نشـــریه بین المللـــی مهنـدسی صنایع و مدیـــریت تولیـد بهـــار ۱۳۸۹- صفحـه ۶۱-۴۹

شمـــاره ۱، جلـــد ۲۱، بهـــار ۱۳۸۹

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنایـــع و مدیـــریت تولیـــد

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

IJIE

ISSN: 2008-4870

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

Optimizing the Service Card in Multi-Depot, Multi-Product and Multi-Level Vehicle Routing Problems with the Aim of Minimizing the Total Distribution Costs

M. Mehdi Sepehri & Mehrdad Kargari

M.Mehdi Sepehri, *Tarbiat Modares University*
Mehrdad Kargari, *Tarbiat Modares University*

Keywords

multi-depot, multi-product and multi-level vehicle routing, minimizing distribution costs, Lagrange coefficients, network models, resource allocation and resource leveling, service card

ABSTRACT

Optimizing the service card in multi-depot, multi-product and multi-level vehicle routing problem is one of the most important and at the same time, the most complex problems in the transportation problems contexts. Numerous exact heuristic and meta-heuristic algorithms have been developed for different vehicle routing problems. In this paper, a binary linear programming (BLP) based model for optimizing the service card in multi-depot, multi-product and multi-level vehicle routing problems with the aim of minimizing the total distribution costs has been proposed. In other words, the purpose of this paper is to determine the optimum transportation for each product in vehicle routing problems for every route, grape and level with minimum distribution costs. Then, an effective algorithm has been developed to solve the problem. The proposed algorithm using the limited resource leveling based on the Lagrange coefficients; transform the multi-product problem into multiple single-product problems. When each mathematical model for single product vehicle routing problems is solved, the assigned capacity and the required capacity values for each product are compared and then the available and total capacity is calculated. Finally, resource leveling and service card optimization processes are applied to all single-product problems. Therefore, after several steps if no considerable improvement is observed in the solution, then the optimal solution is achieved for the original problem. Design of experiments and validation tests used in the paper indicate the optimal utilization of the limited resources and a considerable reduction in the total distribution costs. Validity of the proposed algorithm against the binary linear programming model has been verified at 95% and computational time has been reduced by 5 times.

© (نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید) شماره ۱، جلد ۲۱، ۱۳۸۹

بهینه یابی سبد سرویس در مسائل مسیریابی چند سطحی - چند محصولی و چند قرارگاهی وسایل نقلیه با هدف حداقل نمودن هزینه‌های توزیع

محمد مهدی سپهری و مهرداد کارگری

تاریخ وصول: ۸۸/۸/۲۵

تاریخ تصویب: ۸۹/۱/۳۱

دکتر محمد مهدی سپهری، دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس mehdi.sepehri@modares.ac.ir

مهرداد کارگری، دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس m_kargari@modares.ac.ir

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-11-24]

کلمات کلیدی

مسیریابی وسایل نقلیه چند ایستگاهی – چند محصولی و چند سطحی ، حداقل نمودن هزینه های توزیع ، ضرایب لاگرانژ، مدلهای شبکه ای ، تخصیص و تسطیح منابع ، سبد سرویس

چکیده:

موضوع بهینه یابی سبد سرویس مسایل مسیریابی وسایل نقلیه چند ایستگاهی - چند محصولی و چند سطحی یکی از مهم ترین و در عین حال مشکل ترین مسائل تصمیم گیری در حوزه مسائل حمل ونقل میباشد. تاکنون الگوریتم های دقیق ، ابتکاری و فوق ابتکاری متنوعی برای حل مدلهای مختلف مسائل مسیریابی وسایل نقلیه ارائه شده است . دراین مقاله یک مدل برنامه ریزی خطی صفر ویک (BLP) برای بهینه یابی سبد سرویس درمسایل مسیریابی وسایل نقلیه چند ایستگاهی – چند محصولی و چند سطحی با هدف حداقل نمودن هزینه های توزیع ارائه شده است . بعبارت بهتر هدف این مقاله تعیین میزان نسبت بهینه حمل ونقل برای هر یک از محصولات در وسایل نقلیه برای هریک از مسیرها، نواحی و سطوح با حداقل هزینه توزیع میباشد . سپس برای حل این مدل یک الگوریتم کارا طراحی گردید. این الگوریتم با استفاده از تخصیص منابع محدود بر پایه ضرایب لاگرانژ، مسئله مسیریابی چند محصولی را به چند مسئله تک محصولی تبدیل میکند . بعداز حل مدل ریاضی هریک از مسائل مسیریابی تک محصولی ، با مقایسه ظرفیت تخصیص داده شده و مورد نیاز هر یک از محصولات ، میزان ظرفیت باقیمانده و کل را محاسبه و سپس عملیات تسطیح منابع و بهینه‌یابی سبد سرویس دربین مسائل مسیریابی تک محصولی انجام میشود . براین اساس بعداز چند مرحله، تسطیح ظرفیت های باقیمانده، در صورتی که بهبود قابل توجهی در جواب مسئله حاصل نشود، جواب مسئله اصلی حاصل شده است. طراحی آزمایشات واعتبار سنجی انجام شده دراین مقاله بیانگر استفاده بهینه این روش از منابع کمیاب و کاهش قابل توجه هزینه های توزیع میباشد. این آزمایشات اعتبار الگوریتم طراحی شده را نسبت به مدل برنامه ریزی خطی صفر ویک در سطح ۹۵ درصد تائید نموده و زمان حل مسائل را بمیزان ۵ برابر کاهش داده است.

۱. مقدمه

موضوع مسیریابی وسایل نقلیه و اهمیت آن از دیر باز تاکنون مورد توجه محققین و دانش پژوهان بوده است. معمول ترین سیستم ها در دنیای پخش و توزیع ،مسئله مسیر یابی وسایل نقلیه چند ایستگاهی – چند محصولی و چند سطحی با هدف حداقل نمودن هزینه های توزیع می‌باشد[۱].

مسیریابی وسایل نقلیه فعالیتی است که هدف آن استفاده بهینه از منابع توزیع، بمنظور تامین تقاضای مشتریان در موعد معین ، به میزان معین و در مکان معین با حداقل هزینه می‌باشد. دراین سیستم ها تحویل هر محصول به مشتری نیاز به انجام یک سری عملیات در مراحل مختلف است. هر مرحله از سیستم بیانگر حمل یک یا چند کالا توسط یک یا چند ماشین از یک نقطه به نقطه دیگر است. در این سیستم هر مرحله انجام عملیات کالا را مشتریان نهایی نزدیکتر میکند.

یکی از مهمترین و بهترین راههای کنترل هزینه های توزیع ، تصمیم گیری صحیح درمورد عملیات تخصیص منابع محدود برای تعیین انباشته توزیع برای هر یک از محصولات در مسیرها ، سطوح و نواحی مختلف است. زیرا در مدلهای مسیریابی وسایل نقلیه عدم استفاده کامل از ظرفیت وسایل نقلیه ، افزایش موجودی در انبارهای مراحل مختلف توزیع ومسیریابی طولانی هزینه زیادی را به سیستم تحمیل میکند[۲].

تصمیمات مدیریتی در مسیر یابی وسایل نقلیه را بطور کلی میتوان در سه دسته مسائل تصمیم گیری بلند مدت ، میان مدت و کوتاه مدت تقسیم بندی نمود . در مسائل بلند مدت معمولاً تاکید بیشتر بر پیش بینی نیازهای کلی بوده و شامل تصمیم گیریهای استراتژیک از قبیل انتخاب محل انبارهای توزیع ، انتخاب تجهیزات و فرآیند توزیع ، انتخاب نوع محصولات ، ایجاد مسیرهای جدید و پیش بینی تقاضای مشتریان است . در برنامه ریزی میان مدت مواردی همچون دسته بندی مشتریان ، تعیین انباشته های توزیع ، مسیریابی هریک از وسایل نقلیه با هدف حداقل نمودن مجموع هزینه های توزیع موردنظر قرار میگیرد . در برنامه ریزی کوتاه مدت مسایلی چون زمانبندی عملیات حمل ونقل روزانه ، تعیین توالی عملیات حمل و نقل و تخصیص وسایل به عملیات توزیع مورد توجه میباشد[۳].

امروزه پرداختن به موضوع بهینه یابی سبد سرویس در مسایل مسیر یابی وسایل نقلیه قبل از آنکه متوجه سخت افزار باشد حول محور نرم افزار دور میزند . یعنی روشهای جدید ، افزایش بهره وری و کاهش هزینه را صرفاً در افزایش منابع نمی داند و قبل از آنکه بفکر توسعه و سرمایه گذاری اضافی برای منابع جدید باشند، اهمیت ویژه ای برای بکارگیری هرچه بهتر از منابع در دسترسی قائل است. بعبارت بهتر آن بخش از تصمیمات مدیریتی که در مسیریابی وسایل نقلیه بیشتر مورد نظر است تصمیمات میان مدت بوده که

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-11-24]

دسته بندی مشتریان ، تعیین میزان انباشته های توزیع و مسیریابی از جمله مسائل مهم آن است، زیرا در سیستم‌های توزیع بعد از تعیین تقاضای مشتریان و تجهیزات حمل، عملیات برروی دسته‌بندی مشتریان، میزان انباشته توزیع و مسیریابی صورت میگیرد. براین اساس یکی از مهمترین و بهترین راههای کنترل و کاهش هزینه‌های توزیع، تصمیم گیری درخصوص دسته بندی مشتریان، تعیین انباشته توزیع و مسیریابی صحیح برای هر یک از وسایل نقلیه درهر پریود می‌باشد.

