

# «مکبث» روشی برای ارزیابی مطلوبیت طراحی‌های سیستمی مبتنی بر بدیهیات

نجمه مودی\* (دانشجوی کارشناسی ارشد)

رضا شیخ (استادیار)

دانشکده‌ی مهندسی صنایع و مدیریت، دانشگاه صنعتی شاهرود

مهندسی صنایع و مدیریت شریف، زمستان ۱۳۹۳ (۱۴۹۳)  
دوری ۱ - ۳۰، شماره ۲، ص. ۱۳۳-۱۳۸، (پادداشت ثنی)

شیوه‌ی مبتنی بر بدیهیات، روشی علمی و نظام‌مند در طراحی سیستم است که مورد استقبال دانشمندان و محققین در رشته‌های مختلف علمی واقع شده است. این مقبولیت ناشی از به‌کارگیری دو اصل استقلال و اطلاعات در طراحی است. اما مهم‌ترین چالش مدیران چگونگی انتخاب بهترین سیستم از بین سیستم‌های مختلف طراحی شده، علی‌رغم استفاده از شیوه‌ی طراحی مبتنی بر بدیهیات است. دانش و تخصص و تجربه‌ی افراد در به‌کارگیری اصول طراحی موجب ایجاد طرح‌هایی با مطلوبیت و کارایی متفاوت شده است. مطلوبیت طراحی‌های انجام شده براساس شاخص‌های اصل استقلال و اصل اطلاعات و شاخص جدید معرفی شده به نام «اصل جامعیت» تعیین می‌شود. از شیوه‌ی مکبث به‌عنوان ابزاری برای اندازه‌گیری مطلوبیت ساختار سیستم استفاده شده و امتیازدهی مطالعه‌ی موردی تحقیق نیز با کمک نرم‌افزار M-MACBETH انجام شده است.

واژگان کلیدی: طراحی مبتنی بر بدیهیات، مکبث، تصمیم‌گیری چندمعیاره.

## ۱. مقدمه

طراحی که از قدیمی‌ترین کارهای بشر بوده، کوششی ذهنی است برای تحقق نیازها به بهترین وجه ممکن، و نیز نوعی فعالیت مهندسی است که تقریباً همه‌ی حوزه‌های زندگی بشر را در بر می‌گیرد. طراحی ضعیف هزینه‌های زیادی را بر افراد و شرکت‌ها تحمیل می‌کند و ممکن است اثرات آن بسیار ناخوشایند باشد. از این رو درخصوص توسعه‌ی متدولوژی، به‌نجوی که فرایند طراحی را نظام‌مند کند، شیوه‌های مختلفی -- نظیر شیوه‌ی تریگر ورک<sup>۱</sup>، چک‌لیست، شکل‌شناسی، جست‌وجوی خواص، گوردن<sup>۲</sup>، و طوفان فکری -- ارائه شده است. این شیوه‌ها الگوریتمی‌اند، از قوانین یا روش‌های طبقه‌بندی طراحی در موقعیت‌های خاص تبعیت می‌کنند، فاقد اصول اساسی‌اند و تعمیم‌پذیر نیستند.

اولین تحقیق نظام‌مند درخصوص طراحی مهندسی در سال ۱۸۵۰ در آلمان صورت گرفت. در سال‌های بعد دانشمندان با بررسی شیوه‌های طراحی، نظریه‌هایی ارائه دادند. دارل مان<sup>۳</sup> طی تحقیقی به بررسی انواع شیوه‌های طراحی پرداخت و مقایساتی بین روش تریز و طراحی مبتنی بر بدیهیات انجام داد. درمورد دو شیوه‌ی تریز و طراحی مبتنی بر بدیهیات، مقایسه دیگری نیز توسط کای پانگ<sup>۴</sup>، هونگوی ژنگ<sup>۵</sup> انجام شده است. میتوهو<sup>۶</sup> از کمپانی فورد، کای پانگ از دانشگاه ایالت واین<sup>۷</sup>، و شین تاگوشی<sup>۸</sup> از مؤسسه‌ی عرضه‌کننده آمریکایی نیز به مطالعه‌ی شیوه‌های طراحی تریز و طراحی مبتنی بر بدیهیات پرداخته‌اند.<sup>[۱]</sup>

\* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۱/۱۱/۳، اصلاحیه ۱۳۹۲/۳/۸، پذیرش ۱۳۹۲/۴/۵.

