مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (زمستان ۱۳۹۶)
دوره‌ی ۱-۳۳، شماره‌ی ۲/۱، ص. ۲۱-۳۳

Original Article

توسعه‌ی یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی دوسطحی به‌منظور مدیریت تدارکات و حل آن از طریق یک الگوریتم ترکیبی

زهره کاهه (کارشناس ارشد)
رضا برادران کاظم‌زاده * (دانشیار)
الیس مسیحی (دانشیار)
علی حسین‌زاده کاشان (استادیار)
دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس

در این نوشتار، به مسئله‌ی تدارک قطعات مورد نیاز یک شرکت خودروسازی از تعدادی تأمین‌کننده در قالب یک مذاکره پرداخته شده است. این مسئله از طریق یک برنامه‌ریزی ریاضی دوسطحی که در آن خریدار به‌عنوان رهبر و تأمین‌کنندگان مستقل به‌عنوان پیرو در سطح پایین به تصمیم‌گیری می‌پردازند، مدل‌سازی شده است. برای حل مدل ریاضی دوسطحی، یک الگوریتم ترکیبی مبتنی‌بر الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO-A*) پیشنهاد شده است. در این سازوکار مطابق با مقادیر متغیرهایی که به‌طور متوالی توسط ذرات در الگوریتم PSO تعیین می‌شود، یک الگوریتم ابتکاری برمبنای جست‌وجوی A* زیر مسائل برنامه‌ریزی تولید چنددوره‌یی ـ چندکالایی را برای هریک از تأمین‌کنندگان حل می‌کند. در این مقاله یک الگوی جامع برای تعبیه فرایندهای مذاکره در مدل‌های ریاضی دوسطحی و فرایند حل آنها ارائه شده است. به‌منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم پیشنهادی، نتایج آن با نتایج الگوریتم‌های PSO-Exact و PSO-Greedy مقایسه شده است. نتایج نشان داده است که الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم PSO-Exact در زمان کوتاه‌تر، جواب‌هایی با خطای قابل قبول یا حتی با خطای کم‌تر تولید کرده است. همچنین نسبت به الگوریتم PSO-Greedy همواره جواب‌هایی با خطای کم‌تر تولید کرده است.

واژگان کلیدی: زنجیره‌ی تأمین دوسطحی، مسئله‌ی تدارکات، برنامه‌ریزی ریاضی دوسطحی، مذاکره، الگوریتم ترکیبی.

zohreh.kaheh@modares.ac.ir
rkazem@modares.ac.ir
masehian@modares.ac.ir
a.kashan@modares.ac.ir

۱. مقدمه

امروزه با افزایش وابستگی متقابل تولیدکنندگان و تأمین‌کنندگان، طراحی سازوکارهای تصمیم‌گیری متعدد در رابطه با مدیریت تدارکات توجه زیادی را در عمل و در تحقیقات آکادمیک جلب کرده است. مدیریت کارآمد زنجیره‌ی تأمین شامل یافتن رویکردها و اجرای فعالیت‌هایی برای حل تعارضات و مشکلات میان شرکای زنجیره‌ی تأمین به منظور تأمین و تقاضا برای منابع و خدمات است. در سیستم‌های غیرمتمرکز، دست‌یابی به یک تصمیم بهینه با در نظرگرفتن اهداف و منافع شخصی و بدون در نظرگرفتن محدودیت‌های طرفین مذاکره سودمند نخواهد بود. بنابراین دست‌یابی به یک تصمیم نزدیک به بهینه به طوری که طرفین مذاکره را راضی به عقد قرارداد کند و محدودیت‌های طرفین را ارضا کند مفیدتر است.

مذاکره و تصمیم‌گیری غیرمتمرکز در دو سطح از زنجیره‌ی تأمین عموماً با قدرت چانه‌زنی طرفین و اولویت هریک از آنها برای تصمیم‌گیری همراه است، بنابراین برای دربرگرفتن ماهیت این تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی، طراحی یک مدل مبتنی بر برنامه‌ریزی دوسطحی توزیع شده مناسب است. تصمیم‌گیری با ماهیت سلسله‌مراتبی عموماً به‌وسیله‌ی برنامه‌ریزی ریاضی دوسطحی مدل‌سازی می‌شود، که در آن تصمیم گیرندگان درصدد بهینه‌سازی اهداف خود هستند، با این تفاوت که تصمیمات هرکدام بر تصمیمات دیگری تأثیرگذار است.[۱] البته باید در نظر داشت که در برخی مطالعات قدیمی‌تر برای مسائلی نظیر مذاکره که ذاتا ویژگی‌های تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی دارند، نیز از مدل‌های ریاضی ساده و یک‌سطحی استفاده شده است.[۲]

مسئله‌ی برنامه‌ریزی ریاضی دوسطحی به‌عنوان یک مسئله‌ی NP-hard شناخته شده است. تاکنون روش‌های متعددی برای حل مسائل برنامه‌ریزی ریاضی

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۳/۱۰/۹، اصلاحیه ۱۳۹۴/۵/۳، پذیرش ۱۳۹۴/۹/۱.

دوسطحی ارائه شده است. در میان روش‌های مختلف، استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل مسائل برنامه‌ریزی ریاضی دوسطحی، نتایج مطلوبی را به همراه داشته است.[۳و۴] در میان الگوریتم‌های فراابتکاری الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) به‌علت داشتن ویژگی‌هایی نظیر زمان اجرای کوتاه و حافظه کم مورد نیاز نسبت به الگوریتم‌های تکاملی،[۵] می‌تواند مزایای زیادی به‌ویژه برای ترکیب کردن آن با سایر الگوریتم‌های ابتکاری ایجاد کند.

در این پژوهش به مسئله‌ی تدارک قطعات در شرکت ساپکو که مسئول تأمین قطعات خودرو برای شرکت ایران خودرو است، پرداخته شده است. این مسئله درخصوص تدارک قطعات مورد نیاز شرکت ایران خودرو از تعدادی از تأمین‌کنندگانش است، که در قالب یک مذاکره با پروتکل ترکیبی چانه‌زنی و مناقصه طراحی شده است. سازوکار مذاکره پیشنهادی برای حل مسئله‌ی تدارکات و تخصیص سفارشات با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های خریدار ازجمله هزینه‌ی تدارکات و هزینه‌ی تأخیر در تحویل سفارشات در یک قرارداد یک دوره‌یی طراحی شده است. از طرف دیگر، در این سازوکار مذاکره‌ی تأمین‌کنندگان به صورت مستقل و مطابق با درخواست خریدار، به حل تعدادی زیرمسئله‌ی برنامه‌ریزی تولید چندمحصولی ـ چنددوره‌یی می‌پردازند. چنین سازوکاری میان برنامه‌ریزی تولید تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارشات توسط خریدار تولیدکننده هماهنگی ایجاد می‌کند. باید توجه داشت که در سطح پایین مدل برنامه‌ریزی دوسطحی پیشنهادی چندین زیرمسئله‌ی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط غیرخطی (MINLP) که مربوط به مسئله‌ی برنامه‌ریزی تولید چنددوره‌یی و چندکالایی هریک از تأمین‌کنندگان است حل می‌شود.

در این سازوکار فرض شده است که هیچ‌یک از تأمین‌کنندگان از قرارداد خریدار با سایر تأمین‌کنندگان اطلاعی ندارد و درواقع قراردادها از نوع مهر و موم شده‌اند؛ و بنابراین در مدل پیشنهادی فضای جواب تأمین‌کنندگان با یکدیگر اشتراکی ندارد. رویکرد این مقاله قادر است مجزا بودن روند تصمیم‌گیری خریدار و تأمین‌کنندگان به‌صورت همزمان و از طریق جست‌وجوی توزیع‌شده برای یافتن یک راه حل راضی‌کننده برای همه‌ی شرکا را در برگیرد. در حالی که به کارگرفتن یک مدل متمرکز یا به کار گرفتن شرایط بهینگی کاروش کان تاکر (KKT) برای تبدیل مسئله به یک مسئله‌ی یک‌سطحی، ماهیت توزیع‌شدگی مسئله را از بین می‌برند و بیانگر حالت غیرواقعی آشکار بودن کامل اطلاعات خریدار و تأمین‌کنندگان برای یکدیگر است.[۶] البته قابل ذکر است که به علت گسسته بودن سطح پایین مسئله و داشتن متغیر عدد صحیح و صفر و یک امکان اعمال شرایط KKT نیز وجود ندارد.

برای حل مدل ریاضی دوسطحی پیشنهادی، یک الگوریتم ترکیبی مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO-A*) معرفی شده است. در این سازوکار یک الگوریتم ابتکاری بر مبنای جست‌وجوی A* اجرا شده تا مطابق مقادیر متغیرهایی که متوالیا توسط ذرات در الگوریتم PSO تعیین می‌شود، زیر مسائل برنامه‌ریزی عددصحیح مختلط غیرخطی برای هریک از تأمین‌کنندگان را حل کند. از طریق تعبیه جست‌وجوی A* برای هر تأمین‌کننده، تأمین‌کننده‌ها در سطح پایین به‌عنوان عامل‌های حل‌کننده مسئله در نظر گرفته می‌شوند. در واقع عامل‌های حل مسئله برای مدل‌سازی تصمیم‌گیری غیرمتمرکز در سطح پایین به کار گرفته شده‌اند. هر عامل حل مسئله مطابق با درخواست خریدار (ذرات در الگوریتم PSO) تلاش می‌کند مسئله‌اش را از طریق جست‌وجوی A* حل کند. قابل ذکر است که عامل حل‌کننده‌ی مسئله نوعی از عامل‌های نرم‌افزاری غیرهوشمند و بدون قابلیت یادگیری است که در کتاب راسل و نرویگ به آن اشاره شده است.[۷] در این مقاله یک الگوی جامع برای تعبیه‌ی فرایندهای مذاکره در مدل‌های ریاضی و فرایند حل آنها ارائه شده است.

۲. مرور ادبیات

در نزدیک‌ترین مطالعه به پژوهش حاضر، حراج معکوس یک نوع کالا از طریق مذاکره‌ی خریدار و فروشنده با استفاده از برنامه‌ریزی دوسطحی بررسی شده است.[۶] در آنجا چنج چارچوبی برای حل حراج معکوس در حالت چندمنبعه که طی فرایند مذاکره بین خریدار و تأمین‌کنندگان صورت می‌گیرد ارائه داده و این مسئله را از طریق یک الگوریتم فازی حل کرده است. در پژوهش چنج تنها تدارک یک نوع کالا در نظر گرفته شده است. همچنین علی‌رغم تأکید بر ماهیت غیرمتمرکز مسئله، با فازی‌کردن و قرار دادن یک حد مطلوبیت برای تابع هدف‌های سطوح مختلف با ایجاد یک تبانی فرض غیرمتمرکز بودن و اصل عدم همکاری که یکی از اصول اساسی برنامه‌ریزی دوسطحی است، نقض شده و یک جواب توافقی حاصل شده است،[۸] که در رویکرد حل پیشنهادی ما تمرکز بر غیرمتمرکز بودن روند تصمیم‌گیری حفظ شده است.

پس از آن محققین یک زنجیره‌ی تأمین تولیدکننده ـ خرده‌فروش چندمحصولی را که در آن تقاضا برای هر محصول متأثر از قیمت و مخارج تبلیغات است[۹] بررسی کردند. آنها یک بازی استکلبرگ تحت دو سناریو پیشنهاد کردند که در آن تولیدکننده یا خریدار به‌عنوان رهبر در بازی باشد و چندین رویکرد حل مسئله نظیر الگوریتم رقابت استعماری و الگوریتم رقابت استعماری اصلاح شده و استراتژی تکامل پیشنهاد شده است. در مطالعه‌یی دیگر[۱۰] یک زنجیره‌ی تأمین دوسطحی شامل یک تولیدکننده و تعدادی تأمین‌کننده که با تقاضای حساس به قیمت و مدت زمان تحویل مواجه‌اند بررسی شده است؛ و در آن برای تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری درباره قیمت و مدت زمان تحویل از بازی استکلبرگ، و به منظور تعیین قیمت و مدت زمان تحویل، از مفهوم نقطه تعادل نش استفاده کردند.

