

# بررسی و ارائه‌ی یک رویکرد تلفیقی از روش ماتریس ساختار طراحی محصول (DSM) و نظریه‌ی مجموعه‌ی فازی (FST) برای خوشه‌بندی محصول پیچیده

Research Note

مهدی کرباسیان\* (دانشیار)

ابوالفضل غلامی (دانشجوی کارشناسی ارشد)

دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر اصفهان

هدف این مقاله، خوشه‌بندی یک سامانه‌ی پیچیده از طریق ماتریس ساختار طراحی فازی است. برای این منظور، رویکرد ماتریس ساختار طراحی مبتنی بر محصول و همچنین روش خوشه‌بندی برای گروه‌بندی اجزا به‌کار رفته‌اند. با توجه به قطعی بودن اعداد در سابل‌های ماتریس ساختار طراحی و عدم تمایز در میزان قدرت وابستگی بین اجزا از طریق اعداد دودویی، از روش ارزیابی فازی برای تحلیل دقیق‌تر قدرت وابستگی بین اجزا استفاده شده که این امر موجب افزایش کارایی ماتریس ساختار طراحی در تحلیل سامانه‌ها شده است. برای در نظر گرفتن نوع تأثیرات روابط بین اجزای یک سامانه، که اهمیت ویژه‌ی دارد، با توجه به اهمیت وابستگی بین عوامل در این مقاله روش تحلیل شبکه‌ی به‌کار گرفته شده است. در انتها، بعد از پیاده‌سازی رویکرد پیشنهادی بر روی محصول سرومکانیسم با دو درجه آزادی، اجزای سرومکانیسم به سه خوشه‌ی وابسته و دو جزء مستقل تقسیم شده‌اند.

واژگان کلیدی: جزء، ماتریس ساختار طراحی مبتنی بر محصول، خوشه‌بندی، نظریه‌ی مجموعه‌ی فازی، روش تحلیل شبکه‌ی (ANP).

mkarbasian@yahoo.com  
 a.gholami92@mut-es.ac.ir

## ۱. مقدمه

ماتریس ساختار طراحی، موضوع و ابزاری جدید در حوزه‌ی طراحی و بهینه‌سازی است. موفقیت‌های کسب‌شده توسط مهندسان در حوزه‌ی طراحی و بهینه‌سازی محصولات با به‌کارگیری ماتریس ساختار طراحی چه در سطح محصولات نظامی و چه در سطح محصولات غیرنظامی اهمیت این ابزار را افزایش داده است. از این رو، نحوه‌ی پیدایش ماتریس ساختار طراحی، کاربردها، انواع، ویژگی‌ها، و مسائل مرتبط با آن برای آشنایی بیشتر، در این پژوهش بررسی می‌شود. اهمیت قدرت روابط در بین ارتباطات اجزای سامانه وجود سازوکار فازی‌سازی را در ماتریس ساختار طراحی الزامی کرده است. در این مقاله سعی شده است تا نظریه‌ی مجموعه‌ی فازی و همچنین مرور اجزای بر فنون تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌منظور ارائه‌ی یک مدل ماتریس ساختار طراحی فازی برای یک محصول پیچیده بیان شود.

پژوهش‌های مرتبط با گروه‌بندی این نوع ماتریس بررسی می‌شوند و سپس چهارچوب پیشنهادی برای گروه‌بندی ماتریس ساختار طراحی فازی ارائه می‌شود. در بخش بعد، روش پیشنهادی بر روی یک سامانه‌ی سرومکانیسم با دو درجه آزادی پیاده‌سازی می‌شود و در انتها، نتایج و یافته‌ها و همچنین پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی ارائه می‌شود.

## ۲. پیشینه‌ی پژوهش

### ۲.۱. ماتریس ساختار طراحی و ویژگی‌ها

ماتریس ساختار طراحی برای اولین بار توسط پروفیسور استوارد<sup>[۱]</sup> یکی از استادان دانشگاه ایالت کالیفرنیا در دهه‌ی ۷۰ میلادی در پژوهشی با عنوان «ماتریس ساختار طراحی: روشی برای طراحی سامانه‌های پیچیده» معرفی شد. وی در این پژوهش، این ماتریس را به‌عنوان ابزاری برای شناسایی وابستگی‌های بین کارها و برای توالی فرایند طراحی توسعه داد.<sup>[۲]</sup> تا اواسط دهه ۹۰ میلادی، ماتریس ساختار طراحی در

ساختار کلی این مقاله به‌این شرح است: در ابتدای این پژوهش، پیشینه‌ی ماتریس ساختار طراحی و ویژگی‌های آن بررسی می‌شود و سپس برخی از ویژگی‌های نظریه‌ی مجموعه‌ی فازی مورد بحث قرار می‌گیرد. در ادامه، با توجه به پیشینه‌ی مرتبط با

\* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۴/۸/۲۳، اصلاحیه ۱۳۹۵/۱/۲۵، پذیرش ۱۳۹۵/۴/۲۶.

DOI:10.24200/J65.2018.5550

این است که فقط حضور تعاملات را در بر نمی‌گیرند، بلکه قدرت تعاملات را نیز شامل می‌شوند.<sup>[۱۹]</sup> اگرچه استفاده از DSM‌های عددی مشکل بیان قدرت تعاملات بین اجزاء را برطرف می‌کند، این اعداد اندازه‌ی دقیق قدرت وابستگی بین اجزاء را نمی‌توانند به‌طور صحیح نمایش دهند؛ یعنی ممکن است قدرت وابستگی دو جزء را با یک عدد نمایش دهند ولی این تعیین قدرت وابستگی به‌طور دقیق صحیح نباشد. بنابراین، به‌منظور تعیین دقیق‌تر قدرت وابستگی بین اجزای سامانه از روش فازی برای تخمین قدرت وابستگی بین اجزای سامانه استفاده شده است. با توجه به این نکته، در این مقاله سعی شده است تا از تلفیق ماتریس ساختار طراحی و نظریه‌ی مجموعه‌ی فازی برای بیان دقیق قدرت وابستگی استفاده شود.

### ۲.۲. نظریه‌ی مجموعه‌ی فازی

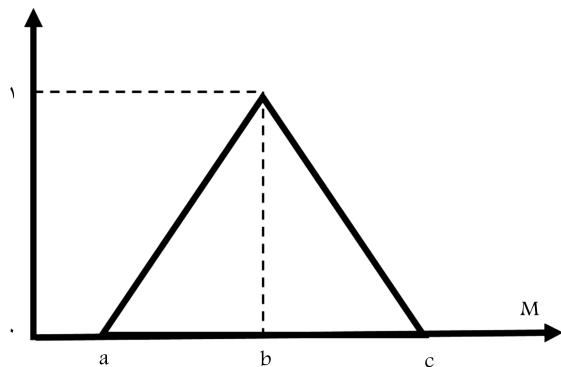
نظریه‌ی مجموعه‌ی فازی توسط پروفیسور لطفی‌زاده در ۱۹۶۵ میلادی در پژوهشی با عنوان «مجموعه‌های فازی» بنا نهاده شد. اگرچه در ابتدا این نظریه با مخالفت‌های پژوهشگران زیادی مواجه شد، اما با کاربرد شدن آن در دهه‌ی ۷۰ میلادی توسط ژاپنی‌ها و اروپایی‌ها و با توجه به تأثیرات آن بر روی تحلیل‌های مهندسی محققان زیادی آن را به‌کار گرفتند.<sup>[۲۰]</sup>

اعداد فازی به‌طور معمول در دو صورت قابل نمایش هستند: اعداد فازی مثلثی و اعداد فازی دوزنقه‌بی. با توجه به سهولت کاربرد اعداد فازی مثلثی، در این پژوهش از اعداد فازی مثلثی برای فازی‌سازی استفاده می‌شود.

