نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــــریت تولیـــد

شمـــــاره ۲، جلـــد ۲۳، شهریـــور ۱۳۹۱
صفحـــــه ۱۷۳-۱۶۲

نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید
دانشگاه علم و صنعت ایران

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

ارائه یک روش ابتکاری ترکیبی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای حل مسأله هاب پوششی در حالت فازی

علیرضا عیدی* و عباس میرآخورلی

کلمات کلیدی

مکانیابی هاب،
مسأله هاب پوششی،
برنامه ریزی خطی فازی،
الگوریتم ژنتیک،
روشهای ابتکاری

چکیده:

مسأله مکانیابی هاب یکی از موضوعات جدید در حوزه مسائل مکانیابی بشمار می رود. این دسته از مسائل؛ کاربردهای فراوانی در سیستمهای حمل و نقل، در شبکه های پستی و همچنین در شبکه‌های ارتباطی دارند. در این تحقیق؛ فرموله نمودن مسائل هاب پوششی(یکی از انواع مسائل مکانیابی هاب) در محیط فازی انجام می شود و به منظور لحاظ نمودن عدم قطعیت های موجود در زمانهای انتقال و جابجایی محموله ها، فرمول بندی برنامه ریزی خطی فازی برای آن پیشنهاد می‌گردد. هدف اصلی مدل ارائه شده، یافتن مکان هاب ها و تخصیص گره های غیر هاب به گره های هاب می باشد بطوریکه زمان سفر بین هر جفت از گره های مبدأ – مقصد از محدودیت از پیش تعیین شده (محدودیت پوشش) تجاوز نکند. سپس یک الگوریتم ابتکاری مبتنی بر الگوریتم ژنتیک به عنوان راه حل مدل ارائه شده مورد مطالعه و توسعه قرار خواهد گرفت. از نتایج مهم این مقاله می توان به اثبات موضوع نیاز به افزایش تعداد هاب های تأسیس شده با فرض فازی در نظر گرفتن پارامترهای مسأله و نیز توانایی الگوریتم ارائه شده در حل مسائل با اندازه بزرگ و برتری محاسباتی آن از لحاظ زمان انجام محاسبات و کیفیت جوابها اشاره نمود. معتبر بودن و کارایی محاسباتی الگوریتم ارائه شده، برروی مجموعه داده های شناخته شده CAB , AP از طریق آزمایشات شبیه سازی نشان داده شده است.

۱. مقدمه

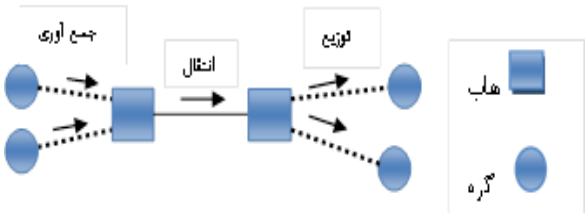
یکی از موضوعات جدید در حوزه مسائل مکانیابی، مسأله مکانیابی هاب[۲] است. هاب یک واژه عمومی است که به یک مکان یا یک نقطه اشاره دارد؛ محلی که کالا یا اطلاعات فراهم شده از چندین منبع در آنجا جمع شده و سپس به سوی دیگر هاب‌های شبکه یا مقصد نهایی انتقال داده می شود (شکل ۱).

تاریخ وصول: ۸۹/۷/۱۸
تاریخ تصویب: ۹۰/۳/۲۹

***نویسنده مسئول مقاله: دکتر علیرضا عیدی**، استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان eydi81@yahoo.com
عباس میرآخورلی، دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان

[2] *Hub*

در واقع هنگامی که امکان ارسال مستقیم جریان بین گرهها وجود ندارد و یا ارسال مستقیم جریان بین گرهها؛ صرفه‌های مقیاس[۳] نداشته باشد از هاب به منظور ارسال جریان بین گره های شبکه استفاده می‌شود.



شکل ۱. پیکر بندی شبکه هاب

[3] *Economics of scale*

Archive of SID

مسائل مکانیابی هاب به تعیین محل هاب ها و تخصیص گره های شبکه به این هاب‌ها می‌پردازد بنحویکه مجموع هزینه های مستقر ساختن هاب ها و هزینه های حمل ونقل کمینه شود. کاربردهای فراوانی برای مسأله هاب در زندگی روزمره وجود دارد نظیر کاربردهای این مسأله در خطوط هوایی، سیستم های ترافیکی و مسائل حمل و نقل، سرویس های پستی و همچنین در شبکه های مخابراتی. در تحقیقات اوکلی و میلر [۲]، کمپل و همکاران [۳] بررسی جامعی در خصوص ادبیات این موضوع انجام شده است. مسأله مکانیابی هاب موضوع نسبتاً جدید و حوزه مناسبی برای فعالیت های پژوهشی می باشد از اینرو تمایل به تحقیقات در زمینه این موضوع روز به روز در حال افزایش است. مسائل مکانیابی هاب به طور کلی به چهار نوع زیر تقسیم بندی می‌شوند:

۱- مسأله مکانیابی هاب-میانه

۲- مسأله مکانیابی هاب با هزینه ثابت

۳- مسأله مکانیابی هاب – مرکز

۴- مسأله مکانیابی هاب پوششی[۴]. اما با توجه به تمرکز این تحقیق بر روی مسأله مکانیابی هاب پوششی، در ادامه؛ پیشینه این مسأله مورد بررسی بیشتری قرار خواهد گرفت. هدف مسأله مکانیابی هاب پوششی، یافتن بهترین مکان یا موقعیت هاب ها در شبکه؛ و تخصیص گره ها به هاب ها می باشد به شرطی که محدودیت های پوشش تعیین شده تأمین گردیده و مجموع هزینه های مستقر ساختن هاب ها و هزینه های حمل و نقل کمینه شود. اولین فرمول بندی این مسأله توسط کمپبل[۵] ارائه شد. بر اساس این مقاله، جفت مبدأ-مقصد (i,j) توسط هاب های kوm پوشش داده می شود، چنانچه:

۱- طول یا زمان کل مسیر از گره i به گره j که از هاب k و سپس از هاب m می گذرد از یک مقدار از پیش تعیین شده تجاوز نکند.

۲- طول یا زمان طی نمودن هر کمان واقع بر روی این مسیر از یک مقدار از پیش تعیین شده تجاوز نکند.

۳- طول یا زمان طی نمودن هر کمان مابین هاب و گره های غیر هاب که برروی مسیر مذکور واقع می شود از مقدار از پیش تعیین شده ای تجاوز نکند. در ادامه کارا و تانسل[۶] چندین شکل از فرمولبندی خطی عدد صحیح آمیخته[۱] مسأله مذکور را پیشنهاد دادند و اثبات نمودند مسأله هاب پوششی NP-hard است. این محققین همچنین نشان دادند کارایی مدل آنها از سایر مدلهای خطی بهتراست. تان و کارا[۷] نیز نسخه ای از این مدل را برای سیستم های تحویل بار در کشور ترکیه پیاده سازی نمودند. واگنر[۸] روشهای پیش پردازش[۲] را به منظور حل مساله هاب پوششی پیشنهاد نمود. این محقق با ثابت نگه داشتن مقدار برخی از متغیرهای تصمیم و از طریق حذف محدودیتهای تکراری، ابعاد مساله را کاهش داده و به نتایج محاسباتی بهتری رسید. چالیک و همکاران[۹] یک مدل جدید برای مساله هاب پوششی بر روی شبکه های ناقص ارائه نمودند. ارنست و همکاران[۱۰] فرمول بندی جدیدی را برای مساله هاب پوششی در حالت تخصیص تکی و چندگانه ارائه دادند.

