

انتخاب طرح چیدمان با استفاده از رویکرد ترکیبی PSI-PROMETHEE

علی رضا پویا^۱

سیدجواد علوی طبری^۲

علی سیبویه^۳

۱. استادیار گروه مدیریت دانشگاه فردوسی مشهد Alirezapooya@um.ac.ir

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی دانشگاه فردوسی مشهد K.alavi1367@gmail.com

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی دانشگاه فردوسی مشهد Alisibevei@gmail.com

چکیده

باتوجه به هزینه‌های عملیاتی که سیستم‌های جابجایی مواد در واحدهای تولیدی در بردارند و معضلاتی که ممکن است طرح‌های نامناسب چیدمان برای آن‌ها به وجود بیاورد، در این مقاله با استفاده از رویکرد جدید PSI-PROMETHEE، پس از بررسی معیارهای موثر بر چیدمان و ارائه چیدمان‌های مختلف توسط نرم-افزار Layout add-in، به کمک روش PSI وزن معیارها تعیین و با استفاده از روش PROMETHEE و نرم‌افزار Decision Lab طرح چیدمان مناسب انتخاب گردیده است.

۱. مقدمه

منظور از یک مساله طراحی چیدمان تسهیلات کارآمد، استقرار منسجم و هماهنگ ماشین‌آلات، تجهیزات، بخشها و ایستگاههای کاری در یک واحد تولیدی و در کنار هم بنحوی است که با در نظر گرفتن مجموعه اهداف، قیود و سایر شرایط بتوان بیشترین بهره‌برداری را از ترکیب نیروی انسانی، مواد، تجهیزات و ماشین-آلات به منظور تولید محصولات با حداکثر بهره‌وری و سودآوری بدست آورد. بنابراین طبق [۱] مساله طراحی چیدمان را می‌توان به عنوان یک موضوع استراتژیک در نظر گرفت که تاثیر بسزایی در عملکرد سیستم تولیدی خواهد داشت. تصمیم‌گیری در مورد طراحی استقرار بر جریان مواد، هزینه‌های حمل و نقل و نگهداری، کارایی تجهیزات، بهره‌وری کارخانه، موثر بودن کارکنان و مدیریت تاثیر می‌گذارد. طراحی استقرار تسهیلات همچنین می‌تواند به طور مستقیم در ارضاء مشتریان موثر باشد. هر طراحی استقرار باید هدف یا اهداف خاصی را ارضا کند. طراحی استقرار معمولاً به منظور کمینه کردن یک معیار - مثل زمان جابجایی کل، هزینه‌ها یا تاخیرها - یا بیشینه کردن معیارهای دیگری - مثل کیفیت یا انعطاف پذیری - برنامه‌ریزی می‌شود [۲]. برنامه‌ریزی تسهیلات ممکن است بین ۱۰ تا ۳۰ درصد هزینه عملیاتی را از طریق تاثیرگذاری بر سیستم‌های جابجایی مواد، نیروی انسانی و غیره شامل شود [۳]. با این حال در شرکت‌های صنعتی نیز عمدتاً به علت عدم آگاهی کافی در مورد اهمیت موضوع، به طور اختصاصی به مبحث طراحی چیدمان نمی‌پردازند و

شرکت‌هایی که به پیاده‌سازی این کار اقدام می‌نمایند اغلب از روش‌ها و ابزارهای ساده‌ای استفاده می‌کنند که صرفاً یک طرح چیدمان رضایت‌بخش اما نه مطلوب را، ارائه می‌دهند، که این موارد همگی بیانگر اهمیت موضوع می‌باشند. در رویکرد طراحی چیدمان، مجموعه‌ای از معیارهای کمی و کیفی تاثیر گذارند با این وجود برخی الگوریتمها تنها داده‌های کمی را پذیرفته در حالیکه برخی دیگر فقط از داده‌های کیفی استفاده می‌کنند، همچنین الگوریتمهای طراحی شده در نرم‌افزارها و روشهای دستی موجود تنها با در نظر گرفتن یک هدف مانند کمینه‌سازی کل هزینه جابجایی یا بیشینه‌سازی نرخ نزدیکی کل، اقدام به تولید طرح می‌کنند، که این ضعفها در تاثیر همزمان داده‌های کمی و کیفی و همچنین تک هدفه بودن الگوریتمهای طراحی باعث کاهش کیفیت طرح استقرار می‌شود. بنابراین با توجه به ماهیت چند معیاره بودن مساله طراحی چیدمان، استفاده از روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره می‌تواند مفید باشد. همچنین در اکثر روش‌های تصمیم‌گیری جهت تعیین وزن معیارها از نظرات خبرگان استفاده می‌شود که در صورت عدم آگاهی خبرگان؛ این قضاوت‌ها به تعیین وزن‌های نامناسب و در نهایت عدم انتخاب طرح مناسب‌تر می‌انجامد. در مطالعه کنونی، با ارائه یک روش تلفیقی جدید می‌توانیم با در نظر گرفتن همزمان عوامل کمی و کیفی و وزن‌دهی آن‌ها با استفاده از ماتریس تصمیم به رتبه‌بندی گزینه‌ها بپردازیم. در این روش بعد از ایجاد طرحهای چیدمان به کمک نرم‌افزار، با استفاده از روش پیشنهادی به تعیین اندازه عملکرد طرح‌های چیدمان و وزن معیارها پرداخته و در نهایت به رتبه‌بندی آنها به کمک ماتریس تصمیم می‌پردازیم.

