Industrial Management Perspective

Print ISSN: 2251-9874, Online ISSN: 2645-4165
Volume 11, Serial Number 41, Spring 2021, Pages 117-145 (Original Article)
DOI: 10.52547/JIMP.11.1.117

Cash flow Optimization in Medicine Supply Chain: A Supply Risk Approach

Rahim Foukerdi[*], Zenab Talavari[**]

Abstract

Despite the increasing importance of cash flow management in the financial supply chain, limited works have been conducted in this field. This research optimizes the flow of money in the medical supply chain from the viewpoint of a distribution company. In this context, the focal company receives the medical supplies from the upstream suppliers and sells them to the downstream retailers and makes payments to suppliers with earned money from retailers. The imbalance between the cash inflow and outflow causes the imposition of a penalty for late-payments and supply risk as a result of the poor reputation in the market. In this context, the question is which payment sequence will minimize the total monetary outflows and the risk of supply. To answer this question, a bi-objective 0-1 linear programming model was developed. Solving the model by genetic algorithm determined the best sequence of payments and minimized the cash outflow as well as the risk of violation of the due date for the invoices.

Keywords: Genetic Algorithm; Cash Flow; Medicine Supply Chain; Financial Supply Chain; Mathematical Model Building.

Received: Aug. 05, 2019; Accepted: Aug. 22, 2020.
* Assistant Professor, University of Qom.
Email: r.foukerdi@gmail.com
** Master, University of Qom.

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

شاپای چاپی: ۹۸۷۴-۲۲۵۱، شاپای الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵

سال یازدهم، شماره ۴۱، بهار ۱۴۰۰، ص‌ص ۱۱۷ – ۱۴۵ (**نوع مقاله: پژوهشی**)

DOI: 10.52547/JIMP.11.1.117

بهینه‌سازی جریان وجوه نقد در زنجیره تأمین دارو: رویکرد ریسک تأمین

رحیم فوکردی*، زینب طلاوری**

چکیده

مدیریت جریان وجوه نقد از اهمیت روزافزونی در زنجیره‌های تأمین برخوردار است. در پژوهش حاضر این جریان در زنجیره تأمین دارو و از منظر یک شرکت پخش بهینه می‌شود. در این زنجیره، شرکت پخش داروهای دریافتی از تأمین‌کنندگان بالادست را به خرده‌فروشی‌های پایین‌دست می‌فروشد و با پول دریافتی از آن‌ها صورت‌حساب‌های تأمین‌کنندگان را تسویه می‌کند. ناهماهنگی بین جریان‌های ورودی و خروجی وجوه نقد، علاوه بر تحمیل جریمه دیرکرد، به سوءشهرت در بازار و در نتیجه عدم‌تأمین مطلوب اقلام دارویی توسط تأمین‌کنندگان منجر می‌شود. در این شرایط، این پرسش مطرح می‌شود که با چه توالی پرداختی می‌توان ضمن یافتن ارزان‌ترین روش تسویه صورت‌حساب‌ها، ریسک تأمین ناشی از سوء شهرت را به حداقل رساند. برای پاسخ به این پرسش، مدل برنامه‌ریزی خطی صفرویک دوهدفه‌ای صورت‌بندی شد. حل مدل توسط الگوریتم ژنتیک ضمن تعیین بهترین توالی پرداخت صورت‌حساب‌ها، جریان مالی خروجی و ریسک ناشی از نقض موعد پرداخت صورت‌حساب‌ها را کمینه کرد.

کلیدواژه‌ها: الگوریتم ژنتیک؛ جریان وجوه نقد؛ زنجیرهٔ تأمین دارو؛ زنجیره تأمین مالی؛ مدل‌سازی ریاضی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۱۴، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۰۱.

* استادیار، دانشگاه قم (نویسنده مسئول).

Email: R.Foukerdi@Gmail.Com

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه قم.

۱. مقدمه

حلقه‌های زنجیرهٔ تأمین از طریق جریان مواد، اطلاعات و پول بـه هـم وصـل می‌شـوند. در ایـن زنجیره، مواد اولیه و محصول نهایی جریانی روبه‌پایین، پول جریانی روبه‌بالا و اطلاعـات جریـانی دوسویه دارد [۱۹]. اصولاً جریان مالی مکمل جریان تولید است و نقشـی کلیـدی در زنجیـره دارد [۲۸]؛ ازاین‌رو مدیریت جریان وجوه نقد[1] اثری مستقیم بـر بهبـود عملکـرد، افـزایش سـودآوری و تقویت جایگـاه شـرکت دارد [۲۶]. در پیشـینهٔ مـالی، مـدیریت جریـان وجـوه نقـد بـه مـدیریت جریان‌های مالی با هدف تضمین پاسخ به تعهدات مالی، کاهش ریسک‌ها و افزایش نتـایج مـالی برای شرکت اطلاق می‌شود [۲۷].

در زنجیره تأمین دارو، شرکت‌های پخش اقلام دارویی دریافتی از تأمین‌کنندگان بالادست را به خرده‌فروشی‌های پایین‌دست (عموماً داروخانه‌ها، درمانگاه‌ها و بیمارستان‌ها) می‌رسانند و با پول دریافتی از آن‌ها صورت‌حساب‌های صادره توسط تأمین‌کنندگان را تسویه می‌کنند. مشکل ازآنجا شروع می‌شود که بیشتر خرده‌فروشی‌ها قادر به پرداخت به‌موقع وجوه اقلام خریداری‌شده نیستند و این در حالی است که اغلب تأمین‌کنندگان بالادست یا حاضر به فروش مدت‌دار محصولات خود به شرکت‌های پخش نیستند یا جرائمی را بابت تأخیر در تسویه صورت‌حساب‌ها به این شرکت‌ها تحمیل می‌کنند. به‌علاوه با وجود تأکید بر ایجاد اعتماد و روابط بلندمدت با تأمین‌کنندگان اقلام دارویی، تأخیر در تسویه به‌موقع صورت‌حساب‌ها اغلب موجب سلب اعتماد و آسیب به خوش‌نامی شرکت‌های پخش می‌شود که این موضوع در بلندمدت ریسک‌هایی را از بابت تأمین مطلوب دارو، به‌ویژه اقلام دارویی کلیدی‌تر، متوجه آن‌ها می‌کند [۲۹].

بررسی میدانی نشان می‌دهد که برای مواجهه با این مشکل، شرکت‌های پخـش عمومـاً از دو راهبرد شامل ۱. تعریف شرایط پرداخت با تأمین‌کنندگان و ۲. اولویت‌بندی اقلام دارویـی اسـتفاده می‌کنند. در راهبرد نخست، شرکت پخش با توجه به ارزش جـاری پـول، وضـع نقـدینگی، تـوان رقابت و حفظ و توسعه سهم بازار می‌کوشد تا با تأمین‌کنندگان برای دستیابی به شرایط معقـول و منصفانه پرداخت چانه‌زنی کند. در راهبرد دوم، شرکت پخش با توجه به دو عامل ریسک تـأمین و میزان اثر بر سود شرکت، اقلام دارویی و بـه‌تبع آن تأمین‌کننـدگان ایـن اقـلام را در چهـار گـروه «راهبردی»، «اهرمی»، «گلوگـاهی» و «غیرکلیـدی» طبقه‌بنـدی می‌کنـد و در قبـال هـر یـک سیاست پرداخت متفاوتی را در پیش می‌گیرد [۲۵].

اصولاً اقلام راهبردی ضمن اثر قابل‌توجه بر سود، ریسـک تـأمین بـالایی دارنـد. ایـن اقـلام توسط تعداد انگشت‌شماری شرکت معتبر خارجی تأمین می‌شوند و شرکت پخـش بـرای گریـز از ریسک تأمین این اقلام و دستیابی به سود قابل‌توجه، همـه کوشـش خـود را بـرای حفـظ روابـط

1. Cash Flow Management

ماندگار با این تأمین‌کنندگان به‌کار می‌گیرد. در اینباره خرید نقدی اقدامی ارجح محسوب می‌شود.

دستهٔ دوم اقلام دارویی مندرج در فهرست دارویی شرکت‌های پخش به اقلام اهرمی اختصاص دارد. این اقلام به‌رغم ریسک تأمین پایین، سهم زیادی در سودآوری شرکت دارند. ریسک تأمین پایین به معنای وجود تأمین‌کنندگان متعدد است و شرکت به گزینه‌های زیادی برای تأمین این نوع اقلام دسترسی دارد؛ ازاین‌رو شرکت‌های پخش با عقد قراردادهای خرید غیرنقدی و درعین‌حال مدت‌دار با توانمندترین تأمین‌کنندگان اقلام اهرمی سعی در تضمین سودی مستمر و کم‌ریسک برای خود دارند.

علاوه بر اقلام راهبردی و اهرمی، دسته سومی از اقلام دارویی وجود دارند که به‌رغم سود اندک، ریسک تأمین بالایی دارند. این اقلام که با عنوان اقلام گلوگاهی شناخته می‌شوند، متأثر از سیاست‌های قیمت‌گذاری دولت هستند و عموماً مشتریان خاص خود را دارند. ناتوانی کشور در تولید اقلام گلوگاهی، نیاز مبرم بیماران، اندک‌بودن تعداد بیماران نیازمند به این داروها و قیمت بالای این اقلام موجب شده است تا دولت در قبال این اقلام سیاست‌های حمایتی سخت‌گیرانه‌ای را اتخاذ کند. قیمت‌گذاری دستوری اقلام دارویی گلوگاهی سود اندکی را متوجه شرکت‌های پخش می‌کند و این در حالی است که به‌واسطه دسترسی تعداد اندکی از تولیدکنندگان جهانی به دانش فنی تولید این نوع داروها، تأمین آن‌ها اغلب با ریسک بالایی همراه است. با آنکه شرکت‌های پخش می‌کوشند تا با درنظرگرفتن ذخیره‌های احتیاطی و احیاناً یافتن تولیدکنندگان جدید بخشی از این ریسک را کاهش دهند، عقد قراردادهای غیرنقدی که متضمن فروش حجم مشخصی دارو طی بازه زمانی معین از سوی تأمین‌کننده باشد، راهبردی مرسوم به‌حساب می‌آید.

سرانجام، اقلام دارویی غیرکلیدی چهارمین گروه تشکیل‌دهنده فهرست دارویی شرکت‌های پخش هستند. با آنکه این اقلام عرضه‌کنندگان بسیاری در بازار دارند و با ریسک تأمین اندکی روبه‌رو هستند، سود چندانی متوجه شرکت‌های پخش نمی‌کنند. قاعدتاً تولیدکنندگان برای فروش این نوع اقلام چاره‌ای جز فروش مدت‌دار با کارمزد پایین ندارند؛ درنتیجه نگرانی چندانی بابت تأخیر بیش‌ازحد در بازپرداخت صورت‌حساب‌های ارسالی تأمین‌کنندگان متوجه شرکت‌های پخش نمی‌شود. به این ترتیب مدیر شرکت پخش مایل است در مواجهه با صورت‌حساب‌های دریافتی، توالی پرداخت‌ها را به‌گونه‌ای تعیین کند که ضمن کمینه‌کردن جریان وجوه نقد خروجی شرکت، با کم‌ترین تخطی از شرایط پرداخت صورت‌حساب‌ها بر حفظ اعتبار و خوش‌نامی خود نزد تأمین‌کنندگان بیافزاید و از این طریق ریسک تأمین خود را کاهش دهد.