در مطالعه‌ی بعدی[۱۱] تلاش شده تا تصمیمات پیشنهادی با سفارشات و برنامه‌ریزی تولید به‌منظور افزایش سود تأمین‌کننده و افزایش سطح خدمت‌دهی، یک‌پارچه شود. در آن مطالعه، قیمت پیشنهادی و برنامه‌ریزی تولید از طریق برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط با محدودیت‌های فازی فرموله شد؛ همچنین یک الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله پیشنهاد شد و یک آزمایش شبیه‌سازی کامپیوتری برای ارزیابی عملکرد الگوریتم پیشنهادی صورت گرفت. جانگ و همکاران[۲] یک فرایند مذاکره برای دست‌یابی به قرارداد بین تولیدکننده و توزیع‌کننده در زنجیره‌ی تأمین براساس مدل‌سازی ریاضی پیشنهاد دادند. در قرارداد حجم تأمین چند نوع محصول توسط تولیدکننده از تسهیلات مختلف به توزیع‌کننده و با قیمت‌های تنظیم شده توسط بازار مشخص می‌شود. کالل و همکاران[۱۲] مذاکره روی قیمت‌ها در قراردادهای عمده‌فروشی در زنجیره‌ی تأمین با خرده‌فروش که برای خرید با چندین عمده‌فروش قرارداد دارد بررسی کرده‌اند. هدف کمک به اعضا برای دست‌یابی به یک قرارداد عادلانه در شرایط نامعینی اطلاعات است. تاکنون روش‌های متعددی برای حل مسئله‌ی دوسطحی به کار گرفته شده است، که مهم‌ترین این روش‌ها به اختصار به شرح زیر است:

۱. روش‌های مبتنی بر شمارش رئوس:[۱۳] اساس این دسته از روش‌ها مبتنی بر این ایده است که نقاط رأسی ناحیه قابل دست‌یابی برای مسئله برنامه‌ریزی دوسطحی زیرمجموعه نقاط رأسی فضای شدنی مسئله مورد نظر است و جواب بهینه مسئله نیز یکی از این نقاط رأسی است. از محدودیت‌های این روش می‌توان به پیچیدگی محاسباتی بالای آن اشاره کرد.[۱۴]

۲. روش‌های مبتنی بر شرایط بهینگی کاروش کان‌تاکر[۴]: در این دسته از روش‌ها شرایط کان‌تاکر برای تابع هدف سطح دوم جایگزین شده و مسئله با تابع هدف

سطح یک حل می‌شود. به کار گرفتن شرایط بهینگی کاروش کان‌تاکر برای تبدیل مسئله به یک مسئله‌ی یک‌سطحی، ماهیت توزیع‌شدگی مسئله را از بین می‌برد.[۶]

۳. روش فازی[۶]: در این روش اصل عدم همکاری که یکی از اصول اساسی BLP است حذف شده است و روشی برای رسیدن به یک جواب توافقی ارائه می‌شود.[۸]

۴. روش‌های فراابتکاری[۱۵]: این دسته از روش‌ها بر پایه پیشرفت در زمینه محاسبات هوشمند توسعه یافته‌اند که در حل مسائل NP-Hard موفقیت‌های چشمگیری داشته‌اند. رویکردهای مربوط به روش‌های فراابتکاری موجود برای حل مسائل برنامه‌ریزی دوسطحی را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد که عبارت‌اند از: الف) ابتدا مسئله با استفاده از شرایط بهینگی کاروش کان تاکر به یک مسئله یک‌سطحی تبدیل شده و سپس با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری حل می‌شوند، ب) مسئله به صورت توزیع شده حل می‌شود یعنی مسئله سطح دوم با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی معمولی یا در صورت پیچیدگی بالای مسئله با استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری ـ فراابتکاری حل شده و طی تراکنش‌هایی مسئله دوسطحی توسط یک الگوریتم فراابتکاری حل می‌شود.

با توجه به مزایای الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل مسائل برنامه‌ریزی دوسطحی نظیر امکان حل توزیع شده مسئله، قابلیت دست‌یابی به یک جواب نزدیک به بهینه و قابل قبول، و زمان اجرای معقول و مناسب این روش در مطالعات بسیاری مورد توجه قرار گرفته است. به‌عنوان مثال کو و هان[۱۵] که یک الگوریتم ترکیبی ژنتیک و ازدحام ذرات را پیشنهاد کرده‌اند که در مقایسه با الگوریتم ژنتیک برای مسئله‌ی مورد نظر آنان بهتر عمل کرده است. همچنین ارجحیت به کارگیری الگوریتم مبتنی بر جمعیت PSO به ویژه در ترکیب با الگوریتم‌های جست‌وجو در مقالات دیگری نیز تأیید شده است.[۱۶-۲۰] به‌عنوان مثال ون و همکاران[۱۹] یک الگوریتم ترکیبی کارآمد مبتنی بر الگوریتم ازدحام ذرات و تکنیک جست‌وجوی آشفتگی برای حل مسائل برنامه‌ریزی دوسطحی غیرخطی پیشنهاد کرده‌اند، که در مقایسه با یک الگوریتم تکاملی بهتر عمل کرده است.

روش‌های مبتنی بر عامل برای حل مسائل تصمیم‌گیری دوسطحی یک روش جدید است که قابلیت یادگیری را در الگوریتم حل تعبیه می‌کند. با توجه به پیچیدگی محاسباتی مسائل دوسطحی به‌ویژه در اندازه‌ی بزرگ مسائل به‌کارگیری این روش با تردیدهایی همراه هست و نیاز به مطالعات بیشتر دارد، بنابراین در دسته‌بندی فوق قرار نگرفته است. در یکی از کاربردهای این روش در حل مسائل برنامه‌ریزی دوسطحی[۲۱] یک الگوریتم یادگیری چندعاملی برای حل مسئله‌ی طراحی شبکه دوسطحی پویا مبتنی بر شبیه‌سازی پیشنهاد شد که هدف آن تعیین فراوانی رفت و آمدها در یک شبکه‌ی عبور و مرور بود به طوری که هزینه‌ی سفرکل استفاده‌کنندگان و هزینه‌ی عملیاتی خطوط ترانزیت را کمینه کند. و در مثالی دیگر[۲۲] یک سیستم چندعاملی تکاملی (EMAS) برای حل مسائل برنامه‌ریزی دوسطحی ارائه شد.

با توجه به آنچه اشاره شد، برای مدل‌سازی فرایند مذاکره از مدل برنامه‌ریزی ریاضی دوسطحی استفاده شده است. در رویکرد پیشنهادی این مقاله، با طراحی یک سازوکار مذاکره مبتنی بر فرایند حل برنامه‌ریزی ریاضی دوسطحی و از طریق ارتباط پی در پی دو سطح با یکدیگر به جوابی رضایت‌بخش برای دو سطح که در واقع نقطه توافق است دست می‌یابیم. رویکرد ما قادر است روند مذاکره خریدار و تأمین‌کنندگان مجزا را به صورت موازی و همزمان، برای یافتن یک راه حل رضایت‌بخش برای همه شرکا به‌وسیله‌ی تراکنش‌ها حین تصمیم‌گیری را شامل شود. این امر در حالی است که به کارگرفتن یک مدل متمرکز یا به کارگرفتن شرایط بهینگی KKT برای تبدیل مسئله به یک مسئله‌ی یک‌سطحی ماهیت توزیع شدگی مسئله را از بین می‌برد. همچنین به علت گسسته بودن سطح پایین مسئله و داشتن متغیر صفر و یک امکان اعمال شرایط KKT نیز وجود ندارد. باید توجه داشت که هر ذره در الگوریتم فوق به‌عنوان درخواست‌هایی مد نظر قرار می‌گیرد که خریدار به تأمین‌کنندگان ارسال می‌کند. از آنجا که در الگوریتم PSO برخلاف الگوریتم‌های تکاملی که مبتنی بر اصل «بقای بهترین» هستند برمبنای «همکاری سازنده» بین ذرات عمل می‌کند، لذا پیشنهادهای بعدی خریدار به نوعی از ترکیب بهترین پیشنهادهای قبلی و ایجاد تغییراتی در آنها به‌وجود می‌آید. بنابراین در مسئله‌ی مورد نظر، خریدار که کنترل مدل رهبر را بر عهده داشته، از طریق الگوریتم فوق به کنترل تراکنشات، مذاکره موازی و همزمان با یکایک تأمین‌کنندگان و حل مسئله‌ی برنامه‌ریزی دوسطحی می‌پردازد.

۳. تشریح مسئله

مسئله‌ی تدارکات مبتنی بر چانه‌زنی و مناقصه به صورت یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی دوسطحی که در آن خریدار به‌عنوان رهبر و تأمین‌کننده‌ها به‌عنوان پیرو در نظر گرفته می‌شوند، مدل‌سازی می‌شود. مدل تصمیم‌گیری در سطح بالا (خریدار) مشخص می‌کند که به کدام تأمین‌کننده و به چه میزان از قطعات مورد نیاز تخصیص داده شود. تابع هدف در سطح خریدار که هدف کلی مدل دوسطحی است، کمینه‌سازی قیمت قطعات مورد نیاز واحد تدارکات و کمینه‌سازی هزینه‌ی کسری موجودی و توقف خط بر اثر دیرکرد تأمین‌کنندگان است. در سطح پایین مدل هر تأمین‌کننده به صورت مجزا، قیمت برای هر سفارش قطعات تخصیص داده شده و زمان تحویل آن را محاسبه کرده، سپس قیمت پیشنهادی و میزان دیرکرد مقادیر ارسال شده طی دوره‌ها را به سطح اول گزارش می‌کند. هدف تأمین‌کننده کمینه‌سازی هزینه‌هایش شامل هزینه‌ی تولید در ظرفیت در دسترس، هزینه‌ی تولید در ظرفیت اضافه‌کاری، هزینه‌ی نگه‌داری موجودی، هزینه‌ی ارسال، و جریمه‌ی دیرکرد است.

تعریف مسئله به صورت جزئی‌تر به این صورت است که، تصمیم‌گیرنده سطح اول (شرکت ساپکو) به منظور ارضاء تقاضای هر قطعه‌ی مورد نیازش (مثلاً قطعه‌ی jام) به تعیین مقادیر تخصیص داده شده به هر تأمین‌کننده در محدوده‌ی معین می‌پردازد که برگرفته از سوابق تأمین‌کننده و رتبه‌ی کیفی قطعه‌ی تأمین شده توسط آن تأمین‌کننده است. همچنین زمان تحویل مورد قبول خریدار (حد پایین زمان) برای تأمین‌کنندگان مشخص است. بنابراین تصمیم‌گیرنده سطح اول در پی تعیین مقادیر تخصیص داده شده به تأمین‌کنندگان است به نحوی که هزینه‌ی حاصل از قیمت تمام شده قطعات و نیز هزینه‌ی دیرکرد در وصول سفارشات (هزینه‌ی کسری موجودی) کمینه شود.

در سطح دوم، پس از این که مقادیر تخصیص داده شده به تأمین‌کننده iام تعیین شد، تأمین‌کننده iام در ابتدا میزان موجودی انبار قطعه‌ی jام خود را با میزان تقاضا برای آن قطعه مقایسه می‌کند. درصورتی که این مقدار بیش از مقدار تقاضا باشد، سفارش تقاضا از انبار ارسال می‌شود. در غیر این صورت تأمین‌کننده به میزان کمبود قطعه‌ی jام، با هزینه sc_{ij} خط را برای قطعه‌ی jام راه‌اندازی و شروع به تولید می‌کند. مدت زمان تولید در هر شیفت کاری (که یک دوره در نظر گرفته می‌شود) از دو بخش «زمان نرمال» و «زمان اضافه‌کار» تشکیل شده است. لذا با توجه به مدت زمان پردازش قطعه‌ی jام، سقف تولید در هر شیفت در زمان نرمال و زمان اضافه‌کار محاسبه می‌شود. موجودی هر قطعه حین تولید و در پایان هر شیفت تا شروع شیفت

بعدی انبار می‌شود. ضمناً از آنجا که هر تأمین‌کننده با محدودیت ظرفیت انبار قطعه، هزینه‌ی انبارداری (در اینجا هزینه‌ی هر واحد انبار قطعه‌ی jام طی یک دوره برابر H_{ij} و در فاصله بین دو دوره H'_{ij} در نظرگرفته شده است) و همچنین جریمه‌ی حاصل از ارسال با تأخیر (ارسال با تأخیر عبارت است از ارسال پس از شیفت LT_{lower} که این مقدار توسط سطح بالا تعیین و اعلام شده است) مواجهه است. لذا ممکن است در هر زمان از شیفت کاری به میزان $send_{vijt}$ واحد از قطعه‌ی jام را ارسال کند. از آنجا که ارسال قطعه توسط وسایل حمل و نقل صورت می‌پذیرد، لذا $vcap_{ij}$، حداکثر ظرفیتی است که یک وسیله‌ی نقلیه می‌تواند از آیتم jام حمل کند. ضمناً هزینه‌ی حمل قطعات به‌صورت ضریبی از تعداد وسایل نقلیه (هزینه‌ی ثابت) و ضریبی از تعداد قطعه‌ی بارگیری شده در هر وسیله‌ی نقلیه (هزینه‌ی متغیر) محاسبه می‌شود. تصمیم‌گیرنده سطح دوم با توجه به میزان قطعات سفارش شده و نیز زمان سررسید تعیین شده به دنبال آن است که کلیه هزینه‌های خود از قبیل هزینه‌ی ارسال، هزینه‌ی نگه‌داری، هزینه‌ی تولید در حالت نرمال و اضافه‌کاری و نیز جریمه‌ی حاصل از دیرکرد را کمینه کند. پس از آن که تأمین‌کننده iام هزینه‌های خود را کمینه کرد، مجموع هزینه‌های مربوط به قطعه‌ی jام خود به استثناء هزینه‌ی دیرکرد را ضرب در کم‌ترین سود قابل قبول به‌عنوان قیمت به سطح بالا می‌فرستد. ضمناً جریمه‌ی دیرکرد سطح دوم تنها سبب کاهش شهرت و اعتبار تأمین‌کننده می‌شود و هیچ سودی را برای تصمیم‌گیرنده سطح اول به دنبال ندارد. همچنین تصمیم‌گیرنده سطح اول با توجه به قراردادهای خود با مشتریانش، زمان سررسیدی ناکم‌تر از زمان سررسیدی که برای سطوح پایین تعیین کرده است را برای هر قطعه در نظر می‌گیرد. تأخیر در تهیه قطعات موجب افزایش هزینه‌ی دیرکرد تابع هدف سطح اول می‌شود. لازم به ذکر است هزینه‌ی دیرکرد در تمامی سطوح به‌صورت ضریبی از تعداد قطعات ارسال شده با تأخیر ضرب در مدت زمان تأخیر محاسبه می‌شود.

