

## یک مدل بهینه سازی وزین غیر خطی جهت رتبه بندی مدل های مختلف چیدمان در مساله طراحی چیدمان تسهیلات

عبداله هادی وینچه<sup>۱\*</sup>، امیر محمد قاسمی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>گروه ریاضی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مبارکه

<sup>۲</sup>گروه مدیریت دانشگاه آزاد اسلامی واحد زابل

### چکیده

یک مساله طراحی چیدمان تسهیلات کارآمد شامل استقرار ماشین آلات، بخش ها، ایستگاه های کاری و غیره در کنار هم به نحوی است که با در نظر گرفتن مجموعه اهداف، قیود و سایر شرایط بتوان محصولات و خدمات را در حداکثر بهره وری و سود آوری عرضه کنند. از این رو مساله طراحی چیدمان تسهیلات معمولاً یک مساله چند هدفه است که در آن علاوه بر معیارهای کمی ممکن است معیارهای کیفی نیز بر آن تأثیر گذار باشند. در این مقاله از رویکرد AHP جهت تعیین مقادیر عملکردی معیارهای کیفی استفاده می شود. یک نرم افزار تجاری جهت ایجاد الگو های چیدمان و همچنین جهت ایجاد مقادیر عملکردی کمی به کار برده می شود و در نهایت از یک مدل بهینه سازی وزین غیر خطی جهت رتبه بندی الگو های طراحی چیدمان در حضور هر دو گروه معیار و با در نظر گرفتن ترتیب رتبه بندی معیارها بر اساس نقطه نظرات کارشناسان طراحی پیشنهاد می شود. به منظور نشان دادن کاربردی بودن مدل مان، سپس این در یک مطالعه موردی واقعی پیاده سازی می شود و نتایج به دست آمده ارایه می شود.

**کلمات کلیدی:** چیدمان تسهیلات، عملکرد معیارهای کیفی، وزین غیرخطی.

### ۱ مقدمه

به منظور کار آمد کردن سیستم های تولیدی و خدماتی، آن ها نبایست فقط مجبور باشند که مسایل سیاست های عملیاتی و برنامه ریزی بهینه را در نظر بگیرند بلکه همچنین بایست خوب طراحی شوند (Tuzkaya, Ruan, Ertay) بهترین کار انتخاب یک طراحی چیدمان مناسب در مرحله طراحی کارخانه است تا حداکثر بهره وری و سود آوری بر آورده شود. همانطور که توسط Tompkins et al., (1996) بیان شده است برنامه ریزی تسهیلات ممکن است بین ۱۰٪ و ۳۰٪ هزینه عملیاتی را از طریق تأثیر گذاری بر سیستم های جابجایی مواد، تعداد نیروی انسانی و غیره شامل شود. یک طراحی چیدمان تسهیلات نامناسب نه تنها باعث بازآرایی چیدمان موجود و سیستم های جابجایی مواد خواهد شد بلکه هزینه های سنگین تر پیامد آن مانند تغییر محل انبار، تغییر طراحی کارخانه و توقف خط تولید و هزینه های پیامد آن نظیر بیکار ماندن نیروی انسانی را نیز متحمل

<sup>۱</sup>عهده دار مکاتبات

می شود. قبل از مرحله ی پیاده سازی چیدمان تسهیلات و در هنگام طراحی چیدمان بایست یک سری شرایط مهم تأثیرگذار بر آن را مد نظر قرار داد که مهمترین آن ها شامل حجم و تنوع تولید، جابجایی مواد درون کارخانه ای و بیرون کارخانه ای و محدودیت های فضای کارخانه است. حجم و تنوع تولید معمولاً از طریق به کارگیری نوع چیدمان های محصول ثابت، محصولی، فرآیندی و سلولی (Dilworth, 1996) تعیین می شود. جابجایی مواد درون کارخانه ای به نوع وسایل جابجایی مانند روبات ها، AGV ها، نقاله ها و غیره و همچنین مسیر حرکتشان بستگی دارد. از سویی دیگر ممکن است موقعیت مکانی کارخانه به شکلی باشد که جاده مرتبط به تخلیه و بارگیری مواد مرتبط به قسمت های دریافت و ارسال در خارج کارخانه در یک طرف در آن قرار داشته باشد، در چنین وضعیتی بایست بخش های دریافت و ارسال را در همان طرفی که جاده قرار دارد استقرار نمود که این به طور حتم بر نحوه ی طراحی چیدمان تسهیلات خواهد گذاشت. افزون بر این، محدودیت های کمبود فضای کارخانه که منجر به استفاده کردن از طبقات مختلف می شود و همچنین شکل تسهیلات نیز می تواند بر نوع چیدمان تأثیر گذار باشد.

