کاربرد تصمیم‌گیری فازی در برنامه ریزی جانمایی تسهیلات

حمید رضا خاضکی[*]، علی شاهنده[**] و سید رضا حجازی[**]

دانشکدهٔ مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت مقاله: ۸۴/۵/۱– دریافت نسخه نهایی: ۸۷/۸/۱۵)

چکیده – در رابطه بااستقرار و برنامه ریزی تسهیلات عاملهای متعددی به‌صورت کمی و کیفی مطرح‌اند که ممکن است تاثیر آنها بر روی ارتباط بین تسهیلات متفاوت باشد. استفاده ازنظریه مجموعه‌های فازی[1] در برنامه ریزی تسهیلات باعث می‌شود که بتوان با ترکیب داده‌های کمی و کیفی موثر بر جانمایی، جدول رابطه بین تسهیلات را به صورتی رضایتبخش به‌دست آورد. در این مقاله یک رویکرد قوی، براساس نظریه مجموعه‌های فازی، به منظور بهبود فرایند جانمایی تسهیلات پیشنهاد شده است. در این رویکرد از فرایند تحلیل سلسله مراتبی(AHP)[2]، برای تعیین وزن عاملها استفاده و یک برنامه رایانه‌ای به نام FDARC[3] برای تولید جداول کمی رابطه فعالیتها توسعه داده شده است. جداول توسعه داده شده توسط برنامه دیگری به نام FLAYOUT[4] برای بهبود جانمایی‌ها استفاده گردیده است. نتایج محاسباتی اثربخشی و کارایی این روش را در مقایسه با روشهای مطرح دیگر نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی : جانمایی تسهیلات، تصمیم‌گیری فازی، فرایند تحلیل سلسله مراتبی

Application of Fuzzy Decision-Making to Facility Layout Planning

H.R.Khazaki, A.Shahandeh, and S.R. Hejazi

Department of Industrial & Systems Engineering, Isfahan University of Technology

Abstract: ***This research proposes a vigorous methodology based on the fuzzy set theory to improve the facility layout process. Using natural language, the fuzzy set theory is an appropriate tool for controlling complex systems such as facility planning. The closeness rating between departments in a plant depends on qualitative and quantitative factors. Some of these factors may have a greater effect on the closeness rating. Thus, analytical hierarchy process (AHP) is used to find the weight of these factors. In this paper, a computer program, called FDARC, is developed to generate quantitative activity relationship charts. These charts are used by FLAYOUT to develop the layouts. The procedure is compared with two other recent methods. Computational results are used to demonstrate the effectiveness and efficiency of the method proposed.***

Keywords: ***Facility layout, Fuzzy decision-making, Analytical hierarchy process.***

---

* – کارشناس ارشد ** – استادیار

۱- مقدمه

مسئله جانمایی یکی از مسائل مهم برنامه ریزی تسهیلات[5] است. یک جانمایی خوب باعث افزایش کارایی عملیات، امنیت و استفاده موثر از منابع انسانی، تجهیزات، فضا و انرژی شده کاهش حمل و نقل مواد و دوری از انسداد حرکات را در پی خواهد داشت [۱ و۲]. رویکرد جانمایی با استفاده از مجموعه‌ای از داده‌ها درباره محصولی که باید تولید شود، شروع می‌شود. این داده‌ها مانند جدول از- به،کمی هستند یا مانند جدول رابطه فعالیت‌ها[6] کیفی‌اند [۳]. بعضی از الگوریتمها فقط داده‌های کیفی را پذیرفته، در حالی که بقیه با داده‌های کمی کار می‌کنند. ناتوانی در تاثیر دادن همزمان مقادیر کمی و کیفی باعث کاهش کیفیت طرح استقرارمی شود. همچنین در بعضی مواقع ممکن است که نتوان این مقادیر کمّی ویا کیفی را به طور قطعی تعیین کرد. استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی در برنامه ریزی تسهیلات باعث می‌شود که بتوان با ترکیب داده‌های کمی و کیفی موثر بر جانمایی جدول کمی رابطه فعالیتها را به صورتی رضایت بخش توسعه داد.

ویلهلم وهمکاران[۴] یک رویکرد فازی برای مسائل جانمایی تسهیلات بر پایه متغیرهای زبانی فازی و ارتباطهای فازی ارائه کردند. در این روش به هر بخش یک رتبه انتخاب برای استقرار در جانمایی اختصاص می‌یابد و جانمایی به کمک شاخص رضایت‌مندی بین هر جفت از بخشها امتیازبندی می‌شود. در همان سال گربلنی [۵، ۶] یک رویکرد فازی برای مسئله جانمایی تسهیلات شامل شناسایی متغیرهای زبانی برای عاملهای کمی و کیفی اثرگذار بر ارتباطهای تسهیلات، انتخاب و تعیین مقادیر توابع عضویت برای متغیرهای زبانی و روشهای ابتکاری برای انتخاب و استقرار تسهیلات و ارزیابی جانمایی‌ها ارائه کرد. رائوت و راکشیت[۷] برای حل مسئله جانمایی، یک الگوریتم سازنده جانمایی فازی ارائه کردند. در این روش فاصله به عنوان یک متغیر فازی در نظر گرفته شد. ضمنا ازسه مسئله آزمایشی برای مقایسه الگوریتم پیشنهادی با الگوریتمهای آلدپ و کورلپ استفاده شده که نتایج به‌دست آمده پیشرفت چندانی را نشان نمی دهد. این دو محقق بعدا[۸] از نظریه مجموعه‌های فازی برای حل مسئله تخصیص درجه دوم چند هدفه استفاده کردند. یانگ و هونگ [۹] دو رویکرد برای حل مسئله جانمایی وطراحی استقرار براساس روش TOPSIS[7] و Fuzzy TOPSIS ارائه کردند. دیویری و میبر[۱۰] یک سیستم تصمیم‌گیری فازی برای محاسبه مقادیر عددی نزدیکی بین بخشها پیشنهاد دادند. در این روش عاملهای ورودی توسط فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) تعیین وزن می‌شوند. مشکل این روش این است که قبل از حل هر مسئله ای، باید مقادیر زبانی و شکل تابع عضویت این مقادیر برای مسئله مشخص گردد. در این روش، این مشخصه‌هابه طور دلخواه تعیین گشته ودرصورتی که شخص طراح، در این زمینه تجربه کافی نداشته باشد، ممکن است جواب‌های به‌دست آمده ناکارا باشند. روش کری و دیگران [۱۱] نیز مانند روش دیویری ومیبر بوده، با این تفاوت که در قسمت استنتاج از روش مستقیم ممدانی استفاده شده و یک الگوریتم ژنتیک[8] برای تعیین جانمایی پیشنهادگردیده است. جانمایی تولید شده در این روش به صورت گسسته بوده و تابع هدف نیز بر مبنای فاصله در نظر گرفته شده است. این روش مشکل بیان شده برای روش دویری و میبر را همچنان به همراه دارد. دب و باتاچاریا [۱۲ و۱۳] عاملهای ورودی را با وزنهای یکسان در نظر گرفته، قوانین اگر- آنگاه به صورت چند ورودی و یک خروجی طراحی شده‌اند، به این صورت که تمام عاملهای در نظرگرفته شده به طور همزمان به عنوان متغیرهای ورودی عمل می‌نمایند. این امر باعث افزایش چشمگیر قوانین شده و در نتیجه تعیین تجربی قوانین را مشکل می‌سازد. همچنین ممکن است که عاملهای ورودی از درجه اهمیت یکسانی برخوردارنباشند.

به دلیل طبیعت چند معیاره بودن مسئله جانمایی تسهیلات،

استفاده از روشهای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه[9] (MCDM) مانند TOPSIS، ELECTRE و AHP می‌تواند مفید باشد. این روشها برای مسائلی که ابهام و عدم قطعیت دارند نیز به صورت فازی توسعه یافته‌اند[۱۴]. روشهای TOPSIS و ELECTRE گزینه‌های موجود را با توجه به مشخصه‌ها رتبه‌بندی می‌کنند، اما روش AHP با محاسبه وزن نسبی گزینه‌ها رتبه‌بندی را انجام می‌دهد.

در این مقاله به‌دلیل برابر نبودن اهمیت عاملهای ورودی مانند جریان مواد، جریان اطلاعات و غیره، این عاملها با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) وزن دهی شده، با استفاده از عملگرهای پارامتری ورنرز و یاگر به جای عملگرهای معمول ماکزیمم و مینیمم، مورد ارزیابی قرار گرفته است. فاصله بین دو بخش (بین نقاط ورود و خروج بخشها) به صورت پله‌ای محاسبه گشته و تابع هدف، به‌صورت حداقل کردن هزینه حمل و نقل مواد(MHC) بین تسهیلات تعریف شده است. برای این منظور یک برنامه رایانه‌ای به نام جانمایی فازی (FLAYOUT) ارائه گشته است.

