

ترکیب تکنیک دیمتل فازی و ماتریس ساختار طراحی برای طراحی ماسوره گلوله هوایی*

¹ مهدی کرباسیان

² سید محمد کاظمی

³ گل آرا ایرانپور

چکیده

در این مقاله یک رویکرد یکپارچه برای طراحی ماسوره گلوله هوایی ارائه شده است. در این برنامه با استفاده از قالب مهندسی سیستم، ابتدا نیازهای مشتری (نیروی هوایی) اخذ شده و تبدیل به الزامات کارکردی گردیده است. در مرحله بعدی با استفاده از ماتریس خانه کیفیت این الزامات کارکردی تبدیل به قطعات می گردند، سپس با استفاده از ماتریس ساختار طراحی و بررسی وجود یا عدم وجود ارتباط بین قطعات، قطعات خوشه بندی می شوند. از طرف دیگر، با توجه به این که بین این قطعات چندین نوع ارتباط و وابستگی وجود دارد، میزان و قدرت ارتباطات در قالب تحلیل دیمتل فازی آمده و باعث سطح بندی قطعات در هر خوشه (ماژول) می شود. رویکرد یکپارچه مطرح شده در این مقاله می تواند مبنای طراحی محصولات جدید و توسعه آنها به صورت کاملاً محلی در دفاتر طراحی شده و در مجموع باعث کاهش زمان طراحی و کاهش زمان طراحی مجدد و افزایش کیفیت گردد. علاوه بر این برای اولین بار این رویکرد در محصولات تک کاره استفاده شده که خود باعث تغییراتی در لحاظ کردن نوع ارتباطات در ماتریس ساختار طراحی شده است.

واژه های کلیدی: الزامات کارکردی، دیمتل فازی، گلوله، ماتریس ساختار طراحی، مهندسی سیستم

* تاریخ دریافت: 1396/11/05؛ تاریخ پذیرش: 1397/01/15.

karbasian@mut.ac.ir

¹ دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، اصفهان، ایران (نویسنده مسئول)

kazemimailbox@yahoo.com

² دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دولت آباد، گروه مدیریت، اصفهان، ایران

golara.irp@gmail.com

³ گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، اصفهان، ایران

مقدمه

توسعه محصول جدید (NPD¹) یک فرایند مهم فنی و تجاری پیچیده در کسب و کار است. یکپارچه‌سازی متقابل توابع، یک فعالیت بین رشته‌ای پیچیده است. این موضوع دارای ورودی‌های متنوع دانش برای تولید راه‌حل مناسب تولید محصول است، همچنین به عنوان یک طرح مناسب در محیط رقابتی در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین، چگونگی ایجاد یک طرح قوی برای NPD یک نگرانی مهم برای سازمان‌ها، به ویژه برای صنایع با فناوری بالا تبدیل شده است. در این مسیر شناسایی دقیق نیازهای مشتری و تبدیل آن‌ها به الزامات کارکردی، تعیین قطعات مورد نیاز طی یک قالب استاندارد و از طرف دیگر بومی کردن آن‌ها مطابق فرایندهای طراحی سازمان، بسیار اهمیت دارد. از طرف دیگر، بعد از شناسایی قطعات، خوشه‌بندی آن‌ها بر اساس روابط می‌تواند، درخت محصول را کامل کند و شناسایی درخت محصول، اساس مکانیزم‌های بعدی از جمله چیدمان اجزاء در محصول خواهد بود. در این پژوهش، ابتدا مروری بر ادبیات مباحث صدای مشتری، الزامات کارکردی، ماتریس خانه کیفیت و ماتریس ساختار طراحی انجام شده است. پس از آن نقائص موجود در ماتریس ساختار طراحی سنتی که به صورت دودویی ارتباطات اجزاء را مورد بررسی قرار می‌دهد و این نگاه دودویی سبب عدم در نظر گرفتن اهمیت نوع ارتباطات بین قطعات می‌شود بررسی می‌شود. برای حل این مسئله، برخی از ویژگی‌های نظریه مجموعه فازی و تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره دیمتل فازی مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه، با توجه به نیازمندی‌های اعلام شده توسط مشتری و الزامات کاربردی محصول و با استفاده از ماتریس خانه کیفیت قطعات مورد استفاده جهت طراحی گلوله شناسایی گردید. سپس انواع ارتباطات بین اجزاء با کمک خبرگان صنعت شناسایی و با استفاده از تکنیک دیمتل فازی اهمیت هر نوع ارتباط بین قطعات با نظر کارشناسان یکی از صنایع مهمات‌سازی کشور مشخص و ماتریس ساختار طراحی با رویکرد فازی

¹ New product development

برای دسته‌بندی و شناسایی ارتباط بین قطعات این گلوله به کار گرفته شده است. در تحقیقات بعدی می‌توان از چارچوب ارائه شده در این مقاله برای سایر محصولات تولیدی در یکی از صنایع مهمات‌سازی کشور و سایر صنایع مهمات‌سازی استفاده نمود.

پیشینه پژوهش

پیشینه نظری

معماری محصول می‌تواند اثرات بسیاری روی جنبه‌های محصول و کیفیت طراحی داشته باشد که شامل نیازهای کاربردی، طراحی مورد نیاز، هزینه‌های تولید و رضایت مشتری می‌باشد. معماری محصول یک ساختار مفهومی انتزاعی است که زیربنای مصنوعات مهندسی و طراحی می‌باشد (کرالی، وک، 2004؛ یاسین، اسرینواس، 2008). با این حال، معماری محصول به عنوان یک فرایند تعیین‌کننده کلیدی در صرفه‌جویی هزینه‌ها و توانایی ارائه تنوع محصول به خوبی شناخته نشده است. مهندسی سیستم و معماری محصول دو سیستمی هستند که از روش‌های فراابتکاری جدا مانده‌اند. چنین فعالیت‌هایی اغلب باید توسط مهندسی سیستم با تجربه که درک درستی از اهداف مختلف دارند، در هنگام معماری خط تولید محصول در نظر گرفته شود (کو، 2013).

معماری محصول به عنوان یک برنامه، عناصر یک محصول را تجزیه و در تعدادی ماژول مرتب می‌کند؛ بنابراین، توسعه یک معماری محصول ماژولار نیاز به تشخیص گروه‌های بسیار تعاملی از عناصر و خوشه‌بندی آن‌ها در مدل را دارد. تکنیک‌های خوشه‌بندی در نظریه گراف فراوان هستند (برونینگ، 2002). با این حال، این تکنیک‌ها در ادبیات مهندسی طراحی کمیاب هستند. تکنیک‌های خوشه‌بندی در طراحی مهندسی برای رفع دو نقص بزرگ به کار می‌رود. اول، الگوریتم‌های دستی بسیار وابسته به مهارت انسانی هستند و در نتیجه خودکار بودن و تکرار عملیات سخت می‌باشند (پیملر، اینچجر، 1994). دوم، در این مدل‌ها روابط ساده ریاضی در تفکیک کردن ماژول‌های محصول به کار می‌رود و در نتیجه، زمانی که معماری محصول پیچیده باشد این الگوریتم‌ها با مشکل

مواجه می شوند (سبوا، 2001). معماری محصول به عنوان یک مؤلفه طراحی اجزا و روابط متقابل بین آن‌ها شامل توپولوژی، ساختار محصول و پیکربندی می‌باشد (لیندمن، مورر، بران، 2008). ماتریس ساختار طراحی¹ DSM معماری محصول را نمایش می‌دهد و معمولاً به دلیل جذابیت بصری و سادگی آن استفاده می‌شود. استفاده از ماتریس ساختار طراحی بسیار وسیع است و حتی در ارتش ایالات متحده برای برنامه‌ریزی یکپارچه از آن استفاده می‌کنند (مایکل، 2016). حتی در ایران با استفاده از این تکنیک تحقیق دیگری برای تعیین الگوی پیچیدگی ساختاری سلامت و پزشکی در ایران و رفتار اقامت‌گیرندگان در خوابگاه‌ها انجام شده است (ملکی، 2014).