لذا بهترین کار در مرحله طراحی چیدمان تسهیلات، نخست شناسایی چنین شرایطی است که بر اساس آن در مرحله ی بعد بایست مهمترین معیارهای تأثیر گذار بر طراحی چیدمان را تعیین نمود و نهایتاً با یک رویکرد مناسب بتوان کارآمدترین طراحی چیدمان را در بین الگوهای مختلف انتخاب نمود. برای دستیابی به چنین هدفی ممکن است هیچ یک از رویکردهای بهینه سازی، دقیق و تقریبی به دلیل محدودیت های حاکم بر آن ها که مهمترین مورد بین آن ها در نظر گرفتن عوامل کیفی در مساله طراحی چیدمان تسهیلات است قادر به طراحی یک چیدمان مناسب نباشد. بدین منظور در این مقاله نخست از روش AHP جهت تعیین مقادیر عملکردی کیفی استفاده می کنیم. برای ایجاد الگوهای چیدمان تسهیلات و همچنین مقادیر عملکردی کمی از یک نرم افزار تجاری استفاده می کنیم. از مهمترین نرم افزارهای تجاری برای دستیابی به این اهداف می توان به LayOPT(Bozer, Meller, & Erlebacher, 1994) VisFactory(2) ، Spiral (Goetschalckx, 1992) BLOCPLAN (Donaghey & Pire, 1990) اشاره نمود که هر یک از آن ها شامل تعدادی از رویکردهای الگوریتمی هستند. در مرحله ی آخر با پیشنهاد یک مدل بهینه سازی وزین غیر خطی الگوهای طراحی چیدمان تسهیلات پیشنهادی در رابطه با هر دو معیار های کمی و کیفی رتبه بندی می شوند.

این مقاله به شرح زیر سازماندهی می شود. در بخش ۲ بازنگری ادبیات مرتبط به مسایل طراحی چیدمان تسهیلات را تشریح می کنیم، در بخش ۳ مدل پیشنهادی طرحریزی می شود و در بخش ۴ یک مطالعه موردی را ارائه داده و نتایج به دست آمده با مدل های متفاوت مورد مقایسه قرار می گیرد و سرانجام در بخش پایانی نتیجه گیری بیان می شود.

## ۲ بازنگری ادبیات

در طول دهه های اخیر مقالات متعددی در حل مساله طراحی چیدمان تسهیلات منتشر شده است. در یک نوع طبقه بندی کلی بیشترین رویکردها در این حوزه را می توان به ۴ گروه فرمول بندی های بهینه سازی، بهینه، تقریبی و تصمیم گیری چند معیاره تقسیم نمود. مسایل بهینه سازی شامل تخصیص تسهیلات یا بخش ها به فضاها با توجه به یک هدف یا چند هدف بودن در حضور تعدادی قیود است. هنگامی که سطح کارخانه به صورت بلوک های مساوی (گسسته) در نظر گرفته شود و هر تسهیلات یک یا چند عدد از این بلوک ها را اشغال کنند، اغلب از مساله تخصیص درجه دو (QAP) استفاده می شود. ساده ترین نوع این قبیل مسایل نخستین بار توسط Koopmans and Beckman (1957) نهاده شد که در آن مساله طراحی چیدمان تسهیلات شامل تخصیص تسهیلات به مکان ها با هدف کمینه سازی هزینه کل جابجایی مواد است. هر چند الگوریتم های ابتکاری و دقیق زیادی جهت تخمین جواب های QAP بوجود آمده اند ولی متأسفانه به طور کلی این قبیل مسایل از نوع NP سخت هستند و نمایش دقیقی را مخصوصاً هنگامی که معیارهای کیفی مهمی بر فرآیند طراحی چیدمان تسهیلات تأثیر بگذارند ارایه نمی دهند و هنگامی که اندازه مساله بزرگ باشد از نظر محاسباتی زمان منع کننده ای را منجر می گردند (Ertay, Ruan, & Tuzkaya, 2006). همچنین چنانچه سطح کارخانه به صورت پیوسته (Heragu & Kusiak, 1990) در نظر گرفته شود، اغلب مساله طراحی چیدمان تسهیلات را می توان به صورت یک مساله برنامه ریزی عدد صحیح مرکب (Montreuil, 1991) فرمول بندی کرد، که در آن اندازه تسهیلات و مکان ها به عنوان متغیرها و متغیرهای دو تایی به جهت تضمین قید ناهمپوشانی معرفی شدند. در این مدل ها تمام تسهیلات در هر جایی درون جایگاه مسطح استقرار می یابند و نبایست با هم همپوشانی داشته باشند (Das, 1993). رویکردهای دقیق اغلب جواب های بهینه ای را برای مساله طراحی چیدمان تسهیلات ارایه می دهند. به عنوان مثال Xie and Sahinidis (2008) یک الگوریتم شاخه کران را برای مساله چیده مان تسهیلات پیوسته پیشنهاد نمود. برخلاف این واقعیت که چیدمان تسهیلات پیوسته تعداد نامتناهی چیدمان های شدنی را می پذیرد، این تعداد متناهی جواب کاندید را برای مطمئن بودن از وجود یک جواب بهینه در نظر میگیرد.

