

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی صنایع

مساله مکانیابی-مسیریابی چند به چند با در نظر
گرفتن انتقالات بین مراکز واسطه و تحویل و
برداشت چندمحصولی



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

ارائه دهنده: محمد مصلحی مهر

۹۱۰۸۷۳۴

استاد راهنما: دکتر ستاک

خرداد ۱۳۹۳

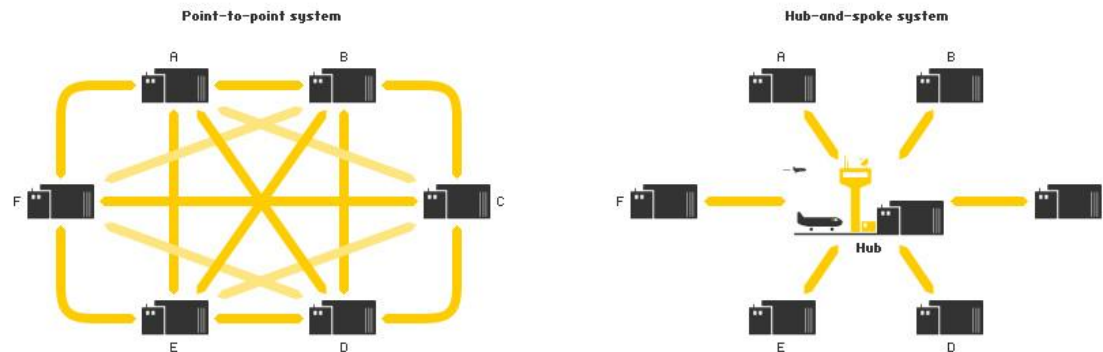
رئوس مطالب

- مقدمه
- بیان مسأله
- شرح مدل ریاضی پیشنهادی
- شرح روش ابتکاری پیشنهادی
- الگوریتم فراابتکاری پیشنهادی
- نتایج محاسباتی
- پیشنهادات آتی



- شبکه حمل و نقل در بنگاه های مرتبط با زنجیره تأمین نقش مهم و انکارناپذیری دارد.
- هدف از طراحی شبکه حمل و نقل مناسب، برآورده کردن نیازهای مشتریان با حداقل هزینه ممکن می باشد.

- Hub and Spoke یک استراتژی حمل و نقل معمول در بین شرکتهای لجستیکی



Legend:
■ Depot
— Flow of goods

Source: Logistikmanagement | Pfohl 2004



HUB AND SPOKE

مزایا: استفاده از ظرفیت کامل وسایل نقلیه
طبقه بندی و مرتب سازی محصولات در هاب ها برای مسیرهای بعدی
کاهش چشمگیر هزینه ها نسبت به حالت حمل نقطه به نقطه (point-to-point)
کاهش تعداد مسیرها
کاهش سطح موجودی ها

برخی از شرکت هایی که از این سیستم توزیع استفاده می کنند:



دانشگاه ملی فناوری و تحقیقات

LOCATION ROUTING PROBLEM

مراحل طراحی زنجیره توزیع:

۱- مکانیابی هاب ها و تخصیص سایر رئوس به هاب ها یا مسأله مکانیابی-تخصیص (Location-Allocation Problem)

۲- مسیریابی وسایل نقلیه موجود در هاب ها (Vehicle Routing Problem)

مرحله ۱ + مرحله ۲ ← مسأله مکانیابی-مسیریابی (Location Routing Problem)

توزیع در بانک های خون، Or and Pierskalla (1979)
توزیع روزنامه در دانمارک، Jacobsen and Madsen (1980)
جمع آوری زباله، Kulcar (1996)
شبکه پست اتریش، Wasner and Z"apfel (2004)

برخی موارد استفاده LRP:

