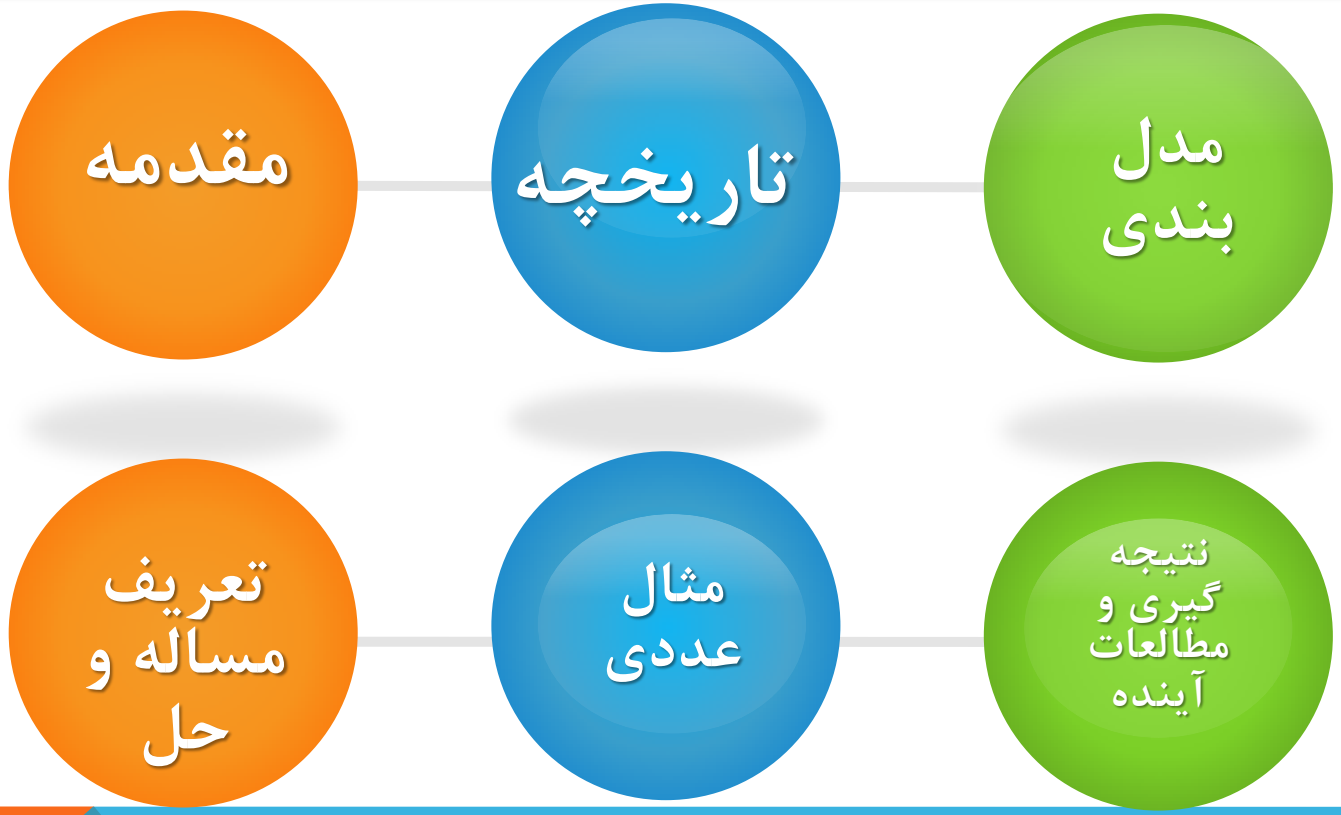
MIXED INTEGER AND HEURISTICS MODEL FOR THE INVENTORY ROUTING PROBLEM IN FUEL DELIVERY

سپړ څړپړ اپیکړهی

پروژه د لس مسیره پایې د کټه ستاک

فهرست


مقدمه
تاریخچه
مدل بندی
تعریف مساله و حل
مثال عددی
نتیجه گیری و مطالعات آینده

مقدمه

- در سیستم‌های مدیریت موجودی توسط فروشنده، فروشنده قادر است تا زمانبندی و اندازه تحویل محصول به خرده‌فروشان را کنترل نماید. در قبال این آزادی عمل، فروشنده تضمین می‌کند که مشتریان با کمبود مواجه نمی‌شوند. در روابط سنتی‌تر میان فروشنده و مشتری که در آن مشتریان درخواست سفارش محصولات را به فروشنده می‌دادند، به دلیل زمانبندی سفارشات مشتریان، ممکن است کارایی به شدت کاهش و به نوبه آن هزینه‌های موجودی و توزیع به شدت افزایش یابد. با وجود این، تحقق کاهش هزینه‌های ناشی از به کارگیری سیستم‌های VMI در عمل ساده نیست به ویژه با افزایش تعداد و تنوع مشتریان این امر دشوارتر نیز می‌شود. با استفاده از مسأله مسیریابی–موجودی دستیابی به این هدف امکانپذیر است

مقدمه

- ✓ **این مقاله به ارائه راه حل یک مساله چند کالایی چند پریودی در مسیر یابی موجودی (IRP) در توزیع سوخت می پردازد.**
- ✓ **تعدادی وسیله حمل یک نوع برای توزیع سوخت از انبارها به پایگاه های سوخت رسانی به کار گرفته شده اند.**
- ✓ **در این مساله ما با دو زیر مساله موجودی و مسیر یابی سر و کار داریم که هزینه بهینه نگه داری و حمل نقل بهینه خواهد شد.**
- ✓ **دو راه حل در نظر گرفته شده است:**

۱- مدل برنامه ریزی عدد صحیح ترکیبی (MIP)

۲-روش ابتکاری با و بدون در نظر گرفتن هزینه اندازه ناوگان

مقدمه

- ✓ حمل و نقل و نگه داری دو بخش اساسی زنجیره تامین هستند. با این حال مدل های ارائه شده برای این دو بخش همواره جدا از یکدیگر بوده و به صورت مستقل تعریف می شوند. با این حال رابطه بین تخصیص موجودی و مسیر یابی وسایل نقلیه توجه تعداد زیادی از نویسندگان را به خود جلب کرده است که در ادامه توضیح داده می شود.
- ✓ هدف اصلی IRP یافتن یک بالانس یا تعادل بین هزینه های موجودی و هزینه های مسیر یابی است بگونه ای که هزینه کل مینیمم شود.
- ✓ بسیاری از صنایع دارای سیستم حمل و نقل و مسیر یابی شامل تامین کنندگان و سوپرمارکت ها، فروشگاه های زنجیره ای ،صنایع پوشاک و صنایع اتومبیل سازی بیان کرده اند که با بکارگیری IRP هزینه ها به میزان قابل توجهی کاهش یافته است.

