مدل ریاضی حمل و نقل در سیستم‌های لجستیکی

محمود دودانگه[1]

مؤسسه مطالعات و پژوهشهای بازرگانی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۲/۱۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۳/۲۹

چکیده

مروری بر مطالعات پیشین نشان می‌دهد که اگر چه، مطالعات بسیاری در زمینه حمل و نقل و مسیریابی انجام شده است ولی حمل و نقل در سیستم‌های لجستیک نظامی سهم ناچیزی از این مطالعات را داشته است. از طرف دیگر، مسائل حمل و نقل بسیار گسترده‌اند و با تعدد اهداف، گوناگونی محموله‌ها و وسایل حمل و نقل و وجود پارامترهای متغیر با زمان، حالات عدیده‌ای به خود می‌گیرند. با وجود این تنگناهای مختلف ریاضی و منطق نیز می‌تواند پیچیدگی مسئله را افزایش دهد.

تحقیق حاضر به عنوان بخشی از یک مسئله واقعی است که در آن تعدد اهداف، تنوع محموله‌ها و وسایل حمل، وجود پارامترهای متغیر با زمان، تنگناهای مختلف و بالاخره تعدد مبادی، مقاصد و نقاط میانی مد نظر است. مرور مطالعات انجام شده، نشان دهنده فقدان یک مدل معین برای این دسته از مسائل است. در مقاله حاضر تلاش می‌شود که مدلی برای مسئله حمل و نقل سیستم‌های لجستیک ارائه شود. سپس به بررسی و تحلیل مدل پیشنهادی از طریق حل یک مثال عددی پرداخته می‌شود، دراین بخش تلاش بر این است که کاربرد مدل پیشنهادی نشان داده شود، در این راستا ابتدا مثال مورد نظر تشریح می‌شود و سپس این مثال با استفاده از مرحله مقدماتی به مدل شبکه تبدیل می‌شود و آنگاه مدل ریاضی گسترده نوشته شده و از طریق یکی از نرم افزارهای برنامه‌ریزی خطی (LINDO) حل می‌شود و در انتها جواب‌های به‌دست آمده ارائه خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: لجستیک، حمل و نقل، مدل ریاضی.

۱- مقدمه

حمل و نقل فرآیندی است که سازمان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و از آن متأثر می‌گردد. ارتباط حمل و نقل با کلیه بخش‌های سازمان موجب شده است که این فعالیت از اجزاء و ارکان اصلی در هر سازمان و به‌ویژه سازمان‌های لجستیک به حساب آید، به‌طوری که بدون آن حیات و رشد سازمان میسر نمی‌گردد.

سیستم لجستیک را می‌توان به‌عنوان یکی از مهمترین زیر سیستم‌های هر سازمان، به‌ویژه سازمان‌های نظامی دانست. یکی از ویژگی‌های اصلی سازمان‌های نظامی، گستردگی جغرافیایی است. این ویژگی سبب می‌شود که سیستم لجستیک و پشتیبانی سازمان‌های مزبور، دارای نظام حمل و نقل برنامه‌ریزی شده و منسجم باشد.

از طرف دیگر تصمیم‌گیری در مورد حمل و نقل سیستم‌های لجستیک شامل سه سطح: دراز مدت[2]، میان مدت[3]، و عملیاتی[4] است. تصمیم‌گیری در رابطه با محل تأسیسات، انبارها، پایانه‌ها و مانند اینها می‌تواند به عنوان برنامه‌ریزی دراز مدت منظور شود. مسئله اندازه و نوع ناوگان حمل و نقل یک مسئله میان مدت و بالاخره تصمیمات مختلف درباره مسیریابی، برنامه‌ریزی و کنترل ناوگان حمل و نقل، تصمیماتی کوتاه مدت می‌باشند. البته نمی‌توان این تصمیمات را به‌طور کامل از یکدیگر جدا کرد، زیرا تصمیمات دراز مدت و میان مدت از یک طرف چارچوب تصمیمات

۱- کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، عضو هیأت علمی مؤسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی، پست‌الکترونیکی: Dodangeh@yahoo.com، نشانی: تهران- خیابان کارگر شمالی، شماره ۱۲۰۴، طبقه هشتم.

2- Strategic
3- Tactical
4- Operational

کوتاه مدت را تعیین می‌کنند و از طرف دیگر، خود تحت تأثیر نتایج حاصل از تصمیمات کوتاه مدت قرار می‌گیرند. برای مثال محل انبارها و پایانه‌ها، حدود منطقه توزیع برای هر انبار را تعیین می‌کنند و اندازه و نوع ناوگان حمل و نقل که به تصمیمات استراتژیک و میان مدت مربوط می‌شوند، می‌توانند تصمیمات کوتاه مدت را تحت تأثیر قرار دهند.

بعد از اخذ تصمیمات فوق می‌توان برنامه‌ریزی، زمان‌بندی و مسیریابی وسایل نقلیه سازمان را برای اجرای مأموریت‌های مورد نظر در حداقل زمان و با کمترین هزینه انجام داد. این مرحله شامل یک روش بهینه‌یابی برای شناسایی بهترین نحوهٔ انجام فعالیت‌های حمل و نقل در کوتاه مدت است که موضوع مقاله حاضر می‌باشد. در مقاله حاضر، نخست به شرح تفصیلی مسئله و بیان فرض‌ها و تنگناها، جایگاه مسئله در میان مسائل حمل و نقل و مسیریابی پرداخته می‌شود. در ادامه یک مدل ابتکاری برای حل مسئله حمل و نقل سیستم لجستیک (حمل و نقل چند محصوله، چند وسیله‌ای و چند هدفی) پیشنهاد می‌شود. در انتها نیز، ضمن تشریح ویژگی‌های روش ارائه شده، رهنمودهایی برای تحقیقات آینده ارائه خواهد شد.

۲- شرح مسئله

۲ـ۱ـ تعریف مسئله

یک سیستم لجستیک می‌خواهد اقلام و کالاهای مورد نیاز یک سازمان بزرگ را از نقاط عرضه که در سطح کشور پراکنده‌اند به نقاط مصرف حمل نماید. با توجه به گستردگی جغرافیایی این سازمان، نقاط تقاضا نیز در نقاط مختلف کشور پراکنده‌اند. این سیستم برای پاسخگویی سریعتر به تقاضای نقاط مصرف، تعدادی انبار منطقه‌ای در برخی نقاط کشور ایجاد کرده است. بدیهی است که هر یک از این انبارها، ضمن ایجاد تأخیر زمانی در جریان اقلام مختلف، به عنوان نقطه میانی (انتقالی) نیز محسوب می‌شوند.

مسئله این سیستم در نگاه اولیه یک مسئله حمل و نقل مرکب می‌باشد ولی با در نظر گرفتن اینکه در مسئله کالاهای مختلفی مدنظر است لذا مسئله حمل و نقل مرکب به یک مسئله حمل و نقل چند محصوله تبدیل می‌شود.

بنابراین در مقاله حاضر به مسئله‌ای پرداخته می‌شود که در آن چند نوع کالا از چند مبدا (نقاط عرضه) توسط تعدادی نقاط میانی یا انتقالی، به چند مقصد (نقاط تقاضا) حمل می‌شود، اهداف عمده در مدل حمل و نقل مورد نظر، کمینه کردن زمان و هزینه حمل اقلام خواهد بود. در نتیجه مدل دارای دو هدف می‌باشد.

۲ـ۲ـ ویژگی‌های مسئله

مسئله حمل و نقل سیستم لجستیک، دارای ویژگی‌هایی است که آن را از مسائل مرسوم متمایز می‌نماید. در این بخش تلاش بر این است تا مشخصه‌های این مسئله تشریح شود.

