مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (زمستان ۱۳۹۷)
دوره‌ی ۱-۳۴، شماره‌ی ۲/۱، ص. ۲۱-۳۲

Original Article

مسئله‌ی هماهنگی تولید ـ توزیع در زنجیره‌ی تأمین با در نظر گرفتن تخفیفات قیمت حمل‌ونقل

مجتبی عرب مومنی (دانشجوی دکترا)
سعید یعقوبی* (استادیار)
محمدرضا محمد علیها (دانشیار)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت

فعالیت‌های حمل‌ونقل برخی از محصولات صنعتی مانند محصولات معدنی یا محصولات وارداتی ، به یک سیستم توزیع مخصوص با قابلیت‌های تخصصی برون‌سپاری می‌شود. در این حالت بین تصمیمات مختلف کارخانه‌های تولیدی مانند برنامه‌ی تولید و مدیریت موجودی و تصمیمات حمل‌ونقل و توزیع و بهره برداری از تجهیزات توزیع کننده وابستگی وجود دارد و در نظر گرفتن این وابستگی‌ها در یک مدل یکپارچه، منجر به بهبود عملکرد هرکدام از اعضای زنجیره‌ی تأمین می‌شود. در این نوشتار، مدل‌سازی این مسئله و توسعه‌ی یک سازوکار هماهنگی مبتنی بر تخفیف هزینه‌های حمل‌ونقل ارائه می‌شود. نتایج حل مدل پیشنهادی نشان می‌دهد که ظرفیت حمل‌ونقل توزیع کننده نقش کلیدی در عملکرد زنجیره‌ی تأمین دارد و سازوکار هماهنگی پیشنهادی، امکان بیشینه‌ی بهره‌برداری از تجهیزات حمل‌ونقل و انگیزش کافی اعضا برای یکپارچگی را فراهم می‌کند. همچنین زمان حل مسائل با اندازه‌های مختلف، با استفاده از حل دقیق مدل توسط نرم‌افزار گمز بررسی شد.

واژگان کلیدی: زنجیره‌ی تأمین دوسطحی تولید - توزیع، هماهنگی زنجیره‌ی تأمین، قرارداد تخفیف حمل‌ونقل.

m_arabmomeni@ind.iust.ir
yaghoubi@iust.ac.ir
mrm_aliha@iust.ac.ir

۱. مقدمه

یک زنجیره‌ی تأمین از اجزای تصمیم‌گیری مختلفی تشکیل شده است که حتی ممکن است این اجزا در مکان‌های جغرافیایی مختلفی قرار داشته باشند. به وضوح مشخص است بهترین تصمیماتی که در مورد زنجیره‌ی تأمین گرفته می‌شود و عملکرد کلی آن را بهینه می‌کند، تصمیماتی است که همه‌ی اجزای زنجیره‌ی تأمین را به صورت یکپارچه در نظر بگیرد. با وجود این دست‌یابی به این تصمیمات متمرکز با چالش‌هایی مواجه است و ممکن است همه‌ی اعضا حاضر به پذیرش و اجرای تصمیمات متمرکز نباشند؛ زیرا ممکن است عملکرد آن‌ها را نسبت به تصمیمات مستقل تضعیف کند. با این همه در مسائل دنیای واقعی برای یکپارچه کردن کل زنجیره‌ی تأمین و استفاده از مزایای یکپارچگی، سازوکارهای هماهنگی استفاده می‌شود. این سازوکارها برای نیل به تصمیمات یکپارچه با توجه به انگیزش‌هایی که در اعضا ایجاد می‌کنند، ضروری‌اند.

در یک زنجیره‌ی تأمین، اجزا می‌توانند همه‌ی فعالیت‌های مرتبط را در داخل زنجیره‌ی تأمین انجام دهند یا بخشی از فعالیت‌ها را به یک شرکت دیگر برون سپاری کنند. برای مثال فعالیت‌های مرتبط با حمل و نقل یا جریان مواد در زنجیره‌ی تأمین می‌تواند به یک توزیع کننده‌ی مرکزی برون سپاری شود. این راهبرد باعث کاهش هزینه‌ی سرمایه گذاری در تسهیلات، تجهیزات، فناوری اطلاعات و نیروی انسانی می‌شود.[۱] مسئله‌ی برون سپاری حمل‌ونقل به خصوص زمانی که به تجهیزات حمل‌ونقل خاص نیاز است، مانند تجهیزات ریلی برای حمل‌ونقل محصولات معدنی، کاربرد زیادی دارد.[۲] در پژوهش حاضر مسئله‌ی هماهنگی یک زنجیره‌ی تأمین شامل تولیدکنندگان و توزیع‌کننده‌ی مرکزی با استفاده از قرارداد هایی که آن را تخفیف هزینه‌ی حمل‌ونقل می‌نامیم مورد مطالعه قرار گرفته است و نشان داده می‌شود که سازوکار یکپارچه‌ی تولید ـ زمان‌بندی پیشنهادی باعث بهبود عملکرد زنجیره‌ی تأمین می‌شود. بدین منظور مسئله‌ی مورد بررسی در سه مرحله مدل‌سازی می‌شود و در نهایت راه حل هماهنگ زنجیره‌ی تأمین که تصمیمات مربوط به تولید، کنترل موجودی، و توزیع را یکپارچه می‌کند و عملکرد همه‌ی اعضا را بهبود می‌بخشد، ارائه می‌شود.

در زنجیره‌ی تأمین صنایع معدنی چندین معدن مستقل به پایانه‌های حمل و نقل از طریق یک خط راه‌آهن مشترک متصل می‌شوند. یک توزیع کننده‌ی مرکزی برنامه‌های حمل‌ونقل را با معادن هماهنگ می‌کند تا زمان بندی قطارها را بین معادن و پایانه‌های حمل‌ونقل به منظور تأمین تقاضای مشتریان برنامه ریزی کند.[۳] در

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۵/۵/۱۱، اصلاحیه ۱۳۹۵/۱۲/۱۷، پذیرش ۱۳۹۶/۲/۱۰.
DOI:10.24200/J65.2018.20052

این زنجیره، هرکدام از تولید کنندگان مجموعه‌یی از سفارش‌ها را از مشتریان خود دریافت می‌کنند. این سفارش‌ها با استفاده از کلاس‌های مختلف واگن‌ها می‌توانند به مشتریان تحویل داده شوند و توزیع کننده‌ی مرکزی در هر کلاس تعداد خاصی از وسایل نقلیه دارد. تولید کننده معمولاً برنامه‌ی تولید و کنترل موجودی خود را بدون توجه به منابع حمل‌ونقل توزیع کننده انجام می‌دهد و بر مبنای آن سفارش‌های وسایل نقلیه را به توزیع کننده ارائه می‌دهد. از این رو در صورتی که تولید کننده درخواست تعداد وسایل نقلیه‌ی بیشتری از وسایل نقلیه‌ی در دسترس توزیع کننده داشته باشد، بین برنامه‌ی تولید کنندگان و توزیع کننده تناقض ایجاد می‌شود و تولید کننده متحمل هزینه‌های اضافی مانند دیرکرد سفارش‌ها می‌شود. بنابراین در صورت حل یکپارچه‌ی برنامه ریزی تولید و زمان‌بندی حمل‌ونقل، عملکرد کلی زنجیره‌ی تأمین می‌تواند بهبود یابد. با وجود این دست‌یابی به این یکپارچگی لزوماً به‌معنای عملکرد بهتر همه‌ی اعضا نیست و امکان دارد بعضی از تولید کنندگان که می‌توانستند از سیستم‌های حمل‌ونقل جایگزین استفاده کنند با پذیرش برنامه‌ی یکپارچه متضرر شوند. در حالت غیریکپارچه سازوکار مرسوم به این صورت است که تولید کنندگان برنامه‌ی تولید و توزیع خود را مشخص می‌کنند و درخواست‌های حمل‌ونقل خود را به توزیع کننده ارائه می‌دهند. توزیع کننده با توجه به میزان منابع حمل‌ونقل در دسترس و در نظر گرفتن سایر سفارش‌ها، برنامه‌ی ارسال وسایل نقلیه را به تولید کنندگان مشخص و اعلام می‌کند. سپس تولید کنندگان با در نظرگرفتن سایرگزینه‌های حمل‌ونقل و زمان‌بندی دریافتی از توزیع کننده‌ی اصلی، به تعدیل برنامه‌های خود و تصمیم درباره‌ی گزینه‌های مختلف حمل‌ونقل می‌پردازند. در صورت عدم انتخاب کامل برنامه‌ی زمان‌بندی حمل‌ونقل پیشنهادی توزیع کننده توسط تولید کنندگان، توزیع کننده با بی‌کاری منابع و هزینه‌ی فرصت مواجه می‌شود. تولید کنندگان نیز عملاً ترجیح می‌دهند به علت هزینه‌ی کمتر، شهرت و قابلیت اطمینان توزیع کننده‌ی مرکزی از منابع او برای حمل‌ونقل استفاده کنند ولی به علت افزایش سایر هزینه‌ها مانند هزینه‌ی دیرکرد و هزینه‌ی نگهداری در برخی از موارد سایرگزینه‌ها را ترجیح می‌دهند. در این تحقیق یک سازوکار هماهنگی پیشنهاد می‌شود که توزیع کننده برای درخواست‌های خارج از برنامه‌ی تولید کنندگان، تخفیف هزینه‌ی حمل‌ونقل ارائه دهد تا با این سازوکار مجموعه‌ی زنجیره‌ی تأمین قادر باشند از مزایای یکپارچگی به صورت مشترک استفاده کنند.

مدل‌های زمان‌بندی و برنامه‌ریزی تولید در مقالات چندی مورد توجه قرارگرفته است. مقاله‌های مروری[۴-۷] پیشرفت‌ها و روندهای اخیر در حوزه‌ی مدل‌سازی یکپارچه‌ی تولید - توزیع را ارائه کرده‌اند. درمطالعات انجام شده[۵] یکپارچگی لجستیک و عملکردهای تولید مطالعه شد، به مزایای محتمل در صرفه جویی‌های هزینه و بهبود کارایی پرداخته شد و یک طبقه‌بندی از مدل‌های تولید/توزیع/موجودی و مدل‌های موجودی/مسیریابی ارائه شد. در حوزه‌ی مسائل یکپارچه‌ی برنامه ریزی تولید و زمان بندی به جای حل مدل یکپارچه، مدل‌های ترتیبی در بسیاری از مسائل ترجیح داده شده‌اند. این رویه باعث کاهش پیچیدگی مسئله می‌شود و زیر مسئله‌ها به صورت متوالی حل می‌شوند[۵ و ۸] مهم‌ترین اشکال این رویکرد این است که یکی از تصمیم گیرندگان باید منتظر تصمیم دیگری بماند که این راهبرد ممکن است برای او بهینه نباشد. در[۶] به چالش‌ها و فرصت‌های مدل‌های یکپارچه‌ی تولید و زمان‌بندی پرداخته شد و مدل‌های یکپارچه بر اساس عملکرد و نوآوری دسته بندی شدند. در[۷] مروری از مدل‌های برنامه ریزی ریاضی برای برنامه ریزی تولید و حمل‌ونقل ارائه شد که شامل رویکردهای مدل‌سازی مختلف مانند مدل‌های خطی (LP)[۱]، برنامه ریزی عدد صحیح مختلط (MILP)[۲]، برنامه ریزی غیرخطی (NLP)[۳]، چند هدفه، برنامه ریزی فازی، روش‌های حل ابتکاری و فرابتکاری، برنامه ریزی احتمالی و مدل‌های هیبرید بود. همچنین به اهمیت مدل های یکپارچه تأکید شد. در یک مدل یکپارچه‌ی تولید و توزیع با در نظرگرفتن محدودیت منابع در صنایع خدماتی ارائه شد که ارزش یکپارچگی را بامقایسه‌ی مدل یکپارچه و مدل‌های متوالی نشان داد.[۹] در تحقیق حاضر نیز ارزش یکپارچگی در مقایسه با مدل‌های متوالی بررسی شده است.