هرچند طی سال‌های اخیر، پژوهش‌های فراوانی با هدف بهینه‌سازی جریان مواد در زنجیره‌های تأمین صورت گرفته است، کوشش اندکی برای مدیریت جریان‌های نقدی در زنجیره‌های تأمین انجام شده است [۳۳، ۲۱]. پژوهش حاضر با مدل‌سازی ریاضی جریان وجوه

نقد در زنجیره تأمین دارو می‌کوشد تا ضمن توجه به ریسک تأمین اقلام دارویی، جریان‌های پولی خروجی بابت تسویه صورت‌حساب‌های دریافتی یک شرکت پخش به‌عنوان تابعی از حجم و نوع کالای خریداری‌شده، زمان پرداخت، سیاست‌های تسویه و نرخ بهره بانکی را کمینه کند.

در ادامه، سازمان‌دهی مقاله به این شرح است: پس از مرور گستردهٔ پیشینهٔ مدیریت جریان وجوه نقد و شناسایی شکاف پژوهشی موجود، به روش‌شناسی پژوهش اشاره می‌شود. در این بخش، ضمن بیان تفصیلی مفروضات و مبانی صورت‌بندی مدل ریاضی مسئله پژوهش و اثبات ماهیت چندجمله‌ای غیرقطعی[1] (به‌اختصار، NP_Complete) آن، اشاره‌ای اجمالی به روش حل مدل می‌شود. در ادامه، نتایج و یافته‌های حاصل از حل مدل ارائه خواهد شد و با بیان محدودیت‌ها و ارائه پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی، مقاله به پایان می‌رسد.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

به زعم گوپتا و دوتا[2] (۲۰۱۱) چند تفاوت اساسی بین جریان روبه‌پایین مواد و جریان روبه‌بالای پول وجود دارد [۱۹]. در جریان روبه‌پایین، نگهداشت کالا و مواد موجب افزایش هزینه‌های نگهداری می‌شود؛ درحالی‌که در جریان روبه‌بالا، معطل‌نگه‌داشتن پول به نفع سازمان است. به‌علاوه حجم کالا و موادی که از طریق جریان روبه‌پایین به شرکای پایین‌دست زنجیره تحویل داده می‌شود به میزان سفارش ارسال‌شده توسط آن‌ها بستگی دارد و تا زمانی که تغییری در حجم سفارش از سوی سفارش‌دهنده صورت نگیرد، حجم سفارش بدون تغییر باقی می‌ماند؛ اما در جریان روبه‌بالای پول، وجوه پرداختی به شریک بالادست معمولاً متأثر از ضوابط پرداخت است و می‌تواند مشمول جریمه یا تخفیف شود.

تفاوت ماهوی جریان‌های کالا و پول باعث شده است تا از اصطلاح «زنجیرهٔ تأمین مالی»[3] برای متمایزسازی جریان پول از دیگر جریان‌های زنجیره استفاده شود. زنجیرهٔ تأمین مالی شامل فرایندها و تراکنش‌هایی است که به‌طور مستقیم بر جریان مالی و ساختار سرمایه اثر می‌گذارند. امروزه این مفهوم کاربردی گسترده یافته است و افزایش تقاضا برای کاهش ریسک، ارتقای کارایی و رشد مستمر، حیطه فعالیت مدیریت زنجیرهٔ تأمین مالی را به سمت بهینه‌سازی عملکرد سطوح سرمایه و کاراترکردن فرایند دریافت صورت‌حساب و حذف هزینه‌های اضافی مرتبط با پرداخت‌ها سوق داده است [۱۴]. اصولاً شرکت‌ها برای تأمین هزینه‌ها و پرداخت بدهی‌ها در موعد مقرر به وجوه نقد نیاز دارند. در این شرایط، ناهماهنگی بین جریان‌های ورودی و خروجی وجوه نقد، لزوم پیش‌بینی دقیق زمان و میزان ورود نقدینگی و هزینه‌بربودن ایجاد توازن در

1. Non-Deterministic Polynomial
2. Gupta & Dutta
3. Financial Supply Chain

نقدینگی یا تأمین کسری نقدینگی، مدیریت اثربخش جریان وجوه نقد را اجتناب‌ناپذیر کرده است [۳۵]. درمجموع، زنجیرهٔ تأمین مالی دارای پیشینه گسترده‌ای نیست. اساساً تمرکز بیشتر بر حرکت کالا و خدمات در زنجیره تأمین و چشم‌پوشی از جریان پول و فعالیت‌های مرتبط با آن موجب کم‌توجهی پژوهشگران به فرایندهای مالی مانند صورت‌حساب‌ها، پرداخت‌ها و تراکنش‌های بانکی شده است [۵]. از منظر وظایف ماهوی مدیران مالی، پژوهش‌های انجام‌شده پیرامون مسئله پژوهش به دو دسته تقسیم می‌شود. درحالی‌که در دسته نخست، پژوهشگران بر طراحی سازوکارهای جذب و سرمایه‌گذاری منابع در بازارهای مالی تأکید دارند، پژوهش‌های دسته دوم بر موازنه جریان‌های ورودی و خروجی وجوه متمرکز هستند. برای متمایزسازی پژوهش حاضر از دیگر پژوهش‌ها، در ادامه پیشینه با توجه به تعاریف، ویژگی‌های عمومی، هدف‌ها و پارامترهای منتخب در این دو گروه به شرح زیر طبقه‌بندی شده است:

تأمین مالی و سرمایه‌گذاری در دارایی‌ها. در مدیریت مالی، برنامه‌ریزی تاکتیکی جریان وجوه نقد اقدامی کلیدی برای کمینه‌کردن هزینه‌های مالی ناشی از به‌کارگیری منابع جذب‌شده از عامل سوم (مانند بانک‌ها) و بیشینه‌کردن عایدی حاصل از سرمایه‌گذاری این منابع محسوب می‌شود [۱۶]. بامول[1] (۱۹۵۲) از نخستین افرادی بود که سعی در مدل‌سازی این فرایند داشت. وی با هدف حفظ تعادل نقدی با کمترین هزینه، شش فرض ۱. ثابت‌بودن نرخ جریان وجوه نقد در هر دوره، ۲. نامحدودبودن افق برنامه‌ریزی، ۳. عدم‌مواجهه با کمبود نقدینگی، ۴. تعلق هزینه نگهداری به دارایی‌های نقد، ۵. یک‌باره‌بودن دریافت‌ها و ۶. تدریجی‌بودن پرداخت‌ها را در مدل خود لحاظ کرد. این مدل مشخص کرد که در چه زمانی و در چه سطحی از مانده خالص نقد، چه میزان سرمایه‌گذاری شود [۳]. میلر و اور[2] (۱۹۶۶) با فرض ثابت‌بودن نرخ ورود وجوه نقد، مدلی را برای کمینه‌کردن هزینه معاملات ارائه دادند. این مدل با تصادفی‌دانستن جریان پول خروجی، حدود بالا و پایینی را برای این جریان در نظر می‌گرفت. در مدل پیشنهادی، تعداد معاملات هر دوره متغیری تصادفی بود [۳۰]. این مدل بعدها توسط پژوهشگران دیگر به نقد کشیده شد. برای نمونه، بادل[3] و همکاران (۲۰۰۵) عنوان داشتند که خروجی پول نقد قابل‌کنترل و غیرتصادفی است و می‌توان به کمک مدلی قطعی جریان وجوه نقد را بهینه کرد [۲].

گرابرت و ادوین[4] (۱۹۷۰) از مدل‌سازی پویا برای تعیین سطح بهینه جریان وجوه نقد بهره بردند [۱۸]. این مدل بر اساس مدل بامول (۱۹۵۲) پایه‌ریزی شده بود و سعی در کمینه‌سازی ارزش جاری هزینه‌های آتی موردانتظار داشت [۳]. گروملی و مید[5] (۲۰۰۷)، از مدلی صفرویک برای

1. Baumol
2. Miller & Orr
3. Badell
4. Grubert & Edwin
5. Gormley & Meade

کمینه‌سازی هزینه‌های معامله بهره بردند که بر اساس پیش‌بینی گردش وجوه نقد عمل می‌کرد. حل مدل نشان داد که تمرکز نقدینگی موجب کاهش استقراض و افزایش بازده دارایی‌ها می‌شود [۱۷]. الخولی[1] (۲۰۱۴) از مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی برای بهینه‌سازی نقدینگی با سه سه هدف متضاد ۱. حداکثرکردن پول نقد در پایان دوره، ۲. حداقل‌کردن هزینه پول نقد در پایان دوره و ۳. حداقل‌کردن تراز نقدینگی[2] ابتدای دوره استفاده کرد [۱۱]. موسوی حیدر و جابر[3] (۲۰۱۳) از مدلی خطی برای بهینه‌سازی توازن جریان‌های نقدی (مقدار و زمان پرداخت به تأمین‌کنندگان) و تأمین مالی (حداکثر سطح نقدینگی و مقدار استقراض بانکی) بهره بردند [۳۱]. این مدل هم‌زمان جریان وجوه نقد و تصمیم‌های تأمین مالی را بهینه می‌کرد.

اخیراً توجه پژوهشگران حوزه مدیریت تأمین و سرمایه‌گذاری به مدیریت ریسک‌های مرتبط با فرایندهای تأمین مالی و سرمایه‌گذاری در دارایی‌ها جلب شده است. برای مثال، کرامری[4] و همکاران (۲۰۱۷)، با تأکید بر لزوم کمینه‌کردن ریسک به‌عنوان یکی از وظایف ماهوی مدیریت جریان وجود نقد، مدل شبیه‌سازی دوهدفه‌ای را برای حداکثرکردن عملکرد در بازارهای بین‌المللی مالی و حداقل‌کردن اثر منفی ریسک‌های موجود در این بازارها (مانند ریسک ناشی از برآورده‌نشدن تعهدات توسط مشتریان، ریسک ناشی از برآورده‌نشدن تعهدات توسط بانک‌ها و ریسک ناشی از نوسانات نرخ ارز) ضمن حفظ توانگری مالی شرکت (دراختیارداشتن وجوه نقد کافی برای پاسخ به تعهدات) در یک بازه زمانی معین ارائه دادند [۲۷]. الجزار[5] و همکاران (۲۰۱۶) با درنظرگرفتن این واقعیت که شرکت‌ها برای کاهش مخارج سرمایه[6] و هماهنگی بیشتر در طول زنجیره تأمین از سازوکار تأخیرهای مجاز در پرداخت بهره می‌گیرند، ۹ سناریوی مختلف برای تأخیرهای مجاز در یک زنجیره سه‌سطحی (تأمین‌کننده ـ تولیدکننده ـ خرده‌فروش) را شبیه‌سازی کردند. این مدل ضمن تعیین بهترین سناریو برای تأخیرهای مجاز پیشنهادی از سوی تأمین‌کننده به تولیدکننده و از سوی تولیدکننده به خرده‌فروش، موعد پرداخت‌ها را تعیین می‌کرد [۱]. سالاس‌مولینا[7] و همکاران (۲۰۱۹)، برای مواجهه با نااطمینانی موجود در مدیریت هم‌زمان چند حساب بانکی، از مدل برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی برای تولید سیاست‌های مالی پایدار بهره بردند. این مدل در پی بهینه‌سازی هم‌زمان سه آرمان هزینه انتقال وجوه میان حساب‌های بانکی، ریسک نگهداری وجوه در حساب‌ها و ایجاد توازن پایدار بین وجوه نقد دریافتی از مشتریان و ارسالی به تأمین‌کنندگان، کارمندان و سایر بستانکاران شرکت بود [۴۱].

