

طراحی مدل ریاضی شبکه زنجیره تأمین در خدمات پس از فروش در صنعت خودروسازی ایران

نویسندگان: دکتر محمد فطانت* و دکتر عباس مقبل باعرض**

* دانش‌آموخته دکتری در رشته مدیریت، دانشگاه تربیت مدرس
** استادیار گروه مدیریت دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

سهم هزینه‌های لجستیک در قیمت فروش محصولات سهم بزرگی است، به نحوی که در کشور آمریکا ۳۰ درصد قیمت فروش یک محصول را هزینه‌های لجستیک تشکیل می‌دهد. در این مقاله، چگونگی طرح شبکه و مدل‌سازی ریاضی جهت بهینه‌سازی هزینه‌های لجستیک در صنعت خودروسازی در ادبیات تحقیق در عملیات ارائه گردیده است.

طرح شبکه پیشنهادی در چارچوب طرح «ترکیب در راه» است و در مدل شبکه طراحی شده اولاً بین مبدأ و مقصد ایستگاه واسطه وجود دارد. ثانیاً به جای تک‌کالا، در شبکه جریان‌های از ترکیب چند کالا وجود دارد. ثالثاً ایستگاه واسطه دارای ظرفیت معینی است و رابعاً در ایستگاه واسطه کنترل حداقل موجودی مطرح است، روش حمل قابلیت تنوع داشته، تابع هزینه حمل، قطعات خطی است، و عامل هزینه و زمان در طراحی شبکه مدنظر بوده است، به نحوی که بهینه‌سازی در عامل هزینه حمل، هزینه انبار کردن کالا و زمان وصول کالا از مرکز تولید به مشتری نهایی بوده است.

واژه‌های کلیدی: شبکه زنجیره تأمین، مدل‌سازی ریاضی، خدمات پس از فروش، هزینه‌های لجستیک، تولید چابک

دوماهنامه علمی - پژوهشی
دانشگاه شاهد
سال یازدهم - دوره جدید
شماره ۵
تیر ۱۳۸۳

مقدمه

سازمان‌های خدماتی و تولیدی در گذر زمان تحولات متعدد و فراوانی را در نحوه تفکر خویش در اداره بنگاه تجربه کرده و پارادایم‌های خود را دائم تغییر داده و به سمت تعالی پیش برده‌اند. پارادایم نخست

مبتنی بر تولید دستی (craft production) و سنتی بود که جای خود را به تولید انبوه (production mass) داد. سپس پارادایم از تولید انبوه به تولید ناب (lean production) تغییر کرد و امروز الگوی ذهنی غالب بر پایه تولید با قابلیت تغییر سریع و آسان (agile manufacturing) یعنی تولید چابک مبتنی است.

برسد. هدف در مدل‌های شبکه‌ای غالباً عبارت است از مینیم کردن هزینه ارسال کالا از نقاط مبدأ به نقاط مقصد، به طوری که برخی از مسیرهای ارسال و توزیع کالا ممکن است دارای ظرفیت محدود به خود باشند.

فرایند تولید و ویژگی‌های محصول در صنعت خودروسازی به گونه‌ای است که ارتباطات و پیوندهای متعددی را قبل و بعد از فرایند تولید ایجاد می‌کند. قبل از تولید این پیوندها دربردارنده پیوند با تأمین‌کنندگان قطعه و مواد اولیه خودروسازی است و پس از تولید، ارتباطاتی را دربرمی‌گیرد که با مشتری نهایی و جامعه به وجود می‌آید. لذا به نظر می‌رسد ماهیت کار در صنعت خودروسازی در بحث زنجیره تأمین به مدل عمومی شبکه نزدیک است. از این رو در این مقاله با مدل سازی جریان شبکه در مدیریت زنجیره تأمین در صنعت خودروسازی برآنیم با بهره‌گیری از روش‌های ریاضی در ادبیات (OR)، اثربخشی سیستم عملیاتی را در جهت افزایش توان رقابتی تحلیل کنیم.

تعریف مسئله و بیان سؤال‌های اصلی تحقیقی

مدیریت زنجیره تأمین، حوزه جدیدی است که طیف گسترده‌ای از موضوعات تحقیق «از مباحث استراتژیک تا مدل‌های عملیاتی» را در خود جای داده است. در ۱۰ سال گذشته، بحث مدیریت زنجیره تأمین جهت بهینه‌سازی و یافتن راه‌های بهتر مورد توجه سازمان‌ها قرار گرفته است. مدیریت زنجیره تأمین، عبارت است از: «مدیریت بر یکپارچه‌سازی فرایند تجاری از مشتری نهایی به تأمین‌کنندگان اصلی کالا و یا اطلاعات، به نحوی که باعث ایجاد ارزش افزوده برای مشتری و در نهایت ایجاد ارزش برای سهامداران و ذینفعان بشود».

مدیریت زنجیره تأمین، مرزهای سازمانی را درمی‌نوردد و فرایندهای کاری را در داخل سازمان‌های مختلف مدیریت می‌کند. زنجیره تأمین ساختار شبکه‌ای دارد و شبکه عموماً منابع، مراکز مونتاژ و تولید و مراکز توزیع و مشتری را دربر می‌گیرد. ماهیت کار در صنعت

این تغییر و توسعه الگوی ذهنی به دلیل توسعه و پویایی نیازهای بازار شکل گرفته است. ویژگی‌های قرن حاضر، ارائه خدمت و تولیدی را ایجاب می‌کند که در آن، کیفیت به تنهایی کافی نیست. سازمانی که می‌خواهد در چرخه رقابت حیات و رشد خود را حفظ کند باید محصول با کیفیت را در زمان مشخص و در مکان معین و به روشی مؤثر و اثربخش از دیدگاه ساختار هزینه به مشتری تحویل دهد. لذا به منظور تأمین اهداف مزبور و ایجاد تولید با قابلیت تغییر سریع و آسان، ساختاربخشی از سازمان‌ها در قرن حاضر به سمتی می‌رود که سازمان‌های کوچک و انعطاف‌پذیر، اما متعلق به شبکه تأمین بزرگ شکل گیرد و بدین گونه است که مفهوم زنجیره عرضه پدیدار می‌گردد.

با جهانی شدن اقتصاد و جهانی شدن بازار، سازمان‌ها بر پایه قابلیت انعطاف‌پذیری خود توان مقابله با چالش رقابت را خواهند داشت. مفهوم مدیریت زنجیره تأمین به شرکت‌ها در چنین محیطی کمک می‌کند تا به سمت شبکه سازمانی اثربخش و یکپارچه حرکت کنند. در ادبیات مدیریت زنجیره تأمین به مفاهیم و استراتژی‌های متعددی برخورد می‌کنیم که برای ارزیابی عملکرد استراتژی‌ها، متدها و روش‌شناسی‌های مزبور نیاز به مدل‌سازی محیط خواهیم داشت که در این گذار از متدهای پژوهش عملیاتی می‌توان بهره جست.

هدف نهایی مدل‌سازی آن است که اثربخشی سیستم‌های عملیاتی در جهت افزایش توان رقابتی تحلیل گردد و از آنجا که زنجیره تأمین عمدتاً ساختار شبکه‌ای دارد در این مقاله از یک مدل عمومی شبکه جهت مدل‌سازی جریان زنجیره تأمین در صنعت خودروسازی استفاده شده است.

مدل عمومی شبکه، شامل توزیع یک کالا از یک سری نقاط به نام مبدأ به یک سری نقاط به نام مقصد است. به طوری که این کالا ممکن است مستقیماً از مبدأ به مقصد ارسال نشود، بلکه ابتدا از یک سری ایستگاه‌های واسطه عبور کند تا آن که به مقصد نهایی

فرضیه‌های تحقیق

براساس آنچه در تعریف مسأله و سؤال‌های اصلی تحقیق ذکر شد، فرضیه‌های تحقیق به شرح زیر است:
 ۱. عامل اثرگذار در مدل زنجیره تأمین، مدل تابع هزینه حمل و نقل و موجودی است.