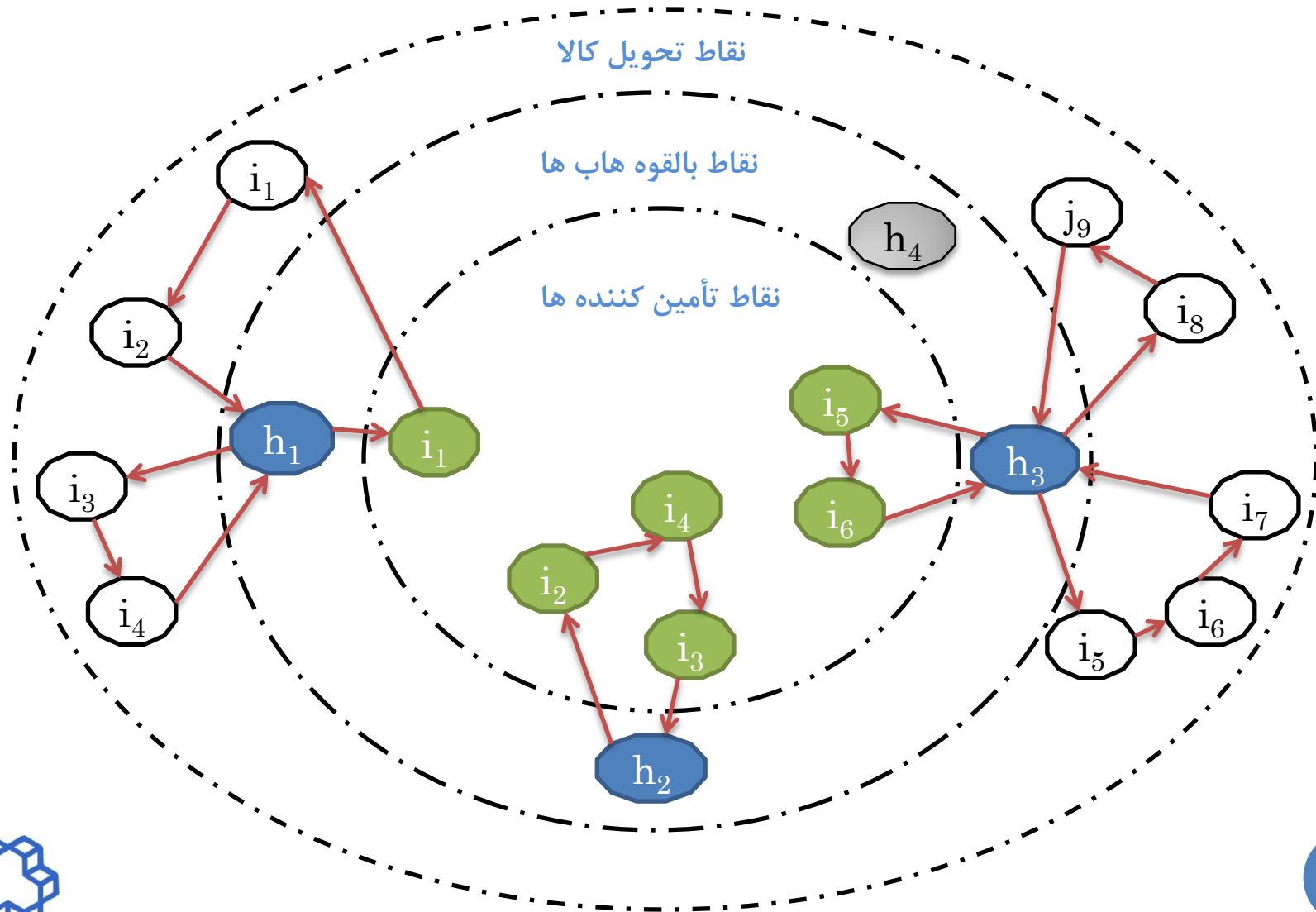


بیان مسأله:

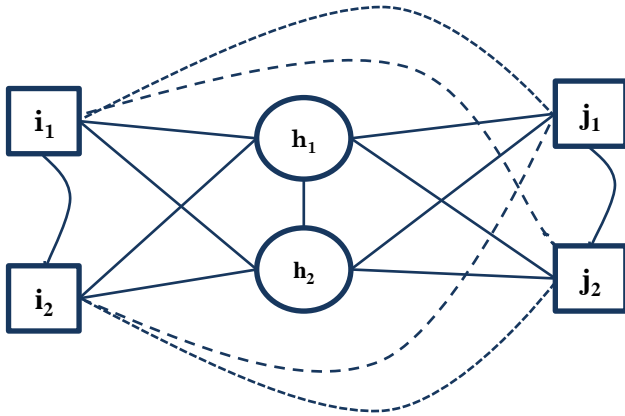
- مسأله مکانیابی-مسیریابی طراحی شده مطابق با فرضیات صنعت چوب و الوار می باشد
- زنجیره دارای ۳ سطح می باشد: سطح ۱: تأمین کنندگان، سطح ۲: هاب ها و سطح ۳: مشتریان
- ساختار مسأله چند به چند (many to many) می باشد
- مسیر وسایل نقلیه از هاب ها شروع شده و به هاب ها ختم می شود
- مسیرها می توانند به صورت برداشت و تحویل همزمان و یا تنها برداشت و یا تحویل باشند
- برداشت و تحویل همزمان سبب استفاده بهتر از ظرفیت وسایل نقلیه می شود
- امکان طی مسیر بین هاب ها به صورت مستقیم در نظر گرفته شده است
- این سیستم توزیع چند محصولی می باشد (کاج، افرا، ...)



ساختار شماتیک ۳ لایه ای زنجیره پیشنهادی



○ گراف متناظر با صورت مسأله:



مشخصات گراف: گراف کامل و جهت دار

رئوس متناظر با تأمین کننده ها $i \in I$

رئوس متناظر با مشتریان $j \in J$

رئوس متناظر با نقاط واسطه $k \in H$

اندیس متناظر با نوع کالا $p \in P$

اندیس متناظر با وسیله نقلیه تخصیص یافته به هاب h $k \in K_h$

وزن هر کمان بین رئوس i و j که متناسب با هزینه انتقال می باشد $c_{ij} > 0$

هزینه متناسب با برنامه ریزی، احداث و نگهداری تسهیل h $f_h > 0$

میزان عرضه متناسب با کالای p در تأمین کننده i $a_{ip} \geq 0$

میزان تقاضای مشتری j از کالای p $b_{jp} \geq 0$



مدلسازی مسأله

حالات مختلف ممکن در مسیریابی وسایل نقلیه:

مسیر نوع ۳ (r_3)	مسیر نوع ۲ (r_2)	مسیر نوع ۱ (r_1)
$h-j\dots j'-h$	$h-h'-h$	$h-i\dots i'-h$
$h-i\dots i'-j\dots j'-h$		$h-i\dots i'-j\dots j'-h$

- مسیر نوع ۱، می تواند یا فقط به صورت برداشت باشد و یا به صورت برداشت و تحویل همزمان
- مسیر نوع ۲ که بین هاب ها رخ می دهد به صورت مستقیم اتفاق می افتد، بدین معنا که مسیر به صورت رفت و برگشت به تنها یک هاب می باشد
- مسیر نوع ۲، می تواند یا فقط به صورت تحویل باشد و یا به صورت برداشت و تحویل همزمان



متغیرهای صفر و یک:

y_h : زمانی برابر ۱ است که تسهیل h ساخته شود، در غیر اینصورت برابر صفر خواهد بود.

x_{ij}^{kr} : در صورتی برابر ۱ خواهد بود که:

(۱) کمان (i, j) توسط وسیله نقلیه k در مسیر r طی شود:

$$r \in \{r_1, r_2\}; i \in I, J \in I \cup J; i \in J, J \in I \cup H$$

(۲) کمان (i, j) توسط وسیله نقلیه k در مسیر r_1 طی شود:

$$i \in I, J \in H$$

(۳) کمان (i, j) توسط وسیله نقلیه k در مسیر r_2 طی شود:

$$i \in H, J \in H$$

(۴) کمان (i, j) توسط وسیله نقلیه k در مسیر r_3 طی شود:

$$i \in H, J \in J$$

در حالتی جز یکی از حالات فوق مقدر متغیر برابر صفر خواهد بود.