عدد مثلثی را با  $\tilde{M} = (a, b, c)$  نمایش می‌دهند که پارامترها عبارتند از:  $a$  کمترین مقدار ممکن،  $b$  محتمل‌ترین مقدار و  $c$  بیشترین مقدار ممکن. پس این عدد می‌تواند بین  $a$  تا  $c$  تغییر کند. در شکل ۱ عدد فازی مثلثی به نمایش گذاشته شده است. یک عدد فازی  $\tilde{M} = (a, b, c)$  بر مجموعه‌ی  $\mathbb{R}$ ، یک عدد فازی مثلثی است اگر تابع عضویت  $\mu_{\tilde{M}}(x) : \mathbb{R} \rightarrow [0, 1]$  به صورت زیر باشد:

$$\mu_{\tilde{M}}(x) = \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & b \leq x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases}$$

در سامانه‌های عملی، اطلاعات مهمی از دو منبع تعیین می‌شوند. یکی از منابع استفاده از دانش خبرگان است که دانش و آگاهی خود را در مورد سامانه با زبان



شکل ۱. نمایش عدد فازی مثلثی.

کاربردهای صنعتی به‌کار نرفت تا اینکه برخی از استادان و دانشجویان تحصیلات تکمیلی دانشگاه ماساچوست ایالات متحده در زمینه‌های گوناگون در صنایع نظامی و غیرنظامی از آن استفاده کردند.<sup>[۲۱]</sup> ماتریس ساختار طراحی ابرازی معروف برای مدل‌سازی وابستگی‌های اجزای سامانه و همچنین مدل‌سازی معماری محصول است.<sup>[۲۲]</sup> و در دهه‌های اخیر اثربخشی و کارایی آن در زمینه‌های زیادی (از جمله: توسعه‌ی محصول، مدیریت پروژه، مهندسی سامانه‌ها، طراحی سازمان ...) ملموس شده است و در صنایع مختلفی (از جمله در صنایع اتومبیل، هوافضا، مخابرات، نیمه‌هادی‌ها و ...) به‌کار گرفته شده است.<sup>[۲۳]</sup>

ماتریس ساختار طراحی رایج‌ترین ابزار مورد استفاده در نمایش تعاملات موجود در بین اجزای یک سامانه یا محصول است.<sup>[۲۴]</sup> بنابراین، ماتریس ساختار طراحی یکی از ابزارهای طراحی است که اساساً با روابط بین اجزای سامانه‌ها سروکار دارد<sup>[۲۵]</sup> و یک ماتریس مربعی است که نمایشی بصری، فشرده و ساده را از سامانه ارائه می‌دهد.<sup>[۲۶]</sup> DSM به صورت یک ماتریس  $N \times N$  است که تعاملات بین مجموعه‌ی  $N$  جزء سامانه را نگاشت می‌کند.<sup>[۲۷]</sup> اجزای سامانه در اولین ردیف و اولین ستون ماتریس فهرست می‌شوند<sup>[۲۸]</sup> و هر سلول در ماتریس ساختار طراحی، تعاملات بین دو جزء را نمایش می‌دهد.<sup>[۲۹]</sup> سلول‌های روی قطر ماتریس، تعاملات اجزای خودشان بیان می‌کنند.<sup>[۳۰]</sup> از سوی دیگر، جزء روی قطر اصلی فهرست شده‌اند.<sup>[۳۱]</sup> این اجزای می‌توانند ویژگی‌های یک قسمت، بخش‌های یک مونتاژ، عناصر/اجزای یک سامانه، مهندسان یک گروه، یا کارها/وظایف یک فرایند باشند<sup>[۳۲]</sup> بنابراین، با توجه به نوع سامانه‌یی که می‌خواهد مدل شود، DSM می‌تواند انواع معماری‌های مختلف را نمایش دهد.<sup>[۳۳]</sup> برونینگ<sup>[۳۴]</sup> یکی از پیشگامان توسعه و معرفی ماتریس ساختار طراحی، دو طبقه‌بندی اصلی DSM را شناسایی کرد: ایستا و پویا (مبتنی بر زمان). DSM‌های ایستا بر روی تعاملات بین بخش‌ها و واحدهای سازمانی و همچنین بر اجزای و عناصر یک محصول تمرکز می‌کنند در حالی که DSM‌های پویا بر فرایندهای سازمانی که مبتنی بر زمان هستند، متمرکز می‌شود.<sup>[۳۵]</sup> برونینگ همچنین دسته‌ی دیگری را معرفی کرده است که به ماتریس‌های چند دامنه‌یی (MDM) معروف هستند؛ این ماتریس‌ها دو یا سه دامنه (یعنی، محصول، سازمان و فرایند) را به‌طور هم‌زمان در نظر می‌گیرند.<sup>[۳۶]</sup> با توجه به تمرکز این مقاله بر اجزای یک سامانه سرومکانیسم، DSM مورد استفاده از نوع DSM ایستاست.

مدل‌های DSM می‌توانند با استفاده از روش‌های تحلیلی مختلف مرتب‌سازی شوند. رایج‌ترین این روش‌ها، خوشه‌بندی و توالی‌سازی (پارتیشن‌بندی) است. تحلیل خوشه‌بندی اصولاً برای انواع شبکه‌های تعاملی موجود در مدل‌های DSM معماری سازمان و محصول به‌کار گرفته می‌شود. تحلیل توالی‌سازی اصولاً برای انواع شبکه‌های تعاملی مبتنی بر زمان در DSM به‌کار گرفته می‌شود.<sup>[۳۷]</sup> در این مقاله از خوشه‌بندی برای گروه‌بندی اجزای محصول استفاده می‌شود.

یکی از مشکلات ماتریس‌های ساختار طراحی کلاسیک، نوع نمایش تعاملات بین اجزای سامانه است. در عمل، اجزای سامانه‌ها معمولاً دارای قدرت درون‌وابستگی با درجات متنوعی هستند. بنابراین، قدرت درون‌وابستگی اجزای گروهی از جزء نباید فقط به صورت صفر یا ۱ در DSM دودویی مدیریت شود<sup>[۳۸]</sup> و از DSM‌های غیردودویی نیز استفاده شود. این DSM‌ها، که به ماتریس‌های ساختار طراحی عددی (NDSM)<sup>[۳۹]</sup> و به ماتریس ساختار طراحی دیجیتال<sup>[۴۰]</sup> نیز معروف هستند، در مقایسه با DSM‌های دودویی، می‌توانند ویژگی‌های زیادی را ارائه کنند که از این طریق، اطلاعات زیادی درباره‌ی روابط بین اجزای مختلف سامانه فراهم می‌شود.<sup>[۴۱]</sup> به‌هرحال، مدل‌های مبتنی بر DSM، همپوشانی و قدرت تعاملات متناظر را در نظر نمی‌گیرند. ویژگی قدرتمند این نوع DSM‌ها