۲. جهت بهینه‌سازی مدیریت زنجیره تأمین با ساختار هزینه با توابع خطی می‌توان یک مدل ریاضی برنامه‌ریزی خطی را توسعه داد که عامل زمان و هزینه را به صورت توأمان دربر گیرد.

مدیریت زنجیره تأمین در صنعت خودروسازی ایران (در خدمات پس از فروش)

با آغاز تحولات صنعتی و تعیین سیاست‌های متنوع و جدید در صنعت خودروسازی ایران، شرکت‌هایی به‌منظور مدیریت شبکه تأمین در دهه ۷۰ شمسی در ایران شکل گرفت که مأموریت آن‌ها تأمین مواد، قطعات و مجموعه‌های خودرو با هدف ایجاد و توسعه شبکه زنجیره توانمند است.

در صنعت خودروسازی، ایران شرکت‌های ساپکو، سازه‌گستر و مگاموتور در گروه صنعتی ایران خودرو و گروه صنعتی سایپا نقش مدیریت شبکه تأمین را برعهده دارند. این شرکت‌ها قطعات و مجموعه‌های خودرو را از طریق سازندگان قطعات که در شهرهای مختلف کشور پراکنده هستند، تأمین می‌کنند و به خودروساز تحویل می‌دهند. از جمله نقش‌هایی که توسط این شرکت‌ها انجام می‌گیرد تأمین قطعات برای خدمات پس از فروش است.

خدمات پس از فروش در کشور ما توسط نمایندگی‌های مجاز با پراکندگی مکانی و جغرافیایی بسیار وسیع ارائه می‌گردد و طبیعتاً تأمین و تدارک قطعات یدکی مورد نیاز شبکه خدمات پس از فروش در این اندازه از اهمیت بسیار ویژه‌ای برخوردار است. در حال حاضر، شرکت ایساکو در گروه صنعتی ایران خودرو و سایپایدک در گروه صنعتی سایپا نقش راهبری و مدیریت شبکه خدمات پس از فروش را

خودرو در بحث زنجیره تأمین به مدل عمومی شبکه شبیه است.، لکن شبکه زنجیره تأمین در صنعت خودرو به‌لحاظ متغیر و محدودیت در قالب مدل‌های بزرگ (large scale) طبقه‌بندی می‌شود و ساختار توابع هزینه آن پیچیده است.

اگرچه ادبیات تحقیق درخصوص جریان شبکه زیاد است، اما تحقیق محدودی درخصوص مدل‌سازی مسأله‌ای که دارای تابع هزینه با قطعات خطی است صورت گرفته و از قضا طیف وسیعی از مسائل مدیریت زنجیره تأمین، در صنعت خودرو با توابع هزینه قطعات خطی است.

در این تحقیق برآنیم اثرگذاری عامل زمان و هزینه و تبادل بین این دو عامل را به صورت توأم در یک مدل نشان دهیم و علی‌رغم تعارضی که بین زمان و هزینه در مدل‌سازی وجود دارد، یک مدل عمومی ارائه دهیم که براساس آن، هدف غایی از مدیریت زنجیره تأمین را که همانا تحویل به موقع محصول به مشتری به همراه قیمت مناسب و بهینه است پوشش دهد.

عناصر مدل مشتمل بر تحویل به موقع (عامل زمان) را حداقل موجودی (عامل هزینه)، و کم‌ترین هزینه حمل و نقل قطعات کالا و محصول از تأمین‌کننده اصلی به مراکز مونتاژ و تولید و مشتری نهایی (عامل هزینه) است که به‌عنوان عوامل تأثیرگذار در مدل انتخاب می‌شود و براساس محدودیت‌های حاصل از جریان قطعات و محصولات در شبکه و همچنین محدودیت‌های مراکز مونتاژ و توزیع متغیرهای تصمیم بهینه تعیین می‌گردد، این تحقیق به دنبال پاسخگویی به سؤالات زیر است:

۱. عامل اثرگذار در مدل مدیریت زنجیره تأمین کدام است؟

۲. آیا برای بهینه‌سازی فرایند مدیریت زنجیره تأمین با ساختار هزینه با قطعات خطی می‌توان یک مدل ریاضی توسعه داد که عامل زمان و هزینه را دربر گیرد؟

برعهده دارند. ایساکو و سایپادک قطعات و مجموعه‌های یدکی مورد نیاز شبکه خدمات پس از فروش را از طریق ساپکو، سازه‌گستر و مگاموتور تأمین می‌نمایند. فرایند کار در گروه صنعتی ایران خودرو در حال حاضر به صورت نمودار شماره یک است (به منظور ایجاد سهولت در پیگیری مطالب این مقاله جهت تبیین فرایند تأمین و تدارک قطعات یدکی برای خدمات پس از فروش مباحث را با محوریت گروه صنعتی ایران خودرو طرح می‌کنیم. در عین حال، فرایندهای تشریحی ذیل در هر دو گروه سایپا و ایران خودرو عمدتاً مشترک است).

نمودار ۱: فرایند تأمین قطعات جهت خدمات پس از فروش

هزینه انبارداری نیز در پی دارد و اگر این امکان وجود داشت که قطعه دینام مستقیماً از گلپایگان به اصفهان به صورت مستقیم برود، هزینه حمل کاهش می‌یافت.

۲. یکی از پیچیدگی‌های کار در خدمات پس از فروش این است که گاه واحدهای خدمات‌دهنده به ترکیبی از قطعات نیاز دارند. مثلاً ۱۰۰ عدد دینام، ۲۰۰ عدد رینگ پیستون، ۳۰۰ عدد پیستون و... که در وضعیت فعلی، تدارک و ترکیب قطعات مورد نیاز در تهران صورت می‌گیرد.

۳. در حال حاضر ساپکو و ایساکو مجبور هستند انباری بزرگ را ایجاد کنند که در آن قطعات انبار شود. به موجب هر سفارشی، قطعات از قفسه‌های انبار خارج شده بسته‌بندی می‌گردند و در قالب یک محموله ارسال می‌شوند. نکته قابل ملاحظه این است که در حال حاضر موجودی انبار ساپکو و ایساکو رقم بسیار بزرگی را در سمت راست ترازنامه به خود اختصاص می‌دهد.

۴. با توجه به مطالب فوق اگر مراکز ساخت را بتوان به گونه‌ای به مراکز مصرف متصل کرد، اثربخشی هزینه افزایش یافته، هزینه انبارداری کاهش خواهد یافت.

۵. در حال حاضر سهم بازار گروه ایران خودرو از بازار قطعات و مجموعه‌ها در خدمات پس از فروش زیر ۱۰ درصد است، حال آن که گردش مالی بازار مزبور در خصوص خودروهای تولیدی گروه صنعتی

به طوری که در نمودار ۱ مشاهده می‌شود، قطعات و مجموعه‌های مورد نیاز برای خدمات پس از فروش معمولاً توسط ایساکو اعلام می‌گردد که متناسب با آن ساپکو سفارش‌گذاری لازم را برای سازندگان قطعات اعلام می‌دارد. سازندگان قطعات مجدداً قطعات مورد نیاز را تولید و برای ساپکو ارسال می‌دارند و ساپکو از طریق ایساکو با بسته‌بندی مخصوص، قطعات را در بین نمایندگی‌های مجاز در سراسر کشور توزیع می‌کند. نکات حائز اهمیت در این روش عبارت است از:

۱. با توجه به این‌که سازندگان قطعات دارای پراکندگی جغرافیایی هستند، حمل قطعات به تهران و مجدداً ارسال قطعات برای واحدهای خدمات پس از فروش موجب ایجاد هزینه مضاعف می‌گردد. به عنوان مثال ممکن است یک واحد خدمات پس از فروش در اصفهان نیاز به قطعه دینام داشته باشد. در حال حاضر، این سفارش توسط ایساکو به ساپکو اعلام می‌شود و شرکت ساپکو قطعه را از محل سفارش‌هایی که برای سازندگان می‌گذارد دریافت می‌کند. از قضا سازنده قطعه دینام در گلپایگان است. سازنده مزبور قطعه را به تهران برای ساپکو می‌فرستد و ساپکو پس از بسته‌بندی مجدداً آن را برای واحد تقاضاکننده ارسال می‌کند. چنان‌که ملاحظه می‌شود در روش موجود، هزینه حمل مضاعف است و همچنین برای ساپکو