مسئله‌ی زمان‌بندی با توجه به محدودیت منابع (RCSP)[۴] از زمانی که توسط جانسون[۵] در سال ۱۹۶۷ معرفی شد، توجه زیادی در تحقیقات علمی به خود معطوف کرده است.[۱۰] مرور جامع در مورد مدل‌های توسعه داده شده در مسئله $RCSP$ ارائه شده است. در[۱۱و۱۲] حالت خاصی از این مسئله شامل چندین پردازنده که به منبع خاصی نیاز دارند با هدف کمینه کردن مجموع وزن دارکارهای پردازنده بررسی شد و بعد از مدل‌سازی مسئله، از آزاد سازی لاگرانژ برای حل مدل استفاده شد.[۱۳] در تحقیق حاضر مسئله‌ی زمان بندی با محدودیت منابع به منظور مدل‌سازی وسایل نقلیه‌ی توزیع کننده به تولید کنندگان در حالت غیر متمرکز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

با توجه به اینکه در دنیای واقعی اعضای زنجیره‌ی تأمین معمولاً به صورت غیر متمرکز رفتار می‌کنند، به منظور دست‌یابی به یکپارچگی در زنجیره‌ی تأمین و دست‌یابی به مزایای آن به صورتی‌که همه‌ی اعضای زنجیره‌ی تأمین سود ببرند، سازوکارهای هماهنگی توسعه داده شده است که اعضا را ترغیب به پیروی از تصمیمات متمرکز می‌کنند. سازوکارهای هماهنگی در زنجیره‌ی تأمین شامل قراردادها، فناوری اطلاعات، تبادل اطلاعات، و تصمیم گیری گروهی می‌شود.[۱۴] در میان این سازوکارها قراردادها کاربرد بیشتری در مسائل هماهنگی زنجیره‌ی تأمین در دنیای واقعی پیدا کرده‌اند و از آن میان می‌توان به قراردادهای قیمت عمده فروشی[۶][۱۵]، قرارداد بازگشت خرید[۷][۱۴]، قرارداد تسهیم درآمد[۸][۱۶]، قرارداد انعطاف مقداری[۹][۱۷]، قرارداد تخفیف[۱۰][۱۸] و قرارداد تأخیر پرداخت[۱۱][۱۹] اشاره کرد. سازوکاری که در این تحقیق برای هماهنگی تولید کنندگان و توزیع کننده پیشنهاد می‌شود، سازوکار تخفیف در هزینه‌ی حمل‌ونقل توسط توزیع کننده است که با این رویه تولید کنندگان را ترغیب به تغییر در زمان درخواست‌های خود می‌کند. این سازوکار را می‌توان از جمله قراردادهای تخفیف برشمرد.

باید توجه داشت که تمرکز سازمان‌ها بر روی فعالیت‌های کلیدی به منظورکسب مزایای رقابتی و برون سپاری عملیات فرعی از راهبردهای شناخته شده و روزافزون در محیط‌های کسب و کار است.[۲] در زنجیره‌ی تأمین محصولات مختلف از جمله محصولات معدنی، برون سپاری حمل‌ونقل بسیار رایج است. با وجود این با توجه به مستقل بودن بسیاری از سازمان‌ها در دنیای واقعی، در صورت برون سپاری نمی‌توان از مزایای یکپارچگی زنجیره‌ی تأمین به درستی استفاده کرد. سازوکارهای هماهنگی همچنان که در مرور پیشینه‌ی تحقیق بحث شد، با ایجاد انگیزش‌های لازم می‌توانند اعضا را به یکپارچگی زنجیره‌ی تأمین ترغیب کنند. تاکنون در حوزه‌ی برون سپاری حمل‌ونقل زنجیره‌ی تأمین تحقیقات چندی به هماهنگی زنجیره‌ی تأمین پرداخته‌اند. این تحقیقات عمدتاً از سازکارهای هماهنگی مبتنی بر فناوری اطلاعات و تبادل اطلاعات استفاده کرده‌اند که فقط به هماهنگی اطلاعات منتقل شده بین اعضا پرداخته‌اند.[۲۰و۲۱] تحقیق حاضر را می‌توان از نخستین تحقیقات در حوزه‌ی زنجیره‌ی تأمین با تأکید بر یکپارچگی و هماهنگی تولید کنندگان و توزیع کننده برشمرد که سازوکار هماهنگی مبتنی بر تخفیف حمل‌ونقل آن، نه تنها انگیزش لازم برای اشتراک اطلاعات را فراهم می‌کند بلکه سازوکاری برای تشویق اعضا به یکپارچگی زنجیره‌ی تأمین و تقسیم عواید حاصل از یکپارچگی فراهم می‌کند. از طرف دیگر، مدل‌سازی چند مرحله‌ای زنجیره‌ی تأمین در این تحقیق اگر چه مدل‌سازی و حل مسئله را با

پیچیدگی همراه می‌سازد، سازوکار آن مطابق با عملکرد اعضای زنجیره‌ی تأمین در دنیای واقعی است و از مدل‌های جدید در حوزه‌ی برنامه ریزی تولید و توزیع است. نتایج این تحقیق نه تنها می‌تواند برای هماهنگی اعضای زنجیره‌ی تأمین مفید باشد، بلکه برای توسعه‌ی برنامه‌های عملیاتی اعضا یعنی تصمیمات مرتبط با تولید، توزیع، و حمل‌ونقل می‌تواند به‌کار برود.

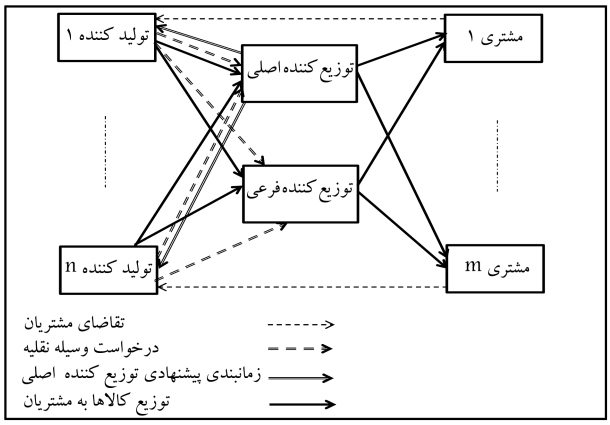
در ادامه‌ی این مقاله، در بخش ۲ مدل‌سازی زنجیره‌ی تأمین به صورت یکپارچه و غیر یکپارچه توضیح داده می‌شود و سازوکاری که برای هماهنگی این زنجیره‌ی تأمین پیشنهاد شده است، تشریح می‌شود. در بخش ۳ با استفاده از مثال عددی عملکرد سازوکار پیشنهادی مورد بررسی قرار می‌گیرد؛ به تحلیل حساسیت مدل با تغییر پارامترهای آن پرداخته می‌شود و عملکرد مدل از لحاظ زمان حل بررسی می‌شود. در نهایت در بخش ۴ نتایج تحقیق و پیشنهادهایی برای مطالعات آتی ارائه می‌شود.

۲. مدل تحقیق

زنجیره‌ی تأمین مورد بررسی شامل مجموعه‌یی از تولید کنندگان و یک توزیع کننده‌ی مرکزی است که تقاضای چندین مشتری را تأمین می‌کنند. در این زنجیره‌ی تأمین تمام واحدهای تصمیم گیری به صورت مستقل در نظر گرفته می‌شوند. تولید کنندگان بر مبنای سفارش‌های دریافتی از مشتریان خود به تولید سفارش‌ها می‌پردازند. در این تحقیق فرض می‌کنیم که هر یک از تولید کنندگان فقط یک محصول تولید می‌کنند. هر سفارش یک موعد تحویل دارد که در صورت تحویل سفارش‌ها به مشتری دیرتر یا زودتر از موعد تحویل، تولید کننده با هزینه‌ی دیرکرد یا زودکرد مواجه می‌شود.

تولید کنندگان بر مبنای سفارش‌های خود باید برنامه‌ی تولید خود را مشخص کنند. در حالت عادی هزینه‌ی حمل‌ونقل توسط توزیع کننده‌ی مرکزی نسبت به سایر گزینه‌های حمل‌ونقل کمتر است. با این حال با توجه به وجود هزینه‌های دیرکرد یا زود کرد، تولید کنندگان در بعضی از مواقع که امکانات توزیع کننده در موعد مناسب در دسترس نیست، از سیستم‌های توزیع دیگر استفاده می‌کنند. به‌عبارت دیگر در این زنجیره‌ی تأمین، توزیع کننده نمی‌تواند نقش گلوگاه ایفا کند و این فرض باعث انعطاف پذیری مدل پیشنهادی می‌شود. سایر گزینه‌های حمل‌ونقل در زنجیره تأمین را با عنوان توزیع کننده‌ی فرعی نشان می‌دهیم که شامل افزایش ظرفیت حمل و نقل توزیع کننده‌ی اصلی از طریق اجاره‌ی واگن نیز می‌شود (در حالات افزایش ظرفیت توزیع کننده، هزینه‌ی حمل‌ونقل نسبت به حمل‌ونقل معمولی افزایش می‌یابد). در هر صورت تولید کننده برنامه‌ی مورد نظر حمل‌ونقل و تحویل کالاهای خود را به توزیع کننده می‌دهد و سپس توزیع کننده با توجه به امکانات خود و حل یک مسئله‌ی زمان بندی، بهترین زمان تحویل برای درخواست‌های تولید کننده‌ها را ارائه می‌دهد. تولید کننده بر مبنای برنامه‌ی زمان بندی ارائه شده توسط توزیع کننده و ملاحظات سود و هزینه‌ی خود، برای برخی از سفارش‌ها برنامه‌ی توزیع کننده را می‌پذیرد و بقیه را با استفاده از سیستم‌های توزیع دیگر پیگیری می‌کند.