برخی از محققان با توجه به این که این روش با چند جابجایی ساده در سطر و ستون معماری محصول را بهبود می‌بخشد، این مدل را پیشنهاد می‌کنند (پیملر، اینجر، 1994). فرناندز از DSM و تکنیک شبیه‌سازی تبرید برای یافتن یک تکنیک خوب خوشه‌بندی دسته‌ها و اتوماتیک کردن فرایند دستی آن‌ها استفاده کرد. در این روش، هر عنصر در یک مجموعه تکی قرار می‌گیرد و طرح‌های مختلف برای قرار گرفتن در مجموعه‌های مختلف (خوشه) ارزیابی می‌شود. اگر هر یک از خوشه‌ها قادر به ایجاد پیشنهادی بهتر (روابط بین خوشه‌ای کمتر) از پایه فعلی باشد، پس از آن این عنصر در داخل خوشه جابجا می‌شود؛ بنابراین تابع هدف یک توازن بین هزینه بودن در داخل یک خوشه و سود کلی سیستم است (فرناندز، 1998). شارمن از الگوریتم خوشه‌بندی برای یک توربین گازی صنعتی استفاده کرد. با این حال، او نشان داد که الگوریتم به دلیل ساده بودن تابع هدف مورد استفاده و حساسیت تکرار الگوریتم جستجو در راه حل‌های بهینه محلی به دام می‌افتد و قادر به پیش‌بینی تشکیل ترکیبات خوشه‌بندی خوبی برای معماری محصول پیچیده نیست (شارمن، یاسین، 2007). یو و همکاران با استفاده از نمایش معماری DSM و ساخت نمودارهای بلوکی به توسعه یک روش خوشه‌بندی جدید بر اساس اصل حداقل فاصله

¹ design structure matrix

مسیرها (MDL) و یک الگوریتم ژنتیک ساده (GA^2) پرداختند. این روش جدید قادر به تقسیم معماری محصول به مجموعه‌ای از ماژول‌هاست که در آن تعاملات درون ماژول‌ها حداکثر و خارج ماژول‌ها به حداقل می‌رسد (یو، یاسین، گلدبرگ، 2007). لی یک روش تجدید نظر شده DSM را براساس دو فاز اجزا ریاضیاتی شامل آنالیز وابستگی بر پایه زوج‌ها و آنالیز دسته‌بندی درخت محصول پیشنهاد نمود. این روش می‌تواند درک بهتری از مفهوم زوج‌ها برای ما فراهم نماید. روش تجدید نظر شده توانایی ساده کردن رویه الگوریتم و محدود کردن فضای شبیه‌سازی راه‌حل بدون افت کیفیت آن را دارد (لی، 2011). برجیسون و هولتا دو الگوریتم بهبود DSM بر اساس الگوریتم تپه نوردی برای بهره‌وری محاسباتی استفاده کردند. این رویکرد باعث بهبود کیفیت نتایج به دست آمده و افزایش سرعت الگوریتم تا 7 یا 8 برابر دسته بندی معمولی می‌شود (برجیسون، هولتا، 2012). شارمن و یاسین یک روش برای ارزیابی معماری محصول یکپارچه از طریق استفاده از تئوری DSM و تحلیل اختیارات حقیقی ارائه کردند. روش ارائه شده به عنوان اساس یک رویکرد بهبود یافته برای بهینه‌سازی معماری عمل می‌کند (شارمن، یاسین، 2007). شکار و همکاران به توسعه روشی پرداختند که می‌تواند به رفع پیچیدگی در طراحی مهندسی ساخت هواپیما کمک کند. نتایج اجرای این روش شامل مزایای اولیه مانند کاهش قابل توجه در زمان توسعه محصول در مقایسه با طراحی ترتیبی در هواپیما می‌باشد (شکار، ونکاتارام، ساتیش، 2011). هولتا و ویک دو الگوریتم متریک از DSM که شامل بخش کوچکی غیر صفر (NZF^3) و شاخص ماژولار مقدار تکی (SMI^4) بود ارائه کردند. مزیت اصلی روش پیشنهادی این است که درجه ماژولار از هر معماری مستقل از موضوع مدل انتخابی را تجزیه و تحلیل می‌نماید (هولتا و ویک، 2007).

¹ Minimum description length

² Genetic Algorithm

³ Nonzero fraction

⁴ Singular value modularity index

مطالعات فوق نشان می‌دهد که مدل سنتی DSM با جایگذاری علامت گرافیکی یا حالت باینری صفر و یک در ماتریس، تنها وابستگی تکی را اندازه‌گیری می‌کند. اولین نقطه ضعف این روش‌ها در این است که تنها یک یا دو وابستگی انتزاعی ذهنی بین عناصر را در DSM در نظر می‌گیرد. چشم‌پوشی کامل از وابستگی‌های مختلف عناصر به هم و عدم اطمینان در وابستگی بین اجزای محصول نقطه ضعف این مدل است که می‌تواند از طریق استفاده از روش ارزیابی فازی (FEM¹) با ویژگی‌های چندگانه بهبود یابد. اشکال دوم این است که در این فرآیندها از الگوریتم‌های تحت عملیات جعبه سیاه استفاده می‌شود. تمام روش‌های پیشنهادی فوق، الگوریتم‌های جدیدی از DSM هستند ولی هیچ کدام جزییات فرایند عملیات را نشان نمی‌دهند. بسیاری از این روش‌ها توسط کامپیوتر توسعه پیدا کردند. ولی ما نیاز به فهمیدن چگونگی محاسبات الگوریتم داریم؛ بنابراین، یک روش ارزیابی چندمعیاره فازی در DSM برای بهتر نشان دادن قدرت وابستگی بین اجزای محصول در روش پیشنهادی ارائه شده است. بدین منظور، جبر ریاضی و ماتریس بولی برای بهبود الگوریتم از DSM انتخاب شده‌اند.

در این مقاله به منظور بهینه‌سازی معماری محصول با ترکیب مفاهیم فازی با ماتریس ساختار طراحی الگوریتم جدید دسته‌بندی ارائه می‌شود. این روش می‌تواند قدرت وابستگی نامشخص از اجزا محصول را کمی و ترکیبات معماری محصول بهینه نماید. این مدل به نام ماتریس ساختار طراحی فازی (FDSM²) ارائه می‌شود و در مدل FDSM، اجزای درون محصول ذکر شده است و روابط میان آن‌ها نمایش داده می‌شود. این ماتریس فشرده و به راحتی قابل فهم می‌باشد و به سادگی توسعه الگوریتم‌های جستجو و محاسبات دقیق برای پیدا کردن ویژگی‌های خاص معماری و تنظیمات ماژول قابل کاربرد است. با این وجود، این تکنیک فاقد یک پیوند به سمت بالا با اهداف پروژه و نیازهای مشتری است. برای دستیابی به مسائل فوق، در این مقاله یک چارچوب جدید برای پروژه ساخت

¹ Fuzzy evaluation method

² Fuzzy design structure matrix

یک طرح قوی و توسعه محصول توسعه داده می‌شود که می‌تواند نیازهای مشتری، اهداف پروژه معماری محصول، فعالیت‌های طراحی، برنامه‌ریزی پروژه و هزینه‌یابی را به یکدیگر متصل کند و توسعه عملکرد کیفیت (QFD) برای برقراری ارتباط تعریف محصول مشتری محور و طراحی محصول به کار گرفته می‌شود. از ارتباط این تکنیک با ماتریس ساختار طراحی، ویژگی‌های قطعات خواسته شده مشتری در ماتریس خانه کیفیت را به منظور توسعه معماری محصولات و اجزا و فعالیت‌های طراحی و سپس برای برنامه‌ریزی طراحی و هزینه‌یابی استفاده می‌شود (هسوفانگ، سینگ پی، جانگ، 2008). QFD یکی از تکنیک‌های رسمی و معروف برای توسعه مؤثر محصول است و این تکنیک اغلب در مراحل اولیه فرایند طراحی استفاده می‌شود. هدف اصلی این تکنیک گوش دادن به صدای مشتری و استقرار آن در فرایندهای توسعه محصول پایین دست، با یک برنامه یکپارچه برای تبدیل موارد نیاز بازار به الزامات و مشخصات فنی در تمام سطوح پروژه است (چان، وو، 2002). QFD نیازهای مشتری را به فناوری تبدیل می‌کند که به طراح در دستیابی به فرآیند طراحی محصول برای به دست آوردن کارایی مطلوب فرایند کمک می‌کند (سوخوا، 2016؛ میزرا، 2016).

ماتریس ساختار طراحی و ویژگی‌ها

ماتریس ساختار طراحی برای اولین بار توسط پروفیسور استوارد (اپیجر، برنینگ، 2012؛ کاراسوسا، اپیجر، 1998) یکی از اساتید دانشگاه ایالت کالیفرنیا در دهه 1970 میلادی در پژوهشی با عنوان «ماتریس ساختار طراحی، روشی برای طراحی سامانه‌های پیچیده» معرفی گردید. وی در این پژوهش، این ماتریس را به عنوان ابزاری برای شناسایی وابستگی‌های بین کارها و برای توالی فرایند طراحی توسعه داد (کاراسوسا، اپیجر، 1998). استوارد مفاهیم حلقه‌های اصولی، شنت‌ها، پارتیشن‌بندی و قرنطینه‌سازی و همچنین یک

ابزار نرم‌افزاری "PMS32¹" را برای مدل‌سازی و دست‌کاری ماتریس‌های ساختار طراحی توسعه داد (جین، هوانگ، 2010). تا اواسط دهه 1990 میلادی، ماتریس ساختار طراحی در کاربردهای صنعتی مورد استفاده قرار نگرفت تا این که توسط برخی از اساتید و دانشجویان تحصیلات تکمیلی دانشگاه ماساچوست ایالات متحده در زمینه‌های گوناگون در صنایع نظامی و غیرنظامی مورد استفاده قرار گرفت (ایبجر، برینگ، 2012؛ ادرس، 2003). ماتریس ساختار طراحی یک ابزار مدل‌سازی مهندسی سامانه‌ها است که برای توسعه سامانه‌های پیچیده مورد استفاده است که توانایی تحلیل و وابستگی مدل در بین المان‌های سیستم را با درک رفتار سیستم به منظور بهبود عاملیت کلی سیستم اجازه می‌دهد (کوگی، اولیگ، هولزر، سارکانی، 2012).

