

بررسی روش‌های طراحی و توسعه مدولار محصول

محمدحسین کریمی گوارشکی
محسن قهرمانی بوزندانی

چکیده:

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۲۷
تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۱۵

امروزه طراحی و توسعه‌ی مدل‌های مختلف از یک محصول جهت تحقق نیازهای جدید مشتریان به مهم‌ترین چالش سازمان‌ها تبدیل شده است. حفظ و گسترش بازارهای داخلی و خارجی مستلزم ارایه‌ی محصولات با کیفیت مناسب، با کمترین هزینه ممکن و منطبق با خواسته‌های مشتریان می‌باشد. استفاده از منطق مدولاریتی، به عنوان روشی جهت انعطاف‌پذیری بیشتر محصولات در اعمال تغییرات طراحی، سهولت در ارتقا و تعمیر محصولات می‌باشد. بنابراین، مدولار نمودن محصول در راستای پاسخگویی سریع به نیازهای مشتریان و با کمترین تغییرات در ساختار محصول است. در این مقاله برخی از روش‌های طراحی و توسعه مدولار محصولات مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی:

مدول، مدولاریتی، خانواده محصول، طراحی، توسعه مدل

(۱) مقدمه

مدولار نمودن یعنی شکستن اجزای کلی یک سیستم پیچیده به بخش‌های کوچک و ایجاد بسته‌هایی از اجزا به صورت مجموعه و زیرمجموعه‌ای. هر سیستم مجموعه‌ای از مدول‌ها می‌باشد که هر مدول نیز مجموعه‌ای از گروه‌های ساختمانی (اجزا) است [۱].

به عنوان مثال، محصولی که شامل ۱۰۰ قسمت است می‌تواند به صورت ۴ یا ۵ مدول طراحی شود. هر مدول می‌تواند بدون تاثیرپذیری طرح از سایر مدول‌ها، بصورت مستقل طراحی شده و بهبود یابد. نکته اصلی در تعیین مدول‌های محصول این است که بایستی بین قطعات و اجزای یک مدول بیشترین وابستگی و مابین مدول‌ها کمترین وابستگی وجود داشته باشد.

تاریخچه‌ی طراحی مدولار به دوران اولیه‌ی بهینه‌سازی

و استاندارد کردن محصولات برمی‌گردد که آشناترین چهره در این مورد پیتر بیرنس است (سال ۱۹۰۷ با طرح کتری‌های برقی مدولار) [۲].

اهم مزایای مدولاریتی و مدولار نمودن محصولات می‌تواند شامل افزایش امکان‌پذیری تغییرات محصول/اجزا، افزایش تنوع محصول، انعطاف‌پذیری 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 می‌توان در صناعی نظیر اتومبیل، رایانه، لوازم خانگی و غیره بکار برد.

(۲) روش‌های مدولار نمودن محصولات

روش‌های متعددی جهت مدولار نمودن اجزای محصول توسعه یافته است که با توجه به ماهیت و عملکرد آنها،

نگارندگان مقاله این روش‌ها را در پنج دسته زیر تقسیم‌بندی نموده‌اند:

دسته اول: روش‌های 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 روش‌های ابتکاری^۴.

۱-۲- روش‌های مبتنی بر ماتریس وابستگی

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

ماتریس همجواری^۵

در این ماتریس، عامل (اجزا) محصول به ترتیب و به صورت مشابه در سطر و ستون ماتریس درج می‌گردد و سپس ارتباطات بین اجزا در خانه‌های ماتریس علامت‌گذاری می‌گردد و در انتها نسبت به مدول بندی اجزا اقدام می‌گردد. ماتریس ساختار طراحی اجزا (DSM^۶) که توسط پیملر و اپینگر^۷ در سال ۱۹۹۴ ارایه شده است در این دسته قرار می‌گیرد.

در فرآیند توسعه‌ی محصولات پیچیده، ملاحظات ساختار محصول و روابط یا تعامل بین این ساختار از اهمیت بالایی برخوردار است. روش‌های مدل‌سازی به صورت نمایش ماتریسی می‌تواند 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]

بهبادبان 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 جهت‌گیری بین دو قطعه در تشکیل محصول نهایی دارد استفاده شده است.

