کاربرد تصمیم گیری فازی در برنامه ریزی جانمایی تسهیلات

حمید رضا خاضکی
کارشناس ارشددانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی اصفهان
hamid_2535@yahoo.com
علی شاهنده
استادیاردانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی اصفهان
ali-nook@cc.iut.ac.ir
سید رضا حجازی
استادیاردانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی اصفهان
rehejazi@cc.iut.ac.ir

چکیده- در رابطه بااستقرار و برنامه ریزی تسهیلات فاکتورهای متعددی بصورت کمی و کیفی مطرح می باشند که ممکن است تاثیر آنها بر روی ارتباط بین تسهیلات متفاوت باشد. استفاده ازنظریه مجموعه های فازی[1] در برنامه ریزی تسهیلات باعث می شود که بتوان با ترکیب داده های کمی و کیفی مؤثر بر جانمایی جدول رابطه بین تسهیلات را به صورتی رضایت بخش بدست آورد. در این مقاله یک رویکرد قوی، براساس نظریه مجموعه های فازی، به منظور بهبود فرایند جانمایی تسهیلات پیشنهاد شده است. در این رویکرد از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی(AHP)[2]، برای تعیین وزن های این فاکتورها استفاده ویک برنامه رایانه ای به نام FDARC برای تولید جداول رابطه فعالیتها توسعه داده شده است. جداول توسعه داده شده توسط برنامه دیگری به نام FLAYOUT برای بهبود جانمایی ها استفاده گردیده است. نتایج محاسباتی اثربخشی و کارایی روش را در مقایسه با روشهای مطرح دیگر نشان می دهد.

واژه‌های کلیدی: جانمایی تسهیلات، تصمیم گیری فازی، فضای مرده، فرایند تحلیل سلسله مراتبی

1- مقدمه

مسئله جانمایی یکی از مسائل مهم برنامه ریزی تسهیلات[3] می باشد. یک جانمایی خوب باعث افزایش کارایی عملیات، امنیت و استفاده مؤثر از منابع انسانی، تجهیزات، فضا و انرژی شده کاهش حمل و نقل مواد و دوری از انسداد حرکات را در پی خواهد داشت [5،11]. رویکرد جانمایی با استفاده از مجموعه ای از داده ها درباره محصولی که باید تولید شود، شروع می شود. این داده ها مانند جدول از- به،کمی یا مانند جدول رابطه فعالیتها[4]کیفی می باشند [5]. بعضی از الگوریتم ها فقط داده های کیفی را پذیرفته، در حالی که بقیه با داده های کمی کار می کنند. ناتوانی درتأثیر دادن همزمان مقادیر کمی و کیفی باعث کاهش کیفیت طرح استقرار می شود. همچنین در بعضی مواقع ممکن است که نتوان این مقادیر کمّی ویا کیفی را به طور قطعی تعیین کرد. استفاده ازنظریه مجموعه های فازی در برنامه ریزی تسهیلات باعث می شود که بتوان با ترکیب داده های کمی و کیفی مؤثر بر جانمایی جدول رابطه فعالیتها را به صورتی رضایت بخش توسعه داد.

در سال 1987 ویلهلم، کاروسکی و ایوانز[17] یک رویکرد فازی برای مسائل جانمایی تسهیلات بر پایه متغیرهای زبانی فازی و ارتباط های فازی ارائه کردند. در این روش به هر بخش یک رتبه انتخاب برای استقرار درطرح جانمایی اختصاص می یابد و جانمایی به کمک شاخص رضایتمندی بین هر جفت از بخش ها امتیاز بندی می شد. در همان سال گربلنی [7، 8 و9] یک رویکرد فازی برای

[1] Fuzzy set theory
[2] Analytical hierarchy process
[3] Facilities planning
[4] Activity relationship chart

مسئله جانمایی تسهیلات شامل شناسایی متغیرهای زبانی برای فاکتورهای کمّی و کیفی اثرگذار برارتباط های تسهیلات، انتخاب و تعیین مقادیر توابع عضویت برای متغیرهای زبانی و روش های ابتکاری برای انتخاب و استقرار تسهیلات و ارزیابی جانمایی ها ارائه نمود. در سال 1991 رائوت و راکشیت[13] برای حل مسئله جانمایی، یک الگوریتم سازنده جانمایی فازی ارائه کردند. در این روش فاصله به عنوان یک متغیر فازی در نظر گرفته گردید. ضمنا ازسه مسئله آزمایشی برای مقایسه الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم های آلدپ و کورلپ استفاده شده که نتایج بدست آمده پیشرفت چندانی را نشان نمی دهد. این دو محقق دو سال بعد در سال 1993 [14] از نظریه مجموعه های فازی برای حل مسئله تخصیص درجه دوم چند هدفه استفاده کردند. در سال 1996 دویری و میبر[6] یک سیستم تصمیم گیری فازی برای محاسبه مقادیر عددی نزدیکی بین بخش ها پیشنهاد دادند. در این روش فاکتورهای ورودی توسط فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) تعیین وزن می شوند. مشکل این روش این است که قبل ازحل هر مسئله ای، باید مقادیر زبانی و شکل تابع عضویت این مقادیر را برای مسئله مشخص گردد. در این روش، این مشخصه هابه طوردلخواه تعیین گشته ودرصورتیکه شخص طراح در این زمینه تجربه کافی نداشته باشد، ممکن است جواب های بدست آمده ناکارا باشند. روش کری و دیگران [11] که در سال 2000 ارائه شده نیز مانند روش دویری ومیبر بوده، با این تفاوت که در قسمت استنتاج از روش مستقیم ممدانی استفاده شده ویک الگوریتم ژنتیک 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. در سال 2003 دب و باتاچاریا [4] فاکتورهای ورودی را با وزن های یکسان در نظر گرفته, قوانین اگر- آنگاه به صورت چند ورودی و یک خروجی طراحی شده اند، به این صورت که تمام فاکتورهای در نظرگرفته شده به طور همزمان به عنوان متغیرهای ورودی عمل می نمایند. این امر باعث افزایش چشمگیر قوانین شده و در نتیجه تعیین تجربی قوانین را مشکل می سازد. همچنین ممکن است که فاکتورهای ورودی ازدرجه اهمیت یکسانی برخوردار نباشند.

در این مقاله بدلیل برابر نبودن اهمیت فاکتورهای ورودی مانند جریان مواد، جریان اطلاعات و غیره، این فاکتورها با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) وزن دهی شده, بااستفاده 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 بخش ها) به صورت پله ای محاسبه گشته, تابع هدف،بصورت حداقل کردن جمع وزنی هزینه حمل و نقل و فضای مرده[5] بین تسهیلات تعریف شده است. برای این منظور یک برنامه رایانه ای به نام جانمایی فازی[6] (FLAYOUT) نوشته شده است.