محققان و پژوهشگران زیادی برای مدل‌سازی معماری محصول از ماتریس ساختار طراحی استفاده کرده‌اند (تیلسترا، سپرساد، وود، 2012) و در دهه‌های اخیر اثربخشی و کارایی ماتریس ساختار طراحی را نشان داده‌اند و در زمینه زیادی (از جمله توسعه محصول، مدیریت پروژه، مهندسی سامانه‌ها، طراحی سازمان و غیره) در صنایع زیاد (از جمله اتومبیل، هوافضا، مخابرات و نیمه‌هادی‌ها و...) از آن استفاده نموده‌اند (هانگ، کاوو، جانگ، 2008). ماتریس ساختار طراحی رایج‌ترین ابزار مورد استفاده در نمایش تعاملات موجود در بین عناصر یک سیستم یا محصول است (تارک، 2014).

اگرچه استفاده از DSM‌های عددی مشکل بیان قدرت تعاملات بین المان‌ها را در سامانه‌ها برطرف می‌کند، اما عدم قطعیت موجود در بین المان‌ها را نمی‌تواند بطور صحیح نمایش دهد. با توجه به این نکته که نمایش صفر و یک ارتباطات، عدم قطعیت و میزان اهمیت ارتباط را نمی‌تواند نمایش دهد و این موضوع موجب ضعف در دسته‌بندی قطعات در فرایند طراحی می‌شود، در این مقاله از تلفیق ماتریس ساختار طراحی و نظریه مجموعه فازی استفاده می‌شود.

¹ Problem Solving Matrix

دیمتل فازی

وجود ارتباطات بین قطعات در ماتریس ساختار طراحی از درجه اهمیت متفاوتی برخوردار است و از آنجا که در نظر گرفتن ارتباطات متقابل قطعات مورد تاکید خبرگان صنعت است، از روش دیمتل در این پژوهش استفاده شده است که ارتباطات متقابل را لحاظ می‌نماید. دیمتل که از انواع روش‌های تصمیم‌گیری بر پایه مقایسات زوجی است، با بهره‌مندی از قضاوت خبرگان در استخراج عوامل یک سیستم و ساختاردهی سیستماتیک به آن‌ها با بکارگیری اصول تئوری گراف‌ها، ساختار سلسله‌مراتبی از عوامل موجود در سیستم، همراه با روابط تأثیرگذاری و تأثیرپذیری متقابل عناصر مذکور به دست می‌آید، به گونه‌ای که شدت اثر روابط مذکور و اهمیت آن‌ها را به صورت امتیازی عددی معین می‌کند. از تکنیک دیمتل به منظور تعیین مقادیر فازی استفاده می‌شود. در هنگام فازی‌سازی قدرت وابستگی بین المان‌های محصول، وجود چندین تعامل مختلف در ارتباط با برخی از المان‌های دیگر محصول، تحلیل و فهم مناسب را از طراح کم می‌کند. لذا به جای نمایش تعاملات بین دو المان با چند عدد مختلف که باعث سردرگمی در طراح یا خواننده می‌شود، بهتر است از یک عدد استفاده شود که نماینده آن چند عدد است و تأثیرات آن‌ها را به خوبی نمایش می‌دهد (مندل، 2001).

تشکیل ماتریس مقایسات زوجی: برای بررسی معیارها از نظر خبرگان استفاده می‌شود، در این ماتریس‌ها، $\tilde{x}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ اعداد فازی مثلثی می‌باشند و $\tilde{x}_{ij} = (i=1, 2, 3, \dots, n)$ به صورت عدد فازی (0) در نظر گرفته می‌شوند (ابراهیمی، ماکویی، صدر، 2008).

برای در نظر گرفتن نظر همه خبرگان طبق رابطه 1 از آن‌ها میانگین حسابی می‌گیریم.

$$\tilde{z} = \frac{\tilde{x}^1 \oplus \tilde{x}^2 \oplus \tilde{x}^3 \oplus \dots \oplus \tilde{x}^p}{p} \quad \text{رابطه (1)}$$

در این رابطه p تعداد خبرگان و $\tilde{x}^1, \tilde{x}^2, \tilde{x}^3, \dots, \tilde{x}^p$ به ترتیب ماتریس مقایسه زوجی خبره 1، خبره 2 و خبره p می‌باشد و \tilde{z} عدد فازی مثلثی به صورت $\tilde{z}_{ij} = (l'_{ij}, m'_{ij}, u'_{ij})$ (ابراهیمی، ماکویی، صدر، 2008).

برای نرمالیزه کردن ماتریس به دست آمده از رابطه‌های 2 و 3 استفاده می‌کنیم.

$$\tilde{H}_{ij} = \frac{z_{ij}}{r} = \left(\frac{1}{r}, \frac{m}{r}, \frac{u}{r} \right) = (1 \llcorner_{ij}, m \gg_{ij}, u \gg_{ij}) \quad \text{رابطه (2)}$$

که از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$r = \max_{1 \leq i \leq n} (\sum_{j=1}^n u_{ij}) \quad \text{رابطه (3)}$$

بعد از محاسبه ماتریس‌های فوق، ماتریس روابط کل فازی با توجه به رابطه‌های 4 تا

7 به دست می‌آید.

$$T = \lim_{k \rightarrow +\infty} (\tilde{H}^1 \oplus \tilde{H}^2 \oplus \dots \oplus \tilde{H}^k) \quad \text{رابطه (4)}$$

که هر درایه آن عدد فازی به صورت $(1 \llcorner_{ij}, m \llcorner_{ij}, u \llcorner_{ij})$ است و به صورت زیر

محاسبه می‌شود.

$$[1 \llcorner_{ij}] = H_1 \times (I - H_1)^{-1} \quad \text{رابطه (5)}$$

$$[m \llcorner_{ij}] = H_m \times (I - H_m)^{-1} \quad \text{رابطه (6)}$$

$$[u \llcorner_{ij}] = H_u \times (I - H_u)^{-1} \quad \text{رابطه (7)}$$

در این رابطه‌ها I ماتریس یکه و H_1, H_m, H_u هر کدام ماتریس $n \times n$ هستند که

درایه‌های آن را به ترتیب عدد پایین، عدد میانی و عدد بالایی اعداد فازی مثلی ماتریس H

تشکیل می‌دهد.

گام بعدی به دست آوردن مجموع سطرها و ستون‌های ماتریس \tilde{T} است. مجموع

سطرها و ستون‌ها با توجه به رابطه‌های 8 و 9 به دست می‌آوریم.

$$\tilde{D} = (\tilde{D}_i)_{n \times 1} = [\sum_{j=1}^n \tilde{T}_{ij}]_{n \times 1} \quad \text{رابطه (8)}$$

$$\tilde{R} = (\tilde{R}_i)_{1 \times n} = [\sum_{i=1}^n \tilde{T}_{ij}]_{1 \times n} \quad \text{رابطه (9)}$$

که \tilde{D} و \tilde{R} به ترتیب ماتریس $n \times 1$ و $1 \times n$ هستند.

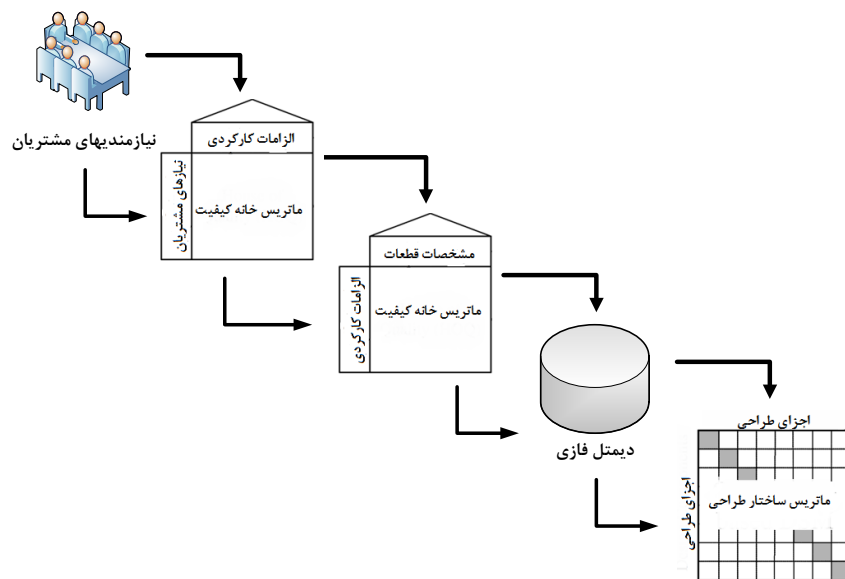
مرحله بعدی میزان اهمیت شاخص‌ها $(\tilde{D}_i + \tilde{R}_i)$ و رابطه بین معیارها $(\tilde{D}_i - \tilde{R}_i)$ مشخص

می‌گردد. اگر $\tilde{D}_i - \tilde{R}_i > 0$ باشد معیار مربوطه اثرگذار و اگر $\tilde{D}_i - \tilde{R}_i < 0$ باشد معیار مربوطه

اثرپذیر است.

