مدل‌سازی زنجیره تدارک اقلام در سیستم آماد و پشتیبانی

رضا زنجیرانی فراهانی[1*]، نسرین عسگری[2]

دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۲/۲۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۴/۷

چکیده

در این مقاله، برنامه‌ریزی تدارک اقلام در زنجیره تأمین یک سیستم لجستیک نظامی مورد بررسی قرار می‌گیرد. این مقاله در پی تعیین این است که چه مقدار از هر قلم مورد نیاز سیستم لجستیک در هر ماه از هر تأمین‌کننده، تأمین گردد. برای این کار، یک مدل ریاضی با دو تابع هدف ارائه می‌گردد. از آنجا که در یک سیستم لجستیک نظامی، تحویل به‌موقع اقلام بسیار مهم است تابع هدف اول، هزینه‌های تحویل به موقع (شامل هزینه‌های کمبود و نگهداری) و خرید سیستم لجستیک را کمیته می‌کند. تابع هدف دوم، هزینه حمل و نقل تأمین‌کنندگان سیستم لجستیک را به‌عنوان شریک دیگر زنجیره تأمین، کمینه می‌کند. حل این مدل ریاضی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندهدفه (MODM)[3]، در مورد سیاست تأمین و حمل اقلام مورد نیاز لجستیک، تصمیم‌گیری خواهد نمود. در پایان، موارد مربوط به پیاده‌سازی مدل و مزایا و معایب آن ارائه خواهد گردید.

واژه‌های کلیدی: حمل و نقل، توزیع، تصمیم‌گیری چندمعیاره، بهینه‌سازی.

۱- مقدمه

در این مقاله، برنامه‌ریزی تدارکات اقلام یک سیستم لجستیک نظامی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این سیستم تدارک اقلام، دو نوع مالکیت حقوقی مستقل شامل سیستم لجستیک و تأمین‌کنندگان وجود دارند که باید برای یک برنامه‌ریزی دو طرف پیروز بین آنها تصمیم‌گیری شود؛ بنابراین با یک زنجیره تأمین روبرو هستیم (استدلر و کیلنچر[4]). در این مطالعه موردی، سیستم لجستیک نظامی و تأمین‌کنندگان توافق کرده‌اند که برای مدت طولانی همکاری داشته باشند. از آنجا که در این زنجیره تأمین، سیستم لجستیک نظامی عضو بسیار قدرتمند این زنجیره است، هزینه حمل و نقل برعهده تأمین‌کنندگان گذاشته شده است.

این مقاله در پی تعیین این است که چه مقدار از هر قلم مورد نیاز سیستم لجستیک در هر ماه از هر تأمین‌کننده، تأمین گردد. برای این کار، یک مدل ریاضی با دو تابع هدف ارائه می‌گردد. از آنجا که در یک سیستم لجستیک نظامی، تحویل به موقع اقلام بسیار مهم است، تابع هدف اول، هزینه‌های تحویل به موقع (شامل هزینه‌های کمبود و نگهداری) و خرید سیستم لجستیک را کمینه می‌کند. تابع هدف دوم، هزینه حمل و نقل تأمین‌کنندگان سیستم لجستیک را به‌عنوان شریک دیگر زنجیره تأمین، کمینه می‌کند. حل این مدل ریاضی نشان می‌دهد که دو تابع هدف با هم تضاد دارند؛ پس استفاده از روش‌های MODM مجاز خواهد بود. حل این مدل برای یک بازه زمانی یکسال و با پریودهای ماهانه صورت می‌پذیرد. استفاده از این مدل، مزایای زیادی نسبت به وضع موجود سیستم تدارک اقلام دارد که بیان خواهد شد.

در اینجا لازم است خلاصه‌ای از جایگاه سیستم تدارک اقلام و تشریح وظایف آن و همین‌طور محدوده و تعریف مسئله این تحقیق ارائه گردد.

نیروی نظامی وظیفه‌ی حراست از کشور را برعهده دارد، جهت انجام مأموریت‌های نظامی در این مطالعه موردی لازم است فرآیندها و سیستم‌های مختلفی ایجاد شده و فعالیت نمایند. فرآیندهای سیستم نظامی شامل سه دسته زیر است:

الف) فرآیندها و سیستم‌های مدیریتی (فرماندهی): شامل کلیه مراحل و فعالیت‌هایی است که فرآیندهای مأموریتی و پشتیبانی و نیز کل سازمان را طرح‌ریزی، برنامه‌ریزی، سازماندهی، هدایت و کنترل می‌نماید. فرماندهی و ستاد در سیستم نظامی نمونه‌ای از سیستم‌های مدیریتی است.

ب) فرآیندها و سیستم‌های مأموریتی: شامل کلیه مراحل و فعالیت‌هایی است که مأموریت اصلی سازمان را به انجام رسانده و خروجی‌های مأموریتی آن را تولید می‌کنند. نمونه‌ای از این

۱*- دانشیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی صنایع، نویسنده پاسخگو، پست‌الکترونیکی: farahan@aut.ac.ir، نشانی: تهران، خیابان حافظ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی صنایع.

۲- دکترای مهندسی صنایع، پست الکترونیکی: nasgary@ut.ac.ir

3- Multiple Objective Decision Making

4- Stadtler and kilnger (2005)

سیستم‌ها در سیستم نظامی، رده‌ها و یگان‌های عملیاتی هستند که مأموریت‌های اصلی سیستم نظامی را به انجام می‌رسانند.

ج) فرآیندها و سیستم‌های پشتیبانی: این فرآیندها شامل کلیه مراحل و فعالیت‌هایی است که فرآیندهای سازمان و نیز کل سازمان را از جنبه‌های مختلف پشتیبانی می‌کنند تا سازمان قادر به اجرای مأموریت‌هایش به‌نحو مطلوب گردد. سیستم مالی، سیستم نیروی انسانی، سیستم بودجه و اعتبارات و سیستم لجستیک نمونه‌ای از این سیستم‌ها در سیستم نظامی هستند.

محدوده این پروژه به فرآیندها و سیستم‌های پشتیبانی مربوط می‌شود. سیستم لجستیک به‌عنوان بخشی از سیستم پشتیبانی عمل می‌کند و یکی از زیر سیستم‌های نظامی و وابسته به آن است. تدارک اقلام نظامی یکی از وظایف اصلی سیستم لجستیک است و شامل تهیه و تأمین اقلامی است که جهت انجام مأموریت‌های سیستم نظامی به‌منظور حفظ توان و آمادگی نظامی نیروهای مربوطه مورد نیاز است و فعالیت‌های بسیاری از جمله استاندارد اقلام، برآورد، تأمین و توزیع را شامل می‌شود.

آنچه که در مدل‌سازی سیستم تدارک در این مطالعه پاسخ داده می‌شود این است: کالای موردنیاز مصرف‌کنندگان از کدام تأمین‌کننده، در چه زمانی و در چه مقداری تأمین گردد؟ در این راستا، بخش دوم به تشریح مسئله سیستم تدارک اقلام و بررسی نمونه‌هایی از ادبیات مرتبط با این موضوع می‌پردازد. در بخش سوم مدل مناسب ریاضی جهت اتخاذ تصمیمات در سیستم تدارک اقلام طراحی می‌گردد. بخش چهارم به حل مدل می‌پردازد. در بخش پنجم هم نتیجه‌گیری ارائه می‌گردد.

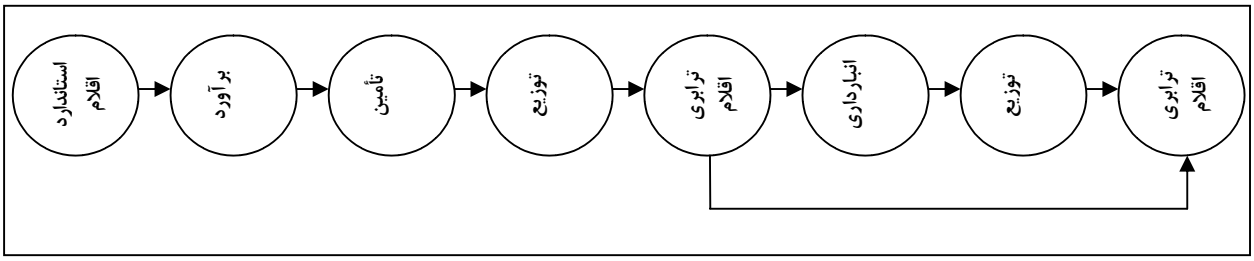
۲- تعریف مسئله

یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌هایی که در هر سیستم تدارک حائز اهمیت است، اقلام و کالاهایی است که در درون سیستم به گردش در می‌آیند. این موضوع مخصوصاً در سیستم لجستیک با وجود ۷۰۰ الی ۸۰۰ هزار نوع قلم کالا از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. در اینجا به تشریح فرآیندها و شرایط موجود سیستم تدارک اقلام در لجستیک نظامی پرداخته می‌شود.

۲-۱- سیستم تدارک اقلام

مأموریت تدارک در سیستم لجستیک شامل تهیه و تأمین اقلامی است که جهت انجام مأموریت‌های سیستم نظامی به‌منظور حفظ توان و آمادگی نظامی نیروهای مربوطه مورد نیاز است. این اقلام شامل تجهیزات سازمانی، مواد مصرفی و از این قبیل می‌شود. برای این منظور پس از تعیین نوع نیازها، اقلام مرتفع‌کننده نیازها مشخص و تهیه می‌گردد. از طرفی، متناسب با شرایط مصرف و کاربری هر یک و همچنین نحوه تهیه آنها (در صورت نیاز به ذخیره‌سازی) برای مدتی انبار شده و سپس بر اساس برنامه توزیع، اقلام موردنیاز به رده‌های پشتیبانی‌شونده تحویل داده خواهد شد. همچنین ممکن است بعضی از اقلام براساس برنامه توزیع پس از تهیه، بلافاصله به مصرف‌کنندگان یا کاربران آن ارسال گردد. به‌منظور انجام وظایف فوق فرآیند منطقی فعالیت‌ها که توالی این عملیات را بیان می‌دارد، در شکل (۱) ترسیم شده است. در ادامه به تشریح این فعالیت‌ها پرداخته می‌شود:

استانداردسازی اقلام: هدف از این فعالیت تعیین نوع، کیفیت و کمیت اقلام مورد نیاز سیستم نظامی است. در این فعالیت ابتدا بررسی و تحلیل نیازهای رده‌های پشتیبانی‌شونده صورت می‌گیرد، سپس اقلامی که این نیازها را برطرف می‌سازند براساس پارامترهای مختلفی تعیین می‌شوند. با توجه به این اقلام می‌توان جداول سازمان رده‌های سیستم نظامی و استانداردهای مصرف را تدوین نمود. همچنین مشخصات و ویژگی‌های اقلام به‌عنوان استاندارد اقلام مشخص شده و اقلامی که این ویژگی‌ها را رعایت می‌کنند، تعیین می‌گردند. سپس جهت کاهش تنوع اقلام در سازمان با توجه به معیارهای مربوطه یکنواخت‌سازی انجام شده و به‌منظور سهولت در امور لجستیک به خصوص تدارک، کدگذاری اقلام انجام می‌گیرد.



شکل (۱): فعالیت‌های فرآیند تدارک اقلام

برآورد: هدف از این فعالیت، تعیین حجم اقلام مورد نیاز رده‌های پشتیبانی‌شونده است. بدین صورت که براساس استاندارد (نرم) مصرف اقلام و جداول سازمان و همچنین آمار و ارقام رده‌های پشتیبانی‌شونده، مأموریت‌ها، طرح‌های توسعه مصوب، ضرایب استهلاک و جایگزینی، اقلام مصرفی و سازمانی مورد نیاز مشخص می‌گردد و سپس اختلاف این مقادیر با موجودی اقلام مورد نیاز محاسبه شده و براساس محدودیت‌های بودجه‌ای، درصد و میزان بودجه تخصیصی به تفکیک طبقات اقلام و رده‌های پشتیبانی‌شونده تعیین و تصویب شده و اعتبارات مورد نیاز دریافت و تخصیص داده می‌شود.

تأمین: در مراحل قبل اقلام مورد نیاز و ویژگی‌های آنها تعیین می‌گردد. همچنین اقلام مورد نظر در طبقات مختلف (سازمانی و مصرفی) به رده‌های پشتیبانی‌شونده تخصیص داده می‌شوند. در این مرحله از فرآیند اقلام مورد نیاز از مبادی تأمین تهیه می‌شوند. هدف از این فعالیت برنامه‌ریزی جهت تأمین از مبادی تأمین و پیگیری‌های لازم جهت دریافت اقلام مورد نظر از خارج کشور، سازمان صنایع دفاعی (ساصد) و تولیدکنندگان داخلی است.

