چشم‌انداز مدیریت صنعتی
شماره ۵ ـ بهار ۱۳۹۱
ص‌ص ۷۱ -۴۹

طراحی مدل تصمیم‌گیری فازی برای مسأله انتخاب طرح چیدمان تسهیلات با توسعه فازی روش PSI

علیرضا پویا*، سیّدجواد علوی‌طبری**

چکیده

مسأله طراحی چیدمان تسهیلات، یک موضوع استراتژیک است که دارای تأثیر چشمگیری در عملکرد سیستم تولیدی می‌باشد. در این نوع مسائل معیارهای متعددی به شکل کمّی و کیفی مطرح‌اند که تأثیرات متفاوتی در ارتباط بین تسهیلات دارند. به‌کارگیری نظریه مجموعه‌های فازی به‌علت توانایی بیشتر در بیان مقادیر غیردقیق کیفی باعث افزایش کیفیت طرح چیدمان خواهد شد. در این مقاله، یک روش پیشنهادی تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی بر اساس روش PSI به‌منظور انتخاب طرح چیدمان مطلوب ارائه شده است. در این روش، معیارهای کمّی و کیفی به‌صورت همزمان در نظر گرفته شده و عملکرد طرح‌های چیدمان برای معیارهای کیفی به‌صورت فازی در نظر گرفته می‌شوند. همچنین طرح بهینه به‌طور موزون بدون در نظر گرفتن اهمیت نسبی بین معیارها از طریق نظر خبرگان، انتخاب می‌شود. به‌منظور بررسی صحت روش پیشنهادی، این روش در یک مورد مطالعه بررسی شده، که مقایسه آن با دیگر مطالعات، مناسب بودن روش پیشنهادی برای حل مسائل انتخاب طرح چیدمان و در عین حال، سادگی و درک آسان و نزدیک به واقعیت بودن آن را نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: انتخاب طرح چیدمان تسهیلات؛ روش PSI؛ تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی؛ روش پیشنهادی.

تاریخ دریافت مقاله:۹۰/۰۹/۲۶، تاریخ پذیرش مقاله:۹۰/۱۲/۱۴.

* استادیار، دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسئول).

E-mail: Alirezapooya@um.ac.ir

** دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

۱. مقدمه

منظور از یک مسأله طراحی چیدمان تسهیلات کارآمد، استقرار منسجم و هماهنگ ماشین‌آلات، تجهیزات، بخش‌ها و ایستگاه‌های کاری در کنار هم و در یک واحد تولیدی به‌نحوی است که با در نظر گرفتن مجموعه اهداف، قیود و سایر شرایط، بیشترین بهره‌برداری از ترکیب نیروی انسانی، مواد، تجهیزات و ماشین‌آلات به‌منظور تولید محصولات با حداکثر بهره‌وری و سودآوری به‌دست آید. بنابراین طبق نظر یانگ و هانگ [۲۹] مسأله طراحی چیدمان را می‌توان به‌عنوان یک موضوع استراتژیک در نظر گرفت که تأثیر بسیاری در عملکرد سیستم تولیدی خواهد داشت. تصمیم‌گیری در مورد، دارای تأثیرات شگرفی بر جریان مواد، هزینه‌های حمل و نقل و نگهداری، کارایی تجهیزات، بهره‌وری کارخانه، مؤثر بودن کارکنان و مدیریت و... می‌گذارد. همچنین طراحی استقرار تسهیلات، می‌تواند به‌طور مستقیم در ارضاء مشتریان مؤثر باشد. هر طراحی استقرار باید هدف یا اهداف خاصی را ارضاء کند. طراحی استقرار معمولاً به‌منظور کمینه‌کردن یک معیار مثل زمان جابه‌جایی کلی، هزینه‌ها یا تأخیرها یا بیشینه‌کردن معیاری دیگر مثل کیفیت یا انعطاف‌پذیری برنامه‌ریزی می‌شود [۶]. برنامه‌ریزی تسهیلات ممکن است بین ۱۰ تا ۳۰ درصد هزینه عملیاتی را از طریق تأثیرگذاری بر سیستم‌های جابه‌جایی مواد، نیروی انسانی و غیره شامل شود [۷]. در رویکرد طراحی چیدمان، مجموعه‌ای از معیارهای کمّی و کیفی تأثیرگذارند. با این وجود برخی الگوریتم‌ها تنها داده‌های کمّی را پذیرفته و برخی دیگر فقط از داده‌های کیفی استفاده می‌کنند، همچنین الگوریتم‌های طراحی‌شده در نرم‌افزارها و روش‌های دستی موجود تنها با در نظر گرفتن یک هدف مانند کمینه‌سازی کل هزینه جابه‌جایی یا بیشینه‌سازی نرخ نزدیکی کل اقدام به تولید طرح می‌کنند، که این ضعف‌ها در تأثیر همزمان داده‌هایداده‌های کمّی و کیفی و همچنین تک‌هدفه بودن الگوریتم‌های طراحی، باعث کاهش کیفیت طرح استقرار می‌شود. بنابراین باتوجه به ماهیت چندمعیاره بودن مسأله طراحی چیدمان، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌تواند مفید باشد. همچنین در برخی مواقع به‌دلیل مبهم‌بودن معیارها نمی‌توان آن‌ها را به‌صورت دقیق و قطعی بیان نمود که توسعه نظریه مجموعه‌های فازی به‌مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره این امکان را فراهم می‌سازد که از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی برای حل این مسأله استفاده کنیم. در مطالعه‌ی کنونی، با ارائه یک روش جدید فازی پیشنهادی بر مبنای روش PSI[۱] که در عین سادگی در کاربرد دارای مبانی مناسب ریاضیاتی می‌باشد، توانسته‌ایم با در نظر گرفتن همزمان عوامل کمّی و کیفی و همچنین بیان داده‌های غیردقیق کیفی به‌صورت فازی و در نهایت رتبه‌بندی طرح‌های چیدمان به رفع این نواقص بپردازیم. در این روش وزن‌دهی معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌ها تنها با تکیه بر

۱. Preference selection index

همین مدل انجام می‌گیرد که در واقع یک مدل یکپارچه در وزن‌دهی و حل را ارائه می‌دهد. برخی متخصصان به‌دلیل ناکافی بودن آگاهی‌شان نسبت به معیارها، گاه در تعیین اندازه وزن معیارها قضاوت‌های مناسبی ارائه نمی‌دهند، این روش، خود بر اساس ماتریس تصمیم به تعیین اندازه وزن معیارها می‌پردازد. بنابراین، هدف اصلی تحقیق حاضر توسعه روش PSI می‌باشد، به‌گونه‌ای که باعث افزایش کارائی آن در برخورد با معیارهای کیفی با منطق فازی گردد. به‌منظور بررسی روش پیشنهادی از یک مطالعه موردی که در یک کارخانه بسته‌بندی IC انجام شده استفاده گردید که بعد از ایجاد طرح‌های چیدمان به کمک نرم‌افزار، با استفاده از روش پیشنهادی به تعیین اوزان معیارها و در نهایت، رتبه‌بندی طرح‌های چیدمان به کمک ماتریس تصمیم پرداخت. در این مقاله ابتدا به بیان پیشینه و ادبیات مرتبط با مسائل طراحی چیدمان می‌پردازیم، سپس به تشریح روش پیشنهادی و ارائه مطالعه موردی جهت به‌کارگیری روش، و در بخش پایانی جهت تأیید روش پیشنهادی، به مقایسه نتایج به‌دست‌آمده با نتایج سایر روش‌ها و نتیجه‌گیری و پیشنهادها خواهیم پرداخت.

۲. مبانی و چارچوب نظری تحقیق

پیشینه تحقیق

آقایان کمبرن و اوانس [۱۱] در مقاله‌ای برای حل مسأله طراحی چیدمان، ابتدا با ترکیب روش‌های دستی و سه الگوریتم کرفت، کورلپ و آلدپ به ایجاد شش طرح چیدمان پرداختند و سپس از روش AHP جهت انتخاب طرح چیدمان مناسب‌تر استفاده نمودند. معیارهای قضاوت در اینجا شامل حرکت کارآمد مواد، حرکت کارآمد پرسنل، سهولت گسترش، به‌کارگیری و پیکربندی خوب فضا، سازگاری با فرآیند و تغییرات تجهیزات، نظارت مؤثر، امنیت، ضمانت، زیبایی‌گرایی و کنترل صدا می‌باشند. آقای هوشیار [۱۸] در مطالعه‌ای از یک رویکرد چندهدفه با ترکیب جنبه‌های کمّی و کیفی و همچنین با در نظر گرفتن دو هدف کمینه‌کردن هزینه جابه‌جایی مواد و بیشینه‌کردن اندازه نزدیکی به‌حل مسأله طراحی چیدمان پرداخت. در پژوهش دیگری آقایان پرتوی و بورتن [۲۴] برای مسأله طراحی چیدمان از یک رویکرد چندهدفه به کمک AHP استفاده نمودند. آن‌ها با استفاده از توسعه یک برنامه کامپیوتری بر پایه AHP و ماژول ساخت مکان بخش‌ها، به‌طراحی چیدمان پرداختند. شانگ [۲۶] در پژوهشی از یک رویکرد چندهدفه برای حل مسأله طراحی چیدمان استفاده کرد. وی ابتدا با استفاده از فرآیند AHP وزن عوامل کیفی و همچنین ماتریس رتبه نزدیکی را محاسبه و سپس از یک برنامه‌ریزی ریاضی درجه دوم برای روش‌مندکردن ترکیب عوامل کیفی و کمّی؛ و در نهایت از تکنیک جستجوی سخت شبیه‌سازی‌شده برای یافتن جواب بهینه استفاده نمود. در مطالعه‌ای دیگر گروبنلی [۱۷] از یک

رویکرد فازی برای حل مسأله چیدمان استفاده کرد و با استفاده از روش‌های ابتکاری و در نظر گرفتن یک سری معیارهای کمّی و کیفی به استقرار و ارزیابی طرح‌های جانمایی پرداخت. در پژوهشی دیگر کارای، زانلدین، هگازی، شبیب و البلتاگی [۱۹] از ابزارهای محاسباتی نرم برای طرح‌ریزی چیدمان تسهیلات استفاده کردند. هدف اصلی آن‌ها رسیدن به ارزش رابطه نزدیکی بین هر جفت تسهیلات بود که از یک رویکرد یکپارچه با استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی و الگوریتم ژنتیک بهره گرفتند. از تئوری مجموعه‌های فازی برای تولید ارزش رابطه‌های نزدیکی بین بخش‌ها و از الگوریتم ژنتیک برای تولید طرح چیدمان استفاده شد. در مقاله دیگری یانگ و کو [۳۰] به‌منظور حل مسأله انتخاب طرح چیدمان بهینه از روش تحلیل سلسله مراتبی[۱] و رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها[۲] استفاده نمودند. آن‌ها از یک نرم‌افزار کامپیوتری جهت ایجاد پیشنهادهای طراحی و همچنین مقادیر عملکرد معیارهای کمّی استفاده کردند و از AHP نیز به‌منظور تعیین مقادیر عملکرد معیارهای کیفی استفاده شد. در نهایت DEA برای حل مسأله چندهدفه به‌کار گرفته شد. در مطالعه‌ای دیگر شوان، ناوارا، محمد و شاعر [۲۷] از یک الگوریتم ژنتیک چندهدفه با ترکیب اهداف کمّی و کیفی مبتنی بر حداقل کردن هزینه کل جریان و امتیاز عددی کل جهت حل مسأله طراحی لیوت استفاده کردند. در مقاله‌ای دب و باتاچاریا [۱۲] برای مسأله توسعه طراحی جانمایی از یک سیستم پشتیبان تصمیم[۳] متمایز مبتنی بر سیستم استنتاج فازی چندعامله استفاده کردند که تمام عامل‌های در نظر گرفته‌شده به‌صورت هم‌زمان به‌عنوان عامل‌های ورودی عمل می‌کنند. این الگوریتم به جستجوی چندین نقطه کاندید به‌منظور حداقل کردن هزینه جریان، فضای راکد و مساحت مورد نیاز برای توسعه طرح می‌پردازد. متغیرهای فرض‌شده شامل سطح جریان مواد به‌عنوان متغیر عینی؛ ارتباط نظارت، ارتباط محیطی و ارتباط اطلاعاتی به‌عنوان متغیرهای ذهنی می‌باشند. در نهایت الگوریتم پیشنهاد شده در C++ نوشته و اجراء شد. در یک تحقیق ارتای، روان و توزکایا [۱۳] برای ارزیابی طرح‌های چیدمان از یک روش تصمیم‌گیری بر اساس DEA که معیارهای کمّی و کیفی را به‌صورت هم‌زمان در نظر می‌گیرد استفاده شد. آن‌ها از یک نرم‌افزار کامپیوتری به‌نام ویس فکتوری[۴] برای ایجاد پیشنهادهای طراحی و جمع‌آوری داده‌های کمّی استفاده کردند و سپس AHP را برای جمع‌آوری اطلاعات کیفی به‌کار گرفتند. در نهایت با استفاده از DEA به‌حل مسأله طراحی چیدمان پرداختند. معیارهای در نظر گرفته شده شامل معیارهای کمّی مسافت جریان، هزینه جابه‌جایی، امتیاز مجاورت دیفازی شده، به‌کارگیری وسایل جابه‌جایی مواد و نسبت شکل و معیارهای کیفی