تاریخچه

سیر زمانی مقالات مختلف:

IRPs have appeared in the literature as early as in the 1970s.

(e.g. Beltrami and Bodin, 1974 and Russell and Igo, 1979)

1. WEB and LARSEON (1995) ⟶ two types of IRP(tactical and strategic)
2. Bertazzi et al. (1997) ⟶ one depot and many delivery location(single product)
3. Viswanathan and mathur (1997) ⟶ one depot and many delivery location in multiproduct system
4. Herer and levy(1997) ⟶ more details for inventory cost , vehicle out sourcing
5. Raa and aghezzzaf (2008) ⟶ Long term IRP with constant demand rate suitable for a cyclic planning
6. Yu et al. (2008) ⟶ IRP with deterministic demand

تاریخچه

سیر زمانی مقالات مختلف:

7. Huang and lin (2010) ⟶ multi-item IRP with a limited fleet
8. Moin et al. (2011) ⟶ observed IRP in an assembly plant that is supplied by suppliers with multi-products in a multi-period finite horizon via a capacitated homogeneous fleet of vehicles
9. Siswanto et al. (2011) ⟶ Four sub-problems ” routing, ship selection, loading, and unloading of ships”
10. Bertrazzi et al. (2013) ⟶ IRP with a stock-out and without backlogging

تعریف مساله

- سیستم دارای j نوع سوخت است.
- I جایگاه سوخت وجود دارد.
- محدوده زمانی بررسی شده T است.
- سوخت توسط یک نوع وسیله نقلیه جابجا می شود که دارای دو تریلر است که دارای دو قسمت(تانکر) با حجم برابر هستند.
- برای یک مسیر فقط K=4 عدد مخزن یعنی قادر به ارسال شدن هستند.
- هر مخزن باید پر باشد یعنی واحد یک مخزن است و مخزن به صورت غیر پر ارسال نمی شود.
- هر جایگاه سوخت i مصرف متفاوت q_{ij} از انواع سوخت دارد و شدت این مصرف بستگی به نوع سوخت و نوع جایگاه دارد

تعریف مساله

- هر جایگاه سوخت با تانکر های زیر زمینی تجهیز شده است که دارای ظرفیت Q_{ij} هستند(برای هر نوع سوخت یک عدد)
- هر جایگاه در طول روز فقط یک بار می تواند سرویس بگیرد.
- مجاز نیست که مقدار ظرفیت هر جایگاه زیر مقدار مصرف یعنی q_{ij} قرار گیرد.
- مقدار هزینه نگه داری فقط به مقدار نگه داری شده کالا در طول زمان وابسته است حال اینکه هزینه حمل و نقل فقط به مسافت طی شده بستگی دارد
- هر تریلی دارای مخزن در طول روز ماکزیمم به جایگاه می تواند مراجعه کند به عبارت دیگر چهار استراتژی مراجعه به ۱ یا ۲ یا ۳ یا ۴ جایگاه می تواند اتخاذ شود.

مدل بندی

- هدف اصلی این مساله مینیمم کردن هزینه کل است.(IC+RC)
- دو نوع متغیر , X و Y به صورت زیر تعریف می شود.

X_{ijtk} =
- ۱ اگر ایستگاه i با سوخت j در زمان t با k محموله سوخت رسانی شود
- ۰ در غیر این صورت

Y_{pqt} =
- ۱ اگر ایستگاه p و q در یک مسیر در زمان t سوخت رسانی شود
- ۰ در غیر این صورت

Y_{pqwet} =
- ۱ اگر ایستگاه p و q و w و e همه در یک مسیر در زمان t سوخت رسانی شود
- ۰ در غیر این صورت

Y_{pt} =
- ۱ اگر ایستگاه p بتنهایی در یک مسیر در زمان t سوخت رسانی شود
- ۰ در غیر این صورت

Y_{pqwt} =
- ۱ اگر ایستگاه p و q و w همه در یک مسیر در زمان t سوخت رسانی شود
- ۰ در غیر این صورت

مدل بندی

❖ به خاطر وجود اشتراکات بین مقدار متغیرهای ارسال یک متغیر H به صورت زیر تعریف می شود.

$$H_{it}\begin{cases} 1: & \text{if petrol station } i \text{ is supplied} \\ & \text{in time period } t \\ 0: & \text{other wise} \end{cases}$$

مدل بندی

i,p,q,w,e	petrol stations ($i, p, q, w, e \in \{1, 2, \ldots, I\}$,)
j	fuel types ($j \in \{1, 2, \ldots, J\}$)
t, z	time period or day in the planning horizon T ($t, z \in \{1, 2, \ldots, T\}$)
k	number of compartments ($k \in \{1, 2, \ldots, K\}$)
d_k	delivery quantities ($k \in \{1, 2, \ldots, K\}$) that correspond to the total amount of delivered fuel

Parameters:

S_{ij}^{0}	stock level of fuel type j at station i at the beginning of the planning horizon
q_{ij}	consumption of the fuel type j at station i
c_{inv}	inventory carrying costs per day
c_r	transportation costs per unit of traveled distance
Q_{ij}	capacity of the underground reservoir for the fuel type j at station i
r_{pqwe}	minimum length of route that includes petrol stations p, q, w, and e
r_{pqw}	minimum length of route that includes petrol stations p, q, and e
r_{pq}	minimum length of route that includes petrol stations p and e
r_p	minimum length of route that includes only petrol station p (direct delivery)

Objective function:

مدل بندی

$$\text{Minimize} \rightarrow IC + RC \tag{1}$$

$$IC = \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J} \sum_{t=1}^{T} \left(\left(S^{0}_{ij} - t \cdot q_{ij} + \frac{q_{ij}}{2} \right) + \sum_{z=1}^{t} \sum_{k=1}^{K} x_{ijzk} \cdot d_k \right) \cdot c_{inv} \tag{2}$$

$$RC = \sum_{t=1}^{T} \sum_{p=1}^{I} \left(y_{pt} \cdot r_p + \sum_{q=p+1}^{I} \left(y_{pqt} \cdot r_{pq} + \sum_{w=q+1}^{I} \times \left(y_{pqwt} \cdot r_{pqw} + \sum_{e=w+1}^{I} y_{pqwet} \cdot r_{pqwe} \right) \right) \right) \cdot c_r \tag{3}$$

مدل بندی

Subject to:

$$S_{ij}^{0} + \sum_{t=1}^{z} \sum_{k=1}^{K} x_{ijtk} \cdot d_k - \sum_{t=1}^{z-1} q_{ij} \le Q_{ij}$$
$$\forall i \in I \quad \forall j \in J \quad \forall z \in T \qquad (4)$$