۲- مجموعه فازی و تصمیم‌گیری

نظریه مجموعه‌های فازی در دهه هفتاد توسط پروفسور لطفی عسکرزاده [۱۵] برای حل مسائل مبهم، غیردقیق و نامطمئن معرفی شد. مجموعه‌های فازی تعمیمی بر مجموعه‌های قطعی است. در نظریه مجموعه‌های قطعی، مجموعه‌ها به صورت معین تعریف می‌شوند. به عبارت دیگر هر مجموعه با یک ویژگی "خوش تعریف" مشخص می‌شود. اگر یک شیء مفروض، دارای آن ویژگی باشد، عضو مجموعه متناظر است و اگر نباشد، عضو آن نیست. حال فرض کنید درباره آن دسته از مجموعه اعداد صحبت شود که " بزرگ " باشند. در اینجا با یک ویژگی "ناخوش تعریف" و مبهم یعنی "بزرگ" مواجه می‌شویم. اینکه چه اعدادی بزرگ هستند و چه اعدادی بزرگ نیستند، بسته به افراد مختلف فرق می‌کند. بیشتر مفاهیم و ویژگی‌هایی که در زندگی واقعی به‌کاربرده می‌شوند این گونه‌اند، یعنی مفاهیمی نادقیق و مبهم هستند. نظریه مجموعه‌های فازی می‌تواند به‌صورت کمی با این ابهامات برخورد نماید و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد [۱۶].

یک مجموعه فازی مانند A از تعدادی زوج مرتب تشکیل شده است که جزء اول عضو را نشان داده و جزء دوم میزان عضویت آن عضو به مجموعه مورد نظر را می‌رساند. وقتی مجموعه مرجع X یک مجموعه متناهی است، می‌توان مجموعه فازی A برروی X را به صورت $A=\{(x,\mu_A(x)) ; x\in X\}$ بیان نمود[۱۶]. اجتماع و اشتراک دو مجموعه فازی جزء عملگرهای پایه‌ای نظریه مجموعه‌های فازی بوده و به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$(A\cup B)(x)=\max\left[A(x),B(x)\right] \qquad (۱)$$

$$(A\cap B)(x)=\min\left[A(x),B(x)\right] \qquad (۲)$$

اما این تعاریف، تنها تعاریف ممکن نیستند. تعریف‌های دیگری نیز برای اجتماع واشتراک دو مجموعه فازی ارایه شده است که هر کدام با توجه به ویژگی‌هایی که دارند، زمینه‌های کاربردی ویژه‌ای یافته‌اند.

ورنرز با ترکیب عملگرهای min وmax عملگرهای زیر را پیشنهاد کرد[۱۷]:

$$(A\cap B)(x)=r\min\{A(x),B(x)\}+\frac{(1-r)(A(x)+B(x))}{2},\quad r\in[0,1] \qquad (۳)$$

$$(A\cup B)(x)=r\max\{A(x),B(x)\}+\frac{(1-r)(A(x)+B(x))}{2},\quad r\in[0,1] \qquad (۴)$$

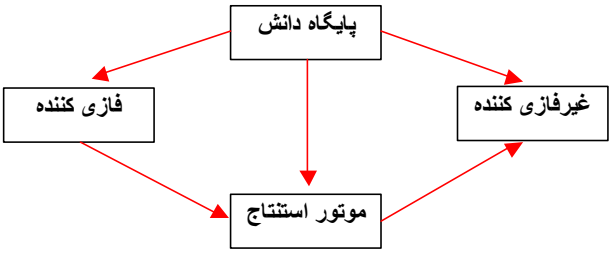
در صورتی که r =1 فرض شود، همان عملگرهای min وmax به‌دست می‌آیند.

یاگر اجتماع و اشتراک دو مجموعه فازی را به صورت زیر ارائه کرد [۱۸]:

$$(A\cap B)(x)=1-\min\left\{1,\left[(1-A(x))^r+(1-B(x))^r\right]^{1/r}\right\},\quad r\geq 1 \qquad (۵)$$

$$(A\cup B)(x)=\min\left\{1,\left[(A(x))^r+(B(x))^r\right]^{1/r}\right\},\quad r\geq 1 \qquad (۶)$$

وقتی r به سمت بینهایت میل کند، عملگرهای فوق به



شکل ۱- سیستم تصمیم گیری فازی [۱]

عملگرهای min و max میل می‌کنند.

منظور از یک متغیر زبانی متغیری است که مقادیرش کلمات یا جملات یک زبان طبیعی یا مصنوعی باشد [۱۹]. برای مثال جریان مواد یک متغیر زبانی است اگر مقادیر آن به جای آنکه عددی (مانند ۱۰۰ و ۱۲۰ و ۱۴۰) زبانی (مانند خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم) باشد. یک متغیر زبانی توسط یک پنج‌تایی مرتب (X,T(x),U,G,M) مشخص می‌شود که در آن X نام متغیر، U مجموعه مرجع و T(X) مجموعه مقادیر بیانی[۱۰] مربوط به متغیر X است (ترم یک مجموعه فازی است) که توسط قاعده نحوی[۱۱] G تولید می‌شودو سرانجام M یک قاعده معنایی[۱۲] است که به هر مقدار بیانی T(x) معنای آن را مربوط ساخته، یعنی تابع عضویت آن مقدار بیانی را مشخص می‌کند[۲].

یک سیستم تصمیم‌گیری فازی[۱۳](FDMS) از چهار ترکیب اصلی تشکیل شده است (شکل۱)[۲۰].

۱) فازی کننده[۱۴]: وظیفه فازی کننده خواندن مقادیر متغیرهای کنترلی و تبدیل آنها به یکی از مقادیر متغیرهای زبانی می‌باشد.

۲) پایگاه دانش[۱۵]: مجموعه‌ای از قواعد بوده که درتعریف آنها ازمتغیرهای زبانی استفاده می‌شود. تعداد مقادیری که هر متغیر زبانی اختیار می‌کند و تابع عضویت آن مقادیر در استدلال و قاعده‌های پایگاه اثر مستقیم دارد. این قوانین به شکل اگر- آنگاه می‌باشند.

۳) موتور استنتاج[۱۶]: پس از به‌دست آوردن قواعد کنترل کننده و تشکیل پایگاه دانش به موتور استنتاج نیاز است تا با پذیرفتن ورودی‌های فازی بر اساس قواعد پایگاه دانش، خروجی فازی مناسب را ایجاد نماید.

۴) غیر فازی کننده[۱۷]: خروجی فازی را به یک مقدار قطعی تبدیل می‌کند، روشهای مرکز ناحیه[۱۸] (COA)، اولین ماکزیمم[۱۹] (FOM)، و آخرین ماکزیمم[۲۰](LOM) در این قسمت مورد استفاده قرار گرفته است.

۳- فرموله بندی مسئله و روش

در روشهای سنتی جانمایی تسهیلات از جدول رابطه فعالیت‌ها برای توسعه جانمایی استفاده می‌شود.جدول رابطه فعالیت‌ها، براساس قضاوت افراد خبره تهیه شده و همواره نوعی ابهام در این تصمیم وجود داشته است. هنگامی که کارشناسان جانمایی کار برنامه ریزی جانمایی را شروع می‌کنند، بایستی تمامی متغیرهایی را که برجانمایی اثرگذار هستند، تاحد امکان در نظر داشته باشند. به علت تعداد، پیچیدگی و طبیعت مبهم این متغیرها که ممکن است بر تصمیم طراح اثرگذار باشند، نظریه مجموعه‌های فازی، ابزار مناسبی در این جهت می‌باشد [۳].

همان‌طور که قبلا گفته شد، یک سیستم تصمیم‌گیری فازی (FDMS) از چهار ترکیب اصلی با عنوان‌های پایگاه دانش، فازی کننده، موتور استنتاج وغیر فازی کننده تشکیل شده است. ابتدا لازم است که ورودی‌های این سیستم مشخص شده، سپس مجموعه مرجع، توابع عضویت و مقادیر زبانی برای آنها تعریف گردد. توابع عضویت با استفاده از دانش افراد خبره، مصاحبه با افراد و یا سوابق قبلی واحد یا واحدهای مشابه تعیین می‌شوند.

برخی از مهمترین عاملها (متغیرهای ورودی) به همراه مقادیر زبانی اختصاص یافته که توسط کارشناسان جانمایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، عبارتند از:

جریان مواد: خیلی بالا، بالا، متوسط، پایین، خیلی پایین.

جریان تجهیزات: خیلی بالا، بالا، متوسط، پایین، خیلی پایین.

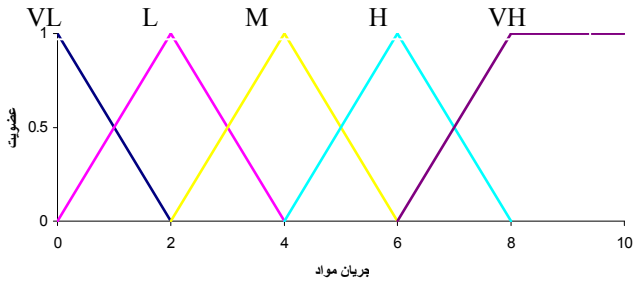
جریان پرسنلی: خیلی بالا، بالا، متوسط، پایین، خیلی پایین.