رویکردهای تقریبی را به طور کلی می توان به دو گروه ابتکاری و فوق ابتکاری تقسیم بندی نمود. رویکردهای ابتکاری خود به دو دسته رویکردهای رویه ای و الگوریتمی افزاز می شوند. رویکردهای رویه ای مانند روش SLP (Muther, 1973) مساله طراحی چیدمان تسهیلات را در ۳ مرحله ی متوالی تجزیه و تحلیل، تجسس و انتخاب اعمال می کند که هر یک از این مراحل خود شامل زیر مراحل است که توسط طراح در فرایند طراحی مد نظر قرار میگیرند. به دلیل ذهنی بودن این مراحل توسط طراح و فقدان فونداسیون علمی دقیق این رویکرد را ناکارآمد ساخته است (Yang & Kuo, 2003). رویکردهای الگوریتمی خود به دو گروه سازنده و بهبود دهنده تقسیم می شوند. رویکردهای الگوریتمی سازنده مانند ALDEP (Seehof & Evans, 1967) و COROLAP (Lee & Moore, 1967) و بهبود دهنده مانند CRAFT (Armour & Buffa, 1963)

COFAD (Tompkins & Reed, 1976) از جمله این رویکردهای هستند. اغلب استقرار اولیه توسط برنامه سازنده ایجاد و سپس توسط یک برنامه بهبود دهنده، بهبود داده می‌شود. این قبیل رویکردها نیز دارای محدودیت‌هایی هستند. شاید مهمترین نقص آن‌ها این باشد که تنها یک هدف مانند کمینه‌سازی کل هزینه‌های جابجایی مواد یا بیشینه‌سازی نرخ نزدیکی کل را به منظور طراحی چیدمان تسهیلات به کار می‌گیرند. نویسندگان متعددی از رویکردهای متاهوریستیک جهت به دست آوردن طرح‌های نزدیک بهینه استفاده نموده‌اند. (Chwif, Pereira Barretto and Moscato (1998) یک رویکرد حل مبتنی بر simulated annealing را پیشنهاد نمود که یا در مسایل چیدمان تسهیلات معمولی با در نظر گرفتن سطح‌های تسهیلات، اشکال، مکان‌ها یا در مسایل چیدمان با در نظر گرفتن نقاط قابل استفاده است.

از دیگر انواع این رویکردها می‌توان به الگوریتم ژنیک (Wu & Appleton, 2002) و الگوریتم مورچه (Solimanpur, Vrat, & Shankar, 2005) اشاره نمود. آخرین گروه از رویکردهای حل مساله طراحی چیدمان تسهیلات شامل استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به تنهایی یا گاهی ترکیب آن‌ها با سایر رویکردها مانند تحلیل پوششی داده‌ها، الگوریتم ژنتیک است. (Foulds, Cambron and Evans (1991), (Yang et al. (2000), and Partovi (1998) از روش تلفیقی AHP-DEA جهت رتبه‌بندی الگوهای طراحی چیدمان استفاده کردند. پس از این مدل-YK، از روش تلفیقی AHP-DEA جهت رتبه‌بندی الگوهای طراحی چیدمان استفاده کردند.

AHP برای تعیین مقادیر عملکردی معیارهای کیفی به منظور استفاده در مدل DEA استفاده شد. نرم افزار تجاری spiral جهت تعیین مقادیر عملکردی کمی و همچنین ایجاد الگوهای طراحی چیدمان پیشنهادی به کار برده شد و سپس مساله مرز عملکردی الگوهای طراحی چیدمان از طریق یک مدل DEA در رابطه با مقادیر عملکردی هر دو مجموعه معیار حل شد. از آن جایکه هزینه‌های مرتبط به مرحله تغییر طراحی چیدمان معمولاً نادیده گرفته می‌شود، آن‌ها از مدل BCC بدون هیچ ورودی بدین منظور استفاده کردند. همچنین (Ertay et al. (2006) رویکردی مشابه را جهت اولویت‌بندی الگوهای طراحی چیدمان به کاربرد، با این تفاوت که در آن بر اساس سیستم تصمیم‌گیری فازی از دو متغیر فازی شده جریان اطلاعات و شرط محیطی جهت تعیین روابط فعالیت‌ها و در نهایت امتیازات نزدیکی استفاده شد. همچنین (Azadeh et al. (2008) رویکرد تلفیقی AHP و DEA با شبیه‌سازی کامپیوتری را جهت انتخاب الگوهای بهینه با در نظر گرفتن چندین ورودی و خروجی اتخاذ نمود، که در آن ورودی‌ها معیارهای کمینه‌سازی و خروجی‌های معیارهای بیشینه‌سازی است. در مدل‌های اخیر، به وضوح، متأسفانه به دست آوردن ماتریس مقایسات سازگار هنگامی که تعداد الگوهای طراحی زیاد شود کار دشواری خواهد بود. اخیراً (Yang & Hung, 2008) از رویکرد Fuzzy TOPSIS جهت اولویت‌بندی الگوهای طراحی چیدمان استفاده کرد و سپس نتایج به دست آمده را با نتایج TOPSIS و مدل-YK مورد مقایسه قرار داد. رویکرد پیشنهادی آن‌ها به شدت به قضاوت‌های ذهنی طراحان وابسته است. همچنین (Aiello et al. (2006) از رویکرد الگوریتم تجسس ژنتیک و Electre جهت رتبه‌بندی

الگوها استفاده کردند، که در آن نخست جواب پاریتو بهینه با به کارگیری الگو ریتم ژنتیک مقید چند هدفه تعیین شد و سپس انتخاب جواب بهینه توسط روش تصمیم گیری چند معیار Electre صورت پذیرفت.

