مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (زمستان ۱۴۰۲)
دوره‌ی ۳۹، شماره‌ی ۲، صص. ۳۹-۵۰، (پژوهشی)

Original Article

طراحی بهینه قرارداد هماهنگ کننده‌ی تأمین مالی از طریق اعتبار تجاری در یک زنجیره‌ی تأمین چند محصولی با چندین تأمین‌کننده تحت محدودیت‌های مالی

فرانک امتحانی (دانشجوی دکترا)
نسیم نهاوندی* (استاد)
فریماه مخاطب رفیعی (دانشیار)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس

هدف این پژوهش، حل اختلالات عملیاتی موجود در زنجیره‌ی تأمین است که به علت مشکلات مالی اعضا ایجاد می‌شود. راه حل ارائه شده، برقراری هماهنگی بین اعضا توسط تأمین مالی داخلی از طریق اعتبار تجاری است. در این راستا، یک زنجیره‌ی تأمین چند محصولی متشکل از چندین تأمین‌کننده و یک تولیدکننده با مشکلات مالی در نظر گرفته شده است. روابط بین اعضا به‌صورت یک بازی استکلبرگ فرموله شده است که در آن تأمین‌کنندگان به‌عنوان رهبران بازی، یک ائتلاف تشکیل می‌دهند و تولیدکننده در پاسخ به تصمیم‌گیری توأم مسائل عملیاتی و مالی می‌پردازد. این مدل توسط دو الگوریتم فرابتکاری ژنتیک و تکامل تفاضلی حل شده است. نتایج حاصل از حل مدل بیانگر نشان می‌دهد که قرارداد اعتبار تجاری در صورتی که تولیدکننده بتواند زمان بازپرداخت به برخی از تأمین‌کنندگان را تا آخر دوره تمدید کند، هماهنگی کامل در زنجیره‌ی تأمین برقرار می‌کند.

واژگان کلیدی: اعتبار تجاری، الگوریتم فرابتکاری، بازی استکلبرگ، محدودیت مالی، هماهنگی زنجیره‌ی تأمین.

f.emtehani@modares.ac.ir
n_nahavandi@modares.ac.ir
f.mokhatab@modares.ac.ir

۱. مقدمه

در دنیای واقعی، بسیاری از شرکت‌ها با مشکلات مالی مانند کمبود بودجه برای عملیات شرکت، محدودیت تأمین مالی و همچنین بالا بودن هزینه‌ی‌تأمین مالی مواجه می‌شوند و به دنبال راهکارهایی هستند تا بتوانند با وجود این مشکلات همچنان در عرصه‌ی رقابت باقی بمانند. اما واقعیت اینجاست که تا زمانی که این شرکت‌ها تصمیمات عملیاتی خود را در بدون لحاظ کردن فاکتورهای مالی و تصمیمات مالی اتخاذ می‌کنند، به هنگام اجرای عملیات با مشکل مواجه می‌شوند. این امر باعث بروز مشکلاتی مانند توقف خط تولید و حتی ورشکستگی شرکت می‌شود. بنابراین، نادیده گرفتن مشکلات مالی شرکت در اتخاذ تصمیمات عملیاتی، منجر به شکست آن شرکت در عرصه‌ی رقابت خواهد شد. اهمیت این موضوع زمانی که بحث زنجیره‌ی تأمین مطرح می‌شود، بیشتر می‌شود. زیرا مشکلات و محدودیت‌های مالی یک شرکت، نه تنها بر خود آن شرکت، بلکه بر سایر شرکای آن شرکت در زنجیره‌ی تأمین تأثیرگذار است. بنابراین، برای داشتن یک زنجیره‌ی تأمین کارا و با ثبات‌تر، هماهنگی بین مباحث مالی و عملیاتی در زنجیره، امری ضروری به نظر می‌رسد.

هماهنگی بین اعضای زنجیره‌ی تأمین، روشی کارآمد برای افزایش سودآوری اعضا و کل زنجیره است. هماهنگی بین اعضای زنجیره تأمین، روشی کارآمد برای افزایش سودآوری اعضا و کل زنجیره است. مدل‌های هماهنگی، راهکارهایی را برای متقاعد کردن اعضای مستقل یک زنجیره تأمین به تصمیم‌گیری مشابه با حالتی که زنجیره به‌صورت متمرکز اداره می‌شود، ارائه می‌دهند. در این زمینه، تحقیقات گسترده‌ای با مفروضات گوناگون انجام شده است. اخیرا، به دلیل اهمیت تلفیق تصمیمات عملیاتی و مالی، توجه محققان به بررسی هماهنگی در زنجیره‌ی تأمین با لحاظ کردن محدودیت سرمایه جلب شده است. در بعضی از این مطالعات، از

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۴۰۰/۱۱/۱۱، اصلاحیه ۱۴۰۱/۴/۲۰، پذیرش ۱۴۰۱/۵/۱۲.

استناد به این مقاله:
امتحانی، فرانک، نهاوندی، نسیم و مخاطب رفیعی، فریماه، ۱۴۰۲. طراحی بهینه قرارداد هماهنگ کننده‌ی تأمین مالی از طریق اعتبار تجاری در یک زنجیره‌ی تأمین چند محصولی با چندین تأمین‌کننده تحت محدودیت‌های مالی. دانشکده‌ی مهندسی صنایع و مدیریت شریف، ۳۹(۲)، صص.۳۹-۵۰. DOI:10.24200/J65.2022.57852.2211

قرارداد اعتبار تجاری (TCF)[1] به‌عنوان یک قرارداد هماهنگ کننده بین فروشنده و خریدار در زنجیره‌ی تأمین استفاده شده است.

اعتبار تجاری را می‌توان یک روش تأمین مالی درون زنجیره‌ی تأمین به شمار آورد. این اعتبار عمدتاً از طرف شریک بالادست (فروشنده) در زنجیره‌ی تأمین به شریک پایین دست (خریدار) اعطا می‌گردد. به موجب این اعتبار، خریدار مجاز است تا یک زمان مقرر پرداخت صورتحساب دریافتی از فروشنده را بدون اینکه بهره به آن تعلق بگیرد، به تعویق اندازد. در صورت پرداخت همه یا بخشی از مبلغ صورتحساب بعد از موعد مقرر، به آن بهره (جریمه) تعلق خواهد گرفت. به این معنی که خریدار موظف است علاوه بر اصل مبلغ صورتحساب، بهره یا جریمه مربوط به پرداخت بعد از موعد را نیز به فروشنده پرداخت کند. اعتبار تجاری به‌طور وسیعی در معاملات تجاری در زنجیره‌ی تأمین به کار گرفته شده است و یکی از منابع تأمین مالی برای شرکت‌ها محسوب می‌شود.[1] تأمین‌کننده برای تشویق خرده فروشان به افزایش مقادیر سفارش خود، این نوع وام را ارائه می‌دهند.[2]

در سال‌های اخیر، مطالعات گوناگونی در زمینه هماهنگی در زنجیره تأمین با محدودیت سرمایه انجام شده است. با این وجود، بسیاری از مفروضات دنیای واقعی در این دسته از تحقیقات وارد نشده است و نیاز به مطالعات بیشتر و گسترده‌تر در این حوزه به شدت احساس می‌شود. به‌عنوان مثال، اکثر تحقیقات موجود در زمینه‌ی هماهنگی زنجیره‌ی تأمین که کمبود بودجه را در نظر گرفته‌اند، محدودیت تأمین مالی را در تصمیمات خود لحاظ نکرده‌اند. این مطالعات فرض را بر آن گذاشته‌اند که شرکت‌های با بودجه محدود قادر به تأمین مالی تا سقف مورد نیاز هستند. اما در واقعیت، بسیاری از شرکت‌هایی که دارای کمبود بودجه برای خرید مواد خام و قطعات مورد نیاز و تولید محصولات هستند، با مشکلات تأمین مالی نیز مواجه‌اند و سقف تأمین مالی محدودی دارند. این محدودیت‌ها ممکن است به دلایل مختلفی از جمله اعتبار کم مربوط به وام‌های بدون وثیقه، ظرفیت وام‌گیرنده و غیره به یک شرکت تحمیل شود. در چنین شرایطی، تصمیم‌گیری مطابق با مدل های بهینه‌سازی سنتی (که به موجب آن تصمیمات مالی و عملیاتی به‌صورت جداگانه اتخاذ می‌شوند) ممکن است منجر به شکست شرکت در هنگام پیاده‌سازی مدل در دنیای واقعی شود. همچنین، مطالعاتی که قرارداد اعتبار تجاری را به کار گرفته‌اند، تنها بر روابط بین یک فروشنده و یک خریدار با یک محصول تمرکز کرده‌اند و ساختارهای پیچیده‌تر زنجیره را بررسی نکرده‌اند.

در این پژوهش، با توجه به شکاف‌های تحقیقاتی در پژوهش‌های صورت گرفته، یک مکانیسم هماهنگ‌کننده براساس قرارداد اعتبار تجاری برای یک زنجیره‌ی تأمین چند محصولی با چندین تأمین‌کننده‌ی استراتژیک و با در نظر گرفتن مشکلات مالی موجود شامل کمبود سرمایه و محدودیت تأمین مالی طراحی شده است.

زنجیره‌ی تأمین مورد نظر در این پژوهش شامل یک تولیدکننده است که برای تولید چندین نوع محصول مختلف، مواد اولیه را از چندین تأمین‌کننده خریداری می‌کند تا تقاضای تصادفی را در یک دوره برآورده سازد. تولیدکننده با کمبود بودجه مواجه است و نیازمند تأمین مالی کوتاه مدت است. علاوه بر این، ظرفیت تأمین مالی خارجی (تأمین مالی از طریق مؤسسات مالی نظیر بانک‌ها) نیز محدود است. در این شرایط، برای ترغیب تولیدکننده به خرید بیشتر مواد خام و تولید بیشتر، یک قرارداد اعتبار تجاری طراحی شده. در این قرارداد، تأمین‌کنندگان به تولیدکننده اعتبار تجاری پیشنهاد می‌دهند. در این مسئله، روابط بین اعضای زنجیره‌ی تأمین به‌صورت یک بازی استکلبرگ طراحی شده است. به دلیل اینکه تولیدکننده برای حفظ کسب‌وکار و سوددهی خود نیازمند تأمین مالی از طریق تأمین‌کنندگان است، در این بازی، تأمین‌کنندگان قدرت را در دست دارند و به‌عنوان رهبران بازی در قالب ائتلاف ایفای نقش می‌کنند. در مقابل، تولیدکننده به‌عنوان یک پیرو که با مشکلات مالی مواجه است، تصمیمات عملیاتی و مالی خود را به‌صورت همزمان اتخاذ می‌کند. بازی استکلبرگ یک مثال کلاسیک از مسائل بهینه‌سازی دو سطحی می‌باشد. مسائل دو سطحی، مسائلی با پیچیدگی بسیار بالا و ساختار سلسله مراتبی می‌باشند به‌طوری‌که یک مسئله بهینه‌سازی در بطن مسئله بهینه‌سازی دیگری وجود دارد و به‌عنوان محدودیتی برای مسئله بهینه‌سازی اصلی محسوب می‌شود.[3] مسئله‌ی حاضر در این پژوهش نیز در قالب یک مسئله بهینه‌سازی دو سطحی مدل شده است. در این مدل، مسئله‌ی تأمین‌کنندگان (در نقش رهبر بازی) به‌عنوان مسئله‌ی سطح بالایی و مسئله‌ی تولیدکننده (در نقش پیرو) به‌عنوان مسئله‌ی سطح پایینی مدل می‌شوند. این مدل توسط دو الگوریتم فراابتکاری تکامل تفاضلی (DE)[2] و الگوریتم ژنتیک (GA) حل شده است و نتایج گزارش شده‌اند. نتایج حاصل از پیاده‌سازی این قرارداد نشان می‌دهد که این قرارداد یک قرارداد هماهنگ‌کننده با برد همه‌ی اعضا می‌باشد و منجر به هماهنگی کامل در زنجیره‌ی تأمین مذکور می‌شود.