ارتباط نظارتی: بسیار ضروری، ضروری، متعادل، اندک، ناچیز.

ارتباط اطلاعاتی: بسیار قوی، قوی، متوسط، ضعیف، بسیارضعیف.

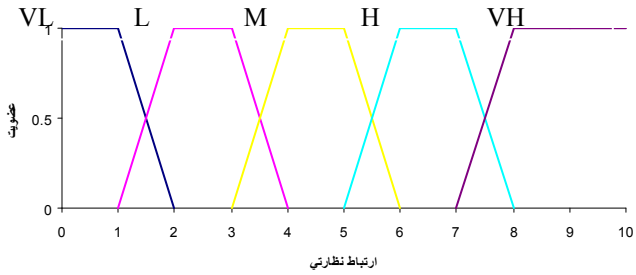
ارتباط محیطی: بسیارخطرناک، خطرناک، ناامن، امن، بسیارامن.

بر اساس گفته زاده[۱۵] برای تعیین توابع عضویت



خیلی بالا (VH)، بالا (H)، متوسط (M)، پایین (L)، خیلی پایین (VL)

شکل۲- توابع عضویت مثلثی برای جریان مواد [۱۲].



خیلی بالا (VH)، بالا (H)، متوسط (M)، پایین (L)، خیلی پایین (VL)

شکل۳- توابع عضویت ذوزنقه‌ای برای ارتباط نظارتی [۱۲].

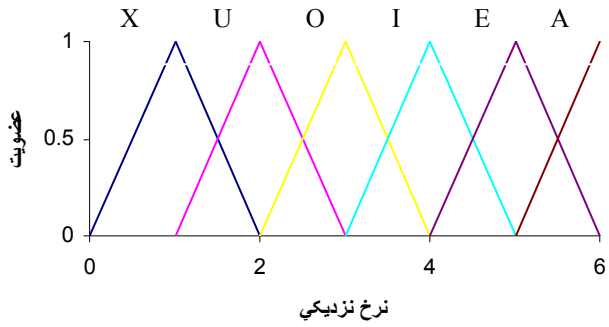
عاملهای ورودی از تجربه و دانش افراد خبره، یعنی روش ذهنی استفاده می‌شود. او نشان دادکه تعیین توابع عضویت ذهنی بوده و به تجربه فرد خبره بستگی دارد. شکل تابع عضویت، دانش، تجربه و سلیقه فرد خبره دربارهٔ اهمیت ارتباطها را نشان می‌دهد (شیب "تند" برای یک ارتباط مهم و شیب "پهن" برای ارتباطهای با اهمیت کمتر) [۱۲].

در این تحقیق برای تعیین مقادیر متغیرها از تجربه و دانش افراد خبره [۱۳] استفاده شده است یعنی برای عاملهای کمّی(جریان تجهیزات و جریان پرسنلی) توابع عضویت مثلثی مانند شکل(۲) و برای عاملهایی که بیشتر جنبه ذهنی دارند (ارتباط نظارتی، ارتباط اطلاعاتی و ارتباط محیطی) توابع عضویت ذوزنقه‌ای مانند شکل(۳) درنظرگرفته شده است. همان‌طورکه ملاحظه می‌گردد، مجموعه مرجع برای تمامی این متغیرها مجموعه [۱۰و۰] می‌باشد. برای متغیر خروجی یعنی نرخ‌های نزدیکی، مقادیر زبانی ضرورت مطلق (A)، بسیار مهم (E)، مهم (I)، معمولی (O)، غیرمهم (U) و نامطلوب (X) اختصاص یافته و توابع عضویت مثلثی طبق شکل(۴) در نظر گرفته شده است [۱۲].

قدم بعدی پس از فازی کردن متغیرهای ورودی و متغیر خروجی، ایجاد منطق تصمیم‌گیری[۲۱] (قوانین تصمیم[۲۲]) می‌باشد. این قوانین معمولاً به شکل اگر- آنگاه هستند [۱۰و۱۱]. برای این منظورابتدا عاملهای ورودی برای تمام ارتباطهای بین تسهیلات با استفاده از فرایندتحلیل سلسله مراتبی(AHP) که اولین بار توسط ساعتی[۲۱] پیشنهاد شد و مبنای آن مقایسه زوجی گزینه‌ها با یکدیگرمی باشد تعیین وزن می‌گردند. در این مقایسه‌ها تصمیم‌گیرندگان از قضاوت‌های شفاهی بر مبنای جدول (۱) استفاده می‌نمایند.

اگراهمیت عامل i بر عامل j را با a_{ij} نشان دهیم، اهمیت عامل j بر عامل i برابر با $1/a_{ij}$ است. بنابراین ماتریس A_{n*n} به صورت زیر تشکیل می‌شود:

$$A_{n*n} = [a_{ij}] \qquad i, j = 1, 2, ..., n \qquad (۷)$$



ضرورت مطلق (A)، بسیار مهم (E)، مهم (I)، معمولی (O)، غیرمهم (U) و نامطلوب (X)

شکل ۴- توابع عضویت برای متغیر خروجی [۱۲].

جدول۱- مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی [۸].

ترجیحات (قضاوت شفاهی)	مقدار عددی
کاملا مهمتریا کاملا مطلوبتر	۹
اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی	۷
اهمیت یا مطلوبیت قوی	۵
کمی مهمتر یا کمی مطلوبتر	۳
اهمیت یا مطلوبیت یکسان	۱
ترجیحات بین فواصل فوق	۸و۶و۴و۲

که n تعداد عاملها می‌باشد. در ماتریس فوق جهت محاسبه وزن هر عامل چندین روش پیشنهاد شده است. این روشها عبارتند از:

۱- روش حداقل مربعات معمولی

۲- روش حداقل مربعات لگاریتمی

۳- روش بردار ویژه

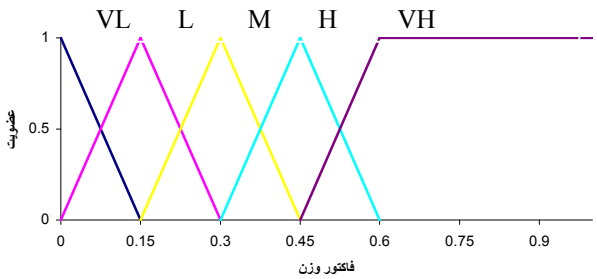
۴- روشهای تقریبی

روشهای تقریبی دقت کمتر اما قابل قبولی داشته و به‌دلیل محاسبات کمتر و ساده تری که دارند، اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش میانگین هندسی، یکی از این روشهای تقریبی است که در محاسبه وزن عاملها در فرایند جانمایی مورد استفاده قرار گرفته است [۳و۱۱].

اگر n تسهیل وجود داشته باشد، تعداد کل ارتباطات n*(n-1) خواهد بود. اکنون، لازم است که وزن را به عنوان یک عامل ورودی در نظر گرفته و متغیرهای زبانی و توابع عضویت این متغیرها را مشخص گردد. متغیرهای زبانی در نظر گرفته شده به صورت : خیلی بالا، بالا، متوسط، پایین و خیلی پایین بوده وتوابع عضویت مربوطه در شکل (۵) مشخص شده‌اند، که در این راستا، قوانین مربوطه به صورت زیر به‌دست می‌آیند:

اگر جریان مواد خیلی بالا و وزن آن خیلی بالا باشد، آنگاه نرخ نزدیکی A خواهد بود.

اگر جریان مواد خیلی پایین و وزن آن خیلی پایین باشد، آنگاه نرخ نزدیکی X خواهد بود. و به همین ترتیب کلیه قوانین به طورتجربی تعیین می‌شوند.این قوانین برای عاملهای پیشنهادی جریان مواد، جریان تجهیزات، جریان پرسنلی، ارتباط نظارتی، ارتباط اطلاعاتی وارتباط محیطی در شکل (۶) مشخص شده‌اند. همان طورکه ملاحظه می‌شود قوانین اگر- آنگاه شامل



خیلی بالا (VH)، بالا (H)، متوسط (M)، پایین (L)، خیلی پایین (VL)

شکل۵- توابع عضویت برای عامل وزن [۱۳].