توزیع: هدف از این فعالیت، توزیع اقلام به رده‌های پشتیبانی شونده است. پس از اینکه براساس برنامه تأمین و همچنین نیازهای برآورد شده رده‌ها، سیاست‌ها و اولویت‌ها، اقلام مورد نظر تهیه و تأمین شدند، بخشی از آنها به‌طور مستقیم به مصرف‌کنندگان یا کاربران اقلام و بخشی دیگر به مراکز ذخیره ارسال خواهد شد. سپس براساس برنامه توزیع، اقلام ذخیره شده در انبارها به رده‌های پشتیبانی‌شونده ارسال خواهند شد.

انبارداری: به‌منظور استمرار و تداوم فعالیت‌های زنجیره تأمین، شرایط مهمی از قبیل مدت زمان تولید، یا تهیه اقلام و تحویل آن به‌صورت دسته‌ای در دوره‌های زمانی مختلف، مدنظر قرار می‌گیرد. همچنین برای اقلام استراتژیک، ذخیره نظامی در نظر گرفته می‌شود. هدف این فعالیت، ذخیره کردن اقلام براساس برنامه تأمین و توزیع است، تا بتوان مداومت و استمرار را با ایجاد تأخیر زمانی در ارسال اقلام دریافت شده به‌وجود آورد. در نتیجه لازم است در این انبارها که به‌عنوان مخازن عمل می‌نمایند، کیفیت و کمیت اقلام مورد توجه قرار گیرند، چرا که تأخیرات زمانی در تحویل اقلام مواردی از قبیل فرسوده شدن، فاسد شدن و کهنگی را برای اقلام ایجاد می‌نماید.

حمل و نقل اقلام: پس از انجام برنامه‌ریزی تأمین از مبادی تأمین و برنامه‌ریزی توزیع اقلام به مصرف‌کنندگان و کاربران اقلام، با فرارسیدن زمان تحویل اقلام می‌بایستی توسط ناوگان ترابری، این اقلام بارگیری و سپس به مقاصد مورد نظر حمل شوند. در حالت اول این انتقال می‌تواند از مبادی تأمین از قبیل ساصد، مراکز تولیدی سیستم نظامی و کارخانه‌جات داخل کشور به مراکز انبارداری و مصرف‌کنندگان صورت گیرد. علاوه بر حالت فوق این ناوگان براساس برنامه توزیع، اقلام ذخیره شده در انبارها را دریافت، بارگیری و به نقاط موردنظر که یگان‌های رزمی و رده‌های پشتیبانی‌شونده سیستم نظامی هستند، انتقال می‌دهد. توجه به این نکته مهم است که محدوده این مطالعه موردی شامل سه فرآیند (چگونگی) تأمین اقلام از تأمین‌کنندگان، حمل و نقل اقلام و توزیع اقلام به مصرف‌کنندگان از بین شش فرآیند فوق است.

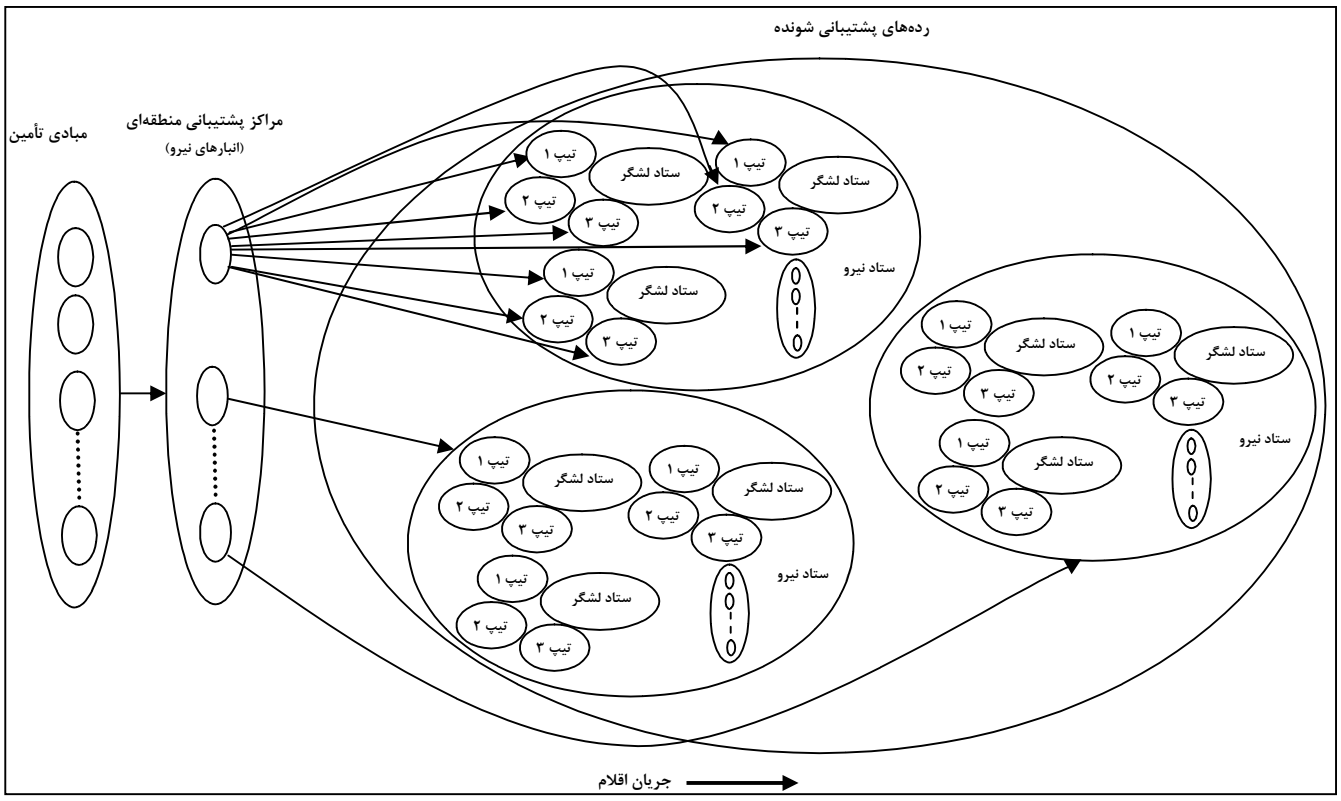
۲-۲- تشریح شبکه زنجیره تأمین لجستیک

ساختار شبکه‌ای شکل (۲) را می‌توان به‌عنوان یک زنجیره تأمین تعریف کرد که هر یک از گره‌های آن به‌عنوان یک موجودیت از زنجیره تأمین مطرح می‌شوند. در این زنجیره تأمین، تمرکز بر روی جریان اقلام است. شکل‌های (۲) و (۳) به ترتیب وضع موجود جریان فیزیکی اقلام در زنجیره تدارک برای دو حالت ارسال غیرمستقیم و ارسال مستقیم اقلام را نمایش می‌دهند. شایان ذکر است که مورد اول حالت سنتی جریان اقلام بوده و در حال حاضر روند حرکت اقلام از ارسال غیرمستقیم به ارسال مستقیم تغییر یافته است. در شکل‌های (۲) و (۳) برای آسانی در مدل‌سازی و برنامه‌ریزی، ستاد نیرو هم به‌عنوان مصرف‌کننده‌ای در سطح لشکر در نظر گرفته شده است؛ به‌طور مشابه، ستاد لشکر به‌عنوان مصرف‌کننده‌ای در سطح تیپ در نظر گرفته شده است. ضمناً، با توجه به نحوه برنامه‌ریزی در وضع موجود، تقسیمات پایین‌تر از سطح تیپ در نظر گرفته نشده است. در حال حاضر یک حالت ترکیبی هم وجود دارد؛ به‌عبارت دیگر، سه نوع ارسال به‌صورت زیر وجود دارد که بر مبنای آنها مدل‌سازی صورت پذیرفته است:

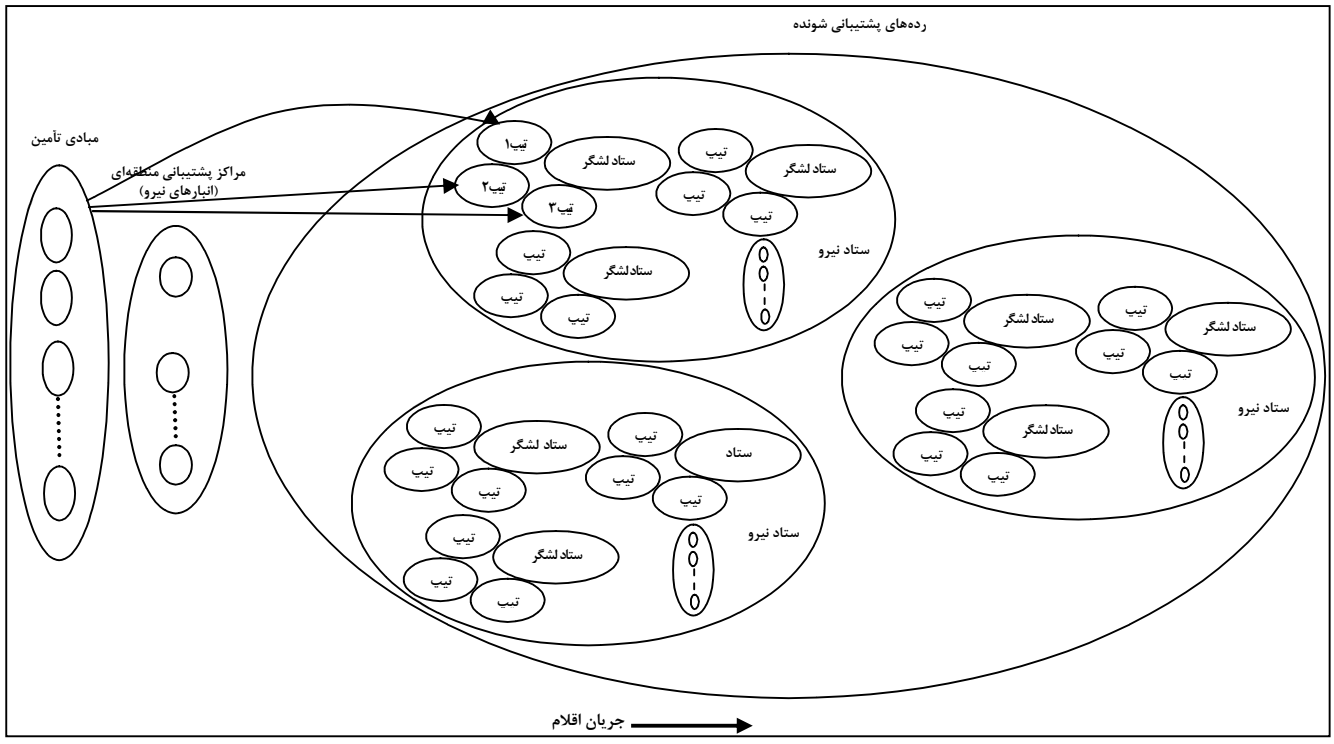
- ارسال غیرمستقیم
- ارسال مستقیم
- ارسال ترکیبی (مستقیم و غیرمستقیم)

۲-۳- لزوم طبقه‌بندی اقلام

تنوع، گستردگی و ویژگی‌های اقلام موجود در سیستم نظامی تقریباً با هیچ سیستم دیگری قابل قیاس نیست. در این سیستم حدود ۷۰۰ الی ۸۰۰ هزار نوع کالا وجود دارد که هر یک از این کالاها با جایگشت‌های مختلف می‌تواند وارد سیستم شود. این تنوع اقلام ممکن است در سال‌های مختلف متفاوت باشد؛ به‌عبارت دیگر، بخشی ثابت و بخشی



شکل (۲): وضع موجود جریان فیزیکی اقلام در زنجیره تدارک برای اقلام ارسال غیرمستقیم



شکل (۳): وضع موجود جریان فیزیکی اقلام در زنجیره تدارک برای اقلام ارسال مستقیم

متغیر است که ممکن است از چرخهٔ مصرف خارج شده و یا به چرخهٔ مصرف اضافه شود. از طرف دیگر این طیف ذکر شده، قطعات را هم شامل نمی‌شود. به عبارت دیگر، اگر مقولهٔ قطعات هم به این تنوع افزوده شود، تنوع اقلام به‌طور چشم‌گیری بیش‌تر می‌شود. به‌عنوان نمونه، یک نوع اتومبیل معمولی، چیزی حدود ۲۰ الی ۳۰ هزار قطعه با تنوع

محصولات را در بر می‌گیرد که این قطعات هم در هنگام تعمیرات و نگهداری خودرو در سیستم تدارک حرکت می‌کنند. این اتومبیل به‌عنوان یک کالا محسوب شده است ولی قطعات آن به‌عنوان قلم کالا محسوب نشده‌اند. حالا تصور نمایید اگر این مقوله به تجهیزات شناوری، هواپیمایی و از این قبیل تسریع یابد چه تنوع وسیعی وجود خواهد داشت! در یک طبقه بندی، کالاها در سه دسته قرار می‌گیرند:

- کالاهای مصرفی (مثل پوشاک)
- کالاهای سرمایه‌ای (مثل میز، صندلی و خودرو)
- اقلام نظامی
  - اقلام عمده‌ی دفاعی(مثل توپ و تانک)
  - اقلام غیرعمده دفاعی (مثل مهمات و تسحیلات مصرفی)

یک دیدگاه دیگر در طبقه بندی اقلام به نوع منبع تأمین آنها برمی‌گردد:

- منابع داخل کشور: این‌ها اقلامی هستند که در داخل کشور قابل خرید یا تولید بوده و عمدتاً غیرنظامی هستند. به نوع خرید این اقلام «خریدهای داخلی» گفته می‌شود. این اقلام یا تولید کننده آنها در داخل کشور قرار دارند. در بعضی موارد، بخشی از اقلام، تولید کننده خارجی دارند ولی نماینده انحصاری آنها در داخل کشور هست.
- منابع خارج کشور: بخش دیگری از خریدها از خارج کشور انجام می‌گردد. بعضی از اقلام نظامی و غیرنظامی از خارج کشور تهیه می‌گردد.
- صنایع نظامی کشور: بخش دیگری از نیازمندی‌ها از منبع دیگری تحت عنوان «صنایع نظامی کشور» تغذیه می‌شود. صنایع نظامی کشور مجموعه‌ای وابسته به وزارت دفاع است.