۲. پیشینه‌ی پژوهش

در پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه مدیریت زنجیره‌ی تأمین، هماهنگی زنجیره‌ی تأمین در ابعاد وسیع مطالعه شده است و مقالات مروری زیادی در دسترس است که در مراجع[4-8] آورده شده است.

لی و وانگ، در مروری که بر روش‌های ایجاد هماهنگی در زنجیره‌ی تأمین داشته‌اند، مطالعات مرتبط با این حوزه را براساس دو معیارِ ساختار تصمیم‌گیری و همچنین نوع تقاضا دسته بندی کرده‌اند.[5] آرشیندر و همکاران، چهار مکانیسم برای ایجاد هماهنگی معرفی کرده‌اند که عبارتند از قراردادهای هماهنگ‌کننده، تکنولوژی اطلاعات، به اشتراک‌گذاری اطلاعات و تصمیم‌گیری یکپارچه می‌باشد.[6]

همانطور که گفته شد، مطالعات بسیاری در زمینه هماهنگی زنجیره تأمین با فرضیات مختلف وجود دارد، اما تعداد کمی از این مطالعات محدودیت‌ها و مشکلات مالی موجود و اثرات مخرب آن را بر هماهنگی زنجیره تأمین لحاظ کرده‌اند. در نظر گرفتن مسائل مالی در تصمیمات عملیاتی اخیراً مورد توجه محققان در زمینه تحقیق در عملیات و مدیریت زنجیره تأمین قرار گرفته است. بابیچ و کولیس، مطالعات موجود در زمینه تعامل تصمیمات مالی و عملیاتی و همچنین مدیریت ریسک را مرور و بررسی کرده‌اند و شکاف‌ها و زمینه‌های تحقیقاتی بالقوه در این حوزه را شناسایی کرده‌اند. هماهنگی زنجیره تأمین با لحاظ کردن محدودیت‌های مالی یک حوزه مطالعاتی جدید است که علیرغم اهمیت آن، تعداد کمی از مطالعات به آن پرداخته‌اند.[9]

در طی مروری که بر مطالعات در این زمینه صورت گرفت، این مطالعات در سه گروه دسته‌بندی شد.

گروه اول: محققان در این گروه، یک سیستم تأمین مالی زنجیره‌ی تأمین (SCF)[3] را از طریق هماهنگ کردن تصمیمات بانک و اعضای زنجیره‌ی تأمین طراحی کرده‌اند تا اثرات منفی کمبود بودجه بر عملکرد اعضا و سیستم را کاهش دهند. به‌عنوان مثال، دادا و هو، یک برنامه‌ی زمان‌بندی غیرخطی را برای هماهنگ کردن بانک و یک خرده فروش (در قالب مسئله روزنامه فروش) طراحی کرده‌اند.[10] در مسئله آنها، بانک و خرده‌فروش هر یک به دنبال حداکثر کردن سود خود می‌باشند. یان و سان، یک قرارداد ضمانت نسبی اعتبار (PCG)[4] را در قالب یک برنامه اجرایی SCF برای سیستمی شامل یک خرده‌فروش با کمبود بودجه، یک تولیدکننده و یک بانک

تجاری را طراحی کرده‌اند.[۱۱] آنها این قرارداد را به‌صورت یک بازی استکلبرگ چند سطحی فرموله کرده‌اند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که در شرایط خاصی این قرارداد قادر به هماهنگ کردن زنجیره‌ی تأمین ذکر شده می‌باشد. لین و خیاتو، به بررسی رفتار یک خرده فروش معتبر، یک تولیدکننده با کمبود سرمایه و یک بانک تحت قراردادهای کششی و فشاری پرداخته‌اند.[۱۲] در مطالعه‌ی آنها، خرده‌فروش اعتبار وام بانکی تولیدکننده را تضمین می‌کند. آنها دریافتند که این چهارچوب تأمین مالی در قراردادهای کششی و فشاری موجب افزایش سود اعضا و برقراری هماهنگی می‌شود. لو و همکاران، به تحلیل تصمیمات تأمین مالی در یک زنجیره‌ی تأمین تحت PCG پرداخته‌اند.[۱۳] زنجیره‌ی تأمین در مطالعه‌ی آنها شامل یک تأمین‌کننده، یک خرده‌فروش با محدودیت سرمایه، یک شرکت ضمانت شخص ثالث و یک بانک می‌باشد. نتایج این بررسی نشان داد که خرده‌فروش همواره ضمانت نسبی اعتبار از طرف تأمین‌کننده را به ضمانت نسبی اعتبار از طرف شخص ثالث ترجیح می‌دهد. یان و همکاران، یک مدل تأمین مالی توسط تأمین‌کننده از طریق ضمانت اعتبار را تحت اطلاعات متقارن و نامتقارن توسعه داده‌اند.[۱۴] این مدل تحت یک بازی استکلبرگ طراحی شده است که در آن بانک رهبر اصلی، تأمین‌کننده رهبر دوم و خرده فروش به‌عنوان پیرو است. هدف آنها در این مطالعه، تحلیل تصمیمات اعضا شامل تأمین‌کننده، خرده‌فروش و بانک تحت این چهارچوب تأمین مالی می‌باشد.

گروه دوم: در این گروه، محققان به بررسی اثرات محدودیت بودجه بر قراردادهای کلاسیک هماهنگ‌کننده‌ی زنجیره‌ی تأمین پرداخته‌اند و در برخی موارد، این قراردادها را با لحاظ کردن محدودیت‌های مالی توسعه داده‌اند تا هماهنگی در زنجیره حاصل شود. لی و ری، برخی مکانیسم‌های هماهنگی در زنجیره‌ی تأمین شامل چهار قراردادهای تخفیف مقداری، خرید اقلام بازگشتی، تعرفه دوبخشی و تسهیم درآمد را با لحاظ کردن هزینه‌های مثبت تأمین مالی مطالعه و بررسی کرده‌اند.[۱۵] مون و همکاران، به بررسی قرارداد تسهیم درآمد (RS) [۵] در یک زنجیره‌ی تأمین چند سطحی تحت محدودیت بودجه پرداخته‌اند و دریافتند که در این شرایط، قرارداد تسهیم درآمد قادر به هماهنگ کردن زنجیره‌ی تأمین نمی‌باشد.[۱۶] بنابراین، آنها یک قرارداد تسهیم درآمد با لحاظ کردن کسری بودجه طراحی کرده‌اند. قرارداد پیشنهادی آنها قادر به ایجاد هماهنگی در زنجیره‌ی تأمین و تخصیص عادلانه‌ی سود به اعضا تحت شرایط کسری بودجه می‌باشد. فنگ و همکاران، یک زنجیره‌ی تأمین دو سطحی شامل یک خرده‌فروش با محدودیت سرمایه و یک تولیدکننده با سرمایه‌ی کافی را در نظر گرفتند.[۱۷] آنها دریافتند که با شرط محدودیت بودجه، قراردادهای تسهیم درآمد و خرید اقلام بازگشتی (BB) [۶] قادر به ایجاد هماهنگی در زنجیره‌ی تأمین نیستند. بنابراین، برای ایجاد هماهنگی در زنجیره تحت این شرایط، یک قرارداد تسهیم درآمد ـ خرید اقلام بازگشتی (RSBB) را از طریق ترکیب دو قرارداد فوق طراحی کرده‌اند. خیا و همکاران، به بررسی قراردادهای تسهیم درآمد، خرید اقلام بازگشتی و تخفیف مقداری در حضور محدودیت‌های مالی پرداخته‌اند.[۱۸] آنها دریافتند که این قراردادها قادر به ایجاد هاهنگی در چنین شرایطی نیستند. بنابراین، یک قرارداد تسهیم درآمد تعمیم یافته را برای برقراری هماهنگی با محدودیت بودجه طراحی کرده‌اند. یان و همکاران، به بررسی نقش قرارداد خرید اقلام بازگشتی در هماهنگ‌سازی یک سیستم تأمین مالی زنجیره‌ی تأمین شامل یک تأمین‌کننده، یک بانک و یک خرده‌فروش ریسک گریز پرداختند.[۱۹]

