

«مدیریت بهره‌وری»

سال هشتم - شماره 32 - بهار 1394

ص ص 67 - 37

تاریخ دریافت مقاله: 93/02/02

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: 93/06/22

ارائه یک روش تصمیم‌گیری چند شاخصه مبتنی بر محاسبه مساحت چند- ضلعی‌ها برای رتبه‌بندی مدل‌های مختلف استقرار

دکتر مرتضی هنرمند عظیمی¹

دکتر هوشنگ تقی‌زاده²

چکیده

مسئله طراحی استقرار تسهیلات، نظیر استقرار ماشین‌آلات، بخش‌ها، ایستگاه‌های کاری و... در کنار هم، به نحوی است که تولیدکنندگان با در نظر گرفتن مجموعه اهداف، قیود و سایر شرایط بتوانند محصولات و خدمات را در حداکثر بهره‌وری و سودآوری عرضه کنند. مسئله طراحی استقرار و چیدمان تسهیلات معمولاً یک مسأله چند شاخصه است که علاوه بر شاخص‌های کمی، شاخص‌های کیفی نیز بر آن تأثیرگذار هستند. در این مقاله یک رویکرد تصمیم‌گیری چند شاخصه مبتنی بر محاسبه مساحت چندضلعی‌ها بر روی نمودار رادار، جهت رتبه‌بندی الگوهای طراحی استقرار در حضور هر دو گروه شاخص، پیشنهاد می‌شود. به منظور نشان دادن جنبه کاربردی این روش و اطمینان از نتایج به دست آمده، همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن بین رتبه‌های حاصل از روش با سایر روش‌های پرکاربرد و مطرح تصمیم‌گیری چند شاخصه در یک مثال محاسبه شده است. نتایج به دست آمده از بررسی، نشان می‌دهد که: بین رتبه‌های حاصل از روش مساحت چندضلعی‌ها، جهت انتخاب چیدمان مناسب، با سایر روش‌های پرکاربرد تصمیم‌گیری چند شاخصه همبستگی بالایی وجود دارد و می‌توان این روش تصمیم‌گیری چند شاخصه را برای انتخاب استقرار مناسب و سایر مسائل محیط‌های صنعتی پیشنهاد کرد.

واژه‌های کلیدی: استقرار تسهیلات، تصمیم‌گیری چند شاخصه، تصمیم‌گیری با روش مساحت

چندضلعی‌ها

¹ - عضو هیأت علمی گروه مدیریت، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران (نویسنده مسئول)

honarmand@iaut.ac.ir

² - دانشیار گروه مدیریت، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران Taghizadeh@iaut.ac.ir

مقدمه

منظور از چیدمان¹ یا طراحی استقرار تسهیلات²، چگونگی کنار هم قرار گرفتن ماشین‌آلات و ایستگاه‌های تولید، دفاتر و بخش‌های مختلف تولیدی و خدماتی در سازمان‌هاست. چیدمان مناسب تأثیر مستقیمی بر کارایی فعالیت‌های سازمان دارد و همچنین بر سرعت تولید محصول یا ارائه خدمت و سرعت پاسخ به تغییرات در محصول یا خدمت مؤثر است (متقی، 1386، 139)؛ به عبارت دیگر مسأله استقرار عبارت است از: انتخاب مؤثرترین نحوه چینش و هماهنگی تجهیزات یک واحد تولیدی به طوری که حداکثر کارایی از تلفیق منابع لازم (ماشین‌آلات، مواد و نیروی انسانی) برای عملیات تولیدی ممکن شود.

تعیین مکان تمامی بخش‌ها، تسهیلات مورد نیاز برای تولید یک محصول یا خدمت، به طریقی است که هزینه‌های حمل و نقل بین بخش‌ها و تجهیزات به حداقل برسند. طراحی بهینه استقرار، آثار فراوانی بر بهره‌وری و سودآوری دارد و هزینه‌های حمل و نقل را کاهش می‌دهد؛ هزینه فعالیت‌های مربوط به انتقال مواد به‌طور متوسط، 20 تا 50 درصد کل بودجه عملیاتی یک شرکت را تشکیل می‌دهد و با یک برنامه‌ریزی استقرار مناسب می‌توان 10 تا 20 درصد از این هزینه‌ها را کاهش داد (تام کینز و همکاران، 1385، 8)؛ لذا اگر تسهیلات به مناسب‌ترین شکل چیده شوند کارخانه‌ها می‌توانند هزینه‌های تولید محصولات را کاهش دهند و موقعیت رقابتی خود را بهبود بخشند. بسیاری از مشکلات واحدهای تولیدی، مانند زمان طولانی فرآیند تولید، وجود گلوگاه‌ها در واحد تولیدی و نارضایتی کارکنان و... با طراحی مجدد واحدهای تولیدی و چیدمان تجهیزات قابل رفع می‌باشند. مسلماً جا به جایی و ایجاد تغییرات در چیدمان فضاها و تجهیزات بر روی کاغذ به مراتب ساده‌تر و کم هزینه‌تر از انتقال و جابه جایی واقعی آنها است. به همین دلیل محققان در جریان این مسائل، به دنبال یافتن الگوریتم‌ها و روش‌های تصمیم‌گیری هستند که در عین حال که به جواب خوبی در مورد نحوه چیدمان تجهیزات و واحدها می‌رسند؛ قابل اجرا در محیط عملیاتی بوده و با شرایط محیط کار سازگار باشند (طلوعی و مجریان، 1389، 82).

¹- Layout

²- Facility layout problem

روش و رویکردهای مورد استفاده برای حل مسائل چیدمان را می‌توان به روش‌های بهینه‌سازی، روشهای تقریبی و روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره تقسیم نمود. مسائل بهینه‌سازی، شامل تخصیص تسهیلات یا بخش‌ها به فضاهای موجود، با توجه به یک هدف یا چندین هدف و با در نظر گرفتن تعدادی محدودیت است. مدل‌های ارائه شده در این نوع مسائل در حالت کلی به صورت کمینه کردن یک تابع هدف به صورت ترکیب چندین هزینه شامل هزینه‌های ثابت و متغیر انتقال مواد می‌باشد و با اضافه کردن محدودیتهایی نظیر محدودیت بودجه، زمان در دسترس تسهیلات و تجهیزات انتقال مواد و ... یک برنامه‌ریزی غیر خطی را پیشنهاد کرده و با استفاده از نرم افزارهای موجود در این حوزه، جواب بهینه را به دست می‌آورند (نویدی و مسی بید گلی، 1389، 14-3).

ساده‌ترین نوع این قبیل مسایل نخستین بار توسط کوپمنز و بکمن¹ در سال 1957 ارائه شد که در آن مسأله طراحی چیدمان تسهیلات شامل تخصیص تسهیلات به مکان‌ها با هدف کمینه‌سازی هزینه کل جابجایی مواد است (ارتای، روان و توزکایا²، 2006، 262-237).

رویکردهای تقریبی را به طور کلی می‌توان به دو گروه ابتکاری و فوق ابتکاری تقسیم‌بندی نمود. رویکردهای ابتکاری خود به دو دسته رویکردهای رویه‌ای و الگوریتمی تقسیم می‌شوند. از رویکردهای رویه‌ای می‌توان به روش میوتر³ اشاره کرد که مسأله طراحی چیدمان تسهیلات را به صورت یک مسأله برنامه‌ریزی سیستماتیک استقرار⁴ در سه مرحله‌ی متوالی تجزیه و تحلیل، تجسس و انتخاب اعمال می‌کند که هر یک از این مراحل خود شامل زیر مرحله‌ی است که توسط طراح در فرایند طراحی مدنظر قرار می‌گیرند. به نظر یانگ و کیو، ذهنی بودن این مراحل توسط طراح و فقدان چارچوب علمی دقیق، این رویکرد را ناکارآمد ساخته است (یانگ و کیو⁵، 2003، 136-123).

¹- Koopmans and Beckman

²- Ertay, Ruan & Tuzkaya(2006)

³- Muther, 1973

⁴- Systematic Layout Planning (SLP)

⁵- Yang & Kuo

از رویکردهای الگوریتمی می‌توان به روشهای ساخت نمودار روابط برای چیدمان جدید، روش تعویض جفتی برای بهبود چیدمان و روش گراف اشاره نمود (سیدحسینی و صفا کیش، 1386، 147).

رویکردهای الگوریتمی کامپیوتری نیز از این دسته رویکردها بوده و به دو گروه سازنده و بهبود دهنده تقسیم می‌شوند؛ رویکردهای الگوریتمی سازنده، مانند الپ¹، کورلپ² و الگوریتمی بهبود دهنده مانند کرافت³، کوفد⁴ و پلنت⁵ از جمله این رویکردها هستند.