2-مجموعه فازی و تصمیم گیری

نظریه مجموعه های فازی در سال 1965 توسط پروفسور لطفی عسکرزاده [20] برای حل مسائل مبهم، غیردقیق و نامطمئن معرفی شد. مجموعه های فازی تعمیمی بر مجموعه های قطعی است در نظریه مجموعه های قطعی، مجموعه ها به صورت معین تعریف می شوند. به عبارت دیگر هر مجموعه با یک ویژگی خوشتعریف مشخص می شود. 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 ناخوشتعریف و مبهم یعنی " بزرگ " مواجه می شویم. اینکه چه اعدادی بزرگ هستند و چه اعدادی بزرگ نیستند، بسته به افراد مختلف فرق می کند. بیشتر مفاهیم و ویژگی هایی که در زندگی واقعی به کاربرده می شوند مفاهیمی نادقیق و مبهم هستند. نظریه مجموعه های فازی می تواند ریاضی وار با این ابهامات برخورد نموده, زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد [2].

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 می رساند. وقتی مجموعه مرجع X یک مجموعه متناهی است، می توان مجموعه فازی A برروی X را به صورت $A = \{(x, \mu_A(x)) ; x \in X\}$ بیان نمود[2]. اجتماع و اشتراک دو مجموعه فازی جزء عملگرهای پایه ای نظریه مجموعه های فازی بوده و به صورت زیر تعریف می شوند:

$$(A \cup B)(x) = \max[A(x), B(x)] \qquad (1)$$

[5] Dead space
[6] Fuzzy layout

$$(A \cap B)(x) = \min[A(x), B(x)] \qquad (2)$$

اما این تعاریف، تنها تعاریف ممکن نیستند. تعریف های دیگری نیز برای اجتماع واشتراک دو مجموعه فازی ارایه شده است که هر کدام با توجه به ویژگی هایی که دارند، زمینه های کاربردی ویژه ای یافته اند.

ورنرز در سال 1984 با ترکیب عملگرهای min وmax عملگرهای زیر را پیشنهاد کرد[16]:

$$(A \cap B)(x) = r\min\{A(x), B(x)\} + \frac{(1-r)(A(x)+B(x))}{2}, \quad r \in [0,1] \qquad (3)$$

$$(A \cup B)(x) = r\max\{A(x), B(x)\} + \frac{(1-r)(A(x)+B(x))}{2}, \quad r \in [0,1] \qquad (4)$$

در صورتی که $r=1$ فرض شود، همان عملگرهای min وmax بدست می آیند.

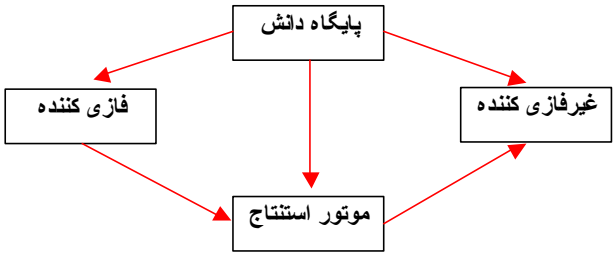
یاگردر سال1980 اجتماع و اشتراک دو مجموعه فازی را به صورت زیر ارائه کرد [18]:

$$(A \cap B)(x) = 1 - \min\left\{1, \left[(1-A(x))^r + (1-B(x))^r\right]^{1/r}\right\}, \quad r \geq 1 \qquad (5)$$

$$(A \cup B)(x) = \min\left\{1, \left[(A(x))^r + (B(x))^r\right]^{1/r}\right\}, \quad r \geq 1 \qquad (6)$$

وقتی r به سمت بینهایت میل کند، عملگرهای فوق به عملگرهای min وmax میل می کنند.

منظور از یک متغیر زبانی متغیری است که مقادیرش کلمات یا جملات یک زبان طبیعی یا مصنوعی باشد [19]. برای مثال جریان مواد یک متغیر زبانی است اگر مقادیر آن به جای آنکه عددی (مانند 100و120و140و...) زبانی (مانند خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم) باشد. یک متغیر زبانی توسط یک پنج تایی مرتب $(X,T(x),U,G,M)$ مشخص می شود که در آن X نام متغیر, U مجموعه مرجع و $T(X)$ مجموعه ترم های مربوط به متغیر X است (ترم یک مجموعه فازی است) که توسط قاعده نحوی[7] G تولید می شودو سرانجام M یک قاعده معنایی[8] است که به هر ترم $T(X)$ معنای آن را مربوط ساخته، یعنی تابع عضویت آن ترم را مشخص می کند[2].



شکل 1- سیستم تصمیم

یک سیستم تصمیم گیری فازی(FDMS) از چهار بخش اصلی تشکیل شده است (شکل1) [1]:

1) فازی کننده: وظیفه فازی کننده خواندن مقادیر متغیرهای کنترلی و تبدیل آنها به یکی از مقادیر متغیرهای زبانی می باشد.2) پایگاه

[7] Semantic rule
[8] Syntactic rule

دانش: مجموعه ای از قواعد بوده که درتعریف آن ها ازمتغیرهای زبانی استفاده می شود. تعداد مقادیری که هر متغیر زبانی اختیار می کند وتابع عضویت آن مقادیر در استدلال وقاعده های پایگاه اثر مستقیم دارد. این قوانین به شکل اگر- آنگاه می باشند. 3) موتور استنتاج: پس از بدست آوردن قواعد کنترل کننده و تشکیل پایگاه دانش به موتور استنتاج نیاز است تا با پذیرفتن ورودی های فازی بر اساس قواعد پایگاه دانش، خروجی فازی مناسب را ایجاد نماید.4) غیر فازی کننده: خروجی فازی را به یک مقدار قطعی تبدیل می کند، روش های مرکز ناحیه (COA)، اولین ماکزیمم (FOM)، و آخرین ماکزیمم(LOM) در این قسمت مورد استفاده قرار گرفته است.

3- فرموله بندی مسئله و روش

در روش های سنتی جانمایی تسهیلات از جدول رابطه فعالیتها برای توسعه جانمایی استفاده می شود. 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 می کنند 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 مجموعه های فازی، ابزار مناسبی در این جهت می باشد [5].

همانطور که قبلا گفته شد, یک سیستم تصمیم گیری فازی (FDMS) از چهار ترکیب اصلی با عنوان های پایگاه دانش، فازی کننده، موتوراستنتاج وغیر فازی کننده تشکیل شده است. ابتدا لازم است که ورودی های این سیستم مشخص 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 واحد های مشابه تعیین می شوند.

برخی از مهمترین فاکتورها (متغیرهای ورودی) به همراه مقادیر زبانی اختصاص یافته که توسط کارشناسان جانمایی مورد استفاده قرار می گیرند 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.