۲. پیشینه تحقیق

در مطالعه‌ای [۴] برای حل مساله طراحی چیدمان ابتدا با استفاده از ترکیبی از روشهای دستی و سه الگوریتم گرفت، کورلپ و آلدپ به ایجاد شش طرح چیدمان پرداخته و سپس از روش AHP جهت انتخاب طرح چیدمان مناسبتر استفاده شد. معیارهای قضاوت در اینجا شامل حرکت کارآمد مواد، حرکت کارآمد پرسنل، سهولت گسترش، بکارگیری و پیکربندی خوب فضا، سازگاری با فرایند و تغییرات تجهیزات، نظارت موثر، امنیت، ضمانت، زیبایی‌گرایی و کنترل صدا می‌باشند. در پژوهش دیگری [۵] برای مساله طراحی چیدمان از یک رویکرد چند هدفه به کمک AHP استفاده شد. آنها با استفاده از توسعه یک برنامه کامپیوتری بر پایه AHP و ماژول ساخت مکان بخشها، به طراحی چیدمان پرداختند. در پژوهشی [۶] از یک رویکرد چند هدفه برای حل مساله طراحی چیدمان استفاده نمودند. ابتدا با استفاده از فرایند AHP وزن عوامل کیفی و همچنین ماتریس رتبه نزدیکی را محاسبه و سپس از یک برنامه‌ریزی ریاضی درجه دوم برای فرموله کردن ترکیب عوامل کیفی و کمی استفاده کردند. در نهایت از تکنیک جستجوی سخت شبیه‌سازی شده برای یافتن جواب بهینه استفاده شد. در مقاله دیگری [۷] به منظور حل مساله انتخاب طرح چیدمان بهینه از روش تحلیل سلسله مراتبی و رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شد. آنها از یک نرم‌افزار کامپیوتری جهت ایجاد پیشنهادی طراحی و همچنین مقادیر عملکرد معیارهای کمی استفاده کردند و از AHP نیز به منظور تعیین مقادیر عملکرد معیارهای کیفی استفاده شد. در نهایت DEA برای حل مساله چند هدفه به کار گرفته شد. در یک تحقیق که توسط ارتای، روان و توزکایا، [۸] انجام شد، برای ارزیابی طرحهای چیدمان از یک روش تصمیم‌گیری بر اساس DEA که معیارهای کمی و کیفی را به صورت همزمان در نظر می‌گیرد استفاده شد. آنها از یک نرم افزار کامپیوتری به نام ویس فکتوری برای ایجاد پیشنهادی طراحی و جمع‌آوری داده-

های کمی استفاده کردند و سپس AHP را برای جمع‌آوری اطلاعات کیفی به کار گرفتند. در نهایت با استفاده از DEA به حل مساله طراحی چیدمان پرداختند. معیارهای در نظر گرفته شده شامل معیارهای کمی مسافت جریان، هزینه جابجایی، امتیاز مجاورت دیفازی شده، به کار گیری وسایل جابجایی مواد و نسبت شکل و معیارهای کیفی انعطاف پذیری و کیفیت می‌باشند. در مطالعه‌ای [۹] یک روش چند هدفه برای حل مساله طراحی چیدمان بکار رفته شد. به این صورت که آنها در گام اول حلهای بهینه‌ای با استفاده از الگوریتم ژنتیک تعیین کردند و در گام بعد جهت انتخاب حل بهینه از روش تصمیم‌گیری چند معیاره ELECTRE استفاده کردند. معیارهای انتخاب به صورت معیارهای کمی هزینه جابجایی و نسبت ابعاد و معیارهای کیفی، مجاورت و درخواست فاصله بین بخشها می‌باشند. در مطالعه‌ای که یانگ و هانگ، [۱] انجام داده‌اند، از روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS و FUZZY TOPSIS جهت انتخاب طرح چیدمان مناسب استفاده نمودند. آنها در یک تحقیق تجربی با استفاده از نرم‌افزار اسپیرال هجده طرح چیدمان پیشنهادی ایجاد کرده و شش معیار مسافت جابجایی مواد، امتیاز مجاورت، نسبت شکل، انعطاف پذیری، دستیابی پذیری و نگهداری را جهت ارزیابی طرحهای چیدمان در نظر گرفتند. در مطالعه دیگری کو، یانگ و هوانگ، [۱۰] برای حل مساله انتخاب بین طرحهای چیدمان پیشنهادی، از روش تحلیل رابطه خاکستری به عنوان یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده نمودند. در یک تحقیق تجربی طرحهای چیدمان پیشنهادی به همراه شش معیار عملکرد در نظر گرفته شدند. مقایسه نتایج نشان داد که GRA در حل مساله MADM موثر بوده است. در مقاله دیگری قاسمی نژاد، نویدی و بشیری، [۱۱] به منظور حل مساله انتخاب طرح چیدمان از الگوریتم 2-opt در کنار DEA برای یافتن چیدمان مناسب استفاده نمودند و از TOPSIS نیز برای تست نتایج DEA و انتخاب کاراترین طرح چیدمان استفاده شد. معیارهای در نظر گرفته شده در این تحقیق شامل هزینه جابجایی مواد، درخواست نزدیکی، درخواست جدایی و نرخ شکل می‌باشند. در مطالعه‌ای [۱۲] یک روش پیشنهادی تصمیم‌گیری چند معیاره جهت انتخاب طرح چیدمان مناسب ارائه شد. این روش پیشنهاد شده بر اساس رویکرد PSI می‌باشد. در این روش طرح چیدمان مناسب بدون در نظر گرفتن اهمیت نسبی موجود بین شاخص‌های انتخاب طرح چیدمان بدست می‌آید. گنزالز- کروز و مارتینز، [۱۳] برای حل مساله طراحی چیدمان از یک الگوریتم مبتنی بر آنتروپی استفاده کردند. این الگوریتم هر ترکیب ممکن از طراحی را بوسیله تابع آنتروپی ارزیابی می‌کند و طرح با کمترین مقدار آنتروپی به عنوان حل بهینه انتخاب می‌شود. در مقایسه با الگوریتمهایی مثل گرفت که فقط هدفش بهینه‌سازی هزینه است این روش چند معیار را در نظر می‌گیرد.