۱.۳. مفروضات مسئله

مفروضاتی که در این مدل ریاضی دوسطحی در نظرگرفته شده است، به شرح زیر هستند:

- فقط یک دوره سفارش‌دهی توسط خریدار در نظرگرفته شده است.
- تحویل یک سفارش از تأمین‌کننده به شرکت خریدار در دوره‌های مختلف طی افق زمانی و به صورت آنی انجام می‌شود.
- تولید هر قطعه در هر دوره نیازمند هزینه‌ی آماده‌سازی است.
- هر دوره مجموع ظرفیت زمانی عادی و اضافه‌کار در نظرگرفته شده است که هزینه‌ی تولید در حالت اضافه‌کار بیشتر است.
- ارسال می‌تواند هر زمان طی دوره‌ها انجام شود. هزینه‌ی ارسال به هزینه‌ی وسیله‌ی نقلیه و تعداد کالای بارگذاری شده بستگی دارد.
- در هر دوره تعداد معینی وسیله‌ی نقلیه با ظرفیت مشخص در نظرگرفته شده است.
- به هریک از آیتم‌های مختلف ظرفیت مشخصی در انبار اختصاص داده می‌شود، همچنین انبار برای موجودی نیم ساخته در نظرگرفته نشده است.
- هزینه‌ی نگه‌داری وابسته به تعداد واحد کالا در واحد زمان است.
- هزینه‌ی دیرکرد به‌عنوان از دست رفتن اعتبار تأمین‌کننده در نظرگرفته می‌شود و برای خریدار سودی لحاظ نمی‌شود.
- هزینه‌ی تأخیر براساس تعداد کالای تأخیردار ضرب در مدت زمان تأخیر است.
- در ابتدای دوره موجودی اولیه‌یی برای هریک از آیتم‌ها در نظرگرفته شده است.
- شرکای زنجیره‌ی تأمین موجودیت‌های اقتصادی مستقلی هستند و درنتیجه به صورت غیرمتمرکز اداره می‌شوند.
- اعضای شبکه تصمیمات منطقی و مطابق با منافع خود اتخاذ می‌کنند.
- اطلاعات کامل در مورد ساختار هریک از طرفین تنها در اختیار خودش قرار دارد و با سایرین به اشتراک نمی‌گذارد. در واقع تأمین‌کنندگان تنها قیمت هر نوع قلم مصرفی را با توجه به حجم تخصیص یافته و مقدار ارسال سفارشات طی دوره‌ها با توجه به زمان تحویل درخواستی خریدار، به خریدار اعلام می‌کنند.
- در دو سطح مورد نظر این زنجیره‌ی تأمین (خریدار ـ تأمین‌کنندگان) شرایطی برقرار است که خریدار (تولیدکننده) تخصیص حجم را کنترل می‌کند و تأمین‌کنندگان مطابق با تصمیم خریدار قیمت را مشخص می‌کنند در واقع خریدار به‌عنوان رهبر و تأمین‌کنندگان به‌عنوان پیرو در نظرگرفته می‌شوند و تصمیمات آنها بر یکدیگر تأثیر می‌گذارد.
- در سازوکار مورد نظر تأمین‌کنندگان از پیشنهادات یکدیگر اطلاعی ندارند و درنتیجه مستقیماً با یکدیگر رقابت نمی‌کنند بلکه آنها بدنبال استفاده بهینه از ظرفیتشان برای بازپرسازی سفارش خریدار هستند، تا از این طریق بتوانند قیمت پیشنهادی و میزان تحویل در دوره‌ها و هزینه‌ی دیرکرد مربوط به آن را بهینه سازند و از این طریق بر میزان سفارشی که خریدار تخصیص می‌دهد، تأثیر بگذارند.

۴. مدل‌سازی ریاضی مسئله

در ادامه مدل ریاضی، پارامترها و متغیرهای تصمیم مسئله تشریح شده‌اند، توجه شود که در این مدل $S1 = \{q_{ij}, x_{ij}, updc^t_{ij}\}$ مجموعه متغیرهای تحت کنترل تصمیم‌گیرنده سطح اول هستند که q_{ij} را به سطح پایین می‌فرستد و $S_i2 = \{p_{ij}, yr^t_{ij}, yn^t_{ij}, send^t_{vij}, lodc^t_{ij}, x'_{ijt}, x''_{vijt}, I^t_{ij}\}$ مجموعه متغیرهای تحت کنترل تصمیم‌گیرنده iام (تأمین‌کننده iام) در سطح دوم هستند که متغیر p_{ij} و $send^t_{vij}$ را به سطح اول یعنی خریدار می‌فرستند.

در این قسمت ابتدا متغیرها و پارامترهای مدل را شرح می‌دهیم و سپس به مدل ریاضی و تشریح آن می‌پردازیم.

- متغیرهای تصمیم در سطح خریدار:

q_{ij}: میزان تخصیص از قطعه‌ی jام به تأمین‌کننده iام که یک متغیر عدد صحیح و مثبت است؛

x_{ij}: متغیر صفر و یک به‌ازای تخصیص یا عدم تخصیص قطعه‌ی jام به تأمین‌کننده iام؛

$updc^t_{ij}$: هزینه‌ی مواجهه با کمبود (کسری) موجودی بر اثر دیرکرد تحویل قطعه‌ی jام از تأمین‌کننده iام با توجه به دیرترین زمان تحویل قابل قبول برای خریدار.

- پارامترها در سطح خریدار:

D_j: تقاضای کلی سایکو برای هر نوع قطعه؛

(LT_{lower}, LT_{upper}): کمینه و بیشینه زمان تحویل قابل قبول برای خریدار که حد پایین آن به تأمین‌کنندگان اعلام شده است و حد بالای آن زمان سررسید واقعی که پس از آن خریدار با کسری موجودی روبه‌رو می‌شود و به تأمین‌کنندگان اعلام

نمی‌شود. در واقع جریمه‌ی دیرکرد تأمین‌کنندگان براساس حد پایین و هزینه‌ی کسری موجودی خریدار براساس حد بالا محاسبه می‌شود؛

$(Q_{ij}^{\min}, Q_{ij}^{\max})$: حدود بالا و پایین تخصیص قطعه‌ی j به تأمین‌کننده iام که براساس پیشینه روابط تجاری و رتبه کیفی تولید قطعه‌ی jام توسط تأمین‌کننده iام تخمین زده می‌شود؛

a_{ij}: هزینه‌ی سفارش‌دهی توسط خریدار است. این هزینه شامل هزینه‌های مربوط به پیگیری وضعیت سفارشات و انجام تست کیفیت کالاها هنگام تحویل گرفتن از تأمین‌کننده است؛

λ: ضریب تعدیل دیرکرد برای خریدار.

ـ متغیرهای تصمیم در سطح تأمین‌کنندگان:

p_{ij}: قیمت پیشنهاد شده برای تأمین حجم تخصیص داده شده از قطعه‌ی نوع jام توسط تأمین‌کننده iام؛

x'_{ijt}: تولید یا عدم تولید قطعه‌ی نوع j توسط تأمین‌کننده iام؛

x''_{vijt}: ارسال یا عدم ارسال قطعه‌ی نوع j توسط تأمین‌کننده iام به‌وسیله‌ی کامیون v در دوره t؛

yr_{ij}^t: مقداری از سفارش قطعه‌ی j که در دوره t با ظرفیت در دسترس تولید می‌شود؛

yn_{ij}^t: مقداری از سفارش قطعه‌ی j که در دوره t با ظرفیت مازاد در اضافه‌کاری تولید می‌شود؛

I_{ij}^t: موجودی قطعه‌ی j در پایان دوره t برای تأمین‌کننده iام؛

$send_{vij}^t$: متغیر عدد صحیح که برابر میزان سفارش ارسال شده در هر بار ارسال قطعه‌ی j توسط تأمین‌کننده iام در دوره t و به‌وسیله‌ی کامیون v است؛

$lodc_{ij}^t$: هزینه‌ی از دست رفتن اعتبار تأمین‌کننده بر اثر دیرکرد تحویل قطعه‌ی jام با توجه به حد پایین زمان تحویل مورد انتظار خریدار؛

TC_{ij}: هزینه‌ی کل تأمین‌کننده i برای تأمین مقدار تخصیص یافته از قطعه‌ی نوع j.

ـ پارامترها در سطح تأمین‌کنندگان:

cor_{ij}: مجموع هزینه‌ی استفاده از منابع در واحد زمان برای تولید قطعه‌ی نوع j توسط تأمین‌کننده iام در ظرفیت در دسترس؛

cov_{ij}: مجموع هزینه‌ی استفاده از منابع در واحد زمان برای تولید قطعه‌ی نوع j توسط تأمین‌کننده iام در ظرفیت مازاد زمانی؛

orc_i: ظرفیت زمانی در دسترس برای تأمین‌کننده i؛

ovc_i: ظرفیت زمانی مازاد (اضافه‌کاری) برای تأمین‌کننده i؛

PT_{ij}: زمان تولید هر واحد قطعه‌ی j توسط تأمین‌کننده i؛

H_{ij}: هزینه‌ی نگه‌داری هر واحد کالا j در واحد زمان طی دوره برای تأمین‌کننده i؛

H'_{ij}: هزینه‌ی نگه‌داری هر واحد کالای j در واحد زمان بین دو دوره برای تأمین‌کننده i؛

sc_{ij}: هزینه‌ی آماده‌سازی خط تولید برای تولید قطعه‌ی j توسط تأمین‌کننده i؛

SS_{ij}: موجودی اولیه قطعه‌ی j برای تأمین‌کننده i؛

$VCap_{ij}$: ظرفیت حمل برای کالای jام توسط وسایط نقلیه؛

$incap_{ij}$: ظرفیت انبار تأمین‌کننده iام برای نگه‌داری آیتم jام؛

g_i: نرخ سود قابل قبول تأمین‌کننده i؛

γ: ضریب تعدیل دیرکرد برای تأمین‌کنندگان؛

M: عدد بی‌نهایت بزرگ.

ـ اندیس‌ها در مسئله:

i: اندیس مربوط به تأمین‌کنندگان که n تعداد تأمین‌کنندگان است؛

j: اندیس مربوط به انواع قطعات (شماره فنی‌های مختلف) که m تعداد انواع قطعات است؛

v: اندیس مربوط به وسایط نقلیه (کامیون) که V تعداد کامیون‌های در دسترس در هر دوره است؛

t: اندیس مربوط به شماره دوره‌ها در افق زمانی که T تعداد دوره‌های مورد نظر برای بازپرسازی سفارش دریافتی است.