رویکردی که برای تولید و توزیع ارائه شد، یک رویکرد غیر متمرکز است که در بسیاری از مثال‌های دنیای واقعی به کار می‌رود. در این رویکرد هر کدام از تولید کنندگان و توزیع کننده می‌توانند متضرر شوند. تولید کننده به این علت متضرر می‌شود که در صورت آزاد نبودن منابع توزیع کننده مجبور می‌شود از سیستم‌های توزیع دیگر که قابلیت اطمینان کمتری دارند، استفاده کند و توزیع کننده هم سفارش‌های خود را از دست می‌دهد و نمی‌تواند بهره برداری کافی از منابع خود داشته باشند. از این رو، رویکردی هماهنگ می‌تواند اتخاذ شود که به سود هر دوی تولید کننده و توزیع کننده باشد. این رویکرد که در این تحقیق به آن می‌پردازیم، مدل هماهنگ تولید - توزیع مبتنی بر تخفیف حمل‌ونقل نامیده می‌شود و بر مبنای این رویکرد، توزیع کننده برای حمل‌ونقل کالاهای دیرتر از موعد تحویل تولید کننده، تخفیفی در نظر می‌گیرد، که این تخفیف باعث می‌شود تولید کننده نسبت به حالت غیر متمرکز سود بیشتری داشته باشد و در عین حال توزیع کننده نیز می‌تواند بهره‌وری بهتری از امکانات خود داشته باشد.



شکل ۱. جریان مواد و اطلاعات در زنجیره‌ی تأمین در حالت غیر یکپارچه.

در شکل ۱ جریان اطلاعات و مواد این زنجیره‌ی تأمین نشان داده شده است. در اینجا هر وسیله‌ی نقلیه فقط سفارش یک کارخانه را حمل می‌کند؛ به عبارت دیگر امکان جابه‌جایی وسایل نقلیه بین کارخانه‌ها وجود ندارد و این فرض، با توجه به کاربرد مدل پیشنهادی در زنجیره‌ی تأمین مورد مطالعه یعنی صنایع معدنی در نظر گرفته شده است. برای مدل‌سازی مسئله، نخست حالت غیر متمرکز را در نظر می‌گیریم و مقدار بهینه‌ی متغیرهای تولید کنندگان و توزیع کننده را در این حالت به دست می‌آوریم. سپس مسئله را در قالب یک مدل یکپارچه مدل‌سازی می‌کنیم و رویکرد هماهنگی برای نیل به مدل یکپارچه را تشریح می‌کنیم.

۱.۲. مدل غیر یکپارچه

در ابتدا یادآور می‌شویم که توزیع کننده‌ی مرکزی با توجه به قابلیت اطمینان، هزینه‌ی پیشنهادی، تجهیزات مناسب و... نسبت به سایر توزیع کننده‌ها در زنجیره‌ی تأمین ترجیح داده می‌شود و از این رو برنامه‌ی اولیه‌ی تولید در کارخانه‌ی تولید کنندگان با فرض در دسترس بودن کامل تجهیزات حمل‌ونقل توزیع کننده انجام می‌شود. سپس توزیع کننده درخواست کارخانه‌های تولید کننده را ارزیابی می‌کند و با هدف کمینه کردن انحراف از برنامه‌ی حمل‌ونقل مورد نظر تولید کنندگان، برنامه‌ی ارسال وسایل نقلیه‌ی تولید کنندگان را مشخص می‌کند. در مرحله‌ی بعد تولید کنندگان با توجه به زمان بندی پیشنهادی توزیع کننده‌ی اصلی و در نظر گرفتن سایر توزیع کنندگان، برنامه‌ی تولید خود را تعدیل می‌کنند. بنابراین، در حالت غیر یکپارچه هر یک از تولید کنندگان باید دو مدل برنامه ریزی تولید ـ توزیع را حل کنند و توزیع کننده یک مسئله‌ی زمان‌بندی با محدودیت منابع باید حل کند.

نماد گذاری عمومی مسئله به شرح زیر است:

i اندیس تولید کنندگان

$t = \{1, \ldots, T\}$ اندیس بازه‌های زمانی

u اندیس سفارشات مشتریان

جدول ۱. متغیرهای تصمیم.

متغیر	نوع متغیر	توضیحات
x_i^t	حقیقی	مقدار تولید در کارخانه i در دوره‌ی t
s_i^t	باینری	اگر تولید کننده i در دوره‌ی t به تولید بپردازد برابر ۱ و در غیر این صورت برابر صفر
g_i^t	باینری	اگر تولید کننده i در دوره‌ی t به تولید بپردازد در حالی که در دوره‌ی $t-1$ تولید نکند برابر ۱ در غیر این صورت برابر صفر
$\eta_{i,j}^{t,w}$	عدد صحیح	تعداد وسیله نقلیه نوع w که در دوره‌ی t توسط تولید کننده i برای حمل کالاهای مشتری j درخواست می‌شود.
$y_{u,w}^t$	باینری	این متغیر مقدار ۱ می‌گیرد اگرسفارش u در زمان t توسط وسیله نقلیه w متعلق به توزیع کننده اصلی ارسال شود و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد
I_i^t	حقیقی	مقدار موجودی که در دوره‌ی t در تولید کننده i در انبار ذخیره می‌شود.
l_u	حقیقی	میزان تاخیر سفارش u
e_u	حقیقی	میزان زود کرد u

w اندیس کلاس‌های مختلف وسایل نقلیه

w_1 مجموعه کلاس‌های وسایل نقلیه توزیع کننده اصلی

w_2 مجموعه کلاس‌های وسایل نقلیه فرعی

j اندیس مشتریان

J^i مجموعه مشتریان تولید کننده i

U^i مجموعه سفارشات تولید کننده i

$U_{i,j}$ مجموعه سفارشات مشتری j کارخانه i

Q^u میزان سفارش uام

$A_{i,j}^w$ هزینه سفارش وسیله نقلیه w توسط تولید کننده i برای ارسال به خرده فروش j

V^w ظرفیت وسیله نقلیه کلاس w

Cap_i ظرفیت تولید کننده i

$Capinv_i$ ظرفیت انبار تولید کننده i

F_u مدت زمان تحویل سفارش u

O_u هزینه زود کرد سفاش u در واحد زمان

h_i هزینه نگهداری هر واحد محصول در واحد زمان در تولید کننده i

c_i هزینه متغیر تولید، تولید کننده i

p_i قیمت فروش محصول کارخانه i

C_u هزینه تاخیر سفارش u در واحد زمان

S_w^i مدت زمان حمل و نقل وسیله نقلیه درکلاس w از توزیع کننده به تولید کننده i

L_w زمان بارگیری وسیله نقلیه نوع w

$R_w^{i,j}$ مدت زمان حمل وسیله نقلیه w ازکارخانه i به مشتری j

$E_w^{i,j} = L_w + R_w^{i,j}$ مدت زمان تحویل سفارشات مشتری j از تولید کننده j توسط وسیله نقلیه کلاس w

f_i هزینه ثابت تولید محصول در هر دوره در تولید کننده i (هزینه راه‌اندازی)

متغیرهای تصمیم

با متغیرهای معرفی شده در جدول ۱، مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط برای هرکدام از تولیدکنندگان (تولیدکننده‌ی i ام) مسئله به شرح زیر خواهد بود:

مدل ۱

$$minz_i = \sum_{t=i}^{T} f_i.g_i^t + \sum_{t=i}^{T} h.I_i^t + \sum_{u\in U^i} (O_u.e_u + C_u.I_u)$$
$$+ \sum_{t=1}^{T} \sum_{w\in w_1} \sum_{j} A_{i,j}^w.\eta_{i,j}^{t,w} \qquad (1)$$

$S.t.$

$$I_i^t = I_i^{t-1} + x_i^t - \sum_{w\in w_1} \sum_{u\in U^i} Q^u.y_{uq,w}^t \qquad \forall t \qquad (2)$$

$$I_i^t \le Capinv_i \qquad \forall t \qquad (3)$$

$$\eta_{i,j}^{t-E_w,w}.V^w \ge \sum_{u\in U_{i,j}} Q^{u.}y_{u.,w}^t \qquad \forall t, w\in w_1, j \mid t \ge E_w \qquad (4)$$

$$e_u \geq F_u - \sum_{t=1}^{T} \sum_{w \in w_1} (t + E_w^{i,j}).y_{u,w}^t \qquad \forall u, j \mid u \in U_{i,j} \qquad (۵)$$

$$l_u \geq \sum_{t=1}^{T} \sum_{w \in w_1} (t + R_w^{i,j}).y_{u,w}^t - F_u \qquad \forall u, j \mid u \in U_{i,j} \qquad (۶)$$

$$x_i^t \leq Cap_i.s_i^t \qquad \forall t \qquad (۷)$$

$$s_i^t - s_i^{t-1} \leq g_i^t \leq \frac{s_i^t - s_i^{t-1} + 1}{2} \qquad \forall t \qquad (۸)$$

$$\sum_{t=1}^{T} \sum_{w \in w_1} y_{u,w}^t = 1 \qquad \forall u \qquad (۹)$$

$$x_i^t, I_i^t, e_u, l_u \geq 0 \qquad \forall t, u \qquad (۱۰)$$

$$y_{u,w}^t, s_i^t, g_i^t = \{0, 1\} \qquad \forall u, w, t \qquad (۱۱)$$

$$\eta_{i,j}^{t,w} \in integer \qquad \forall j, t, w \qquad (۱۲)$$

در مدل ارائه‌شده عبارت ۱ تابع هدف تولیدکننده‌ی iام را نشان می‌دهد که شامل هزینه‌ی ثابت تولید (هزینه‌ی متغیر با توجه به اینکه شرط تأمین سفارش‌ها وجود دارد، در هر صورت ثابت است و از تابع هدف حذف می‌شود)، هزینه‌ی نگهداری موجودی، هزینه‌ی دیرکرد و زودکرد تحویل سفارش‌ها و هزینه‌ی توزیع است. محدودیت ۲ میزان موجودی در تولید کنندگان در هر دوره را نشان می‌دهد که این میزان برابر موجودی دوره‌ی قبل به علاوه‌ی میزان تولید در دوره منهای میزان سفارش‌های ارسالی است. محدودیت ۳ بیان می‌کند که موجودی در هر دوره نمی‌تواند از ظرفیت انبار تولیدکننده بیشتر باشد. محدودیت ۴ به محاسبه‌ی تعداد وسایل نقلیه که برای ارسال سفارش‌های مشتریان از توزیع‌کننده درخواست می‌شود، می‌پردازد. محدودیت‌های ۵ و ۶ دیرکرد و زود کرد یک سفارش را محاسبه می‌کند. محدودیت ۷ نشان می‌دهد در صورتی که محصول در یک دوره تولید شود، مقدار تولید نمی‌تواند از ظرفیت تولید آن تولید کننده بیشتر باشد. محدودیت ۸ به محاسبه‌ی متغیری می‌پردازد که نشان می‌دهد در هر دوره از سرگیری تولید برای یک محصول صورت می‌گیرد یا خیر و در این صورت است که هزینه‌ی راه اندازی مجدد خط تولید را باید پرداخت. محدودیت ۹ نشان می‌دهد که هر سفارش باید در طول افق برنامه ریزی توسط یک وسیله‌ی نقلیه ارسال شود. در نهایت محدودیت ۱۰ تا ۱۲ نوع متغیرهای تصمیم‌گیری در مدل را نشان می‌دهند.