آخرین گروه از رویکردها برای 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. در این مقاله مسأله چیدمان با استفاده از تصمیم‌گیریهی چند شاخصه که شاخه‌ایی از تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد مورد بررسی قرار گرفته است. تحقیقات زیر نمونه‌ایی از این نوع رویکرد است:

کمبرون و همکاران (1991) برای حل مسأله طراحی چیدمان ابتدا با استفاده ترکیبی از روشهای دستی و الگوریتم‌های کورلپ و الپ به ایجاد شش طرح چیدمان پرداخته، سپس از روش تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ای اچ پی⁶ جهت انتخاب طرح چیدمان مناسب‌تر استفاده کردند. شاخصه‌های در نظر گرفته شده شامل حرکت کارآمد مواد، حرکت کارآمد پرسنل، سهولت گسترش، بکارگیری و پیکربندی خوب فضا، سازگاری با فرآیند و تغییرات تجهیزات، نظارت مؤثر، امنیت، ضمانت، زیبایی‌گرایی و کنترل مناسب صدا بوده است (کمبرون⁷ و همکاران، 1991، 229-221).

راوت و راکشیت⁸ یک روش طراحی چیدمان را بر مبنای تئوری مجموعه‌های فازی ارائه کردند. در این تحقیق از متغیر زبانی (کلامی یا کیفی) برای معرفی معیارهای مختلف کیفی استقرار، استفاده شده است سپس این معیارها مبنای تعیین روابط و

¹ - Automated Layout Design Program(ALDEP)

² - Computerized Relationship Layout Planning(COROLAP)

³ - Computerized Relative Allocation of Facilities Techniques(CRAFT)

⁴ - Computerized Facility Aided Design(COFAD)

⁵ - Programming Layout Analysis and Evaluation Technique(PLANET)

⁶ - Analytical Hierarchy Approach(AHP)

⁷ - Cambron et al.

⁸ - Raoot and Rakshit(1991)

نزدیکی میان دپارتمانها قرار داده شده است. ماتریس ارتباطات و نزدیکی بین بخشها که با استفاده از این روش به دست آمده؛ به عنوان ماتریس تصمیم ایجاد یک طرح برای چیدمان کارخانه استفاده شده است (رائوت و راکشیت، 1991، 857-835).

پرتوی و برتون¹ (1992) برای مسأله طراحی چیدمان از روش ای اچ پی استفاده کردند. آنها با استفاده از توسعه یک برنامه کامپیوتری بر پایه ای اچ پی و یک زیر برنامه برای ارائه طرح مکان بخشها، به طراحی چیدمان پرداختند. کررای و همکاران² (2000) روش یکپارچه‌ای را با استفاده از تئوری مجموعه فازی و الگوریتم‌های ژنتیکی به منظور بررسی چیدمان تأسیسات موقتی نسبت به سازه‌های طراحی شده در یک سایت ساختمانی ارائه نموده‌اند؛ این روش بر اساس امتیاز نزدیکی میان هر زوج از تأسیسات در یک سایت با استفاده از روش فازی بنا شده است. یانگ و کو³ (2003) نیز یک رویکرد سلسله‌مراتبی از نوع ای اچ پی و تحلیل پوششی داده‌ها⁴ را به منظور حل مسأله انتخاب نحوه طراحی چیدمان کارگاه ارائه نموده‌اند.

ارتای، روان و توزکایا⁵ (2006) برای ارزیابی طرح‌های چیدمان از یک روش تصمیم‌گیری بر اساس روش تحلیل پوششی داده‌ها که معیارهای کمی و کیفی را به صورت همزمان در نظر می‌گیرد؛ استفاده کردند. آنها از یک نرم افزار کامپیوتری برای ایجاد پیشنهاد‌های طراحی و جمع آوری داده‌های کمی استفاده کردند و روش ای اچ پی را برای جمع آوری داده‌های کیفی به کار گرفتند. معیارهای در نظر گرفته شده توسط آنها، برای ارزیابی چیدمانها، شامل معیارهای کمی مسافت- جریان، هزینه جابجایی، امتیاز مجاورت دیفازی شده، به کارگیری وسایل جابجایی مواد و نسبت شکل و معیارهای کیفی انعطاف‌پذیری و کیفیت بودند.

آیاللو، اینتا و گالاته⁶ (2006) یک روش چند هدفه برای حل مسأله طراحی چیدمان به کار گرفتند. به این صورت که آنها در گام اول گزینه‌هایی برای استقرار با استفاده از الگوریتم ژنتیک تعیین کردند و در گام بعد جهت انتخاب گزینه بهینه از روش

¹- Partovi & Burton(1992)

²- Karray et al (2000)

³- Yang and Kuo(2003)

⁴- Data Envelopment Analysis(DEA)

⁵- Ertay, Ruan & Tuzkaya(2006)

⁶- Aiello, Enea & Galante (2006)

تصمیم‌گیری چند شاخصه الکترون¹ استفاده کردند. شاخصه‌های در نظر گرفته شده توسط آنها، برای ارزیابی چیدمانها، شامل شاخصه‌های کمی هزینه جابجایی و نسبت ابعاد و شاخصه‌های کیفی، مجاورت و فاصله بین بخشها بود.

در مطالعه‌ای که یانگ و هوانگ² (2007) انجام داده‌اند از روشهای تصمیم‌گیری چند شاخصه تاپسیس³ و تاپسیس فازی⁴، جهت انتخاب طرح چیدمان مناسب استفاده نمودند. آنها در یک تحقیق تجربی با استفاده از نرم افزار اسپیرال⁵ هجده طرح چیدمان پیشنهادی ایجاد کرده و شش شاخصه برای شاخصه‌های کیفی و کمی استقرار معرفی کردند. در مطالعه دیگری کیو و همکاران⁶ (2008)، برای حل مسأله انتخاب بین طرحهای چیدمان پیشنهادی، از روش جی آر ای⁷ به عنوان یک روش تصمیم‌گیری چند شاخصه استفاده نمودند. در یک تحقیق تجربی طرحهای چیدمان پیشنهادی به همراه شش معیار عملکرد در نظر گرفته شدند. مقایسه نتایج نشان داد که در حل مسأله انتخاب استقرار مناسب این روش به عنوان یک روش تصمیم‌گیری چند شاخصه مؤثر بوده است. راثو و سینگ⁸ (2010) یک رویکرد وزنی مبتنی بر فاصله اقلیدسی را به عنوان روش تصمیم‌گیری بر مبنای معیارهای چندگانه جهت طراحی چیدمان ارائه نموده‌اند.

محققینی به نام‌های مانیا و بات⁹ (2011) از روش پی اس آی¹⁰ به منظور حل مسأله انتخاب نحوه طراحی چیدمان استفاده کردند و مقایسه‌ای میان نتایج این تحقیق با تحقیقات پیشین را ارائه نمودند. البته، وزن ویژگی‌های مورد توجه این محققان به طور کامل با ویژگی‌های مورد استفاده توسط سایر محققان متفاوت بوده است و از این رو مقایسه میان رتبه و رده‌بندی روش‌های مختلف در این تحقیق دارای معنی خاصی نمی‌باشد. به‌علاوه، این روش دارای اعتبار ریاضی کافی نمی‌باشد و هیچ‌گونه مراحل مجزایی برای تبدیل ویژگی‌های کیفی به ویژگی‌های کمی در آن بیان نشده‌اند.

¹ - ELECTRE

² - Yang & hung (2007)

³ -TOPSIS

⁴ -FUZZY TOPSIS

⁵ - Spiral

⁶ - Kuo et al. (2008)

⁷ - Gray Relational Analysis(GRA)

⁸ - Rao & Singh (2010)

⁹ - Maniya and Bhatt (2011)

¹⁰ -Preference Selection Index(PSI)

وینچه و قاسمی (1388) در مقاله‌ای تحت عنوان یک مدل بهینه‌سازی وزین غیر خطی جهت رتبه‌بندی مدل‌های مختلف چیدمان در مسأله طراحی چیدمان تسهیلات، از رویکرد ای‌اچ‌پی جهت تعیین مقادیر عملکردی معیارهای کیفی استفاده کردند. یک نرم افزار تجاری را جهت ایجاد الگوهای چیدمان و همچنین جهت ایجاد مقادیر عملکردی کمی به کار برده و در نهایت از یک مدل بهینه‌سازی وزین غیر خطی جهت رتبه‌بندی الگوهای طراحی چیدمان در حضور هر دو گروه معیار کمی و کیفی و با در نظر گرفتن ترتیب رتبه‌بندی معیارها بر اساس دیدگاه کارشناسان طراحی، استفاده کرده‌اند. برای نشان دادن جنبه کاربردی مدل، در یک مطالعه موردی واقعی، آن را اجرا، نتایج به دست آمده از رتبه‌بندی را ارائه نموده‌اند (هادی وینچه و قاسمی، 1388، 60-51).