۱. Analytic hierarchy process
۲. Data envelopment analysis
۳. Decision support system
۴. Vis Factory

انعطاف‌پذیری و کیفیت می‌باشند. در مطالعه دیگری مکندال و شانگ [۲۲] با استفاده از توسعه سیستم هیبرید مورچگان به حل مسأله طراحی چیدمان پویا پرداختند. آن‌ها برای تست روش فرا ابتکاری خود از دو مجموعه داده موجود در ادبیات استفاده کردند. در مطالعه‌ای آیلو، انی و گالانته [۹] از یک روش چندهدفه برای حل مسأله طراحی چیدمان بهره بردند. به این صورت که در گام اول راه‌حل‌های بهینه‌ای با استفاده از الگوریتم ژنتیک تعیین کردند و در گام بعد جهت انتخاب راه‌حل بهینه از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ELECTRE استفاده کردند. معیارهای انتخاب به‌صورت معیارهای کمّی هزینه جابه‌جایی و نسبت ابعاد و معیارهای کیفی، مجاورت و درخواست فاصله بین بخش‌ها می‌باشند. در مقاله دیگری بایکاسوقلو، درلی و سابونکو [۱۰] از الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان و یک مکانیزم تولید راه‌حل، برای حل مسأله طراحی چیدمان پویا با محدودیت بودجه استفاده کردند. تابع هدف در این مسأله به‌صورت به‌حداقل رساندن کل هزینه‌های بازآرایی طرح و هزینه جریان مواد بین بخش‌ها در طول افق برنامه‌ریزی می‌باشد. در مطالعه‌ای یانگ و هانگ [۲۹]، از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره 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 جابه‌جایی مواد، امتیاز مجاورت، نسبت شکل، انعطاف‌پذیری، دستیابی پذیری و نگهداری را جهت ارزیابی طرح‌های چیدمان در نظر گرفتند. در مطالعه دیگری کو، یانگ و هوانگ [۲۰] برای حل مسأله انتخاب بین طرح‌های چیدمان پیشنهادی، از روش تحلیل رابطه خاکستری[۱] به‌عنوان یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده نمودند. در یک تحقیق تجربی طرح‌های چیدمان پیشنهادی به همراه شش معیار عملکرد در نظر گرفته شدند. مقایسه نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که GRA در حل مسأله MADM مؤثر بوده است. در پژوهش دیگری خاضکی، شاهنده و حجازی [۴] جهت حل مسأله برنامه‌ریزی چیدمان تسهیلات یک رویکرد استوار بر اساس نظریه مجموعه‌های فازی پیشنهاد کردند. آن‌ها در این رویکرد از فرآیند AHP جهت تعیین وزن عامل‌ها و از نرم‌افزار اف دارک[۲] برای تولید جداول کمّی رابطه فعالیت‌ها استفاده کردند که خروجی آن به‌عنوان ورودی برای برنامه دیگری به نام اف لیوت[۳] به ایجاد طرح چیدمان می‌پردازد. در مقاله‌ای وینچه و قاسمی [۷] جهت رتبه‌بندی مدل‌های مختلف طراحی چیدمان از یک مدل بهینه‌سازی وزین غیرخطی در حضور هر دو گروه معیار کمّی و کیفی و با در نظر گرفتن ترتیب رتبه‌بندی معیارها بر اساس نقطه نظرات کارشناسان طراحی استفاده کردند، که در آن از رویکرد AHP جهت تعیین مقادیر عملکردی معیارهای کیفی و از یک نرم‌افزار تجاری

۱. Gray relational analysis
۲. Fdark
۳. Flayout

جهت ایجاد الگوهای چیدمان و همچنین جهت ایجاد مقادیر عملکردی معیارهای کمّی استفاده شد. در مقاله دیگری قاسمی‌نژاد، نویدی و بشیری [۱۵] به‌منظور حل مسأله انتخاب طرح چیدمان از الگوریتم ۲-opt در کنار DEA برای یافتن چیدمان مناسب استفاده نمودند و از TOPSIS نیز برای تست نتایج DEA و انتخاب کارآمدترین طرح چیدمان استفاده شد. معیارهای در نظر گرفته شده در این تحقیق شامل هزینه جابه‌جایی مواد، درخواست نزدیکی، درخواست جدایی و نرخ شکل می‌باشند. در مطالعه دیگری اسکولز، جن و جانکر [۲۵] با استفاده از توسعه رویکرد مبتنی بر درخت برش و جستجوی ممنوعه به‌حل مسأله طراحی چیدمان پرداختند. در مقاله‌ای نینگ، چی لام و کیت لام [۲۳] به‌منظور طراحی چیدمان از الگوریتم max-min ant system به‌عنوان یک روش جستجوی پویای پیوسته که یکی از الگوریتم‌های بهینه‌سازی کلونی مورچگان می‌باشد تحت دو تابع هدف متجانس حداقل کردن نگرانی‌های امنیتی و کاهش هزینه ساخت (هزینه جابه‌جایی مواد) استفاده کردند. در مطالعه‌ای مانیا و بات [۲۱] یک روش پیشنهادی تصمیم‌گیری چندمعیاره جهت انتخاب طرح چیدمان مناسب ارائه کردند. 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 به‌دست می‌آید. در مطالعه‌ای دیگر تقوی و مورات [۲۸] یک روند ابتکاری تکراری برای حل مسأله طراحی چیدمان یکپارچه و تعیین جریان تولید را به‌کار بردند که این روند ابتکاری بر اساس یک الگوریتم اغتشاش و روش ابتکاری مکان‌یابی ترتیبی می‌باشد. نتایج یک مطالعه تجربی نشان می‌دهد که روند پیشنهاد شده در شناسایی راه‌حل‌های با کیفیت برای مسائل کوچک، متوسط و بسیار بزرگ کارا و مؤثر بوده است. به تازگی گنزالز کروز و مارتینز [۱۶] برای حل مسأله طراحی چیدمان از یک الگوریتم مبتنی بر آنتروپی استفاده کردند. این الگوریتم هر ترکیب ممکن از طراحی را به‌وسیله تابع آنتروپی ارزیابی می‌کند و طرح با کمترین مقدار آنتروپی به‌عنوان حل بهینه انتخاب می‌شود. در مقایسه با الگوریتم‌هایی مثل کرفت[۱] که هدفش فقط بهینه‌سازی هزینه است این روش چندمعیار را در نظر می‌گیرد.

باتوجه به مطالعات انجام‌شده تاکنون ملاحظه می‌شود، در کارهای انجام گرفته جهت ارائه روش‌های تصمیم‌گیری برای انتخاب طرح جانمایی مناسب، معمولاً به‌منظور تعیین وزن معیارها از نظر خبرگان استفاده می‌کنند که ممکن است به‌علت عدم آگاهی کافی از مسأله به تعیین وزن‌های نامناسب بیانجامد. همچنین جهت تعیین میزان عملکرد طرح‌ها باتوجه به‌وجود معیارهای کیفی از روش‌های قطعی استفاده شده که نمی‌تواند به جواب‌های منطقی باتوجه به

---

۱. Craft

شرایط مبهم منجر شود. هدف از ارائه مدل حاضر تلاش در جهت رفع این ضعف‌ها به‌منظور دستیابی به انتخاب مناسب‌تر می‌باشد.

۳. روش‌شناسی تحقیق

مدل‌سازی و الگوریتم حل. در این بخش به‌منظور حل مسأله انتخاب طرح چیدمان به توسعه مدل PSI به کمک نظریه مجموعه‌های فازی می‌پردازیم. در این روش طرح چیدمان مطلوب به کمک اهمیت نسبی معیارهای طراحی که از داده‌های ماتریس تصمیم حاصل می‌شود، به‌دست می‌آید. در اکثر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، تصمیم‌گیران نیاز به تعیین اهمیت نسبی بین معیارهای انتخاب یا وزن هر کدام از معیارها دارند. درصورتی‌که تصمیم‌گیرنده اطلاعات کافی در مورد تعیین اهمیت نسبی بین معیارها نداشته باشد، این امر منجر به انتخاب طرح چیدمان نامناسب خواهد شد. درحالی‌که، در روش پیشنهادی اهمیت مربوط به‌معیارها به کمک داده‌های ماتریس تصمیم محاسبه می‌گردد. مدل حاضر علاوه‌بر رفع این نقص با در نظر گرفتن اعداد فازی و تئوری‌های مربوط به‌مجموعه‌های فازی به تعیین مقادیر عملکردی معیارهای کیفی باتوجه به هر طرح چیدمان پرداخته که به سبب مبهم بودن این مقادیر از نظر تصمیم‌گیرنده، و توانایی بیشتر این نوع اعداد در نشان دادن قضاوت‌های ذهنی تصمیم‌گیرندگان، بهتر است از اعداد فازی به‌جای مقادیر قطعی استفاده شود. بنابراین فرایند تحقیق به‌شرح ذیل است:

گام ۱مدل‌سازی.

تعریف مسأله. شامل تعریف وضعیت تولید یا صنایع تولیدی، برای طراحی چیدمان مورد نیاز.

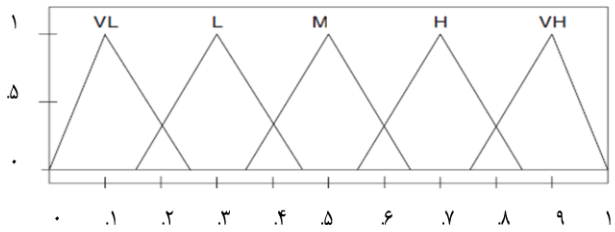
ایجاد طرح‌های چیدمان پیشنهادی. تصمیم‌گیرندگان باید با استفاده از روش‌های مرسوم، نرم‌افزارهای تجاری مانند اسپیرال و تکنیک‌های کامپیوتری مثل آلدپ، کورلپ، پلنت، کوفاد، کرفت و غیره به ایجاد طرح‌های چیدمان بپردازند.