MF/WF	بسیار پایین	پایین	متوسط	بالا	بسیار بالا
بسیار پایین	X	X	U	O	I
پایین	X	U	O	I	I
متوسط	U	O	I	I	E
بالا	O	I	I	E	E
بسیار بالا	I	I	E	E	A

(الف)

PF/WF	بسیار پایین	پایین	متوسط	بالا	بسیار بالا
بسیار پایین	X	X	U	O	I
پایین	X	U	O	I	I
متوسط	U	O	I	I	E
بالا	O	I	I	E	E
بسیار بالا	I	I	E	E	A

(ب)

EF/WF	بسیار پایین	پایین	متوسط	بالا	بسیار بالا
بسیار پایین	X	X	U	O	I
پایین	X	U	O	I	I
متوسط	U	O	I	I	E
بالا	O	I	I	E	E
بسیار بالا	I	I	E	E	A

(ج)

IL/WF	بسیار پایین	پایین	متوسط	بالا	بسیار بالا
بسیار ضعیف	X	X	U	O	O
ضعیف	X	U	O	O	I
متوسط	U	O	O	I	I
قوی	O	O	I	I	E
بسیار قوی	O	I	I	E	A

(د)

SL/WF	بسیار پایین	پایین	متوسط	بالا	بسیار بالا
ناچیز	X	X	U	O	O
اندک	X	U	O	O	I
متوسط	U	O	O	I	I
ضروری	O	O	I	I	E
بسیار ضروری	O	I	I	E	A

(ه)

EL/WF	بسیار پایین	پایین	متوسط	بالا	بسیار بالا
بسیار امن	I	I	E	E	A
امن	O	I	I	E	E
ناامن	O	O	U	U	X
خطرناک	O	U	U	X	X
بسیار خطرناک	U	U	X	X	X

(و)

شکل۶- قوانین اگر- آنگاه برای (الف) جریان مواد(MF) و عامل وزنی‌اش(WF) (ب) جریان پرسنلی(PF) و عامل وزنی‌اش (ج) جریان تجهیزات(EF) و عامل وزنی‌اش (د) ارتباط اطلاعاتی(IL) و عامل وزنی‌اش (ه) ارتباط نظارتی(SL) و عامل وزنی‌اش (و) ارتباط محیطی(EL) وعامل وزنی‌اش [۱۱].

جدول ۲- داده‌های ورودی بین ماشینها برای مثال توضیحی

	عامل ۱	عامل ۲	عامل۳	عامل ۴
ماشینها	جریان مواد	ارتباط نظارتی	ارتباط محیطی	ارتباط اطلاعاتی
۱-۲	۱	۵	۹	۱۰
۲-۱	۵	۸	۲	۲
۱-۳	۲	۳	۸	۵
۳-۱	۲	۲	۷	۶
۱-۴	۱	۱	۶	۸
۴-۱	۴	۶	۱	۹
۱-۵	۲	۸	۵	۲
۵-۱	۱	۳	۴	۵
۲-۳	۱	۲	۵	۷
۳-۲	۳	۲	۶	۸
۲-۴	۲	۹	۹	۵
۴-۲	۰	۱	۰	۰
۲-۵	۱	۲	۱	۲
۵-۲	۲	۳	۴	۳
۳-۴	۳	۸	۳	۳
۴-۳	۰	۰	۰	۰
۳-۵	۲	۱	۵	۶
۵-۳	۰	۰	۰	۰
۴-۵	۱	۱	۱	۵
۵-۴	۵	۸	۹	۸

دو ورودی و یک خروجی می‌باشند. تعداد کل قوانین از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$N = \sum_{j=1}^{m} \prod_{i=1}^{n} L_i \qquad (۸)$$

که N تعداد قوانین، m تعداد مجموعه قوانین، n تعداد متغیرهای ورودی و Li مقادیر بیانی مربوط به پارامترهای ورودی i ام را نشان می‌دهد.

پس از فازی کردن متغیرها و تشکیل پایگاه دانش، به موتور استنتاج نیاز است. موتور استنتاج ورودی‌های فازی را اخذ و براساس قوانین اگر- آنگاه خروجی فازی مناسب را تولید می‌نماید. روشی که در این قسمت به کار برده می‌شود روش ممدانی است که به کمک یک مثال توضیح داده می‌شود. خروجی فازی در ادامه با استفاده از یکی از روشهای غیرفازی کننده به اعداد نهایی (نرخهای نزدیکی) تبدیل می‌شود. این مقادیر می‌توانند برای توسعه یک جانمایی مورد استفاده قرار گیرند. جانمایی مزبور، کارا بوده چرا که در توسعه آن عاملهای زیادی با درجه اهمیت‌های مختلف در در نظر گرفته شده است. در ادامه با ذکریک مثال، روش پیشنهادی، توضیح داده می‌شود.

۴- مثال توضیحی

فرض کنید ۵ ماشین وجود دارد، عاملهای در نظر گرفته شده جریان مواد، ارتباط نظارتی، ارتباط محیطی و ارتباط اطلاعاتی بوده که مقادیرشان در جدول (۲) نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود تعداد کل ارتباطات ۲۰ می‌باشد (۴×۵).

جدول۳- شدت اهمیت عاملها برای مثال توضیحی

ماشینها	۱ بر ۲	۱ بر ۳	۱ بر۴	۲ بر ۳	۲ بر ۴	۳ بر ۴
۱-۲	۰/۱۷	۰/۲	۰/۱۷	۳	۲	۰/۵
۱-۳	۰/۵	۰/۱۴	۰/۲	۰/۱۷	۰/۲۵	۲
۱-۴	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۱۳	۱	۰/۱۴	۰/۱۴
۱-۵	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۲	۳	۴	۳
۲-۳	۱	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۳۳
۲-۴	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۱۷	۲	۵	۴
۲-۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۱	۱	۱
۳-۴	۰/۱۴	۱	۱	۷	۷	۱
۳-۵	۳	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۱۱	۰/۳۳
۴-۵	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۱۷	۰/۵	۰/۲۵	۰/۳۳

جدول ۴- محاسبه وزن عاملهای ورودی بین دو ماشین ۱و۲ مثال توضیحی

i/j	۱	۲	۳	۴	X	Y	P	F	Z
۱	۱	۰/۱۷	۰/۲	۰/۱۷	۰/۰۱	۰/۲۷	۰/۰۵	۰/۲۲	۴/۱۵
۲	۶	۱	۳	۲	۳۶	۲/۴۵	۰/۴۷	۱/۹۲	۴/۱۲
۳	۵	۰/۳۳	۱	۰/۵	۰/۸۳	۰/۹۶	۰/۱۸	۰/۷۵	۴/۱۰
۴	۶	۰/۵	۲	۱	۶	۱/۵۷	۰/۳	۱/۲۱	۴/۰۵
Σ						۵/۲۴			۱۶/۴۲

با استفاده از روش AHP، وزن هر عامل به‌دست می‌آید. شدت اهمیت عاملها توسط طراح تعیین شده و در جدول (۳) نشان داده شده است. برای مثال دو ماشین ۱ و ۲ را در نظر بگیرید، طراح عدد ۳ را به عنوان شدت اهمیت عامل ۲ بر عامل ۳ تخصیص داده است. این بدان معنی است که اهمیت عامل ۲ بر عامل ۳ کمی مهم تر می‌باشد. محاسبات مربوطه برای این دو بخش در جدول (۴) نشان داده شده است. وزن عامل ۱ برابر با ۰/۰۵۳، وزن عامل ۲ برابربا ۰/۴۶۶ ، وزن عامل ۳ برابر با ۰/۱۸۳ و وزن عامل ۴ برابر با ۰/۲۹۸ محاسبه گردیده است. وزن عاملها برای تمامی ارتباطها به همین صورت محاسبه شده و در جدول (۵) نشان داده شده است.

قدم بعدی فازی کردن متغیرها می‌باشد. این فرایند برای دو ماشین ۱ و ۲ به صورت زیر انجام می‌شود:

عامل ۱ (جریان مواد) برابر با ۱ می‌باشد (جدول ۲)، این مقدار متعلق به تابع عضویت بسیار پایین (VL) با میزان عضویت ۰/۵ و تابع عضویت پایین (L) با میزان عضویت ۰/۵ است (شکل ۲). وزن این عامل برابر با ۰/۰۵۳ محاسبه شد، که متعلق به تابع عضویت بسیار پایین (VL) با میزان عضویت ۰/۶۴۷ و تابع عضویت پایین (L) با میزان عضویت ۰/۳۵۳ است (شکل ۵).

این فرایند برای سه عامل بعدی نیز به همین صورت تکرار می‌شود. قدم بعدی اعمال قوانین اگر- آنگاه به نتایج به‌دست آمده از فازی کردن متغیرها می‌باشد. برای عامل ۱ مربوط به دو ماشین ۱ و ۲ قوانین زیر از شکل (۶) جدول الف استخراج می‌شوند:

قانون اول: اگر جریان مواد بسیار پایین و وزن آن بسیار پایین باشد، آنگاه نرخ نزدیکی X خواهد بود.

قانون دوم: اگر جریان مواد بسیار پایین و وزن آن پایین باشد، آنگاه نرخ نزدیکی X خواهد بود.