گروه سوم: این گروه، به بررسی نقش تأمین مالی از طریق اعتبار تجاری (TCF) در هماهنگ کردن زنجیره‌ی تأمین تحت محدودیت‌ها و مشکلات مالی می‌پردازد. مطالعات گوناگونی در زمینه‌ی اعتبار تجاری وجود دارند که می‌توان آنها را به دو دسته‌ی عمده تقسیم کرد: الف) تحقیقاتی که دوره اعتبار را به‌عنوان پارامتری از پیش تعیین شده توسط شریک بالادست در نظر می‌گیرند. ب) تحقیقاتی که دوره اعتبار را به‌عنوان متغیر تصمیم و حاصل توافق مشترک خریدار و فروشنده جهت بهینه‌سازی هزینه‌های کل زنجیره در نظر می‌گیرند. در دسته اول، اثری از همکاری و هماهنگی در زنجیره تأمین به چشم نمی‌خورد. اما در دسته دوم، هماهنگی و همکاری بین سطوح زنجیره کاملا مشهود می‌باشد و در نهایت منجر به بهینه‌سازی هزینه‌های کل زنجیره و به دنبال آن سودآوری خریدار و فروشنده خواهد شد. به دلیل اینکه در این پژوهش تمرکز بر دسته‌ی دوم می‌باشد، به بررسی پژوهش‌های این دسته پرداخته می‌شود. لی و ری، یک مسئله کلاسیک روزنامه فروش را در نظر گرفتند که در آن، تأمین‌کننده، اعتبار تجاری و کاهش قیمت را به خرده فروش اعطا می‌کند.[۲۰] آنها با بررسی روش‌های مختلف تأمین مالی دریافتند، هنگامی که خرده‌فروش از تأمین مالی مستقیم استفاده می‌کند، کاهش قیمت تأمین‌کننده به تنهایی نمی‌تواند ایجاد هماهنگی کند. اما با استفاده از اعتبار تجاری به علاوه‌ی کاهش قیمت تأمین‌کننده، هماهنگی کامل بین تأمین‌کننده و خرده فروش برقرار می‌شود. کولیس و ژائو، در حضور ریسک نکول، به بررسی اثر قرارداد اعتبار تجاری بر هماهنگی یک زنجیره‌ی تأمین با بودجه‌ی محدود پرداخته‌اند.[۲۱] نتایج بررسی آنها نشان داد که قرارداد اعتبار تجاری به بهبود عملکرد زنجیره‌ی تأمین منجر می‌شود، اما قادر به هماهنگ کردن تصمیمات اعضا نیست. چن و وانگ، از قرارداد اعتبار تجاری به‌عنوان راهکاری برای افزایش سودآوری یک زنجیره‌ی تأمین با کمبود بودجه استفاده کرده‌اند.[۲۲] آنها اذعان داشتند که قرارداد اعتبار تجاری تنها در صورتی قادر به هماهنگی کامل زنجیره‌ی تأمین است که خرده فروشی که با کمبود بودجه مواجه است، سودی برابر با صفر داشته باشد. ابراهیمی و همکاران، قرارداد تأخیر در پرداخت را به‌عنوان یک مشوق برای ایجاد هماهنگی در یک زنجیره‌ی تأمین با تقاضای احتمالی وابسته به تبلیغات به کار گرفته‌اند.[۲۳] دینگ و وان، به تحلیل هماهنگی زنجیره‌ی تأمین در حضور محدودیت‌های سرمایه و عدم قطعیت در عملکرد تولید پرداخته‌اند.[۲۴] لین و همکاران، یک مکانیسم تأمین مالی زنجیره‌ی تأمین را از طریق ترکیب اعتبار تجاری اعطایی از سوی تأمین‌کننده و اعتبار اعطایی از سوی تدارکات شخص ثالث طراحی کرده‌اند و تصمیمات اعضای زنجیره را تحت این مکانیسم مورد بررسی قرارداده‌اند.[۲۵] امتحانی و همکاران، به برقراری هماهنگی در یک زنجیره‌ی تأمین سه سطحی با تقاضای قطعی و مشکلات مالی پرداخته‌اند.[۲۶] آنها با بهره‌گیری از اعتبار تجاری اعضای بالادست و پیش‌پرداخت عضو پایین‌دست به حل مشکلات مالی تولیدکننده در سطح دوم زنجیره‌ی تأمین پرداخته‌اند. ژانگ و همکاران، در یک زنجیره‌ی تأمین سبز، به بررسی روابط بین یک تولیدکننده و خرده‌فروشانش که با کمبود بودجه مواجه هستند، پرداختند.[۲۷] آنها نشان دادند که اعطای اعتبار تجاری از طرف تولیدکننده به خرده‌فروشان باعث حذف حاشیه‌سازی مضاعف و بهبود عملکرد زنجیره‌ی تأمین می‌شود. سیلاقیا و مورالس، یک چهارچوب کلی برای اعتبار تجاری بین یک فروشنده و یک خریدار ارائه داده‌اند و به تعیین شرایطی پرداخته‌اند که این قرارداد قادر به هماهنگ کردن تصمیمات دو شریک تجاری می‌باشد.[۲۸] آنها همچنین به بررسی اثرات بعضی از قوانین خاص بر این قرارداد پرداخته‌اند.

حوزه‌ی مطالعات مربوط به هماهنگی در زنجیره‌ی تأمین بسیار وسیع است و مفروضات زیادی را در خود گنجانده است. با این حال، مطالعاتی که بر هماهنگی زنجیره تأمین در حضور محدودیت‌ها و چالش‌های مالی موجود تمرکزکرده باشند، بسیار اندک است. این در حالی است که هماهنگی زنجیره تأمین در شرایط محدودیت‌های مالی، اهمیت ویژه‌ای دارد. در مطالعات پیشین، به ندرت امکان وجود محدودیت در تأمین مالی خارجی و همچنین هزینه‌های بالای تأمین مالی در نظر گرفته شده

است. در این مطالعات، فرض بر این بوده است که شرکت می‌تواند به اندازه نیاز خود از مؤسسات مالی تأمین مالی کند. این فرض در شرایط دنیای واقعی، خصوصاً برای بنگاه‌های اقتصادی کوچک و نوپا، چندان واقع‌بینانه نیست. در شرایط دنیای واقعی، تأمین اعتبار از مؤسسات مالی، محدود بوده و این امر باعث ایجاد اختلال در عملیات و هماهنگی در زنجیره تأمین می‌شود. در پژوهش حاضر، این محدودیت در مدل لحاظ شده است.

همچنین، در تمامی مطالعات موجود در زمینه‌ی هماهنگی زنجیره‌ی تأمین با حضور محدودیت بودجه، زنجیره‌ی تأمین در ساده‌ترین ساختار (فروشنده خریدار با یک محصول) مدل شده است. این امر باعث شده است که حل این مسائل دشوار نباشد. تمرکز این مطالعات تنها بر روی اثرات کمبود بودجه بر هماهنگی زنجیره‌ی تأمین در ساده ترین ساختار آن می‌باشد. در این پژوهش، به برقراری هماهنگی در یک زنجیره‌ی تأمین چند محصولی متشکل از چند تأمین‌کننده و یک تولیدکننده که با کمبود بودجه و محدودیت تأمین مالی مواجه است، پرداخته می‌شود. در این مسئله که به‌صورت یک بازی استکلبرگ دو سطحی طراحی شده است، تأمین‌کنندگان به‌عنوان منبع تأمین مالی داخلی برای تولیدکننده، در نقش رهبر بازی، پارامترهای مربوط به تأمین مالی داخلی (قرارداد اعتبار تجاری) را تعیین می‌کنند. تولیدکننده نیز به‌عنوان پیرو، براساس این پارامترها، تصمیمات مربوط به تعیین میزان سفارش و نحوه‌ی تأمین مالی را اتخاذ می‌کند. تمامی اعضا در این بازی به دنبال حداکثر کردن سود خود می‌باشند. در این پژوهش، برای مدل‌سازی مسئله‌ی تولیدکننده، از پژوهش صورت گرفته توسط امتحانی و همکاران استفاده شده است. آنها یک زنجیره‌ی تأمین دو سطحی و چند محصولی متشکل از چندین تأمین‌کننده و یک تولیدکننده که با کمبود بودجه و محدودیت تأمین مالی مواجه است را در نظر گرفته‌اند. آنها برای مرتفع کردن مشکلات مالی موجود، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی یکپارچه عملیاتی ـ مالی برای مسئله‌ی تولیدکننده را بر پایه‌ی مدل روزنامه فروش طراحی کرده‌اند.[۲۹] در پژوهش امتحانی و همکاران، تأمین مالی داخلی زنجیره تأمین به‌صورت اعتبار تجاری به‌عنوان ابزاری برای بهبود عملکرد تولیدکننده مورد بررسی قرار گرفته است. در مدل آنها، پارامترهای مربوط به اعتبار تجاری به‌صورت برونزا بوده و به‌عنوان متغیر تصمیم در نظر گرفته نشده‌اند. در این پژوهش، مفروضاتی مشابه با پژوهش امتحانی و همکاران در نظر گرفته‌شده است، با این تفاوت که آنها به قرارداد اعتبار تجاری از دیدگاه تولیدکننده پرداخته‌اند و پارامترهای ورودی قرارداد را به‌عنوان متغیرهای برونزا در نظر گرفته‌اند. اما در پژوهش حاضر، به مدل‌سازی و تحلیل این قرارداد از منظر تأمین‌کنندگان پرداخته شده است و پارامترهای قرارداد به عنوان متغیر تصمیم تأمین‌کنندگان لحاظ شده‌اند. برای این منظور، تعاملات بین تولیدکننده و تأمین‌کنندگان به‌صورت یک بازی استکلبرگ طراحی شده است که در سطح بالا، مجموعه‌ی تأمین‌کنندگان به‌عنوان رهبر و در سطح پایین، تولیدکننده به‌عنوان پیرو می‌باشند. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهند که اگرچه این قرارداد به بهبود عملکرد تولیدکننده منجر می‌شود، اما تا زمانی که تأمین‌کنندگان مهلت پرداختِ تولیدکننده را تا آخر دوره تمدید نکنند، این قرارداد قادر به ایجاد هماهنگی در زنجیره تأمین با برد همه‌ی اعضا نمی‌باشد.

۳. مدل‌سازی مسئله

همانطورکه ذکر شد، مسئله‌ی توصیف شده در بخش ۱ به‌صورت یک بازی استکلبرگ بین تأمین‌کنندگان به‌عنوان رهبر و تولیدکننده به‌عنوان پیرو مدل شده است. برای درک بهتر مدل، ابتدا مدل تولیدکنندگان (در بخش ۱.۳) و سپس مدل تأمین‌کنندگان (در بخش ۲.۳) شریح شده‌اند و در آخر مدل استکبرگ مربوط به قرارداد اعتبار تجاری ارائه شده است. برای مدل‌سازی تولیدکننده، دو سناریو براساس مفاد قرارداد TCF در نظر گرفته شده است. سناریوی اول منطبق با مفروضات امتحانی و همکاران است که تولیدکننده تا مدت زمان مشخصی قبل از پایان دوره موظف است که بدهی خود را به تأمین‌کنندگان پرداخت کند.[۲۹] در سناریوی دوم، فرض بر این است که تولیدکننده می‌تواند زمان بازپرداخت بدهی خود به تأمین‌کنندگان را تا آخر دوره تمدید کند. در ادامه، به توصیف سایر مفروضات مشترک در این دو سناریو پرداخته شده است.

در این مسئله، یک زنجیره‌ی تأمین دو سطحی و چند محصولی در نظر گرفته شده است. این زنجیره شامل چندین تأمین‌کننده‌ی مواد اولیه (که با اندیس k نشان داده می‌شوند)، یک تولیدکننده که طبق تقاضای تصادفی در یک دوره، چندین نوع محصول (که با اندیس n نشان داده می‌شوند) تولید می‌کند و مشتری (مشتریان) نهایی محصولات می‌باشد. تأمین‌کننده مستقل هستند و تولیدکننده هر ماده اولیه را از یک تأمین‌کننده خریداری می‌کند (مواد خام و تأمین‌کننده رابطه یک به یک دارند). برای تولید هر محصول از چندین ماده‌ی خام استفاده می‌شود. بودجه‌ی اولیه تولیدکننده برای تهیه‌ی موجودی و تولید محصولات محدود است. بنابراین، باید سرمایه در گردش موردنیاز را از طریق تأمین مالی کوتاه‌مدت تأمین کند. در این پژوهش دو گزینه تأمین مالی کوتاه‌مدت برای تولیدکننده در نظر گرفته شده است:

- تأمین مالی از منابع خارجی مانند اخذ وام‌های بانکی و غیره (تأمین مالی خارجی)؛
- تأمین مالی از تأمین‌کننده از طریق اعتبار تجاری (تأمین مالی داخلی).

در رابطه با تأمین مالی خارجی فرض شده است که تولیدکننده دارای اعتبار لازم برای اخذ وام به میزان مورد نیاز نباشد. این فرض، در این پژوهش، فرضی جدید است که برگرفته از دنیای واقعی می‌باشد و تاکنون در پژوهش‌های هماهنگی در زنجیره‌ی تأمین تحت قراردادها به آن پرداخته نشده است. قابل ذکر است که در این پژوهش ورشکستگی مجاز نیست. همچین، فرض بر این است که محصولات باقیمانده در انتهای دوره، نگهداری شده تا به دوره بعد منتقل شوند. به همین منظور، برای محصولات نهایی، موجودی اولیه نیز در نظر گرفته شده است. متغیر تصادفی تقاضای محصولات نهایی که با y_n نشان داده می‌شود، دارای تابع توزیع تجمعی $F_n(.)$ و تابع چگالی احتمال $f_n(.)$ در R^+ می‌باشد. F تابعی مشتق پذیر، افزایشی و معکوس پذیر است و همچنین $F_n(y_n = ۰) = ۰$. اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای به کار رفته در مدل در بخش نمادها نشان داده شده است.