تعیین معیارهای طراحی چیدمان تسهیلات. مشتمل بر شناسایی و تعیین معیارهای مهم طراحی چیدمان تسهیلات و همچنین ارزیابی تمامی معیارهای انتخاب شده باتوجه به هرکدام از طرح‌های پیشنهادی می‌باشد. در مطالعه‌ای که توسط یانگ و کو [۳۰] به‌منظور دستیابی به بهترین طرح چیدمان انجام شد از شش معیار، که شامل سه معیار کمّی و سه معیار کیفی است استفاده شد. معیارهای کمّی شامل مسافت جابه‌جایی مواد (مجموع حجم جریان محصولات و فاصله مستقیم بین مراکز ثقل دو بخش)، امتیاز مجاورت (مجموع تمامی روابط مثبت بین

بخش‌های مجاور در طول فرآیند مسیریابی) و نسبت شکل (حداکثر نسبت طول به عرض و عرض به طول از کوچکترین چهارگوشی که به‌طور کامل بخش مربوطه را پوشش دهد) می‌باشند که هدف آن به حداقل رساندن معیارهای مسافت جابه‌جایی و نسبت شکل و به حداکثر رساندن امتیاز مجاورت است. معیارهای کیفی نیز شامل انعطاف‌پذیری (که شامل دو جنبه می‌باشد: ۱. توانایی انجام وظایف گوناگون تحت شرایط عملیاتی مختلف؛ ۲. انعطاف‌پذیری برای گسترش در آینده)، قابلیت دسترسی (شامل مسیرهای جابه‌جایی اپراتورها و مواد) و نگهداری (شامل فضای مورد نیاز برای مهندسان نگهداری و حرکت ابزارها).

روش‌مندکردن ماتریس تصمیم. برای حل مسأله MADM با ساخت ماتریس تصمیم شروع می‌کنیم، که در آن $A=\{A_i \text{ for } i=۱,۲,۳,\ldots,n\}$ نشان‌دهنده مجموعه پیشنهادهای طراحی، $C=\{C_j \text{ for } j=۱,۲,۳,\ldots,m\}$ نشان‌دهنده مجموعه معیارهای انتخاب طرح چیدمان و X_{ij}، نشان‌دهنده عملکرد گزینه Ai وقتی با معیار Cj بررسی می‌شود، هستند. ماتریس تصمیم شامل تمامی اندازه‌های عملکرد طرح‌های چیدمان وقتی با معیارهای کمّی و کیفی بررسی می‌شوند، می‌باشد. در این ماتریس اندازه‌های عملکرد معیارهای کمّی که از طریق نرم‌افزار و روش‌های رایج قابل محاسبه‌اند، مقادیر قطعی می‌باشند. اما مقادیر عملکرد معیارهای کیفی با استفاده از نظر خبرگان و با در نظر گرفتن متغیرهای زبانی فازی در پنج سطح، VH، H، M، L و VL باتوجه به تابع عضویت مطابق شکل ۱ تعیین می‌شوند [۲۹].

رتبه	درجه صفت	تابع عضویت
خیلی کم (VL)	۱	(۰۰,.۱۰,.۲۵)
کم (L)	۲	(.۱۵,.۳۰,.۴۵)
متوسط (M)	۳	(.۳۵,.۵۰,.۶۵)
زیاد (H)	۴	(.۵۵,.۷۰,.۸۵)
خیلی زیاد (VH)	۵	(.۷۵,.۹۰,۱.۰۰)



شکل ۱. تابع عضویت مقادیر عملکرد معیارهای کیفی [۲۹]

گام ۲ محاسبه اوزان معیارها (مقدار ترجیح)[۱] معیارهای چیدمان.

تبدیل X_{ij}های زبانی به اعداد فازی مثلثی. مقادیر زبانی به‌دست‌آمده برای عملکرد طرح‌ها باتوجه به معیارهای کیفی از نظر خبرگان را، با استفاده از تابع عضویت شکل ۱ به مقادیر فازی مثلثی تبدیل می‌نماییم.

روش‌مندکردن ماتریس تصمیم متعادل. معیارهای انتخاب طرح چیدمان، واحدهای اندازه‌گیری متفاوتی دارند که در این صورت متعادل‌سازی مقادیر عملکرد طرح‌ها باتوجه به معیارها، به یک واحد سازگار، امری لازم خواهد بود. در مطالعه حاضر منظور از متعادل‌سازی، بی‌مقیاس‌کردن و هم‌جهت کردن مقادیر می‌باشد که به‌صورت زیر انجام می‌گیرد. اگر معیار از نوع افزاینده باشد به‌صورت زیر عمل می‌کنیم:

$$N_{ij} = \frac{Xij}{X_{j,max}}; \forall i,j \qquad \text{که در آن} \qquad X_{j,max} = \max_{j}\{X_{ij}\}; \forall i,j \qquad (۱)$$

حال اگر معیار از نوع کاهنده است داریم:

$$N_{ij} = \frac{X_{j,min}}{X_{ij}}; \forall i,j \qquad \text{ه در آن} \qquad X_{j,min} = \min_{j}\{X_{ij}\}; \forall i,j \qquad (۲)$$

جهت متعادل‌سازی مقادیر فازی از قوانین موجود برای تقسیم دو عدد فازی به صورت ذیل استفاده می‌کنیم [۵:۳۱].

اگر $\widetilde{M} = (L , m , U)$ و $\widetilde{N} = (a , b , c)$ ،و عدد فازی مثلثی باشند، داریم:

$$\widetilde{M} > ۰ , \widetilde{N} > ۰ : \widetilde{M}(\div)\widetilde{N} = (\frac{L}{c} , \frac{m}{b} , \frac{U}{a}) \qquad (۳)$$

محاسبه مقدار میانگین داده‌های متعادل‌شده[۲]. در این مرحله ارزش میانگین برای هر کدام از معیارها را به صورت زیر به دست می آوریم:

---

۱. Preference value

۲. Mean value of normalized date

$$\bar{N}_j=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} N_{ij} \ , \quad \forall j \qquad (٤)$$

اگر $\widetilde{M}$ و $\widetilde{N}$ دو عدد فازی مثلثی باشند، برای جمع اعداد فازی و همچنین ضرب عدد اسکالر K از قوانین موجود به صورت زیر استفاده می‌کنیم که در اینجا K=۱/n می‌باشد [۵:۳۱].

$$\widetilde{M}(+)\widetilde{N}= (L+a \ , m+b \ , U+c) \qquad (٥)$$

$$K \in R^{+} : K(\ .\ )\widetilde{M} : (KL \ , Km \ , KU) \qquad (٦)$$

محاسبه مقدار اختلاف معیار[۱] . مقدار اختلاف هر معیار به‌صورت مجموع مجذور اختلاف مقادیر متعادل هر معیار از میانگین آن‌ها به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\pi_j=\sum_{i=1}^{n}[N_{ij}-\bar{N}_j]^2 \ , \quad \forall j \qquad (٧)$$

که جهت تفریق دو عدد فازی طبق نظر گائو و ژانگ [۱۴] عمل می‌نماییم.

$$\widetilde{M}(-)\widetilde{N}= (L-c \ , m-b \ , U-a) \qquad (٨)$$

برای به توان رساندن اعداد فازی حاصل از (۸) که اعداد مثلثی نه مثبت و نه منفی می‌باشند از قواعد ذیل استفاده گردید:

(۹)

اگر $\widetilde{M}= (L \ , m \ , U)$ و $L<0 \ ،m,U>0$ آنگاه $\widetilde{M}^{-2}= (-L.U \ , m.-L \ , U.m)$

(۱۰)

و اگر $L,m<0$ و $U>0$ آنگاه $\widetilde{M}^{-2}=(-L.U \ , U.-m \ , -m.-L)$

تعیین انحراف در مقدار معیار[۲]. در این مرحله انحراف در مقدار معیار برای تمامی معیارهای انتخاب به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

---

۱. Preference variation value

۲. Deviation in preference value

(۱۱)

$$\delta_j=|۱-\pi_j|\ ,\ \forall j$$

که برای عدد مثلثی $\widetilde{M}$ مطابق [۱۴] داریم:

$$\delta_j=|(۱,۱,۱)-(L,m,U)|=|(۱-U,۱-m,۱-L)| \qquad (۱۲)$$

$$\widetilde{M}=(L\ ,\ m\ ,\ U)$$

بنابر نظر آقایان عباس‌بندی و امیرفخریان [۸] قدر مطلق عدد فازی مثلثی برابر است با:

$$|\widetilde{M}|=|L|+|m|+|U| \qquad (۱۳)$$

متعادل‌سازی مقادیر انحراف معیار. باتوجه به قاعده قدر مطلق فازی، جمع مقادیر محاسبه‌شده در مرحله قبل برابر یک نخواهد شد. جهت رفع این مسأله با استفاده از تعادل ساعتی، ارزش‌های به‌دست‌آمده مرحله قبل به‌طور جداگانه برای معیارهای کمّی و فازی (کیفی) متعادل می‌شود به‌صورت ذیل:

$$\Phi_j=\frac{\delta_j}{\sum_{j=۱}^{z}\delta_j}\quad Z:J\ ,J' \qquad (۱٤)$$

که در آن J مجموعه معیارهای کمّی و J' مجموعه معیارهای کیفی است.

محاسبه اوزان نهایی معیارها[۲]. حال وزن نهایی برای هر کدام از معیارها به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\Psi_j=\frac{\Phi j}{\sum_{j=۱}^{m}\Phi_j}\quad \forall j\ ;\ \sum_{j=۱}^{m}\Psi j=۱ \qquad (۱۵)$$

گام ۳ آماده‌سازی مدل.

تبدیل مقادیر عملکرد متعادل‌شده معیارهای کمّی به متغیرهای زبانی و سپس به اعداد فازی مثلثی. مقادیر عملکرد متعادل‌شده معیارهای کمّی را باتوجه به تابع عضویت شکل ۱، بر

۱. Compute overall preference value

طبق نظر یانگ و هانگ [۲۹] ابتدا به مقادیر زبانی؛ و سپس مقادیر زبانی را به اعداد فازی مثلثی تبدیل می‌کنیم.

متعادل‌سازی مقادیر عملکرد فازی شده معیارهای کمّی و تشکیل ماتریس تصمیم نهایی. مقادیر عملکرد فازی به‌دست‌آمده از مرحله قبل را با استفاده از فرمول مرحله ۲.۲ متعادل می‌کنیم. از آن‌جایی که مقادیر عملکرد کمّی در مرحله ۲.۲ هم‌جهت شده‌اند، در این مرحله متعادل‌کردن صرفاً با کمک فرمول افزاینده انجام می‌شود.

گام ٤ حل مدل. بسط این گام از حل مدل بر اساس توسعه فازی روش SAW توسط بونیسون می‌باشد [۲].

محاسبه عملکرد موزون طرح‌های پیشنهادی در هر معیار. در این مرحله اوزان معیارهای به‌دست‌آمده برای هر معیار، در مقادیر عملکرد ماتریس تصمیم نهایی ضرب خواهد شد.

$$V_{ij}=\Psi_j \cdot X_{ij} \quad \forall_{i,j} \qquad (۱۶)$$

محاسبه عملکرد کل هر طرح پیشنهادی. در این مرحله جهت محاسبه عملکرد کل هر طرح از مجموع مقادیر عملکرد موزون تمامی معیارها برای هر طرح استفاده می‌شود.

$$W_i=\sum_{j=۱}^{m} V_{ij} \quad \forall i \qquad (۱۷)$$

محاسبه درجه بزرگی و رتبه‌بندی طرح‌های چیدمان. جهت رتبه‌بندی طرح‌های چیدمان ابتدا درجه بزرگی هر کدام از مقادیر کل عملکرد طرح‌ها به‌صورت دو به دو نسبت به دیگر مقادیر مطابق فرمول ۱۸ محاسبه می‌گردد، سپس برای تعیین درجه بزرگی نهایی هر طرح و به‌هنجار نمودن آن‌ها از فرمول ۱۹ و ۲۰ استفاده می‌شود. در نهایت رتبه‌بندی به‌ترتیب بزرگتر به کوچکتر صورت می‌گیرد.

اگر $W_۱=(l_j,m_j,u_j)$ و $W_i=(l_i,m_i,u_i)$ دو عدد فازی مثلثی باشند، درجه بزرگی $W_۱$ نسبت به $W_۲$ به‌صورت زیر تعریف می‌شود [۱۰۸-۱۰۷:۵].