شی و پلم کویت<sup>۸</sup> (۲۰۱۲) که از یک رویکرد ماتریس ساختار طراحی فازی در زمان بندی پروژه استفاده کردند، فلسفه ی رویکرد خود را چنین بیان می کنند: در رویکرد زمان بندی پروژه مبتنی بر ماتریس ساختار طراحی سنتی، مسئله این است که عامل های زمانی تبادل اطلاعات در تعیین مدت زمان مرحله ی برنامه ریزی یک پروژه امری سخت و مشکل است؛ حتی اگر جلسه یی با گروهی از خبرگان و متخصصان برگزار شود. در چنین مواقعی، وقتی از خبرگان در مورد برآورد عامل های زمانی تبادل اطلاعات مبتنی بر پروژه های قبلی مشا به پرسیده می شود، دادن زمان دقیق مخصوصاً برای پروژه های منظم تر همچون توسعه ی محصول جدید یا تغییرات سازمانی برای آن ها بسیار مشکل است. در چنین مواردی، برای خبرگان و متخصصان دادن یک عدد فازی (یا متغیر کلامی) نسبت به یک عدد قطعی، معقول تر و عملی تر است. بنابراین، به کارگیری رویکرد فازی در حل مسئله، ابهام مربوط به عامل های زمانی را در تبادل اطلاعاتی بین فعالیت ها تا حد زیادی رفع می کند از این روست که با ماتریس ساختار طراحی ادغام می شود.<sup>[۲۲]</sup>

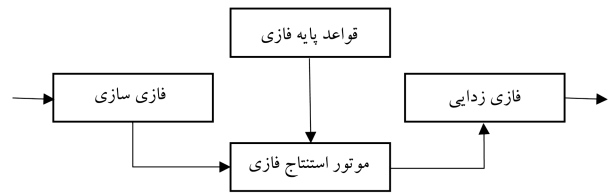
با توجه به مشخصه های ماتریس ساختار طراحی و اهداف پژوهش های پیشین، برای تعیین چهارچوب نظری پژوهش، رویکردهای پیشنهادی در تحقیقات گذشته بررسی می شود.

۹ و همکاران (۲۰۰۹) برای برنامه ریزی جریان کار مبتنی بر ساختار در فرایند مدیریت توسعه ی محصول جدید، از ماتریس ساختار طراحی و نظریه ی مجموعه ی فازی استفاده کردند و رویکردی را ارائه دادند. روند کلی این رویکرد این گونه است که در ابتدا، مدل سازی اطلاعات از طریق توصیف روابط موجود در بین فعالیت های طراحی با یک گراف جهت دار انجام می شود و روابط وابستگی بین فعالیت با ماتریس ساختار طراحی نمایش داده می شود. در مرحله ی دوم، برنامه ریزی کلی طراحی جریان کار با استفاده از روش عملیات ماتریس بولی مبتنی بر فن جبری ساخته می شود. در نهایت، مهندسی مجدد فرایند طراحی از طریق برنامه ریزی محلی مبتنی بر ماتریس ساختار طراحی فازی به دست می آید.<sup>[۲۳]</sup>

کو<sup>۱۰</sup> (۲۰۱۰) نیز روش برنامه ریزی پویا را برای مدیریت توسعه ی محصول جدید ارائه کرد. او نیز در روش پیشنهادی از ترکیب ماتریس ساختار طراحی و نظریه ی مجموعه ی فازی استفاده کرد. روش پیشنهادی کو از دو مرحله ی اصلی تشکیل می شود: روش ارزیابی فازی و رویکرد ماتریس ساختار فازی. مراحل اصلی ماتریس ساختار طراحی فازی در پژوهش کو به شرح زیر است:

۱. فهرست همه ی فعالیت های مرتبط با ماتریس ساختار طراحی فازی،
۲. تعیین قدرت وابستگی بین فعالیت های طراحی،
۳. روند خوشه بندی،
۴. روند قرنطینه سازی.<sup>[۲۴]</sup>

لین<sup>۱۱</sup> و همکاران (۲۰۱۲) یک رویکرد فازی را برای توالی فعالیت های درون وابسته در یک ماتریس ساختار طراحی ارائه دادند. آن ها فرض کردند که فازی زدایی وابستگی فعالیت ها به آسانی امکان ندارد و یک رویکرد جدید با استفاده از نظریه ی مجموعه ی فازی توسعه دادند. لین و همکاران همچنین یک الگوریتم جدید توسعه دادند که برای به دست آوردن یک توالی بهتر نسبت به الگوریتم اصلی کاراتر و تضمینی تر است.<sup>[۲۵]</sup> رویکرد پیشنهادی برای ماتریس ساختار طراحی فازی در ادامه به تفصیل بیان خواهد شد.



شکل ۲. طرحواره ی یک سامانه فازی.

طبیعی تعریف می کنند و منبع دیگر، اندازه گیری و مدل های ریاضی هستند که از قواعد فیزیکی مشتق شده اند. بنابراین مسئله ی مهم، ترکیب این دو نوع اطلاعات در طراحی سامانه هاست. به این منظور باید دانش بشری را مشابه ریاضی فرمول بندی کرد. این تبدیل توسط یک سامانه فازی انجام می شود. سامانه های فازی پدیده های غیرقطعی و نامشخص را توصیف می کنند. در شکل ۲ طرحواره ی یک سامانه فازی نشان داده شده است. همان گونه که ملاحظه می شود، یک سامانه فازی شامل سه بخش فازی سازی، موتور استنتاج فازی و فازی زدایی است.

- **فازی سازی<sup>۴</sup>:** مرحله ی تعریف مجموعه های فازی برای متغیرهای ورودی و خروجی، فازی سازی نامیده می شود. برای تعریف این مجموعه های فازی باید دانش اولیه یی از دامنه ی تعریف هرکدام از این متغیرها وجود داشته باشد. در طبقه بندی توابع عضویت، داده های ورودی به صورت مجموعه های فازی مانند «بالا»، «متوسط»، «پایین» و... تقسیم می شود که دامنه ی تمام داده های ورودی به وسیله چنین متغیرهایی با نسبت دادن درجه ی عضویت مشخص می شود.
- **استنتاج فازی<sup>۵</sup>:** قلب یک سامانه فازی یک پایگاه قواعد فازی است که از قواعد «اگر... آنگاه...» تشکیل شده است. این مجموعه قواعد بر اساس دانش افراد خبره یا دانش حوزه ی مورد بررسی به دست می آید. موتور استنتاج فازی با انجام پردازش هایی روی قوانین فازی و سایر داده های موجود در پایگاه اطلاعات، پاسخ مورد نظر را که به شکل عبارات زبانی فازی یا مقادیر فازی است، تعیین می کند. سامانه های فازی مختلف از اصول و روش های متفاوتی برای ترکیب قواعد فازی استفاده می کنند.
- **فازی زدایی<sup>۶</sup>:** گاهی مواقع لازم است تا دو عدد فازی را با هم مقایسه و مشخص کرد که کدام یک بزرگ تر از دیگری است. گاهی اوقات نیز به دلیل متغیرهای زیاد و محاسبات گسترده ی اعداد فازی، به ناچار اعداد فازی را باید به اعداد قطعی<sup>۷</sup> تبدیل کرد. پس بعضی مواقع ممکن است لازم باشد تا سطح خروجی فرایند استنتاج فازی را در قالب یک عدد معمولی بیان کرد. فرایند تبدیل اعداد فازی به اعداد حقیقی قطعی فازی زدایی نامیده می شود.<sup>[۲۰]</sup>

### ۳. ماتریس ساختار طراحی فازی

رویکرد «فازی سازی ماتریس ساختار طراحی» یا «ماتریس ساختار طراحی فازی» یک رویکرد جدید در پژوهش های مرتبط با ماتریس ساختار طراحی است. اگرچه برای ماتریس ساختار طراحی فازی تعریف مشخص و خاصی در پژوهش ها بیان نشده است، به طور مشترک در بین پژوهش های قبلی، ماتریس ساختار طراحی فازی اهداف زیر را دنبال می کند:

- کمی سازی و تعیین قدرت وابستگی تعاملات بین اجزای محصول،
- توجه هم زمان به فازی بودن و عدم قطعیت تعاملات موجود.