### ۳ مدل پیشنهادی

#### ۳-۱ روش AHP جهت تعیین مقادیر عملکردی معیارهای کیفی

یکی از رایج ترین تکنیک های تصمیم گیری چند معیاره جهت اولویت بندی به ویژه زمانی که معیارهای کیفی در آن حضور دارد AHP است که نخستین بار توسط Saaty (1980) پیشنهاد شد. در این تکنیک مساله طراحی چیدمان تسهیلات به عنوان یک مساله MCDM در سطوح مختلف به صورت سلسله مراتبی ترسیم می شود. در بالاترین سطح، هدف کلی تصمیم گیری و در پایین ترین سطح الگوهای چیدمان وجود دارد و سطوح میان این دو سطوح میان این دو سطح را معیارها و در صورت لزوم زیر معیارها تشکیل می دهند. در این مقاله از این رویکرد جهت تعیین اوزان الگوهای طراحی چیدمان تسهیلات در رابطه با هر معیار کیفی بر اساس مقایسه آن ها از نقطه نظر طراحان در قالب ماتریس مقایسات زوجی استفاده می کنیم. به عبارت دیگر، داده های خام ماتریس مقایسات زوجی شامل ارزیابی تصمیم گیرنده در مورد درجه اهمیت یک الگو با سایرین در رابطه با هر معیار کیفی است که آن ها بر اساس مقیاس ۹-۱ (Saaty, 1980) در جدول ۱ انتخاب می شوند. فرض کنید  $A_r, r = 1, \dots, R$  الگوهای طراحی چیدمان پیشنهادی به دست آمده از نرم افزار تجاری و  $C_m, m = 1, \dots, M$  معیارهای کیفی باشند با تشکیل یک ماتریس مقایسات زوجی برای  $R$  الگو در رابطه با هر معیار بر اساس مقادیر جدول ۱ ماتریس مربعی  $R \times R$  ای به شرح زیر به دست می آید:

$$A = (A_{ij})_{R \times R} = \begin{bmatrix} A_{11} & \dots & A_{1R} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ A_{R1} & \dots & A_{RR} \end{bmatrix}$$

که در آن  $A_{ij} = \frac{1}{A_{ji}}, i, j = 1, \dots, R$  است. چنانچه در این ماتریس رابطه  $A_{ij} = A_{ik} \times A_{kj}$  به ازای تمام  $i, j, k = 1, \dots, R$  برقرار باشد گفته می شود که این ماتریس یک ماتریس کاملاً سازگار است.

Table 1  
The 1-9 scales proposed by Saaty (1980) for pairwise comparisons in the AHP

| Importance intensity | Definition   |
|----------------------|--|
| 1                    | Equal importance   |
| 3                    | Moderate importance of one pattern as compared to another    |
| 5                    | Strong importance of one pattern as compared to another      |
| 7                    | Very strong importance of one pattern as compared to another |
| 9                    | Extreme importance of one pattern as compared to another     |
| 2,4,6 and 8          | Intermediate values  |
| Reciprocals          | Reciprocals for inverse comparison                           |

اوزان الگوها در رابطه با هر معیار بر اساس روش مقدار ویژه در این ماتریس با حل معادله زیر به دست می‌آید:

$$AW = \lambda_{\max} W$$

که در آن  $\lambda_{\max}$  مقدار ویژه ماکزیمم ماتریس  $A$  است. به وضوح، به دست آوردن یک ماتریس کاملاً سازگار آن هم با تعداد زیاد الگو کاری تقریباً نشدنی است. از اینرو از طریق نسبت سازگاری CR زیر می‌توان حد قابل قبولی را برای سازگاری قضاوت تعیین نمود:

$$CR = \frac{(\lambda_{\max} - n)/(n-1)}{RI}$$

که در آن RI شاخص ناسازگاری تصادفی است که مقدارش بر حسب اندازه ماتریس  $A$  مشخص می‌شود. خواننده علاقه مند می‌تواند به Saaty (1980) جهت تعیین مقدار RI رجوع کند. چنانچه  $CR \leq 0.1$  باشد گفته می‌شود که ماتریس  $A$  دارای حد سازگاری قابل قبول است و در غیر اینصورت بایست این مقایسات زوجی بین الگوهای چیدمان تسهیلات را مجدداً مورد ارزیابی قرار داد. هنگامی که با ده‌ها و شاید صدها الگو چیدمان تسهیلات روبرو شویم به دست آوردن ماتریسی که شرط فوق را برآورد سازد کاری نشدنی است. به همین منظور ما مدل سیستم رای گیری پیشنهاد شده توسط (Noguchi et al. 2002) را توصیه می‌کنیم. بدین صورت که ابتدا برای هر یک از معیارها درجه ای ارزیابی مورد نظر خود را انتخاب کنند و سپس از طراحان درخواست می‌شود که بر اساس قضاوت‌های ذهنی خود در خصوص مقدار اهمیت یک الگو چیدمان تسهیلات در مقابل هر معیار درجه ارزیابی مورد نظر خود را انتخاب کنند. سپس ماتریس تصمیم‌گیری به دست آمده که شامل تعداد متخصصان به جای مقادیر عملکردی می‌باشد توسط یک مدل DEA جهت تعیین اوزان موضعی الگو در رابطه با هر معیار حل می‌شود و سرانجام در مرحله ی آخر با جمع بستن اوزان یک الگو در رابطه با تمامی معیارها، وزن کلی آن به دست می‌آید.

### ۲-۳ مدل بهینه سازی وزین غیر خطی جهت رتبه بندی الگوهای چیدمان تسهیلات پیشنهادی

ما در این مقاله از مدل بهینه سازی وزین غیر خطی هادی وینچه (2009) جهت رتبه بندی الگوهای چیدمان تسهیلات در رابطه با هر دو گروه معیار کیفی و کمی استفاده می‌کنیم که مجموعه اوزان مشترکی را برای تمامی الگوها ایجاد می‌کند. نخست چون تابع هدف در این مدل به صورت ماکزیمم سازی است برای معیارهای هزینه ای مانند مسافت و نسبت شکل می‌توان منفی در نظر گرفتن یا معکوس کردن مقادیر آن‌ها را در نظر

گرفت. سپس با استفاده از تبدیل مقیاس  $\frac{x_{rc} - \min_{r=1,2,\dots,R} \{x_{rc}\}}{\max_{r=1,2,\dots,R} \{x_{rc}\} - \min_{r=1,2,\dots,R} \{x_{rc}\}}$  مقادیر عملکردی تمامی الگو

ها را در رابطه با هر دو معیار کمی و کیفی به مقیاس بین ۰-۱ تبدیل می‌شود و در مدل مورد استفاده قرار می‌گیرند. مدل مد نظر به صورت زیر است:

$$S_r = \max \sum_{c=1}^C w_c x_{rc} \quad (1)$$

$$s.t. \sum_{c=1}^C w_c^2 = 1 \quad (2)$$

$$w_c - w_{c+1} \geq 0, \quad c=1, 2, \dots, (C-1) \quad (3)$$

$$w_c \geq 0, \quad c=1, 2, \dots, C \quad (4)$$

که در آن قید (۳) ترتیب اهمیت معیارها را بر اساس تصمیم طراحان ارایه می دهد. مدل فوق مطلوب ترین اوزان را درون ناحیه شدنی زیر تعیین می کند:

$$\gamma = \{w | w = (w_1, \dots, w_C), w_1 \geq w_2 \geq \dots \geq w_C \geq 0, \sum_{c=1}^C w_c^2 = 1\}$$

همچنین در صورتیکه یک یا چند تا از این معیارها از نقطه نظر طراحان دارای اهمیت مساوی باشند می توان آن ها را دستکاری نمود. مزیت این مدل این است که از صفر شدن وزن الگوها با مقدار پایین برای یک معیار کم اهمیت در هنگام حل مدل جلوگیری می کند.

#### ۴ مطالعه موردی

به منظور ساختن مدل مان آن را برای مساله چیدمان طراحی تسهیلات Yang & Hung, 2007 در یک کارخانه بسته بندی IC استفاده می کنیم. خواننده علاقه مند برای مشاهده جزئیات مانند نام و مساحت دپارتمان ها و همچنین مشاهده الگوهای چیدمان تسهیلات پیشنهادی ایجاد شده توسط نرم افزار تجاری Spiral و همچنین تعاریف معیارهای کمی و کیفی می تواند به Yang & Kuo, 2003 مراجعه کنند.

در مساله طراحی چیدمان تسهیلات آن ها ۶ معیار مد نظر قرار گرفت. مقادیر الگوهای چیدمان تسهیلات در رابطه با هر یک از این معیارها در جدول ۲ ارایه شده است.

در این جدول معیارهای Distance و Adjacency score و Shape ratio معیارهای کمی هستند که توسط نرم افزار تجاری Spiral ایجاد شده و در میان آن ها معیارهای Distance و Shape ratio، به دلیل آن که تابع هدف ماکزیمم سازی در مدل پیشنهادی از نوع کمتر بهتر است معکوس آن ها در نظر گرفته می شوند. همچنین مقادیر عملکردی معیارهای کیفی Accessibility، Maintenance و Flexibility در این روش توسط روش AHP به دست آمده اند.