نویدی و مسی بید گلی (1389) در مقاله ای با عنوان مدل سازی مسأله چیدمان تسهیلات در شرایط تعاملی با استفاده از نظریه بازی‌ها یک مدل بازی پیشنهاد کرده‌اند که طراحی چیدمان در بازارهای چند جانبه با مطالعه اثر تصمیمات اتخاذ شده از سوی طراح سیستم انتقال مواد را ممکن می‌سازد. آنها با حل یک نمونه عددی و مقایسه نتایج حاصل از بازی پیشنهادی با مدل‌های موجود، نتیجه گرفته‌اند که استفاده از ترکیب خطی توابع هزینه تصمیم گیرندگان در شرایط تصمیم‌گیری گروهی، لزوماً به جواب بهینه شدنی منجر نمی‌شود و در چنین شرایطی نظریه بازی‌ها می‌تواند ابزار موثری باشد (نویدی و مسی بید گلی، 1389، 13-2). حسینی نسب و همکاران (1390) در تحقیقی با عنوان ارائه یک الگوریتم هوشمند ترکیبی جهت حل مسأله چیدمان پویای تسهیلات با اطلاعات جریان فازی مسأله چیدمان را در شرایط ابهام در جریان اطلاعات مورد مطالعه قرار داده‌اند. در این راستا حجم تقاضای محصولات (به تبع آن حجم جریان مواد) در قالب اعداد فازی، با تابع عضویت متفاوت، تعریف شده‌اند. مدل سازی مسأله در قالب اعداد فازی و سه مدل ارزش انتظاری، برنامه ریزی با قید احتمالی و برنامه‌ریزی بر مبنای شانس صورت گرفته است و برای حل مدل یک الگوریتم هوشمند ترکیبی ارائه کرده‌اند (حسینی نسب و همکاران 1390، 304-307). در تحقیقی که توسط پویا، طبری و سیویه (1391) انجام گرفت با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند شاخصه پرومته¹ به ارزیابی چیدمانهای هشت گانه ارائه شده توسط نرم افزار استقرار پرداختند. آنها با تعیین وزنهای شاخصه‌های هزینه جابجایی، جریان مواد، استفاده مشترک از نیروی انسانی،

¹ -PROMETHEE

ارتباط محیطی و انعطاف‌پذیری و با تشکیل ماتریس تصمیم به دست آمده از قضاوت تصمیم‌گیرنده به انتخاب استقرار مناسب پرداختند (پویا، طبری و سیبویه، 1391، 131-120).

هدف از این مقاله ارائه یک روش تصمیم‌گیری چند شاخصه مبتنی بر محاسبه مساحت چندضلعی‌ها برای رتبه‌بندی مدل‌های مختلف استقرار می‌باشد. برای تحقق این هدف در بخش ابزار و روش به روش‌های چند شاخصه پرکاربرد در مسائل تصمیم‌گیری اشاره و این روش‌ها و روش مساحت چندضلعی‌ها توضیح داده شد؛ سپس یک مثال کاربردی برای رتبه‌بندی گزینه‌های طراحی شده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره بررسی گردید و با استفاده از روش تلفیقی یک رتبه‌بندی نهایی ارائه شد. در بخش یافته‌ها با یافتن میزان همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن بین نتایج حاصل از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه بر روی نتایج حاصل از روش مساحت چندضلعی‌ها بحث و بررسی به عمل آمد.

ابزار و روش

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره¹ در حالت کلی به دو گروه عمده تقسیم‌بندی می‌شوند: تصمیم‌گیری چند هدفه² و تصمیم‌گیری چند شاخصه³. روش‌های تصمیم‌گیری چند هدفه به دلیل استفاده از توابع ریاضی چند هدفه، هر چند توانایی ارائه جواب بهینه را تحت شرایطی دارند و اجرای آنها در ابتدا به نظر ساده می‌رسد؛ ولی در برخی موارد به دلیل داشتن فرمول‌های متفاوت و گاه محاسبات طولانی و پیچیده، یادگیری آنها مشکل و گاه حتی اجرای برخی از آنها را در عمل غیر ممکن می‌سازد (راو⁴، 2007، 23).

مسائل دنیای واقعی لزوماً همیشه یک راه حل قاطع یا منحصر به فرد ندارند؛ به همین دلیل روش‌های مختلفی برای تصمیم‌گیری‌ها ارائه شده است. در عمل سعی محققان، بر آن است که، با استفاده از تکنیک‌های مختلف تصمیم‌گیری چند شاخصه، به نتایج مختلف دست پیدا کنند و با فنون تلفیقی نظیر روش میانگین رتبه‌ها، روش بردا، روش کپ لند و... یک پیشنهاد نهایی جهت رتبه‌بندی ارائه نمایند (آذر و رجب زاده،

¹- Multiple Criteria Decision Making(MCDM)

²- Multiple Objective Decision Making(MODM)

³- Multiple Attribute Decision Making(MADM)

⁴-Rao (2007)

1389، 80). بدیهی است هرچه تعداد روشهای تصمیم‌گیری برای یک مسأله بیشتر باشد می‌توان با استفاده از آنها به یک تصمیم منطقی و قابل اطمینان‌تری از طریق روشهای تلفیقی دست یافت. بنابراین ارائه روشهای جدید ساده، نظام‌مند و منطقی که با بهره‌گیری از ابزار ریاضی به تصمیم‌گیران کمک کنند از اهمیت زیادی دارد و ضرورتی انکار ناپذیر است. بدین منظور، در این مقاله با استفاده از روشهای تصمیم‌گیری چند شاخصه، به رتبه‌بندی استقرارهای پیشنهادی برای یک کارخانه تولید قطعات مدار مجتمع الکترونیکی پرداخته شده و انتخاب مناسب‌ترین استقرار بررسی گشته است. همچنین روش محاسبه مساحت چندضلعی‌ها (هنرمند عظیمی و پورمحمود، 1391)، به عنوان یک روش تصمیم‌گیری چند شاخصه برای تصمیم‌گیری در مورد استقرار، معرفی شده است.

روش محاسبه مساحت چندضلعی‌ها¹

یکی از پرکاربردترین نمودارها در مسائل مدیریت و موقعیتهای عملی نمودار رادار (تار عنکبوتی) است. به هنگام بررسی عملکرد، این نمودار به صورت گرافیکی نقاط قوت و ضعف سازمانها را به خوبی نمایش می‌دهد و به همین جهت کاربرد گسترده‌ای هم دارد. در عمل با نمایش گرافیکی و مشاهده سطح پوشش داده شده توسط هریک از متغیرهای عملکردی در باره آنها تصمیم گرفته می‌شود. در این قسمت با فرض اینکه بتوان هر یک از گزینه‌های ماتریس تصمیم را در روی این نمودار، به صورت یک چند-ضلعی نشان داد؛ یک روش مبتنی بر انتقال مقادیر شاخصهای هرگزینه از ماتریس نرمالیزه وزن دار به روی نمودار رادار و محاسبه مساحت چندضلعی حاصل از شاخصهای این گزینه، به عنوان ملاکی برای رتبه‌بندی یا انتخاب گزینه مطلوب ارائه می‌شود (هنرمند عظیمی و پورمحمود، 1391).

¹ -Polygons Area method(PAM)

فرآیند گام به گام این روش به صورت زیر می‌باشد:

قدم اول: تشکیل ماتریس تصمیم

فرم عمومی ماتریس تصمیم‌گیری چند شاخصه وقتی m گزینه و n مشخصه وجود داشته باشد؛ به صورت ماتریس D نشان داده می‌شود.

(1)

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & \dots & x_{mi} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n}$$

قدم دوم: تشکیل ماتریس بی‌مقیاس

روشهای مختلفی برای بی‌مقیاس‌سازی یا نرمالیزه کردن وجود دارد. روش بی‌مقیاس خطی برای این روش ارائه می‌شود؛ بعد از بی‌مقیاس‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری به صورت ماتریس بی‌مقیاس D' خواهد بود.

(2)

$$D' = [x'_{ij}]_{m \times n}$$

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max(x_{ij})} \quad \text{اگر مشخصه مثبت باشد (سود)}; \quad (3)$$

$$x'_{ij} = \frac{\min(x_{ij})}{x_{ij}} \quad \text{اگر مشخصه منفی باشد (هزینه)}; \quad (4)$$

قدم سوم: وزن دهی به معیارها

معمولاً وزن دهی به معیارها از روی اهمیت نسبی معیارها که بر اساس قضاوت تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شود، به دست می‌آیند. این کار معمولاً با مقایسات زوجی معیارها بر اساس صورت می‌گیرد. چهار تکنیک مهم برای تعیین وزن معیارها مطرح می‌باشند که عبارتند از: روش بردار ویژه، روش وزن دهی حداقل مربعات، روش آنتروپی

شانون و لینامپ¹. در مقالات و تحقیقات محققان روشهای دیگری نیز برای تعیین وزن معیارها مشخص شده است.

قدم چهارم: تشکیل ماتریس تصمیم موزون
با ضرب ماتریس بی‌مقیاس در ماتریس وزن، ماتریس بی‌مقیاس وزن دار به دست می‌آید.