۲ـ۲ـ۱ـ مرکب بودن

نخستین ویژگی مسئله مورد نظر، مرکب بودن آن است. به عبارت دیگر ارسال کالا از برخی مبادی به برخی مقاصد به‌صورت مستقیم ممکن نیست و باید از نقاط میانی عبور کرد. در نقاط (گره‌های) میانی، وسیله نقلیه مقادیری از کالاهای مورد نیاز آن نقاط را تخلیه و برخی از کالاهای مورد نیاز مقصد را بارگیری می‌کند.

۲ـ۲ـ۲ـ چند کالایی بودن

اقلام و کالاهای مورد نیاز نقاط مصرف از تنوع زیادی برخوردار است. از مواد غذایی تا اقلام و کالاهای صنعتی از نقاط عرضه به نقاط تقاضا حمل می‌شوند. این ویژگی منجر به چند کالایی بودن مسئله می‌شود.

۲ـ۲ـ۳ـ چند وسیله‌ای بودن

برای حمل و نقل اقلام مختلف، انواع وسایل نقلیه با ظرفیت‌ها و کاربری‌های متفاوت در سیستم فوق موجود است. این وسایل به دو صورت تملیکی و استیجاری می‌باشند. اجاره‌بهای وسایل نقلیه استیجاری به نوع و ظرفیت وسیله بستگی دارد.

بنابراین، هر چه از وسایل با ظرفیت کمتر استفاده شود، هزینه کمتری برای اجاره بها پرداخت می‌شود. البته کاهش هزینه، خطی نیست. در نتیجه انتخاب نوع وسیله در این مسئله از اهمیت زیادی برخوردار است. این ویژگی باعث می‌شود که مسئله مورد نظر چند وسیله‌ای باشد.

۲ـ۲ـ۴ـ جهت دار بودن مسیرها

وسایل نقلیه در نقاط عرضه، بارگیری و در نقاط مصرف، تخلیه می‌شوند. وسایل نقلیه پس از تخلیه به‌صورت خالی به نقاط مبدأ مراجعت نمی‌کنند (حتی‌الامکان) بلکه اقلام و کالاهای عرضه شده در آن منطقه را به نقاط مبدأ و یا نقاط دیگر حمل می‌نمایند. پس در شبکه حمل و نقل این مسئله بایستی مسیرهای میان نقاط عرضه و تقاضا به‌صورت رفت و برگشت در نظر گرفته شوند. به عبارت دیگر مسیرهای عبوری دارای دو جهت می‌باشند. برای این موارد از نگاشت‌های دو سویه یا شبکه‌های جهت‌دار استفاده می‌شود.

۲ـ۲ـ۵ـ وجود تنگناهای منطقی ـ ریاضی

در مسئله حمل و نقل سیستم لجستیک، علاوه بر تنگناهای معمول مسائل حمل و نقل، تنگناهای دیگری نیز موجود است. برخی تنگناها به‌صورت ریاضی قابل بیان هستند، ولی برخی از آنها منطقی است. انواع تنگناها به اجمال چنین‌اند:

ـ تنگناهای فناوری مثل ظرفیت و سرعت وسایل نقلیه

ـ تنگناهای زیر بنایی مثل موقعیت انبارهای منطقه‌ای و پایانه‌های ترابری؛

ـ تنگناهای مربوط به قوانین و مقررات حمل و نقل؛

ـ تنگناهای جغرافیایی مثل راه‌ها و عوارض طبیعی؛

ـ تنگناهای بودجه‌ای؛

ـ تنگناهای زمانی، برخی از کالاها و اقلام به دلیل اهمیت باید در فاصله زمانی کوتاه از هنگام درخواست به محل مصرف برسند. اقلام دارویی از این دسته هستند که تأخیر در ارسال این اقلام می‌تواند صدمات جانی و مالی عدیده‌ای به سازمان وارد آورد؛

ـ تنگناهای فرهنگی؛

ـ تنگناهای نیروی انسانی.

بنابراین مسئله مورد نظر با انواع تنگناهای ریاضی ـ منطقی مواجه است.

۲ـ۲ـ۶ـ پویا بودن

در این‌گونه مسائل معمولا فرض بر این است که همه کالاهای عرضه شده در نقاط (گره‌ها) عرضه به‌طور همزمان در دسترس است. چنین مدل‌هایی، مدل‌های ایستا هستند. در مقابل مدل‌های ایستا، مدل‌های پویا است. در این مدل‌ها کالاهای عرضه شده به‌صورت همزمان در نقاط عرضه آماده حمل نمی‌باشند. این کالاها به‌تدریج آماده حمل می‌شوند. در مسئله حمل و نقل سیستم لجستیک، نقاط عرضه به تدریج با آماده بودن کالاهای مورد نیاز نقاط مصرف، اعلان آمادگی می‌کنند. بنابراین مدل مسئله یک مدل پویاست.

۲ـ۳ـ فرض‌های مسئله

با توجه به تعریف مسئله و ویژگی‌های گفته شده، فرض‌های آن به‌صورت زیر است:

۲ـ۳ـ۱ـ زمان و مقدار تقاضای هر قلم در نقاط مصرف معلوم است؛

۲ـ۳ـ۲ـ انواع کالاهای موجود در نقاط عرضه محدود و مقدار آن معین است؛

۲ـ۳ـ۳ـ مدت زمان حمل کالاها توسط وسایل مختلف در هر یک از مسیرها معلوم است؛

۲ـ۳ـ۴ـ انواع وسائل موجود در هر نقطه عرضه یا نقطه انتقال، محدود و هزینه حمل برای هر واحد از هر کالا معین است؛

۲ـ۳ـ۵ـ ظرفیت وسایل حمل و نقل مشخص است؛

۲ـ۳ـ۶ـ تقاضای اقلام در نقاط مصرف حالت احتمالی نداشته و قطعی است.

۲ـ۴ـ تنگناهای مسئله

با در نظر گرفتن مسئله واقعی و ویژگی‌های اشاره شده در بخش‌های قبلی، تنگناها به شرح زیر می‌باشند:

۲ـ۴ـ۱ـ ظرفیت هر نوع وسیله محدود و حداکثر ظرفیت قابل حمل توسط یک نوع وسیله مشخص است؛

۲ـ۴ـ۲ـ مقدار ورودی به نقاط انتقالی با مقدار خروجی از این نقاط یکسان نیست؛

۲ـ۴ـ۳ـ مقدار عرضه بیشتر یا مساوی مقدار تقاضا است؛

۲ـ۴ـ۴ـ مقدار تقاضا کمتر یا مساوی با ظرفیت مجموع وسایل حمل و نقل در نقاط عرضه می‌باشد؛

۲ـ۴ـ۵ـ تنگناهای مربوط به مقررات و آیین نامه‌های حمل و نقل.

۲ـ۵ـ اهداف مسئله

در این مسئله هدف اصلی کمینه کردن زمان و هزینه حمل و نقل کالاها در دوره زمانی معلوم است. یعنی، با توجه به اینکه کالاها باید در زمان مشخص به مقاصد مورد نظر برسند، در هر نقطه عرضه و نقاط انتقالی چه تعداد از هر نوع وسیله حمل موجود باشد تا با کمترین هزینه ممکن کالاها به‌دست مصرف کننده برسد. پس اهداف مسئله عبارتند از:

هدف اول: کمینه کردن کل زمان حمل و نقل

هدف دوم:کمینه کردن کل هزینه حمل و نقل

۳ـ جایگاه مسئله در میان مسائل حمل و نقل

در این بخش به‌منظور نمایش جایگاه مسئله مورد بحث در میان مسائل حمل و نقل و شبکه، دسته‌های مختلف مسائل حمل و نقل ذکر می‌شود. تعیین جایگاه مسئله سبب می‌شود تا از تسهیلات نظری سایر مسائل هم خانواده و نزدیک بهره‌گیری شود. در صورتی که برمبنای دسته‌بندی مسائل و تعیین جایگاه مورد نظر، نتوان از تسهیلات نظری

سایر مسائل بهره گرفت، می‌توان اطمینان یافت که طبقه جدیدی از مسائل مورد بحث است. از این رو دسته بندی مسائل اهمیت ویژه‌ای در شناخت وضعیت مسئله و نظریه‌پردازی دارد.

