

بررسی روش های طراحی و توسعه مدولار محصول

محمدحسین کریمی گوارشکی
محسن قهرمانی بوزندانی

چکیده:

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۷/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۰/۰۲

امروزه طراحی و توسعه مدل های مختلف از یک محصول جهت تحقق نیازهای جدید مشتریان به مهم ترین چالش سازمان ها تبدیل شده است. حفظ و گسترش بازارهای داخلی و خارجی مستلزم ارایه ی محصولات با کیفیت مناسب، با کمترین هزینه ممکن و منطبق با خواسته های مشتریان می باشد. استفاده از منطق مدولاریتی، به عنوان روشی جهت انعطاف پذیری بیشتر محصولات در اعمال تغییرات طراحی، سهولت در ارتقا و تعمیر محصولات می باشد. بنابراین، مدولار نمودن محصول در راستای پاسخگویی سریع به نیازهای مشتریان و با کمترین تغییرات در ساختار محصول است. در این مقاله برخی از روش های طراحی و توسعه مدولار محصولات مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

واژه های کلیدی:

مدول، مدولاریتی، خانواده محصول، طراحی، توسعه مدل

۱- مقدمه

مدولار نمودن یعنی شکستن اجزای کلی یک سیستم پیچیده به بخش های کوچک و ایجاد بسته هایی از اجزا به صورت مجموعه و زیرمجموعه ای. هر سیستم مجموعه ای از مدول ها می باشد که هر مدول نیز مجموعه ای از گروه های ساختمانی (اجزا) است [۱] به عنوان مثال، محصولی که شامل ۱۰۰ قسمت است می تواند به صورت ۴ یا ۵ مدول طراحی شود. هر مدول می تواند بدون تاثیرپذیری طرح از سایر مدول ها، بصورت مستقل طراحی شده و بهبود یابد. نکته اصلی در تعیین مدول های محصول این است که بایستی بین قطعات و اجزای یک مدول بیشترین وابستگی و مابین مدول ها کمترین وابستگی وجود داشته باشد.

تاریخچه ی طراحی مدولار به دوران اولیه ی بهینه سازی و استاندارد کردن محصولات برمی گردد که آشناترین چهره در این مورد پیتر بیرنس است (سال ۱۹۰۷ با طرح کتری های برقی

مدولار) [۲]

اهم مزایای مدولاریتی و مدولار نمودن محصولات می تواند شامل افزایش امکان پذیری تغییرات محصول/اجزا، افزایش تنوع محصول، انعطاف پذیری بیشتر جهت اعمال تغییرات در طراحی، آسان بودن طراحی و آزمایش با توجه به ارتباط بین عملکردهای محصول، آسان بودن ارتقا، نگهداری، تعمیر و رفع عیوب محصول و غیره باشد. طراحی و توسعه مدولار محصولات را می توان در صنایعی نظیر اتومبیل، رایانه، لوازم خانگی و غیره بکار برد.

۲- روش های مدولار نمودن محصولات

روش های متعددی جهت مدولار نمودن اجزای محصول توسعه یافته است که با توجه به ماهیت و عملکرد آنها، نگارندگان مقاله این روش ها را در پنج دسته زیر تقسیم بندی نموده اند:

- دسته اول: روش های مبتنی بر ماتریس وابستگی^۱ ؛
 دسته دوم: روش آرایش عملکرد مدولار^۲ ؛
 دسته سوم: روش مدولاریتی مضاعف^۳ ؛
 دسته چهارم: روش مدل ساختار تفسیری؛
 دسته پنجم: سایر روش های ابتکاری^۴ .
- ۱-۲- روش های مبتنی بر ماتریس وابستگی

ماتریس همجواری و ماتریس سطوح محصول در این دسته قرار می گیرند. [۳]

ماتریس همجواری^۵

در این ماتریس، عامل (اجزا) محصول به ترتیب و به صورت مشابه در سطر و ستون ماتریس درج می گردد و سپس ارتباطات بین اجزا در خانه های ماتریس علامت گذاری می گردد و در انتها نسبت به مدول بندی اجزا اقدام می گردد. ماتریس ساختار طراحی اجزا (DSM^۶) که توسط پیملر و اپینگر^۷ در سال ۱۹۹۴ ارائه شده است در این دسته قرار می گیرد.