(5)

$$V_{ij} = w_j \times x'_{ij}$$

قدم پنجم: رتبه‌بندی معیارهای گزینه A

اساس روش پیشنهادی تحقیق حاضر، بر چند ضلعی‌هایی استوار است که گوشه‌های آن بر روی محورهای نسبت داده شده به هر مشخصه بر روی نمودار رادار قرار دارد. روش پیشنهادی برای این رتبه‌بندی، از منطقی ساده و هندسی استفاده می‌کند. به عنوان نمونه، برای تصویر هندسی گزینه‌های یک مسأله که دارای سه مشخصه هستند سه محور رسم می‌شود که از هم دارای زاویه 120° هستند؛ این سه مشخصه تشکیل یک مثلث را خواهند داد. در این حالت مساحت مثلث با تغییر محل مشخصه‌ها روی نمودار تغییر نخواهد کرد.

نکته قابل توجه آن است که: برای مسائل دارای 4 مشخصه و بالاتر، بسته به اینکه محورها با چه ترتیبی به مشخصه‌ها اختصاص یابد؛ تنها یک حالت جواب وجود ندارد و با افزایش مشخصه‌ها، جواب‌های بیشتری را می‌توان یافت. به عبارت دیگر با تغییر محل مشخصه‌ها در ماتریس تصمیم و محل قرارگیری آنها روی نمودار رادار، مقادیر متفاوتی برای مساحت چندضلعی حاصل از یک گزینه ماتریس به دست می‌آید و این به معنی عدم پایداری روش خواهد بود. برای اجتناب از این امر، الگوریتم زیر برای جاگیری 4 مشخصه یا بیشتر روی نمودار رادار ارائه می‌شود:

الف) مشخصه‌ها، به ترتیب از بزرگترین تا کوچکترین معیار گزینه A، رتبه‌بندی شود.

ب) مشخصه با رتبه اول، بر روی محور پایه نمودار وارد شود.

¹-LINAMAP

ج) مشخصه‌های با رتبه زوج، هر کدام با طول v_{ij} و زاویه $q = \frac{2p}{n}$ از مشخصه قبلی خود در جهت عقربه‌های ساعت به ترتیب بر روی نمودار قرار گیرد.

د) مشخصه‌های با رتبه فرد نیز به همین ترتیب، درخلاف جهت عقربه‌های ساعت روی نمودار رسم شود.

ه) این کار تا تشکیل یک چندضلعی (n ضلعی) غیر منتظم ادامه یابد.

و) مشخصه‌های گزینه A ، با شروع از محور پایه نمودار، به ترتیب در خلاف جهت عقربه‌های ساعت با v'_{ij} نشان داده شود. مساحت پوشش داده شده توسط این مشخصه‌ها، سطح یک چندضلعی غیر منتظم را تشکیل می‌دهد. برای محاسبه مساحت این چندضلعی، آسان‌ترین راه تجزیه آن به مثلث‌های حاصل از شاخصه‌ها و محاسبه مساحت هر یک و جمع آنها می‌باشد. مساحت یک مثلث (S_{Δ}) با استفاده از مختصات ضلع، زاویه و ضلع آن از فرمول مورری¹ به صورت معادله (6) به دست می‌آید.

(6)

$$S_{\Delta} = \frac{1}{2} V'_{i1} V'_{i2} \sin(q_2 - q_1)$$

$$q_2 - q_1 = \frac{2p}{n}$$

$$S_{\Delta} = \frac{1}{2} V'_{i1} V'_{i2} \sin \frac{2p}{n} \quad (7)$$

اگر مساحت همه مثلث‌های حاصل از مشخصه‌های یک گزینه، با استفاده از این فرمول محاسبه و جمع زده شود؛ مساحت چندضلعی غیر منتظم به صورت زیر خواهد بود:

$$S_{pi} = \frac{1}{2} \sin \frac{2p}{n} (V'_{i1} V'_{i2} + V'_{i2} V'_{i3} + \dots + V'_{i(n-1)} V'_{in} + V'_{in} \times V'_{i1}) \quad (8)$$

¹ - Murray R. S. (1968)

قدم ششم: انتخاب بهترین گزینه یا رتبه‌بندی گزینه‌ها

چون $\frac{1}{2} \text{Sin} \frac{2p}{n}$ در همه جملات مشترک می‌باشد، میتوان از آنها صرف‌نظر کرد. در آن صورت ملاک اولویت‌بندی به صورت رابطه (10) خواهد بود.

$$C_i = s_{pi} / \frac{1}{2} \text{Sin} \frac{2p}{n} \quad (9)$$

$$C_i = \sum_{j=1}^n (V_{ij}' V_{i(j+1)}' + V_{in}' \times V_1') \quad i = 1, \dots, m \quad (10)$$

هم چنان که ذکر شد محققان معمولاً تصمیم‌گیری در مورد یک مسأله را محدود به یک روش نمی‌کنند و از روشهای مختلف به حل مسأله می‌پردازند و سپس با استفاده از روشهای تلفیقی بهترین گزینه را مشخص می‌کنند. به این منظور در این تحقیق برای نشان دادن روایی روش ارائه شده برای رتبه‌بندی، ماتریس تصمیم‌گیری استقرار، با استفاده از روشهای ساو¹، تاپسیس²، دلیو پی ام³، و ویکور⁴ رتبه‌بندی شده است. این روشها به دلیل ساختار منطقی و ریاضی خود کاربردهای گسترده‌ایی در مسائل مربوط به حوزه صنعت داشته و اغلب مورد توجه محققان مباحث مدیریت و صنعت قرار گرفته است (رائو، 2007؛ 2013) سپس با استفاده از روش همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن، همبستگی نتایج حاصل از روش ارائه شده با نتایج رتبه‌بندی حاصل از روشهای تصمیم‌گیری چند شاخصه پرکاربرد و روشهای تلفیقی به دست آمده است (آذر و رجب زاده، 1389؛ رائو، 2013، 247).

روش ساو⁵

مدل مجموع ساده وزنی، یکی از ساده‌ترین روشهای تصمیم‌گیری چند شاخصه می‌باشد. با محاسبه اوزان شاخص‌ها، می‌توان به راحتی از این روش استفاده کرد.

¹ -SAW

² -TOPSIS

³ -WPM

⁴ -VIKOR

⁵ -Simple Additive Weighting Method(SAW)

برای استفاده از این روش، مراحل زیر ضرورت دارد (مومنی، 1389، 21):

- کمی کردن ماتریس تصمیم‌گیری؛
- بی‌مقیاس‌سازی خطی مقادیر ماتریس تصمیم‌گیری؛
- ضرب ماتریس بی‌مقیاس شده در اوزان شاخص‌ها؛
- انتخاب بهترین گزینه با استفاده از معادله شماره (11).

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j x'_{ij} \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, m \quad (11)$$

در این معادله m تعداد گزینه‌ها، n تعداد شاخص‌های تصمیم، x'_{ij} مقدار نرمالیزه x_{ij} ، مقدار حقیقی گزینه i ام برای شاخص j ام، w_j وزن شاخص j ام می‌باشد. بهترین گزینه، گزینه‌ای است که بیشترین مقدار S_i را داشته باشد.

روش دلیو پی ام¹

مراحل این روش، مشابه روش مجموع ساده وزنی می‌باشد. برای یافتن بهترین گزینه از معادله شماره (12) استفاده می‌شود (رائو، 2007، 29).

$$p_i = \prod_{j=1}^n [x'_{ij}]^{w_j} \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, m \quad (12)$$

باز در اینجا بهترین گزینه، گزینه‌ای است که بیشترین مقدار P_i را داشته باشد.

روش تاپسیس²

روش تاپسیس در سال 1981 توسط هوانگ و یون³ ارائه گردید. این مدل یکی از بهترین و پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است. این روش بر این

¹ - Weighted Product Method (WPM)

² - Technique For Order Preference by Similarity (TOPSIS)

³ - Hwang & Yoon (1981)

مفهوم استوار است که گزینه انتخابی باید کمترین فاصله را با راه حل ایده آل مثبت (بهترین حالت ممکن) و بیشترین فاصله را با راه حل ایده آل منفی (بدترین حالت ممکن) داشته باشد. در این روش m گزینه به وسیله n شاخص مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. فرض بر این است که مطلوبیت هر شاخص به طور یکنواخت افزایشی یا کاهششی است (مومنی، 1389، 25). در این تحقیق با استفاده از نرم افزار تاپسیس 2005 گزینه های استقرار رتبه بندی شده‌اند.

روش ویکور¹

این روش یک ابزار مؤثر در تصمیم‌گیری چند معیاره است. این روش در شرایطی به کار می‌رود که تصمیم‌گیر قادر نیست ترجیحاتش را در شروع طراحی سیستم بیان کند. در این روش تصمیم‌گیرنده نیازمند راه حلی می‌باشد که به راه حل ایده‌آل نزدیکتر باشد (آذر و رجب زاده، 1389، 80).

