مسئله مکان‌یابی- مسیریابی چند کالایی با در نظرگیری محدودیت‌های حداکثر ظرفیت وسیله نقلیه و مدت زمان دردسترس بودن وسیله نقلیه

سعید ایران‌نژاد بی‌صفر[۱]، سهیل جلیلی بوالحسنی[۲*]، حسن رضازاده[۳]
دانشگاه صنعتی امیرکبیر دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۰۹/۱۸
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۱۱/۰۱

چکیده

یکی از مهم‌ترین مسائل پیش روی شرکت‌های توزیع طراحی و تحلیل شبکه توزیع است. در سال‌های اخیر، دو مسئله اصلی در طراحی شبکه‌های توزیع یعنی مکان‌یابی مراکز توزیع یا تسهیلات و مسیریابی وسائل حمل و نقل یا توزیع‌کننده‌ها با یکدیگر در نظر گرفته شده و مسئله مکان‌یابی- مسیریابی را به‌وجود آورده‌اند. با توجه به اینکه مسئله مکان‌یابی- مسیریابی از تلفیق دو مسئله NP-hard به‌دست آمده است خود آن نیز مسئله‌ای NP-hard می‌باشد. در این تحقیق به‌منظور واقعی‌ترکردن مسئله، محدودیت‌های بیشتری در نظر گرفته شده است، به این‌صورت که چند نوع کالا در شبکه توزیع وجود داشته و وسیله نقلیه ظرفیت‌دار بوده و محدودیت زمانی دارد. مدل ریاضی مربوطه ارائه‌شده و سپس به‌دلیل بزرگی مسئله، فقط نمونه‌های کوچکی تولید و سپس توسط نرم‌افزار LINGO 8.0 آن مسئله حل شده است.

واژه‌های کلیدی: شبکه توزیع، مسئله مکان‌یابی- مسیریابی ظرفیت‌دار، مدل چند کالایی، حل دقیق

۱- مقدمه

امروزه در سیستم‌های توزیع، مشتریان خواهان تأمین نیاز خود در زمان معین و با کمترین هزینه هستند. تصمیمات مربوط به مکان‌یابی مراکز توزیع و مسیریابی کانال‌های سرویس‌دهی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، به‌طوری که موفقیت آتی واحدهای متوسط و حتی کوچک به این تصمیم‌ها بستگی دارد. به وضوح مسئله مکان‌یابی- مسیریابی[۴] با مسئله مکان‌یابی کلاسیک[۵] و مسئله مسیریابی وسیله نقلیه[۶] ارتباط دارد. اهمیت تلفیق این دو از آنجا ناشی می‌شود که بهینه‌سازی جداگانه این دو مسئله لزوماً منجر به بهینگی هر دو مسئله با هم نخواهد شد[۱]. هر دو مسئله اخیر به‌عنوان موارد خاصی از مسئله مکان‌یابی- مسیریابی بیان می‌شوند و اگر لازم باشد که همه مشتریان به‌صورت مستقیم با یک انبار ارتباط داشته باشند آنگاه مسئله مکان‌یابی- مسیریابی به یک مسئله موقعیت‌یابی استاندارد تبدیل می‌شود. از طرف دیگر اگر موقعیت انبارها را ثابت نگه داریم مسئله مکان‌یابی- مسیریابی به مسئله مسیریابی وسیله نقلیه ساده می‌شود[۲]. مسائل LRP درصدد کمینه کردن هزینه‌های سیستم توزیع به‌وسیله انتخاب هم‌زمان مکان تسهیلات و ایجاد مسیرهای توزیع برای ارضا کردن محدودیت‌های سیستم لجستیک هستند[۳]. در این مقاله به‌منظور واقعی کردن مدل، شبکه توزیع چند کالایی فرض شده و وسایل نقلیه محدودیت ظرفیت و زمان

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی امیرکبیر، پست‌الکترونیکی: s.irannejad@aut.ac.ir
۲*- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، نویسنده پاسخگو، پست‌الکترونیکی: s.jalili.b@kntu.ac.ir، نشانی: دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی صنایع
۳- استادیار گروه مهندسی صنایع دانشکده مکانیک دانشگاه تبریز، پست‌الکترونیکی: hrezazadeh@tabrizu.ac.ir

4- Location Routing Problem (LRP)
5- Facility Location Problem (FLP)
6- Vehicle Routing Problem (VRP)

دارند، یعنی در زمان محدودی در دسترس بوده و برای سرویس‌دهی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در بخش ۲، ادبیات موضوع بیان می‌شود. در بخش ۳، به تعریف مسئله و ارائه مدل ریاضی پرداخته شده است. در بخش ۴، نحوه تولید مسائل نمونه، حل آنها توسط نرم‌افزار و نتایج عددی حاصل آورده شده است. سرانجام در بخش ۵، نتایج به‌دست آمده مورد بررسی قرار گرفته و به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری پرداخته شده است.