۳ـ۱ـ دسته بندی مسائل شبکه و حمل و نقل

مسائل طراحی شبکه و حمل و نقل، دسته عمده‌ای از مسائل را شامل می‌شوند. این مسائل را می‌توان به دسته‌های زیر تقسیم نمود:

- مسئله کوتاهترین مسیر (SP) [1]
- مسئله حمل و نقل (TP) [2]
- مسئله تخصیص (AP) [3]
- مسئله حمل و نقل با واسطه (مرکب) [4]
- مسئله مسیریابی وسیله نقلیه (VRP) [5]
- مسئله طراحی شبکه بهینه [6]
- مسئله کوتاهترین درخت در برگیرنده (STP) [7]
- مسئله جریان شبکه [8]

۳ـ۲ـ مسائل مسیریابی و زمان‌بندی وسیله نقلیه

بخش اساسی هر سیستم پشتیبانی و لجستیک، مسیریابی و زمان‌بندی وسایل نقلیه برای ارائه خدمات و جمع‌آوری یا تحویل کالاست. به عنوان مثال می‌توان از جمع‌آوری زباله، تحویل مرسولات پستی، نظافت و برف روبی خیابان‌ها، مسیریابی اتوبوس مدرسه و دریافت و تحویل کالاها از منابع عرضه نام برد.

اهداف هر مسئله مسیریابی و زمان‌بندی به‌طور معمول کمینه کردن هزینه‌ها (به کمک کاهش طول مسیر یا تعداد وسایل نقلیه) برای یک میزان خدمت مفروض، یا بیشینه نمودن میزان خدمت است.

ویژگی‌های مسائل مسیریابی و زمان‌بندی وسایل نقلیه را می‌توان به‌صورت زیر دسته‌بندی نمود.

۳ـ۲ـ۱ـ زمانی که باید به یک گره یا کمان سرویس داده شود

ـ زمان مشخص و ثابت؛

ـ محدوده‌های زمانی؛

ـ زمان نامشخص.

۳ـ۲ـ۲ـ تعداد مبادی (پایانه وسایل نقلیه)

ـ یک پایانه؛

ـ چند پایانه (بیش از یک پایانه).

۳ـ۲ـ۳ـ تعداد وسایل در دسترس

ـ یک وسیله؛

ـ بیش از یک وسیله.

۳ـ۲ـ۴ـ نوع وسایل در دسترس

ـ حالت همگن (همه وسایل یکسان هستند)؛

ـ حالت ناهمگن (وسایل مختلف هستند).

۳ـ۲ـ۵ـ طبیعت تقاضاها

ـ قطعی؛

ـ تصادفی.

۳ـ۲ـ۶ـ محل تقاضاها

ـ در گره‌ها (نه لزوماً در همه گره‌ها)؛

ـ روی کمان‌ها (نه لزوماً در همه کمان‌ها)؛

ـ ترکیبی از حالات فوق.

۳ـ۲ـ۷ـ جهت در شبکه

ـ بدون جهت؛

ـ جهت دار؛

ـ ترکیبی از دو حالت فوق.

۳ـ۲ـ۸ـ تنگناهای ظرفیت وسیله

ـ به‌صورت اجباری ظرفیت همه وسایل یکسان هستند؛

ـ به‌صورت اجباری ظرفیت همه وسایل یکسان نیستند؛

ـ هیچ تنگنایی نیست.

۳ـ۲ـ۹ـ بیشینه زمان‌های مسیر وسیله

ـ به‌صورت اجباری همه یکسان هستند؛

ـ به‌صورت اجباری همه یکسان نیستند؛

ـ هیچ اجباری نیست.

۳ـ۲ـ۱۰ـ هزینه‌ها

ـ هزینه‌های متغیر با هزینه‌های مسیریابی؛

ـ هزینه‌های عملیاتی ثابت با هزینه‌های تقاضای وسیله (هزینه‌های سرمایه‌گذاری).

۳ـ۲ـ۱۱ـ عملیات

ـ فقط سوار نمودن یا جمع‌آوری؛

ـ فقط پیاده نمودن یا تحویل؛

ـ ترکیبی از حالات فوق.

1- Shortest Path Problem
2- Transportation Problem
3- Assignment Problem
4- Transshipment Problem
5- Vehicle Routing Problem
6- Optimal Network Design Problem
7- Spanning Tree Problem
8- Network Flow Problem

۳ـ۲ـ۱۲ـ هدف

ـ کمینه کردن هزینه‌های مسیریابی؛

ـ کمینه کردن مجموعه هزینه‌های ثابت و متغیر؛

ـ ترکیبی از دو حالت فوق.

۳ـ۲ـ۱۳ـ تنگناهای دیگر وابسته به مسئله که باید ملاحظه شود.

با توجه به طبقه بندی فوق، مسئله مورد بحث دارای پایانه‌های متعدد، وسایل نقلیه متعدد و ناهمگن، محل تقاضا در گره‌ها، دارای تنگنا برای ظرفیت وسیله نقلیه، دارای شبکه‌ای جهت‌دار و همچنین دارای زمان خدمت نامعین وسیله به هر گره است. این مسئله دارای اهداف کاهش هزینه و زمان حمل می‌باشد.

۴ـ ارائه مدل پیشنهادی

در این بخش با توجه به تعریف، فرض‌ها و تنگناهای مسئله مدل ریاضی حمل و نقل سیستم لجستیک ارائه می‌شود. در این راستا، ابتدا برخی از ویژگی‌های مهم مسئله که تأثیر زیادی در طراحی مدل مورد نظر دارند، بررسی شده و برای هر یک از موارد مذکور، پیشنهادی ارائه گردیده است.

با توجه با مطالعات و بررسی‌های انجام شده در این زمینه پویایی[1] مدل، دو هدفی بودن و تنوع در وسایل حمل و نقل سیستم لجستیک، از ویژگی‌های مهم و تأثیر گذار در طراحی مدل حمل و نقل این سیستم می‌باشند که در ادامه به تفضیل مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

شایان ذکر است که ویژگی‌های دیگر به‌صورت ذاتی در مدل پیشنهادی مدّ نظر قرار خواهد گرفت. (به عنوان نمونه می‌توان به چند کالایی بودن اشاره کرد).

۴ـ۱ـ پویایی مدل حمل و نقل

پویایی مدل‌های حمل و نقل، ویژگی عمده آنها به شمار می‌رود. منظور از پویایی تغییر پارامترهای مختلف مثل مکان، زمان و تقاضا (یا عرضه) در فواصل زمانی مختلف است.

نگرش‌های مختلفی در ارتباط با پویایی و منظور کردن آن در مدل وجود دارد. نگرش اول، منظور کردن پویایی به‌طور همزمان است. در برخورد دوم پویایی را به‌طور ناهمزمان در مدل حمل و نقل، منظور می‌کنند.

برای درک بهتر تفاوت دو رویکرد لازم است توجه شود که «پویایی» همان «مرحله‌مندی» است با این تأکید که در هر مرحله یک پارامتر (یا ویژگی مسئله)تغییر می‌کند. برای مثال یک مرحله می‌تواند یک هفته و یا یک ماه باشد و پارامتر می‌تواند میزان عرضه و یا تقاضای نقاط (گره‌های) مختلف باشد. در مدل‌هایی که پویایی را به‌طور همزمان منظور می‌کنند، کلیه مراحل وپارامترهای مربوط، یکجا منظور می‌شود. ولی در مدل‌های ناهمزمان تمام پارامترها صرفاً در یک مرحله لحاظ می‌شود. سپس مدل برای مرحله بعدی با اصلاحات لازم به کار می‌رود.

در مدل‌های همزمان به داده‌های دقیق و بسیار گسترده نیاز است. این مدل‌ها به مراتب جزئیات بیشتری دارند. واز این رو هزینه‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری آنها بیشتر است. در مدل‌های ناهمزمان، متغیرهای مربوط به اتصال مراحل حذف می‌شود. در نتیجه پاره‌ای از جزئیات مدل حذف شده و ساختار مدل از معایب فوق مبرا می‌شود.