Table 2  
The measures of Layout alternatives with respect to different criteria

| Layout alternatives | Distance (m) | Adjacency score | Accessibility | Shape ratio | Maintenance | Flexibility |
|---------------------|--------------|-----------------|---------------|-------------|-------------|-------------|
| 1                   | 0.00537      | 8               | 0.0260        | 0.1207      | 0.0690      | 0.0119      |
| 2                   | 0.00482      | 9               | 0.0260        | 0.2666      | 0.0575      | 0.0595      |
| 3                   | 0.00484      | 8               | 0.0519        | 0.1273      | 0.0345      | 0.0714      |
| 4                   | 0.00527      | 8               | 0.0779        | 0.1207      | 0.0460      | 0.0714      |
| 5                   | 0.00472      | 8               | 0.0390        | 0.1290      | 0.0460      | 0.0714      |
| 6                   | 0.00378      | 5               | 0.0519        | 0.4830      | 0.0690      | 0.0357      |
| 7                   | 0.00438      | 8               | 0.0390        | 0.0714      | 0.0230      | 0.0476      |
| 8                   | 0.00538      | 9               | 0.0130        | 0.1600      | 0.0575      | 0.0476      |
| 9                   | 0.00538      | 9               | 0.0260        | 0.1273      | 0.0575      | 0.0357      |
| 10                  | 0.00423      | 8               | 0.0779        | 0.1273      | 0.0690      | 0.0595      |
| 11                  | 0.00545      | 8               | 0.1169        | 0.5000      | 0.0920      | 0.0952      |

|     |         |    |        |        |        |        |
|-----|---------|----|--------|--------|--------|--------|
| 12  | 0.00489 | 8  | 0.0390 | 0.0751 | 0.0575 | 0.0357 |
| 13  | 0.00443 | 8  | 0.0390 | 0.1228 | 0.0345 | 0.0714 |
| 14  | 0.00493 | 8  | 0.0779 | 0.1250 | 0.0575 | 0.0357 |
| 15  | 0.00587 | 9  | 0.1169 | 0.1207 | 0.0920 | 0.0952 |
| 16  | 0.00462 | 9  | 0.0519 | 0.1297 | 0.0690 | 0.0476 |
| 17  | 0.00556 | 8  | 0.0779 | 0.0970 | 0.0345 | 0.0476 |
| 18  | 0.00538 | 10 | 0.0519 | 0.0984 | 0.0345 | 0.0595 |
| Max | 0.00587 | 10 | 0.1169 | 0.5000 | 0.0920 | 0.0952 |
| Min | 0.00378 | 5  | 0.0130 | 0.0714 | 0.0230 | 0.0119 |

در جدول (۳) مقادیر عملکردی موجود در جدول (۲) با استفاده از تبدیل

$$\text{مقیاس} = \frac{x_{rc} - \min_{r=1,2,\dots,R} \{x_{rc}\}}{\max_{r=1,2,\dots,R} \{x_{rc}\} - \min_{r=1,2,\dots,R} \{x_{rc}\}}$$

به مقیاس ۰-۱ تبدیل می شوند.

Table 3

The measures of scale transformation, ranking the layout alternative by our model and compared with the fuzzy TOPSIS and TC models

| Layout alternatives | Distance (m) | Adjacency score | Accessibility | Shape ratio | Maintenance | Flexibility | Scores | Fuzzy TOPSIS | TC-model |
|---------------------|--------------|-----------------|---------------|-------------|-------------|-------------|--------|--------------|----------|
| 11                  | 0.7990       | 0.6             | 1.0000        | 1.0000      | 1.0000      | 1.0000      | 2.2115 | 11           | 11       |
| 15                  | 1.0000       | 0.8             | 1.0000        | 0.1150      | 0.0920      | 1.0000      | 1.7579 | 15           | 15       |
| 18                  | 0.7655       | 1.0             | 0.3743        | 0.0629      | 0.1666      | 0.5714      | 1.3155 | 18           | 18       |
| 4                   | 0.7129       | 0.6             | 0.6246        | 0.1150      | 0.3333      | 0.7142      | 1.2958 | 4            | 2        |
| 17                  | 0.8516       | 0.6             | 0.6246        | 0.0597      | 0.1666      | 0.4285      | 1.2508 | 17           | 16       |
| 2                   | 0.4975       | 0.8             | 0.1251        | 0.4554      | 0.5000      | 0.5714      | 1.1964 | 8            | 6        |
| 16                  | 0.4019       | 0.8             | 0.3743        | 0.1360      | 0.6666      | 0.4285      | 1.1457 | 10           | 8        |
| 14                  | 0.5502       | 0.6             | 0.6246        | 0.1250      | 0.5000      | 0.2857      | 1.1426 | 14           | 9        |
| 10                  | 0.2153       | 0.6             | 0.6246        | 0.1304      | 0.6666      | 0.5714      | 1.1389 | 2            | 17       |
| 8                   | 0.7655       | 0.8             | 0.0000        | 0.2067      | 0.5000      | 0.4285      | 1.1113 | 16           | 1        |
| 9                   | 0.7655       | 0.8             | 0.1251        | 0.1304      | 0.5000      | 0.2857      | 1.1037 | 9            | 4        |
| 3                   | 0.5071       | 0.6             | 0.3743        | 0.1304      | 0.1666      | 0.7142      | 1.0262 | 5            | 10       |
| 1                   | 0.7607       | 0.6             | 0.1251        | 0.1150      | 0.6666      | 0.0000      | 1.0153 | 1            | 14       |
| 5                   | 0.4497       | 0.6             | 0.2502        | 0.1343      | 0.3333      | 0.7142      | 0.9978 | 3            | 5        |
| 6                   | 0.0000       | 0.0             | 0.3743        | 0.9603      | 0.6666      | 0.2857      | 0.9470 | 12           | 3        |
| 12                  | 0.5311       | 0.6             | 0.2502        | 0.0086      | 0.5000      | 0.2857      | 0.9125 | 6            | 13       |
| 13                  | 0.3110       | 0.6             | 0.2502        | 0.1199      | 0.1666      | 0.7142      | 0.8861 | 7            | 12       |
| 7                   | 0.2870       | 0.6             | 0.2502        | 0.0000      | 0.0000      | 0.4285      | 0.6934 | 13           | 7        |