مقداری از کالای p موجود در وسیله k قبل از رسیدن به رأس i از رأس i یا
 مشتریان می باشد) در مسیر r ، و مقدار کالای p موجود در وسیله k قبل از رسیدن به رأس i
 (از رأس هاب می باشد) $L_{ip}^{kr} \geq 0$

مقدار کالای p که باید توسط وسیله k از هاب h به h' در مسیر نوع ۲ منتقل شود $\Lambda_{hh'}^{pk} \geq 0$

مقداری از کالای p در وسیله k که باید به رأس j (ج نشان دهنده رأس مشتریان می باشد)
 و سایر رأس بعدی تحویل داده شود، و مقداری از کالای p در وسیله k که باید در هاب j (ج
 نشان دهنده هاب می باشد) بارگیری شود $\zeta_{jp}^k \geq 0$

متغیری برای خطی سازی عبارت $\Psi_{ip}^k \geq 0$
 $i \in I \cup J, h \in H, k \in K_h, p \in P : x_{hi}^{kr_3} L_{ip}^{kr_3}$



$$\begin{aligned}
 \text{Min} \quad & \sum_{h \in H} f_h y_h \\
 & + \sum_{k \in K} \left(\sum_{i \in I} \sum_{j \in H} c_{ij} x_{ij}^{kr_1} + \sum_{i \in H} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij}^{kr_3} + \sum_{i \in H} \sum_{\substack{j \in H \\ i \neq j}} \alpha c_{ij} x_{ij}^{kr_2} \right) \\
 & + \sum_{k \in K} \sum_{r \in R \setminus \{r_2\}} \left(\sum_{i \in I} \sum_{\substack{j \in I \cup J \\ i \neq j}} c_{ij} x_{ij}^{kr} + \sum_{i \in J} \sum_{\substack{j \in J \cup H \\ i \neq j}} c_{ij} x_{ij}^{kr} + \sum_{i \in H} \sum_{j \in I} c_{ij} x_{ij}^{kr} \right)
 \end{aligned}$$

تابع هدف مسأله بصورت مینیمم سازی مجموع هزینه های احداث هاب ها و مسیریابی وسایل نقلیه در مسیرهای مختلف می باشد

$0 < \alpha < 1$ در عبارت دوم به منظور کم بودن یکسان سازی مواد در حمل مرتبط با مسیر نوع ۲ در نظر گرفته شده است.



محدودیت ها:

$$\sum_{k \in K} \sum_{r \in R \setminus \{r_2\}} \sum_{\substack{m \in I \\ m \neq i}} x_{mi}^{kr} + \sum_{k \in K_h} \sum_{r \in R \setminus \{r_2\}} \sum_{h \in H} x_{hi}^{kr} = 1 \quad i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{r \in R \setminus \{r_2\}} \sum_{\substack{i \in I \cup J \\ i \neq j}} x_{ij}^{kr} + \sum_{k \in K} \sum_{h \in H} x_{ij}^{kr_3} = 1 \quad j \in J \quad (3)$$

هر رأس متناظر با تأمین کننده ها و مشتریان دقیقاً یکبار توسط وسیله نقلیه مراجعه شود (در هر مسیر)

$$\sum_{\substack{i \in V \\ i \neq h}} x_{hi}^{kr} \leq y_h \quad h \in H, k \in K, r \in R \quad (4) \quad \longrightarrow$$

تضمین می کند که در صورت ساخته شدن تسهیل h ، حداکثر یکبار در هر نوع مسیر عبور شود و یا سرویس دادن از هاب ساخته نشده ممکن نیست

$$\sum_{h \in H} x_{hi}^{kr_1} + \sum_{\substack{m \in I \\ m \neq i}} x_{mi}^{kr_1} - \sum_{\substack{m \in I \\ m \neq i}} x_{im}^{kr_1} + \sum_{h \in H} x_{ih}^{kr_1} - \sum_{j \in J} x_{ij}^{kr_1} = 0 \quad i \in I, k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{h \in H} x_{hi}^{kr_3} + \sum_{\substack{m \in I \\ m \neq i}} x_{mi}^{kr_3} - \sum_{\substack{m \in I \\ m \neq i}} x_{im}^{kr_3} - \sum_{j \in J} x_{ij}^{kr_3} = 0 \quad i \in I, k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ih}^{kr_1} + \sum_{j \in J} x_{jh}^{kr_1} - \sum_{i \in I} x_{hi}^{kr_1} = 0 \quad h \in H, k \in K_h \quad (7)$$

$$x_{h'h}^{kr_2} - x_{hh'}^{kr_2} = 0 \quad h, h' \in H, h \neq h', k \in K_h \quad (8)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ih}^{kr_3} + \sum_{j \in J} x_{jh}^{kr_3} - \sum_{i \in I} x_{hi}^{kr_3} - \sum_{j \in J} x_{hj}^{kr_3} = 0 \quad h \in H, k \in K_h \quad (9)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij}^{kr_1} + \sum_{\substack{n \in J \\ n \neq j}} x_{nj}^{kr_1} - \sum_{h \in H} x_{jh}^{kr_1} - \sum_{\substack{n \in J \\ n \neq j}} x_{jn}^{kr_1} = 0 \quad j \in J, k \in K \quad (10)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij}^{kr_3} + \sum_{h \in H} x_{hj}^{kr_3} - \sum_{\substack{n \in J \\ n \neq j}} x_{nj}^{kr_3} - \sum_{h \in H} x_{jh}^{kr_3} - \sum_{\substack{n \in J \\ n \neq j}} x_{jn}^{kr_3} = 0 \quad j \in J, k \in K \quad (11)$$

محدودیت های ۵ تا ۱۱ جریان عبوری (ورود و خروج وسایل نقلیه) را برای هر رأس و هر وسیله نقلیه تضمین می کند

محدودیت ها:

$$L_{ip}^{kr_1} \leq C (1 - x_{hi}^{kr_1}) \quad i \in I, h \in H, k \in K, p \in P \quad (12)$$

وسایل نقلیه هنگام ترک هاب ها در ابتدای مسیر بار نخواهند داشت

$$L_{mp}^{kr_1} \leq L_{ip}^{kr_1} + a_{ip} + C (1 - x_{im}^{kr_1}) \quad i, m \in I, i \neq m, k \in K, p \in P \quad (13)$$

$$L_{hp}^{kr_1} \leq L_{ip}^{kr_1} + a_{ip} + C (1 - x_{ih}^{kr_1}) \quad i \in I, h \in H, k \in K_h, p \in P \quad (14)$$

$$L_{jp}^{kr_1} \leq L_{ip}^{kr_1} + a_{ip} + C (1 - x_{ij}^{kr_1}) \quad i \in I, j \in J, k \in K, p \in P \quad (15)$$

$$L_{jp}^{kr_1} \leq L_{np}^{kr_1} - b_{np} + C (1 - x_{nj}^{kr_1}) \quad j, n \in J, j \neq n, k \in K, p \in P \quad (16)$$

$$L_{hp}^{kr_1} \leq L_{jp}^{kr_1} - b_{jp} + C (1 - x_{jh}^{kr_1}) \quad j \in J, h \in H, k \in K_h, p \in P \quad (17)$$

محدودیت های تضمین کننده جریان مواد که میزان محصول موجود در وسایل نقلیه را پس از توقف در رئوس مختلف نشان می دهد.