عنوان مراکز ترکیب (merge center) شکل می‌گیرد که در آن‌ها قطعات وارد شده و متناسب با سفارش‌های رسیده از سوی مشتریان مجدداً بسته‌بندی می‌شود و محموله‌های مربوط به هر تقاضا به صورت یکجا برای مشتریان ارسال می‌گردد. مراکز ترکیب باید به گونه‌ای طراحی شوند که به صورت یک انبار درنیاوند تا بتوان تا حد امکان هزینه انبارداری را کاهش داد که در این صورت، شرکت ساپکو و ایساکو باید مراکز ترکیب را با پراکندگی جغرافیایی به گونه‌ای سازماندهی کنند که با توجه به دوری و یا نزدیکی مشتریان به مراکز ترکیب، همچنین انتخاب نزدیک‌ترین سازندگان به مراکز ترکیب، حداقل هزینه حمل و هزینه انبارداری ایجاد شود.

شرکت‌های متعددی در جهان از استراتژی ترکیب در راه استفاده کرده‌اند [۱]. استراتژی مزبور برای ارضای نیاز مشتریان در این شرکت‌ها اثربخش بوده است. به‌عنوان مثال شرکت کامپک (Compak) از شرکت‌هایی است که روش مزبور را با موفقیت به‌انجام رسانیده و نظام لجستیک خود را با مفهوم ترکیب در راه بهبود داده است. علاوه بر شرکت کامپک، شرکت‌های دیگری مانند "3M" و «لوسنت تکنولوژی» (Lucent Technology) که در تجارت کامپیوتر فعالیت دارند نیز مفهوم ترکیب در راه را به‌عنوان یک روش موفق به کار گرفته‌اند و هر سه شرکت مزبور از جمله طلایه‌داران به‌کارگیری روش مزبور محسوب می‌شوند.

مروری بر ادبیات ترکیب در راه

براساس مطالعه انجام شده، ادبیات موضوع ترکیب در راه بسیار محدود است. «هاستینگز» (Hastings) [۲] و «داو» (Dawe) [۳] بحث ترکیب در راه را مطرح کرده‌اند و «کل» (Cole) [۴] مدلی را ارائه کرده که براساس آن می‌توان تعداد و محل استقرار مراکز ترکیب را تعیین کرد.

اگرچه ادبیات بحث درخصوص ترکیب در راه محدود است، اما چند مسأله درخصوص آن به‌خوبی مورد مطالعه قرار گرفته که عبارتند از: کاربردهای

ایران خودرو بالغ بر هفت هزار میلیارد ریال است. قابل ذکر این که وضعیت مشابهی نیز در گروه سایپا وجود دارد. علی‌رغم امکانات وسیع و تبلیغات فراوان سهم ناچیز از بازار خدمات پس از فروش همواره محل سؤال بوده است. اینک مهم‌ترین سؤال این است که عامل اثرگذار در این چرخه کدام است و چگونه باید در فرایند زنجیره تأمین، عوامل مزبور با یکدیگر تعامل کنند. قطعاً شناخت مناسب عوامل مزبور ما را در ارائه مدلی مناسب جهت کارآ کرد مدیریت زنجیره تأمین مدد خواهد رساند.

عوامل اثرگذار در مدیریت شبکه زنجیره تأمین

عوامل اثرگذار در سیستم در نگاه اول عبارتند از: (۱) طرح شبکه، (۲) روش حمل، (۳) انتخاب مسیر (کدام مرکز ترکیب "سازنده" باید فعال شود)، (۴) زمان (زمان حمل محموله از سازنده به مرکز ترکیب یا مونتاژ). به‌منظور تبیین هر یک از عوامل فوق توضیحات لازم به‌شرح زیر ذکر می‌شود.

طرح شبکه: ترکیب در راه (merge in transit)

طرح شبکه در وضعیت موجود به گونه‌ای است که به‌موجب آن، شرکت ساپکو مجبور است انبار بزرگی را ایجاد کرده و قطعات را از جای جای کشور جمع‌آوری و در انبار مزبور نگهداری کند و به‌موجب سفارش رسیده از واحدهای خدمات‌دهنده، محموله‌های متناسب با سفارش را آماده و برای آن‌ها ارسال کند. چنین شبکه‌ای به‌دلیل ایجاد هزینه‌های حمل مضاعف و عدم رعایت زمان، علی‌القاعده به‌بازنگری نیازمند است.

با مطالعه دقیقی که نسبت به وضعیت موجود انجام پذیرفت و با مطالعه‌ای که در ادبیات کار صورت گرفت، روش ترکیب در راه به‌عنوان روشی اثربخش جهت سامان دادن به شبکه تأمین در حوزه خدمات پس از فروش انتخاب گردید.

مروری بر ادبیات بحث ترکیب در راه در ادامه خواهد آمد، اما در روش ترکیب در راه مراکزی تحت

حمل با کامیون (truckload)

هنگامی که یک کالا توسط کامیون حمل می‌شود، هزینه حمل کالا از مبدأ تا مقصد باید پرداخت گردد. ساختار هزینه در این حالت شامل دو بخش است:

- هزینه ثابت کرایه،
- هزینه متغیر که بستگی به مقدار مسافت دارد و با توجه به مسیر نیز بعضاً تفاوت می‌کند. در این حالت، هزینه حمل مستقل از وزن کالا است و به عبارت دیگر، هزینه حمل هر کامیون برای هر مسیر، عددی ثابت است. با توجه به این که ظرفیت هر کامیون عددی ثابت است، در صورتی که وزن یا حجم کالا از ظرفیت کامیون تجاوز کند، باید از یک کامیون اضافه استفاده شود. از آن جا که هزینه ثابت حمل بار با کامیون زیاد است، حمل محموله‌های کوچک با کامیون مقرون به صرفه نخواهد بود.

نمودار ۲ نمونه‌ای از منحنی هزینه برای حمل با کامیون را نشان می‌دهد. در این نمودار C نمایانگر ظرفیت وزنی کامیون است.

به طور معمول کامیون‌ها چند سایز مختلف دارند که برای سادگی، ما یک کامیون با یک اندازه مشخص را مفروض می‌گیریم. برای محاسبه زمان حمل چنین در نظر می‌گیریم که هر کامیون در روز ۶۰۰ کیلومتر مسافت طی می‌کند. با این روش، زمان حمل در هر مورد قابل محاسبه خواهد بود.

نمودار ۲: یک نمونه تابع هزینه حمل با کامیون

ترکیب در راه در حمل و نقل، لجستیک، و سیستم مونتاژ. «بارمل» و «سیم‌چی - لوی» (Barmel & Simchi-Levi) [۵] و همچنین «کرنیک» و «لاپورته» (Crainic & Laporte) بحث‌های مختلف در خصوص ترکیب در راه را مطرح و استراتژی‌ها و تاکتیک‌ها و همچنین بحث عملیاتی این حوزه را به خوبی ارائه کرده‌اند.

مسئله ترکیب در راه یک مسأله عمومی جریان شبکه با برنامه‌ریزی عدد صحیح با چند کالا (multi-commodity integer generalized network problem) است. برای مرور ادبیات مربوط به این بحث می‌توان به مطالعه انجام شده توسط شاپیرو (Shapiro) [۱] مراجعه کرد. البته کتاب‌هایی نیز در خصوص شبکه با چند کالا و شبکه با یک کالا در دست است [۶] اما براساس اطلاع ما، مراجع بسیار کمی در خصوص مدل عمومی شبکه با چند کالا وجود دارد.