روش شناسی پژوهش

با توجه به سوابق پژوهش‌های قبلی، رویکرد پیشنهادی برای ماتریس ساختار طراحی فازی در این بخش به تفصیل بیان خواهد شد. این مدل نقص استفاده از اعداد قطعی در نظرات دریافتی از خبرگان در روش‌های قبلی و عدم لحاظ نمودن اهمیت معیارها در خوشه‌بندی محصولات را مرتفع و الگویی یکپارچه جهت طراحان و سازندگان در دنیای رقابتی امروز که کاهش دوره تکوین عمر محصول از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است فراهم می‌آورد. با توجه به مراحل و گام‌های موجود در رویکرد پیشنهادی برای خوشه‌بندی و تحلیل ماتریس ساختار طراحی فازی، چارچوب رویکرد پیشنهادی در شکل (2) نمایش داده می‌شود و مراحل اجرای برنامه به شرح مراحل ذیل آمده است.



شکل 1. رویکرد پیشنهادی برای خوشه‌بندی با ماتریس ساختار طراحی و دیمتل فازی شناسایی نیاز مشتری

برای داشتن یک طراحی یکپارچه و اساسی، اولین مرحله اخذ نیازهای مشتریان به صورت کامل می‌باشد. ما مشاهده کردیم که برای اعلام نیازها روی دو قسمت متمرکز شد. خواسته‌های مشتری که روی عملکرد محصول مؤثر است و دیگر تعامل محصول با

محیط پیرامونی (با توجه به اصول مهندسی سیستم). به عنوان مثال برای طراحی یک سامانه موشکی داریم «جستجو کردن هدف» یا «مقابله کردن با جنگ الکترونیک» بنابراین پنل خبرگان به این نتیجه رسید که نیازهای مشتریان در قالب زیر مشخص گردد:

فعل + مفعول (ردیابی هدف)

فعل + حرف اضافه (در، با) + متمم (حرکت مناسب دوربین)

شناسایی الزامات کارکردی و قطعات مورد نیاز

برای تبدیل نیازهای مشتری به زبان طراحی باید با استفاده از یک الگوی مشترک مهندسی آن را به الزامات کارکردی تبدیل کرد. با توجه به جلسات طوفان فکری با طراحان بخش طراحی به اصول زیر در نوشتن الزامات عملکردی از روی نیازمندی‌های مشتریان رسیدیم.

- الزامات عملکردی منفی نباشد
- قیود «باید»، «نیاز» نداشته باشد
- قابل تست باشد
- تجزیه پذیر نباشد

برای ایجاد عناصر کارکردی باید عملیاتی که روی اطلاعات (داده، سیگنال) مواد و انرژی انجام می‌گیرد بر اساس الزام عملیاتی (نیاز مشتری) مشخص گردد؛ بنابراین می‌توان فرمت زیر را برای الزامات کارکردی لحاظ کرد. با توجه به اصول بالا می‌توان قالب زیر را پیشنهاد کرد:

فعل + مفعول + پارامتر کارکردی

به عنوان مثال می‌توان نوشت: تأخیر در انفجار گلوله به مدت یک ثانیه پس از برخورد به سیل. بعد از تعیین الزامات عملکردی با استفاده از ماتریس خانه کیفیت می‌توان قطعات مورد نیاز برای تأمین الزامات عملکردی را مشخص کرد. واضح است که ممکن

است یک قطعه چند الزام عملکردی را پوشش دهد یا یک الزام عملکردی توسط چند قطعه پوشش داده شود.

تشکیل ماتریس ساختار طراحی اولیه

در این مرحله با توجه به موارد ذکر شده در مرحله شناسایی المان‌ها، داده‌های حاصله در ساختار DSM قرار داده می‌شوند. علت نام‌گذاری این مرحله به مرحله «تشکیل ماتریس ساختار طراحی اولیه» این است که هنوز ماتریس ساختار طراحی اصلی که باید از نهادهای فازی تشکیل شود، در دسترس نیست فقط وجود ارتباطات بین المان‌های محصول تعیین می‌شود و به صورت دودویی (صفر و یک) وجود روابط نمایش داده می‌شود.

روند ارزیابی فازی با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره دیمتل فازی

برای تکمیل و تبدیل ماتریس ساختار طراحی (DSM) به ماتریس ساختار طراحی فازی (FDSM) و همچنین پیاده‌سازی اهداف فازی‌سازی ماتریس ساختار طراحی، لازم است تا المان‌های دودویی موجود در سلول‌های DSM به اعداد فازی تبدیل شوند و تمایز بین قدرت تعاملات بین المان‌های محصول تعیین و مشخص شوند. لذا از تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره دیمتل فازی استفاده می‌شود. این تکنیک روابط متقابل بین معیارها، میزان تأثیر و اهمیت آن‌ها را به صورت ارزش عددی مشخص می‌کند مهم‌ترین شاخصه روش دیمتل تصمیم‌گیری چندمعیاره و عملکرد آن در در ایجاد ساختار و روابط بین عوامل می‌باشد. این تکنیک علاوه بر تبدیل روابط علت و معلولی به یک مدل ساختاری بصری، قادر است وابستگی درونی بین عوامل را شناسایی کرده و آن‌ها را قابل فهم کند.

خوشه‌بندی معماری محصول: این مرحله از دو گام اصلی تشکیل می‌شود،

مرتب‌سازی المان‌های مستقل و شناسایی المان‌های وابسته.

مرتب‌سازی المان‌های مستقل: المان‌هایی که مجموع نهادهای سطری یا مجموع

نهادهای ستونی آن‌ها برابر با صفر است. این المان‌ها را المان‌های مستقل می‌نامند. المان‌هایی که مجموع نهادهای سطری برابر با صفر دارند، به بالای DSM منتقل می‌شوند و المان‌هایی که مجموع نهادهای ستونی آن‌ها برابر با صفر است به پایین DSM منتقل می‌شوند. در واقع هدف از این جابه‌جایی، تعیین المان‌هایی است که هیچ‌گونه ورودی ندارند (المان‌هایی با مجموع سطری برابر با صفر) و نیز المان‌هایی که هیچ‌گونه خروجی ندارند (المان‌هایی با مجموع ستونی برابر با صفر) و در هنگام ترسیم ساختار سلسله‌مراتبی محصول در ابتدا و انتهای ساختار قرار می‌گیرند.

شناسایی المان‌های وابسته: برای این منظور، هدف یافتن المان‌هایی به شدت

وابسته (متصل) در FDSM می‌باشد. برای این امر، مراحل زیر پیشنهاد می‌شود (کو، 2013).

گام 1- ابتدا ماتریس مجاورت FDSM را به یک ماتریس دودویی تبدیل می‌کنیم

(سلول‌های پُر شده را با عدد یک نمایش داده می‌شود و مابقی را صفر قرار می‌دهند. سپس ماتریس حاصل را که با ماتریس مجاورت گراف متناظر است، ماتریس B نام‌گذاری می‌شود.

گام 2- ماتریس A از طریق رابطه 10 به دست می‌آید:

$$A = (B \oplus I_n) \quad \text{رابطه (10)}$$

که B ماتریس مجاورت، I_n ماتریس بولی همانی از بُعد n و \hat{A} جمع بولی است.

هدف از این عملیات، تعیین همه مسیرهای موجود در ماتریس به همراه خود المان‌ها است. در واقع با این عملیات، دورها و حلقه‌هایی که شامل خود المان‌ها هم هستند، قابل تشخیص می‌باشند.

گام 3- ماتریس دسترس‌پذیری P رابطه 11 تشکیل می‌شود.

$$P = (B \oplus I_n)^n = (A)^n (P_{ij})_{n \times n} \quad \text{رابطه (11)}$$

که در معادله فوق، \hat{A} عملگر جمع بولی است و n یک عدد صحیح مثبت است و

اگر

$w_{ij} = x_{ij} \vee y_{ij}$ می شود که $W = X \oplus Y = (w_{ij})_{n \times n}$ سپس $Y = (y_{ij})_{n \times n}$ و $X = (x_{ij})_{n \times n}$ می باشد.

و همچنین اگر $X = (x_{ij})_{n \times n}$ و $Y = (y_{ij})_{n \times n}$ باشد، در این صورت $W = X \otimes Y = (z_{ij})_{n \times n}$ که $z_{ij} = \bigvee_{k=1}^n (x_{ij} \wedge y_{ik})$ می باشد.