۱.۳. مسئله‌ی تولیدکننده

در این بخش، ابتدا مسئله‌ی تولیدکننده در سناریوی اول معرفی شده است. در این سناریو، $tmax_k < T$ می‌باشد. سپس، مدل معرفی شده در سناریوی اول را به حالتی که در $tmax_k = T$ آن می‌باشد بسط می‌دهیم (سناریوی دوم).

۱.۱.۳. سناریوی اول

امتحانی و همکاران، یک تولیدکننده با محدودیت بودجه و ظرفیت تأمین مالی را در نظر گرفتند که چندین نوع محصول را از چندین تأمین‌کننده خریداری کرده

و تحت قرارداد اعتبار تجاری و تأمین مالی خارجی به تصمیم‌گیری هم‌زمان فعالیت‌های عملیاتی و مالی در جهت حداکثر کردن سود خود می‌پردازد. قرارداد اعتبار تجاری در مدل آنها به این صورت است که سه گزینه برای نحوه‌ی پرداخت به هر تأمین‌کننده وجود دارد. ۱. پرداخت تا قبل از موعد مشخصی (b_k) مشمول تخفیف می‌شود. ۲. پرداخت در بازه زمانی $[b_k, d_k]$ بدون تخفیف و بدون جریمه صورت می‌گیرد. ۳. پرداخت بعد از d_k تا موعد نهایی $tmax_k$ که $tmax_k < T$ و مشمول پرداخت جریمه به ازای هر روز دیرکرد می‌باشد. آنها این مسئله را به‌صورت یک مدل یکپارچه عملیاتی ـ مالی مدل کرده‌اند که در زیر مشاهده آمده است:

$$
\begin{aligned}
&Max\ \ \pi_m^{۱}(R_n, Q_k, Q_n, x_k^i, t_k, l) = \\
&\textstyle\sum_n p_n E\left(\min\left\{R_n, y_n\right\}\right) - \\
&\textstyle\sum_k w_k Q_k \left[\left(۱-u_k\right) x_k^{۱} + x_k^{۲} + \left(۱+\tau_k\right)^{t_k - d_k} x_k^{۳}\right] \\
&\textstyle -\sum_n v_n \left(R_n - I_n\right) \\
&\textstyle -\sum_n h_n E\left(\max\left\{R_n - y_n, ۰\right\}\right) \\
&\textstyle -\sum_n \pi_n E\left(\max\left\{y_n - R_n, ۰\right\}\right) \\
&-l\left[\left(۱+r_l\right)^T - ۱\right] + \\
&\textstyle\sum_k w_k Q_k \left[\left(۱-u_k\right) x_k^{۱} + x_k^{۲} + \left(۱+\tau_k\right)^{t_k - d_k} x_k^{۳}\right] \\
&\times \left(\left(۱+r_m\right)^{t_k} - ۱\right)
\end{aligned}
\qquad (۱)
$$

$$S.t:$$

$$b_k + \left(۱ - x_k^{۱}\right) M \geq t_k, \ \ \forall k = ۱, ۲, ..., K \qquad (۲)$$

$$d_k + \left(۱ - x_k^{۲}\right) M \geq t_k, \ \ \forall k = ۱, ۲, ..., K \qquad (۳)$$

$$b_k + ۱ - \left(۱ - x_k^{۲}\right) M \leq t_k, \ \ \forall k = ۱, ۲, ..., K \qquad (۴)$$

$$d_k + ۱ - \left(۱ - x_k^{۳}\right) M \leq t_k, \ \ \forall k = ۱, ۲, ..., K \qquad (۵)$$

$$
\begin{aligned}
&\textstyle\sum_k w_k Q_k \left[\left(۱-u_k\right) x_k^{۱} + x_k^{۲} + \left(۱+\tau_k\right)^{t_k - d_k} x_k^{۳}\right] \\
&\textstyle +\sum_n v_n \left(R_n - I_n\right) \leq B_۰ + l
\end{aligned}
\qquad (۶)
$$

$$
\begin{aligned}
&B_۰ + l + \textstyle\sum_n p_n E\left(\min\left\{R_n, y_n\right\}\right) - \\
&\textstyle\sum_k w_k Q_k \left[\left(۱-u_k\right) x_k^{۱} + x_k^{۲} + \left(۱+\tau_k\right)^{t_k - d_k} x_k^{۳}\right] \\
&\textstyle -\sum_n v_n \left(R_n - I_n\right) \\
&\textstyle -\sum_n h_n E\left(\max\left\{R_n - y_n, ۰\right\}\right) \\
&-l\left(۱+r_l\right)^T + \\
&\textstyle\sum_k w_k Q_k \left[\left(۱-u_k\right) x_k^{۱} + x_k^{۲} + \left(۱+\tau_k\right)^{t_k - d_k} x_k^{۳}\right] \\
&\times \left(\left(۱+r_m\right)^{t_k} - ۱\right) \geq ۰
\end{aligned}
\qquad (۷)
$$

$$l \leq ML \qquad (۸)$$

$$\textstyle\sum_i x_k^i = ۱, \ \ \forall k = ۱, ۲, ..., K$$

$$R_n, Q_k, Q_n, l \geq ۰,\ t_k \text{ int},\ x_k^i \text{ binary} \qquad (۹)$$

مدل فوق، یک مدل بهینه‌سازی غیرخطی مختلط (MINLP) [۷] می‌باشد که در آن متغیرهای R_n، Q_k و l متغیرهای حقیقی مثبت‌اند، x_k^i باینری و t_k عدد صحیح می‌باشد. تابع هدف مدل فوق، حداکثرسازی سود است که عبارت‌های آن به ترتیب شامل میزان درآمد مورد انتظار، هزینه خرید مواد خام تحت قرارداد اعتبار تجاری، هزینه تولید محصولات، هزینه نگهداری، هزینه کمبود، هزینه اخذ وام (بهره وام) و میزان سود حاصل از سرمایه‌گذاری مبلغ خرید تا زمان پرداخت (t_k) می‌باشند. محدودیت‌های اول تا چهارم (رابطه‌های ۲ تا ۵) مربوط به تنظیمات مفاد قرارداد اعتبار تجاری است. محدودیت پنجم (رابطه‌ی ۶) و محدودیت ششم (رابطه‌ی ۷)، به ترتیب محدودیت بودجه و محدودیت مربوط به تعادل پول آخر دوره می‌باشند. به این معنا که جریان ورودی پول منهای جریان خروجی پول منفی نباشد. محدودیت هفتم (رابطه‌ی ۸) نیز مربوط به محدودیت ظرفیت تأمین مالی خارجی می‌باشد.

در مدل آنها فرض بر این است که تولیدکننده باید قبل از پایان دوره تا مدت زمان مشخصی $(tmax_k < T)$ بدهی خود را به تأمین‌کنندگان پرداخت کند.

۲.۱.۳. سناریوی دوم

در سناریو دوم فرض بر این است که تولیدکننده می‌تواند مهلت پرداخت بدهی خود را به تأمین‌کنندگان تا آخر دوره تمدید کند $(tmax_k = T)$. در این حالت، تولیدکننده می‌تواند بدهی خود را به تأمین‌کننده‌ی k از محل درآمد حاصل از فروش محصولاتش پرداخت کند.

برای مدل کردن این شرایط، یعنی زمانی که $tmax_k = t$، نیاز است که گزینه‌ی چهارمی به مفاد قرارداد اعتبار تجاری در مدل طراحی شده اضافه شود. بدین منظور، عبارت $w_k Q_k (۱+\tau k)^{T-d_k} x_k^{۴}$ به مزینه‌ی خرید تولیدکننده در تابع هدف و محدودیت تعادل پول (رابطه‌ی ۷) در مسئله‌ی تولیدکننده اضافه می‌شود. $x_k^{۴}$ متغیر باینری مربوط به پرداخت یا عدم پرداخت به تأمین‌کننده‌ی k در آخر دوره می‌باشد. لازم به ذکر است که این عبارت به هزینه‌ی خرید در محدودیت کمبود بودجه (رابطه‌ی ۶) اضافه نمی‌شود، زیرا در صورت پرداخت در آخر دوره، هزینه‌ی خرید از محل درآمد حاصل از فروش کسر می‌شود و نیازی به اخذ وام در اول دوره بابت آن نمی‌باشد. همچنین، سه محدودیت جهت اضافه کردن گزینه‌ی چهارم به قرارداد اعتبار تجاری مطابق زیر به مسئله‌ی تولیدکننده اضافه می‌شود:

$$T - ۱ + \left(۱ - x_k^{۳}\right) M \geq t_k, \ \ \forall k = ۱, ۲, ..., K \qquad (۱۰)$$

$$T + \left(۱ - x_k^{۴}\right) M \geq t_k, \ \ \forall k = ۱, ۲, ..., K \qquad (۱۱)$$

$$T - \left(۱ - x_k^{۴}\right) M \leq t_k, \ \ \forall k = ۱, ۲, ..., K \qquad (۱۲)$$

مدل بازسازی شده‌ی تولیدکننده تحت قرارداد جدید TCF به‌صورت زیر می‌باشد:

$$
\begin{aligned}
&Max\ \ \pi_m^{۲}(R_n, Q_k, Q_n, x_k^i, t_k, l) = \\
&\textstyle\sum_n p_n E\left(\min\left\{R_n, y_n\right\}\right) - \\
&\textstyle\sum_k w_k Q_k \left[\begin{array}{l}\left(۱-u_k\right) x_k^{۱} + x_k^{۲} + \left(۱+\tau_k\right)^{t_k - d_k} x_k^{۳} \\ +\left(۱+\tau_k\right)^{T-d_k} x_k^{۴}\end{array}\right] \\
&\textstyle -\sum_n v_n \left(R_n - I_n\right) \\
&\textstyle -\sum_n h_n E\left(\max\left\{R_n - y_n, ۰\right\}\right) \\
&\textstyle -\sum_n \pi_n E\left(\max\left\{y_n - R_n, ۰\right\}\right) \\
&-l\left[\left(۱+r_l\right)^T - ۱\right] + \\
&\textstyle\sum_k w_k Q_k \left[\left(۱-u_k\right) x_k^{۱} + x_k^{۲} + \left(۱+\tau_k\right)^{t_k - d_k} x_k^{۳}\right] \\
&\times \left(\left(۱+r_m\right)^{t_k} - ۱\right)
\end{aligned}
\qquad (۱۳)
$$

$$S.t:$$

$$(۲), (۳), (۴), (۵), (۶), (۸), (۹), (۱۰), (۱۱), (۱۲)$$

$$
\begin{aligned}
& B_{\circ} + l + \sum_n p_n E\left(\min\left\{R_n, y_n\right\}\right) - \\
& \sum_k w_k Q_k \left[\begin{array}{l} (1-u_k)\, x_k^{1} + x_k^{2} + (1+\tau_k)^{t_k - d_k} x_k^{3} \\ +(1+\tau_k)^{T-d_k} x_k^{4} \end{array}\right] \\
& - \sum_n v_n \left(R_n - I_n\right) \\
& - \sum_n h_n E\left(\max\left\{R_n - y_n, \circ\right\}\right) \\
& -l(1+r_l)^{T} + \\
& \sum_k w_k Q_k \left[(1-u_k)\, x_k^{1} + x_k^{2} + (1+\tau_k)^{t_k - d_k} x_k^{3}\right] \\
& \times \left((1+r_m)^{t_k} - 1\right) \geq \circ \\
& R_n, Q_k, Q_n, l \geq \circ,\ t_k \text{ int},\ x_k^i \text{ binary} \qquad (14)
\end{aligned}
$$