در فرآیند توسعه ی محصولات پیچیده، ملاحظات ساختار محصول و روابط یا تعامل بین این ساختار از اهمیت بالایی برخوردار است. روش های مدل سازی به صورت نمایش ماتریسی می تواند این ملاحظات را پشتیبانی کند. این روش ابتدا توسط استوارت^۸ در سال ۱۹۸۱ معرفی شد و سپس در سال ۱۹۹۱ توسط چارلس^۹ توسعه داده شد. [۴]

بهزادیان در تحقیق خود از روش ماتریس ساختار طراحی استفاده نمود و از روابط تعامل هندسی (همجواری) جهت مدوله نمودن اجزا و قطعات محصول مورد مطالعه (صندلی اداری) بهره گرفت. به عبارتی در ماتریس ساختار طراحی (شکل ۱) جهت مدوله نمودن محصول، از تعامل هندسی بین اجزا که نیاز به مجاورت و جهت گیری بین دو قطعه در تشکیل محصول نهایی دارد استفاده شده است.

در روش مذکور دو قطعه/جز یا دارای تعامل هندسی هستند که با علامت * نمایش داده می شود و یا فاقد تعامل هندسی می باشند که با سلول خالی نمایش داده می شود.

نکته: قطعات با پیچ، مهره و واشر به یکدیگر مونتاژ می شوند که در ماتریس ساختار طراحی از آنها صرف نظر می شود.

		قطعات محصول					
		۱	q	n
قطعات محصول	۱			*			
						
	q			*			
						*
	n			*			*

شکل ۱: ماتریس ساختار طراحی [۴]

مراحل روش استورات برای مدوله کردن قطعات بشرح ذیل می باشد: [۴]

گام ۱- شناسایی قطعاتی که نیاز به هیچ ورودی یا تعامل از سایر قطعات و اجزای محصول در ماتریس ساختار طراحی ندارند. این قطعات که اصولاً با ردیف یا سطر خالی در ماتریس نمایش داده می شوند، بعد از انتقال به بالای ماتریس، از ماتریس حذف می شوند.

گام ۲- گام ۱ برای همه قطعات باقی مانده تکرار می شود.

گام ۳- شناسایی قطعات و اجزایی که هیچ گونه ورودی را به سایر قطعات و اجزا در ماتریس ایجاد نمی کنند. این قطعات که اصولاً با ستون خالی در ماتریس نمایش داده می شوند، بعد از انتقال به پایین ماتریس، از ماتریس حذف می شوند.

گام ۴- گام ۳ برای همه قطعات باقی مانده تکرار می شود.

گام ۵- اگر هیچ قطعه ای در ماتریس وجود نداشت، پس همه قطعات در ماتریس ساختار طراحی به طور کامل بخش بندی شده اند. در غیر این صورت، بازخورها و یا لوپ هایی وجود دارند که بایستی مطابق گام ششم تجزیه گردند.

گام ۶- به صورت اختیاری یکی از قطعات ماتریس انتخاب می شود. وابستگی این قطعه با سایر قطعات بگونه ای بررسی شود که دوباره به خود قطعه برگردد. همه ی قطعاتی که در این ردیفی در یک لوپ قرار دارند، به عنوان یک مدول نگریسته می شوند.

گام ۷- ماتریس ساختار طراحی با قطعات و اجزاء جدیدش بایستی دوباره طراحی شود (پس از اخذ امتیاز لازم در مرحله ارزش یابی).

در نهایت، روش استورات با توجه به درجات وابستگی بین اجزای محصول، فهرستی از قطعات مستقل و مدول های محصول را ارائه خواهد داد.

1. Dependency matrices
2. Modular Function Deployment (MFD)
3. Plus-modularity
4. Heuristic
5. Inter-domain matrices
6. Design Structure Matrix (DSM)
7. Pimmler & Eppinger
8. Steward
9. Charles

ماتریس سطوح محصول^۱ :

در این ماتریس، محصول ورودی در ستون و جنبه های آن در سطرها درج می گردد و ارتباط بین جنبه ها و محصولات ورودی در خانه های ماتریس تعیین و سپس و در انتها نسبت به مدول بندی اجزا اقدام می گردد. ماتریس مدولاریتی برند^۲ که توسط سادجان تو و اتو^۳ در سال ۲۰۰۱ ارائه شده در این دسته قرار می گیرد.