درمسائل مسیریابی وسایل نقلیه اهمیت مسیر بین انبار مرکزی تا انبارهای میانی و انبارهای میانی تا انبار مشتریان بسیار آشکار و انکار ناپذیر است ومعمولاً هزینه زیادی بر سیستم تحمیل میکند . و لذا کنترل این مسیرها از اهمیت ویژه ای برخوردار است . همچنین بعنوان یک اصل قبل از عملیات مسیریابی باید مشتریان طبقه بندی شده و پس از تعیین میزان انباشته توزیع عملیات مسیریابی انجام شود. بنابراین ما بدنبال مسیرهایی هستیم که با در نظر گرفتن محدودیت وسایل حمل، با حداقل هزینه تقاضای مشتریان را در موعد مقرر تامین کند .دراین تحقیق تاکید برروی برنامه ریزی میان مدت و بطور خاص روی طبقه بندی مشتریان، تعیین انباشته توزیع و مسیریابی است . حل مسئله مسیریابی مستلزم پیش بینی تقاضای مشتریان ، طبقه بندی مشتریان، تخصیص وسایل حمل و نقل، تعیین انباشته توزیع و مسیریابی می‌باشد. در صورتی که تصمیمات در همه مراحل بصورت صحیح و بموقع انجام شود باعث حداقل شدن هزینه‌های پخش و توزیع است.

یکی از مسائل مهم وکلیدی دربحث حمل ونقل ، مدیریت ناوگان وسایل نقلیه ناهمگن مورد استفاده برای ارائه خدمات جمع آوری و توزیع بین مجموعه ای فروشندگان و مشتریان با عرضه و تقاضای مشخص بگونه ای اقتصادی و مقرون به صرفه میباشد . مدیرسیستم جمع آوری وتوزیع نه تنها باید در خصوص تعداد وسایل نقلیه مورد استفاده تصمیم بگیرد ، بلکه باید مشخص کند که کدام مشتریان توسط چه وسایل نقلیه ای باید سرویس بگیرند و توالی با حداقل هزینه حمل و نقل و موجودی را نیز مشخص کند . محصولاتی که قراراست توزیع شود در انبار بارگیری شده و محصولات جمع آوری شده نیز مجدداً به انبار بازگردانده می‌شوند. این عملیات با تخصیص یک وسیله نقلیه به یک مسیر شروع میشود. هر مسیر از یک انبار شروع میشود و مجدداً به آن ختم می‌شود. برای هر مسیر باید محدودیت های زمان کاری و ظرفیت وسایل حمل تامین شود . علاوه بر این اگر تقسیم تقاضا مجاز نباشد هر مشتری باید توسط یک وسیله سرویس بگیرد. تاکنون چندین نوع مسئله مسیریابی وسایل نقلیه در ادبیات موضوع مورد مطالعه و بررسی قرارگرفته اند. اگر چه این مسائل به حالات عملی وکاربردی متفاوتی اشاره دارند. ولی همگی آنها برمسئله مدیریت کارا و موثر وسایل نقلیه برای سرویس دهی به مجموعه‌ای از مشتریان متمرکز هستند. هزینه‌های مسئله مسیریابی وسایل نقلیه بطورکلی به سه دسته زیر تقسیم میشوند:

- تامین مواد اولیه و قطعات موردنیاز از تامین کنندگان
- جابجایی مواد و قطعات نیمه ساخته در درون کارخانه
- پخش و توزیع محصولات نهایی در بین مشتریان

هزینه‌های حمل ونقل بین (50-10) درصد قیمت تمام شده محصولات را تشکیل میدهد ، بنابراین کاهش هزینه های حمل ونقل تاثیر قابل توجهی برکاهش قیمت تمام شده محصولات خواهد داشت[۴-۶]. از آنجا که اخذ تصمیمات صحیح درهریک از موارد فوق برروی افزایش عملکرد سیستم حمل ونقل و بهره وری آن تاثیرگذار بوده ودرتوانایی و قابلیت رقابت شرکتهای پخش و توزیع نقش تعیین کننده‌ای دارد، توسعه و بهبود روشهای مدلسازی و حل مدلهای بهینه یابی سید سرویس در مسائل مسیریابی وسایل نقلیه چند ایستگاهی چندمحصولی و چند سطحی با هدف حداقل نمودن هزینه‌های توزیع اهمیت زیادی داشته و دراین مقاله مورد بررسی قرار می‌گیرد. تصمیمات میان مدت مدیریتی در مسائل مسیریابی وسایل نقلیه دارای اهمیت بیشتری میباشد . تصمیمات مهم در مسائل مسیریابی این تحقیق شامل دسته بندی مشتریان، تعیین انباشته های توزیع و مسیریابی هریک از وسایل نقلیه با هدف حداقل نمودن مجموع هزینه های توزیع می‌باشد. زیرا در مدلهای مسیریابی چند ایستگاهی– چند محصولی و چندسطحی بعد از عملیات خوشه‌بندی مشتریان نوبت به تعیین اندازه انباشته توزیع برای هر یک از محصولات در مسیرها، سطوح و نواحی مختلف میشود. سپس عملیات مسیریابی انجام میشود[۷]. بعنوان یک اصل کلی می‌توان گفت، هرچه وسایل حمل ونقل بزرگتر باشد، زمان بارگیری و باراندازی افزایش یافته و زمان طی مسیر کاهش میبابد [۸]. براین اساس تلفیق سیاست‌های خوشه بندی، تعیین انباشته های توزیع و مسیریابی وسایل نقلیه درهریک از مراحل ،سطوح و نواحی مختلف ، هزینه های سیستم توزیع را حداقل می‌کند[۹].

- لاپورت و همکاران [۱۰] یک الگوریتم انشعاب و تحدید برای حل مسائل MDVRP ارائه نمودند ، ایشان یادآوری نمودند که این الگوریتم ها فقط برای حل مسائل کوچک مناسب هستند.
- سامیچراست و مارخام [۱۱] مسئله حمل و نقل مواد خام ازچندین ایستگاه به مجموعه ای از تاسیسات را در قالب MDVRP فرموله کردند.
- واستون وهمکاران [۱۲] یک مدل سه لایه بهینه سازی برای سیستم حمل ونقل محصولات کارخانجات تولیدی ارائه نمودند
- نامبیار و همکاران [۱۳] برای حل مدل سه لایه ، با حذف انبارهای میانی مسئله را به مدل دو لایه تبدیل و سپس آن را حل نمودند . ایشان عقیده داشتند که همه مدلهای چند لایه با مدلهای دو لایه قابل حل میباشد .

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-11-24]