۲- مرور ادبیات

در دهه‌های اخیر تلفیق مکان‌یابی و مسیریابی تحت عنوان مسئله مکان‌یابی- مسیریابی با هدف واقعی‌ترشدن مسئله مورد توجه قرار گرفته است. از اواخر دهه ۶۰ میلادی ترکیب این دو مسئله به مرور در ادبیات مدیریت لجستیک و زنجیره تأمین وارد شد. ایده ترکیب دو سطح تصمیم استراتژیک و تاکتیکی برای یک سیستم حمل و نقل به مارانزانا[1] بر می‌گردد[۴]. در آن دوره هدف برجسته‌کردن صرف سختی این مسائل بود. از سوی دیگر فقط در دهه ۸۰ شمار زیادی از مقالات درباره LRP عمومی انتشار یافت. مطالعات LRP توسط بالاکریشنان[2] و همکاران[۵]، لاپورته[3][۶] و [۷] و مین[4] و همکاران[۸] پیشنهاد شده است. آخرین مطالعه توسط نگی[5] و سالهی[6] صورت گرفته است که مبحث عمیقی از مسائل و روش‌های موجود در ادبیات و چشم‌اندازهای آتی LRP را ارائه می‌دهد[۲]. در ادامه خلاصه‌ای از چندین مقاله مرتبط با موضوع تحقیق آمده است.

چان[7] و دیگران ضمن در نظرگیری فرض محدودیت حداکثر مدت زمان مسیر و تقاضای تصادفی، به حل مسئله با روش ابتکاری ذخیره / ورود[8] و تجزیه تصادفی پرداختند و یک مقدار کمینه و بیشینه برای تعداد تسهیلات و وسائل نقلیه مرتبط به آنها ارائه نمودند[۱۰]. لین[9] و همکاران[۱۱] مسئله مکان‌یابی- مسیریابی دو رده‌ای را که در آن وسائل نقلیه ظرفیت محدود داشته و از نظر مدت زمان سرویس محدود هستند مورد بحث قرار می‌دهند. ابتدا حداقل تعداد تسهیلات مورد نیاز تعیین می‌شود. سپس حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه برای کل ترکیبات تسهیلات به‌طور کامل ارزیابی می‌شود. وسایل نقلیه توسط ارزیابی تمام تخصیص‌ها به سفرها اختصاص می‌یابند. اگر بهترین هزینه مسیریابی به‌دست آمده بیشتر از هزینه راه‌اندازی یک انبار اضافی باشد الگوریتم به ارزیابی تمام مجموعه‌های تسهیلات شامل یک انبار بیشتر می‌پردازد. کاربرد این روش به ارزیابی تعداد زیادی از ترتیب‌های انباری محدود می‌شود. واسنر[10] و زاپفل[11] برای حل مسئله مکان‌یابی- مسیریابی دو رده‌ای، با فرض تسهیلات چندگونه‌ای (بارگیری و تحویل[12])، محدودیت حداکثر ظرفیت وسائل نقلیه و مدت زمان سفر آنها، یک روش حل ابتکاری دو مرحله‌ای متشکل از اول مکان‌یابی- تخصیص و دوم مسیریابی و بازخورد[13] ارائه کردند[۱۲]. لین و کواک[14] ضمن ارائه یک مدل ریاضی برای مسئله مکان‌یابی- مسیریابی تک رده‌ای با چند تابع هدف، به حل مسئله با دو روش فرابتکاری جستجوی ممنوع[15] و تبرید شبیه‌سازی شده[16] پرداختند[۱۳]. لشاین[17] و دیگران برای مسئله مکان‌یابی- مسیریابی دو رده‌ای با فرض محدودیت ظرفیت وسائل نقلیه، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط ارائه دادند[۱۴]. آنها هم‌چنین فرض چند کالایی بودن شبکه توزیع را در نظر گرفتند. در نهایت آلومور[18] و کارا[19] برای مسئله مکان‌یابی- مسیریابی با فرض چندکالایی بودن و تسهیلات چندگانه، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط ارائه و با نرم‌افزار بهینه‌ساز CPLEX آن را حل نمودند[۱۵و۱۶].