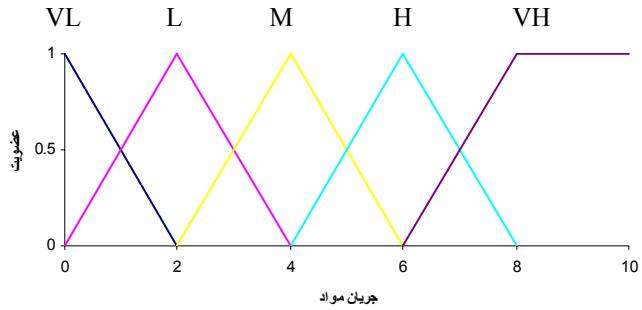
ارتباط اطلاعاتی: بسیار قوی، قوی، متوسط، ضعیف، بسیارضعیف.

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

بر اساس گفته زاده[20] برای تعیین توابع عضویت فاکتورهای ورودی از تجربه و دانش افراد خبره، یعنی روش ذهنی استفاده می شود. او نشان می دهد که تعیین توابع عضویت ذهنی بوده و به تجربه فرد خبره بستگی دارد. شکل تابع عضویت، دانش، تجربه و سلیقه فرد خبره دربارهٔ اهمیت ارتباط ها را نشان می دهد (شیب "تند" برای یک ارتباط مهم و شیب "پهن" برای ارتباط های با اهمیت کمتر) [4].

در این تحقیق برای تعیین مقادیر متغیرها از تجربه و دانش افراد خبره [4] استفاده شده است. برای فاکتورهای کمّی (جریان مواد، جریان تجهیزات و جریان پرسنلی) تابع عضویت های مثلثی مانند شکل(2) و برای فاکتورهایی که بیشتر جنبه ذهنی دارند (ارتباط نظارتی، ارتباط اطلاعاتی و ارتباط محیطی) تابع عضویت های ذوزنقه ای مانند شکل(3) درنظرگرفته شده است. همانطورکه ملاحظه میگردد، مجموعه مرجع برای تمامی این متغیرها مجموعه [10و0] می باشد. برای متغیر خروجی یعنی نرخ های 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(4) در نظر گرفته شده است [4].

قدم بعدی پس از فازی کردن متغیرهای ورودی و متغیر خروجی، ایجاد منطق تصمیم گیری (قوانین تصمیم) می باشد. این قوانین معمولاً به شکل اگر- آنگاه هستند [5و11]. برای این منظورابتدا فاکتورهای ورودی برای تمام ارتباط های بین تسهیلات با استفاده از فرایندتحلیل سلسله مراتبی AHP که اولین بار در سال 1980 توسط ساعتی [15] پیشنهاد شد ومبنای آن مقایسات زوجی گزینه هامی باشد, تعیین وزن می گردند. در این مقایسه ها تصمیم گیرندگان از قضاوت های شفاهی بر مبنای جدول (1) استفاده می نمایند.

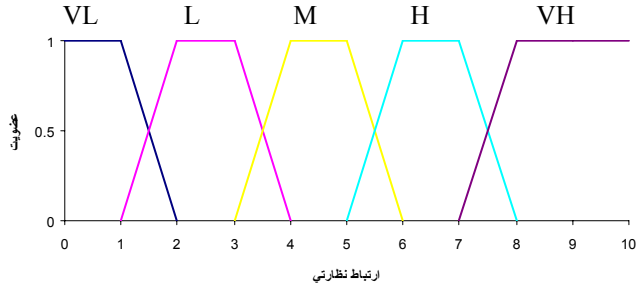


خیلی بالا (VH)، بالا (H)، متوسط (M)، پایین (L)، خیلی پایین (VL)

شکل2- توابع عضویت مثلثی برای جریان مواد [4].

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

$$A_{n*n} = [a_{ij}] \quad i,j = 1,2,\ldots,n \qquad (7)$$



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

شکل3- توابع عضویت ذوزنقه ای برای ارتباط نظارتی [4].

که n تعداد فاکتورها می باشد. درماتریس فوق جهت محاسبه وزن هر فاکتور چندین روش پیشنهاد شده است، این روش ها عبارتند از:

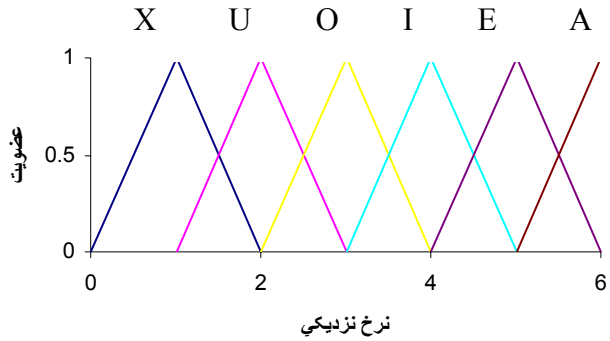
1- روش حداقل مربعات معمولی
2- روش حداقل مربعات لگاریتمی
3- روش بردار ویژه
4- روش های تقریبی

روش های تقریبی دقت کمتر اما قابل قبولی داشته و بدلیل محاسبات کمتر و ساده تری که دارند، اغلب مورد استفاده قرار می گیرند. روش میانگین هندسی, یکی از روش های تقریبی است که در محاسبه وزن فاکتورها در فرایند جانمایی مورد استفاده قرار گرفته است [5و11].

اگر n تسهیل وجود داشته باشد، بدیهی است که تعداد کل ارتباطات برابر $n*(n-1)$ خواهد بود. اکنون، لازم است که وزن را به عنوان یک فاکتور ورودی در نظر گرفته و متغیرهای زبانی و توابع عضویت این متغیرها مشخص گردد. متغیرهای زبانی در نظر گرفته شده به صورت : خیلی بالا، بالا، متوسط، پایین و خیلی پایین بوده وتوابع عضویت مربوطه در شکل (5) مشخص شده اند. که در این راستا، قوانین مربوطه به صورت زیر بدست می آیند:

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.



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

شکل 4- توابع عضویت برای متغیر خروجی [4].

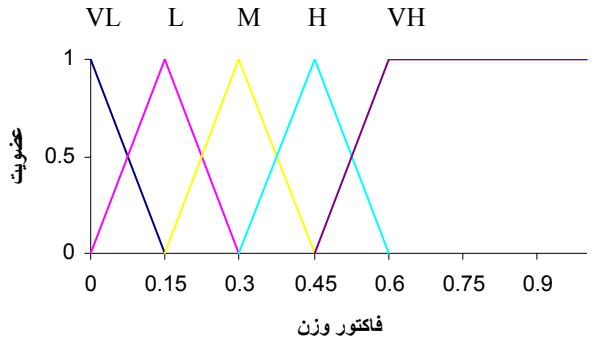
و به همین ترتیب کلیه قوانین به طورتجربی تعیین می شوند. این قوانین برای فاکتورهای پیشنهادی جریان مواد، جریان تجهیزات، جریان پرسنلی، ارتباط نظارتی، ارتباط اطلاعاتی وارتباط محیطی در شکل (6) مشخص شده اند. همان طورکه ملاحظه می شود قوانین اگر- آنگاه شامل دو ورودی و یک خروجی می باشند. تعداد کل قوانین از فرمول زیر محاسبه می شود:

$$N = \sum_{j=1}^{m} \prod_{i=1}^{n} L_i \qquad (8)$$

جدول1- مقادیر ترجیحات برای مقایسه های زوجی [15].