ماکزیمم مقدار سوخت با توجه به ظرفیت مخزن در هر پریود زمانی

$$S_{ij}^{0} + \sum_{t=1}^{z} \sum_{k=1}^{K} x_{ijtk} \cdot d_k - \sum_{t=1}^{z} q_{ij} \ge q_{ij}$$
$$\forall i \in I \quad \forall j \in J \quad \forall z \in T \qquad (5)$$

مینیمم مقدار سوخت با توجه به ظرفیت مخزن در هر پریود زمانی

$$y_{pt} \le H_{pt} \quad \forall t \in T \quad \forall p \in I \qquad (6.1)$$

$$2 \cdot y_{pqt} \le H_{pt} + H_{qt} \quad \forall t \in T \quad \forall (p,q) \in I^2 \quad \text{for all } p < q \qquad (6.2)$$

$$3 \cdot y_{pqwt} \le H_{pt} + H_{qt} + H_{wt}$$
$$\forall t \in T \quad \forall (p,q,w) \in I^3 \quad \text{for all } p < q < w \qquad (6.3)$$

$$4 \cdot y_{pqwet} \le H_{pt} + H_{qt} + H_{wt} + H_{et}$$
$$\forall t \in T \quad \forall (p,q,w,e) \in I^4 \quad \text{for all } p < q < w < e \qquad (6.4)$$

یک مسیر می تواند انجام شود اگر و تنها اگر به تمام پمپ بنزین های آن مسیر عرضه صورت گیرد

مدل بندی

$$H_{it} \le \sum_{j=1}^{J} \sum_{k=1}^{K} x_{ijtk} \quad \forall t \in T \quad \forall i \in I \tag{7}$$

$$H_{it} \ge \frac{1}{J \cdot K} \cdot \sum_{j=1}^{J} \sum_{k=1}^{K} x_{ijtk} \quad \forall t \in T \quad \forall i \in I \tag{8}$$

پمپ بنزین هایی که باید سرویس دهی شوند را مشخص می کند

$$\sum_{p=1}^{I} \left(y_{pt} + \sum_{q=p+1}^{I} \left(2 \cdot y_{pqt} + \sum_{w=q+1}^{I} \left(3 \cdot y_{pqwt} + \sum_{e=w+1}^{I} 4 \cdot y_{pqwet} \right) \right) \right) = \sum_{i=1}^{I} H_{it} \quad \forall t \in T \tag{9}$$

این اطمینان را حاصل می کند که مقدار پمپ بنزین هایی که در آن ها عرضه صورت می گیرد برابر با مقدار مورد نیاز باشد

$$y_{it} + \sum_{q=i+1}^{I} \left(y_{iqt} + \sum_{w=q+1}^{I} \left(y_{iqwt} + \sum_{e=w+1}^{I} y_{iqwet} \right) \right) + \sum_{p=1}^{i-1} \left(y_{pit} + \sum_{w=i+1}^{I} \left(y_{piwt} + \sum_{e=w+1}^{I} y_{piwet} \right) \right) + \sum_{p=1}^{i-2} \sum_{q=p+1}^{i-1} \left(y_{pqit} + \sum_{e=i+1}^{I} y_{pqiet} \right) + \sum_{p=1}^{i-3} \sum_{q=p+1}^{i-2} \sum_{w=q+1}^{i-1} y_{pqwit} \le 1 \quad \forall t \in T \quad \forall i \in I \tag{10}$$

این اطمینان را حاصل می کند که تعداد دفعات مراجعه به پمپ بنزین i در بازه زمانی t برابر با ۱ باشد

مدل بندی

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} x_{ijtk}\cdot k \le K \quad \forall t\in T \quad \forall i\in I \qquad (11)$$

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} (x_{pjtk}+x_{qjtk})\cdot k \le K\cdot(2-y_{pqt})$$
$$\forall t\in T \quad \forall (p,q)\in I^2 \quad \text{for all } p<q \qquad (12)$$

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} (x_{pjtk}+x_{qjtk}+x_{wjtk})\cdot k \le K\cdot(3-2\cdot y_{pqwt})$$
$$\forall t\in T \quad \forall (p,q,e)\in I^3 \quad \text{for all } p<q<w \qquad (13)$$

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} (x_{pjtk}+x_{qjtk}+x_{wjtk}+x_{ejtk})\cdot k \le K\cdot(4-3\cdot y_{pqwet})$$
$$\forall t\in T \quad \forall (p,q,w,e)\in I^4 \quad \text{for all } p<q<w<e \qquad (14)$$

$$H_{it}, x_{ijtk}, y_{pqwet}, y_{pqwt}, y_{pqt}, y_{pt} \in \{0,1\}$$
$$\forall j\in J \quad \forall t\in T \quad \forall k\in K$$
$$\forall i\in I \quad \forall (p,q,w,e)\in I^4 \quad \text{for all } p<q<w<e \qquad (15)$$

از سوخت رسانی مجدد به یک ایستگاه در مسیر جلوگیری می کند.اگر حذف شود سوخت های مختلف با حجم کمتر از ۴ تانکر به مخزن یکسان می رسند.

بیانگر این محدودیت هستند که برای مثال اگر یک ایستگاه نیاز به سه تانکر دارد هم می تواند به صورت تکی هم همراه با ایستگاه دیگر که نیاز به یک تانکر دارد سرویس دهی شود

IRPF MIP MODEL

- مدل قبلی با اضافه شدن هزینه اندازه ناوگان توسعه یافته است.
- به صورت همزمان هزینه مسیریابی و موجودی و تعداد ناوگان مینیمم شده است.

F	required fleet size that consists of the available vehicles and dummy vehicles
F_a	available fleet size
F_t	required number of vehicles (routes) per each time period t
c_v	fixed cost of available fleet size per vehicle per day
c_m	fixed cost of available fleet size for dummy vehicles per vehicle per day (this value should be sufficiently high so that dummy vehicles are used only if there is no feasible solution with the available fleet of vehicles)

IRPF MIP MODEL

$$\text{Minimize} \rightarrow IC + RC + FC \tag{16}$$

$$FC = T \cdot [F_a \cdot c_v + (F - F_a) \cdot c_m] \tag{17}$$

$$\sum_{p=1}^{I} \left(y_{pt} + \sum_{q=p+1}^{I} \left(y_{pqt} + \sum_{w=q+1}^{I} \left(y_{pqwt} + \sum_{e=w+1}^{I} y_{pqwet} \right) \right) \right) = F_t \quad \forall t \in T \tag{18}$$

$$F \geq F_t \quad \forall t \in T \tag{19}$$

$$F \geq F_a \tag{20}$$

IRPF MIP MODEL

- ✓ به این دلیل که هر مسیر نشان دهنده ی یک وسیله است اگر تعداد ناوگان کنونی نتواند تقاضای جایگاه های سوخت را تامین کند از ماشین های موهومی برای برطرف کردن نیاز استفاده می شود.
- ✓ این مدل با استفاده از یک روش همراه با تکرار حل می شود که در تکرار اول مقدار $F\alpha$ باید کمتر از اندازه ناوگان تعیین شود تا برای سرویس دهی به تمام جایگاه های سوخت کافی باشند.سپس در قدم بعدی اگر مقدار وسایل نقلیه فوق کافی نبود باید یک وسیله اضافه شود و مساله دوباره حل شود تا زمانی که از هیچ وسیله موهومی برای ارسال سوخت استفاده نشود.