---

1. El-kholy
2. Cash Balance
3. Moussawi-Haidar & Jaber
4. Krumrey
5. Aljazzar
6. Capital Expenditures
7. Salas-Molina

ریجتو[1] و همکاران (۲۰۱۶) از برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای پشتیبانی تصمیم-های مدیران مالی در شرکت‌های تولیدکننده نوشت‌افزار استفاده کردند. پژوهشگران با مدل‌سازی استقراض بانکی و نااطمینانی موجود در عایدی‌های حاصل از سرمایه‌گذاری در دارایی‌های با فرجه‌های زمانی[2] مختلف، امکان بده‌بستان بین ریسک‌ها و عایدی‌ها را در طول افق زمانی معین فراهم کردند [۳۶]. سرانجام، ریجتو و همکاران (۲۰۱۶) با درنظرگرفتن عدم‌اطمینان ناشی از نوسانات نرخ ارز، فرجه زمانی لازم برای ماندن در فرصت‌های سرمایه‌گذاری مختلف و عایدی حاصل از سرمایه‌گذاری در این فرصت‌ها، دو مدل برنامه‌ریزی تصادفی را با هدف بیشینه‌کردن منابع مالی دردسترس در انتهای افق برنامه‌ریزی ارائه دادند [۴۳].

توازن جریان وجوه نقد ورودی و خروجی. یکی دیگر از وظایف مدیران مالی ایجاد توازن بین وجوه نقد ورودی و خروجی شرکت در تعامل با دیگر فعالان زنجیره تأمین است. این توازن در طول زمان و با توجه به عواملی چون اثرات فصلی، پرداخت‌های ویژه و غیره برقرار می‌شود [۶]. به‌طور مشخص، شرکت‌ها بسته به واکنش سایر اعضای زنجیره تأمین، علاقه‌مند به دانستن این موضوع هستند که چه میزان پول را چه زمانی پرداخت کنند [۳۲]. پژوهش‌های این گروه عموماً با محوریت پاسخ به یکی از این دو سؤال پایه‌ریزی شده‌اند. برای نمونه، جهانگیری و سیسلجا[3] (۲۰۱۴)، با مدل‌سازی جریان‌های ورودی و خروجی وجوه نقد سعی در بیشینه‌کردن سود شرکت از طریق تعیین بهترین توالی پرداخت داشتند [۲۰]. حل مدل به‌ازای تأخیرهای زمانی مختلف در جریان‌های ورودی وجوه نقد نشان داد که بهترین زمان پرداخت تعهدات تابعی از نسبت میانگین موزون هزینه سرمایه به جریمه تحمیلی ناشی از دیرکرد در پرداخت است؛ ازاین‌رو شرکت‌ها در بعضی مواقع نگهداشت پول را به پرداخت جریمه دیرکرد ترجیح می‌دهند.

با تأکید بر نقش مؤثر چرخهٔ نقد–به–نقد[4] بر عملکرد مالی و بازده دارایی‌ها [۲۲]، فریس و هاچیسون[5] (۲۰۰۲)، شیوه محاسبه این متغیر را با استفاده از عوامل اثرگذار بر آن بررسی کردند [۱۳]. آن‌ها این چرخه را پل ارتباطی فعالیت‌های خرید از مرحله تأمین تا مراحل تولید، فروش و مصرف دانستند و نشان دادند که مدیریت بهینه حساب‌های دریافتنی، حساب‌های پرداختنی و موجودی مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کوتاه شدن چرخه نقد–به–نقد در زنجیره‌های تأمین هستند.

گوپتا و دوتا (۲۰۱۱) با هدف کمینه‌سازی جریان وجوه نقد خروجی، مدل برنامه‌ریزی خطی صفرویکی را صورت‌بندی کردند که مبلغ صورت‌حساب‌های دریافتی، نرخ تخفیف ناشی از تسویه

1. Righetto
2. Grace Priods
3. Jahangiri & Cecelja
4. Cash-to-Cash (C2C)
5. Farris & Hutchison

زودتر از موعد، زمان‌های پرداخت مشمول تخفیف، موعد پرداخت صورت‌حساب‌ها، نرخ جریمه تأخیر، زمان صدور صورت‌حساب توسط تأمین‌کننده، سود روزانه حاصل از سپرده‌گذاری وجوه در بانک، مبالغ دریافتی از خریداران پایین‌دست و موجودی نقد ابتدای دوره، پارامترهای آن و پرداخت یا عدم‌پرداخت هر صورت‌حساب در زمان t متغیر تصمیم آن بود [۱۹]. به‌طور مشابه، ویو[1] و همکاران (۲۰۱۳)، مدل ریاضی پویایی را برای بهینه‌سازی جریان وجون نقد خروجی یک تولیدکننده در زنجیره تأمینی سه‌سطحی (تأمین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده) ارائه دادند. حل این مدل بهترین توالی پرداخت صورت‌حساب‌ها را ارائه می‌داد [۴۳]. پنگ و ژو[2] (۲۰۱۹) با استفاده از نظریه بازی‌ها مسئله تعیین «میزان پرداخت‌ها» را در یک زنجیره دوسطحی با تقاضای احتمالی و نرخ‌های تنزیل متفاوت برای طرفین مدل کردند. حل مدل نشان داد که شرکت‌های دارای نرخ تنزیل پایین‌تر با هدف سرعت‌بخشیدن به حجم مبادلات نقدی خود در مواجهه با شرکت‌های دارای نرخ تنزیل بالاتر درصدد تعدیل دوره‌های زمانی پرداخت هستند و اگر شرکت‌های دارای نرخ تنزیل بالاتر با تعدیل قیمت‌ها درصدد انتقال تمام سود ناشی از پایین‌بودن نرخ تنزیل به شرکت‌های دارای نرخ‌های پایین برآیند، سود کل زنجیره بیشینه خواهد شد [۳۲].

شکاف پژوهشی. بیشتر پژوهش‌های متمرکز بر سیاست‌های تأمین مالی و سرمایه‌گذاری در دارایی‌های مالی در پی کمینه‌کردن هزینه اتخاذ این سیاست‌ها و اخیراً کمینه‌کردن هزینه‌ها و ریسک‌های مرتبط با این سیاست‌ها بوده‌اند و کمتر بر زمان‌بندی پرداخت‌ها به تأمین‌کنندگان با توجه به وجوه دریافتی از مشتریان همت تمرکز کرده‌اند. یادآور می‌شود ریسک‌های مدنظر در این پژوهش‌ها عموماً سیستماتیک هستند و در نوسانات و اختلالات موجود در بازارهای مالی، مانند نوسانات نرخ ارز، ریشه دارند؛ ازاین‌رو رویکرد مواجهه با این نوع مسائل عمدتاً از جنس مدل‌سازی با مقادیر تصادفی است. از سوی دیگر، آن دسته پژوهش‌های متمرکز بر تعیین زمان‌بندی پرداخت‌ها صرفاً در پی کمینه‌کردن جریان‌های خروجی وجوه نقد بوده‌اند و دست‌کم بر اساس دانش حاصل از مرور پیشینه، مدل‌سازی و حل مسائل چندهدفه‌ای که درصدد کمینه کردن هم‌زمان جریان وجوه نقد خروجی و ریسک‌های مرتبط با این عملیات باشد به چشم نمی‌خورد. در این پژوهش‌ها، پیش‌بینی‌کردن شرایط تسویه صورت‌حساب‌های دریافتی در قراردادها باعث شده است تا در بیشتر مواقع جریان‌های ورودی و خروجی وجوه نقد غیرتصادفی فرض شوند. با توجه به این توضیحات، جدول ۱، جایگاه پژوهش حاضر در پیشینه پژوهش را نمایان می‌کند.

1. Wu
2. Peng & Zhou

۳. روش‌شناسی پژوهش

موردمطالعه پژوهش حاضر یک شرکت پخش دارو است. این شرکت در قبال خرید اقلام دارویی از تأمین‌کنندگان بالادست، صورت‌حساب‌هایی را از آن‌ها دریافت می‌کند که باید در چارچوب زمانی معین به تسویه آن‌ها مبادرت ورزد. هم‌زمان، شرکت با فروش اقلام دارویی به بیمارستان‌ها، درمانگاه‌ها و داروخانه‌ها وجوه لازم برای تسویه صورت‌حساب‌های دریافتی از تأمین‌کنندگان بالادست را تأمین می‌کند. این شرکت برای تسویه صورت‌حساب‌ها از دو سیاست تعریف شرایط تسویه و درجه‌بندی تأمین‌کنندگان بهره می‌گیرد. شرایط تسویه عموماً با توجه به ارزش زمانی پول و با محوریت «تخفیف به دلیل تسویه پیش‌ازموعد» (به‌عنوان درصدی از مبلغ صورت‌حساب) و «جریمه به دلیل تأخیر در تسویه به‌موقع» (به‌عنوان درصدی از مبلغ صورت‌حساب) مشخص می‌شود. این در حالی است که در راهبرد دوم، تسویه صورت‌حساب‌ها با توجه به دو عامل «ریسک تأمین» و «اثر قلم دارویی بر سود شرکت» اولویت‌دهی می‌شود.

اگرچه تلاش شرکت همواره بر اجتناب از تأخیر در تسویه صورت‌حساب‌ها است، نبود توازن بین جریان‌های ورودی و خروجی وجوه نقد تأخیر در تسویه برخی صورت‌حساب‌ها را گریزناپذیر می‌کند. در این شرایط، مدیریت ترجیح می‌دهد با توجه به اهمیت اقلام دارویی و ریسک‌های مترتب بر تأمین آن‌ها، تا حد امکان این تأخیر را مشمول صورت‌حساب‌هایی کند که به اقلام کم‌اهمیت‌تر تعلق دارند. درعین‌حال شرکت مایل است با توجه به جرائم دیرکرد و تخفیفات ناشی از تسویه پیش‌ازموعد، میزان وجوه نقد خروجی را کمینه کند. این موضوع از آن نظر اهمیت دارد که شرکت می‌تواند با سپرده‌گذاری وجوه بلااستفاده در بانک ، سود کسب کند. قاعدتاً این سود به‌عنوان بخشی از جریان ورودی به شرکت بازمی‌گردد؛ بنابراین مسئله اصلی پیش روی مدیریت، تعیین توالی تسویه صورت‌حساب‌های دریافتی با هدف کمینه‌کردن جریان‌های خروجی وجوه نقد و ریسک تأمین ناشی از تأخیر در تسویه به‌موقع صورت‌حساب‌ها است.