ترجیحات (قضاوت شفاهی)	مقدار عددی
کاملا مهمتریا کاملا مطلوبتر	9
اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی	7
اهمیت یا مطلوبیت قوی	5
کمی مهمتر یا کمی مطلوبتر	3
اهمیت یا مطلوبیت یکسان	1
ترجیحات بین فواصل فوق	2و4و6و8

که N تعداد قوانین، m تعداد مجموعه قوانین، n تعداد متغیرهای ورودی و Li تعداد توابع عضویت را نشان می دهد.



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

شکل5- توابع عضویت برای فاکتور وزن [5].

پس از فازی کردن متغیرها و تشکیل پایگاه دانش، به موتور استنتاج نیاز است. موتور استنتاج ورودی های فازی را می گیرد و براساس قوانین اگر- آنگاه خروجی فازی مناسب را تولید می نماید. روشی که در این قسمت به کار برده می شود روش ممدانی است که به کمک یک مثال توضیح داده شده است. خروجی فازی در ادامه با استفاده از یکی از روش های غیرفازی کننده به اعداد نهایی (نرخ های نزدیکی) تبدیل می شود. این مقادیر می توانند برای توسعه یک جانمایی کارا مورد استفاده قرار می گیرند، زیرا که برای تعیین آنها فاکتورهای زیادی با درجه اهمیت های مختلف در در نظر گرفته شده است. در ادامه با ذکریک مثال، روش پیشنهادی، به طور کامل تر توضیح داده می شود.

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)

شکل6- قوانین اگر- آنگاه برای (الف) جریان مواد(MF) و فاکتور وزنی اش(WF) (ب) جریان پرسنلی (PF) و فاکتور وزنی اش (ج) جریان تجهیزات(EF) و فاکتور وزنی اش (د) ارتباط اطلاعاتی(IL) و فاکتور وزنی اش (ه) ارتباط نظارتی(SL) و فاکتور وزنی اش (و) ارتباط محیطی(EL) وفاکتور وزنی اش [11].

4- مثال توضیحی

فرض کنید 5 ماشین وجود دارد، فاکتورهای در نظر گرفته شده جریان مواد، ارتباط نظارتی، ارتباط محیطی و ارتباط اطلاعاتی بوده که مقادیرشان در جدول (2) نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می شود تعداد کل ارتباطات 20 می باشد (4*5).

با استفاده از روش AHP، وزن هر فاکتور بدست می آید. شدت اهمیت فاکتورها توسط طراح تعیین شده و در جدول (3) نشان داده شده است. برای مثال دو ماشین 1 و 2 را در نظر بگیرید، طراح عدد 3 را به عنوان شدت اهمیت فاکتور 2 بر فاکتور 3 تخصیص داده است.

این بدان معنی است که اهمیت فاکتور 2 بر فاکتور 3 کمی مهم تر می باشد. محاسبات مربوطه برای این دو بخش در جدول (4) نشان داده شده است.وزن فاکتور 1 برابر با 0.053 ، وزن فاکتور 2 برابربا 0.466 ، وزن فاکتور 3 برابر با 0.183 و وزن فاکتور 4 برابر با 0.298 محاسبه گردیده است. وزن فاکتورها برای تمامی ارتباط ها به همین صورت محاسبه شده و در جدول (5) نشان داده شده است.

قدم بعدی فازی کردن متغیرها می باشد. این فرایند برای دو ماشین 1 و 2 به صورت زیر انجام می شود:

فاکتور 1 (جریان مواد) برابر با 1 می باشد (جدول 2)، این مقدار متعلق به تابع عضویت بسیار پایین (VL) با میزان عضویت 0.5 و تابع عضویت پایین (L) با میزان عضویت 0.5 است (شکل 2). وزن این فاکتور برابر با 0.053 محاسبه شد، که متعلق به تابع عضویت بسیار پایین (VL) با میزان عضویت 0.647 و تابع عضویت پایین (L) با میزان عضویت 0.353 است (شکل 5).

این فرایند برای سه فاکتور بعدی نیز به همین صورت تکرار می شود. قدم بعدی اعمال قوانین اگر- آنگاه به نتایج بدست آمده از فازی کردن متغیرها می باشد. برای فاکتور 1 مربوط به دو ماشین 1 و 2 قوانین زیر از شکل (6) جدول الف استخراج می شوند:

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، 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 بدست آمد، بنابراین میزان عضویت نهایی برای نرخ نزدیکی X برابراست با :

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

جدول 2- داده های ورودی بین ماشین ها برای مثال توضیحی

	فاکتور 1	فاکتور 2	فاکتور3	فاکتور 4
ماشین ها	جریان مواد	ارتباط نظارتی	ارتباط محیطی	ارتباط اطلاعاتی
1-2	1	5	9	10
2-1	5	8	2	2
1-3	2	3	8	5
3-1	2	2	7	6
1-4	1	1	6	8
4-1	4	6	1	9
1-5	2	8	5	2
5-1	1	3	4	5
2-3	1	2	5	7
3-2	3	2	6	8
2-4	2	9	9	5
4-2	0	1	0	0
2-5	1	2	1	2
5-2	2	3	4	3
3-4	3	8	3	3
4-3	0	0	0	0
3-5	2	1	5	6
5-3	0	0	0	0
4-5	1	1	1	5
5-4	5	8	9	8

جدول3- شدت اهمیت فاکتورها برای مثال توضیحی

ماشین ها	1 بر 2	1 بر 3	1 بر4	2 بر 3	2 بر 4	3 بر 4
1-2	0.17	0.2	0.17	3	2	0.5
1-3	0.5	0.14	0.2	0.17	0.25	2
1-4	0.33	0.33	0.13	1	0.14	0.14
1-5	0.14	0.17	0.2	3	4	3
2-3	1	0.14	0.11	0.14	0.11	0.33
2-4	0.11	0.13	0.17	2	5	4
2-5	0.25	0.25	0.25	1	1	1
3-4	0.14	1	1	7	7	1
3-5	3	0.17	0.14	0.17	0.11	0.33
4-5	0.33	0.25	0.17	0.5	0.25	0.33

جدول 4- محاسبه وزن فاکتورهای ورودی بین دو ماشین 1و2 مثال توضیحی

i/j	1	2	3	4	X	Y	P	F	Z
1	1	0.17	0.2	0.17	0.01	0.27	0.05	0.22	4.15
2	6	5	3	2	36	2.45	0.47	1.92	4.12
3	5	0.33	1	0.5	0.83	0.96	0.18	0.75	4.10
4	6	0.5	2	1	6	1.57	0.3	1.21	4.05
Σ						5.24			16.42