۲.۳. مسئله‌ی تأمین‌کننده

در این پژوهش، فرض بر این است که تأمین‌کنندگان برای تصمیم‌گیری راجع به مفاد قرارداد اعتبار تجاری ائتلاف تشکیل می‌دهند. در این حالت، هدف، حداکثر کردن مجموع سود اعضای ائتلاف (تأمین‌کنندگان) می‌باشد و در نهایت، سود حاصل از این ائتلاف بین اعضا به‌صورتی تقسیم می‌شود که همه به یک نسبت سود برده باشند. بر این اساس، مسئله ائتلاف تأمین‌کنندگان تحت قرارداد اعتبار تجاری مذکور در هر دو سناریو مدل شده است. π_S^{1} و π_S^{2}، به ترتیب تابع سود تولیدکنندگان در سناریوی اول و دوم می‌باشد که به‌صورت زیر مدل شده‌اند:

$$
\begin{aligned}
& Max\ \pi_S^{1}(b_k, d_k, u_k, \tau_k) = \\
& \sum_k \left(w_k Q_k \left[(1-u_k)\, x_k^{1} + x_k^{2} + (1+\tau_k)^{t_k - d_k} x_k^{3}\right]\right. \\
& \left. -c_k Q_k - w_k Q_k((1+r_k)^{t_k} - 1)\right) \qquad (15)
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
& Max \pi_S^{2}(b_k, d_k, u_k, \tau_k) = \\
& \sum_k \left(w_k Q_k \left[\begin{array}{l} (1-u_k)\, x_k^{1} + x_k^{2} + (1+\tau_k)^{t_k - d_k} x_k^{3} \\ +(1+\tau_k)^{T-d_k} x_k^{4} \end{array}\right]\right. \\
& \left. -c_k Q_k - w_k Q_k((1+r_k)^{t_k} - 1)\right) \qquad (16)
\end{aligned}
$$

مدل حداکثرسازی فوق نیز یک مدل MINLP است که به ترتیب شامل میزان درآمد تأمین‌کنندگان از فروش مواد خام، هزینه تهیه مواد خام و هزینه فرصت مربوط به اعطای اعتبار تجاری به تولیدکننده می‌باشد.

۳.۳. بازی استکلبرگ تأمین‌کنندگان و تولیدکننده

قرارداد اعتبار تجاری مذکور، به‌صورت یک بازی استکلبرگ بین تأمین‌کنندگان (رهبر) و تولیدکننده (پیرو) در قالب یک مسئله بهینه‌سازی دو سطحی[8] مدل شده است. لازم به ذکر است که مجموع تأمین‌کنندگان (ائتلاف) به‌عنوان رهبر در این بازی در نظر گرفته شده است.

مدل دو سطحی طراحی شده برای هر دو سناریو به‌صورت زیر است:

$$
\begin{aligned}
& \text{Max}\ \pi_S^{j=1,2}\left(b_k, d_k, u_k, \tau_k, R_n, Q_k, Q_n, x_k^i, t_k, l\right) \\
& S.t: \\
& C = \text{argmax}\ \pi_m^{j=1,2}\left(R_n, Q_k, Q_n, x_k^i, t_k, l\right) \qquad (17) \\
& b_k \leq d_k \leq tmax_k \qquad (18)
\end{aligned}
$$

و (محدودیت‌های مربوط به مسئله‌ی تولیدکننده درسناریوهای ۱ و ۲)

$$
\begin{aligned}
& R_n, Q_k, Q_n, l \geq \circ, \circ \leq u_k, \tau_k \leq 1, \\
& b_k, d_k, t_k\ \text{int},\ x_k^i \text{ binary}
\end{aligned}
$$

در این مدل، $j=1$ مربوط به سناریوی اول و $j=2$ مربوط به سناریوی دوم است. محدودیت ۱۶ همان مسئله‌ی بهینه‌سازی تولیدکننده است که به‌عنوان مسئله سطح پایینی به‌عنوان محدودیت در مدل آورده شده است. این بدان معناست که هر جواب بهینه مسئله تولیدکننده به ازای پارامترهای ورودی (متغیرهای تصمیم سطح بالایی)، یک جواب شدنی برای مسئله سطح بالایی (مسئله تأمین‌کنندگان) است.

۴.۳. مدل مسئله با ساختار متمرکز

برای بررسی و اعتبار سنجی قرارداد پیشنهادی، نتایج حل این مدل با نتایج حل مدل با ساختار متمرکز مقایسه می‌شود. بدین منظور، در این قسمت به مدل‌سازی زنجیره‌ی تأمین مذکور با ساختار متمرکز پرداخته شده است. در ساختار متمرکز، تمامی اعضا در جهت حداکثر کردن سود کل زنجیره تصمیم‌گیری می‌کنند. مدل متمرکز مسئله عنوان شده در این پژوهش را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$
\begin{aligned}
& \text{Max}\ \ \pi_{SC}\left(R_n, Q_k, l\right) = \\
& \sum_n p_n E\left(\min\left\{R_n, y_n\right\}\right) \\
& - \sum_n v_n \left(R_n - I_n\right) - \sum_k c_k Q_k \\
& - \sum_n h_n E\left(\max\left\{R_n - y_n, \circ\right\}\right) \\
& - \sum_n \pi_n E\left(\max\left\{y_n - R_n, \circ\right\}\right) \\
& -l\left[(1+r_l)^{T} - 1\right] \qquad (19)
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
& S.t: \ (8), \\
& \sum_n v_n \left(R_n - I_n\right) \leq B_{\circ} + l \qquad (20) \\
& B_{\circ} + l + \sum_n p_n E(\min\{R_{n,n}\}) \\
& - \sum_n v_n (R_n - I_n) - l(1+r_l)^{T} \\
& - \sum_n h_n E(\max\{R_n - y_n, \circ\}) \geq \circ \\
& R_n, Q_k, l \geq \circ \qquad (21)
\end{aligned}
$$

مدل فوق یک مدل برنامه ریزی غیرخطی (NLP) [9] است. محدودیت اول مربوط به کمبود بودجه، محدودیت دوم مربوط به تعادل پول در آخر دوره و محدودیت آخر محدودیت ظرفیت تأمین مالی خارجی می‌باشد.

۴. رویکرد حل مدل

مسائل برنامه‌ریزی دو سطحی حتی در ساختار خطی جزو مسائل به شدت Np-hard به شمار می‌روند.[30] همانطورکه ذکر شد، در مسائل دوسطحی، مسئله سطح پایینی باید به ازای هر ورودی مسئله سطح بالایی، به‌صورت بهینه حل شود. در این پژوهش، برای حل مسئله سطح پایینی در سناریوی اول، از روش حل سه مرحله‌ای طراحی شده توسط امتحانی و همکاران استفاده شده است و در سناریوی دوم این روش سه مرحله‌ای با تغییرات اعمال شده در مدل تطبیق داده شده است و برای

حل مدل تولیدکننده (مسئله‌ی سطح پایینی) در سناریوی دوم استفاده شده است. در ادامه، این روش سه مرحله‌ای به‌طور خلاصه شرح داده می‌شود. برای مسئله سطح بالایی نیز دو الگوریتم GA و DE طراحی شده است. این دو الگوریتم جزو الگوریتم‌های فراابتکاری مبتنی بر جمعیت می‌باشند که کارایی بسیار بالایی در حل مسائل Np-hard دارند.

۱.۴. روش حل مسئله‌ی سطح پایینی

مدل یکپارچه عملیاتی-مالی تولیدکننده که توسط امتحانی و همکاران[۲۹] توسعه داده شده است، یک مدل MINLP با پیچیدگی بالایی می‌باشد. آنها برای حل این مدل، یک روش حل سه مرحله‌ای طراحی کرده‌اند که جواب‌نزدیک به بهینه در مدت زمان معقول به دست می‌دهد. این سه مرحله به‌طور خلاصه در زیر آورده شده است:

مرحله اول: در این مرحله، یک مدل دقیق برای حل متغیرهای عدد صحیح و باینری مسئله براساس آنالیز تحلیلی مدل توسه داده شده است. خروجی این مرحله مقادیر بهینه متغیرهای باینری و عدد صحیح مربوط به تولیدکننده می‌باشد (x_k^i و t_k).

مرحله دوم: در این مرحله، مقادیر بهینه حاصل از مرحله اول در مدل جایگذاری شده و محدودیت ظرفیت تأمین مالی نیز کنار گذاشته می‌شود. مدل باقیمانده، از طریق بررسی شرایط کروش کان تاکر (KKT) به‌صورت بهینه حل می‌شود. اگر جواب‌های حاصل از این مرحله در محدودیت ظرفیت تأمین مالی صدق کرد، جواب بهینه مسئله اصلی حاصل شده است. در غیر این صورت، مرحله سوم شروع می‌شود.

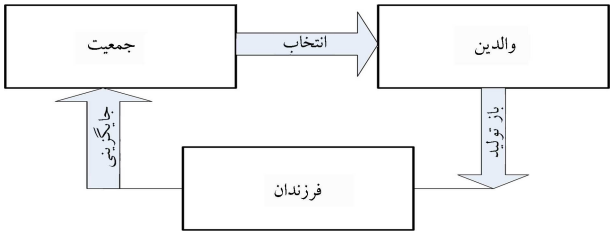
مرحله سوم: در این مرحله، با استفاده از خروجی‌های مراحل اول و دوم، برای یافتن جواب‌های بهینه (نزدیک بهینه) مدل اصلی، دو الگوریتم ابتکاری بر مبنای الگوریتم ابتکاری حریصانه طراحی شده‌اند که جواب نهایی مسئله تولیدکننده را می‌یابند.

در پژوهش حاضر، از این روش برای حل مدل تولیدکننده در سناریوی اول و با اعمال تغییراتی برای سناریوی دوم استفاده شده است. به این صورت که تمامی مراحل با تغییرات تطبیق داده شده‌اند و برای حل مسئله‌ی تولیدکننده با شرایط جدید قرارداد در سناریوی دوم مورد استفاده قرار گرفته شده است.