گام 4 - تشکیل ماتریس اتصالات شدید (Q): این ماتریس از رابطه (12) به دست می آید. رابطه (12)

$$Q = P \cap P^T = \begin{pmatrix} P_{11} & \dots & P_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n1} & \dots & P_{nn} \end{pmatrix} \cap \begin{pmatrix} P_{11} & \dots & P_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n1} & \dots & P_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_{11}P_{11} & \dots & P_{1n}P_{n1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n1}P_{1n} & \dots & P_{nn}P_{nn} \end{pmatrix}$$

که در این رابطه، ماتریس $P = (p_{ij})_{n \times n}$ یک ماتریس دسترس پذیر می باشد و P^T ترانزاده ماتریس P است. قابل توجه است که اگر از المان i به المان j دسترسی باشد، در این صورت $p_{ij} = 1$ می شود. اگر از المان j به المان i دسترسی باشد، در این صورت $p_{ji} = 1$ می شود؛ بنابراین، فعالیت i و فعالیت j از یکدیگر دسترس پذیر هستند، اگر و تنها اگر $p_{ij}p_{ji} = 1$. همچنین در ماتریس Q اگر المانهای غیر صفر ردیف i - ام در ستونهای $J_1 -$ ام، $J_2 -$ ام، ...، $J_k -$ ام باشد، در این صورت، المان i ، المان J_1 ، المان J_2 ، ...، المان J_k تشکیل یک المان بشدت متصل را می دهند و المانهای متناظر با المانها در یک مجموعه وابسته هستند. ماتریس Q را می توان به صورت $P \cap P^T = (p_{ij})_{n \times n} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ نمایش داد که در این رابطه، p_i یک بردار ردیفی از n بُعد می باشد (کو، 2013).

ساختار درختی معماری محصول: در این مرحله، برای ایجاد ساختار

سلسله مراتبی معماری محصول، گامهای زیر انجام می شود (کو، 2013):

گام 1 - تشکیل ماتریس کاهش یافته (p): اگر در هر مجموعه المانهای وابسته در ماتریس دسترس پذیری (p) به یک المان ادغام شوند و ردیفها و ستونهای متناظر با مجموعه المانهای وابسته به یک ردیف و ستون ادغام شوند، در این صورت

ماتریس حاصله را ماتریس کاهش یافته از ماتریس دسترس پذیر (p) گویند و با $p \neq 0$ نمایش می دهند.

گام 2 - شناسایی روابط تعدی و بازگشتی: به منظور شناسایی روابط سلسله مراتبی بین المان های سطوح مختلف، می بایست روابط تعدی و بازگشتی موجود در ماتریس کاهش یافته شناسایی و حذف شوند. لذا برای این هدف، از تعاریف استفاده می شود.

تعریف 1- فرض کنید که R یک ماتریس بولی n بعدی باشد. اگر $R \in (I_{ij})_{n \times n}$ دارای روابط بازگشتی باشد در این صورت، $I_{ij} = 1$ است. شرط برقرار این تعریف، وجود المان با مقداری برابر با 1 در قطر ماتریس می باشد.

تعریف 2- فرض کنید که R یک ماتریس بولی n بعدی باشد. اگر $R \in (I_{ij})_{n \times n}$ دارای روابط بازگشتی باشد در این صورت، $R^n \subseteq R$ است.

گام 3- ماتریس روابط سلسله مراتبی (H): فرض کنید $p \neq 0$ ماتریس کاهش یافته از ماتریس تلاقی (A) باشد. سپس، ماتریس روابط سلسله مراتبی ماتریس کاهش یافته $p \neq 0$ برابر با $H = R - R^n$ می باشد که R^n ماتریس روابط تعدی حاصل از ماتریس کاهش یافته $p \neq 0$ با حذف روابط بازگشتی می باشد و $R = (P - h)$ که h ، ماتریس روابط بازگشتی ماتریس کاهش یافته $p \neq 0$ است.

گام 4- تحلیل ماتریس روابط سلسله مراتبی: فرض کنید H ماتریس روابط سلسله مراتبی حاصل از ماتریس کاهش یافته $p \neq 0$ باشد که روابط تعدی و بازگشتی آن حذف شده باشند و $H = (h_{ij})_{n \times n}$ باشد. در این صورت اگر $h_{ij} = 0$ و $h_{ji} = 1$ ($i \neq j$) باشد، در این صورت یک رابطه سلسله مراتبی بین المان های i و j وجود دارد که در این حالت، المان i المان بالادست المان j می باشد. به طور خاص، اگر $h_{ij} = 0$ ($j = 1, 2, \dots, n$) باشد، در این صورت المان j المان سطح بالایی است. از المان سطح بالا نتیجه گرفته می شود که شرط این که المان i به k امین سطح متعلق باشد این است که سطح ماکسیم المان بالادستی در سطح $(k-1)$ ام باشد.

تعیین معماری محصول در هر خوشه

کو در پژوهشی یک روش ساده و مؤثر برای تجزیه اجزاء مجموعه‌ها پیشنهاد نموده است. وی از یک مدل ماتریس ساختار طراحی فازی از طریق یک ارزیابی فازی توابع عضویت با متغیرهای زبانی استفاده نموده است. در ماتریس ساختار طراحی فازی اگر $a_{ji} > a_{ij}$ اطلاعات ورودی از جزء i به j بیشتر از اطلاعات ورودی از j به i است؛ بنابراین آن دارای اولویت بیشتری است و قطعاتی که دارای ضریب نفوذ بیشتری هستند در طول فرایند طراحی تکرار بیشتر و ابتدا بایستی اجرا شود؛ بنابراین، برای اولویت‌بندی اجزای درون پارایشن‌ها می‌توان از مقایسه جفتی قدرت وابستگی بین دو جزء محصول استفاده نمود. روش مقایسه زوجی برای اولویت بندی پارتیشن‌ها استفاده می‌شود. تعاریف مربوط به شرح زیر است (کو، 2013):

$$u_{ij} = \begin{cases} 1 & a_{ji} > a_{ij} \\ 0/5 & a_{ji} = a_{ij} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \\ 0 & a_{ji} < a_{ij} \end{cases} \quad \text{رابطه (13)}$$

$$v_j = \sum_{i=1}^n u_{ij} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad \text{رابطه (14)}$$

$$v_j = \sum_{i \in K} u_{ji} \quad (i \in K) \quad \text{رابطه (15)}$$

این محاسبات روش اولویت‌بندی برای تجزیه جفت قطعات در مجموعه‌ها استفاده می‌شود. اگر یک حلقه اطلاعات دوباره در بلوک ایجاد گردد، فرایند یافتن ارزش v_k جدید تکرار می‌گردد. پس از همه اجزای درون یک بلوک رتبه‌بندی شدند، تمام علائم بازخورد در بلوک بخش‌بندی می‌شود (کو، 2013).

یافته‌های پژوهش

ارائه یک برنامه یکپارچه برای طراحی ماسوره گلوله با استفاده از ماتریس ساختار طراحی و دیمتل فازی

گلوله از محصولات جدید است که در یکی از صنایع مهمات‌سازی کشور دریافت سفارش شده و در این تحقیق با یک رویکرد یکپارچه طراحی گردیده است که این سامانه دارای 17 المان می‌باشد که با توجه به نظر طراح، مرز المان‌ها تعیین شده است. برای جمع‌آوری و پیاده‌سازی الگو از نظرات 5 نفر از خبرگان مهمات‌سازی که در بخش طراحی این صنعت مشغول به فعالیت هستند، جهت اولویت‌بندی و تعیین میزان اهمیت معیارها استفاده شده است. لازم به ذکر است این مدل قابل تعمیم به سایر محصولات در این صنعت می‌باشد و علت ارائه مطالعه موردی سادگی درک و قابلیت بررسی مرحله به مرحله ارتباطات محصول می‌باشد، لذا با تغییر محصول می‌توان با استفاده از نظر خبرگان کلیه مراحل انجام و نتایج مطلوب جهت دسته‌بندی و پارتیشن‌بندی قطعات در معماری و مهندسی محصول دست یافت.

شناسایی نیازهای مشتریان و تشکیل ماتریس خانه کیفیت

با استفاده از این ماتریس و همچنین قالب‌های قبلی در مورد الزامات کارکردی از خبرگان خواسته شد در قالب خانه کیفیت، کلیه الزاماتی که توانایی برآورده کردن نیازهای مشتری را دارند در جلسه طوفان ذهنی مطرح کنند. سپس با مرور این ماتریس و دقت در سطرها و ستون ماتریس ارتباطات از برآورده شدن تمام الزامات کارکردی همان‌گونه که در جدول (1) آمده است، اطمینان حاصل گردید.