جدول5- وزن فاکتورها برای تمامی ارتباط های مثال توضیحی

ماشین ها	جریان مواد	ارتباط نظارتی	ارتباط محیطی	ارتباط اطلاعاتی
1-2	0.053	0.466	0.183	0.298
1-3	0.06	0.095	0.532	0.312
1-4	0.054	0.127	0.127	0.691
1-5	0.047	0.536	0.275	0.141
2-3	0.052	0.053	0.303	0.591
2-4	0.035	0.513	0.329	0.122
2-5	0.077	0.308	0.308	0.308
3-4	0.099	0.703	0.099	0.099
3-5	0.081	0.044	0.289	0.586
4-5	0.065	0.148	0.241	0.546

همچنین میزان عضویت نرخ نزدیکی U برابربا W_4 خواهد بود، یعنی:

$$\mu_U = 0.353$$

شکل (8) این خروجی فازی را بهتر نشان می دهد، 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 1و2 از نظر جریان مواد می باشد، و به همین صورت نرخ نزدیکی بین دو ماشین 1 و2 از نظر ارتباط نظارتی (R_{12}^{SL})، ارتباط محیطی (R_{12}^{EL}) و ارتباط اطلاعاتی (R_{12}^{IL}) به ترتیب برابربا 4، 1.78 و4 محاسبه می شود.

در صورتی که از روش غیرفازی کننده FOM استفاده شود با توجه به شکل، R_{12}^{MF} برابر با 0.5 و با روش غیرفازی کننده LOM عدد 1.5 بدست می آید.

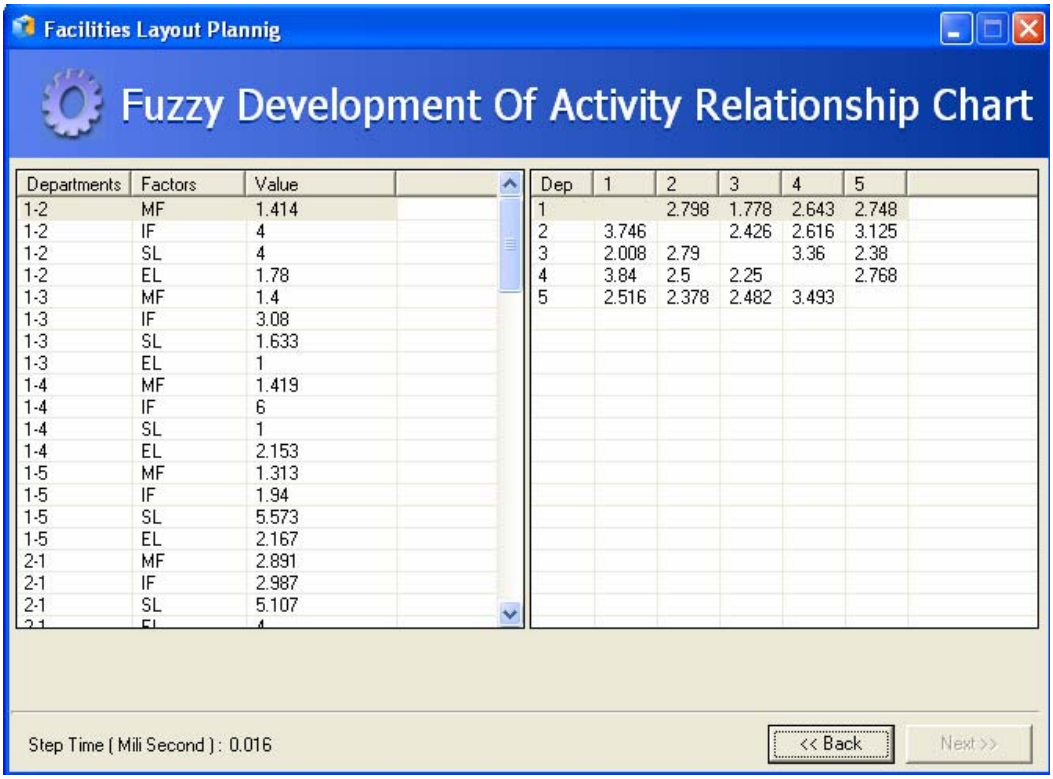
عدد نهایی نزدیکی بین دو بخش 1 و 2 (R_{12}) میانگین اعداد بالا خواهد بود، یعنی:

$$R_{12}=\frac{R_{12}^{MF}+R_{12}^{SL}+R_{12}^{EL}+R_{12}^{IF}}{4}=\frac{1.414+4+1.78+4}{4}=2.798$$

شکل (7) خروجی نهایی برنامه FDARC را برای این مثال نشان می دهد.

5- روش انتخاب بخش ها

تولید یک جانمایی رضایت بخش بستگی زیادی به توالی انتخاب تسهیلات دارد. برای این منظور از مقادیر عددی



شکل 7- خروجی نهایی برنامه FDARC

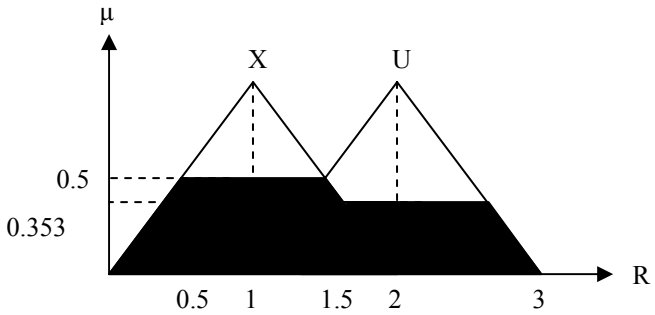
نزدیکی که از طریق سیستم تصمیم گیری فازی بدست آمده استفاده می شود.

1- ابتدا بخشی که حاصل جمع نرخ نزدیکی متقابل آن با تمام بخش ها از همه بیشتر باشد، انتخاب می شود. نرخ نزدیکی متقابل مقدار نرخی است که در هر دو جهت بین بخش ها 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.

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

3- بخش سوم بخشی است که حاصل جمع نرخ نزدیکی متقابل آن با تمام بخش هایی که انتخاب شده اند از همه بخش های دیگری که شرایط انتخاب شدن را دارند (ولی تا کنون انتخاب نشده اند)، بیشتر باشد.