در مدل‌های ناهمزمان، مراحل حمل و نقل را به‌طور همزمان در نظر نمی‌گیرند. منظور از مرحله در این مدل «دوره زمانی» است. به عبارت دیگر در مدل‌های ناهمزمان فقط برای یک دوره زمانی مدلسازی می‌شود. بنابراین می‌توان با انجام اصلاحات در تقاضای حمل و نقل دوره بعدی، برای دوره بعد مدلسازی و برنامه‌ریزی کرد. بر اثر این ویژگی می‌توان مدل سازی هر دوره را «ایستا» دانست. البته تکرار مدل‌های ایستا با دوره‌های زمانی متوالی، عملاً پویایی را نشان می‌دهد.

بنابراین، با در نظر گرفتن پویایی در مدل حمل و نقل سیستم لجستیک، استفاده از مدل‌های ناهمزمان منجر به کاهش پیچیدگی مدل پیشنهادی خواهد شد. در این راستا، از ماه‌های مختلف به عنوان دوره زمانی و میزان عرضه (تقاضا) در نقاط (گره‌های) مختلف به عنوان پارامتر استفاده خواهد شد. به عبارت دیگر مدل پیشنهادی برای حمل و نقل کالاهای سیستم لجستیک، یک مدل بهینه‌سازی و برنامه‌ریزی برای یک دوره خواهد بود. بدیهی است که به منظور استفاده از مدل مذکور در دوره‌های بعد،لازم است اصلاحات لازم در پارامترهای مدل (میزان عرضه و یا تقاضای اقلام در گره‌ها) صورت گیرد.

۴ـ۲ـ دو هدفی بودن مدل حمل و نقل

وجود اهداف متعدد در مسائل واقعی، باعث افزایش پیچیدگی این مسائل می‌شود. اهداف متصور برای سیستم‌های لجستیک به‌ویژه حمل و نقل، بسیار زیاد است.

1- Dynamism

این اهداف ممکن است در تضاد با هم باشند. به‌عنوان مثال، اهداف عمده‌ای که در مسائل حمل و نقل دنبال می‌شوند از قرار زیر است:

ـ حداقل کردن هزینه حمل و نقل اقلام و کالاها؛

ـ حداقل کردن زمان حمل و نقل کالاها.

اهمیت و اولویت اهداف مطرح در سیستم‌های مختلف حمل و نقل به ماهیت سیستم و نوع مأموریت محوله بستگی دارد. بدیهی است که یک سازمان انتفاعی به حداقل کردن هزینه‌های حمل و نقل و کسب سود اهمیت و اولویت بیشتری خواهد داد و حداقل کردن زمان حمل و نقل در قالب کسب سود مطرح خواهد شد. ولی اگر سازمان مورد نظر یک سازمان غیر انتفاعی با مأموریت نظامی باشد، در این صورت هدف حداقل کردن زمان حمل کالاها، اولویت بیشتری داشته و کاهش هزینه هدف دوم خواهد بود. در واقع برای سازمان مذکور کاهش هزینه حمل و نقل با شرط رعایت حداقل زمان مهم است. با توجه به بررسی‌ها و مطالعات انجام شده در این زمینه، یافتن رابطه‌ای برای تبدیل این اهداف و به کارگیری هدف واحد در مدل سازی، ضمن بی اعتبار کردن مدل حمل و نقل، سازمان مورد نظر را خطرپذیر خواهد کرد. با توجه به این موضوع مدل پیشنهادی دارای دو هدف مجزا خواهد بود که هدف اول حداقل کردن زمان حمل کالاها و هدف دوم، حداقل کردن هزینه حمل و نقل است. برای حل مدل پیشنهادی می‌توان از روش‌های حل مسائل چند هدفی استفاده کرد. یکی از این روش‌ها، روش «ترتیب قاموسی»[1] است. در این روش اهداف به‌طور مجزا وارد مسئله می‌شوند و سپس مسئله حل می‌گردد. بدین معنی که نخست مسئله تنها با هدف اول که اولویت بیشتری دارد (حداقل کردن زمان حمل)، حل می‌شود. سپس به حل مسئله با هدف دوم (حداقل کردن هزینه حمل) پرداخته می‌شود. در این مرحله؛ مقدار بهینه به‌دست آمده برای تابع هدف اول در مرحله یک به عنوان محدودیت مسئله ظاهر می‌شود.

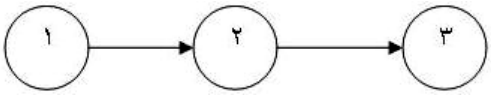
حل بهینه به‌دست آمده با این روش ضمن ارضاء هدف اول، هدف دوم را نیز تا حدّ امکان ارضای خواهد کرد. روش مذکور این امکان را به تصمیم گیرنده می‌دهد که به‌صورت میان کنشی[2]، مقادیر مختلفی را به عنوان حل بهینه اختیار کند.

۴ـ۳ـ چند وسیله بودن

یکی دیگر از ویژگی‌های مهم مسئله حمل و نقل سیستم لجستیک، تنوع وسایل حمل و نقل کالاست. در این قسمت ضمن تشریح این ویژگی، نوع برخورد، با مسئله نیز تعیین خواهد شد. فرض کنید چند نوع کالا در تعدادی مبدأ عرضه شود و قصد بر این باشد که کالا از این مبادی به نقاط میانی و سپس به مراکز تقاضا انتقال یابند. اگر یک نوع وسیله حمل و یک نوع محصول موجود باشد، مسئله یک مسئله مرسوم حمل و نقل مرکب است. حال چون کالا از چند نوع مختلف می‌باشند و هر یک دارای هزینه و واحد مستقلی هستند، مسئله به حمل و نقل چند محصوله تبدیل می‌شود. یکی از مشکلات مسئله حاضر این است که نوع وسایل حمل و نقل نیز مختلف است. به عبارت دیگر، در هر نقطه چند نوع وسیله حمل موجود است که دارای ظرفیت و هزینه حمل متفاوت برای هر یک از محصولات می‌باشند. این مشکل سبب می‌شود تا حمل و نقل چند وسیله‌ای چند محصوله تعریف شود.

برای حل این مشکل تلاش می‌شود تا مسئله در دو مرحله حل شود. ابتدا مشکل چند وسیله‌ای بودن حمل و نقل رفع می‌شود، یعنی مسئله به حمل و نقل چند محصوله تبدیل می‌شود و سپس با استفاده از روش‌های ارائه شده برای حل مسئله حمل چند محصوله، می‌توان مرحله دوم حل مسئله را انجام داد.

در شکل (۱) نقطه «۱» نقطه‌ای از شبکه حمل و نقل چند وسیله‌ای است. این نقطه شامل چند کالا و سه نوع وسیله مختلف برای حمل این کالا به نقطه «۲» می‌باشد. این کالاها باید توسط دو نوع وسیله حمل و نقل دیگر که در نقطه «۲» موجود می‌باشند به نقطه «۳» حمل شوند.



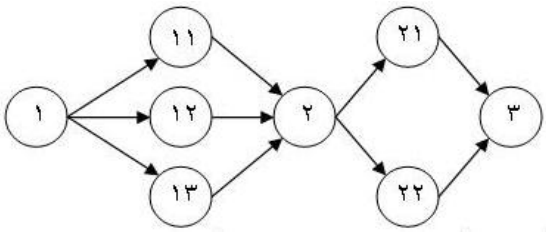
شکل (۱): قسمتی از شبکه حمل و نقل چند وسیله‌ای چند محصوله

توجه شود که در گره«۱» انواع مختلفی از وسایل حمل و نقل موجود است. بنابر این مسئله از مدل مدرسی (کلاسیک) شبکه حمل و نقل خارج می‌شود. از طرف دیگر با توجه به عدم توانایی در تشخیص نوع وسایل حمل، امکان نوشتن معادلات تعادل نیز سلب شده است.