جدول 1. ماتریس خانه کیفیت ارتباط نیازهای مشتریان و الزامات کارکردی محصول

	وزن	قطعه J	قطعه B	قطعه M	قطعه D	قطعه E	قطعه F	قطعه G	قطعه H	قطعه I	قطعه A	قطعه K	قطعه O	قطعه C	قطعه N	قطعه L	قطعه P	قطعه Q
طی مسافت مناسب	0/8										9	9	9	9	9		9	9
عملکرد در زمان مناسب	0/8		9	3	1	9	9	9	1	9	9	3	3	9	9	9	3	3
ایمن بودن در حمل و نقل	0/7	9	3	3	3	3	3		9	1		9	3	3				
ایمن بودن در سلاح	0/11	3	9	3		1	1		9	1		3	3	9		3		
انفجار بموقع	0/5		3	9		9	9	9	1	9	3		3	9	3	9	3	1
عملکرد صحیح در هنگام برخورد	0/4			1		3	3	9	1	1	9	3	3	1	9	3	9	1
حرکت روان درون جان سلاح	0/21												3	1				3
عملکرد مناسب چاشنی	0/17												9	9				9
مسلح شدن راحت گلوله	0/18		9	3				3					3	9		1	9	9
e.w	0/02	/09	/04	/01	/04	/04	/05	/04	/03	/05	/05	/11	/16	/05	/04	/11	/08	
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
اهمیت		16	4	11	17	13	13	7	10	15	8	6	3	1	8	12	2	5

شناسایی ارتباطات الزامات کارکردی و پیشنهاد قطعات محصول در قالب ماتریس خانه کیفیت

با استفاده از الزامات کارکردی، قطعات پیشنهادی در محصول توسط تیم خبرگان ارائه گردیدند، به عبارت دیگر مشخص شد که برای جویگویی به هر الزام چه قطعه یا قطعاتی می‌توانند قرار بگیرند و یا چه قطعه یا قطعاتی توان برطرف کردن الزامات کارکردی را داراست و با توجه به ماتریس ارتباطات مطمئن گردیم الزامی از قلم نیفتاده یا قطعه‌ای زاید در نظر گرفته نشده است. ارتباط بین الزامات عملکردی و قطعات محصول در جدول (2) آمده است.

جدول (2): ماتریس خانه کیفیت ارتباط بین الزامات عملکردی و قطعات محصول

	وزن	طی مسافت مناسب	عملکرد در زمان مناسب	ایمن بودن در حمل و نقل	ایمن بودن در سلاح	انفجار بموقع	عملکرد صحیح در هنگام برخورد	حرکت روان درون جان سلاح	عملکرد مناسب چاشنی	مسلح شدن راحت گلوله
عدم اصابت به هدف	0/12	9	9		9	3	9	9	9	9
نرسیدن به هدف	0/8	9	9					9	9	
عدم انفجار در زمان حمل و نقل	0/22			9						
عدم انفجار در لوله سلاح	0/17				9			9	9	9
عدم انفجار در طول مسیر	0/5	9			3	9		9	9	9
عدم انفجار زود هنگام هدف	0/6					9		9	9	
عدم گیر کردن در لوله سلاح	0/1				3			9		9
پرتاب به موقع گلوله	0/11		3					1	3	1
عدم گیر کردن در مسلح نمودن	0/9							3		9
e.w		0/0834	0/0789	0/0734	0/1134	0/05	0/04	0/2076	0/1723	0/1809
اهمیت		5	6	7	4	8	9	1	3	2

محاسبه اهمیت ارتباطات بین قطعات با استفاده از دیمتل فازی

به منظور دسته‌بندی قطعات با استفاده از ماتریس ساختار طراحی ابتدا بایستی تمامی ارتباطات و تعاملاتی که بین اجزاء وجود دارد شناسایی گردد. بدین منظور طی جلسه‌های با حضور نخبگان صنعت تمامی انواع ارتباطات بین اجزاء شناسایی و ارتباط از نوع چرخشی، انتقالی، همراستایی، مکانیکی و دمایی به عنوان موثرترین تعاملات بین قطعات شناسایی شد.

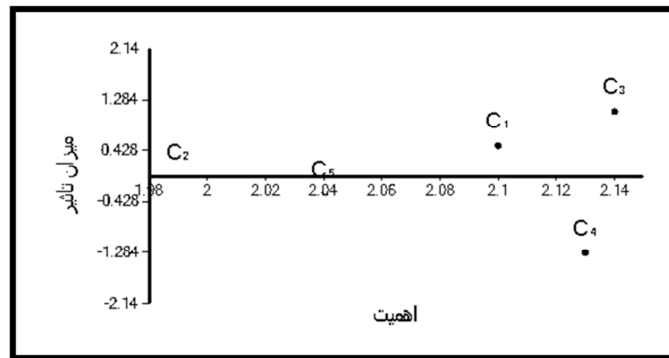
در این مرحله میزان اهمیت نوع ارتباطات $(\bar{D}_i + \bar{R}_i)$ و رابطه بین معیارها $(\bar{D}_i - \bar{R}_i)$ با استفاده از نظرات خبرگان و تکنیک دیمتل فازی بر اساس آنچه در قسمت مرور ادبیات اشاره شد، مشخص می‌گردد. اگر $\bar{D}_i - \bar{R}_i > 0$ باشد معیار مربوطه اثرگذار و اگر $\bar{D}_i - \bar{R}_i < 0$ باشد معیار مربوطه اثرپذیر است. جدول (3) در پیوست، میزان $\bar{D}_i + \bar{R}_i$ و $\bar{D}_i - \bar{R}_i$ را نشان می‌دهد.

جدول 3. اهمیت و تأثیرگذاری معیارها (اعداد قطعی)

$(\bar{D}_i - \bar{R}_i)_{def}$	$(\bar{D}_i + \bar{R}_i)_{def}$	نوع ارتباط بین اجزا
0/51	2/1	چرخشی C1
0/01-	1/99	انتقالی C2
1/09	2/14	همراستایی C3
1/28-	2/13	مکانیکی C4
0/31-	2/04	دمایی C5

شکل 3 میزان اهمیت و تأثیرگذاری و تأثیرپذیری بین معیارها را نشان می‌دهد. محور افقی نمودار اهمیت معیارها و محور عمودی تأثیرگذاری یا تأثیرپذیری معیارها را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود، همراستایی با تأثیرگذاری 2/14 بیشترین اهمیت را داراست و پس از آن معیارهای مکانیکی، چرخشی، دمایی و انتقالی از کمترین اهمیت برخوردار است، همچنین آیتم همراستایی بیشترین تأثیر را از سایر معیارها می‌پذیرد

و مهم‌ترین آیتم از دید خبرگان صنعت محسوب می‌شود. محاسبات مربوط به دیمتل فازی در پیوست یک مقاله آمده است.



شکل 3. روابط و اهمیت معیارها

تشکیل ماتریس ساختار طراحی

در این مرحله باید خوشه‌بندی ماتریس ساختار طراحی انجام شود. بدین منظور انواع ارتباطات شناسایی شده در محصول توسط خبرگان همانگونه که در شکل 6 آمده است مشخص می‌شود. با توجه به لزوم تعیین اجزاء مستقل و وابسته، با توجه به سطر و ستون‌های ماتریس ساختار طراحی اولیه، هیچکدام از المان‌ها به صورت مستقل شناسایی نشده و تمام اجزا با یکدیگر در ارتباط هستند و لذا تمام المان‌ها دارای ارتباط وابسته به هم می‌باشند. همانگونه که در جدول (4) مشخص است اهمیت نسبی تک تک قطعات که از ماتریس خانه کیفیت آمده است، مشخص شده است.

جدول 4. ماتریس ساختار طراحی فازی اولی

قطعه Q	قطعه P	قطعه O	قطعه N	قطعه M	قطعه L	قطعه K	قطعه J	قطعه I	قطعه H	قطعه G	قطعه F	قطعه E	قطعه D	قطعه C	قطعه B	قطعه A
0/07	0/11	0/04	0/04	0/15	0/1	0/04	0/04	0/03	0/04	0/04	0/03	0/03	0/007	0/04	0/08	0/02
								4c					4c	4c		0/0236 A
								2c								0/088 B
				4c					3c	3c						0/0432 C
														4c		0/0071 D
4c			4c													0/0381 E

ترکیب تکنیک دیمتل فازی و ماتریس ساختار طراحی برای طراحی ماسوره // 123

قطعه Q	قطعه P	قطعه O	قطعه N	قطعه M	قطعه L	قطعه K	قطعه J	قطعه I	قطعه H	قطعه G	قطعه F	قطعه E	قطعه D	قطعه C	قطعه B	قطعه A	
					5c												0/0381 F
						5c											0/487 G
								2c									0/0437 H
							2c			2c							0/0328 I
															3c	2c	0/0465 J
					4c												0/0498 K
							3c							3c		1c	0/107 L
						5c						5c					0/1553 M
								3c									0/0465 N
								4c			3c	3c					0/0425 O
						5c			5c					5c			0/1104 P
							5c				5c						0/0786 Q
								3c									

تشکیل ماتریس ساختار طراحی فازی

با توجه به نتایج حاصل از استفاده از تکنیک دیمتل فازی و ارتباطات مشخص شده در مرحله قبل، ماتریس ساختار طراحی فازی همانگونه که در جدول (5) آمده است حاصل می شود.