najmehmoodi@gmail.com  
resheikh@shahroodut.ac.ir

## ۲. بیان مسئله

مقبولیت شیوه‌ی مبتنی بر بدیهیات به‌عنوان روشی علمی و نظام‌مند در طراحی سیستم ناشی از به‌کارگیری دو اصل استقلال و اصل اطلاعات در طراحی است که تفاوت معناداری را با سایر شیوه‌های طراحی ایجاد کرده است. اما مهم‌ترین چالش مدیران این است که چگونه بهترین طرح را با وجود اصول بدیهی از بین سایر طرح‌ها انتخاب کنند. دانش و تخصص و تجربه‌ی افراد در به‌کارگیری اصول طراحی موجب شده تا طرح‌هایی با مطلوبیت و کارایی متفاوت ایجاد شود. لذا برای سنجش مطلوبیت و اعتبار طراحی علاوه بر دو اصل بدیهی، از شاخص سوم به نام اصل جامعیت استفاده شده است. از چالش‌های دیگر در امر ارزیابی، ناسازگاری موجود در قضاوت کارشناسان است که برای حذف آن از شیوه‌ی مکبث استفاده می‌شود.

## ۱.۲. طراحی مبتنی بر بدیهیات

نم‌پی.سو بنیان‌گذار طراحی مبتنی بر بدیهیات از دانشگاه ام. آی. تی اهداف اساسی طراحی مبتنی بر بدیهیات را ایجاد علم برای طراحی و یک نظریه‌ی بنیادی بر مبنای فرایندهای نظام‌مند بیان کرد. او بهبود برنامه‌اش را با این سؤال شروع کرده است: «آیا در حضور مجموعه‌ی عملیاتی مشخص برای یک محصول خاص، بدیهیات قابل کاربردی وجود دارند که نتیجه‌اش تصمیمات در هرگام از مراحل ساخت باشد؟»

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & O & O \\ O & X & O \\ O & O & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{Bmatrix} \quad \text{طراحی مستقل}$$

طرح مستقل بدیهه ۱ را ارضاء می‌کند، در حالی که طرح وابسته عملکردهایی مبتنی بر سایر عملکردها پدیدآورده و بدیهه ۱ را نقض می‌کند. به‌عنوان مثال، برای طراحی یک شیر آب با در نظر گرفتن دو برای عمودی (عمل کنترل سرعت جریان) و حرکت افقی (کنترل دما) انجام می‌شود.

### ب) بدیهه‌ی اطلاعات

بدیهه ۲ (اطلاعات) بیان می‌دارد که در بین تمام طراحی‌های ارضاءکننده‌ی بدیهه‌ی استقلال (بدیهه‌ی یک)، طرح حاوی کم‌ترین محتوای اطلاعاتی، بهترین طراحی است. به‌منظور محقق ساختن اصل دوم ضروری است طراحان ابزارهای اندازه‌گیری و محاسبه‌ی محتوای اطلاعاتی را نیز در اختیار داشته باشند. [۱۰،۳۱]

### ج) اصل جامعیت

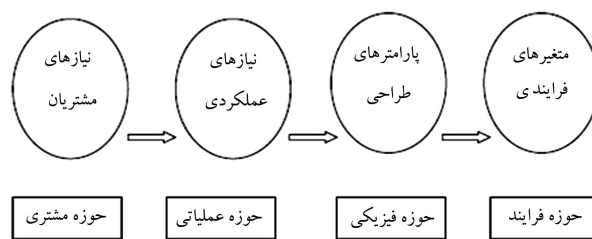
ممکن است طراح در طراحی از دو بدیهه‌ی استقلال و اطلاعات به خوبی استفاده کرده باشد اما به تناسب دانش و خلاقیت وی، دامنه‌ی جامع و کامل بودن طرح‌ها متفاوت است. در این تحقیق اصل جامعیت به‌عنوان شاخصی جدید در سنجش مطلوبیت معرفی شده است. به‌عنوان مثال برای طراحی شیر آب با در نظر گرفتن دو بار -- برای عمودی (عمل کنترل سرعت جریان) و حرکت افقی (کنترل دما) -- ممکن است طراح از حرکت مورب برای تنظیم جریان مواد شوینده استفاده کند. ارزیابی ذهن خلاق و نوآور طراح، نسبت به سایر طراحان با کاربرد اصل جامعیت انجام می‌شود.

در ارزیابی سیستم‌های طراحی شده به‌وسیله‌ی شیوه‌ی طراحی مبتنی بر بدیهیات، باید اصل مستقل‌کننده‌ی شاخص‌روایی سازه، اصل اطلاعات به‌عنوان روایی محتوا و اصل جامعیت به‌عنوان روایی ملاکی را مد نظر قرار داد.