برای رفع این اشکالات و حل مسئله، از گسترش شبکه با

1- Lexicographic
2- Interactive

استفاده از گره‌ها و کمانهای مجازی استفاده می‌شود. روش کار چنین است که شبکه شکل (۱) به‌صورت شکل (۲) بسط داده می‌شود.



شکل (۲): شبکه حمل و نقل چند محصوله شکل (۱)

چنانکه در شکل (۲) مشاهده می‌شود، هر وسیله موجود در گره «۱» با هزینه صفر به سه گره مجازی «۱۱»، «۱۲» و «۱۳» منتقل شده است و دو وسیله موجود در گره «۲» نیز به همین ترتیب به گره‌های «۲۱»، «۲۲» منتقل گردیده‌اند. حال اگر تنگناهای تعادلی برای محصولات مختلف در گره‌های موجود تعیین شود، مشاهده می‌شود که مسئله به مدل شبکه حمل و نقل چند محصوله مدرسی(کلاسیک) تبدیل شده است و می‌توان مدل را با استفاده از نرم‌افزارهای شبکه یا برنامه‌ریزی خطی حل کرد.

۴ـ۴ـ صورت‌بندی (فرمولاسیون) مسئله

در این قسمت، با توجه به مطالب ارائه شده در قسمت‌های پیشین، صورت‌بندی مسئله حمل و نقل لجستیک ارائه می‌شود. در این راستا ابتدا متغیرها، پارامترها و سایر نمادهای استفاده شده در صورت‌بندی، تعریف، سپس صورت بندی مورد نظر ارائه می‌گردد.

X_{ijk}^{p} = مقداری از کالای p که توسط وسیله نقلیه K از نقطه i به نقطه j حمل می‌شود.

Y_{ijk} = { ۱ وقتی که وسیله نوع K از نقطه i کالا حمل کند ؛ ۰ در غیر این صورت }

C_{ijk}^{p} = هزینه حمل کالای نوع p توسط وسیله نوع K از نقطه i به نقطه j

t_{ijk} = زمان حمل کالا توسط وسیله نوع k از نقطه i به نقطه j

a_i^p = مقداری از کالای نوع p که در نقطه i عرضه می‌شود

b_j^p = میزان تقاضای کالای نوع p در نقطه j

U_{jk} = بیشینه ظرفیت وسیله نقلیه نوع K در نقطه j

K_j = تعداد انواع وسیله نقلیه موجود در نقطه j

S_j^p = ذخیره اطمینان کالای p در نقطه j

r = تعداد انواع کالا

A = مجموعه مسیرها

p = مجموعه کالاها

K = مجموعه وسایل نقلیه

حال با توجه به مطالب بالا، مسئله حمل و نقل سیستم لجستیک سازمان مورد نظر را می‌توان به‌صورت زیر فرموله کرد:

$$\text{Min } Z_1 = \sum_{k=1}^{ki} \sum_{(i,\ j)\in A} t_{ijk}\, y_{ijk}$$

$$\text{Min } Z_2 = \sum_{p=1}^{r} \sum_{k=1}^{ki} \sum_{(i,\ j)\in A} C_{ijk}^{p}\, X_{ijk}^{p}$$

$$\sum_{j}\sum_{k=1}^{ki} X_{ijk}^{p} - \sum_{j}\sum_{k=1}^{kj} X_{ijk}^{p} = a_i^p \qquad (۱)$$

$$\sum_{j}\sum_{k=1}^{ki} X_{ijk}^{p} - \sum_{j}\sum_{k=1}^{kj} X_{ijk}^{p} = S_j^p \qquad (۲)$$

$$\sum_{j}\sum_{k=1}^{ki} X_{ijk}^{p} - \sum_{j}\sum_{k=1}^{kj} X_{ijk}^{p} = b_j^p \qquad (۳)$$

$$\sum_{p=1}^{r} X_{ijk}^{p} \le U_{ijk} \qquad (۴)$$

$$\sum_{p=1}^{r} X_{ijk}^{p} \le M y_{ijk} \qquad (۵)$$

$$X_{ijk}^{p} \ge 0 \qquad (۶)$$

$$Y_{ijk}^{p} \ge 0 \quad or\ 1 \qquad (۷)$$

$$\forall (i,j)\in A,\ P,\ K$$

۴ـ۵ـ روش حل

همان‌گونه که مطرح شد، برای حل مدل پیشنهادی از روش ترتیب قاموسی استفاده می‌شود. در این روش اهداف به‌صورت مجزا در نظر گرفته می‌شوند. یعنی با توجه به اینکه هدف اول «حداقل کردن زمان» از اهمیت بیشتری برخوردار است، در مرحله اول سعی می‌شود حل بهینه این هدف (بدون در نظر گرفتن هدف دوم) به‌دست آید. در مرحله بعد، فقط هدف دوم در نظر گرفته می‌شود و مقدار به‌دست آمده برای هدف اول در مرحله قبل (Z_1^*) به‌عنوان محدودیت در مرحله دوم ظاهر خواهد شد. با حل این مسئله در مرحله دوم، مقادیر قابل حمل در هر مسیر

مشخص خواهد شد. برای بررسی بیشتر روش مذکور، این روش در سه مرحله تشریح می‌شود.

۴ـ۵ـ۱ـ مرحله مقدماتی

یکی از مراحل مهم حل هر مسئله واقعی، تبدیل آن به یک مدل می‌باشد. این کار به‌منظور رویکرد ساختاری به مسئله و حل سیستمی آن انجام می‌شود. در اینجا نیز با استفاده از یک الگوریتم، مسئله واقعی به مدل شبکه‌ای تبدیل می‌شود. در این الگوریتم که الگوریتم مقدماتی نامیده می‌شود، امکان سنجی مسئله نیز آزموده می‌شود. نقشه جغرافیایی نقاط عرضه، انبارها و امثالهم تهیه و به عنوان ورودی به الگوریتم ارائه می‌شود. در حین انجام الگوریتم نیز داده‌هایی وارد می‌شوند که در واقع تمامی مشخصات مسئله را تشکیل می‌دهند. چنانچه مسئله حل شدنی باشد، پس از انجام مراحل این الگوریتم، مدل شبکه‌ای مسئله به همراه تمامی پارامترها و اعداد مشخص به‌صورت ساختار یافته به عنوان خروجی حاصل می‌گردد.

گام‌های الگوریتم مقدماتی به شرح زیر می‌باشند:

گام ۱. کلیه نقاط عرضه،تقاضا و نقاط میانی (انبارها) را به گره و مسیرهای ارتباطی را به کمان تبدیل کنید؛

گام ۲. گره‌ها را شماره‌گذاری کنید؛

گام ۳. کمان‌هایی را که تردد در آنها ممکن نیست از شبکه حذف نمایید؛

گام ۴. ماتریس زمان حمل بین گره‌ها را برای وسایل مختلف تشکیل دهید. عناصر این ماتریس مدت زمان حمل کالا توسط وسایل مختلف است.

گام ۵. ماتریس هزینه حمل کالاها را تشکیل دهید. عناصر این ماتریس، هزینه حمل کالای نوع P توسط وسیله نوع K می‌باشد؛

گام ۶. بردار ظرفیت وسایل حمل و نقل را تشکیل دهید؛

گام ۷. بردار مربوط به میزان تقاضای هر قلم در نقاط تقاضا را تشکیل دهید؛

گام ۸. بردار مربوط به انواع وسایل حمل و نقل موجود در هر نقطه را تشکیل دهید؛

گام ۹. کفایت ظرفیت وسایل در دسترس برای حمل اقلام مورد نیاز را بررسی کنید. اگر ظرفیت وسایل کافی نیست مسئله نشدنی است به گام ۱۲ بروید.

گام ۱۰. کفایت عرضه هر قلم را برای پاسخگویی به کلیه تقاضاها بررسی کنید. اگر تقاضای اقلام بیشتر از عرضه می‌باشد، مسئله نشدنی است به گام ۱۲ بروید.