۳. مدل‌سازی و الگوریتم حل

در این بخش به منظور حل مساله انتخاب طرح چیدمان به تشریح مدل می‌پردازیم. در این روش طرح چیدمان مطلوب به کمک اهمیت نسبی معیارهای طراحی که از داده‌های ماتریس تصمیم حاصل می‌شود، بدست می‌آید. در اکثر روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره، تصمیم‌گیران نیاز به تعیین اهمیت نسبی بین معیارهای انتخاب یا وزن هر کدام از معیارها دارند و در صورتیکه تصمیم‌گیرنده اطلاعات کافی در مورد تعیین اهمیت نسبی بین معیارها نداشته باشد، این امر منجر به انتخاب طرح چیدمان نامناسب خواهد شد. در حالیکه، در روش حاضر اهمیت مربوط به معیارها به کمک داده‌های ماتریس تصمیم و با استفاده از تکنیک

PSI محاسبه می‌گردد. رویکرد حاضر با استفاده از روش PSI معیارهای مربوطه را وزن‌دهی کرده و سپس بوسیله روش پرامتی رتبه‌بندی را انجام می‌دهد. هالوانی و همکاران (۲۰۰۹)، بیان می‌کنند که روش‌های پرامتی، شامل PROMETHEE-I (رتبه بندی جزئی) و PROMETHEE-II (رتبه بندی کامل)، توسط برنز در سال ۱۹۸۲ توسعه یافته است [۱۴]. این روش که در تجزیه و تحلیل مسائل چند معیاره بکار می‌رود از نظر مفهومی و کاربردی در مقایسه با روش‌های دیگر ساده‌تر می‌باشد [۱۵]. همچنین امکانات نرم‌افزاری که بصورت پشتیبان برای این روش فراهم شده است تحلیل‌های بسیار مناسبی را برای تصمیم‌گیرنده مهیا می‌سازد. نقطه ضعف پرامتی این است که رویکردی را برای وزن‌دهی معیارها ارائه نکرده و این مسئله را به تصمیم‌گیرنده واگذار می‌کند [۱۶]. بنابراین می‌توان با توجه به قابلیت روش PSI در وزن‌دهی معیارها؛ با ترکیب این دو روش به یک رویکرد مناسب و جدیدی در رتبه‌بندی چیدمان‌های مختلف در یک واحد تولیدی دست یافت.

۱.۳ روش پیشنهادی

گام ۱. مدلسازی

۱.۱. تعریف مساله: شامل تعریف وضعیت تولید یا صنایع تولیدی، برای طراحی چیدمان مورد نیاز می‌باشد.

۲.۱. ایجاد طرح‌های چیدمان پیشنهادی: تصمیم‌گیرندگان باید با استفاده از روش‌های مرسوم یا نرم‌افزارهای تجاری مانند اسپیرال، آلدپ، کورلپ، پلنت، کوفاد، گرفت و غیره به ایجاد طرح‌های چیدمان بپردازند.

۳.۱. تعیین معیارهای طراحی چیدمان تسهیلات: مشتمل بر شناسایی و تعیین معیارهای مؤثر در طراحی چیدمان تسهیلات می‌باشد.

۴.۱. فرمول سازی ماتریس تصمیم: برای حل مساله MADM با ساخت ماتریس تصمیم همانند شکل ۱ شروع می‌کنیم، که در آن $A = \{A_i \text{ for } i=1,2,3,\dots,m\}$ نشان دهنده مجموعه پیشنهادی طراحی، $C = \{C_j \text{ for } j=1,2,3,\dots,n\}$ نشان دهنده معیارهای انتخاب طرح چیدمان و X_{ij} نشان دهنده عملکرد گزینه A_i وقتی با معیار C_j بررسی می‌شود، هستند. ماتریس تصمیم شامل تمامی اندازه‌های عملکرد طرح‌های چیدمان وقتی با معیارهای کمی و کیفی بررسی می‌شوند، می‌باشد. در این ماتریس اندازه‌های عملکرد معیارهای کمی که از طریق نرم افزار و روش‌های رایج قابل محاسبه‌اند، مقادیر قطعی می‌باشند. اما مقادیر عملکرد معیارهای کیفی با استفاده از نظر خبرگان و با بکارگیری روش طیف لیکرت پنج نقطه‌ای به صورت جدول ۱ بدست می‌آیند.

جدول ۱. طیف پنج نقطه‌ای لیکرت

| ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ |
|---------|----|-------|------|------------|
| خیلی کم | کم | متوسط | زیاد | بسیار زیاد |

بدین صورت که از تصمیم‌گیرنده خواسته می‌شود مطابق جدول بالا با توجه به معیار کیفی مورد نظر، تصمیم خود را در مورد طرح‌های چیدمان بیان کند.

| | | | | | |
|-------|-------|----------|----------|-------|----------|
| شاخص | C_1 | C_2 | ... | C_n | |
| گزینه | A_1 | X_{11} | X_{12} | ... | X_{1n} |
| | A_2 | . | . | . | . |
| | . | . | . | . | . |
| | . | . | . | . | . |
| | A_m | X_{m1} | X_{m2} | ... | X_{mn} |

شکل ۱. ماتریس تصمیم

گام ۲. محاسبه ارزش اولویت معیارهای چیدمان.