۱.۴. مدل تصمیم‌گیری در سطح بالا (خریدار)

$$\min_{S_1} \quad Z = w_1 . \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(p_{ij}q_{ij}+x_{ij}a_{ij}) + w_2 . \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{t=1}^{T} x_{ij}.updc_{ij}^t \qquad (1)$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^{n} q_{ij} = D_j \qquad \forall j \qquad (2)$$

$$x_{ij}Q_{ij}^{\min} \le q_{ij} \le x_{ij}Q_{ij}^{\max} \qquad \forall i,j \qquad (3)$$

$$\lambda(t - LT_{upper}) \times \sum_{v=1}^{V} send_{vij}^t \le updc_{ij}^t \qquad \forall i,j,t \qquad (4)$$

$$x_{ij} = \{0,1\} \qquad \forall i,j \qquad (5)$$

$$q_{ij} \ge 0, int, \quad updc_{ij}^t \ge 0 \qquad \forall i,j,t \qquad (6)$$

۲.۴. مدل تصمیم‌گیری در سطح پایین (تأمین‌کننده‌ی i)

$$\min_{S_i^2} \ \{Z_1, Z_2, ..., Z_i | Z_i = \sum_{j=1}^{m} TC_{ij}; \quad i = 1, ..., n\} \qquad (7)$$

S.T.

$$TC_{ij} = \sum_{t=1}^{T} \left\{ \begin{array}{l} cor_{ij}.yr_{ij}^t + \mathrm{cov}_{ij}.yn_{ij}^t + [\frac{H_{i,j}}{2} \\ \times PT_{ij}(\sum_{v=1}^{V}(send_{vij}^t)^2 + (I_{ij}^t)^2 - (I_{ij}^{t-1})^2) \\ + H'_{ij}I_{ij}^t] + \sum_{v=1}^{V}[\alpha(x'_{vijt}) + \beta(send_{vij}^t)] \\ + lodc_{ij}^t + sc_{ij}x_{ijt} \end{array} \right\}$$

$$\forall i,j \qquad (8)$$

$$yr_{ij}^t \le \frac{orc_{ij}}{PT_{ij}} \qquad \forall i,j,t \qquad (9)$$

$$yn_{ij}^t \le \frac{ovc_{ij}}{PT_{ij}} \qquad \forall i,j,t \qquad (10)$$

$$yr_{ij}^t + yn_{ij}^t \le M.x'_{ijt} \qquad \forall i,j,t \qquad (11)$$

$$\sum_{t=1}^{T} yr_{ij}^t + yn_{ij}^t = q_{ij} \qquad \forall i,j \qquad (12)$$

$$I_{ij}^{t} = yr_{ij}^{t} + yn_{ij}^{t} + I_{ij}^{t-1} - \sum_{v=1}^{V} send_{vij}^{t} \qquad \forall i,j,t \qquad (13)$$

$$I_{ij}^{t} \le InCap_{ij} \qquad \forall i,j,t \qquad (14)$$

$$\sum_{t=1}^{T}\sum_{v=1}^{V} send_{vij}^{t} = q_{ij} \qquad \forall i,j \qquad (15)$$

$$\gamma(t - LT_{lower}) \times \sum_{v=1}^{V} send_{vij}^{t} \le lodc_{ij}^{t} \qquad \forall i,j,t \qquad (16)$$

$$send_{vij}^{t} \le x''_{vijt}.VCap_{ij} \qquad \forall i,j,t,v \qquad (17)$$

$$send_{vij}^{t} \le InCap_{ij} \qquad \forall i,j,t,v \qquad (18)$$

$$\sum_{v=1}^{V} x''_{vijt} \le V \qquad \forall i,j,t \qquad (19)$$

$$p_{ij} = (1+g_i)\left(\frac{TC_{ij} - \sum_{t=1}^{T} lodc_{ij}^{t}}{q_{ij}}\right) \qquad \forall i,j \qquad (20)$$

$$yr_{ij}^{t}, yn_{ij}^{t}, send_{vij}^{t}, I_{ij}^{t} \ge 0, \text{int} \qquad \forall i,j,t,v \qquad (21)$$

$$lodc_{ij}^{t} \ge 0 \qquad \forall i,j,t \qquad (22)$$

$$x'_{ijt}, x''_{vijt} = \{0,1\} \qquad \forall i,j,t,v \qquad (23)$$

$$i \in \{1,...,n\}, j \in \{1,...,m\}, t \in \{1,...,T\}, v \in \{1,...,V\} \qquad (24)$$

۳.۴. شرح مدل سطح بالا

معادله‌ی ۱ تابع هدف خریدار در سطح بالاست که عبارت است از کمینه کردن هزینه‌ی تدارکات و هزینه‌ی مواجهه با کسری موجودی که به علت دیرکرد تحویل توسط تأمین‌کنندگان رخ می‌دهد. معادله‌ی ۲ محدودیت مربوط به آن است که میزان سفارش به تأمین‌کنندگان برای هر نوع قطعه برابر میزان کل تقاضا برای آن قطعه باشد. محدودیت ۳ نشان می‌دهد که میزان سفارش از انواع قطعاتی که به هر تأمین‌کننده می‌شود بزرگتر از یک حد پایین و کوچکتر از یک حد بالا است که براساس پیشینه رابطه‌ی تجاری با تأمین‌کنندگان و درجه کیفیت قطعات تأمین شده توسط آنها، تخمین زده می‌شود. محدودیت ۴ بیانگر هزینه‌ی دیرکرد بر حسب تعداد کالا در مدت زمان دیرکرد است و نشان می‌دهد که به‌ازای دیرکرد نسبت به آخرین زمان تحویل مورد قبول توسط خریدار هزینه‌یی برای خریدار به‌عنوان هزینه‌ی کسری موجودی و توقف خط در نظر گرفته می‌شود. محدودیت ۵ بیانگر صفر و یک بودن متغیر تصمیم تخصیص یا عدم تخصیص است و محدودیت ۶ بیانگر غیرمنفی و صحیح بودن متغیر حجم‌های تخصیصی از هر نوع کالا و غیرمنفی بودن هزینه‌ی مواجهه با کسری موجودی برای خریدار است.

۴.۴. شرح مدل سطح پایین

معادله‌ی ۷ بیانگر تابع هدف هریک از تأمین‌کنندگان به صورت مجزا است که هدف آنها کمینه کردن هزینه‌ی کل خود به صورت مجزا است. در مدل سطح پایین معادله‌ی ۸ مبین مجموع هزینه‌های تأمین‌کننده برای تدارک حجم تخصیص یافته از قطعه‌ی نوع j که به ترتیب شامل هزینه‌ی تولید در ظرفیت در دسترس، هزینه‌ی تولید در ظرفیت مازاد (اضافه‌کاری)، هزینه‌ی نگه‌داری موجودی، هزینه‌ی ارسال، جریمه‌ی دیرکرد و هزینه‌ی آماده‌سازی عملیات تولید (در صورتی که تولید انجام گیرد) است. محدودیت‌های ۹ و ۱۰ نشان می‌دهند که میزان تولید در حالت عادی و اضافه‌کار از ظرفیت اسمی آن کوچکتر یا مساوی است. محدودیت ۱۱ در واقع محدودیت مربوط به متغیر وابسته به میزان تولید است که اگر تولید انجام شود هزینه‌ی آماده‌سازی که هزینه‌ی ثابت برای انجام عملیات است، لحاظ می‌شود. محدودیت ۱۲ نشان می‌دهد که مجموع تولیدات مساوی میزان تقاضای خریدار است، این محدودیت فرض وجود انباشته اطمینان در پایان افق زمانی را ارضا می‌کند. محدودیت ۱۳ معادله تعادل موجودی تأمین‌کننده را نشان می‌دهد. محدودیت ۱۴ ظرفیت انبار را برای هر نوع کالا نشان می‌دهد. محدودیت ۱۵ نشان می‌دهد که مجموع ارسال‌ها در طی دوره‌ها برابر میزان تقاضای خریدار است. محدودیت ۱۶ بیانگر هزینه‌ی دیرکرد بر حسب تعداد کالا در مدت زمان دیرکرد است و نشان می‌دهد که به‌ازای دیرکرد نسبت به زمان تحویل اولیه درخواست شده توسط خریدار هزینه‌یی در نظر گرفته می‌شود که این هزینه را در تابع هدف تأمین‌کننده به‌عنوان هزینه‌ی از دست رفتن اعتبار محسوب می‌نماییم. محدودیت ۱۷ بیانگر ارسال یا عدم ارسال وسایل نقلیه برای ارسال هر نوع از قطعات است. محدودیت ۱۸ بیانگر رعایت حجم انبار پیش از هر ارسال توسط وسیله‌ی نقلیه است. محدودیت ۱۹ بیانگر تعداد کل وسایط حمل و نقل در دسترس در یک دوره است. محدودیت ۲۰ قیمت قابل قبول تأمین‌کننده برای هر نوع کالا را نشان می‌دهد و بیانگر این است که قیمت‌های پیشنهادی ضریبی از هزینه‌ی کل تأمین آن قطعه است. محدودیت ۲۱ نشان می‌دهد که مقادیر تولید شده از دو روش (ظرفیت در دسترس و ظرفیت مازاد) و مقادیر ارسال و موجودی انبار متغیر عدد صحیح و نامنفی هستند. محدودیت ۲۲ نشان دهنده نامنفی بودن متغیرهای مربوط به جریمه‌ی دیرکرد است. محدودیت ۲۳ مربوط به صفر و یک بودن متغیرهای تصمیم تولید یا عدم تولید و ارسال یا عدم ارسال قطعه است.

۵. تعبیه سازوکار مذاکره در برنامه‌ریزی ریاضی دوسطحی

فرایند حل مسئله‌ی تدارکات مورد بررسی در این مقاله، منطبق با سازوکار مذاکره مبتنی بر چانه‌زنی ـ حراج (چانه‌زنی ـ مناقصه) پایه‌ریزی شده است. بنابراین لازم است ابتدا مفاهیم کلیدی در مذاکره نظیر پروتکل و سیاست مذاکره را تعریف نماییم تا علت این نام‌گذاری روشن شود. توجه داریم که منظور از حراج در این مقاله حراج معکوس یا مناقصه است که در آن خریدار برای تهیه اقلام مورد نیازش تأمین‌کنندگان را فرامی‌خواند.

علی‌رغم توسعه‌ی مدل‌های ریاضی به منظور در برگرفتن فرایند مذاکره در مقالات مختلف نظیر،[۲و۶] یک تعریف جامع در ارتباط با چگونگی مدل‌سازی ساختار مذاکره توسط مدل‌های ریاضی وجود ندارد.

همان طور که بیان شد دو مولفه اصلی در هر مذاکره‌یی عبارت‌اند از: پروتکل مذاکره و سیاست مذاکره. پروتکل مذاکره عبارت است از قوانین روشن و مشخصی برای هدایت تراکنش بین طرفین، که باید برای طرفین مذاکره مشخص باشد که چه نوع پروتکلی در جریان است. از طرف دیگر استراتژی مذاکره عبارت است از روش انتخابی توسط هریک از طرفین مذاکره که تصمیم می‌گیرد از آن طریق به بهترین نتیجه دست یابد.[۲۳]

پروتکل مذاکره بر سه نوع است: پیشنهاددهی، حراج و چانه‌زنی. در این مقاله بر دو نوع آخر متمرکز می‌شویم. در واقع به منظور شفاف‌سازی نوع پروتکل مذاکره در مسئله‌ی تدارکات مورد بحث در این مقاله، دو نوع پروتکل مذاکره که می‌تواند از طریق

برنامه‌ریزی ریاضی دوسطحی مدل‌سازی شود، را مقایسه می‌نماییم. بدین منظور، میان مفاهیم مذاکره و برنامه‌ریزی دوسطحی یک ارتباط معنادار برقرار کرده‌ایم.

به طورکلی در مذاکرات پروتکل حراج معمولا هنگامی استفاده می‌شود که شرایط زیر برقرار باشند:

۱. فقط یک موضوع قیمت مورد بحث باشد؛

۲. نیاز به ارتباطات دو طرفه و پیاپی طرفین نباشد و تنها یک طرف (برپاکننده حراج) براساس پیشنهادات دریافتی تصمیم بگیرد که آیا پیشنهاد را بپذیرد یا خیر؛

۳. نیازی به امتحان کردن استراتژی‌های مختلف با شرکای مختلف نباشد. از طرف دیگر پروتکل چانه‌زنی معمولا هنگامی استفاده می‌شود که شرایط زیر برقرار باشند:

۱.۳. طرفین همگی بتوانند پیشنهاد خود را ارائه کنند؛

۲.۳. موضوعات مختلفی فراتر از قیمت مطرح باشد.[۲۳]

بنابر ویژگی‌های ذکر شده می‌توان دریافت که فرایند مدل‌سازی و حل مسئله‌ی تدارکات مورد بحث در این مقاله ویژگی سوم حراج و ویژگی اول و دوم چانه‌زنی را دارد. به عبارت دیگر در مسئله‌ی ما خریدار نیازی به به‌کارگیری سیاست‌های متفاوت در قبال تأمین‌کنندگان ندارد و تصمیم‌گیری تنها مبتنی بر پیشنهادهای آنها (مقدار متغیری که به سطح اول فرستاده می‌شود) است. همچنین در این مسئله هر دو طرف می‌توانند به صورت متوالی پیشنهادهای خود را ارائه کنند تا طی فرایند مذاکره شبیه‌سازی شده به نقطه‌یی برسند که برای هر دو طرف راضی‌کننده باشد. توجه می‌شود که مذاکره ما شامل چندین مذاکره دو طرف است زیرا تأمین‌کنندگان ارتباطی با هم ندارند و این خریدار است که باید تمام مذاکرات دو به دو را کنترل کند تا از جواب نزدیک به بهینه دور نشود که این امر به‌وسیله‌ی الگوریتم PSO انجام می‌گیرد. و در نهایت مذاکره مورد بحث در این مسئله فراتر از قیمت است، زیرا ویژگی‌هایی نظیر دیرکرد زمان تحویل را نیز در نظر می‌گیرد تنها با این تفاوت که آن را نیز به صورت یک جریمه در تابع هزینه وارد می‌کند.