گام ۱۱. حداقل زمان مورد نیاز برای حمل اقلام را با کمترین زمان ممکن، مقایسه کنید. اگر زمان به‌دست آمده بیشتر از زمان ممکن است، مسئله نشدنی است به گام ۱۲ بروید.

گام ۱۲. اگر تغییر اطلاعات اولیه ممکن است به گام یک بروید. در غیر این صورت مسئله قابل حل نیست. توقف کنید.

۴ـ۵ـ۲ـ مرحله اول

در این مرحله، با توجه به‌صورت‌بندی ارائه شده مسئله حل می‌شود. برای این منظور هدف اول در نظر گرفته می‌شود و حل بهینه با توجه به محدودیت‌های مسئله به‌دست می‌آید. بنابراین در این مرحله مسئله زیر حل می‌شود.

$$(p_1) MinZ = \sum_{k=1}^{ki} \sum_{(i,j)\varepsilon A} t_{ijk} y_{ijk}$$

$$s.t \;\; (1),(2),(3),(4),(5),(6),(7)$$

فرض کنید مقدار به‌دست آمده برای تابع هدف در این مرحله Z_1^* باشد. برای ادامه حل مسئله به مرحله دوم پرداخته می‌شود.

$$Min\ Z = Z_1^*$$

۴ـ۵ـ۳ـ مرحله دوم

این مرحله با یک مقدار بهینه برای مسئله «P_1» شروع می‌شود. در مرحله دوم، مقدار بهینه به‌دست آمده برای تابع هدف اول به‌صورت محدودیت ظاهر خواهد شد. بنابراین، در این مرحله مسئله زیر حل می‌شود:

$$(p_2) MinZ_2 = \sum_{p=1}^{r} \sum_{k=1}^{ki} \sum_{(i,j)\varepsilon A} C_{ijk}^{p} X_{ijk}^{p}$$

$$s.t \;\; (1),(2),(3),(4),(5),(6),(7)$$

$$\sum_{k=1}^{ki} \sum_{(i,j)\varepsilon A} t_{ijk} Y_{ijk}^{p} \le Z_1^* \qquad (۸)$$

با حل مسئله «P_2»، ترکیب مناسبی از میزان حمل اقلام در مسیرهای مختلف شبکه، به‌دست خواهد آمد. توجه به این نکته ضروری است که روش پیشنهادی یک روش میان کنشی است و تصمیم گیرنده می‌تواند با تغییر در مقدار به‌دست آمده برای تابع هدف اول Z_1^* در محدودیت «۸» ترکیب‌های مختلفی را به عنوان حل مسئله «$P.$» به‌دست آورد. به این منظور می‌توان به‌صورت زیر عمل کرد:

فرض کنید $Z_1 > Z_1^*$

حال محدودیت شماره «۸» را به‌صورت زیر تغییر دهید:

$$\sum_{k=1}^{ki} \sum_{(i,j)\varepsilon A} t_{ijk} y_{ijk} \le Z_1 \qquad (۹)$$

حل مسئله «P_2» با محدودیت «۹» به‌جای محدودیت «۸» جواب دیگری را به‌دست می‌دهد. بدیهی است، این جواب (از نظر هدف دوم)، بهتر از جوابی است که با محدودیت «۸» به‌دست آمده بود.

بنابراین، تصمیم گیرنده می‌تواند با تغییر در مقدار Z_1 جواب مناسب دیگری به‌دست آورد.

۵ـ مثال

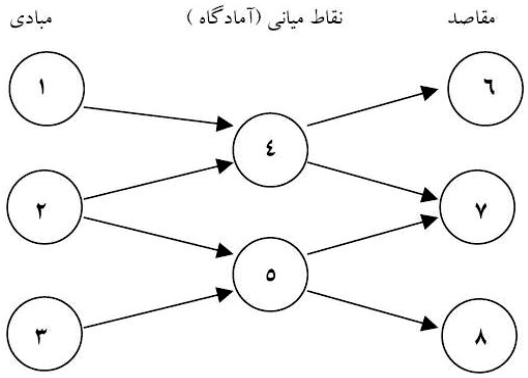
تحقیق انجام شده، بخشی از یک مسئله واقعی است که در آن تعداد اهداف، تنوع محموله‌ها، تنوع وسایل حمل‌ونقل، وجود پارامترهای متغیر با زمان، تنگناهای مختلف و بالاخره، تعداد مبادی، مقاصد و نقاط میانی (انبارها و مراکز آماری) مد نظر است.

برای مدل‌سازی و حل مسئله فوق‌الذکر می‌توان با در نظر گرفتن هر یک از ویژگی‌های مطرح، که در بالا به برخی از آنها اشاره شد، روشی را طرح و در نهایت با جمع‌بندی و تلفیق روش‌های مطرح شده، می‌توان مسئله مورد نظر را مدل‌سازی و حل نمود.

۵ ـ ۱ـ شرح مثال

فرض کنید یک سیستم لجستیک می‌خواهد اقلام و کالاهای خود را از نقاط عرضه به نقاط تقاضا (مصرف) حمل کند. برای این منظور تعدادی نقاط میانی (انبار) وجود دارد که به‌عنوان نقاط انتقال می‌باشند. برای فرموله و حل کردن مثال، فرض شود که پیش از این، مرحله مقدماتی انجام شده است. به‌عبارت دیگر، شبکه حمل و نقل (مسیرها و گره‌ها)، و تمامی اطلاعات مورد نیاز برای فرمولاسیون و حل مسئله، استخراج شده است. با توجه به توضیح فوق، شبکه شکل (۳) به عنوان شبکه حمل و نقل اقلام می‌باشد. در این شبکه نقاط (۱)، (۲) و (۳) مبادی، نقاط (۴) و (۵) انتقالی و نقاط (۶)، (۷) و (۸) مقاصد می‌باشند. مسیرهای ارتباطی نیز در شبکه مشخص می‌باشند.

فرض شود که در شبکه حمل و نقل فوق دو نوع وسیله نقلیه، سه نوع کالای A ، B و C را از نقاط عرضه، (نقاط (۱)، (۲) و (۳)) به نقاط (۴) و (۵) حمل می‌کنند. سپس کالاها و اقلام حمل شده به این نقاط، بعضاً با تعویض وسیله نقلیه به نقاط تقاضا (۶)، (۷) و (۸) انتقال داده می‌شوند. زمان لازم برای انتقال کالاها در مسیرهای مختلف توسط وسایل موجود در جدول (۱) آورده شده است.



شکل (۳): شبکه حمل و نقل مثال عددی

میزان عرضه و تقاضا برای کالاهای مختلف در نقاط عرضه و تقاضا به ترتیب در جدول (۲) و (۳) آورده شده است.

همچنین هزینه‌های حمل و نقل برای هر واحد از اقلام و ظرفیت وسایل موجود در جدول (۴) آمده است.

۵ ـ ۲ـ صورت‌بندی (فرمولاسیون) مسئله

مسئله‌ای که در بالا تشریح شد را می‌توان با توجه به مطالب گفته شده، به‌صورت شبکه چند محصولی شکل (۴) نشان داد. شبکه مزبور در ادامه ارائه خواهد شد.

در این شبکه، هزینه کمان‌های مجازی (خط چین) صفر می‌باشد و ظرفیت این کمان‌ها محدودیتی ندارد. در ابتدا و انتهای شبکه نیز به ترتیب گره‌های (S) و (F) اضافه شده است تا شبکه به‌صورت شبکه‌های مرسوم در آید. اگر A_{ij}، B_{ij} و C_{ij} به ترتیب مقادیری از کالاهای A، B و C باشند که از گره i به j حمل می‌شوند، مدل برنامه‌ریزی خطی مثال نمونه را می‌توان با استفاده از این متغیرها نوشت.