خروجی این مدل برنامه‌ی تولید بهینه‌ی تولیدکنندگان و درخواست آن‌ها از کلاس‌های مختلف وسایل نقلیه از توزیع کننده را مشخص می‌کند. در مدل زمان‌بندی توزیع کننده با محدودیت منابع، سفارش‌های تولید کنندگان از وسایل نقلیه را با u' نمایش می‌دهیم. در مرحله‌ی دوم توزیع کننده بر اساس سفارش‌های دریافتی تولید کنندگان و همچنین امکانات خود، برنامه‌ی تخصیص سفارش‌های تولید کنندگان به وسایل نقلیه‌ی خود را انجام می‌دهد و بعد از مدل‌سازی و حل آن، برنامه‌ی زمان‌بندی حمل‌ونقل خود را به تولید کنندگان ارائه می‌دهد. در این قسمت به معرفی مدل توزیع کننده می‌پردازیم. این مدل توسعه‌ی مدل زمان‌بندی با محدودیت منابع است که در حوزه‌ی زمان بندی و مدیریت پروژه مدل‌سازی می‌شود که هر سفارش یا فعالیت به میزان مشخصی از منابع نیاز دارد و تا زمانی که منابع کافی برای آن در دسترس نباشد امکان انجام آن فعالیت وجود ندارد.[۲۱] در مدل پیشنهادی تابع هدف عبارت است از کمینه کردن مجموع هزینه‌ی دیر کرد و زود کرد کارها و در اینجا محدودیت روابط پیش نیازی مسئله‌ی RCPSP وجود ندارد؛ ولی محدودیت‌هایی برای محاسبه‌ی زود کرد و دیر کرد سفارشات در نظر گرفته شده‌است. پارامترها و متغیرهای مدل در جدول ۲ تعریف شده است. مدل برنامه ریزی عدد صحیح این مسئله به صورت زیر است:

مدل ۲

$$minz = \sum_{u'} (e_{u'} + l_{u'})$$

$$s.t. \qquad (۱۳)$$

$$K_w - \sum_{u'} r_{w,u'}. \sum_{\tau=t}^{t+d_{u'}-1} y_{u',\tau} \geq 0 \qquad \forall w, t \qquad (۱۴)$$

$$\sum_{t=l}^{T} y_{u',t} = 1 \qquad \forall u' \qquad (۱۵)$$

$$l_{u'} \geq \sum_{t} t.y_{u',t} - F_{u'} \qquad \forall u' \qquad (۱۶)$$

$$e_{u'} \geq F_{u'} - \sum_{t} t.y_{u',t} \qquad \forall u' \qquad (۱۷)$$

$$y_{u',t} = \{0, 1\} \qquad \forall u' \qquad (۱۸)$$

$$e_{u'}, l_{u'} \geq 0 \qquad \forall u' \qquad (۱۹)$$

در مدل ۲ عبارت ۱۳ تابع هدف را نشان می‌دهد که عبارت است از کمینه کردن مجموع زود کرد و دیر کرد کارها. محدودیت ۱۴ محدودیت منابع است و نشان می‌دهد تا زمانی که منابع آزاد نشده باشد نمی‌توان اجرای یک سفارش را انجام داد. محدودیت ۱۵ نشان می‌دهد که هر سفارش باید در یک زمان در افق تصمیم گیری تکمیل شود. محدودیت ۱۶ به محاسبه‌ی دیر کرد سفارش‌ها می‌پردازد و باید توجه داشت با توجه به اینکه تابع هدف کمینه سازی است در صورتی که دیر کرد منفی باشد، کمترین مقدار دیر کرد یعنی صفر برای این متغیر در نظر گرفته می‌شود و در صورتی که مثبت باشد این محدودیت به صورت تساوی بر قرار می‌شود. محدودیت ۱۷ زود کرد را نشان می‌دهد و توضیحاتی که در مورد دیر کرد بیان شد در این حالت نیز صادق است. در نهایت محدودیت ۱۸ و ۱۹ به توصیف متغیرهای تصمیم مدل

جدول ۲. پارامترها ومتغیرهای مدل ۱.

متغیر	نوع متغیر	توضیحات
u'		اندیس سفارش‌های تولید کنندگان
$d_{u'}$		مدت زمان اجرای سفارش u'
$r_{w,u'}$		میزان مصرف سفارش u' از منبع w
k_w		میزان منابع w در توزیع کننده
$F_{u'}$		زمان تحویل سفارش u'
$y_{u',t}$	باینری	این متغیر مقدار ۱ می‌گیرد در صورتی که سفارش u' در زمان t تکمیل شود و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد
$e_{u'}$	حقیقی	میزان زود کرد سفارش u'
$l_{u'}$	حقیقی	میزان دیر کرد u'

می‌پردازند. همچنین زمان اجرای سفارش‌ها برابر است با زمان حمل‌ونقل از توزیع کننده به تولید کنندگان به علاوه‌ی زمان بارگیری سفارش‌ها و زمان حمل‌ونقل از تولید کنندگان به مشتریان.

خروجی مدل ۲ برنامه‌ی زمان‌بندی حمل‌ونقل توزیع کننده را که به تولیدکنندگان پیشنهاد می‌شود، مشخص می‌کند. تولید کنندگان سپس بر حسب برنامه‌ی دریافتی از توزیع کننده‌ی اصلی و سایر گزینه‌های توزیع ممکن، تصمیم می‌گیرند که چگونه برنامه‌های عملیاتی و توزیع خود را برنامه ریزی کنند. بدین منظور مدل زیر برای هر کدام از تولید کنندگان ($\forall i$) پیشنهاد می‌شود. در این مدل توزیع کننده‌ی ثانویه در نظرگرفته می‌شود و پارامترها و متغیرهای زیر برای تعدیل مدل ۱ تولید کننده، در نظر گرفته می‌شود:

پارامتر

T_w اندیس بازه‌های مربوط به رسیدن وسایل نقلیه‌ی کلاس w از توزیع کننده

$\xi_{i,j}^{t,w}$ تعداد وسایل نقلیه کلاس w که در زمان t از توزیع کننده اصلی مطابق با خروجی مدل ۲ به تولید کننده i برای ارسال به مشتری j پیشنهاد می‌شود.

متغیر

$B_{i,j}^{t,w}$ این متغیر مقدار یک می‌گیرد در صورتی که پیشنهاد ارسال وسایل نقلیه w در زمان t توسط توزیع کننده اصلی برای ارسال به مشتری j توسط تولید کننده i پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

مدل ۳

$$minz_i = \sum_{t=l}^{T} f_i^t.g_i^t + \sum_{t=l}^{T} h_i.I_{i,t} + \sum_{u\in U^i}(O_u.e - u + C_u.l_u) + \sum_{t=l}^{T}\sum_{w\in w_l}\sum_{j} A_{i,j}^{w}.\xi_{i,j}^{t,w}.B_{i,j}^{t,w} + \sum_{t=l}^{T}\sum_{w\in w_l}\sum_{j} A_{i,j}^{w}.\eta_{i,j}^{t,w}$$

$$s.t. \qquad (۲۰)$$

$$I_i^t = I_i^{t-۱} + x_i^t \sum_{w}\sum_{u\in U^i} Q^u.y_{u,w}^t \qquad \forall t \qquad (۲۱)$$

$$\xi_{i,j}^{t-E_w,w}.V^w.B_{i,j}^{t-E_w,w} \geq \sum_{u\in U^{i,j}} Q^u.y_{u,w}^t \qquad \forall t, w\in w_۱.j \mid t\in T_w \qquad (۲۲)$$

$$\eta^{t-E_w},w.V^w \geq \sum_{u\in U^{i,j}} Q^u.y_{u,w}^t \qquad \forall t, w\in w_۲, j \mid t\geq E_w \qquad (۲۳)$$

$$e_u \geq F_u - \sum_{t=۱}^{T}\sum_{w}(t+E_w^{i,j}).y_{u,w}^t \quad \forall u,j \mid u\in U_{i,j} \qquad (۲۴)$$

$$l_u \geq \sum_{t=۱}^{T}\sum_{w}(t+E_w^{i,j}).y_{u,w}^t - F_u \quad \forall u,j \mid u\in U_{i,j} \qquad (۲۵)$$

$$\sum_{w}\sum_{t=۱}^{T} y_{u,w}^t = ۱ \qquad \forall u \qquad (۲۶)$$

$$B_{i,j}^{t,w} = \{۰,۱\} \qquad \forall j,w,t$$

$$(۱۱)-(۱۰)-(۸)-(۷)-(۳) \qquad (۲۷)$$

در این مدل، رابطه‌ی ۲۰ تابع هدف تولید کننده را نشان می‌دهد که شامل مجموع هزینه‌ی آماده سازی تولید، هزینه‌های نگهداری، هزینه‌ی دیرکرد و زودکرد سفارش‌ها و هزینه‌ی حمل‌ونقل توسط توزیع کننده‌ی اصلی و فرعی است. محدودیت ۲۱ موجودی در هر زمان را محاسبه می‌کند. محدودیت ۲۲ به این می‌پردازد که تعداد کلاس‌های وسایل نقلیه‌ی مختلف پیشنهادی توزیع کننده‌ی اصلی و در نتیجه تخصیص سفارش‌ها به آن پذیرفته می‌شود یا نه. محدودیت ۲۳ تعداد کلاس‌های وسایل نقلیه‌ی مختلف از توزیع کننده‌ی فرعی را محاسبه می‌کند. محدودیت ۲۴ و ۲۵ به ترتیب به محاسبه‌ی زود کرد و دیر کرد سفارش‌ها می‌پردازد. محدودیت ۲۶ بیان می‌کند که سفارش‌ها باید توسط یک کلاس از وسایل نقلیه ارسال شود. محدودیت ۲۷ هم به توصیف متغیرهای جدید مدل می‌پردازد. بقیه‌ی محدودیت‌ها نیز قبلاً توضیح داده شد.

۲.۲ مدل یکپارچه و هماهنگ زنجیره‌ی تأمین

بعد از معرفی مدل غیر متمرکز به معرفی مدل یکپارچه می‌پردازیم و تمهیدات لازم برای رسیدن به مدل یکپارچه به صورت هماهنگ را توضیح می‌دهیم. در این حالت مجموعه‌ی تولید کنندگان و توزیع کننده به صورت هماهنگ به حل مدل یکپارچه می‌پردازند. سپس به منظور فراهم کردن ضمانت اجرایی برای رسیدن به جواب یکپارچه که باعث بهبود عایدی کل زنجیره‌ی تأمین می‌شود، با معرفی عایدی هر کدام از تولید کنندگان و توزیع کننده، به محاسبه‌ی تخفیف هزینه‌ی حمل‌ونقل توزیع کننده برای سفارش‌های خارج از موعد می‌پردازیم. با در نظرگرفتن پارامتر $\varsigma_{i,j}^{w}$ به عنوان هزینه‌ی حمل‌ونقل توزیع کننده در ارسال وسیله‌ی نقلیه‌ی کلاس w به تولید کننده‌ی i برای ارسال تقاضای مشتری j، مدل یکپارچه‌ی زنجیره‌ی تأمین به صورت زیر خواهد بود.