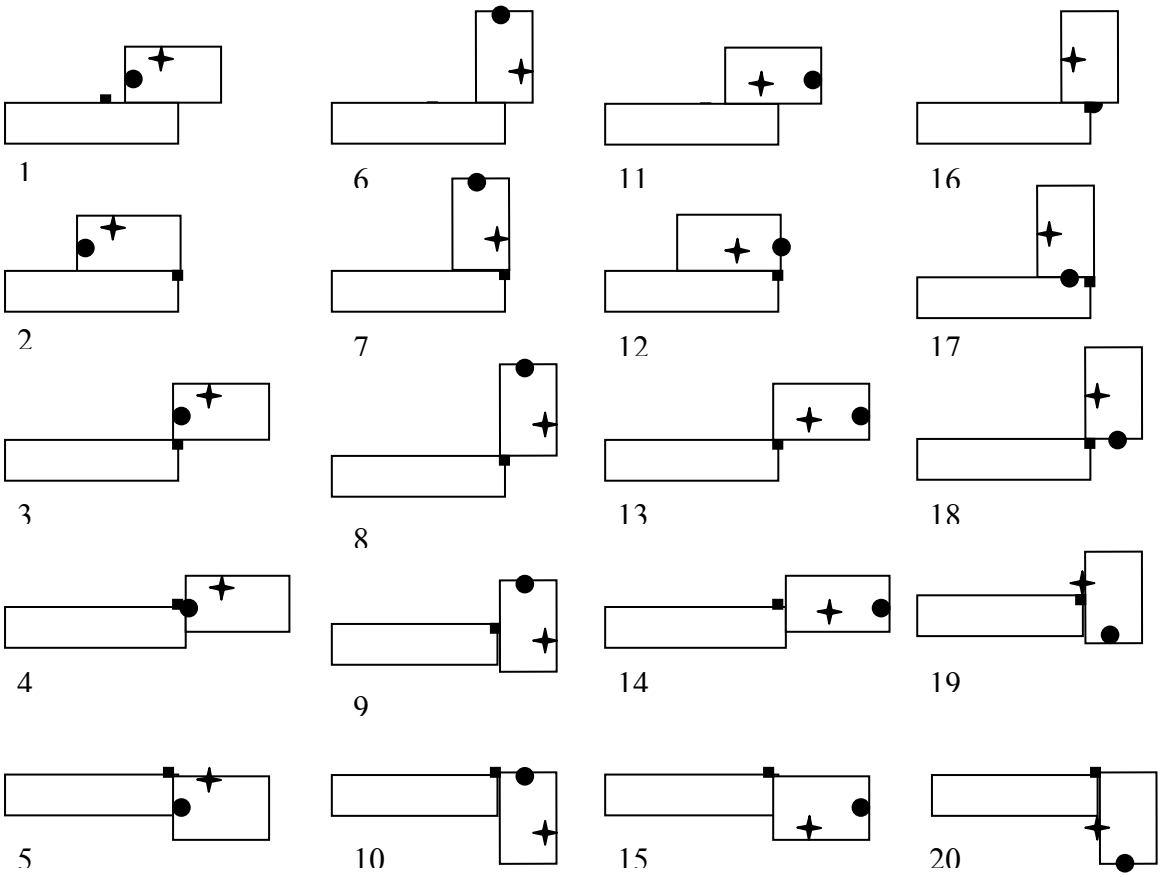
4- این فرایند تکرار می شود، تا اینکه تمام بخش ها انتخاب شوند.



شکل 8- خروجي فازي نرخ نزديكي بين

6- روش ابتکاری استقرار بخش ها

بیشتر روش های قبلی جانمایی بر پایه سیستم شبکه شطرنجی و بدون در نظر گرفتن ابعاد واقعی بخش ها و محل های ورود و خروج می باشند. بنابراین نتایج بدست آمده به صورت شکل های غیرعملی خواهد بود. در اینجا فرض می شود که بخش ها 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 می شود.



محل ورود ● ، محل خروج ✦ ، نقطه کاندید ■

شکل 9- 20حالت مختلف برای استقرار، در حول یک نقطه کاندید گوشه ای

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

اولین بخش به صورت افقی در مرکز نقشه قرار می گیرد. نقاط وسط و گوشه بخش یا بخش های استقرار یافته به عنوان نقاط کاندید برای استقرار بخش بعدی در نظر گرفته می شود. به طور کلی سه نوع استقرار در حول یک نقطه کاندید وسط ملاحظه می شود. این سه حالت در سمت چپ یا راست نقطه کاندید و یا در وسط نقطه کاندید خواهد بود. بخش ها باید افقی یا عمودی بدون هم پوشانی با سایر بخش ها در ناحیه مورد نظر قرار گیرند. سه حالت افقی و سه حالت عمودی، شش حالت را بوجود می آورند، حال اگر این شش حالت را 180 درجه بچرخانیم، شش حالت دیگر بدست می آید. بنابراین 12 حالت برای هر نقطه کاندید وسط جستجو می شود.

در حول یک نقطه کاندید گوشه به طور کلی پنج نوع استقرار بوجود می آید، این پنج نوع استقرار با شماره های 1 تا 5 در شکل (9) مشخص شده اند. پنج حالت افقی و پنج حالت عمودی (شماره های 6 تا 10) ده حالت را بوجود می آورند، مانند نقاط گوشه ای وسط این ده حالت را هم می توان 180 درجه چرخاند و ده حالت دیگر را بدست آورد، بنابراین، در حول یک نقطه گوشه ای 20 حالت مختلف استقراروجود خواهدداشت (شکل 9). جستجوی ابتکاری در همه نقاط کاندید با در نظر گرفتن شرط عدم هم پوشانی به انجام می رسد و حالتی که کمترین مقدار تابع هدف را داشته باشد، انتخاب می شود.

قدم های الگوریتم پیشنهادی برای استقرار بخش ها به صورت زیر خواهد بود:

1- یافتن مسیر انتخاب بخش ها بر اساس روش انتخاب بخش ها.
2- قرار دادن اولین بخش در مرکز نقشه باز به صورت افقی.
3- انتخاب بخش بعدی برای استقرار، طبق مسیر انتخاب بخش ها.
4- انتخاب نقطه کاندید و کنترل موجه بودن آن. اگر موجه نبود به قدم 7 بروید، در غیر این صورت به قدم بعدی بروید.
5- قرار دادن بخش بعدی طبق حالات ممکن و کنترل عدم هم پوشانی. اگر راضی کننده نبود دیگر استقرارهای ممکن را امتحان کنید. در غیر این صورت به قدم 6 بروید.
6- مقدار تابع هدف را محاسبه کنید، اگر بهتر از قبل بود، شکل و مقدار تابع هدف را بروز کنید، برای جستجوی دیگر حالات در نقطه کاندید به قدم 5 بروید.
7- انتخاب دیگر نقطه کاندید. اگر همه نقاط کاندید بررسی شده اند به قدم 8 بروید، در غیر این صورت به قدم 4 بروید.
8- انتخاب بخش بعدی. اگر همه بخش ها انتخاب شده اند به قدم 9 بروید در غیر این صورت به قدم 3 بروید.
9- بهترین جانمایی را گزارش کنید.