در روش مذکور دو قطعه/اجزای دارای تعامل هندسی هستند که با علامت * نمایش داده می‌شود و یا فاقد تعامل هندسی می‌باشند که با سلول خالی نمایش داده می‌شود.

نکته: قطعات با پیچ، مهره و واشر به یکدیگر مونتاژ می‌شوند که در ماتریس ساختار طراحی از آنها صرف‌نظر می‌شود.

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

شکل ۱. ماتریس ساختار طراحی (۴)

گام ۲- گام ۱ برای همه قطعات باقی‌مانده تکرار می‌شود.
 گام ۳- شناسایی قطعات و اجزایی که هیچ‌گونه ورودی را به سایر قطعات و اجزا در ماتریس ایجاد نمی‌کنند. این قطعات که اصولاً با ستون خالی در ماتریس نمایش داده می‌شوند، بعد از انتقال به پایین ماتریس، از ماتریس حذف می‌شوند.
 گام ۴- گام ۳ برای همه قطعات باقی‌مانده تکرار می‌شود.

مراحل روش استورات برای مدوله کردن قطعات بشرح ذیل می‌باشد: [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 می‌شوند، بعد از انتقال به بالای ماتریس، از ماتریس حذف می‌شوند.

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. Stewart
9. Charles

گام ۵- اگر هیچ قطعه‌ای در ماتریس وجود نداشت، پس همه قطعات در ماتریس ساختار طراحی به طور کامل بخش‌بندی شده‌اند. در غیر این صورت، بازخورها و یا لوپ‌هایی وجود دارند که بایستی مطابق گام ششم تجزیه گردند.

گام ۶- به صورت اختیاری یکی از قطعات ماتریس انتخاب می‌شود. وابستگی این قطعه با سایر قطعات بگونه‌ای بررسی شود که دوباره به خود قطعه برگردد. همه‌ی قطعاتی که در این ردیابی در یک لوپ قرار دارند، به عنوان یک مدول نگریسته می‌شوند.

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

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

ماتریس سطوح محصول^۱:

در این ماتریس، محصول ورودی در ستون و جنبه‌های آن در سطرها درج می‌گردد و ارتباط بین جنبه‌ها و محصولات ورودی در خانه‌های ماتریس تعیین و سپس و در انتها نسبت به مدول بندی اجزا اقدام می‌گردد. ماتریس مدولاریتی برنند^۲ که توسط سادجان‌تو و اتو^۳ در سال ۲۰۰۱ ارائه شده در این دسته قرار می‌گیرد.

۲-۲) روش آرایش عملکرد مدولار

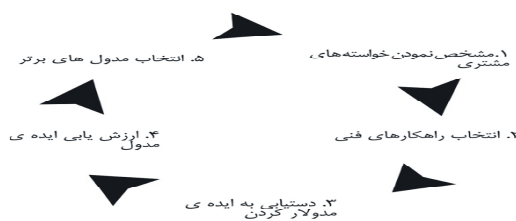
از نظر گوناراریکسون و همکاران، آرایش عملکرد مدولار (MFD) روش حمایتی حرکت می‌باشد که هدف آن یافتن طراحی محصول مدول‌بندی شده برتر با لحاظ نیازهای ویژه تولید کننده می‌باشد. [۳]

آرایش عملکرد مدولار حمایت‌کننده‌ی روند توسعه محصول در کل فاز خلاقیت از ایده محصول تا نقشه‌های محصول می‌باشد. 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 مدول‌بندی محصولات ارائه نمودند.

۲-۲-۱) مشخص نمودن خواسته‌های مشتری

در روش ارائه شده توسط ایشان، اولین مرحله اطمینان می‌دهد که نیازهای صحیح طراحی مطابق با خواسته‌های مشتری انتخاب شده‌اند. اجزای محصول بایستی نیازهای حال و آینده بازار را تامین نمایند و این موضوع از طریق شناسایی نیازهای مشتریان و تحلیل محصولات رقبا صورت می‌پذیرد.



شکل ۲. پنج مرحله توسعه عملکردی مدول‌بندی (۵)

۲-۲-۲) انتخاب راهکارهای فنی

در دومین مرحله عملکردهایی که تامین‌کننده خواسته‌های مشتریان می‌باشند 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 محدودیت‌های مربوط به صنعت، انتخاب خواهند شد.