مهترین کاربرد مسأله هاب پوششی در حمل و نقل هایی می باشد که قرار است محموله یا کالا در یک زمان از پیش تعیین شده بدست مشتری برسد نظیر کاربرد آن در شرکتهای پستی و یا شرکتهای هواپیمایی. نکته دیگر آنکه دو موضوع زیر در شبکه‌های حمل و نقل از اهمیت بالایی برخوردار می باشد:

الف- قابلیت اطمینان[۳] شبکه که به قابلیت خدمت رسانی در شرایط بحرانی؛ وقتی که قسمتی از شبکه دارای عیب و نقص است اطلاق می‌شود.

ب- زمان پاسخگویی[۴] که منظور از آن؛ مدت زمان مورد نیاز برای انتقال و جابجایی محموله از طریق شبکه به منظور برآوردن تقاضای مشتری می باشد. ازاینرو با توجه به رقابت شدیدی که امروزه بین شرکتهای خدماتی وجود دارد مهمترین عامل در موفقیت و پایداری اینگونه شرکتها، پاسخگویی و توانایی برآوردن هر چه سریعتر و بدون تأخیر تقاضای مشتریان می باشد.

غالباً در تحقیقات گذشته مسأله مکانیابی هاب در شرایط قطعی مورد بررسی قرار گرفته و فرض گردیده که زمانهای انتقال و جابجایی محموله ها ثابت است. حال آنکه امکان تأخیر در طی انتقال و جابجایی بار و تحویل کالا به مشتریان به سبب عدم قطعیت هایی[۵] نظیر حوادث پیش بینی نشده ناشی از وقایعی نظیر تراکم ترافیک، شرایط نامساعد جوی و ... قابل بررسی و مطالعه می باشد. عدم قطعیت های دنیای واقعی باعث عدم ثبات در زمان حمل و نقل می شود که به نوبه خود باعث ایجاد تأخیر در ارسال کالا و تحمیل هزینه های اضافی خواهد شد. بنابراین برای رویارویی با اینگونه عدم قطعیت ها، در این تحقیق مدل برنامه ریزی فازی برای مسأله هاب پوششی مورد مطالعه قرار خواهد گرفت. هدف از این تحقیق نیز یافتن مکان هاب ها و تخصیص گره های غیر هاب به گره های هاب می باشد به قسمی که زمان سفر بین هر جفت گره مبدأ و مقصد از محدودیت زمانی از پیش تعیین شده تجاوز نکند.

الگوریتم های بسیاری برای حل انواع متفاوتی از مسائل مکانیابی هاب ارائه شده است. برای حل مسائل با اندازه کوچک از روشهای بهینه سازی برنامه ریزی عدد صحیح نظیر شاخه و کران[۶] استفاده

[1] *Mixed Integer Linear Programming (MILP)*
[2] *Pre-Processing*
[3] *Robustness (dependability)*
[4] *Response time*
[5] *Uncertainty*
[6] *Branch and Bound (B&B)*

Archive of SID

می شود. در حالیکه برای مسائل با ابعاد بزرگ، روش های ابتکاری و فرا ابتکاری مختلفی نظیر جستجوی حریصانه[۱] ، جستجوی ممنوعه[۲] ، بازپخت شبیه سازی شده[۳] و الگوریتم ژنتیک[۴] مورد استفاده قرار می گیرند[۱۱]. در این مقاله برای حل مسأله تحقیق، یک الگوریتم ابتکاری ترکیبی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک پیشنهاد می گردد.

در ادامه ساختار مقاله شامل بخش های زیر می باشد : در بخش ۲ ضمن مرور برنامه ریزی خطی فازی، فرضیات و چگونگی فرموله نمودن مسأله هاب پوششی در حالت فازی مورد مطالعه قرارخواهد گرفت. در بخش ۳ و ۴ مقاله، آزمایشات مدل و متدولوژی جواب شامل طراحی الگوریتم ژنتیک و کدگذاریهای مسأله تحقیق و همچنین دستورالعمل یک الگوریتم ابتکاری ترکیبی ارائه خواهد گردید. در بخش ۵ نیز اجرای الگوریتم ترکیبی ارائه شده شامل محاسبات و تحلیل ها در مورد مجموعه داده های شناخته شده CAB و AP با استفاده از نرم افزارهای LINGO و MATLAB انجام شده است. نهایتاً در بخش ۶ جمع بندی، طرح نتایج مهم، محدودیت ها و برخی از افق های تحقیقاتی آتی در ارتباط با موضوع تحقیق بیان گردیده است.

۲. برنامه ریزی خطی فازی[۵]

شواهد تجربی نشان می دهد برنامه ریزی خطی (LP) یکی از پرکاربردترین تکنیکها در حل مسائل دنیای واقعی می باشد. برنامه ریزی خطی فازی (FLP) به عنوان توسعه ای از LP توسط بلمن و زاده[۱۲] پیشنهاد گردید. در این تکنیک به دلیل عدم صراحت در بیان برخی از پارامترها، تابع هدف و محدودیت ها توسط مجموعه های فازی ارائه می شوند. در ادامه بر پایه رویکرد زیمرمن[۱۳] مدل FLP را می توان به صورت زیر تعریف نمود.

$$\widetilde{max}(\text{or } \widetilde{min})\ f(x) = CX \qquad (۱)$$

s.t.

$$AX \lesssim b \qquad (۲)$$

$$X \geq 0 \qquad (۳)$$

در این مدل، x بردار تصمیم است. همچنین C بردار ضرایب تابع هدف، A ماتریس ضرایب محدودیتها و b بردار ثابت سمت راست می باشد. همچنین توابع عضویت[۶] محدودیت های فازی و تابع هدف فازی داده شده است. در مدل مذکور از نمادهای $\widetilde{max}$ و $\lesssim$ برای نمایش بیشینه سازی فازی و نامساوی فازی استفاده گردیده است[۱۴] .

۲-۱. فرضیات و مدل هاب پوششی در حالت فازی

پیش از ارائه فرمولبندی مسأله هاب پوششی در حالت فازی، مهمترین فرضیاتی که در این تحقیق لحاظ گردیده است می توان به شرح زیر بیان نمود :

- مسأله مورد بررسی از نوع هاب پوششی می باشد.
- با توجه به اینکه در ادبیات موضوع، دو نوع از شبکه های هاب تعریف می شود. تخصیص تکی[۷] از دیگر فرضیات تحقیق می باشد. یعنی هر گره غیر هاب فقط به یک هاب تخصیص می یابد.
- در این تحقیق، فرض شبکه های کامل[۸] برقرار است یعنی هر جفت از هاب ها با یکدیگر ارتباط دارند. همچنین ارتباطات مستقیم بین گره های غیر هاب؛ مجاز نمی باشد.
- به منظور لحاظ نمودن موضوع صرفه های مقیاس در ارتباطات هاب به هاب، از فاکتور تنزیل زمانی $\alpha \in [0\ 1]$ استفاده می شود[۱۵] .
- در این تحقیق، هاب ها بدون محدودیت ظرفیت در نظر گرفته شده اند یعنی میزان جریان عبوری از هر هاب نامحدود می باشد.
- یالها و مسیرهای انتقال نیز بدون محدودیت ظرفیت در نظر گرفته می شوند.
- مدت زمان حمل و نقل کالا به صورت غیر قطعی و فازی در نظر گرفته شده است.