$$\sum_{p \in P} L_{ip}^{kr_1} \leq C \quad i \in V, k \in K \quad (18)$$

محدودیت تضمین عدم استفاده بیش از ظرفیت وسایل نقلیه

$$L_{hp}^{kr_1} \leq C \sum_{i \in I \cup J} x_{ih}^{kr_1} \quad h \in H, k \in K_h, p \in P \quad (19)$$

محدودیت صفر قرار دادن مقادیر محصول موجود در تسهیلات هاب که توسط وسایل نقلیه حاصل نشده اند

$$\sum_{k \in K_h} \Lambda_{hh'}^{pk} \leq \sum_{k \in K_h} L_{hp}^{kr_1} + \sum_{k \in K_{h'}} \Lambda_{h'h}^{pk} \quad h, h' \in H, h \neq h', k \in K \quad (20)$$

بار وسایل نقلیه را در مسیرهای نوع ۲، با توجه به مسیر نوع ۱ به مقادیر موجود در هاب ها محدود می کند

$$\sum_{p \in P} \Lambda_{hh'}^{pk} \leq C x_{hh'}^{kr_2} \quad h, h' \in H, h \neq h', k \in K \quad (21)$$

اگر مسیر نوع ۲ طی شود محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه رعایت شود

$$L_{ip}^{k'r_3} \leq \sum_{k \in K_h} L_{hp}^{kr_1} + \sum_{k \in K} \sum_{\substack{h' \in H \\ h' \neq h}} (\Lambda_{h'h}^{pk} - \Lambda_{hh'}^{pk}) + C(1 - x_{hi}^{k'r_3}) \quad i \in I, h \in H, k' \in K_h, p \in P \quad (22)$$

$$L_{jp}^{k'r_3} \leq \sum_{k \in K_h} L_{hp}^{kr_1} + \sum_{k \in K} \sum_{\substack{h' \in H \\ h' \neq h}} (\Lambda_{h'h}^{pk} - \Lambda_{hh'}^{pk}) + C(1 - x_{hj}^{k'r_3}) \quad j \in J, h \in H, k' \in K_h, p \in P \quad (23)$$

این دو محدودیت یک حد بالا برای میزان محصول در هر وسیله نقلیه قبل از مراجعه به رأس اول در مسیر نوع ۳ ایجاد می کنند. مقادیر حد بالا با توجه به کل جریانات وارد شونه و خارج شونده به هر هاب مشخص شده است.

$$\sum_{k \in K_h} \sum_{i \in I \cup J} \Psi_{ip}^k \leq \sum_{k \in K_h} L_{hp}^{kr_1} + \sum_{k \in K} \sum_{\substack{h' \in H \\ h' \neq h}} (\Lambda_{h'h}^{pk} - \Lambda_{hh'}^{pk}) \quad h \in H, p \in P \quad (24)$$

تضمین می کنند که میزان کالای تحویل داده شده توسط هر وسیله بیش از مقدار قابل دسترس در هر هاب نباشد

$$\Psi_{ip}^k \leq C x_{hi}^{kr_3} \quad i \in I \cup J, h \in H, k \in K_h, p \in P \quad (25)$$

$$\Psi_{ip}^k \leq L_{ip}^{kr_3} \quad i \in I \cup J, k \in K, p \in P \quad (26)$$

$$\Psi_{ip}^k \leq L_{ip}^{kr_3} - C(1 - x_{hi}^{kr_3}) \quad i \in I \cup J, h \in H, k \in K_h, p \in P \quad (27)$$

خطی سازی مدل و در نظر گرفتن حد بالا و حد پایین برای متغیر اضافی تعریف شده به منظور رسیدن به جواب دقیق تر



محدودیت ها:

$$L_{mp}^{kr_3} \leq L_{ip}^{kr_3} + a_{ip} + C(1 - x_{im}^{kr_3}) \quad i, m \in I, i \neq m, k \in K, p \in P \quad (28)$$

$$L_{jp}^{kr_3} \leq L_{ip}^{kr_3} + a_{ip} + C(1 - x_{ij}^{kr_3}) \quad i \in I, j \in J, k \in K, p \in P \quad (29)$$

$$L_{jp}^{kr_3} \leq L_{np}^{kr_3} - b_{np} + C(1 - x_{nj}^{kr_3}) \quad j, n \in I, j \neq n, k \in K, p \in P \quad (30)$$

مقادیر موجود از هر محصول را دروسایل نقلیه پس از توقف در هر یک از رئوس (مشتری، تأمین کننده و هاب) مشخص می کند

$$\sum_{p \in P} L_{ip}^{kr_3} \leq C \quad i \in I \cup J, k \in K \quad (31) \rightarrow$$

مقادیر موجود از محصولات پس از هر توقف باید کمتر یا مساوی ظرفیت وسیله نقلیه باشد

$$\zeta_{jp}^k \geq b_{jp} \quad j \in J, k \in K, p \in P \quad (32)$$

$$\zeta_{np}^k \geq \zeta_{jp}^k + b_{np} - C(1 - x_{nj}^{kr_3}) \quad j, n \in J, j \neq n, k \in K, p \in P \quad (33)$$

$$\zeta_{hp}^k \geq \zeta_{jp}^k - C(1 - x_{hj}^{kr_3}) \quad j \in J, h \in H, k \in K_h, p \in P \quad (34)$$

مقادیر محصول در وسایل نقلیه به محض ترک هاب ها در مسیر نوع ۳

$$\sum_{p \in P} \zeta_{jp}^k \leq C \quad j \in J \cup H, k \in K \quad (35) \rightarrow$$

مقادیر موجود از محصولات در مسیر نوع ۳ باید کمتر یا مساوی ظرفیت وسیله نقلیه باشد



$$\zeta_{jp}^k \leq L_{jp}^{kr_3} + C \left(1 - \sum_{i \in V} x_{ij}^{kr_3}\right) \quad j \in J, k \in K, p \in P \quad (36)$$

رابطه منطقی بین متغیرهای محدودیت میزان محصول در مسیر نوع ۳

$$\sum_{k \in K_h} \zeta_{hp}^k \leq \sum_{k \in K_h} L_{hp}^{kr_1} + \sum_{k \in K} \sum_{\substack{h' \in H \\ h' \neq h}} (\Lambda_{h'h}^{pk} - \Lambda_{hh'}) \quad h \in H, p \in P \quad (37)$$

میزان محصول ورودی و خروجی به هر هاب باید برابر باشد



مثال:

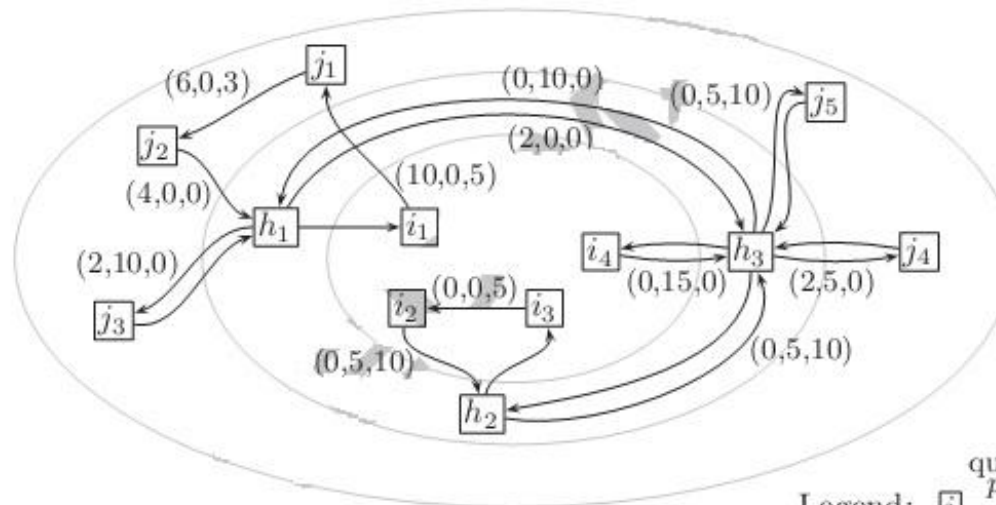
اطلاعات مثال حل شده:

a_{ip}	p_1	p_2	p_3
i_1	10	0	5
i_2	0	5	5
i_3	0	0	5
i_4	0	15	0

b_{jp}	p_1	p_2	p_3
j_1	4	0	2
j_2	2	0	3
j_3	2	10	0
j_4	2	5	0
j_5	0	5	10

I: i_1, i_2, i_3, i_4
 J: j_1, j_2, j_3, j_4, j_5
 H: h_1, h_2, h_3
 P: p_1, p_2, p_3
 C= 15

نتیجه حاصل شده:



افزایش کارایی مدل ریاضی پیشنهاد شده

افزودن محدودیت های زیر منجر به افزایش کارایی حل در نرم افزار خواهد شد و زمان حل و فاصله از جواب بهینه را کاهش می دهد.

$$\sum_{k \in K} \sum_{r \in R \setminus \{r_2\}} (x_{ij}^{kr} + x_{ji}^{kr}) \leq 1 \quad i, j \in I \cup J, i \neq j \quad (38) \rightarrow$$

دو رأس مربوط به مشتریان و یا دو رأس مربوط به تأمین کننده ها تنها به صورت رفت و یا برگشت می توانند به هم متصل شوند.

$$x_{ij}^{kr_1} + x_{ij}^{k'r_3} \leq 1 \quad i, j \in I \cup J, i \neq j, k, k' \in K \quad (39) \rightarrow$$

کمان i - j در مسیر نوع ۱ یا ۳ طی می شود

$$\sum_{p \in P} \zeta_{hp}^r \leq C y_h \quad h \in H, k \in K_h \quad (40)$$

$$\sum_{p \in P} L_{hp}^{kr} \leq C y_h \quad h \in H, k \in K_h, r \in R \setminus \{r_2\} \quad (41)$$

$$L_{ip}^{kr} \leq C y_h \quad i \in V, h \in H, k \in K_h, r \in R \setminus \{r_2\}, p \in P \quad (42)$$

روابط منطقی بین متغیرهای مکان و میزان محصول



روش ابتکاری MULTI-START

حل مدل ریاضی ارائه شده توسط نرم افزار GAMS حتی برای مسائلی با اندازه کوچک نیازمند زمان محاسباتی زیاد می باشد.

روش ابتکاری Multi-Start مبتنی بر روش Fix-and-Optimize است.

در هر تکرار از این الگوریتم، مقادیر زیرمجموعه ای از متغیرهای صفر و یک ثابت فرض می شود که منجر به کوچک شدن ابعاد مسأله و در نتیجه کم شدن زمان محاسباتی می شود.



روش ابتکاری MULTI-START

❖ ایجاد یک جواب موجه اولیه:

گام اول: استفاده از «الگوریتم ذخیره» (Clarke and Wright(1964) که در آن تصمیمات مکانیابی و مسیریابی به صورت همزمان گرفته می شوند. این مرحله مرتبط با مسیرهای نوع ۱ و نوع ۳ می باشد.

گام دوم: در این گام تعداد محصول مورد نیاز و ایجاد مسیر بین هاب ها در لایه دوم مورد بررسی قرار می گیرد.

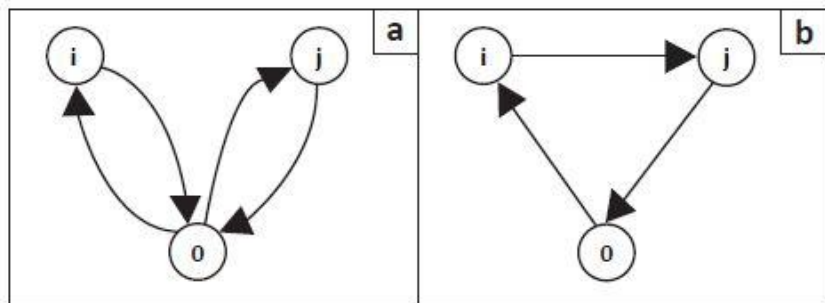


FIGURE 1: Illustration of the savings concept.

در الگوریتم «ذخیره سازی» ابتدا برای هر مشتری یک مسیر مستقیم در نظر گرفته می شود، که هزینه آن محاسبه می شود. سپس ادغام این مسیرها مورد بررسی قرار می گیرد و در صورتی که منجر به کاهش هزینه ها شود مسیرها ادغام می شوند. این کار تا زمانی تکرار می شود که هزینه ها کاهش نیابد.