جدول ۱. متغیرهای کلامی و تابع عضویت و اعداد فازی متناظر.

متغیر کلامی	تابع عضویت	عدد فازی
اهمیت نسبتاً برابر	$(0, 0/1, 0/3)$	$\tilde{1}$
اهمیت کمی مهم‌تر	$(0/1, 0/3, 0/5)$	$\tilde{2}$
اهمیت مهم‌تر	$(0/3, 0/5, 0/7)$	$\tilde{3}$
اهمیت خیلی مهم‌تر	$(0/5, 0/7, 0/9)$	$\tilde{4}$
اهمیت کاملاً مهم‌تر	$(0/7, 0/9, 1)$	$\tilde{5}$

#### ۲.۳.۴. استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌یی

از فرایند تحلیل شبکه‌یی به منظور تعیین مقادیر فازی استفاده می‌شود. در هنگام فازی‌سازی قدرت وابستگی بین اجزای محصول و وجود چندین عامل مختلف در ارتباط با برخی از اجزای دیگر محصول تحلیل و فهم مناسب طراح را کم می‌کند. بنابراین به جای نمایش تعاملات بین دو جزء با چند عدد مختلف که باعث سردرگمی طراح یا خواننده می‌شود، بهتر است از یک عدد که نماینده آن چند عدد است و تأثیرات آن چند عدد را به خوبی نمایش می‌دهد، استفاده شود. با توجه به اینکه در رویکردهای مشابه از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) برای تعیین اعداد فازی استفاده کرده‌اند و در این فرایند، روابط غیرسلسله‌مراتبی در نظر گرفته نمی‌شود، در این پژوهش از روند تحلیل فرایند شبکه‌یی (ANP) استفاده می‌شود و روند آن به صورت زیر است:

- **تعیین ساختمان:** هدف، معیارها و گزینه‌های موجود برای تعیین ساختار فرایند تحلیل شبکه‌یی در این مرحله تعیین می‌شوند. ساختمان ANP نیز می‌تواند با AHP شباهت داشته باشد و در برخی موارد همچون روابط داخلی بین اجزا یا روابط غیرسلسله‌مراتبی با یکدیگر متفاوت باشند.
- **تشکیل ماتریس مقایسات زوجی:** با توجه به ساختار تعریف شده (گام قبلی) نظرات خبرگان و تصمیم‌گیرندگان در قالب مقایسات زوجی و بر اساس اعداد فازی مثالی اخذ می‌شود. سؤال مرسوم برای این امر می‌تواند چنین بیان شود که «کدام یک از دو معیار از اهمیت بیشتری برخوردار است؟». پس از بررسی پاسخ دریافت شده از افراد مرتبط با موضوع، ماتریس می‌تواند به صورت زیر تکمیل شود.

$$\tilde{C} = \begin{bmatrix} \tilde{1} & \tilde{c}_{12} & \dots & \tilde{c}_{1n} \\ \tilde{c}_{21} & \tilde{1} & \dots & \tilde{c}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{c}_{n1} & \tilde{c}_{n2} & \dots & \tilde{1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{1} & \tilde{c}_{12} & \dots & \tilde{c}_{1n} \\ \tilde{c}_{21}^{-1} & \tilde{1} & \dots & \tilde{c}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{c}_{n1}^{-1} & \tilde{c}_{n2}^{-1} & \dots & \tilde{1} \end{bmatrix}$$

که:

$$\tilde{c}_{ij} = \begin{cases} \tilde{1}, \tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{7}, \tilde{9} \\ \tilde{1}, i = j \\ \tilde{1}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{9}^{-1} \end{cases}$$

- **محاسبه‌ی وزن‌های فازی هر معیار:** برای انجام این مرحله در ادبیات، روش‌های مختلفی وجود دارد. از این روش‌ها می‌توان به روش لارنون و پدریکز<sup>۱۴</sup>، روش میانگین هندسی بوکلی<sup>۱۵</sup>، روش تحلیل گسترش یافته چانگ<sup>۱۶</sup> و روش فاصله‌یی چنگ و مون<sup>۱۷</sup> اشاره کرد. از بین این روش‌ها به دلیل قابل فهم بودن جواب برای کاربران مختلف، روش میانگین هندسی بوکلی استفاده می‌شود.

#### ۴. رویکرد پیشنهادی برای روش ماتریس ساختار طراحی فازی

رویکرد پیشنهادی برای فازی‌سازی ماتریس ساختار طراحی یک محصول از مراحل زیر تشکیل می‌شود.

#### ۱.۴. شناسایی اجزای محصول

برای شناسایی اینکه چه اجزایی باید در سلول‌های ماتریس ساختار طراحی قرار گیرد یا در معماری سامانه هدف گنجانده شوند، مفاهیم زیر باید در نظر گرفته شوند:

**مرزها<sup>۱۲</sup>:** حدود سامانه‌یی که برای طراحی تعیین می‌شود ممکن است برای تحلیلگر قابل درک نباشد. پس انتخاب مرزهای سامانه باید به صورتی باشد که همه‌ی عناصر و تعاملاتی را که تمایل به نمایش آن‌ها در مدل DSM وجود دارد، در بر بگیرد. برای اهمیت تعیین مرزها، مدل DSM سامانه کنترل هوای خودرو را در نظر بگیرید که در آن، موتور خودرو خارج از مرزهای سامانه DSM قرار می‌گیرد.

**مقارن<sup>۱۳</sup>:** بیشتر تعاملات در DSM‌های معماری محصول، مقارن هستند. به عبارت دیگر، از لحاظ نمایش یک گراف جهت‌دار دارای یک ارتباط دوسویه هستند. تعاملات مقارن می‌توانند به نوع تعاملات موجود در مدل وابسته باشند.

**شناسایی تعاملات:** داده‌های DSM ممکن است از اسناد، مشخصات فنی و موارد دیگر به دست بیایند. به هر حال، برای بیشتر مدل‌های DSM محصول، گردآوری داده حداقل نیازمند برگزاری چند جلسه با خبرگان است که از اهداف معماری محصول فهم صحیحی کسب شود؛ ممکن است موارد ذکر شده در این جلسات، در اسناد و مشخصات فنی نیامده باشد. البته این نکته حائز اهمیت است که خبرگان و متخصصان امر باید با هوشیاری و دقت روابط و مشخصات موردنیاز را برای شناسایی تعاملات محصول بیان کنند.

#### ۲.۴. تشکیل ماتریس ساختار طراحی اولیه

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

#### ۳.۴. روند ارزیابی 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 عناصر دودویی موجود در سلول‌های DSM به اعداد فازی تبدیل شوند و تمایز بین قدرت تعاملات بین اجزای محصول تعیین و مشخص شوند. روند ارزیابی فازی به صورت زیر است.

#### ۱.۳.۴. تعیین محدوده‌ی اعداد فازی

اعداد فازی مثالی طبق جدول ۱ در بازه‌ی [۰, ۱] با توجه به متغیرهای کلامی و تابع عضویت در نظر گرفته می‌شود.

با صفر) یا هیچ‌گونه خروجی ندارند (اجزایی با مجموع ستونی برابر با صفر) و در هنگام ترسیم ساختار سلسله‌مراتبی محصول در ابتدا و انتهای ساختار قرار می‌گیرند.