اکنون فرموله نمودن هاب پوششی در حالت فازی بیان می شود. فرض کنید N مجموعه ای با n گره و مجموعه $H \subseteq N$ که شامل هاب های بالقوه است با h گره داده شده باشد. مدل ریاضی مورد نظر این تحقیق، با مستقر ساختن گره های عضو مجموعه H، شبکه هاب را بنا نهاده و سپس گره های باقیمانده از مجموعه N را به این هاب ها تخصیص می دهد بطوریکه زمان سفر بین هر جفت از گره های مبدأ - مقصد از مقدار از پیش تعیین شده β تجاوز نکند. از β به عنوان شعاع پوشش[۹] یاد می شود. هدف مدل ریاضی نیز کمینه نمودن تعداد هاب های تأسیس شده می باشد.

[1] *Greedy*
[2] *Tabu Search (TS)*
[3] *Simulated Annealing (SA)*
[4] *Genetic Algorithm (GA)*
[5] *Fuzzy Linear Programming (FLP)*
[6] *Membership Function*
[7] *Single allocation*
[8] *Complete Hub Network*
[9] *Cover radius*

Archive of SID

سایر پارامترهای مدل عبارتند از : α ضریب تنزیل زمانی برای ارتباطات هاب به هاب و $\tilde{t}_{ij}$ زمان سفر از گره i به گره j می‌باشد. متغیرهای تصمیم مدل را نیز به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$X_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{چنانچه گره i به هاب واقع در گره k تخصیص یابد} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$X_{kk} = \begin{cases} 1 & \text{چنانچه گرهk به عنوان گره هاب انتخاب شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

اکنون فرمولبندی برنامه ریزی عدد صحیح این مسأله را می‌توان به شرح زیر پیشنهاد نمود:

$$\text{Min} \sum_k x_{kk} \qquad (۴)$$

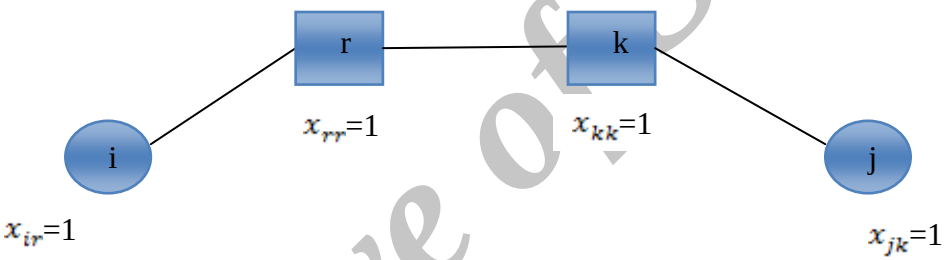
$$(\tilde{t}_{ir} + \alpha\, \tilde{t}_{rk})\, X_{ir} + \tilde{t}_{jk}\, X_{jk} \le \tilde{\beta} \quad \forall\ i, j \in N,\ k, r \in H \qquad (۵)$$

$$\sum_{k \in H} X_{ik} = 1 \qquad \forall\ i \in N \qquad (۶)$$

$$X_{ik} \le X_{kk} \qquad \forall\ i \in N, k \in H \qquad (۷)$$

$$X_{ik} \in \{0, 1\} \qquad \forall\ i \in N, k \in H \qquad (۸)$$

مدل ریاضی پیشنهاد داده شامل تابع هدف (۴) و محدودیتهای (۵)-(۸) می باشد. رابطه ۵ که محدودیتی خطی است این تضمین را می‌دهد که زمان کل سفر از گره i به گره j که از هاب r و k می‌گذرد از مقدار β بیشتر نشود (محدودیت پوشش). توضیح این محدودیت در شکل۲ قابل مشاهده می باشد.



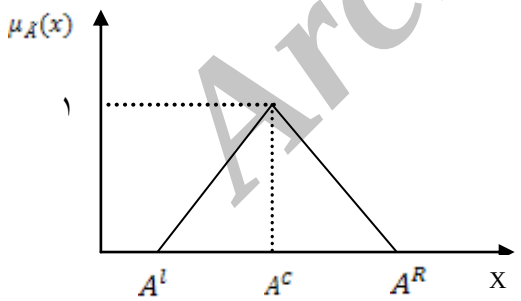
شکل ۲. تفسیر شماتیک محدودیت شماره ۵ مدل

روابط ۶و۸ این تضمین را می دهند که هر گره، دقیقاً به یک هاب تخصیص می یابد. رابطه ۷ نیز بیان می کند که یک گره نمی تواند به گره دیگر تخصیص داده شود مگر اینکه آن گره؛ یک گره هاب باشد.

در مجموع با توجه به رابطه ۵ که در آن ضرایب متغیرهای تصمیم و مقدار سمت راست محدودیت به صورت اعداد فازی بیان شده اند، مدل ارائه شده نوعی از برنامه ریزی خطی فازی است که مبتنی بر اعداد فازی می باشد.

تعریف ۱ : برای R مجموعه اعداد حقیقی، $f(R) \in \tilde{C}$ عدد فازی نامیده می شود اگر $\tilde{C}$ نرمال و محدب باشد و به ازای دقیقاً یک $x_0 \in R$ نیز $\mu_{\tilde{C}}(x_0) = ۱$ $\mu_{\tilde{C}}(x_0)$ تابع عضویت $\tilde{C}$ را نشان می دهد). انواع مختلفی از اعداد فازی وجود دارد مانند عدد فازی نوع T، عدد فازی نوع L-R و غیره[۱۴] .

تعریف ۲ : f(R) را به عنوان مجموعه همه اعداد فازی روی R در نظر بگیرید. در این بین غالباً از اعداد فازی مثلثی[1] استفاده می‌شود. اکنون $A \in f(R)$ را در نظر گرفته، چنانچه تابع عضویت $\tilde{A}$ را بتوان به صورت شکل ۳ ارائه نمود :



شکل ۳. ساختارعدد فازی مثلثی[۱۴]

$\tilde{A}=(A^l, A^c, A^R)$ عدد فازی مثلثی نامیده می شود و A^l , A^c, A^R نیز اعداد حقیقی هستند. در این تحقیق برای نشان دادن عدم قطعیتهای موجود در پارامترهای مسأله یعنی زمانهای سفر و شعاع پوشش از اعداد فازی مثلثی استفاده می شود. از اینرو در رابطه ۵ با یک نامعادله فازی روبرو خواهیم بود. روش‌های مختلفی برای تبدیل یک نامعادله فازی به نامعادله

[1] *Triangular Fuzzy Number (TFN)*

Archive of SID

صریح یا قطعی وجود دارد. یکی از این روش ها؛ استفاده از نظریه امکان[1] در تبدیل محدودیت های احتمالی[2] فازی به معادل قطعی به شرح زیر می باشد[۱۶].

تعریف ۳ : فرض کنید $\tilde{a}$ و $\tilde{b}$ دو عدد فازی با توابع عضویت $\mu_{\tilde{b}}$ و $\mu_{\tilde{a}}$ باشند. بر مبنای مفاهیم نظریه امکان، تعریف زیر (رابطه ۹) قابل ارائه می باشد[۱۷]:

$$\text{Pos}\{\tilde{a} \le \tilde{b}\} = \text{Sup}\{\min(\mu_{\tilde{a}}(x), \mu_{\tilde{b}}(y)) \mid x, y \in R, x \le y\} \quad (۹)$$

با بهره گیری از روش مورد اشاره یعنی برنامه ریزی با محدودیت احتمالی در محیط فازی، محدودیت شماره ۵ را می توان به صورت رابطه ۱۰ نوشت.

$$\text{Pos}\{(\tilde{t}_{ir} + \propto \tilde{t}_{rk}) X_{ir} + \tilde{t}_{jk} X_{jk} \le \tilde{\beta}\} \ge \Phi \quad (۱۰)$$

در رابطه فوق، Φ سطح اطمینان[3] از پیش تعیین شده می باشد ($\Phi \in [0, 100]$). رابطه ۱۰ بدین معنی است که امکان اینکه کل زمان تقریبی حمل و نقل از میزان تقریبی شعاع پوشش کمتر باشد، حداقل به اندازه Φ است. در ادامه، قضیه زیر را مطرح می-کنیم.

