

## بازساخت ماتریس رابطه طراحی در روش طراحی اصولی

محسن اکبرپور شیرازی

استادیار دانشکده مهندسی صنایع - دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی

رضا رضائی

استادیار دانشکده مهندسی صنایع - دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(تاریخ دریافت ۷۹/۶/۲۶، تاریخ تصویب ۸۲/۳/۱۷)

### چکیده

روش طراحی اصولی<sup>۱</sup> از روش‌های مطرح در طراحی مهندسی است. این روش بر مبنای دو اصل استقلال و اطلاعات بنا شده است. در این روش ماتریس طراحی یک مفهوم اساسی است. ماتریس طراحی به سه نوع ناهم‌گیر<sup>۲</sup>، شبه‌هم‌گیر<sup>۳</sup> و هم‌گیر<sup>۴</sup> تقسیم می‌شود. در این میان ماتریس طراحی ناهم‌گیر اصل استقلال را کاملاً رعایت می‌کند. در مقاله حاضر، با تأکید بر روابط فیما بین نیازهای کارکردی و پارامترهای طراحی که از ماتریس طراحی قابل استخراج است، مفهوم جدید ماتریس رابطه طراحی، معرفی می‌شود. سپس ضمن استخراج خواص انواع ماتریس‌های طراحی بر مبنای این مفهوم جدید، مساله بازساخت ماتریس رابطه طراحی<sup>۵</sup> که مفهوم جدیدی در ادبیات طراحی اصولی است مطرح و موضوع بازساخت‌پذیری ماتریس‌های رابطه طراحی ناهم‌گیر<sup>۶</sup> بررسی می‌شود. در این مقاله، با فرض وجود تعداد محدودی تصویر ناهم‌گیر از یک ماتریس رابطه طراحی نادانسته، ثابت می‌شود که در شرایط سازگاری تصاویر، بازساخت ماتریس رابطه طراحی نادانسته امکان‌پذیر و نتیجه بازساخت، یک ماتریس رابطه طراحی ناهم‌گیر خواهد بود. مساله بازساخت ماتریس طراحی در زمینه‌های مهندسی معکوس، ارزیابی طراحی و بهبود طراحی کاربرد دارد.

**واژه‌های کلیدی:** طراحی اصولی، ماتریس طراحی، ماتریس رابطه طراحی ناهم‌گیر، بازساخت ماتریس رابطه طراحی ناهم‌گیر

### مقدمه

روش طراحی اصولی از جمله روش‌های طراحی است که توسط نام سو (Num P. Suh) در دانشکده مکانیک دانشگاه MIT ارائه شده است [۱۱-۱۶]. در این روش معادلات طراحی بر اساس ارتباط نیازهای کارکردی محصول با پارامترهای طراحی نوشته می‌شود. در این معادلات ماتریس طراحی ارتباط بین نیازهای کارکردی و پارامترهای طراحی را فراهم می‌کند. استخراج ماتریس طراحی به مثابه داشتن ویژگی‌های طراحی است. ماتریس طراحی به سه دسته ناهم‌گیر، شبه‌هم‌گیر و هم‌گیر تقسیم می‌شود. در این مقاله، با ارائه مفهوم ماتریس رابطه طراحی و مجموعه شرایط عمومی سه دسته ماتریس رابطه طراحی بررسی می‌شود. سپس برای ماتریس رابطه طراحی ناهم‌گیر مساله بازساخت‌پذیری بررسی می‌شود.

مفهوم بازساخت ماتریس رابطه طراحی، مفهوم جدیدی در طراحی اصولی است. این مفهوم برای ارائه روش مهندسی معکوس، ارزشیابی طراحی و بهبود طراحی کاربرد دارد. بر اساس این مفهوم بازساخت‌پذیر بودن ماتریس رابطه طراحی ناهم‌گیر بررسی و اثبات می‌شود. برای انجام بازساخت ماتریس‌های رابطه طراحی فرض می‌شود محصول توسط تعداد محدودی از خبرگان حدس خود از ماتریس شده است و این خبرگان حدس خود از ماتریس طراحی را ارائه داده‌اند. بازساخت ماتریس رابطه طراحی نادانسته بر اساس ماتریس‌های طراحی پیشنهادی صورت می‌گیرد.

مساله بازساخت در سال ۱۹۷۶ توسط جورج کلر (George J. Klir) مطرح شد [۷]. کلر، دو مساله ماهیت‌یابی<sup>۷</sup> و بازساخت را با عنوان تحلیل بازساخت‌پذیری<sup>۸</sup> منتشر نمود. در تحلیل

روش طراحی اصولی از جمله روش‌های طراحی است که توسط نام سو (Num P. Suh) در دانشکده مکانیک دانشگاه MIT ارائه شده است [۱۱-۱۶]. در این روش معادلات طراحی بر اساس ارتباط نیازهای کارکردی محصول با پارامترهای طراحی نوشته می‌شود. در این معادلات ماتریس طراحی ارتباط بین نیازهای کارکردی و پارامترهای طراحی را فراهم می‌کند. استخراج ماتریس طراحی به مثابه داشتن ویژگی‌های طراحی است. ماتریس طراحی به سه دسته ناهم‌گیر، شبه‌هم‌گیر و هم‌گیر تقسیم می‌شود. در این مقاله، با ارائه مفهوم ماتریس رابطه طراحی و مجموعه شرایط عمومی سه دسته ماتریس رابطه طراحی بررسی می‌شود. سپس برای ماتریس رابطه طراحی ناهم‌گیر مساله بازساخت‌پذیری بررسی می‌شود.

اصل ۱ (اصل استقلال): نیازهای کارکردی در یک محصول مستقل از هم هستند.

اصل ۲ (اصل اطلاعات): محتوای اطلاعاتی یک طرح باید کمینه شود.

در این اصول منظور از نیازهای طراحی مجموعه نیازهایی است که با تولید محصول باید رفع شوند. این نیازها در قالب مجموعه اهداف و تکنیکهای طراحی بیان می‌شود. هدف اصلی از طراحی محصول ارایه پارامترهایی است که به صورت مجموعه‌ای از ویژگی‌های فیزیکی این نیازها را مرتفع نمایند. به این ویژگی‌های فیزیکی پارامترهای طراحی گفته می‌شود. در روش طراحی، تصویری که از رابطه بین مجموعه عناصر فضای کارکردی (نیازهای کارکردی) به فضای فیزیکی (پارامترهای طراحی)، به دست می‌آید یک ماتریس است که این ماتریس، ماتریس طراحی نامیده می‌شود.

نیازهای کارکردی محصول معمولاً دارای سلسله مراتب هستند. هر سطح از این سلسله مراتب با پارامترهای طراحی مربوط به خود ارضا می‌شوند. لذا پارامترهای طراحی نیز دارای سلسله مراتب مشابهی می‌باشند. به سلسله مراتب نیازهای کارکردی و پارامترهای طراحی، سلسله مراتب طراحی گویند. با توجه به سلسله مراتب طراحی، حرکت در سطوح نیازهای کارکردی از سطح  $i+1$  به سطح  $i$  نیازمند تعیین پارامترهای طراحی در سطح  $i$  است. این شیوه حرکت به سمت سطوح پایین را حرکت زیگزاگ می‌گویند (شکل ۱). دو کتاب منتشر شده از نام سو مراجع مناسبی برای ملاحظه مثال‌های عملی از این مفهوم می‌باشد [۱۶-۱۵].