۲. شناسایی اجزای وابسته: هدف یافتن اجزایی به شدت وابسته (متصل) در FDSM است. برای این امر، مراحل زیر پیشنهاد می‌شود:

گام ۱. ابتدا ماتریس مجاورت FDSM به یک ماتریس دودویی تبدیل می‌شود (سلول‌های پر شده با عدد یک نمایش داده می‌شود و در بقیه صفر قرار داده می‌شود). سپس ماتریس حاصل که با ماتریس مجاورت گراف متناظر است، ماتریس  $B$  نام‌گذاری می‌شود.

گام ۲. ماتریس  $A$  از طریق معادله‌ی زیر به دست می‌آید:

$$A = (B \oplus I_n)$$

که  $B$  ماتریس مجاورت،  $I_n$  ماتریس بولی همانی  $1^n$  از بُعد  $n$  و  $\oplus$  جمع بولی است. هدف از این عملیات، تعیین همه مسیرهای موجود در ماتریس به همراه خود اجزا است. در واقع با این عملیات، دورها و حلقه‌هایی که شامل خود اجزا هم هستند، تشخیص پذیر می‌شوند.

گام ۳. ماتریس دسترس پذیری  $P$  به صورت زیر تشکیل می‌شود:

$$P = (B \oplus I_n)^n = (A)^n = (p_{ij})_{n \times n}$$

که در این معادله،  $\oplus$  عملگر جمع بولی است و  $n$  یک عدد صحیح مثبت است و اگر  $X = (x_{ij})_{n \times n}$  و  $Y = (y_{ij})_{n \times n}$  سپس  $W = X \oplus Y = (w_{ij})_{n \times n}$  که  $w_{ij} = x_{ij} \vee y_{ij}$ .

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

گام ۴. تشکیل ماتریس اتصالات قوی  $Q$  (۲): این ماتریس از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Q = P \cap P^T = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \dots & p_{nn} \end{bmatrix} \cap \begin{bmatrix} p_{11} & p_{21} & \dots & p_{n1} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{1n} & p_{2n} & \dots & p_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{11}^2 & p_{12} \cdot p_{21} & \dots & p_{1n} \cdot p_{n1} \\ p_{21} \cdot p_{12} & p_{22}^2 & \dots & p_{2n} \cdot p_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} \cdot p_{1n} & p_{n2} \cdot p_{2n} & \dots & p_{nn}^2 \end{bmatrix}$$

که در این رابطه، ماتریس  $P = (p_{ij})_{n \times n}$  یک ماتریس دسترس پذیر است و  $P^T$  ترانهاده‌ی ماتریس  $P$  است. اگر از جزء  $i$  به جزء  $j$  دسترسی باشد، در این صورت  $p_{ij} = 1$ . اگر از جزء  $j$  به جزء  $i$  دسترسی باشد، در این صورت  $p_{ji} = 1$ . بنابراین، فعالیت  $i$  و فعالیت  $j$  از یکدیگر دسترس پذیر هستند، اگر و تنها اگر  $p_{ij} \cdot p_{ji} = 1$ . همچنین در ماتریس  $Q$  اگر نمادهای غیرصفر ردیف  $i$  -  $j_1$ ،  $j_2$  -  $j_3$ ، ...،  $j_k$  -  $j_m$  باشد، در

بوکلی (۱۹۸۵) برای محاسبه‌ی وزن‌های فازی هر معیار از روش میانگین هندسی سطرها استفاده می‌کند. این روش در معادله‌ی زیر بیان شده است:

$$\tilde{z}_i = [\tilde{c}_{i1} \otimes \tilde{c}_{i2} \otimes \dots \otimes \tilde{c}_{in}]^{\frac{1}{n}}; \quad \forall i = 1, 2, \dots, n$$

در این معادله،  $\tilde{c}_{ij}$  مقدار مقایسات فازی معیار  $i$  به معیار  $j$  است.

• نرمال‌سازی میانگین‌های هندسی: برای نرمال‌سازی میانگین‌های هندسی از معادله‌ی زیر استفاده می‌شود:

$$\tilde{w}_i = \frac{\tilde{z}_i}{\tilde{z}_1 \oplus \tilde{z}_2 \oplus \dots \oplus \tilde{z}_n}$$

که در این معادله،  $\tilde{z}_i$  میانگین هندسی مقدار مقایسات فازی معیار  $i$  به هر معیار  $i$  و وزن فازی  $i$  -  $\tilde{w}_i$  است.

• تشکیل ابر ماتریس بی‌وزن: بر اساس درون وابستگی‌های موجود در شبکه، ماتریس ابر ماتریس تشکیل می‌شود. در واقع، ابر ماتریس یک ماتریس خوشه‌بندی شده است که در آن زیر ماتریس‌ها، هدف، معیارهای سطوح مختلف و در انتها، گزینه‌ها هستند. در اینجا به علت استفاده از ANP برای تعیین وزن، سطح گزینه در این ساختار وجود ندارد.

• به دست آوردن جلا ابر ماتریس: برای به دست آوردن وزن‌های نهایی، هر ستون ابر ماتریس باید به یک عدد مشخص همگرا شود؛ برای این کار ابر ماتریس را تا حد امکان به توان می‌رسانند تا به یک عدد مشخص (برای هر ستون) همگرا شود. با توجه به اینکه وزن‌های به دست آمده از ابر ماتریس وزن‌دار به صورت فازی (اعداد فازی مثلثی) هستند، برای درک بیشتر از ماتریس ساختار طراحی فازی، ضروری است تا اعداد فازی حاصل از ابر ماتریس را غیرفازی کرد. برای این هدف، مرحله‌ی بعد پیاده‌سازی می‌شود.

• فازی زدایی: با توجه به روش‌های ذکر شده برای فازی زدایی اعداد فازی مثلثی، استفاده از روش گرانیگاه می‌تواند آسان و مناسب باشد. فرایند فازی زدایی روش گرانیگاه به صورت زیر است:

$$DFCOA = \frac{(u-l) + (m-l)}{3} + l$$

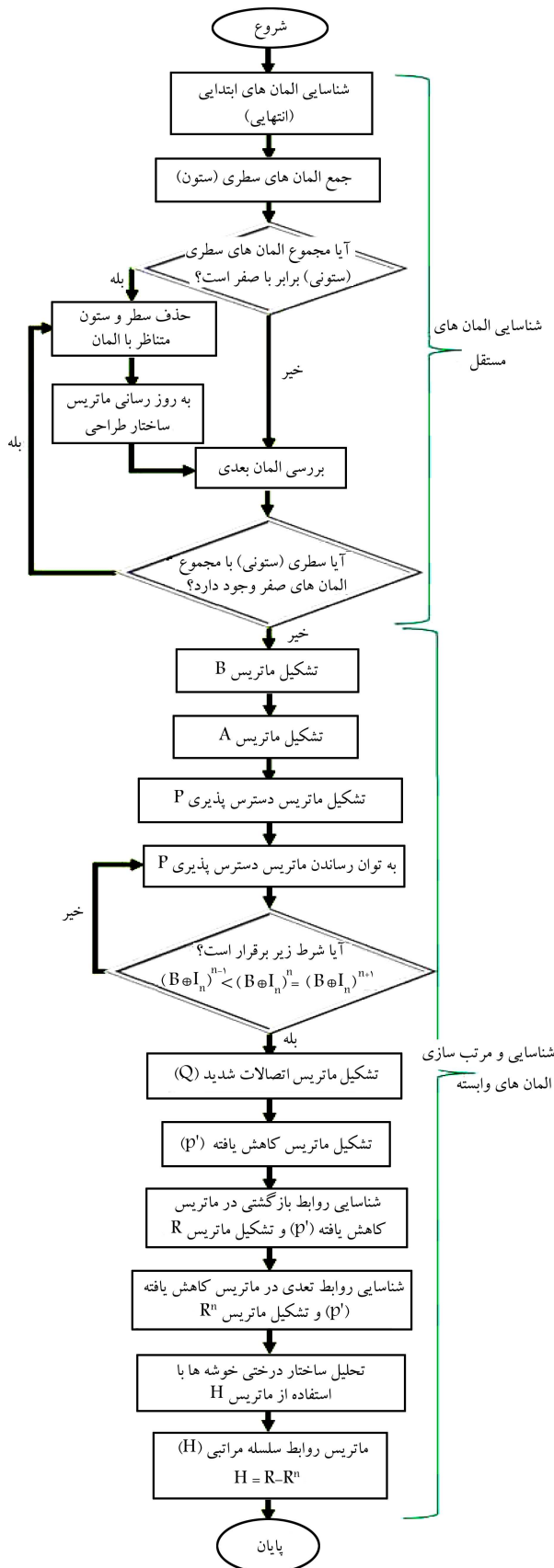
در اینجا،  $m$ ،  $u$  و  $l$  به ترتیب، میانگین، کران بالا و کران پایین عدد فازی مثلثی هستند.