با توجه به مرور ادبیات قبل می‌توان گفت که علاقه به مسائل مکان‌یابی- مسیریابی در سال‌های اخیر به شدت افزایش یافته است. حل این مسائل به شدت مشکل است و بنابراین به تدریج با روش‌های ابتکاری حل می‌شوند[۳]. ادبیات مکان‌یابی- مسیریابی بیشتر مربوط به مسائل تک‌رده‌ای است که در آن مجبور به مکان‌یابی تسهیلات ثانویه بوده و

1- Maranzana
2- Balakrishnan
3- Laporte
4- Min
5- Nagy
6- Salhi
7- Chan
8- Saving / Insertion
9- Lin
10- Wasner
11- Zapfel
12- Pickup and Delivery
13- Feedback
14- Kwok
15- Tabu Search (TS)
16- Simulated Annealing (SA)
17- Lashine
18- Alumur
19- Kara

تصمیمات مسیریابی بین این تسهیلات و مشتریان نهایی را اتخاذ می‌کند[۹].

۳- بیان مسئله و ارائه مدل ریاضی

در یک سیستم توزیع بار چند سطحی، محصولات از سطح بالا به سطوح بعدی تا آخرین مشتری جریان می‌یابند. در رایج‌ترین حالت ۳ سطح وجود دارد (لاپورته [۶]) که به‌ترتیب دپوها p (p∈P)، مراکز توزیع s (s∈S) و مشتریان نهایی z (z∈Z) نام دارند.

مسئله مکان‌یابی- مسیریابی در شکل معمول آن شامل تعیین موارد زیر است:

۱- مکان تعداد مشخصی از تسهیلات ثانویه s با ظرفیت محدود K_S روی مجموعه‌ای از مکان شدنی S

۲- تعداد وسایل نقلیه جهت استفاده برای حمل و نقل

۳- مسیری که یک وسیله نقلیه مستقر در یک انبار مشخص باید طی کند تا زیـــرمجموعه‌ای به تعداد z مشتری نهایی را روی مجموعه کامل مشتریان Z برآورده کند.

هر مشتری نهایی z نیازی به اندازه D_{zm} از محصول m داشته و هر وسیله نقلیه v (v∈V) ظرفیت محدود UV دارد. تعداد m (m∈M) محصول در شبکه توزیع وجود دارد. T_{ij} زمان سفر بین i و j بوده و L_v محدودیت زمانی وسیله یا راننده (مدت زمان در دسترس بودن آنها) تعیین شده است. باید توجه داشت که در این مدل ناوگان حمل و نقل همگن و یکسان در نظر گرفته شده است. به این معنی که یک نوع وسیله نقلیه خاص با ظرفیت معلوم قابلیت حمل تمام کالاها را دارد. هزینه‌های سیستم شامل هزینـــه‌های مکان‌یابی مراکز توزیع H_S، هزینه‌های حمل و نقل CT_{ij} و هزینه‌های ثابت استفاده از وسیله نقلیه TCV و هزینه متغیر وسیله نقلیه به ازای واحد زمانی سفر TCO در نظر گرفته شده‌اند. محصولات (کالاها) همیشه در مراکز توزیع موجود هستند پس بنابراین تصمیمات مسیریابی برای رده اول یعنی بین دپوها و مراکز توزیع در نظر گرفته نمی‌شود.

مجموعه متغیرهای مدل ریاضی پیشنهادی به قرار زیر است:

* اگر با وسیله نقلیه از i به j v حرکت شود، صفر در غیر این‌صورت $x_{ij}^{v} = \{0,1\}$

* اگر مشتری z (z∈Z) به انبار s (s∈S) تخصیص داده شود، صفر در غیر این‌صورت $w_{sz} = \{0,1\}$

* اگر انبار جزئی در گره s (s∈S) احداث شود، صفر در غیر این‌صورت $y_s = \{0,1\}$

* اگر وسیله نقلیه v (v∈V) برای توزیع استفاده شود، صفر در غیر این‌صورت $t^v = \{0,1\}$