HEURISTIC APPROACH

- ایده اصلی روش ابتکاری ارائه شده برای حل این مدل این است که ابتدا قسمت موجودی مساله MIP حل شود سپس از روش ابتکاری برای حل قسمت مسیریابی استفاده شود.
- مدل MIP ریلکس شده شامل تابع هدف دوم و محدودیت های ۴ و ۵ و ۱۱ و قسمتی از ۱۵ است که با حل این مدل که بسیار ساده است و سریع به جواب می رسد مقدار تابع هدف موجودی مینیمم می شود

$$S_{ij}^{0}+\sum_{t=1}^{z}\sum_{k=1}^{K}x_{ijtk}\cdot d_k-\sum_{t=1}^{z-1}q_{ij}\le Q_{ij} \qquad \forall i\in I \quad \forall j\in J \quad \forall z\in T$$

$$S_{ij}^{0}+\sum_{t=1}^{z}\sum_{k=1}^{K}x_{ijtk}\cdot d_k-\sum_{t=1}^{z}q_{ij}\ge q_{ij} \qquad \forall i\in I \quad \forall j\in J \quad \forall z\in T$$

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}x_{ijtk}\cdot k\le K \quad \forall t\in T \quad \forall i\in I$$

$$H_{it},x_{ijtk},y_{pqwet},y_{pqwt},y_{pqt},y_{pt}\in\{0,1\} \qquad \forall j\in J \quad \forall t\in T \quad \forall k\in K \qquad \forall i\in I \quad \forall (p,q,w,e)\in I^4 \quad \text{for all } p<q<w<e$$

- با توجه به اینکه مینیمم کردن تابع مسیریابی در ادامه باعث افزایش مسیر پیموده شده می شود زیرا که برخی مراکز گیرنده سوخت می توانند در مسیر برای سوخت گیری قرار گیرند ولی زمان دریافت سوختشان متفاوت است از یک سیاست سوخت رسانی استفاده می شود که در آن محصولات می توانند چند روز زودتر به مراکز دریافت کننده ارسال شوند. در واقع در این مساله باید بالانس بین هزینه "مسیریابی و حمل و نقل " و هزینه "موجودی" انجام گیرد که هزینه ها مینیمم شود

HEURISTIC APPROACH

- ✓ با توجه به اینکه نگه داری موجودی برای ما هزینه در بر خواهد داشت محصولات فقط چند روز زودتر می توانند به مراکز ارسال شوند. در واقه هدف اصلی این ایده ارسال سفارش ها در روزی است که مقدار هزینه مینیمم شود.
- ✓ با توجه به اینکه از روش های ابتکاری برای حل استفاده می شود در صورت بزرگ بودن مساله تعداد حالت هایی که جستجو می شوند فوق العاده زیاد است. برای مثال در یک مساله با برنامه ریزی ۵ روزه و ۲۰ محموله حمل موجود در هر روز ۸۰=۴*۲۰ محموله از روز ماقبل اول به روز اول ۶۰ محموله از دو روز قبل ۴۰ محموله از ۳ روز قبل و ۲۰ محموله از روز ۵ به روز اول برنامه ریزی می تواند ارسال شود که حجم محاسبات در این مثال کوچک ۲۰۰ بار محاسبه است.
- ✓ برای سرعت دادن به حل این مساله از یک یک روش بهبود دهنده استفاده می شود که در آن ما فقط E محموله واجد شرایط را که می توانند بهبود ایجاد کنند را مورد مطالعه قرار می دهیم تا فقط برای این تعداد محدود مساله مسیر یابی را حل کنیم.

HEURISTIC APPROACH

- ما شایستگی هر جابجایی رابه صورتی تعریف می کنیم که احتمال آن جابجایی در کاهش هزینه زیاد باشد. شایستگی بر اساس بررسی سه محدودیت بر $v^{\alpha}_{it\delta}$ است که تاثیر حمل محموله از ایستگاه i در روز t به روز $t-\delta$ را نشان می دهد که α مقادیر ۱و ۲و ۳ را می تواند داشته باشد.
- سه محدودیت:
- ۱-مقدار $v^{1}_{it\delta}$ امکان وجود انتقال در روز $t-\delta$ را نشان می دهد. اگر K_{it} تعداد محموله های انتقال یافته به ایستگاه i در زمان t باشد اگر $K_{it} > 0 \wedge \bar{K}_{it-\delta} < 4$, آنگاه مقدار یک می گیرد در غیر این صورت $v^{1}_{it\delta}$ مقدار صفر می گیرد.(k بزرگتر از صفر وجود یک مسیر را نشان می دهد و k کوچکتر از ۴ امکان اضافه شدن ایستگاه را بیان می کند)

HEURISTIC APPROACH

- ✓ ۲- مقدار $v^{2}_{it\delta}$ تغییر در تعداد ایستگاه هایی که باید به آنها مراجعه صورت بگیرد را بعد از جابجایی روز تحویل دهی نشان می دهد.اگر $K_{it}=1 \wedge 0<K_{it-\delta}<4$, در آن صورت $V^{2}_{it\delta}=2$.در واقع یک ایستگاه از روزی که برنامه ریزی قبلا در آن صورت گرفته کم شده و یک ایستگاه به روزی که انتقال به آن صورت گرفته اضافه می شود. اگر $K_{it}>1 \wedge 0<K_{it-\delta}<4$ یا $K_{it}=1 \wedge K_{it-\delta}=0$, دز آن صورت $V^{2}_{it\delta}=1$.در واقع تعداد ایستگاه هایی که به انها باید سرویس دهی صورت گیرد کلا ثابت باقی می ماند .در غیر این صورت این مقدار برابر با صفر خواهد بود.
- ✓ ۳- هدف اصلی از این قسمت کاهش مسافت طی شده است. برای هر ایستگاه i با مقدار$K_{it}>0$ ابتدا بزرگترین مقدار r_{ip} محاسبه می شود به گونه ای که $K_{pt}>0$. سپس کوتاه ترین مقدار r_{iq} محاسبه می شود به گونه ای که $0<K_{it-\delta}<4$. سپس مقدار $V^{3}_{it\delta}=r_{ip}-r_{iq}$ محاسبه می شود.هدف یافتن ایستگاهی است که در روز t دریافت دارد و دورترین فاصله با ایستگاه ها را دارد و بطور همزمان در روز $t-\delta$ کمترین فاصله را با ایستگاه ها در روز فوق دارد.