(١٨)

$$V(W_i \geq W_j) = hgt(W_i \cap W_j) = \mu_{M_j}(d) = \begin{cases} ١ & if\ m_i \geq m_j \\ ٠ & if\ l_j \geq u_i \\ \dfrac{l_j - u_i}{(m_i - u_i) - (m_j - l_j)} & otherwise \end{cases}$$

(١٩)

$$V(W_i > W_{j \neq i}; \forall j = ١,٢,٣, \dots, k) = V[(W_i \geq W_١) and (W_i \geq W_٢) and \dots and (W_i \geq W_k)] = MinV(W_i \geq W_{j \neq i}); \forall j = ١,٢,٣, \dots, k$$

(٢٠)

$$V(W_i \geq W_j) = \frac{MinV(W_i \geq W_{j \neq i})}{\sum MinV(W_i \geq W_{j \neq i})};\ \forall j = ١,٢,٣, \dots, k$$

٤. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

مطالعه موردی. جهت نشان‌دادن صحّت مدل پیشنهادی به حل مجدد مسأله چیدمان از یک مطالعه موردی، به‌شرح زیر می‌پردازیم. مسأله مورد بررسی یانگ و کو [٣٠] در یک کارخانه بسته‌بندی IC به‌منظور دستیابی به بهترین طرح چیدمان انجام شد. مراحل الگوریتم پیشنهادی به‌صورت ذیل می‌باشد.

تعریف مسأله. هدف مسأله فوق، انتخاب طرح چیدمان مناسب برای مطالعه مورد نظر باتوجه به طرح‌های پیشنهادی و اندازه‌های عملکرد آن‌ها در معیارها می‌باشد.

ایجاد طرح‌های چیدمان. در این مطالعه موردی با استفاده از نرم‌افزار اسپیرال، هجده طرح چیدمان ایجاد شد.

تعیین معیارهای طراحی چیدمان. معیارهای در نظر گرفته شده شامل شش معیار به‌صورت سه معیار کمّی مسافت جابه‌جایی مواد (C١)، امتیاز مجاورت (C٢) و نسبت شکل (C٣) و سه معیار کیفی شامل انعطاف‌پذیری (C٤)، قابلیت دسترسی (C٥) و نگهداری (C٦) می‌باشند.

روش‌مندکردن ماتریس تصمیم. این مرحله شامل محاسبه مقادیر عملکردی گزینه‌ها نسبت به معیارها می‌باشد که در جدول ١ آورده شده است. در مطالعه یانگ و کو [٣٠] از AHP جهت تعیین مقادیر عملکردی، از معیارهای کیفی استفاده شده است. در نتیجه برای اینکه مسأله حاضر متناسب با روش پیشنهادی ارائه شده باشد، (دارای عملکردهای زبانی برای معیارهای کیفی

باشیم،) ابتدا مقادیر عملکردی کیفی را متعادل و سپس با استفاده از تابع عضویت شکل ۱ آن‌ها را به متغیرهای زبانی فازی تبدیل نمودیم.

تبدیل X_{ij}های زبانی به اعداد مثلثی فازی. مقادیر مربوطه در جدول ۲ آورده شده است.
روش‌مندکردن ماتریس تصمیم متعادل. باتوجه به معیارهای این مطالعه، چهار معیار امتیاز مجاورت (C۲)، انعطاف‌پذیری (C۴)، قابلیت دسترسی (C۵) و نگهداری (C۶)، جزء معیارهای افزاینده می‌باشند و دو معیار مسافت جابه‌جایی (C۱) و نسبت شکل (C۳)، جزء معیارهای کاهنده هستند که مقادیر متعادل‌شده هر کدام باتوجه به روش‌های ارائه‌شده در مرحله ۲.۲ به‌دست می‌آیند. جدول ۳ ماتریس مقادیر متعادل را نشان می‌دهد. طبق این روش مقادیر عملکرد، بی‌مقیاس و هم‌جهت می‌شوند.

محاسبه میانگین داده‌های متعادل‌شده.

$\overline{N}$ ۱=. ۸۴۵۰ , $\overline{N}$ ۲=. ۸۲۲۲ , $\overline{N}$ ۳=.۳۳۳۷ ,
$\overline{N}$ ۴=(.۳۹۴۴,.۶۰۴۹,.۹۱۴۸) , $\overline{N}$ ۵=(.۲۷۵۰,.۴۵۶۸,.۷۴۰۷) ,

محاسبه مقدار اختلاف معیار.

$\Pi c_{۱}$=.۱۴۳۹ , $\Pi c_{۲}$=.۱۷۱۱ , $\Pi c_{۳}$=۱.۰۶۲۲ , $\Pi c_{۴}$=(-۳.۹۱,۱.۱۲,۱۰۶۱) ,
$\Pi c_{۵}$=(-۲.۷۱,۱.۴۱,۹.۴۵) , $\Pi c_{۶}$=(-۴.۰۵,۶۸,۷.۹۸)

جدول ۱. اندازه‌های عملکرد هر گزینه باتوجه به معیارها

طرح چیدمان	C۱	C۲	C۳	C٤	C٥	C٦
A۱	۱۸۵/۹۵	۸	۸/۲۸	M	L	VL
A۲	۲۰۷/۳۷	۹	۳/۷۵	M	VL	M
A۳	۲۰۶/۳۸	۸	۷/۸۵	L	VL	M
A۴	۱۸۹/۶۶	۸	۸/۲۸	L	VL	M
A۵	۲۱۱/۴۶	۸	۷/۷۱	H	VL	L
A۶	۲۶۴/۰۷	۵	۲/۰۷	M	VL	M
A۷	۲۲۸	۸	۱۴	L	M	M
A۸	۱۸۵/۵۹	۹	۶/۲۵	L	L	L
A۹	۱۸۵/۸۵	۹	۷/۸۵	H	L	M
A۱۰	۲۳۶/۱۵	۸	۷/۸۵	H	M	M
A۱۱	۱۸۳/۱۸	۸	۲	VH	H	H
A۱۲	۲۰۴/۱۸	۸	۱۳/۳	L	M	L
A۱۳	۲۲۵/۲۶	۸	۸/۱۴	L	M	M
A۱۴	۲۰۲/۲۸	۸	۸	L	M	M
A۱۵	۱۷۰/۱۴	۹	۸/۲۸	VH	VH	VH
A۱۶	۲۱۶/۸	۹	۷/۷۱	H	M	M
A۱۷	۱۷۹/۸	۸	۱۰/۳	VH	VH	H
A۱۸	۱۸۵/۷۵	۱۰	۱۰/۱۶	M	M	L

جدول ۲. تبدیل مقادیر عملکردی معیارهای کیفی به اعداد فازی مثلثی

طرح چیدمان پیشنهادی	C۱	C۲	C۳	C٤	C٥	C٦
A۱	۱۸۵/۹۵	۸	۸/۲۸	(۰/۳۵،۰/۵۰،۰/۶۵)	(۰/۱۵،۰/۳۰،۰/۴۵)	(۰/۰۰،۰/۱۰،۰/۲۵)
A۲	۲۰۷/۳۷	۹	۳/۷۵	(۰/۳۵،۰/۵۰،۰/۶۵)	(۰/۰۰،۰/۱۰،۰/۲۵)	(۰/۳۵،۰/۵۰،۰/۶۵)
A۳	۲۰۶/۳۸	۸	۷/۸۵	(۰/۱۵،۰/۳۰،۰/۴۵)	(۰/۰۰،۰/۱۰،۰/۲۵)	(۰/۳۵،۰/۵۰،۰/۶۵)
A۴	۱۸۹/۶۶	۸	۸/۲۸	(۰/۱۵،۰/۳۰،۰/۴۵)	(۰/۰۰،۰/۱۰،۰/۲۵)	(۰/۳۵،۰/۵۰،۰/۶۵)
A۵	۲۱۱/۴۶	۸	۷/۷۱	(۰/۵۵،۰/۷۰،۰/۸۵)	(۰/۰۰،۰/۱۰،۰/۲۵)	(۰/۱۵،۰/۳۰،۰/۴۵)
A۶	۲۶۴/۰۷	۵	۲/۰۷	(۰/۳۵،۰/۵۰،۰/۶۵)	(۰/۰۰،۰/۱۰،۰/۲۵)	(۰/۳۵،۰/۵۰،۰/۶۵)
A۷	۲۲۸	۸	۱۴	(۰/۱۵،۰/۳۰،۰/۴۵)	(۰/۳۵،۰/۵۰،۰/۶۵)	(۰/۳۵،۰/۵۰،۰/۶۵)
A۸	۱۸۵/۵۹	۹	۶/۲۵	(۰/۱۵،۰/۳۰،۰/۴۵)	(۰/۱۵،۰/۳۰،۰/۴۵)	(۰/۱۵،۰/۳۰،۰/۴۵)
A۹	۱۸۵/۸۵	۹	۷/۸۵	(۰/۵۵،۰/۷۰،۰/۸۵)	(۰/۱۵،۰/۳۰،۰/۴۵)	(۰/۳۵،۰/۵۰،۰/۶۵)
A۱۰	۲۳۶/۱۵	۸	۷/۸۵	(۰/۵۵،۰/۷۰،۰/۸۵)	(۰/۳۵،۰/۵۰،۰/۶۵)	(۰/۳۵،۰/۵۰،۰/۶۵)
A۱۱	۱۸۳/۱۸	۸	۲	(۰/۷۵،۰/۹۰،۱/۰۰)	(۰/۵۵،۰/۷۰،۰/۸۵)	(۰/۵۵،۰/۷۰،۰/۸۵)
A۱۲	۲۰۴/۱۸	۸	۱۳/۳	(۰/۱۵،۰/۳۰،۰/۴۵)	(۰/۳۵،۰/۵۰،۰/۶۵)	(۰/۱۵،۰/۳۰،۰/۴۵)
A۱۳	۲۲۵/۲۶	۸	۸/۱۴	(۰/۱۵،۰/۳۰،۰/۴۵)	(۰/۳۵،۰/۵۰،۰/۶۵)	(۰/۳۵،۰/۵۰،۰/۶۵)
A۱۴	۲۰۲/۲۸	۸	۸	(۰/۱۵،۰/۳۰،۰/۴۵)	(۰/۳۵،۰/۵۰،۰/۶۵)	(۰/۳۵،۰/۵۰،۰/۶۵)
A۱۵	۱۷۰/۱۴	۹	۸/۲۸	(۰/۷۵،۰/۹۰،۱/۰۰)	(۰/۷۵،۰/۹۰،۱/۰۰)	(۰/۷۵،۰/۹۰،۱/۰۰)
A۱۶	۲۱۶/۸	۹	۷/۷۱	(۰/۵۵،۰/۷۰،۰/۸۵)	(۰/۳۵،۰/۵۰،۰/۶۵)	(۰/۳۵،۰/۵۰،۰/۶۵)
A۱۷	۱۷۹/۸	۸	۱۰/۳	(۰/۷۵،۰/۹۰،۱/۰۰)	(۰/۷۵،۰/۹۰،۱/۰۰)	(۰/۵۵،۰/۷۰،۰/۸۵)
A۱۸	۱۸۵/۷۵	۱۰	۱۰/۱۶	(۰/۵۵،۰/۷۰،۰/۸۵)	(۰/۳۵،۰/۵۰،۰/۶۵)	(۰/۱۵،۰/۳۰،۰/۴۵)