در این قسمت مدل ریاضی، مثال عددی ارائه می‌شود ولی از آنجا که ارائه کامل مدل ریاضی منجر به افزایش حجم مقاله شده و ضرورتی به ارائه کامل آن احساس نمی‌شود لذا فقط به ارائه بخشی از مدل‌ها بسنده می‌شود.

با توجه به شکل (۵) مسئله P_1 را که یک مسئله بهینه‌سازی است و هدف آن حداقل کردن مجموع زمان حمل اقلام در کلیه مسیرهاست تعریف می‌شود. مدل ریاضی این مسئله در شکل (۵) آمده است.

در اینجا از نوشتن کامل محدودیت‌های مسئله P_1 صرف‌نظر می‌شود.

جدول (۱): زمان لازم جهت حمل کالاها توسط وسایل مختلف در کلیه مسیرها

مسیر / وسیله	۱-۴	۲-۴	۲-۵	۳-۵	۴-۶	۴-۷	۵-۷	۵-۸
۱	۴	۳	۷	۵	۸	۴	۶	۳
۲	۱۰	۶	۲۰	۱۲	۱۵	۱۴	۱۰	۴

جدول (۲): مقدار عرضه اقلام در مبادی

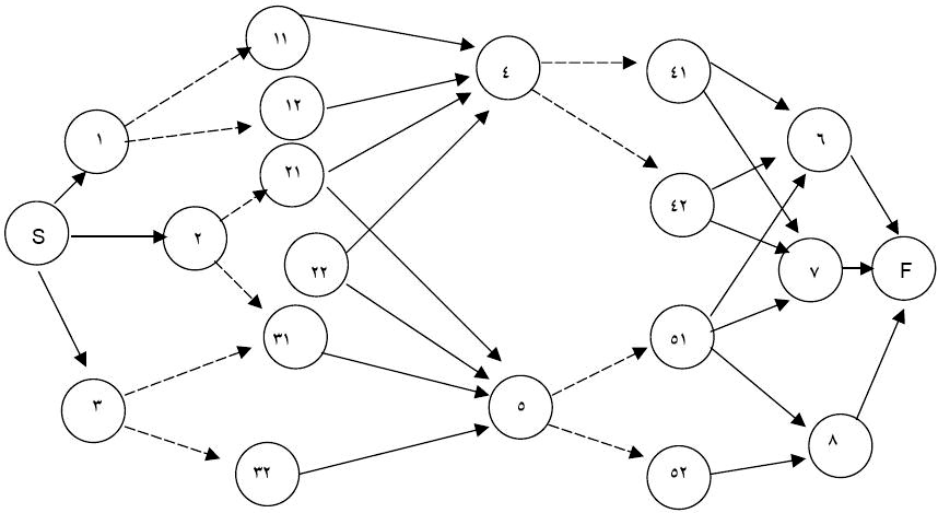
نقطه	نوع عرضه	مقدار عرضه
(۱)	A	۵۰
	B	۶۰
(۲)	B	۷۰
	C	۹۰
(۸)	A	۶۰
	B	۹۰
	C	۸۰

جدول (۳): مقدار تقاضای اقلام در نقاط مصرف

طه	نوع عرضه	مقدار عرضه
(۶)	A	۶۰
	C	۶۰
(۷)	B	۱۳۰
(۸)	A	۴۰
	B	۸۰
	C	۹۰

جدول (۴): هزینه‌های حمل اقلام

ظرفیت حمل	هزینه حمل (واحد) توسط رسایل مختلف			نوع وسیله
	C	B	A	
۱۵۰	۶	۸	۱۰	۱
۳۰۰	۸	۱۰	۱۵	۲



شکل (۴): شبکه توسعه یافته مثال عددی

$$Min \quad 4\,Y114 + 10\,Y124 + 3Y\,214 + 7Y\,215 + 6Y\,224 + 20Y\,225 + 5Y\,315 + 12Y\,325 + 8Y\,417 + 4Y417 + 15\,Y\,426 + 14\,Y\,427 + 6\,Y517 + 3\,Y\,518 + 10\,Y\,527 + 4\,Y\,528$$

$$ST:$$

$$A\,114 + B\,114 =< 150$$

$$A\,124 + B\,124 =< 300$$

$$215\;\; B214 + C214 + B215 + C215 =< 150$$

$$B\;224 + C\;224 + B\;225 + C\,225 =< 300$$

.....

شکل (۵): مدل ریاضی مسئله P_1

با حل مسئله P_1 به تنهائی، مقدار بهینه تابع هدف (Z_1^*) که معرف حداقل مجموع زمان حمل و نقل اقلام مختلف می‌باشد معادل ۴۵ واحد خواهد بود یعنی $Z_1^* = ۴۵$

همچنین جواب‌های به‌دست آمده در این مسئله به‌صورت جدول (۵) است. لازم به ذکر است که در این مسئله توجهی به بهینه‌سازی هزینه‌ای نشده است.

با توجه به جواب به‌دست آمده برای تابع هدف در مرحله اول ($Z_1 = ۴۵$) می‌توان مرحله دوم را شروع نمود. در این مرحله لازم است مسئله P_2 حل شود. هدف مسئله P_2 بهینه نمودن هزینه حمل اقلام با درنظر گرفتن محدودیت زمانی به‌دست آمده در مرحله اول می‌باشد. مدل ریاضی مسئله P_2 به‌صورت شکل (۶) است. ملاحظه می‌شود که تابع هدف مسئله P_1 به عنوان محدودیت در مسئله P_2 ظاهر خواهد شد.

با حل مسئله P_2 مقدار بهینه تابع هدف (Z^*) که معرف حداقل هزینه حمل و نقل اقلام در مسیرهای مختلف می‌باشد به‌دست خواهد آمد.

این مقدار بهینه به ۶۱۴۰ واحد می‌باشد. جواب‌های به‌دست آمده برای مسئله P_2 به شرح جدول (۶) است.

حال می‌توان با توجه به شرایط مختلف که می‌تواند بحرانی و یا عادی و یا ترکیبی از دو حالت فوق باشد به حل مسئله مورد نظر در عمل پرداخت. با توجه به اینکه سیستم‌های لجستیکی با هدف زمان و هزینه روبرو هستند لذا می‌توان با تغییر در میزان تابع هدف به‌دست آمده در مرحله اول ($Z_1 = ۴۵$) با هزینه کمتری مأموریت را انجام داد. به عبارت بهتر می‌توان زمان بیشتری را برای حمل و نقل منظور نمود.

در این‌صورت هزینه کمتری نیز به سیستم لجستیک تحمیل خواهد شد. مثلاً اگر مجموع زمان حمل و نقل برابر ۷۰ واحد فرض شود، هزینه حمل و نقل ۵۱۲۰ واحد خواهد شد. به هر صورت کاربر سیستم می‌تواند با فرض‌های مختلف مدل را حل نموده و جواب مناسبی را برای مسئله خود به‌دست آورد.

جدول (۵): جواب‌های مسئله P_1

متغیر	B 51	B 52	B 53	C 52	B 53	C 53	B 114	B 214	C 215	B 315	C 315	A 416	C 416	A 427	B 427	A 528	B 528	C 528	A6F
مقدار	۶۰	۷۰	۹۰	۸۰	۹۰	۱۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰	۶۰	۶۰	۱۷۰	۱۳۰	۴۰	۹۰	۹۰	۶۰
متغیر	C 6F	B 7F	A 8F	B 8F	C 8F	B 111	B 221	C 221	B 331	C 331	A 214	A 441	B 441	A 215	A 552	B 552	C 552	A 7F	
مقدار	۶۰	۱۳۰	۴۰	۹۰	۹۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰	۱۷۰	۱۷۰	۱۳۰	۴۰	۴۰	۹۰	۹۰	۱۷۰	

$Z_1^* = ۴۵$ حداقل مجموع زمان مورد نیاز برای حمل و نقل اقلام

MIN

10 A 114 + *8 B* 114 + *15 A* 124 + *10B* 124 + *8B* 214 + *6C* 214 + *8B* 215 + *6C* 215 +*10B* 224 + *8C* 224 + *10B* 225 +*8C* 225 + *10A* 315 + *8B* 315 + *6C* 315 + *15A* 325 + *10B* 325 + *8C* 315 + *10A* 416 + *6C* 416 + *8B* 417 + *10A* 426 + *6C* 426 + *10B* 427 + *8B* 517 + *10A* 518 + *8B* 518 +*6C* 518 +*10B* 527 +*10A* 528 +*8B* 257 + *6C* 528

ST:

A 114 + *B* 114 = <*150*

A124 +B124 =< 300

B214 +C214 + B215+ C215+ =< 150

B224+ C224+ B225+ C225 =< 300

.....