## ۲.۲. شیوه‌ی مکبث<sup>۹</sup> (اندازه‌گیری جذابیت طبقه‌بندی بر مبنای شیوه‌ی ارزیابی)

یکی از اصلی‌ترین معیارها در شیوه‌های چندمعیاره، استفاده از نظر افراد خبره و کارشناسان است. نظرات افراد خبره ممکن است در حین قضاوت دچار تناقض شود. در بسیاری از شیوه‌ها نظیر PROMTHEE, ELECTRE به تناقض در قضاوت افراد کارشناس توجهی نشده و مستقیماً مقیاس عددی را می‌طلبند. شیوه‌ی AHP از جمله شیوه‌هایی است که با توجه به مقایسات زوجی و بررسی نرخ سازگاری قضاوت از استقبال زیادی برخوردار شده است. نرخ سازگاری، سازوکاری است برای اطمینان بخشیدن از این که مقایسه‌های انجام شده توسط افراد گروه از سازگاری و پایایی برخوردار است. در صورتی که نرخ سازگاری کم‌تر یا مساوی ۰/۱۰ باشد می‌توان سازگاری مقایسه‌ها را پذیرفت. در روش AHP بررسی نرخ سازگاری براساس روابط تک‌تک پدیده‌ها با یکدیگر بوده و امکان بررسی ناسازگاری در روابط جبری بین پدیده‌ها نسبت به یکدیگر وجود ندارد.

شیوه‌ی مکبث که در دهه‌ی ۱۹۹۰ توسط بانا کاستا و وایسنیک معرفی شده یک رویکرد تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره است که فقط براساس داوری‌های کیفی (فردی - گروهی) درباره‌ی تفاوت ارزش‌ها به تصمیم‌گیرنده کمک می‌کند تا مطلوبیت گزینه‌ها را به‌دست آورد. رویکرد این مدل براساس ارزش افزوده بوده و هدف آن مقابله با تأثیرات متقابل در باره‌ی نظرات بیان شده در ارزیابی مسئله برای



شکل ۱. نگاشت چهار قلمرو تصمیم‌گیری.

طراحی بنا به تعریف عبارت است از تعاملی پیوسته بین آنچه که مطلوب است و نحوه‌ی دستیابی به آن. [۱] در طراحی یک سیستم طراحی مبتنی بر بدیهیات باید پروژه را در چهار حوزه مورد تجزیه و تحلیل قرار داد (شکل ۱):

۱. حوزه‌ی مشتریان: در این حوزه نیازهای مشتریان یا ویژگی‌های آنها مشخص می‌شود.

۲. حوزه‌ی عملکردی: در این حوزه سؤال «مقصد یا هدف طرح چیست؟» یا «تعریف تابع هدف» مطرح می‌شود.

۳. حوزه‌ی فیزیکی: پارامترهای طراحی که موجب ارضاء تابع هدف در حوزه عملکردی می‌شوند در حوزه‌ی فیزیکی تعیین می‌شود.

۴. حوزه‌ی فرایندی: متغیرهای فرایندی همان متغیرهای تصمیم‌اند که با بهینه‌یابی آنها تابع هدف بهینه می‌شود. [۵،۳۱]

در طراحی سیستم از دو اصل بدیهی استفاده شده است. اصول بدیهی موجود در طراحی مبتنی بر بدیهیات درحقیقت نگرش و رویکردی تحلیلی در افراد و طراحان ایجاد می‌کند که بتوانند بهترین تابع هدف و پارامتر طراحی را انتخاب کنند. رعایت اصول بدیهی موجب کمیته‌سازی امکان نادیده گرفتن فعالیت‌ها شده و نوع روابط بین اجزاء را به‌راحتی قابل مشاهده و تعریف می‌سازد. [۶-۹]

### اصول بدیهی:

۱. **بدیهه‌ی استقلال:** استقلال نیازهای عملکردی را تأمین کنید.

۲. **بدیهه‌ی اطلاعات:** محتوای اطلاعات طراحی را کمیته کنید.

### الف) بدیهه‌ی استقلال

بدیهه ۱ (بدیهه‌ی استقلال) بیان می‌دارد که در طول فرایند طراحی، با حرکت از نیازهای عملکردی در قلمرو عملیاتی به پارامترهای طراحی، ارتباط بین نیازهای عملکردی و پارامترهای طراحی باید به‌گونه‌ی باشد که انحرافی کوچک در پارامترهای طراحی خاص تنها بر نیازهای عملکردی مربوط به آن تأثیرگذار باشد. طراحی را به سه صورت می‌توان انجام داد: طراحی مستقل، طراحی وابسته و طراحی نیمه‌مستقل (یا شبه وابسته).