ویکور مخفف نام صربستانی روش می‌باشد و به معنی بهینه سازی چندمعیاره و راه حل سازشی است. این روش به وسیله یو² و زلی³ ارائه شده است. آپریکویچ و زنگ⁴ این روش را به عنوان یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره توسعه داده‌اند. این روش روی دسته‌بندی و انتخاب از یک مجموعه گزینه‌ها تمرکز داشته و جوابهای سازشی را برای یک مسأله با شاخص‌های متضاد تعیین می‌کند؛ جواب سازشی نزدیکترین جواب به جواب ایده‌آل می‌باشد (آذر و رجب زاده، 1389، 80).

روشهای تلفیقی

همچنانکه ذکر شد در دنیای واقعی، تصمیم‌گیرندگان جهت تصمیم‌گیری، خود را محدود به یک روش نمی‌کنند و امکان دارد با استفاده از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری به نتایج مختلف دست پیدا کنند در این شرایط فنونی برای تلفیق رتبه تکنیک پیشنهاد شده است (آذر و رجب زاده، 1389، 80).

(الف) روش میانگین رتبه‌ها

¹ -Vlse Kriterijumska Optimizacija Kompromisno Resenje(VIKOR)

² -Yu (1973)

³ -Zeleny(2002)

⁴ -Opricovic and Tzeng(2007)

در این روش میانگین رتبه‌های حاصل از تکنیکها مبنای پیشنهاد نهایی قرار می‌گیرد.
(ب) روش بردا¹

برای اجرای این تکنیک یک ماتریس غیر قطری $m \times m$ شکل می‌گیرد. اگر تعداد بردها در تکنیک بیشتر باشد با M کدگذاری می‌شود و در آن سطر به ستون ارجحیت دارد و اگر ستون به سطر ارجحیت داشت یا آرای تعداد بردها مساوی بود با X کدگذاری می‌شود. در نهایت مجموع بردها در هر سطر M ها مبنای رتبه‌بندی قرار می‌گیرد. هرچه تعداد بردها بیشتر باشد رتبه بالاتر خواهد بود.

(ج) روش کپلند²

روش کپلند نه تنها تعداد بردها، بلکه تعداد باخت‌ها را نیز برای هر گزینه محاسبه می‌کند. مشخص است که M در سطر i یعنی برد و در ستون j یعنی باخت است. در این روش مبنای رتبه‌بندی تفاضل تعداد M ها در سطر i و تعداد M ها در ستون j ($i=j$) می‌باشد. یعنی تفاضل بردها به باخت‌ها مبنای رتبه‌بندی قرار خواهد گرفت.

(د) روش پوست³

در این روش باتوجه به سه استراتژی رتبه‌بندی، از طریق تشکیل یک مجموعه رتبه‌بندی جزئی یا اجتماعی دست یافته می‌شود. رتبه‌بندی به دست آمده با روشهای قبلی، نشان می‌دهد که تمایز برخی گزینه‌ها از یکدیگر به گونه‌ای است که نمی‌توان آنها را در مجموعه‌های جداگانه قرار داد. درحالی که برخی از گزینه‌ها به صورت واحد در یک مجموعه منحصر به فرد قرار می‌گیرند. این تکنیک یک روش خوشه‌بندی است که مجموعه منظم جزئی گزینه‌ها را نشان می‌دهد.

یافته‌ها

مسأله طراحی استقرار ارائه شده توسط یانگ و هونگ⁴ و یانگ و کو⁵ برای بررسی و رتبه‌بندی با روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه، در این مقاله، انتخاب شده است. این

¹ -Borda Method

² -Copeland Method

³ -Partially ordered set(POSET)

⁴ -Yang and Hung(2007)

⁵ -Yang and Kuo(2003)

مسئله در مورد یک کارگاه بسته بندی مدار مجتمع¹ که معمولاً از استراتژی استقرار فرآیندی استفاده می‌نماید ده دپارتمان (ایستگاه کاری) در نظر گرفته شده که نام و مساحت آنها به شرح جدول 1 می‌باشد.

شاخصه‌ها یا معیارهای کمی شامل: مسافت جابجایی مواد (بر حسب متر)، امتیاز مجاورت یا نزدیکی و نسبت شکل بودند که از جمله خروجی‌های مستقیم نرم افزار اسپیرال می‌باشند. مسافت جابجایی با استفاده از مجموع جریان حجمی جابجایی محصولات و فاصله مستقیم بین مرکزهای دو دپارتمان به دست آمده است که با نماد - C_1 در ماتریس تصمیم در نظر گرفته شده است. امتیاز مجاورت عبارت از مجموع تمامی ارتباطات مستقیم میان دو دپارتمان مجاور می‌باشد. ارتباط مستقیم بین دو دپارتمان متوالی در طول مسیر فرآیند وجود دارد که با نماد C_2 در ماتریس تصمیم در نظر گرفته شده است. نسبت شکل به عنوان بیشینه نسبت‌های عمق به عرض و عرض به عمق کوچکترین مستطیلی که به طور کامل در درون هر دپارتمان یا بخش جای بگیرد، تعریف می‌شود که با نماد C_3 در ماتریس تصمیم در نظر گرفته شده است. هدف بررسی مسأله طراحی استقرار، کمینه سازی نسبت شکل (C_3) و جریان مواد (C_1) و بیشینه-سازی امتیاز مجاورت (C_2) می‌باشد.

جدول 1: مشخصات ایستگاه‌های کاری

شماره ایستگاه	نام ایستگاه کاری	مساحت (متر مربع)
1	برش ویفر	89/21
2	اتصال قالب	181/51
3	اتصال سیم	577/38
4	قالب بندی	599/57
5	حذف زائده‌ها و عمل آوری	183/71
6	الکتروپلیتینگ یا آبکاری	500/13
7	نشان گذاری	199/94
8	شکل دهی	186/40
9	اسکن و بازرسی	110/78
10	بسته بندی	51/09

¹ -Integrated Circuit(IC)

سه ویژگی کیفی نیز در این مطالعه موردی تعریف شدند که عبارتند از: انعطاف-پذیری، قابلیت دسترسی و قابلیت تعمیر و نگهداری. انعطاف‌پذیری مشتمل بر دو جنبه است که عبارتند از: قابلیت انجام وظایف متنوع تحت شرایط کاری مختلف؛ دارا بودن قابلیت انعطاف برای توسعه‌های بعدی که با نماد C_4 در ماتریس تصمیم در نظر گرفته شده است. دسترسی‌پذیری یا قابلیت دسترسی شامل جریان مواد و مسیرهای عبور و مرور اپراتورها می‌باشد که با نماد C_5 در ماتریس تصمیم در نظر گرفته شده است. قابلیت تعمیر و نگهداری نیز شامل وجود فضای مورد نیاز برای مهندسين تعمیر و نگهداری و انتقال ابزار لازم می‌باشد که با نماد C_6 در ماتریس تصمیم در نظر گرفته شده است.

یانگ و کو¹ (2003) مجموعه‌ای از گزینه‌های طراحی چیدمان مناسب را با استفاده از یک نرم افزار تجاری با نام اسپیرال² و بر مبنای معیار جریان مسافت طی شده توسط کالا ایجاد نمودند. ماتریس تصمیم ارائه شده توسط آنها در جدول شماره 2 خلاصه شده است.

داده‌های ستونهای اول، دوم و سوم ماتریس مستقیماً از خروجی نرم افزار اسپیرال به دست آمده‌اند و داده‌های ستونهای چهارم، پنجم و ششم که مربوط به شاخصه‌های کیفی هستند با استفاده از روش ای‌اچ‌پی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

¹ - Yang & Kuo(2003)

² -Spiral

جدول 2: ماتریس تصمیم‌گیری (D)

Li	C1	C2	C3	C4	C5	C6
L1	185/59	8	8/28	0/0199	0/026	0/069
L2	207/37	9	3/75	0/05959	0/026	0/0575
L3	206/38	8	7/85	0/0714	0/0519	0/0345
L4	189/66	8	8/28	0/0714	0/0779	0/046
L5	211/46	8	7/71	0/0714	0/039	0/046
L6	264/07	5	2/07	0/0357	0/0519	0/069
L7	228	8	14	0/0476	0/039	0/023
L8	185/59	9	6/25	0/0476	0/013	0/0575
L9	185/85	9	7/85	0/0357	0/026	0/0575
L10	236/15	8	7/85	0/0595	0/0779	0/069
L11	183/18	8	2	0/0952	0/1169	0/092
L12	204/18	8	13/3	0/0357	0/039	0/0575
L13	225/26	8	8/14	0/0714	0/039	0/0345
L14	202/82	8	8	0/0357	0/0779	0/0575
L15	170/14	9	8/28	0/0952	0/1169	0/092
L16	216/38	9	7/71	0/0476	0/0519	0/069
L17	179/8	8	10/3	0/0476	0/0779	0/0345
L18	185/75	10	10/16	0/0595	0/0519	0/0345

ابتدا گزینه‌های این ماتریس با استفاده از روش مساحت چندضلعی‌ها رتبه‌بندی می‌شود؛ سپس همبستگی رتبه‌ای بین رتبه‌های حاصل از این روش با رتبه‌های حاصل از روشهای پرکاربرد تصمیم‌گیری چند شاخصه، به دست می‌آید تا روایی روش مساحت چندضلعی‌ها برای انتخاب استقرار مناسب مورد بررسی قرار گیرد.