- مرست و همکاران [۱۴] اولین مدل چهار لایه را برای سیستم توزیع محصولات کارخانجات ارائه نمودند . مسئله مسیریابی وسایل نقلیه چند محصولی توسط ورن و هولیدی [۱۵] مورد بررسی قرارگرفت . این مقاله دارای یک مدل سه لایه برای حمل ونقل محصولات کارخانجات ارائه نموده است .
- بنویت و همکاران [۱۶] مسئله مسیر یابی وسایل نقلیه چند ایستگاهی را مورد تحلیل قرار دادند . دراین مدل تعداد و ظرفیت وسایل نقلیه محدود فرض شده است .
- رودلفو و جایم [۱۷] یک مدل مسیریابی وسایل نقلیه چند ایستگاهی شامل بازه زمانی تحویل کالا به مشتری را بررسی کردند. این مقاله سه مرحله دارد . مرحله اول خوشه بندی مشتریان، مرحله دوم مسیریابی و مرحله سوم بهبود مسیرهای تولید شده میباشد .
- صالحی و ساری [۱۸] یک الگوریتم هیورستیک ترکیبی برای حل مسایل مسیریابی چند ایستگاهی و چند سطحی ارائه نمودند . این مدل دارای سه مرحله است مرحله اول تخصیص مشتریان به نزدیکترین انبار ، مرحله دوم تولید مسیر در هریک از خوشه ها و مرحله سوم بهبود مسیرهای تولید شده میباشد.
- فلاحی و همکاران [۱۹] یک الگوریتم جستجوی ممنوع و یک الگوریتم ژنتیک ترکیبی برای مسائل مسیر یابی چند محصولی ارائه نمودند . مدل ایشان دارای سه محصول است. وسایل نقلیه یکسان در نظر گرفته شده و فقط یک ایستگاه توزیع وجود دارد دراین مقاله مدل ریاضی مسئله مسیریابی وسایل نقلیه برای چند محصول بصورت برنامه ریزی خطی عدد صحیح ارائه شده است
- آلوینا و همکاران [۲۰] یک مدل چند لایه برای مسئله مسیریابی وسایل نقلیه ارائه نمود. مدل ایشان دارای سه لایه است . دراین مقاله یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح و یک روش حل ابتکاری ارائه شده است . ایشان در مدل خود برای هر مسیر چند وسیله نقلیه متفاوت در نظر گرفته است. دراین مدل MDVRP یک محصولی با تقاضای ثابت بررسی شده است . این روش درمقایسه با بهترین نتایج قبلی تعداد وسایل نقلیه مورد نیاز و مسیرهای طی شده را کاهش داده است.
- گیوسا و همکاران [۲۱] مسئله VRPTW چند ایستگاهی را مورد بررسی قرار دادند. در این مقاله شش الگوریتم هیورستیک برای تخصیص مشتریان به انبارها طراحی و مقایسه شده است .
- چریستوفید و همکاران [۲۲] مسئله MDVRP درحالت پریودیک را مورد بررسی قراردادند. ایشان یک مدل برنامه ریزی خطی برای این مدل ارائه نموده و آنرا به روش آزادسازی ضرایب لاگرانژ حل نمودند .ایشان یک روش هیورستیک نیز برای حل این مدل ارائه نمود.
- کلارک و رایت [۲۳] یک روش هیورستیک براساس روش ذخیره سازی توسعه داده‌اند. عملکرد این روش از طریق مقایسه با کران پائین انشعاب و تحدیدمورد ارزیابی قرارگرفته است . این روش بعنوان بهترین روش تولید مسیر(ستون) شناخته شده است این روش با یک جواب غیر موجه شروع شده و با ترکیب هر دو تا از مسیرها سعی در کاهش هزینه دارد .
- هدجیکس و بالداس [۲۴] مسئله MDVRP را به چهار سطح تجزیه نمودند. سطح اول تخصیص انبارها به مشتریان است ، سطح دوم حل مسائل برای هر انبار است ، سطح سوم یک مسئله VRP بصورت پریودیک است و سطح آخر یک مسئله TSP برای تولید مسیرهای بهینه است .
- ژیلت و میلبر[۲۵] الگوریتم جاروب برای حل مسائل VRP رابه مدل MDVRP توسعه دادند .این الگو دومرحله دارد ، مرحله اول تخصیص مشتریان انبارها و مرحله دوم چند مسئله VRP ساده است . هر کدام از مسائل VRP توسط الگوریتم جاروب حل شده اند .
- تیلمن و چین [۲۶] مسئله MDVRP را بکمک الگوریتم saving بررسی کردند . مرحله اول تخصیص مشتریان به انبارها و مرحله دوم حل مسائل VRP ساده توسط الگوریتم saving برای هر انبار میباشد .
- مین وهمکاران [۲۷] مسئله مسیریابی وسایل نقلیه را بکمک الگوریتم ژنتیک ترکیبی مورد بررسی قراردادند
- میسا و بوفی [۲۸] ساده ترین نوع مسائل چند لایه مسیریابی را مورد بررسی قرار دادند . مسئله ایشان دارای دو لایه بود
- کوردا و همکاران [۲۹] یک روش جستجوی ممنوع(TS) برای حل مسائل MDVRP ارائه نمودند . دراین مقاله برای جایگذاری مجدد مشتری از روش هیورستیک GENI استفاده شده است . این روش معروف ترین روش حل مسائل MDVRP میباشد .
- رناد و همکاران [۳۰] یک روش جستجوی ممنوع برای حل مسائل MDVRP ارائه نمودند . دراین مقاله یک الگوریتم ابتکاری بنام Petal توسط نویسندگان ارائه شده است .
- ویلیام و همکاران [۳۱] یک الگوریتم ژنتیک ترکیبی برای حل مسائلMDVRP ارائه نمودند . دراین مقاله دو روش ارائه شده است . روش اول جمعیت اولیه را بصورت تصادفی انتخاب میکند و روش دوم جمعیت اولیه رابا جستجوی همسایگی (NS) تعیین میکند .جوابهای روش دوم نسبت به روش اول بهترو زمان کمتری برای حل نیاز داشته است .
- ساک و همکاران [۳۲] مسئله MDVRP را بکمک الگوریتم ژنتیک مورد بررسی قرار دادند . دراین مدل محدودیت زمان تحویل کالا به مشتری وجود دارد . مسئله TPS بعنوان ساده ترین حالت مسائل VRP و MDVRP جزء مسائل NP-Hard

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-11-24]

است [۳۳] براین اساس مسائل VRP و MDVRP نیز NP-Hard است. بیش از 85 درصد روشهای حل ارائه شده برای مسئله MDVRP بصورت هیورستیک یا متاهیورستیک میباشد(۳۷). دراین مقاله ضمن ارائه یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح برای مسائل مسیر یابی وسایل نقلیه چند ایستگاهی چند محصولی – چند سطحی با هدف حداقل نمودن هرینه های توزیع یک روش هیورستیک برای حل این مدل ارائه شده است .

- ویلیام و همکاران [۳۴] در سال ۲۰۰۸ یک روش متا هیورستیک ترکیبی بر مبنای الگوریتم ژنتیک برای حل مسایل مسیریابی با چند مرکز توزیع ارائه نمودند .
- رودلفو و همکاران[۳۵]در سال ۲۰۰۹ یک روش ترکیبی برای بهبود مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با چند مرکز توزیع که دارای پنجره زمانی و ابعاد بزرگ هستند ارائه نمودند.
- ران و همکاران [۳۶] در سال ۲۰۱۰ یک روش هیورستیک دو مرحله‌ای برای مسائل مسیریابی با چند مرکز توزیع و ظرفیت محدود ارائه نمودند.

ساختار این مقاله در ادامه بشرح زیر است :

ابتدا مدل ریاضی بهینه یابی سبد سرویس در مسایل مسیر یابی چند ایستگاهی – چند محصولی – چند سطحی با هدف حداقل نمودن هرینه های توزیع ارائه شده است . سپس این مسئله براساس الگوریتم ابتکاری تجزیه به چند مسئله تک محصولی تبدیل و بعداز تخصیص منابع کمیاب براساس ضرایب لاگرانژ به هریک از مسائل ، مدل ریاضی مسئله مسیریابی تک محصولی ارائه وا ین مسائل برمبنای الگوریتم ابتکاری توسعه فضای جواب حل شده اند . درنهایت با مقایسه بین منابع مورد استفاده و منابع تخصیص داده شده عملیات تسطیح منابع انجام شده است . بعد چند مرحله تکرار عملیات ، جوابهای حاصل با جواب حاصل از روشهای ILP مقایسه و برتری آن مورد تائید قرار گرفته است .

۲. مدل ریاضی مسئله چند محصولی

در این بخش به تشریح مدل ریاضی بهینه یابی سبد سرویس در مسایل مسیریابی وسایل نقلیه چند ایستگاهی – چند محصولی و چند سطحی با هدف حداقل نمودن هزینه های توزیع می پردازیم . دراین مسئله محصولات مختلف در استفاده از ظرفیت محدود وسایل نقلیه با یکدیگر رقابت میکنند، لذا می بایست با توجه محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه، دسته های حمل و نقل درهریک از سطوح و مسیرها بگونه ای تعیین گردد که تقاضای تمامی محصولات برای همه مشتریان در همه سطوح تامین شود . دراین مدل یک مرکز توزیع اصلی وجود دارد .این مرکز توزیع اقلام مورد نیاز انبارهای منطقه ای را بین آنها توزیع می‌کند. در مرحله بعد انبارهای منطقه ای کالاهای موردنیاز مشتریان رابین آنها توزیع می‌کنند. در هر مرحله (سطح) توزیع محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه وجود دارد. کمبود موجودی یا سفارشات عقب‌افتاده مجاز نیست. تقاضای هر پریود برای هر مشتری درهر سطح معین و متغیر است. کل تقاضای هرمشتری با یک وسیله نقلیه تامین میشود.

پارامترها، متغیرهای تصمیم گیری، تابع هدف و محدودیت های این مدل در یک افق برنامه ریزی نامحدود بصورت زیر تشریح میگردد.

۲-۱. تعریف پارامترها و متغیرهای تصمیم گیری

I= 1,2,…,n	شماره گره مبداء
J= 1,2,…,m	شماره گره مقصد
k= 1,2,…,k	نوع وسیله نقلیه
r = 1,2,…,R	شماره مسیر
L= 1,2,…,L	شماره سطح (لایه)
a= 1,2,…,A	شماره ناحیه (منطقه)
e= 1,2,…,E	شماره محصول
d = 1,2,…,D	شماره مرکز توزیع/ تجمیع (دپو)

n_{La}: تعداد مشتریان در سطح L و ناحیه a

m_{kLa}: تعداد وسایل نقلیه k در سطح L و ناحیه a

V_{kla}: ظرفیت حجمی وسیله k در سطح L و ناحیه a

d_{iela} : تقاضای گره یامشتری I ازمحصول e در سطح L و ناحیه a

V_e: حجم یک واحد محصول e

t_{kLa}: زمان اتمام جمع آوری و آماده سازی کالای درخواستی وسیله K در سطح L و ناحیه a

t'_{iLa}: مدت زمان تخلیه بار مشتری I در سطح L و ناحیه a

t_{ijLa}: زمان مسافرت از مشتری I به مشتری J در سطح L و ناحیه a

M_{iLa}: حداکثر زمان تحویل سفارش (مهلت)به مشتری I در سطح L و ناحیه a

V_{ekla}: ظرفیت حجمی وسیله K برای کالای e در سطح L و ناحیه a

S_{eLa} : میزان عرضه کالای e توسط انبار در سطح L و ناحیه a

W_{ikLa} : زمان رسیدن به مشتری Iبا وسیله K در سطح L و ناحیه a

U_{kla} : زمان حرکت وسیله نقلیه k از انبار مرکزی / انبار ناحیه در سطح L و ناحیه a

C_{ijkla} : هزینه پیمون مسیر از گره I به گره J در سطح L و ناحیه a بوسیله k

X_{ijkla} : درصورتی که وسیله k از گره I به گره J در سطح L و ناحیه a حرکت نماید یک است و د رغیر اینصورت صفر است .