برخلاف سازوکار مذاکره دوسطحی پیشنهادی در این مقاله برای مسئله‌ی تدارکات، در مذاکره دوسطحی مبتنی بر حراج (مناقصه)، تأمین‌کنندگان مقادیر قابل تأمین و قیمت آنها را مشخص می‌کنند و متوالیا پیشنهادهای خود را اصلاح می‌کنند تا احتمال برنده شدن خود را بیشینه و هزینه‌ی کل را کمینه کنند؛ و خریدار به‌عنوان برپاکننده مناقصه تنها می‌تواند پیشنهادات را بپذیرد یا رد کند. به منظور توضیح این موضوع به مقاله سندهلم و همکاران[۲۴] اشاره می‌نمائیم که یک مسئله‌ی حراج معکوس تعریف کرده‌اند که در آن برپاکننده مناقصه تمام تقاضا را برای هر آیتم مشخص می‌کند (یادآوری می‌کنیم که در مسئله‌ی ما تولیدکننده تمام تقاضا را آشکار نکرده است بلکه به هر تأمین‌کننده سهمی را تخصیص داده است) و فروشندگان درخواست‌هایی شامل تعداد اقلام قابل تأمین توسط آنها و قیمت مجموعه (حراج ترکیبی) را به خریدار ارائه کرده‌اند. بنابراین در مذاکره مبتنی بر حراج، تمام تقاضای خریدار باید برای تمام تأمین‌کنندگان آشکار باشد، همچنین افق زمانی باید توسط خریدار مشخص شده باشد و تأخیر مجاز نباشد. در حالی که در مسئله‌ی تدارکات مورد بحث در این مقاله، خریدار میزان تخصیص سفارشات را مشخص می‌کند و به صورت متوالی تخصیص مجدد انجام می‌دهد تا به یک تصمیم نزدیک به بهینه برای مدل دوسطحی دست یابد. طبق توضیحات ارائه شده علی رغم آن که خریدار پیشنهادی برای قیمت ارائه نمی‌دهد، با این حال پروتکل به کارگرفته شده در این مذاکره شبیه‌سازی شده ترکیبی از چانه‌زنی و حراج معکوس است. در نهایت باید اشاره نماییم که در این مذاکره شبیه‌سازی شده، استراتژی خریدار برای کنترل مذاکرات دو طرفه با تأمین‌کنندگان و دست‌یابی به تصمیم نزدیک به بهینه مذاکره در قالب مدل ریاضی دوسطحی الگوریتم ترکیبی PSO-A* است؛ و استراتژی تأمین‌کنندگان از طریق جست‌وجوی A* است که موقعیت مطلوب برای برنامه‌ریزی تولید و تکمیل سفارشات هر تأمین‌کننده را به‌صورت مستقل از یکدیگر جست‌وجو می‌کند.

۶. سازوکار حل مسئله‌ی تدارکات توزیع شده

در این بخش به جزئیات فرایند حل مسئله‌ی تدارکات طبق برنامه‌ریزی دوسطحی به‌وسیله‌ی الگوریتم هوش ازدحامی ذرات می‌پردازیم. الگوریتم بهینه‌سازی حرکت دسته جمعی ذرات (PSO) اولین بار در سال ۱۹۹۵ توسط ابرهارت و کندی[۲۵] معرفی شد. PSO از هوش جمعی الهام گرفته شده است. این روش سعی در تقلید رفتار اجتماعی ارگان‌های طبیعی نظیر دسته پرندگان و ماهی‌ها در پیدا کردن غذا دارد. در این گونه جمعیت‌ها بدون آن که کنترل مرکزی صورت بگیرد یک رفتار هماهنگ شده با استفاده از حرکات محلی بروز پیدا می‌کند.[۲۶] الگوریتم PSO به علت ویژگی‌هایی نظیر زمان اجرای کوتاه و حافظه مورد نیاز کم[۵] (نسبت به الگوریتم‌های تکاملی) برای هدف ما بسیار مناسب هستند، زیرا ما را برای ترکیب کردن آن با الگوریتم جست‌وجوی A* یاری می‌کنند.

گام‌های حل مسئله‌ی دوسطحی مسئله‌ی مورد نظر بدون توجه به نوع الگوریتم فراابتکاری استفاده شده، به صورت کلی زیر است:

گام ۱. (مسئله‌ی سطح بالا)
یک سری جواب اولیه برای متغیرهای تصمیم سطح بالا (مدل رهبر) یعنی میزان حجم تخصیص داده شده به تأمین‌کنندگان تولید می‌شود.

گام ۲. (مسئله‌ی سطح پایین)
به‌ازای جواب اولیه در سطح بالا، مسئله‌ی بهینه‌سازی سطح پایین (مدل پیرو) حل می‌شود و مقادیر حاصل برای متغیرهای تصمیم آن نظیر قیمت هر قطعه و مقدار ارسال در هر دوره به سطح بالا فرستاده می‌شود.

گام ۳. (مسئله‌ی سطح بالا)
میزان مطلوبیت تابع هدف سطح بالا (رهبر) به‌ازای مقادیر متغیرهای تصمیم تعیین شده به‌وسیله‌ی خودش و مقادیر متغیرهای تصمیم فرستاده شده از سوی پیرو، ارزیابی می‌شود.

گام ۴. (مسئله‌ی سطح بالا)
در صورت عدم مطلوبیت نتیجه، مقادیر متغیر تصمیم سطح بالا تغییر داده می‌شود و به گام دوم برمی‌گردد. این روند تا زمانی که تخصیص‌های بهینه صورت بگیرد، ادامه می‌یابد. در ادامه توضیحات بیشتری در ارتباط با جزئیات الگوریتم داده خواهد شد.

۱.۶. گام‌های الگوریتم PSO-A* برای حل مسئله‌ی دوسطحی

گام‌های الگوریتم عبارت‌اند از:

گام ۱. ایجاد جمعیت اولیه: نمایش جواب به صورت یک ماتریس است که تعداد سطرهای آن برابر تعداد تأمین‌کنندگان و تعداد ستون‌ها برابر تعداد قطعات خواهد بود، و آرایه‌هایش مقادیر تخصیص داده شده q_{ij} هستند. برای ارضای تقاضای مربوط به هر آیتم (قطعه) یک تأمین‌کننده از بین تأمین‌کنندگان به‌صورت تصادفی

انتخاب می‌کنیم و به آن به‌صورت تصادفی عددی در بازه، ((باقیمانده تقاضا $Q_{ij}^{\min}$, $(\mathrm{Min}(Q_{ij}^{\max}$, تخصیص می‌دهیم. این عمل تخصیص اولیه را برای تمام تأمین‌کنندگان و تمام آیتم‌ها انجام می‌دهیم تا ماتریس مقادیر اولیه حاصل شود. مقدار اولیه بردار سرعت نیز در این گام صفر تنظیم می‌شود و حدود مجاز سرعت برحسب درصدی از طول بازه تغییرات جواب‌ها (در این جا نصف طول بازه) تعیین می‌شود.

گام ۲. تراکنش بین دو سطح: ماتریس جواب اولیه به‌عنوان پارامتر به سطح دوم فرستاده می‌شود و A^* که مسئله‌ی بهینه‌سازی سطح پایین را به‌ازای این مقادیر حل می‌کند، مقادیر بهینه یا نزدیک به بهینه برای قیمت و مقادیر ارسال در هر دوره را به‌ازای آنها اعلام می‌کند، که با استفاده از آن مقدار تابع هدف سطح اول با توجه به مقادیر قیمت و زمان‌های ارسال به‌دست می‌آید.

گام ۳. تشکیل بهترین جواب شخصی و جواب جهانی اولیه: مجموعه تمام ماتریس‌های جواب درگام اول که ذرات جمعیت اولیه هستند، به‌عنوان جواب‌های محلی و بهترین آنها به‌عنوان جواب جهانی در نظر گرفته می‌شود.

گام ۴. تشکیل جمعیت جدید: در این گام به‌روز رسانی سرعت و مکان ذره‌ها با توجه به تعریف الگوریتم ازدحام ذرات انجام می‌شود.

گام ۱.۴. به روز رسانی سرعت: به روز رسانی سرعت ذره‌ها با توجه به رابطه‌ی به‌روزآوری سرعت در الگوریتم ازدحام ذرات (رابطه‌ی ۲۵) انجام می‌شود. هرگاه جوابی (مکان) دارای مقدار صفر بود برای تشکیل جمعیت جدید، مقدار صفر با مقدار اپسیلن واحد کم‌تر از کران پایین جایگزین شود. حفظ تغییرات اعشاری و نیز تعریف این نوع صفر قراردادی سبب می‌شود تجمع گام‌های کوچک بردار سرعت مخصوصاً در پایان الگوریتم PSO، سبب ایجاد تغییرات جزئی در جواب‌های نهایی گردد. در صورتی که سرعت جدید خارج از حدود از پیش تعیین شده باشد، مقدار آن به حدود بالا یا پایین اصلاح می‌شود. ضمناً ضریب گام حرکتی یا وزن اینرسی برای بردار سرعت با سیر کاهشی مطابق رابطه‌ی ۲۶ به‌روزرسانی می‌شود.

گام ۲.۴. به‌روزرسانی مکان: از آنجا که تغییرات بردار سرعت به‌صورت اعشاری است لذا ماتریس جواب‌های جدید که طبق رابطه‌ی ۲۷ حاصل می‌شوند، نیز اعشاری هستند که در حل مسئله‌ی سطح پایین از مقادیر جزء صحیح آنها استفاده می‌شود. ضمناً قرارداد می‌شود که پس از تشکیل جمعیت جدید، مقادیر جواب جدید را که از کران پایین کوچک‌ترند در حل مدل سطح پایین با مقادیر صفر جایگزین شوند.

$$v_{ij}^{t} = w v_{ij}^{t-1} + c_1\rho_1(p_{ij}^{t-1} - x_{ij}^{t-1}) + c_2\rho_2(G_{ij}^{t-1} - x_{ij}^{t-1}) \quad (۲۵)$$

$$w = w_{\max} - \frac{w_{\max} - w_{\min}}{iter_{\max}} \times iter \quad (۲۶)$$

$$x_{ij}^{t} = x_{ij}^{t-1} + v_{ij}^{t} \quad (۲۷)$$

گام ۵. اعمال محدودیت ارضاء تقاضا و اصلاح جمعیت جدید: ممکن است جواب‌های جدید (مکان‌ها) به‌دست آمده در محدودیت ارضاء تقاضا در مسئله‌ی سطح بالا صدق نکنند. بدین منظور جمع مقادیر تخصیص داده شده هر آیتم (پس از اعمال اصلاحات گام ۲.۴.) را با میزان تقاضای کل برای آن مقایسه می‌کنیم، اگر اختلافی وجود نداشت، تغییرات جزئی اولیه را به جواب‌ها افزوده و مقادیر صفر را طبق قرارداد برای ایجاد جمعیت جدید اصلاح می‌کنیم. در غیر اینصورت با توجه به مثبت (یا منفی) بودن اختلاف مجموع جواب‌ها با تقاضا، به‌صورت تصادفی تأمین‌کننده‌یی را در نظر گرفته و روی مقدار سفارش تخصیص داده شده به آن به‌اندازه یک واحد تغییرات کاهشی (یا افزایشی) را اعمال می‌کنیم. پس از اصلاح جواب‌ها در کران مجاز یا مقدار صفر، عمل محاسبه اختلاف مجموع جواب‌ها با مقدار تقاضا مجددا انجام می‌گیرد. در صورت وجود اختلاف، عملیات فوق تا ارضای محدودیت تقاضا ادامه می‌یابد. توجه شود که افزودن یک واحد به متغیری با مقدار صفر معادل است با تخصیص کران پایین به آن متغیر و کاستن یک واحد از متغیری با مقدار کران پایین معادل است با تخصیص مقدار صفر به آن. پس از ارضاء محدودیت تقاضا، بخش اعشاری جواب اولیه به جواب‌های اصلاح شده اضافه شده و صفر قراردادی (اپسیلن واحد کم‌تر از کران پایین) روی جواب‌هایی با مقدار صفر، اعمال می‌شود، و مقدار بردار سرعت جدید نیز با توجه به تفاضل جواب جدید از جواب قدیم اصلاح می‌شود.

گام ۶. تراکنش بین دو سطح: اکنون جواب‌ها برای حل مسئله‌ی سطح دوم آماده‌سازی شده و الگوریتم A^* اجرا شده و مقادیر تابع هدف سطح اول برای آنها محاسبه می‌شود.

گام ۷. به‌روزرسانی بهترین جواب شخصی و جهانی: جواب محلی هر ذره با جواب‌های جمعیت جدید مقایسه و به‌روزرسانی می‌شود. سپس جواب جهانی با توجه به جواب محلی جدید، به‌روزرسانی می‌شود.

گام ۸. بررسی شرط خاتمه: گام‌های سوم تا هفتم تا اتمام تعداد تکرار الگوریتم ادامه می‌یابد و در پایان جواب جهانی برگشت داده می‌شود.

