابق رابطه ۵ محاسبه می‌شود. در رابطه ۵، T_j نشان دهنده تعداد طرح‌های قابل مقایسه با طرح مورد بررسی، C_j نمایانگر تعداد طرح‌ها با مقادیر کمی الزامات کارکردی مشابه با طرح مورد بررسی است. جدول ۷ تعدادی طرح قابل مقایسه و مشابه با طرح‌های مفهومی ارائه شده را نشان می‌دهد.

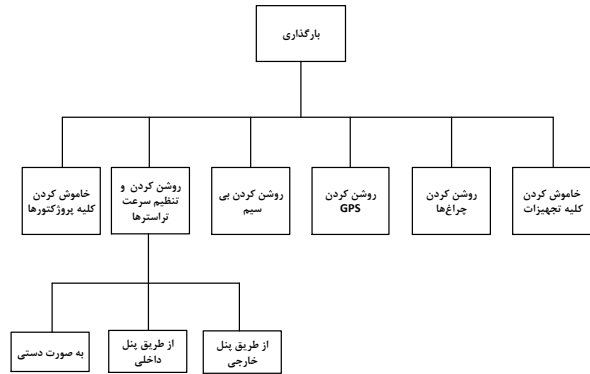
جدول ۷ طرح‌های قابل مقایسه با طرح‌های مفهومی ارائه شده

عنوان طرح‌های قابل مقایسه	الزامات کارکردی			سرعت حد اکثر (گره)	عمق حد اکثر (متر)
	حد اکثر زمان (ساعت)	حد اکثر فشار (bar)	حد اکثر زاویه (درجه)		
A	۷۲	۵	۳	۴۸۰	۶۰°
B	۲۴	۵	۴	۶۰۰	۰
C	۹۶	۶	۳	۶۰۰	۶۰°
D	۷۲	۵	۲,۵	۳۰۰	۴۵°
E	۱۲۰	۵	۳,۳	۱۰۰۰	۰
F	۶۷۲	۵	۱۲	۴۸۰	۰
G	۳۰	۵	۴	۱۵۰۰	۴۰°
H	۳۰	۵	۴	۴۸۰	۴۰°
I	۱۰	۵	۳	۶۵۰	۱۵°

نحوه محاسبه شاخص اثربخشی هر یک از طرح‌های مفهومی (مطابق روابط ۴ و ۵) در جداول ۸ و ۹ نمایش داده شده است.

کارکردها برای همه اپراتورها شفاف شود. در نهایت میزان پیچیدگی برای این مرحله مطابق با رابطه ۳ و به‌صورت زیر محاسبه شده است:

$$PC = (1 \times 1) + (6 \times 2) + (3 \times 3) = 22$$



شکل ۲- درخت کارکردی مرحله چهارم طرح مفهومی ۲

۳-۳- محاسبه اثربخشی

طرح‌های مفهومی به‌صورت تصادفی اتفاق نمی‌افتند و هر یک از آن‌ها دارای تعدادی مشخصه تعریف شده می‌باشند. هر یک از این مشخصات با توجه به نیازهای مشتریان ایجاد گردیده است و امکان دارد در طول مراحل طراحی تغییر نمایند. تعامل دایمی با مشتریان و ذینفعان سبب می‌گردد در نهایت محصولی کاملاً مطابق با نظر آنان تولید شود و دارای بیش‌ترین اثربخشی از لحاظ الزامات تعریف شده توسط آنان باشد. اثربخشی اغلب به‌صورت کیفی و خودسرانه تعیین می‌گردد. این در حالی است که بیش‌تر صنایع به مقادیر کمی و دقیق اثربخشی برای سنجش طرح‌های مفهومی نیازمندند. متخصصان کنترل کیفیت، طراحان و تولیدکنندگان به معیاری نیاز دارند که مشخص کند الزامات مشتریان تا چه حد توسط آنان برآورده شده است. بنا بر این تعیین مقادیر کمی اثربخشی چه از نظر الزامات کارکردی (که بیش‌تر بر مبحث انجام عملیات اصلی و کارایی اصلی سیستم تاکید دارند) و چه از نظر الزامات غیرکارکردی (که بیش‌تر بر مباحث کیفیت و رضایت مشتری تمرکز می‌کنند) نیاز اصلی صنایع در بازار رقابتی است.