جدول ۱. جایگاه پژوهش در پیشینه

رویکرد برنامه‌ریزی	سطح تحلیل	روش حل	هدف: تأکید بر					روش شناسی	منبع
			زمان پرداخت	مقدار پرداخت	عایدی	ریسک	هزینه		
تصادفی	شرکت	بهینه‌سازی دقیق					*	برنامه‌ریزی خطی صفرویک	[۱۷]
تصادفی	شرکت	بهینه‌سازی دقیق					*	برنامه‌ریزی خطی چندهدفه	[۱۱]
تصادفی	شرکت	بهینه‌سازی دقیق	*	*			*	برنامه‌ریزی خطی	[۳۱]
تصادفی	شرکت	شبیه‌سازی				*	*	برنامه‌ریزی دوهدفه	[۲۷]
تصادفی	زنجیره تأمین دوسطحی	شبیه‌سازی	*				*	برنامه‌ریزی خطی	[۱]
تصادفی	شرکت	بهینه‌سازی دقیق				*	*	برنامه‌ریزی آرمانی	[۴۱]
تصادفی	شرکت	بهینه‌سازی دقیق			*	*	*	برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط	[۳۶]
تصادفی	شرکت	بهینه‌سازی دقیق			*			برنامه‌ریزی خطی	[۳۷]
ایستا	شرکت	بهینه‌سازی دقیق	*		*			برنامه‌ریزی خطی	[۲۰]
ایستا ـ پویا	زنجیره تأمین سه‌سطحی	الگوریتم ابتکاری	*					برنامه‌ریزی خطی	[۱۹]
پویا	زنجیره تأمین سه‌سطحی	–	*					برنامه‌ریزی خطی	[۴۳]
احتمالی	زنجیره تأمین دوسطحی	بهینه‌سازی دقیق		*				نظریه بازی‌ها	[۳۲]
ایستا	زنجیره تأمین سه‌سطحی	الگوریتم ژنتیک	*	*	*	*	*	برنامه‌ریزی خطی دوهدفه صفرویک	این پژوهش

فرضیه‌های مدل پژوهش. با هدف کمینه‌سازی هم‌زمان جریان‌های خروجی وجوه و ریسک تأمین ناشی از تأخیر در تسویه به‌موقع صورت‌حساب‌ها، مدل ریاضی دوهدفه با متغیرهای تصمیم صفرویک برای تعیین بهترین توالی پرداخت صورت‌حساب‌ها صورت‌بندی شد. فرضیه‌های مدل به شرح زیر است:

ـ جریان وجوه در زنجیره‌ای سه‌سطحی (تأمین‌کنندگان اقلام دارویی، شرکت‌های پخش دارویی، بیمارستان‌ها و داروخانه‌ها) و از منظر شرکت پخش مدل می‌شود؛

ـ به‌ازای هر محموله دارویی ارسال‌شده به شرکت یک صورت‌حساب صادر می‌شود؛

ـ شرکت پخش مبلغ هر صورت‌حساب را یکجا تسویه می‌کند؛

ـ در افق برنامه‌ریزی، شرکت پخش همه صورت‌حساب‌های دریافتی را تسویه می‌کند؛

ـ به‌ازای هر روز دیرکرد در تسویه هر صورت‌حساب، درصدی از مبلغ صورت‌حساب به‌عنوان جریمه به شرکت تحمیل می‌شود؛ همچنین در صورت تسویه زودهنگام هر صورت‌حساب، درصدی از مبلغ صورت‌حساب به‌عنوان تخفیف به شرکت تعلق می‌گیرد؛

ـ در افق برنامه‌ریزی، دریافت‌های آتی پول از خرده‌فروشی‌ها مشخص و قطعی است؛

ـ مبلغ، موعد پرداخت و شرایط پرداخت هر صورت‌حساب (موعدی که پرداخت تا قبل از آن مشمول تخفیف خواهد شد، موعدی که پرداخت پس از آن مشمول جریمه خواهد شد، درصد تخفیف، و درصد جریمه روزانه) قطعی و مشخص است؛

ـ نرخ روزانه سود بانکی ثابت، قطعی و مشخص است.

پارامترها و محدودیت‌های مدل پژوهش. برای فهم پارامترهای دخیل و محدودیت‌های حاکم بر مدل، مصاحبه‌هایی با مدیران شرکت ترتیب داده شد. جدول ۲، پارامترها و متغیرهای تصمیم مدل را نشان می‌دهد.

جدول ۲. اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای مدل پژوهش

اندیس‌ها	**نماد**
شماره صورت‌حساب دریافتی در افق زمانی معین	K
افق زمانی برنامه‌ریزی وجوه نقد	T
پارامترها	**نماد**
مبلغ مندرج در صورت‌حساب kام $(\forall k \in K)$	L_k
درصد تخفیف صورت‌حساب kام $(\forall k \in K)$	u_k
زمانی که پرداخت صورت‌حساب kام در آن یا قبل از آن مشمول تخفیف u_k می‌شود $(\forall k \in K)$	b_k
موعد پرداخت صورت‌حساب kام $(\forall k \in K)$	d_k
درصد جریمه روزانه صورت‌حساب k اگر در یا قبل از موعد پرداخت d_k پرداخت نشود $(\forall k \in K)$	v_k

اندیس‌ها	نماد
تاریخ صدور صورت‌حساب kاُم $(\forall k \in K)$	s_k
نرخ سود بانکی روزانه $(r \le v_k)$	r
مجموع مبالغ دریافتی روزانه از کلیه شرکای پایین‌دست در زمان t	q_t
میزان پول دردسترس در ابتدای افق برنامه‌ریزی $(t=0)$	δ
مبلغ پرداختی بابت صورت‌حساب kاُم $(\forall k \in K)$	A_k
مبلغ پرداخت‌شده برای صورت‌حساب kاُم در زمان t $(\forall k \in K, \forall t \in T)$	$A_k(t)$
ارزش فعلی مبلغ پرداخت‌شده برای صورت‌حساب kاُم	PV_k
مجموع جریان نقدی خروجی برای همه صورت‌حساب‌های مجموعه K	Z
درجه تأکید مدیریت بر تسویه به‌موقع صورت‌حساب k در موعد مقرر	ord_k
متغیرهای تصمیم	**نماد**
با پرداخت صورت‌حساب k در زمان t مقدار ۱ و در غیر این صورت مقدار صفر اختیار می‌کند.	x_{kt}
زمان پرداخت صورت‌حساب kاُم $(k \in K)$	f_k
تعداد روزهایی که صورت‌حساب k پس از موعد پرداخت خود تسویه می‌شود $(k \in K)$	$diff_{t,d_k}$

به دلیل محرمانه‌بودن اطلاعات شرکت (مشتمل بر مبلغ صورت‌حساب‌های دریافتی از تأمین‌کنندگان، جزئیات شرایط پرداخت، حجم جریان‌های ورودی به شرکت و غیره) و عدم تمایل مدیریت به ارائه تفصیلی آن‌ها، به دامنه بیشینه و کمینه پارامترهای مدل و برخی اطلاعات لازم برای تعیین افق برنامه‌ریزی بسنده شد. این اطلاعات در جدول ۳، منعکس شده‌اند. هنگام صورت‌بندی مدل، با دراختیارداشتن حدود بالا و پایین پارامترهای مدل و به کمک تابع RANDBETWEEN نرم‌افزار اکسل، مقادیر پارامترها به‌صورت تصادفی تولید شد.

به دلیل وابستگی حجم وجوه نقد ورودی به مبلغ خریدهای صورت‌گرفته از تأمین‌کنندگان بالادست، برای برآورد حجم روزانه وجوه ورودی، ۱. ابتدا بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین صورت‌حساب‌های دریافتی شناسایی و میانگین آن دو حساب شد، ۲. مقدار حاصل در تعداد صورت‌حساب‌های دریافتی از تأمین‌کنندگان ضرب شد، ۳. با لحاظ کردن ۲۰ درصد سود برای شرکت و افزودن آن به مبلغ حاصل از گام ۲، کل حجم نقدینگی ورودی حاصل از داروهای فروخته‌شده به بیمارستان‌ها و داروخانه‌ها به‌دست آمد، ۴. با توجه به انتخاب افق برنامه‌ریزی دوساله برای بهینه‌سازی جریان وجوه، در نرم‌افزار اکسل ۷۳۰ (۳۶۵ × ۲ = ۷۳۰) عدد تصادفی به‌گونه‌ای تولید شد که مجموع آن‌ها برابر با مقدار حاصل از گام ۳ شود و ۵. پس از تأیید واقع‌بینانه‌بودن مبالغ محاسبه‌شده از سوی مدیران شرکت، این مقادیر به‌عنوان پارامترهای مدل ریاضی پژوهش به‌کار رفت.

جدول ۳. دامنه تغییر پارامترهای مدل ریاضی پژوهش

معیار	حد پایین	حد بالا
مبلغ صورت‌حساب ارسالی از سوی تأمین‌کنندگان (برحسب میلیون ریال)	۴۰	۸۰۰
نرخ سود بانکی در افق برنامه‌ریزی (روزانه)	۰/۰۰۱۳	ثابت
روز صدور صورت‌حساب از جانب تأمین‌کنندگان	۱	۱۸۰
افق زمانی تعیین‌شده برای تسویه صورت‌حساب‌ها (برحسب روز = دو سال)	۱	۷۳۰
درصد جریمه دیرکرد در افق برنامه‌ریزی (برحسب روز)	۰/۵	۰/۷
درصد تخفیف	۰/۲	۰/۴

صورت‌بندی مدل پژوهش. مدل ریاضی پژوهش حاضر درواقع بسط مدل پیشنهادی گوپتا و دوتا (۲۰۱۱) است [۱۹]. مدل مزبور، ضمن توجه به شرایط پرداخت صورت‌حساب‌های دریافتی از تأمین‌کنندگان بالادست و کارمزد وجوه سپرده‌گذاری‌شده در بانک، سعی در کمینه‌کردن وجوه نقد لازم برای تسویه صورت‌حساب‌های ارسالی از سوی تأمین‌کنندگان در یک دوره زمانی معین را دارد؛ البته این مدل برخلاف مدل پیشنهادی پژوهش حاضر، تمهیدی برای کمینه‌کردن ریسک تأمین در نظر نگرفته است؛ درحالی‌که هدف مدل ریاضی پژوهش حاضر کمینه‌کردن هم‌زمان وجوه نقد خروجی و ریسک تأمین ناشی از تأخیر در تسویه به‌موقع صورت‌حساب‌های دریافت‌شده از تأمین‌کنندگان است؛ ازاین‌رو طبق رابطه ۱، تابع هدف کمینه‌ساز مسئله از دو هدف z_1 و z_2 تشکیل شده است.