قانون سوم: اگر جریان مواد پایین و وزن آن بسیار پایین باشد،

جدول۵- وزن عاملها برای تمامی ارتباطهای مثال توضیحی

ارتباط اطلاعاتی	ارتباط محیطی	ارتباط نظارتی	جریان مواد	ماشینها
۰/۲۹۸	۰/۱۸۳	۰/۴۶۶	۰/۰۵۳	۱-۲
۰/۳۱۲	۰/۵۳۲	۰/۰۹۵	۰/۰۶	۱-۳
۰/۶۹۱	۰/۱۲۷	۰/۱۲۷	۰/۰۵۴	۱-۴
۰/۱۴۱	۰/۲۷۵	۰/۵۳۶	۰/۰۴۷	۱-۵
۰/۵۹۱	۰/۳۰۳	۰/۰۵۳	۰/۰۵۲	۲-۳
۰/۱۲۲	۰/۳۲۹	۰/۵۱۳	۰/۰۳۵	۲-۴
۰/۳۰۸	۰/۳۰۸	۰/۳۰۸	۰/۰۷۷	۲-۵
۰/۰۹۹	۰/۰۹۹	۰/۷۰۳	۰/۰۹۹	۳-۴
۰/۵۸۶	۰/۲۸۹	۰/۰۴۴	۰/۰۸۱	۳-۵
۰/۵۴۶	۰/۲۴۱	۰/۱۴۸	۰/۰۶۵	۴-۵

آنگاه نرخ نزدیکی X خواهد بود.

قانون چهارم: اگر جریان مواد پایین و وزن آن پایین باشد، آنگاه نرخ نزدیکی U خواهد بود.

میزان عضویت برای هر یک از قوانین فوق برابر است با:

$$w_1 = \min\{0.5, 0.647\} = 0.5$$

$$w_2 = \min\{0.5, 0.353\} = 0.353$$

$$w_3 = \min\{0.5, 0.647\} = 0.5$$

$$w_4 = \min\{0.5, 0.353\} = 0.353$$

نتیجه سه قانون اول، نرخ نزدیکی X به‌دست آمد، بنابراین میزان عضویت نهایی برای نرخ نزدیکی X برابراست با :

$$\mu_X = \max\{w_1, w_2, w_3\} = \max\{0.5, 0.353, 0.5\} = 0.5$$

همچنین میزان عضویت نرخ نزدیکی U برابربا w_4 خواهد بود، یعنی:

$$\mu_U = 0.353$$

شکل (۸) این خروجی فازی را بهتر نشان می‌دهد، در ادامه با استفاده از روش غیرفازی کننده COA داریم:

$$R_{12}^{MF} = \frac{1*0.5 + 2*0.353}{0.5 + 0.353} = 1.414$$

که R_{12}^{MF}، نرخ نزدیکی بین دو ماشین ۱و۲ از نظر جریان مواد می‌باشد، و به همین صورت نرخ نزدیکی بین دو ماشین ۱ و۲ از نظر ارتباط نظارتی (R_{12}^{SL})، ارتباط محیطی (R_{12}^{EL}) و ارتباط اطلاعاتی (R_{12}^{IL}) به ترتیب برابربا ۴، ۱/۷۸ و۴ محاسبه می‌شود. در صورتی که از روش غیرفازی کننده FOM استفاده شود با توجه به شکل، R_{12}^{MF} برابر با ۰/۵ و با روش غیرفازی کننده LOM عدد ۱/۵ به‌دست می‌آید.

عدد نهایی نزدیکی بین دو بخش ۱ و ۲ (R_{12}) میانگین اعداد بالا خواهد بود، یعنی:

$$R_{12} = \frac{R_{12}^{MF} + R_{12}^{SL} + R_{12}^{EL} + R_{12}^{IF}}{4}$$

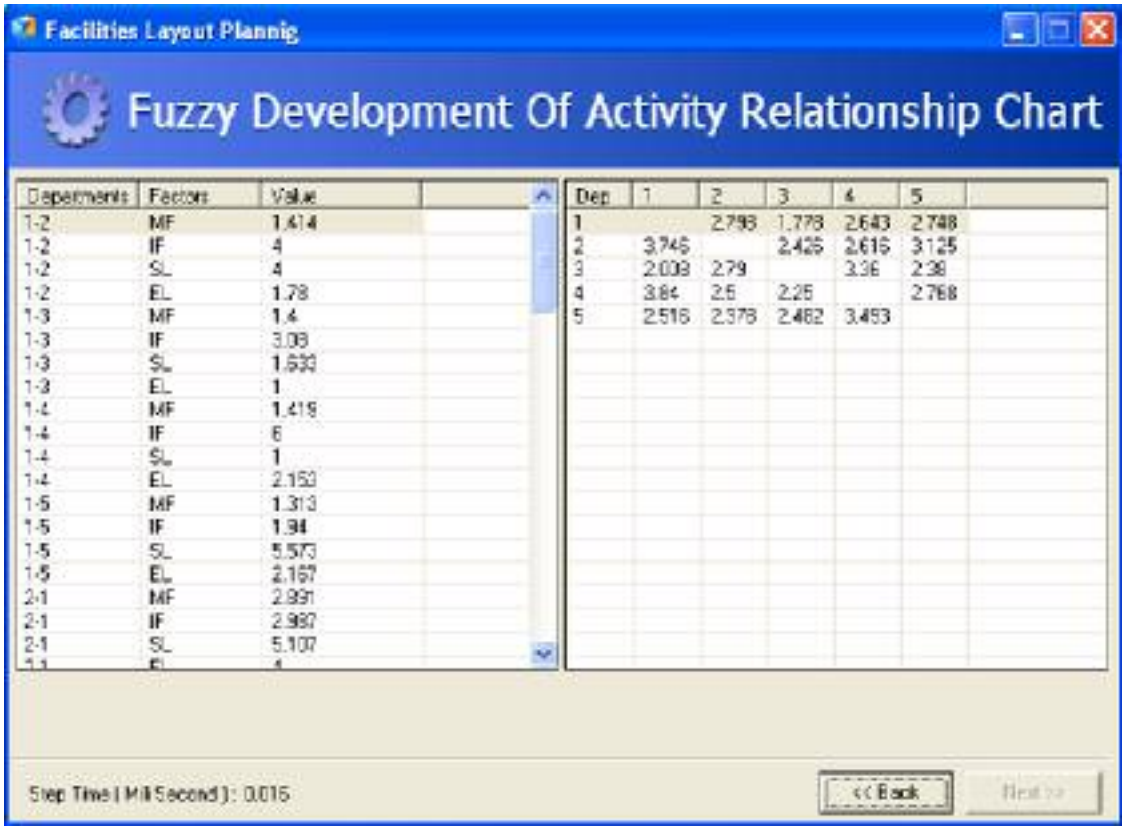
$$= \frac{1.414 + 4 + 1.78 + 4}{4} = 2.798$$

شکل (۷) خروجی نهایی برنامه FDARC را برای این مثال نشان می‌دهد.

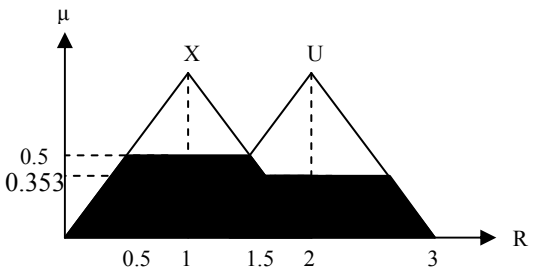
۵- روش انتخاب بخشها

تولید یک جانمایی رضایت بخش بستگی زیادی به توالی انتخاب تسهیلات دارد. برای این منظور از مقادیر عددی نزدیکی که از طریق سیستم تصمیم‌گیری فازی به‌دست آمده استفاده می‌شود.

۱- ابتدا بخشی که مجموع نرخ نزدیکی متقابل آن با تمام بخشها از همه بیشتر باشد، انتخاب می‌شود. نرخ نزدیکی متقابل مقدار نرخی است که در هر دو جهت بین بخشها



شکل ۷- خروجی نهایی برنامه FDARC



شکل ۸- خروجی فازی نرخ نزدیکی بین ماشینهای ۱ و ۲

وجود دارد یعنی اگر نرخ نزدیکی از بخش i به بخش j، r_{ij} و ازبخش j به بخش i، r_{ji} باشد آنگاه $r_{ij}+r_{ji}$ نرخ نزدیکی متقابل خواهد بود.