۲.۴. روش حل مسئله سطح بالایی

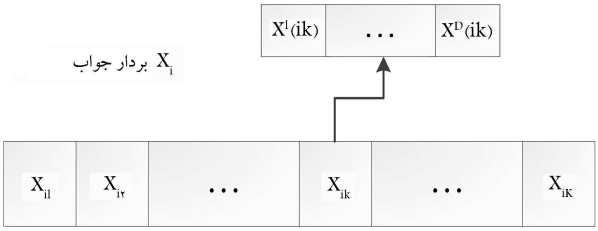
برای حل مسئله سطح بالایی (تأمین‌کنندگان به‌عنوان رهبر بازی استکلبرگ)، دو الگوریتم فراابتکاری GA و DE طراحی شده‌اند. این دو الگوریتم، جزو دسته الگوریتم‌های تکاملی می‌باشند. الگوریتم‌های تکاملی، زیرمجموعه‌ای از الگوریتم‌های فراابتکاری احتمالی هستند که برای حل مسائل واقعی و پیچیده کاربرد فراوان دارند. این الگوریتم‌ها بر مبنای تکامل جمعیتی از اعضا است که با تولید تصادفی جمعیت اولیه شروع می‌شود. شکل ۱، شمای کلی از الگوریتم‌های تکاملی را نشان می‌دهد.

هر عضو از جمعیت، یک بردار حقیقی D بعدی است. هر متغیر تصمیم در این بردار با $x_{i,k}^j$ نشان داده می‌شود که j اندیس مربوط به بعد بردار، i اندیس مربوط به شماره عضو در جمعیت و k منتسب به تأمین‌کننده‌ی k می‌باشد. هر عضو از جمعیت، معادل یک بردار جواب است که شامل متغیرهای تصمیم تأمین‌کنندگان می‌باشد. از مقدار حقیقی هر متغیر تصمیم برای کد کردن جواب‌ها (اعضای جمعیت) استفاده شده است. نمونه‌ای از بردار جواب طراحی شده برای این مسئله در شکل ۲ نمایش داده شده‌است.



شکل ۱. شمای کلی الگوریتم‌های تکاملی.

در بردار جواب فوق، $x_{i,k}$ استراتژی تأمین‌کننده‌ی k در عضو i ام جمعیت است که خود شامل متغیرهای تصمیم تأمین‌کننده‌ی k ($x_{i,k}^j$) می‌باشد که $j = ۱, ۲, \ldots, D$ بردار جواب فوق شامل مجموع استراتژی‌های تأمین‌کنندگان است که در تئوری بازی‌ها به آن یک پروفایل استراتژی[۱۰] می‌گویند. در ادامه، جزئیات مراحل شکل فوق برای هر دو الگوریتم به‌صورت جداگانه شرح داده شده است.



شکل ۲. ساختار یک بردار جواب برای الگوریتم‌های طراحی شده.

الگوریتم GA

در این الگوریتم، بردار جواب تحلیل شده معادل کروموزوم و هر متغیر تصمیم معادل یک ژن است. جمعیت اولیه در این الگوریتم به‌صورت تصادفی تولید می‌شود. در این پژوهش، تابع برازندگی، معادل تابع هدف رهبر (مجموع توابع هدف تأمین‌کنندگان) می‌باشد. سه عملگر اصلی این الگوریتم مطابق شکل ۱ شامل عملگرهای انتخاب، بازتولید و جایگزینی است.

در مرحله‌ی انتخاب، پس از محاسبه‌ی تابع برازندگی، درصدی از بهترین اعضای جمعیت به نسل بعد منتقل می‌شوند (نخبه‌گرایی). برای انتخاب والد، جهت بازترکیب، از روش چرخ رولت استفاده شده است. در این پژوهش، از عملگر تقاطع حسابی برای بازترکیب ژن‌های مربوط به متغیرهای u_k و τ_k و از عملگر تقاطع یک نقطه‌ای برای بازترکیب ژن‌های مربوط به متغیرهای b_k و d_k استفاده شده است. در عملگر تقاطع حسابی، دو فرزند از ترکیب خطی والدین به‌صورت زیر تولید می‌شوند:

$$offspring(۱) = \omega \times parent(۱) + (۱ - \omega) \times parent(۲)$$
$$offspring(۲) = \omega \times parent(۲) + (۱ - \omega) \times parent(۱)$$

ω عددی در بازه‌ی $(۰, ۱)$ می‌باشد. عملگر جهش نیز از طریق تغییر مقدار یک یا چند ژن در کروموزوم اعمال می‌شود. عملگرهای بازترکیب و جهش به ترتیب با احتمال‌های p_c و p_m اعمال می‌شوند. عمل جایگزینی نیز براساس تابع برازندگی صورت می‌گیرد، بدین صورت که بردارهای جواب با مقدار برازندگی بیشتر به نسل بعد منتقل می‌شوند. چرخه‌ی تولید نسل جدید تا رسیدن به معیار توقف ادامه می‌یابد و بهترین جواب در آخرین نسل به‌عنوان جواب مسئله انتخاب می‌شود.

الگوریتم DE

در روش‌های تکاملی، عموما از عملگر تقاطع کلاسیک برای بازترکیب فرزند استفاده می‌شود، اما در روش DE، عملگر بازترکیب براساس ترکیب خطی والدین و با تکیه بر مفهوم فاصله برای ایجاد عضو جدید اعمال می‌شود.

مراحل الگوریتم DE در زیر نشان داده شده است.

پارامترهای ورودی الگوریتم: اعداد ثابت F و CR.

قدم اول: تولید جمعیت اولیه به‌صورت تصادفی

قدم دوم (عملیات بازترکیب): مراحل زیر به ترتیب برای تمامی اعضا صورت می‌گیرد:

- عضو x_i را در نظر بگیرید. سه عضو متمایز را به‌صورت تصادفی از جمعیت انتخاب کنید (x_a, x_b, x_c)؛
- عددی تصادفی در بازه $[0, 1]$ تولید کنید. اگر عدد تصادفی تولید شده از CR کمتر بود برای هر متغیر تصمیم (هر بعد) قرار دهید:

$$y_{ij} = x_{aj} + F(x_{bj} - x_{cj}) \qquad (۲۲)$$

در غیر این صورت قرار دهید $y_{ij} = x_{ij}$.

قدم سوم (عملیات جایگزینی):
فرزند تولید شده (y_i) براساس معیار نخبه‌گرایی جانشین والد (x_i) می‌شود. در صورتی که مقدار تابع هدف به ازای عضو جدید تولید شده (y_i) از مقدار تابع هدف عضو فعلی (x_i) بیشتر بود (در مسئله ماکزیمم سازی)، y_i را جایگزین x_i کنید. این جایگزینی را برای تمامی اعضای جمعیت پس از عملیات بازترکیب تکرار کنید تا جمعیت جدید حاصل شود.

قدم چهارم: قدم‌های دوم و سوم را آنقدر تکرار کنید تا معیار توقف حاصل شود.

خروجی الگوریتم: بهترین بردار جواب حاصل از تکرارهای الگوریتم پارامتر ورودی F یک فاکتور مقیاس‌گذاری است و CR بیانگر یک احتمال است. این دو، پارامترهای تنظیم میزان تشدید[11] و تنوع[12] در الگوریتم DE هستند. معمول‌ترین معیار توقف که در الگوریتم‌های فرابتکاری استفاده می‌شوند، محدود کردن تعداد تکرارهای الگوریتم و مقایسه تفاوت بین جواب‌ها می‌باشند. بدین صورت که اگر تفاوت جواب‌ها در یک جمعیت از عدد کوچکی کمتر بود، آنگاه الگوریتم متوقف می‌شود.

۵. نتایج محاسباتی

در این بخش به حل مدل، تحلیل نتایج و همچنین نحوه‌ی تقسیم عادلانه‌ی سود حاصل از ائتلاف بین اعضا پرداخته شده است.

۱.۵. حل مدل و تحلیل نتایج

برای حل بازی استکلبرگ مربوط به قرارداد اعتبار تجاری (که در بخش ۳.۳ ارائه شد)، از الگوریتم‌های GA و DE طراحی شده در بخش ۴ استفاده می‌شود. جهت ارزیابی مدل ارائه شده و روش حل پیشنهادی، دو دسته مسئله در دو سایز مختلف حل شده است. در دسته‌ی اول $N = 3$ و $K = 5$ و در دسته‌ی دوم $N = 5$ و $K = 5$ می‌باشد. در هر دسته، ۲۵ مثال حل شده است و جواب‌ها به‌صورت میانگین این ۲۵ مسئله گزارش شده‌اند (جدول ۲). در تمامی این مسائل، نرخ‌های r_l، r_m و r_k به ترتیب برابر با ۰/۰۰۰۹، ۰/۰۰۰۷ و ۰/۰۰۰۷ برای همه‌ی تأمین‌کنندگان می‌باشند. پارامترهای مربوط به الگوریتم‌های GA و DE که پس از تنظیمات مختلف از بین چندین گزینه انتخاب شده اند، در جدول ۱ گزارش شده‌اند.

پس از حل مدل استکلبرگ طراحی شده در سناریوی ۱ (در حالتی که $tmx_k < T$)، مشاهده شد که جواب بهینه، معادل حالت بدون وجود قرارداد TCF می‌باشد (جواب‌های مربوط به مسئله بدون قرارداد TCF در جدول ۲ در ستون سوم گزارش شده است. به این معنی که هنگامی که $tmax_k < T$ باشد، پیشنهاد این قرارداد برای تأمین‌کنندگان سودآور نیست. دلیل این امر وجود محدودیت تأمین مالی تولیدکننده می‌باشد. اگر تحت این شرایط تأمین‌کننده اعتبار تجاری به تولیدکننده بدهد، تولیدکننده می‌تواند میزان سفارش خود را اندکی بیشتر کرده و سود بیشتری نسبت به زمانی که اعتبار تجاری وجود ندارد کسب کند. اما باز به دلیل وجود محدودیت‌های مالی، همچنان نمی‌تواند معادل ساختار متمرکز سفارش دهد. از طرف دیگر، سود تأمین‌کننده به دلیل وجود تخفیف بر روی فروش و همچنین هزینه‌ی فرصت تحمیل شده نسبت به حالت بدون قرارداد اعتبار تجاری کاهش می‌یابد. این میزان اندک افزایش سفارش تولیدکننده، ضرر تأمین‌کنندگان را جبران نمی‌کند. بنابراین، انگیزه‌ای برای تأمین‌کننده جهت پیشنهاد اعتبار تجاری باقی نمی‌ماند و جواب بهینه‌ی حل مسئله در سناریوی اول همواره معادل جواب بهینه‌ی حالت بدون TCF می‌باشد. به عبارت دیگر، تأمین‌کنندگان حاضر به ارائه اعتبار تجاری به تولیدکننده تحت شرایط ذکر شده نیستند. حال اگر تأمین‌کننده مهلت بازپرداخت را تا زمان T به شرط اخذ جریمه‌ی دیرکرد افزایش دهند $(tmax_k = T)$، آنگاه تولیدکننده می‌تواند از محل درآمد حاصل از فروش محصولاتش بدهی خود را به برخی (یا همه‌ی) تأمین‌کنندگان پرداخت کند (سناریوی دوم). در این حالت، محدودیت تأمین مالی برای تولیدکننده دیگر به عنوان گلوگاهی برای تأمین مواد و تولید محصولات نمی‌باشد. بنابراین، مشکل وجود محدودیت‌های مالی برای وی مرتفع می‌شود و میزان سفارش خود را به اندازه‌ی میزان سفارشش در ساختار متمرکز افزایش می‌دهد. در این حالت سود تأمین‌کننده نیز به‌دلیل افزایش چشمگیر میزان فروش و اخذ جریمه‌ی دیرکرد افزایش می‌یابد.