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & X & X \\ X & X & X \\ X & X & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{Bmatrix} \quad \text{طراحی وابسته}$$

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & O & O \\ X & X & O \\ X & X & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{Bmatrix} \quad \text{طراحی نیمه‌وابسته}$$

غیرمقتارنی روی  $P$  باشد؛ در آن صورت:

$$(x, y)P^e(z, w) \Rightarrow \Delta_{att}(x, y) > \Delta_{att}(z, w)$$

چنانچه بین گزینه‌ها رابطه‌ی  $P, I, ?, P^e$  برقرار باشد، آنگاه علاوه بر برقراری شرط ۱، باید شرط ۲ نیز برقرار باشد.

$$\text{Condition } \Upsilon : \forall x, y, z \in X, [(x, y)P^e(z, w) \rightarrow \mu(x) - \mu(y) > \mu(z) - \mu(w)]$$

**گام سوم:** بررسی سازگاری در قضاوت.

پس از این که افراد تصمیم‌گیرنده نظرات و قضاوت‌های خود را درباره‌ی هر زوج گزینه‌ی موجود در مسئله بیان کردند، مشخص کردن سازگاری موجود بین نظرات ضرورت دارد. بررسی سازگاری در نظرات در دو مرحله صورت می‌گیرد:

**الف) آزمون عدم وجود حلقه در نظرات**

براساس پیش‌آزمون اطلاعات ترجیحی، وجود گزاره‌ی ۱ نشان می‌دهد که در قضاوت کارشناسان حلقه اتفاق افتاده است.

$X^* \subset X$ ; if  $\forall x \in X^*, \exists y \in X^*$  such that  $xPy$ , then  $\exists$

$$x_1, x_2, \dots, x_p \in X^* \text{ such that } x_1 P x_2 P \dots P x_1 \text{ (cycle)}.$$

گزاره ۱: در واقع پیش‌آزمون در جست‌وجوی یک جایگشت  $\varphi: N_{1,n} \rightarrow N_{1,n}$  به طوری که:

$$\forall i, j \in N_{1,n}, [i > j \Rightarrow a_{\varphi(i)}(\text{not } P)a_{\varphi(j)}]. \quad (1)$$

جایگشت عناصر  $X$  توسط الگوریتم PRETEST انجام شده (رابطه ۲) و وجود سیکل مشخص می‌شود.

PRETEST :

۱.  $s \leftarrow n$ ;

۲. among  $a_1, a_2, \dots, a_s$  find  $a_i$  which is not preferred over

any other :

if  $a_i$  exists, go to ۳.;

if not, return FALSE ( $Sc_1 = \varphi$ , according to property ۱);

finish.

۳. permute  $a_i$  and  $a_s$ ;

۴.  $s \leftarrow s - 1$  :

if  $s = 1$ , return TRUE; finish.

if not, goto ۲.

(۲)

**ب) آزمون ناسازگاری**

این آزمون برای اطلاعات نوع ۱ و ۱+۲ متفاوت است. اطلاعات نوع  $\{P, I, ?\}$  درباره‌ی  $X$ :

-- سازگار است زمانی که رابطه‌ی بین عناصر تهی نباشد:  $Sc_1 = (X, P, I) \neq \emptyset$ ;

-- ناسازگار است زمانی که رابطه‌ی بین عناصر تهی باشد:  $Sc_1 = (X, P, I) = \emptyset$ .

اولویت‌بندی گزینه‌هاست، تا به راحتی بتوانند گزینه‌های مورد نظر را اولویت‌بندی و انتخاب کنند. [۱۲، ۱۱]

از طرفی شیوه‌ی مکبث توسط یک سری رویکردهای خلاقانه‌ی انسانی و روش‌های تعاملی و ساختاری می‌تواند شرایطی ایجاد کند که داده‌های کیفی به دست آمده را به صورت یک مدل کمی درآورد. به علاوه در صورت بروز عدم تطابق در قضاوت‌ها می‌توان پیشنهادهای را با استفاده از قوانین و شرایط سازگاری ارائه کرد تا نتیجه‌ی مطلوب به دست آید. طبق نظر دتونی (۱۹۹۶) شیوه‌ی مکبث، شیوه‌ی تعاملی است که از قضاوت‌های طبقه‌بندی شده درباره‌ی روابط جبری بین پدیده‌ها استفاده می‌کند و مهم‌ترین نوآوری آن توانایی تولید مقیاس‌های عددی براساس مقایسه‌ی کیفی است که از تفاوت در جذابیت‌های گزینه‌ها حاصل می‌شود. این شیوه به افراد (مشتری) کمک می‌کند تا درک بهتری نسبت به قضاوت در مسئله داشته باشند. نظرخواهی انجام شده با شیوه‌ی مکبث کاربرپسندتر<sup>۱</sup> و در مقایسه با دیگر شیوه‌های موجود جامع‌تر است. [۱۳]

### ۳. الگوریتم محاسباتی شیوه‌ی مکبث [۱۴]

گام اول: شناسایی گزینه‌های مورد ارزیابی و تعیین معیارهای قضاوت.