### ماتریس رابطه طراحی

در روش طراحی اصولی طراحی محصول به کمک معادلات طراحی نمایش داده می‌شوند. معادله طراحی، معادله‌ای است که پارامترهای طراحی (DPها) را به نیازهای کارکردی (FRها) مرتبط می‌سازد. رابطه این معادله چنین است:

$$FR=[A].DP$$

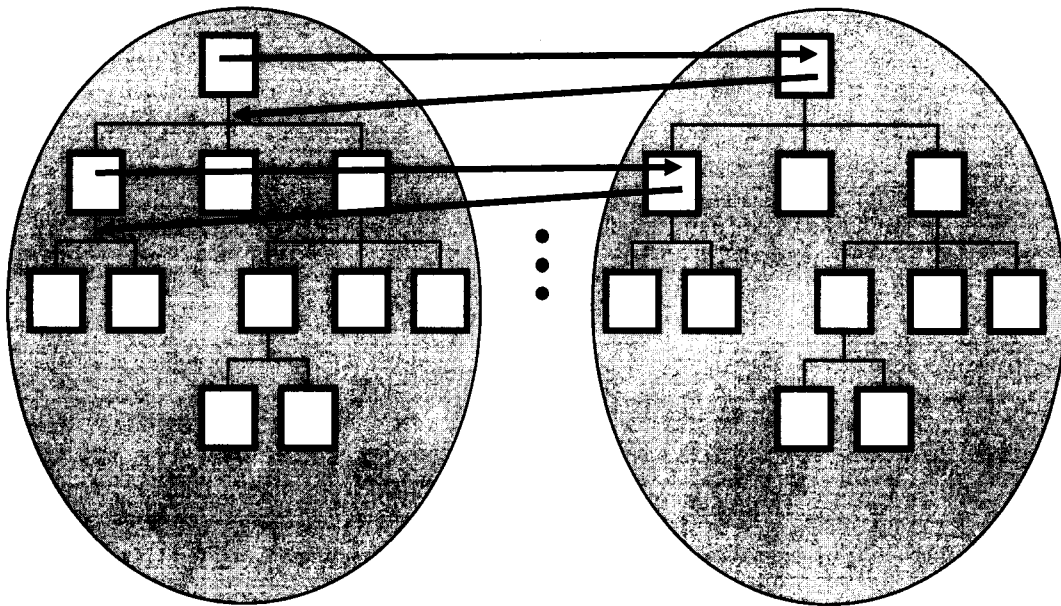
(۱)

بازساختارپذیری دو مفهوم طرح می‌شود: مفهوم ماهیت‌یابی و مفهوم بازساخت. در ماهیت‌یابی استخراج یک سیستم کل نامعلوم بر اساس تعدادی زیرسیستم (تصویر) معلوم مورد بررسی است. در بازساخت برای یک سیستم کل معلوم به دنبال استخراج حداقل تعداد تصاویری است که بیشترین محتوای اطلاعاتی از سیستم کل دانسته را دارد. در مساله بازساخت از ماهیت‌یابی به عنوان ابزار استخراج سیستم کل استفاده می‌شود. مباحث نظری بازساختارپذیری در مجموعه مقالاتی از کاوالو و کلر (Cavallo and Klir) توسعه یافت [۴-۶]. در این مباحث ایجاد خانواده بازساخت، یافتن بازساخت ناریب و تصمیم‌گیری برای انتخاب ساختار مناسب مطرح شده است. مروری بر مباحث بازساختارپذیری و طرح یافته‌های این نظریه توسط جورج کلر در سال ۱۹۸۵ انجام شد [۸].

در این مطالعه از دیدگاه مساله ماهیت‌یابی استفاده شده است. به عبارتی ماتریس رابطه طراحی نادانسته (سیستم کل ناشناخته) حسب تعدادی تصویر موجود (زیرسیستم‌ها) استخراج می‌شود. ساختار مقاله حاضر چنین است: ابتدا مفاهیم اصلی روش طراحی اصولی مرور می‌شود و متعاقب آن ضمن بیان ویژگی‌ها و دسته‌بندی ماتریس طراحی، مفهوم ماتریس رابطه طراحی معرفی خواهد شد. در ادامه با ذکر مفاهیم کلیدی، شیوه بازساخت ماتریس رابطه طراحی و ذکر پاره‌ای از کاربردهای آن بیان خواهد شد. سپس بازساخت‌پذیری ماتریس رابطه طراحی ناهم‌گیر بررسی می‌شود. در انتها نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهاد برای تحقیقات آتی ارائه خواهد شد.

### روش طراحی اصولی

روش طراحی اصولی مبتنی بر رویکرد تابعی در طراحی است [۱۶-۱۵]. در این روش نیازهای کارکردی محصول به عنوان تابعی از پارامترهای طراحی معرفی می‌شوند. رابطه بین نیازهای کارکردی و پارامترهای طراحی به نحوی ارائه می‌شود که دو اصل زیر رعایت شود:



دامنه کارکردی (نیازهای کارکردی)

دامنه فیزیکی (پارامترهای طراحی)

شکل ۱: نمونه‌ای از سلسله مراتب کارکردی و حرکت زیگزاگ.

موجود در طراحی ویژگی‌های سه نوع طراحی ناهم‌گیر، شبه‌هم‌گیر و هم‌گیر بررسی شود. تعریف ۱ (ماتریس رابطه طراحی): ماتریسی با عناصر صفر و یک که نشانگر رابطه بین نیازهای کارکردی و پارامترهای طراحی در ماتریس طراحی متناظر است. اگر ماتریس رابطه طراحی را با  $R$  نمایش دهیم، عناصر آن  $r_{ij}$  مقادیر صفر و یک خواهند داشت. ماتریس رابطه طراحی بر اساس ناهم‌گیری، شبه‌هم‌گیری و هم‌گیری ماتریس طراحی به ماتریس رابطه طراحی ناهم‌گیر، ماتریس رابطه طراحی شبه‌هم‌گیر و ماتریس رابطه طراحی هم‌گیر دسته‌بندی می‌شود. برای بررسی ویژگی‌های این سه ماتریس مفاهیم مجموعه طراحی، مجموعه سطری طراحی و مجموعه ستونی طراحی تعریف می‌شوند. تعریف ۲ (مجموعه طراحی): زیرمجموعه‌ای از حاصلضرب دکارتی بردار نیازهای کارکردی و بردار پارامترهای طراحی است که اعضای آن زوج‌های مرتب  $(FR_i, DP_j)$  نشاندهنده ارتباط بین نیاز کارکردی  $FR_i$  و پارامتر طراحی  $DP_j$  در ماتریس

که در آن  $FR$  معرف بردار نیازهای کارکردی و  $DP$  معرف بردار پارامترهای طراحی و  $[A]$  ماتریس طراحی است. عناصر ماتریس طراحی بیانگر تغییرات نیازهای کارکردی در مقابل پارامترهای طراحی است.

$$a_{ij} = \frac{\partial FR_i}{\partial DP_j}$$

(۲)

طراحی‌های قابل ارزیابی در روش طراحی اصولی بر اساس نوع اثرات نیازهای کارکردی بر پارامترهای طراحی به سه نوع ناهم‌گیر، هم‌گیر و شبه هم‌گیر تقسیم‌بندی می‌شوند. ماتریس‌های طراحی مربوط به هر یک از انواع طراحی‌ها نیز به همان نام موسوم می‌باشند.