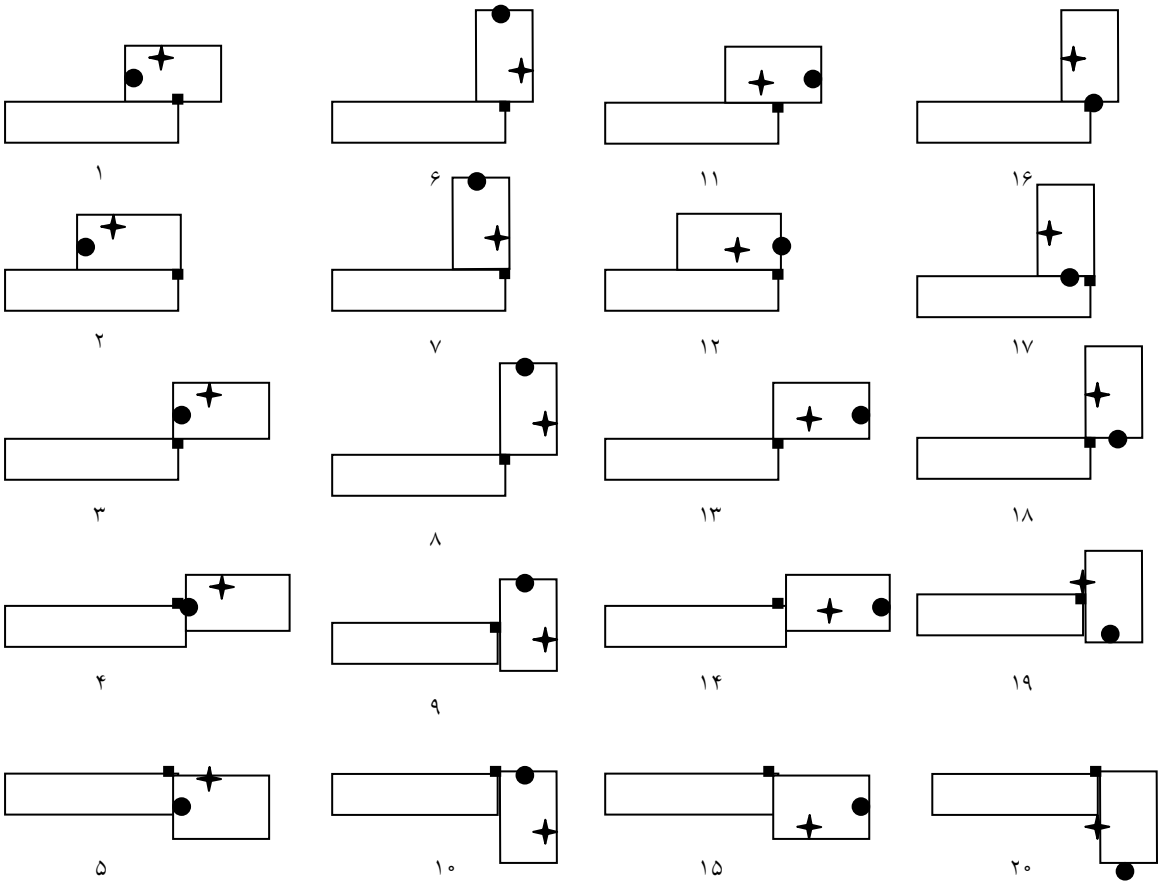
۲- بخش بعدی بخشی است که جمع نرخ نزدیکی متقابل آن با اولین بخش انتخاب شده از همه بیشتر باشد.

۳- بخش سوم بخشی است که حاصل جمع نرخ نزدیکی متقابل آن با تمام بخشهایی که انتخاب شده‌اند ازدیگر بخشهایی که شرایط انتخاب شدن را دارند (ولی تا کنون انتخاب نشده‌اند)، بیشتر باشد.

۴- این فرایند تکرار می‌شود، تا اینکه تمام بخشها انتخاب شوند

۶- روش ابتکاری استقرار بخشها

بیشتر روشهای قبلی جانمایی بر پایه سیستم شبکه شطرنجی و بدون در نظر گرفتن ابعاد واقعی بخشها و محلهای ورود و خروج می‌باشند. بنابراین نتایج به‌دست آمده



شکل ۹- ۲۰حالت مختلف برای استقرار، در حول یک نقطه کاندید گوشه ای

به صورت شکل‌های غیرعملی خواهد بود. در اینجا فرض می‌شود که بخشها به صورت مستطیل شکل بوده وابعاد هر بخش از قبل مشخص شده است. همچنین نقاط ورود و خروج برای هر بخش در وسط اضلاع در نظرگرفته می‌شود.

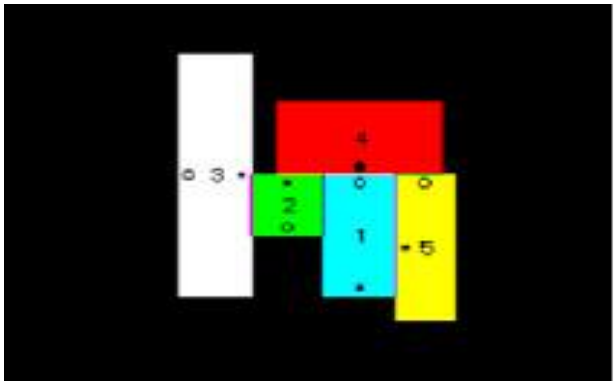
این حالت برای مسئله جانمایی ماشین کاربرد بیشتری دارد زیرا که ماشینها را می‌توان به شکل مستطیل در نظر گرفت و ابعاد و نقاط ورود و خروج شان را به راحتی مشخص کرد. تابع هدف استفاده شده به صورت کمینه کردن هزینه حمل و نقل مواد در نظر گرفته شده است (پیوست)

اولین بخش به صورت افقی در مرکز نقشه قرار می‌گیرد. نقاط وسط و گوشه بخش یا بخشهای استقرار یافته به عنوان نقاط کاندید برای استقرار بخش بعدی در نظر گرفته می‌شود. به طور کلی سه نوع استقرار در حول یک نقطه کاندید وسط ملاحظه می‌شود. این سه حالت در سمت چپ یا راست نقطه کاندید و یا در وسط نقطه کاندید خواهد بود. بخشها باید افقی یا عمودی بدون هم پوشانی با سایر بخشها در ناحیه مورد نظر قرار گیرند. سه حالت افقی و سه حالت عمودی، شش حالت را بوجود می‌آورند، حال اگر این شش حالت را ۱۸۰ درجه بچرخانیم، شش حالت دیگر به‌دست می‌آید. بنابراین ۱۲ حالت برای هر نقطه کاندید وسط جستجو می‌شود.

در حول یک نقطه کاندید گوشه به طور کلی پنج نوع استقرار بوجود می‌آید، این پنج نوع استقرار با شماره‌های ۱ تا ۵ در شکل (۹) مشخص شده‌اند. پنج حالت افقی و پنج حالت عمودی (شماره‌های ۶ تا ۱۰) ده حالت را بوجود می‌آورند، مانند نقاط

جدول ۶- ابعاد و محل نقاط ورود وخروج ماشینها

ماشینها	M1	M2	M3	M4	M5
طول (متر)	۶۰	۳۰	۱۲۰	۴۸	۷۲
عرض (متر)	۳۰	۳۰	۳۰	۳۶	۲۴
نقطه ورود	(۰ ، ۱۵)	(۰، ۱۵)	(۶۰ ، ۰)	(۲۴ ، ۰)	(۰ ، ۱۲)
نقطه خروج	(۶۰ ، ۱۵)	(۳۰ ، ۱۵)	(۶۰ ، ۳۰)	(۲۴ ، ۰)	(۳۶ ، ۰)



نقطه ورود o ، نقطه خروج ■ ،نقاط ورود و خروج ●

شکل ۱۰- جانمایی نهایی FLAYOUT برای مثال توضیحی

گوشه‌ای وسط این ده حالت را هم می‌توان ۱۸۰ درجه چرخاند و ده حالت دیگر را به‌دست آورد، بنابراین، در حول یک نقطه گوشه‌ای ۲۰ حالت مختلف استقراروجود خواهد داشت (شکل ۹). جستجوی ابتکاری در همه نقاط کاندید با در نظر گرفتن شرط عدم هم پوشانی به انجام می‌رسد و حالتی که کمترین مقدار تابع هدف را داشته باشد، انتخاب می‌شود.

قدمهای الگوریتم پیشنهادی برای استقرار بخشها به صورت زیر خواهد بود:

۱. یافتن مسیر انتخاب بخشها بر اساس روش انتخاب بخشها.
۲. قرار دادن اولین بخش در مرکز نقشه باز به صورت افقی.
۳. انتخاب بخش بعدی برای استقرار، طبق مسیر انتخاب بخشها.
۴. انتخاب نقطه کاندید و کنترل موجه بودن آن. در صورتی که موجه است به قدم بعدی بروید. اگر موجه نبود به قدم ۷ بروید.
۵. قرار دادن بخش انتخاب شده طبق حالات ممکن، درصورت عدم هم پوشانی مقدار تابع هدف را محاسبه کنید. سپس به قدم ۶ بروید. اگر همپوشانی وجود داشت روی همان نقطه کاندید دیگر حالت‌های ممکن استقرار (مانند شکل ۹) را امتحان کنید.
۶. اگر تابع هدف بهتر از قبل بود، طرح استقرارآماده شده و مقدار تابع هدف را بروز کنید، برای جستجوی دیگر حالات در نقطه کاندید به قدم ۵ برگردید.
۷. انتخاب دیگر نقطه کاندید. اگر همه نقاط کاندید بررسی شده‌اند به قدم ۸ بروید، در غیر این صورت به قدم ۴ بروید.
۸. انتخاب بخش بعدی. اگر همه بخشها انتخاب شده‌اند به قدم ۹ بروید در غیر این صورت به قدم ۳ بروید.
۹. بهترین جانمایی را گزارش کنید.