حال مدل زیر را با استفاده از بسته نرم افزاری LINGO برای داده های موجود در جدول ۳ حل می کنیم:

$$S_r = \max \sum_{c=1}^C w_c x_{rc} \quad (1)$$

$$s.t. \sum_{c=1}^C w_c^2 = 1 \quad (2)$$

$$w_1 = w_2 = w_3, \quad (3)$$

$$w_4 = w_5, \quad (4)$$

$$w_3 > w_4, \quad (5)$$

$$w_5 > w_6, \quad (6)$$

که در آن ترتیب رتبه بندی معیارها به همان صورت بیان شده در Yang & Hung, 2007 در نظر می گیریم یعنی معیارهای Distance و Adjacency score و Accessibility دارای اهمیت یکسان هستند که اهمیت



آن‌ها از Shape ratio و Maintenance بیشتر است. به علاوه اهمیت این دو معیار نیز از نقطه نظر طراحان با هم مساوی و بیشتر از معیار Flexibility است.

با حل مدل فوق به ازای هر الگو امتیازات به دست آمده به ترتیب نزولی در ستون امتیازات جدول (۳) مرتب می‌شوند. همچنین در ستون ۹ و ۱۰ نتایج به دست آمده از Fuzzy TOPSIS و TC-model به منظور مقایسه با مدل ما ارایه شده است. با مقایسه ۵ الگو چیدمان تسهیلات نخست به دست آمده مدل ما با مدل Fuzzy Topsis مشاهده می‌کنید که نتایج در هر دو به دلیل یکسان بودن ترتیب رتبه بندی معیارها در هر دو مدل یکسان است، اما مقایسه الگوهای چیدمان تسهیلات باقیمانده تفاوت‌های زیادی را نمایان می‌سازد زیرا مدل Fuzzy Topsis به شدت به قضاوت‌های ذهنی در مراحل ترسیم توابع عضویت و انتخاب متغیرهای زبانی توسط طراحان وابسته است، حال آن‌که در مدل ما این مراحل به طور خودرو و از طریق حل یک مدل بهینه سازی غیر خطی و بدون دخیل ساختن قضاوت‌های ذهنی در برنامه امتیاز دهی و تنها بر اساس اوزان عملکردی اعمال می‌شود. همچنین در مقایسه ۵ الگو چیدمان تسهیلات نخست مدل ما با TC-model، تنها ۳ الگو ۱۱ و ۱۵ و ۱۸ نتایج یکسان است، هر چند که همین الگوها در TC-model به صورت مرز کارایی در نظر گرفته شده بودند و رتبه بندی نشده بودند، در باقیمانده الگوها نیز اختلاف‌های رتبه بندی به وضوح آشکار است. در حقیقت تفاوت در دو مدل به دلیل در نظر گرفتن ترتیب رتبه بندی معیارها در مدل TC-model و تفاوت در برنامه تعیین امتیازات در مدل DEA است.

## ۵ نتیجه گیری

در این مقاله رویکرد تلفیقی AHP و مدل بهینه سازی وزین غیر خطی را جهت رتبه بندی الگوهای چیدمان تسهیلات پیشنهادی ارایه نمودیم. از آن‌جا که در دنیای واقعی طراحان همواره برخی معیارها را مهم تر از سایرین در نظر می‌گیرند، ترتیب رتبه بندی معیارها را در مدل بهینه سازی وزین غیر خطی بر اساس نظرات دخیل نمودیم. با حل این مدل حتی وزن مقادیر عملکردی پایین الگوهای چیدمان تسهیلات در رابطه با یک معیار کم اهمیت نیز در اوزان کلی آن‌ها دخیل می‌شود. به طور کلی این مدل ساده، قابل فهم و برای هر تعداد الگوهای چیدمان تسهیلات قابل پیاده سازی است.