۲-۴- افق زمانی مدل‌های تدارک اقلام

برنامه ایجاد شده باید برنامه‌ای باشد که در کمترین ظرف زمانی آن با مقاطع یک ماهه (یا در بیشترین حالت سه ماهه) باشد. به‌عبارت دیگر، در سخت‌ترین حالت، مدل‌های طراحی شده باید بازه زمانی یکساله و ظروف زمانی یک‌ماهه را در نظیر بگیرد.

۲-۵- محدوده مطالعه موردی

محدوده مورد بررسی و فرضیات مهم مربوط به این مطالعه به‌صورت زیر است:

- علاوه بر کالاها، یکی دیگر از موجودیت‌هایی که در سیستم لجستیک نظامی تدارک می‌شود، خدمات است که در این مطالعه مورد بررسی قرار نگرفته است.
- اعمال آنالیز ۲۰-۸۰ (پارتو یا ABC) برای تعیین تعداد کمی از اقلام که هزینه و حساسیت بیشتری از سیستم تدارک اقلام را به خود معطوف می‌نماید. این مطالعه بر روی اقلام طبقه A انجام شده است.
- محدوده این پروژه را اقلامی تشکیل می‌دهند که به‌صورت ترکیبی در شبکه (شکل‌های (۲) و (۳)) حرکت می‌کنند.

۲-۶- مرور ادبیات

در مورد بهینه‌سازی سیستم‌های مربوط به تدارک، توزیع و حمل و نقل اقلام تحقیقات بسیاری در جهان صورت گرفته است که می‌تواند به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در چنین مطالعاتی مورد استفاده قرار گیرد. در اینجا به‌طور خلاصه به چند مورد از آنها اشاره می‌گردد.

دی‌بون[1] سیستم توزیع و حمل گل در هلند را بررسی کرد. در این سیستم باید ۲۰۰ نوع گل از ۳۵۰۰ مبدأ به بیش از ۱۰۰۰ مقصد حمل و توزیع شود. روزانه ۴ تا ۸ میلیون گل در مدت چهار ساعت، طی تقریباً ۲۰۰۰۰ معامله که هر کدام شامل ۱ تا ۲۵۰ دسته یا جعبه گل است، فروخته می‌شود.

اسپرانزا و یوکوویچ[2]، شبکه توزیعی متشکل از ۱ مبدأ و ۱ مقصد را در حالت چند محصولی درنظر گرفت. در این مقاله، هدف پیدا کردن فراوانی حمل هر محصول (درصد استفاده از هر فراوانی حمل در ارسال هر محصول است، درصورتی‌که، استفاده از چند نوع فراوانی حمل برای یک محصول مجاز باشد) و تعداد وسایل حمل موردنیاز است، به‌طوری‌که هزینه‌های حمل و موجودی در هر سیکل کمینه شود.

داس و تیاگی[3]، به بررسی ضرورت تمرکز موجودی در یک مکان و یا چند مکان می‌پردازد. هر چه تعداد مکان‌های ذخیره موجودی افزایش یابد، هزینه‌های حمل افزایش و زمان تحویل کاهش می‌یابد. در این مقاله پنج حالت مختلف برای مکان‌های ذخیره درنظر گرفته شده است.

هیمن و هودلی[4]، در مقاله خود یک مدل موجودی دوسطحی با یک انبار در سطح اول و چند انبار در سطح دوم، در حالت تک دوره‌ای درنظر گرفته‌اند. خروجی این مسئله، تعیین سطح موجودی تمام انبارها پس از تعدیل‌های انجام

1- De Boon (1978)
2- Speranza and Ukovich (1993)
3- Das and Tyagi (1997)
4- Heyman and Hoadley (1977)

شده است، به‌طوری‌که هزینه‌های کمبود، نگهداری موجودی و حمل‌های سریع در طی دوره کمینه شود.

بری و همکاران[1]، به طراحی سیستم‌های توزیع پیچیده که شامل تعداد زیادی نقطه دریافت و ارسال است، می‌پردازند. داده‌های ورودی مسئله، جریان تقاضا بین هر جفت نقطه Origin- Destination، هزینه هر واحد ظرفیت در هر مسیر و محدودیت‌هایی مثل حداکثر جریان ترافیک هر مسیر و تعداد نقاط میانی است. خروجی مسئله این است که آیا یک مسیر بین دو نقطه وجود داشته باشد یا نه؟ و سپس، چه سطح ترافیکی روی هر مسیر باید باشد؟ در این مقاله برای حل مسئله تعریف شده، استفاده از برنامه‌ریزی خطی و الگوریتم ژنتیک پیشنهاد شده است.

جایارامن[2]، روابط بین مکان‌یابی تسهیلات، مدیریت موجودی و تعیین سیاست‌های حمل و نقل را به‌صورت هم‌زمان در یک محیط طراحی شبکه توزیع درنظر گرفته است و با توجه به روابط بین این سه فضا، برای طراحی یک‌پارچه شبکه‌های توزیع، یک مدل ریاضی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط ارائه می‌کند.

کیویو و همکاران[3]، شبکه توزیعی شامل یک انبار مرکزی و تعدادی تأمین‌کننده را مورد بررسی قرار داده‌اند. میزان تقاضای انبار غیر قطعی است و از یک سیاست تغییر یافته از مرور دوره‌ای برای کنترل موجودی‌ها استفاده می‌شود. در روش حل، مسئله به یک مسئله موجودی و زیر مسائل مسیریابی مربوط به آن تجزیه شده است. مسئله موجودی برای هر قلم کالا حل می‌شود و برای حل زیر مسائل مسیریابی مربوط به هر یک باید به تعداد دوره‌ها مسئله TSP حل شود.

کیم و کیم[4]، یک سیستم تک محصولی با یک نوع وسیله حمل و تعداد وسایل حمل محدود را بررسی می‌کنند. این سیستم متشکل از یک انبار مرکزی و N خرده‌فروش است که در یک افق زمانی مشخص، تقاضای هر خرده فروش در هر دوره مشخص است. قصد بر این بود که زمان‌بندی ارسال کالا از انبار خرده‌فروش‌ها به‌گونه‌ای تعیین شود که مجموع هزینه‌های حمل از انبار به خرده فروش‌ها و هزینهٔ موجودی در محل خرده فروش‌ها کمینه شود، به‌طوری‌که خرده فروش‌ها با کمبود مواجه نشوند. در این مقاله یک الگوریتم هیوریستیک دو مرحله‌ای پیشنهاد شده است.

لومسدن و همکاران[5]، سیستم توزیع اروپا که توزیع کالاها در سطح بین‌المللی را انجام می‌دهد، بررسی می‌کنند. این سیستم توزیع در بیش از ۱۳۰ کشور و با بیش از ۴۴۰۰۰ نیروی انسانی و ۸۰ مرکز تولید کالا، فعالیت خود را انجام می‌دهد. در سال ۱۹۹۳ برای این سیستم پروژه‌ای به نام New Euroupean Distribution System، تعریف شد که هدف اصلی آن طراحی مجدد سیستم لجستیک و افزایش کارآیی توزیع بود. در این پروژه سه حالت مختلف برای سیستم توزیع (یک حالت فعلی و دو حالت جدید) بررسی شده و نتایج حاصل از آنها با هم مقایسه شد.

تاکاکووا و فوجی[6]، شبکه‌ای که شامل نقاط تأمین، نقاط حمل و نقاط تقاضا است، درنظر گرفته‌اند. در این شبکه، محصولات از تأمین‌کننده‌ها به نقاط حمل، منتقل می‌شوند و سپس طبق تقاضای مشتری به گره‌های تقاضا فرستاده می‌شوند. در این مقاله، روش شبیه‌سازی برای ساخت و حل مدل انتخاب شده است که روشی کاربردی و قوی است و همچنین، زمان ساخت مدل با این روش، بسیار کوتاه است.

سابری و بیمن[7]، به بررسی یک زنجیره تأمین با تقاضای غیرقطعی، چند محصول، چند ماده اولیه، چند تأمین‌کننده، با وجود کارخانجات، مراکز توزیع و نواحی تقاضا پرداخته‌اند. در سطح استراتژیک ساختار بهینه شبکه تعیین می‌شود و تصمیمات مکان‌یابی، میزان تولید، تخصیص مراکز توزیع به نواحی تقاضا و میزان حمل کالاها بین تسهیلات با دو تابع هدف حداکثر کردن انعطاف‌پذیری و کمینه‌کردن هزینه‌ها اتخاذ می‌شوند. در سطح عملیاتی، سیاست مرور پیوسته موجودی و فرض عدم قطعیت‌ها در تقاضای مشتریان، مدت تحویل تولید و تأمین مواد اولیه درنظر گرفته شده و از توابع هدف کمینه کردن هزینه‌ها، حداکثر کردن سطح خدمت و حداکثر کردن انعطاف‌پذیری جهت تعیین نقطه سفارش، میزان اقتصادی سفارش و میزان تولید استفاده شده است.

گونزالس و فرنالدز[8]، سیستم‌های توزیع متشکل از چند مقصد را در نظر می‌گیرند. آنها به دنبال تعیین مقدار کالای فرستاده شده از هر مبدأ به هر مقصد و مسیریابی وسایل نقلیه

1- Berry et al.(1998)
2- Jayaraman(1998)
3- Qu et al. (1999)
4- Kim and Kim (1999)
5- Lumsden et al. (1999)
6- Takakuwa and Fujii (1999)
7- Sabri and Beamon (2000)
8- Gonzalez and Fernandez (2000)

هر مبدأ می‌باشند، به‌طوری‌که جمع هزینه‌های حمل کمینه شود. برای حل مسئله از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است.

جایارمن و پیرکول[1]، زنجیره تأمینی شامل تأمین‌کنندگان، کارخانجات، مراکز توزیع و نواحی تقاضا را با چند محصول با تقاضای قطعی بررسی می‌کنند و مدلی برای تصمیم‌گیری همزمان در دو سطح استراتژیک و عملیاتی برای راه‌اندازی تسهیلات، تعیین میزان تولید، تخصیص مراکز توزیع به نواحی تقاضا و میزان حمل ارائه داده‌اند. تابع هدف مسئله به‌صورت کمینه‌کردن هزینه‌هاست و برای حل آن از یک روش هیوریستیک بر پایه بهینه‌سازی زیرگرادیان[2] استفاده می‌کنند.

هونگ[3]، با در نظر گرفتن سطوح خدمت موردنیاز، به طراحی یک سیستم لجستیکی شامل تعدادی مراکز تولید، انبارها یا مراکز توزیع و مشتریان با مقادیر تقاضای غیرقطعی می‌پردازد. مسافت‌های توزیع احتمالی دارند. برای حل این مسئله ابتدا از روش پوشش کلی تصادفی برای راه‌اندازی انبارها استفاده شده است. تابع هدف به‌صورت کمینه‌کردن هزینه‌های لجستیک و تعداد انبارهایی که می‌توانند راه‌اندازی شوند بیان می‌شود. سپس تصمیمات مسیریابی و تعیین میزان سفارش انبارها به مراکز تولید با استفاده از یک روش برنامه‌ریزی شی‌گرا بر مبنای الگوریتم ژنتیک اتخاذ می‌شود به‌طوری‌که هزینه‌های لجستیکی کمینه شود.