گام دوم: دریافت اطلاعات ترجیحی از قضاوت‌کنندگان.

اطلاعات دریافتی از قضاوت‌کنندگان به صورت اطلاعات نوع ۱ و اطلاعات نوع ۱+۲ است.

#### ۱.۳. اطلاعات نوع ۱

این نوع اطلاعات اشاره به اطلاعات ترجیحی دارد که تصمیم‌گیرنده در پاسخ‌گویی به سؤال «آیا گزینه‌ی  $X$  بر  $Y$  برتری دارد؟» بیان می‌کند. پاسخ به این سؤال به ۳ حالت بی‌اطلاعی (?), برابری ( $I$ ) و برتری ( $P$ ) بیان می‌شود.

$$P = \{(x, y) \in X \times X : x \text{ is more attractive than } y\}$$

$$I = \{(x, y) \in X \times X : x \text{ is not more attractive than } y \text{ and } y \text{ is not more attractive than } x, \text{ or } x = y\}$$

$$? = \{(x, y) \in X \times X : x \text{ and } y \text{ are not compatible in terms of their attractiveness}\}$$

تعریف ۳: در صورتی که بین گزینه‌ها رابطه‌ی  $P, I$  برقرار باشد آنگاه وضعیت ۱ برای آن تعریف می‌شود.

Condition ۱ :  $\forall x, y \in X, [xPy \rightarrow \mu(x) > \mu(y)]$  and

$$[xIy \rightarrow \mu(x) = \mu(y)]$$

#### ۲.۳. اطلاعات نوع ۱+۲

اگر  $x$  برتر از  $y$  باشد، مشخص کنید که این برتری به چه صورت است. معمولاً این نظرات در یک بازه «خیلی ضعیف<sup>۱۱</sup>، ضعیف<sup>۱۲</sup>، متعادل<sup>۱۳</sup>، قوی<sup>۱۴</sup>، بسیار قوی<sup>۱۵</sup>» بیان می‌شود.

اطلاعات نوع ۱+۲ در بازه  $X$  دارای ساختار  $\{P, I, ?, P^e\}$  است، به طوری که  $\{P, I, ?\}$  همچون اطلاعات نوع ۱ درباره‌ی  $X$  هستند و  $P^e$  دارای رابطه‌ی

$$\begin{aligned}
 & \min x_1 \\
 & \text{subject to} \\
 & x_p - x_r = 0 \quad \forall (a_p, a_r) \in I \text{ with } p < r \\
 & \sigma_j + \frac{1}{\gamma} \leq x_p - x_r \\
 & \quad \forall i, j \in N_{1,Q} \text{ with } i \leq j, \forall (a_p, a_r) \in C_{i,j} \\
 & x_p - x_r \leq \sigma_{j+1} - \frac{1}{\gamma} \\
 & \quad \forall i, j \in N_{1,Q-1} \text{ with } i \leq j, \forall (a_p, a_r) \in C_{i,j} \\
 & \sigma_1 = \frac{1}{\gamma} \\
 & \sigma_{i-1} + 1 \leq \sigma_i \quad \forall i \in N_{\tau,Q} \\
 & x_i \geq 0 \quad \forall i \in N_{1,n} \\
 & \sigma_i \geq 0 \quad \forall i \in N_{1,Q} \tag{6}
 \end{aligned}$$

با توجه به متغیر بودن بازه مکبث، ضرورت دارد تا به مقیاس استاندارد تبدیل شود که در دامنه‌ی پیش فرض نرم افزار حد بالا (۱°) و حد پایین (°) این تبدیل مقیاس صورت می‌گیرد. مراحل مکبث به صورت کلی در رابطه‌ی ۷ خلاصه شده است.

**Step ۱. solution of LP – MACBETH**

- optimal solution  $x_1, x_2, \dots, x_n$
- $\mu(a_1) = x_1, \mu(a_n) = x_n = 0$
- (remark :  $\mu(a_1)$  is unique)

**Step ۲. for  $i = 2$  to  $n - 1$**

to solve  $\max x_i$  under  $\begin{cases} S_{mac} \\ x_1 = \mu(a_1), \dots, x_{i-1} = \mu(a_{i-1}) \end{cases}$

- optimal solution  $x_1, x_2, \dots, x_n$
- $x \max = x_i$

to solve  $\min x_i$  under  $\begin{cases} S_{mac} \\ x_1 = \mu(a_1), \dots, x_{i-1} = \mu(a_{i-1}) \end{cases}$