۲-۲-۳) دستیابی به ایده مدولار کردن

در سومین مرحله راهکارهای فنی مطابق با دلایل‌شان برای مدول‌پذیری تحلیل خواهند گردید. نتایج دو مرحله‌ی قبلی زمانی کاربرد خواهد داشت که از محرک‌های مدول جهت تحقق راهکارهای فنی استفاده شود. به عبارتی در این مرحله راهکارهای فنی انتخاب شده مطابق با دلایل‌شان تحلیل می‌شوند تا مدول‌ها را شکل دهند. محرک (مسبب) مدول همان دلیل یا دلایلی هستند که شرکت‌های تولیدی

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

را ترغیب به مدولار نمودن محصولات خود می‌نمایند. نتیجه تحقیقات پنج ساله در خصوص شناسایی محرک‌های مدول‌بندی در کل چرخه عمر محصول که توسط یک موسسه سوئدی در حوزه‌ی مهندسی تولید انجام شده است، به شرح جدول ۱ می‌باشد.

۴-۲-۲) ارزش‌یابی ایده‌ی مدول

ایده‌ی مدول با در نظر گرفتن تاثیر آن بر روی محصول و

تولید و همچنین در مقایسه با طراحی فعلی مورد بررسی و ارزشیابی قرار می‌گیرد. بمنظور ارزشیابی ایده‌های مدول، معیارهایی نظیر زمان توسعه، قیمت‌های توسعه، ظرفیت توسعه، قیمت‌های محصول، قیمت‌های سیستم، زمان تولید، کیفیت، انعطاف‌پذیری تنوع، سرویس / بروز نمودن و باز یافت ارایه گردیده است.

ردیف	مرحله	محرک‌های شناسایی شده	ردیف	مرحله	محرک‌های شناسایی شده
۱	طراحی محصول	جز ثابت جهش‌های فن آوری	۴	کنترل کیفی	آزمایشات جداگانه
۲	توسعه	مشخصات مختلف سبک 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 باز یافت

جدول ۱- محرک‌های مدول‌بندی در کل چرخه عمر محصول (۵)

۵-۲-۲) انتخاب مدول‌های برتر

در مرحله‌ی نهایی ویژگی‌های هر یک از مدول‌ها ثبت می‌گردد که شامل اطلاعاتی نظیر محرک مدول، راه حل فنی، اطلاعات فنی، اهداف، مسئول، تداخلات و سایر اطلاعات می‌باشد.

از این مرحله به بعد، ایده مدول‌بندی می‌تواند به وسیله تمرکز بر روی هر یک از مدول‌ها بطور مجزا توسعه یابد. پس از شناسایی خصوصیات و ویژگی‌های مدول، طراحی دقیق مدول صورت می‌پذیرد.

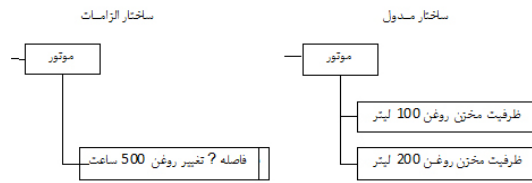
توسعه محصول ممکن است در سه سطح رده محصول، سطح محصول و سطح اجزا صورت پذیرد. ساختار محصول کلید حل پیچیدگی می‌باشد که ساختار مناسب محصول باید توسط مدول‌پذیری صورت پذیرفته و تا سطح اجزا ادامه یابد. ترکیب مراحل فوق با گام‌های طراحی صنعتی، نتایج مفیدی را در پی خواهد داشت.

۳-۲) روش مدولاریتی مضاعف

در این دسته، می‌توان 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 می‌باشد که توسط جوهرلا و همکاران^۱ ارایه گردید [۳] در این رویکرد دامنه ساختار محصول بر اساس ساختار نیاز مشتری تعریف می‌شود. همان طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، ساختار مدول مخازن روغن، بر اساس ساختار الزامات (فاصله تغییر روغن) تعیین می‌گردد.

در این رویکرد دامنه محصول مدولار بر پایه مشتری‌مداری استوار می‌باشد که در آن مشتری می‌تواند دامنه محصول را پیکره‌بندی نماید. عامل‌های موثر در طراحی محصول توسعه فروش محصولات در بازار و انواع محصولات مرتبط می‌باشد. در شکل‌دهی ساختار مدولار باید هدف برآوردن نیازهای مشتریان با حداقل تعداد مدول باشد. در این ایده نیازهای مستقل مشتریان به مدول‌های برگزیده اضافه می‌گردد.