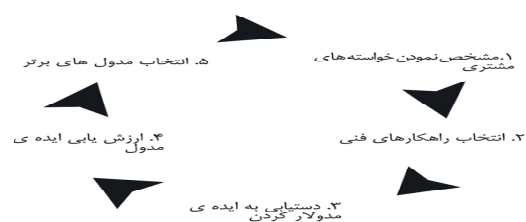
۲-۲-۲- روش آرایش عملکرد مدولار

از نظر گوناگونی ریکسون و همکاران، آرایش عملکرد مدولار (MFD) روش حمایتی حرکت می باشد که هدف آن یافتن طراحی محصول مدول بندی شده برتر با لحاظ نیازهای ویژه تولید کننده می باشد. [۳]

آرایش عملکرد مدولار حمایت کننده ی روند توسعه محصول در کل فاز خلاقیت از ایده محصول تا نقشه های محصول می باشد. روند مربوط قابل تعمیم به یک رده محصولات کلی بوده و زمانی که به صورت یک پروژه و توسط یک تیم صورت پذیرد، بیشترین موفقیت را خواهد داشت. [۵] اریکسون و همکاران مطابق شکل ۲ روش پنج مرحله را جهت توسعه مدول بندی محصولات ارائه نمودند.

۱-۲-۲- مشخص نمودن خواسته های مشتری

در روش ارائه شده توسط ایشان، اولین مرحله اطمینان می دهد که نیازهای صحیح طراحی مطابق با خواسته های مشتری انتخاب شده اند. اجزای محصول بایستی نیازهای حال و آینده بازار را تامین نمایند و این موضوع از طریق شناسایی نیازهای مشتریان و تحلیل محصولات رقبا صورت می پذیرد.



شکل ۲- پنج مرحله توسعه عملکردی مدول بندی [۵]

۲-۲-۲- انتخاب راهکارهای فنی

در دومین مرحله عملکردهایی که تامین کننده خواسته های مشتریان می باشند تعیین و سپس راهکارهای فنی مطابق با آن مشخص خواهد شد. در اینجا ممکن است راهکارهای فنی متعددی برای تامین یک عملکرد خاص ارائه شود ولی

فقط برترین راهکارهای فنی مطابق با نیازهای مشتری و سایر محدودیت های مربوط به صنعت، انتخاب خواهند شد.

۳-۲-۲- دستیابی به ایده ی مدولار کردن

در سومین مرحله راهکارهای فنی مطابق با دلایل شان برای مدول پذیری تحلیل خواهند گردید. نتایج دو مرحله ی قبلی زمانی کاربرد خواهد داشت که از محرک های مدول جهت تحقق راهکارهای فنی استفاده شود. به عبارتی در این مرحله راهکارهای فنی انتخاب شده مطابق با دلایل شان تحلیل می شوند تا مدول ها را شکل دهند. محرک (مسبب) مدول همان دلیل یا دلایلی هستند که شرکت های تولیدی را ترغیب به مدولار نمودن محصولات خود می نمایند.

نتیجه تحقیقات پنج ساله در خصوص شناسایی محرک های مدول بندی در کل چرخه عمر محصول که توسط یک موسسه ی سوئدی در حوزه ی مهندسی تولید انجام شده است، به شرح جدول ۱ می باشد.

۴-۲-۲- ارزش یابی ایده ی مدول

ایده ی مدول با در نظر گرفتن تاثیر آن بر روی محصول و تولید و همچنین در مقایسه با طراحی فعلی مورد بررسی و ارزشیابی قرار می گیرد. بمنظور ارزشیابی ایده های مدول، معیارهایی نظیر زمان توسعه، قیمت های توسعه، ظرفیت توسعه، قیمت های محصول، قیمت های سیستم، زمان تولید، کیفیت، انعطاف پذیری تنوع، سرویس / بروز نمودن و بازیافت ارائه گردیده است.