لازم به ذکر است که به روزآوری p-best هر ذره و g-best تجمع براساس برازندگی جواب و مقادیر هدف ذرات (جواب‌ها) است و مستقل از نوع متغیر یا داده‌های سرعت یا مکان هر ذره یا نوع PSO مورد استفاده است. بنابراین طبق آنچه قبلا اشاره شد فرمول‌های به‌روزرسانی همانند حالت کلاسیک الگوریتم PSO است.

۲.۶. الگوریتم ابتکاری A^* برای حل زیر مسائل تأمین‌گنندگان در سطح دوم

علی‌رغم پیچیدگی ذاتی مسئله‌ی دوسطحی، مسئله‌ی مورد نظر در این مقاله در سطح پایین به علت ازدیاد متغیرهای عدد صحیح و صفر و یک و همچنین غیر محدب بودن تابع هدف، زمان اجرای طولانی دارد. بنابراین، در صورتی که بخواهیم زیر مسائل سطح پایین را به صورت دقیق حل نماییم با توجه به پیچیدگی مسئله‌ی سطح پایین و زمان حل طولانی آن برای فراخوانی‌های متعدد نرم‌افزارگمز برای حل مسئله‌ی سطح پایین به‌ازای هر ذره از جمعیت تولید شده در الگوریتم ازدحام ذرات، درصدد طراحی یک الگوریتم ابتکاری برای حل این مسئله برآمدیم. برای مقابله با این مشکل چند راه حل پیشنهاد می‌شود که عبارت‌اند از:

- روش ابتکاری برای حل مسئله‌ی سطح پایین و تعبیه‌ی آن در الگوریتم حل مسئله‌ی دوسطحی.
- آزادسازی مسئله به حالت پیوسته و اعمال شرایط KKT و تبدیل مسئله‌ی دوسطحی به یک مسئله‌ی یک‌سطحی و در نهایت حل آن با الگوریتم فرااابتکاری.

چنان که اشاره شد برای حل مسئله‌ی دوسطحی از الگوریتم فرااابتکاری PSO استفاده شده است، که در قبال جوابی که از سطح پایین دریافت می‌کند تغییری در درخواست قبلی خود ایجاد کرده و درخواست‌ها را طی تکرارهای الگوریتم به‌طور

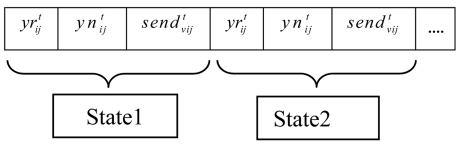
متوالی به سطح پایین ارسال می‌کند؛ و در نهایت یک جواب نزدیک به بهینه برای مسئله‌ی تحت مذاکره حاصل می‌آورد. لذا می‌توان برای مسئله‌ی سطح دوم نیز از یک روش ابتکاری برای یافتن جواب نزدیک به بهینه استفاده نماییم و لزومی به ارائه حل دقیق برای آن وجود ندارد. همچنین در این مطالعه از آزادسازی مسئله به حالت پیوسته و اعمال شرایط کان تاکر خودداری شده است، زیرا این عمل فرض غیرمتمرکز بودن مسئله را نقض می‌کند.

بدین‌منظور از الگوریتم جست‌وجوی A* برای حل مسئله‌ی هر تأمین‌کننده استفاده شده است. توضیحات کامل الگوریتم A* برای مسئله‌ی برنامه‌ریزی تولید و بازپرسازی سفارشات یک تأمین‌کننده در یک مرحله سفارش‌دهی[۲۷] ارائه شده است. برای حل مسئله‌ی دوسطحی در این مقاله آن الگوریتم به‌ازای هر تکرار الگوریتم PSO و منطبق با نحوه‌ی تخصیص خریدار به روزآوری می‌شود. به عبارت دیگر با توجه به این که مذاکره مبتنی بر چانه‌زنی ـ مناقصه در این مقاله از نوع قراردادهای مهر و موم شده است و تأمین‌کنندگان از پیشنهادهای یکدیگر اطلاعی ندارند، مسئله‌ی هر تأمین‌کننده به‌صورت جداگانه و به‌ازای مقادیری که به‌طور متوالی توسط خریدار (ذرات در الگوریتم PSO) تعیین می‌شود، حل می‌شود. این امر با فرض عدم اشتراک ناحیه‌ی موجه مدل تصمیم‌گیری هریک از تأمین‌کنندگان با یکدیگر همخوانی دارد. در این مقاله الگوریتم A* در داخل الگوریتم PSO تعبیه شده است و ورودی‌های آن دائماً در حال تغییرند و این فرایند تا دست‌یابی به جواب نزدیک به بهینه که محدودیت‌های طرفین را ارضا کند ادامه دارد. در این مقاله با توجه به عدم افتراق الگوریتم PSO و A* لازم است مراحل الگوریتم A* ذکر شود.[۲۷]

در این بخش ابتدا به بیان برخی مفاهیم برای حل مسائل از طریق الگوریتم‌های جست‌وجو مطابق با مسئله‌ی مورد بررسی می‌پردازیم:[۷]

- حالت یا موقعیت اولیه: حالتی که ابتدا تأمین‌کننده در آن قرار دارد که نشان‌دهنده مقادیر موجودی انبار و سفارش دریافتی تأمین‌کننده است.
- عملگر: تولید عادی، تولید در حالت اضافه‌کاری، ارسال یا نگه‌داری موجودی از جمله اعمالی است که می‌تواند حالت سیستم را تغییر دهند و حالت دیگری ایجاد کنند.
- فضای حالت: مجموعه تمام حالت‌هایی که از حالت اولیه طی توالی عملیات مختلف قابل دست‌یابی است که عبارت‌اند از مقادیر مختلف موجودی در دسترس برای ارضای تقاضا و مقادیر مانده تقاضا.
- مسیر: توالی عملیات از جمله تولید و ارسال یا نگه‌داری که طی جست‌وجو ما را از حالتی به حالت دیگر راهنمایی می‌کنند.
- حالت هدف: گره‌یی که در آن مانده تقاضا برابر صفر شود، تقاضای خریدار ارضا شود و دست‌یابی به آن کم‌ترین هزینه را داشته باشد.

پیش از ارائه‌ی گام‌های الگوریتم ابتکاری برای حل زیر مسائل سطح پایین برای هر تأمین‌کننده به تفکیک نوع کالا، قابل ذکر است که نمایش یک جواب مسئله به صورت زیر است:



گام‌های الگوریتم ابتکاری برای حل زیر مسائل سطح پایین مدل دوسطحی برای هر تأمین‌کننده به صورت مجزا عبارت‌اند از:

۱. در صورتی که تقاضای دریافت شده کوچکتر یا مساوی موجودی انبار باشد، کلیه سفارش از انبار ارسال می‌شود که برای آن کلیه هزینه‌ها به استثنا هزینه‌ی تولید در حالت اضافه‌کار لحاظ می‌شود و الگوریتم متوقف می‌شود؛ در غیر این صورت باید تولید به‌اندازه مانده تقاضا انجام پذیرد، بنابراین به گام بعد می‌رویم.

۲. گره شروع را به‌عنوان حالتی که تأمین‌کننده با مانده تقاضا روبرو است و به آماده‌سازی خط تولید می‌پردازد، در نظر می‌گیریم و این گره را در open-list قرار می‌دهیم.

۳. گره تعیین شده را به‌عنوان والد در نظر می‌گیریم و شاخه‌زنی را روی آن انجام می‌دهیم:

۱.۳. تولید در حالت عادی (yr_{ij}^t) برای هر نوع کالا مقادیر صحیح بین یک تا کمینه مانده تقاضا و سقف تولید عادی را در بر می‌گیرد.

۲.۳. تولید در حالت اضافه‌کار (yn_{ij}^t) برای هر نوع کالا مقادیر عدد صحیح بین صفر تا کمینه بین مانده تقاضا و سقف تولید اضافه‌کار را می‌تواند اتخاذ کند، با این فرض که تولید اضافه‌کار تنها در صورتی که ظرفیت تولید در حالت عادی تکمیل شده باشد انجام می‌شود و در غیر این صورت صفر خواهد بود.

۳.۳. پس از مشخص کردن عمل‌های مربوط به تولید عادی و اضافه‌کار در هر دوره، تعداد ارسال‌ها ($send_{vij}^t$) مشخص می‌شود که در قسمت بعد محاسبه می‌شود.

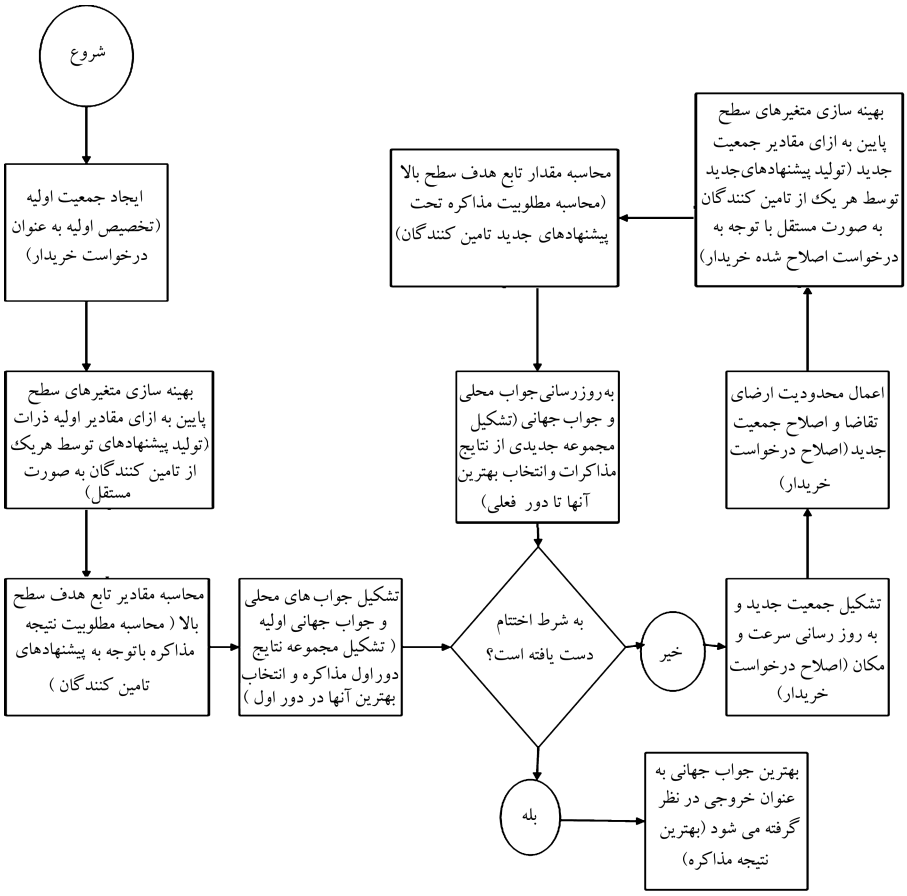
۴. گره‌های ایجاد شده بر اثر مجموعه توالی عملیات فوق را به open-list اضافه می‌کنیم و گره شروع را به closed-list اضافه می‌کنیم و هزینه‌های f، g و h آن را ذخیره می‌نماییم.

۵. هزینه‌ی f که مجموع هزینه‌های g و h است را برای گره‌های موجود در open-list محاسبه می‌نماییم. گره با کم‌ترین هزینه را انتخاب کرده و گره والد را به این گره تغییر داده و شاخه‌زنی را انجام می‌دهیم.

۶. در صورتی که با اضافه کردن گره‌های جدید به open-list تعداد گره‌ها از تعداد از پیش تعریف شده برای تعداد open-list بیشتر شد، به تعداد از پیش تعریف شده از کم هزینه‌ترین گره‌ها را نگه می‌داریم و بقیه را نادیده می‌گیریم.

۷. هنگامی که به گره‌یی دست یافتیم که در آن تقاضای باقی‌مانده صفر باشد (یعنی جواب مسئله یا حالت هدف). آن را به‌عنوان کم هزینه‌ترین گره در open-list به closed-list اضافه می‌نماییم و الگوریتم متوقف می‌شود. در غیر این‌صورت مجددا گام‌های ۳ تا ۷ را تکرار می‌کنیم.

تابع تخمین هزینه یا به‌عبارت دیگر نحوه‌ی محاسبه هزینه‌های g و h در هر گره مطابق با تابع هدف در مدل تصمیم‌گیری سطح پایین است، با این تفاوت که هزینه‌ی h که یک تابع تخمین هزینه از گره فعلی تا گره هدف است به‌صورت تخمینی خوش‌بینانه و کم‌تر از میزان واقعی آن انجام می‌شود. به‌عبارت دیگر تخمین هزینه‌ی تولید برای دوره‌های بعد به صورت یک جواب کران پایین و تنها با محسوب کردن هزینه‌ی تولید نرمال انجام می‌گیرد و هزینه‌ی اضافه‌کاری در نظر گرفته نمی‌شود و برای حجم تولید شده در زمان اضافه‌کاری نیز همان هزینه‌ی تولید در حالت عادی در نظر گرفته می‌شود. در نهایت ارزیابی به‌وسیله‌ی مجموع این دو تابع هزینه انجام می‌شود، که این تابع ارزیابی با f نشان داده می‌شود. جزئیات بیشتر در ارتباط با نحوه‌ی تخمین هزینه‌های g و h به‌عنوان تابع ارزیابی[۲۷] در دسترس است.