$$Min\ Z_{total} = z_1 + z_2 \qquad (۱)$$

اگر $A_k(t)$ مبلغ پرداختی برای صورت‌حساب kام در روز tام باشد، بسته به زمان پرداخت صورت‌حساب، $A_k(t)$ یکی از مقادیر زیر را اختیار می‌کند:

(الف) صورت‌حساب k در یا قبل از زمان b_k پرداخت شده است و مشمول تخفیف می‌شود:

$$A_k(t) = L_k(1-u_k) \qquad (۲)$$

(ب) صورت‌حساب k پس از زمان b_k و در یا قبل از موعد d_k پرداخت می‌شود:

$$A_k(t) = L_k \qquad (۳)$$

(ج) صورت‌حساب k بعد از موعد d_k پرداخت شده است و به‌صورت روزانه مشمول جریمه v_k می‌شود:

$$A_k(t) = L_k(1+v_k)^{(t-d_k)} \qquad (۴)$$

در این صورت، مبلغ پرداختی برای صورت‌حساب k در زمان t از رابطه ۵، حاصل می‌شود:

$$A_k(t)=\begin{cases} L_k(1-u_k) & \text{اگر } s_k \le t \le b_k \\ L_k & \text{اگر } b_k \prec t \le d_k \\ L_k(1+v_k)^{(t-d_k)} & \text{اگر } d_k \prec t \end{cases} \quad (۵)$$

رابطه ۶، ارزش فعلی جریان خروجی ناشی از پرداخت صورت‌حساب kاُم را نشان می‌دهد.

$$PV_k = A_k(t)/(1+r)^t \quad (۶)$$

با توجه به روابط ۱ تا ۶، مقدار z_1 در رابطه ۱ از رابطه ۷، حاصل می‌شود.

$$z_1 = \sum_{\forall k \in K}\left[\sum_{t=s_k}^{b_k}\frac{L_k(1-u_k)}{(1+r)^t}x_{kt} + \sum_{t=b_k+1}^{d_k}\frac{L_k}{(1+r)^t}x_{kt} + \sum_{t=d_k+1}^{T}\frac{L_k(1+v_k)^{(t-d_k)}}{(1+r)^t}x_{kt}\right] \quad (۷)$$

$$x_{kt} = 0\text{-}1,\ \forall k \in K,\ \forall t \in T$$

نبود توازن بین جریان‌های ورودی و خروجی وجوه نقد موجب اختلال در تسویه به‌موقع صورت‌حساب‌ها می‌شود؛ بنابراین با استفاده از تابع z_2 اندازه این تخطی با توجه به درجه کلیدی بودن صورت‌حساب‌ها به حداقل رسانده می‌شود. همان‌طور پیش‌تر اشاره شد، مدیریت شرکت برای کاهش ریسک تأمین ناشی از تأخیر در تسویه صورت‌حساب اقلام دارویی کلیدی‌تر، صورت‌حساب‌ها را به چهار نوع راهبردی، اهرمی، گلوگاهی و غیرکلیدی تقسیم کرده است. با فرض اینکه $f_k \ge 0$ زمان پرداخت صورت‌حساب kاُم باشد. در این صورت:

$$f_k = \sum_{t=1}^{T} t.x_{kt} \qquad k \in K \quad (۸)$$

طبق رابطه ۱۲، x_{kt} تنها به‌ازای یکی از tها مقدار ۱ اختیار می‌کند؛ بنابراین با ضرب t در متغیر صفرویک x_{kt}، تاریخ پرداخت صورت‌حساب kاُم مشخص می‌شود. اکنون با فرض اینکه متغیر پیوستهٔ $diff_{t,d_k} \ge 0$ تعداد روزهایی را نشان دهد که صورت‌حساب k پس از موعد پرداخت خود تسویه می‌شود؛ در این صورت محدودیت رابطه ۹، به شرح زیر تعریف می‌شود:

$$f_k - d_k \le diff_{t,d_k} \quad \forall k \in K \quad (۹)$$

همان‌طور مشاهده می‌شود، در صورت مثبت‌شدن مقدار سمت چپ نامعادله ۹، ماهیت کمینه‌ساز تابع هدف $z_۲$ باعث می‌شود تا $diff_{t,d_k} \geq ۰$ مقدار $f_k - d_k$ را اختیار کند. این حالت هنگامی رخ می‌دهد که زمان پرداخت صورت‌حساب k (یعنی f_k) پس از موعد پرداخت این صورت‌حساب (یعنی d_k) باشد. از سوی دیگر، در صورت صفر یا منفی‌شدن مقدار سمت چپ نامعادله رابطه ۹، متغیر $diff_{t,d_k} \geq ۰$ مقدار صفر را اختیار می‌کند. این حالت هنگامی رخ می‌دهد که زمان پرداخت صورت‌حساب k (یعنی f_k) هم‌زمان یا پیش از موعد پرداخت این صورت‌حساب (یعنی d_k) باشد؛ بنابراین می‌توان تابع هدف $z_۲$ را به شرح رابطه ۱۰، تعریف کرد:

$$z_۲ = \sum_{k \in K} ord_k \times diff_{t,d_k} \qquad (۱۰)$$

در رابطه ۱۰، ord_k درجه تأکید مدیریت بر تسویه به‌موقع صورت‌حساب k در موعد مقرر را نشان می‌دهد. طبق نظر مدیران شرکت، این پارامتر برای صورت‌حساب‌های راهبردی = ۴، اهرمی = ۳، گلوگاهی = ۲، و غیرکلیدی = ۱ است.

با توجه به نامتجانس‌بودن مقادیر $z_۱$ و $z_۲$، به کمک مقادیر اتوپیا[1] ($z_i^*,\ i = ۱,۲$) و ندیر[2] ($z_i^{Nadir},\ i = ۱,۲$)، رابطه ۱ طبق رابطه ۱۱، نرمال می‌شود. بهره‌گیری از نقاط اتوپیا و ندیر یکی از رویکردهای متداول نرمال‌سازی در بهینه‌سازی‌های تعاملی است [۷].

$$Min\ Z_{total}^{normalized} = \frac{z_۱ - z_۱^*}{z_۱^{Nadir} - z_۱^*} + \frac{z_۲ - z_۲^*}{z_۲^{Nadir} - z_۲^*} \qquad (۱۱)$$

در این رابطه، $z_۱^*$ جواب بهینه منفرد تابع هدف نخست و $z_۲^*$ جواب بهینه منفرد تابع هدف دوم، $z_۱^{Nadir}$ مقدار تابع هدف نخست در صورت بهینه‌سازی منفرد تابع هدف دوم و $z_۲^{Nadir}$ مقدار تابع هدف دوم در صورت بهینه‌سازی منفرد تابع هدف نخست است [۲۴].

برای صورت‌بندی محدودیت‌های مدل از روابط زیر استفاده می‌شود. پیش از هر چیز، واضح است که در طول افق برنامه‌ریزی هر صورت‌حساب باید تنها یک‌بار پرداخت شود؛ بنابراین:

$$\sum_{t=s_k}^{T} x_{kt} = ۱\ ,\ k \in K \qquad (۱۲)$$

1. Utopia
2. Nadir

همچنین هیچ صورت‌حسابی نمی‌تواند قبل از صدور پرداخت شود؛ درنتیجه:

$$x_{kt} = ۱ , k \in K \quad و \quad t < s_k \qquad (۱۳)$$

پی‌بردن به توان شرکت برای پرداخت صورت‌حساب‌ها مستلزم محاسبه میزان پول نقد در دسترس شرکت در هر دوره زمانی است. موجودی نقد شرکت در یک دوره زمانی معین برابر با مجموع پول دریافتی از داروخانه‌ها و بیمارستان‌ها به‌علاوه سود بانکی حاصل از سپرده‌گذاری وجوه بلااستفاده منهای مجموع پول پرداخت‌شده برای صورت‌حساب‌ها تا آن دوره زمانی است. با فرض اینکه در هر دوره زمانی تراکنش‌های مالی (پرداخت صورت‌حساب‌ها و ورود وجوه نقد) هم‌زمان انجام می‌شوند، میزان پول در دسترس از روابط ۱۴ و ۱۵، حاصل خواهد شد.

$$for \ t = ۱ , \ \delta + q_۱ - \sum_{\forall k \in K} x_{k_۱} A_k (۱) \geq ۰ \qquad (۱۴)$$

$$for \ t = ۲ , \ \left[\delta + q_۱ - \sum_{\forall k \in K} x_{k_۱} A_k (۱) \right] (۱ + r) + q_۲ - \sum_{\forall k \in K} x_{k_۲} A_k (۲) \geq ۰ \qquad (۱۵)$$

بدین ترتیب برای هر t مفروض خواهیم داشت:

$$\delta (۱ + r)^{t-۱} + \sum_{t'=۱}^{t} \left[q_{t'} (۱ + r)^{t-t'} - \sum_{k \in K} x_{kt'} A_k (t') (۱ + r)^{t-t'} \right] \geq ۰ \qquad (۱۶)$$
$$\forall t = ۱, ..., T$$

می‌توان با هدف افزایش سرعت حل مسئله، محدودیت‌های اضافه‌ای را برای «کاهش اندازه فضای موجه مسئله» تعریف کرد. این محدودیت‌ها به‌عنوان سیاست‌هایی[1] برای کوچک‌کردن فضای موجه مسئله توسط گوپتا و دوتا (۲۰۱۱) پیشنهاد شده‌اند [۱۹].

سیاست (۱). اگر $t < b_k$ باشد، پرداخت صورت‌حساب k در زمان t معقول نیست.

اثبات. اگر صورت‌حساب k در زمان $t < b_k$ پرداخت شود، پول پرداختی برابر است با:

$$A_k (t) = L_k (۱ - u_k) \qquad (۱۷)$$

اگر این صورت‌حساب در زمان $t = b_k$ پرداخت شود، پول پرداختی برابر خواهد بود با:

$$A_k (t) = L_k (۱ - u_k) \qquad (۱۸)$$

1. Lemma

بدین ترتیب با پرداخت صورت‌حساب k در زمان $t < b_k$، شرکت خود را از سود بانکی بازه زمانی t تا b_k محروم می‌کند؛ درنتیجه سیاست ۱ و به‌تبع آن محدودیت زیر برقرار است:

$$x_{kt} = ۰, \ \forall k \in K \ \text{و} \ t < b_k \qquad (۱۹)$$

سیاست (۲). اگر $b_k < t < d_k$ باشد، پرداخت صورت‌حساب k در زمان t معقول نیست.
اثبات. اگر صورت‌حساب k در زمان $b_k < t < d_k$ پرداخت شود، پول پرداختی برابر است با:

$$A_k(t) = L_k \qquad (۲۰)$$

بدین ترتیب با پرداخت صورت‌حساب در زمان $t < d_k$، شرکت خود را از سود بانکی بازهٔ t تا d_k محروم می‌کند؛ درنتیجه سیاست ۲ و به‌تبع آن محدودیت زیر برقرار است:

$$x_{kt} = ۰ , \ \forall k_{۹} \in K \quad b_k < t < d_k \qquad (۲۱)$$

سیاست (۳). اگر پول موجود در زمان $t = b_k$ برای پرداخت صورت‌حساب k کافی نباشد، صورت‌حساب k در زمان $t = b_k$ پرداخت نمی‌شود.