با توجه به مراحل بالا، قدرت وابستگی بین اجزای محصول که باید در سلول‌های ماتریس ساختار طراحی فازی قرار بگیرد، به دست می‌آید.

#### ۴.۴. خوشه‌بندی معماری محصول

این مرحله از دو گام اصلی تشکیل می‌شود: ۱. مرتبه‌سازی اجزای مستقل؛ ۲. شناسایی اجزا وابسته.

۱. مرتبه‌سازی اجزای مستقل: اجزایی که مجموع نمادهای عناصر سطری یا مجموع نمادهای عناصر ستونی آن‌ها برابر با صفر باشد، عناصر مستقل هستند. عناصری که مجموع نماد عناصر سطری برابر با صفر دارند، در درخت سلسله‌مراتب به بالای DSM منتقل می‌شوند و اجزایی که مجموع نمادهای ستونی آن‌ها برابر با صفر است به پایین DSM منتقل می‌شوند. در واقع هدف از این جابه‌جایی، تعیین اجزایی است که یا هیچ‌گونه ورودی ندارند (اجزایی با مجموع سطری برابر



شکل ۳. فلوجارت پیشنهادی برای خوشه بندی ماتریس ساختار طراحی فازی.

این صورت، جزء  $i$ ، جزء  $j_1$ ، جزء  $j_2$ ، ...، جزء  $j_k$  یک جزء به شدت متصل تشکیل می دهند و اجزای متناظر با اجزا در یک مجموعه وابسته هستند. ماتریس  $Q$  را می توان به صورت  $P \cap P^T = (p_{ij})_{n \times n} = (p_1, p_2, \dots, p_n)^T$  نمایش داد که در این رابطه،  $p_i$  یک بردار ردیفی از  $n$  بعد است.

#### ۵.۴. ساختار درختی معماری محصول

در این مرحله، برای ایجاد ساختار سلسله مراتبی معماری محصول، گام های زیر انجام می شود:

گام ۱. تشکیل ماتریس کاهش یافته ( $p'$ ): اگر در هر مجموعه، اجزای وابسته در ماتریس دسترس پذیری ( $p$ ) به یک جزء ادغام شوند و ردیف ها و ستون های متناظر با مجموعه اجزای وابسته به یک ردیف و ستون ادغام شوند، در این صورت ماتریس حاصل را ماتریس کاهش یافته از ماتریس دسترس پذیر ( $p$ ) می گویند و با  $p'$  نمایش می دهند.

گام ۲. شناسایی روابط تعدی و بازگشتی: به منظور شناسایی روابط سلسله مراتبی بین اجزای سطوح مختلف، باید روابط تعدی و بازگشتی موجود در ماتریس کاهش یافته شناسایی و حذف شوند. برای این هدف، از تعاریف زیر استفاده می شود:

تعریف ۱. فرض کنید که  $R$  یک ماتریس بولی  $n$  بعدی باشد. اگر  $R \in (r_{ij})_{n \times n}$  دارای روابط بازگشتی باشد در این صورت،  $r_{ij} = 1$  شرط برقرار این تعریف، وجود اجزا با مقداری برابر با ۱ در قطر ماتریس است.

تعریف ۲. فرض کنید که  $R$  یک ماتریس بولی  $n$  بعدی باشد. اگر  $R \in (r_{ij})_{n \times n}$  دارای روابط بازگشتی باشد در این صورت،  $R^n \subseteq R$ .

گام ۳. ماتریس روابط سلسله مراتبی ( $H$ ): فرض کنید  $p'$  ماتریس کاهش یافته از ماتریس مجاورت ( $A$ ) باشد. ماتریس روابط سلسله مراتبی ماتریس کاهش یافته  $p'$  برابر با  $H = R - R^n$  است که  $R^n$  ماتریس روابط تعدی حاصل از ماتریس کاهش یافته  $p'$  با حذف روابط بازگشتی است و  $R = (P' - h)$  که  $h$  ماتریس روابط بازگشتی ماتریس کاهش یافته  $p'$  است.

گام ۴. تحلیل ماتریس روابط سلسله مراتبی: فرض کنید  $H$  ماتریس روابط سلسله مراتبی حاصل از ماتریس کاهش یافته  $p'$  باشد که روابط تعدی و بازگشتی آن حذف شده باشند و  $H = (h_{ij})_{n \times n}$ . در این صورت:

اگر  $h_{ij} = 1$  و  $h_{ji} = 0$ ،  $(i \neq j)$  در این صورت یک رابطه سلسله مراتبی بین اجزای  $i$  و  $j$  وجود دارد که در این حالت، جزء  $i$  جزء بالادست جزء  $j$  است. به طور خاص، اگر  $h_{ij} = 0$ ،  $(j = 1, 2, \dots, n)$ ، در این صورت جزء  $j$  جزء سطح بالایی است. از جزء سطح بالا نتیجه گرفته می شود که شرط اینکه جزء  $i$  به  $k$ -آمین سطح متعلق باشد این است که سطح پیشینه ی جزء بالادستی در سطح  $(k-1)$  ام باشد.

با توجه به مراحل و گام های موجود در رویکرد پیشنهادی برای خوشه بندی و تحلیل ماتریس ساختار طراحی فازی، فلوجارت رویکرد پیشنهادی در شکل ۳ نمایش داده شده است.

	MB	PR	VR	PSV	TSV	CAM	UFP	CH	PBS	TBOX	TB	PB	C
MB	1	1	1	1					1			1	
PR	1	1	1	1					1			1	
VR	1	1	1	1					1			1	
PSV	1	1	1	1					1			1	
TSV	1	1	1	1	1		1		1	1	1	1	
CAM	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
UFP	1	1	1	1	1		1		1	1	1	1	
CH	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PBS	1	1	1	1					1			1	
TBOX	1	1	1	1	1		1		1	1	1	1	
TB	1	1	1	1	1		1		1	1	1	1	
PB	1	1	1	1					1			1	
C	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

شکل ۵. ماتریس P.