یوکویاما[4]، سیستمی متشکل از چند مرکز توزیع و چند مشتری درنظر گرفته است که بر مبنای تقاضای مشتریان، محصولات از مراکز توزیع به مشتریان حمل می‌شود. هر مشتری به مرکز توزیع خاصی اختصاص ندارد و می‌تواند از هر مرکز، خدمت دریافت کند. سیستم موجودی مراکز توزیع نیز از سیاست مرور دوره‌ای (Ri,Ti) استفاده می‌کند. هدف این مقاله، پیدا کردن Ri مربوط به هر یک از مراکز توزیع و میزان حمل از هر مرکز توزیع به هریک از مشتریان در هر بازه زمانی است. برای این منظور، مدلی خطی ساخته شده که هدف آن کمینه‌سازی متوسط هزینه‌های حمل و نقل موجودی است.

سیاریف و همکاران[5]، شبکه زنجیره تأمینی شامل تأمین‌کنندگان، کارخانجات و مراکز توزیع را مورد بررسی قرار داده‌اند. تصمیماتی که باید در این شبکه اتخاذ شوند شامل راه‌اندازی کارخانجات و مراکز توزیع، میزان تولید و حمل محصولات است. ماکزیمم تعداد کارخانجات و مراکز توزیعی که می‌توانند فعالیت داشته باشند و ظرفیت کارخانجات، مراکز توزیع و تأمین‌کنندگان محدودیت دارد و تابع هدف به‌صورت کمینه کردن هزینه‌ها بیان می‌شود. برای حل این مدل از روش الگوریتم ژنتیک براساس درخت فراگیر (گسترده) استفاده شده است.

ژویو و همکاران[6]، شبکه زنجیره تأمینی را طراحی کرده‌اند که هزینه حمل و نقل و سطح خدمت را به بهترین وجه متعادل کند، به‌گونه‌ای که تا حد امکان به همه مراکز توزیع بار کاری یکسان داده شود و کل مسافت حمل شبکه کمینه شود. آنها از الگوریتم ژنتیک برای حل این مدل استفاده کردند.

سیام[7]، مدل زنجیره تأمینی شامل کارخانجات و انبارها با مقادیر تقاضای قطعی مشتریان از چند محصول را ارائه داده است. مدل به دنبال اتخاذ تصمیماتی چون راه‌اندازی کارخانجات و انبارها، تعیین محصولات متعلق به محموله‌ها، مقدار کالای حمل شده و دوره تناوب حمل محموله‌ها با هدف کمینه‌کردن هزینه‌ها است. برای حل مدل از دو روش هیوریستیک جداگانه یکی بر مبنای آزادسازی لاگرانژ و دیگری روش Simulate Anealing استفاده می‌شود.

آکساتر[8]، یک سیستم توزیع دو سطحی شامل انبارها و خرده‌فروش‌ها در نظر گرفته است. کالای ساخته شده در انبارها ذخیره می‌شوند و بعد طبق تقاضای خرده فروش‌ها، برای آنها ارسال می‌شود و از آنجا به دست مشتریان می‌رسد. بنابراین یک سیستم موجودی در انبارها و سیستم‌های موجودی دیگری در مکان ذخیره‌ی خرده فروش‌ها داریم. در اینجا سیستم‌های موجودی از دو نوع مرور دائم (Ri,Qi) درنظر گرفته شده است.

وانگ و همکاران[9]، زنجیره تأمینی متشکل از کارخانجاتی که کالای مورد نیاز خرده فروشان را از طریق انبارهای محل خود تأمین می‌کنند، درنظر گرفته‌اند. هر خرده فروش هر یک از انواع محصولات موردنیاز خود را در یک زمان مشخصی از افق برنامه‌ریزی [T،1] نیاز دارد. در صورتی که تأمین نیاز زودتر یا دیرتر از زمان مقرر انجام گیرد هزینه‌هایی را متناسب با قیمت محصول تأمین شده از هر انبار (قیمت تولید در کارخانه) در بر خواهد داشت. خروجی، مقدار موجودی هر محصول در هر دوره در انبار کارخانجات و تابع هدف کمینه‌کردن هزینه‌هاست. این مدل به یک مدل برنامه‌ریزی

1- Jayaraman and Pirkul (2001)
2- Lagrangian Relaxation
3- Hwang (2002)
4- Yokoyama (2002)
5- Syarif et.al. (2002)
6- Zhou et al. (2002)
7- Syam (2002)
8- Axsater (2003)
9- Wang et al. (2003)

خطی تبدیل می‌شود که با روش سیمپلکس قابل حل خواهد بود.

مکاشی و کوکوشی[1]، به برنامه‌ریزی تولید و توزیع در یک سیستم متشکل از تعدادی مراکز تولید و انبارها می‌پردازند. تحویل کالا به مشتریان از دو کانال حمل مستقیم از کارخانه یا توزیع از طریق انبارها انجام می‌شود. برای حل این مدل از روش تجزیه به دو مسئله تولید با تابع هدف کمینه‌کردن هزینه‌های توزیع استفاده شده است و در هر دو مدل جواب با استفاده از الگوریتم‌های تئوری گراف به‌دست می‌آید.

جایارمن و راس[2]، به طراحی شبکه توزیعی شامل یک مرکز تولید، تعدادی مراکز توزیع و هم‌زمانی بارانداز[3] پرداخته‌اند. هر بارانداز یک محصول را تنها از یک مرکز توزیع می‌تواند تأمین کند و هر ناحیه تقاضا هم هر محصول را فقط از یک بار انداز تهیه می‌کند و هیچ محدودیتی در ظرفیت‌ها وجود ندارد. طراحی این شبکه در دو سطح استراتژیک با فرض محدودیت در تعداد تسهیلات توزیعی که می‌توانند فعالیت داشته باشند و با تابع هدف کمینه کردن هزینه‌ها، در مورد تخصیص و راه‌اندازی تسهیلات تصمیم‌گیری می‌شود. در سطح عملیاتی مقادیر حمل و نقل بین تسهیلات به‌گونه‌ای محاسبه می‌شود که تقاضای مشتریان برآورده شود و هزینه‌ها کمینه گردد. برای حل مدل از روش شبیه‌سازی تبرید استفاده می‌شود.

جینز و زنگ[4]، به بررسی نقش توافقات بین مشتری و تأمین‌کننده در کاهش هزینه‌ها می‌پردازند. آنها در این مقاله سیستمی متشکل از یک مرکز توزیع و یک مشتری (یک گروه مشتری) را درنظر می‌گیرند که مشتری‌ها تقاضاهایی با توزیع احتمالی مشخص به مراکز توزیع می‌فرستند. در این شبکه توزیع، بررسی شده است که اگر بخشی از تقاضاهای بیشتر از ذخیره مرکز توزیع، از طریق تأمین سریع با هزینه‌ی بیشتر تأمین شود و بخشی از آن به‌عنوان کمبود به دوره‌های بعد منتقل شود، واریانس حمل کاهش یافته و در نتیجه، هزینه مرکز توزیع کاهش می‌یابد. سپس تابع هدف متشکل از هزینه‌های حمل و موجودی مرکز توزیع و درصد تقاضایی که به‌عنوان کمبود به دوره‌های بعد منتقل می‌شود، است.

کریشان و تئو[5]، در شبکه زنجیره تأمینی شامل چند کارخانه و مراکز توزیع و نواحی تقاضا، در مورد روش حمل مستقیم و غیرمستقیم و راه‌اندازی انبارها تصمیم‌گیری می‌کنند. هر کارخانه در حمل انواع محصولات خود به هر مقصد تنها می‌تواند از یک نوع حالت استفاده کند. تابع هدف کمینه‌کردن هزینه‌هاست و فرض محدودیت ظرفیت برای انبارها وجود دارد. برای حل مدل برنامه‌ریزی خطی صفر و یک حاصل از روش هیوریستیک لاگرانژ استفاده می‌شود.

میراندا و گاریدو[6]، تصمیمات کنترل موجودی مثل اندازه سفارش اقتصادی، نقطه سفارش و موجودی اطمینان را هم‌زمان با مکان‌یابی تسهیلات در طراحی شبکه توزیع اتخاذ کرده‌اند. زنجیره تأمین مورد بررسی شامل یک کارخانه تولیدی و تعدادی انبار است که مرور پیوسته موجودی در آنها انجام می‌شود. تابع هدف به‌صورت کمینه کردن هزینه‌ها بیان می‌شود. برای حل مدل غیر خطی مخلوط از روش هیوریستیکی بر پایه‌ی آزاد سازی لاگرانژ و روش زیرگرادیان استفاده شده است.

چن و لی[7]، زنجیره تأمینی را متشکل از تعدادی مراکز تولید، مراکز توزیع و خرده‌فروشی را بررسی کرده‌اند. در این مدل در مورد میزان تولید، میزان حمل، سطح قیمت قابل قبول از نظر خریدار و فروشنده در هر رده، سطوح موجودی، میزان تولید و ظرفیت حمل مورد استفاده تصمیم‌گیری می‌شود. توابع هدف چندگانه در این مدل شامل توزیع عادلانه سود بین رده‌ها، ماکزیمم کردن سطح خدمت مشتری، ماکزیمم کردن استواری[8] تصمیمات در ارتباط با سه تابع هدف بالا در مواجهه با تقاضای غیر قطعی و افزایش سطح رضایت تمامی شرکاء از قیمت توافق شده هستند. برای حل این مدل از روش تصمیم‌گیری فازی استفاده می‌شود.

آلفتکین اوغلو و تانگ[9]، یک شبکه خرده‌فروشی را بررسی می‌کنند که متشکل از تأمین‌کنندگان، انبارها و فروشگاه‌های مستقر در محدوده مشتریان است. توزیع از طریق دو کانال مستقیم (از انبارها) و غیرمستقیم (از طریق فروشگاه‌ها) می‌تواند انجام شود. در این سیستم باید در مورد میزان حمل، تسهیم تقاضای مستقیم مشتریان بین انبارها و خرده‌فروشی محل خود و همچنین تقسیم تقاضای داده شده به خرده‌فروشی بین انبارها تصمیم‌گیری شود و تابع هدف شامل کمینه کردن هزینه‌هاست. با استفاده از روش تجزیه، مسئله به زیر مسائلی تقسیم می‌شود و برای حل آنها از یک روش هیوریستیک استفاده شده است.

1- Mokashi and Kokossis (2003)
2- Jayaraman and Ross (2003)
3- Cross- docking
4- Geunes and Zeng (2003)
5- Krishnan and Tew (2004)
6- Miranda and Garrido (2004)
7- Chen and Lee (2004)
8- Robustness
9- Alptekinoglu and Tang (2004)

وانگ و همکاران[1]، یک شبکه توزیع متشکل از چند انبار و چند خرده‌فروش را درنظر گرفته‌اند. در این شبکه، تقاضاها باید به موقع (JIT) تأمین شود و زودکرد یا دیرکرد در تأمین تقاضاها با جریمه‌هایی همراه است. هدف، تعیین برنامه‌ریزی توزیع بهینه به طریقی است که کل هزینه‌های ساخت، حمل، زودکرد یا دیرکرد کمینه شود. برای این مسئله ابتدا یک مدل ریاضی غیرخطی ساخته شده است و بعد با تغییر متغیر، به یک مدل خطی تبدیل می‌شود.

شان و همکاران[2]، شبکه‌ای را با تعدادی تولیدکننده در نظر گرفته‌اند که باید تقاضای مشتریان را با ظرفیت تولیدی محدود به‌طور کامل تأمین کنند. در این سیستم کمبود مجاز نیست و باید در مورد میزان حمل کالا تصمیم‌گیری شود. توابع هدف چندگانه‌ای شامل کمینه کردن هزینه‌ها، کمینه کردن کل زمان تحویل به‌عنوان سطح خدمت به مشتریان و تعادل در استفاده از ظرفیت تولید بین کارخانجات درنظر گرفته شده است. در این مقاله از روش AHP برای وزن‌دهی به اهداف و از الگوریتم ژنتیک برای حل مدل خطی استفاده می‌شود.

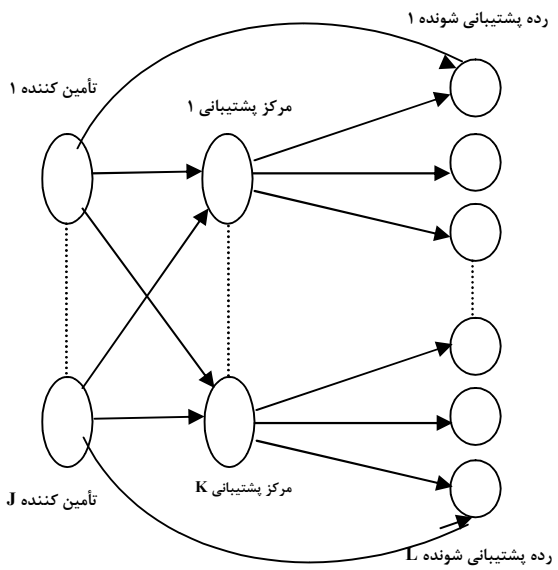
۳- فرموله کردن مسئله

با توجه به توضیحات ارائه شده، مسئله مورد بحث فرموله می‌شود. ساختار شبکه تدارک اقلام در محدوده این مطالعه موردی را می‌توان به‌صورت شکل (۴) درنظر گرفت.