روش ابتکاری MULTI-START

بهبودهای اعمال شده در الگوریتم ذخیره سازی با توجه به ماهیت مسأله مورد بررسی :

در نظر گرفتن ظرفیت وسایل نقلیه

در نظر گرفتن برداشت و تحویل همزمان

در نظر گرفتن چند مرکز توزیع

در نظر گرفتن ۳ لایه ای بودن توزیع

❖ روند **fix and optimize**:

تمامی حالات ممکن در مرحله ایجاد یک جواب شدنی اولیه در نظر گرفته نمی شود (ممکن است یک وسیله نقلیه تعدادی برداشت داشته باشد و تعداد کمی تحویل که با بار به هاب بازمیگردد، ادغام مسیرهایی که وسایل نقلیه نیمه پر از هاب خارج می شوند یا به آن وارد می شوند موجب کاهش هزینه ها می شود)

در این روند تکراری، تعدادی از متغیرهای صفر و یک ثابت فرض می شوند (x, y) . برای جلوگیری از تکرار مجدد متغیرهای ثابت فرض شده از یک **Tabu List** کمک گرفته می شود. اگر مقادیر ثابت در نظر گرفته شده جواب قابل قبولی با توجه به مقدار حد بالا ارائه دهند وارد مدل اصلی می شوند.

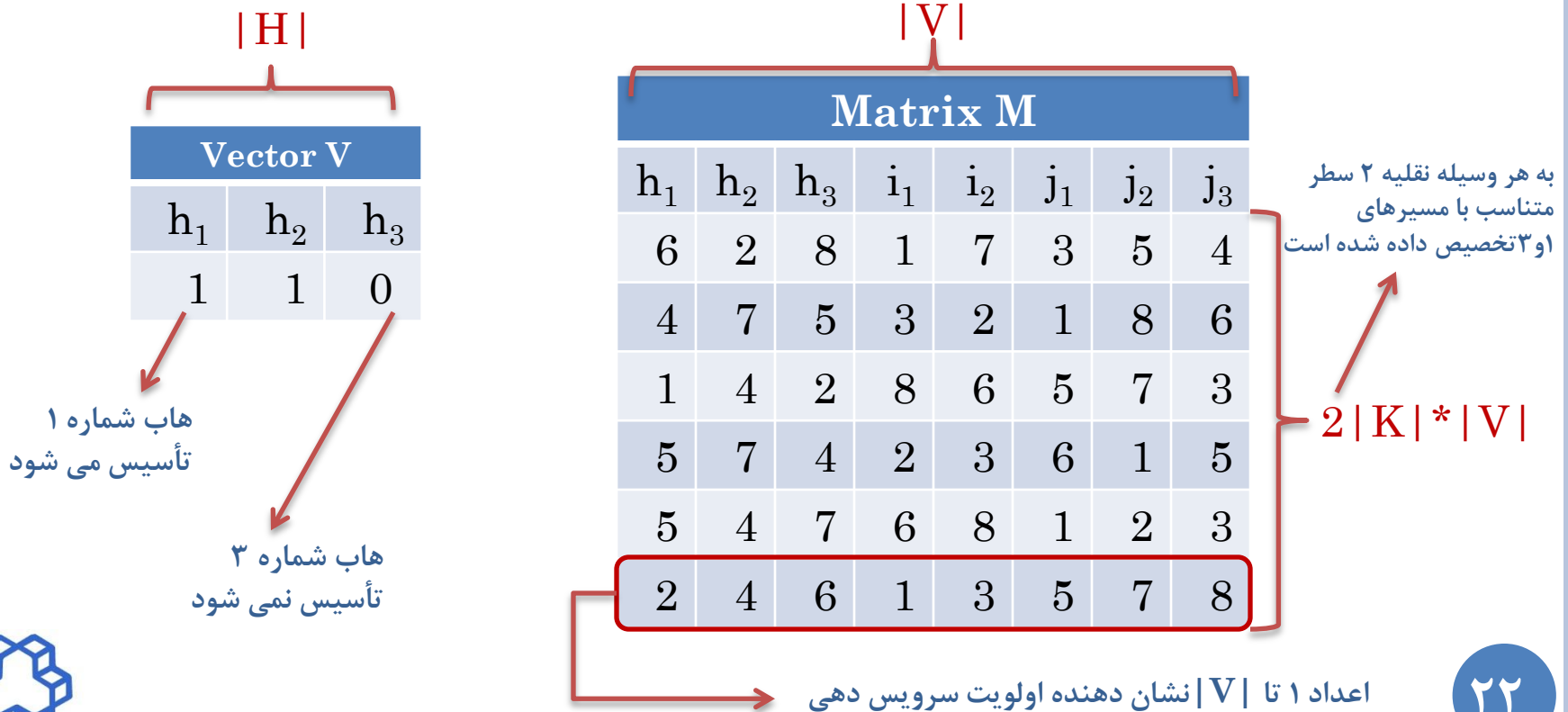
الگوریتم پس از اجرا برای مدت زمان از پیش تعیین شده، پایان می یابد.



الگوریتم ژنتیک:

○ هر کروموزوم الگوریتم طراحی شده شامل ۲ بردار می باشد:

بردار V : نشان دهنده ساخته شدن هاب ها
 ماتریس M : نشان دهنده تخصیص رؤوس به هاب ها و مسیریابی وسایل نقلیه



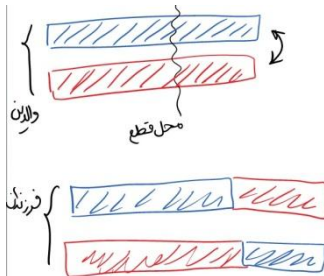
الگوریتم ژنتیک:

○ عملگرهای الگوریتم ژنتیک:

هر نسل از کروموزوم ها به دو گروه نخبه و غیرنخبه تقسیم شده اند.

انتخاب:

کروموزوم های نسل $k+1$ به اندازه P } $0.1p$ از نخبگان مرحله k
} $0.2p$ کروموزوم های تصادفی (جهش یافته ها)
} $0.7p$ حاصل عملگر تقاطع (فرزندان)



تقاطع: عملگر تقاطع برای بردار V به صورت تک نقطه ای می باشد.

عملگر تقاطع برای بردار M به صورت دو نقطه ای می باشد.

جهش: عملگر تولید تصادفی جایگزین جهش شده است

تعداد کروموزوم در هر نسل = ۱۰۰

تعداد نسل ها = ۴۰



نتایج عددی برای مسائل با مقیاس کوچک توسط نرم افزارهای GAMS و Cplex و برای مسائلی با مقیاس متوسط و بزرگ از روش Fix and Optimize و الگوریتم ژنتیک در C++ حاصل شده اند.