- optimal solution  $x_1, x_2, \dots, x_n$
- $x \min = x_i$

→ optimal solution  $x_1, x_2, \dots, x_n$

- $x \min = x_i$

$$\mu(a_i) = \frac{x \min + x \max}{\gamma}$$

thus,

(۷)

**۴. مطالعه‌ی موردی**

هدف این تحقیق انتخاب بهترین طرح از بین پنج طرح ارائه شده در زمینه‌ی طراحی سیستم تولیدی ناب براساس شیوه‌ی مبتنی بر بدیهیات است. برای حل مسئله

با توجه به گستردگی و پیچیدگی روابط، لازم است برای شناسایی سازگاری اطلاعات نوع ۱ از برنامه‌ریزی خطی LP-test<sub>۱</sub> (رابطه ۳) با متغیرهای  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  استفاده شود.

$$\begin{aligned}
 & \min x_1 \\
 & \text{subject to} \\
 & x_i - x_j \geq d_{\min} \quad \forall (a_i, a_j) \in P \\
 & x_i - x_j = 0 \quad \forall (a_i, a_j) \in I \text{ with } i \neq j \\
 & x_i \geq 0 \quad \forall i \in N_{1,n} \tag{۳}
 \end{aligned}$$

اطلاعات نوع ۱+۲  $\{P, I, ?, P^e\}$  درباره‌ی X:

-- سازگار است زمانی که رابطه‌ی بین عناصر تهی نباشد:  
 $Sc_{1+2} = (X, P, I, P^e) \neq \emptyset$

-- ناسازگار است زمانی که رابطه‌ی بین عناصر تهی باشد:  
 $Sc_{1+2} = (X, P, I, P^e) = \emptyset$

برای شناسایی سازگاری اطلاعات نوع ۱+۲ از برنامه‌ی LP-Test<sub>۱+۲</sub> (رابطه‌ی ۴) با متغیرهای  $X_1 (= \mu(a_1)), \dots, X_n (= \mu(a_n)), \sigma_1, \dots, \sigma_n$  استفاده می‌شود.

$$\begin{aligned}
 & \min x_1 \\
 & \text{subject to} \\
 & x_p - x_r = 0 \quad \forall (a_p, a_r) \in I \text{ with } p < r \\
 & \sigma_j + d_{\min} \leq x_p - x_r \\
 & \quad \forall i, j \in N_{1,Q} \text{ with } i \leq j, \forall (a_p, a_r) \in C_{i,j} \\
 & x_p - x_r \leq \sigma_{j+1} - d_{\min} \\
 & \quad \forall i, j \in N_{1,Q-1} \text{ with } i \leq j, \forall (a_p, a_r) \in C_{i,j} \\
 & d_{\min} \leq \sigma_1 \\
 & \sigma_{i-1} + d_{\min} \leq \sigma_i \quad \forall i \in N_{\tau,Q} \\
 & x_i \geq 0 \quad \forall i \in N_{1,n} \\
 & \sigma_i \geq 0 \quad \forall i \in N_{1,Q} \tag{۴}
 \end{aligned}$$

**گام چهارم:** ارائه‌ی پیشنهاداتی برای ایجاد سازگاری در صورت وجود ناسازگاری پس از بررسی محدودیت‌های ناسازگار مکبث کم‌ترین پیشنهادات را برای برقراری سازگاری ارائه می‌دهد.

**گام پنجم:** ارزش عددی اطلاعات دریافتی. بعد از اطمینان از سازگاری اطلاعات دریافتی ارزش عددی گزینه‌ی مورد بررسی مشخص می‌شود (رابطه‌ی ۵). ارزش نهایی هرگزینه با توجه به ضریب اهمیت آن براساس مدل ارزش افزوده محاسبه می‌شود.

$$\mu(a_j) = \sum_{i=1}^n w_i \mu_i(g_i(a_j)) \tag{۵}$$

مقادیر پارامترهای  $\mu, g_i(a_j)$  از برنامه‌ریزی خطی مطابق رابطه‌ی ۶ با نام LP-MACBETH برای بیان مقیاس مکبثی گزینه‌ها استفاده می‌شود (رابطه‌ی ۶).

اصل ۳	اصل ۲	اصل ۱	امتیاز کل	طرح
۲۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۹/۱۰	د
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	سطح بالا
۳۱۲/۵	۴۲/۸۶	۱۰۰	۹۳/۳۷	ج
۳۳۷/۵	۷۱/۴۳	۵۰	۸۵/۹۰	ه
۱۷۵	۷۱/۴۳	۵۰	۷۱/۱۱	الف
۳۱۲/۵	۰	۰	۲۸/۴۴	ب
۰	۰	۰	۰	سطح پایین
۰/۰۹۱۰	۰/۴۵۴۵	۰/۴۵۴۵	۰/۴۵۴۵	وزن

۱۰۹/۱۰	د
۹۳/۳۷	ج
۸۵/۹۰	ه
۷۱/۱۱	الف
۲۸/۴۴	ب

الف) نتایج ارزیابی به صورت ترموستاتی؛

ب) نتایج ارزیابی براساس جدول مقیاس ها.