۱.۲. فرمول‌سازی ماتریس تصمیم نرمال: معیارهای انتخاب طرح چیدمان، واحدهای اندازه‌گیری متفاوتی دارند که در این صورت نرمال‌سازی مقادیر عملکرد طرح‌ها با توجه به معیارها، به یک واحد سازگار امری ضروری خواهد بود، که به صورت زیر انجام می‌گیرد. برای هر یک از ستون‌های ماتریس تصمیم اگر معیار از نوع افزایشی باشد به صورت (۱) و اگر از نوع کاهنده باشد به صورت (۲) عمل می‌کنیم. شکل ۲ این مقادیر را نشان می‌دهد.

$$N_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{j,max}}; \forall i, j \quad \text{که در آن} \quad X_{j,max} = \max_j \{X_{ij}\}; \forall i, j \quad (1)$$

$$N_{ij} = \frac{x_{j,min}}{x_{ij}}; \forall i, j \quad \text{که در آن} \quad X_{j,min} = \min_j \{X_{ij}\}; \forall i, j \quad (2)$$

۲.۲. محاسبه ارزش میانگین داده‌های نرمال: در این مرحله با استفاده از مقادیر نرمال شده مرحله ۱.۲ ارزش میانگین را برای هر کدام از معیارها با استفاده از معادله (۳) بدست می‌آوریم (شکل ۲).

$$\bar{N}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m N_{ij}, \quad \forall i, j \quad (3)$$

| شاخص گزینه | C_1 | C_2 | ... | C_n |
|---------------|----------|----------|-----|----------|
| A_1 | N_{11} | N_{12} | ... | N_{1n} |
| A_2 | . | . | | . |
| . | . | . | | . |
| . | . | . | | . |
| A_m | N_{m1} | N_{m2} | ... | N_{mn} |

شکل ۲. ماتریس تصمیم نرمالیزه شده

۳.۲. محاسبه ارزش اولویت تغییر: یک ارزش اولویت تغییر بین ارزش‌های هر معیار به صورت معادله (۴) محاسبه می‌شود.

$$\pi_j = \sum_{i=1}^m [N_{ij} - \bar{N}_j]^2 \quad (4)$$

۴.۲. تعیین انحراف در ارزش اولویت: در این مرحله انحراف در ارزش اولویت برای تمامی معیارهای انتخاب با استفاده از معادله (۵) به صورت زیر بدست می‌آید.

$$\phi_j = |1 - \pi_j| \quad (5)$$

۵.۲. محاسبه ارزش اولویت کل: حال ارزش اولویت کل یا به عبارتی وزن نهایی معیارها به صورت معادله (۶) محاسبه می‌گردد.

$$w_j = \frac{\phi_j}{\sum_{j=1}^m \phi_j} \quad (6)$$

گام ۳. رتبه‌بندی نهایی

رتبه بندی توسط روش پرامتی صورت می‌پذیرد. که گام‌های آن در زیر آمده است:

۱.۳. تشکیل جدول ارزیابی: جدول ارزیابی، نقطه شروع روش پرامتی است که در این جدول گزینه‌ها بر اساس معیارهای مختلف ارزیابی می‌گردند [۱۶]. در این جدول معیارها و گزینه‌های مربوط به آن آورده می‌شوند.

۲.۳. محاسبه تابع ارجحیت: هنگامی که دو معیار $A_1, A_2 \in A$ را مقایسه می‌کنیم باید نتایج این مقایسات را بر اساس یک ارجحیت بیان کنیم [۱۶]. در روش پرامتی، تابع ارجحیت هر معیار غالباً از طریق ماهیت هر معیار و دیدگاه تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شود [۱۵].

تابع ارجحیت تفاوت بین مقادیر دو گزینه A_1 و A_2 را در یک معیار ویژه به درجه ارجحیتی تبدیل می‌کند که از ۰ تا ۱ تغییر می‌کند [۱۷].

$$P_j(A_1, A_2) = F_j[d_j(A_1, A_2)] \quad \forall A_1, A_2 \in A \quad (7)$$

که در آن:

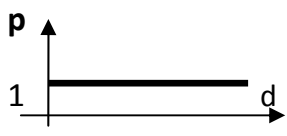
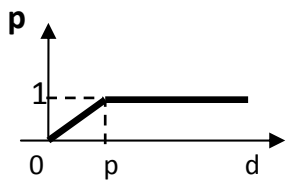
$$d_j(A_1, A_2) = f_j(A_1) - f_j(A_2) \quad (8)$$

و

$$0 \leq P_j(A_1, A_2) \leq 1$$

شش نوع تابع از پیش تعریف شده برای تابع $F_j[d_j(A_1, A_2)]$ وجود دارد که اکثر کاربردها را پوشش می‌دهند و عبارتند از: معیار معمولی عادی، معیار گوسی، معیار خطی (V شکل)، معیار هم سطح، معیار با ارجحیت خطی و ناحیه بی تفاوتی و معیار بخشی [۱۵]. برای مثال توابع معمولی و خطی (V شکل) در زیر آمده است:

جدول ۲- تابع‌های ارجحیت در روش پیرامته

| شکل | رابطه | پارامتر | نام | نوع |
|---|--|---------|-------------------|-----|
|  | $P(d) = \begin{cases} 0 & d = 0 \\ 1 & d = 1 \end{cases}$ | - | معیار عادی | ۱ |
|  | $P(d) = \begin{cases} \frac{d}{p} & d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$ | p | معیار خطی (V شکل) | ۳ |

آستانه p بیانگر کوچکترین انحرافی است که به عنوان ترجیح قطعی قلمداد می‌شود [۱۸].

۳.۳. محاسبه تابع ارجحیت کل: در مرحله بعدی شاخص ارجحیت کل به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$\pi'(A_1, A_2) = \sum_{j=1}^n P_j(A_1, A_2) \cdot w_j \quad (9)$$

که در آن $\pi'(A_1, A_2)$ عبارت است از جمع موزون $P(A_1, A_2)$ برای هر معیار و w_j وزن مرتبط با زمین معیار می‌باشد [۱۸].