روش حمل

در انتخاب روش حمل دو نکته حائز اهمیت است: اول) هزینه حمل؛ دوم) زمان. با تبادل (Trade-off) بین این دو عامل (هزینه و زمان)، روش حمل انتخاب می‌شود. جهت حمل چهار روش مدنظر قرار می‌گیرد:

۱) حمل با هواپیما، ۲) حمل با کامیون، ۳) حمل به شکل بسته کوچک، ۴) حمل کوچک‌تر از کامیون.

حمل با هواپیما سریع‌ترین روش است، اما گران تمام می‌شود. حمل هوایی معمولاً برای قطعات با ارزش و با حجم کم مورد استفاده است. کامیون از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است و برای محموله‌های بزرگ مورد استفاده قرار می‌گیرد. حمل بسته کوچک و کوچک‌تر از کامیون معمولاً دارای هزینه‌ای ارزان است، اما سرعت آن نیز به نسبت کم است.

هر یک از چهار روش فوق ساختار هزینه ویژه خود را دارد، اما نکته حائز اهمیت این است که هر یک از توابع مزبور با قطعات خطی (piecewise linear) است. در ادامه ساختار هزینه هر یک از چهار روش مزبور توضیح داده خواهد شد.

حمل هوایی

در حمل هوایی چنین فرض می‌شود که حمل هر کالا از یک نقطه به نقطه دیگر یک‌روزه انجام می‌گیرد. برای محاسبه هزینه حمل سه فاکتور نقش اساسی ایفا می‌کند:

- هزینه حمل برای محموله‌هایی که کم‌تر از حداقل وزن باشد، ثابت است.

- هزینه حمل براساس وزن کالا تعیین می‌گردد.

- در صورت افزایش ابعاد بار، قیمت افزایش می‌یابد.

نمودار ۳ یک نمونه از منحنی هزینه حمل هوایی را نشان می‌دهد. از آنجا که هزینه حمل هوایی بسیار گران است، تنها زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که محدودیت زمان اجازه استفاده از وسیله دیگری را ندهد.

حمل بار در حالت کوچک‌تر از کامیون به این صورت است که کالا به باربری فرستاده می‌شود و باربری سفارش‌های مختلف از بقیه مشتریان را جمع‌آوری کرده به صورت یک محموله با کامیون حمل می‌کند. این روش حمل ساختار هزینه‌ای شبیه بسته‌های کوچک دارد. در حمل کوچک‌تر از کامیون، هزینه متناسب با وزن افزایش می‌یابد.

قیمت حمل محموله‌های کوچک‌تر از کامیون، به گونه‌ای است که فقط برای محموله‌هایی که از یک وزن مشخص سنگین‌تر هستند مناسب است و ارسال کالا با وزن کم‌تر بهتر است با بسته‌های کوچک صورت گیرد.

نمودار ۴ نمونه‌ای از منحنی هزینه حمل بسته‌های کوچک و کوچک‌تر از کامیون را نشان می‌دهد.

از آنجا که در این روش محموله‌های مختلف جمع‌آوری می‌شود، زمان حمل طولانی‌تر است، بنابراین در مدل ما چنین فرض شده است که در هر روز ۴۵۰ کیلومتر مسافت طی می‌شود.

نمودار ۳: یک نمونه تابع هزینه حمل هوایی

حمل بسته‌های کوچک و کوچک‌تر از کامیون

هزینه حمل بسته‌های کوچک تابعی است از وزن و مسافت. در این روش، مسافت حمل براساس منطقه مشخص می‌شود. هزینه حمل برای هر منطقه متناسب با وزن افزایش می‌یابد. اگرچه در این حالت هزینه با توجه به مسافت تغییر می‌کند، اما در هر مسیر، مسافت ثابت است و هزینه صرفاً تابعی از وزن خواهد بود.

نمودار ۴: یک نمونه تابع هزینه بسته‌های کوچک/کوچک‌تر از کامیون

انتخاب مسیر

یکی از ویژه‌ترین عوامل اثرگذار در بحث شبکه، مبحث کوتاه‌ترین مسیر عبور است. مسیرهای موجود در شبکه ممکن است نشان‌دهنده یکی از عناصر مسافت، هزینه، زمان و امثالهم باشد. هدف عبارت است از مشخص کردن کوتاه‌ترین مسیر - از نظر مجموع

حملی که سرعت آن پایین باشد، از زمان طولانی تری برخوردار است، اگرچه هزینه حمل آن کم تر خواهد بود. بنابراین تبادل (trade-off) زمان و هزینه از مهم ترین عوامل اثرگذار در تصمیم گیری محسوب می شود.

از طرف دیگر، نقش زمان و مدیریت آن و مدیریت سفارش گذاری از آن جهت اهمیت دارد که می تواند مسیر بین تولیدکننده و مصرف کننده را کاهش دهد و هرگونه اتلاف زمانی در مسیر را که به دلیل انبارش صورت می گیرد به حداقل رساند. هزینه کم تر در انبارش کالا معرف خوبی برای رعایت زمان است و از طرفی رعایت زمان موجبات کاهش در هزینه انبارداری را نیز با خود خواهد داشت.

نکته آخر و غایی در مورد عامل زمان آن است که مشتری به دنبال دریافت کالا در زمان مقرر است و لذا رعایت زمان در جلب رضایت مشتری از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

جمع بندی از عوامل اثرگذار در شبکه زنجیره تأمین

از مجموعه عواملی که به عنوان عوامل اثرگذار تشریح گردید، اثر زمان و هزینه و تبادل این دو عامل که به صورت توأمان صورت می گیرد، از اهمیت ویژه ای برخوردار است. رعایت زمان از یک طرف خشنودی مشتری در دریافت به موقع تقاضا را در بردارد و همچنین کاهش مسیر زمان موجب کاهش هزینه انبارداری می گردد و از طرف دیگر کاهش مسیر زمان موجب افزایش هزینه حمل می شود. بنابراین نگاه به مدیریت شبکه تأمین اگر با توأم کردن عامل زمان و هزینه باشد و تبادل بین این دو عامل در یک مدل به صورت یکجا دیده شود، مدلی که طراحی خواهد شد، نه تنها هزینه حمل و انبارداری را بهینه خواهد ساخت، بلکه جلب نظر مشتری در دریافت تقاضا در زمان مقرر را نیز در پی خواهد داشت. بنابراین عامل اثرگذار در مدیریت شبکه تأمین اولاً هزینه حمل است که دارای تابعی با قطعات خطی است و ثانیاً هزینه انبارداری است که با انتخاب کوتاه ترین مسیر از حیث

مسافت، یا مجموع زمان، یا مجموع هزینه و غیره - از یک ایستگاه شبکه به نام مبدأ به یک ایستگاه دیگر آن به نام مقصد.

انتخاب مناسب مسیر در کاهش هزینه، زمان و مسافت نقش ایفا می کند. بنابراین در طرح شبکه همواره باید به دنبال مسیری بود که در کاهش این عوامل مؤثر باشد.

زمان

در مسأله مورد بحث یک دسته سفارش از طرف مشتری ارائه می گردد. هر سفارشی که از مشتریان دریافت می گردد، ترکیبی از قطعات مختلف است. برای مثال سفارش اول ترکیبی است از ۱۰۰ عدد میل لنگ، ۲۰۰ عدد پیستون و ۱۵۰ عدد پمپ روغن و سفارش دوم ترکیبی است از ۵۰ عدد دینام، ۲۰ عدد میل لنگ و ۱۰۰ عدد رینگ.

در زمانی که سفارش توسط مشتری اعلام می گردد باید هر یک از قطعات از سازندگان دریافت شود تا در مرکز ترکیب، محموله آماده شده و به صورت یکجا برای مشتری ارسال گردد. نکته مهم این است که مرکز ترکیب نباید به یک انبار بزرگ تبدیل گردد. مقدار انبارش موجود در مراکز ترکیب باید به گونه ای باشد که از لحاظ هزینه، کارا و اثربخش باشد. لذا باید حمل قطعات از منابع به مراکز ترکیب به گونه ای هماهنگ شود که تقریباً به صورت همزمان به مرکز ترکیب برسد و بدون تأخیر از مرکز ترکیب برای مشتریان ارسال گردد. چنان که از توضیحات مزبور آشکار است، مدیریت زمان در سفارش گذاری هر یک از مراکز ترکیب بسیار حائز اهمیت است. درخواست های رسیده از مشتریان باید چنان برای سازندگان سفارش گذاری شود که قطعات به موقع از سازندگان دریافت شده، محموله هر یک از مشتریان بی درنگ ارسال گردد.