۱۹۲۰ مسأله با مقیاس کوچک، ۷۶۸ مسأله با مقیاس متوسط و ۱۹۲ مسأله با مقیاس بزرگ مورد مطالعه قرار گرفتند.

ساختار مسائل به صورت $|I| - |H| - |J|$ مشخص شده است که به ترتیب تعداد تأمین کننده ها، هاب ها و مشتریان را نشان می دهد.

Small-scale					Medium-scale				
					V				
2-2-8	4-2-6		12		4-3-12	6-3-10		19	
2-3-8	3-2-8	4-3-6	5-2-6		6-3-16		10-3-12		25
2-2-10	3-3-8	4-2-8	5-3-6		10-4-20		14-4-16		34
2-3-10	3-2-10	4-3-8	5-2-8		14-4-26		18-4-22		44
2-2-12	3-3-10	4-2-10	5-3-8						
3-2-12		5-2-10		17	Large-scale				
					V				
					15-5-50	30-6-50	30-6-70	40-6-100	70-146

هشت سناریوی متفاوت برای مقابله با عدم قطعیت ها با توجه به هزینه های حمل، هزینه ساخت هاب و... در نظر گرفته شده است.

از آنجایی که برخی هزینه ها بلندمدت و برخی کوتاه مدت هستند، هر دو به صورت هزینه های هفتگی تعدیل شده اند.



نتایج عددی:

داده های ورودی با کمک یک مدل ریاضی بررسی شده اند تا روابط منطقی و شدنی باشد.

اختلاف بین جواب بدست آمده و حد پایین محاسبه شده
 زمان محاسباتی
 تعداد مسائل که در زمان مورد نظر به جواب بهینه رسیدند
 نسبت تعداد تأمین کنندگان به فروشندگان
 ساختار شبکه

مسائل با ۱۲ و ۱۳ گره در زمان مشخص شده به جواب نهایی می رسند

جواب های نزدیک بهینه بدست آمده اند

Gap افزایش یافته است

مشتريان دسته بندی شده به لحاظ جغرافیایی

V	network configuration	I / J [%]	type "R"			type "RC"		
			#opt	t_{cpu} [sec]	gap[%]	#opt	t_{cpu} [sec]	gap[%]
12	2-2-8	25	48	53.97	-	48	60.87	-
12	4-2-6	67	48	6.34	-	48	7.85	-
13	2-3-8	25	48	146.85	-	48	73.90	-
13	3-2-8	38	48	57.63	-	48	62.25	-
13	4-3-6	67	48	17.69	-	48	18.30	-
13	5-2-6	83	48	27.21	-	48	36.62	-
14	2-2-10	20	44	265.59	10.69	38	557.38	12.57
14	3-3-8	38	48	60.08	-	48	143.97	-
14	4-2-8	50	48	391.75	-	48	277.99	-
14	5-3-6	83	48	112.00	-	48	81.38	-
15	2-3-10	20	48	261.90	-	34	531.41	7.14
15	3-2-10	30	25	1050.72	6.85	24	1038.57	8.74
15	4-3-8	50	48	446.53	-	48	387.25	-
15	5-2-8	63	44	1204.79	3.31	48	514.81	-
16	2-2-12	17	20	1284.45	8.65	16	1130.48	8.82
16	3-3-10	30	20	789.39	11.96	4	840.02	10.13
16	4-2-10	40	17	1588.29	7.85	10	1717.96	7.65
16	5-3-8	63	37	1014.91	3.75	40	1116.37	6.78
17	3-2-12	25	9	287.22	10.73	5	1563.99	12.82
17	5-2-10	50	4	753.02	11.94	4	1633.39	11.76

❖ برای بررسی اثر افزودن محدودیت های ۳۸-۴۲ به مدل ریاضی مسائل با مقیاس کوچک بدون اعمال محدودیت های ذکر شده حل شد.

• متوسط زمان محاسباتی ۳۱٪ افزایش یافت

• متوسط gap از ۸.۴٪ به ۹.۸٪ در حالت R و از ۹.۶٪ به ۱۰.۱٪ در حالت RC افزایش یافت



❖ بررسی در نظر گرفتن فرضیات مسیر بین هاب ها و مسیرهایی که شامل تأمین کننده و مشتری به صورت همزمان باشد.

متوسط درصد اختلاف جواب ها

تعداد مسایلی که جواب های آنها
بزرگتر یا مساوی حالت مسأله با
فرضیات مذکور می باشد

حداکثر درصد اختلاف جواب ها

network V	config.	type "R"				type "RC"			
		MMLRP=	MMLRP>	$\delta_{>}$	$\hat{\delta}$	MMLRP=	MMLRP>	$\delta_{>}$	$\hat{\delta}$
12	2-2-8	0	48	13.31	38.06	12	36	16.87	59.18
12	4-2-6	4	44	14.63	31.71	4	44	14.17	45.12
13	2-3-8	12	36	18.37	55.45	8	40	25.45	63.10
13	3-2-8	0	48	10.46	25.32	0	48	22.76	69.19
13	4-3-6	0	48	9.48	39.78	0	48	6.32	21.52
13	5-2-6	4	44	13.22	28.88	8	40	6.16	21.01
14	3-3-8	4	44	12.18	44.69	4	44	12.56	51.29
14	4-2-8	0	48	12.53	23.65	4	44	12.65	43.60
14	5-3-6	4	44	8.72	28.02	4	44	5.14	10.09
15	2-3-10	12	36	9.94	15.04	0	48	12.33	33.58
15	4-3-8	0	48	13.16	47.74	0	48	7.22	23.33
average		11.76				12.88			

Table 8: Comparison of our LRP and the MMLRP



❖ بررسی کارایی روش ابتکاری Fix and Optimize

تعداد مسائلی که مقدار جوابی کمتر از روش دقیق دارند

تعداد مسائلی که مقدار جوابی برابر با روش دقیق دارند

تعداد مسائلی که مقدار جوابی بیش تر از روش دقیق دارند

در بازه زمانی بیشتر روش ابتکاری جواب های مناسب تری تولید می کند

V	network configuration	type "RC"					type "RC"				
		$t^{\gamma} = 600$		$t^{\gamma} = 1,200$			$t^{\gamma} = 600$		$t^{\gamma} = 1,200$		
		FH=	FH<	FH>	$\delta_{<}$	$\delta_{>}$	FH=	FH<	FH>	$\delta_{<}$	$\delta_{>}$
14	2-2-10	44	2	2	-1.65	0.12	44	4	0	-0.89	-
15	2-3-10	38	1	9	-4.54	0.89	44	2	2	-2.53	0.63
15	3-2-10	27	4	17	-0.89	0.92	42	4	2	-0.90	0.20
16	2-2-12	15	6	27	-1.20	6.17	16	10	22	-1.26	0.75
16	3-3-10	11	6	31	-7.23	2.03	22	15	11	-3.13	1.27
16	4-2-10	22	5	21	-5.94	2.45	32	5	11	-6.09	0.97
16	5-3-8	19	0	29	-	9.00	28	0	20	-	8.39
17	3-2-12	9	12	27	-1.46	2.49	17	15	16	-2.20	1.06
17	5-2-10	6	11	31	-6.46	8.84	11	17	20	-4.50	3.78
average					-3.67	3.66				-2.69	2.13

روش ابتکاری ارائه شده جواب های نسبتا دقیق را در زمان های کوتاه بدست می آورد.