جدول ۱- محرک های مدول بندی در کل چرخه عمر محصول [۵]

ردیف	مرحله	محرک های شناسایی شده	ردیف	مرحله	محرک های شناسایی شده
۱	طراحی محصول	جز ثابت چپش های فن آوری	۴	کنترل کیفی	آزمایشات جداگانه
۲	توسعه	مشخصات مختلف سیک طراحی	۵	فروش	تامین کنندگان در دسترس
۳	تولید	مجموعه مشترک روند و یا ساختار	۶	بعد از فروش	سرویس و نگهداری محصول به روزآوری محصول قابلیت بازیافت

۵-۲-۲- انتخاب مدول های برتر

در مرحله ی نهایی ویژگی های هر یک از مدول ها ثبت می گردد که شامل اطلاعاتی نظیر محرک مدول، راه حل فنی، اطلاعات فنی، اهداف، مسئول، تداخلات و سایر اطلاعات می باشد.

1. Product - Level matrices
2. Brand modularity Matrix
3. Sudjianto & Ott

از این مرحله به بعد، ایده مدول بندی می تواند به وسیله تمرکز بر روی هر یک از مدول ها بطور مجزا توسعه یابد. پس از شناسایی خصوصیات و ویژگی های مدول، طراحی دقیق مدول صورت می پذیرد.

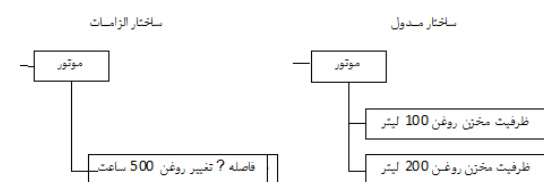
توسعه محصول ممکن است در سه سطح رده محصول، سطح محصول و سطح اجزا صورت پذیرد.

ساختار محصول کلید حل پیچیدگی می باشد که ساختار مناسب محصول باید توسط مدول پذیری صورت پذیرفته و تا سطح اجزا ادامه یابد. ترکیب مراحل فوق با گام های طراحی صنعتی، نتایج مفیدی را در پی خواهد داشت.

۳-۲- روش مدولاریتی مضاعف

در این دسته، می توان به روشی که در کشور فنلاند به نام مدولاریتی مضاعف شناخته شده اشاره کرد. این رویکرد بر پایه تحقیقات آکادمیک استوار نبوده و بیشتر به پایه فلسفه طراحی برگرفته از تجربه صنعتی می باشد که توسط جوهلا و همکاران^۱ ارائه گردید [۳] در این رویکرد دامنه ساختار محصول بر اساس ساختار نیاز مشتری تعریف می شود. همان طور که در شکل ۳ مشاهده می شود، ساختار مدول مخازن روغن، بر اساس ساختار الزامات (فاصله تغییر روغن) تعیین می گردد.

در این رویکرد دامنه محصول مدولار بر پایه مشتری مداری استوار می باشد که در آن مشتری می تواند دامنه محصول را پیکره بندی نماید. عامل های موثر در طراحی محصول توسعه فروش محصولات در بازار و انواع محصولات مرتبط می باشد. در شکل دهی ساختار مدولار باید هدف برآوردن نیازهای مشتریان با حداقل تعداد مدول باشد. در این ایده نیازهای مستقل مشتریان به مدول های برگزیده اضافه می گردد.



شکل ۳- نمونه ای از مدولاریتی مضاعف [۳]

۴-۲- روش مدل ساختار تفسیری^۲

مدل ساختار تفسیری، فنی است که با بکارگیری عملیات جبری مناسب به بیان گرافیکی سیستم (محصول) می پردازد. [۶]

مدل ساختار تفسیری یک فن جبری برای نمایش مجدد و آنالیز سیستم (محصول) است که برای اولین بار توسط وارفیلد^۲ ارائه گردید و تحقیقات متعددی در این خصوص صورت گرفت. این مدل ارتباطات سیستم های پیچیده را بر پایه نمودارها، ساده می نماید. هیسائو و لیو با اصلاح مدل ساختار تفسیری روشی را به منظور بکارگیری در ساختار ارتباطات سلسله مراتبی اجزا ارائه نمودند. این روش به طراحان کمک می کند تا اجزای مشترک و متنوع را مشخص نموده و خانواده محصول را توسعه دهند.