HEURISTIC APPROACH

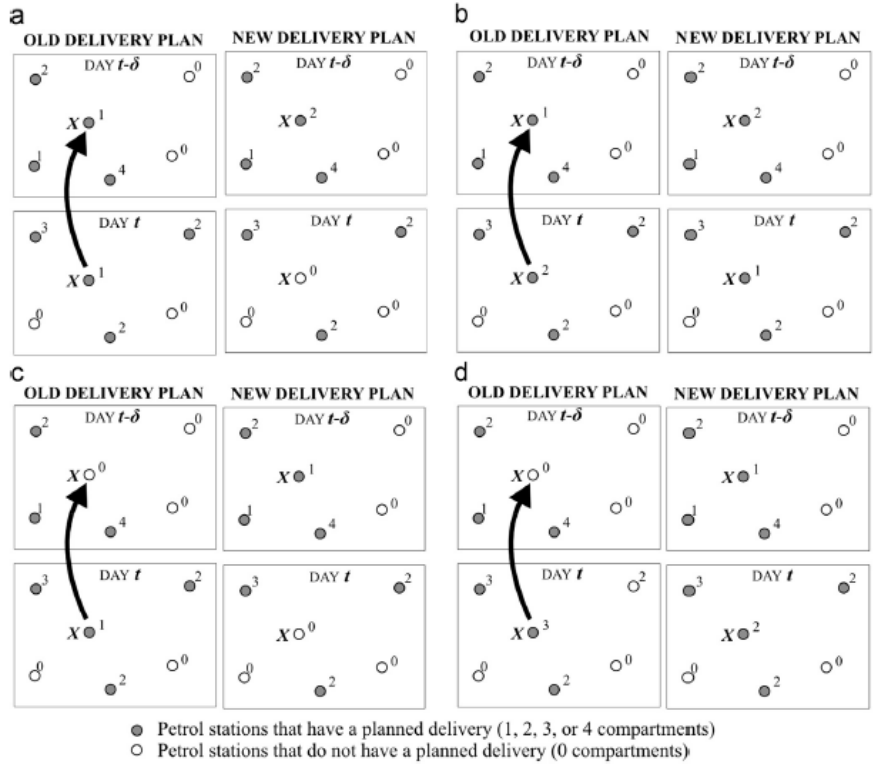


Fig. 1. Four possible transfer types. (a) The case when a compartment move from statio ***X*** climinates that station from the delivery plan on the observed day. (b) The case when a compartment move from station ***X*** does not have an impact on the number of stations in the delivery plan. (c) The case when a compartment move from station ***X*** diminates that station from the delivery plan on the observed day and adds it to the delivery plan for the day before. and (d) These case when a compartment move from station ***X*** add that station to the delivery plan on the day before.

- ✓ برای مشخص شدن میزان شایستگی، ایستگاه ها به صورت نزولی بر اساس محدودیت اول سپس دوم و سپس سوم سورت می شود. سپس تعداد E تا از آنها برای حل شدن انتخاب می شوند.

HEURISTIC APPROACH

- ✓ برای حل مدل از مفهوم روش کلارک و رایت که کاهش هزینه است استفاده می شود.
- ✓ K_{pt} و k_{qt} نشان دهنده تعداد محموله هایی است که تا روز t باید به p , q انتقال یابند و ε={0/25 .0.5 ,0.75,1} نشان دهنده تعداد ۱ یا ۲ یا ۳ یا هر ۴ محموله ای است که باید به ایستگاه های مسیر انتقال یابند.

$$u_p = K_{pt} \cdot r_p - \varepsilon \cdot r_p \qquad (21)$$

$$u_{pq} = K_{pt} \cdot r_p + K_{qt} \cdot r_q - \varepsilon \cdot r_{pq} \qquad (22)$$

$$u_{pqw} = K_{pt} \cdot r_p + K_{qt} \cdot r_q + K_{wt} \cdot r_w - \varepsilon \cdot r_{pqw} \qquad (23)$$

$$u_{pqwe} = K_{pt} \cdot r_p + K_{qt} \cdot r_q + K_{wt} \cdot r_w + K_{et} \cdot r_e - \varepsilon \cdot r_{pqwe} \qquad (24)$$

HEURISTIC APPROACH

✓ برای مشخص کردن ساختار مسیر الگوریتم زیر استفاده می شود.

Algorithm 1. Route construction

```
0  Input: Deliv_plan
1  Set_of_routes_for_all_days=[ ]
2  for day in planning_horizon:
3     set_util=[ ]
4     set_actual_routes=[ ]
5     calculate assignement_utilities and store them in set_util
6     sort set_util in nonicreasing order
7     while set_util not empty:
8        select first_route from set_util
9        insert first_route to set_actual_routes
10       for station in first_route:
11          for route in set_util:
12             if station in route:
13                delete route from set_util
14    insert set_actual_routes to Set_of_routes_for_all_days
```

۱-مقدار utilities ها را محاسبه کن

۲-آنها را به صورت کاهشی مرتب کن

۳- مجموعه بالا =set_util

۴- set_actual_routes= 0

۵-اولین route را از مجموعه set_utilانتخاب کن

۶- اگر station ای انتخاب شده بود آن را از set_util حذف کن و به set_actual_routes اضافه کن

۷- تا زمانی که set_util=0 شود ادامه بده

HEURISTIC APPROACH

- ✓ بهبود جواب بدست آمده از روش های نزدیکترین همسایگی و روش جستجو محلی بدست می آید.
  برای روش دوم سه ساختار در نظر گرفته می شود.
- ✓ ۱- جابجایی دو ایستگاه بین دو مسیر
- ✓ ۲- بر داشتن یک ایستگاه از یک مسیر و گذاشتن آن ایستگاه در مسیر دیگر
- ✓ ۳- جدا کردن دو arc و یافتن بهترین اتصال ممکن

HEURISTIC APPROACH

Algorithm 2. VND local search procedure

```
0  Input: The_solution
1  while improvement:
2     improvement=False
3     Procedure: Stations interchange
4     for each pair of routes in all_routes:
5        for all feasible swaps of a pair of stations from two routes:
6           if interchange incurs shorter routes:
7              improvement=True
8              update The_solution
9              break to while loop at line 1
10    Procedure: Removal/insertion
11    for route_from in all_routes:
12       for station in route_from:
13          for route_to in all_routes/route_from:
14             remove station from route_from and insert in route_to
15             if solution is feasible and incurs shorter routes:
16                improvement=True
17                update The_solution
18                break to while loop at line 1
19    Procedure: 2opt*
20    for route_1 in all_routes:
21       for route_2 in all_routes/route_1:
22          for arc_1 in route_1:
23             for arc_2 in route_2:
24                delete arc_1 and arc_2
25                make all feasible reconnections
26                if there exists reconnection with shorter routes:
27                   improvement=True
28                   update The_solution
29                   break to while loop at line 1
```

الگوریتم حل به صورت فوق است

HEURISTIC APPROACH

- ✓ آخرین مبحثی که در این قسمت مطرح می شود الگوریتم زیر است.