۳-۳-۱- تعیین اثربخشی سیستم بر اساس الزامات کارکردی

در دنیای رقابتی امروز صنایعی موفق هستند که برای هر مسئله دنیایی از ایده‌ها به دست آوردند. هر یک از ایده‌ها ممکن است

۳-۳-۲- تعیین اثربخشی سیستم بر اساس الزامات غیرکارکردی

کیفیت یک طرح مفهومی مستقل است و می‌تواند بر اساس ویژگی‌های فیزیکی یا عملکرد عناصر (زمان، انرژی و غیره) تعیین گردد. تعیین کیفیت در هر یک از مراحل توسعه محصول امری ضروری بوده و بخش جدایی‌ناپذیر در مهندسی سیستم است. ارزیابی طرح‌های مفهومی در مرحله طراحی مفهومی هر چند با اطلاعات اندک، در نهایت محصولی سودآور و مورد رضایت مشتری تولید می‌نماید. به همین منظور و در راستای ارزیابی طرح‌های مفهومی بر اساس الزامات غیرکارکردی از رابطه ۶ استفاده شده و شاخص اثربخشی طرح‌های مذکور بر اساس این دسته از الزامات محاسبه گردیده است. نکته قابل توجه این است که در این رابطه مقادیر کمی این الزامات باید دارای مقیاس یکسان باشند. به منظور یکسان نمودن مقیاس مقادیر الزامات غیرکارکردی از روش نرمال‌سازی فازی استفاده شده است. در روش نرمال‌سازی فازی برای مقادیری که از جنس سود (مثبت) هستند از رابطه ۷ و برای مقادیری که از جنس هزینه (منفی) هستند از رابطه ۸ استفاده می‌شود [۱۵].

$$\sum_{j=1}^m f_j \sum_{k=1}^n S_{jk} \times P_k \quad (6)$$

$$r_i = \frac{X_i - L_{1i}}{L_{2i} - L_{1i}} \quad (7)$$

$$r_i = \frac{L_{2i} - X_i}{L_{2i} - L_{1i}} \quad (8)$$

در رابطه ۶، M_2 نشان دهنده میزان اثربخشی طرح‌های مفهومی بر اساس الزامات غیرکارکردی، S_{jk} نمایانگر مقدار کمی الزام غیرکارکردی j در مرحله k ، f_j نشان دهنده وزن هر یک از الزامات غیرکارکردی، m نمایانگر تعداد الزامات غیرکارکردی و P_k نشان دهنده وزن مرحله k است. در رابطه ۷ و ۸ نیز (که به منظور یکسان نمودن مقادیر الزامات غیرکارکردی مثبت و منفی استفاده می‌شود) X_i نشان دهنده مقادیر الزامات غیرکارکردی i ، L_2 نمایانگر بیش‌ترین مقدار برای الزام غیرکارکردی i در بین مراحل L_1 و L_2 نمایانگر کم‌ترین مقدار برای الزام غیرکارکردی i در بین مراحل است. در بین الزامات غیرکارکردی شاخص SMI به عنوان یک شاخص مثبت و شاخص‌های PC و POC عنوان شاخص‌های منفی در نظر گرفته شده‌اند. بنا بر این به منظور نرمال‌سازی شاخص SMI از رابطه ۷ و برای نرمال‌سازی شاخص‌های PC و POC از رابطه ۸ استفاده شده است. نحوه محاسبه شاخص اثربخشی بر اساس این سه الزام غیرکارکردی و برای طرح‌های مفهومی ۱ و ۲ به ترتیب در جداول ۱۰ و ۱۱ ارائه گردیده است.

لازم به ذکر است که وزن هر یک از الزامات کارکردی با استفاده از ماتریس مقایسه زوجی و نرم‌افزار Expert Choice تعیین شده است. ماتریس مقایسه زوجی نیز توسط متخصصان و بر اساس طیف پنج نقطه‌ای لیکرت تکمیل گردیده است.

جدول ۸ محاسبه اثربخشی طرح مفهومی ۱ بر اساس الزامات کارکردی

الزامات کارکردی	تعداد طرح‌های برابر با این رنج	S_j	f_j
حد اکثر عمق (متر)	۲	۰,۷۸	۰,۲۵
سرعت حد اکثر (گره)	۳	۰,۶۷	۰,۲
حد اکثر فشار (bar)	۸	۰,۱۱	۰,۱۰
حد اکثر زمان (ساعت)	۲	۰,۷۸	۰,۲۰
حد اکثر زاویه (درجه)	۱	۰,۸۹	۰,۲۵

مطابق جدول ۸ میزان اثربخشی طرح مفهومی ۱ برابر است با ۷۲٪.