۳-۱- فرضیات مسئله

فرضیات مسئله در ارسال ترکیبی به‌صورت زیر در نظر گرفته شده است:

- سیستم شامل چند تأمین‌کننده، چند مرکز پشتیبانی منطقه‌ای و چند رده پشتیبانی شونده (سه رده‌ای)؛ به هر مرکز پشتیبانی منطقه‌ای، تعدادی رده پشتیبانی شونده، تخصیص یافته است.
- در این مدل، ارسال مستقیم (ارسال کالا از مبادی تأمین به رده‌های پشتیبانی شونده) نیز وجود دارد.
- چند قلم کالا در سیستم وجود دارد.



شکل (۴): شبکه سه رده‌ای شامل چند تأمین‌کننده – چند مرکز پشتیبانی – چند رده پشتیبانی شونده با ارسال ترکیبی

- تقاضای کالا در هر دوره، ثابت و قطعی است.
- در نظر گرفتن کمبود (پس افت) مجاز است.
- چند نوع وسیله حمل در سیستم وجود دارد.
- کالاها تاریخ انقضا دارند؛ لیکن فرض می‌شود اقلام نو از تأمین کنندگان ارسال شده و وارد سیستم جریان فیزیکی کالا می‌شوند.
- مدت انقضا، مضرب صحیحی از طول دوره‌هاست.
- کالایی که از طرف تأمین‌کننده ارسال می‌گردد، در ابتدای مدت انقضا قراردارد (نو است).
- سیستم مصرف اقلام در انبار، FIFO است.
- زمان حمل کالاها در مقایسه با طول دوره برنامه‌ریزی بسیار کوتاه و قابل صرفنظر کردن است؛ در صورتی که این زمان قابل توجه باشد، مدت انقضا با مدت انقضا منهای زمان حمل جایگزین می‌شود.
- مسئله این مقاله برای شرایط دوران صلح (و نه جنگی) مورد بررسی قرار می‌گیرد.
- بازه زمانی برنامه‌ریزی به‌صورت سالانه و پریودهای تصمیم‌گیری به‌صورت ماهانه هستند.

۳-۲- توابع هدف

توجه داشته باشید که در این مسئله دو سازمان وجود دارد که از نظر حقوقی و مالکیت مستقل هستند؛ یکی سیستم تدارک اقلام در سیستم لجستیک نظامی و دیگری

1- Wang et al. (2004)
2- Chan et al.(2005)

تأمین‌کنندگان هستند. به‌طور خاص، اهداف مسئله ارسال ترکیبی به قرار زیر می‌باشد:

- کمینه کردن هزینه تحویل به موقع اقلام به رده‌های پشتیبانی شونده (شامل هزینه‌های نگهداری و کمبود) که به‌عهده مالک سیستم تدارک اقلام است.
- کمینه کردن هزینه حمل و نقل اقلام در سیستم که به عهده تأمین‌کننده است.

۳-۳- مدل ریاضی

در این بخش مدل ریاضی مسئله مورد مطالعه ارائه می‌گردد. مجموعه‌ها و اندیس‌های مورد استفاده به‌صورت زیر می‌باشد:

- مجموعه مبادی تأمین: $j=1,\ldots,J$
- مجموعه مراکز پشتیبانی منطقه‌ای: $k=1,\ldots,K$
- مجموعه رده‌های پشتیبانی‌شونده: $l=1,\ldots,L \quad (l \in k_1)$
- مجموعه دوره‌های زمانی ($T=۱$): $t=1,\ldots,T$

متغیرهای این مدل در زیر آورده شده است:

X_{ijkt} مقدار کالای نوع i که در دوره t توسط مرکز پشتیبانی k ام، از تأمین‌کننده j ام دریافت می‌شود.

Y_{iklt} مقداری از کالای نوع i که در دوره t توسط رده پشتیبانی‌شونده l ام از مرکز پشتیبانی k ام دریافت می‌شود $l \in k_1$.

Z_{ijlt} مقدار کالای نوع i که در دوره t توسط رده پشتیبانی‌شونده l ام از تأمین‌کننده j دریافت می‌شود.

I_{ilt} موجودی رده پشتیبانی‌شونده l ام در ابتدای دوره t از کالای نوع i.

B_{ilt} کمبود رده پشتیبانی‌شونده l ام در ابتدای دوره t از کالای نوع i.

$n_{jkt}^{(1)}$ تعداد وسیله نقلیه موردنیاز که باید در دوره t، کالای مرکز پشتیبانی منطقه‌ای k ام را از تأمین‌کننده j بیاورد.

$n_{klt}^{(2)}$ تعداد وسیله نقلیه موردنیاز که باید در دوره t، کالای رده پشتیبانی‌شونده l ام را از مرکز پشتیبانی منطقه‌ای k ام بیاورد.

$n_{jlt}^{(3)}$ تعداد وسیله نقلیه موردنیاز که باید در دوره t، کالای رده پشتیبانی‌شونده l ام را از تأمین‌کننده j ام بیاورد.

پارامترهای این مدل در زیر آورده شده است.

v_i حجم واحد کالای i

a_i وزن واحد کالای i

E_{xi} مدت مصرف کالای نوع i

I_{iL1} موجودی اولیه رده پشتیبانی‌شونده l ام کالای نوع i در ابتدای دوره ۱

B_i بودجه سالانه (در T دوره) پیش‌بینی شده برای خرید کالای نوع i

S_{jt} محدودیت ظرفیت عرضه تأمین‌کننده j در دوره t

S'_{ijt} محدودیت ظرفیت عرضه کالای نوع i از تأمین‌کننده j در دوره t

$W_{kt}^{(1)}$ محدودیت ظرفیت تحویل‌گیری مرکز پشتیبانی منطقه‌ای k ام در دوره t

$W_{lt}^{(2)}$ محدودیت ظرفیت تحویل گیری رده پشتیبانی‌شونده l ام در دوره t

$W'^{(2)}_{ikt}$ محدودیت ظرفیت فضای رده پشتیبانی‌شونده l ام در دوره t مربوط به کالای نوع i (انبارش تخصیص‌یافته)

f^v ظرفیت حجمی وسیله نقلیه نوع m ام

f^a ظرفیت وزنی وسیله نقلیه نوع m ام

d_{ilt} تقاضای رده پشتیبانی‌شونده l ام از کالای نوع i در دوره t

$h_{ikt}^{(1)}$ هزینه نگهداری یک واحد کالای نوع i توسط مرکز پشتیبانی منطقه‌ای k ام در یک دوره t

$h_{ilt}^{(2)}$ هزینه نگهداری یک واحد کالای نوع i توسط رده پشتیبانی‌شونده l ام در یک دوره t

A_{ilt} هزینه کمبود یک واحد کالای نوع i توسط رده پشتیبانی‌شونده l ام در یک دوره t

C_{ijt} قیمت خرید یک واحد کالای نوع i ام از تأمین‌کننده j در دوره t

$G_{jkt}^{(1)}$ هزینه حرکت یک وسیله نقلیه از تأمین‌کننده j به مرکز پشتیبانی منطقه‌ای k ام در دوره t

$G_{klt}^{(2)}$ هزینه حرکت یک وسیله نقلیه از مرکز پشتیبانی منطقه‌ای k ام به رده پشتیبانی شونده l ام در دوره t

$G_{jlt}^{(3)}$ هزینه حرکت یک وسیله نقلیه از تأمین‌کننده j ام به رده پشتیبانی‌شونده l ام در دوره t

E_{ilt} حداقل موجودی کالای نوع i در انتهای دوره t برای رده پشتیبانی‌شونده l ام

مدل ریاضی به‌صورت زیر خواهد بود:

(۱)

$$MinZ_1 = \sum_i \sum_k \sum_t h_{ikt}^{(1)} \cdot \sum_j X_{ijkt} + \sum_i \sum_{l \in k_l} \sum_t h_{ilt}^{(2)} \cdot I_{ilt}$$

$$\sum_i \sum_l \sum_t \partial_{ilt} . b_{ilt}$$

(۲)

$$MinZ_2 = \sum_j \sum_k \sum_t G^{(1)}_{jkt}.n^{(1)}_{jkt} + \sum_k \sum_l \sum_t G^{(2)}_{klt}.n^{(2)}_{klt} + \sum_k \sum_l \sum_t G^{(3)}_{jlt}.n^{(3)}_{jlt} \qquad s\cdot t.$$

(۳)

$$\sum_k x_{ijkt} + \sum_l z_{ijlt} \le S'_{ijt} \qquad \forall i,j,t$$

(۴)

$$\sum_i \sum_k x_{ijkt} + \sum_i \sum_l z_{ijlt} \le S_{jt} \qquad \forall j,t$$

(۵)

$$\sum_I \sum_K x_{ijkt} \le W^{(1)}_{kt} \qquad \forall k,t$$

(۶)

$$\sum_k \sum_i y_{iklt} + \sum_j \sum_i z_{ijtl} \le W^{(2)}_{lt} \qquad \forall l \in k_l, \forall t$$

(۷)

$$\sum_j x_{ijkt} \le W'^{(1)}_{ikt} \qquad \forall i,k,t$$

(۸)

$$\sum_k y_{iklt} + \sum_j z_{ijlt} \le W'^{(2)}_{ilt} \qquad \forall i, \forall l \in k_l, \forall t$$

(۹)

$$I_{ilt} \ge E_{ilt} \qquad \forall i,l,t$$

(۱۰)

$$n^{(1)}_{jkt} - 1 \le \frac{\sum_i X_{ijkt} \cdot V_i}{f^v} \le n^{(1)}_{jkt} \qquad \forall j,k,t$$

(۱۱)

$$n^{(1)}_{jkt} - 1 \le \frac{\sum_i X_{ijkt} \cdot a_i}{f^a} \le n^{(1)}_{jkt} \qquad \forall j,k,t$$

(۱۲)

$$n^{(2)}_{klt} - 1 \le \frac{\sum_i y_{iklt} \cdot V_i}{f^v} \le n^{(2)}_{klt} \qquad \forall k, \forall l \in k_l, \forall t$$

(۱۳)

$$n^{(2)}_{klt} - 1 \le \frac{\sum_i y_{iklt} \cdot a_i}{f^a} \le n^{(2)}_{klt} \qquad \forall k, \forall l \in k_l, \forall t$$

(۱۴)

$$n^{(3)}_{jlt} - 1 \le \frac{\sum_i z_{ijlt} \cdot V_i}{f^v} \le n^{(3)}_{jlt} \qquad \forall j, \forall l \in k_l, \forall t$$

(۱۵)

$$n^{(3)}_{jlt} - 1 \le \frac{\sum_i z_{ijlt} \cdot a_i}{f^a} \le n^{(3)}_{jlt} \qquad \forall j, \forall l \in k_l, \forall t$$

(۱۶)

$$\sum_j x_{ijkt} = \sum_{l \in k_K} y_{iklt} \qquad \forall i,k,t$$

(۱۷)

$$I_{il1} + \sum_k \sum_t y_{iklt} + \sum_j \sum_t z_{ijlt} = \sum_t d_{ilt} \quad \forall i, \forall 1 \in k_1$$

(۱۸)

$$\sum_t \sum_j \sum_k C_{ijt} \cdot x_{ijkt} + \sum_t \sum_j \sum_k C_{ijt} \cdot z_{ijlt} \le B_1 B_i \quad \forall i$$

(۱۹)

$$I_{ilt} \cdot b_{ilt} = 0 \qquad \forall i, l \in k_{1,t}$$

(۲۰)

$$\sum_{t'=1}^{t} \sum_k y_{iklt'} + \sum_{t'=1}^{t} \sum_j z_{ijlt'} - \sum_{t'=1}^{t} d_{ilt'} = I_{ilt} - b_{ilt} \quad \forall i, \in k_l, t$$

(۲۱)

$$\sum_{t'=1}^{t} \sum_j x_{ijkt'} + \sum_{t'=1}^{t} \sum_j \sum_{l \in k_1} z_{ijlt'} \le \sum_{t''=1}^{\min(t+Ex_i,T)} \sum_{l \in k_l} d_{ilt''} \quad \forall i,k,t$$

(۲۲)

$$\sum_{t'=1}^{t} \sum_j x_{ijkt'} \le \sum_{t''=1}^{\min(t+Ex_i,T)} \sum_{l \in k_l} y_{iklt''} \quad \forall i,k,t$$

(۲۳)

$$I_{ilt}, b_{ilt}, x_{ijkt}, y_{iklt}, z_{ijlt} \ge 0 \quad \forall i,j,k, \forall 1 \in k_l, \forall t$$

(۲۴)

$$n^{(1)}_{jkt}, n^{(2)}_{klt} \in Z^+ \qquad \forall i,j,k, \forall 1 \in k_l, \forall t$$

رابطه (۱)، تابع هدف سیستم لجستیک است که مجموع هزینه‌های نگهداری و کمبود را کمینه می‌کند. این تابع هدف، تلویحاً هزینه‌های تحویل به موقع را نشان می‌دهد[۳۳]. به خاطر داشته باشید که هزینه نگهداری هم در مراکز پشتیبانی منطقه‌ای و هم رده‌های پشتیبانی شوند مصداق دارد در حالی‌که هزینه کمبود فقط در مورد مصرف کننده نهایی (رده‌های پشتیبانی شونده) به‌وجود می‌آید. البته هزینه خرید هم جزء هزینه‌های سیستم لجستیک نظامی است و به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

(۲۵)

$$\sum_i \sum_j \sum_k \sum_t C_{ijt} \cdot x_{ijkt} + \sum_i \sum_j \sum_l \sum_t C_{ijt} \cdot z_{ijkt}$$

لیکن به دلیل اهمیت بسیار زیاد تحویل به موقع در مسائل نظامی در مقابل هزینه‌های خرید و همین‌طور عدم وجود تفاوت چشمگیر در قیمت خرید اقلام از تأمین‌کنندگان مختلف طی سال، این هزینه‌ها در تابع هدف لحاظ نشده است. از طرف دیگر، وجود یک تابع هدف تنها که نشان‌دهنده تحویل به‌موقع است، امکان تحلیل حساسیت‌های آتی را فراهم می‌آورد.