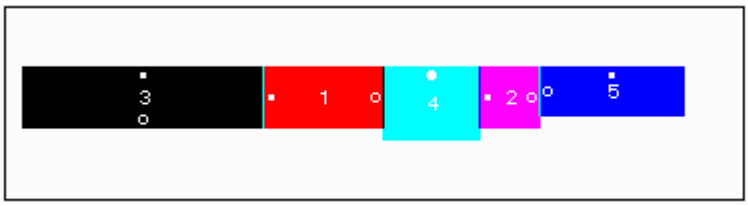
در صورتی که برای مثال توضیحی ابعاد ماشین ها و محل نقاط ورود و خروج مطابق جدول (6) باشد، جانمای نهایی با استفاده از FLAYOUT به صورت شکل (10) خواهد بود. در این مثال فرض کردیم که W_1، W_2 و P_c برابر یک هستند (پیوست)

مسیر انتخاب ماشین ها برای ورود به جانمایی در این مثال ابتدا ماشین 4 و سپس ماشین های 1، 2، 5 و 3 بودند، که طبق روش انتخابی که در بخش بیان شد، قرار گرفته اند.مقادیر مربوط به هزینه فضای مرده و هزینه حمل و نقل برای این مثال به ترتیب 2124 و 3819 محاسبه گردید. در بخش بعدی نتایج محاسباتی حاصل از مقایسه روش پیشنهادی با روش های دیویری و کری نشان داده می شود.

جدول 6- ابعاد و محل نقاط ورود وخروج ماشین ها

ماشین ها	M1	M2	M3	M4	M5
طول (متر)	60	30	120	48	72
عرض (متر)	30	30	30	36	24
نقطه ورود	(0 ، 15)	(0، 15)	(60 ، 0)	(24 ، 0)	(0 ، 12)
نقطه خروج	، 15)	، 15)	، 30)	(24 ، 0)	(36 ، 0)

	(60	(30	(60		



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

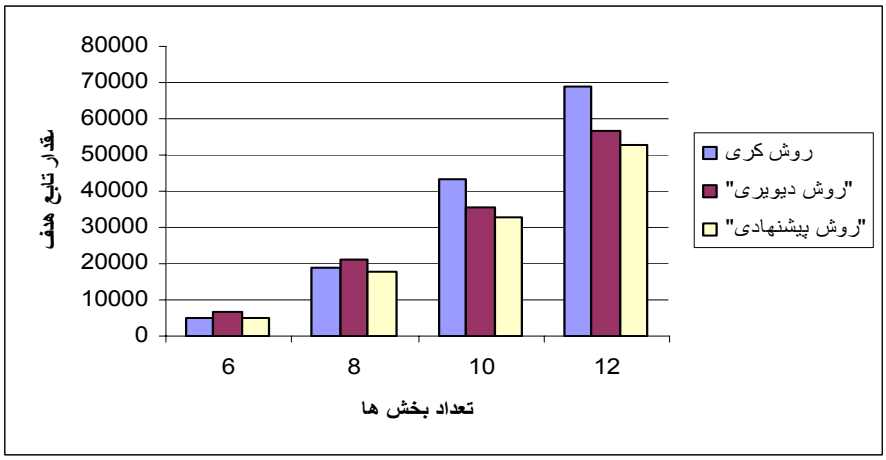
شکل 10- جانمایی نهایی FLAYOUT برای مثال توضیحی

7- نتایج محاسباتی

در این بخش نتایج حاصل از روش پیشنهادی برای توسعه فازیجدول رابطه فعالیتها، با روش های دویری و میبر (1996) و کری و همکاران (2000) مقایسه می گردد. برنامهٔ FDARC به منظور توسعه جدول رابطه فعالیتها و برنامـهٔ FLAYOUT بـه منظـور ایجاد جانمایی با استفاده از زبان برنامه نویسی ویژوال بیسیک 6 کدنویسی شده و بر روی یک رایانـه پنتیـوم III، 550 مگـاهرتز اجـرا گردیدند.

روش کار به این صورت است که جدول رابطه فعالیتهایی که از روش پیشنهادی، روش دویری و روش کری بدست می آید را به برنامه FLAYOUT داده و هزینه حمل و نقل مواد (MFC)، فضای مرده (DS) و مقدار تابع هدف به عنوان معیارهای ارزیابی در نظرگرفته می شوند. مسائلی با اندازه های 6، 8، 10و12 بخش در نظر گرفته شد فاکتورهای جریان مواد، جریان اطلاعات، ارتباط نظارتی و ارتباط محیطی به عنوان فاکتورهای ورودی انتخاب شده اند. از آنجا که پارامتر عملگر ورنرز در بازه [0،1] تعریف شده است، مقادیر 0، 0/2، 0/4، 0/6، 0/8 و1 برای این پارامتر و مقادیر 1، 3، 5 و7 به عنوان مقادیر پارامتر عملگر یاگر که در بازهٔ [1، ∞] 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.

جواب های بدست آمده و جواب های حاصل از روش های دویری و کری در جداول (7) تا (10) مقایسه شده اند. همانطور که مشاهده می شود جواب های بدست آمده از روش پیشنهادی، از جواب های روش دویری و روش کری بهتر است. در شکل (11) مقادیر تابع هدف توسط یک نمودار میله ای 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 اندازه های مختلف در جدول (11)نشان داده شده است. کوتاه بودن زمان محاسباتی کارایی روش را از این نظر نشان می دهد.



شکل 11- مقادیر تابع هدف محاسبه شده با استفاده از روش های مختلف.

جدول 7- مقایسه نتایج حاصل از روش های مختلف برای مسئله با 6 بخش.

روش ها	هزینه حمل و نقل	فضای مرده	مقدار تابع هدف
کری	2993	2216	5209
دویری	3246	3432	6678
روش پیشنهادی	2721	2064	4785

جدول 8- مقایسه نتایج حاصل از روش های مختلف برای مسئله با 8 بخش.

روش ها	هزینه حمل و نقل	فضای مرده	مقدار تابع هد ف
کری	16422	2562	19074
دویری	16737	4365	21102
روش پیشنهادی	15319	2712	18031

جدول 9- مقایسه نتایج حاصل از روش های مختلف برای مسئله با 10 بخش.

روش ها	هزینه حمل و نقل	فضای مرده	مقدار تابع هدف
کری	36750	6646	43396
دویری	29540	5880	35420
روش پیشنهادی	29417	3161	32578

جدول 10- مقایسه نتایج حاصل از روش های مختلف برای مسئله با 12 بخش.

روش ها	هزینه حمل و نقل	فضای مرده	مقدار تابع هدف
کری	61839	6784	68623
دیویری	49805	6606	56411
روش پیشنهادی	49185	3520	52705

جدول 11- متوسط زمان موردنیاز برنامه های FDARC و FLAYOUT برای مسائل مختلف بر حسب ثانیه.