۴.۳. محاسبه جریان‌های مثبت و منفی: در گام بعدی جریان مثبت (خروجی) ارجحیت به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\Phi^+(A_1) = \frac{1}{m-1} \sum_{x \in A} \pi'(A_1, x) \quad (10)$$

جریان منفی (ورودی) ارجحیت نیز از رابطه زیر حاصل می‌شود [۱۸]:

$$\Phi^-(A_1) = \frac{1}{m-1} \sum_{x \in A} \pi'(x, A_1) \quad (11)$$

۵.۳. محاسبه جریان خالص: روش پرامتی ۲ رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها را با محاسبه جریان خالص بیان می‌کند برای محاسبه جریان خالص از رابطه زیر استفاده می‌شود [۱۸]:

$$\Phi(A_1) = \Phi^+(A_1) - \Phi^-(A_1) \quad (12)$$

۴. مطالعه موردی

جهت نشان دادن صحت مدل پیشنهادی به حل مسالهی طراحی و انتخاب طرح چیدمان مناسب برای یک شرکت تولیدی که تولید کننده کلیدهای مربوط به ترانسفورماتور می‌باشد، می‌پردازیم. مراحل حل مدل تلفیقی بیان شده به صورت زیر می‌باشد.

گام ۱.۱. تعریف مساله: شرکت تولیدی مورد نظر دارای پنج واحد تولیدی انبار مواد اولیه و محصول، ریخته‌گری، سنگ‌زنی، ماشین‌کاری و مونتاژ می‌باشد که مساحت واحدها و همچنین جدول از - به آن که مربوط به یک شیفت کاری می‌باشد، در زیر آورده شده است.

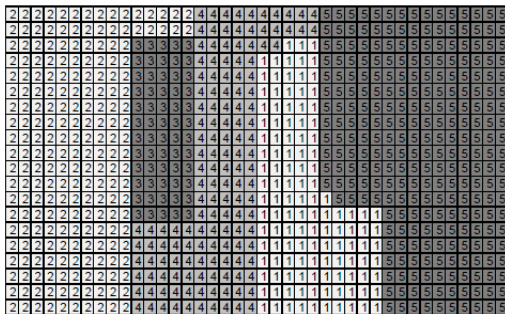
جدول ۳. مساحت واحدهای تولیدی

| شماره | نام واحدها | مساحت (m^2) |
|-------|--------------------------|-----------------|
| ۱ | انبار مواد اولیه و محصول | ۱۲۴ |
| ۲ | ریخته‌گری | ۲۱۰ |
| ۳ | سنگ‌زنی | ۶۰ |
| ۴ | ماشین‌کاری | ۱۴۲ |
| ۵ | مونتاژ | ۲۶۴ |

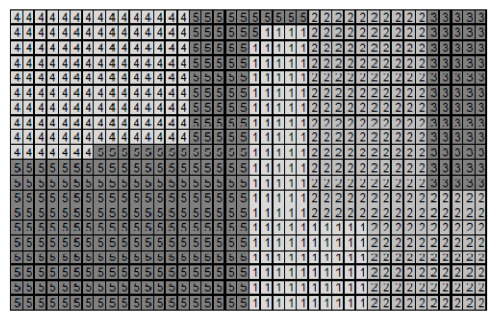
جدول ۴. جدول از - به جریان

| از | به | انبار مواد اولیه و محصول | ریخته‌گری | سنگ‌زنی | ماشین‌کاری | مونتاژ |
|--------------------------|----|--------------------------|-----------|---------|------------|--------|
| انبار مواد اولیه و محصول | ۰ | ۵۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ریخته‌گری | ۱۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| سنگ‌زنی | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ماشین‌کاری | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| مونتاژ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |

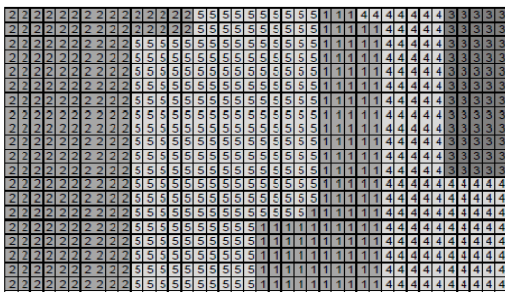
گام ۲.۱. ایجاد طرح‌های چیدمان: در این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار Layout add-in، هشت طرح چیدمان جهت ارزیابی، ایجاد شد (شکل ۳).