## منابع

- [1] Tompkins A, White JA, Bozer YA, Frazelle EH, Tanchoco JMA, Trevino J. Facilities planning. New York: Wiley; 1996.
- [2] Dilworth, J. B. (1996). Operation management. McGraw Hill.
- [3] VisFactory Tool for Windows. Version 6.3 Engineering Animation Inc. Missouri, USA.
- [4] Goetschalckx, M., 1992. An interactive layout heuristic based on hexagonal adjacency graphs. European Journal of Operational Research 63, 304-321.
- [5] Bozer, Y.A., Meller, R.D., Erlebacher, S.J., 1994. An improved-type layout algorithm for single and multiple-floor facilities. Management Science 40 (7), 918-932.
- [6] Donaghey, C.E., Pire, V.F., 1990. Solving the facility layout problem with BLOCPLAN Industrial Engineering Department. University of Houston.

- [7] Koopmans TC, Beckman M. Assignment problems and the location of economic activities. *Econometrica* 1957;25:53–76.
- [8] Montreuil, B. (1991). A modeling framework for integrating layout design and flownetwork design. In J. A. White & I.W. Pence (Eds.), *Progress in material handling and logistics* (pp. 95–116). Springer-Verlag.
- [9] Heragu, S. S., & Kusiak, A. (1990). Machine layout: An optimization and knowledge-based approach. *International Journal of Production Research*, 28(4), 615–635.
- [10] Das, S. K. (1993). A facility layout method for flexible manufacturing systems. *International Journal of Production Research*, 31(2), 279–297.
- [11] Xie, W, & Sahinidis, N. V. (2008). A branch-and-bound algorithm for the continuous facility layout problem. *Computers and Chemical Engineering*, 32, 1016–1028.
- [12] Muther, R. *Systematic layout planning*. 2nd ed. Boston, MA: Cahners Books; 1973.
- [13] Yang, T., & Kuo, C. (2003). A hierarchical AHP/DEA methodology for the facilities layout design problem. *European Journal of Operational Research*, 147, 128–136.
- [14] Seehof, J. M., & Evans, W. O. (1967). Automated layout design program. *The Journal of Industrial Engineering*, 18, 690–695.
- [15] Lee, R., & Moore, J. M. (1967). CORELAP-computerized relationship layout planning. *The Journal of Industrial Engineering*, 18, 195–200.
- [16] Armour, G. C., & Buffa, E. S. (1963). A heuristic algorithm and simulation approach to relative allocation of facilities. *Management Science*, 9(2), 294–300.
- [17] Tompkins, J. A., & Reed, J. R. (1976). An applied model for the facilities design problem. *International Journal of Production Research*, 14, 583–595.
- [18] Chwif, L., Pereira Barretto, M. R., & Moscato, L. A. (1998). A solution to the facility layout problem using simulated annealing. *Computers in Industry*, 36(1–2), 125–132.
- [19] Wu, Y., & Appleton, E. (2002). The optimisation of block layout and aisle structure by a genetic algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, 41(4), 371–387.
- [20] Solimanpur, M., Vrat, P., & Shankar, R. (2005). An ant algorithm for the single row layout problem in flexible manufacturing systems. *Computers & Operations Research*, 32(3), 583–598.
- [21] Cambron, K.E., Evans, G.W., 1991. Layout design using the analytic hierarchy process. *Computers and Industrial Engineering* 20 (2), 211–229.
- [22] Foulds, L.R., Partovi, F.Y., 1998. Integrating the analytic hierarchy process and graph theory to model facilitates layout. *Annals of Operations Research* 82, 435–451.
- [23] Yang, T., Su, C.T., Hsu, Y.R., 2000. Systematic layout planning: A study on semiconductor wafer fabrication facilities. *International Journal of Operations and Production Management* 20 (11), 1360–1372.
- [24] Dweire, F., & Meier FA. Application of fuzzy decision making in facilities layout planning. *Int J Prod Res* 1996; 34(11): 3207–25.
- [25] Ertay, T., Ruan, D., & Tuzkaya, U. R. (2006). Integrating data envelopment analysis and analytic hierarchy for the facility layout design in manufacturing systems. *Information Sciences*, 176, 237–262.
- [26] Azadeh, A., Ghaderi, S.F., & Izadbakhsh, H. (2008). Integration of DEA and AHP with computer simulation for railway system improvement and optimization. *Applied Mathematics and Computation*, 195, 775–785.
- [27] Yang, T., & Hung, C. C. (2007). Multiple-attribute decision making methods for plant layout design problem. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 23, 126–137.
- [28] Aiello, G., Enea, M., & Galante, G. (2006). A multi-objective approach to facility layout problem by genetic search algorithm and Electre method. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 22, 447–455.
- [29] Saaty, T.L. *The analytic hierarchy process: planning, priority setting*, McGraw Hill International Book Co, New York, (1980).
- [30] H. Noguchi, M. Ogawa, H. Ishii, The appropriate total ranking method using DEA for multiple categorized purposes. *Journal of Computational and Applied Mathematics* 146(1) (2002) 155–166.
- [31] Hadi-Vencheh, A. (2009). An improvement to multiple criteria ABC inventory classification, *European Journal of Operational Research*, doi:10.1016/j.ejor.2009.04.013.
- [32] <http://www.lindo.com/index.php>.