قضیه ۱ : فرض کنید دو عدد فازی مثلثی $\tilde{I} = (I_1, I_2, I_3)$ و $\tilde{J} = (J_1, J_2, J_3)$ موجود باشد آنگاه خواهیم داشت:

الف) $\text{Pos}\{\tilde{I} \le \tilde{J}\} = 1 \Leftrightarrow I_2 \le J_2$

ب) $\text{Pos}\{\tilde{I} \le \tilde{J}\} \ge \Phi \Leftrightarrow I_2 \le J_3 - \Phi(J_3 - J_2)$

در نتیجه، با توجه به قضیه ۱ و در نظر گرفتن عدد فازی مثلثی به شکل $\tilde{\beta} = (\beta_1, \beta_2, \beta_3)$ برای شعاع پوشش و $\tilde{t}_{ir} = (t_{ir_1}, t_{ir_2}, t_{ir_3})$ و $\tilde{t}_{rk} = (t_{rk_1}, t_{rk_2}, t_{rk_3})$ و $\tilde{t}_{jk} = (t_{jk_1}, t_{jk_2}, t_{jk_3})$ برای زمان های سفر، می توان رابطه ۱۰ را به محدودیت معادل قطعی زیر (رابطه ۱۱) تبدیل نمود.

$$(t_{ir_2} + \propto t_{rk_2}) X_{ir} + t_{jk_2} X_{jk} \le \beta_2 - \Phi(\beta_2 - \beta_1) \quad (۱۱)$$

بنابراین مدل قطعی مسأله را می توان به شکل زیر ارائه نمود:

$$\text{Min} \sum_k X_{kk} \quad (۱۲)$$

$$(t_{ir_2} + \propto t_{rk_2}) X_{ir} + t_{jk_2} X_{jk} \le \beta_2 - \Phi(\beta_2 - \beta_1)$$

$$\forall\ i, j \in N, H, r \in \quad (۱۳)$$

$$\sum_{k \in H} X_{ik} = 1 \qquad \forall\ i \in N \quad (۱۴)$$

$$X_{ik} \le X_{kk} \qquad \forall\ i \in N, k \in H \quad (۱۵)$$

$$X_{ik} \in \{0, 1\} \qquad \forall\ i \in N, k \in H \quad (۱۶)$$

در بخش بعدی؛ نتایج محاسباتی حاصل از اجرای مدل را برروی برخی از مسائل نمونه ای ارائه خواهیم داد.

۳. آزمایشات مدل

هدف از انجام آزمایشات محاسباتی، ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی می باشد. بدین منظور می توان از مجموعه داده های شناخته شده CAB[4] [۱۹] استفاده نمود. این مجموعه داده ها که مشتمل بر اطلاعاتی درباره مسافت و جریان مسافرین خطوط هوایی بین ۲۵ شهر بزرگ آمریکا در سال ۱۹۷۰ است عموماً در تست کردن مدل‌های مکانیابی هاب بکار گرفته می‌شوند. مجموعه داده‌های CAB برای اولین بار در تحقیقات اوکلی [۱۵] مورد استفاده قرار گرفت.

این مجموعه داده ها به ۴ زیر گروه با اندازه‌های ۱۰،۱۵،۲۰و ۲۵ گره تقسیم می شود. همچنین مقادیر مختلفی نظیر ۰/۲ ، ۰/۴ ، ۰/۶ ، ۰/۸ و ۱ برای α در ادبیات مکانیابی هاب در نظر گرفته شده است. در آزمایشات طراحی شده در این تحقیق؛به منظور بررسی تأثیر عدم قطعیت ها در مسأله هاب پوششی، نمونه n =۲۵ و ۰/۴ = α انتخاب شده است. مقدار سمت راست و مقدار سمت چپ برای پارامتر فازی زمانهای سفر به ترتیب ۱/۲و ۰/۸ برابر مقدار آن در حالت قطعی در نظر گرفته شده است. برای تعیین شعاع پوشش β نیز از اعداد تولید شده در تحقیق کارا و تانسل [۶] استفاده می شود.

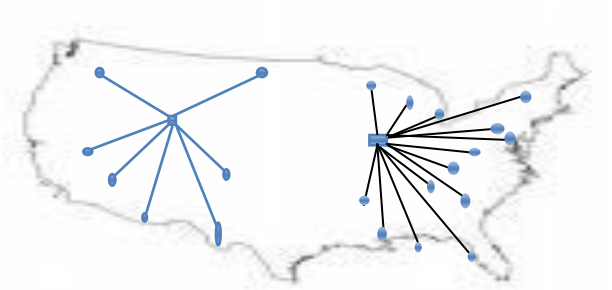
مثلاً برای ترکیب (۲۵و۰/۴) = (n و α) مقادیر β عبارتند از: ۲۴۰۱و۲۰۹۹و۱۸۸۱و۱۵۹۷ در نتیجه مقادیر β_1 و β_2 و β_3 برای عدد فازی مثلثی $\tilde{\beta}$ به ترتیب برابر کوچکترین، میانگین و بزرگ ترین این اعداد می باشد.

نهایتاً اینکه مقادیر مختلفی بین صفر تا صد درصد را می توان برای Φ انتخاب نمود که در این تحقیق؛ سطح اطمینان ۷۵٪ و ۹۵٪ مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه با استفاده از نرم افزار

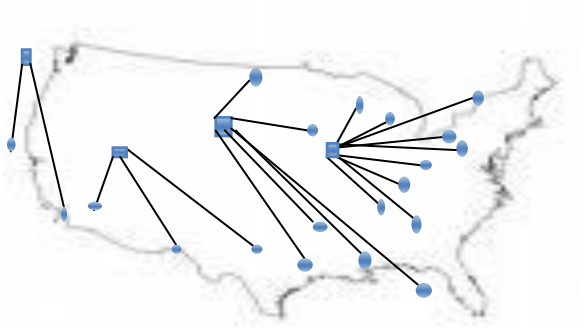
[1] *Possibility Theory*
[2] *Chance Constraints*
[3] *Confidence Level*
[4] *Civil Aeronautics Board (CAB)*

Archive of SID

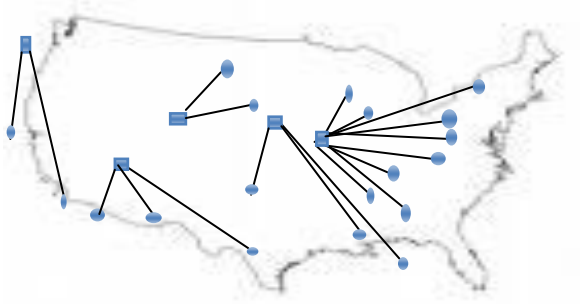
LINGO 8 مدل پیشنهادی برروی رایانه شخصی با مشخصات Pentium 4 CPU 2.40 GHz , 1GB RAM اجرا گردید و نتایج محاسباتی به شرح شکل های ۴و۵و۶ استخراج گردید.