جدول 5. ماتریس ساختار طراحی فازی اولیه

قطعه Q	قطعه P	قطعه O	قطعه N	قطعه M	قطعه L	قطعه K	قطعه J	قطعه I	قطعه H	قطعه G	قطعه F	قطعه E	قطعه D	قطعه C	قطعه B	قطعه A	
0/0786	0/1104	0/0425	0/0465	0/1553	0/107	0/0498	0/0465	0/0328	0/0437	0/0487	0/0381	0/0381	0/0071	0/0432	0/088	0/0236	
								2/13					2/13		2/13		0/024 A
								1/99									0/088 B
							2/13		2/14	2/14							0/043 C
																2/13	0/007 D
					2/13												0/038 E
					2/04		2/04										0/038 F
									1/99								0/049 G
								1/99		1/99							0/044 H
															2/14	1/99	0/033 I
																	0/047 J
								2/14						2/14		2/1	0/05 K
											2/04						0/107 L
								2/14									0/155 M
									2/13			2/14	2/14				0/047 N
														2/04			0/043 O
																	0/11 P
																	0/079 Q

دوفصلنامه مدیریت مهندسی و رایانش نرم
سال سوم، شماره 2، پاییز و زمستان 1396

قطعه Q	قطعه P	قطعه O	قطعه N	قطعه M	قطعه L	قطعه K	قطعه J	قطعه I	قطعه H	قطعه G	قطعه F	قطعه E	قطعه D	قطعه C	قطعه B	قطعه A	P
0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	قطعه G
0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	قطعه H
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	قطعه I
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	قطعه J
0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	قطعه K
0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	قطعه L
0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	قطعه M
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	قطعه N
0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	قطعه O
0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	قطعه P
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	قطعه Q

در ادامه روند، ماتریس Q نیز بدست می‌آید. ماتریس Q مرتب شده در جدول (8)

نمایش داده شده است.

جدول 8. ماتریس Q مرتب شده

قطعه Q	قطعه P	قطعه O	قطعه N	قطعه M	قطعه L	قطعه K	قطعه J	قطعه I	قطعه H	قطعه G	قطعه F	قطعه E	قطعه D	قطعه C	قطعه B	قطعه A	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	قطعه A
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	قطعه B
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	قطعه C
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	قطعه D
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	قطعه E
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	قطعه F
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	قطعه G
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	قطعه H
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	قطعه I
0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	قطعه J
0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	قطعه K
0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	قطعه L
0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	قطعه M
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	قطعه N
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	قطعه O
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	قطعه P
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	قطعه Q

با توجه به ماتریس Q، ماتریس خوشه‌بندی ماتریس ساختار طراحی بدست می‌آید. ماتریس خوشه‌بندی نهایی ماتریس ساختار طراحی فازی در جدول (9) نمایش داده شده است. همانطور که در این شکل مشخص است اجزا محصول به چهار دسته اصلی تقسیم شده است که دسته اول آن شامل قطعه A، قطعه B، قطعه D و قطعه I، دسته دوم شامل قطعه C، قطعه G، قطعه H، قطعه K و قطعه M دسته سوم شامل قطعه E، قطعه J، قطعه N و قطعه Q و دسته آخر قطعه F، قطعه O، قطعه P و قطعه L می‌باشد.

جدول 9. ماتریس ساختار طراحی فازی نهایی

قطعه Q	قطعه P	قطعه O	قطعه N	قطعه M	قطعه L	قطعه K	قطعه J	قطعه I	قطعه H	قطعه G	قطعه F	قطعه E	قطعه D	قطعه C	قطعه B	قطعه A	
													0/076	0/076	0/076	قطعه A	
													0/099			قطعه B	
																0/006	قطعه C
														0/107	0/026		قطعه D
							0/248		0/070	0/077							قطعه E
										0/073							قطعه F
								0/234		0/073							قطعه G
								0/287				0/08				0/418	قطعه H
								0/285									قطعه I
				0/111	0/064												قطعه J
								0/079									قطعه K
				0/065		0/08	0/065										قطعه L
								0/134									قطعه M
0/148		0/144															قطعه N
0/417			0/144														قطعه O
0/165		0/161									0/065						قطعه P
	0/161		0/148														قطعه Q

تعیین ارتباطات بین خوشه‌های محصول

برای تعیین ارتباط بین خوشه‌ها همانگونه که در ادبیات تحقیق اشاره شد ابتدا بایستی ماتریس P مرتب شده همانگونه که در جدول (10) آمده است با استفاده از نتایج حاصله در ماتریس P تعیین گردد.

جدول 10. ماتریس مرتب شده ماتریس P

قطعه Q	قطعه P	قطعه O	قطعه N	قطعه M	قطعه L	قطعه K	قطعه J	قطعه I	قطعه H	قطعه G	قطعه F	قطعه E	قطعه D	قطعه C	قطعه B	قطعه A	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	قطعه A
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	قطعه B
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	قطعه C
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	قطعه D
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	قطعه E
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	قطعه F
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	قطعه G
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	قطعه H
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	قطعه I
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	قطعه J
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	قطعه K
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	قطعه L
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	قطعه M
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	قطعه N
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	قطعه O
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	قطعه P
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	قطعه Q

برای تشکیل روابط سلسله‌مراتبی المان‌های سامانه از روند پیشنهادی استفاده می‌شود و برای این منظور، ماتریس کاهش یافته ماتریس P (p_{ij}) استفاده می‌شود و این ماتریس در جدول (11) نمایش داده شده است. همانطور که در این ماتریس مشخص است به غیر از ارتباط هر یک از اجزاء با خودش تنها در بین پارتیشن دوم با اول و پارتیشن سوم با چهارم ارتباط برقرار می‌باشد.

جدول 11. ماتریس کاهش یافته P

4	3	2	1
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	1	1
1	1	1	1

با توجه به تعاریف 1 و 2، ماتریس‌های R و R^n به ترتیب در جداول (12) و (13) نمایش داده شده‌اند.

جدول 12. ماتریس R

4	3	2	1	R
0	0	0	0	1
0	0	0	1	2
0	0	1	1	3
0	1	1	1	4

جدول 13. ماتریس R^n

4	3	2	1	2R
0	0	0	0	1
0	0	0	0	2
0	0	0	1	3
0	0	1	1	4

در نهایت ماتریس ساختار روابط سلسله مراتبی (H) از تفاضل R و R^n حاصل می‌شود که در جدول (14) نمایش داده شده است. همانطور که در این شکل مشخص است با توجه به ماتریس حاصله با توجه به عدم وجود حلقه می‌توان اولویت هر یک از اجزا را بر یکدیگر تشخیص داد و با توجه به این ماتریس خوشه 1 در اولویت از خوشه 2 و خوشه 4 نیز در اولویت از خوشه 3 می‌باشد.

جدول 14. ماتریس روابط سلسله مراتبی

4	3	2	1	H
0	0	0	0	1
0	0	0	1	2
0	0	1	0	3
0	1	0	0	4

تعیین معماری محصول در هر خوشه

با استفاده از روش پیشنهادی که در قسمت 3-6 ارائه گردید به معماری محصول و ارتباطات بین اجزاء در هر پارتیشن می‌پردازیم. بدین منظور همانطور که در جدول (15) آمده است ماتریس ارتباطات چهار جزء قطعه A، قطعه B، قطعه D و قطعه I تشکیل می‌شود.

جدول 15. ماتریس ارتباط اجزاء دسته اول

قطعه I	قطعه D	قطعه B	قطعه A	
0/076987	0/076987	0/076987		قطعه A
0/099861				قطعه B
			0/006016	قطعه D
		0/107257	0/026076	قطعه I

حال با استفاده از روابط روش پیشنهادی جدول (16) حاصل و همانگونه که مشخص است، قطعه B دارای بیشترین ارتباط می‌باشد بنابراین قطعه B در مرکز قرار گرفته سپس روتور حذف و مجدداً ارتباط بررسی می‌شود.

جدول 16. ارتباطات داخلی اجزاء

قطعه I	قطعه D	قطعه B	قطعه A	
1	1	1		قطعه A
0				قطعه B
			0	قطعه D
		1	0	قطعه I
1	1	2	0	

حال مجدداً با استفاده از روابط ارتباط قطعات بررسی می‌شود، همانگونه که در جدول (17) مشخص است در این مرحله قطعه D و قطعه I حذف و تنها قطعه A باقی می‌ماند و بدین ترتیب تمامی ارتباط بین اجزاء در این پارتیشن مشخص می‌شود.