Algorithm 3. VND large neighborhood search procedure

```
0  Input: The_solution
1  while improvement:
2      improvement=False
3      Procedure: Stations removal/insertion
4      for day_from in planning_horizon:
5          for day_to in planning_horizon/day_from:
6              for station_del in day_from:
7                  remove station_del from day_from
8                  insert station_del in day_to
9                  if solution is feasible and incurs lower total costs:
10                     improvement=True
11                     update The_solution
12                     break to while loop at line 1
```

COMPUTATIONAL RESULTS

- ✓ تعداد ایستگاه های سوخت I={10,50} و هرکدام با J=3 نوع سوخت مختلف در پریود زمانی T=3,4 روز
- ✓ وسایل نقلیه با تانکر هایی که هر کدام ۴ قسمت مجزای ۸ تنی دارند تجهیز شده اند
- ✓ مقداری موجودی s_{ij}^{0} در ابتدای دوره به صورت رندوم بین ۲ و ۱۰ تن در نظر گرفته می شود.
- ✓ مقدار نیاز سوخت q_{ij} به صورتی در نظر گرفته می شود که با احتمال ۰.۴ برابر با ۱ تن با احتمال ۰.۵ برابر با ۲ و با احتمال ۰.۱ برابر با ۳ تن است
- ✓ ظرفیت هر مخزن Q_{ij} به صورت رندوم مقدار ۲۰ یا ۳۰ تن است که به هر ایستگاه برای هر نوع سوخت تخصیص می یابد
- ✓ مختصات هر ایستگاه در بازه [50,50-]کیلومتر قرار می گیرد یعنی اگر مخزن اصلی در نقطه [0,0] باشد مقادیر Xو Y ایستگاه ها می تواند در بازه فوق تغییر کند
- ✓ هزینه نگه داری ۱.۰۹یورو هزینه وسیله حمل ۲۰۰ یورو و هزینه وسیله موهومی ۱۰۰۰ یورو به ازای هر روز است.هزینه انتقال نیز ۲ یورو در کیلومتر است.

COMPUTATIONAL RESULTS FOR DIFFERENT ROUTE LENGTHS

- ✓ جدول یک حل مدل فوق را برای ۵۰ مساله کوچک با ۱۰ ایستگاه و بازه برنامه ریزی ۴ روز نشان می دهد

Table 1
A comparison of the results for the quadruple, triple and double assignment of the MIP IRP and IRPF models for 50 instances with 10 petrol stations and a 4-day planning horizon.

	IRP			IRPF		
	Quad. assign.	*Triple assign.*	*Doub. assign.*	*Quad. assign.*	*Triple assign.*	*Doub. assign.*
avgIC	932.78	932.78	945.86	914.47	914.47	923.36
avgRC	1133.33	1134.18	1155.11	1198.25	1198.70	1231.24
avgFC	–	–	–	1616.00	1632.00	1776.00
Avg total	**2066.11**	**2066.96**	**2100.96**	**3728.72**	**3745.16**	**3930.61**
Avg calc. time (s)	75.28	8.58	0.85	176.98	12.55	0.73

- ✓ همان طور که مشاهده می کنید هزینه زمانی که فقط در هر مسیر به دو ایستگاه سرویس داده می شود بیشتر از ۲ حالت دیگر است که مطالعه مسائل بزرگتر به نظر ضروری می رسد

RESULTS FROM THE MIP AND HEURISTIC MODELS FOR SMALL-SCALE PROBLEMS

- ✓ مقادیر ۲۵ و ۲۶ برای حل مدل IRP و مقادیر ۲۷ و ۲۸ برای حل IRPF محاسبه شده اند.

$$\textit{Routing model for IRP}: \quad \text{Min} \rightarrow RC \qquad (25)$$

$$\textit{Inventory model for IRP}: \quad \text{Min} \rightarrow IC + m \cdot RC \qquad (26)$$

$$\textit{Routing model for IRPF}: \quad \text{Min} \rightarrow RC + FC \qquad (27)$$

$$\textit{Inventory model for IRPF}: \quad \text{Min} \rightarrow IC + m \cdot (RC + FC) \qquad (28)$$

- ✓ مقدار m باید مقداری در نظر گرفته شود که تاثیر هزینه مسیر یابی را کم کند ولی به طور کامل از بین نبرد در این مثال این مقدار ۰.۱ در نظر گرفته شده است.

RESULTS FROM THE MIP AND HEURISTIC MODELS FOR SMALL-SCALE PROBLEMS

- ✓ نمونه ای از داده های ورودی برای مثال فوق در زیر آورده شده است که یک بازه ۱۰۰ کیلومتری با ۱۰ ایستگاه و برنامه ۵ روزه را بیان می کند .

Table 2
Input parameters for one instance of the small-scale problem (q_{ij} [t], S^o_{ij} [t], Q_{ij} [t], (x,y) [km]).

i	q_{i1}	q_{i2}	q_{i3}	S^o_{i1}	S^o_{i2}	S^o_{i3}	Q_{i1}	Q_{i2}	Q_{i3}	x_i	y_i
1	2	1	1	6	4	6	20	20	20	15	48
2	2	2	1	3	3	9	20	20	20	48	−17
3	1	1	2	3	6	9	30	30	20	−49	23
4	1	2	2	9	4	3	20	30	20	−26	−43
5	2	1	1	6	3	10	30	30	20	38	−48
6	2	1	2	8	8	5	30	20	20	20	20
7	3	1	2	3	5	7	30	20	20	10	−35
8	2	3	2	9	5	3	30	20	30	−11	45
9	2	2	2	4	8	2	20	20	30	−45	−20
10	3	2	2	7	6	8	20	30	20	49	5

RESULTS FROM THE MIP AND HEURISTIC MODELS FOR SMALL-SCALE PROBLEMS

Table 3
A comparison of MIP models for 100 instances with 10 petrol stations and a 5-day planning horizon.