جدول ۹ محاسبه اثربخشی طرح مفهومی ۲ بر اساس الزامات کارکردی

الزامات کارکردی	تعداد طرح‌های برابر با این رنج	S_j	f_j
حد اکثر عمق (متر)	۳	۰,۶۷	۰,۲۵
سرعت حد اکثر (گره)	۳	۰,۶۷	۰,۲
حد اکثر فشار (bar)	۸	۰,۱۱	۰,۱۰
حد اکثر زمان (ساعت)	۱	۰,۸۹	۰,۲۰
حد اکثر زاویه (درجه)	۲	۰,۷۸	۰,۲۵

مطابق جدول ۹ میزان اثربخشی طرح مفهومی ۲ برابر است با ۶۸٪.

تولیدی بستگی به توانایی آن‌ها در شناسایی نیازهای مشتریان و ساختن محصولاتی دارد که در سریع‌ترین زمان ممکن این نیازها را برطرف نموده و دارای بالاترین اثربخشی باشد. در این مقاله اثربخشی دو طرح مفهومی بر اساس الزامات کارکردی (به‌عنوان پایه و اساس تشکیل دهنده سیستم) و الزامات غیرکارکردی (به‌عنوان عواملی که موجب افزایش کیفیت محصول خواهند شد) مورد بررسی قرار گرفت. انتخاب طرح بهینه در ابتدایی‌ترین مراحل چرخه عمر موضوع مهمی است که باید در نظر گرفته شود تا محصول پایدار اقتصادی جدید یا توسعه یافته‌ای که ارضا کننده نیازهای مشتریان با کیفیت بالاست تولید گردد. میزان اثربخشی دو طرح مفهومی ۱ و ۲ بر اساس الزامات کارکردی به ترتیب برابر ۷۲٪ و ۶۸٪ بود. این اعداد نشان می‌دهد که هر دو طرح مفهومی از لحاظ برآورد وظایف اصلی تقریباً نزدیک به یکدیگر می‌باشند. بر خلاف میزان اثربخشی طرح‌های مفهومی بر اساس الزامات کارکردی میزان اثربخشی طرح مفهومی شماره ۱ بر اساس الزامات غیرکارکردی بسیار بیش‌تر از میزان اثربخشی طرح مفهومی شماره ۲ بوده است. این میزان تفاوت چشمگیر گویای آن است که طرح مفهومی شماره ۱ از لحاظ کیفیت دارای شرایط بهتری می‌باشد و انتخاب این طرح در مرحله اولیه چرخه عمر موجب کاهش هزینه‌ها و انتخاب صحیح در مراحل بعدی خواهد شد. پس از انتخاب این طرح به‌عنوان طرح بهینه و با تکرار دوباره مراحل چرخه عمر هر یک از الزامات به چندین زیر الزام تقسیم شده و در نهایت در طراحی محصول لحاظ می‌گردند.

در خصوص این پژوهش پیشنهاد می‌گردد که می‌توان علاوه بر در نظر گرفتن روش کلی کار بر اساس فرایندها، اجزا و قطعات موجود را نیز در نظر گرفته و مقادیر کمی الزامات غیرکارکردی (نظیر ماژولاریتی) بر اساس قطعات نیز محاسبه شود. محاسبه میزان اثربخشی یک طرح را در تمامی مراحل چرخه عمر و مقایسه آن با مرحله اول از دیگر پیشنهادها برای تحقیقات آتی است، که منجر به افزایش کیفیت و کارایی محصول خواهد شد. در دسترس بودن تنها دو طرح به‌صورت مکتوب از جمله محدودیت‌های این پژوهش به شمار می‌رود.

جدول ۱۰ نرمال‌سازی مقادیر کمی الزامات غیرکارکردی طرح ۱

شماره مرحله	الزام غیرکارکردی		
	ماژولاریتی	انعطاف‌پذیری	پیچیدگی
۱	۰/۸۸	۰	۰
۲	۱	۰/۹۴	۰/۹۶
۳	۰/۱۸	۱	۱
۴	۰	۱	۱

میزان اثربخشی طرح مفهومی ۱ بر اساس الزامات غیرکارکردی برابر است با ۷۰٪.

جدول ۱۱ نرمال‌سازی مقادیر کمی الزامات غیرکارکردی طرح ۲

شماره مرحله	الزام غیرکارکردی		
	ماژولاریتی	انعطاف‌پذیری	پیچیدگی
۱	۰/۷۷	۰	۰
۲	۰/۷۷	۰/۱۶	۰/۳۹
۳	۰	۰/۹۱	۰/۳۹
۴	۱	۱	۱

میزان اثربخشی طرح مفهومی ۲ بر اساس الزامات غیرکارکردی برابر است با ۵۱٪.