Y_{ikla}: اگر مشتری I در سطح L و ناحیه a بوسیله k تخصیص داده شود مقدار آن برابر یک است و در غیر اینصورت صفر است

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-11-24]

Z_{iekla} : درصورتی که مشتری I در سطح L و ناحیه a از وسیله k کالایe را دریافت کند برابر یک است و در غیر اینصورت صفر است.

۲-۲. مدل ریاضی مسئله اصلی

تابع هدف :

$$MIN \quad Z = \sum_{I=1}^{n} \sum_{\substack{J=1 \\ I \neq J}}^{m} \sum_{k=1}^{k} \sum_{l=1}^{L} \sum_{a=1}^{A} C_{ijkla} \cdot X_{ijkla} \qquad (۱)$$

محدودیت های مدل :

$$\sum_{I=1}^{n} \sum_{\substack{j=1 \\ I=J \\ I \neq J}}^{m} \sum_{l=1}^{L} \sum_{a=1}^{A} \cdot X_{ijkla} = 1 \qquad (۲)$$

k=1,2,…,K L=1,2,…,L A=1,2,…,A

$$\sum_{j=1}^{m+1} X_{0\ jkla} = 1 \qquad (۳)$$

K=1,2,…,K L=1,2,…,L A=1,2,…,A

$$d_{0ela}=d_{n+1,ela},\ t_{0la}=t_{n+1,\ la}\ ,\ t_{0,j,la}=t_{i,m+1,\ la} \qquad (۴)$$

$$\sum_{i=1}^{n+1} X_{i,0,k,l,a} = 1 \qquad (۵)$$

K=1,2,…,K L=1,2,…,L A=1,2,…,A

$$\sum_{\substack{i=1 \\ j \neq i}}^{n} X_{ijkla} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{m} X_{ijkla} = 0 \qquad (۶)$$

$$X_{ijkla}(w_{ikla} + t'_{ila} + t_{ijla} - w_{jkla}) \leq 0 \qquad (۷)$$

k= 1,2,…,K L=1,2,…,L a=1,2,…,A
j=1,2,…,m $i \neq j$

$$w_{ikla} + t'_{ila} + t_{ijla} - w_{jkla} \leq (1 - X_{ijkla}) \cdot M_{ila} \qquad (۸)$$

$$w_{ikla} \leq M_{ila} \sum_{\substack{i=1 \\ j \neq i}}^{n} X_{ijkla} \qquad (۹)$$

k= 1,2,…,K L=1,2,…,L a=1,2,…,A
j=1,2,…,m $i \neq j$

$$\left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{e=1}^{e} (d_{iela} \cdot V_e)\right] \left[\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{n} \sum_{e=1}^{e} Z_{iekla}\right] \leq V_{kla} \qquad (۱۰)$$

$$t_{kla} + t_{0jla} - w_{jkla} \leq (1 - X_{0jkla}) \cdot M \qquad (۱۱)$$

k= 1,2,…,K L=1,2,…,L a=1,2,…,A i=1,2,…,n
j=1,2,…,m $i \neq j$

$$\sum_{k=1}^{k} \sum_{i \in s} \sum_{j \in N-s} X_{ijkla} \geq 1 \quad for\ \forall S \in N\ ,\ |S| \geq a\ \ 0 \in S \qquad (۱۲)$$

$$L=1,2,...,L \quad a=1,2,...,A$$

$$X_{ijkla}=0,1 \qquad i=1,2,...,n \quad j=1,2,...,m/\ \ i \neq j$$
$$k=1,2,...,k \quad a=1,2,...,A\ L=1,2,...,L \qquad (۱۳)$$

$$W_{ikla} \geq 0 \qquad K=1,2,...,k \qquad i=1,2,...,n$$
$$L=1,2,...,L \qquad a=1,2,...,A \qquad (۱۴)$$

در مدل ریاضی مسئله اصلی رابطه (۱) بیانگر تابع هدف به منظور حداقل نمودن هزینه های توزیع می باشد. رابطه (۲) باعث می‌شود که درخواست (سفارش) هر مشتری توسط یک وسیله نقلیه انجام شود. رابطه (۳) بیانگر این موضوع است که هر وسیله نقلیه باید مسیر خود را از انبار مرکزی / ناحیه شروع کند. در رابطه (۴) اندیس صفر (۰), (n+1) برای انبار مرکزی و انبار ناحیه بکار میرود. رابطه (۵) باعث می شود که هر وسیله مسیر خود را باید به انبار مرکزی / ناحیه ختم کند. رابطه (۶) باعث ایجاد حلقه توسط هر وسیله نقلیه می شود. رابطه (۷) باعث می‌شود که زمان رسیدن به هر مشتری نباید زودتر از زمان رسیدن به مشتری قبلی بعلاوه زمان تخلیه بار و طی مسیر تا رسیدن به مشتری قبلی باشد. رابطه (۸) در واقع رابطه غیر خطی (۷) را به یک رابطه خطی تبدیل نموده است و در مدل فقط از رابطه (۸) استفاده می شود. رابطه (۹) باعث می شود زمان رسیدن به هر مشتری نباید از حداکثر زمان تحویل به مشتری تجاوز کند. رابطه (۱۰) محدودیت ظرفیت وسیله نقلیه را تعریف می‌کند. به گونه‌ای که حجم درخواست های تخصیص یافته به وسیله نقلیه در هر مسیر از ظرفیت آن تجاوز نکند. رابطه (۱۱) باعث می شود که زمان تحویل کالا به مشتری نباید از زمان انجام جمع آوری و آماده سازی درخواست آن بعلاوه زمان لازم برای رسیدن از انبار مرکزی / ناحیه به مشتری باشد. در این محدودیت M یک عدد مثبت بزرگ و حداقل برابر $t_{jla} + t_{ojla}$ می‌باشد. رابطه (۱۲) باعث جلوگیری از تشکیل حلقه زیر تور می‌شود. محدودیت (۱۳) و (۱۴) بیانگر محدودیت علامت در متغیرهای تصمیم گیری می باشد.

۲-۳. محدودیت های مرتبط بازمانبندی حرکت وسایل نقلیه

اگر بخواهیم برنامه زمانبندی شروع مسافرت ها از انبار مرکزی /انبار ناحیه توسط هر وسیله نقلیـــه در همه سطوح و نواحی را داشـــته

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-11-24]

باشیم باید محدودیت های زیر را به مدل ارائه شده اضافه کنیم . این عمل باعث افزایش بار محاسباتی و پیچیدگی مدل میشود .

$$Y_{ikla} = \sum_{\substack{i=1 \\ j\neq i}}^{n} X_{ijkla} \qquad (۱۵)$$

I= 1,2,…,n k= 1,2,…,K L=1,2,…,L a=1,2,…,A

$$U_{kla} \geq \sum_{J=1}^{m} X_{0\,jkla} . t_{kla} \qquad (۱۶)$$

I= 1,2,…,n k= 1,2,…,K L=1,2,…,L a=1,2,…,A

$$Y_{ikla} = 0,1 \qquad (۱۷)$$

I=1,2,…,n k=1,2,…,K
L=1,2,…,L a=1,2,..,A

محدودیت های مرتبط با زمانبندی حرکت وسایل نقلیه به صورت زیر تعریف می شوند. رابطه (۱۵) باعث می شود که هر مشتری فقط به یک وسیله نقلیه تخصیص یابد . رابطه (۱۶) زمان شروع به حرکت وسیله نقلیه را حداقل برابر زمان اتمام جمع آوری و آماده سازی سفارش قرار می دهد و رابطه (۱۷) بیانگر محدودیت علامت در منغیر های تصمیم گیری می باشد.

۳. تجزیه مدل ریاضی چند محصولی

محدودیت های مدل ریاضی مسئله چندمحصولی دارای ساختارهای متفاوت هستند . این امر سبب Np-Hard شدن مدل مزبور میگردد و لذا جهت حل این مسئله میبایست از روشهای ابتکاری و یا فوق ابتکاری استفاده نمود [۳۳] . یکی از روشهای ابتکاری برا ی حل مسائل پیچیده بهینه سازی روش تجزیه میباشد. برا ی استفاده از روش تجزیه در مسائلی که دارای چندین دسته محدودیت با ساختارهای متفاوت هستند ، معمولاً این سوال مطرح میگردد ،که کدام دسته از محدودیت هاباید بعنوان عامل تجزیه در نظر گرفته شود . در پاسخ به این سوال باید روابط متضادی که بین عوامل زیر برقرار میباشد را در نظر گرفت[۱].