جدول ۲ شامل نتایج حاصل از حل مدل دو سطحی ارائه شده در بخش ۳.۳ برای سناریوی دوم، نتایج حاصل از حل مدل با ساختار متمرکز و همچنین نتایج حاصل از حل مدل در ساختار غیر متمرکز و بدون قرارداد اعتبار تجاری برای دو دسته مسئله‌ی ذکر شده می‌باشد.

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، قرارداد TCF در سناریوی دوم قادر به ایجاد هماهنگی کامل در زنجیره‌ی تأمین مذکور و دستیابی به سودی تقریبا معادل سود ساختار متمرکز می‌باشد.

۲.۵. تقسیم عادلانه‌ی سود حاصل از ائتلاف بین اعضا

با تشکیل ائتلاف در بازی استکلبرگ طراحی شده، تمامی اعضای ائتلاف به یک نسبت سود نمی‌کنند. برای ترغیب تمامی اعضا جهت تشکیل ائتلاف نیاز است که سود حاصل از ائتلاف به‌صورت عادلانه بین همه‌ی اعضای ائتلاف تقسیم شود. برای درک بهتر این مطلب مثالی ارائه شده است. بدین منظور، جزئیات مربوط به سود تأمین‌کنندگان در یکی از مسائل حل شده در دسته‌ی اول در جدول ۳ در ستون دوم و سوم گزارش شده است. در این جدول مشاهده می‌شود که سود حاصل از ائتلاف به‌صورت عادلانه بین اعضا تقسیم نشده است (ستون چهارم، درصد افزایش سود). برای حل این مشکل، ابتدا ضریب تسهیم سود Z_k برای تأمین‌کننده‌ی k به‌صورت

جدول ۱. مقدار پارامترهای ورودی الگوریتم‌های GA و DE.

الگوریتم	GA		DE	
پارامتر	تعداد اعضای جمعیت	p_m	p_c	CR	F
مقدار	۳۰	۰/۱	۰/۹	۰/۹	۰/۸

جدول ۲. میانگین نتایج حاصل از حل مدل سناریوی و مقایسه با ساختار متمرکز و حالت بدون قرارداد TCF.

			ساختار متمرکز	ساختار غیر متمرکز بدون TCF	زنجیره تحت قرارداد TCF		درصد افزایش در TCF	
					GA	DE	GA	DE
دسته مسأله‌ی اول		سود زنجیره‌ی تأمین	۳۶۹۱۳۱۵۸	۱۲۰۲۵۲۹۸	۳۴۶۹۰۹۷۱	۳۵۷۰۵۱۴۲	۱۸۸%	۱۹۷%
		سود ائتلاف	-	۳۴۴۵۹۷۱	۹۴۹۱۴۴۷	۹۸۱۲۶۲۸	۱۷۵%	۱۸۵%
		سود تولید کننده	-	۸۵۷۹۳۲۶	۲۵۱۹۹۵۲۳	۲۵۸۹۲۵۱۳	۱۹۴%	۲۰۲%
	میزان تولید	محصول ۱	۳۸۵۸	۲۱۲۴	۳۸۵۳	۳۸۵۰	۸۳%	۸۱%
		محصول ۲	۴۷۵۹	۳۲۵۰	۴۷۴۹	۴۷۵۲	۴۶%	۴۶%
		محصول ۳	۶۲۰۸	۲۹۴۵	۶۲۰۱	۶۱۹۷	۱۰۹%	۱۱۰%
		میزان وام	۱۱۲۰۵۴۶	۴۷۵۰۰۰۰	۱۲۰۱۹۵۳	۱۱۲۵۱۱۷	−۷۵%	−۷۶%
		زمان حل	-	-	۲۳۹۶	۳۵۳۱	-	-
دسته مسأله‌ی دوم		سود زنجیره‌ی تأمین	۹۷۱۷۱۷۸۲	۵۲۵۶۴۸۷۴	۸۸۶۴۶۱۰۲	۹۰۲۷۶۲۳۲	۶۹%	۷۲%
		سود ائتلاف	-	۲۲۳۲۵۵۴۶	۴۲۵۸۹۷۰۶	۴۳۴۵۲۴۰۸	۹۱%	۹۵%
		سود تولید کننده	-	۳۰۲۳۹۳۲۸	۴۶۰۵۶۳۹۵	۴۶۸۲۳۸۲۴	۵۲%	۵۵%
	میزان تولید	محصول ۱	۱۶۳۳	۹۸۵	۱۶۳۸	۱۶۲۳	۶۵%	۶۶%
		محصول ۲	۲۵۱۳	۱۵۰۱	۲۴۸۹	۲۵۰۴	۶۷%	۶۶%
		محصول ۳	۴۰۱۷	۱۹۰۸	۳۹۹۴	۴۰۰۲	۱۱۰%	۱۰۹%
		محصول ۴	۷۹۱	۲۶۸	۷۸۹	۷۸۱	۱۹۱%	۱۹۴%
		محصول ۵	۳۷۸۴	۱۹۸۷	۳۷۵۸	۳۷۶۷	۸۹%	۹۰%
		میزان وام	۰	۲۳۵۰۰۰۰۰	۱۱۲۱۹۶۸۶	۱۱۱۳۸۳۰۱	−۵۲%	−۵۳%
		زمان حل	-	-	۶۴۲۵	۷۰۴۵	-	-

جدول ۳. نتایج حاصل از تسهیم سود عادلانه بین اعضای ائتلاف.

تأمین‌کننده k	میزان سود بدون TCF	میزان سود تحت قرارداد TCF	درصد افزایش سود	ضریب تسهیم سود	میزان سود تحت قرارداد TCF بعد از تسهیم درآمد	درصد افزایش سود بعد از تسهیم درآمد
سود تأمین‌کننده ۱	۴۰۰۷۵۰	۲۸۰۵۰۲۲	٪۵۹۹	٪۱۳/۷۰	۱۸۶۳۳۱۰	٪۳۶۴/۹۶
سود تأمین‌کننده ۲	۲۶۴۷۷	۲۲۸۵۲۴۴	٪۸۵۳۱	٪۰/۹۱	۱۲۳۱۰۹	٪۳۶۴/۹۶
سود تأمین‌کننده ۳	۱۶۸۹۰۰	۱۱۰۰۱۳۶	٪۵۵۱	٪۵/۷۸	۷۸۵۳۱۰	٪۳۶۴/۹۶
سود تأمین‌کننده ۴	۱۳۶۵۷۰۰	۴۶۴۰۹۸۷	٪۲۳۹	۴۶/۷۰	۶۳۴۹۸۹۹	٪۳۶۴/۹۶
سود تأمین‌کننده ۵	۹۶۲۶۲۰	۲۷۶۵۹۹۰	٪۱۸۷	٪۳۲/۹۲	۴۴۷۵۷۵۷	٪۳۶۴/۹۶

زیر تعریف می‌شود:

$$z_k = \frac{Z_k^{WTCF}}{Z_s^{WTCF}}, \sum_{M_x} Z_x = ۱ \qquad (۲۳)$$

در رابطه فوق، Z_k^{WTCF} سود تأمین‌کننده k و Z_s^{WTCF} سود مجموع تأمین‌کننده بدون قرارداد TCF می‌باشد. مقدار این ضریب در مثال مذکور محاسبه شده و در ستون پنجم جدول ۳ گزارش شده است. با توجه به ضریب تعریف شده، سهم سود هر تأمین‌کننده از ائتلاف به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Z_k^{TCF} = z_k \times \pi_s \qquad (۲۴)$$

که π_S مجموع سود تأمین‌کنندگان در ائتلاف می‌باشد. نتایج حاصل از تقسیم عادلانه سود بین اعضای ائتلاف در جدول ۳ در ستون‌های ۶ و ۷ گزارش شده‌اند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، پس از تسهیم سود بین اعضای ائتلاف، همه‌ی اعضا به یک نسبت سود می‌برند.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

در این پژوهش به طراحی یک قرارداد هماهنگ‌کننده در یک زنجیره‌ی تأمین با کمبود بودجه و محدودیت تأمین مالی پرداخته شده است. زنجیره‌ی تأمین مذکور دو سطحی و چند محصولی می‌باشد که متشکل از یک تولیدکننده و چندین تأمین‌کننده است. تولیدکننده با کمبود بودجه و محدودیت تأمین مالی مواجه است و برای پوشش هزینه‌های خرید قطعات مورد نیاز و تولید محصولاتش نیاز به تأمین مالی

کوتاه مدت دارد. دو منبع تأمین مالی در نظر گرفته شده است: تأمین مالی از طریق مؤسسات مالی نظیر وام بانکی و تأمین مالی از طریق تأمین‌کننده (قرارداد اعتبار تجاری). روابط عملیاتی و مالی میان تأمین‌کنندگان و تولیدکننده به‌صورت یک بازی استکلبرگ طراحی شده است که تأمین‌کنندگان با تشکیل ائتلاف در نقش رهبر و تولیدکننده در نقش پیرو می‌باشند. این بازی استکلبرگ به‌صورت یک مدل ریاضی دو سطحی فرمول‌بندی شده و توسط دو الگوریتم فراابتکاری مبتنی بر جمعیت GA و DE حل شده است. نتایج حاصل از حل مدل بیانگر این است که قرارداد اعتبار تجاری طراحی شده در زنجیره‌ی تأمین مذکور تنها زمانی به بهبود عملکرد زنجیره‌ی تأمین منجر می‌شود که تأمین‌کنندگان مهلت بازپرداخت فاکتورهای فروش خود را برای تولیدکننده تا آخر دوره تمدید کنند. در این شرایط، مشکل محدودیت تأمین مالی تولیدکننده حل شده و تولیدکننده هزینه‌ی مربوط به خرید مواد از برخی تأمین‌کنندگان را از محل درآمد حاصل از فروش خود با پرداخت جریمه می‌پردازد. همچنین، از تأمین مالی خارجی برای هزینه‌ی تولید محصولات و پرداخت به سایر تأمین‌کنندگان بهره می‌برد. در نهایت، قرارداد اعتبار تجاری طراحی شده قادر به برقراری هماهنگی در زنجیره‌ی تأمین مذکور می‌باشد، بدین معنا که سود تولیدکننده و همچنین سود ائتلاف با عقد این قرارداد بیشتر از سود آنها در حالت بدون قرارداد خواهد بود. با این حال، در ائتلاف تأمین‌کنندگان، تمامی اعضا به یک نسبت سود نمی‌کنند و این امر ممکن است باعث تردید و عدم رغبت بعضی از تأمین‌کنندگان به شرکت در ائتلاف شود. برای حل این مشکل، در این پژوهش، روشی به کار گرفته شده است که سود حاصل از ائتلاف را به‌صورت عادلانه بین اعضای ائتلاف تقسیم می‌کند. نتایج حاصل از مقایسه‌ی دو الگوریتم GA و DE بیانگر این است که کیفیت جواب‌ها در این مسئله در الگوریتم DE بهتر از الگوریتم GA است اما سرعت همگرایی در GA بیشتر از الگوریتم DE است.