مدل ۴

$$minz = \sum_{i}\sum_{t=۱}^{T} f_i.g_i^t + \sum_{t=۱}^{T}\sum_{i} h_i.I_{i,t} + \sum_{u}(O_u.e_u + C_u.l_u) + \sum_{t=۱}^{T}\sum_{i}\sum_{w\in w_۱}\sum_{j}\varsigma_{i,j}^{w}.\eta_{i,j}^{t,w}$$

$$S.t. \qquad (۲۸)$$

$$\eta_{i,j}^{t-E_w}.V^w \geq \sum_{u\in u^{i,j}} Q^u.y_t^{u,w} \qquad \forall t,w,i,j \mid t\geq E_w \qquad (۲۹)$$

$$\sum_{i}\sum_{j}\sum_{\tau=max(۰,t-S_w^i-L_w-R_w^{i,j})}^{t} \eta_{,j}^{\tau,w} \leq K_w \qquad \forall w\in w_۱, t$$

$$(۲۴)-(۲۳)-(۲۰)-(۱۱)-(۱۰)-(۸)-(۷)-(۳) \qquad \forall i$$

$$(۲۵) \qquad (۳۰)$$

در این مدل عبارت ۲۸ تابع هدف زنجیره‌ی تأمین یکپارچه را نشان می‌دهد که شامل کمینه کردن هزینه‌ی کل تولید کنندگان و توزیع کننده‌ی اصلی است. محدودیت ۲۹ تعداد وسایل نقلیه‌ی ارسالی در هر زمان از توزیع کنندگان اصلی و فرعی را نشان می‌دهد. تنها محدودیت جدیدی که به مدل یکپارچه اضافه شده است محدودیت ۳۰ است که محدودیت تعداد وسایل نقلیه در توزیع‌کننده را نشان می‌دهد. در تابع هدف نشان داده شده در عبارت ۲۸ ، درآمد توزیع کننده که با عبارت $\sum_{t=۱}^{T}\sum_{w\in w_۱}\sum_{j} A_{i,j}^{w}.\eta_{i,j}^{t,w}$ مشخص می‌شود وجود ندارد؛ زیرا این درآمد از طرفی هزینه برای تولید کنندگان است که در مجموع از تابع هدف حذف می‌شود.

برای اینکه تولید کننده و توزیع کننده ترغیب شوند تا مقدار بهینه‌ی متغیرها در مدل هماهنگ را مبنای تصمیمات خود قرار دهند، توزیع کننده تخفیفی بر روی

قیمت حمل و نقل کلاس‌های مختلف لحاظ می‌کند که نه تنها عایدی خود نسبت به مدل غیر یکپارچه را بهبود دهد، بلکه عایدی هر کدام از تولید کنندگان نیز در این حالت بیشتر شود. این رویکرد شبیه به رویکرد پیشنهادی در مقاله‌ی[۲۲] است که در یک زنجیره‌ی تأمین شامل تولید کننده و خرده فروش، چنین تخفیفی را بر روی قیمت عمده فروشی لحاظ کرده است. مدل هماهنگ به این صورت است که نخست مدل یکپارچه حل می‌شود و سپس توزیع کننده و مجموعه‌ی تولید کنندگان متعهد می‌شوند بر مبنای تخفیفات ارائه شده توسط توزیع کننده، متغیرهای خود را مطابق با مدل یکپارچه تنظیم کنند. دست‌یابی به این مهم در صورتی امکان پذیر است که این مدل هماهنگ عایدی بیشتر از حالت غیر متمرکز برای هر کدام از تولید کنندگان و توزیع کننده دربر داشته باشد.

به منظور توضیح توزیع عایدی در مدل هماهنگی، نیاز داریم که عایدی تولید کنندگان و توزیع کننده را در حالت یکپارچه و غیر یکپارچه از هم متمایز کنیم. در حالت غیر یکپارچه، عایدی توزیع کننده را با Π^{n}، عایدی تولید کنندگان را با Π_{i}^{n}، و عایدی زنجیره‌ی تأمین را Π_{SC}^{n} نشان می‌دهیم که با در نظرگرفتن متغیرهای حاصل از حل مدل ۳، با استفاده از روابط ۳۱، ۳۲ و ۳۳ به ترتیب محاسبه می‌شوند:

$$\Pi^{n}=\sum_{t=1}^{T}\sum_{w\in w_{1}}\sum_{j}(A_{i,j}^{w}-\varsigma_{i,j}^{w}).\xi_{i,j}^{t,w}.B_{i,j}^{t,w} \qquad (۳۱)$$

$$\Pi_{i}^{n}=\sum_{t}(p_{i}-c_{i}).x_{i,t}-\sum_{u\in U^{i}}(O_{u}.e_{u}+l_{u})-\sum_{t=1}^{T}f_{i}^{t}.g_{i}^{t}$$
$$-\sum_{t=1}^{T}h_{i}.I_{i,t}-\sum_{t=1}^{T}\sum_{w\in U^{i}}\sum_{j}A_{i,j}^{w}.\xi_{i,j}^{t,w}.B_{i,j}^{t,w}$$
$$-\sum_{t=1}^{T}\sum_{w\in w_{1}}\sum_{j}A_{i,j}^{w}\eta_{i,j}^{t,w} \qquad (۳۲)$$

$$\Pi_{SC}^{n}=\Pi^{n}+\Pi_{i}^{n} \qquad (۳۳)$$

در حالت یکپارچه عایدی کل زنجیره‌ی تأمین را داریم که آن را با Π_{SM}^{c} نشان می‌دهیم و با در نظرگرفتن متغیرهای به دست آمده از حل مدل ۴ می‌توانیم آن را با استفاده از رابطه‌ی ۳۴ به‌دست آوریم:

$$\Pi_{SC}^{c}=\sum_{t}\sum_{t}(p_{i}-c_{i}).x_{i,t}-\sum_{i}\sum_{t=1}^{T}f_{i}g_{i}^{t}-\sum_{t=1}^{T}\sum_{i}h_{i},I_{i,t}$$
$$-\sum_{u}(O_{u}.e_{u}+C_{u}.l_{u})-\sum_{t=1}^{T}\sum_{i}\sum_{w\in w_{i}}\sum_{j}\varsigma_{i,j}^{w}.\eta_{i,j}^{t.w} \qquad (۳۴)$$

مسئله‌ی هماهنگی، تعیین $A_{i,j}^{w,t}$ به صورتی است که عایدی هم توزیع کننده و هم تولید کنندگان در صورت استفاده از مدل یکپارچه نسبت به حالت غیر متمرکز بیشتر باشد. بنابراین، اگر عایدی تولید کنندگان در حالت یکپارچه با Π_{i}^{c} و عایدی توزیع کننده با Π^{c} نشان داده شود، برای نیل به هماهنگی، $A_{i,j}^{w}$ باید به گونه‌یی مشخص شود که روابط ۳۵ و ۳۶ برقرار باشند:

$$\Pi_{i}^{c}\geq\Pi_{i}^{n}\qquad\forall i \qquad (۳۵)$$

$$\Pi^{c}\geq\Pi^{n} \qquad (۳۶)$$

در این تحقیق به جای ارائه‌ی تخفیف بر روی تک‌تک درخواست‌های وسایل نقلیه، تخفیف کلی بر روی $\sum_{w}\sum_{j}A_{i,j}^{w}.\eta_{i,j}^{t,w}$ یعنی هزینه‌ی حمل‌ونقل تولید کننده‌ی iام که باید به توزیع کننده بپردازد، اعمال می‌کنیم. رابطه‌های ۳۵ و ۳۶ حد پایین عایدی برای تولید کنندگان و توزیع کنندگان در مدل هماهنگ را مشخص می‌کنند. در عمل تعیین عایدی دقیق حاصل از مشارکت، بستگی به قدرت چانه‌زنی هرکدام از تولید کنندگان و توزیع کننده دارد. با وجود این روش‌هایی نیز برای تخصیص سود ناشی از هماهنگی بین اعضا و تعیین پارامترهای قرارداد هماهنگی پیشنهاد شده است که از جمله‌ی این روش‌ها معادلات استفاده شده درمطالعات انجام شده است.[۲۳] اگر فرض کنیم مجموع تعداد تولید کنندگان و توزیع کننده برابر N باشد، عایدی زنجیره‌ی تأمین در حالت یکپارچه و غیر یکپارچه به ترتیب به صورت Π_{SC} و Π_{M-SC} باشد و عایدی عضوiام زنجیره‌ی‌تامین در حالت غیر متمرکز برابر Π_{M-i} باشد، در این صورت دو سناریویی که می‌تواند برای تعیین عایدی عضو i ام زنجیره‌ی تامین در حالت هماهنگ، یعنی Π_{i} استفاده شود و آن ها را سناریوی (۱) و سناریوی (۲) می‌نامیم، به ترتیب مطابق با روابط ۳۷ و ۳۸ خواهد بود[۲۵]:

$$\Pi_{i}=\frac{\Pi_{M-1}}{\Pi_{M-SC}}.\Pi_{SC} \qquad (۳۷)$$

$$\Pi_{i}=\frac{\Pi_{SC}-\Pi_{M-SC}}{N}+\Pi_{M-i} \qquad (۳۸)$$

در پژوهش حاضر از رابطه‌ی ۳۸ برای محاسبه‌ی عایدی هر کدام از تولید کنندگان و توزیع کننده و در نتیجه تخفیف حمل‌ونقل توزیع کننده استفاده می‌کنیم؛ زیرا در صورت عدم وجود اطلاعات مربوط به درآمد تولید کنندگان در محاسبه‌ی عایدی آن‌ها، استفاده از رابطه‌ی ۳۷ با در نظرگرفتن فقط هزینه منجر به تفاوت مقیاس عایدی تولید کننده و توزیع کننده می‌شود.

۳. مطالعه‌ی موردی

به منظورپیاده‌سازی مدل پیشنهادی، ازپارامترهای مسئله‌ی مورد بررسی درمقاله‌یی[۳] که در زمینه‌ی حمل‌ونقل محصولات معدنی و به صورت جدول ۳ است، استفاده می‌کنیم.

هزینه‌ی تولیدکنند گان و درآمد توزیع کننده‌ی اصلی از حل مدل یکپارچه و غیر یکپارچه در مثال فوق در جدول ۴ نشان داده شده است. تمام نتایج با استفاده از حل مدل‌های ارائه شده توسط نرم‌افزار $GAMS$ و موتور حل کننده‌ی $CPLEX$ استخراج شده است.