به دلیل اهمیت روابط بین نیازهای کارکردی و پارامترهای طراحی در این مقاله مفهوم جدیدی به نام ماتریس رابطه طراحی معرفی می‌شود که بیانگر ارتباطات موجود در یک طراحی است. به کمک این ماتریس بدون درگیر شدن با پیچیدگی‌های طراحی می‌توان نوع طراحی را مشخص نمود. لذا در این بخش با توسعه مفاهیم جدیدی در مورد روابط

	DP1	DP2	DP3
FR1	X	0	X
FR2	X	X	0
FR3	X	0	X

ماتریس طراحی هم‌گیر

	DP1	DP2	P3
FR1	1	0	1
FR2	1	1	0
FR3	1	0	1

ماتریس رابطه طراحی هم‌گیر

شکل ۲: ماتریس رابطه طراحی مربوط به ماتریس طراحی هم‌گیر

	DP1	DP2	DP3
FR1	1	0	0
FR2	0	1	0
FR3	0	0	1

ماتریس رابطه طراحی ناهم‌گیر

	DP1	DP2	DP3
FR1	X	0	0
FR2	0	X	0
FR3	0	0	X

ماتریس طراحی ناهم‌گیر

شکل ۳: ماتریس طراحی ناهم‌گیر و ماتریس رابطه طراحی ناهم‌گیر متناظر.

	DP1	DP2	DP3
FR1	1	0	0
FR2	1	1	0
FR3	1	1	1

ماتریس رابطه طراحی شبه‌هم‌گیر

	DP1	DP2	DP3
FR1	X	0	0
FR2	X	X	0
FR3	X	X	X

ماتریس طراحی شبه‌هم‌گیر

شکل ۴: ماتریس طراحی شبه‌هم‌گیر و ماتریس رابطه طراحی شبه‌هم‌گیر متناظر.

که ارتباط بین نیازهای کارکردی است که با پارامتر طراحی خاص را نشان می‌دهند. به عبارت ریاضی: تعداد اعضای مجموعه طراحی، مجموعه سطری و مجموعه ستونی نشانگر تعداد عناصر غیر صفر ماتریس طراحی است.

$$Col_j = \{(FR_i, DP_j) \mid \forall i (FR_i, DP_j) \in D\} \quad (6)$$

اگر اعضای غیر صفر ماتریس طراحی را با X نشان دهیم، عناصر متناظر در ماتریس رابطه طراحی یک خواهند بود. تناظر بین ماتریس طراحی و ماتریس رابطه طراحی در شکل (۲) نشان داده شده است.

#### الف- ماتریس رابطه طراحی ناهم‌گیر

طراحی ناهم‌گیر، طراحی است که در آن تغییر یک نیاز کارکردی بر سایرین تاثیرگذار نباشد. ماتریس طراحی مربوط به یک طراحی ناهم‌گیر یک

طراحی است.

به عبارت ریاضی مجموعه طراحی چنین تعریف می‌شود:

$$D \subset FR \times DP \quad (3)$$

$$\forall i, j \in I, \begin{cases} (FR_i, DP_j) \in D, & r_{ij} = 1 \\ (FR_i, DP_j) \notin D, & r_{ij} = 0 \end{cases} \quad (4)$$

تعریف ۳ (مجموعه سطری طراحی): زیر مجموعه‌ای از مجموعه طراحی که اعضای آن زوج‌های مرتبی است که ارتباط بین پارامترهای طراحی با یک نیاز کارکردی خاص را نشان می‌دهند. به عبارت ریاضی:

$$Row_i = \{(FR_i, DP_j) \mid \forall j (FR_i, DP_j) \in D\} \quad (5)$$

تعریف ۴ (مجموعه ستونی طراحی): زیرمجموعه‌ای از مجموعه طراحی که اعضای آن زوج‌های مرتبی است

ماتریس رابطه طراحی شبه هم‌گیر دارای دو خاصیت زیر است:  
 خاصیت ب-۱) در هر سطر حداکثر به تعداد  $n$  عدد یک وجود دارد.

$$\forall i \in I = \{1, \dots, n\}, \text{Card}(\text{Row}_i) \leq i \quad (12)$$

خاصیت ب-۲) در هر ستون حداکثر به تعداد  $n-j$  عدد یک وجود دارد.

$$\forall j \in J = \{1, \dots, n\}, \text{Card}(\text{Col}_j) \leq n - j \quad (13)$$

ماتریس‌های طراحی شبه هم‌گیر نشان‌دهنده طراحی‌هایی است که با اتخاذ ترتیب برای تعیین پارامترهای طراحی می‌توان نیازهای کارکردی را به صورت مستقل از هم ارائه داد. لذا این ماتریس‌ها اصل استقلال را رعایت می‌کنند.

#### پ- ماتریس رابطه طراحی هم‌گیر

طراحی هم‌گیر به طراحی گفته می‌شود با تغییر یک نیاز کارکردی، سایر نیازهای کارکردی نیز دچار تغییر شوند. ماتریس طراحی یک طراحی هم‌گیر شکل مشخصی ندارد. نمونه‌ای از ماتریس طراحی هم‌گیر و ماتریس رابطه طراحی متناظر در شکل (۵) ارائه شده است. ماتریس رابطه طراحی هم‌گیر متناظر ماتریس طراحی هم‌گیر است. عناصر غیر صفر این ماتریس دارای رابطه خاصی نیست. ماتریس رابطه طراحی هم‌گیر دارای دو خاصیت زیر است:

خاصیت پ-۱) در هر سطر حداکثر به تعداد  $n$  عدد یک وجود دارد.

$$\forall i \in I = \{1, \dots, n\}, \text{Card}(\text{Row}_i) \leq n \quad (14)$$

خاصیت پ-۲) در هر ستون حداکثر به تعداد  $n$  عدد یک وجود دارد.

$$\forall j \in J = \{1, \dots, n\}, \text{Card}(\text{Col}_j) \leq n \quad (15)$$

ماتریس طراحی هم‌گیر نشان‌دهنده طراحی‌هایی است که اصل استقلال را رعایت نمی‌کنند.

ماتریس قطری است. نمونه‌ای از ماتریس طراحی ناهم‌گیر به همراه ماتریس رابطه طراحی متناظر در شکل (۳) ارائه شده است. ماتریس رابطه طراحی ناهم‌گیر متناظر ماتریس طراحی ناهم‌گیر است. این ماتریس مربع و قطری است و بر اساس مفهوم مجموعه طراحی چنین تعریف می‌شود:

$$\forall i, j \in I, (i = j \rightarrow (FR_i, DP_j) \in D) \quad (7)$$

این ماتریس از نوع ماتریس‌های ترتیب است و در هر سطر یا ستون آن تنها یک عنصر یک وجود دارد و سایر عناصر صفر هستند. علاوه بر مربع و قطری بودن، ماتریس رابطه طراحی ناهم‌گیر دارای دو خاصیت زیر است:

خاصیت الف-۱) در هر سطر تنها یک عدد یک وجود دارد.  
 $\forall i \in I, \text{Card}(\text{Row}_i) = 1$  (۸)

خاصیت الف-۲) در هر ستون تنها یک عدد یک وجود دارد.  
 $\forall j \in I, \text{Card}(\text{Col}_j) = 1$  (۹)

ماتریس‌های طراحی ناهم‌گیر دارای اهمیت زیادی هستند. این ماتریس‌ها نماینده یک طراحی ایده‌آل هستند که اصل استقلال را کاملاً رعایت می‌کنند

#### ب- ماتریس رابطه طراحی شبه هم‌گیر

طراحی شبه هم‌گیر، طراحی است که در آن کلیه نیازهای کارکردی مستقل از هم نباشند ولی بتوان تغییرات آن‌ها را مشخص کرد. ماتریس طراحی مربوط به طراحی شبه هم‌گیر یک ماتریس مثلثی است. نمونه‌ای از ماتریس طراحی شبه هم‌گیر و ماتریس رابطه طراحی متناظر در شکل (۴) ارائه شده است. ماتریس رابطه طراحی شبه هم‌گیر متناظر ماتریس طراحی شبه هم‌گیر است. این ماتریس مربع و مثلثی است. در حالت زیر مثلثی، تعریف این ماتریس بر اساس مجموعه طراحی چنین است:

$$\forall i, j \in I, (i \leq j \rightarrow (FR_i, DP_j) \in D) \quad (10)$$

در حالت بالا مثلثی تعریف این ماتریس چنین است:  
 $\forall i, j \in I, (i \geq j \rightarrow (FR_i, DP_j) \in D)$  (۱۱)

	DP1	DP2	DP3
FR1	1	0	1
FR2	1	1	0
FR3	1	0	1

ماتریس رابطه طراحی هم گیر

	DP1	DP2	DP3
FR1	X	0	X
FR2	X	X	0
FR3	X	0	X

ماتریس طراحی هم گیر

شکل ۵: ماتریس طراحی هم گیر و ماتریس رابطه طراحی هم گیر متناظر.