نتایج این پژوهش می‌تواند از دو دیدگاه تولیدکننده و تأمین‌کنندگان مورد استفاده قرار گیرد. در واقع، کاربران اصلی این پژوهش، تولیدکنندگانی هستند که با کمبود سرمایه در گردش و مشکلات تأمین مالی برای عملیات خرید و تولید شرکت مواجه هستند و به دنبال راهکارهایی برای حل این مشکل و حفظ عرصه‌ی رقابت و سودآوری خود در این شرایط می‌باشند. این پژوهش نشان می‌دهد که تأمین مالی از درون زنجیره تأمین می‌تواند راه‌حلی مؤثر برای غلبه بر مشکلات مالی تأمین‌کنندگان و افزایش سودآوری آنها باشد. تأمین‌کنندگانی که مشتریان استراتژیک آنها با مشکلات مالی مواجه هستند، می‌توانند با اعطای اعتبار تجاری به آنها، ضمن تأمین مالی خرید آنها، تقاضا و سودآوری خود را نیز افزایش دهند. در این پژوهش فرض شده است که تأمین‌کنندگان، سرمایه در گردش کافی برای انجام عملیات خود را دارند. با این حال، این مسئله را می‌توان برای زمانی که تأمین‌کنندگان نیز با کمبود بودجه مواجه هستند، توسعه داد. همچنین، لحاظ کردن هزینه‌های ورشکستگی نیز می‌تواند به‌عنوان موضوعی برای توسعه این مسئله و بررسی اثرات آن بر هماهنگی زنجیره تأمین مطرح شود.

نمادها

- **اندیس‌ها**

k: اندیس مربوط به قطعات و مواد اولیه مورد نیاز در سطح دوم که از تأمین‌کنندگان خریداری می‌شوند. (فرض بر این است که هر تأمین‌کننده فقط یکی از قطعات را تأمین می‌کند بنابراین k اندیس مربوط به تأمین‌کننده نیز می‌باشد. $(k = ۱, ۲, \ldots, K)$؛

n: اندیس مربوط به محصولات تولیدی در سطح دوم $(n = ۱, ۲, \ldots, N)$؛

- **پارامتر**

P_n: قیمت فروش محصول نهایی n؛

v_n: هزینه متغیر تولید محصول n؛

h_n: هزینه هر واحد نگهداری محصول باقیمانده n در انتهای دوره؛

π_n: هزینه هر واحد کمبود محصول n در انتهای دوره؛

w_k: قیمت خرید ماده خام k توسط تولیدکننده از تأمین‌کننده k؛

c_k: قیمت تأمین (خرید یا تولید) ماده خام k توسط تأمین‌کننده‌ی k؛

$m_{n,k}$: تعداد ماده خام و یا قطعه k به کار رفته در ساخت یک واحد محصول n ؛

$tmax_k$: حداکثر موعد پرداخت فاکتور k؛

r_f: نرخ بهره بدون ریسک؛

r_l: نرخ بهره وام؛

r_m: نرخ بازگشت سرمایه‌ی تولیدکننده؛

I_n: موجودی اولیه محصول n؛

$B_۰$: بودجه در ابتدای دوره؛

ML: حداکثر ظرفیت تأمین مالی خارجی.

- **متغیر تصمیم**

R_n: میزان موجودی محصول نهایی بلافاصله بعد از تولید؛

Q_n: مقدار تولید بهینه محصول n توسط تولیدکننده؛

Q_k: مقدار سفارش ماده خام k از تأمین‌کننده k؛

t_k: زمان پرداخت صورتحساب بابت خرید ماده خام k به تأمین‌کننده مربوطه؛

x_k^i: متغیر باینری مربوط به انتخاب گزینه‌های موجود در قرارداد اعتبار تجاری؛

l: میزان وام دریافتی توسط تولیدکننده در اول دوره؛

u_k: نرخ تخفیف برای ماده خام k؛

τ_k: نرخ روزانه دیرکرد پرداخت صورت حساب مربوط به محصول k؛

b_k: پایان مهلت دوره مشمول تخفیف؛

d_k: پایان مهلت دوره بدون جریمه.

پانوشت‌ها

1. Trade Credit Financing
2. Differential Evolution
3. Supply Chain Finance
4. Partial Credit Guarantee
5. Revenue Sharing
6. Buy-Back
7. Mixed Integer Nonlinear Programming Problem
8. Bi-Level Optimization Problem
9. Nonlinear Programming

10. Strategy Profile
11. Intensification
12. Diversification

منابع (References)

1. Petersen, M.A. and Rajan, R.G., 2015. Trade credit: Theories and evidence. *Rev Financ Stud*, *10*, pp.661-91.
2. Feng, L. and Chan, Y.L., 2019. Joint pricing and production decisions for new products with learning curve effects under upstream and downstream trade credits. *Eur J Oper Res*, *272*, pp.905-13. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.07.003.
3. Sinha, A., Malo, P. and Deb, K., 2018. A Review on bilevel optimization: From classical to evolutionary approaches and applications. *IEEE Trans Evol Comput*, *22*, pp.276-95. https://doi.org/10.1109/TEVC.2017.2712906.
4. Fugate, B., Sahin, F. and Mentzer, J.T., 2006. Supply Chain managment coordination mechanisms. *J Bus Logist*, *27*, pp.129-61. https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2006.tb00220.x.
5. Li, X. and Wang, Q., 2007. Coordination mechanisms of supply chain systems. *Eur J Oper Res*, *179*, pp.1-16. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.06.02.
6. Arshinder, Kanda.A. and Deshmukh, S.G., 2008. Supply chain coordination: Perspectives, empirical studies and research directions. *Int J Prod Econ*, *115*, pp.316-35. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.05.011.
7. Arshinder, K., Kanda A, Deshmukh, S.G., 2011. *A Review on Supply Chain Coordination: Coordination Mechanisms, Managing Uncertainty and Research Directions.* Supply Chain Coord. under Uncertain., Springer Berlin Heidelberg, pp.39-82. https://doi.org/10.1007/978-3-642-19257-9_3.
8. Govindan, K., Popiuc, M.N. and Diabat, A., 2013. Overview of coordination contracts within forward and reverse supply chains. *J Clean Prod*, *47*, pp.319-34. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.001.
9. Babich, V. and Kouvelis, P., 2018. Introduction to the special issue on research at the interface of finance, operations, and risk management (iFORM): Recent contributions and future directions. *Manuf Serv Oper Manag*, *20*, pp.1-18. https://doi.org/10.1287/msom.2018.0706.
10. Dada, M. and Hu, Q., 2008. Financing newsvendor inventory. *Oper Res Lett*, *36*, pp.569-73. https://doi.org/10.1016/j.orl.2008.06.004.
11. Yan, N. and Sun, B., 2013. Coordinating loan strategies for supply chain financing with limited credit. *OR Spectr*, *35*, pp.1039-58. https://doi.org/10.1007/s00291-013-0329-4.
12. Lin, Q. and Xiao, Y., 2018. Retailer credit guarantee in a supply chain with capital constraint under push & pull contract. *Comput Ind Eng*, *125*, pp.245-57. https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.08.029.
13. Lu, Q., Gu, J. and Huang, J., 2019. Supply chain finance with partial credit guarantee provided by a third-party or a supplier. *Comput Ind Eng*, *135*, pp.440-55. https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.06.026.
14. Yan, B., Luo, K., Liu, L.F., Chen, Y.R. and Yang, Y.F., 2020. Supply chain finance: A three-party decision model with suppliers' guarantees for retailers. *Manag Decis Econ*, *41*, pp.1174-94. https://doi.org/10.1002/mde.3164.
15. Hwan Lee, C.H. and Rhee, B.D., 2010. Coordination contracts in the presence of positive inventory financing costs. *Int J Prod Econ*, *124*, pp.331-9. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.11.028.
16. Moon, I., Feng, X.H. and Ryu, K.Y., 2015. Channel coordination for multi-stage supply chains with revenue-sharing contracts under budget constraints. *Int J Prod Res*, *53*, pp.4819-36. https://doi.org/10.1080/00207543.2014.993438.
17. Feng, X., Moon, I. and Ryu, K., 2015. Supply chain coordination under budget constraints. *Comput Ind Eng*, *88*, pp.487-500. https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.08.005.
18. Xiao, S., Sethi, S.P., Liu, M. and Ma, S., 2017. Coordinating contracts for a financially constrained supply chain. *Omega (United Kingdom)*, *72*, pp.71-86. https://doi.org/10.1016/j.omega.2016.11.005.
19. Yan, N., Liu, Y., Liu, C. and Dai, H., 2018. Coordination in supply chain finance under CVaR criteria. *IEEE Int. Conf. Ind. Eng. Eng. Manag.*, *vol. 2017- Decem*, pp.455-9. https://doi.org/10.1109/IEEM.2017.8289932.
20. Lee, C.H. and Rhee, B.D., 2011. Trade credit for supply chain coordination. *Eur J Oper Res*, *214*, pp.136-46. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.04.004.
21. Kouvelis, P. and Zhao, W., 2012. Financing the newsvendor: Supplier vs. bank, and the structure of optimal trade credit contracts. *Oper Res*, *60*, pp.566-80. https://doi.org/10.1287/opre.1120.1040.
22. Chen, X. and Wang, A., 2012. Trade credit contract with limited liability in the supply chain with budget constraints. *Ann Oper Res*, *196*, pp.153-65. https://doi.org/10.1007/s10479-012-1119-0.
23. Ebrahimi, S., Hosseini-Motlagh, S.M. and Nematollahi, M., 2019. Proposing a delay in payment contract for coordinating a two-echelon periodic review supply chain with stochastic promotional effort dependent demand. *Int J Mach Learn Cybern*, *10*, pp.1037-50. https://doi.org/10.1007/s13042-017-0781-6.
24. Ding, W. and Wan, G., 2020. Financing and coordinating the supply chain with a capital-constrained supplier under yield uncertainty. *Int J Prod Econ*, *230*, p.107813. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107813.
25. Lin, Q., Peng, Y. and Hu, Y., 2020. Supplier financing service decisions for A capital-constrained supply Chain: Trade credit Vs. combined credit financing. *J Ind Manag Optim*, *16*, pp.1731-52. https://doi.org/10.3934/jimo.2019026.
26. Emtehani, F., Nahavandi, N. and Rafiei, F.M., 2021. A joint inventory-finance model for coordinating a capital-constrained supply chain with financing limitations. *Financ Innov*, *7*, p.1-39. https://doi.org/10.1186/s40854-020-00223-z.
27. Zhang, X., Xiu, G., Shahzad, F. and Duan, Y., 2021. Optimal financing strategy in a capital-constrained supply chain with retailer green marketing efforts. *Sustain*, *13*, pp.1-19. https://doi.org/10.3390/su13031357.

28. Silaghi, F. and Moraux, F., 2022. Trade credit contracts: Design and regulation. *Eur J Oper Res*, *296*, pp.980-92. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.04.036.

29. Emtehani, F., Nahavandi, N. and Rafiei, F.M., 2021. An operations-finance integrated model with financial constraints for a manufacturer in a multi-supplier multi-product supply chain. *Comput Ind Eng*, *153*, pp.107-102. https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107102.

30. Hansen, P., Jaumard, B. and Savard, G., 1992. New branch-and-bound rules for linear bilevel programming. *SIAM J Sci Stat Comput*, *13*, pp.1194-217. https://doi.org/10.1137/0913069.