آنگاه مدل ریاضی مسئله مکان‌یابی- مسیریابی عمومی با در نظرگیری محدودیت‌های حداکثر ظرفیت ناوگان حمل و نقل و محدودیت زمانی وسیله نقلیه به‌صورت زیر فرموله می‌شود:

$$Minimize \quad \sum_{s\in S} H_s y_s + \sum_{v\in V} TCV t^v + \sum_{v\in V}\sum_{i\in S\cup Z}\sum_{j\in S\cup Z} CT_{ij}x_{ij}^v + \sum_{v\in V}\sum_{i\in S\cup Z}\sum_{j\in S\cup Z} TCO\, T_{ij}x_{ij}^v \quad (۱)$$

مقید به محدودیت‌های:

$$\sum_{v\in V}\sum_{j\in S\cup Z} x_{zj}^v = 1 \qquad \forall z \in Z \qquad (۲)$$

$$\sum_{l\in S\cup Z} x_{lj}^v - \sum_{l\in S\cup Z} x_{jl}^v = 0 \qquad \forall j \in S\cup Z, \forall v \in V \qquad (۳)$$

$$\sum_{l\in B}\sum_{h\in \bar{B}}\sum_{v\in V} x_{lh}^v \geq 1 \qquad \forall B \subset S\cup Z, with\ S \subseteq B \qquad (۴)$$

$$\sum_{l\in S\cup Z}\sum_{j\in S} x_{lj}^v \leq 1 \qquad \forall v \in V \qquad (۵)$$

$$\sum_{h\in S\cup Z} x_{zh}^v + \sum_{h\in S\cup Z} x_{sh}^v - w_{sz} \leq 1 \qquad \forall z \in Z, \forall v \in V, \forall s \in S \qquad (۶)$$

$$\sum_{z\in Z}\sum_{m\in M} D_{zm}\sum_{j\in S\cup Z} x_{zj}^v \leq UV t^v \forall v \in V \qquad (۷)$$

$$\sum_{z\in Z}\sum_{m\in M} D_{zm}\, w_{sz} \leq K_s y_s \qquad \forall s \in S \qquad (۸)$$

$$\sum_{s\in S} w_{sz} = 1 \qquad \forall z \in Z \qquad (۹)$$

$$\sum_{i\in S\cup Z}\sum_{j\in S\cup Z} T_{ij}\, x_{ij}^{v} \le L_v t^{v} \qquad \forall v \in V \qquad (۱۰)$$

$$x_{ij}^{v} = \{0,1\} \quad \forall i,j \in S\cup Z, v \in V$$
$$w_{sz} = \{0,1\} \quad \forall s \in S, \forall z \in Z$$
$$y_s = \{0,1\} \quad \forall s \in S$$
$$t^{v} = \{0,1\} \quad \forall v \in V \qquad (۱۱)$$

با در نظر گرفتن تابع هدف (۱) مجموع هزینه‌های گشایش تسهیلات H_s، هزینه‌های استفاده از وسیله نقلیه TCV و TVO و مجموع هزینه‌های حمل و نقل CTij، هزینه‌های کلی سیستم را که به‌صورت ترکیب خطی از هزینه‌های مکان‌یابی و مسیریابی هستند کمینه می‌کند. محدودیت‌ها به تصمیمات مسیریابی، محدودیت‌های ظرفیتی و مکان مرتبط هستند. محدودیت‌های (۲) ایجاب می‌کنند که هر مشتری $z \in Z$فقط یک یال خروجی داشته باشد یعنی آن مشتری به‌طور دقیق توسط یک وسیله نقلیهv خدمت داده شود. محدودیت‌های (۳) ایجاب می کنند که تعداد یال‌های هر وسیله نقلیه $v \in V$ که به گره $i(i \in Z \cup S)$ وارد می‌شوند را برابر با تعداد یال‌های آن وسیله نقلیه کرده و آن گره (مشتری یا انبار جزئی) را ترک می‌کنند، یعنی هر وسیله نقلیه وارد شده به یک گره مجبور به ترک آن گره است. محدودیت‌های (۴) محدودیت‌های حذف زیرتور هستند که وجود حداقل یک انبار جزئی در هر مسیر طی شده با وسیله نقلیه را ایجاب می‌کنند. این محدودیت‌ها را می‌توان با دیگر محدودیت‌های حذف زیرتور پیشنهاد شده برای مسئله VRP کلاسیک جایگزین نمود. محدودیت‌های (۵) ایجاب می‌کنند که هر بارکش شهری، $v \in V$، بایستی بدون شک به یک انبار جزئی$s \in S$، تخصیص داده شود، یعنی هر وسیله نقلیه فقط یک مسیر را طی کند.