روش ارائه شده توسط ایشان در چهار فاز زیر خلاصه می شود:
۱- ایجاد ماتریس تلاقی^۴: اجزای محصول در ماتریس مربعی ثبت می گردند سپس ارتباط اجزا به صورت دو به دو بررسی و نتیجه ی آن در خانه مربوطه درج می گردد.

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{یا } j = i \\ 0 & \text{بدون ارتباط} \end{cases}$$

۲- استنتاج ماتریس قابل حصول^۵: ماتریس قابل حصول R از ماتریس تلاقی منتج می گردد. طریقه کار این گونه است که ماتریس تلاقی را با ماتریس واحد (A + I) جمع نموده و n بار در خودش ضرب می کنند. (نتایج ضرب ماتریس را تا آنجا ادامه می دهیم که نتایج ضرب ماتریس در هر مرحله با مرحله قبل بر اساس منطق بولین^۶ دارای اختلاف باشد و پس از چند مرحله نتایج به صورت ثابت تکرار خواهند شد).

ماتریس R از ماتریس A منتج می گردد اگر r_{ij} مساوی یک باشد به آن معناست که جزء بوسیله جزء i قابل حصول (بعنوان مدول) می باشد اگر چه مسیر یک یا چند رشته باشد.

۳- بازیابی خوشه ای^۱: هیسائو و لیو برای شناختن تاثیر اجزای محصول بر یکدیگر و شکل گیری یک حلقه از تئوری گراف^۲ استفاده نمودند که در آن ماتریس R به ماتریس ماتریس ترانهاده^۳ R افزوده می شود.

بدین گونه که در $R.R^T$ جزء i و j دارای ارتباط دوجانبه می باشند اگر $r_{ij} r_{ji} = 1$ باشد.

۴- به دست آوردن نمودار سلسله مراتبی: پس از بازآراستن ماتریس R اجزایی از محصول که با هم در ارتباط بودن بعنوان یک مدول و یک موجودیت تعیین می شوند.

1. Johola & Välimaa
2. Interpretive Structural Model (ISM)
3. Warfield
4. Incidence matrix
5. Reachability matrix
6. Boolean

۵-۲- سایر روش های ابتکاری و فرا ابتکاری

این دسته از روش ها، شامل الگوهایی نظیر برنامه ریزی غیرخطی، برنامه ریزی پویا، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم شاخه و کران و غیره می باشد.

۳- جمع بندی و تحلیل

جمع بندی و تحلیل روش های بررسی شده در قالب جدول شماره ۲ و در دو ستون مزایا و معایب، بیان می گردد.

ادبیات تحقیقات مربوط به طراحی و توسعه مدولار خانواده محصولات روند رو به رشدی را نشان می دهد. علاوه بر این با بررسی مزایا و معایب روش های مندرج در جدول فوق، می توان نتیجه گرفت که:

- اغلب این تحقیقات بر مفاهیم و روش مدولار نمودن محصولات تمرکز نموده و تحقیقات اندکی توانسته اند بین خواسته های مشتریان (بویژه خواسته های آتی) و ساختار فیزیکی محصول مورد نیاز ارتباط منطقی ایجاد نمایند. به عبارتی در اغلب تحقیقات به مکانیزم تبدیل ایده به اجزای محصول توجه زیادی نشده و محققین درصد کشف راهکارهایی برای مدول بندی منطقی محصولات می باشند.

- اغلب روش های مورد مطالعه در ادبیات تحقیق در یک مقطع زمانی (زمان تحقق محصول) اقدام به مدولار نمودن ساختار محصول می نمایند (توانمند در مدول بندی اولیه ساختار محصولات) در حالی که هدف برخی از روش ها نظیر روش آرایش عملکرد مدولار، یافتن طراحی محصول مدول بندی شده ی برتر در چرخه عمر آن با لحاظ نیازهای مشتریان و تولید کننده می باشد (بهینه سازی ساختار مدولار محصولات). با توجه به موارد فوق، زمینه های تحقیقاتی مناسبی در این حوزه وجود دارد.