شکل ۴. ساختار تخصیص هاب ها در حالت قطعی [منبع: تحلیل خروجی نرم افزار LINGO]



شکل ۵. ساختار تخصیص هاب ها در حالت فازی برای Φ = ٪۷۵ [منبع: تحلیل خروجی نرم افزارLINGO]



شکل ۶. ساختار تخصیص هاب ها در حالت فازی برای Φ = ٪۹۵ [منبع: تحلیل خروجی نرم افزارLINGO]

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می شود، در حالت قطعی؛ جواب بهینه شامل ۲ هاب می باشد حال آنکه با لحاظ نمودن موضوع عدم قطعیت و در سطح اطمینان تعریف شده ۷۵ درصد، دو هاب کافی نمی باشد و تعداد هاب ها به ۴ عدد افزایش می یابد(شکل ۵). همچنین در سطح اطمینان بالاتر یعنی ۹۵ درصد نیز تعداد هاب ها به ۵ عدد می رسد (شکل ۶). نتیجه آنکه با فرض فازی در نظر گرفتن پارامترهای مسأله و به منظور لحاظ نمودن عدم قطعیت های موجود، تعداد هاب های بیشتری نسبت به حالت قطعی مورد نیاز خواهد بود تا سطح اطمینان مورد نظر به طور کامل برآورده شود.

مطلب اخیر با توجه به رابطه ۱۱ نیز قابل دریافت است. بدین ترتیب که هر چه مقدار Φ (سطح اطمینان) افزایش یابد سمت راست رابطه ۱۱ کوچکتر شده و در واقع شعاع پوشش کوچکتر می شود.

در نتیجه با کاهش شعاع پوشش، به تعداد هاب های بیشتری برای پوشش دادن تمامی گره ها نیاز است. نکته دیگر آنکه با افزایش تعداد گره ها (n)، ابعاد مدل افزایش یافته و در نتیجه یافتن جواب بهینه با مشکل روبرو خواهد شد در نتیجه؛ پیدا کردن شیوه های محاسباتی جایگزین که تخمینهای خوبی از جواب بهینه فراهم نموده و زمان اجرای محاسبات را کاهش دهد، یکی دیگر از انگیزه های تحقیقاتی می باشد. از اینرو به منظور توانایی حل مسأله تحقیق در مورد شبکه هایی با مقیاس واقعی، در بخش بعدی متدولوژی حل مدل مبتنی بر تکنیک های هوش مصنوعی با تأکید بر الگوریتم ژنتیک (GA) توسعه داده می شود.

۴. متدولوژی حل مدل مبتنی بر الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک با الهام از قوانین تکامل[1] یکی از ابزارهای قدرتمند جستجو بشمار می رود. از مهمترین گام ها در بکار گیری این الگوریتم، شناسایی اجزای آن در ارتباط با مسأله مورد بررسی می باشد[۲۰] . در ادامه کد گذاری های مسأله تحقیق و طراحی الگوریتم ژنتیک توضیح داده می شود.

۴-۱. کد گذاریهای مسأله تحقیق

یکی از اجزای مهم در الگوریتم ژنتیک، ساختار کروموزوم ها یا جوابهای مسأله می باشد. از آنجا که جواب مسأله تخصیص هاب می بایست مکان هابها و تخصیص گره های باقیمانده (غیر هاب) را به هاب نشان دهد بنابراین در این تحقیق، ساختار هر کروموزوم به صورت آرایه ای[2] $1\times 2n$ مشتمل بر دو بخش تعریف می شود که n تعداد گره های شبکه می باشد.

این دو بخش عبارتند از آرایه هاب و آرایه تخصیص که طول هر یک از آنها ثابت و معادل تعداد گره های شبکه است. عناصر یا ژنهای آرایه هاب فقط اعداد صفر و یک را اختیار می نماید که

[1] *Evolution*
[2] *Array*

یک نشاندهنده این است که گره مربوطه به عنوان هاب انتخاب شده است. در آرایه تخصیص نیز چنانچه گره i به هاب k تخصیص داده شود، عنصر مربوط به آن گره؛ مقدار k می گیرد. بدیهی است که هر گره هاب به خودش تخصیص داده می شود. به عنوان مثال کد گذاری یک کروموزوم در شکل ۷ انجام شده است.

1	0	0	1	0	1	4	1	4	1

شکل ۷. مثالی از کد گذاری یک کروموزوم

در شکل فوق که برای شبکه ای با ۵ گره ارائه شده است. گره‌های ۱ و ۴ به عنوان هاب انتخاب شده اند و گره ۲ به هاب ۴ و گره ۳و۵ به هاب ۱ تخصیص داده شده اند. در ادامه جزئیات مراحل مختلف الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای حل مسأله تحقیق توضیح داده می شود.

۲-۴. طراحی الگوریتم ژنتیک

با توجه به نمودار جریان الگوریتم ژنتیک که در شکل ۸ نشان داده شده است، مراحل مختلف این الگوریتم به شرح زیر می‌باشد.

مرحله اول: جمعیت اولیه

الگوریتم های ژنتیکی با مجموعه اولیه ای از راه حل های تصادفی و متنوع که جمعیت نام دارد شروع می شوند. در این تکنیک، کروموزوم ها طی دوره های مکرر یا نسلها تکامل می یابند. در هر دوره، جمعیت تغییر می کند و نسل جدیدی ایجاد می گردد که از نظر نزدیکی به جواب بهینه از جواب قبلی قوی تر است. دو جنبه مهم جمعیت عبارتست از :

الف - تولید جمعیت اولیه : می توان از طریق رویه زیر، جمعیت اولیه را تولید نمود.

گام ۱: بخش اول کروموزم (آرایه هاب) را به صورت تصادفی با اعداد صفر و یک ایجاد نمایید.

گام۲: برای ایجاد بخش دوم کروموزوم یعنی آرایه تخصیص، هر گره را به نزدیکترین هاب (بر مبنای اندازه زمان یا هزینه سفر) تخصیص دهید.

گام ۳: به منظور جلوگیری از نقض محدودیت های مدل، هر گره دقیقاً به یک هاب تخصیص داده شود.

گام ۴: تا وقتی که همه جمعیت کروموزوم ها تولید نشده اند گام ۱ تا ۳ را تکرار کنید.

ب- اندازه جمعیت (pop size) : در این مورد نیز، اندازه مناسب جمعیت با لحاظ نمودن کارایی محاسباتی الگوریتم توسط کاربر تعیین می شود و تا آخرین مرحله الگوریتم؛ ثابت می باشد.

مرحله دوم: تابع برازش[1]

در این مرحله؛ برای مشخص نمودن میزان نزدیکی جوابها به جواب بهینه، مقدار تابع هدف برای هر یک از کروموزوم ها محاسبه و ارزیابی می شود. از اینرو با توجه به مدل ارائه شده در بخش دوم، از رابطه ۴ یعنی تابع هدف مدل جهت ارزیابی هر کروموزوم استفاده می شود. هر چه مقدار تابع مذکور برای یک کروموزوم کمتر باشد، آن جواب از هزینه کمتری برخوردار بوده و برای انتخاب مناسبتراست.

مرحله سوم: فرایند انتخاب

در این مرحله به منظور خلق فرزندان برای نسل جدید، انتخاب والدین از جمعیت انجام می شود. در الگوریتم پیشنهادی برای انتخاب کروموزومها از تکنیک انتخاب تصادفی استفاده می شود.