جدول ۳. ماتریس متعادل عملکرد

طرح	C۱	C۲	C۳	C٤	C٥	C٦
A۱	/۹۱۵۰	/۸	/۲۴۱۵	(/۸۶۶۷../۵۵۵۶../۳۵۰۰)	(/۶۰۰۰../۳۳۳۳../۱۵۰۰)	(/۳۳۳۳../۱۱۱۱../۰۰۰۰)
A۲	/۸۲۰۵	/۹	/۵۳۳۳	(/۸۶۶۷../۵۵۵۶../۳۵۰۰)	(/۳۳۳۳../۱۱۱۱../۰۰۰۰)	(/۸۶۶۷../۵۵۵۶../۳۵۰۰)
A۳	/۸۲۴۴	/۸	/۲۵۴۸	(/۶۰۰۰../۳۳۳۳../۱۵۰۰)	(/۳۳۳۳../۱۱۱۱../۰۰۰۰)	(/۸۶۶۷../۵۵۵۶../۳۵۰۰)
A۴	/۸۹۷۱	/۸	/۲۴۱۵	(/۶۰۰۰../۳۳۳۳../۱۵۰۰)	(/۳۳۳۳../۱۱۱۱../۰۰۰۰)	(/۸۶۶۷../۵۵۵۶../۳۵۰۰)
A۵	/۸۰۴۶	/۸	/۲۵۹۴	(۱../۷۷۷۸../۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(/۳۳۳۳../۱۱۱۱../۰۰۰۰)	(/۶۰۰۰../۳۳۳۳../۱۵۰۰)
A۶	/۶۴۴۳	/۵	/۹۶۶۲	(/۸۶۶۷../۵۵۵۶../۳۵۰۰)	(/۳۳۳۳../۱۱۱۱../۰۰۰۰)	(/۸۶۶۷../۵۵۵۶../۳۵۰۰)
A۷	/۷۴۶۲	/۸	/۱۴۲۹	(/۶۰۰۰../۳۳۳۳../۱۵۰۰)	(/۸۶۶۷../۵۵۵۶../۳۵۰۰)	(/۸۶۶۷../۵۵۵۶../۳۵۰۰)
A۸	/۹۱۶۸	/۹	/۳۲۰۰	(/۶۰۰۰../۳۳۳۳../۱۵۰۰)	(/۶۰۰۰../۳۳۳۳../۱۵۰۰)	(/۶۰۰۰../۳۳۳۳../۱۵۰۰)
A۹	/۹۱۵۵	/۹	/۲۵۴۸	(۱../۷۷۷۸../۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(/۶۰۰۰../۳۳۳۳../۱۵۰۰)	(/۸۶۶۷../۵۵۵۶../۳۵۰۰)
A۱۰	/۷۲۰۵	/۸	/۲۵۴۸	(۱../۷۷۷۸../۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(/۸۶۶۷../۵۵۵۶../۳۵۰۰)	(/۸۶۶۷../۵۵۵۶../۳۵۰۰)
A۱۱	/۹۲۸۸	/۸	۱	(۱../۷۵۰۰/۱.۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱../۷۷۷۸../۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(۱../۷۷۷۸../۵۵۰۰/۱۳۳۳)
A۱۲	/۸۳۳۳	/۸	/۱۵۰۴	(/۶۰۰۰../۳۳۳۳../۱۵۰۰)	(/۸۶۶۷../۵۵۵۶../۳۵۰۰)	(/۶۰۰۰../۳۳۳۳../۱۵۰۰)
A۱۳	/۷۵۵۳	/۸	/۲۴۵۷	(/۶۰۰۰../۳۳۳۳../۱۵۰۰)	(/۸۶۶۷../۵۵۵۶../۳۵۰۰)	(/۸۶۶۷../۵۵۵۶../۳۵۰۰)
A۱۴	/۸۳۸۹	/۸	/۲۵۰۰	(/۶۰۰۰../۳۳۳۳../۱۵۰۰)	(/۸۶۶۷../۵۵۵۶../۳۵۰۰)	(/۸۶۶۷../۵۵۵۶../۳۵۰۰)
A۱۵	۱	/۹	/۲۴۱۵	(۱../۷۵۰۰/۱.۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱../۷۵۰۰/۱.۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱../۷۵۰۰/۱.۰۰۰۰/۳۳۳۳)
A۱۶	/۷۸۶۳	/۹	/۲۵۹۴	(۱../۷۷۷۸../۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(/۸۶۶۷../۵۵۵۶../۳۵۰۰)	(/۸۶۶۷../۵۵۵۶../۳۵۰۰)
A۱۷	/۹۴۶۳	/۸	/۱۹۴۲	(۱../۷۵۰۰/۱.۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱../۷۵۰۰/۱.۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱../۷۷۷۸../۵۵۰۰/۱۳۳۳)
A۱۸	/۹۱۶۰	۱	/۱۹۶۹	(۱../۷۷۷۸../۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(/۸۶۶۷../۵۵۵۶../۳۵۰۰)	(/۶۰۰۰../۳۳۳۳../۱۵۰۰)

محاسبه مقادیر انحراف در مقدار معیار.

$\delta_{c۱}$=. ۸۵۶۱ , $\delta_{c۲}$=. ۸۲۸۹ , $\delta_{c۳}$=.۰۶۲۲ , $\delta_{c۴}$=۱۴.۶۴ , $\delta_{c۵}$=۱۲.۵۷ , $\delta_{c۶}$=۱۲.۳۵

متعادل‌سازی مقادیر انحراف در مقدار معیار.

برای J={۱,۲,۳} داریم: $\Phi_{۱}$=.۴۹ , $\Phi_{۲}$=.۴۷۴۴ , $\Phi_{۳}$=.۰۳۵۶

و برای J'={۴,۵,۶} خواهیم داشت: $\Phi_{۴}$=.۳۷۰۱ , $\Phi_{۵}$=.۳۱۷۷ , $\Phi_{۶}$=.۳۱۲۲

محاسبه اوزان نهایی معیارها.

$\psi c_{۱}$=.۲۵ , $\psi c_{۲}$=.۲۴ , $\psi c_{۳}$=.۰۲ , $\psi c_{۴}$=.۱۹ , $\psi c_{۵}$=.۱۶ , $\psi c_{۶}$=.۱۶

جدول ۴. تبدیل متغیرهای زبانی به اعداد فازی مثلثی

طرح	C۱	C۲	C۳	C٤	C٥	C٦
A۱	(۰٫۷۵،۰٫۹۰،۱٫۰۰)	(۰٫۵۵،۰٫۷۰،۰٫۸۵)	(۰٫۱۵،۰٫۳۰،۰٫۴۵)	(۱۸۶۶۷٫۰٫۵۵۵۶،۳۵۰۰)	(۶۰۰۰٫۰٫۳۳۳۳،۱۵۰۰)	(۳۳۳۳٫۰٫۱۱۱۱،۰٫۰۰۰۰)
A۲	(۰٫۷۵،۰٫۹۰،۱٫۰۰)	(۰٫۷۵،۰٫۹۰،۱٫۰۰)	(۰٫۳۵،۰٫۵۰،۰٫۶۵)	(۱۸۶۶۷٫۰٫۵۵۵۶،۳۵۰۰)	(۳۳۳۳٫۰٫۱۱۱۱،۰٫۰۰۰۰)	(۱۸۶۶۷٫۰٫۵۵۵۶،۳۵۰۰)
A۳	(۰٫۷۵،۰٫۹۰،۱٫۰۰)	(۰٫۵۵،۰٫۷۰،۰٫۸۵)	(۰٫۱۵،۰٫۳۰،۰٫۴۵)	(۶۰۰۰٫۰٫۳۳۳۳،۱۵۰۰)	(۳۳۳۳٫۰٫۱۱۱۱،۰٫۰۰۰۰)	(۱۸۶۶۷٫۰٫۵۵۵۶،۳۵۰۰)
A۴	(۰٫۷۵،۰٫۹۰،۱٫۰۰)	(۰٫۵۵،۰٫۷۰،۰٫۸۵)	(۰٫۱۵،۰٫۳۰،۰٫۴۵)	(۶۰۰۰٫۰٫۳۳۳۳،۱۵۰۰)	(۳۳۳۳٫۰٫۱۱۱۱،۰٫۰۰۰۰)	(۱۸۶۶۷٫۰٫۵۵۵۶،۳۵۰۰)
A۵	(۰٫۷۵،۰٫۹۰،۱٫۰۰)	(۰٫۵۵،۰٫۷۰،۰٫۸۵)	(۰٫۱۵،۰٫۳۰،۰٫۴۵)	(۱۰٫۷۷۷۸،۰٫۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(۳۳۳۳٫۰٫۱۱۱۱،۰٫۰۰۰۰)	(۶۰۰۰٫۰٫۳۳۳۳،۱۵۰۰)
A۶	(۰٫۵۵،۰٫۷۰،۰٫۸۵)	(۰٫۳۵،۰٫۵۰،۰٫۶۵)	(۰٫۷۵،۰٫۹۰،۱٫۰۰)	(۱۸۶۶۷٫۰٫۵۵۵۶،۳۵۰۰)	(۳۳۳۳٫۰٫۱۱۱۱،۰٫۰۰۰۰)	(۱۸۶۶۷٫۰٫۵۵۵۶،۳۵۰۰)
A۷	(۰٫۵۵،۰٫۷۰،۰٫۸۵)	(۰٫۵۵،۰٫۷۰،۰٫۸۵)	(۰٫۰۰،۰٫۱۰،۰٫۲۵)	(۶۰۰۰٫۰٫۳۳۳۳،۱۵۰۰)	(۱۸۶۶۷٫۰٫۵۵۵۶،۳۵۰۰)	(۱۸۶۶۷٫۰٫۵۵۵۶،۳۵۰۰)
A۸	(۰٫۷۵،۰٫۹۰،۱٫۰۰)	(۰٫۷۵،۰٫۹۰،۱٫۰۰)	(۰٫۱۵،۰٫۳۰،۰٫۴۵)	(۶۰۰۰٫۰٫۳۳۳۳،۱۵۰۰)	(۶۰۰۰٫۰٫۳۳۳۳،۱۵۰۰)	(۶۰۰۰٫۰٫۳۳۳۳،۱۵۰۰)
A۹	(۰٫۷۵،۰٫۹۰،۱٫۰۰)	(۰٫۷۵،۰٫۹۰،۱٫۰۰)	(۰٫۱۵،۰٫۳۰،۰٫۴۵)	(۱۰٫۷۷۷۸،۰٫۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(۶۰۰۰٫۰٫۳۳۳۳،۱۵۰۰)	(۱۸۶۶۷٫۰٫۵۵۵۶،۳۵۰۰)
A۱۰	(۰٫۵۵،۰٫۷۰،۰٫۸۵)	(۰٫۵۵،۰٫۷۰،۰٫۸۵)	(۰٫۱۵،۰٫۳۰،۰٫۴۵)	(۱۰٫۷۷۷۸،۰٫۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(۱۸۶۶۷٫۰٫۵۵۵۶،۳۵۰۰)	(۱۸۶۶۷٫۰٫۵۵۵۶،۳۵۰۰)
A۱۱	(۰٫۷۵،۰٫۹۰،۱٫۰۰)	(۰٫۵۵،۰٫۷۰،۰٫۸۵)	(۰٫۷۵،۰٫۹۰،۱٫۰۰)	(۱۰٫۷۵۰۰/۱۰٫۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱۰٫۷۷۷۸،۰٫۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(۱۰٫۷۷۷۸،۰٫۵۵۰۰/۱۳۳۳)
A۱۲	(۰٫۷۵،۰٫۹۰،۱٫۰۰)	(۰٫۵۵،۰٫۷۰،۰٫۸۵)	(۰٫۰۰،۰٫۱۰،۰٫۲۵)	(۶۰۰۰٫۰٫۳۳۳۳،۱۵۰۰)	(۱۸۶۶۷٫۰٫۵۵۵۶،۳۵۰۰)	(۶۰۰۰٫۰٫۳۳۳۳،۱۵۰۰)
A۱۳	(۰٫۵۵،۰٫۷۰،۰٫۸۵)	(۰٫۵۵،۰٫۷۰،۰٫۸۵)	(۰٫۱۵،۰٫۳۰،۰٫۴۵)	(۶۰۰۰٫۰٫۳۳۳۳،۱۵۰۰)	(۱۸۶۶۷٫۰٫۵۵۵۶،۳۵۰۰)	(۱۸۶۶۷٫۰٫۵۵۵۶،۳۵۰۰)
A۱۴	(۰٫۷۵،۰٫۹۰،۱٫۰۰)	(۰٫۵۵،۰٫۷۰،۰٫۸۵)	(۰٫۱۵،۰٫۳۰،۰٫۴۵)	(۶۰۰۰٫۰٫۳۳۳۳،۱۵۰۰)	(۱۸۶۶۷٫۰٫۵۵۵۶،۳۵۰۰)	(۱۸۶۶۷٫۰٫۵۵۵۶،۳۵۰۰)
A۱۵	(۰٫۷۵،۰٫۹۰،۱٫۰۰)	(۰٫۷۵،۰٫۹۰،۱٫۰۰)	(۰٫۱۵،۰٫۳۰،۰٫۴۵)	(۱۰٫۷۵۰۰/۱۰٫۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱۰٫۷۵۰۰/۱۰٫۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱۰٫۷۵۰۰/۱۰٫۰۰۰۰/۳۳۳۳)
A۱۶	(۰٫۵۵،۰٫۷۰،۰٫۸۵)	(۰٫۷۵،۰٫۹۰،۱٫۰۰)	(۰٫۱۵،۰٫۳۰،۰٫۴۵)	(۱۰٫۷۷۷۸،۰٫۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(۱۸۶۶۷٫۰٫۵۵۵۶،۳۵۰۰)	(۱۸۶۶۷٫۰٫۵۵۵۶،۳۵۰۰)
A۱۷	(۰٫۷۵،۰٫۹۰،۱٫۰۰)	(۰٫۵۵،۰٫۷۰،۰٫۸۵)	(۰٫۰۰،۰٫۱۰،۰٫۲۵)	(۱۰٫۷۵۰۰/۱۰٫۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱۰٫۷۵۰۰/۱۰٫۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱۰٫۷۷۷۸،۰٫۵۵۰۰/۱۳۳۳)
A۱۸	(۰٫۷۵،۰٫۹۰،۱٫۰۰)	(۰٫۷۵،۰٫۹۰،۱٫۰۰)	(۰٫۰۰،۰٫۱۰،۰٫۲۵)	(۱۰٫۷۷۷۸،۰٫۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(۱۸۶۶۷٫۰٫۵۵۵۶،۳۵۰۰)	(۶۰۰۰٫۰٫۳۳۳۳،۱۵۰۰)