FC	MIP	Total costs				Routing costs				Inventory costs				FC	Avg. calc. time (s)
		avg	min	max	stdev	avg	min	max	stdev	avg	min	max	stdev	avg	
No	IM	3374.0	2473.5	4281.1	340.8	2387.2	1482.7	3210.1	331.2	986.8	898.7	1078.6	34.2	–	0.5
	RM	2783.2	2258.3	3384.6	237.6	1359.4	848.9	1850.4	191.7	1423.8	1217.0	1619.2	89.9	–	2137.9
	IRP	2605.3	2008.7	3157.3	227.5	1409.9	869.6	1910.6	197.1	1195.5	1055.7	1345.6	62.8	–	115.0
Yes	IM	6056.3	4473.5	8431.3	682.6	2389.5	1482.7	3210.1	332.0	986.8	898.7	1078.6	34.2	2680	0.5
	RM	4742.2	4053.7	6353.0	372.7	1490.7	853.6	2603.7	287.9	1211.5	1084.0	1345.6	54.7	2040	1426.6
	IRPF	4708.4	4008.7	6308.8	377.8	1509.3	869.6	2603.7	284.9	1159.1	1039.9	1294.9	47.5	2040	127.9

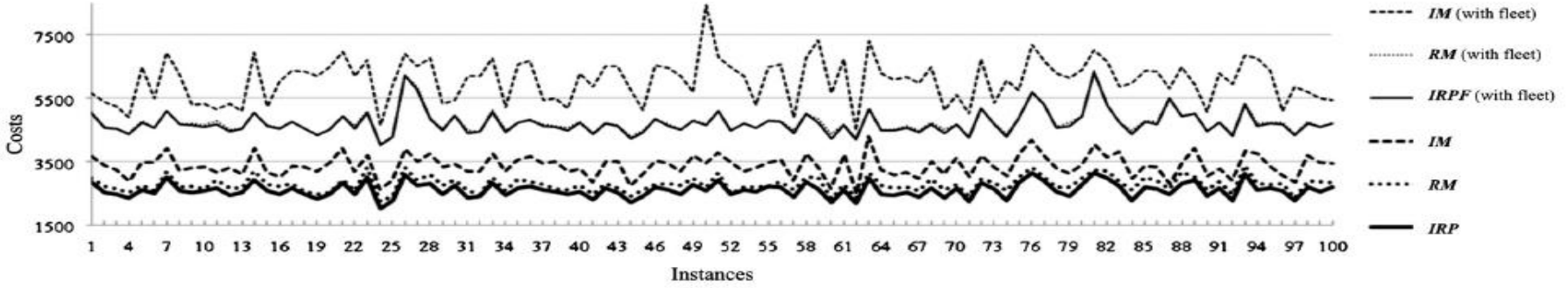


Fig. 3. A graphical illustration of a solution obtained by MIP models for 100 instances with 10 petrol stations and a 5-day planning horizon.

RESULTS FROM THE MIP AND HEURISTIC MODELS FOR SMALL-SCALE PROBLEMS

- ✓ ارزیابی روش های مختلف ابتکاری در جدول ۴ آمده است.ابتدا فاکتوری تحت عنوان rel_gap تعریف می شود که فاکتور فوق فاصله جواب های بدست آمده روش ابتکاری را با روش های حل معمول مستقیم محاسبه می کند.
- ✓ Hs حل بدست آمده از روش hurestic است .
- ✓ حد پایین برابر با جواب بدست آمده از حل مدل IRP و IRPF

$$rel_gap = \frac{1}{all_inst} \cdot \sum_{n=1}^{all_inst} \frac{HS_n - LB_n}{UB_n - LB_n}$$

است. حد بالا نیز برابر با حل مدل موجودی است که سپس مدل مسیریابی نیز می نیمم شده است.

(همان رویکرد چند اسلاید قبل)

RESULTS FROM THE MIP AND HEURISTIC MODELS FOR SMALL-SCALE PROBLEMS

Table 4
Heuristic solutions that were obtained by different combinations of improvement procedures for 100 instances with 10 petrol stations and a 5-day planning horizon.

FC	Model	Total costs				RC		IC		FC	Avg. calc.
		avg	stdev	HS–LB (%)	rel_gap (%)	avg	stdev	avg	stdev	avg	time (s)
No	*Upper bound*	3503.1	366.9	**34.46**	**100**	2516.3	357.9	986.8	34.2	–	1.3
	ET	2878.9	295.9	**10.50**	**30.68**	1786.5	279.3	1092.4	51.2	–	1.9
	LS	3417.3	356.0	**31.17**	**90.75**	2430.5	346.6	986.8	34.2	–	1.5
	LNS	2749.1	249.5	**5.52**	**16.87**	1533.0	236.1	1216.0	85.4	–	3.3
	ET+LS	2821.6	292.9	**8.30**	**24.04**	1724.4	277.1	1097.2	51.3	–	2.3
	ET+LNS	2732.1	262.0	**4.86**	**14.42**	1564.1	252.7	1168.0	85.7	–	2.5
	LS+LNS	2724.7	248.0	**4.58**	**13.73**	1505.7	228.6	1219.0	80.5	–	3.8
	ET+LS+LNS	2696.0	254.2	**3.48**	**10.03**	1519.9	235.6	1176.1	77.6	–	3.0
	Lower bound	2605.3	227.5	**0**	**0**	1409.9	197.1	1195.5	62.8	–	115.0
Yes	*Upper bound*	6673.1	702.4	**41.73**	**100**	2516.3	357.9	986.8	34.2	3170	1.3
	ET	5332.0	629.7	**13.24**	**33.19**	1827.6	280.5	1084.4	45.0	2420	2.1
	LS	6467.3	666.0	**37.36**	**90.85**	2430.5	346.6	986.8	34.2	3050	1.4
	LNS	5510.3	663.0	**17.03**	**40.26**	1696.1	284.2	1164.3	66.5	2650	4.0
	ET+LS	5226.3	603.9	**11.00**	**26.51**	1779.8	279.7	1086.5	45.6	2360	2.4
	ET+LNS	5186.1	597.8	**10.15**	**25.04**	1702.2	266.1	1124.0	59.5	2360	2.8
	LS+LNS	5396.8	671.5	**14.62**	**33.76**	1658.5	275.0	1158.3	53.6	2580	4.6
	ET+LS+LNS	5029.7	550.2	**6.82**	**16.35**	1660.0	283.8	1129.7	53.6	2240	3.3
	Lower bound	4708.4	377.8	**0**	**0**	1509.3	284.9	1159.1	47.5	2040	127.9