بازساخت ماتریس رابطه طراحی آشنایی با چند مفهوم لازم است که در بخش آتی ارایه خواهند شد.

### مفاهیم کلیدی

ماتریس رابطه طراحی نادانسته: ماتریس رابطه طراحی نادانسته یک سیستم کل ناشناخته است. اگر این ماتریس را  $A$  بنامیم، عناصر آن از متغیرهای سیستم کل ناشناخته است. این متغیرها را با مجموعه  $V$  نشان می‌دهیم. مقادیری که به این متغیرها می‌توان نسبت داد به عنوان مجموعه حالات سیستم تعریف می‌شوند. انتساب هر مقدار به متغیر به کمک یک تابع صورت می‌گیرد که می‌تواند معین، احتمالی یا فازی باشد. در مطالعه حاضر این تابع معین در نظر گرفته می‌شود.

تصویر ماتریس رابطه طراحی: تصویر ماتریس رابطه طراحی زیرسیستمی از سیستم کل ناشناخته است. این تصویر خود یک ماتریس رابطه طراحی است. ماتریس طراحی  $A^k$ ، تصویری است که طراح  $k$  ام از ماتریس اصلی ارائه می‌دهد. تعداد متغیرهای این ماتریس  $kV$  زیر مجموعه‌ای از متغیرهای ماتریس رابطه طراحی  $A$  است. هر زیرسیستم به منزله یک تصویر از سیستم کل است که در آن تنها متغیرهای  $kV$  ظاهر شده است.

$${}^k A = (A \downarrow {}^k V)$$

(۱۶)

شرط پوشش: هنگامی شرط پوشش در مساله برقرار است که کلیه متغیرهای سیستم کل ناشناخته در زیرسیستم‌ها ظاهر شوند. به عبارتی:

$$V = \bigcup_{k=1}^P {}^k V$$

(۱۷)

### بازساخت ماتریس طراحی ناهم گیر

با توجه به روش اصول طراحی هر طراحی با ماتریس طراحی خود معرفی می‌شود. رسیدن به طراحی مفقود، تلاش برای یافتن ماتریس طراحی مربوط است. هر طراح هنگامی که به محصول می‌نگرد، تصویری از نیازهای کارکردی محصول و پارامترهای طراحی مربوط به آن‌ها دارد. وی در سطح مفهومی، تصورات خود را به صورت یک ماتریس رابطه طراحی کاندیدا ارایه می‌دهد. ماتریسی که او ارایه می‌دهد به مثابه یک تصویر از روابط درونی ماتریس طراحی اصلی است. در صورتیکه چند ماتریس رابطه طراحی کاندیدا به عنوان تصاویر ماتریس رابطه طراحی اصلی وجود داشته باشد، تلاش برای استخراج ماتریس رابطه طراحی مفقود، بازساخت ماتریس رابطه طراحی نامیده می‌شود. مفهوم بازساخت ماتریس رابطه طراحی مبتنی بر تجزیه و تحلیل بازساختاریذیری سیستم‌هاست. هنگامی که بر مبنای مجموعه‌ای از تصاویر، خانواده ماتریس‌های رابطه طراحی کاندیدا ارایه می‌شود، مساله ماهیت‌یابی سیستم در بازساختاریذیری در مد نظر بوده است. استفاده از توابع معیار مناسب برای استخراج بازساخت‌های ناریب از خانواده ماتریس‌های بازساخت شده، کاربردی از مساله بازساخت است [۱-۲].

در این بخش تلاش می‌شود بر اساس اطلاعات موجود از منابع خبره ماتریس رابطه طراحی نادانسته کشف شود. با داشتن ماتریس رابطه طراحی در سطح طراحی مفهومی، می‌توان به نیازهایی که طراح را مجبور به تفکر کرده است وقوف یافت. همچنین مکانیزم‌هایی که برای رفع نیاز توسط طراح بررسی شده‌اند معلوم می‌گردد. برای معرفی فرآیند

مفقود، (۲) بازساخت ماتریس رابطه طراحی مفقود و (۳) انتخاب ماتریس رابطه طراحی ناریب [۱].  
 در این الگوریتم، لازم است که حداقل دو تصویر از ماتریس رابطه طراحی ناشناخته در دست باشد. با استفاده از بحث بازساختاریپذیری سیستم‌ها، گروهی از ماتریس‌های رابطه طراحی کاندیدا فراهم خواهد شد. با استفاده از معیار انتخاب بازساخت ناریب، از مجموعه ماتریس‌های رابطه طراحی کاندیدا، مناسب‌ترین ماتریس انتخاب می‌شود. نمایش نموداری این الگوریتم در شکل (۶) آورده شده است.

**جمع‌آوری تصاویر ماتریس رابطه طراحی مفقود**

ورودی الگوریتم بازساخت ماتریس رابطه طراحی، تعدادی ماتریس رابطه طراحی است که از خبرگان طراحی دریافت شده است. هر فرد خبره محصول را بررسی می‌کند و مجموعه نیازهای کارکردی و پارامترهای طراحی و روابط فیما بین را حدس می‌زند. این حدسیات که تصویری از ذهنیات طراح اولیه محصول است به شکل یک ماتریس رابطه طراحی پیشنهاد می‌شود. این ماتریس رابطه طراحی تصویری از ماتریس رابطه طراحی واقعی محصول است که یک ماتریس مفقود است.

**بازساخت ماتریس رابطه طراحی مفقود**

این قدم هسته اصلی الگوریتم بازساخت ماتریس رابطه طراحی است. در این الگوریتم از مفاهیم مساله ماهیت‌یابی سیستم‌ها استفاده می‌شود. قدم‌های الگوریتم بازساخت به شرح زیر است:  
 قدم ۰) براساس  $FR_i$  و  $DP_i$ ‌های اظهار شده در ماتریس تصاویر (P تصویر)، مجموعه شاخص متناظر ( $I^k, J^k, k=1, \dots, P$ ) و مجموعه طراحی ( $DS^k, k=1, \dots, P$ ) را بسازید.

قدم ۱) بر اساس مجموعه شاخص‌های  $I^k$  و  $J^k$  در تصاویر  $k=1, \dots, P$  مجموعه شاخص ماتریس مفقود

$$I \text{ و } J \text{ را به صورت } I = \prod_{k=1}^P I^k \text{ و } J = \prod_{k=1}^P J^k \text{ بسازید.}$$

قدم ۲) مجموعه‌های طراحی بیشینه ( $DS1$ )، کمینه ( $DS2$ ) و بازساخت ( $DS3$ ) را به صورت

$$DS3 = DS2 - DS1 \text{ و } DS2 = \prod_{k=1}^P DS^k, DS1 = \prod_{k=1}^P DS^k$$

که در آن P تعداد تصاویر موجود از سیستم کل ناشناخته است. در مطالعه حاضر شرط پوشش برقرار است.