این سیاست بسیار روشن است و نیازی به اثبات ندارد؛ اما می‌توان بر اساس آن تعدادی محدودیت معتبر را به شرح زیر صورت‌بندی کرد.

طبق رابطه ۱۶، اگر از ابتدای افق زمانی تا لحظه t هیچ صورت‌حسابی پرداخت نشود، رابطه زیر برقرار خواهد بود:

$$A_k(t') = ۰ \qquad (۲۲)$$

در این حالت، مقدار وجه نقد دردسترس شرکت برابر است با:

$$\delta(۱+r)^{t-۱} + \sum_{t'=۱}^{t} q_{t'}(۱+r)^{(t-t')} \qquad (۲۳)$$

مقدار حاصل از این معادله حد بالای موجودی پول در پایان هر دوره زمانی t را نشان می‌دهد؛ بنابراین اگر صورت‌حسابی در زمان t پرداخت شود، باید رابطه ۲۴، برقرار باشد:

$$\delta(۱+r)^{t-۱} + \sum_{t'=۱}^{t} q_{t'}(۱+r)^{(t-t')} > A_k(t) \qquad (۲۴)$$

از طرفی کمترین مقدار $A_k(t)$ برابر $L_k(1-u_k)$ است؛ بنابراین صورت‌حساب k قابل‌پرداخت نیست اگر:

$$\delta(1+r)^{t-1}+\sum_{t'=1}^{t} q_{t'}(1+r)^{t-t'} < L_k(1-u_k) \qquad (۲۵)$$

بنابراین مجموعه محدودیت‌های زیر برقرار خواهند بود:

$$x_{kt}=0 \;\; if \;\; \delta(1+r)^{t-1}+\sum_{t'=1}^{t} q_{t'}(1+r)^{t-t'} < L_k(1-u_k) \qquad (۲۶)$$
$$\forall k \in K,\ \forall t \in T$$

سیاست (۴). اگر موجودی پول در زمان $t=d_k$ برای پرداخت صورت‌حساب k کافی نباشد، نمی‌توان صورت‌حساب k را در زمان $t=d_k$ پرداخت کرد.

این سیاست نیز کاملاً روشن است و نیازی به اثبات ندارد؛ البته با توجه به این سیاست و در نظرگرفتن سیاست ۳، می‌توان مجموعه محدودیت‌های زیر را به مدل افزود:

$$x_{kt}=0 \;\; if \;\; \delta(1+r)^{t-1}+\sum_{t'=1}^{t} q_{t'}(1+r)^{(t-t')} < L_k \qquad (۲۷)$$
$$\forall k \in K,\ \forall t \in T,\ \ b_k < t < d_k$$

رویکرد حل مسئله. با توجه به روابط ۷، ۱۲ و ۱۶، مدل برنامه‌ریزی خطی صفرویک زمان‌بندی پرداخت صورت‌حساب‌ها یک NP_Complete است. فرض کنید این مدل با نماد P نمایش داده شود.

قضیه: مسئله P یک NP_Complete است.

اثبات: تانگشوچیوا و پرابو[1] (۲۰۱۳) نشان دادند که مدل خطی رابطه ۲۸، یک NP_Complete است [۴۲].

$$Min \sum_{i\in I}\sum_{j\in J} C_{ij} y_{ij} \qquad (۲۸)$$
$$st: \ \sum_{j\in J} r_{ij} y_{ij} \le e_i, \qquad \forall i \in I$$
$$\sum_{i\in I} y_{ij} = 1, \qquad \forall j \in J$$
$$y_{ij} = 0-1$$

می‌توان تابع هدف رابطه ۷ را با جایگزین‌کردن i به‌جای t و j به‌جای k به تابع هدف

1. Tangsucheeva & Prabhu

عمومی رابطه ۲۸، نظیر کرد؛ همچنین می‌توان روابط ۱۲ و ۱۶ را به‌ترتیب متناظر با محدودیت‌های اول و دوم رابطه ۲۸ دانست؛ بنابراین مدل P یک NP_Complete است.

بارزترین مشخصه یک NP_Complete نمایی‌بودن زمان حل آن در ازای افزایش تعداد متغیرهای مسئله است. این موضوع باعث می‌شود تا در حل یک NP_Complete معمولاً به جواب‌های نزدیک به بهینه بسنده شود [۱۵]. برای حل یک NP_Complete از روش‌های ابتکاری یا فراابتکاری استفاده می‌شود. در پژوهش حاضر از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک برای حل مدل استفاده شده است. امروزه این الگوریتم کاربرد گسترده‌ای در حوزه‌های مختلف تصمیم‌گیری مانند زمان‌بندی تولید در زنجیره تأمین، زمان‌بندی جریان‌های کارگاهی، مدیریت موجودی، متنوع‌سازی سبد سهام و غیره دارد [۳۹، ۱۲، ۳۴، ۲۳]. برای آشنایی بیشتر با این الگوریتم، به پژوهش یانگ[1] (۲۰۱۴) رجوع شود [۴۴]. در ساختار الگوریتم پژوهش حاضر از عملگرهای مختلفی استفاده می‌شود که کارایی آن‌ها در پژوهش‌های مختلف ثابت شده است. این ساختار به شرح زیر است:

کروموزوم. دنباله‌ای از بیت‌ها یا ژن‌ها است که درواقع شکل کدشده یک مجموعه جواب موجه است. در این پژوهش، متغیر تصمیم مدل برای دستیابی به زمان‌های بهینه پرداخت صورت‌حساب‌ها تعریف شده است؛ بنابراین در صورت وجود K صورت‌حساب، به تعیین K زمان بهینه نیاز است. بدین ترتیب هر کروموزوم حاوی K ژن است. در این پژوهش از روش باینری برای کدگذاری ژن‌های هر کروموزوم استفاده شده است و هر ژن یک جواب بالقوه برای متغیر تصمیم مسئله محسوب می‌شود.

تابع هدف و تابع برازندگی. از تابع هدف برای شیوه ایفای نقش کروموزوم‌ها در محدوده مسئله استفاده می‌شود. در این پژوهش، تابع برازندگی درجه شایستگی کروموزوم‌ها را بر اساس رتبه آن‌ها تعیین می‌کند. این تابع مقادیر شایستگی را از کوچک به بزرگ مرتب می‌کند و به هرکدام از آن‌ها عددی مانند n نسبت می‌دهد. n شماره رتبه هر مقدار در جمعیت جدید است. احتمال انتخاب هر کروموزوم از رابطه ۲۹، محاسبه می‌شود. در این رابطه، $f_i = \frac{1}{\sqrt{n}}$ و m تعداد اعضای جمعیت است.

$$p = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^{m} f_i} \qquad (۲۹)$$

اندازه جمعیت: به تعداد کروموزوم‌ها گفته می‌شود. در این پژوهش اندازه جمعیت در آزمایش های مختلف بررسی می‌شود و برای یافتن جواب بهتر، جمعیت از نسلی به نسلی دیگر تولیدمثل

1. Yang

می‌کند.

عملگر انتخاب چرخ رولت. یکی از مناسب‌ترین انتخاب‌های تصادفی است که بر اساس ایده انتخاب احتمالی بنا شده است. در این روش، احتمال انتخاب هر کروموزوم بر اساس برازندگی آن محاسبه می‌شود. اگر f_k مقدار برازندگی کروموزوم k باشد، احتمال بقای کروموزوم از رابطه ۳۰، حاصل می‌شود:

$$p_K = \frac{f_k}{\sum_{i=1}^{m} f_i} \quad (۳۰)$$

سپس کروموزوم‌ها بر اساس p_k مرتب می‌شوند و q_k که مقدار تجمعی p_k است از رابطه ۳۱، به‌دست می‌آید:

$$q_k = \sum_{i}^{k} p_i \quad (۳۱)$$

در چرخ رولت، اعضا بر اساس درجه تطابق انتخاب می‌شوند. در این پژوهش چرخ رولتی شبیه‌سازی می‌شود که احتمال بازتولید هر کروموزوم را تعیین می‌کند. هر کروموزوم بسته به میزان تطابق، تعدادی از بخش‌های چرخ رولت را به خود اختصاص می‌دهد؛ سپس در هر مرحله انتخاب یک عضو برگزیده می‌شود و این رویه تا جایی تکرار می‌شود که به اندازه کافی، جفت برای تشکیل نسل بعد انتخاب شود.

ترکیب پراکنده[1]. در این روش برای تولید فرزندان با استفاده از نسل والد، ابتدا به‌ترتیب کروموزوم‌های والد اول و دوم برای اعمال عملگر ترکیب انتخاب می‌شوند؛ سپس به تعداد ژن‌های کروموزوم عدد تصادفی تولید می‌شود. اگر اعداد تصادفی تولیدشده کمتر از ۰/۵ باشند، از مقادیر ژن کروموزوم اول و در غیر این‌صورت از مقادیر ژن کروموزوم دوم برای تولید کروموزوم های فرزند استفاده می‌شود.

جهش گوسین[2]. جهش یک عدد تصادفی از تابع توزیع گوسی با میانگین صفر است که به هر ورودی بردار والد اضافه می‌شود. طبق تابع گوسی، انحراف استاندارد این توزیع توسط پارامترهای مقیاس[3] و جمع‌شوندگی[4] تنظیم می‌شود. پارامتر مقیاس انحراف استاندارد را در نسل اول تعیین می‌کند. در این پژوهش با تغییرات متوالی متغیرها، پارامترهای مقیاس و جمع‌شوندگی برابر ۱ در نظر گرفته می‌شوند.

1 Scattered
2. Gaussian
3. Scale
4. Shrink

نحوه اداره‌کردن محدودیت‌ها. در این پژوهش از رویکرد جریمه‌محور لاگرانژ تقویت‌شده[1] برای بازداشتن الگوریتم از تولید جواب‌هایی خارج از محدوده‌های مجاز استفاده می‌شود. این رویکرد علاوه بر داشتن ویژگی‌های همگرایی، کمترین تحریف را در تابع هدف مدل اعمال می‌کند [۱۰]. بدین منظور از تابع AUGLGA[2] در نرم‌افزار متلب استفاده می‌شود. اجرای این تابع مستلزم تعریف دو پارامتر کنترلی InitialPenalty و PenaltyFactor در کد الگوریتم ژنتیک است. مقادیر پیش‌فرض متلب برای این دو پارامتر، به‌ترتیب ۱۰ و ۱۰۰ است.

شرط توقف. در این پژوهش، شرط توقف الگوریتم دستیابی به بیشترین درجه برازش نسل‌ها تعریف شده است [۴۲].