الف - قدرت حد حاصل از ترکیب جواب مسائل تجزیه شده

ب- سهولت تجزیه مسئله اصلی به مسائل فرعی

ج- سهولت حل هریک از مسائل فرعی

د- سهولت ترکیب جواب مسائل فرعی برای دستیابی به مسئله اصلی

ه- سهولت تسطیح منابع باقی مانده و تکرار مراحل برای دستیابی به جواب مطلوب

در مدل ریاضی مسئله چند محصولی مشاهده میشود که تنها محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه (رابطه 10) در ارتباط با همه محصولات است . متغیرهای متناظر با این دسته محدودیت در مسئله دوگان با یک مجموعه از ضرایب لاگرانژ (λ_{ekla}) مواجه است بغیر از این دسته محدودیت هیچکدام از محدودیت دیگر در ارتباط با همه محصولات نمیباشند . بنابراین سایر محدودیت ها نمی توانند بعنوان عامل تجزیه برای ایجاد مسائل مستقل قرار گیرند. بر این اساس بکمک ضرایب لاگرانژ متناظر با محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه مسئله مسیریابی n محصولی به n مسئله یک محصولی تبدیل میشود.

دراین رابطه کابورو همکاران [۲] نشان دادند که اولاً روش ساده سازی ضرایب لاگرانژ نسبت به سایر ساده سازیها دقیق تر عمل میکند . ثانیاً روش ساده سازی ضرایب لاگرانژ برمبنای محدودیت ظرفیت در مقایسه با سایر محدودیت ها قوی ترین حد پائین را نسبت به جواب بهینه ارائه میدهد . ثالثاً تخصیص واستفاده بهینه از منابع کمیاب در مدلهای بهینه سازی چند مرحله ای باعث تبدیل مدل اصلی به n مسئله مستقل خواهد شد. دراین مدل از نظرعامل (الف) جواب حاصل لزوماً بهینه نیست زیرا:

(۱۸)

$$Convex\left[X : Min(\sum_{i=1}^{n}\sum_{e=1}^{E} d_{iela} \;.\; .V_e)(\sum_{\substack{i=1 \\ i\neq j}}^{n}\sum_{e=1}^{E} Z_{iekla}) - V_{kla}\right] \leq \left[X : (\sum_{i=1}^{n}\sum_{e=1}^{E} d_{iela} \;.\; .V_e)(\sum_{\substack{i=1 \\ i\neq j}}^{n}\sum_{e=1}^{E} Z_{iekla}) \leq V_{kla}\right]$$

یعنی حل حاصل از مسئله یک محصولی قوی تر از حل حاصل از روش آزاد سازی خطی است . به عبارت دیگر حد پائین تابع هدف جهت هر یک از مسائل تک محصولی کوچکتر یا مساوی با حد پائین تابع هدف مسئله اصلی است . از نظر عامل (ب) تجزیه مسئله اصلی و تخصیص منابع محدود باعث ایجاد (n) مسئله یک محصولی مستقل میشود . از نظر عامل (ج) هر یک از مسائل مستقل دارای m متغیر است که حل آن نسبت به حالت قبل که دارای m.e متغیر تصمیم گیری وجود دارد بمراتب آسان تر است . عملیات مربوط به مراحل (د) و (ه) با توجه به روابط ارائه شده در قسمت زیر براحتی قابل انجام است .

۳-۱. مراحل تجزیه مدل چند محصولی

۱- محاسبه متوسط مقدار (حجم) محصولات در خواستی مشتریان از کالای e در سطح L و ناحیه a

$$\bar{d}_{ela} = \frac{1}{n_{ila}} \sum_{i=1}^{n} d_{iela} \qquad (۱۹)$$

e=1,2,…,E L=1,2,…,L a=1,2,…,A

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-11-24]

۲- محاسبه نسبت ظرفیت مورد نیاز هر یک از محصولات

$$\lambda_{ela} = \frac{\overline{d}_{ela}.v_e}{\sum_{e=1}^{E} \overline{d}_{ela}.v_e} \qquad (۲۰)$$

e= 1,2,…,E L=1,2,…,L a=1,2,…,A

۳- محاسبه ظرفیت مورد نیاز هر یک از محصولات در وسیله R برای سطح L و ناحیه a

$$V_{ekla} = \lambda_{ela}.V_{kla} \qquad (۲۱)$$

e= 1,2,…,E L=1,2,…,L a=1,2,…,A

۴. مدل ریاضی یک محصولی

پس از تخصیص منابع محدود و تجزیه مدل ریاضی n محصولی به n مدل ریاضی تک محصولی، مدل ریاضی مسئله مسیریابی وسایل نقلیه چند ایستگاهی، چند سطحی و یک محصولی بصورت زیر خواهد بود. پارامترها، متغیرهای تصمیم‌گیری، تابع هدف و محدودیت های مدل تک محصولی در مقایسه با مدل چند محصولی بصورت جدول (۱) تغییر می‌کند.

جدول ۱. مقایسه مدل تک محصولی و چند محصولی

مدل تک محصولی	مدل چند محصولی
d_{ila}: تقاضای مشتری iدرسطحL و ناحیه a	d_{iela}: تقاضای مشتری i برای کالای e برای سطح L و ناحیه a
Z_{ikla} : درصورتی که مشتری I درسطحL و ناحیه a از خودرو k کالا دریافت کند یک است در غیر اینصورت صفر است .	Z_{iekla} : درصورتی که مشتری iدرسطحL و ناحیه a از خودرو k کالای e دریافت کند یک و در غیر اینصورت صفر است .
V_{ekla} : ظرفیت حجمی وسیله k برای کالای e در سطح L و ناحیه a	V_{kla} : ظرفیت حجمی وسیله k درسطحL و ناحیه a
$\left[\sum_{i=1}^{n} d_{ila}.V_e\right]\left[\sum_{i=1}^{n} Z_{ikla}\right] \le V_{ekla}$	$\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{e=1}^{E} d_{ilea}.V_e\right]\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{e=1}^{E} Z_{ikela}\right] \le V_{kla}$
$V_{ekla} = \lambda_{ela}.V_{kla}$	λ_{ela}: نسبت ظرفیت مورد نیاز محصول e در سطح L و ناحیه a

۵. روش ریاضی حل هر یک از مسائل مسیریابی تک محصولی

نظر به اینکه هدف ارائه یک روش انشعاب و تحدید برای حل مدل ریاضی تک محصولی میباشد ، می بایست بگونه ای عمل نمائیم که در هر مرحله تکرار، وضعیت یکی از متغیرهای صفرو یک از نظر صفرو یک بودن روشن شود. دراین حالت اگر یک وضعیت میانی را در نظر بگیریم تعدادی از متغیرها مقدار یک داشته، تعدادی دیگر مقدار صفر بخود گرفته و مابقی آزاد هستند. بدین منظور برای متغیرهای صفرو یک مدل $\left[Z_{ikla}, X_{ijkla,} Y_{ikla}\right]$ را بصورت متغیرهای پیوسته بین صفر ویک فرض می کنیم.

$$\left[0 \le (Z_{ikla}, X_{ijkla,} Y_{ikla}) \le 1\right] \qquad (۲۲)$$

در اثر این عمل فضای جواب مدل ریاضی تک محصولی توسعه می‌یابد و لذا جواب حاصل از این مسئله بعنوان یک حد پائین برای مسئله اصلی بکار میرود . دراین صورت برای هریک از متغیرهای صفر ویک مدل تک محصولی یک عمل آزادسازی صورت گرفته است . بعداز انجام عملیات آزاد سازی متغیرهای صفرو یک، مسئله مسیریابی تک محصولی به یک مدل شبکه با هزینه خطی تبدیل میشود. این مدل خطی با یکی از روشهای متداول حل مسائل شبکه‌های مظروف از جمله روش حداکثر جریان با حداقل هزینه و معادلات کرشهف قابل حل است [۱].