مرحله چهارم: اجرای عملگرهای الگوریتم ژنتیک

الف) عملگر تقاطعی یا نو ترکیب[2]

در فرایند ترکیب، یک جفت کروموزوم بر اساس روش بیان شده در مرحله سوم؛ از جمعیت موجود انتخاب و با هم ترکیب می گردند تا کروموزوم جدید (فرزند) خلق شود. در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی از روش ترکیب دو نقطه ای استفاده شده است. گامهای این روش به شرح زیر می باشد :

گام ۱: پارامتر اساسی عملگر تقاطعی یعنی نرخ ترکیب (P_c) را تنظیم کنید.

گام ۲: دو محل در دو کروموزوم را بطور تصادفی برای نقاط ترکیب انتخاب کنید.

گام ۳: محتوای بین دو نقطه ترکیب را مابین دو کروموزوم والدین با یکدیگر معاوضه کنید.

گام ۴: چنانچه در فرزندان تولید شده، تخصیص هاب ها به درستی انجام نشده است با انجام عملیات اصلاحی[3] از طریق تخصیص گره ها به نزدیک ترین هاب ها، فرزندان قابل قبول ایجاد نمایید. مثالی از اجرای عملگر تقاطعی در شکل های ۹ و ۱۰ ارائه شده است.

ب) عملگر جهش[4]

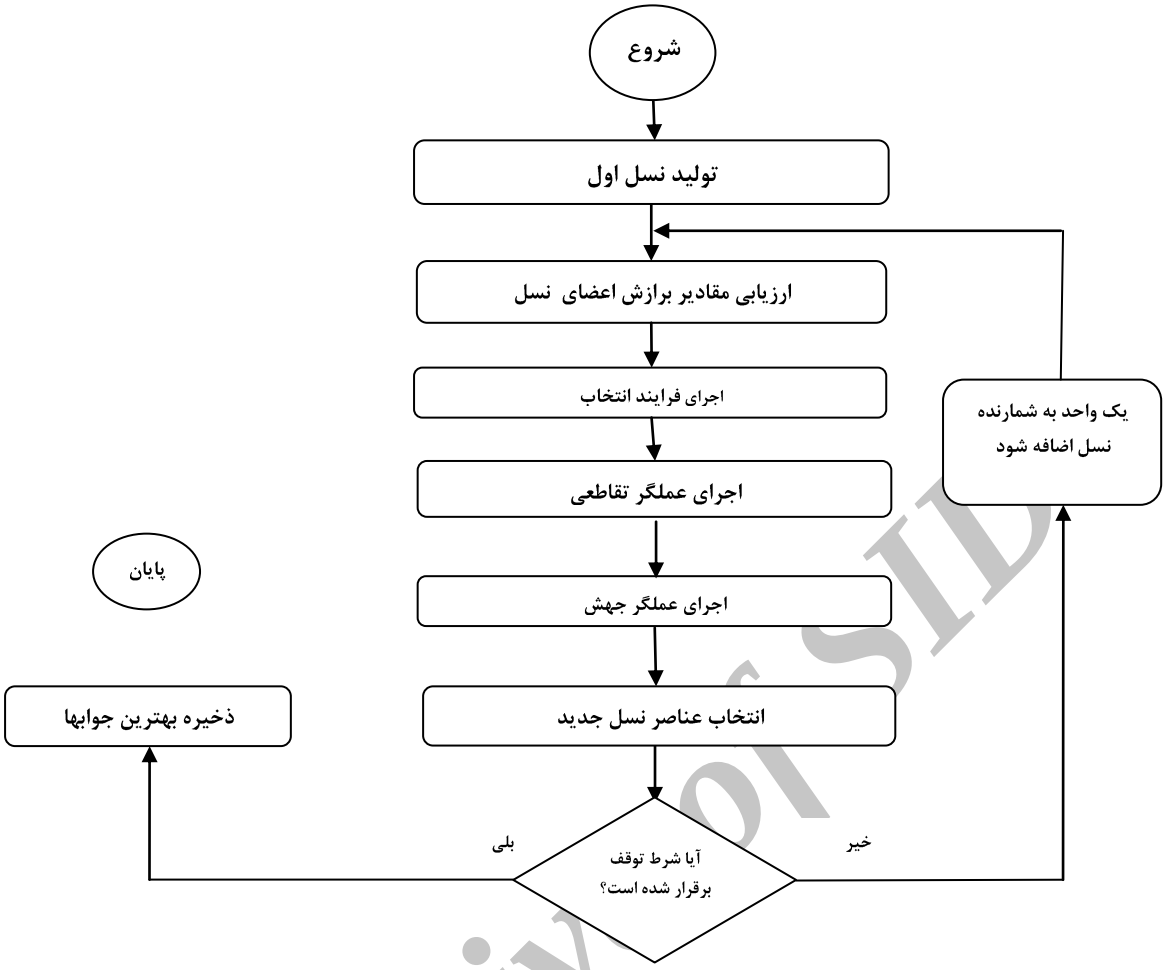
عملگر جهش سبب می شود نقاط بیشتری از فضای جواب جستجو شود تا امکان دستیابی به جواب های بهتر بیشتر شود. اعمال این عملگر به منظور خلق کروموزوم های جدید به شرح زیر می باشد.

گام ۱ : پارامتر اساسی عملگر جهش یعنی نرخ جهش (P_m) را تنظیم کنید.

---

[1] *Fitness function*
[2] *Crossover (Recombination)*
[3] *Repair*
[4] *Mutation*

Archive of SID



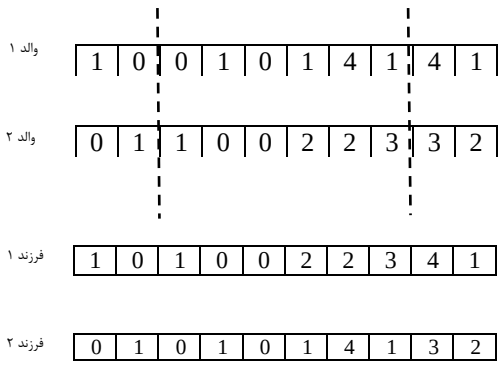
شکل ۸. نمودار جریان الگوریتم ژنتیک طراحی شده

گام ۲ : یکی از کروموزوم های جدید خلق شده را به طور تصادفی انتخاب کنید.

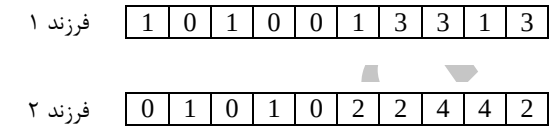
گام ۳ : از بخش اول کروموزم انتخاب شده (آرایه هاب) دو ژن را بطور تصادفی انتخاب کنید.

گام ۴ : محتوای آن دو ژن (صفر و یک) را با یکدیگر معاوضه کنید. با این کار در واقع مکان هاب ها تغییر می کند.

گام ۵ : عملیات اصلاحی را از طریق تخصیص گره ها به نزدیک ترین هاب ها در مورد فرزندان غیر موجه انجام دهید.



شکل ۹. مثالی از ترکیب دو نقطه ای



شکل ۱۰. انجام عملیات اصلاحی در مورد مثال شکل ۹

مرحله پنجم: انتخاب عناصر نسل جدید

در این مرحله کروموزومهای جدید خلق شده (فرزندان) را به مجموعه جمعیت قبلی ملحق نمائید. در ادامه از مجموعه کنونی بر اساس مقادیر تابع برازش، بهترین ها به اندازه تعداد جمعیت اولیه انتخاب می گردد ویک نسل جدید تولید می شود.

مرحله ششم: خاتمه الگوریتم

شرط توقف به شکل های متفاوتی قابل تعریف می باشد. ازجمله اینکه در الگوریتم طراحی شده، تولید نسل های جدید آنقدر ادامه می‌یابد تا تعداد نسل ها از حداکثر از پیش تنظیم شده G بیشتر نشود.