**مجموعه طراحی تصویر  $k$ :** هر تصویر دارای مجموعه طراحی خاص خود است که با نماد  $D^k$  نوشته می‌شود. این مجموعه طراحی زیرمجموعه‌ای از مجموعه طراحی مربوط به ماتریس رابطه طراحی نادانسته است. تعاریف مجموعه سطری و مجموعه ستونی طراحی نیز برای تصاویر قابل توسعه است:

$$D^k \subset D, D = \prod_{k=1}^P D^k \tag{18}$$

$$Row_i^k \subset Row_i, Row_i = \prod_{k=1}^P Row_i^k \tag{19}$$

$$Col_j^k \subset Col_j, Col_j = \prod_{k=1}^P Col_j^k \tag{20}$$

**بازساخت ماتریس رابطه طراحی:** ماهیت‌یابی ماتریس رابطه طراحی نادانسته (سیستم کل ناشناخته) با توجه به اطلاعات موجود از این ماتریس رابطه طراحی به صورت چند تصویر (زیرسیستم‌های شناخته شده).

**بازساخت ناریب<sup>۱۹</sup>:** ماتریس رابطه طراحی کاندیدا که دارای انحراف کمی از ماتریس رابطه طراحی نادانسته است.

**شرط سازگاری تصاویر:** در صورتی تصاویر سازگارند که شروط زیر برقرار باشند:

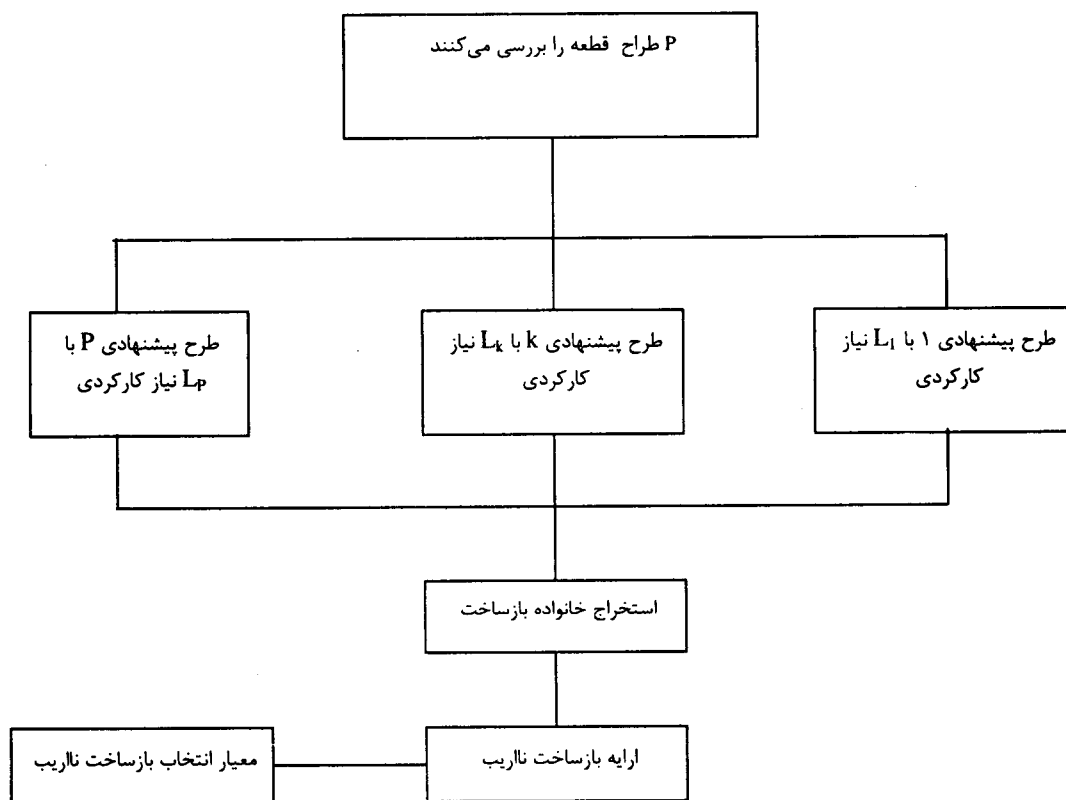
$$Card(\prod_{k=1}^P Row_i^k) = 1 \tag{21}$$

$$Card(\prod_{k=1}^P Col_j^k) = 1 \tag{22}$$

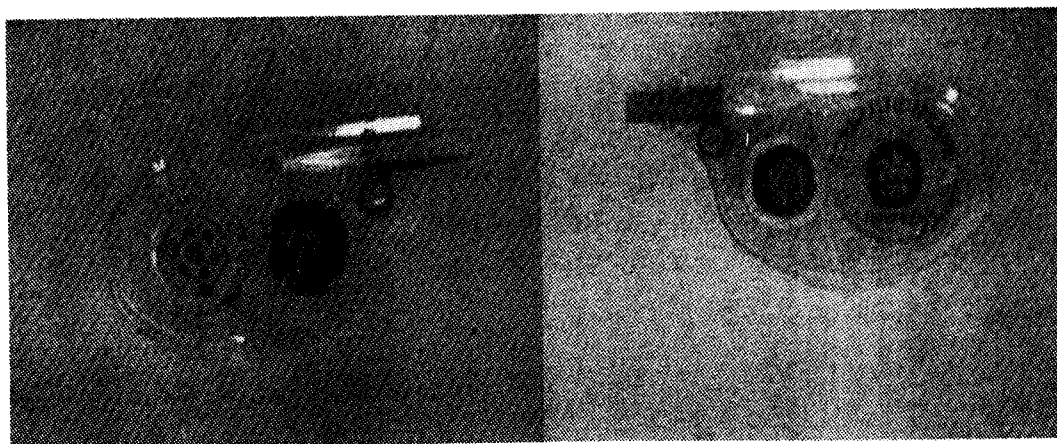
**فرآیند بازساخت ماتریس رابطه طراحی**

الگوریتمی که بتواند عملیات بازساخت ماتریس رابطه طراحی را انجام دهد دارای سه مرحله است: (۱) جمع‌آوری تصاویر ماتریس رابطه طراحی

DS1 بسازید. محتویات مجموعه‌های پیشینه (DS1)، کمینه (DS2) و بازساخت (DS3) به صورت زیر تشکیل دهید: قدم ۳) ماتریس‌های رابطه طراحی کمینه (DM1)، پیشینه (DM2) و بازساخت (DM3) را بر اساس



شکل ۶: فرآیند بازساخت ماتریس رابطه طراحی.



شکل ۷: تصاویری از محصول نوار غلط‌گیر.



ماتریس است.

$$L = RND \left( \frac{Sum(DM1) + Sum(DM2)}{2} \right) \quad (24)$$

قدم ۴) برای ماتریس‌هایی که از قدم قبل به دست آمده‌اند معیار زیر را به کار بندید و اعضای خروجی را به عنوان ماتریس‌های رابطه طراحی ناریب ارایه دهید.

$$MaxMin_k d_{ik} \quad l = 1, \dots, T \quad k = 1, \dots, P \quad (25)$$

اگر تعداد این ماتریس‌ها بیشتر از یک بود با دو معیار زیر آن‌ها را اولویت‌بندی کنید:

معیار ۱) ماتریسی دارای اولویت بررسی است که دارای قطر کامل باشد.

معیار ۲) ماتریسی دارای اولویت بررسی است که دارای عناصر همگیر کمتری باشد.