شکل ۳. نمونه‌ای از مدولاریتی مضاعف (۳)

۴-۲) روش مدل ساختار تفسیری^۱

مدل ساختار تفسیری، فنی است که با بکارگیری عملیات جبری مناسب به بیان گرافیکی سیستم (محصول) می‌پردازد. [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 سیستم‌های پیچیده را بر پایه نمودارها، ساده می‌نماید.

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 می‌کند تا اجزای مشترک و متنوع را مشخص نموده و خانواده محصول را توسعه دهند.

روش ارائه شده توسط ایشان در چهار فاز زیر خلاصه می‌شود:

۱- ایجاد ماتریس تلاقی^۳: اجزای محصول در ماتریس مربعی ثبت می‌گردند سپس ارتباط اجزا به صورت دو به دو بررسی و نتیجه‌ی آن در خانه مربوطه درج می‌گردد.

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

۲- استنتاج ماتریس قابل حصول^۴: ماتریس قابل حصول R از ماتریس تلاقی منتج می‌گردد. طبقه کار این گونه است که ماتریس تلاقی را با ماتریس واحد (A + I) جمع نموده و n بار در خودش ضرب می‌کنند. (نتایج ضرب ماتریس را تا آنجا ادامه می‌دهیم که نتایج ضرب ماتریس در هر مرحله با مرحله قبل بر اساس منطق بولین^۵ دارای

اختلاف باشد و پس از چند مرحله نتایج به صورت ثابت تکرار خواهند شد).

ماتریس R از ماتریس A منتج می‌گردد اگر r_{ij} مساوی یک باشد به آن معناست که جزء بوسیله جزء قابل حصول (بعنوان مدول) می‌باشد اگرچه مسیر یک یا چند رشته باشد. ۳- بازیابی خوشه‌ای^۷: هیسائو و لیو برای شناختن تاثیر اجزای محصول بر یکدیگر و شکل گیری یک حلقه از تئوری گراف^۸ استفاده نمودند که در آن ماتریس R به ماتریس ماتریس ترانهاده^۹ R افزوده می‌شود.

بدین گونه که در $R.R^T$ جزء i و j دارای ارتباط دوجانبه می‌باشند 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 می‌شوند.

۵-۲) سایر روش‌های ابتکاری و فرا ابتکاری

این دسته از روش‌ها، شامل الگوهایی نظیر برنامه‌ریزی غیرخطی، برنامه‌ریزی پویا، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم شاخه و کران و غیره می‌باشد.

۳) جمع‌بندی و تحلیل

جمع‌بندی و تحلیل روش‌های بررسی شده در قالب جدول شماره ۲ و در دو ستون مزایا و معایب، بیان می‌گردد. ادبیات تحقیقات مربوط به طراحی و توسعه مدولار خانواده محصولات روند رو به رشدی را نشان می‌دهد. علاوه بر این با بررسی مزایا و معایب روش‌های مندرج در جدول فوق، می‌توان نتیجه گرفت که:

- اغلب این تحقیقات بر مفاهیم و روش مدولار نمودن محصولات تمرکز نموده و تحقیقات اندکی توانسته‌اند بین خواسته‌های مشتریان (بویژه خواسته‌های 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 درصدد کشف راهکارهایی برای مدول بندی منطقی محصولات می‌باشند.

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

6. Cluster retrieval
7. graph theory
8. transposed matrix
9. julkaisu

• اغلب روش‌های مورد مطالعه در ادبیات تحقیق در یک مقطع زمانی (زمان تحقق محصول) اقدام به مدولار نمودن ساختار محصول می‌نمایند (توانمند در مدول بندی اولیه ساختار محصولات) در حالی که هدف برخی از روش‌ها نظیر روش آرایش عملکرد مدولار، یافتن طراحی محصول

مدول بندی شده‌ی برتر در چرخه عمر آن با لحاظ نیازهای مشتریان و تولید کننده می‌باشد (بهینه‌سازی ساختار مدولار محصولات).
با توجه به موارد فوق، زمینه‌های 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 شفافیتی 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 روش‌های طراحی و توسعه ی مدولار محصول

۴ منابع

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 بخش بندی 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 فرامرزی 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