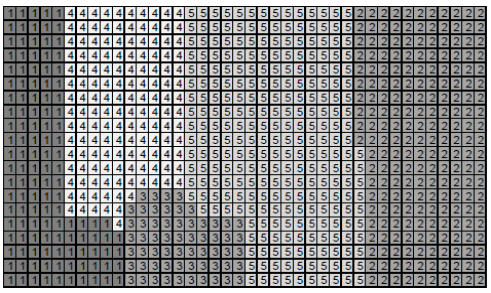
طرح چیدمان ۱



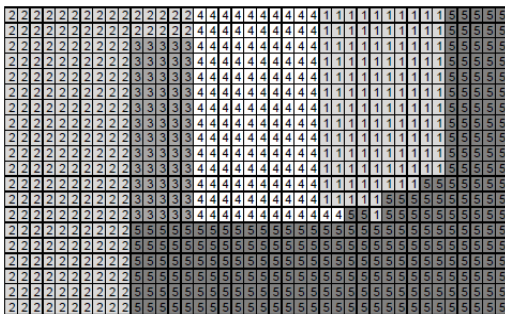
طرح چیدمان ۲



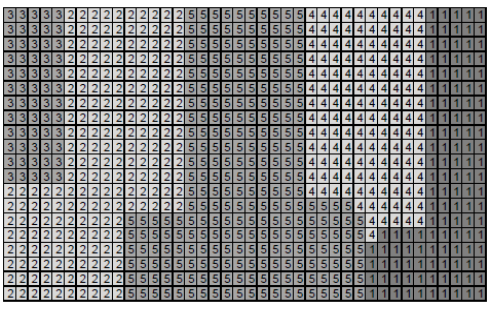
طرح چیدمان ۳



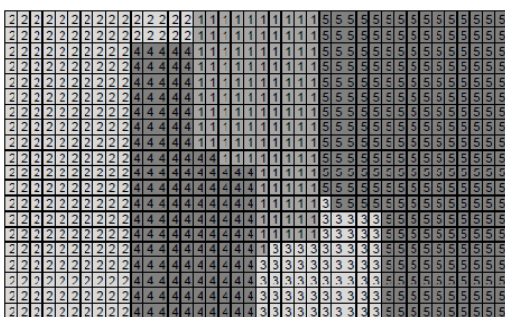
طرح چیدمان ۴



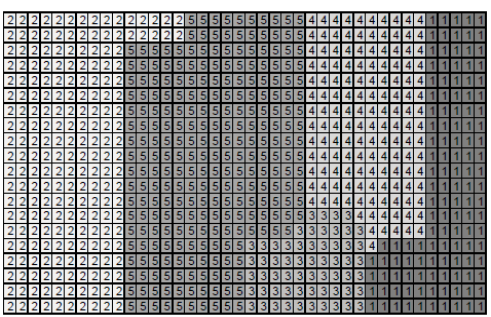
طرح چیدمان ۵



طرح چیدمان ۶



طرح چیدمان ۷



طرح چیدمان ۸

شکل ۳. طرح‌های چیدمان پیشنهادی

گام ۳.۱. تعیین معیارهای طراحی چیدمان: معیارهای در نظر گرفته شده در این تحقیق شامل پنج معیار می-باشند که چهارتای آن‌ها کیفی و یک مورد آن کمی است. معیارهای کیفی عبارتند از: ۱. انعطاف‌پذیری (C1): این معیار در بر گیرنده دو جنبه می‌باشد الف: توانایی برای انجام وظایف گوناگون تحت شرایط عملیاتی مختلف. ب: انعطاف‌پذیری برای گسترش در آینده، که اگر یک طرح چیدمان به طور مناسبی طراحی شده باشد می‌تواند با اخلال کم در عملیات و بهره‌وری گسترش یابد [۵]. ۲. ارتباط محیطی: (C2): در صورتی که ارتباط محیطی بین دو بخش پر مخاطره باشد، بهتر است آن دو بخش از هم دور باشند که این ممکن است به دلایلی چون سر و صدا، ارتعاش و لرزش، آلودگی یا جنبه‌های مربوط به امنیت کارگران و یا خطرات ناشی از آتش‌سوزی و انفجار باشد [۴]. ۳. استفاده مشترک از نیروی انسانی (C3): نشان دهنده بخش‌هایی می‌باشد که جهت انجام وظایف از نیروهای انسانی مشترکی استفاده می‌کنند [5]. ۴. جریان مواد (C4): بیان‌کننده ارتباط جریان مواد بین بخش‌ها می‌باشد [19]. و معیار کمی ۵. هزینه جابجایی (C5): این معیار نشان دهنده هزینه جریان مواد بین بخش‌ها می‌باشد که برابر مجموع حاصل ضرب تعداد جریان مواد در هزینه جریان (هر واحد بار در واحد مسافت) در واحد مسافت جریان برای هر جفت تسهیل می‌باشد [6].

گام ۴.۱. فرمول‌سازی ماتریس تصمیم: در این گام به محاسبه مقادیر عملکردی هر یک از طرح‌های پیشنهادی با توجه به معیارها می‌پردازیم که از تصمیم‌گیرنده خواسته می‌شود با توجه به جدول شماره ۱ طیف پنج نقطه‌ای لیکرت، از بسیار زیاد زیاد تا خیلی کم به طرح‌ها با توجه به هر معیار امتیاز مناسب را تخصیص دهد. جدول ۴ نشان دهنده قضاوت‌های تصمیم‌گیرنده یا DM می‌باشد. در این جدول مقادیر مربوط به معیار هزینه جابجایی که تنها معیار کمی در این تحقیق می‌باشد، از طریق نرم‌افزار بدست آمده است.

جدول ۵. ماتریس تصمیم بدست آمده از قضاوت DM

| معیار | انعطاف‌پذیری | ارتباط محیطی | استفاده مشترک از نیروی انسانی | جریان مواد | هزینه جابجایی |
|-------|--------------|--------------|-------------------------------|------------|---------------|
| A1 | ۴ | ۴ | ۵ | ۵ | ۳۹۳۹ |
| A2 | ۳ | ۳ | ۲ | ۳ | ۴۷۷۲ |
| A3 | ۲ | ۳ | ۵ | ۲ | ۴۰۲۲ |
| A4 | ۳ | ۲ | ۳ | ۳ | ۵۴۵۸ |
| A5 | ۴ | ۲ | ۴ | ۴ | ۲۴۴۳ |
| A6 | ۳ | ۳ | ۱ | ۴ | ۴۸۴۷ |
| A7 | ۴ | ۳ | ۲ | ۳ | ۴۹۰۴ |
| A8 | ۳ | ۲ | ۲ | ۲ | ۵۴۶۰ |