محدودیت‌های (۶) اجزا تخصیص‌دهی و مسیریابی را به هم وصل می‌کنند. در حقیقت توسط محدودیت (۲) هر مشتری به‌طور دقیق به یک مسیر v اختصاص می‌یابد. این محدودیت به همراه محدودیت‌های (۳)، (۴) و (۵) دلالت بر این دارند که بایستی به‌طور دقیق یک انبار جزئی در مسیر وسیله نقلیه v باشد. بنابراین اگر هر مشتری مفروض z^* را در نظر بگیریم که به مسیر v^* که شامل یک انبار جزئی s^* است تخصیص داده شده، داریم:

$$\sum_{h\epsilon S\cup z} x_{z^*h}^{v^*} = 1 \qquad (۱۲)$$

و

$$\sum_{h\epsilon S\cup z} x_{s^*h}^{v^*} = 1 \qquad (۱۳)$$

در نتیجه $w_{z^*s^*} = 1$

بنابراین مشتری z^* به انبار جزئی s^* اختصاص می‌یابد. اگر مشتری بر مسیری که از انبار جزئی s^* شروع می‌شود نباشد آنگاه محدودیت‌های (۶) هر دو عبارت $w_{sz} = 0$ و $w_{sz} = 1$ را برطرف می‌کنند ولی چون هر مشتری بایستی فقط به یک انبار جزئی اختصاص یابد پس آن مشتری به انبار جزئی‌ای که نیاز او را برآورده اختصاص می‌یابد. محدودیت‌های (۷) ایجاب می‌کنند که اگر وسیله نقلیه $v \in V$، مورد استفاده قرار گیرد مقدار نیاز تخصیص داده شده به آن از انواع کالاها، بایستی کمتر از ظرفیت آن وسیله باشد. محدودیت‌های (۸) محدودیت‌های ظرفیت در انبارهای جزئی هستند، یعنی مجموع مقدار تقاضای مشتریان یک مسیر از انواع محصولات، از ظرفیت انبار جزئی آن مسیر تجاوز نکند. محدودیت (۹) یک محدودیت اضافی است که ایجاب می‌کند هر مشتری z بایستی به انبار جزئی ای مثلs اختصاص یابد. محدودیت (۱۰) وسیله نقلیه را از نظر زمان سفر محدود می‌کند. در نهایت محدودیت‌های (۱۱) شامل محدودیت‌های عدد صحیح بودن برای متغیرهای صفر و یک موجود در فرمول‌بندی هستند.

جدول (۱): نتایج بدست آمده از مجموعه مسائل ایجاد شده

نمونه	گره‌ها		وسیله نقلیه	نتایج			
				BL	BS	Gap (%)	Time(s)
I4/3-5-8	3	5	8	332	332	0	4
I3/4-6-10	4	6	10	500	500	0	1542
I2/5-8-12	5	8	12	391	569	31.3	>23600
I1/5-10-15	5	10	15	314	534	41.2	>25800

۴- ارائه مسائل نمونه، حل آنها و نتایج عددی

جهت بررسی صحت عملکرد مدل‌های پیشنهاد شده، در این بخش تعدادی مسئله نمونه ارائه و سپس توسط رویکرد شاخه و کران حل خواهد شد. نتایج توسط نرم‌افزار بهینه‌یابی Extended LINGO Release 8.0 (10 Oct 03) محصول شرکت LINDOSystemsInc[1] به‌دست آمده است و بر حسب زمان حل، حدود و کیفیت جواب مقایسه شده‌اند. طبق آنچه بیان شد ادبیات در این زمینه بسیار محدود است و نمی‌توان مواردی را برای مقایسه یافت.

در ایجاد مسائل نمونه موارد زیر در نظر گرفته می‌شود:

- اندازه مسائل نمونه: تعداد مشتریان و تسهیلات (کارخانه‌ها و انبارها) ثابت است. این مقادیر با |S| و |Z| نشان داده می‌شوند.
- توزیع مشتریان و تسهیلات (کارخانه‌ها و انبارها): موقعیت مشتریان، انبارها و کارخانه‌ها ثابت بوده و به‌طور تصادفی در مختصات (X,Y) در محیط شهری قرار گرفته است.
- تعداد محصولات در تمام مسائل برابر ۳ و ظرفیت هر ماشین ثابت و برابر ۲۵۰ است.