تبدیل مقادیر عملکرد متعادل‌شده معیارهای کمّی به متغیرهای زبانی و سپس به اعداد فازی مثلثی. خروجی این گام در جدول ۴ نشان داده شده است.

متعادل‌سازی مقادیر عملکرد فازی شده معیارهای کمّی و تشکیل ماتریس تصمیم نهایی. در این گام مقادیر عملکرد فازی معیارهای کمّی را متعادل می‌کنیم. به‌علت اینکه این مقادیر در گام ۲.۲ هم‌جهت شده بودند لذا در این گام فقط از روش متعادل‌سازی مربوط به معیارهای افزاینده استفاده می‌کنیم. خروجی این گام در جدول ۵ آورده شده است.

محاسبه عملکرد وزنی طرح‌های پیشنهادی. خروجی این گام در جدول ۶ آمده است.

محاسبه عملکرد کل هر طرح پیشنهادی. در این مرحله از روش مربوط به جمع اعداد فازی موزون برای محاسبه عملکرد کلی هر طرح استفاده می‌شود. مقادیر عملکرد کل هر طرح چیدمان در جدول ۷ ارائه شده است.

محاسبه درجه بزرگی و رتبه‌بندی طرح‌های چیدمان. مقادیر درجه بزرگی و درجات بزرگی متعادل‌شده هر طرح چیدمان و همچنین رتبه‌بندی نهایی هر طرح نیز در جدول ۷ آورده شده است.

جدول ۵. ماتریس تصمیم نهایی متعادل‌شده

طرح	C۱	C۲	C۳	C٤	C۵	C٦
A۱	(۱٫۷۵۰۰/۱٫۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱٫۷۷۷۸/۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(۱۵۰۰/۳۳۳۳٫۷۰۰۰)	(۳۵۰۰/۵۵۵۶٫۸۶۶۷)	(۱۵۰۰/۳۳۳۳٫۶۰۰۰)	(۰۰۰۰/۱۱۱۱٫۳۳۳۳)
A۲	(۱٫۷۵۰۰/۱٫۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱٫۷۵۰۰/۱٫۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۳۵۰۰/۵۵۵۶٫۸۶۶۷)	(۳۵۰۰/۵۵۵۶٫۸۶۶۷)	(۰۰۰۰/۱۱۱۱٫۳۳۳۳)	(۳۵۰۰/۵۵۵۶٫۸۶۶۷)
A۳	(۱٫۷۵۰۰/۱٫۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱٫۷۷۷۸/۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(۱۵۰۰/۳۳۳۳٫۶۰۰۰)	(۱۵۰۰/۳۳۳۳٫۶۰۰۰)	(۰۰۰۰/۱۱۱۱٫۳۳۳۳)	(۳۵۰۰/۵۵۵۶٫۸۶۶۷)
A۴	(۱٫۷۵۰۰/۱٫۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱٫۷۷۷۸/۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(۱۵۰۰/۳۳۳۳٫۶۰۰۰)	(۱۵۰۰/۳۳۳۳٫۶۰۰۰)	(۰۰۰۰/۱۱۱۱٫۳۳۳۳)	(۳۵۰۰/۵۵۵۶٫۸۶۶۷)
A۵	(۱٫۷۵۰۰/۱٫۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱٫۷۷۷۸/۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(۱۵۰۰/۳۳۳۳٫۶۰۰۰)	(۱٫۷۷۷۸/۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(۰۰۰۰/۱۱۱۱٫۳۳۳۳)	(۱۵۰۰/۳۳۳۳٫۶۰۰۰)
A۶	(۱٫۷۷۷۸/۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(۸۶۶۷٫۵۵۵۶/۳۵۰۰)	(۱٫۷۵۰۰/۱٫۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۳۵۰۰/۵۵۵۶٫۸۶۶۷)	(۱۱۱۱/۳۳۳۳٫۰۰۰۰)	(۳۵۰۰/۵۵۵۶٫۸۶۶۷)
A۷	(۱٫۷۷۷۸/۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(۱٫۷۷۷۸/۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(۱۵۰۰/۳۳۳۳٫۱۱۱۱)	(۱۵۰۰/۳۳۳۳٫۶۰۰۰)	(۳۵۰۰/۵۵۵۶٫۸۶۶۷)	(۳۵۰۰/۵۵۵۶٫۸۶۶۷)
A۸	(۱٫۷۵۰۰/۱٫۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱٫۷۵۰۰/۱٫۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱۵۰۰/۳۳۳۳٫۶۰۰۰)	(۱۵۰۰/۳۳۳۳٫۶۰۰۰)	(۱۵۰۰/۳۳۳۳٫۶۰۰۰)	(۱۵۰۰/۳۳۳۳٫۶۰۰۰)
A۹	(۱٫۷۵۰۰/۱٫۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱٫۷۵۰۰/۱٫۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱۵۰۰/۳۳۳۳٫۶۰۰۰)	(۱٫۷۷۷۸/۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(۱۵۰۰/۳۳۳۳٫۶۰۰۰)	(۳۵۰۰/۵۵۵۶٫۸۶۶۷)
A۱۰	(۱٫۷۷۷۸/۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(۱٫۷۷۷۸/۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(۱۵۰۰/۳۳۳۳٫۶۰۰۰)	(۱٫۷۷۷۸/۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(۳۵۰۰/۵۵۵۶٫۸۶۶۷)	(۳۵۰۰/۵۵۵۶٫۸۶۶۷)
A۱۱	(۱٫۷۷۷۸/۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(۱٫۷۷۷۸/۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(۱٫۷۵۰۰/۱٫۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱٫۷۵۰۰/۱٫۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱٫۷۷۷۸/۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(۱٫۷۷۷۸/۵۵۰۰/۱۳۳۳)
A۱۲	(۱٫۷۵۰۰/۱٫۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱٫۷۷۷۸/۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(۱۵۰۰/۳۳۳۳٫۱۱۱۱)	(۱۵۰۰/۳۳۳۳٫۶۰۰۰)	(۳۵۰۰/۵۵۵۶٫۸۶۶۷)	(۱۵۰۰/۳۳۳۳٫۶۰۰۰)
A۱۳	(۱٫۷۷۷۸/۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(۱٫۷۷۷۸/۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(۱۵۰۰/۳۳۳۳٫۶۰۰۰)	(۱۵۰۰/۳۳۳۳٫۶۰۰۰)	(۳۵۰۰/۵۵۵۶٫۸۶۶۷)	(۳۵۰۰/۵۵۵۶٫۸۶۶۷)
A۱۴	(۱٫۷۵۰۰/۱٫۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱٫۷۷۷۸/۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(۱۵۰۰/۳۳۳۳٫۶۰۰۰)	(۱۵۰۰/۳۳۳۳٫۶۰۰۰)	(۳۵۰۰/۵۵۵۶٫۸۶۶۷)	(۳۵۰۰/۵۵۵۶٫۸۶۶۷)
A۱۵	(۱٫۷۵۰۰/۱٫۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱٫۷۵۰۰/۱٫۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱۵۰۰/۳۳۳۳٫۶۰۰۰)	(۱٫۷۵۰۰/۱٫۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱٫۷۵۰۰/۱٫۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱٫۷۵۰۰/۱٫۰۰۰۰/۳۳۳۳)
A۱۶	(۱٫۷۷۷۸/۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(۳۵۰۰/۵۵۵۶٫۸۶۶۷)	(۱۵۰۰/۳۳۳۳٫۶۰۰۰)	(۱٫۷۷۷۸/۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(۳۵۰۰/۵۵۵۶٫۸۶۶۷)	(۳۵۰۰/۵۵۵۶٫۸۶۶۷)
A۱۷	(۱٫۷۵۰۰/۱٫۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱٫۷۵۰۰/۱٫۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱۱۱۱/۳۳۳۳٫۰۰۰۰)	(۱٫۷۵۰۰/۱٫۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱٫۷۵۰۰/۱٫۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱٫۷۷۷۸/۵۵۰۰/۱۳۳۳)
A۱۸	(۱٫۷۵۰۰/۱٫۰۰۰۰/۳۳۳۳)	(۱٫۷۷۷۸/۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(۱۱۱۱/۳۳۳۳٫۰۰۰۰)	(۱٫۷۷۷۸/۵۵۰۰/۱۳۳۳)	(۳۵۰۰/۵۵۵۶٫۸۶۶۷)	(۱۵۰۰/۳۳۳۳٫۶۰۰۰)