حل مسأله استقرار به روش مساحت چندضلعی‌ها

با در نظر گرفتن ماتریس تصمیم ارائه شده در جدول 2 و با استفاده از روابط (3) و (4) ماتریس تصمیم‌گیری بی مقیاس به صورت جدول 3 خواهد بود.

یانگ و هونگ در مقاله خود با استفاده از یک روش تقریبی وزنهای شاخصه‌ها را به صورت زیر محاسبه کرده‌اند. برای اینکه بتوان نتایج این روش را با نتایج به دست آمده در مقاله آنها و سایر مقالات مقایسه نمود در این مقاله نیز وزنهای همانند وزنهای ارائه شده در آن مقاله در نظر گرفته می‌شود.

$$WC1=0/2; WC2=0/2; WC3=0/15; WC4=0/1; WC5=0/2 \text{ و } WC6=0/15$$

با ضرب ماتریس بی‌مقیاس در بردار W ، ماتریس بی‌مقیاس وزن دار (V) به صورت جدول شماره 4 به دست می‌آید.

جدول 3: ماتریس تصمیم‌بی‌مقیاس (D') و ماتریس بی‌مقیاس وزن دار (V)

L_i	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
L_1	0/9150	0/8	0/2415	0/1250	0/2224	0/75
L_2	0/8205	0/9	0/5333	0/5872	0/2224	0/6250
L_3	0/8244	0/8	0/2548	0/75	0/444	0/3750
L_4	0/8971	0/8	0/2415	0/75	0/6664	0/5
L_5	0/8046	0/8	0/2594	0/75	0/3336	0/5
L_6	0/6443	0/5	0/9662	0/3750	0/444	0/75
L_7	0/7462	0/8	0/1429	0/5	0/3336	0/25
L_8	0/9168	0/9	0/32	0/5	0/1112	0/6250
L_9	0/9155	0/9	0/2548	0/3750	0/2224	0/6250
L_{10}	0/7205	0/8	0/2548	0/6250	0/6664	0/75
L_{11}	0/9288	0/8	1	1	1	1
L_{12}	0/8333	0/8	0/1504	0/3750	0/3336	0/6250
L_{13}	0/7553	0/8	0/2457	0/75	0/3336	0/3750
L_{14}	0/8389	0/8	0/25	0/3750	0/6664	0/6250
L_{15}	1	0/9	0/2415	1	1	1
L_{16}	0/7863	0/9	0/2594	0/5	0/444	0/75
L_{17}	0/9463	0/8	0/1942	0/5	0/6664	0/3750
L_{18}	0/9160	1	0/1969	0/6250	0/444	0/3750

جدول 4: ماتریس تصمیم‌بی‌مقیاس (D') و ماتریس بی‌مقیاس وزن دار (V)

Li	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
L ₁	0/1830	0/16	0/0362	0/0125	0/0445	0/1125
L ₂	0/1641	0/18	0/08	0/0587	0/0445	0/0938
L ₃	0/1649	0/16	0/0382	0/075	0/0888	0/0563
L ₄	0/1794	0/16	0/0362	0/075	0/1333	0/075
L ₅	0/1609	0/16	0/0389	0/075	0/0667	0/075
L ₆	0/1289	0/1	0/1449	0/0375	0/0888	0/1125
L ₇	0/1492	0/16	0/0214	0/05	0/0667	0/0375
L ₈	0/1834	0/18	0/048	0/05	0/0222	0/0938
L ₉	0/1831	0/18	0/0382	0/0375	0/0445	0/0938
L ₁₀	0/1441	0/16	0/0382	0/0625	0/1333	0/1125
L ₁₁	0/1858	0/16	0/15	0/1	0/2	0/15
L ₁₂	0/1667	0/16	0/0226	0/0375	0/0667	0/0938
L ₁₃	0/1511	0/16	0/0369	0/075	0/0667	0/0563
L ₁₄	0/1678	0/16	0/0375	0/0375	0/1333	0/0938
L ₁₅	0/2	0/18	0/0362	0/1	0/2	0/15
L ₁₆	0/1573	0/18	0/0389	0/05	0/0888	0/1125
L ₁₇	0/1893	0/16	0/0291	0/05	0/1333	0/0563
L ₁₈	0/1832	0/2	0/0295	0/0625	0/0888	0/0563

مقدار V'_{ij} با استفاده از الگوریتم ارائه شده در گام پنجم روش محاسبه می‌شود. به عنوان مثال C_1 برای استقرار L_1 به صورت زیر محاسبه شده است. شکل شماره 1 مساحت چندضلعی روی نمودار رادار برای استقرار L_1 را نشان می‌دهد.

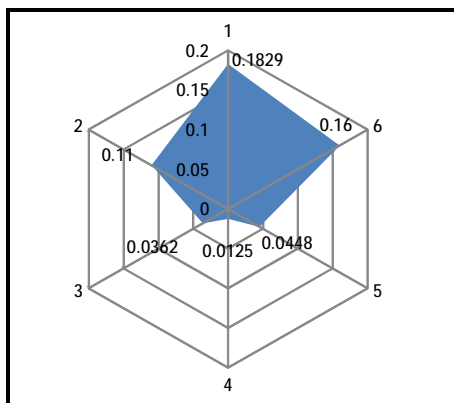
$$V'_{11}=0/1829; V'_{12}=0/11; V'_{13}=0/0362; V'_{14}=0/0125; V'_{15}=0/0445;$$

$$V'_{16}=0/16$$

$$C1 = V'_{11} \times V'_{12} + V'_{12} \times V'_{13} + V'_{13} \times V'_{14} + V'_{14} \times V'_{15} + V'_{15} \times V'_{16} + V'_{16} \times V'_{11}$$

$$C1 = 0/1829 \times 0/11 + 0/11 \times 0/0362 + 0/0362 \times 0/0125 + 0/0125 \times 0/0445 + 0/0445 \times 0/16 + 0/16 \times 0/1829$$

$$C1 = 0/0615$$



شکل 1: مساحت چندضلعی روی نمودار رادار برای استقرار L_1

بعد از محاسبه کلیه C_i ها، گزینه های استقرار ماتریس تصمیم به صورت نزولی بر حسب مقادیر C_i مرتب می‌شوند. نتایج در جدول شماره 5 ارائه شده است.

- حل مسأله استقرار با روش های پرکاربرد تصمیم گیری چند شاخصه این مسأله با روش های پرکاربرد تصمیم گیری چند شاخص و با استفاده از روابط ذکر شده نیز رتبه‌بندی شد. نتایج در جدول شماره 5 ارائه شده است. در حل مسأله استقرار به روش ویکور مقادیر S_i ، R_i و Q_i با در نظر گرفتن $v=0/5$ بدست می‌آیند؛ گزینه‌ها بر اساس مقادیر S_i ، R_i و Q_i به ترتیب نزولی مرتب می‌شوند. گزینه‌ایی که کمترین مقدار Q_i را داشته باشد؛ بهترین بوده و در رتبه اول قرار خواهد داشت.

شرط اول: امتیاز قابل قبول بودن:

$$Q(a_2) - Q(a_1) \geq DQ$$

$$Q(a_2) = 0/009$$

$$Q(a_1) = 0/0062 \quad DQ = 1/(j-1) \quad j=18 \quad DQ = 0/059$$

$$0/009 - 0/0062 = 0/0028 \leq 0/059$$

با توجه به مقدار حاصل شرط اول برقرار نمی‌باشد؛ لذا برای بررسی انتخاب بهترین گزینه از رابطه مقابل استفاده می‌شود.

$$Q(am)-Q(a1) < DQ \quad Q(a2)-Q(a1) < 0/059$$

تنها گزینه‌ایی که در رابطه صدق می‌کند مربوط به L_{11} است پس گزینه L_{15} به عنوان گزینه اول و L_{11} به عنوان گزینه دوم در رتبه‌بندی انتخاب می‌شود. نتایج حاصل از رتبه‌بندی گزینه‌های استقرار با استفاده از این روش در جدول شماره 5 ارائه شده است.