در صورتی که برای مثال توضیحی ابعاد ماشینها و محل نقاط ورود و خروج مطابق جدول (۶) باشد، جانمای نهایی با استفاده ازFLAYOUT به صورت شکل (۱۰) خواهد بود.

مسیر انتخاب ماشینها برای ورود به جانمایی در این مثال ابتدا ماشین ۴ و سپس ماشینهای ۱، ۲، ۵ و ۳ بودند، که طبق روش انتخابی که در بخش ۵ بیان شد، قرار گرفته‌اند.مقادیر مربوط به هزینه حمل و نقل برای این مثال برابر ۱۸۱۵ محاسبه گردید. در بخش بعدی نتایج محاسباتی حاصل از مقایسه روش پیشنهادی با روشهای دیویری و کری نشان داده می‌شود.

۷- نتایج محاسباتی

در این بخش نتایج حاصل از روش پیشنهادی برای توسعه فازی جدول رابطه فعالیت‌ها، با روشهای دیویری و میر [۱۰] و کری و همکاران [۱۱] مقایسه می‌گردد. برنامهٔ FDARC به

جدول ۷- مقایسه نتایج حاصل از روشهای مختلف برای مسئله با ۶ بخش.

هزینه حمل و نقل	مسیر انتخاب	روشها
۵۸۰۵	۱-۶-۳-۴-۲-۵	کری
۴۴۴۸	۱-۶-۵-۳-۲-۴	دیویری
۳۵۵۱	۱-۳-۶-۵-۲-۴	پیشنهادی

جدول ۸- مقایسه نتایج حاصل از روشهای مختلف برای مسئله با ۸ بخش.

هزینه حمل و نقل	مسیر انتخاب	روشها
۱۳۵۷۳	۱-۷-۳-۴-۶-۸-۲-۵	کری
۱۵۰۲۸	۱-۷-۸-۶-۵-۳-۲-۴	دیویری
۱۱۹۵۲	۱-۷-۳-۶-۵-۸-۲-۴	پیشنهادی

جدول ۹- مقایسه نتایج حاصل از روشهای مختلف برای مسئله با ۱۰ بخش.

هزینه حمل و نقل	مسیر انتخاب	روشها
۱۸۶۸۹	۱-۹-۷-۱۰-۲-۴-۳-۵-۸-۶	کری
۲۱۰۴۸	۱-۱۰-۵-۴-۲-۸-۷-۹-۳-۶	دیویری
۱۷۹۶۶	۱-۹-۳-۷-۸-۴-۲-۱۰-۶-۵	پیشنهادی

منظور توسعه جدول کمی رابطه فعالیت‌ها و برنامهٔ FLAYOUT به منظور ایجاد جانمایی با استفاده از زبان برنامه نویسی ویژوال بیسیک ۶ کدنویسی شده و بر روی یک رایانه پنتیوم IV، ۲۸۰۰ مگاهرتز اجرا گردیدند.

روش کار به این صورت است که جدول کمی رابطه فعالیت‌هایی که از روش پیشنهادی، روش دیویری و روش کری به‌دست می‌آید را به برنامه FLAYOUT داده و مقدار تابع هدف (هزینه حمل و نقل مواد) به عنوان معیار ارزیابی در نظرگرفته می‌شود. مسائلی با اندازه‌های ۶، ۸، ۱۰،۱۲، ۱۵ و ۲۰ بخش در نظر گرفته شد عاملهای جریان مواد، جریان اطلاعات، ارتباط نظارتی و ارتباط محیطی به عنوان عاملهای ورودی انتخاب شده‌اند. از آنجا که پارامتر عملگر ورنرز در بازه [۰،۱] تعریف شده است، مقادیر ۰، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و۱ برای این پارامتر و مقادیر ۱، ۳، ۵ و۷ به عنوان مقادیر پارامتر عملگر یاگر که در بازهٔ [∞ ،۱[تعریف شده، در نظر گرفته شده است. هر مسئله با استفاده از سه روش غیرفازی کننده مرکزناحیه (COA)، اولین ماکزیمم (FOM) و آخرین ماکزیمم (LOM) حل گردید.

جواب‌های به‌دست آمده و جواب‌های حاصل از روشهای دیویری و کری در جداول (۷) تا (۱۲) مقایسه شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود جواب‌های به‌دست آمده از روش پیشنهادی، از جواب‌های روش دیویری و روش کری بهتر است. در شکل (۱۱) مقادیر تابع هدف توسط یک نمودار میله‌ای برای هر یک از سه روش مورد نظر با ابعاد مختلف مقایسه شده و بهبود حاصل شده به طور واضح نمایش یافته است. مدت زمان موردنیاز برای اجرای مسائل با اندازه‌های مختلف در جدول (۱۳) نشان داده شده است. کوتاه بودن زمان محاسباتی کارایی روش را از این نظر نشان می‌دهد.

به‌طورکلی می‌توان نتایج به‌دست آمده را به‌صورت زیر خلاصه نمود:

جدول ۱۰- مقایسه نتایج حاصل از روشهای مختلف برای مسئله با ۱۲ بخش.

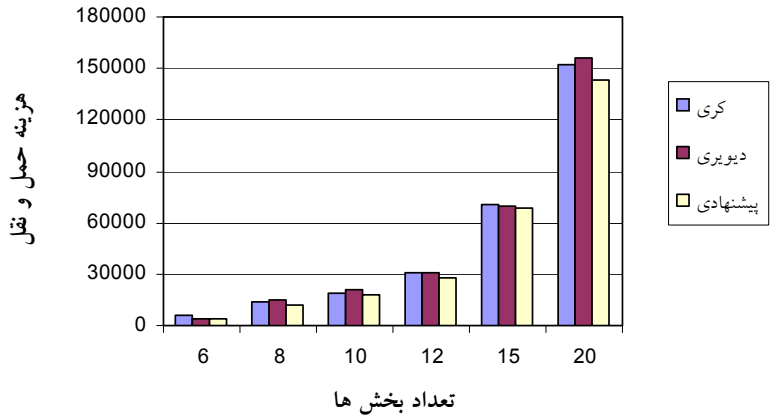
روشها	مسیر انتخاب	هزینه حمل و نقل
کری	۱-۱۱-۹-۷-۱۰-۲-۳-۴-۱۲-۵-۸-۶	۳۰۴۷۴
دیویری	۱۱-۱-۹-۱۰-۲-۵-۸-۴-۷-۱۲-۳-۶	۳۰۶۵۱
پیشنهادی	۱۱-۱-۹-۷-۸-۲-۳-۴-۱۲-۱۰-۵-۶	۲۸۰۴۹

جدول ۱۱- مقایسه نتایج حاصل از روشهای مختلف برای مسئله با ۱۵ بخش.

روشها	مسیر انتخاب	هزینه حمل و نقل
کری	۱-۱۱-۹-۷-۱۳-۲-۴-۳-۱۰-۱۵-۱۲-۱۴-۵-۸-۶	۷۰۸۱۰
دیویری	۱۱-۱-۱۴-۱۳-۹-۱۰-۲-۵-۸-۴-۷-۳-۱۲-۱۵-۶	۶۹۵۴۲
پیشنهادی	۱۱-۱-۱۳-۱۴-۲-۸-۴-۵-۱۰-۷-۹-۱۲-۱۵-۳-۶	۶۸۲۸۲

جدول ۱۲- مقایسه نتایج حاصل از روشهای مختلف برای مسئله با ۲۰ بخش.

روشها	مسیر انتخاب	هزینه حمل و نقل
کری	۱-۱۱-۷-۹-۱۶-۲۰-۲-۱۳-۱۹-۴-۸-۱۵-۳-۱۰-۱۴-۱۸-۵-۱۲-۱۷-۶	۱۵۲۲۷۹
دیویری	۱۱-۱۷-۱-۱۸-۱۶-۱۴-۱۳-۱۹-۹-۲۰-۱۰-۲-۵-۸-۴-۷-۳-۱۲-۱۵-۶	۱۵۶۴۱۴
روش پیشنهادی	۱۱-۱۷-۱-۱۶-۱۳-۷-۸-۲-۱۵-۱۴-۹-۳-۱۸-۲۰-۴-۱۲-۱۹-۱۰-۵-۶	۱۴۳۴۴۱



شکل ۱۱- مقادیر تابع هدف محاسبه شده با استفاده از روشهای مختلف.

جدول ۱۳- متوسط زمان موردنیاز برنامه‌های FDARC و FLAYOUT برای مسائل مختلف بر حسب ثانیه.