مثال- دو طراح خبره محصول نوار غلطگیر را بررسی کرده‌اند (شکل ۷). طراح اول اعتقاد دارد که این محصول دارای دو نیاز کارکردی با عناوین "FR1) قابلیت پوشش مناسب لاک بر کاغذ" و "FR2) سهولت استفاده" است که به وسیله پارامترهای طراحی "DP1) استفاده از نوار دارای پوشش لاک" و "DP2) استفاده از مکانیزم چرخشی" ارضا می‌شوند. وی این دو نیاز کارکردی را کاملاً مستقل از یکدیگر می‌داند. اما طراح دوم سه نیاز کارکردی با عناوین "FR1) قابلیت پوشش مناسب لاک بر کاغذ" و "FR3) قابلیت دسترسی و استقرار بر سطح" و "FR4) عدم وجود مواد زائد"، پیش‌بینی کرده است که برای رفع آن‌ها پارامتر طراحی زیر ارایه شده‌اند: "DP1) استفاده از نوار دارای پوشش لاک" و "DP3) تعبیه بدنه صاف با شکل تفنگی" و "DP4) استفاده از غلطک جمع-کننده مواد زائد". البته از نظر طراح دوم نیازهای کارکردی FR1 و FR4 در پارامتر طراحی DP4 مشترک می‌باشند. ماتریس رابطه طراحی پیشنهادی از طرف این دو طراح در شکل (۸) ارایه شده است. هر ماتریس به مثابه یک تصویر از ماتریس رابطه

قدم ۳-۱) ماتریس رابطه طراحی کمینه دارای مقدار یک در سلول‌هایی است که رابطه آن‌ها عضو مجموعه کمینه DS1 است و سایر سلول‌های آن صفر است.

قدم ۳-۲) ماتریس رابطه طراحی بیشینه دارای مقدار یک در سلول‌هایی است که رابطه آن‌ها عضو مجموعه بیشینه DS2 است و سایر سلول‌های آن صفر است.

قدم ۳-۳) ماتریس بازساخت رابطه طراحی دارای مقدار یک در سلول‌هایی است که رابطه آن‌ها عضو مجموعه کمینه DS1 است و مقدار متغیر دودویی  $v_{ij}$  برای اعضای متناظر ماتریس DS3 است.

#### انتخاب ماتریس رابطه طراحی ناریب

خانواده بازساخت با  $T$  عضو حاوی کلیه ماتریس‌هایی است که به عنوان ماتریس رابطه طراحی مفقود قابل انتخاب می‌باشند. تعیین ماتریس ارجح از این مجموعه نیازمند قواعدی است که انتخاب ماتریس رابطه طراحی ناریب را تضمین نماید. ماتریس رابطه طراحی ناریب بر اساس اجماع نظرهای خبرگان طراحی قابل تعریف است. برای استخراج این ماتریس باید به فاصله بین عناصر خانواده بازساخت ماتریس‌های رابطه طراحی و ماتریس‌های تصاویر توجه داشت. این فاصله با استفاده از رابطه (۲۹) استخراج می‌شود:

$$d_{ik} = \left[ \sum_i \sum_j |x_{ij}^l - x_{ij}^k| \right] \quad l = 1, \dots, T \quad k = 1, \dots, P \quad (22)$$

به نظر می‌رسد که ماتریس رابطه طراحی که بتواند در وحله اول کمترین فاصله نسبت به تمامی این تصاویر را داشته باشد بهترین ماتریس رابطه طراحی ناریب است.

الگوریتم انتخاب ماتریس‌های رابطه طراحی ناریب از میان اعضای مجموعه ساختار طراحی چنین است:

قدم ۱) کلیه اعضای خانواده بازساخت را استخراج کنید.

قدم ۲) فاصله هر یک از اعضای خانواده بازساخت را از تصاویر موجود به کمک رابطه (۲۳) به دست آورید.

قدم ۳) مقدار حداقل روابط مورد نیاز در ماتریس‌های رابطه طراحی را به کمک رابطه زیر به دست آورید، که در آن تابع  $Sum()$  بیانگر جمع کلیه مقادیر

تصویر دوم				تصویر اول	
	DP1	DP3	DP4	DP1	DP2
FR1	1	0	1	1	0
FR3	0	1	0	0	1
FR4	0	0	1		

شکل ۸: تصاویر ماتریس رابطه طراحی پیشنهادی طراحان برای محصول لاک غلطگیر.

ماتریس بازساخت طراحی					ماتریس رابطه طراحی پیشینه					ماتریس رابطه طراحی کمینه				
	DP1	DP2	DP3	DP4		DP1	DP2	DP3	DP4		DP1	DP2	DP3	DP4
FR1	1	0	0	v1	FR1	1	0	0	1	FR1	1	0	0	0
FR2	0	v2	0	0	FR2	0	1	0	0	FR2	0	0	0	0
FR3	0	0	v3	0	FR3	0	0	1	0	FR3	0	0	0	0
FR4	0	0	0	v4	FR4	0	0	0	1	FR4	0	0	0	0

شکل ۹: ماتریس رابطه طراحی کمینه، پیشینه و بازساخت محصول.

ماتریس بازساخت نااریب				
	DP1	DP2	DP3	DP4
FR1	1	0	0	0
FR2	0	1	0	0
FR3	0	0	1	0
FR4	0	0	0	1

شکل ۱۰: ماتریس رابطه طراحی بازساخت شده برای محصول لاک غلطگیر.

## کاربردهای بازساخت ماتریس رابطه طراحی

برای مساله بازساخت ماتریس رابطه طراحی می‌توان کاربردهای متعددی را توصیه کرد. این کاربردها عمدتاً برای توسعه روش‌های دیگر است. برای نمونه، ارائه یک الگوریتم برای مهندسی معکوس محصول یکی از این کاربردها است. مهندسی معکوس مجموعه‌ای از روش‌ها برای استخراج ویژگی‌ها و اطلاعات نادانسته طراحی است. اگر طراحی مستقیم محصول توسط روش طراحی اصولی و به کمک ساختار سلسله‌مراتبی معادلات طراحی بیان شود، دستیابی به اطلاعات نهفته طراحی مستلزم کشف ماتریس طراحی نهفته خواهد بود. برای ارائه الگوریتم کشف اطلاعات ماتریس طراحی استفاده از روش بازساخت مفید است [۲].

از دیگر کاربردهای بازساخت ماتریس طراحی، امکان ارائه روشی برای ارزیابی طراحی است.

طراحی نادانسته است، که تلاش دارد روابط موجود در سطح طراحی مفهومی محصول را نشان دهد. با اعمال الگوریتم بازساخت ماتریس رابطه طراحی روی دو تصویر موجود از ماتریس رابطه طراحی نادانسته، ماتریس رابطه طراحی کمینه، پیشینه و بازساخت به دست می‌آید (شکل ۹). با بررسی حالات مختلف ماتریس بازساخت می‌توان عناصر خانواده بازساخت طراحی را مشخص کرد. خانواده ماتریس‌های بازساخت شده بر اساس ترکیبات مختلف مقادیر چهار متغیر صفر-یک ( $v_1, v_2, v_3, v_4$ ) دارای ۱۶ عضو است. برای انتخاب ماتریس رابطه طراحی مناسب از این مجموعه ۱۶ تایی لازم است الگوریتم انتخاب بازساخت نااریب اجرا گردد که نتیجه اجرای این الگوریتم ماتریس رابطه طراحی در شکل (۱۰) نمایش داده شده است. این ماتریس نماینده ماتریس رابطه طراحی نادانسته محصول مورد بررسی است.