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

برای درک بهتر خروجی‌های مدل برنامه‌ریزی خطی دوهدفه با متغیرهای صفرویک، این مدل برای ۲۰ صورت‌حساب توسط حل‌کننده سیپلکس ۱۲[3] در نرم‌افزار گمز[4] و با اعمال شرط توقف ۰/۰۵ درصد انحراف تا جواب بهینه اجرا شد. جدول ۴، مشخصات این صورت‌حساب‌ها و توالی تسویه آن‌ها در افقی ۷۳۰ روزه را نشان می‌دهد. مطابق این جدول، دستیابی به مقدار بهینه تعاملی $Z^* =$ ۰/۰۳۱ منوط به تحمیل جریان خروجی به میزان $z_1 =$ ۷،۸۴۳،۲۹۱،۵۴۸ ریال است. این مقدار حدود ۲/۶۳ درصد بیش از مقدار بهینه منفرد z_1^* است. درضمن از کل جریان خروجی شرکت، حدود ۱۶/۲۱ درصد به جرائم دیرکرد و ۸۳/۷۹ درصد به قیمت اقلام دارویی خریداری‌شده مربوط بوده است.

جدول ۵، موارد نقض موعد پرداخت صورت‌حساب‌ها و ریسک تأمین ناشی از این موضوع را به تفکیک هر صورت‌حساب نشان می‌دهد. مطابق این جدول، دستیابی به مقدار بهینه تعاملی $Z^* =$ ۰/۰۳۱ منوط به تحمل ریسک تأمینی معادل $z_2 =$ ۳۱۴۰ است. با توجه به این جدول، عدم‌توازن جریان‌های مالی در موعدهای پرداخت موجب نقض در پرداخت به‌موقع ۱۲ صورت‌حساب و پرداخت پیش از موعد یک صورت‌حساب (صورت‌حساب شماره ۱۷) شده است. لازم به ذکر است، مقادیر ستون آخر جدول ۵، طبق رابطه ۱۰ و از ضرب مقادیر ستون سوم و ششم حاصل شده است.

1. Augmented Lagrangian (AL)
2. Augmented Lagrangian Genetic Algorithm (AUGLGA)
3. CPLEX12
4. GAMS

جدول ۴. جریان خروجی تحمیل‌شده توسط هر صورت‌حساب (نتایج حل مدل در نرم‌افزار گمز)

ارزش جاری ـ جریمه/ + پاداش	ارزش جاری صورت‌حساب	روز تسویه	درصد جریمه (روزانه)	درصد پاداش	تاریخ مشمول جریمه	تاریخ مشمول تخفیف	تاریخ صدور	مبلغ (ریال)	شمارهٔ صورت‌حساب
	۳۲۸،۹۱۵،۶۸۸	۱۲۱	۳/۳۷	۰/۱۹	۱۲۱	۴۵	۶	۳۸۶،۴۵۹،۵۹۶	۱
−۳۶،۴۶۳،۳۰۲	۴۷،۲۵۸،۵۹۹	۴۵۲	۲/۵۹	۰/۱۹	۱۵۴	۷۹	۴۰	۸۶،۳۰۶،۰۶۴	۲
−۳۶،۶۸۹،۴۷۸	۱۳۳،۶۱۰،۱۸۸	۲۶۳	۳/۰۶	۰/۱۹	۱۳۴	۵۴	۱۹	۱۸۹،۶۸۴،۰۱۶	۳
	۳۳۳،۴۴۱،۶۵۵	۱۸۰	۳/۶۶	۰/۲۲	۱۸۰	۱۱۹	۷۹	۴۲۳،۸۱۹،۶۶۴	۴
	۵۵۴،۰۲۸،۷۲۸	۱۸۰	۳/۲۰	۰/۲۲	۱۸۰	۱۴۹	۱۱۲	۷۰۴،۱۹۵،۹۶۹	۵
−۱،۲۰۲،۴۸۲	۶۴۴،۳۱۰،۷۲۷	۱۴۴	۲/۶۷	۰/۱۹	۱۴۳	۷۴	۳۷	۷۸۰،۵۹۲،۴۷۸	۶
	۱۴۶،۴۰۹،۴۶۷	۱۸۰	۲/۶۰	۰/۱۸	۱۸۰	۱۰۰	۵۰	۱۸۶،۰۹۳،۱۶۰	۷
−۶۶،۲۲۷،۲۲۵	۱۱۷،۷۸۶،۳۱۸	۳۲۸	۲/۹۱	۰/۲۲	۱۲۲	۴۹	۱۰	۱۸۲،۳۴۷،۴۹۰	۸
	۱۸۴،۸۳۵،۷۳۳	۱۸۸	۲/۸۴	۰/۱۷	۱۸۸	۱۲۰	۸۴	۲۳۷،۴۵۲،۴۰۵	۹
−۷۶،۴۵۷،۱۲۲	۲۸۸،۱۱۸،۷۳۷	۳۰۰	۲/۷۲	۰/۲۰	۱۸۰	۱۵۷	۱۱۹	۴۲۹،۷۰۸،۱۴۶	۱۰
−۷۸،۹۲۱،۸۳۰	۱۷۲،۲۴۵،۶۷۷	۳۹۸	۳/۱۲	۰/۱۹	۱۹۷	۱۲۷	۹۰	۲۹۲،۷۲۵،۴۱۴	۱۱
−۸۰،۲۸۵،۹۴۲	۲۸۶،۳۸۸،۲۱۳	۳۲۰	۳/۴۹	۰/۱۸	۱۸۰	۱۲۰	۷۹	۴۳۸،۶۶۲،۶۸۸	۱۲
−۲۶۴،۹۸۱،۲۶۷	۳۷۸،۶۶۵،۶۸۵	۴۴۵	۲/۸۵	۰/۲۰	۱۷۹	۷۹	۵۰	۶۸۵،۱۱۸،۵۲۱	۱۳
−۵۸،۶۵۳،۸۹۳	۲۱۰،۶۶۴،۲۴۵	۲۷۹	۲/۸۶	۰/۲۲	۱۶۷	۸۸	۵۲	۳۰۵،۵۲۰،۷۹۱	۱۴
	۶۲،۸۴۴،۰۹۳	۱۸۰	۲/۲۵	۰/۲۲	۱۸۰	۱۳۱	۹۱	۷۹،۸۷۷،۷۳۰	۱۵
	۲۹۴،۵۲۱،۹۶۸	۱۱۶	۲/۰۵	۰/۲۲	۱۱۶	۳۹	۲	۳۴۳،۷۵۰،۸۹۱	۱۶
	۳۵،۱۴۵،۴۲۳	۱۷۲	۲/۵۸	۰/۲۳	۱۸۰	۱۷۲	۱۳۶	۴۴،۱۹۷،۷۹۸	۱۷
−۹۵،۴۳۷،۹۵۸	۴۷۰،۷۹۹،۹۶۵	۲۵۱	۲/۶۴	۰/۲۰	۱۵۷	۹۰	۵۵	۶۵۷،۷۸۴،۲۹۲	۱۸
−۲۳۷،۶۷۶،۱۶۱	۴۵۲،۷۴۷،۶۷۶	۳۷۹	۳/۳۱	۰/۲۱	۱۸۰	۱۱۵	۸۰	۷۵۰،۱۹۳،۹۰۱	۱۹
−۵۴،۶۹۳،۸۳۳	۴۸۰،۹۵۸،۷۰۷	۲۱۳	۳/۹۱	۰/۲۰	۱۵۹	۸۱	۴۳	۶۳۸،۸۰۰،۵۳۴	۲۰
−۱،۰۸۷،۶۹۰،۴۹۳	۵،۶۲۳،۶۹۷،۴۹۲							۷،۸۴۳،۲۹۱،۵۴۸	جمع

ارزش جاری خروجی
۳۲۸،۹۱۵،۶۸۸
۸۳،۷۳۱،۹۰۰
۱۷۰،۲۹۹،۶۶۷
۳۳۳،۴۴۱،۶۵۵
۵۵۴،۰۲۸،۷۲۸
۶۴۵،۵۱۳،۲۰۸
۱۴۶،۴۰۹،۴۶۷
۱۸۴،۰۱۳،۵۴۳
۱۸۴،۸۳۵،۷۳۳
۳۶۴،۵۷۵،۸۵۹
۲۵۱،۱۶۷،۵۰۷
۳۶۶،۶۷۴،۱۵۵
۶۴۳،۶۴۶،۵۵۲
۲۶۹،۳۱۸،۱۳۹
۶۲،۸۴۴،۰۹۳
۲۹۴،۵۲۱،۹۶۸
۳۵،۱۴۵،۴۲۳
۵۶۶،۲۳۷،۹۲۳
۶۹۰،۴۲۳،۸۳۷
۵۳۵،۶۵۲،۵۴۰
۶،۷۱۱،۳۸۷،۹۸۵

جدول ۵. ریسک تأمین تحمیل‌شده توسط هر صورت‌حساب (نتایج حل مدل در نرم‌افزار گمز)

شماره صورت حساب	نوع صورت‌حساب	رتبه صورت‌حساب	تاریخ مشمول جریمه	روز تسویه	ریسک ناشی از نقض در موعد پرداخت	تعداد روزهای نقض در موعد پرداخت
۱	غیرکلیدی	۱	۱۲۱	۱۲۱	۰	۰
۲	گلوگاهی	۲	۱۵۴	۴۵۲	۵۹۶	۲۹۸
۳	گلوگاهی	۲	۱۳۴	۲۶۳	۲۵۸	۱۲۹
۴	غیرکلیدی	۱	۱۸۰	۱۸۰	۰	۰
۵	گلوگاهی	۲	۱۸۰	۱۸۰	۰	۰
۶	غیرکلیدی	۱	۱۴۳	۱۴۴	۱	۱
۷	غیرکلیدی	۱	۱۸۰	۱۸۰	۰	۰
۸	غیرکلیدی	۱	۱۲۲	۳۲۸	۲۰۶	۲۰۶
۹	غیرکلیدی	۱	۱۸۸	۱۸۸	۰	۰
۱۰	غیرکلیدی	۱	۱۸۰	۳۰۰	۱۲۰	۱۲۰
۱۱	غیرکلیدی	۱	۱۹۷	۳۹۸	۲۰۱	۲۰۱
۱۲	اهرمی	۳	۱۸۰	۳۲۰	۴۲۰	۱۴۰
۱۳	اهرمی	۳	۱۷۹	۴۴۵	۷۹۸	۲۶۶
۱۴	غیرکلیدی	۱	۱۶۷	۲۷۹	۱۱۲	۱۱۲
۱۵	غیرکلیدی	۱	۱۸۰	۱۸۰	۰	۰
۱۶	گلوگاهی	۲	۱۱۶	۱۱۶	۰	۰
۱۷	گلوگاهی	۲	۱۸۰	۱۷۲	۰	۰
۱۸	اهرمی	۱	۱۵۷	۲۵۱	۹۴	۹۴
۱۹	اهرمی	۱	۱۸۰	۳۷۹	۱۹۹	۱۹۹
۲۰	گلوگاهی	۲	۱۵۹	۲۱۳	۱۰۸	۵۴
۲۱	گلوگاهی	۲	۱۸۰	۱۸۰	۰	۰
۲۲	گلوگاهی	۲	۱۸۰	۱۸۰	۰	۰
۲۳	غیرکلیدی	۱	۱۵۲	۱۵۲	۰	۰
۲۴	غیرکلیدی	۱	۱۱۷	۱۱۷	۰	۰
۲۵	غیرکلیدی	۱	۱۷۵	۲۱۸	۴۳	۴۳
جمع			۳۱۴۰			

به دلیل ماهیت NP-Complete مدل پژوهش و ناکارایی الگوریتم دقیق در حل آن برای تعداد بیشتری صورت‌حساب، الگوریتم ژنتیک با توجه به پارامترها و محدودیت‌های مدل در نرم‌افزار متلب کدنویسی شد. جدول ۶، پارامترهای تنظیم این الگوریتم را نشان می‌دهد.