جدول 5: نتایج رتبه‌بندی گزینه‌های استقرار با روش‌های مختلف

Li	PAM		SAW		WPM		TOPSIS		VIKOR			
	(C)	رتبه	مقدار (SI)	رتبه	مقدار (PI)	رتبه	مقدار (C)	رتبه	مقدار (SI)	مقدار (RI)	مقدار (QI)	رتبه
L1	0/0615	14	0/5487	15	0/0749	17	0/3544	16	0/5171	0/1749	0/7368	15
L2	0/0711	9	/6274	7	0/0959	8	0/4385	9	0/4383	0/1749	0/6713	11
L3	0/0629	13	0/5831	11	0/0915	11	0/4322	10	0/5089	0/1251	0/5248	8
L4	0/0804	3	0/6589	3	0/1045	4	0/5643	4	0/4037	0/1	0/3341	4
L5	0/0603	15	0/5765	14	0/09	12	0/4004	12	0/5178	0/1449	0/6344	10
L6	0/0649	11	0/6125	10	0/1002	5	0/4938	6	0/6474	0/2	0/9479	18
L7	0/04638	18	0/4848	18	0/0702	18	0/2517	18	0/7103	0/15	0/7943	17
L8	0/0656	10	0/5773	12	0/0778	16	0/3711	13	0/4582	0/2	0/7908	16
L9	0/0645	12	0/5770	13	0/0839	14	0/3669	15	0/4679	0/1749	0/6960	14
L10	0/0756	4	0/6505	4	0/1052	3	0/5878	3	0/4616	0/1055	0/5490	9
L11	0/1509	1	0/9457	1	0/1613	1	0/9033	1	0/1077	0/08	0/0062	2
L12	0/0589	16	0/5471	16	0/0806	15	0/3107	17	0/5901	0/1499	0/6943	13
L13	0/0551	17	0/5458	17	0/0844	13	0/3704	14	0/5776	0/1499	0/6840	12
L14	0/0741	7	0/6298	5	0/1	6	0/5511	5	0/4461	0/08	0/2869	3
L15	0/1330	2	0/8662	2	0/1354	2	0/7920	2	0/1185	0/0785	0/009	1
L16	0/0736	8	0/6274	6	0/0991	7	0/4815	8	0/4421	0/1251	0/4694	6
L17	0/0744	5	0/6179	9	0/0941	9	0/4924	7	0/4615	0/125	0/1251	7
L18	0/0743	6	0/6202	8	0/0923	10	0/4227	11	0/4282	0/1251	0/4578	5

در نهایت با استفاده از روش‌های تلفیقی میانگین رتبه‌ها، بردا، کپ‌لند و پو‌ست تلفیق رتبه‌های حاصل از پنج روش ارائه شده، مبنای رتبه‌بندی نهایی قرار می‌گیرد. تلفیق رتبه‌های حاصل از این روشها بدست آمده و در جدول شماره 6 ارائه شده است.

جدول 6: نتایج حاصل از رتبه‌بندی با روشهای تلفیقی

Li	PAM	SAW	WPM	TOPSIS	VIKOR	AVERAGE	BORDA	COPELAND	POSET
L1	14	15	17	16	15	16	16	16	16
L2	9	7	8	9	11	9	8	8	8
L3	13	11	11	10	8	11	11	11	11
L4	3	3	4	4	4	3	3	3	3
L5	15	14	12	12	10	12	12	12	12
L6	11	10	5	6	18	10	10	10	10
L7	18	18	18	18	17	18	18	18	18
L8	10	12	16	13	16	13	13	13	13
L9	12	13	14	15	14	14	15	15	15
L10	4	4	3	3	9	4	4	4	4
L11	1	1	1	1	2	1	1	1	1
L12	16	16	15	17	13	17	17	17	17
L13	17	17	13	14	12	15	14	14	14
L14	7	5	6	5	3	5	5	5	5
L15	2	2	2	2	1	2	2	2	2
L16	8	6	7	8	6	6	6	6	6
L17	5	9	9	7	7	7	7	7	7
L18	6	8	10	11	5	8	9	9	9

بحث و نتیجه‌گیری

برای اطمینان از روایی رتبه‌بندی یک روش تصمیم‌گیری چند شاخصه، می‌توان همبستگی رتبه‌ای بین رتبه‌های حاصل از آن روش با روش‌های مختلف و پرکاربرد را پیدا کرد (رائو، 2013، 246)؛ در صورتی که تعداد داده‌ها کم و فرض نرمال بودن آن‌ها معقول نباشد از ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن¹ (r_s) برای یافتن میزان همبستگی بین رتبه‌ها استفاده می‌شود. این همبستگی با استفاده از رابطه (13) حساب می‌شود (مومنی و قیومی، 1391، 98).

¹ -Spearman Correlation Coefficient

$$r_s = 1 - \frac{6(\sum d_i^2)}{n(n^2 - 1)} \quad (13)$$

در این رابطه n تعداد داده‌ها و $(\sum d_i^2)$ مجموع توان دوم تفاوت رتبه‌های دو متغیر است. با استفاده از نرم‌افزار اس پی اس¹ همبستگی رتبه‌ای بین رتبه‌های حاصل از روش‌های مختلف به صورت جدول شماره 7 می‌باشد.

نتایج حاصل، همبستگی رتبه‌ای بالایی بین روش‌های پرکاربرد تصمیم‌گیری چند شاخصه با روش مساحت چندضلعی‌ها را نشان می‌دهد. کمترین مقدار همبستگی رتبه‌ای بین این روش با روش ویکور است و با توجه به داده‌های جدول 7، همبستگی روش ویکور با سایر روش‌های پر کاربرد تصمیم‌گیری نیز تقریباً به همان میزان می‌باشد. محققان دیگری نیز، این مسأله استقرار را مورد بررسی قرار داده و رتبه‌بندی کرده‌اند. یانگ و کیو² با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها این مسأله را رتبه‌بندی کرده‌اند که در جدول 8 نتایج رتبه‌بندی آن ارائه شده است. در این رتبه‌بندی L_{11} - L_{15} - L_{18} هر سه در رتبه اول و L_7 نیز در رتبه آخر قرار می‌گیرند. این نتایج مشابه نتایج به دست آمده از روش ارائه شده که L_{11} را بهترین گزینه و L_7 را در رتبه هجدهم تعیین کرده بود، می‌باشد. همبستگی رتبه‌ای این روش با روش تلفیقی، در جدول شماره 9، ارائه شده است.

جدول 7: همبستگی رتبه‌ای نتایج حاصل از رتبه‌بندی با روش‌های چندشاخصه

	PAM	SAW	WPM	TOP	VIK	AVE	BOR	COP	POSET
PAM	-	0/955**	0/843**	0/886**	0/761**	0/946**	0/930**	0/930**	0/930**
SAW		-	0/922**	0/938**	0/792**	0/979**	0/973**	0/973**	0/973**
WPM			-	0/973**	0/713**	0/942**	0/948**	0/948**	0/948**
TOP				-	0/721**	0/965**	0/971**	0/971**	0/971**
VIK					-	0/837**	0/829**	0/829**	0/829**
AVE						-	0/996**	0/996**	0/996**
BOR							-	1**	1**
COP								-	1**
POSET									-
sig.(2- tailed)									0,0

* Sig(2-tailed)=0.00

** Correlation is significant at the 0.01 level (2 tailed)

TOP=TOPSIS; VIK=VIKOR; AVE=AVERAGE; BOR=BORDA; COP=COPELAND

¹- SPSS

²-Yang & Kuo (2003)

در تحقیق یانگ و هوانگ، این مسأله با روش تاپسیس فازی رتبه‌بندی شده که در جدول 8 نتایج رتبه‌بندی ارائه شده است. همچنانکه مشاهده می‌شود باز در این روش نیز L_{11} و L_{15} در رتبه اول و دوم، L_{13} در رتبه هجدهم قرار دارد که در روش مساحت چندضلعی‌ها در رتبه هفدهم قرار داشت و L_7 نیز در رتبه هفدهم قرار گرفته که در روش مساحت چندضلعی‌ها در رتبه هجدهم بود؛ همبستگی رتبه‌ای این روش با روش مساحت چندضلعی‌ها و با رتبه‌بندی تلفیقی، در جدول 9، ارائه شده است.

با توجه به داده‌های ماتریس تصمیم و داده‌های گزینه‌های L_{11} و L_{15} مشاهده می‌شود که از نظر شاخصه‌های C_4, C_5, C_6 گزینه‌ها در وضعیت مشابه و یکسانی قرار دارند ولی از نظر شاخصه‌های C_1, C_2 در وضعیت تقریباً یکسانی هستند و تفاوت آنچنانی و تاثیرگذار بین دو گزینه وجود ندارد ولی از نظر شاخصه C_3 گزینه L_{11} بهتر از گزینه L_{15} است (گزینه با مقدار کمتر مطلوبتر است)؛ پس انتخاب L_{11} به عنوان گزینه برتر معقول‌تر است و در روش مساحت چندضلعی‌ها نیز این گزینه ترجیح داده شده است. کیو و همکاران¹ با روش جی آر ای² این مسأله را رتبه‌بندی کرده‌اند که در جدول 8، نتایج رتبه‌بندی ارائه شده است. همبستگی رتبه‌ای این روش مساحت چندضلعی‌ها و با رتبه‌بندی تلفیقی، در جدول 9، ارائه شده است. این مقایسه‌ها نشان می‌دهد که می‌توان به نتایج رتبه‌بندی حاصل از روش مساحت چندضلعی‌ها اطمینان کرده و آن را در یافتن استقرار بهینه و یا رتبه‌بندی استقرارها به کار برد. نتایج حاصل شده در این تحقیق و نتایج تحقیقات ارائه شده توسط هنرمندعظیمی و همکاران (2014) و تقی‌زاده و همکاران (2014) روایی بکارگیری روش مساحت چندضلعی‌ها برای مسائل تصمیم‌گیری چند شاخصه را تأیید می‌کند و می‌توان با اطمینان این روش را برای سایر مسائل تصمیم‌گیری چند شاخصه در محیط‌های صنعتی نیز به کار گرفت.