طراحی مربوط به تصویر  $k$  ناهم‌گیر نباشد. پس حداقل یک نیازکارکردی  $FR_i$  وجود دارد که دارای دو پارامتر طراحی  $DP_{j1}$  و  $DP_{j2}$  در آن تصویر است. به عبارتی:

$$Card(Row_i^k) = 2$$

(۲۶)

مجموعه  $C_1$  اندیس تصاویری است که  $FR_i$  در آن‌ها ظاهر شده است. اجتماع مجموعه سطری طراحی این تصاویر حداقل دو عضو دارد.

$$Card(\bigcup_{k \in C_1} Row_i^k) \geq 2$$

(۲۷)

این شرط با شرط سازگاری سطری تصاویر در تضاد است. لذا فرض اولیه اشتباه بوده است. پس ماتریس رابطه طراحی تصویر  $k$  ناهم‌گیر است.

قضیه ۲: ماتریس رابطه طراحی نادانسته ناهم‌گیر است اگر و تنها اگر ماتریس‌های رابطه طراحی مربوط به تصاویر آن سازگار باشند.

اثبات: اثبات شرط لازم و کافی این قضیه به راحتی میسر است. با توجه به تعریف شرط سازگاری (روابط (۲۱) و (۲۲)) و استفاده از روابط (۱۹) و (۲۰) می‌توان خواص ماتریس رابطه طراحی ناهم‌گیر (روابط (۸) و (۹)) را به دست آورد. همچنین استفاده از خواص ماتریس رابطه طراحی ناهم‌گیر و استفاده از روابط (۱۹) و (۲۰) شرایط سازگاری تصاویر را به دست می‌دهد. به عبارتی:

$$Card(\bigcup_{k=1}^P Row_i^k) = Card(Row_i) = 1$$

(۲۸)

$$Card(\bigcup_{k=1}^P Col_j^k) = Card(Col_j) = 1$$

(۲۹)

از قضایای ۱ و ۲ نتیجه زیر گرفته می‌شود. نتیجه ۱: اگر ماتریس رابطه طراحی نادانسته ناهم‌گیر باشد آنگاه ماتریس‌های رابطه طراحی مربوط به تصاویر ناهم‌گیر هستند.

عکس این نتیجه همیشه درست نیست. برخی مواقع تصاویر ناهم‌گیر ممکن است شرط سازگاری را رعایت نکنند. در این حالت ماتریس رابطه طراحی ناهم‌گیر نخواهد بود. اگر شرط

در این روش محصول طراحی شده در اختیار تعدادی داور قرار می‌گیرد. داوران نظر خود را به صورت پیشنهادی از ماتریس طراحی ارائه می‌دهند. با بازساخت ماتریس طراحی و اندازه‌گیری فاصله اطلاعاتی ماتریس طراحی بازساخت شده و ماتریس طراحی موجود می‌توان به نقاط ضعف طراحی موجود پی برد و حسب آن طراحی را ارزیابی نمود.

مقایسه ماتریس طراحی بازساخت شده و ماتریس طراحی موجود، برای حصول ایده‌هایی که منجر به بهبود طراحی می‌شود نیز قابل کاربرد است. لذا می‌توان ارائه روشی برای بهبود طراحی مهندسی را از دیگر کاربردهای بازساخت ماتریس طراحی دانست.

## بازساخت‌پذیری ماتریس رابطه طراحی ناهم‌گیر

در این بخش بازساخت‌پذیری ماتریس رابطه طراحی ناهم‌گیر بررسی می‌شود. منظور از بازساخت‌پذیری ماتریس رابطه طراحی، حصول اطمینان از صحت استخراج ماتریس رابطه طراحی نادانسته به وسیله تعداد محدودی از تصاویر آن ماتریس نادانسته است. با حصول ماتریس رابطه طراحی ارتباطات اصلی نیازهای کارکردی و پارامترهای طراحی مشخص می‌شود.

به دلیل اهمیت ماتریس‌های طراحی ناهم‌گیر، در این مقاله بازساخت ماتریس رابطه طراحی ناهم‌گیر بررسی شده است. ماتریس‌های طراحی ناهم‌گیر دارای اهمیت زیادی هستند. این ماتریس‌ها اصل استقلال را کاملاً رعایت می‌کنند. در صورتیکه شرط سازگاری برقرار باشد این ماتریس‌ها دارای تصاویر ناهم‌گیر یکتا خواهند بود. قضایای زیر در مساله بازساخت ماتریس‌های رابطه طراحی ناهم‌گیر مطرح هستند که بازساخت‌پذیری این مساله را نشان می‌دهند.

قضیه ۱: اگر تصاویر یک ماتریس رابطه طراحی نادانسته سازگار باشند کلیه ماتریس‌های رابطه طراحی مربوط به آن تصاویر ناهم‌گیر هستند. اثبات (برهان خلف): فرض کنید ماتریس رابطه

گیرید اگر در دو تصویر  $k_1$  و  $k_2$  نیازکارکردی  $FR_i$  با دو پارامتر طراحی متفاوت  $DP_{j1}$  و  $DP_{j2}$  مرتبط باشد. در این حالت شرط سازگاری برقرار نیست و مجموعه سطری طراحی متناظر با  $i$  بیشتر از دو عنصر خواهد داشت که خواص یک ماتریس رابطه طراحی ناهم‌گیر را ارضا نمی‌کنند.

نتیجه ۴: اگر حداقل یک تصویر از تصاویر ماتریس رابطه طراحی نادانسته ناهم‌گیر نباشد آن ماتریس طراحی ناهم‌گیر نیست.

### نتیجه‌گیری

در این مقاله مفهوم ماتریس رابطه طراحی و بازساخت ماتریس رابطه طراحی معرفی شد. بحث بازساخت ماتریس رابطه طراحی به استخراج یک ماتریس رابطه طراحی نادانسته با استفاده از تعداد محدودی از تصاویر آن می‌پردازد. این بحث در ارائه الگوریتم‌هایی برای مهندسی معکوس، ارزیابی طراحی و بهبود طراحی کاربرد دارد. در این مقاله تلاش شد چارچوب نظری برای بحث فراهم آید. در این راستا مفاهیم ماتریس رابطه طراحی، مجموعه طراحی، مجموعه سطری و ستونی طراحی معرفی گردید و بر آن مبنا بحث بازساخت‌پذیری ماتریس رابطه طراحی ناهم‌گیر بررسی شد. در این بحث ثابت شد که ماتریس رابطه طراحی ناهم‌گیر در شرایط وجود سازگاری بین تصاویر بازساخت‌پذیر است.

این مقاله آغاز یک بحث نظری جدید در طراحی مهندسی است. برای ادامه مطالعات علاوه بر نیاز به مطالعه برای یافتن زمینه‌های کاربردی، تحقیقات نظری مختلفی مطرح است. در این مقاله بازساخت‌پذیری ماتریس رابطه طراحی ناهم‌گیر به اثبات رسید. اگرچه وجود ماتریس طراحی ناهم‌گیر موجب رعایت اصل استقلال و ارائه یک طراحی ایده‌آل می‌شود، بسیاری از طراحی‌ها با هم‌گیری مواجه‌اند. لذا، توسعه الگوریتم بازساخت برای موارد طراحی هم‌گیر موضوع مناسبی برای ادامه تحقیقات است. علاوه بر آن روش بازساخت پیشنهادی در این مقاله، قابل توسعه به شرایط عدم قطعیت است. همچنین کاربرد و توسعه مفاهیم مقاله حاضر به منظور ارائه یک الگوریتم مهندسی معکوس برای

سازگاری برقرار باشد، بازساخت حاصله یکتا خواهد بود.

قضیه ۳: در صورتیکه تصاویر ماتریس رابطه طراحی ناهم‌گیر با هم سازگار باشند بازساخت یکتا است.

اثبات: ابتدا باید بازساخت‌پذیری و سپس یکتایی بازساخت بررسی شود. در مورد بازساخت‌پذیری، چون سازگاری بین تصاویر وجود دارد پس طبق قضیه (۲) نتیجه بازساخت ماتریس رابطه طراحی ناهم‌گیر خواهد بود.