مقادیر پارامترهای زیر نیز به‌کار رفته‌اند:

- تقاضای مشتریان از محصول: در بازه $D_{zm}\in[25,75]$ توزیع شده است.
- هزینه ثابت گشایش و ظرفیت انبارها: در تمام مسائل $K_S\in[500,1000]$و $H_S\in[50,100]$ در نظر گرفته شده است.
- هزینه ثابت استفاده، هزینه متغیر به ازای واحد زمانی سفر،ظرفیت وسائل نقلیه و محدودیت زمانی وسیله یا راننده (مدت زمان در دسترس بودن آنها) $UV=250$،$TCV\in[5,15]$ و $TCO=4$و $L_V\in[10,20]$ در نظر گرفته شده است.
- هزینه‌های حمل و نقل و هم‌چنین مدت زمان حمل و نقل مابین گره‌ها نیز به‌صورت $C_{ij}\in[1,10]$ و $T_{ij}\in[1,10]$ در نظر گرفته شده است.

تمام اعداد توسط نرم‌افزار MATLABR2010a به صورت تصادفی تولید شده و در نرم‌افزار ExtendedLINGO Release 8.0 (10 Oct 03) پیاده‌سازی شده است. این برنامه‌ها بر روی یک کامپیوتر شخصی با پردازنده مرکزی ۲,۲ گیگاهرتزی همراه با دو گیگابایت حافظه (RAM) اجرا شده‌اند.

در جدول (۱) نتایج مربوط به مجموعه مسائل توسط نرم‌افزار مربوطه ارائه شده است. در هر سری و برای هر مدل بهترین حد پایین (BL)، حل بهینه (BS)، درصد اختلاف (GAP) بین BS و BL(Gap%) و زمان محاسبات بر حسب ثانیه (Time) گزارش شده است. مقدار اختلاف برای مجموعه مسائل با استفاده از رابطه زیر محاسبه شده است:

$$Gap(\%) = \frac{BS(I) - BL(I)}{BS(I)} * 100$$

با دقت در جدول (۱) می‌توان دریافت که در موارد۱ و ۲، اختلاف (GAP) بین BS و BL(Gap%) برابر با صفر است. دلیل این امر این است که حل به جواب بهینه رسیده است. در این حالت بهترین حد پایین (BL) و حل بهینه (BS) با هم برابر هستند. ولی در موارد ۳ و ۴، GAP وجود دارد یعنی حل به جواب بهینه نرسیده و مقادیر BL و BS با هم برابر نیستند. هم‌چنین کاملاً واضح است که با افزایش در ابعاد مسئله مدت زمان حل به‌طور نمایی و شگفت‌انگیز افزایش می‌یابد. به عنوان مثال در نمونه I2/5-8-12 - با ۵ تسهیل (کارخانه یا انبار) و ۸ مشتری و ۱۲ وسیله نقلیه- زمان حل کمی بیش از ۲۳۶۰۰ثانیه می‌باشد. با افزایش تعداد مشتریان و وسایل نقلیه در نمونه I1/5-10-15 - با همان ۵ تسهیل اما ۱۰ مشتری و ۱۵ وسیله نقلیه- زمان حل به بیشتر از ۲۵۸۰۰ ثانیه افزایش می‌یابد.