گام ۱.۲. فرمول‌سازی ماتریس تصمیم نرمال: در این گام به نرمال‌سازی مقادیر عملکردی ماتریس تصمیم می‌پردازیم. با توجه به اینکه معیارهای C1، C2، C3 و C4 از نوع معیارهای افزایشی می‌باشند، جهت نرمال‌سازی این مقادیر با توجه به فرمول (۱) عمل می‌کنیم. معیار هزینه جابجایی از نوع معیار کاهشنده می‌باشد که برای نرمال‌سازی آن از فرمول شماره (۲) استفاده می‌کنیم. مقادیر نرمال شده آن‌ها در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۶. ماتریس تصمیم نرمال شده

| هزینه جایابی | جریان مواد | استفاده مشترک از نیروی انسانی | ارتباط محیطی | انعطاف پذیری | معیار |
|--------------|------------|-------------------------------|--------------|--------------|-------|
| ۰.۸۷ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | A1 |
| ۰.۷۲ | ۰.۶ | ۰.۴ | ۰.۷۵ | ۰.۷۵ | A2 |
| ۰.۸۶ | ۰.۴ | ۱ | ۰.۷۵ | ۰.۵ | A3 |
| ۰.۶۳ | ۰.۶ | ۰.۶ | ۰.۵ | ۰.۷۵ | A4 |
| ۱ | ۰.۸ | ۰.۸ | ۰.۵ | ۱ | A5 |
| ۰.۷۱ | ۰.۸ | ۰.۲ | ۰.۷۵ | ۰.۷۵ | A6 |
| ۰.۷ | ۰.۶ | ۰.۲ | ۰.۷۵ | ۱ | A7 |
| ۰.۶۳ | ۰.۴ | ۰.۴ | ۰.۵ | ۰.۷۵ | A8 |

گام ۲.۲. محاسبه ارزش میانگین داده‌های نرمال: در این مرحله ارزش میانگین داده‌های نرمال برای هر معیار با استفاده از فرمول (۳) محاسبه می‌شود. مقادیر بدست آمده به صورت زیر می‌باشند.

$$\bar{N}_1 = 0.81, \bar{N}_2 = 0.69, \bar{N}_3 = 0.60, \bar{N}_4 = 0.65, \bar{N}_5 = 0.77$$

گام ۳.۲. محاسبه ارزش اولویت تغییر: با استفاده از فرمول (۴) به محاسبه ارزش اولویت تغییر می‌پردازیم. مقادیر مربوطه در زیر آورده شده است.

$$\pi_1 = 0.22, \pi_2 = 0.22, \pi_3 = 0.64, \pi_4 = 0.30, \pi_5 = 0.12$$

گام ۴.۲. تعیین انحراف در ارزش اولویت: در این مرحله با استفاده از فرمول (۵) به محاسبه انحراف در ارزش اولویت برای تمامی معیارها می‌پردازیم. مقادیر بدست آمده در این گام به صورت زیر می‌باشند.

$$\phi_1 = 0.78, \phi_2 = 0.78, \phi_3 = 0.36, \phi_4 = 0.70, \phi_5 = 0.88$$

گام ۵.۲. محاسبه ارزش اولویت کل: در آخرین مرحله از گام ۲ وزن یا ارزش اولویت هر کدام از معیارها را با استفاده از فرمول (۵) محاسبه می‌کنیم. مقادیر وزن‌های بدست آمده در زیر آورده شده است.

$$W_1 = 0.22, W_2 = 0.22, W_3 = 0.1, W_4 = 0.2, W_5 = 0.25$$

گام ۱.۳. تشکیل جدول ارزیابی: جدول ارزیابی مورد استفاده در این تحقیق همان جدول شماره ۲ می‌باشد.

گام ۲.۳. محاسبه تابع ارجحیت: برای چهار معیار کیفی تابع معمولی و برای معیار کمی تابع خطی (شکل ۷) در نظر گرفته شد. برای مثال با توجه به فرمول (۸) برای چیدمان اول و دوم داریم و معیار C1 داریم:

$$d_1(A_1, A_2) = 4 - 3 = 1$$

و بنابراین P_1 با توجه به جدول ۲ برابر است با ۱.

گام ۳.۳. محاسبه تابع ارجحیت کل: برای بدست آوردن تابع ارجحیت کل با توجه به فرمول (۹) محاسبات صورت می‌پذیرد که برای مثال برای چیدمان اول و دوم داریم:

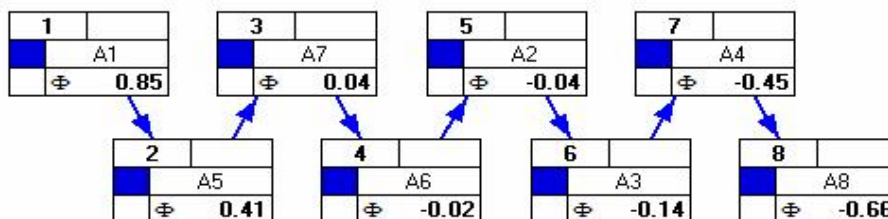
$$1(0.22)+1(0.22)+1(0.1)+1(0.20)+1(0.25)=1$$

گام ۴.۳ و گام ۵.۳. برای محاسبات جریان‌های مثبت و منفی، نرم‌افزار Decision Lab مورد استفاده قرار گرفته که در جدول زیر آورده شده است:

| | $\Phi+$ | $\Phi-$ | Φ |
|----|---------|---------|---------|
| A1 | 0.8860 | 0.0361 | 0.8499 |
| A2 | 0.3434 | 0.3795 | -0.0361 |
| A3 | 0.3622 | 0.4993 | -0.1371 |
| A4 | 0.1486 | 0.6003 | -0.4517 |
| A5 | 0.6277 | 0.2165 | 0.4113 |
| A6 | 0.3795 | 0.4012 | -0.0216 |
| A7 | 0.3983 | 0.3564 | 0.0418 |
| A8 | 0.0462 | 0.7027 | -0.6566 |