رابطه (۲)، تابع هدف تأمین‌کنندگان است که هزینه‌های حمل و نقل را کمینه می‌کند. البته تامین‌کنندگان خود از نظر حقوقی از هم مستقل هستند و رابطه دقیق‌تر این است که هر تأمین‌کننده یک تابع هدف داشته باشد؛ لیکن به‌دلیل اینکه در این زنجیره‌تأمین، وزن همه تأمین‌کنندگان با هم برابر است و ضمناً برای سادگی محاسبات و تحلیل‌ها روی مسئله، همه این هزینه‌ها به وزن یکسان (برابر ۱) با هم جمع شده‌اند.

رابطه (۳)، محدودیت ظرفیت عرضه تأمین‌کنندگان به ازای هر کالا را درنظر می‌گیرد و بیان می‌دارد که مجموع میزان سفارش از یک کالای مشخص به یک تأمین‌کننده‌ی مشخص در هر دوره نباید از ظرفیت عرضه‌ی تأمین‌کننده آن کالا در آن دوره بیشتر باشد.

رابطه (۴)، محدودیت ظرفیت عرضه کلی تأمین‌کنندگان را درنظر می‌گیرد و بیان می‌دارد که مجموع میزان سفارش کالاها به یک تأمین‌کننده مشخص در هر دوره نباید از ظرفیت عرضه کلی تأمین‌کننده در آن دوره بیشتر باشد.

رابطه (۵)، محدودیت ظرفیت کلی انبار هر مرکز پشتیبانی منطقه‌ای را لحاظ می‌کند و چنین بیان می‌کند که میزان موجودی همه کالاها را در هر دوره نباید از ظرفیت انبار
بیشتر باشد.

رابطه (۶)، محدودیت ظرفیت کلی انبار هر رده پشتیبانی‌شونده را لحاظ می‌کند و چنین بیان می‌کند که میزان موجودی همه کالاها در هر دوره نباید از ظرفیت انبار بیشتر باشد.

رابطه (۷)، محدودیت ظرفیت تخصیص‌یافته انبار هر مرکز پشتیبانی منطقه‌ای را لحاظ می‌کند و چنین بیان می‌کند که میزان موجودی هر کالا در هر دوره نباید از ظرفیت تخصیص‌یافته انبار هر مرکز به آن کالا بیشتر باشد.

رابطه (۸)، محدودیت ظرفیت تخصیص یافته انبار هر رده پشتیبانی‌شونده را لحاظ می‌کند و چنین بیان می‌کند که میزان موجودی هر کالا در هر دوره نباید از ظرفیت تخصیص‌یافته انبار هر مرکز به آن کالا بیشتر باشد.

رابطه (۹)، نشان می‌دهد که میزان موجودی هر کالا برای هر دوره پشتیبانی‌شونده در هر دوره نباید از میزان موجودی مورد نیاز آن کالا در انتهای آن دوره کمتر باشد.

رابطه‌های (۱۰) و (۱۱)، تعداد وسیله حمل مورد نیاز هر تأمین‌کننده برای ارسال به هر مرکز پشتیبانی منطقه‌ای را در هر دوره برآورد می‌کند. این محدودیت‌ها به کمک تابع هدف، هدف حداکثر استفاده از ظرفیت وسیله حمل را ارضاء می‌کند. رابطه (۱۰) محدودیت حجمی وسیله نقلیه و رابطه (۱۱)، محدودیت وزنی وسیله نقلیه را درنظر می‌گیرد.

رابطه‌های (۱۲) و (۱۳)، تعداد وسیله حمل موردنیاز هر مرکز پشتیبانی منطقه‌ای برای ارسال به هر رده پشتیبانی‌شونده تحت پوشش را در هر دوره برآورد می‌کند. این محدودیت‌ها به کمک تابع هدف، هدف حداکثر استفاده از ظرفیت وسیله حمل را ارضاء می‌کند. رابطه (۱۲) محدودیت حجمی وسیله نقلیه و رابطه (۱۳)، محدودیت وزنی وسیله نقلیه را درنظر می‌گیرد.

رابطه‌های (۱۴) و (۱۵)، تعداد وسیله حمل موردنیاز هر تأمین‌کننده برای ارسال به هر رده پشتیبانی‌شونده تحت پوشش را در هر دوره برآورد می‌کند. این محدودیت‌ها به کمک تابع هدف، هدف حداکثر استفاده از ظرفیت وسیله حمل را ارضاء می‌کند. رابطه (۱۴) محدودیت حجمی وسیله نقلیه و رابطه (۱۵)، محدودیت وزنی وسیله نقلیه را درنظر می‌گیرد.

رابطه (۱۶)، رابطه بقای جریان در هر مرکز پشتیبانی منطقه‌ای است.

رابطه (۱۷)، محدودیت برآورده‌شدن تقاضای رده‌های پشتیبانی‌شونده را به‌ازای هر کالا در کل T دوره بیان می‌دارد.

رابطه (۱۸)، بیانگر محدودیت بودجه برای هر کالا است.

رابطه (۱۹)، نشان می‌دهد در هر دوره به ازای هر قلم کالا و هر رده پشتیبانی‌شونده، یا مقدار موجودی غیر منفی است یا مقدار کمبود؛ یعنی هیچ‌گاه هر دوی این متغیرها با هم مثبت نمی‌شوند. این محدودیت غیرخطی است؛ لذا آن را با دو محدودیت‌های دیگری به‌صورت زیر جایگزین نموده‌ایم:

(۲۶)

$$I_{it} \le M \cdot y_{it}; \qquad b_{it} \le M(1-y_{it}) \qquad \forall i,t$$

که M عدد بسیار بزرگی است و y_{it} یک متغیر صفر و یک است.

رابطه (۲۰)، ارتباط بین میزان سفارشات دریافت شده از کالاهای مورد نیاز هر رده پشتیبانی‌شونده را با موقعیت موجودی آن کالا در هر دوره بیان می‌کند.

رابطه‌های (۲۱) و (۲۲) برای این است که کالاها در تاریخ مصرف مناسب استفاده شوند.

رابطه‌های (۲۳) و (۲۴) نشان می‌دهد که در هر دوره باید میزان موجودی و میزان کمبود رده‌های پشتیبانی‌شونده به ازای هر کالا و هر دوره و میزان سفارش دریافتی از هر تأمین‌کننده و برای هر مرکز پشتیبانی و همچنین سفارشات دریافتی توسط رده‌های پشتیبانی‌شونده، مقادیر مثبت و تعداد وسیله نقلیه عددی صحیح باشد.

۴- حل مدل

در این بخش، در مورد نحوه حل مدل ریاضی طراحی‌شده در بخش قبل بحث می‌شود.

۴-۱- داده‌ها

در این قسمت، خلاصه‌ای در مورد محاسبه و برآورد پارامترهای مدل ارائه می‌گردد:

• **حجم و وزن اقلام:** حجم و وزن هر واحد کالا و مدت مصرف هر نوع کالا از مشخصات هر قلم است که توسط تأمین‌کننده محاسبه شده و اعلام می‌گردد.

• **موجودی اولیه:** موجودی اولیه هر رده پشتیبانی‌شونده از هر نوع کالا در ابتدای دوره در سیستم اطلاعاتی انبار موجود و معلوم است.

• **بودجه سالانه:** بودجه سالانه پیش‌بینی شده برای خرید هر نوع کالا توسط سیستم لجستیک و طبق برآورد نیازهای آن سازمان و همین‌طور محدودیت بودجه کل لجستیک تعیین می‌گردد؛ بودجه کل لجستیک از طرف وزارت دفاع تعیین می‌گردد.

• **ظرفیت عرضه تأمین‌کنندگان:** محدودیت ظرفیت عرضه هر تأمین‌کننده در هر دوره و محدودیت ظرفیت عرضه هر نوع کالا از هر تأمین‌کننده در هر دوره طبق سوابق پیشین تأمین‌کنندگان و بررسی‌های انجام شده در سیستم لجستیک در قراردادهای عقد شده بین تأمین‌کننده و سیستم لجستیک معلوم است.

• **ظرفیت تحویل‌گیری و فضا:** محدودیت ظرفیت تحویل‌گیری هر مرکز پشتیبانی منطقه‌ای در هر دوره، محدودیت ظرفیت تحویل‌گیری هر رده پشتیبانی‌شونده در هر دوره، محدودیت ظرفیت فضای هر مرکز پشتیبانی منطقه‌ای در هر دوره مربوط به هر نوع و محدودیت ظرفیت فضای هر رده پشتیبانی‌شونده در هر دوره مربوط به هر نوع کالا جزء مشخصات طراحی این انبارهاست که بر مبنای انبارش تخصیص یافته[1] [۳۱] و مشخصات فنی باراندازها (Docks) از مرحله طراحی این تسهیلات مشخص و معلوم است. لازم به ذکر است با توجه به اینکه اقلام مورد مطالعه در این کاربرد جزء اقلام طبقه A در آنالیز پارتو هستند برای آنها از انبارش تخصیص‌یافته استفاده شده است. اقلام کمتر مهم در محدوده این پروژه نیستند؛ برای آنها از انبارش تصادفی[2] استفاده می‌شود.

• **ظرفیت وسایل نقلیه:** ظرفیت حجمی و وزنی هر نوع وسیله نقلیه از طرف بنگاه‌های باربری اعلام می‌گردد و در عقد قرارداد بین آنها و تأمین‌کنندگان ذکر شده است.

• **میزان تقاضای اقلام:** برآورد میزان تقاضای اقلام در زیرسیستم «برآورد» (که در بخش ۲-۱ معرفی شد) انجام گردید و داده‌های مربوط به آنها موجود است. این کار با توجه به جداول حاوی نرم‌های استاندارد مصرف اقلام در سیستم‌های نظامی و تعداد کمی فاکتورهای ساده دخیل در محاسبه نرم‌ها صورت می‌پذیرد.

• **هزینه نگهداری:** مالکیت انبارها در مراکز پشتیبانی منطقه‌ای و همین‌طور رده‌های پشتیبانی‌شونده با سیستم لجستیک است. لذا، سیستم لجستیک هزینه‌ای برای نگهداری اقلام پرداخت نمی‌کند؛ ولی می‌دانیم که این هزینه به‌طور ضمنی به سیستم لجستیک تحمیل می‌شود. مهم‌ترین اجزای هزینه نگهداری در این سیستم شامل موارد زیر بوده است که به‌گونه‌ای ساده برآورد شده است:

• **هزینه اجاره فضا:** معادل این مقدار از مالکین انبارهای خصوصی بابت اجاره فضا انبار آنها سوال شده و در مدل استفاده شده است.

• **هزینه انتقال:** این هزینه در سیستم لجستیک عمدتاً شامل حرکت در داخل انبار، خسارات، دستمزدها و هزینه وسایل نقلیه است. نوع و تعداد وسایل نقلیه و پرسنل مشغول به کار سیستم لجستیک در داخل انبارها مشخص است و حقوق افراد، ارزش وسایل، نوع و دوره استهلاک و خسارت سالیانه ثبت شده و موجودند.

• **هزینه سرمایه:** در این مورد مطالعه، هزینه سرمایه، سالیانه برابر ۲۰٪ ارزش اقلام موجود در انبار گرفته شده است که اکنون در این محیط وجود دارد.

البته هزینه‌هایی مانند هزینه متروک‌شدگی هم جزء هزینه‌های نگهداری است، لیکن به‌دلیل رعایت تاریخ انقضای

1- Delicated storage
2- Randomized storage

محصولات، چنین هزینه‌ای متحمل نخواهیم شد. هزینه بیمه و مالیات هم جزء هزینه‌های نگهداری است ولی به دلیل اینکه سیستم لجستیک زیرمجموعه سیستم دولتی کشور است، از پرداخت آن معاف است.