1- http://www.lindo.com

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

این تحقیق ضمن معرفی دسته جدیدی از مسائل مکان‌یابی- مسیریابی تاکنون در ادبیات مورد بحث قرار نگرفته است. در این تحقیق فرض چند کالایی بودن و محدودیت زمانی مسیر برای مسئله مکان‌یابی- مسیریابی به‌طور هم‌زمان مورد توجه قرار گرفت. این مدل از بسط و یا تعدیل فرمول‌بندی‌های مسئله مکان‌یابی- مسیریابی موجود در ادبیات نتیجه شده است. مدل ارائه شده موقعیت مشتریان را معلوم می‌کند و قادر به پیدا کردن مکان‌های بهینه یا زیربهینه برای انبارهای جزئی و مسیریابی ناوگان حمل و نقل می‌باشد. این مدل در چهار مثال مورد بررسی قرار گرفت. بدین صورت که با حل مسئله‌های گوناگون پارامترهایی از قبیل زمان حل، کیفیت حل و غیره برای حل مسئله به‌دست آمد. یک برنامه بر روی حل‌کننده تجاری LINGO ایجاد شده و مسائل با ابعاد مختلف بر روی آن آزمایش شد. نتایج به‌دست آمده مربوط به کیفیت حل و زمان محاسبات، ما را در جهت ادامه کار درباره این تحقیق برای بهبود عملکرد مدل‌ها ترغیب می‌کنند. مسئله NP-hard تولید روش‌های خاص ابتکاری و فرا ابتکاری را می‌طلبد تا به این نحو بتوان مسائل بزرگ‌تر دنیای واقعی را حل کرد، چون که در حال حاضر حل مسئله در ابعاد بالا در زمان معقول امکان‌پذیر نمی‌باشد.

منابع

[1] Salhi, S. and Graham, K. R., "***The effect of ignoring routes when locating depots***", EuropeanJournal of Operational Research, Vol. 39, pp. 150-156, 1989.

[2] Nagy, G. and Salhi, S.,"***Location-routing: Issues, models and methods***", European journal of operational research, Vol. 177, pp. 649–672. 2007.

[۳] بدیع الزمان، م.م.، سلماسی، ن، "***ارائه یک روش حل تقریبی برای مدل شبکه توزیع- مسئله مکان‌یابی-مسیریابی***". ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع، ۱۳۸۷.

[4] Maranzana, F.E., "***On the location of supply points to minimize transport costs***", Operational Research Quarterly, Vol. 15, pp. 261-270, 1964.

[5] Balakrishnan, A., Ward, J.E., and Wong, R .T, "***Integrated facility location and vehicle routing models: Recent work and future prospects***", American Journal of Mathematical and Management Sciences, Vol. 7, pp. 35-61, 1987.

[6] Laporte, G., "***Location-routing problems***", In B.L. Golden & A.A. Assad (Eds), Vehicle routing: Methods and studies, Amsterdam: North-Holland, 1988.

[7] Laporte, G.,"***A survey of algorithms for location-routing problems***", Investigaci´on Operativa, Vol. 1, pp. 93-123, 1989.

[8] Min, H., Jayaraman, V., and Srivastava, R., "***Combined Location-Routing Problems: A Research Directions Synthesis and Future***", European Journal of Operational Research, Vol. 108, pp. 1-15. 1998.

[9] Claudio S., "***Location-Routing models and methods for Freight Distribution and Infomobility in City Logistics***", PhDThesis, Department of information sciences, University of Napoli "Federico II", 2009.

[10] Chan, Y., Carter, W. B., and Burnes, M. D., "***A multiple-depot, multiple-vehicle, location-routing problem with stochastically processed demands***", Computers & operations research, Vol. 28, pp. 803–826, 2001.

[11] Lin, C.K.Y., Chow, C.K., and Chen, A., "***A location-routing-loading problem for bill delivery services***", Computers & industrial engineering, Vol. 43, pp. 5-25, 2002.

[12] Wasner, M., Zäpfel, G., "***An Integrated Multi-DepotHub-Location Vehicle Routing Model for Network Planning of Parcel Service***", International Journal ofProduction Economics, Vol. 90, pp. 403-419, 2004.

[13] Lin, C.K.Y. and Kwok, R.C.W., "***Multi-objective metaheuristics for a location-routing problem with multiple use of vehicles on real data and simulated data***". European journal of operational research, Vol. 175, pp. 1833–1849, 2006.

[14] Lashine, S.H., Fattouh, M. and Issa, A., "***Location/Allocationand Routing Decisions in Supply Chain Network Design***", Journal of Modelling in Management, Vol. 1, No. 6,pp. 173-183, 2006.

[15] Alumur, S. and Kara, B. Y., "***A new model for the hazardous waste location-routing problem***". Computers & operations research, Vol. 34, pp. 1406–1423, 2007.

[۱۶] ذگردی، س. ح.، نیک‌بخش، ا.، "***حل ابتکاری و کران پایین برای مسئله مکان‌یابی- مسیریابی دو رده‌ای***". نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، جلد ۲۰، شماره ۱، صفحات ۱۴-۱، بهار ۱۳۸۸.