برنامه ها	6 بخش	8 بخش	10 بخش	12 بخش
FDARC	1.2	1.8	2.8	4.3
FLAYOUT	2	3.5	4.7	5.7

18- نتیجه گیری

در این مقاله یک سیستم تصمیم گیری فازی برای توسعه جدول رابطه فعالیتها طراحی گردید. برنامه رایانه ای حاصل از این روش(FDARC) به صورتی تهیه شده است که اجرای آن برروی رایانه های شخصی، برای کاربران ساده و آسان باشد. خروجی این

برنامه را می توان در هر روشی که جدول از- به را به عنوان ورودی دریافت می کند، مورد استفاده قرار داد. در این تحقیق خروجی بدست آمده از FDARC به عنوان ورودی FLAYOUT برای ایجاد جانمایی با ابعاد واقعی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج بدست آمده به صورت زیر است:

- این روش به طراح اجازه می دهد که از همه فاکتورهای مؤثر بر جانمایی استفاده کند به طوری که بتواند هم فاکتورهای کمی و هم فاکتورهای کیفی را به طور همزمان در جدول رابطه فعالیتها تأثیردهد.

2- در حالی که قبلاً با تکیه بر یک قضاوت خالص، جدول رابطه فعالیتها شکل می گرفت. با استفاده از این روش طراح می تواند از همه فاکتورها به طریقی نسبتاً علمی استفاده نماید.

3- مقایسه روش پیشنهادی با روش های دویری و کری برای تشکیل جدول رابطه فعالیتها و سپس ایجاد جانمایی نهایی، نشان داد که فضای مرده حاصل از روش جدید بسیار کمتراست، بنابراین میزان فضای موردنیاز نیز کمتر خواهد بود.

4- هزینه حمل و نقل مواد همواره درصدزیادی از هزینه های تولید را به خود اختصاص می دهد. مقایسه روش پیشنهادی با روش های دویری و کری نشان می دهد که هزینه حمل و نقل مواد نسبت به این دو روش کاهش یافته است.

5- در روش های دویری و کری، لازم است که کاربر برای حل هر مسئله تابع عضویت های فاکتورهای ورودی را مشخص کند، در حالی که در این روش این نیاز برطرف شده و از تابع عضویت های پیشنهادی روش دب و باتاچاریا استفاده شده است.

6- تعداد قوانین اگر- آنگاه روش دب و باتاچاریا با افزایش تعداد فاکتورهای ورودی به طور چشمگیری افزایش می یابد، در روش پیشنهادی این قوانین در حد قابل قبولی قرار دارند.

7- استفاده از روش AHP برای تعیین وزن فاکتورهای ورودی، این امکان را به طراح می دهد که شدت اثرهای متفاوتی را برای فاکتورهای مختلف در نظر بگیرد.

8- استفاده از عملگرهای پارامتری برای تعیین جدول رابطه فعالیتها، باعث انعطاف پذیری در روش پیشنهادی گردیده است.

9- خروجی حاصل از برنامه FDARC را می توان در هر برنامه جانمایی که جدول رابطه فعالیتها را به عنوان ورودی دریافت می کند، مورد استفاده قرار داد.

10- با استفاده از برنامهٔ FLAYOUT، طراح می تواند ابعاد واقعی بخش ها و محل نقاط ورود و خروج را از قبل تعیین کرده و یک جانمایی عملی را بدست آورد.

11- مدت زمان اجرای برنامه های تهیه شده در حد قابل قبولی قرار دارد.

پیوست

- کمینه کردن هزینه حمل و نقل

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

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

- کمینه کردن فضای مرده

$$\min Z_j^2 = p_c \times \left[\left(\max_i x_b^i - \min_i x_t^i\right) \times \left(\max_i y_t^i - \min_i y_b^i\right) - \sum_{i=1}^{j} A_i\right] .$$

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

- کمینه کردن جمع وزنی هزینه حمل و نقل و فضای مرده

$$\min\ Z_j = w_1 \times Z_j^1 + w_2 \times Z_j^2$$

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 بخش های i-j و j-i

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

P_c ضریب هزینه برای فضای مرده

(x_b^i, y_b^i) مختصات گوشه سمت راست پایین بخش i ، (x_t^i, y_t^i) مختصات گوشه سمت چپ بالای بخش i

w_1 و w_2 وزن های هزینه جریان مواد و هزینه فضای مرده و A_i مساحت بخش i

مراجع

1. زاهدی، م. "*تئوری مجموعه های فازی و کاربردهای آن* ،" نشر کتاب دانشگاهی، 1378.

2. طاهری، م."*آشنایی با نظریه مجموعه های فازی* "، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، 1378.

3. Armour, G.C., and Buffa, E.S., "A heuristic algorithm and simulation approach to relative allocation of facilities," *Management Science*. Vol. 9, 1963, pp. 294-309.

4. Deb, S.K., and Bhattacharyya, B., "Facilities layout planning based on fuzzy multiple criteria decision-making methodology," *International Journal of Production Research*, Vol. 41, 2003, pp. 4487-4504.

5. Dweiri, F., "Fuzzy development of crisp activity relationship charts for facilities layout," *International Journal of Computer and Industrial Engineering*, Vol. 36, 1999, pp. 1-16.

6. Dweiri, F., and Meier, F.A., "Application of fuzzy decision-making in facilities layout planning," *International Journal of Production Research*, Vol. 34, 1996, pp. 3207-3225.

7. Grobelny, J., "On one possible fuzzy approach to facility layout problems," *International Journal of Production Research*, Vol. 25, 1987, pp.1123-1141.

8. Grobelny, J., "Lingustic pattern method for a work station layout analysis," *International Journal of Production Research*, Vol. 26, 1988, pp.1779-1798.

9. Grobelny, J., "The fuzzy approach to facility layout problems", *Fuzzy Sets and Systems*, 23, 1987, pp 175-190.

10. Hassan, M, M.D., Hogg, G.L., and Smith, D.R., "Shape: a construction algorithm for area placement evaluation," *International Journal of Production Research*, Vol. 24, 1986, pp.1283-1295.

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, 2000, pp. 367-379.

12. Montrouil, B., Ratliff, H.D., and Goetschalckx, M., "Matching based interactive facility layout," *IIE Transactions*, Vol.19, 1987, pp. 271-279.

13. Raoot, A. D., and Rakshit, A., "A fuzzy approach to facilities layout planning," *International Journal of Production Research*, Vol. 29, 1991, pp. 835-857.

14. 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, 1994, pp. 563-581.

15. Saaty, T.L., "*The analytical hierarchy process*," MC-Graw-Hill, New York, 1980.

16. Werners, G., *Aggregation models in mathematical programming*, In Mitra, 1988, pp. 295-319.

17. Wilhelm, M., Karwowski, W., and Evans, G., "A fuzzy set approach to layout analysis," *International Journal of Production Research*, Vol. 25, 1987, pp. 1431-1450.

18. Yager, R.R., "On a general class of fuzzy connectives," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol 4, 1980, pp. 235-242.
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, 1975, pp. 301-357.
20. Zadeh, L.A., "Fuzzy sets," *Information and control*, Vol. 8, 1965, pp. 338-353.