لازم به ذکر است وزن الزامات غیرکارکردی ماژولاریتی، انعطاف‌پذیری و پیچیدگی نیز مطابق با ماتریس مقایسه زوجی بر اساس طیف پنج نقطه‌ای لیکرت و نرم افزار Expert Choice به ترتیب برابر است با ۰/۱۵، ۰/۵۵ و ۰/۳۰. علاوه بر این با توجه به انجام چهار مرحله به‌صورت متوالی و پشت سر هم وزن تمامی مراحل یکسان و برابر با ۰/۲۵ می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

امروزه اکثر سازمان‌ها بیش از هر زمان دیگری دریافته‌اند که تکیه و اعتماد صرف به اهرم‌های رقابتی سنتی در آرایه محصولات و خدمات کافی نیست و در عوض مفاهیم اساسی‌تر نمود قابل توجهی پیدا کرده‌اند. موفقیت اقتصادی شرکت‌های

منابع و مراجع

Modularity in Software Architecture Design. JSW ۱۰(۴): (۲۰۱۵) ۴۶۵-۴۷۹.

[۱۰]. Uckun. S, Mackey. R, Do. M, Zhou. R, Huang. E and Shah. J. J, (۲۰۱۴), *Measures of product design adaptability for changing requirements*. AI EDAM, ۲۸(۴), ۳۵۳-۳۶۸.

[۱۱]. Cossentino. M, Lodato. C, Lopes. S and Ribino, P, (۲۰۱۵), *Metrics for evaluating modularity and extensibility in HMAS systems*. In Proceedings of the ۲۰۱۵ International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems, ۱۰۶۱-۱۰۶۹.

[۱۲]. Ohyoshi. T, (۲۰۰۵), *Consistency of the Measure of Modularity for Disassembly Evaluation of Industrial Products*. International Journal of the Society of Materials Engineering for Resources, ۱۳(۱) ۱۷-۲۱.

[۱۳]. مشیرفرد. محمدرضا / کرباسیان. مهدی ، (۱۳۹۱)، ارائه مدل تخمین و محاسبه اثربخشی (OMOE) در یک شناور، پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک‌اشتر.

[۱۴]. اسدزاده. شروین، (۱۳۹۱)، مدیریت بهره‌وری، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک دانشگاه خواجه نصیر طوسی، تهران.

[۱۵]. Smith. S. M, Shah. J. J and Vargas-Hernandez, (۲۰۰۳). N, *Metrics for measuring ideation effectiveness*. Design studies, ۲۴(۲) ۱۱۱-۱۳۴.

[۱]. کیا. ع و مونسی. الف، مهندسی سیستم، موسسه آموزشی و تحقیقاتی صنایع دفاعی، تهران، (۱۳۹۵).

[۲]. Headquarters. N., (۲۰۰۷), *NASA Systems Engineering Handbook*, Washington.

[۳]. Adam. k, (۲۰۱۵), *Non-functional requirement in system analysis and design*, Information Technology and Computer Science, University of Maryland University College ,USA Springer .

[۴]. Modrak. V and Soltysova. Z, (۲۰۱۸) *Process modularity of mass customized manufacturing systems: principles, measures and assessment*. Procedia CIRP ۶۷۳۶-۴۰.

[۵]. Bashir. H. A and Thomson V, (۲۰۱۰), *Estimating design complexity*. Journal of Engineering Design, ۱۰(۳) ۲۴۷-۲۵۷.

[۶]. Shafiei-Monfared. S and Jenab. K, (۲۰۱۰), *A novel approach for complexity measure analysis in design projects*. Journal of Engineering Design, ۲۳(۳) ۱۸۵-۱۹۴.

[۷]. Hölttä-Otto. K and Weck. O. De. (۲۰۰۷), *Degree of modularity in engineering systems and products with technical and business constraints*. Concurrent Engineering, ۱۵(۲) ۱۱۳-۱۲۶.

[۸]. Chryssolouris. G, (۱۹۹۶), *Flexibility and its measurement*, CIRP annals, ۴۵(۲), ۵۸۱-۵۸۷.

[۹]. Ghasemi. M, Sharafi S. M and Arman. A. *Towards an Analytical Approach to Measure*