با توجه به نتایج تحقیق در جدول ۴، ملاحظه می‌شود که درمدل یکپارچه، عایدی توزیع کننده نسبت به حالت غیر یکپارچه افزایش می‌یابد، در حالی که هزینه‌های تولید کنندگان نسبت به حالت غیر یکپارچه افزایش می‌یابد. با این حال عایدی کل زنجیره‌ی تأمین به میزان ۱۱۴۴=۵۴۶-۲۷-۲۸۳-۲۰۰۰ نسبت به حالت غیر یکپارچه افزایش یافته است و با توجه به فرمول ۳۷ با تقسیم این عایدی به تعداد اعضا (در این مثال ۴ عضوا)، میزان بهبود تابع هدف اعضا نسبت به حالت غیر یکپارچه مشخص می‌شود. با توزیع عایدی درآمد توزیع کننده از حمل‌ونقل برابر ۴۲۸۶=۱۱۴۴٫۴+۴۰۰۰ می‌شود و هزینه‌های تولید کنندگان برابر هزینه‌ی آن‌ها در حالت غیر یکپارچه به علاوه‌ی عایدی تقسیم شده یعنی ۱۱۴۴٫۴ است که این هزینه و تخفیف توزیع کننده به تولید کنندگان یعنی تفاوت هزینه‌ی تولید کنندگان در مدل یکپارچه (جدول ۴) و هزینه‌ی تولید کنندگان بعد از توزیع عایدی، مطابق با جدول ۵ مشخص می‌شود. از نتایج جدول ۵ ملاحظه می‌شود که در مدل هماهنگ هزینه‌های تولیدکنندگان نسبت به مدل غیر یکپارچه کاهش می‌یابد و همچنین عایدی توزیع کننده نسبت به حالت غیر یکپارچه افزایش می‌یابد. اما باید توجه شود که در

جدول ۳. مقدار پارامترهای مورد استفاده در مساله نمونه.

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
i	۳	$\mathrm{capi_i}$	۴۰۰
j	۳	$\mathrm{capinv_i}$	۲۰۰۰۰
u	۱۲	$\mathrm{h_i}$	۱
w	۳	$\mathrm{V^w}$	{۷۲۰۰،۵۴۰۰،۳۰۰۰}
w۱	{۱،۲،۳}	$\mathrm{L_w}$	{۱،۲،۳}
w۲	{۱}	$\mathrm{K_w}$	{۱،۱،۲}
$\mathrm{U^i}$	$\mathrm{U^1}=\{1,2,3,4\}$ $\mathrm{U^2}=\{5,6,7,8\}$ $\mathrm{U^3}=\{9,10,11,12\}$	$\mathrm{S^i_w}$	{۵، ۶، ۷}
$\mathrm{J^i}$	$\mathrm{J^1}=\{1\}$ $\mathrm{J^2}=\{2\}$ $\mathrm{J^3}=\{3\}$	$\mathrm{R^{i,j}_w}$	{۵، ۶، ۷}
T	۶۰	$\mathrm{A^w_{i,j}} \mid \mathrm{w}\in \mathrm{w_1}$	۱۰۰۰
$\mathrm{C_u}$	۱۵۰	$\mathrm{A^w_{i,j}} \mid \mathrm{w}\in \mathrm{w_2}$	۲۰۰۰
$\mathrm{O_u}$	۷۵	$\mathrm{f_i}$	۳۰۰
$\mathrm{varsigma^w_{i,j}} \mid \mathrm{w}\in \mathrm{w_1}$	۶۰۰		
$\mathrm{F_u}$	$\mathrm{F_{u-1}}+\mathrm{uniform}(0,\mathrm{T}/4)+10$		
$\mathrm{Q^u}$	$500+100\times\mathrm{uniform}(0,1)$		

جدول ۴. نتایج حل مدل غیر یکپارچه.

تولید کننده	مدل		تفاضل
	غیر یکپارچه	یکپارچه	
هرینه تولید کننده ۱	۱۲۳۸۳۰	۱۲۴۳۷۶	-۵۴۶
هزینه تولید کننده ۲	۱۲۲۵۹۰	۱۲۲۶۱۷	-۲۷
هزینه تولید کننده۳	۱۲۱۷۶۲	۱۲۲۰۴۵	-۲۸۳
درآمد توزیع کننده اصلی	۴۰۰۰	۶۰۰۰	۲۰۰۰

جدول ۵. هزینه‌ی تولید کنندگان و توزیع کننده در مدل هماهنگ.

تولید کنندگان	هزینه‌های متغیر	تخفیف حمل و نقل
تولید کننده۱	۱۲۳۵۴۴	۸۳۲
تولید کننده۲	۱۲۲۳۰۴	۳۱۳
تولید کننده۳	۱۲۱۴۷۶	۵۶۹

دنیای واقعی روابط ۳۷ و ۳۸ فقط می‌توانند به عنوان راهنمایی برای توزیع عایدی استفاده شوند و توزیع واقعی بستگی به قدرت چانه‌زنی هرکدام از تولید کنندگان و توزیع کننده‌ی اصلی دارد.

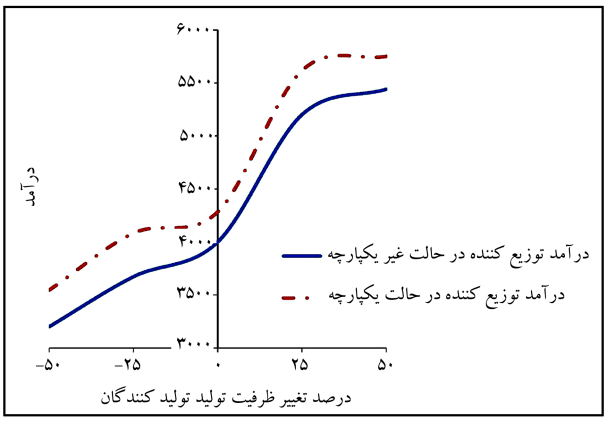
۱.۳. تحلیل حساسیت مدل

در این بخش به تحلیل حساسیت مدل با تغییر پارامترها می‌پردازیم و تأثیر آن‌ها را بر روی نتایج مدل بررسی می‌کنیم. درتحقیق حاضر پارامترهای مناسب برای تحلیل حساسیت شامل ظرفیت وسایل نقلیه (با اضافه کردن واگن‌های بیشتر در هرکلاس)، ظرفیت تولید تولید کنندگان، ظرفیت انبار تولید کنندگان، و هزینه‌ی نگهداری است که از میان آن‌ها ظرفیت وسایل نقلیه و ظرفیت تولید به منظور تحلیل حساسیت انتخاب می‌شود. سایر پارامترها زمان تحویل سفارش‌ها و هزینه‌های زود کرد و دیرکرد است که امکان تغییر آن‌ها توسط تصمیم گیرندگان وجود ندارد یا پارامترهایی مثل قیمت و هزینه‌ی تولید محصولات است که با توجه به فرض تهیه‌ی همه‌ی سفارش‌های مشتریان، تأثیری بر نتایج ندارد و فقط برای تشریح بیشتر مدل مطرح شده است. به منظور تحلیل حساسیت، تغییرات پارامترها در ۵ سطح شامل افزایش ۵۰ درصدی، افزایش ۲۵ درصدی، عدم تغییر،کاهش ۲۵ درصدی، وکاهش ۵۰ درصدی پارامترها در نظرگرفته می‌شود که به‌ترتیب آن‌ها را با ۵۰+٪، ۲۵+٪، ۰، ۲۵-٪، ۵۰-٪ نشان می‌دهیم. در هر سطح از تغییرات، سایر پارامترها در مقدار اولیه قرار داده می‌شوند و فقط پارامتر مورد بررسی تغییر می‌کند. نتایج تغییرات پارامتر ظرفیت تولید به‌صورت خلاصه در جدول ۶ نشان داده شده است.

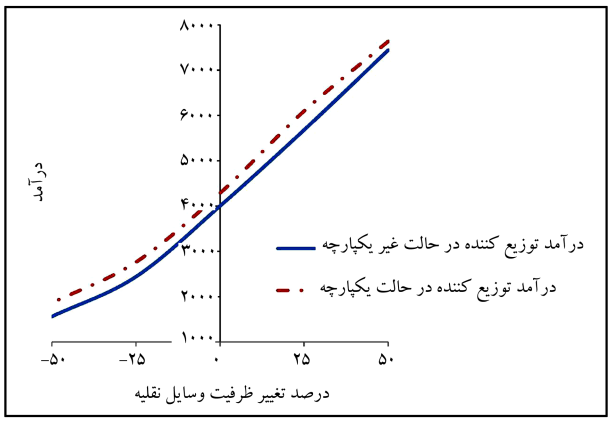
در شکل ۲ تغییرات درآمد توزیع‌کننده نسبت به ظرفیت تولید تولیدکنندگان در حالت غیر یکپارچه و یکپارچه نشان داده شده است و در شکل ۳ تغییرات هزینه‌ی تولید کنندگان نسبت به تغییرات ظرفیت تولید تولید کنندگان در مدل غیر یکپارچه نشان داده شده است. هزینه‌ی تولید کنندگان در حالت یکپارچه نسبت به غیر یکپارچه، تفاوتی مانند تفاوت درآمد توزیع کننده در حالت یکپارچه به غیر یکپارچه دارد که به علت وضوح، در شکل ۳ رسم نشده است. از نتایج جدول ۷ و شکل‌های ۲ و۳، ملاحظه می‌شود که افزایش ظرفیت تولید باعث کاهش هزینه‌های تولیدکنندگان و افزایش درآمد توزیع کننده می‌شود. علت این تغییرات را می‌توان به این صورت توضیح داد که با افزایش ظرفیت تولید، تولیدکنندگان انعطاف پذیری بیشتری در تولید محصولات دارند و هر اندازه ظرفیت بیشتر باشد، امکان آماده کردن زودتر سفارش مشتریان در هر دوره بیشتر فراهم می‌شود. از طرفی با توجه به اینکه هزینه‌ی هر واحد تأخیر بیشتر از هزینه‌ی هر واحد زود کرد است، تولید زودتر سفارش‌ها انعطاف پذیری بالاتری نسبت به حالت قبل از تغییر، در استفاده از ظرفیت وسایل نقلیه‌ی توزیع کننده فراهم می‌کند. با وجود این زمانی که ظرفیت تولید از۲۵+٪ به ۵۰+٪ تغییر داده می‌شود، کاهش هزینه نسبت به زمانی که ظرفیت تولید از ۰ به ۲۵+٪

جدول ۶. تغییرات هزینه‌ی تولید کنندگان و درآمد توزیع کننده نسبت به تغییر ظرفیت تولید در تولید کنندگان.