۵-۱. تعیین وضعیت متغیرهای صفرو یک

با توجه به اینکه در مدل مورد مطالعه کمبود موجودی/سفارشات عقب افتاده مجاز نیست، تمامی وسایل نقلیه در هر مسیر می‌بایست حداقل به میزان تقاضای مشتری اول ظرفیت داشته باشد تا جواب ممکن حاصل شود. یعنی:

$$V_{ekla} \ge d_{ila} \Rightarrow (Z_{ikla} = X_{oikla} = Y_{ikla} = 1 \qquad (۲۳)$$

I= 1,2,…,n k= 1,2,…,K L=1,2,…,La=1,2,…,A

علاوه بر مشتری اول در بعضی از مسیرها برای مشتریان دیگر هم باید ظرفیت وجود داشته تا جواب ممکن حاصل گردد. در صورتیکه این موضوع مشخص شود کمک شایانی به روشن شدن وضعیت بعضی از متغیرهای Z_{ikla} خواهد نمود به تبع آن کاهش قابل ملاحظه ای در حجم محاسبات الگوریتم انشعاب و تحدید پیشنهادی رخ میدهد برای دسترسی به این موضوع ابتدا لازم است حداقل ظرفیت ارسالی V_{ekla} (i) از مشتری I به مشتری(i+1) را بدست آورد.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-11-24]

$$q_{ekla} = Min\left[V_{e1la},\ V_{e2la},\ ....,V_{ekla}\right] \quad (۲۴)$$

$$V^{L}{}_{ekla}(i) = \begin{cases} Min\left\{d_{i+1,la}\ .v_e + V_{ekla}(i+1), q'_k\right\} & if\ \ i < n \\ 0 & if\ \ i = n \end{cases}$$

برای آنکه تشخیص دهیم که برای مشتری۱ +I درسطح L و ناحیه a باید وسیله جدید در نظر گرفته شود یا خیر ابتدا باید (i) $V^{A}{}_{ekla}$ برای همه مشتریان محاسبه شود .(یعنی آیا کامیون در گره I به دپو بر می گردد یا اینکه به مسیر ادامه می دهد و به گره i+1 می رود وگرنه در اول دپو قرار داریم و ماشین جدید تخصیص می یابد.)

$$V^{A}{}_{ekla}(i) = \begin{cases} \sum_{i=1}^{i-r} d_{la}\ .\ v_e + d_{ila}.V_e \le q_{ekla} & if\ i \le n \\ d_{ila}\ .\ v_e & if\ \ i=n \\ \sum_{i=1}^{i-r} d_{la}\ .\ v_e + d_{ila}.V_e \succ q_{ekla} & \end{cases} \quad (۲۵)$$

سپس حداکثر حجم جریانی که می تواند از مشتری I درسطح L و ناحیه a توسط وسیله K عبور کند را محاسبه کنیم .

(۲۶)

$$V^{u}{}_{ekla}(i) = \left\{q_{ekla} - \sum_{i=1}^{i1} d_{ila}\ .\ v_e \ge d_{i+1}\ ,\ L_a.V_e \Rightarrow Z_{ikla} = X_{ijkla} = Y_{ijkla} = 1\right.$$

$$\left\{q_{ekla} - \sum_{i=1}^{i1} d_{ila}\ .\ v_e \prec d_{i+1}\ ,\ L_a.V_e \Rightarrow Z_{ikla} = X_{ijkla} = Y_{ijkla} = 0\right.$$

۲-۵. ارتباط متغیرهای صفر و یک در هر مسیر

برای تعیین ارتباط متغیرهای صفر ویک در هر مسیر برای سطح L و ناحیه A و مسیر k از قضیه زیر استفاده شده است. قضیه: درصورتی که با شرط $Z_{ikla} = 1$ درسطح L و ناحیه a با وسیله k جواب قابل قبول حاصل شود. برای مشتریان بعدی وسیله نقلیه جدید تخصیص شود.

$$\text{IF } Z_{ikla} = 1 \Rightarrow (Z_{i+1,\ kla} = Z_{i+2,\ kla} = ... = Z_{nkla} = 1) \quad (۲۷)$$

$$\text{OR} \quad \text{IF}$$

$$d_{ila} \succ 0 \Rightarrow (d_{i+1,\ la} = d_{i+2,\ la} = ... = d_{nla}) \succ 0$$

اثبات: فرض کنید شرط $Z_{ikla} = 1$ در شروع مسئله برقرار باشد دراین صورت خواهیم داشت:

$$F_{ikla} \prec d_{ila}.V_e + V_{ekla}\ (i) \quad (۲۸)$$

برای روشن شدن وضعیت متغیرهای

$$(Z_{i+1,\ kla}\ و\ Z_{i+2,\ kla}\ و.....و Z_{nkla}) \quad (۲۹)$$

باید $V^{A}{}_{ekla}(i+1)$ رامحاسبه کنیم بنابراین:

$$V_{ekla}(i+1) = \min\left\{\ d_{i+1\ ,la}.V_e\ ,\ V_{ekla}(i)\ \right\} \quad (۳۰)$$

حداقل رابطه فوق برابر $d_{i+1\ ,la}.V_e$ یا $V^{A}{}_{ekla}(i)$ خواهد بود. همچنین همواره رابطه $V^{A}{}_{ekla}(i+1) \le V^{A}{}_{ekla}(i)$ برقرار است از طرف دیگر با علم به اینکه مجموع تقاضای مشتریان تا مشتری (i-1) مشخص میباشد و رابطه برقرار است. قضیه ثابت شده است. این قضیه برای تعیین وضعیت صفر ویک بودن متغیرهای Z_{ikla} استفاده شده است .

$$\left[\ F_{i+1,kla} \le F_{i\ ,\ kla} \prec d_{ila}.V_e + V_{ekla}\ (i)\ \right] \quad (۳۱)$$

۳-۵. الگوریتم انشعاب و تحدید

قدم (۱): وجود جواب اولیه (قابل قبول) را با توجه به روابط (۳۲) و (۳۳) بررسی کنید :

$$q_{kla} = \max\ (V_{1kla}, V_{2\ kla}, ...V_{ekla}) \quad (۳۲)$$

$$\sum_{i=1}^{n} V^{A}{}_{ekla}(i) \le q_{ekla} \times n \quad (۳۳)$$

اگر رابطه (۳۳) ارضاء شود آنگاه مسئله دارای جواب قابل است و اگر رابطه (۳۳) ارضاء نشود مسئله جواب قابل قبول ندارد و متوقف می‌شوید. با الگوی بخش (۱-۵) وضعیت متغیرهای صفر ویک را تعیین کنید.

قدم (۲): مدل توسعه یافته مسئله مسیریابی تک محصولی را به روش (Out of Kilter) حل کنید. دراینصورت میزان ظرفیت مورد نیاز هریک از وسایل نقلیه در هر مسیر و درسطح L و ناحیه a محاسبه میشود.

قدم (۳): وضعیت متغیرهای صفر ویک را تعیین کنید .

قدم (۴): درصورتی که بین متغیرهای X_{ijkla} هیچ متغیر آزادی وجود نداشته باشد متوقف می‌شوید. درغیراینصورت از بین متغیرهای آزاد آن متغیری که بیشترین بهبود هزینه در تابع هدف را دارد ، انتخاب و عملیات انشعاب را انجام میدهیم.

$$\Delta_{i\ ,\ kla} = \max\left\{C_{ijkla}.X_{ijkla}\ /\quad i \ne j\right\} \quad (۳۴)$$

i= 1,2,…,n j=1,2,…,m

قدم (۵): اگر دریک مسیر از مشتری (i) تا مشتری (n) وضعیت همه متغیرهای صفر ویک تعیین شده و شرط زیر برقرار باشد و یا بهبودی درجواب حاصل نشود توقف کنید. در غیر اینصورت به قدم سوم برگردید.

$$\sum_{J=1}^{m} Z_{ijkla}\ .\ d_{iLa}\ .V_e \le V_{ekla} \quad (۳۵)$$

K= 1,2,…,k L=1,2,…,L a=1,2,…,A

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-11-24]

پس از حل هر یک از مسائل مسیریابی چند ایستگاهی چند سطحی و یک محصولی توسط الگوریتم ارائه شده، نوبت به مقایسه میزان ظرفیت تخصیص داده شده و ظرفیت استفاده شده می‌رسد. این عملیات که باعث تسطیح ظرفیت‌های باقیمانده خواهد شد. بکمک روابط و توضیحات قسمت (۴-۵) انجام می‌شود.

۴-۵. تسطیح منابع و ظرفیت باقیمانده

در این مرحله برای انجام عملیات تسطیح منابع ، میزان ظرفیت باقیمانده (مازاد) برای هریک از مسائل تک محصولی بکمک رابطه زیر محاسبه شده است.

$$RC_{ekla} = (V_{ekla} - \sum_{i=1}^{n} d_{iLa} . V_e) \qquad (۳۶)$$

e= 1,2,…,E K= 1,2,…,K L=1,2,…,L a=1,2,…,A

کل ظرفیت باقیمانده توسط رابطه

$$\{ RCT_{kla} = \sum_{e=1}^{E} RC_{ekLa} \} \qquad (۳۷)$$

محاسبه می‌شود این ظرفیت باقیمانده را به نسبت ظرفیت منابع استفاده شده در هریک از مسائل تک محصولی توزیع می‌کنیم. روش اجرای کار به اینصورت است که به مسائل تک محصولی که دارای ظرفیت باقیمانده زیادتری هستند مقدار ظرفیت کمتری تخصیص می‌یابد و به مسائل تک محصولی که ظرفیت باقیمانده کمتری دارند مقدار ظرفیت بیشتری تخصیص می‌یابد. عملیات تسطیح منابع طبق رابطه زیر انجام می‌شود. با اجرای عملیات تسطیح منابع در هر مرحله جوابهای موجه بهتری حاصل خواهد شد.

$$LRC_{ekla} = RCT_{kla} . (\frac{V_{ekla} - \sum_{i=1}^{n} d_{ila} . V_e}{V_{ekla}}) - 1 \qquad (۳۸)$$

۵-۵. الگوریتم حل مسئله چند محصولی

قدم ۱- مسئله اصلی را با استفاده از ضرایب لاگرانژ در منابع کمیاب به (E) مسئله یک محصولی مستقل تبدیل کنید.

قدم ۲- هریک از مسائل تک محصولی را با روش ابتکاری ارائه شده در قسمت (۳-۵) و (۱-۵) حل کنید.