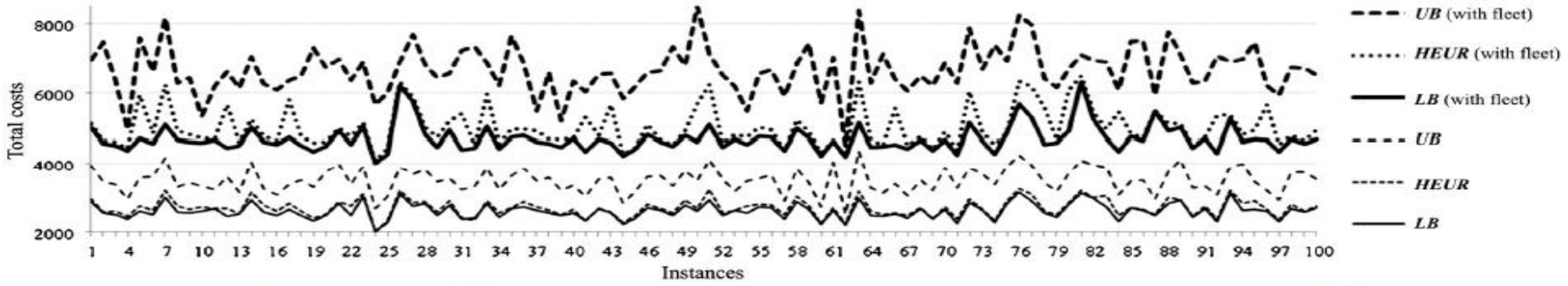


Fig. 4. Heuristic solutions that were obtained with three improvement procedures compared with upper and lower bounds for 100 instances with 10 petrol stations and a 5-day planning horizon.

HEURISTIC RESULTS FOR LARGE-SCALE PROBLEMS

- ✓ ۵۰ مساله بزرگ شامل ۵۰ ایستگاه سوخت و بازه زمانی ۵ روز در نظر گرفته شده است.

Table 6
Heuristics results for 50 instances with 50 petrol stations and a 5-day planning horizon.

FC	Total costs		LB	UB	RC		IC		FC		aR_{MAX}	aR	aS	aD	Avg calc.
	avg	stdev	avg	avg	avg	stdev	avg	stdev	avg	stdev					time (s)
No	12,361.7	502.4	9152.4	13,768.5	7086.1	474.9	5275.6	106.6	–	–	9.2	36.8	94.7	3543.1	3637.3
Yes	21,022.8	1084.5	10,152.4	24,308.5	7155.7	505.3	5267.0	111.9	8600.0	748.3	8.6	36.6	95.5	3577.9	3314.7

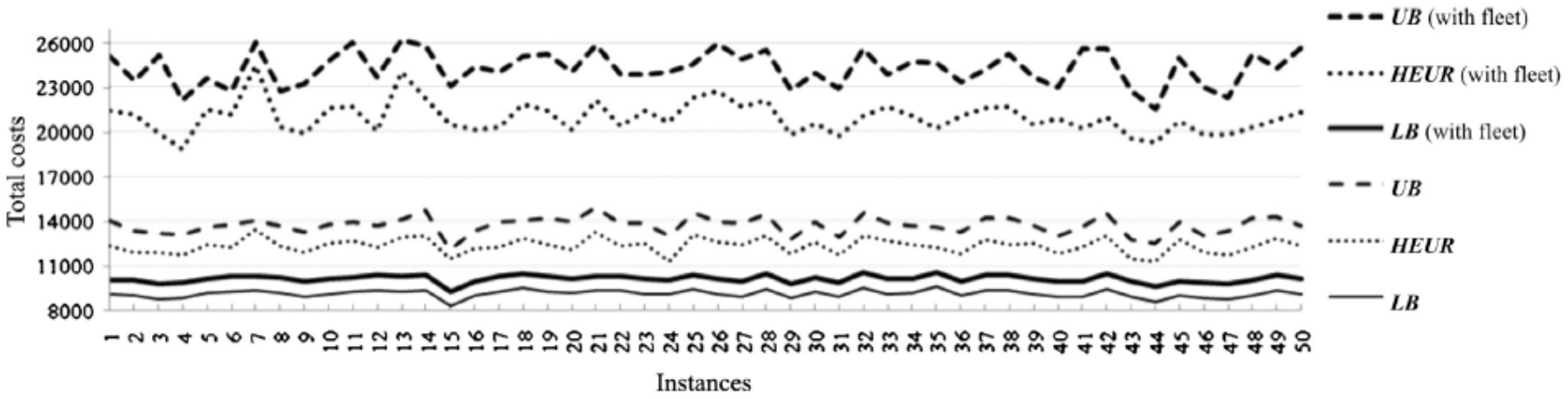


Fig. 5. Heuristic solutions compared with the upper and lower bound for 50 instances with 50 petrol stations and a 5-day planning horizon.

CONCLUSION

- ✓ این مقاله به ارائه دو رویکرد برای یک مساله چند کالایی چند پریودی در مسیر یابی موجودی (IRP) در توزیع سوخت پرداخت.
- ✓ اولین نتیجه ای که می توان گرفت این بود که زمان محاسبه برای مدل IRP ۲ دقیقه بود و برای مدل مسیریابی این مقدار تقریبا ۱۰ برابر بیشتر بود و برای مدل موجودی کمتر از یک ثانیه بود.این واقعیت بیان می کند که شکسته مساله و حل شکسته شده آن باعث کوتاه تر شدن زمان حل می شود.
- ✓ روش ابتکاری ۴ درصد هزینه کل بیشتری نسبت به مدل IRP و ۷ درصد هزینه کل بیشتری نسبت به مدل IRPF نسبت به جواب بهینه ارائه می دهد. سرعت بالای محاسبه و روش حل ساده استفاده از روش ابتکاری در مسائل بیش از ۲۰ ایستگاه که یافتن جواب بهینه در آنها دشوار است را ممکن می کند.

FUTURE RESEARCH

- ✓ پیشنهاد می گردد مسأله برای حالتی که کمبود مجاز باشد یا امکان ارسال چندین وسیله حمل در هر دوره زمانی برای یک خرده فروش وجود داشته باشد، توسعه داده شود.
- ✓ احتمالی در نظر گرفتن تقاضا در یک روز و همچنین طولانی در نظر گرفتن پریود زمانی نیز بسیار حائز اهمیت است.
- ✓ همچنین بهینه سازی حجم تانکر های حمل نیز می تواند یکی از زمینه های مطالعات آتی باشد.
- ✓ کالاها در زنجیره تأمین می توانند تاریخ انقضاء داشته باشند و باید قبل از تمام شدن تاریخ انقضا به دست مشتری برسند. این مسأله روی زمان سفارش و مدت زمان نگهداری کالاها در انبارها تأثیر می گذارد.بررسی مساله فوق نیز حایز اهمیت است.

ویژگی های مثبت مقاله

- ✓ جذابیت این مقاله برای من روش حل خوب آن بود که زمان حل را بسیار زیاد کاهش داده یود و توانسته یود یک مساله یزرگ و سخت را خیلی ساده تر حل کند.
- ✓ استفاده از این دیدگاه که می توان چند روز قبل ارسال سوخت را انجام داد و در واقع بالانس بین هزینه موجودی و مسیر یابی را اینگونه انجام داد نیز برای من بسیار جالب بود.

با تشکر از حسن توجه شما