نام روش	مزایا	معایب
ماتریس وابستگی	- دلیل کاربرد در بستری گرافیکی از منطق ساده ای برخوردار هستند - استفاده از ماتریس ها در مدولار نمودن اجزای محصول متداول بوده و بعنوان ابزار کمکی در طراحی استفاده می شود	به زعم جول کای سو استفاده از ماتریس ها گاهی منجر به خطا در تعیین مدول های محصول می گردد که مشکل اصلی را در مسایل ورودی ماتریس می داند. [۷] الف- چه نوع ارتباطی در ماتریس وابستگی بررسی می شود؟ ب - نتایج بدست آمده از ماتریس وابستگی چگونه تفسیر می شود؟
آرایش عملکرد مدولار	روشی توانمند جهت بهینه سازی ساختار مدولار محصول در چرخه عمر آن می باشد.	- مکانیزم شفافیت جهت ارزشیابی دقیق ایده های مدول ارائه نشده است. - مدولار نمودن محصول بستگی به کیفیت و کمیت ایده های مدول بندی ارائه شده از طریق تیم های طراحی و توسعه محصول دارد.
مدولاریتی مضاعف	دامنه ساختار محصول بر اساس ساختار نیاز مشتری تعریف می شود	اغلب محدود به محصولات ساده بوده و برای محصولات پیچیده و با اجزای ترکیبی (الکترومکانیکی) کاربرد موثری ندارد.
مدل ساختار تفسیری	- روشی توانمند در مدول بندی اولیه محصول می باشد. - دارای منطق شفاف و روشن (با بکارگیری عملیات جبری مناسب) می باشد - همانند روش ماتریسی، از بستر گرافیکی جهت مدولار نمودن محصول استفاده می نماید.	- در این روش به بهینه سازی ساختار مدولار محصول در چرخه عمر آن توجه نشده است. - نوع ارتباط اجزای محصول در ماتریس بصورت مشخص و شفاف تعیین نشده است به عبارتی نوع تعامل (هندسی، انرژی، اطلاعات و مواد) مشخص نمی باشد.
روش های ابتکاری و فرا ابتکاری	اغلب این روش ها به بهینه سازی ساختار محصول در چرخه عمر آن توجه دارند.	- اغلب محدود به محصولات ساده بوده و برای محصولات پیچیده و با اجزای ترکیبی (الکترومکانیکی) کاربرد موثری ندارد. - استفاده از این روش ها به دلایلی چون وقت گیر بودن، نبودن نمونه اجرایی و محاسبات پیچیده، متداول نمی باشند.

جدول ۲- مزایا و معایب روش های طراحی و توسعه ی مدولار محصول

1. Cluster retrieval
2. graph theory
3. transposed matrix
4. julkaisu

1. ISO/TC 176 International Organization for Standardization,(2005) "Quality management systems- Fundamentals and vocabulary", Reference number ISO 9000:2005(E), Published in Switzerland,7-10, Third edition 2005-09-15.
2. X. Du and J. Jiao and M.M. Teseng,(2001) " Architecture of Product Family: Fundamentals and Methodology", Concurrent Engineering:Research and Application 4 (2001) 6-10.
3. T. Lehtonen, (2007) "designing modular product architecture in the new product development", Tampere University of Technology, Publication713, 2007.
- ۴- بهزادیان، مجید - « به کارگیری بخش‌بندی بازار در گسترش وظایف کیفیت و طراحی مدولار خانواده محصول»- رساله دکتری رشته مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع- دانشگاه تربیت مدرس-۱۳۸۷.
- ۵- اریکسون، آنا و اریکسون، گونار - « کنترل مدیریت طراحی: پیش زمینه محصولات مدولار»- (مترجمین پردیس بهمنی و فرامرز محمدی نژاد) - نشر داستان- تهران- ۱۳۸۶.
6. S. Hsiao and E. Liu, (2005) " A structural component-based approach for designing product family", Computers in Industry 56 . 13-20.
- ۷- پیربابایی، محمدتقی و امرایی، بابک - « بررسی مبانی طراحی محصولات مدولار» - نشریه هنرهای زیبا- ۳۷ - بهار ۱۳۸۸