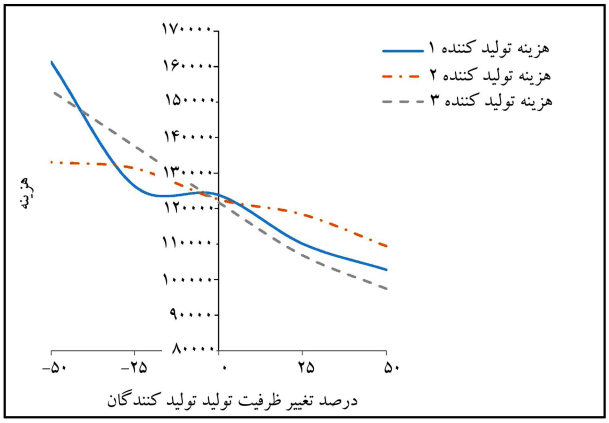
درصد تغییر تابع هدف	مدل	٪+۵۰	٪+۲۵	۰	٪-۲۵	٪-۵۰
هزینه‌ی تولید کننده۱	غیر یکپارچه	۱۰۲۷۷۸	۱۱۰۱۲۸	۱۲۳۸۳۰	۱۲۶۲۹۸	۱۶۱۳۵۷
	یکپارچه	۱۰۲۴۶۸	۱۰۹۷۱۱	۱۲۳۵۴۴	۱۲۵۸۸۷	۱۶۱۰۱۲
هزینه‌ی تولید کننده۲	غیر یکپارچه	۱۰۹۴۵۹	۱۱۸۳۷۰	۱۲۲۵۹۰	۱۳۱۳۲۵	۱۳۳۰۴۸
	یکپارچه	۱۰۹۱۴۹	۱۱۸۹۵۳	۱۲۲۳۰۴	۱۳۰۹۱۴	۱۳۲۷۰۳
هزینه‌ی تولید کننده۳	غیر یکپارچه	۹۷۴۵۹	۱۰۶۸۷۹	۱۲۱۷۶۲	۱۳۷۵۴۷	۱۵۳۲۵۱
	یکپارچه	۹۷۱۴۹	۱۰۶۴۶۲	۱۲۱۴۷۶	۱۳۷۱۳۶	۱۵۲۹۰۶
درآمد توزیع کننده	غیر یکپارچه	۵۴۴۰	۵۲۰۰	۴۰۰۰	۳۶۷۲	۳۲۰۱
	یکپارچه	۵۷۵۰	۵۶۱۷	۴۲۸۴	۴۰۸۳	۳۵۴۶



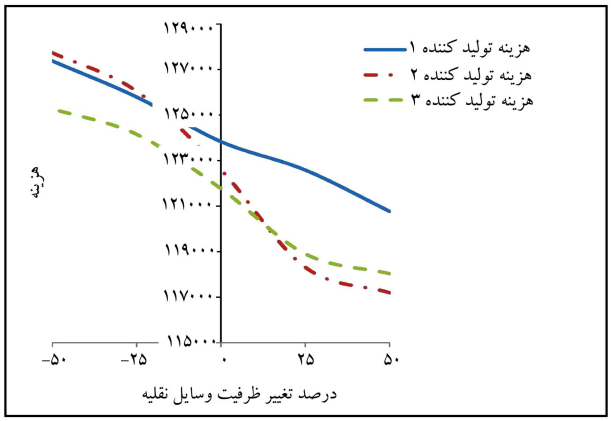
شکل ۲. تغییرات درآمد توزیع کننده در مدل یکپارچه و غیر یکپارچه با تغییر ظرفیت تولید تولید کنندگان.



شکل ۴. تغییرات درآمد توزیع کننده در مدل یکپارچه و غیر یکپارچه با تغییر ظرفیت حمل‌ونقل.



شکل ۳. تغییرات هزینه‌ی تولید کنندگان در مدل غیر یکپارچه با تغییر ظرفیت تولید تولید کنندگان.



شکل ۵. تغییرات هزینه تولید کننده در غیر یکپارچه با تغییر ظرفیت حمل‌ونقل.

تغییر داده می‌شود، کمتر است. علت این امر این است که هر اندازه ظرفیت تولید بیشتر افزایش می‌یابد، محدودیت ظرفیت نقش کمتری در نتایج مدل خواهد داشت؛ به عبارت دیگر سایر محدودیت‌ها عملکرد مدل را بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهند. همچنین در جدول ۷، تغییر نتایج مدل نسبت به ظرفیت وسایل نقلیه‌ی توزیع کننده نشان داده شده است. در شکل ۴، تغییرات درآمد توزیع کننده نسبت به تغییرات ظرفیت وسایل نقلیه در حالت غیر یکپارچه و یکپارچه نشان داده شده است. در شکل ۵ نیز تغییرات هزینه‌ی تولید کنندگان نسبت به تغییرات ظرفیت حمل‌ونقل در مدل غیر یکپارچه نشان داده شده است. نتایج جدول ۷ و شکل‌های ۴ و ۵ حاکی از آن است که افزایش ظرفیت حمل و نقل توزیع کننده باعث کاهش هزینه‌ی تولید کنندگان و افزایش درآمد توزیع کننده می‌شود. در معرفی مدل مسئله، توضیح داده شد که توزیع کننده‌ی اصلی مزایایی مانند وسایل حمل‌ونقل تخصصی، قابلیت اطمینان بالا، و همچنین هزینه‌ی حمل و نقل کمتر نسبت به توزیع کننده‌های دیگر دارد. پس با افزایش ظرفیت، توزیع کننده‌ی اصلی قادر به حمل‌ونقل محصولات

جدول ۷. تغییرات هزینه‌ی تولید کنندگان و درآمد توزیع کننده نسبت به تغییر ظرفیت حمل و نقل توزیع کننده.

درصد تغییر تابع هدف	مدل	٪+۵۰	٪+۲۵	۰	٪-۲۵	٪-۵۰
هزینه‌ی تولید کننده۱	غیر یکپارچه	۱۲۰۷۶۴	۱۲۲۵۷۹	۱۲۳۸۳۰	۱۲۵۷۹۰	۱۲۷۳۷۷
	یکپارچه	۱۲۰۵۶۸	۱۲۲۱۶۲	۱۲۳۵۴۴	۱۲۵۴۷۰	۱۲۷۰۷۸
هزینه‌ی تولید کننده۲	غیر یکپارچه	۱۱۷۱۸۹	۱۱۸۳۰۷	۱۲۲۵۹۰	۱۲۶۰۴۳	۱۲۷۷۳۶
	یکپارچه	۱۱۶۹۹۳	۱۱۷۸۹۰	۱۲۲۳۰۴	۱۲۵۷۲۳	۱۲۷۴۳۷
هزینه‌ی تولید کننده۳	غیر یکپارچه	۱۱۸۰۲۹	۱۱۸۸۹۶	۱۲۱۷۶۲	۱۲۴۱۴۹	۱۲۵۲۶۹
	یکپارچه	۱۱۷۸۳۳	۱۱۸۴۷۹	۱۲۱۴۷۶	۱۲۳۸۲۹	۱۲۴۹۷۰
درآمد توزیع کننده	غیر یکپارچه	۷۴۴۰	۵۶۸۰	۴۰۰۰	۲۴۴۰	۱۵۶۰
	یکپارچه	۷۶۳۶	۶۰۹۷	۴۲۸۴	۲۷۶۰	۱۸۵۹

جدول ۸. زمان حل مسائل نمونه با اندازه‌های مختلف (ثانیه).

مسئله نمونه	تعداد			زمان حل مدل	
	سفارش ها	تولید کنندگان	مشتریان	یکپارچه	غیر یکپارچه
مسئله‌ی نمونه‌ی۱	۱۲	۳	۳	۱۴۵۳	۳۲۱۲
مسئله‌ی نمونه‌ی۲	۱۶	۳	۳	۳۵۵۰	۷۶۵۸
مسئله‌ی نمونه‌ی۳	۱۶	۴	۴	۷۲۵۰	۱۲۶۳۰
مسئله‌ی نمونه‌ی۴	۲۰	۴	۴	۱۳۰۵۰	۲۲۸۹۰
مسئله‌ی نمونه‌ی۵	۲۰	۵	۵	۲۱۳۵۶	۳۵۵۴۰
مسئله‌ی نمونه‌ی۶	۲۵	۵	۵	-	-

بیشتری از تولید کنندگان خواهد بود و با توجه به انعطاف پذیری بیشتر توزیع کننده در ارائه‌ی برنامه‌ی سفارش‌ها به تولید کنندگان، پیشنهادهای حمل‌ونقل بیشتری از توزیع کننده‌ی اصلی توسط تولید کنندگان پذیرفته خواهد شد. همچنین در جدول ۸، ملاحظه می‌شود که با افزایش ٪+۲۵ و ٪+۵۰ ظرفیت حمل‌ونقل وسایل نقلیه، سود توزیع کننده بیشتر از ٪+۲۵ و ٪+۵۰ به ترتیب افزایش یافته است. این بدین معناست که در حالت افزایش ظرفیت توزیع کننده، با توجه به ارائه‌ی پیشنهادهای با انعطاف پذیری بالاتر به توزیع کنندگان، ظرفیت بدون کاربرد وسایل نقلیه نسبت به حالت قبل از افزایش ظرفیت، کاهش می‌یابد و این به معنی افزایش ضریب بهره برداری وسایل نقلیه است. همچنین در حالت افزایش ٪+۵۰ ظرفیت حمل‌ونقل، درآمد توزیع کننده در حالت متمرکز نسبت به حالت غیر متمرکز ۱۹۶=۷۴۴۰-۷۶۳۶ واحد افزایش پیدا کرده است و این ۱۹۶ واحد سود حاصل از یکپارچگی توزیع کننده با تولید کنندگان است. در حالت افزایش ٪+۲۵ ظرفیت، درآمد توزیع کننده نسبت به حالت غیر یکپارچه ۴۱۷=۵۶۸۰-۶۰۹۷ واحد افزایش می‌یابد و نسبت به حالت افزایش ٪+۵۰ ظرفیت، تفاوت قابل توجهی دارد. این تفاوت نیز می‌تواند ناشی از افزایش ضریب بهره برداری توزیع کننده در حالت افزایش ٪+۵۰ ظرفیت باشد که در حالت غیر متمرکز نیز توانمندی بالایی در پاسخ به پیشنهاد حمل‌ونقل زمان بندی شده‌ی خود تولید کنندگان به صورت مستقل (بدون نیاز به مدل یکپارچه) دارد.