قدم ۳- ظرفیت باقیمانده هر یک از مسائل تک محصولی رانسبت به ظرفیت تخصیص یافته بکمک روابط (۳۷و۳۶) محاسبه کنید.

قدم ۴- عملیات تسطیح منابع را بکمک رابطه (۳۸) برای کل ظرفیت باقیمانده (RCT) در وسیله k ، سطح L و ناحیه a انجام دهید.

قدم ۵- به قدم دوم برگردید وتا زمان رسیدن به شرط توقف مسئله را ادامه دهید. شرایط توقف در مراحل مختلف الگوریتم انشعاب تحدید در قسمت (۳-۵) بیان شده است.

۶. اعتبار الگوریتم پیشنهادی

جهت بررسی میزان کارآیی الگوریتم پیشنهادی ارائه شده تعداد ۳۰۰ عدد مسئله تصادفی با مشخصات زیر ایجاد شده اند.

۱- ابعاد مسایل ایجاد شده در محدود (N.E.L.D.K) = (۸×۵×۲×۵×۱) الی(N.E.L.D.K) =(۱۰×۱۵×۵×۲۰×۳) است. لیست مسائل در جدول (۲) آمده است

۲- زمان باراندازی و بارگیری برای هریک از انبارهای میانی در هر سطح وناحیه بصورت تصادفی و جداگانه ازتوزیع یکنواخت (۸۰-۳۰) دقیقه انتخاب شده اند.

۳-زمان طی مسیر هر بین هر دو انبار یا مشتری د رهمه سطوح و نواحی بصورت جداگانه از توزیع یکنواخت (۱۰۰۰-۱۰۰) دقیقه انتخاب شده‌اند.

۴- حجم هریک از محصولات بصورت تصادفی و جداگانه ازتوزیع یکنواخت (۱۰۰×۱۰۰×۱۰۰-۱۰×۱۰×۱۰) سانتیمتر مکعب انتخاب شده اند.

۵-حجم هریک از وسایل نقلیه بصورت تصادفی و جداگانه ازتوزیع یکنواخت (۲۰۰×۲۰۰×۵۰۰-۱۰۰×۱۰۰×۱۵۰) سانتیمتر مکعب انتخاب شده‌اند.

۶-تقاضای انبارهای میانی برای هریک از محصولات بصورت تصادفی از توزیع یکنواخت (۱۰۰۰-۲۰۰) انتخاب شده اند.

۷-تقاضای مشتریان برای هر یک از محصولات بصورت تصادفی ازتوزیع یکنواخت (۵۰-۱۰) انتخاب شده‌اند.

۸- زمان باراندازی برای هر یک از مشتریان در هر سطح و ناحیه بصورت تصادفی و جداگانه ازتوزیع یکنواخت (۳۰-۲۰) دقیقه انتخاب شده‌اند.

برای حل مسائل فوق یک برنامه در محیط Matlab نوشته شده است این برنامه برای حل مسائل با الگوریتم پیشنهادی نوشته شده است. نتایج مقایسه‌ای از دو جنبه زمان حل و هزینه حمل ونقل در جدول(۲) آمده است.

جدول ۲. مقایسه زمان حل هزینه حمل ونقل الگوریتم پیشنهادی و BLP

Pr0blem size	زمان حل (دقیقه)		هزینه حمل ونقل	
N.E.L.D.K	BLP	HDC	BLP	HDC
۸×۵×۲×۵×۱	۰،۵۷	۰،۳۲	۲۸۵،۱۷	۲۸۹،۱۱
۱۰×۵×۲×۵×۱	۰،۸۲	۰،۵۶	۲۹۷،۱۵	۳۰۱،۸۱
۱۲×۵×۲×۵×۱	۰،۹۷	۰،۶۴	۳۱۵،۱۱	۳۲۰،۸۵
۱۵×۵×۲×۵×۱	۱،۲۵	۰،۸۵	۳۴۲،۱۷	۳۵۱،۱۶

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-11-24]

ادامه جدول ۲. مقایسه زمان حل هزینه حمل ونقل الگوریتم پیشنهادی و BLP

Pr0blem size	زمان حل (دقیقه)		هزینه حمل ونقل	
N.E.L.D.K	BLP	HDC	BLP	HDC
۲۰×۵×۲×۵×۱	۳.۸۴	۱.۲۸	۳۸۱.۴۱	۳۹۷.۲۴
۲۵×۵×۲×۵×۱	۷.۵۱	۳.۱۲	۳۹۴.۸۵	۴۱۰.۱۱
۳۰×۸×۲×۸×۱	۹.۷۱	۴.۱۵	۴۱۵.۱۱	۴۲۱.۶۸
۳۵×۸×۲×۸×۱	۱۴.۴۵	۵.۱۷	۴۲۵.۱۹	۴۳۸.۷۹
۴۰×۸×۲×۸×۱	۲۵.۸۱	۷.۲۴	۴۷۱.۴۸	۵۱۵.۱۱
۴۵×۸×۳×۸×۲	۳۶.۲۵	۱۵.۱۷	۴۹۵.۱۸	۵۱۷.۱۴
۵۰×۸×۳×۸×۲	۴۷.۹۲	۱۸.۱۱	۵۱۲.۱۱	۵۲۰.۱۲
۵۵×۸×۳×۸×۲	۸۲.۴۵	۱۹.۲۷	۵۴۰.۲۵	۵۵۱.۳۸
۶۰×۱۰×۳×۱۰×۲	۹۵.۲۷	۲۵.۱۲	۵۵۰.۱۲	۵۶۱.۱۹
۶۵×۱۰×۳×۱۰×۲	۱۱۷.۴۲	۲۷.۴۹	۵۶۱.۱۷	۵۷۲.۵۷
۷۰×۱۰×۳×۱۰×۲	۱۲۵.۱۸	۳۲.۱۹	۵۷۵.۴۷	۵۸۱.۹۸
۷۵×۱۰×۳×۱۰×۲	۲۱۷.۱۱	۳۵.۱۸	۵۹۰.۱۸	۶۰۱.۲۵
۸۰×۱۰×۳×۱۰×۲	۳۱۵.۲۲	۳۸.۱۲	۵۹۹.۸۹	۶۰۷.۷۹
۸۵×۱۰×۳×۱۰×۲	۴۱۲.۱۱	۴۵.۱۹	۶۱۵.۱۱	۶۲۸.۴۱
۹۰×۱۲×۴×۱۲×۲	۵۱۶.۷۵	۵۱.۱۷	۶۲۲.۴۵	۶۳۷.۱۱
۹۵×۱۲×۴×۱۲×۲	۵۲۵.۱۱	۵۸.۱۵	۶۴۱.۴۲	۶۵۴.۱۵
۱۰۰×۱۲×۴×۱۲×۲	۵۸۰.۱۵	۶۵.۱۲	۶۵۷.۷۹	۶۶۱.۱۲
۱۱۰×۱۲×۴×۱۲×۳	۵۹۵.۴۲	۷۴.۱۷	۷۱۵.۴۱	۷۲۴.۱۵
۱۱۵×۱۲×۴×۱۲×۳	-	۸۱.۱۵	-	۷۴۵.۱۷
۱۲۰×۱۲×۴×۱۲×۳	-	۹۵.۱۱	-	۷۵۱.۱۹
۱۲۵×۱۵×۴×۱۵×۳	-	۱۱۵.۱۷	-	۷۶۸.۷۹
۱۳۰×۱۵×۴×۱۵×۳	-	۱۱۸.۴۸	-	۷۷۱.۲۷
۱۳۵×۱۵×۴×۱۵×۳	-	۱۲۰.۱۱	-	۷۸۵.۵۷
۱۴۰×۱۵×۵×۱۵×۳	-	۱۲۵.۷۵	-	۷۹۶.۱۱
۱۴۵×۱۵×۵×۱۵×۳	-	۱۳۱.۱۴	-	۸۲۱.۳۲
۱۵۰×۱۵×۵×۱۵×۳	-	۱۴۵.۲۵	-	۸۳۵.۴۷

نتایج مقایسه‌ای در جدول (۲) نشان میدهد که روش HDC علاوه بر ارائه جوابهای نزدیک بهینه ، مسائل را در زمان کمتری نیز حل نموده است. مقدار جواب حاصل توسط الگوریتم HDC نسبت به الگوریتم BLP حداکثر ۵ درصد اختلاف داشته و زمان حل را به طور متوسط ۷۳ درصد کاهش داده است.