جدول 17. ماتریس بررسی ارتباط داخلی اجزاء

قطعه I	قطعه D	قطعه A	
1	1		قطعه A
		0	قطعه D
		0	قطعه I
1	1	0	

بدین ترتیب برای تمامی پارتیشن‌ها این عمل تکرار می‌شود و ارتباط بین تمامی اجزاء در تمامی دسته‌ها مشخص می‌شود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله با توجه به کاستی‌های ناشی از قطعیت تعاملات بین المان‌های یک سامانه که توسط اعداد صحیح نمایش داده می‌شود، از رویکرد فازی برای نمایش این نوع از تعاملات استفاده شد. مزیت استفاده از این روش، نمایش عدم قطعیت قدرت وابستگی تعاملات بین المان است که در حد امکان قدرت وابستگی بین المان قابل تفکیک و متمایز می‌شوند. روش پیشنهادی یک ابزار مفید برای تجزیه و تحلیل معماری طراحی محصول است. FDSM نمایش فشرده ساختار اطلاعات از روند طراحی و معماری محصول است. FDSM یک روش طراحی پیکربندی است که نظم بین اجزا طراحی و تأییدیه اجزای مورد نیاز را نشان می‌دهد. مدل یکپارچه از دو تکنیک FEM و DSM استفاده می‌کند. این تکنیک برای به دست آوردن نمودار سلسله‌مراتبی از تعاملات بین اجزا استفاده می‌نماید. همچنین برای بهبود فرایند طراحی و پیوند مهندسی محصول با نیازهای مشتریان و بهبود نیازهای ایشان از QFD استفاده شد. لذا یک رویکرد پیشنهادی برای خوشه‌بندی ماتریس ساختار طراحی با در نظر گرفتن ارتباطات بین اجزاء با استفاده از نظریه مجموعه اعداد فازی و تکنیک دیمتل فازی ارائه گردید که از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی می‌باشد. این الگو نقص عدم قطعیت و وجود اهمیت نسبی بین معیارها در پارتیشن‌بندی را رفع می‌نماید و کمک شایانی جهت کاهش دوره تکوین عمر محصول برای سازندگان به

همراه خواهد داشت. همچنین این الگو بر روی ماسوره گلوله با استفاده از نظر خبرگان پیاده‌سازی شده و علاوه بر خوشه‌بندی، اولویت بکارگیری المان‌ها و همچنین اهمیت وجودی المان‌ها از طریق یک ماتریس روابط سلسله‌مراتبی تعیین گردید. این روش دارای مزایای ذیل می‌باشد:

1. این روش جریان خصوصیات بین اجزا را شرح داده و اطلاعات ضروری برای خوشه‌بندی و تقدم میان اجزا را تعریف می‌کند.
2. استفاده از ماتریس خانه کیفیت موجب نزدیکی محدودیت‌ها و الزامات طراحی به نیازهای مشتریان می‌شود.
3. ماتریس تعاملات ارائه شده در مدل می‌تواند دانش طراحی را به مقادیر محاسباتی تبدیل نماید.
4. نمودار گرافیکی سلسله‌مراتبی روابط بین اجزای محصول را به صورت کاربرپسند نمایش می‌دهد.
5. استفاده از نظریه مجموعه فازی در این مدل می‌تواند به طراحان در جهت کمی کردن میزان وابستگی اجزای محصول برای تحلیل بهتر در روش دسته‌بندی کمک کند.

در تحقیقات آینده انتظار می‌رود با یکپارچه شدن این مدل با یک سیستم پشتیبان طراحی نرم‌افزاری طراحی محصولات توسعه و ارتقا یابد. به علاوه می‌توان این مدل را با در نظر گرفتن الزامات تعمیرپذیری و ساخت پذیری به عنوان نیازهای عمومی مشتری و کاهش دهنده هزینه در فازهای توسعه مهندسی و پساتوسعه تقویت نمود. همچنین می‌توان در تحقیقات بعدی با استفاده از شاخص اندازه‌گیری اثربخشی (OMOE) نسبت به اولویت‌بندی و انتخاب طرح‌های مفهومی در قالب مدل ارائه شده اقدام کرد. همچنین انتظار می‌رود که برای تعیین اهمیت المان‌ها از حالت سلسله‌مراتبی بکارگیری المان‌ها، از حالت‌های شبکه‌ای نیز استفاده شود و مشکلات ناشی از عدم سلسله‌مراتبی بودن روابط بین المان‌ها برطرف شود و این نوع روابط نیز در نظر گرفته شوند. همچنین نکته مهم این که با

توجه به مهندسی ارزش می توان در مرحله انتخاب قطعات، رویکرد هزینه را وارد کرد و قطعاتی را در نظر گرفت که بیشترین صرفه را از لحاظ ارزش داشته باشند. علاوه بر این می توان با توجه به اهمیت زمان و توالی عملیات در سیستم های تک کاره، کار روی طراحی و خوشه بندی سه بعدی DSM مبنی بر زمان را پیگیری کرد.

منابع

- Agha Ebrahimi Samani, B. Makooii, A. Sadr Lahiji, M. & Homayon, V. (2008), Assessment challenges of Iranian companies in oil and gas projects by DEMATEL Technique. Sharif Science and Research Journal. 24(45): 121-129.
- Andrew Harold Tilstra, Carolyn Conner Seepersad and Kristin L. Wood; (2012), a high-definition design structure matrix (HDDSM) for the quantitative assessment of product architecture, Journal of engineering design, Vol. 23, PP.767-789.
- Borjesson F and Holtta-Otto K (2012) Improved clustering algorithm for design structure matrix. In: Proceedings of the ASME 2012 international design engineering, 12–15 August, Chicago, IL.
- Browning T (2002) Process integration using the design structure matrix. Systems Engineering 5(3): 180–193.
- Chan, L. & Wu, M. (2002). Quality function deployment: A literature review. European Journal of Operational Research, 143, 463–497.
- Crawley EF, Weck OL, de Eppinger SD, et al. (2004) The influence of architecture in engineering system. Massachusetts Institute of Technology Engineering Systems Division Monograph, Cambridge, MA, March.
- Fernandez C (1998) Integration analysis of product architecture to support effective team co-location. Master's Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
- Holtta-Otto K and Weck OD (2007) Degree of modularity in engineering systems and products with technical and business constraints. Concurrent Engineering: Research and Applications 15(2): 113–126.
- Hsu-Fang Hung, Hsing-Pei Kao, Ying-Shen Juang, (2008) An integrated information system for product design planning, Expert Systems with Applications, Volume 35, Issues 1–2, Pages 338-349,
- Hsu-Fang Hung, Hsing-Pei Kao, Ying-Shen Juang, (2008), an integrated information system for product design planning, Expert systems with applications, PP.338-349.
- Jahanzaib Mirza (2016) ,A Framework for Implementing Quality Function Deployment for Utility Services Pakistan ,University of Engineering and Technology Taxila
- Ko, Y. T. (2013). Optimizing product architecture for complex design. Concurrent Engineering, 21(2), 87-102.
- Kretser Michael, (2016), Applying the Collapsing Design Structure Matrix Method to Develop Military Enterprise Systems Integration Plans USA: Air Force Institute of Technology
- Kushtrim Kuqi, Tim Eveleigh, Thomas Holzer, Shahryar Sarkani, (2012), Using Design Structure matrix for improving electronic medical record usability, IEEE.
- Li S (2011) A matrix-based clustering approach for the decomposition of design problems. Research in Engineering Design 22(4): 263–278.
- Lindemann U, Maurer MS and Braun T (2008) Structural Complexity Management: An Approach for the Field of Product Design. Berlin: Springer.
- M. Carrascosa, S. D. Eppinger, D. E. Whitney, (1998) Using the design structure matrix to estimate product development time, in: Proceedings of ASME Design Engineering Technical Conferences (DETC), Atlanta, Georgia, USA, 1-10.
- Maleki Mohammad, (2014), Structural Model for Evaluation of the Structural Complexity Dimensions of Health and Treatment Network of Firuzabad, Fars Province, Iran, Using Design Structure Matrix and Quality Function Deployment Techniques Iran: Islamic Azad University
- Mendel, J. M. (2001), Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic Systems: Introduction and New Directions, Prentice Hall PTR.
- Muhammad Adrees, (2003), Usability of the design structure matrix for automotive design engineering, Thesis: Master of Applied science, Mechanical Engineering, Ryerson University, Canada.
- Mujalda Sukhlal, (2015), An Application of Quality Function Deployment for Modular Kitchen India: IET
- Pimmler T and Eppinger SD (1994) Integration analysis of product decompositions. In: Proceedings of the ASME international conference on design theory and methodology, Minneapolis, MN, USA, 11–14 September, paper no. DE- 68L, pp. 343–351.
- S.D.Eppinger and T.R.Browning, (2012), Design structure matrix methods and applications, the Massachusetts Institute of Technology press. 1st edition.
- Sharman DM and Yassine AA (2007) Architectural valuation using the design structure matrix and real options theory. Concurrent Engineering: Research and Applications 15(2):157–173.

- Shegze Jin, Samuel Huang, (2010), Quality assessment planning using design structure matrix and resource constraint analysis, Thesis: Master of Science, mechanical engineering, Graduate school of the University of Cincinnati.
- Shekar B, Venkataram R and Satish BM (2011) Managing complexity in aircraft design using design structure matrix. *Concurrent Engineering: Research and Applications* 19(4): 283–294.
- Tarek AlGeddawy, (2014), A DSM Cladistics model for product family architecture design, 24th CIRP Design Conference, *Procedia CIRP* 21, 87 – 92.
- Thebeau R (2001) Knowledge management of system interfaces and interactions for product development processes. Master Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
- Yassine AA and Sreenivas RS (2008) Managing the exchange of information in product development. *European Journal of Operational Research* 184(1): 311–326.
- Yu TL, Yassine AA and Goldberg DE (2007) An information theoretic method for developing modular architectures using genetic algorithms. *Research in Engineering Design* 18: 91–109.

استناد به این مقاله: DOI: JEMSC-1801-1065 (R1) شناسه دیجیتال
کرباسیان، م؛ کاظمی، م؛ ایرانپور، گک. (1396). «ترکیب تکنیک دیمتل فازی و ماتریس ساختار طراحی برای طراحی ماسوره گلوله هوایی». دوفصلنامه مدیریت مهندسی و رایانش نرم، 3 (5)، 101-134.