	MB	PR	VR	PSV	PBS	PB	TSV	UFP	TBOX	TB	CAM	CH	C
MB	1	1	1	1	1	1							
PR	1	1	1	1	1	1							
VR	1	1	1	1	1	1							
PSV	1	1	1	1	1	1							
PBS	1	1	1	1	1	1							
PB	1	1	1	1	1	1							
TSV							1	1	1	1			
UFP							1	1	1	1			
TBOX							1	1	1	1			
TB							1	1	1	1			
CAM											1	1	1
CH											1	1	1
C											1	1	1

شکل ۶. ماتریس Q مرتب شده.

	PR	PBS	MB	PSV	VR	PB	TSV	TBOX	UFP	TB	CAM	CH	C	TS	IS
PR	۰.۳														
PBS	۰.۳	۰.۳													
MB	۰.۹	۰.۳	۰.۳												
PSV		۰.۳	۰.۴۲												
VR	۰.۹	۰.۳	۰.۷												
PB		۰.۳	۰.۶۵												
TSV			۰.۳۵		۰.۷						۰.۳			۰.۷۴	
TBOX											۰.۳			۰.۳	
UFP							۰.۸۶				۰.۳				
TB								۰.۷۸			۰.۳				
CAM												۰.۳		۰.۲۱	
CH											۰.۳			۰.۳	
C														۰.۳	
TS															۰.۵
IS															۰.۵

شکل ۷. ماتریس ساختار طراحی فازی نهایی.

		۱	۲	۳
۱		۱	۰	۰
۲		۱	۱	۰
۳		۱	۱	۱

شکل ۸. ماتریس کاهش یافته P.

## ۵. مطالعه موردی

برای پیاده‌سازی رویکرد پیشنهادی از یک سرومکانیسمی با دو درجه آزادی استفاده می‌شود. این سامانه ۱۵ جزء دارد که با توجه به نظر طراح، مرز اجرا تعیین شده است. بعد از شناسایی اجزای سامانه و با توجه به نظرسنجی از طراحان و همچنین با کمک از جدول ۱، ماتریس ساختار اولیه‌ی فازی سرومکانیسم تشکیل شد. این ماتریس در شکل ۴ نمایش داده شده است.

گام بعد، خوشه‌بندی ماتریس ساختار طراحی است که در ابتدا اجرای مستقل شناسایی می‌شوند و سپس، اجزای وابسته که به صورت خوشه شناسایی و تعیین می‌شوند.

با توجه به سطر و ستون‌های ماتریس ساختار طراحی اولیه، جزء IS به علت برخورداری از مجموع ستونی صفر، به عنوان جزء مستقل از ماتریس ساختار طراحی حذف می‌شود. با به‌روزرسانی ماتریس ساختار طراحی، مشاهده می‌شود که جزء TS نیز دارای مجموع ستونی صفر است. پس این جزء نیز به عنوان جزء مستقل در نمادهایی نظیر گرفته و حذف می‌شود. با به‌روزرسانی مجدد ماتریس ساختار طراحی، مجموع سطر و ستونی برابر با صفر مشاهده نمی‌شود. لذا اجرای باقی‌مانده دارای ارتباط وابسته به هم هستند برای شناسایی و همچنین خوشه‌بندی ماتریس ساختار طراحی، ماتریس  $p$  طبق روند رویکرد پیشنهادی تشکیل می‌شود. در شکل ۵ ماتریس  $P$  نمایش داده شده است.

در ادامه‌ی روند، ماتریس  $Q$  نیز به دست می‌آید. ماتریس  $Q$  مرتب شده در شکل ۶ نمایش داده شده است. با توجه به ماتریس  $Q$ ، ماتریس خوشه‌بندی ماتریس ساختار طراحی به دست می‌آید. ماتریس خوشه‌بندی نهایی ماتریس ساختار طراحی فازی در شکل ۷ نمایش داده شده است. برای تشکیل روابط سلسله‌مراتبی اجزای سامانه سرومکانیسم از روند پیشنهادی استفاده می‌شود. برای این منظور، ماتریس کاهش‌یافته‌ی ماتریس  $P$  ( $p'$ ) استفاده می‌شود و در شکل ۸ نمایش داده شده است.

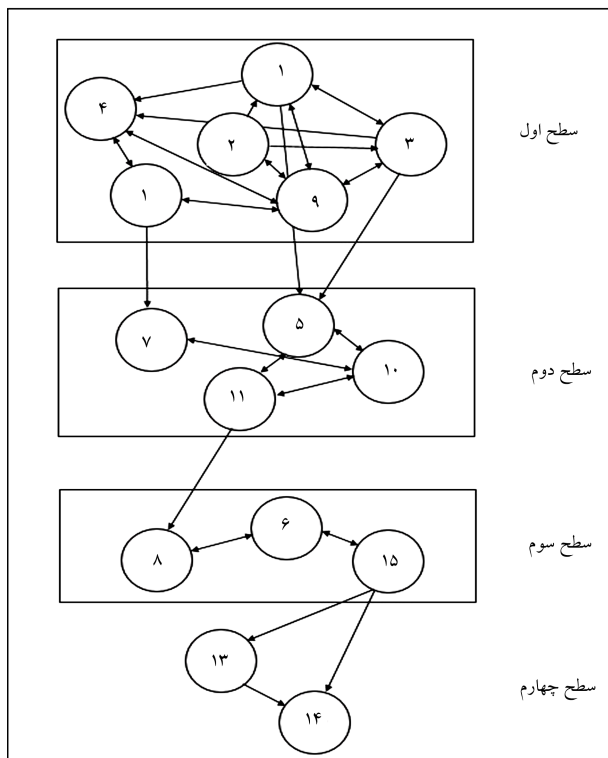
با توجه به تعاریف ۱ و ۲، ماتریس‌های  $R$  و  $R^n$  به ترتیب در شکل‌های ۹ و ۱۰ نمایش داده شده‌اند.

در نهایت ماتریس ساختار روابط سلسله‌مراتبی ( $H$ ) از تفاضل  $R$  و  $R^n$  حاصل می‌شود که در شکل ۱۱ نمایش داده شده است.

با توجه به ماتریس  $H$ ، دریافت می‌شود که اولویت خوشه‌ی ۱ بالاتراز خوشه ۲

	MB	PR	VR	PSV	TSV	CAM	UFP	CH	PBS	TBOX	TB	PB	TS	IS	C
MB	۰.۹	۰.۷							۰.۳						
PR		۰.۳							۰.۳						
VR	۰.۷	۰.۹							۰.۳						
PSV	۰.۴۲	۰.۷							۰.۳					۰.۶۳	
TSV	۰.۳۵	۰.۷							۰.۳	۰.۷۴					
CAM									۰.۳						۰.۲۱
UFP									۰.۳					۰.۸۶	
CH									۰.۳					۰.۳	
PBS	۰.۳	۰.۳	۰.۳	۰.۳					۰.۳						
TBOX					۰.۳				۰.۳					۰.۳	
TB						۰.۷۸			۰.۳						
PB						۰.۶۵			۰.۳						
TS															۰.۵
IS															۰.۵
C										۰.۷۴					

شکل ۴. ماتریس ساختار طراحی فازی اولیه.



شکل ۱۲. ساختار معماری محصول.