4 Y 114 + *10 Y* 124 + *3 Y* 214 + *7 Y* 215 + *6 Y* 224 + *20 Y* 225 + *5 Y* 315 + *12 Y* 325 + *8 Y* 416 + *4 Y* 417 + *15 Y* 426 + *14 Y* 427 + *6 Y* 517 + *3 Y* 518 + *10 Y* 527 + *4 Y* 528 =< 45+

شکل (۶): مدل ریاضی مسئله P_2

جدول (۶): جواب‌های مسئله P_2

متغیر	B114	B214	C215	B315	C315	A416	C416	B427	A528	B528	C528	B51	B52	C52	B53	C53	B552	A522
مقدار	۶۰	۷۰	۸۰	۸۰	۱۰	۶۰	۶۰	۱۳۰	۴۰	۸۰	۹۰	۶۰	۷۰	۹۰	۸۰	۱۰	۸۰	۴۰
متغیر	A427	A6F	C6F	B7F	A8F	B8F	C8F	B111	B221	C221	C222	B331	C331	A214	A441	A215	A7F	C552
مقدار	۱۷۰	۶۰	۶۰	۱۳۰	۴۰	۸۰	۹۰	۶۰	۷۰	۸۰	۱۰	۸۰	۱۰	۱۷۰	۱۷۰	۴۰	۱۷۰	۹۰

۶ ـ نتیجه‌گیری

اهم نتایج حاصل از این مقاله را می‌توان به‌صورت زیر فهرست نمود:

۶ـ۱ـ یکی از مهمترین ویژگی‌های سیستم‌های لجستیک نظامی، در مقایسه با لجستیک غیر نظامی، تأکید بر سرعت و زمان در مقابل هزینه است. این مهم منجر می‌شود که سیستم‌های مذکور همواره اهداف گوناگون را دنبال کنند در این تحقیق سعی شد زمان و هزینه که از اهداف مهم لجستیک نظامی است مورد نظر قرار گرفته و روشی برای حل مسئله حمل و نقل دو هدفی پیشنهاد شود.

۶ـ۲ـ مسائل واقعی بر خلاف مسائل کلاسیک پیچیده‌اند، یعنی دارای متغیرها و پارامترهای عدیده با اهداف چندگانه و عدم تعّین می‌باشند. به کمک فرض‌های تسهیلاتی غیر واقعی می‌توان آنها را ساده کرد. البته خطر بی اعتباری، مدل‌ها را تهدید می‌کند. همچنین ماهیت بیشتر مسائل واقعی، ترکیبی است. به عبارت دیگر تنها با نگرش سیستمی و جامع می‌توان مسائل سیستم‌های مقیاس بزرگ (از جمله سیستم لجستیک) را ملاحظه کرد. از طرف دیگر، ارتباط تنگاتنگ فعالیت‌هایی نظیر حمل و نقل، موجودی، انبار و امثالهم پیچیدگی مسئله را افزایش می‌دهد. این ویژگی‌ها سبب می‌شوند که مسائل واقعی حتی در مقیاس کوچک به سختی حل شوند. به‌علاوه، بسیاری از این مسائل دارای مدل‌های مناسب نیستند تحقیق حاضر تلاشی در جهت ارائه مدل جدید برای مسئله حمل و نقل سیستم لجستیک است.

۶ـ۳ـ روش پیشنهادی در این تحقیق دارای نقاط قوت و ضعف می‌باشد، که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

نقاط قوت روش پیشنهادی به‌طور اختصار چنین است:

ـ یکی از مهمترین نقاط قوت روش، در نظر گرفتن زمان و هزینه به عنوان دو هدف مجزاست. در بسیاری از تحقیقات انجام شده، ملاحظه می‌شود که تنها هدف هزینه به‌عنوان هدف اصلی مسائل حمل و نقل فرض شده است.

ـ حل میان کنشی بودن روش حل پیشنهادی، یکی از نقاط قوت روش مذکور است. به عبارت دیگر، تصمیم گیرنده می‌تواند با توجه به وضعیت‌های مختلف (بحران، اضطرار، عادی و امثالهم)، اولویت‌های گوناگونی به اهداف مسئله داده و حل مناسبی را به‌دست آورد.

ـ با توجه به اینکه روشی کارا و سریع برای صورت‌بندی (فرمولاسیون) و حل مسئله حمل و نقل چند وسیله‌ای چند محصوله با اهداف چند گانه وجود ندارد، بهترین و کاراترین روش در حال حاضر، روش ارائه شده در این تحقیق می‌باشد.

ـ قابلیت استفاده از نرم افزارهای موجود برای حل مسئله شبکه، جهت حل مدل پیشنهادی، یکی دیگر از مزایای روش است.

از نقاط ضعف مدل پیشنهادی می‌توان به گسترش شبکه و افزایش تعداد متغیرهای و محدودیت‌ها اشاره کرد. کاهش سرعت حل مسئله، به دلیل وجود متغیرهای صفر و یک نیز یکی از نقاط ضعف مدل پیشنهادی است.

۶ـ۴ـ آنچه در بخش مثال ارائه شد چکیده‌ای از روش حل یک مثال ساده بود که می‌تواند مبنایی برای طراحی سیستم‌های حمل و نقل لجستیکی باشد. ملاحظه شد که روش مذکور گرچه مقداری پیچیده و حجیم به نظر می‌رسد ولی در عمل می‌توان با طراحی مناسب سیستم اطلاعاتی مورد نیاز و طراحی یک سیستم پشتیبانی تصمیم (DSS)[1] مناسب از مشکلات مزبور کاست. در هر صورت به‌کارگیری این روش در سیستم‌های لجستیکی این حُسن را خواهد داشت که با توجه به وضعیت‌های مختلف امکان Off Trade کاربر با مدل ایجاد شده و جواب بهینه با توجه به هزینه و زمان که از معیارهای اساسی در سیستم لجستیک می‌باشند به‌دست آید.

منابع

[1] Ball, M., T.magnanti and L.Monma, Network Models, 1995.

[2] Barnhart,C., Dual-Ascent Methods For Large-scale Multicommodity Flow problems. Naval Research Logistics. Vol.40, PP. 305-324, 1993.

[3] Bazarra,M.S., J.J.sherali, Linear programming & Net work Flows , - and. John Wiley & Sons, 1990.

[4] Bellmore, M., and G.Bennington, m A Multivehicle Tanker Scheduling Problem. The MITRE corporation, MC Lean Virginia, 1985.

[5] ChristoFides, N. (1985), Vehicle scheduling and Routing. Presented at the 12th International symposium on Mathematical programming, Cambridge.

[6] Durbin, E.P, The out-of-kilter Algorithm: A Primer. Rand corporation, Santa Monica, 1967.

[7] Eilon,S. C.D.T. Watson-Gandy, Distribution Management: Mathematical modeling and Practical analysis . London: Griffin, 1971.

[8] Fisher,M, Optimal solution of vehicle Routing problems using Minimum K-Trees. Operation Research. Vol.42(4), July-August, 1994.

[9] Gillet,B. and L.Miller, A Heuristic Algorithm for The vehicle Routing problem . Operation Research. Vol.22, PP.340-349, 1974.

[10] Jeff,L. and V.Richard, Algorithms for Network Programming . John wilen wiley & sons, 1980.

1 - Decision Support System