همواره بین هزینه حمل و زمان، مبادله صورت می گیرد. چنانچه از وسیله حمل سریع تر استفاده کنیم، قاعدتاً هزینه بیش تری باید بپردازیم و برعکس، روش

برای مسائلی که دارای ساختار هزینه ای غیرمقعر هستند، معتبر است. هولمبرگ (Holmber) [۱۱] الگوریتمی را توسعه داد که برای مسائل مکان‌یابی تجهیزات (facility location problem) یا تابع هزینه با قطعات خطی قابل استفاده بود. وی از روش تجزیه بندر (bender's decomposition) برای حل مسأله استفاده کرد.

در تحقیق دیگری توسط هولمبرگ و لینگ (Holmberg & Ling) [۱۲] همان مسأله با روش لاگرانژ ابتکاری (lagrangian heuristic) حل شد. در هر دو مقاله مزبور، تابع هزینه غیرپیوسته و غیرمقعر بود، اما الگوریتم پیشنهاد شده صرفاً برای حل مسائل مکان‌یابی تجهیزات طرح گردیده بود.

مدل‌سازی تابع هزینه

برای مدل کردن تابع‌های هزینه با قطعات خطی، روش انتخاب چندگانه را مورد بحث قرار می‌دهیم. این مدل با متغیرهای صفر و یک معرفی می‌شود. برای این که مدل از جامعیت لازم برخوردار باشد، نوعی از توابع هزینه با قطعات خطی را بررسی می‌کنیم که مشابه نمودار ۵ باشد که در آن اولاً هزینه راه‌اندازی وجود دارد، ثانیاً تابع لزوماً پیوسته نیست، و ثالثاً می‌تواند پرش مثبت یا منفی داشته باشد. چنان که بعداً ملاحظه خواهد شد، معمولاً در دنیای واقع نیز مدل‌هایی که تابع هزینه با قطعات خطی دارند، دارای ویژگی‌های مزبور هستند.

نمودار ۵: نمونه‌ای از تابع هزینه با قطعات خطی

زمان ایجاد می‌شود و در همه عوامل فوق عامل زمان در کاهش و یا افزایش هزینه اثرگذار است. بنابراین عامل اثرگذار در مدل، تابع هزینه حمل و نقل و موجودی است که در این توابع، عامل زمان دارای اثرگذاری نخست است.

مروری بر ادبیات مدل‌سازی مسأله جریان شبکه

اگرچه ادبیات تحقیق درخصوص مسائل جریان شبکه وسیع است، اما تحقیق محدودی در خصوص مدل‌سازی مسائل با توابع هزینه با قطعات خطی صورت گرفته است. بالاک ریشمن (Balak Rishman) و گریوز (Graves) [۷] الگوریتمی مبتنی بر روش لاگرانژ برای مسأله‌های جریان شبکه بدون محدودیت ظرفیتی (uncapacitated network flow problem) با جریان هزینه مقعر قطعات خطی (Piecewise linear concave flow cost) مطرح کردند. روش آن‌ها دارای رویکردی کلی (generic approach) است و برای مواردی که جریان هزینه غیرمقعر است، نیز کاربرد دارد. اما در حد بررسی‌های انجام شده، تجربه اجرایی و محاسباتی برای کارکرد الگوریتم مزبور برای شبکه با تابع هزینه غیرمقعر موجود نیست. کمیتی و آرتگا (Cominetti & Ortega) [۸] مسائل جریان شبکه با محدودیت ظرفیتی با تابع هزینه مقعر قطعات خطی را با الگوریتم انشعاب و تحدید (branch & bound based algorithm) حل کردند. آن‌ها از مقعر بودن تابع هزینه استفاده کردند و با تجزیه و تحلیل حساسیت (sensitivity analysis) بهترین جواب، یعنی حد پایین (lower bounds) را محاسبه کردند. چند محقق دیگر (Chan, Muriel & Simchi-Levi) [۹] در به‌کارگیری روش مزبور در لجستیک، حالتی را بررسی کردند که در آن، برنامه‌ریزی برای چند کالا (multi-commodity version) صورت می‌گرفت. آن‌ها با استفاده از برنامه‌ریزی خطی مبتنی بر روش‌های ابتکاری، مسأله مزبور را حل کردند.

پوپکن (Popken) [۱۰] که مسائل جریان شبکه با چند کالا را مطالعه کرد، الگوریتمی را توسعه داد که

متغیرهای صفر و یک به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$y^s = 1 : \text{اگر بخش } S \text{ حاوی جریان باشد.}$$

$$y^s = 0 : \text{در غیر این صورت.}$$

در این روش فرمول‌نویسی، حداکثر یکی از

متغیرهای y^s می‌تواند برابر یک باشد.

با توجه به متغیرهای تعریف شده فوق، مدل

به صورت زیر خواهد بود:

$$\text{minimize } \sum_s c^s \chi^s + f^s y^s \quad (1)$$

$$\text{Subject to } : N_x = d \quad (2)$$

$$\chi = \sum_s \chi^s \quad (3)$$

$$b^{s-1} y^s \leq \chi^s \leq b^s y^s \quad (4)$$

$$\sum_s y^s \leq 1 \quad (5)$$

$$\chi, \chi^s \geq 0, y^s \in \{0,1\} \quad (6)$$

نمودار ۶: پارامترهای هر بخش

محدودیت ۲ نشان‌دهنده بالانس ماتریس وقایع

است.

محدودیت ۳ جریان هر مسیر را به‌عنوان جمع

جریان‌های هر بخش تعریف می‌نماید.

محدودیت ۴ نشان می‌دهد که اگر $y^s=0$ باشد آنگاه

بخش S حاوی هیچ جریانی نیست، یعنی $\chi^s=0$ است و

اگر $y^s=1$ باشد آنگاه جریان نهایی مسیر بر روی بخش S

قرار دارد. یعنی $b^{s-1} \leq \chi^s \leq b^s$ است.

محدودیت ۵ نشان می‌دهد که برای هر مسیر

حداکثر باید یکی از متغیرهای y^s برابر یک باشد.

محدودیت ۶ نشان می‌دهد که متغیرهای جریان

غیرمنفی هستند و متغیر y متغیر صفر و یک است.

برای تعریف تابع هزینه با قطعات خطی باید بتوانیم

هر قطعه را تعریف کنیم. نمودار ۶ پارامترهای مدل را

معرفی می‌کند.

روی هر مسیر e در هر بخش (segment) (S) از

قطعات خطی C_e^s معرف هزینه متغیر و f_e^s معرف هزینه

ثابت است. همچنین C_e^{s-1} حد پایین و b_e^s حد بالا در هر

بخش را نشان می‌دهد. ذیلاً روش مدل انتخاب چندگانه

جهت مدل کردن مسائل با تابع هزینه با قطعات خطی

مطرح می‌شود.

مدل انتخاب چندگانه (multiple choice

model)

مدل انتخاب چندگانه توسط بالاک ریشمن و گریوز

(Balak Rishnan and Graves) [Y] استفاده شده است و

به‌عنوان یک روش برای تعریف متغیرهای جریان شبکه

با توابع قطعات خطی به‌کار می‌رود. در این روش:

χ^s نشان‌دهنده جریان نهایی هر مسیر است مشروط

به آن که جریان بر روی بخش S باشد.

در این روش، هرگاه ارزش نهایی جریان برابر F

باشد که در بخش S قرار دارد آنگاه $\chi^s = F$ و $\chi^s = 0$

خواهد بود، به شرط آنکه $S \neq \hat{S}$ باشد.