جدول ۶. عملکرد وزنی طرح‌های پیشنهادی

طرح	C۱	C۲	C۳	C٤	C۵	C٦
A۱	(۱۸۷۵/۲۵۰۰/۳۳۰۰)	(۱۳۲۰/۱۸۶۷/۲۷۲۰)	(۰۰۳۰/۰۰۶۷/۰۱۲۰)	(۰۶۶۵/۰۱۰۵۶/۱۶۴۷)	(۰۲۴۰/۰۵۳۳/۰۹۶۰)	(۰۰۰۰/۰۰۱۷۸/۰۵۳۳)
A۲	(۱۸۷۵/۲۵۰۰/۳۳۰۰)	(۱۸۰۰/۲۴۰۰/۳۲۰۰)	(۰۰۷۰/۰۱۱۱/۰۱۷۳)	(۰۶۶۵/۰۱۰۵۶/۱۶۴۷)	(۰۰۰۰/۰۰۱۷۸/۰۵۳۳)	(۰۵۶۰/۰۸۸۹/۱۳۸۷)
A۳	(۱۸۷۵/۲۵۰۰/۳۳۰۰)	(۱۳۲۰/۱۸۶۷/۲۷۲۰)	(۰۰۳۰/۰۰۶۷/۰۱۲۰)	(۰۲۸۵/۰۶۳۳/۱۱۴۰)	(۰۰۰۰/۰۰۱۷۸/۰۵۳۳)	(۰۵۶۰/۰۸۸۹/۱۳۸۷)
A۴	(۱۸۷۵/۲۵۰۰/۳۳۰۰)	(۱۳۲۰/۱۸۶۷/۲۷۲۰)	(۰۰۳۰/۰۰۶۷/۰۱۲۰)	(۰۲۸۵/۰۶۳۳/۱۱۴۰)	(۰۰۰۰/۰۰۱۷۸/۰۵۳۳)	(۰۵۶۰/۰۸۸۹/۱۳۸۷)
A۵	(۱۸۷۵/۲۵۰۰/۳۳۰۰)	(۱۳۲۰/۱۸۶۷/۲۷۲۰)	(۰۰۳۰/۰۰۶۷/۰۱۲۰)	(۱۰۴۵/۱۴۷۸/۲۱۵۳)	(۰۲۴۰/۰۵۳۳/۰۹۶۰)	(۰۰۰۰/۰۰۱۷۸/۰۵۳۳)
A۶	(۱۳۷۵/۱۹۴۵/۲۸۳۳)	(۰۸۴۰/۱۳۳۳/۲۰۸۰)	(۰۱۵۰/۰۲۰۰/۰۲۶۷)	(۰۶۶۵/۰۱۰۵۶/۱۶۴۷)	(۰۰۰۰/۰۰۱۷۸/۰۵۳۳)	(۰۵۶۰/۰۸۸۹/۱۳۸۷)
A۷	(۱۳۷۵/۱۹۴۵/۲۸۳۳)	(۱۳۲۰/۱۸۶۷/۲۷۲۰)	(۰۰۰۰/۰۰۲۲/۰۰۶۷)	(۰۲۸۵/۰۶۳۳/۱۱۴۰)	(۰۵۶۰/۰۸۸۹/۱۳۸۷)	(۰۵۶۰/۰۸۸۹/۱۳۸۷)
A۸	(۱۸۷۵/۲۵۰۰/۳۳۰۰)	(۱۸۰۰/۲۴۰۰/۳۲۰۰)	(۰۰۳۰/۰۰۶۷/۰۱۲۰)	(۰۲۸۵/۰۶۳۳/۱۱۴۰)	(۰۲۴۰/۰۵۳۳/۰۹۶۰)	(۰۲۴۰/۰۵۳۳/۰۹۶۰)
A۹	(۱۸۷۵/۲۵۰۰/۳۳۰۰)	(۱۸۰۰/۲۴۰۰/۳۲۰۰)	(۰۰۳۰/۰۰۶۷/۰۱۲۰)	(۱۰۴۵/۱۴۷۸/۲۱۵۳)	(۰۲۴۰/۰۵۳۳/۰۹۶۰)	(۰۵۶۰/۰۸۸۹/۱۳۸۷)
A۱۰	(۱۳۷۵/۱۹۴۵/۲۸۳۳)	(۱۳۲۰/۱۸۶۷/۲۷۲۰)	(۰۰۳۰/۰۰۶۷/۰۱۲۰)	(۱۰۴۵/۱۴۷۸/۲۱۵۳)	(۰۵۶۰/۰۸۸۹/۱۳۸۷)	(۰۵۶۰/۰۸۸۹/۱۳۸۷)
A۱۱	(۱۸۷۵/۲۵۰۰/۳۳۰۰)	(۱۳۲۰/۱۸۶۷/۲۷۲۰)	(۰۱۵۰/۰۲۰۰/۰۲۶۷)	(۱۴۲۵/۱۹۰۰/۲۵۳۳)	(۰۸۸۰/۱۲۴۴/۱۸۱۳)	(۰۸۸۰/۱۲۴۴/۱۸۱۳)
A۱۲	(۱۸۷۵/۲۵۰۰/۳۳۰۰)	(۱۳۲۰/۱۸۶۷/۲۷۲۰)	(۰۰۰۰/۰۰۲۲/۰۰۶۷)	(۰۲۸۵/۰۶۳۳/۱۱۴۰)	(۰۵۶۰/۰۸۸۹/۱۳۸۷)	(۰۲۴۰/۰۵۳۳/۰۹۶۰)
A۱۳	(۱۳۷۵/۱۹۴۵/۲۸۳۳)	(۱۳۲۰/۱۸۶۷/۲۷۲۰)	(۰۰۳۰/۰۰۶۷/۰۱۲۰)	(۰۲۸۵/۰۶۳۳/۱۱۴۰)	(۰۵۶۰/۰۸۸۹/۱۳۸۷)	(۰۵۶۰/۰۸۸۹/۱۳۸۷)
A۱۴	(۱۸۷۵/۲۵۰۰/۳۳۰۰)	(۱۳۲۰/۱۸۶۷/۲۷۲۰)	(۰۰۳۰/۰۰۶۷/۰۱۲۰)	(۰۲۸۵/۰۶۳۳/۱۱۴۰)	(۰۵۶۰/۰۸۸۹/۱۳۸۷)	(۰۵۶۰/۰۸۸۹/۱۳۸۷)
A۱۵	(۱۸۷۵/۲۵۰۰/۳۳۰۰)	(۱۸۰۰/۲۴۰۰/۳۲۰۰)	(۰۰۳۰/۰۰۶۷/۰۱۲۰)	(۱۴۲۵/۱۹۰۰/۲۵۳۳)	(۱۲۰۰/۱۶۰۰/۲۱۳۳)	(۱۲۰۰/۱۶۰۰/۲۱۳۳)
A۱۶	(۱۳۷۵/۱۹۴۵/۲۸۳۳)	(۱۸۰۰/۲۴۰۰/۳۲۰۰)	(۰۰۳۰/۰۰۶۷/۰۱۲۰)	(۱۰۴۵/۱۴۷۸/۲۱۵۳)	(۰۵۶۰/۰۸۸۹/۱۳۸۷)	(۰۵۶۰/۰۸۸۹/۱۳۸۷)
A۱۷	(۱۸۷۵/۲۵۰۰/۳۳۰۰)	(۱۳۲۰/۱۸۶۷/۲۷۲۰)	(۰۰۰۰/۰۰۲۲/۰۰۶۷)	(۱۴۲۵/۱۹۰۰/۲۵۳۳)	(۱۲۰۰/۱۶۰۰/۲۱۳۳)	(۰۸۸۰/۱۲۴۴/۱۸۱۳)
A۱۸	(۱۸۷۵/۲۵۰۰/۳۳۰۰)	(۱۸۰۰/۲۴۰۰/۳۲۰۰)	(۰۰۰۰/۰۰۲۲/۰۰۶۷)	(۱۰۴۵/۱۴۷۸/۲۱۵۳)	(۰۵۶۰/۰۸۸۹/۱۳۸۷)	(۰۲۴۰/۰۵۳۳/۰۹۶۰)

جدول ۷. عملکرد کل هر طرح، درجه بزرگی و رتبه‌بندی نهایی

طرح چیدمان	عملکرد کل	درجه بزرگی	درجه بزرگی متعادل شده	رتبه
A۱	(./۹۲۸۰،./۶۲۰۱،./۴۱۳۰)	./۳۱۱۶	./۰۳۵۱	۱۵
A۲	(۱/۰۲۴۰،./۷۱۳۴،./۴۹۷۰)	./۴۸۰۲	./۰۵۴۱	۸
A۳	(./۹۲۰۰،./۶۱۳۴،./۴۰۷۰)	./۲۹۸۱	./۰۳۳۶	۱۶
A۴	(./۹۲۰۰،./۶۱۳۴،./۴۰۷۰)	./۲۹۸۱	./۰۳۳۶	۱۶
A۵	(./۹۷۸۶،./۶۶۲۳،./۴۵۱۰)	./۳۹۵۸	./۰۴۴۶	۱۰
A۶	(./۸۷۴۷،./۵۶۰۱،./۳۵۹۰)	./۲۱۴۱	./۰۲۴۱	۱۸
A۷	(./۹۵۳۴،./۶۲۴۵،./۴۱۰۰)	./۳۴۴۰	./۰۳۸۷	۱۴
A۸	(./۹۶۸۰،./۶۶۶۶،./۴۴۷۰)	./۳۸۷۳	./۰۴۳۶	۱۱
A۹	(۱/۱۱۲۰،./۷۸۶۷،./۵۵۵۰)	./۶۲۰۰	./۰۶۹۸	۴
A۱۰	(۱/۰۶۰۰،./۷۱۳۵،./۴۸۹۰)	./۵۱۱۵	./۰۵۷۶	۷
A۱۱	(۱/۲۴۴۶،./۸۹۵۵،./۶۵۳۰)	./۸۱۵۵	./۰۹۱۸	۳
A۱۲	(./۹۵۷۴،./۶۴۴۴،./۴۲۸۰)	./۳۶۰۷	./۰۴۰۶	۱۲
A۱۳	(./۹۵۸۷،./۶۲۹۰،./۴۱۳۰)	./۳۵۲۶	./۰۳۹۷	۱۳
A۱۴	(۱/۰۰۵۴،./۶۸۴۵،./۴۶۳۰)	./۴۳۹۳	./۰۴۹۵	۹
A۱۵	(۱/۰۰۶۷،./۷۵۳۰ ۱/۳۴۱۹،)	۱/۰۰۰۰	./۱۱۲۶	۱
A۱۶	(۱/۱۰۸۱،./۷۶۶۸،./۵۳۷۰)	./۵۹۶۷	./۰۶۷۲	۶
A۱۷	(۱/۲۵۶۶،./۹۱۳۳،./۶۷۰۰)	./۸۴۳۶	./۰۹۵۰	۲
A۱۸	(۱/۱۰۶۷،./۷۸۲۲،./۵۵۲۰)	./۶۱۱۷	./۰۶۸۹	۵

۵. نتیجه‌گیری وپیشنهادها

در این مقاله از توسعه فازی روش PSI و ترکیب آن با روش بونیسون جهت رتبه‌بندی طرح‌های چیدمان تسهیلات استفاده شد. این روش قابلیت به‌کارگیری همزمان معیارهای کمّی و کیفی جهت مقایسه طرح‌های مختلف را دارا می‌باشد. از جمله برتری‌های این روش نسبت به سایر روش‌های تصمیم‌گیری، سادگی، معقولانه و قابل فهم بودن آن می‌باشد، همچنین در این روش طرح چیدمان بهینه بدون در نظر گرفتن اهمیت نسبی بین معیارها (وزن معیارها) که معمولاً از طریق نظر خبرگان تعیین می‌شوند، به‌دست می‌آید زیرا عدم آشنایی کافی خبرگان با مسأله موجب ایجاد ارزش‌های معیار نامناسب و در نتیجه انتخاب طرح‌های ناکارآمد خواهد شد. همچنین با ترکیب فرضیه مجموعه‌های فازی با این روش، کارایی آن باتوجه به وجود معیارهای کیفی در مسائل و توانایی بیشتر اعداد فازی در انعکاس نظر خبرگان بهبود داده شد. به‌منظور بررسی صحت مدل، نتایج روش پیشنهادی با نتایج روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره‌ی سایر محققین که از مطالعه‌ی موردی حاضر در کار خود استفاده نمودند، در جدول ۸ مقایسه گردید. در روش GRA که به‌دلیل عدم اطلاعات کافی برای مشخص کردن آن‌ها با ابهام در اعداد مواجه است مشاهده می‌شود که نتایج، دارای تفاوت چشمگیری با نتایج روش پیشنهادی که به‌صورت فازی و در شرایطی خود داده مبهم می‌باشد وجود ندارد. این مقایسه را می‌توان بین روش

پیشنهادی با روش‌های دیگر نیز انجام داد. همچنین جهت مقایسه بهتر، نتایج سایر روش‌ها با استفاده از روش کاپلند [۳] ادغام شد تا مقایسه بهتری با روش پیشنهادی صورت گیرد. نتایج روش کاپلند در جدول ۹ ارائه شده است. این مقایسه، نشان‌دهنده شباهت در اولویت رتبه‌بندی طرح‌ها می‌باشد. برای این کار از آزمون مقایسه‌ی دو گروه همبسته ویلکاکسون به کمک نرم‌افزار SPSS استفاده شد. مقدار آماره آزمون ۰/۱۳۱- با سطح معنی‌داری ۰/۸۹۶ نشان‌دهنده‌ی عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین رتبه‌های روش پیشنهادی و روش کاپلند می‌باشد. باتوجه به اینکه روش کاپلند از برآیند سایر روش‌های اجراءشده به‌دست‌آمده است، و همچنین شباهت نتایج روش پیشنهادی با آن، می‌توان این روش را روشی کارا تلقی کرد. در روش پیشنهادی، طرح‌های چیدمان اولیه با استفاده از نرم‌افزار اسپیرال تهیه شده‌اند، این نرم‌افزارها غالباً به‌دلیل تک‌هدفه بودن –حداقل کردن هزینه حمل و نقل– توانایی بالایی در ارائه‌ی پیشنهادهای اولیه ندارند که این امر، خود، کارایی را کاهش خواهد داد. بنابراین پیشنهاد می‌شود با به‌کارگیری روش‌هایی که قادر به ایجاد طرح‌های رضایت‌بخش هستند مانند الگوریتم ژنتیک و کلونی مورچگان طرح‌های اولیه ایجاد گردند.