از تعاملات استفاده شد. مزیت استفاده از این روش، نمایش عدم قطعیت قدرت وابستگی تعاملات بین اجزا است که در حد امکان قدرت وابستگی بین اجزا متمایز می‌شود. در ادامه، یک رویکرد پیشنهادی برای خوشه‌بندی ماتریس ساختار طراحی ارائه شد که علاوه بر خوشه‌بندی، اولویت به‌کارگیری اجزا و همچنین اهمیت وجودی جزء از طریق یک ماتریس روابط سلسله‌مراتبی تعیین شد. در انتها برای تحقیقات آتی موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

- با پیاده‌سازی این رویکرد بر روی محصولات و سامانه‌های بیشتر و پیچیده‌تر، امکان اعتبارسنجی رویکرد پیشنهادی فراهم می‌شود.
- تولید و ارائه‌ی یک کد نرم‌افزاری برای پیاده‌سازی روند پیشنهادی، زمان تحلیل و به‌کارگیری ماتریس ساختار طراحی فازی را بهبود می‌دهد.
- به‌کارگیری و اعتبارسنجی رویکرد پیشنهادی برای فرایند مدیریت پروژه، فرایند توسعه محصول جدید و برای کاربردهایی از نوع ماتریس‌های مبتنی بر سازمان می‌تواند حائز اهمیت باشد.
- به‌کارگیری رویکرد پیشنهادی برای فرایند تخصیص قابلیت اطمینان و شناسایی و تعیین روابط مابین جزء (از لحاظ سری، موازی و مختلط) مفید و کارآمد است.

	۱	۲	۳
۱	۰	۰	۰
۲	۱	۰	۰
۳	۱	۱	۰

شکل ۹. ماتریس  $R$ .

	۱	۲	۳
۱	۰	۰	۰
۲	۰	۰	۰
۳	۱	۰	۰

شکل ۱۰. ماتریس  $R^2$ .

	۱	۲	۳
۱	۰	۰	۰
۲	۰	۰	۰
۳	۰	۱	۰

شکل ۱۱. ماتریس روابط سلسله‌مراتبی.

است و اولویت خوشه‌ی ۲ نیز بالاتر از خوشه‌ی ۳ است. ماتریس روابط سلسله‌مراتبی نیز با ماتریس شکل ۷ منطبق است. با توجه به مفاهیم ساختار روابط سلسله‌مراتبی، ساختار معماری محصول در شکل ۱۲ آمده است.

## ۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله با توجه به کاستی‌های ناشی از قطعیت تعاملات بین اجزای یک سامانه که توسط اعداد صحیح نمایش داده می‌شود، از رویکرد فازی برای نمایش این نوع

## پانویس‌ها

1. Professor Steward
2. Browning
3. numerical design structure matrix (NDSM)
4. fuzzifier

5. fuzzy inference
6. defuzzification
7. crisp
8. Shi and Blomquist
9. Ma
10. Ko
11. Lin



14. Laarhoven and Pedrycz
15. Buckley
16. Chang
17. Cheng and Mon
18. Boolean unity matrix
19. reachable matrix
20. strongly connected matrix

### منابع (References)

1. Eppinger, S.D. and Browning, T.R., *Design Structure Matrix Methods and Applications*, 1th edition, the Massachusetts Institute of Technology press (2012).
2. Carrascosa, M., Eppinger, S.D. and Whitney, D.E. "Using the design structure matrix to estimate product development time", *Proceedings of ASME Design Engineering Technical Conferences (DETC)*, Atlanta, Georgia, USA, pp. 13-16 (1-10 September 1998).
3. Adrees M., "Usability of the design structure matrix for automotive design engineering", Thesis: Master of Applied science, Mechanical Engineering, Ryerson University, Canada (2003).
4. Tilstra, A.H., Seepersad, C.C. and Wood, K.L. "A high-definition design structure matrix (HDDSM) for the quantitative assessment of product architecture", *Journal of Engineering Design*, **23**(10-11), pp. 767-789 (October-November 2012).
5. Roth, M., Wolf, M. and Lindemann, U. "Integrated matrix-based fault tree generation and evaluation", *Procardia Computer Science*, **44**, pp. 599-608 (2015).
6. Hung, H.F., Kao, H.P. and Juang, Y.S. "An integrated information system for product design planning", *Expert Systems with Applications*, **35**, pp. 338-349 (2008).
7. AlGeddawy, T. "A DSM Cladistics model for product family architecture design", *24th CIRP Design Conference, Procedia CIRP*, **21**, pp. 87-92 (2014).
8. Kuqi, K., Holzer, T. and Sarkani, S. "A matrix-based method for optimizing the user interface design of electronic medical record systems", Dissertation: Doctor of Philosophy, Engineering Management, the school of Engineering and Applied Science of THE George Washington University (2013).
9. Coulibaly, D.A. and Beuvron, F.B. "Complex product modeling based on a multi-solution extended conceptual design semantic matrix for behavioral performance assessment", *Computers in Industry*, **75**, pp. 101-115 (2015).
10. Ginting, R. and Ramadhan, T.F. "The application of concurrent engineering tools and design structure matrix in designing tire", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **114**, pp. 1-9 (2016).
11. Tang, D., Zheng, L., Li, Z., Li, D. and Zhang, S. "Re-engineering of the design process for concurrent engineering", *Computers and Industrial Engineering*, **38**, pp. 479-491 (2000).
12. Pektas, S.T. and Pultar, M. "Modelling detailed information flows in building design with the parameter-based design structure matrix", *Design Studies*, **27**(1), pp. 99-122 (2006).
13. Helo, P.T. "Product configuration analysis with design structure matrix", *Industrial Management and Data Systems*, **106**(7), pp. 997-1011 (2006).
14. Cook, I. and Coates, G. "Optimizing the time-based design structure matrix using a divide and hybridize algorithm", *Journal of Engineering Design*, **27**(4-6), pp. 306-332 (2016).
15. Browning, T.R. "Design structure matrix extensions and innovations: A survey and new opportunities", *IEEE Transactions on Engineering Management*, **63**(1), pp. 27-52 (Feb. 2016).
16. Avnet, M.S. and Weigel, A.L. "An application of the design structure matrix to integrated concurrent engineering", *Acta Astronautica*, **66**, pp. 937-949 (2010).
17. Yassine, A.A. "Investigating product development process reliability and robustness using simulation", *Journal of Engineering Design*, **18**(6), pp. 545-561 (December 2007).
18. Zhou, Y., Che, C., Zhang, J., Zhang, Q. and Wei, X. "Smart partitioning for product DSM model based on improved genetic algorithm", *10th International Conference, ADMA 2014 Guilin, China, Proceedings Advanced Data Mining and Applications*, (19-21 December 2014).
19. Yang, Q., Yao, T., Lu, T. and Zhang, B. "An overlapping-based design structure matrix for measuring interaction strength and clustering analysis in product development project", *IEEE Transactions on Engineering Management*, **61**(1), pp. 159-170 (February 2014).
20. Karbassian, M., Eghbali Babadi, A. and Gholami, A. "Contractor selection model using the combination of anp and a heuristic method (case study: Manufacturing projects)", *Sharif Journal, Industrial Engineering & Management*, **32-1**(2/2), pp. 131-138 (2017).
21. Asgarpour, M.J., *Multiple Criteria Decision Making*, ninth edition, Publication of Tehran University, Tehran, 399 p. (2011).
22. Jun Lin, Yanjun Qian, Ali A. Yassine and Wentian Cui, "A fuzzy approach for sequencing interrelated activities in a DSM", *International Journal of Production Research*, **50**(23), pp.7012-7025 (1 December 2012).
23. Chia-Hsiang Ma, Yao-Tsung Ko, Ding-Bang Luh, "A structure-based workflow planning method for new product development management", *International Journal of Management Science and Engineering Management*, **4**(2), pp. 83-103 (2009).
24. Yao-Tsung Ko, "A dynamic planning method for new product development management", *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, **27**(2), pp.103-120 ( March 2010)