نمودار ۳. نتیجه‌ی ارزیابی به صورت ترموستاتی و جدول مقیاس ها.

اصل ۳	اصل ۲	اصل ۱
ه	د	ج
ب	الف	د
ج	ه	الف
د	ج	ه
الف	ب	ب

نمودار ۴. رتبه بندی گزینه‌ها براساس هر شاخص به طور مجزا.

اصل اطلاعات و اصل جامعیت، طرح (د) از اعتبار بالاتری برخوردار است.

$$\mu = (0,45 \times 100) + (0,45 \times 100) + (0,09 \times 200) = 109,10$$

پس از محاسبه، خروجی آن به صورت نمودار گرافیکی نمودار ۳ نمایش داده می‌شود. رتبه بندی هر طرح براساس هر شاخص به صورت مجزا نیز در نمودار ۴ نمایش داده شده است. در طرح‌های (ج) و (د) اصل استقلال، در طرح (د) اصل اطلاعات و در طرح (ه) اصل جامعیت نسبت به سایر طرح‌ها بالاترین امتیاز را کسب کرده است.

## ۵. نتیجه‌گیری

هدف این مقاله ارائه‌ی رویکردی نوین برای انتخاب بهترین طراحی‌های انجام شده، براساس شیوه‌ی طراحی مبتنی بر بدیهیات است. طراحی مطلوب باید از روایی سازه، روایی محتوا و روایی ملاکی برخوردار باشد. در این تحقیق اصل استقلال نشان‌دهنده‌ی روایی سازه است؛ اصل اطلاعات برای اندازه‌گیری روایی محتوا، و اصل جدیداً معرفی شده به نام «اصل جامعیت» برای اندازه‌گیری روایی ملاکی استفاده شده است. اصل استقلال برای ارزیابی کیفیت نگاشت بین نیازها و گزینه‌های حل

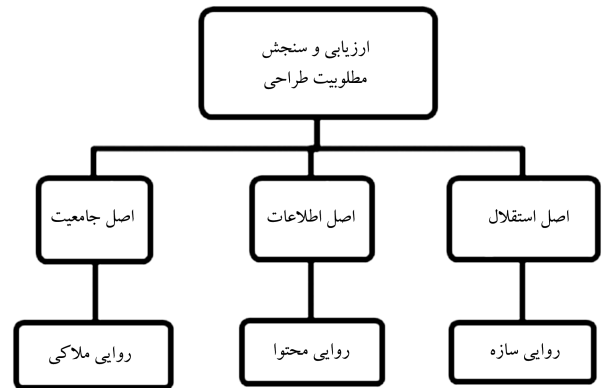
از نرم‌افزار M-MACBETH استفاده شده است. اولین مرحله در ارزیابی و بررسی طرح‌ها، شناسایی و تعیین معیارها (شاخص‌ها) و گزینه‌های تصمیم‌گیری است (نمودار ۱).

لازم به ذکر است که این نرم‌افزار ورودی اطلاعات ترجیحی را علاوه بر مقایسات زوجی بین گزینه‌ها به صورت قضاوت کیفی و کمی برای هر یک از شاخص‌ها دریافت می‌کند. لذا اطلاعات مربوط به اصل استقلال به صورت کیفی، اطلاعات مربوط به اصل اطلاعات به صورت کمی، و اطلاعات مربوط به اصل جامعیت به صورت مقایسات زوجی بیان می‌شود. به عنوان نمونه ورودی اطلاعات ترجیحی برای اصل جامعیت به صورت نمودار ۲ است.

با اجرای مدل‌های برنامه‌ریزی خطی LP-test<sub>1</sub> و LP-test<sub>2</sub> ناسازگاری‌های موجود در قضاوت‌ها شناسایی و مرتفع می‌شود و ارزش عددی نهایی گزینه‌ها براساس تابع زیر محاسبه می‌شود:

$$\mu(a_j) = \sum_{i=1}^n w_i \mu_i(g_i(a_j))$$

طبق محاسبات انجام شده، و با توجه به مجموع امتیاز سه شاخص اصل استقلال،



نمودار ۱. معیارهای سنجش مطلوبیت.