جدول ۸. مقایسه نتایج روش‌های پیشنهادی با نتایج سایر روش‌های تصمیم‌گیری

طرح	روش پیشنهادی	GRA [۲۰]	TOPSIS [۲۹]	FUZZY TOPSIS [۲۹]	DEA [۳۰]
A۱	۱۵	۱۰	۱۶	۱۳	۱۰
A۲	۸	۸	۹	۹	۴
A۳	۱۶	۱۵	۱۰	۱۴	۱۵
A۴	۱۶	۱۱	۴	۴	۱۱
A۵	۱۰	۱۳	۱۲	۱۲	۱۴
A۶	۱۸	۱۶	۶	۱۶	۶
A۷	۱۴	۱۷	۱۸	۱۷	۱۸
A۸	۱۱	۷	۱۳	۶	۷
A۹	۴	۵	۱۵	۱۱	۸
A۱۰	۷	۹	۳	۷	۱۲
A۱۱	۳	۳	۱	۱	۱
A۱۲	۱۲	۱۸	۱۷	۱۵	۱۷
A۱۳	۱۳	۱۴	۱۴	۱۸	۱۶
A۱۴	۹	۱۲	۵	۸	۱۳
A۱۵	۱	۱	۲	۲	۱
A۱۶	۶	۶	۸	۱۰	۵
A۱۷	۲	۲	۷	۵	۹
A۱۸	۵	۴	۱۱	۳	۱

جدول۹. مقایسه نتایج روش پیشنهادی و روش کاپلند

طرح	تعداد پیروزی‌ها	تعداد شکست‌ها	تفاضل پیروزی‌ها و شکست‌ها	رتبه‌بندی	روش پیشنهادی
A۱	۴	۹	-۵	۱۲	۱۵
A۲	۸	۴	۴	۶	۸
A۳	۳	۱۳	-۱۰	۱۵	۱۶
A۴	۷	۳	۴	۶	۱۶
A۵	۴	۱۱	-۷	۱۴	۱۰
A۶	۳	۸	-۵	۱۲	۱۸
A۷	۰	۱۷	-۱۷	۱۸	۱۴
A۸	۸	۵	۳	۸	۱۱
A۹	۶	۶	۰	۱۰	۴
A۱۰	۸	۵	۳	۸	۷
A۱۱	۱۷	۰	۱۷	۱	۳
A۱۲	۱	۱۶	-۱۵	۱۷	۱۲
A۱۳	۲	۱۵	-۱۳	۱۶	۱۳
A۱۴	۶	۷	-۱	۱۱	۹
A۱۵	۱۶	۱	۱۵	۲	۱
A۱۶	۹	۴	۵	۵	۶
A۱۷	۱۲	۲	۱۰	۴	۲
A۱۸	۱۴	۲	۱۲	۳	۵

منابع

۱. آذر، عادل؛ فرجی، حجت (۱۳۸۱). "*علم مدیریت فازی*"، تهران، اجتماع.

۲. اصغرپور، محمد جواد (۱۳۸۸). "*تصمیم‌گیری چندمعیاره*"، تهران، دانشگاه تهران.

۳. اصغری‌زاده، عزت‌الله؛ انصاری، منوچهر، و کیانی‌ماوی، زهرا (۱۳۸۵). "*وزن‌دهی و رتبه‌بندی شاخص‌های مؤثر بر کیفیت لاستیک خودرو با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه*" دانش مدیریت، ۱۹ (۷۵)، ۲۱-۳.

۴. خاضکی، حمیدرضا؛ شاهنده، علی؛ و حجازی، سیّدرضا (۱۳۸۷). "*کاربرد تصمیم‌گیری فازی در برنامه‌ریزی جانمایی تسهیلات*" استقلال، ۲۷ (۲)، ۴۷-۳۱.

۵. عطائی، محمد (۱۳۸۸). "*تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی*"، شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود.

۶. نوری، حمید؛ رادفورد، راسل (۱۳۸۸). "*مباحث نوین در مدیریت تولید و عملیات*"، دردانه داوری، بنفشه بهنام، هاله ولیان، تهران، سازمان مدیریت صنعتی.

۷. وینچه، عبداله هادی؛ قاسمی، امیرمحمد (۱۳۸۸). "*یک مدل بهینه‌سازی وزین غیر خطی جهت رتبه‌بندی مدل‌های مختلف چیدمان در مسأله طراحی چیدمان تسهیلات*"، مجله ریاضیات کاربردی واحد لاهیجان، ۶ (۲۳)، ۶۰-۵۱.

۸. Abbasbandy, S, Amirfakhrian, M (۲۰۰۶) «Numerical approximation of fuzzy functions by fuzzy polynomials» Mathematics and Computation, ۱۷۴, ۲: ۱۰۰۱-۱۰۰۶.

۹. Aiello, G, Enea, M, Galante, G (۲۰۰۶) «A multi-objective approach to facility layout problem by genetic search algorithm and Electre method» Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, ۲۲, ۵-۶: ۴۴۷-۴۵۵.

۱۰. Baykasoglu, Adil, Dereli, Turkay, Sabuncu, Ibrahim (۲۰۰۶) «An ant colony algorithm for solving budget constrained and unconstrained dynamic facility layout problems» The International Journal of Management Science, ۳۴, ۴: ۳۸۵-۳۹۶.

۱۱. Cambron, Kenneth E, Evans, Gerald W (۱۹۹۱) «Layout design using the analytic hierarchy process» Computers and Industrial Engineering, ۲۰, ۲: ۲۱۱-۲۲۹.

۱۲. Deb, S.K, Bhattacharyya, B (۲۰۰۵) «Fuzzy decision support system for manufacturing facilities layout planning» Decision Support Systems, ۴۰, ۲: ۳۰۵-۳۱۴.

۱۳. Ertay, Tijen, Ruan, Da, Tuzkaya, Umut Rifat (۲۰۰۶) «Integrated data envelopment analysis and analytic hierarchy for the facility layout design in manufacturing systems» Information science, ۱۷۶, ۳: ۲۳۷-۲۶۲.

۱۴. Gao, Shang, Zhang, Zaiyue (۲۰۰۹) «Multiplication operation on fuzzy numbers» Journal of Software, ۴, ۴: ۳۳۱-۳۳۸.

۱۵. Ghaseminejad, Amin, Navidi, Hamidreza, Bashiri, Mahdi (۲۰۱۱) «Using data envelopment analysis and TOPSIS method for solving flexible bay structure layout» International Journal of Management Science, ۶, ۱: ۴۹-۵۷.

۱۶. Gonzalez-Cruz, Ma Carmen, Martinez, Eliseo Gomez-Senent (۲۰۱۱) «An entropy-based algorithm to solve the facility layout design problem» Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, ۲۷, ۱: ۸۸-۱۰۰.

۱۷. Grobelny, Jerzy (۱۹۸۷) «The fuzzy approach to facilities layout problems» Fuzzy sets and systems, ۲۳, ۲: ۱۷۵-۱۹۰.

۱۸. Houshyar, Abdolazim (۱۹۹۱) «Computer aided facility layout:An interactive multi-goal approach» Computers and Industrial Engineering, ۲۰, ۲: ۱۷۷-۱۸۶.

۱۹. Karray, Fakhreddine, Zaneldin, Essam, Hegazy, Tarek, Shabeeb, Abdulkarim H.M, Elbeltagi, Emad (۲۰۰۰) «Tools of soft computing as applied to the problem of facilities layout planning» IEEE Transactions On Fuzzy Systems, ۸, ۴: ۳۶۷-۳۷۹.

۲۰. Kuo, Yiyo, Yang, Taho, Huang, Guan-wei (۲۰۰۸) «The use of grey relational analysis in solving multiple attribute decision-making problems» Computer & Industrial Engineering, ۵۵, ۱: ۸۰-۹۳.

۲۱. Maniya, K.D, Bhatt, M.G (۲۰۱۱) «An alternative multiple attribute decision making methodology for solving optimal facility layout design selection problems» Computer & Industrial Engineering, ۶۱, ۳: ۵۴۲-۵۴۹.

۲۲. Mckendall Jr, Alan R, Shang, Jin (۲۰۰۶) «Hybrid ant systems for the dynamic facility layout problem» Computer & Operations Research, ۳۳, ۳: ۷۹۰-۸۰۳.

۲۳. Ning, Xin, Lam, Ka-Chi, Lam, Mike Chun-Kit (۲۰۱۰) «Daynamic construction site layout planning using max-min ant system» Automation in construction, ۱۹, ۱: ۵۵-۶۵.

۲۴. Partovi, Fariborz Y, Burton, Jonathan (۱۹۹۲) «An analytical hierarchy approach to facility layout» Computers & Industrial Engineering, ۲۲, ۴: ۴۴۷-۴۵۷.

۲۵. Scholz, Daniel, Jaehn, Florian, Junker, Andreas (۲۰۱۱) «Extensions to STaTS for practical applications of the facility layout problem» Europen Journal of Operational Research, ۲۰۴, ۳: ۴۶۳-۴۷۲.

۲۶. Shang, Jen S (۱۹۹۳) «Multicriteria facility layout problem:An integrated approach» European Journal of Operational Research, ۶۶, ۳: ۲۹۱-۳۰۴.

۲۷. Shouman, M.A, Nawara, G.M, Mohamed, H.E, Shaer, R.H (۲۰۰۴) «Genetic algorithm approach for solving multi-objective facility layout problem» Alexandria Engineering Journal, ۴۳, ۳: ۲۸۵-۲۹۵.

۲۸. Taghavi, Ali, Murat, Alper (۲۰۱۱) «A heuristic procedure for the integrated facility layout design and flow assignment problem» Computer & Industrial Engineering, ۶۱, ۱: ۵۵-۶۳.

۲۹. Yang, Taho, Hung, Chih-Ching (۲۰۰۷) «Multiple-attribute decision making methods for plant layout design problem» Robotic and Computer-Integrated Manufacturing, ۲۳, ۱: ۱۲۶-۱۳۷.

۳۰. Yang, Taho, Kuo, Chunwei (۲۰۰۳) «A hierarchical AHP/DEA methodology for the facilities layout design problem» Europen Journal of Operational research, ۱۴۷, ۱: ۱۲۸-۱۳۶.