۷. نتیجه گیری و تحقیقات آتی

در این تحقیق مسئله مسیریابی چند ایستگاهی– چند محصولی و چند سطحی با هدف حداقل نمودن هزینه‌های توزیع مورد بررسی قرارگرفت. برای بررسی این مسئله یک مدل برنامه ریزی خطی صفر و یک مشتمل بر ۱۵ سری محدودیت و ۵ سری متغیر پیوسته و صفر ویک ارائه شده است. با استفاده از ضرایب لاگرانژ منابع کمیاب برای محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه مسئله چند محصولی و چند مسئله یک محصولی تبدیل شد. پس از حل هریک از مسائل یک محصولی با الگوریتم پیشنهادی، ظرفیت‌های باقیمانده برای هر یک از مسائل و در کل محاسبه شده و سپس عملیات تسطیح منابع انجام شده است. این مراحل تا رسیدن به شرط توقف تکرار شده است. در حل هریک از مسائل تک محصولی سه مرحله خوشه بندی انبارهای میانی و مشتریان، مسیریابی و بهبود مسیرهای تولید شده وجود دارد . نتایج محاسباتی بیانگر آن است که استفاده از ضرایب لاگرانژ منابع کمیاب برای تجزیه مسائل مسیریابی چند محصولی به چند مسئله مسیر یابی تک محصولی یک روش کارا میباشد . جوابهای این الگوریتم نسبت به جواب بهینه حداکثر 5 درصد اختلاف داشته ومدت زمان حل را نسبت به روش BLP تا ۵ برابر کاهش داده است . همچنین تلفیق مسئله مسیریابی چند ایستگاهی با مفاهیم تقاضای فازی ، احتمالی و پویا میتواند بعنوان تحقیقات آتی مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد.

منابع

[1] Brian R., *"Formulation and Exact Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows"*,

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-11-24]

[14] Mercer, A,. "*Strategic Planning of Physical Distribution Systems*", International Journal physical Distribution, Vol.1, 1978, pp: 20-25.

[15] Wren, A., Holliday, A., *"Computer Scheduling of Vehicles From One or More Depots a Number of Delivery Points*, operatronal Resarch Quantity, Vol .23, No . 3, 1989, pp:333-344.

[16] Benoit, C., Francors, J., Gordeou, A., Gilbert, L., *"the Multi–Depot Vehicle Routing Problem, with Inte – Depot Routes*, European Journd of operational Research , No. 176 , 2005, pp. 756-773.

[17] Rodolfo, D., Jaim, .C., *"A Cluster – Vased Optimization Approach for the Multi – Depot Heterogeneous Fleet Vehicle Wiating Problem with Time Windows*", Eurpean journal of operational Research, NO, 176, 2007, pp: 1478-1507.

[18] Salhi, S., Sari.M., "*A Multi-Level Composite Search Heuristic for the Multi – Depot Vehicle Fleet Mix Problem"* . European journal of operational Resarch ,No. 103, 1997, pp: 95-112.

[19] Fallahi, A., Christian, P., Robert, C., *"A Memertic Algorithm and a Taba Search for the Multi-Compartment Vehicle Routing Problem*", computer and operations Research, vol. 35, NO. 4, 2008, pp: 1725-1741.

[20] Alvina G.H., Ret, R.L.C., & Qiang, M., "*Distance – Constrained Capacitated Vehicle Routing Problems with Flexible Assignment of Start and End Depots*", Mathematical and computer Modeling, Vol. 47, 2008, pp: 140-152.

[21] Giosa, I.D, Tansini, I.L., Viera, I.C., *"New Sssignment Slgorithm for Multi- Depot Vehicle Routing Problem"*, journal of operational Research society, NO.53, 2002, pp:977-984.

[22] Christofides N, Mngozzi .A., Toth.P., "*Exaet Algorithm for the Vehicle Routing Problem, Based on Spanning Tree and Shortest Path Relaxation*", mathematical programming, NO.20, 1981, pp: 255-282.

[23] Clarre, G., wright, J.w., *"Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points*". Operations Research ,No. 12, 1964, pp: 568-581 .

[24] Hadjiconstan –tionou, E., Baldacci, R., "*A Multi – Depot Period Vehicle Routing Problem Arising in the Utlities Sector"*, Journal of the operational Resarch society No. 49, 1998, pp: 1239-1248.

[25] Gillet, B. E.P., Miller, L.R., *"A Heuristic Algorithms for Vehicle Dispatchinh Problem*". Journal of operation Research, No. 22, 1974, pp:340-349.

computer and operational Research, Vol .35, NO.7,2008, pp: 2307-2330.

[2] Gabor, N., Salhi, S., *"Location – Routing: Issues, Models, and Methods"*, European Journal of operational Research, Vol. 177, No. 2, 2007, pp:649-672.

[3] Franrlin, L., Shen, S., *"An over view of a heuristic for Vehicle Routing Problem with Time Windows*", computer and operations Research, Vol .37, NO.2, 1998, pp: 331-334.

[4] Feiyue, L., Bruce, G., Edward,W., *"The Open Vehicle Routing Problem: Algorithms, Large-Scale Test Problems. And Computational Resalts*", computer and operations Research, Vol .34, NO.10, 2007, pp: 2918-2930.

[5] Laporte, G,. *"The Vehicle Routing Problem: An Overview of Exact and Approximated*", algorithms, European journal of operatronal Resarch, Vol.59, NO. 3 , 1992, PP: 345-385.

[6] Milligan, B., *"Transportation Holds up its and of Jit bargain"* parchasing Boston. Vol. 129, NO.4, 2000, PP: 75-82.

[7] Nathalie, P., Ander, L ., James, F., "*A Survey of Models and Algorithms for Winter Road Maintenance, Part III* : *Vehicle Routing and Depot Location for Spreading*" , computer and operation Research , Vol .34,NO.1, 2007, pp: 211-257.

[8] Paolo, T., Daniele, V., *"Models, Relaxations and exact Approches for the Capacitated Vehicle Routing Problem"*, Discrete Applied mathematics, Vol.123, No.3, 2002, pp: 487-512.

[9] Tolgo, B., "*The Multiple –Traveling salesman Problem: an Over View of Formulation and Solutions Procedures*", OMEGA, Vol .34 , NO.3, 2006, PP:209-219.

[10] Laporte, G ., Nobert, .y., Taillefer,s., "*Taillefer, Solving a Family of Multiple–Depot Vehicle Routing and Location- Routing Problems*", Transportation science, NO.22 , 1988, pp: 161-172.

[11] Sumichrast, R.T., Marrham, I.S., *"A Heuristic and Lower Bound for a Multi – Depot Routing Problem "*. computers ans Operations Research,No. 22, 1995, pp: 1047-1056.

[12] Waston, C.D., T, Dohrn, D.J,. *"Depot Location with Van Salesman -A Practical Approach , OMEGA*," Vol.1, 1973, PP: 321-329.

[13] Nambiar, J.M., Gelders, L.F., Van, W.L.N., *"A Large Scale Location- Allocation, Problem in the Notional Rubber Induetry*", European Journal of operational Research, Vol .4, 1981,pp: 183-189.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-11-24]

[26] Tillman, FA., Cain, T.M., "*An Upperbound Algorithms for the Single and Multiple –Terminal Delivery Problem*" , Management science, NO.18, 1972, pp: 662-682.

[27] Min, S.H., Lee., J, Han .I., "*Hybrid Genetic Algorithms and Support Vector Machines for banrruptcy Prediction*". Expert system with Applications, No. 31, 2006, pp: 652-660.

[28] Mesa, J.A., Boffey, T.B., *"A Review of Extensive Fasility Location in Netwoers*", European Journal of operational Research, Vol.95, 1996, pp. 592-603.

[29] Gendreau, M., Laporte, G., povtin, J.Y., *"Vehicle Routing Modern Heuristic"*, in: Local search in combinatorial Optimization. John wiley and sons, 1997, pp: 311-336.

[30] Renaud, J., Laporte, G., Doctor, F.F., "*A Ttabu Search Heuristic for the Multiple –Depot Vehicle Routing Problem*". Computers and operations research, No. 23, 1996, pp: 229-235.

[31] Wiliam, H., George, T.S., ping, J., Henry, C., *"A Hybrid Genetic Algorithm for the Multi–Depot Vehicle Routing Problem"* Engineering Application of Artifical intelligence , 2007, pp.Article in press .

[32] Sur, B., Heany, H., Gyu, C., Meny, G., *"Integrated GA-VRP Solver for Multi – Depot System*", Computer and Indusrial engineering, NO. 53, 2007, pp: 233-240.

[33] Coor, S.A., *"An Approximation Algorithm for the Traveling Selesman Problem with Bacrhauls*" , operation Research, NO. 45, 1971, pp : 639-431.

[34] Wiliam, Ho, George. T.S, Ho, ping, j.I., Henry, C.W., Lau, "*A Hybrid Genetic Algorithm for the Multi – Depot Vehicle Routing Problem*" Engineering Application of Artifical intelligence ,Vol. 21, No.4, 2008, pp: 548-557.

[35] Rodolfo, G., Dondo, Jaime Cerda, *"Ahybrid Local Improvement Algorithm for Large- Scale Multi – Depot Vehicle Routing Problems with Time Windows*", Computers and chernreced engineering, Vol, 33, NO, 2, 2009, pp: 513-530.

[36] Ran, Liu, Zhibin jiang, Richard Y.K., Fang, Peny chen, Xido Liu *"Two- Phase Heuristic Algorithms for Fall Trackliuds Multi – Depot Copacitated Vehicle Routing Problem in Ccarrier Collaboeation*, Computers and operation Resarch, Vol. 37, No. 5, 2010, pp: 950-959.

[۳۷] توسعه مدل بهینه هزینه کل توزیع لجستیک در شرایط یک تولیدکننده و چند انبار توزیع در مدیریت زنجیره تأمین (SCM) ، جلد ۱۹، شماره ۱ ، نشریه بین المللی علوم مهندسی ۱۳۸۷.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-11-24]