شکل ۱. فلوچارت حل مسئله‌ی مذاکره تحت برنامه‌ریزی دوسطحی و الگوریتم ازدحام ذرات.

فلوچارت حل مسئله‌ی مذاکره تحت برنامه‌ریزی دوسطحی در شکل ۱ نشان داده شده است.

۷. مطالعه موردی

ایران خودرو یکی از شرکت‌های مطرح سازنده خودرو در ایران است که محصولات متنوعی در دسته‌های مختلف نظیر سواری، کامیون، اتوبوس و مینی‌بوس تولید می‌کند. هریک از این محصولات از قطعات زیادی تشکیل شده است؛ درصد فراوانی از این قطعات توسط تأمین‌کنندگان مختلف تولید می‌شوند و برای مونتاژ به شرکت ایران خودرو فرستاده می‌شوند. شرکت ساپکو وظیفه‌ی سفارش‌دهی به تأمین‌کنندگان و تأمین قطعات مورد نیاز برای مونتاژ محصولات ایران خودرو را بر عهده دارد؛ لذا در این بخش که هدف آن ایجاد یک مدل تدارکات مبتنی بر مذاکره است، بر شرکت ساپکو تمرکز شده است.

براساس مطالعه موردی، به این نتیجه دست یافتیم که در نظرگرفتن برنامه‌ریزی تولید تأمین‌کننده در فرایند مذاکره باعث می‌شود وضعیت تولید تأمین‌کننده در تصمیم‌گیری شرکت خودروساز تأثیرگذارد؛ درنتیجه انتظارات ناگهانی برای تأمین مواد از تأمین‌کنندگان کاهش می‌یابد و تأمین‌کننده نیازی به نگه‌داری موجودی بیش از حد نخواهد داشت. همچنین در این شرایط شرکت خودروساز اطلاعات نسبتا دقیقی از زمان دریافت مواد و قطعات خواهد داشت و بدین صورت تخصیص سفارشات به تأمین‌کنندگان نیز به نحوی انجام می‌پذیرد که باعث کاهش هزینه‌ها شود. به منظور انجام این تحقیق داده‌های مربوط به ۲۶ شماره فنی مختلف که در یک خانواده اقلام قرار دارند و همه این اقلام به‌وسیله‌ی پنج تأمین‌کننده مختلف قابل تأمین هستند، جمع‌آوری شده است. همچنین با مشورت کارشناسان ساپکو، برای برخی از داده‌ها که در دسترس نبوده‌اند، به تولید داده‌های تصادفی پرداخته شده است.

۸. نتایج محاسباتی

در این بخش به نتایج محاسباتی حاصل از الگوریتم پیشنهادی به منظور حل مسئله‌ی تدارکات تحت مذاکره پرداخته شده است. به منظور بررسی عملکرد مکانیزم PSO-A* نتایج محاسباتی آن با دو الگوریتم PSO-Exact و PSO-Greedy مقایسه شده است.

در الگوریتم PSO-Greedy زیر مسائل سطح دوم از طریق یک الگوریتم جست‌وجوی حریصانه حل می‌شوند. جست‌وجوی حریصانه در سطح پایین تنها براساس یک تابع هیوریستیک برای تخمین هزینه‌های آتی به‌عنوان تابع ارزیابی برای انتخاب گره عمل می‌کند که در اینجا از همان هیوریستیک پیشنهادی یعنی تابع h در الگوریتم جست‌وجوی A* استفاده شده است. در واقع، در جست‌وجوی حریصانه هزینه تا گره فعلی یعنی تابع g در نظرگرفته نمی‌شود. علاوه بر این در جست‌وجوی حریصانه کم‌هزینه‌ترین گره در دسترس انتخاب می‌شود بدون آن که در نظر بگیرد که آیا مسیری که در پیش گرفته است در کل کم هزینه‌ترین مسیر است یا خیر.

همچنین در الگوریتم PSO-Exact مدل بهینه‌سازی در سطح پایین (زیرمسائل مربوط به تأمین‌کنندگان) با کمک حل‌کننده CPLEX برای حل مسائل MINLP در نرم‌افزار GAMS حل و سپس تصمیمات تأمین‌کنندگان طی تراکنش‌ها در فرایند تصمیم‌گیری خریدار قرار می‌گیرد.

جهت حل بخش‌هایی از مسئله که به صورت دقیق حل شده است از نرم‌افزار GAMS ۲۲/۳ و حل‌کننده CPLEX برای حل مسائل MINLP استفاده شده است، همچنین برای اجرای الگوریتم پیشنهادی از محیط برنامه‌نویسی نرم‌افزار MATLAB R۲۰۱۱b استفاده شده است. الگوریتم‌های مورد نظر بر روی یک رایانه با مشخصات حافظه ۴ گیگابایت، ۶۴ بیت و core i۵ اجرا شده است.

به منظور تنظیم پارامترهای الگوریتم پیشنهادی، این الگوریتم با ترکیب‌های مختلف سطوح مقادیر پارامترها اجرا شده است؛ به این صورت که ۴ سطح برای تعداد تکرارها (۸۰، ۹۰، ۱۰۰، ۱۱۰)، ۲ سطح برای تعداد ذرات (۲۰ و ۳۰)، ۳ سطح برای یادگیری فردی (۱/۵، ۲، ۲/۵)، ۳ سطح برای یادگیری جمعی (۱/۵، ۲، ۲/۵)، ۳ سطح برای $W_{\min}$ (۰/۱، ۰/۲، ۰/۳)، و ۳ سطح برای $W_{\max}$ (۰/۷، ۰/۸، ۰/۹) در نظر گرفته شده است. بهترین سطح برای مقادیر پارامترهای الگوریتم ازدحام ذرات در الگوریتم ترکیبی در جدول ۱ نشان داده شده است.

میانگین خطای جواب‌های حاصل از الگوریتم پیشنهادی نسبت به بهترین جواب یافت شده از میان اجراهای مختلف سه الگوریتم برای هر مسئله طبق رابطه‌ی ۲۸ به دست آمده است.

$$dev_{\text{PSO_A}^*} = \frac{sol_{\text{PSO_A}^*} - sol_{best_found}}{sol_{best_found}}$$

$$dev_{\text{PSO_Exact}} = \frac{sol_{\text{PSO_exact}} - sol_{best_found}}{sol_{best_found}}$$

$$dev_{\text{PSO_Greedy}} = \frac{sol_{\text{PSO_greedy}} - sol_{best_found}}{sol_{best_found}}$$

$$sol_{best_found} = \underset{k}{\text{Min}}\{sol_{\text{PSO_A}^*}, sol_{\text{PSO_Exact}}, sol_{\text{PSO_Greedy}} \mid k : test_number\} \quad (۲۸)$$

مطابق نتایج حاصل برای حل ۱۴ مثال عددی مختلف در اندازه‌های مختلف (جدول ۲) مشاهده شده است که الگوریتم PSO-A* نسبت به الگوریتم PSO-Exact در زمان کوتاه‌تر، جواب‌هایی با خطای قابل قبول یا حتی خطای کم‌تر تولید کرده است. همچنین نسبت به الگوریتم PSO-Greedy همواره جواب‌های با کیفیت بسیار بالاتر (با خطای کم‌تر) تولید کرده است.

متوسط زمان حل مسئله با ۵ تأمین‌کننده و ۲۶ شماره فنی مختلف به‌وسیله‌ی الگوریتم PSO-A* (با بهترین تنظیم پارامتر برای PSO) برابر ۴۹۳۷/۷۵۴ ثانیه است. از آنجا که در جدول ۲ برای هر اندازه‌ی مسئله، هر الگوریتم را ۱۰ بار اجرا کرده و میانگین «درصد خطای جواب حاصل از هر الگوریتم نسبت به بهترین جواب حاصل از سه الگوریتم» در ده بار اجرا و میانگین زمان حل هر مسئله توسط هر الگوریتم در ده بار اجرا در جدول منظور شده است؛ و از آن جا که حل مسائل اندازه‌ی بزرگ‌تر از طریق PSO-Exact از نظر زمانی بهینه نیست و همچنین از آنجا

جدول ۱. بهترین مقادیر پارامترها.

تعداد تکرارها	تعداد ذرات	یادگیری فردی (c_1)	یادگیری جمعی (c_2)	$W_{\min}$	$W_{\max}$
۱۰۰	۳۰	۲	۲/۵	۰/۱	۰/۸

جدول ۲. مقایسه نتایج محاسباتی سه الگوریتم.

شماره‌ی مسئله	تعداد تأمین‌کننده	تعداد نوع قطعه	PSO-Exact		PSO-Greedy		PSO-A*	
			میانگین زمان حل هر مسئله (ثانیه)	میانگین درصد خطا نسبت به بهترین جواب	میانگین زمان حل هر مسئله (ثانیه)	میانگین درصد خطا نسبت به بهترین جواب	میانگین زمان حل هر مسئله (ثانیه)	میانگین درصد خطا نسبت به بهترین جواب
۱	۲	۱	۷۳۹/۳۵۶	۰	۳۹/۷۶۱	۰/۰۹	۱۰۶/۲۲۲	۰/۰۴
۲	۲	۲	۹۴۱/۲۱۹	۰	۵۶/۲۹۱	۰/۲۳	۱۷۵/۸۱۱	۰/۰۶
۳	۲	۳	۱۳۴۱/۵۱۰	۰/۰۴	۷۱/۷۳۱	۰/۱۹	۲۵۱/۹۳۰	۰
۴	۲	۵	۱۷۸۹/۸۶۴	۰/۱	۱۰۶/۵۴۱	۰/۳۵	۴۱۸/۶۴۳	۰/۰۱
۵	۲	۷	۲۹۸۸/۴۹۴	۰/۰۸	۱۳۸/۵۱۱	۰/۲۱	۵۷۹/۷۸۱	۰
۶	۳	۱	۱۰۸۹/۹۶۵	۰	۵۱/۱۹۲	۰/۲	۲۱۸/۱۱۸	۰/۰۴
۷	۳	۲	۱۷۸۰/۳۱۲	۰/۰۵	۷۳/۵۲۹	۰/۲۸	۲۹۶/۳۹۷	۰
۸	۳	۳	۶۳۲۱/۳۴۱	۰	۹۸/۵۴۳	۰/۲۵	۳۷۹/۳۳۱	۰/۰۸
۹	۳	۵	۱۳۷۴۱/۷۸۲	۰/۰۸	۱۳۱/۹۸۴	۰/۴۳	۵۵۰/۵۲۸	۰
۱۰	۳	۷	۳۸۹۵۴/۹۱۰	۰/۱	۱۶۹/۶۳۱	۰/۵۴	۷۱۸/۴۵۹	۰
۱۱	۴	۱	۱۳۴۱/۶۳۱	۰	۷۱/۶۲۰	۰/۲۷	۳۴۹/۷۶۲	۰/۰۶
۱۲	۴	۲	۲۳۸۵/۶۱۲	۰/۰۴	۹۹/۷۳۱	۰/۵۱	۴۴۱/۴۵۱	۰
۱۳	۴	۳	۹۹۴۱/۱۳۹	۰/۰۹	۱۱۶/۴۱۱	۰/۴۹	۵۹۶/۵۶۱	۰/۰۲
۱۴	۵	۱		۰/۰۵	۸۹/۸۱۹	۰/۳۱	۴۳۷/۷۹۷	۰
میانگین	–	–	–	۰/۰۴	–	۰/۳۱	–	۰/۰۲

که الگوریتم PSO-Exact نیز در نهایت به جواب نزدیک به بهینه دست می‌یابد، مسئله در اندازه‌ی بزرگ (۵ تأمین‌کننده و ۲۶ شماره فنی مختلف) از طریق الگوریتم PSO-Exact مقایسه نشده است. به‌عنوان مثال برای مسئله با اندازه‌ی بزرگ (۵ تأمین‌کننده و ۲۶ شماره فنی) زمانی حدود ۱۲۵ ساعت برای اجرای PSO-Exact لازم است که به هیچ عنوان اجرای چندین باره آن برای تعیین پارامترهای مناسب و مقایسه منطقی نیست.