• **هزینه کمبود:** اصولاً در شرایط جنگی اصلاً کمبود مجاز نیست و طبیعتاً هزینه‌ای با این نام وجود نخواهد داشت. همان‌طور که در بخش ... گفته شد، این مطالعه موردی برای شرایط صلح است و در آن امکان کمبود وجود دارد. کمبود در این سیستم به‌صورت پس‌افت است؛ به‌عبارت دیگر، در نهایت باید دیر یا زود، تقاضای مورد نظر رده‌های پشتیبانی‌شونده برآورد شود. اقلام موجود در سیستم به‌صورت انبوه و یا قیمت پایین از کارخانجات سازنده و مبادی تأمین عمده‌فروشی تهیه می‌گردد و پس از اضافه شدن هزینه‌هایی مانند انبارداری و حمل و نقل، به‌دست مصرف‌کننده نهایی (در اینجا رده‌های پشتیبانی‌شونده) می‌رسد. اگر رده‌های پشتیبانی‌شونده با کمبود مواجه شوند می‌توانند اقلام مصرفی موردنیاز خود را از خرده‌فروشان محلی با قیمتی بسیار بالاتر تهیه کنند. در اینجا، تفاوت بین قیمت تمام شده تهیه اقلام توسط سیستم لجستیک و تهیه اقلام از طریق خرده‌فروشان محلی (که بسیار بیشتر است) مبنای برآورد هزینه کمبود قرار گرفته است.

• **قیمت خرید**: قیمت خرید یک واحد کالا از هر تأمین‌کننده در هر دوره طی استعلام از تأمین‌کنندگان در ابتدای دوره برنامه‌ریزی، بر مبنای قیمت‌های خرید ذکر شده در آن استعلام‌ها، عقد قراردادهای سالانه با تأمین‌کننده انجام می‌پذیرد.

• **هزینه حمل و نقل**: حمل این اقلام توسط بنگاه‌های باربری انجام می‌شود که مالکیتی مستقل دارند ولی در حال حاضر جزء زنجیره تأمین مورد بررسی (به‌عنوان شرکت‌های ارائه دهنده خدمات لجستیک طرف سوم[1]) نیستند. هزینه این کار توسط تأمین‌کنندگان به بنگاه‌های باربری پرداخت می‌گردد. مقدار این هزینه سالانه توسط اتحادیه‌های مربوط به بنگاه‌های باربری تعیین شده و برای یکسال مشخص و ثابت هستند. بنگاه‌های باربری این هزینه‌ها را به‌صورت زیر محاسبه می‌کنند:

۴-۲- حل مدل

این مدل $IT(2L+JK+KL+JL)$ متغیر پیوسته، $KT(J+L)$ متغیر صحیح و IT متغیر دودویی دارد؛ همچنین تعداد محدودیت‌های این مدل برابر مقدار:

$(IJ+4IK+4IL+2KL+2JK+2JL+J+K+L+I)T+IL+I$

است. این مدل توسط نرم‌افزار LINGO 8.00 حل گردیده است؛ این نرم‌افزار می‌تواند با ساده‌سازی‌هایی در مدل، در حل مدل مورد استفاده واقع شود (Roe,1997).

جدول (۱) برای چند نمونه، سایز مدل ریاضی را بر حسب تعداد و انواع متغیرها و همین‌طور تعداد محدودیت‌ها نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود تعداد متغیرها و محدودیت‌های مدل بسیار زیاد خواهد بود.

با توجه به حداکثر سایز مسائل حل شده در ادبیات، جداول (۲) و (۳) سایز این مسائل را برای نمونه‌های دو رده‌ای و سه رده‌ای نمایش می‌دهد.

بررسی‌های محاسباتی، موارد زیر را نشان می‌دهد:

• آزاد کردن محدودیت عدد صحیح بودن متغیرها، برای هر دو نوع تابع هدف مدل، تغییر چشمگیری در مقدار تابع هدف ایجاد نمی‌کند. این موضوع به دلیل حجم زیاد اقلام جابجا شده و تعداد زیاد کامیون‌های مورد نیاز است. لذا از این پس روی مسئله Relaxed شده تمرکز خواهیم کرد.

• آزاد کردن محدودیت عدد صحیح بودن متغیرها، برای هر دو نوع تابع هدف مدل، بهبود چشم‌گیری در مقدار زمان محاسباتی ایجاد می‌کند.

لازم به ذکر است که مقدار وزن‌های توابع هدف در مورد دسته‌های مختلف اقلام، با توجه به میزان حساسیت اقلام برای لجستیک نظامی متفاوت است. اقلام حساس‌تر دارای وزن بیشتری روی هدف تحویل به موقع هستند.

۵- پیاده‌سازی مدل

در این بخش در مورد منافع، مشکلات و ملاحظات پیاده سازی مدل بحث می‌گردد.

۵-۱- مزایا

• با استفاده از این مدل ریاضی، زمان استخراج برنامه‌های تدارک نسبت به وضع موجود حدود ... درصد سریع‌تر می‌گردد. لازم به ذکر است که در وضع موجود بر مبنای تجربه و با انجام تعدیلاتی روی برنامه سال قبل، برنامه جدید ایجاد می‌گردد.

• هزینه‌های تأمین‌کنندگان در وضع پیشنهادی نسبت به وضع موجود حدود ... درصد کمتر است. هزینه تحویل به موقع در وضع پیشنهادی نسبت به وضع موجود حدود ... درصد کمتر است. این درصدها با وجود هزینه بسیار عظیمی که درگیر تدارک اقلام است، صرفه‌جویی پولی بسیار بالایی را به همراه دارد.

1- Third Party Logistics Provider

جدول (۱): مشخصات مسائل نمونه‌ای سه رده‌ای

شماره نمونه	مشتریان	مراکز توزیع	تعداد تأمین‌کننده	تعداد محصول	مقدار تابع هدف (زوک) اصلی	مقدار تابع هدف (زوک) تغیر یافته	زمان حل مسئله اصلی (ثانیه)	زمان حل مسئله تغیر یافته (ثانیه)	مقدار تابع هدف (حمل) اصلی	مقدار تابع هدف (حمل) تغیر یافته	زمان حل مسئله اصلی (ثانیه)	زمان حل مسئله تغیر یافته (ثانیه)
۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۳	۰	۶۹۹۳	۶۹۸۸/۱۶	۰	۰
۲	۱	۱	۱	۲	۱۳۱۲۲۱۰۰	۱۳۱۲۲۱۲۰	۱	۰	۴۰۱۱۵	۴۰۱۰۱/۲۵	۱۸	۰
۳	۲	۱	۱	۱	۲۲۶۲۸۳۲	۲۲۶۲۸۳۲	۱۰۰	۰	۷۳۶۲۸	۷۳۵۹۵/۲۵	۲۱	۰
۴	۱	۲	۱	۱	۳۶۷۱۷۹۴	۳۶۷۱۷۹۴	۸	۰	۵۱۴۳۴	۵۱۴۲۹/۶	۱	۰
۵	۱	۱	۱		۳۶۷۱۷۹۴	۳۶۷۱۷۹۴	۳	۰	۷۹۰۰۵	۷۸۹۴۴/۷	۲۲	۰
۶	۲	۲	۱		۲۰۹۷۹۳۹	۲۰۹۷۹۳۹	۱	۰	۲۶۹۸	۲۶۸۳/۴	۱	۰
۷	۲	۱	۱		۸۶۹۶۲۵۱	۸۶۹۶۲۵۱	۱	۰	۲۲۶۵۸	۲۲۶۴۸/۲	۵	۰
۸	۲	۱	۲		۶۵۰۰۴۱۰	۶۵۰۰۴۱۰	۱	۰	۵۹۷۳۰	۵۹۶۷۳	۱۸۶۲۰	۰
۹	۱	۲	۱		۵۲۱۴۳۵۰۰	۵۲۱۴۳۵۰۰	۰	۰	۸۴۵۴	۸۴۲۰/۶	۱	۰
۱۰	۱	۲	۲		۴۴۵۴۵۸	۴۴۵۴۵۸	۰	۰	۸۰۵۱	۸۰۴۰	۱۳	۰
۱۱	۱	۱	۲		۱۰۸۱۳۵۳۰	۱۰۸۱۳۵۳۰	۰	۰	۱۲۶۷۱	۱۲۶۴۷/۹۵	۶۰۲۲	۰
۱۲	۲	۲	۱		۷۵۴۸۸۹۷	۷۵۴۸۸۹۷	۲۰۸	۰	۸۸۰۱۲(۱۹")	۸۷۹۸۳/۳	۹۸۶۹	۰

جدول (۲): سایز مسائل نمونه‌ای دو رده‌ای

مراجع	مشتریان	تأمین کنندگان	محصولات
Qu et al. (1999)	۱	۷	۱۵-۵۰
Hwang (2002)	۵۰-۹۹	۴	۱
Zhou et al. (2002)	۱۰۰	۱۰	
Syam(2002)	۲۰	۱۰۰	۵
Wang et al. (2003)	۲	۲	۲
Miranda, Garrido (2004)	۲۰	۱۰	

جدول (۳): سایز مسائل نمونه‌ای سه رده‌ای

مراجع	مشتریان	مراکز توزیع	تأمین کنندگان	محصولات
Sabri, Beamon (2000)	۵	۴	۳	۲
Jayarama, Pirkul (2001)	۷۵	۱۵	۵	۱۰
Syarif et al. (2002)	۵۰-۱۰۰	۸-۱۲	۶-۱۵	۱
Jayaraman, Ross (2003)	۳۰-۷۵	۱۰-۱۵	۵	۲-۳
Melachrinoudis et al.(2004)	۲۸۱	۲۱	۱	۱

• با وجود این مدل ریاضی می‌توان پس از گذشت هر ماه، داده‌های مدل را طبق ماه‌های گذشته به روز کرده و مجدداً برنامه را طی زمان کوتاهی اصلاح نمود. در وضع موجود برای انجام این عمل، زمانی معادل ایجاد یک برنامه جدید صرف می‌گردد، در حالی‌که با استفاده از مدل ریاضی، این کار به اندازه اجرای مدل ریاضی روی کامپیوتر زمان صرف می‌کند.

• در صورتی‌که نیاز با ایجاد برنامه‌هایی با بازه زمانی بزرگتر یا کوچکتر از سال و پریودهایی با اندازه بزرگتر یا کوچکتر از ماه باشد، مدل ریاضی بدون نیاز به هیچ تغییر اساسی این تغییر را می‌پذیرد.

• جواب‌های حاصل از مدل ریاضی قابل دفاع بوده و قائم به شخص و تجربه‌ها و بعضاً غرض‌های یک‌نفر نیست؛ ضمناً مشکل انتقال تجربه به برنامه‌ریزان جدید هم کاهش می‌یابد.

۵-۲- مشکلات پیاده‌سازی

• مشکل اساسی پیاده‌سازی به‌خصوص برای اولین بار استفاده از این مدل، حجم عظیمی از داده‌هاست که باید وارد کامپیوتر با حافظه بسیار زیاد گردد. در وضع موجود، داده‌های کمی با این حجم مورد استفاده قرار نمی‌گرفت و بسیاری از محاسبات به‌صورت حدسی و با ارقام حدودی و براساس تجربه صورت می‌پذیرفته است.

• پراکندگی جغرافیایی تأمین‌کنندگان، انبارهای پشتیبانی منطقه‌ای و رده‌های پشتیبانی‌شونده در کشور و نیاز به، به‌روزآوری کلیه پارامترهای مدل از طریق این موجودیت‌ها، نیاز به یک شبکه اطلاعاتی گسترده و یک‌پارچه دارد.

• مدل ریاضی بعضی از مشخصات دنیای واقعی مانند کیفیت اقلام و سوابق تأمین‌کنندگان را در نظر نمی‌گیرد. در بعضی موارد حتی مشکلات سیاسی و اجتماعی نیز رخ می‌دهد که در مدل دیده نمی‌شود. لذا لازم است تا بعضاً خروجی‌های کامپیوتری مدل با درنظر گرفتن این ملاحظات به‌صورت دستی اصلاح شوند.

• در وضعیت فعلی بعضی محدودیت‌ها در عمل نقض می‌گردند؛ مثلاً حجم زیادی از اقلام تاریخ انقضا گذشته در انتهای سال دور ریخته می‌شوند در حالی‌که به کمک مدل ریاضی احتمال رخداد این مورد کاهش می‌یابد و اگر پارامترهای مدل با واقعیت تطابق داشته باشند چنین وضعی پیش نمی‌آید.