تعریف مسأله و مفروضات آن

مسأله ترکیب در راه سیستمی است که از دو بخش

تفکیک شده است. نمودار ۷ شبکه مربوط به مسأله‌های

ترکیب در راه را نشان می‌دهد. قطعات و مجموعه‌ها از

مراکز تأمین به مراکز ترکیب می‌روند و در مراکز ترکیب

بر اساس سفارش‌های موجود محموله‌ها بسته‌بندی شده،

برای مشتریان ارسال می‌گردد. در صنعت خودرو،

سازندگان قطعات و مجموعه‌ها برای هر قطعه متعدّدند

و دارای پراکندگی جغرافیایی نیز هستند.

را سفارش گذاری کند، تمام اجزای آن باید از مراکز تأمین به یکی از مراکز ترکیب وارد شود و از آنجا به صورت محصول برای مشتری ارسال گردد و چنانچه گفته شد مرکز ترکیب نباید به یک مرکز انبارش تبدیل شود و نگهداری موجودی باید در حداقل مقدار ممکن باشد. به علاوه هماهنگی باید به صورتی انجام گیرد که قطعات و اجزا به گونه ای تقریباً همزمان به مرکز ترکیب وارد شوند تا حمل محصول به مشتری بدون تأخیر انجام گیرد.

عوامل اثرگذار در مسأله عبارت است از:

۱) زمان (timing) (چه وقت حمل باید صورت گیرد.)، ۲) چه مرکز ترکیبی باید انتخاب شود (routing) (انتخاب مسیر)، ۳) روش حمل (mode of transporation). در هنگام انتخاب روش حمل بین هزینه حمل و زمان حمل تبادل (trade off) صورت می گیرد. به عنوان مثال، حمل هوایی سریع تر اما گران است و در مقابل، بسته کوچک با هزینه کم تر اما زمان طولانی تر حمل می شود.

با توجه به توضیحات فوق، مسأله به شرح زیر تبیین می گردد:

مجموعه ای از تقاضا (نوع محصول، محل مشتری، زمان تحویل) داده می شود. در افق برنامه ریزی کوتاه مدت مطلوب است:

انتخاب مرکز ترکیب بهینه، روش حمل و زمان ارسال قطعات از مراکز تأمین به مرکز ترکیب و ارسال محصول از مرکز ترکیب به مشتری به منظور ارضای نیاز مشتری.

چند نکته کلیدی زیر در این مسأله حائز اهمیت است:

روش حمل باید به گونه ای انتخاب گردد که محصول به صورت یکجا با حداقل هزینه تحویل مشتری شود.

صرفه در مقیاس گاه ایجاب می کند که قطعات زودتر از نیاز به مرکز ترکیب برسد و در نتیجه نگهداری موجودی در کوتاه مدت اتفاق می افتد.

نمودار ۷: شبکه ترکیب در راه

هر سفارشی که از مشتریان دریافت می گردد، ترکیبی از قطعات مختلف است. در زمانی که سفارش توسط مشتری اعلام می گردد باید هر یک از قطعات از سازندگان دریافت شود تا در مرکز ترکیب، محموله آماده شده به صورت یکجا برای مشتری ارسال گردد. نکته مهم این است که مرکز ترکیب نباید به یک انبار بزرگ تبدیل گردد. مقدار انبارش موجود در مرکز ترکیب باید به گونه ای باشد که از لحاظ هزینه کارا (effective cost) باشد. لذا باید حمل قطعات از منابع به مراکز ترکیب به گونه ای هماهنگ گردد که تقریباً به صورت همزمان به مرکز ترکیب برسد و بدون تأخیر از مرکز ترکیب برای مشتریان ارسال گردد.

چنانچه از توضیحات مزبور مبرهن است، سفارش گذاری توسط هر یک از مراکز ترکیب بسیار حائز اهمیت است، درخواست های رسیده از مشتریان باید آنچنان برای سازندگان سفارش گذاری گردد که قطعات به موقع از سازندگان دریافت و محموله هر یک از مشتریان بی درنگ ارسال گردد.

خروجی مراکز ترکیب را محصول (product) نامیده ایم و هر محصول ترکیبی از قطعات مختلف است. به عنوان مثال محصول A ترکیبی است از استارت، دینام، پیستون و محصول B ترکیبی است از میل لنگ، پمپ روغن و رینگ. هرگاه مشتری محصولی

- مراکز تأمین به صورت نامحدود قطعات را عرضه می‌کنند.
انتظار بر این است که این مدل براساس آخرین داده‌ها روزآمد شود؛ در هر روز مدل اجرا و براساس نتایج پیشنهادی برنامه روز بعد تنظیم گردد و روز بعد نیز با توجه به اطلاعات جدید تقاضا، مدل مجدداً تجدید و اجرا شود.

طراحی مدل پایه

با توجه به تعریف مسأله، مدل عمومی مسأله به شرح زیر است.

Minimize هزینه انبارداری + هزینه حمل
جریان قطعات به مراکز ترکیب و جریان محصول از مراکز ترکیب: Subject to
باید محدودیت‌های مراکز ترکیب را پوشش دهد،
تقاضای مشتری باید با یک مرحله حمل پوشش داده شود.
از ظرفیت مراکز ترکیب تجاوز نکند.

مدل باید به گونه‌ای کار کند که «سیستم کششی» (pull system) باشد. جریان محصول از مراکز ترکیب به مشتریان، باید تقاضای مشتریان را ارضا کند و همچنین شامل معادله توازن (flow balance) در هر مرکز ترکیب، باشد و جریان مناسب قطعات از منابع به مراکز ترکیب را برقرار می‌سازد. به دلیل این که فرض بر این است که مراکز تأمین محدودیت ظرفیت ندارند، محدودیت عرضه وجود ندارد و معادله توازن صرفاً مشتمل بر محدودیت تقاضا خواهد بود.

با توجه به ماهیت مسأله باید مطمئن شد که مدل طراحی شده چهار ویژگی زیر را پوشش می‌دهد:

- جریان ورودی قطعات و جریان خروجی محصول در مراکز ترکیب باید برقرار باشد و همچنین هر یک از اجزای تشکیل دهنده یک محصول باید قبل از حمل به مراکز تقاضا آماده باشد.

زمان و هزینه باید به صورت توأمان مدنظر قرار گیرد. گاه دستیابی به زمان کمتر هزینه بیش‌تری را تحمیل می‌کند و برعکس گاه زمان بیش‌تر موجب صرفه‌جویی و کاهش هزینه می‌گردد.

در خصوص نگهداری موجودی در مراکز ترکیب باید گفت، هدف کلی باید چنان باشد که مرکز ترکیب به محل انبارش تبدیل نشود؛ اما گاه مسأله با توجه به بحث صرفه در مقیاس ایجاب می‌کند که مقدار محدودی از موجودی نگهداری گردد. به عنوان مثال، مرکز ترکیب «الف» نیاز به ۱۰ عدد دینام در روز سوم و همچنین به ۲ عدد دینام در روز چهارم دارد. در این حالت مقرون به صرفه‌تر خواهد بود اگر ۱۲ عدد دینام در روز سوم حمل شود. در این حالت، تبادل هزینه حمل و هزینه انبارش یک روز موجودی برای ۲ عدد دینام را توجیه می‌کند. بنابراین هرگاه صرفه در مقیاس در هزینه حمل، هزینه انبارداری را توجیه‌پذیر کرد، جواب بهینه به گونه‌ای خواهد بود که هر ۱۲ عدد دینام به صورت یکجا حمل گردد.

مسأله مفروضات زیر را در بر دارد:

- مراکز ترکیب از قبل تعیین شده‌اند و تغییر نمی‌یابند.
- تقاضا در ظرف زمانی مشخص تعریف می‌شود.
- سفارش‌گذاری از طریق هر یک از مراکز ترکیب قابل انجام است و مشتری برای اعلام تقاضا به یک مرکز ترکیب خاص مراجعه می‌کند.
- مراکز ترکیب دارای محدودیت ظرفیت هستند.
- تقاضای مشتری باید در زمان تقاضا تحویل گردد، نه زودتر و نه دیرتر.
- در صورتی که قطعات در یک روز به مرکز ترکیب وارد شود گفته می‌شود که قطعات به صورت همزمان به مرکز ترکیب رسیده است.
- محل استقرار کلیه ایستگاه‌ها داخلی است و بنابراین بحث هزینه‌های گمرکی و غیره وجود ندارد.