¹ -Kuo et al. (2008)

² -GRA

جدول 8: مقایسه نتایج روش PAM با نتایج روشهای GRA, DEA, FUZZY TOPSIS

Li	PAM	GRA	DEA	FUZZY TOPSIS	POSET
L ₁	14	10	10	13	16
L ₂	9	8	4	9	8
L ₃	13	15	15	14	11
L ₄	3	11	11	4	3
L ₅	15	13	14	12	12
L ₆	11	16	6	16	10
L ₇	18	17	18	17	18
L ₈	10	7	7	6	13
L ₉	12	5	8	11	15
L ₁₀	4	9	12	7	4
L ₁₁	1	3	1	1	1
L ₁₂	16	18	17	15	17
L ₁₃	17	14	16	18	14
L ₁₄	7	12	13	8	5
L ₁₅	2	1	1	2	2
L ₁₆	8	6	5	10	6
L ₁₇	5	2	9	5	7
L ₁₈	6	4	1	3	9

جدول 9: همبستگی رتبه‌ابی روش PAM با نتایج روشهای GRA, DEA, FUZZY TOPSIS

روش	GRA	DEA	FTOPSIS
PAM	0/734	0/686	0/917
sig. (2 tailed)	0/001	0/002	0/0
level (2 tailed)	0/01	0/01	0/01
POSET	0/567	0/562	0/777
sig. (2 tailed)	0/014	0/015	0/0
level (2 tailed)	0/05	0/05	0/012

برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود که:

- با توجه به جدید بودن روش محاسبه مساحت چندضلعی‌ها و نتایج خوبی که از رتبه‌بندی گزینه‌های استقرار با این روش حاصل شد؛ محققان از این روش برای سایر مسائل رتبه‌بندی در محیط‌های صنعتی، علمی و پژوهشی استفاده کرده و نتایج حاصل را با روشهای دیگر مقایسه نمایند.
- تکمیل روش و ارائه آن به صورت یک روش فازی می‌تواند بر دقت تحقیقاتی که با واژه‌های زبانی به ارزیابی می‌پردازند، بیفزاید و موجب ارتقای سطح تحقیق فعلی گردد.

منابع:

- آذر، عادل، علی، رجب زاده (1381)، تصمیم‌گیری کاربردی، نگاه دانش، تهران.
- پویا، علیرضا، سید جواد، علوی طبری، علی، سیبویه (1391)، انتخاب طرح چیدمان با استفاده از رویکرد ترکیبی PSI-PROMETHEE، سومین کنفرانس تخصصی مدیریت تولید و عملیات، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، 132-120.
- تام کینز، جیمز؛ وایت، جان ای؛ بوزر، یووز ای؛ فریزل، ادوارد اچ؛ تانچوکو، جی ام ای و ترونیو، جیمی، طرح ریزی واحدهای صنعتی، زنجیری فراهانی، رضا، نشرترمه، تهران، (1385)، چاپ سوم.
- حسینی نسب، حسن، محسن، شاه محمدی، علی اکبر، قاسمی گجوان (1390)، ارائه یک الگوریتم هوشمند ترکیبی جهت حل مسئله چیدمان پویای تسهیلات با اطلاعات جریان فازی، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، 4، جلد 22، زمستان، 317-304.
- سیدحسینی، سیدمحمد و محمدسعید، صفاکیش (1386)، مبانی جامع و پیشرفته مدیریت تولید و عملیات در سازمانهای تولیدی و خدماتی، نشر سازمان مدیریت صنعتی، تهران، جلد سوم.
- طلوعی اشلقی، عباس، محدثه، مجریان (1389)، ارائه روش چیدمان بهینه ماشین آلات با استفاده از مدل سازی ریاضی، پژوهش‌های مدیریت، واحد علوم و تحقیقات، 77، زمستان، 81-94.
- متقی، هایده (1386)، مدیریت تولید و عملیات، آوای پاتریس، تهران، چاپ چهارم.
- مومنی، منصور (1389)، مباحث نوین تحقیق در عملیات، نشر مولف، چاپ پنجم.
- مومنی، منصور (1390)، مدلها و نرم افزارهای تصمیم‌گیری چند شاخصه، نشر مولفین، چاپ اول.
- مومنی، منصور، علی قیومی (1391)، تحلیل‌های آماری با استفاده از SPSS، نشر گنج شایگان چاپ هفتم.
- نویدی، حمیدرضا و معصومه، مسی بید گلی (1389)، مدل سازی مسأله چیدمان تسهیلات در شرایط تعاملی با استفاده از نظریه بازی‌ها، فصلنامه مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان، 13، پائیز، 13-2.
- هادی وینچه، عبدالله، امیرمحمد، قاسمی (1388)، یک مدل بهینه سازی وزن غیر خطی جهت رتبه بندی مدل‌های مختلف چیدمان در مسأله طراحی چیدمان تسهیلات، مجله ریاضیات کاربردی واحد لاهیجان، سال ششم، 23، 60-51.
- هنرمند عظیمی، مرتضی، جعفر، پورحمود (1391)، روش جدید در تصمیم‌گیری چند معیاره، پنجمین کنفرانس بین المللی تحقیق در عملیات، تبریز، ایران، 67-65.

-
-
- - 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, 5-6, 447-455.
 - Azimi, M., Taghizadeh, H., Farahmand, N. & Pourmahmoud, J. (2014), Selection of industrial robots using the Polygons area method. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 5, 4, 631-646.
 - Cambron, Kenneth E, Evans & Gerald W (1991), Layout design using the analytic hierarchy process, *Computers and Industrial Engineering*, 20, 2, 211-229.
 - Ertay, Tijen, Ruan, Da, Tuzkaya & Umut Rifat (2006), Integrated data envelopment analysis and analytic hierarchy for the facility layout design in manufacturing systems, *Information science*, 176, 3, 237-262.
 - Karray, F., Zaneldin, E., Hegazy, T., Shabeeb, AHM & Elbeltagi, E. (2000), Tools of soft computing as applied to the problem of facilities layout planning, *IEEE Trans Fuzzy System* 8, 367-379.
 - Kuo, Yiyo, Yang, Taho, Huang & Guan-wei (2008), The use of grey relational analysis in solving multiple attribute decision-making problems, *Computer & Industrial Engineering*, 55,1,80-93.
 - Maniya, K.D & Bhatt, M.G(2011), An alternative multiple attribute decision making methodology for solving optimal facility layout design selection problems, *Computer & Industrial Engineering*, 61, 3, 542-549.
 - Opricovic, S., & Tzeng, G.H. (2007), Extended VIKOR Method in Comparison with Outranking Methods. *European Journal of Operational Research*, 178, 514-529.

-
- Partovi, Fariborz Y & Burton, Jonathan (1992), An analytical hierarchy approach to facility layout, *Computers & Industrial Engineering*, 22, 4, 447-457.
 - Rao, R.V. (2007), *Decision making in the manufacturing environment using graph theory and fuzzy multiple attribute decision making methods*, London: Springer-Verlag.
 - Rao, R.V. & Singh, D.(2010), An improved gray relational analysis as a decision making method for manufacturing situations, *International Journal of Decision Science, Risk Management*, 2, 1-23
 - Rao R.V. (2013), *Decision making in the manufacturing environment using graph theory and fuzzy multiple attribute decision making methods*, 2, London: Springer-Verlag.
 - Raoot AD., Rakshit A. (1991), A fuzzy approach to facilities layout planning, *International Journal of Production Research*, 29, 835–857.
 - Taghizadeh, H.; Fegh-hi Farahmand, N.; Pourmahmoud, J. & Honarmande Azimi, M.(2014), Selection of Environmentally Conscious Manufacturing Programs using the MADM Methods, *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, 4, 8, 135-145.
 - Yang, T & Kuo, C (2003), A hierarchical AHP/DEA methodology for the facilities layout design problem, *European Journal of Operation Research*, 147, 128–136.
 - Yang, Taho & Hung, Chih-Ching(2007), Multiple-attribute decision making methods for plant layout design problem, *Robotic and Computer-Integrated Manufacturing*, 23, 1, 126-137.