برنامه‌ها	۶ بخش	۸ بخش	۱۰ بخش	۱۲ بخش	۱۵ بخش	۲۰ بخش
FDARC	۰/۵۹۶	۰/۹۰۹	۱/۲۶۸	۱/۷۳۶	۲/۵۸	۴/۳۴۶
FLAYOUT	۰/۶۵۷	۱/۰۰۰	۱/۷۵۶	۲/۵۶۸	۲/۸۵۳	۴/۶۵۱

۱. این روش به طراح اجازه می‌دهد که از همه عاملهای موثر بر جانمایی استفاده کند به طوری که بتواند هم عاملهای کمی و هم عاملهای کیفی را به طور همزمان در جدول رابطه فعالیت‌ها تاثیردهد.

۲. با استفاده از این روش طراح می‌تواند از همه عاملها به طریقی نسبتاً علمی استفاده کند، در حالی که قبلاً با تکیه بر یک قضاوت خالص، جدول رابطه فعالیت‌ها شکل می‌گرفت.

۳. هزینه حمل و نقل مواد همواره درصدزیادی از هزینه‌های تولید را به خود اختصاص می‌دهد. مقایسه روش پیشنهادی با روشهای دویری و کری نشان می‌دهد که هزینه حمل و نقل مواد نسبت به این دو روش کاهش یافته است.

۴. در روشهای دویری و کری، لازم است که کاربر برای حل هر مسئله توابع عضویت عاملهای ورودی را مشخص کند، در حالی که در این روش این نیاز برطرف شده و از توابع عضویت پیشنهادی روش دب و باتاچاریا استفاده شده است.

۵. تعداد قوانین اگر- آنگاه روش دب و باتاچاریا با افزایش تعداد عاملهای ورودی به طور چشمگیری افزایش می‌یابد، در روش پیشنهادی این قوانین در حد قابل قبولی قرار دارند.

۶. استفاده از روش AHP برای تعیین وزن عاملهای ورودی، این امکان را به طراح می‌دهد که شدت اثرهای متفاوتی را برای عاملهای مختلف در نظر بگیرد.

۷. استفاده از عملگرهای پارامتری برای تعیین جدول رابطه فعالیت‌ها، باعث انعطاف پذیری روش پیشنهادی شده است.

۸. خروجی حاصل از برنامه FDARC را می‌توان در هر برنامه جانمایی که جدول کمی رابطه فعالیت‌ها را به عنوان ورودی دریافت می‌کند، مورد استفاده قرار داد.

۹. با استفاده از برنامهٔ FLAYOUT، طراح می‌تواند ابعاد واقعی بخشها و محل نقاط ورود و خروج را از قبل تعیین کرده و یک جانمایی عملی را به‌دست آورد.

۱۰. مدت زمان اجرای برنامه‌های تهیه شده در حد قابل قبولی قرار دارد.

۸- نتیجه‌گیری

در این پایان نامه یک سیستم تصمیم‌گیری فازی برای توسعه جدول رابطه فعالیت‌ها طراحی گردید. برنامه رایانه‌ای حاصل از این روش(FDARC) به صورتی تهیه شده است که اجرای آن برروی رایانه‌های شخصی، برای کاربران ساده و آسان باشد. خروجی این برنامه را می‌توان در هر روشی که جدول کمی رابطه فعالیت‌ها یا جدول از- به را به عنوان ورودی دریافت می‌کند، مورد استفاده قرار داد. در این تحقیق خروجی به‌دست آمده از FDARC به عنوان ورودی FLAYOUT برای ایجاد جانمایی با ابعاد واقعی مورد استفاده قرار گرفت، کارایی و اثربخشی روش پیشنهادی در مقایسه با روشهای مطرح نشان داده شد.

واژه نامه

1. Fuzzy set theory
2. Analytical hierarchy process
3. Fuzzy development of activity relationship chart
4. Fuzzy layout
5. Facilities planning
6. Activity relationship chart
7. Technique for order preference by similarity to ideal solution
8. Genetic algorithm
9. Multiple criteria decision making
10. Term
11. Semantic rule
12. Syntactic rule
13. Fuzzy decision making system
14. Fuzzifier
15. Knowledge base
16. Inference engine
17. Defuzzifier
18. Center of area
19. First of maxima
20. Last of maxima
21. Decision-making logic
22. Decision rules

مراجع

1. Heragu, S., *Facilities Design*, iUniverce, Inc., Lincoln, 2006.
2. Tompkins, J.A., et al, *Facilities Planning*, Wiley, New York, 2003.
3. Dweiri, F., "Fuzzy development of crisp activity relationship charts for facilities layout," *International Journal of Computer and Industrial Engineering*, Vol. 36, pp. 1-16, 1999.
4. Wilhelm, M., Karwowski, W., and Evans, G., "A Fuzzy Set Approach to Layout Analysis," *International Journal of Production Research*, Vol. 25, pp. 1431-1450, 1987.
5. Grobelny, J., "On one Possible Fuzzy Approach to Facility Layout Problems," *International Journal of Production Research*, Vol. 25, pp.1123-1141, 1987.
6. Grobelny, J., "The Fuzzy Approach to Facility Layout Problems", *Fuzzy Sets and Systems*, 23, 175-190, 1987.
7. Raoot, A. D., and Rakshit, A., "A Fuzzy Approach to Facilities Layout Planning," *International Journal of Production Research*, Vol. 29, pp. 835-857, 1991.
8. Raoot, A. D., and Rakshit, A., "A Fuzzy Heuristic for Quadratic Assignment Formulation to The Facility Layout Problems," *International Journal of Production Research*, Vol. 32, pp. 563-581, 1994.
9. Yang,T. and Hung, C.C., Multiple-Attribute Decision Making Methods for Plant Layout Design Problem**,** *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Volume 23 , Issue 1, pp 126-137, 2007.
10. Dweiri, F., and Meier, F.A., "Application of fuzzy Decision-Making in Facilities Layout Planning," *International Journal of Production Research*, Vol. 34, pp. 3207-3225, 1996.
11. Karray, F., Hegazy, T., shabeeb, A., and Elbeltagi, E., "Tools of Soft Computing as Applied to the Facilities Layout Planning," *IEEE Transaction On Fuzzy Systems*, Vol. 8, pp. 367-379, 2000.
12. Deb, S. K. and Bhattacharyya, B., Fuzzy Decision Support System for Manufacturing Facilities Layout Planning, *Decision Support Systems*, Vol. 40, Issue 2, pp 305-314, 2005.
13. Deb, S.K., and Bhattacharyya, B., "Facilities Layout Planning Based on Fuzzy Multiple Criteria Decision-Making Methodology," *International Journal of Production Research*, Vol. 41, pp. 4487-4504, 2003.
14. Riberio, R.A, "Fuzzy multiple Attribute Decision Making: a Review and New Preference Elicitation Techniques," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 78, pp. 155-81, 1996
15. Zadeh, L.A., "Fuzzy Sets," *Information and control*, Vol. 8, pp. 338-353, 1965.

۱۶. طاهری، م. *"آشنایی با نظریه مجموعه‌های فازی "*، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۱۳۷۸.

17. Werners, G., *Aggregation models in mathematical programming*, In Mitra, pp. 295-319, 1988.
18. Yager, R.R., "Fuzzy Logic Methods in Recommender Systems," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 136, Issue 2, Pages 133-149, 2003.
19. Zadeh. L.A., "The Concept of Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning," *Information Science*, I, Vol. 8, pp. 199-249, II, Vol. 8, pp. 301-357, III, Vol. 9, pp. 43-80, 1975.

۲۰. زاهدی، م. *" تئوری مجموعه‌های فازی و کاربردهای آن "*، نشر کتاب دانشگاهی، ۱۳۷۸.

21. Saaty, T.L., "*Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs, and Risks,*" RWS Publications**,** Pittsburgh 2005.

پیوست

- کمینه کردن هزینه حمل و نقل

$$\min Z_j^1 = \left(c_{ij} \times f_{ij} \left(\left| x_j^p - x_i^d \right| + \left| y_j^p - y_i^d \right| \right) + c_{ji} \times f_{ji} \left(\left| x_i^p - x_j^d \right| + \left| y_i^p - y_j^d \right| \right) \right)$$

$$\forall \quad j = 2, 3, \ldots, n.$$

که:

$\left(x_i^p, y_i^p\right)$ مختصات نقطه ورود برای بخش I ، $\left(x_i^d, y_i^d\right)$ مختصات نقطه خروج برای بخش i

$\left(x_j^p, y_j^p\right)$ مختصات نقطه ورود برای بخش j ، $\left(x_j^d, y_j^d\right)$ مختصات نقطه خروج برای بخش j

f_{ij} و f_{ji} جریان مواد بین بخشهای i-j و j-i

c_{ij} و c_{ji} ضریب هزینه جریان بین بخشهای i-j و j-i