تعریف می‌شوند. هر مرکز تقاضا درخواستی را در سیستم طرح می‌کند که ترکیبی از محصولات است که در آن ایستگاه مورد تقاضا است. براساس مکانیزمی شبیه BOM (Bill Of Material)، تقاضا برای هر محصول به تقاضای قطعات تشکیل دهند آن که باید توسط مراکز تأمین تولید شود، تبدیل می‌گردد. (تقاضا برای محصول \Leftarrow تقاضا برای قطعات تشکیل دهنده آن). بنابراین برای مرکز تقاضای J ، متغیری به نام d_j^k تعریف می‌کنیم که تقاضای کل برای قطعات K در هر درخواست را معرفی می‌کند.

مسیر در شبکه را این‌گونه تعریف کرده‌ایم: مسیر اولاً معرف ارتباط فیزیکی بین مبدأ و مقصد است. ثانیاً روش حمل را مشخص می‌کند. ثالثاً معرف زمان است (به دلیل نیاز در این مسأله زمان روز در نظر گرفته شده است). بنابراین حمل یک محموله در مسیر e به این معنا است که کالا از یک منبع به یک مقصد مشخص با روش حمل و زمان معین جابه‌جا شده است. با این تعریف قادر خواهیم بود هر جابجایی در شبکه را با احتساب زمان نشان دهیم و نیز نگهداری موجودی در مراکز ترکیب را نیز تعریف کنیم.

دسته مسیرهای سه‌گانه به شرح زیر است: دسته اول از مسیرها در ایستگاه مراکز تأمین تعریف شده‌اند و خود شامل سه مسیر هستند. هر روش حمل یک مسیر را به خود اختصاص می‌دهد و همان‌طور که توضیح داده شد از آنجا که سه روش حمل وجود دارد، سه مسیر خواهیم داشت. این مسیرها به مراکز ترکیب مرتبطند و مشتمل بر زمان حمل نیز هستند، چون زمان حمل در هر روش حمل مشخص است در هر مسیر، سه متغیر به شرح زیر تعریف گردیده است: χ_e^s وزن کل محموله است وقتی در بخش s (segment) از مسیر e قرار می‌گیرد.

u_e^k واحد جریان (unit flow) قطعه k در مسیر e است. y_e^s متغیر صفر و یک است و نشان می‌دهد آیا جریان وزن (flow weight) در مسیر e در بخش s قرار دارد؟

- مناسب‌ترین روش حمل باید انتخاب گردد و ساختار هزینه حمل و زمان حمل در انتخاب ملحوظ باشد.

- جریان ورودی قطعات به مراکز ترکیب و جریان خروجی محصول از آن به صورت همزمان صورت نمی‌گیرد و باید تأخیر زمانی بین قطعاتی که از مراکز تأمین حمل می‌شود و به مراکز ترکیب وارد می‌گردد و بین محصولی که از مراکز ترکیب حمل می‌شود و به دست مشتریان می‌رسد، در نظر گرفته شود.

- مراکز ترکیب باید موجودی کوتاه مدتی را نگهداری کنند.

به منظور برآورده شدن ویژگی‌های فوق، ساختار شبکه به گونه‌ای معرفی شده است که زمان و هزینه (time and mode expanded network) را توأمان ملحوظ کند. همان‌گونه که در نمودار ۸ ملاحظه می‌گردد، ساختار شبکه شامل سه دسته ایستگاه (node) و سه دسته مسیر (acr) است.

ایستگاه‌ها به شرح ذیل است:

دسته ایستگاه‌های P که شامل ایستگاه مراکز تأمین و ایستگاه زمان (روز) است.

دسته ایستگاه‌های M که شامل ایستگاه مراکز ترکیب و ایستگاه زمان (روز) است.

دسته ایستگاه‌های D که شامل ایستگاه مراکز تقاضا است. مراکز تقاضا با محل استقرار مشتریان (customer location) و زمان (روز) تحویل (day of delivery)

نمودار ۸: ساختار شبکه: نگاه توأمان به زمان و هزینه

مجموعه‌ها

P ایستگاه‌های شبکه که معرف مراکز تأمین و زمان است.

M ایستگاه‌های شبکه که معرف مراکز ترکیب و زمان است.

D ایستگاه‌های شبکه که معرف مراکز تقاضا و زمان است.

A_p مسیر شبکه از مراکز تأمین به مراکز ترکیب که معرف زمان نیز است.

A_I مسیر شبکه که معرف نگهداری موجودی و زمان آن است.

A_D مسیر شبکه از مراکز ترکیب به مراکز تقاضا و معرف زمان نیز هست.

H_i مسیرهای وارد به ایستگاه i

T_i مسیرهای خارج شده از ایستگاه i

داده‌ها

H_e^k هزینه روزانه نگهداری قطعه k در مرکز ترکیب مربوط به مسیر e

P^k وزن یک واحد از قطعه k

L^k حجم یک واحد از قطعه k

q_i ظرفیت حجمی مرکز ترکیب i

d_j^k واحدهایی از قطعه k که برای تأمین نیاز ایستگاه j لازم است.

C_e هزینه نهایی حمل که نیاز را در مسیر e بر طرف می‌سازد $e \in A_D$

متغیرها

x_e^s وزن نهایی محموله در مسیر $e \in A_p$ اگر در بخش s قرار گیرد.

V_e^k تعداد موجودی از قطعه k در مرکز ترکیب در مسیر $e \in A_I$

U_e^k تعداد جریان قطعه k در مسیر $e \in A_p$

y_e^s متغیر صفر و یک که نشان‌دهنده جریان در مسیر $e \in A_p$ و بخش s است.

هزینه هر جریان در این مسیرها قطعات خطی است که در نمودار ۶ قبلاً مشخص شده است.

دسته دوم از مسیرها، معرف نگهداری موجودی در مراکز ترکیب است و شامل یک مسیر برای هر مرکز ترکیب در زمان t است که به همان مرکز ترکیب در زمان $t+1$ متصل می‌شود. متغیر V_e^k معرف تعداد موجودی قطعه k در مرکز ترکیب و تعداد روز در مسیر e است.

هزینه جریان در این مسیر با متغیر h_e^k مشخص می‌شود. این متغیر نشان‌دهنده هزینه روزانه نگهداری قطعه k در مرکز ترکیب است.

مجموعه مسیر همچنین شامل مسیرهای از مراکز ترکیب به مشتریان است. هر مرکز تقاضا در شبکه سه مسیر دربر دارد. هر روش حمل یک مسیر را به خود اختصاص می‌دهد و چون سه روش حمل موجود است، بنابراین سه مسیر برای آن وجود خواهد داشت.

مسیرهای سه‌گانه مزبور از ایستگاه تقاضا شروع می‌شود و به ایستگاه‌های مراکز ترکیب در زمان مشخص منتهی می‌گردد. در طراحی مسیر به این روش، نکته بسیار مهمی نهفته و آن این‌که براساس زمان تحویل، زمان مناسب جهت حمل کالا از مراکز ترکیب به مراکز تقاضا و مشتری استخراج می‌گردد. به منظور تعریف محدودیت مربوط به رسیدن یکجای محموله از مرکز ترکیب به مشتری، یک متغیر صفر و یک (W_e) تعریف گردید. در هر مسیر، از مرکز ترکیب تا مشتریان، متغیر مزبور نشان می‌دهد آیا محموله به صورت یکجا و در روز مقرر برای مشتری حمل شده است یا خیر؟ این روش زمانی برقرار است که محموله به صورت یکجا و با یک حمل به مشتری برسد و به لحاظ زمانی زودتر و یا دیرتر از روز مقرر نباشد. هزینه در این دسته مسیرها ثابت است و معادل C_e است، بدین نحو که:

C_e معرف هزینه ارسال کالا مربوط به ایستگاه j است، یعنی $\sum_k d_j^k$

به طور خلاصه ماژ نمادهای زیر استفاده کرده‌ایم:

مرکز ترکیب به علاوه موجودی قطعه برای روز بعد باشد.