Table 9: Comparison of MIP-model and fix-and-optimize procedure



❖ مقایسه جواب های الگوریتم ژنتیک و مدل ریاضی:

تعداد مسائلی که مقدار جوابی کمتر از
روش دقیق دارند

تعداد مسائلی که مقدار جوابی برابر با
روش دقیق دارند

تعداد مسائلی که مقدار جوابی بیش تر
از روش دقیق دارند

الگوریتم ژنتیک در بیشتر موارد جوابی معادل با جواب
مدل ریاضی در مقیاس کوچک بدست می آورد و تنها در
۶ مورد اختلافی جزئی در جواب ها مشاهده می شود.

network V	config.	type "R"					type "RC"				
		GA=	GA<	GA>	$\delta_{<}$	$\delta_{>}$	GA=	GA<	GA>	$\delta_{<}$	$\delta_{>}$
14	2-2-10	48	0	0	-	-	44	4	0	-0.89	-
15	2-3-10	-	-	-	-	-	46	2	0	-2.53	-
15	3-2-10	44	4	0	-1.99	-	44	4	0	-0.90	-
15	5-2-8	48	0	0	-	-	-	-	-	-	-
16	2-2-12	39	9	0	-0.83	-	35	12	1	-2.14	0.05
16	3-3-10	36	12	0	-3.38	-	28	19	1	-2.76	0.03
16	4-2-10	43	5	0	-1.50	-	41	5	2	-6.09	0.03
16	5-3-8	48	0	0	-	-	48	0	0	-	-
17	3-2-12	25	22	1	-2.84	0.22	18	29	1	-2.77	0.12
17	5-2-10	36	12	0	-1.63	-	26	22	0	-3.96	-
average					-2.03	0.22				-2.75	0.06

Table 10: Comparison of MIP-model and genetic algorithm



نتایج عددی:

❖ مقایسه جواب های الگوریتم ژنتیک و روش ابتکاری:

تعداد مسائلی که مقدار جواب روش ابتکاری کمتر از الگوریتم ژنتیک است

تعداد مسائلی که مقدار جواب روش ابتکاری بیش تر از الگوریتم ژنتیک است

تعداد مسائلی که مقدار جواب روش ابتکاری برابر با الگوریتم ژنتیک است

network		type "R"					type "RC"				
V	config.	FH=	FH<	FH>	$\delta_{<}$	$\delta_{>}$	FH=	FH<	FH>	$\delta_{<}$	$\delta_{>}$
14	2-2-10	48	0	0	-	-	48	0	0	-	-
15	2-3-10	-	-	-	-	-	46	0	2	-	0.63
15	3-2-10	40	0	8	-	1.77	46	0	2	-	0.20
15	5-2-8	44	0	4	-	1.13	-	-	-	-	-
16	2-2-12	41	0	7	-	1.41	17	0	31	-	0.96
16	3-3-10	28	0	20	-	3.13	26	1	21	-0.03	0.94
16	4-2-10	37	0	11	-	0.17	39	0	9	-	1.18
16	5-3-8	41	1	6	-0.21	3.98	28	0	20	-	8.39
17	3-2-12	18	7	23	-0.73	2.12	16	0	32	-	2.07
17	5-2-10	25	0	23	-	4.14	16	0	32	-	2.72
average					-0.47	2.23				-0.03	2.14

network		type "R"					type "RC"				
V	config.	FH=	FH<	FH>	$\delta_{<}$	$\delta_{>}$	FH=	FH<	FH>	$\delta_{<}$	$\delta_{>}$
19	4-3-12	0	0	48	-	23.40	0	0	48	-	14.81
19	6-3-10	0	0	48	-	14.12	0	0	48	-	10.23
25	6-3-16	0	0	48	-	37.62	0	0	48	-	24.13
25	10-3-12	0	1	47	-1.00	9.89	0	5	43	-2.74	8.02
34	10-4-20	0	0	48	-	17.02	0	0	48	-	20.73
34	14-4-16	0	0	48	-	8.20	0	1	47	-0.91	7.28
44	14-4-26	0	2	46	-4.80	17.33	0	0	48	-	13.61
44	18-4-22	0	4	44	-2.67	8.25	0	0	48	-	9.04
average					-2.82	16.98				-1.82	13.48

در مسائلی با مقیاس متوسط عملکرد الگوریتم ژنتیک بهتر از روش ابتکاری است



Table 11: Comparison of genetic algorithm and fix-and-optimize procedure

- ❖ به منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت ها در مسأله می توان از رویکردهای دیگری مانند بهینه سازی استوار و بهینه سازی فازی را با توجه به ماهیت مسأله و رقابتی بودن شرایط استفاده کرد.
- ❖ برای افزایش انعطاف پذیری مدل می توان تصمیم گیری در خصوص تعداد و تخصیص وسایل نقلیه به هاب ها را به صورت متغیرهای تصمیم به مدل ریاضی واگذار کرد.
- ❖ از آنجایی که تصمیمات استراتژیک (مکانیابی هاب ها) در مسأله وجود دارد، بهتر است برنامه ریزی برای افق زمانی بلند مدت انجام شود. بنابراین بهتر است افق زمانی چند دوره ای در نظر گرفته شود.
- ❖ به منظور تولید جواب های بهینه در مسائلی با مقیاس بزرگ می توان از روش های تجزیه بندرز و یا آزادسازی لاگرانژ استفاده کرد.
- ❖ با توجه به محدودیت های مسایل دنیای واقعی می توان شکست تأمین تقاضای مشتریان را (تأمین محصولات توسط بیش از یک وسیله نقلیه) در نظر گرفت.

با تشکر از حسن توجه شما