شکل ۴. جریان‌های خروجی طرح‌های چیدمان در نرم‌افزار Decision Lab

باتوجه به مقدار جریان خالص هر چیدمان رتبه‌بندی صورت گرفت که در شکل زیر نشان داده شده است:



شکل ۵. رتبه‌بندی انجام شده در نرم‌افزار Decision Lab

همانطور که مشاهده می‌شود طرح چیدمان شماره ۱ با وجود اینکه از لحاظ مناسب بودن هزینه جابجایی در رده دوم نسبت به طرح ۵ قرار داشت اما از لحاظ معیارهای کیفی که با استفاده از نظر DM تعیین شد عملکرد بالاتری نسبت به طرح ۵ کسب نمود و به عنوان مناسب‌ترین طرح انتخاب شده است و بعد از آن به ترتیب طرح شماره ۵ تا طرح شماره ۸ انتخاب گردیده است.

۵. نتیجه‌گیری

در این مقاله باتوجه به هزینه‌های جابجایی مواد در واحدهای تولیدی و تاثیر طرح‌های چیدمان بر آن‌ها، معیارهای موثر بر چیدمان با بررسی پیشینه تحقیق و نظرات تصمیم‌گیرنده تعیین شده و با استفاده از روش PSI وزندهی صورت گرفت. نهایتاً از بین ۸ چیدمان ایجاد شده توسط نرم افزار $Layout\ add-in$ به کمک روش $PROMETHEE$ و نرم‌افزار $Decision\ Lab$ رتبه‌بندی انجام شد و طرح چیدمان شماره ۱ انتخاب گردید.

منابع

1. Yang, Taho, Hung, Chih-Ching; "Multiple-attribute decision making methods for plant layout design problem", *Robotic and Computer-Integrated Manufacturing*, 23, 1, 126-137, 2007.
۲. نوری، حمید، رادفورد، راسل؛ مباحث نوین در مدیریت تولید و عملیات، دردانه داوری، سازمان مدیریت صنعتی، تهران، جلد اول، ۱۳۸۸.
۳. وینچه، عبدالله هادی، قاسمی، امیر محمد (۱۳۸۸)، «یک مدل بهینه سازی وزن غیر خطی جهت رتبه‌بندی مدل‌های مختلف چیدمان در مساله طراحی چیدمان تسهیلات»، *مجله ریاضیات کاربردی واحد لاهیجان*، ۶ (۲۳)، ۶۰-۵۱.
4. Cambren, Kenneth E, Evans, Gerald W; "Layout design using the analytic hierarchy process", *Computers and Industrial Engineering*, 20, 2, 211-229, 1991.
5. Partovi, Fariborz Y, Burton, Jonathan; "An analytical hierarchy approach to facility layout", *Computers & Industrial Engineering*, 22, 4, 447-457, 1992.
6. Shang, Jen S; "Multicriteria facility layout problem:An integrated approach", *European Journal of Operational Research*, 66, 3, 291-304, 1993.
7. Yang, Taho, Kuo, Chunwei; "A hierarchical AHP/DEA methodology for the facilities layout design problem", *European Journal of Operational research*, 147, 1, 128-136, 2003.
8. Ertay, Tijen, Ruan, Da, Tuzkaya, Umut Rifat; "Integrated data envelopment analysis and analytic hierarchy for the facility layout design in manufacturing systems", *Information science*, 176, 3, 237-262, 2006.
9. Aiello, G, Enea, M, Galante, G; "A multi-objective approach to facility layout problem by genetic search algorithm and Electre method", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 22, 5-6, 447-455, 2006.
10. Kuo, Yiyo, Yang, Taho, Huang, Guan-wei; "The use of grey relational analysis in solving multiple attribute decision-making problems", *Computer & Industrial Engineering*, 55, 1, 80-93, 2008.
11. Ghaseminejad, Amin, Navidi, Hamidreza, Bashiri, Mahdi; "Using data envelopment analysis and TOPSIS method for solving flexible bay structure layout", *International Journal of Management Science*, 6, 1, 49-57, 2011.
12. Maniya, K.D, Bhatt, M.G; "An alternative multiple attribute decision making methodology for solving optimal facility layout design selection problems", *Computer & Industrial Engineering*, 61, 3, 542-549, 2011.
13. Gonzalez-Cruz, Ma Carmen, Martinez, Eliseo Gomez-Senent; "An entropy-based algorithm to solve the facility layout design problem", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 27, 1, 88-100, 2011.
14. Halouani, N., Chabchoub, H., & Martel, J.M. PROMETHEE-MD-2T method for project selection. *European Journal of Operational Research*, 195, 841-849, 2009.
15. Albadavi, A., Chaharsooghi, S.K., & Esfahanipour, A. (2007). Decision making in stock trading: An application of PROMETHEE. *European Journal of Operational Research*, 177, 673-683, 2007.
16. Macharis, C., Springael, J., Brucker, K.D., & Verbeke, A. PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis, Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP. *European Journal of Operational Research*, 153, 307-317, 2007.
17. Safari, H., Fagheyi, M.S., Ahangari, S.S., & Fathi, M.R. Applying PROMETHEE Method based on Entropy Weight for Supplier Selection. *Business management and strategy*, 3(1), 97-106, 2012.
18. Bogdanovic, D., Nikolic, D., & Ilic, I. Mining method selection by integrated AHP and PROMETHEE method. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 84(1), 219-233, 2012.
19. Karray, F. Zanelidin, E. Hegazy, T. Shabeeb, A.H.M. Elbeltagi, E. Tools of soft computing as applied to the problem of facilities layout planning. *IEEE Transactions On Fuzzy Systems*, 8(4), 367-379, 2000.