در واقع باید توجه شود که الگوریتم PSO-Exact نیز قادر نیست همواره به جواب بهینه دست یابد، همچنین در اجرا نیز گاهی جواب شدنی برای زیرمسائل سطح دوم به‌ازای برخی از RFQ‌های خریدار یافت نشده است؛ لذا لزومی به حل دقیق زیرمسائل سطح دوم نیست. علاوه بر این الگوریتم PSO-A* با توجه به صرفه جویی قابل توجهی که در زمان اجرا نسبت به PSO-Exact دارد و با توجه به جواب‌های نزدیک و در برخی موارد بهتر از جواب‌های PSO-Exact به کارگیری این الگوریتم بسیار مفید و کارآمد است. و در نهایت برای مسئله اصلی (مسئله شرکت ساپکو و تأمین‌کنندگانش) با به کارگیری این الگوریتم زمان اجرای ۱۲۵ ساعت به ۴۹۳۷/۷۵۴ ثانیه تقلیل یافته است. ضمن آن‌که با توجه به داده‌های واقعی مشاهده شده است که به کارگیری این سازوکار موجب کاهش هزینه‌های تولید و نگه‌داری و قیمت پیشنهادی تأمین‌کننده و در نهایت موجب کاهش هزینه‌ی تدارکات و تأخیر برای خریدار شده است.

۹. نتیجه‌گیری

در سیستم‌های غیرمتمرکز دست‌یابی به یک تصمیم نزدیک به بهینه که طرفین را راضی به عقد قرارداد کند، از یافتن تصمیم بهینه‌یی که منجر به عقد قرارداد نشود و مورد توافق قرار نگیرد مفیدتر است؛ که این امر در این مقاله محقق شده است. در این پژوهش با فراهم آوردن یک فرایند مذاکره مبتنی بر پروتکل چانه‌زنی ـ مناقصه از طریق مدل برنامه‌ریزی ریاضی دوسطحی و منطبق با یک بازی برنده ـ برنده، طرفین مذاکره قادر هستند تا در جهت اهداف خود حرکت کنند، که این امر باعث افزایش رضایت طرفین و پشتیبانی روابط آنها می‌شود. در نهایت نیز یک الگوریتم ترکیبی نوآورانه برای حل مسئله‌ی غیرمتمرکز سلسله‌مراتبی ارائه شده است که قادر است مدل دوسطحی پیشنهادی را به صورت غیرمتمرکز و در زمان مناسب و با خطای قابل قبول حل کند.

خروجی این مقاله قابلیت آن را دارد که در عمل به‌عنوان یک ابزار پیش‌مذاکره توسط خریدار (برپاکننده مذاکره مبتنی بر چانه‌زنی ـ مناقصه) به کار گرفته شود. بدین ترتیب خریدار پیش از مذاکره واقعی از طریق ایجاد یک روند مذاکره شبیه‌سازی شده، قادر خواهد بود در مذاکره واقعی پیشنهادهای مناسبی شامل حجم سفارش و زمان مورد درخواست به تأمین‌کنندگانی که برای مذاکره فراخوان شده‌اند ارائه کند؛ به طوری که منافع تأمین‌کنندگان نیز در این تصمیم‌گیری لحاظ شده باشد. به این صورت یک هم‌راستایی میان تخصیص سفارشات خریدار با برنامه‌ریزی تولید تأمین‌کنندگان ایجاد می‌شود که موجب کاهش هزینه‌های نگه‌داری، هزینه‌های مواجهه با کسری موجودی، و به طور کلی موجب کاهش هزینه‌ی تدارکات می‌شود.

در واقع از آنجا که تصمیم‌گیری در زنجیره‌ی تأمین عموماً با قدرت چانه‌زنی شرکا همراه است، تصمیم‌گیری در زنجیره‌ی تأمین عموماً غیرهمکارانه است. پیامد نهایی عدم همکاری شرکای زنجیره‌ی تأمین، فشار اجزای قوی‌تر زنجیره با قدرت چانه‌زنی بالاتر بر اجزای ضعیف‌تر زنجیره و ایجاد روابط ناپایدار بین شرکا است که در نهایت موجب افزایش هزینه‌ها و آسیب رساندن به تمام شرکای زنجیره‌ی تأمین می‌شود. به طور ویژه در شبکه تأمین خودروسازی در ایران به علت برخی از سوءمدیریت‌ها شرکت‌های خودروسازی با هزینه‌های گزافی مواجه‌اند و برای گریز از این هزینه‌ها تنها راهکار را در افزایش قیمت‌ها و ایجاد فشار بر مصرف‌کننده می‌بینند. در این راستا استفاده از سازوکار پیش مذاکره یک ابزار کارآمد برای یکپارچگی منافع متفاوت و حتی متضاد شرکا و کاهش هزینه‌های مرتبط با تدارکات است.

با توجه به این که در مذاکرات به‌علت منفعت‌طلب بودن، شرکت‌های خریدار معمولا به منافع و برنامه‌ریزی تولید تأمین‌کنندگان توجهی نمی‌کنند؛ این امر موجب افزایش هزینه‌های نگه‌داری تأمین‌کننده یا عدم توانایی آنها برای تحویل به موقع قطعات تقاضا شده می‌شود و تأثیر منفی بر روی هر دو طرف قرارداد می‌گذارد. بنابراین در این نوشتار با در نظرگرفتن منافع توام تولیدکننده (خریدار) و تأمین‌کنندگان، در جهت برطرف کردن این نقص بزرگ گام برداشته شده است.

همچنین با توجه به این که از نظر مدیران زمان یک منبع مهم و کمیاب در محیط‌های پویای سازمانی است، و به علت آن که محیط‌های پویا با ویژگی‌هایی نظیر تغییرات سریع محیط خارجی سازمان‌ها روبرو هستند، در فرایند تصمیم‌گیری مبتنی بر مذاکره زمان اهمیت ویژه‌یی دارد. بنابراین رویکرد پیشنهادی علی‌رغم حفظ ماهیت توزیع‌شدگی تصمیم‌گیری، مذاکره‌کنندگان را قادر می‌سازد تا در زمان کوتاه‌تر به نتیجه مطلوب دست یابند. اجرای این سازوکار در عمل موجب تسهیل فرایند تدارکات از طریق بهبود کارایی سازوکارهای تصمیم‌گیری مبتنی بر مذاکره و همچنین دست‌یابی طرفین مذاکره به مطلوبیت مورد انتظار خواهد بود، که یکی از دغدغه‌های مدیران شرکت‌های بزرگ است.

از جمله تحقیقات آتی در این زمینه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. توسعه‌ی مدل از طریق وارد کردن جزئیات دیگر در مدل نظیر برنامه‌ریزی و زمان‌بندی حمل و سازوکارهای متعدد قیمت‌گذاری؛

۲. در نظرگرفتن استثنائات در تدارکات مانند عدم توانایی تولید برخی قطعات توسط برخی تأمین‌کنندگان در بازه‌هایی از زمان؛

۳. تعبیه الگوریتم یادگیرنده برای تأمین‌کنندگان و خریدار به منظور ایجاد قابلیت تطبیق‌پذیری با محیط پویا، به‌عنوان مثال قیمت‌گذاری پویا از طریق الگوریتم یادگیری Q توسط هریک از تأمین‌کنندگان یا یادگیری استراتژی‌های مختلف طی مذاکره و انتخاب از میان آنها برای مذاکره با تأمین‌کنندگان مختلف.

منابع (References)

1. Hejazi, S.R., Memariani, A., Jahanshahloo, Gh.R. and Sepehri, M.M. "Linear bilevel programming solution by genetic algorithm", *Computers & Operations Research*, **29**(13), pp. 1913-1925 (2002).

2. Jung, H., Jeong, B. and Lee, C.G. "An order quantity negotiation model for distributor-driven supply chains", *International Journal of Production Economics*, **111**(1),

pp. 147-158 (2008).

3. Zhang, T., Hu, T., Guo, X., Chen, Z. and Zheng, Y. "Solving high dimensional bilevel multiobjective programming problem using a hybrid particle swarm optimization algorithm with crossover operator", *Knowledge-Based Systems*, **53**(0), pp. 13-19 (2013).
4. Jiang, Y., Li, X., Huang, C., & Wu, X., "Application of particle swarm optimization based on CHKS smoothing function for solving nonlinear bilevel programming problem", *Applied Mathematics and Computation*, **219**(9), pp. 4332-4339 (2013).
5. Kadadevaramath, R.S., Chen, J.C.H., Shankar, B.L. and Rameshkumar, K. "Application of particle swarm intelligence algorithms in supply chain network architecture optimization", *Expert Systems with Applications*, **39**(11), pp. 10160-10176 (2012).
6. Cheng, C.B. "Reverse auction with buyer–supplier negotiation using bi-level distributed programming", *European Journal of Operational Research,* **211**(3), pp. 601-611 (2011).
7. Russell, S and Norvig, P., *Artficial Intelligence: A Modern Approach*, Prentice-Hall, Saddle River, NJ (1995).
8. Hejazi, S.R., Memariani, A., Jahanshahloo, G. and Sepehri, M.M. "Linear bilevel programming solution by genetic algorithm", *Computers & Operations Research,* **29**(13), pp. 1913-1925 (2002).
9. Naimi Sadigh, A., Mozafari, M. and Karimi, B. "Manufacturer-retailer supply chain coordination: A bilevel programming approach", *Advances in Engineering Software*, **45**(1), pp. 144-152 (2012).
10. Afzalabadi, M. and ShavandI, H. "Price and lead-time study in a decentralized supply chain under mpetition", *Industrial Engineering & Management*, **28-1**(1), pp. 1-152 (Summer 2012).
11. Cheng, C.-B. and Cheng, C.-J. "Available-to-promise based bidding decision by fuzzy mathematical programming and genetic algorithm", *Computers & Industrial Engineering*, **61**(4), pp. 993-1002 (2011).
12. Kallel, O., Ben Jaafar, I., Dupont, L. and Ghedira, K. "Fuzzy guidance strategies for fair multi-agent negotiation of wholesale price contracts", *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), Technologies and Applications of Artificial Intelligence* (2011).
13. Bialas, W.F. and Karwan, M.H. "Two-level linear programming", *Management Science*, **30**(8), pp. 1004-1020 (1984).
http://www.jstor.org/stable/2631591
14. Vicente, L.N. and Calamai, P.H. "Bilevel and multilevel programming: A bibliography review", *Journal of Global Optimization*, **5**(3), pp. 291-306 (1994).
15. Kuo, R.J. and Han, Y.S. "A hybrid of genetic algorithm and particle swarm optimization for solving bi-level linear programming problem - A case study on supply chain model", *Applied Mathematical Modelling*, **35**(8), pp. 3905-3917 (2011).
16. Gao, Y., Zhang, G., Lu, J. and Wee, H.M. "Particle swarm optimization for bi-level pricing problems in supply chains", *Journal of Global Optimization,* **51**(2), pp. 245-254 (2011).
17. Jiang, Y., Li, X., Huang, C. and Wu, X. "Application of particle swarm optimization based on CHKS smoothing function for solving nonlinear bilevel programming problem", *Applied Mathematics and Computation,* **219**(9), pp. 4332-4339 (2013).
18. Kasemset, C. and Kachitvichyanukul, V. "A PSO-based procedure for a bi-level multi-objective TOC-based jobshop scheduling problem", *International Journal of Operational Research*, **14**(1), pp. 50-69 (2012).
19. Wan, Z., Wang, G. and Sun, B. "A hybrid intelligent algorithm by combining particle swarm optimization with chaos searching technique for solving nonlinear bilevel programming problems", *Swarm and Evolutionary Computation,* **8**, pp. 26-32 (2013).
20. Zhang, T., Hu, T., Zheng, Y. and Guo, X. "An improved particle swarm optimization for solving bilevel multiobjective programming problem", *Journal of Applied Mathematics*, **2012**, pp. 1-13 (2012).
21. Ma, T.Y. "A hybrid multiagent learning algorithm for solving the dynamic simulation-based continuous transit network design problem", *2011 International Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence (TAAI), IEEE,* pp. 113-118 (November 2011).
22. Kato, K., Sakawa, M., Matsui, T. and Ohtsuka, H. "A computational method for obtaining stackelberg solutions to non cooperative two-level programming problems through evolutionary multi-agent systems", *Agent and Multi-Agent Systems: Technologies and Applications*, Springer Berlin Heidelberg, **5559**, pp. 639-648 (2009).
23. Fang, F. and Wong, T.N. "Applying hybrid case-based reasoning in agent-based negotiations for supply chain management", *Expert Systems with Applications*, **37**(12), pp. 8322-8332 (2010).
24. Sandholm, T., Suri, S., Gilpin, A. and Levine, D. "Winner determination in combinatorial auction generalizations", *In Proceedings of the First International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems: Part 1, ACM,* pp. 69-76 (2002).
25. Russell, E. and Kennedy, J. "A new optimizer using particle swarm theory", *Micro Machine and Human Science, MHS'95, Proceedings of the Sixth International Symposium on. IEEE* (1995).
26. Talbi, E., *Metaheuristics: From Design to Implementation*, Wiley Publishing (2009).
27. Baradaran Kazemzadeh, R., Kaheh, Z. and Masehian, E. "A mixed nteger nonlinear programming model for order replenishment and a heuristic algorithm for its solution", *Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems*, **2**(3), pp. 63-75 (2014).