۳-۴. الگوریتم ابتکاری ترکیبی

در این بخش الگوریتم ابتکاری که با الگوریتم ژنتیک ترکیب شده است توضیح داده می شود. پس از آنکه مجموعه ای از مکان هاب‌ها به وسیله الگوریتم ژنتیک طراحی شده تعیین شد. از الگوریتم ابتکاری به شرح زیر برای بهبود در جوابهای موجه استفاده می شود. بدین ترتیب که یک گره هاب از شبکه هاب بنا شده به طور تصادفی؛ انتخاب و حذف نموده سپس موجه ماندن جواب کنترل می گردد. جوابی موجه است که محدودیت پوشش را ارضا نماید. از اینرو چنانچه حذف این گره هاب منجر به موجه ماندن جواب شود، هاب دیگری بطور تصادفی برای حذف شدن انتخاب می شود. فرایند مذکور تا غیر موجه شدن جواب ادامه می یابد. دستورالعمل کلی اجرای این الگوریتم در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

Begin
Get the best chromosome founded by purposed GA ⟶ *S*
While (the cover radius constraint is met) do
Randomly remove a hub in hub array of S
Correct the allocation of spokes of S
End
Report (S)

شکل۱۱. دستورالعمل اجرای الگوریتم ابتکاری ترکیبی

۵. نتایج محاسباتی الگوریتم ابتکاری ترکیبی

در این قسمت برای نشان دادن کارایی الگوریتم ابتکاری ترکیبی می توان از مجموعه داده های شناخته شده CAB استفاده نمود. همچنین در ادامه به منظور بررسی توانایی این الگوریتم در حل مسائل با اندازه بزرگ (در حد مسائل دنیای واقعی)، مجموعه داده‌های AP (Australian Post) به آدرس http://people.brunel.ac.uk/~mastjjb/jeb/info.html بکار گرفته می شوند.

مجموعه داده های AP که از مطالعه سیستم ارسال مرسولات کشور استرالیا منتج شده است مشتمل بر زیر گروه هایی با اندازه n= 100,200 نیز می باشد و برای اولین بار در تحقیقات ارنست و کریشنامورتی [۲۰] مورد استفاده قرار گرفت. در آزمایشات طراحی شده در این قسمت؛ به منظور مقایسه کارایی الگوریتم ابتکاری ترکیبی با نرم افزار LINGO8 از داده‌های جدول ۱ استفاده می شود. مطابق این جدول، همه مقادیر ممکن α و شعاع پوشش را که در ادبیات مسأله به ازای زیر گروه های مختلف n گزارش شده است [۶] برای آزمایش برروی مجموعه داده های CAB بکار می گیریم.

سطح اطمینان برای تمامی آزمایشات نیز ۹۰٪ در نظر گرفته شده است. نکته دیگر آنکه از آنجا که الگوریتم ترکیبی، مبتنی بر یک الگوریتم ژنتیک است بنابراین تنظیم دقیق پارامترهای الگوریتم ژنتیک از اهمیت بالایی برخوردار است. در بسیاری از کاربردها، پارامترهای مذکور از طریق تحلیل حساسیت تنظیم می شوند. بدین طریق که ضمن اجراهای متعدد الگوریتم، مقادیر مختلفی برای پارامترها تا رسیدن به مقدار بهینه تابع برازش تست می‌شود. بنابراین در ادامه با تنظیم پارامترهای اندازه جمعیت (popsize = 5)، حداکثر تعداد نسل ها (G = 20)، نرخ ترکیب (P_c=0.9) و نرخ جهش (P_m=0.9) برای همه آزمایشات، الگوریتم ارائه شده با کد نویسی به زبان MATLAB اجرا گردید. همچنین به منظور مقایسه محاسباتی، مدل پیشنهادی بر روی رایانه شخصی با مشخصات pentium 4 CPU , 2.40 GHz 1GB RAM با استفاده از نرم افزار LINGO 8 نیز اجرا گردید و نتایج محاسباتی به شرح جدول های ۲ تا ۶ استخراج گردید.

جدول ۱. مقادیر پارامترهای مختلف برای آزمایش برروی مجموعه داده های CAB [۶]

	α	β_1	β_2	β_3	β_4
n=10	0.2	1425	1117	811	736
	0.4	1627	1185	970	863
	0.6	1671	1387	1148	1079
n= 15	0.8	1744	1589	1457	1413
	1	1839	1791	1770	766
	0.2	2004	1638	1324	1149
	0.4	2019	1741	1436	1287

Archive of SID

	0.6	2103	1844	1756	1560
	0.8	2424	2165	2100	2080
	1	2611	2610	2605	2600
n=20	0.2	1851	1549	1356	1162
	0.4	2067	1744	1473	1386
	0.6	2255	1996	1853	1663
	0.8	2493	2264	2154	2118
	1	2611	2605	2601	2600
n=25	0.2	2136	1913	1617	1346
	0.4	2401	2099	1881	1597
	0.6	2557	2336	2184	2002
	0.8	2713	2552	2457	2307
	1	2826	2762	2726	2725

جدول ۲. مقایسه خروجی الگوریتم ابتکاری ترکیبی و نرم افزار لینگو (CAB data set $\propto$ = .2)

	n	Obj	CPU Time(s)
LINGO	10	4	0.1
	15	4	3
	20	4	5
	25	6	16
Hybrid heuristic algorithm	10	4	0.12
	15	4	1.75
	20	4	3.58
	25	6	11.19

جدول ۳. مقایسه خروجی الگوریتم ابتکاری ترکیبی و نرم افزار لینگو(CAB data set $\propto$ = .4)

	n	Obj	CPU Time(s)
LINGO	10	3	0.13
	15	4	4
	20	6	7
	25	6	19
Hybrid heuristic algorithm	10	3	0.11
	15	4	2.17
	20	6	3.37
	25	6	14.19

جدول ۴. مقایسه خروجی الگوریتم ابتکاری ترکیبی و نرم افزار لینگو (CAB data set $\propto$ = .6)

	n	Obj	CPU Time(s)
LINGO	10	5	0.1
	15	5	5
	20	3	12
	25	6	18
Hybrid heuristic algorithm	10	4	0.18
	15	5	1.47
	20	3	8.23
	25	5	19.04

جدول ۵. مقایسه خروجی الگوریتم ابتکاری ترکیبی و نرم افزار لینگو (CAB data set $\propto$ = .8)

	n	Obj	CPU Time (s)
LINGO	10	4	1
	15	4	5
	20	4	8
	25	7	15
Hybrid heuristic algorithm	10	4	0.16
	15	4	2.12
	20	4	3.33
	25	7	10.2

Archive of SID

جدول ۶. مقایسه خروجی الگوریتم ابتکاری ترکیبی و نرم افزار لینگو (CAB data set $\propto$ = ۱)

	n	Obj	CPU Time (s)
LINGO	10	3	0.1
	15	3	3
	20	4	13
	25	5	42
Hybrid heuristic algorithm	10	3	0.13
	15	3	1.57
	20	4	8.2
	25	5	24.08

همانطوریکه در جداول ۲ تا ۶ مشاهده می شود. هم الگوریتم ابتکاری ترکیبی و هم نرم افزار لینگو قادر به حل تمامی نمونه ها یا مثال های مورد آزمایش می باشند.