۲.۳. زمان حل مدل

از دیگر نکاتی که در ارتباط با مدل پیشنهادی باید بررسی شود، زمان حل است. با توجه به اینکه در مدل پیشنهادی تحقیق که در چندین مرحله باید حل شود، از روش حل دقیق مدل در نرم‌افزار GAMS و از موتور حل کننده‌ی CPLEX بهره گرفته شد، باید مشخص شود که تا چه ابعادی از مسئله را در زمان معقول می‌توان با این روش حل کرد. بنابراین در این قسمت، با ایجاد مسائل نمونه با اندازه‌های مختلف، به بررسی زمان حل مدل می‌پردازیم. در تولید مسائل نمونه با اندازه‌های مختلف، تعداد تولید کنندگان، تعداد مشتریان، و تعداد سفارش‌ها را تغییر می‌دهیم. همچنین در مسائل نمونه‌ی تولید شده، فرض می‌کنیم که هر مشتری به یک تولید کننده تخصیص می‌یابد و سفارش‌ها به صورت مساوی بین تولید کنندگان تقسیم می‌شود. با افزایش تعداد سفارش‌ها به مشتریان، ظرفیت تولید و انبار تولید کننده به همین نسبت افزایش می‌یابد. برای مثال در جدول ۳ تعداد سفارش تخصیص داده شده به هر تولید کننده برابر ۴ است؛ حال اگر این تعداد سفارش‌ها برابر ۵ شد، ظرفیت تولید کننده ۵/۴ برابر می‌شود. همچنین با توجه به اینکه مطابق با جدول ۳ اندازه‌ی هر سفارش بین ۵۰۰۰ تا ۵۱۰۰ است، عدد ۵۰۰۰ را مبنا قرار داده و با افزایش تعداد سفارش‌ها فرض می‌کنیم، ظرفیت کلاس‌های مختلف حمل‌ونقل نیز به همین نسبت افزایش

می‌یابند. برای مثال اگر تعداد سفارش‌ها که در جدول ۳ برابر ۱۲ است، به تعداد ۱۶ افزایش یابد، کالاهای حمل شونده حدود ۲۰۰۰۰ = ۱۵ × ۴ افزایش می‌یابند و از این رو به ظرفیت هرکدام از سه کلاس وسایل نقلیه، ۲۰۰۰۰٫۳ واحد افزوده می‌شود. این تمهید، صرفاً برای بررسی زمان حل و تضمین دست‌یابی به جواب شدنی در نظرگرفته شده است وگرنه در عمل می‌توانستیم با افزایش تعداد سفارش‌ها تعداد کلاس‌های مختلف وسایل نقلیه را نیز افزایش دهیم. افق زمانی نیز برابر ۶۰ در نظرگرفته می‌شود (معادل ۲ ماه که یک ماه آن برای برنامه‌ریزی و یک ماه نیز به عنوان بیشینه‌ی زمان ممکن از انحراف برنامه‌های ماهیانه در نظرگرفته شده است). در جدول ۸ مشخصات مسائل نمونه‌ی مختلف و زمان حل آن‌ها مشخص شده است. در این بررسی، بیشینه‌ی زمان قابل قبول حل مسئله برابر ۱۰ ساعت معادل ۳۶۰۰۰ ثانیه در نظرگرفته شده است. بنابراین همان طور که از جدول ۸ ملاحظه می‌شود، روش حل پیشنهادی قابلیت حل مسائل نمونه با حداکثر ۵ مشتری، ۵ تولید کننده و ۲۰ سفارش در زمان قابل قبول را دارد. در حقیقت نوآوری عمده‌ی این تحقیق را می‌توان مدل‌سازی مسئله‌ی پیچیده‌ی توزیع ـ تولید در یک زنجیره‌ی تأمین با نقش کلیدی فعالیت‌های حمل‌ونقل در چندین مرحله و توسعه‌ی سازوکار هماهنگ کننده‌ی این زنجیره‌ی تأمین مبتنی بر تخفیف حمل‌ونقل بیان کرد. از این رو، ارائه‌ی روش‌های حل مبتنی بر الگوریتم‌های ابتکاری و فرابتکاری به عنوان مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود.

۴. نتیجه گیری

در این تحقیق به ارائه‌ی یک مدل هماهنگ در زنجیره‌ی تأمین دوسطحی شامل تولید کننده و توزیع کننده پرداختیم که هدف این مدل یکپارچه سازی برنامه‌ی تولید و زمان‌بندی توزیع با در نظرگرفتن تخفیف در قیمت حمل‌ونقل توزیع کننده بود. مهم‌ترین نوآوری این مقاله، مدل‌سازی مسئله و ارائه‌ی راهکارهای هماهنگی معرفی شده است. نشان داده شد که رویکرد پیشنهادی در این مقاله با توجه به مزایایی که برای تولید کنندگان و توزیع کننده ایجاد می‌کند، انگیزش لازم برای اعضای زنجیره‌ی تأمین در راستای اتخاذ تصمیمات یکپارچه را فراهم می‌آورد. مسئله‌ی مورد بررسی بر روی یک زنجیره‌ی تأمین در زمینه‌ی محصولات معدنی پیاده‌سازی شد؛ با این حال مدل ارائه شده می‌تواند به سایر زنجیره‌های تأمین که توزیع کننده، حمل‌ونقل کالاها را انجام می‌دهد نیز توسعه داده شود.

مدل پیشنهادی در این تحقیق بر روی مسائل مرتبط با تولید و توزیع در زنجیره‌ی تأمین‌هایی قابل استفاده است که فرضیات مختلف در توسعه‌ی مدل تحقیق در مورد آن‌ها قابل اجرا باشد. این فرضیات به نوعی محدودیت‌های استفاده از این تحقیق و نتایج آن هستند. برای مثال امکان به اشتراک گذاشتن اطلاعات مرتبط تولید کنندگان (ظرفیت تولید و انبار، اطلاعات سفارش‌ها و مشتریان و هزینه‌های مرتبط) و همچنین اطلاعات توزیع کننده (ظرفیت حمل‌ونقل، قیمت و هزینه‌های حمل‌ونقل) باید وجود داشته باشد. در مدل پیشنهادی در تحقیق امکان ترکیب مسئله پیشنهادی با مسئله‌ی مسیریابی بررسی نشد. مورد اخیر برای حمل‌ونقل کالاهایی که حجم کمی دارند و بر خلاف محصولات معدنی، کالاهای چندین مشتری و تولید کننده می‌تواند در یک سفر وسایل نقلیه جابه‌جا شود، بسیار پرکاربرد است. برای مثال محصولات پستی اگر چه توسط یک توزیع کننده (پست مرکزی) ارسال و دریافت می‌شود، در این حالت، در هر سفرکاری، تقاضای چندین مشتری در مبدأ و مقصد ترکیب می‌شود. از این رو توسعه‌ی مدل پیشنهادی در این تحقیق، به مسائل مسیریابی، امکان استفاده از ظرفیت‌های حمل‌ونقل توزیع کننده و بهبود عملکرد کاربران و سیستم توزیع را فراهم می‌آورد و به عنوان پیشنهادی برای تحقیقات آتی می‌تواند مطرح شود. علاوه بر این موارد به عنوان پیشنهادهای آتی، مسئله‌ی مورد بررسی می‌تواند به زنجیره‌ی تأمین بیشتر از دو سطح شامل تأمین کننده، تولید کننده، توزیع کننده، خرده فروش و... توسعه داده شود. همچنین لازم به ذکر است که هدف اصلی این مقاله ارائه‌ی مدل‌سازی مسئله و راهکار مورد استفاده در هماهنگی اعضای زنجیره‌ی تأمین بود. با این حال برای مسائل بزرگ‌تر با توجه به پیچیدگی مدل‌های پیشنهادی، استفاده از راه حل‌های دقیق مانند الگوریتم‌های بندرز و... و الگوریتم‌های ابتکاری و فرابتکاری می‌تواند موضوع تحقیق باشد.

پانوشت‌ها

1. linear programming
2. mixed integer linear programming
3. non-linear programming
4. Resource-Constrained Scheduling Problem
5. Johnson
6. wholesale price contract
7. buy-back contract
8. revenue shairing contract
9. quantity flexibility contract
10. discount contrat
11. delay in payment contract

منابع (References)

1. Abdur Razzaque, M. , Chen Sheng, C. "Outsourcing of logistics functions: a literature survey", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*,**28**(2), pp. 89-107 (1998).
2. Singh, G., Sier, D., Ernst, A. T. and etal. "A mixed integer programming model for long term capacity expansion planning: A case study from The Hunter Valley

Coal Chain", *European Journal of Operational Research*, **220**(1), pp. 210-224 (2012).

3. Thomas, A., Singh, G., Krishnamoorthy, M. and etal. "Distributed optimization method for multi-resource constrained scheduling in coal supply chains", *International Journal of Production Research*,**51**(9), pp. 2740-2759 (2013).
4. Thomas, D. J. , Griffin, P. M. "Coordinated supply chain management". *European journal of operational research*, **94**(1), pp. 1-15 (1996).
5. Sarmiento, A. M. , Nagi, R. "A review of integrated analysis of production–distribution systems", *IIE transactions*,**31**(11), pp. 1061-1074 (1999).
6. Maravelias, C. T. , Sung, C. "Integration of production planning and scheduling: Overview, challenges and opportunities", *Computers & Chemical Engineering*, **33**(12), pp. 1919-1930 (2009).
7. Mula, J., Peidro, D., Diaz-Madroñero, M. and etal. "Mathematicalprogramming models for supply chain production and transport planning",*European Journal of Operational Research*,**204**(3), pp. 377-390 (2010).
8. Chandra, P., , Fisher, M. L. "Coordination of production and distribution planning", *European Journal of Operational Research*, **72**(3), pp. 503-517 (1994).
9. Chen, Z. L. , Vairaktarakis, G. L. "Integrated scheduling of production and distribution operations", *Management Science*, **51**(4), pp. 614-628 (2005).
10. Johnson, T. J. R. "An algorithm for the resource constrained project scheduling problem", *Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology* (1967)
11. Bruker, P., Drexl., Möhring, R. and etal. "Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models, and methods", *European journal of operational research*, **112**(1), pp.3-41 (1999).
12. Hartmann, S. and Briskorn, D. "A survey of variants and extensions of the resource-constrained project scheduling problem", *Europe Journal of Operational Research*, **207**(1), pp. 1-14 (2010).
13. Singh, G. and Weiskircher, R. "A multi-agent system for decentralised fractional shared resource constraint scheduling", *Web Intelligence and Agent Systems: An International Journal*, **9**(2), pp. 99-108 (2011).
14. Xiong, H., Chen, B. , Xie, J. "A composite contract based on buy back and quantity flexibility contracts", *European Journal of Operational Research*, **210**(3), pp. 559-567 (2011).
15. Ni, D., Li, K. W. , Tang, X. "Social responsibility allocation in two-echelon supply chains: Insights from wholesale price contracts", European Journal of Operational Research, **207**(3), pp. 1269-1279 (2010).
16. Mafakheri, F. and Nasiri, F. "Revenue sharing coordination in reverse logistics", *Journal of Cleaner Production*, **59**, 185-196 (2013).
17. ۱۷Chung, W., Talluri, S. , Narasimhan, R. "Quantity flexibility contract in the presence of discount incentive", *Decision Sciences*, **45**(1), pp. 49-79 (2014).
18. Heydari, J. "Supply chain coordination using time-based temporary price discounts", *Computers & Industrial Engineering*, **75**, pp. 96-101 (2014).
19. Du, R., Banerjee, A. , Kim, S. L. "Coordination of two-echelon supply chains using wholesale price discount and credit option", *International Journal of Production Economics*, **143**(2), pp. 327-334 (2013).
20. Thomas, A., Krishnamoorthy, M., Singh, G. andetal. "Coordination in a multiple producers–distributor supply chain and the value of information", *International Journal of Production Economics*, **167**, pp. 63-73 (2015).
21. Brucker, P., Knust, S., Schoo, A. and etal. "A branch and bound algorithm for the resource-constrained project scheduling problem", *European Journal of Operational Research*, **107**(2), pp. 272-288 (1998).
22. Li, J. , L. Liu. "Supply chain coordination with quantity discount policy", *International journal of production economics* **101**(1): pp. 89-98 (2006).
23. Moon, I., Feng, X. H. , Ryu, K. Y. "Channel coordination for multi-stage supply chains with revenue-sharing contracts under budget constraints", *International Journal of Production Research*, **53**(16), pp. 4819-4836 (2015).