۵-۳- ملاحظات پیاده سازی مدل

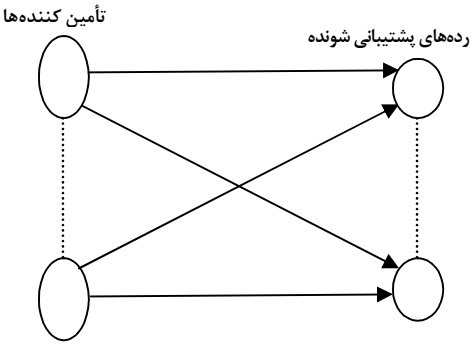
• در حال حاضر با توجه به معیارهایی از قبیل حجم، ارزش پولی و حساسیت، اقلام به‌صورت A و B و C طبقه‌بندی می‌شوند. این مدل ریاضی برای اقلام طبقه A استفاده می‌گردد.

• اقلام موجود در سیستم لجستیک با توجه به طبیعت آنها به‌صورت ارسال دو رده‌ای، ارسال غیرمستقیم سه رده‌ای و ارسال ترکیبی سه رده‌ای- همان‌طور که در شکل‌های (۴)، (۶)، (۷) دیده می‌شود- ارسال می‌گردند. این مدل برای اقلام موجود در ارسال ترکیبی به‌کار می‌رود.

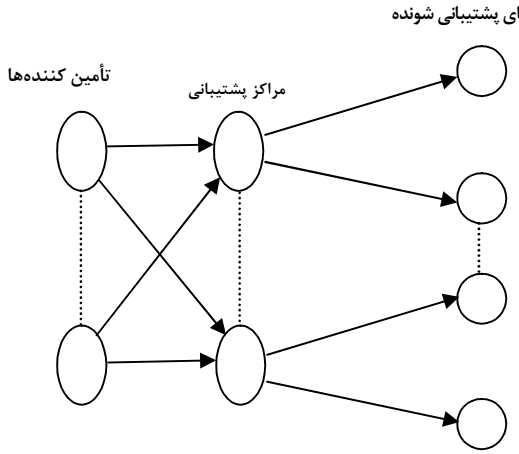
هرچند با کمی ساده‌سازی می‌توان این مدل را برای سایر دو حالت دیگر هم استفاده کرد.

• یکی از طبقه‌بندی‌های سیستم تدارک اقلام به‌صورت زیر است که این طبقات، تأمین‌کننده‌های مشترک ندارند و برای هر طبقه مدل به‌صورت جداگانه قابل استفاده است:

- اقلام خودرویی
- اقلام تسلیحاتی (مانند توپ)
- اقلام مهماتی (مانند گلوله‌ها، راکت‌ها و مواد منفجره)
- اقلام شناوری (مانند رزمی و پشتیبانی رزمی)
- اقلام اداری (مانند عمومی، نشر و تبلیغات)
- اقلام مخابراتی (مانند بی‌سیم و با سیم)
- اقلام مهندسی (مانند تأسیسات و ابنیه)
- اقلام موشکی (مانند زمین به زمین، زمین به هوا، هوا به هوا)
- اقلام پروازی (مانند هواپیما و بال‌گرد)
- اقلام بهداری (مانند پزشکی و خدمات پزشکی)
- اقلام آموزشی (مانند وسایل کمک آموزشی)
- اقلام خدماتی (مانند خبازی، دورودگری)
- اقلام جنگ نوین (مانند NBC)
- اقلام انفرادی (مانند پوشاک و کفش)



شکل (۶): شبکه دوره‌ای شامل چند تأمین‌کننده - چندرده پشتیبانی شونده با ارسال مستقیم



شکل (۷): شبکه رده‌ای شامل چند تأمین کننده، چند مرکز پشتیبانی و چند رده پشتیبانی شونده با ارسال غیرمستقیم

• در سیستم لجستیک نظامی استفاده از اقلام تولید شده توسط سازندگان داخل کشور از اولویت بالاتری برخوردار است. لذا در مورد اقلامی که ظرفیت تولید داخلی آنها برای برآوردن احتیاجات مصرف‌کنندگان نهایی کافی است، مدل ریاضی به‌صورت جداگانه استفاده می‌گردد. اقلامی که باید از خارج کشور وارد گردند برای رفع کاستی‌های تولیدات داخل است.

• نتایج محاسباتی در مورد Relaxed کردن متغیر عدد صحیح در بخش (۴) نشان داد که تابع هدف تغییر چشم‌گیری نمی‌کند. در حالی‌که زمان محاسباتی به‌صورت چشم‌گیری کاهش می‌یابد. لذا این تقریب را در اجرای مدل استفاده کرده و متغیرهای متناظر با عدد صحیح بودن، پس از انجام محاسبات، در صورت لزوم گرد شده‌اند.

• وجود متغیرهای صفر و یک در یک مدل، طبیعت محدودیت‌های مربوط به آنها طوری است که زمان اجرا را فقط در حد معقولی تحت تأثیر قرار می‌دهد.

۶- کارهای آتی

موارد زیر به‌عنوان تحقیقات آتی در راستای تکمیل شدن این تحقیق پیش‌بینی شده است:

• با استفاده از تکنیک‌های متاهیوریستیک، مسائل بزرگتر و واقعی‌تر بدون نیاز به ایجاد گروه‌های فرعی کوچکتر، توسط طراحی یک نرم‌افزار خاص چندمنظوره قابل انجام است.

• طراحی نرم‌افزاری دارای یک رابط کاربر پسند که کاربران کمتر آشنا با نرم‌افزارها و تکنیک‌های OR نیز بتوانند با آن به راحتی کار کنند.

• تولید داده‌ها (پارامترها)ی مورد نیاز مدل‌ها در قالب بانک‌های اطلاعاتی به کمک نرم‌افزارهایی مانند اکسس، می‌تواند در آینده قابلیت به‌روزآوری داده‌ها و گزارش‌گیری وجود را ایجاد نماید.

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله، برنامه‌ریزی تدارک اقلام یک سیستم لجستیک نظامی واقعی مورد بررسی قرار گرفت. در این سیستم تدارک اقلام، دو نوع مالکیت حقوقی مستقل شامل سیستم لجستیک و تأمین‌کنندگان وجود داشت که باید برای یک برنامه‌ریزی دو طرف پیروز بین آنها تصمیم‌گیری شود. سیستم لجستیک قصد داشت هزینه‌های تحویل به موقع را کمینه کند و تأمین‌کنندگان در پی کمینه کردن هزینه‌های حمل و نقل بودند. در این مطالعه یک مدل ریاضی از نوع MIP با این دو تابع هدف ساخته شد که تعیین می‌کرد در هر ماه از سال چه مقدار از هر قلم مورد نیاز سیستم لجستیک از هر تأمین‌کننده، تأمین گردد. حل این مدل ریاضی نشان می‌دهد که دو تابع مدل با هم تضاد دارند و استفاده از روش‌های MODM مجاز می‌باشد. با توجه به اینکه حل مدل در مقیاس‌های واقعی از نظر زمان محاسباتی غیرممکن است، متغیرهای عدد صحیح، آزاد شد، بدون اینکه تغییر قابل ملاحظه‌ای در مقادیر تابع هدف ایجاد گردد ولی زمان محاسبات بهبود چشم‌گیری یافت. در نهایت منافع این تحقیق، مشکلات پیاده‌سازی و پیشنهادات برای پیاده‌سازی مدل ارائه گردید.

منابع

[1] Alptekinoglu, A., Tang, C.S., A model for analyzing multi-channel distribution systems, European Journal of Operational Research, 16 (3) 902-824, 2005.

[2] Axsater, S, Approximate optimization of inventory- distribution systems by random local search and a genetic algorithm, Computers and Industrial Engineering 42 175-188, 2003.

[3] Berry, L.M., Murtagh. B.A., Sugden, S.J., Mcmahon, G.B., Welling , L.D., Genteic algorithms in the design of complex distribution networks, International Journal of Physical Distribution and Logistics 28(5)377-381, 1998.

[4] Chan, F.T.S., Chung. S.H., Wadhwa, S., A hybrid genetic algorithm for production and distribution, Omega, 33(4) 345-355, 2005.

[5] Chen, C., Lee, W., Multi- objective optimization of multi- echelon supply chain networks with uncertain product demands and prices, Computers and chemical Engineering 28 1131- 1144, 2004.

[6] Das, C., Tyagi, R., Role of inventory and transportation costs in determining the optimal degree of centralization, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review 33(3)171-179, 1997.
[7] De Boon, H., A Flower transportation – distribution system, Journal of Operational Research Society 2919-31, 1978.
[8] Farahani R.Z., Asgari N., Combination of MCDM and Covering Techniques in Hierarchical Model for Facility Location: A Case Study, European Journal of Operations Research, to be appeared, 2005.
[9] Genus, J., and Zeng, A,Z., Optimizing Supply shortage decisions in base stock distribution operations, Journal of Global Optimizing 26 25-42, 2003.
[10] Gonzales, E.L., Fernandez, M.A.R., Genetic optimization of a fuzzy distribution model ,International Journal of Physical Distribution and Logistics 30(7/8)681-696, 2000.
[11] Heyman, D.P., Hoadley, B., A two- echelon inventory model with purchases, disposition, shipments, returns and transshipments, Naval Research Logistics Quartely 24 1-19, 1977.
[12] Hwang, C.L., Lin, M.L., Group Decision Making Under Multiple Criteria, Springer- verlag, 1987.
[13] Hwang, C.L., Lin, Masud, A.S.M.,Multiple Attribute Decision Making, Springer– Verlag, 1979.
[14] Hwang, C.L., Yoon, k., Multiple Attribute Decision Making, springer- Verlag, 1981.
[15] Hwang, H.S.,Design of supply- chain logistics system considering service level, Computers and Industrial Engineering 43 283-297, 2002.
[16] Jayaraman, V., Transportation, facility location and inventory issues in distribution network design, International Journal of Operations and Production Management 18(5)471-494, 1998.
[17] Jayaraman, V., Pirkul, H., Planning and coordination of production and distribution facilities for multiple commodities. European Journal of Operational Research 133 394-408, 2001.
[18] Jayaraman.V., Ross, A., A simulated annealing methodology to distribution network design and management. European Journal of Operational Research 144 629-645, 2003.
[19] Kim, J.U. and Kim, Y. A decomposition approach to a multi- period vehicle scheduling problem, Omega 24(4)421-430, 1999.
[20] Lumsden, K., Dallari, F., Ruggeri, R., Improving the efficiency of the hub and spoke system for the SKF European distribution network. International Journal of Physical Distribution and Logistics 29(1)50-64, 1998.
[21] Miranda, P.A., Garrido, R.A., Incorporating inventory control decisions into a strategic distribution network design model with stochastic demand,Transportation Research: Part E40 183-207, 2004.
[22] Mokashi, S.D., Kokossis, A.C., Application of dispersion algorithms to supply chain optimization, Computers and Chemical Engineering 27 927-949, 2003.
[23] Qu, W., Bookbinder, J.H. and Iyogun, P. An integrated in inventory- transportation system with modifield periodic policy for multiple products, European Journal of Operation Research 115 254-269, 1999.
Sabri, E.H., Beamon, B.N., A multi- objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design, Omega 28 581-598, 2000.
[24] Speranza, M.G. and Ukovich, W., Minimize transportation and inventory costs for several products on a single link. Operation Research 42(5) 879-894, 1993.
[25] Stadtler, H., Kilger, C., Supply Chain Management and Advanced Planning, Springer-Verlag, Berlin, 2005.
[26] Syam, S.S., A model and methodologies for the location problem withlogistical componenents, Computers and Operations Research 29 1173-1193, 2002.
[27] Syarif , N., Yun, Y., Gen, M., Study on multistage logistics chain network: a spanning tree-based genetic algorithm approach. Computers and Industrial Engineering 43 299-314, 2002.
[28] Szidarovszky, F., Gershon, M,E., Duchstein, L., Techniques for Multi- objective Decision Making in Systems Management, Elsevier Science Publisher B.V, 1986.
[29] Takakuwa, S. Fujii, T. A practical module-based simulation model for transshipment- inventory systems, Winter Simulation Conference, Phoneix Arizona. USA 1324-1332, 1999.
[30] Tompkins, J. A.,White, J.A., Bozer, Y.A. and Tan choco, J.M.A., Facilities Planning, (John Wiley & Sons Inc., 3rd edition: New York), 2002.
[31] Ulungu, E.L., Teghem J., Multi-objective Combinatorial Optimization problems: A Survey. Journal of Multi- criteria Decisions Analysis 3 83-104, 1994.
[32] Wang, W., Fung. R.Y.K., Chai, Y., Approach of just – in- time distribution requirements Planning for Supply chain management, International Journal of Production Economics 91 101-107, 2003.
[33] Yokoyama , M., Integrated optimization of inventory- distribution systems by random local search and a genetic algorithm. Computers and Industrial Engineering 42 175-188, 2002.
[34] Zionts ,S., A survey of multiple criteria integer programming methods, Annals of Discete Mathematics 5 389-398, 1979.
[35] Zhou, G., Min, H., Gen, M., The balanced allocation of customers to multiple distribution centers in the supply chain network: a genetic algorithm approach. Computers and Industrial Engineering 43 251-261, 2002.