لیکن بطور کلی زمان انجام محاسبات به وسیله الگوریتم ابتکاری ترکیبی در مقابسه با حل به وسیله نرم افزار کوتاهتر می باشد. در ادامه با بکار گیری مجموعه داده های AP به شرح جدول ۷ [۲۱] توانایی الگوریتم ابتکاری ترکیبی را در حل مسائلی با اندازه بزرگ مورد بررسی قرار می‌دهیم. خلاصه نتایج آزمایشات برای α = ./۷۵ در جدول ۸ ارائه شده است

جدول ۷. مقادیر پارامترهای مختلف برای آزمایش برروی مجموعه داده های AP و α = 0.75

n	β_1	β_2	β_3	β_4
n=10	40382.7	34772.4	32574.2	32531.2
n=20	45954.2	4 3400.4	3 8607.3	37868.1
n=25	53207.5	4 6608.3	4 5552.5	37868.1
n=40	61682.5	5 81 92.8	5 2265.3	49741.2
n=50	66523.4	6 0132.1	5 2905.8	50707.9
n=100	65914.8	60658.9	54243.5	51860

جدول ۸. مقایسه خروجی الگوریتم ابتکاری ترکیبی و نرم افزار لینگو(AP data set $\propto$ = .75)

	n	Obj	CPU Time (s)
LINGO	10	4	0.2
	20	7	18
	25	9	36
	40		not found
	50		not found
	100		not found
Hybrid heuristic algorithm	10	4	1.15
	20	7	6
	25	9	13.8
	40	14	21.08
	50	18	36.3
	100	29	352.4

همانطور که در جدول ۸ مشاهده می شود برای تعداد گره های بیشتر از ۲۵، نرم افزار لینگو بدلیل محدودیت حافظه قادر به حل مدل نبوده حال آنکه الگوریتم ابتکاری ترکیبی از توانایی حل مسائل بزرگ در زمانی مناسب برخوردار می باشد.

۶. جمع بندی و نتیجه گیری

در این مقاله، فرموله نمودن مسئله مکانیابی هاب پوششی در محیط فازی انجام شد و به منظور لحاظ نمودن عدم قطعیت‌های موجود در زمانهای انتقال و جابجایی محموله‌ها، فرمولبندی برنامه‌ریزی خطی فازی برای مسأله مذکور پیشنهاد گردید. همچنین با توجه به ضعف محاسباتی نرم افزارهایی نظیر لینگو در حل مسأله مورد اشاره با ابعاد بزرگ، یک الگوریتم ابتکاری ترکیبی به عنوان راه حل مدل ارائه شده مورد مطالعه و توسعه قرار گرفت. در الگوریتم ارائه شده از ترکیب الگوریتم ژنتیک با یک روش ابتکاری استفاده می شود. بدین منظور شناسایی و کد نمودن اجزای مختلف الگوریتم ژنتیکی در ارتباط با مسأله مورد مطالعه انجام شده است. از نتایج مهم تحقیق ارائه شده می توان به اثبات موضوع نیاز به افزایش تعداد هاب-های تأسیس شده با فرض فازی در نظر گرفتن پارامترهای مسأله و نیز توانایی الگوریتم ارائه شده در حل مسائل با اندازه بزرگ و برتری

Archive of SID

محاسباتی آن از لحاظ زمان انجام محاسبات و کیفیت جوابها اشاره نمود. همچنین حل مسأله تحقیق در این مقاله از طریق شبیه سازی برروی مجموعه داده های شناخته شده CAB و AP ارائه شده است.

سایر تحقیقات آتی می تواند برروی موضوعاتی نظیر: کاربردی نمودن مدلهای مذکور در یک سیستم حمل و نقل یا توزیع بار، بررسی مسأله تحقیق در حالت تخصیص چندگانه و بررسی مسأله تحقیق با لحاظ نمودن ظرفیت برای هاب ها و مسیرهای انتقال انجام شود.

مراجع

[۱] شوندی، حسن، " نظریه مجموعه‌های فازی و کاربردهای آن در مهندسی صنایع و مدیریت"، انتشارات گسترش علوم پایه،۱۳۸۵.

[2] O'Kelly, M.E., Miller, H.J., *"The Hub Network Design Problem: A Review and Synthesis*", Journal of Transport Geography, Vol. 2, No. 1, 1994, pp. 31-40.

[3] Campbell, J.F., Ernst, A.T., Krishnamoorthy, M., *Hub Location Problems, Drezner, Z. and Hamacher*, H.W., Eds., "Facility Location: Applications and Theory", New York, Springer-Verlag, 2002, pp. 373-408.

[4] Alumur, S., Kara, B.Y., *"Network Hub Location Problems: The State of the Art"*, European Journal of Operational Research, Vol. 190, No 1, 2008, pp. 1-21.

[5] Campbell, J.F., *"Integer Programming Formulations of Discrete Hub Location Problems"*, European Journal of Operational Research,Vol.72, No.2, 1994, pp. 387–405.

[6] Kara, B.Y., Tansel, B.C.,*"The Single-Assignment Hub Covering Problem: Models and Linearization"*, Journal of the Operational Research Society, Vol. 54, 2003, pp.59-64.

[7] Tan, P.Z., Kara, B.Y., *" A Hub Covering Model for Cargo Delivery Systems"*, Networks, Vol.49, No.1, 2007, pp. 28-39.

[8] Wagner, B., *"Model Formulations for Hub Covering Problems"*, Journal of the Operational Research Society, Vol.59, No.7, 2008, pp.932-938.

[9] Calik, H., Alumur, S.A., Kara, B.Y., Karasan, O.E., *"A Tabu-Search Based Heuristic for the Hub Covering Problem Over Incomplete Hub Networks"*, Computers & Operations Research, Vol.36, No.12, 2009, pp. 3088-3096.

[10] Ernst, A.T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., *"Reformulations and Computational Results for Uncapacitated Single and Multiple Allocation Hub Covering Problems"*, unpublished report, CSIRO Mathematical and Information Sciences, Australia, 2005.

[11] Farahani, R.Z., Hekmatfar, M., *Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies*, Germany, physica-verlag, 2009, pp.243-270.

[12] Bellman, R.E., Zadeh, L.A., *"Decision Making in a Fuzzy Environment"*, Management Science, Vol .17, No. 4, 1970, pp. 141-164.

[13] Zimmermann, H.J., *Fuzzy Set Theory and its Applications, 2th Edition*, USA, Kluwer Academic,1991.

[14] Cao,B.Y., *Optimal Models and Methods with Fuzzy Quantities*, Germany, Springer-Verleg, 2010, pp.139-191.

[15] O'Kelly, M.E., *"A Quadratic Integer Program for the Location of Interacting Hub Facilities"*, European Journal of Operational Research, Vol. 32, No. 3, 1987, pp. 393–404.

[16] Liu,B., Iwamuva, K., *"Chance Constrained Programming with Fuzzy Parameter"*. fzzy Sets and syatems, Vol. 94, No. 2, 1998, pp. 227-237.

[17] Dubois, D., Prade, H., Possibility theory, USA, Plenum, 1988.

[18] Beasley, J.E., "OR-library", http://www.brunel.ac.uk/debpts/ma/research/jeb/info.html, 2004.

[19] Sivanandam, S.N., Deepa, S.N., *Introduction to Genetic Algortithms*, Berlin, Springer, 2008.

[20] Ernst, A.T., Krishnamoorthy, M., *"Efficient Algorithms for the Uncapacitated Single Allocation p-Hub Median Problem"*, Location Science, Vol. 4 , No.3, 1996, pp. 139-154.

[21] Ernst, A.T., Hamacher, H., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., Weogienger, G., *"The Uncapacitated Single and Multiple Allocation P-Hub Center Problems"*, Computer and Operation Research, Vol.36, 2009, pp. 2230-2241.

Archive of SID