برای اثبات یکتایی بازساخت، فرض کنید بازساخت یکتا نباشد پس باید حداقل دو بازساخت مستقل از هم ایجاد شود. این دو بازساخت حداقل در یک نیازکارکردی با هم تفاوت دارند. فرض کنید این تفاوت برای نیاز کارکردی  $i$  یعنی  $FR_i$  باشد. در نظر گیرید، پارامتر طراحی مرتبط با  $FR_i$  در بازساخت یک با  $DP_{j1}$  و در بازساخت دو با  $DP_{j2}$  نشان داده - شوند. در نتیجه:

$$(FR_i, DP_{j1}) \in Row_i^1, (FR_i, DP_{j2}) \in Row_i^2 \quad (30)$$

باید توجه داشت که این دو بازساخت از مجموعه تصاویر یکسانی ایجاد شده‌اند. پس باید حداقل در یک تصویر مشاهده شوند. به عبارتی این دو زوج مرتب باید متعلق به اجتماع مجموعه سطری متناظر با نیازکارکردی  $i$  باشند.

$$(FR_i, DP_{j1}) \in \bigcup_{k=1}^P Row_i^k, (FR_i, DP_{j2}) \in \bigcup_{k=1}^P Row_i^k \quad (31)$$

$$Card(\bigcup_{k=1}^P Row_i^k) \geq 2 \quad (32)$$

مشاهده می‌شود که شرط سازگاری تخلف شد. پس فرض اولیه اشتباه بوده است. به عبارتی بازساخت یکتا است.

نتیجه ۴: ماتریس رابطه ناهم‌گیر در صورت وجود شرط سازگاری بازساخت‌پذیر است.

نتیجه ۳: اگر شرط سازگاری بین تصاویر وجود نداشته باشد ماتریس رابطه طراحی بازساخت شده ناهم‌گیر نخواهد بود.

برای ملاحظه صحت این نتیجه در نظر

$R^k$ : تصویر $k$ ام از ماتریس رابطه طراحی	بهبود طراحی مهندسی از دیگر موضوعاتی است که
$D$ : مجموعه طراحی	در به عنوان موضوع تحقیق قابل دنبال کردن است.
$D^k$ : مجموعه طراحی مربوط به تصویر $k$ ام	
$Row_i$ : مجموعه سطری طراحی	<b>فهرست علائم</b>
$Row_i^k$ : مجموعه سطری طراحی مربوط به تصویر $k$ ام	FRI : نیاز کارکردی $i$ ام
$Col_j$ : مجموعه ستونی طراحی	DPj : پارامتر طراحی $j$ ام
$Col_j^k$ : مجموعه ستونی طراحی مربوط به تصویر $k$ ام	A : ماتریس طراحی
$Card(X)$ : اندازه مجموعه $X$	$A^k$ : تصویر $k$ ام از ماتریس طراحی
	V : متغیرهای سیستم ناشناخته
	$V^k$ : متغیرهای تصاویر سیستم ناشناخته
	R : ماتریس رابطه طراحی

### مراجع

- 1 - Cavallo, R. E. and Klir, G. J. (1979). "The structure of reconstructable relations: a comprehensive study." *Journal of Cybernetics*, Vol. 9, PP. 399-413.
- 2 - Cavallo, R. E. and Klir, G. J. (1981). "Reconstructability analysis: evaluation of reconstruction hypotheses." *Int. J. General Systems*, Vol. 7, PP. 1-6.
- 3 - Cavallo, R. E. and Klir, G. J. (1982). "Decision making in reconstructability analysis." *Int. J. General Systems*, Vol. 8, PP. 243-255.
- 4 - Klir, G. J. (1976). "Identification of generative structures in empirical data." *Int. J. General Systems*, Vol. 3, PP. 89-104.
- 5 - Klir, G. J. and Way, E. C. (1985). "Reconstructability analysis: aims, results, open problems." *System Research*, Vol. 2, No. 2, PP. 141-163.
- 6 - Kurfman, M. A., Stone, R. B., Wie, M. V., Wood, & Kristin L. and Kevin, N. Otto (2000). "Theoretical underpinnings Of functional modeling: preliminary experimental studies." *Proceedings of ASME Design Engineering Technical Conferences*, September 10-13, 2000 – Baltimore, Maryland.
- 7 - Rudolph, S. (1996). "Upper and lower limits for the principles of design." *Research in Engineering Design*, Vol. 8, PP. 207-215.
- 8 - Shirazi, M. A. (1998). *Reverse engineering based on identification theories*. Ph.D. Dissertation Proposal, Amirkabir University of Tech., Tehran, Iran (In Persian).
- 9 - Shirazi, M. A. and Ramazani, R. (2002). "Design relation matrix reconstruction algorithm: a new algorithm in axiomatic design." *Submitted for International Journal of Science and Engineering*, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran (In Persian).
- 10 - Suh, N. P., Bell, A. C. and Gossard, D. C. (1978). "On an axiomatic approach to manufacturing and manufacturing systems." *Journal of Engineering for Industry*, Trans. ASME, Vol. 100, No. 2, PP. 127-130.

- 11 - Suh, N. P., Kim, S., Bell, A., Wilson, D., Cook, N., Lapidot, N. and Turkovich, B. V. (1978). "Optimization of manufacturing systems through axiomatics." *Annals of the CIRP*, Vol. 27, No. 1, PP. 383-388.
- 12 - Suh, N. P., Wilson, D. R., Tice, W. W., Yasuhara, M. and Bell, A. C. (1979). "Application of axiomatic design techniques to manufacturing." *Annals of the CIRP*, Vol. 28, No. 1.
- 13 - Suh, N.P., Rinderle, J. R. and Wilson, D. R. (1981). "Exploratory study of constraints on design by functional requirements and manufacturing." *Presented at National Science Foundation Conference on Production Research and Technology*, Stanford, CA.
- 14 - Suh, N. P. (1990). *The Principles of Design*. Oxford University Press, Inc. NY.
- 15 - Suh, N. P. (2001). *Axiomatic Design, Advances and Applications*. Oxford University Press, Inc., NY.
- 16 - Stone, R. B. and Wood, K. L. (1998). "A heuristic method to identify modules from a functional description of a product." *Proceedings of ASME Design Engineering Technical Conferences*, September 13-16, 1998 – Atlanta, Georgia.
- 17 - Stone, R. B. and Wood, K. L. (1999). "Development of a functional basis for design." *Proceedings of ASME Design Engineering Technical Conferences*, September 12-15, – Las Vegas, Nevada.
- 18 - Wilson, D. R., Bell, A. C., Suh, N. P., Van Dyck, F. and Tice, W. W. (1979). "Manufacturing axioms and their corollaries." *Presented at Seventh North American Metal Working Research Conference*, Ann Arbor, MI.

#### واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- |                                       |                                  |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| 1 - Axiomatic Design                  | 2 - Independent Axiom            |
| 3 - Information Axiom                 | 4 - Uncoupled Design             |
| 5 - Decoupled or Quasi-coupled Design | 6 - Coupled Design               |
| 7 - Projection                        | 8 - Unknown Design Matrix        |
| 9 - Reverse Engineering               | 10 - Design Evaluation           |
| 11 - Design Improvement               | 12 - Functional Requirement (FR) |
| 13 - Design Parameter (DP)            | 14 - Reconstruction Problem      |
| 15 - Identifying                      | 16 - Reconstructability Analysis |
| 17 - Zigzagging                       | 18 - Design Relation Matrix      |
| 19 - Unbiasd Reconstruction           |                                  |