مقدار عددی	خستگی	خوب	الف	د	ج	ب	ه
۳۳۷/۵	بینهایت قوی	خیلی قوی	متوسط	متوسط قوی	ضعیف متوسط	ضعیف متوسط	ه
۳۱۲/۵	بینهایت قوی	خیلی قوی	متوسط	متوسط قوی	متوسط قوی	ب	ب
۳۱۲/۵	بینهایت قوی	خیلی قوی	متوسط	متوسط قوی	متوسط قوی	ج	ج
۲۰۰	قوی	ضعیف	ضعیف متوسط	متوسط	ب	د	د
۱۷۵	قوی	ضعیف	ب	ب	ب	الف	الف
۱۰۰	برتر	ب	ب	ب	ب	خوب	خوب
۰	ب	ب	ب	ب	ب	ب	خستگی

نمودار ۲. روابط بین شاخص جامعیت.

عدد به جای قضاوت ترجیحی سخت تر است. امروزه نیز در زندگی قضاوت کنندگان، استفاده از اعداد به عادت بدل شده است و در واقعیت بسیار سخت است که برداشت های محدودی از قضاوت ها شود.

پس از بررسی مطلوبیت طراحی با استفاده از نرم افزار مکبث، و براساس اصول طراحی مبتنی بر بدیهیات و اصل جامعیت، طرح ها رتبه بندی شده و در نهایت طرح بهتر و روایی آن مشخص شده است. از طرفی شیوهی مکبث نیز در این زمینه نسبت به سایر شیوه های تصمیم گیری چندمعیاره کارآتر و بهتر است.

است. اصل اطلاعات در شناسایی حل بهینه توسط انتخاب جایگزین برای راه حل ها کاربرد دارد. در واقع اصل اطلاعات، اصلی است که کمترین اطلاعات را داشته باشد. اصل سوم نیز، اصل جامعیت است که بیان می دارد طراح باید دانش لازم در حوزهی طراحی را داشته باشد و تمامی FR و DP های مورد نیاز را لحاظ کرده باشد. مکبث رویکردی است که برای اندازه گیری تفاوت بین گزینه ها کاربرد دارد و مهم ترین نوآوری آن توانایی تولید مقیاس های عددی براساس مقایسه ی کیفی است که از تفاوت در جذابیت های گزینه ها به دست می آید. از طرفی برای تصمیم گیرندگان بیان

## پانوشته ها

1. Trigger work
2. Gordon
3. Darrell Mann
4. Kai Yang
5. Hangwei Zhang
6. Matthew Hu
7. Wayne state university
8. Shin Taguchi
9. measuring attractiveness category by evaluation technique
10. user friendly
11. very weak
12. weak
13. moderate
14. strong
15. very strong

## منابع (References)

1. Sheikh, R. "Design and development of objective and strategies company based on axiomatic design technique", *International Conference of Strategies and Solving Problem Technique*, Summit Conference, 11-13 (2010).
2. Albano, L.D. and Suh, N.P. "Axiomatic approach to structural design", *Research in Engineering Design*, **4**(3), pp. 171-183 (1992).
3. www.Axiomaticdesign.com.
4. Satity, T.L., *Decision Making For leaders*, Rws Publication (1990).
5. Tate, D. and Nordlund, M.A. "Design process roadmap as a general tool for structuring and supporting design activities", (accepted to the) *Proceedings of the Second World Conference on Integrated Design and Process Technology (IDPT-Vol.2)*, Society for Design And Process Science, Austin, TX (1-4 Dec. 1996).
6. Gebala, D.A. and Suh, N.P. "An application of axiomatic design", *Research in Engineering Design*, **3**, pp. 149-162 (1992).
7. Suh, N.P. "Design & Operation of Large Systems", *Journal of Manufacturing Systems*, **14**(3), pp.17-25(1990).
8. Suh, N.P., *Axiomatic Design: Advances and Application*, Oxford University Press (2001).
9. Suh, N.P. "Design and operation of large systems", *Journal of Manufacturing Systems*, **14**(3), pp. 17-25 (1990).
10. Saremi, M. and Sheikh, R. "Axiomatic design technique tool for segmentation and establishment of product system", *Quarterly of Knowledge Management*, **19**, pp. 47-69 (2006).
11. Bana e Costa, C.A., Vansnick, J.C. and Decorte, J.M., Macbeth, Working Paper the london school of economics and political science (2004).
12. Soguel, N., Tangerini, A. and Pictet, J. "How to measure scope variables when no metrics exist: Application to landscape quality measurement and hedonic price evaluation", **117**, pp.827-841 (2007).
13. Detoni, M. "Application of multi criteria methodology for decision support in defining features construction projects", MSc Dissertation, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, Brazil (1996).
14. Bana e Costa, C.A, Vansnick, J.C. and Decorte, J.M., On the Mathematical Foundations of Macbeth, Working Paper, the London School of Economics and Political Science (2004).