قابل توجه این که جریان خروجی از مرکز ترکیب باید با متغیری که بیان کننده حمل یکجای محموله است (W_e) نشان داده شود تا اطمینان از ترکیب مناسب قطعات و درخواست ایجاد گردد. محدودیت ۹ ظرفیت مرکز ترکیب را نشان می دهد. محدودیت ۱۰ ارتباط بین متغیر u را که معرف تعداد جریان هر قطعه است با متغیر χ که معرف وزن نهایی جریان در هر بخش است نشان می دهد. محدودیت ۱۱ به منظور اطمینان از ارضای تقاضا با یک محموله است و بالاخره محدودیت ۱۲ و ۱۳ محدودیت انتخاب بخش (segment) است. اگر $y^s=0$ باشد آنگاه بخش S حاوی هیچ جریانی نخواهد بود، یعنی $\chi^s=0$ است و اگر $y^s=1$ باشد آنگاه جریان نهایی مسیر بر روی بخش S قرار دارد، یعنی $b^{s-1} \leq \chi^s \leq b^s$

محدودیت شماره ۱۴ نشان می دهد که متغیرهای y^e و W_e متغیرهای صفر و یک هستند و وزن کالا (x^s) عددی مثبت و تعداد موجودی و تعداد جریان نیز عدد صحیح بزرگ تر از صفر است.

حل مدل و بررسی نتایج

مدل ریاضی طراحی شده با داده های فرضی از طریق نرم افزار Lingo.3 و Lingo.8 در پانزده نوبت حل شده است. در هر نوبت، تعداد متغیرها نسبت به نوبت پیشین با تغییر تعداد مراکز ترکیب، مراکز تأمین و روش حمل، افزایش یافت و نهایتاً تا حدود سیزده هزار متغیر رسید. در ۱۳ مورد، جوابها کاملاً منطقی و از دیدگاه مدیریت بنگاه قابلیت اتکا داشت و در ۲ مورد تصمیم سازی مؤثر تشخیص داده شد. در ۲ مورد جوابها غیرمنطقی به نظر رسید که با تحلیل مدل و تحلیل جوابها مشخص گردید داده های ورودی از صحت لازم برخوردار نبوده که با برخی اصلاحات، جواب مدل در این دو حالت نیز منطقی گردید. نتایج حاصل از مدل نسبت به وضعیت موجود، صرفه جویی بسیار هنگفتی را نشان می داد که با اجرایی کردن مدل می توان از صرفه جویی مزبور در عمل بهره جست. با توجه به موارد فوق، فرضیه های تحقیق که در قسمت نخست این مقاله طرح گردید ثابت می گردد.

W_e متغیر صفر و یک که نشان می دهد تقاضا در مسیر e به صورت یکجا و در زمان مقرر به مشتری رسیده است ($e \in A_D$).

با توجه به شبکه تعریف شده و با توجه به مجموعه ها، داده ها، و متغیرهای فوق، مدل مسأله به شرح زیر خواهد بود:

(۷)

(۸)

(۹)

(۱۰)

(۱۱)

(۱۲)

(۱۳)

(۱۴)

تابع هدف، حاصل مینیمم کردن سه بخش از هزینه ها است. بخش اول مینیمم کردن هزینه ثابت و متغیر هر جریان در مسیر بین مراکز تأمین و مراکز ترکیب است. بخش دوم مینیمم کردن هزینه نگهداری موجودی در مراکز ترکیب است و بخش سوم مینیمم کردن هزینه حمل از مرکز ترکیب به مشتری است. محدودیت ۸ نشان دهنده بالانس ماتریس وقایع در مرکز ترکیب است؛ به این معنا که جریان هر قطعه ورودی به مرکز ترکیب در یک روز مشخص به علاوه موجودی آن قطعه در مرکز ترکیب باید برابر جریان خروجی از

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

این مقاله، مسأله بهینه‌سازی با تابع هزینه قطعات خطی را مطرح کرد و با استفاده از مدل عمومی شبکه و با طراحی عملیاتی «سیستم شبکه ترکیب در راه» طرحی بدیع را در ایجاد صرفه‌جویی بسیار هنگفت در نظام خدمات پس از فروش در صنعت خودروسازی ارائه کرد. این تحقیق دو ویژگی داشت: اول مدل‌سازی و دیدگاه تئوریک برای ایجاد یک مسأله عمومی است که قابلیت انعطاف داشته باشد و دوم این‌که برای مدل‌سازی مسائل در دنیای واقع قابل استفاده است.

نکات قابل توجه در این مقاله به شرح زیر است:

۱. عامل اثرگذار در مدل‌های زنجیره تأمین نوع تابع هزینه است،

۲. اثرگذاری عامل (زمان و هزینه)،

۳. تابع هزینه حمل از عوامل اصلی اثرگذار در مدل است که تابع هزینه آن قطعات خطی است.

۴. طرح شبکه (ترکیب در راه) در مدیریت زنجیره تأمین در صنعت خودروسازی (خدمات پس از فروش) استفاده شده است.

۵. طراحی و به‌کارگیری این نوع مدل صرفه‌جویی بسیار هنگفتی به همراه دارد.

۶. بهینه‌سازی مدیریت زنجیره تأمین در قالب مدل‌های شبکه امکان‌پذیر است.

۷. در مدل شبکه طراحی شده اولاً در بین مبدأ و مقصد ایستگاه واسطه وجود دارد؛ ثانیاً به‌جای تک‌کالا در شبکه، جریانی از ترکیب چندین کالا وجود دارد؛ ثالثاً ایستگاه واسطه دارای ظرفیت معینی است و رابعاً در ایستگاه واسطه کنترل حداقل موجودی مطرح است.

منابع

1. Shapiro J.F. (1993) Chapter 8 in the Handbook in operations research in management science, vol 4: logistics of production and inventory. Edited by S.C. graves, A.H.G. Rinnooy Kan. P.H. zipking, Elsevier science publishers.
2. Hastings, P. (1998) Manufacturing on the move. Cargovision, September, <http://www.cargovision.com/magazine3/manufacturing.html>.
3. Dawe, R.L. (1997) Move it fast... Eliminate steps, transportation and distribution 38, Number 9, pp. 67-70.
4. Cole, M.H. and M.Parthasarathy (1998) Design of merge-in-Transit logistics networks. Proceedings of "Rensselaer's international conference on agile, Interligent, and computer intergrated manufacturing", October, Troy, Ny.
5. Bramel J. and D. Simchi-Levi (1997) The Logic of logistics, Springer-Verlog.
6. Ahuja, R.K. TIL. Magnanti and J.B. orlin (1993) Network Flows: theory, algorithms and application. prentics, Hall.
7. Balakricshnan, A. and S. Graves (1989) A composite algorithm for a concave - cost network flow problem. Network 19, pp. 175-202.
8. Cominetti, R. and F. Ortega (1997) A Branch & Bound Method for minimum concave cost network flows based on sensitivity analysis. Universidad de chile.
9. Chan, L., A. Muriel and D. Simchi- Levi (1997) Supply chain management: integrating inventory and transportation. Northwestern university.
10. Popken, D. (1994) An Algorithm for the multiattribute, multicommodity flow problem with freight consolidation and inventory costs. Operations research 42, pp.274-286.
11. Holmberg, K. (1994) Solving the staircase cost facility location problem with decomposition and piecewise linearization. European journal of operational research 75, pp.41-61.
12. Holmberg, K. and J. Ling (1997) A Lagrangean Heuristic for the facility location problem with staircase costs. European journal of operational reserch 97, pp.63-74.