جدول ۶. پارامترهای تنظیم الگوریتم ژنتیک

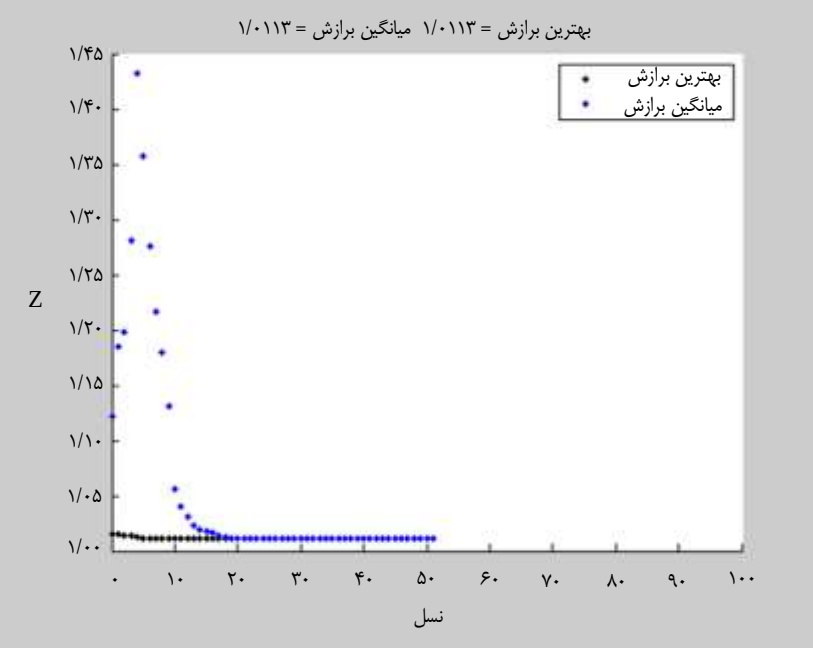
پارامتر تنظیم	مقدار/ شرح
Population	Type: double vector , Size: 20 , Initial Range: [0;1]
Fitness scaling	Rank
Selection Function	Roulette
Reproduction	Elite Count: 2
Mutation Function	Gaussian
Crossover Function	Scattered
Migration	Direction: forward, fraction: 0.2 , Interval: 20
Algorithm setting	Initial Penalty: 10, Penalty Factor: 100
Stopping Criteria	Generations Data , Time Limit: Infinity

برای بررسی کارایی الگوریتم، مدل به‌ازای ۱۰۰۰ صورت‌حساب توسط رایانه‌ای با مشخصات زیر اجرا شد.

- Operating System: Windows 10 Enterprice
- Processor: Intel (R) Core (TM) i5-4200M CPU @ 1/60GHZ 2/30 GHz
- Memory (RAM): 6.00 GB
- System type: 64-bit Operating System, x64-based processor

پس از گذشت ۳۶/۷۳ دقیقه، رایانه موفق به حل مسئله شد. شکل ۱، روند همگرایی برترین برازش و میانگین برازش نسل‌ها را برای تابع هدف مسئله نشان می‌دهد. با تحقق همگرایی، الگوریتم مقدار نزدیک به بهینه تعاملی $Z^* =$ ۱/۰۱۱۳ را گزارش کرد. تحقق این Z^* منوط به تحمیل جریان خروجی $z_1 =$ ۱۸۴،۴۹۱،۷۳۱،۸۵۸ و تحمل ریسک $z_2 =$ ۶۴،۱۹۶ است که به‌ترتیب ۴۷/۸۲ و ۱۲/۵۴ درصد بیش از مقادیر بهینه منفرد z_1^* و z_2^* هستند. درضمن از کل جریان خروجی، حدود ۱۴/۳۱ درصد به جرائم دیرکرد و الباقی به اقلام دارویی خریداری‌شده مربوط بوده است.

تسویه کلیه صورت‌حساب‌های دریافتی، قرارگیری زمان‌های پرداخت تعیین‌شده توسط الگوریتم در محدوده افق زمانی مسئله و رعایت توازن جریان‌های ورودی و خروجی طی دوره نشان از عملکرد مؤثر رویکرد جریمه‌محور لاگرانژ تقویت‌شده داشت (به دلیل تعداد بالای صورت‌حساب‌ها، از انعکاس توالی پرداخت‌ها و سایر اطلاعات تفصیلی صرف‌نظر شده است).



شکل ۱. همگرایی برترین برازش Z با میانگین برازش نسل‌ها

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در بسیاری مسائل، مدیران با حجم بالایی از اطلاعات کمّی روبه‌رو هستند. در این شرایط، استفاده از روش‌های علم مدیریت مبنایی قابل‌اتکا را برای مواجهه با این مسائل پیش روی آن‌ها قرار می‌دهد. در این پژوهش فرض بر این بود که تأخیر در تسویه صورت‌حساب‌های دریافتی از تأمین‌کنندگان، علاوه بر تحمیل جرائم دیرکرد به شرکت پخش، موجب نارضایتی تأمین‌کنندگان، سوءشهرت شرکت پخش و درنتیجه بروز ریسک‌هایی برای تأمین مطلوب اقلام دارویی برای آن می‌شود؛ بنابراین برای پاسخ به این پرسش که چگونه با توجه به ارزش زمانی پول، جرائم دیرکرد، پاداش تسویه پیش‌ازموعد و درجه کلیدی‌بودن تأمین‌کنندگان هم‌زمان به کمینه‌کردن جریان‌های نقدی خروجی و ریسک تأمین شرکت مبادرت ورزید، مدل ریاضی دوهدفه‌ای با متغیرهای صفرویک صورت‌بندی شد. حل مدل توسط الگوریتم ژنتیک مشخص کرد که در یک افق زمانی دوساله (۷۲۰ روزه) ۱۰۰۰ صورت‌حساب دریافتی با چه ترتیبی تسویه شوند تا هم‌زمان جریان‌های خروجی وجوه نقد و ریسک تأمین ناشی از سوءشهرت کمینه شود.

به‌رغم تأکید پژوهشگران حوزه مدیریت وجوه نقد بر کمینه‌سازی ریسک‌های غیرسیستماتیک بازارهای مالی، این پژوهش با واردکردن ریسک سیستماتیک سوءشهرت به مسئله تعیین توالی پرداخت صورت‌حساب‌ها به توسعه پیشینه پژوهش کمک کرد. این رویکرد با مدل‌سازی یکی از ریسک‌های متداول در زنجیره‌های تأمین، به تقویت جایگاه مدیران مالی در

ارتقای توان رقابت‌پذیری شرکت‌ها در زنجیره تأمین کمک می‌کند. رویکرد ارائه‌شده در این پژوهش می‌تواند برای حل مسائل واقعی مشابه در صنایع مختلف به‌کار گرفته شود و درهای جدیدی را برای مطالعات بیشتر در حوزه زنجیره تأمین مالی به روی پژوهشگران باز کند.

به‌رغم کارآمدی مدل پژوهش، محدودیت‌هایی پیش روی آن وجود دارد که می‌تواند زمینه‌ساز فرصت‌هایی برای پژوهش‌های آتی باشد. نخست اینکه در این پژوهش، مسئله توالی پرداخت صورت‌حساب‌ها در حالتی ایستا تحلیل شد. به بیان واضح‌تر، هنگام تعیین توالی پرداخت‌ها، فرض بر معلوم‌بودن تعداد صورت‌حساب‌های پرداختی، مبلغ این صورت‌حساب‌ها و میزان پول دریافتی از خرده‌فروشی‌ها بود؛ این در حالی است که جریان وجوه نقد در یک دوره زمانی معین عموماً ماهیتی پویا دارد؛ چراکه ارسال صورت‌حساب‌ها از سوی تأمین‌کنندگان و نیز دریافت وجوه نقد از خرده‌فروشی‌ها ماهیتی مستمر دارد [۱۹]؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود، مدل در شرایط پویا صورت‌بندی و حل شود. به‌علاوه، درحالی‌که مدل پژوهش بهینه‌سازی جریان وجوه نقد را برای یک لایه زنجیره تأمین در نظر گرفته است، صورت‌بندی و حل مدل برای کل زنجیره می‌تواند متضمن تحقق مدیریت یکپارچه جریان وجوه در طول زنجیره باشد. همان‌طور که مشاهده شد، پارامترهای مدل پژوهش ماهیتی قطعی و صریح داشتند؛ بنابراین صورت‌بندی مدل در شرایط فازی پیشنهاد می‌شود. در این پژوهش ترجیحات عدم‌نقض در تسویه به‌موقع صورت‌حساب‌ها به‌صورت ترتیبی لحاظ شد. می‌توان با اتکا به روش‌های وزن‌دهی ماتریس اهمیت نسبی صورت‌حساب‌ها را محاسبه کرد و از آن در صورت‌بندی تابع $z_۲$ بهره جست. این پژوهش صرفاً بر بهینه‌سازی جریان‌های مالی تمرکز داشت؛ بنابراین توسعه مدل پژوهش با هدف بهینه‌سازی سطح موجودی در شرکت کانونی یا در کل زنجیره پیشنهاد می‌شود.

منابع

1. Aljazzar, S. M., Jaber, M. Y., & Moussawi-Haidar, L. (2016). Coordination of a three-level supply chain (supplier–manufacturer–retailer) with permissible delay in payments. *Applied Mathematical Modelling*, *40(21-22),* 9594-9614.
2. Badell, M., Romero, J., & Puigjaner, L. (2005). Optimal budget and cash flows during retrofitting periods in batch chemical process industries. *International Journal of Production Economics*, *95(3),* 359-372.
3. Baumol, W. (1952).The transactions demand for cash: An inventory theoretic approach. *The Quarterly Journal of Economics*, *66(4),* 545–556.
4. Bertel, S., Fenies, P., & Roux, O. (2008). Optimal cash flow and operational planning in a company supply chain. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, *21(4),* 440-454.
5. Blackman, I. D., Holland, C. P., & Westcott, T. (2013). Motorola's global financial supply chain strategy. *Supply Chain Management: An International Journal*, *18(2),* 132-147.
6. Brigham, E. F., & Houston, J. F. (2012). *Fundamentals of financial management*. Cengage Learning.
7. Collette, Y., & Siarry, P. (2013). *Multiobjective optimization: principles and case studies*. Springer Science & Business Media.
8. Comelli, M., Féniès, P., & Tchernev, N. (2008). A combined financial and physical flows evaluation for logistic process and tactical production planning: Application in a company supply chain. *International Journal of Production Economics*, *112(1),* 77-95.
9. Cooper, R. & Kaplan, R. (1998). How cost accounting distorts product cost. *Management Accounting, 69(10),* 20-27.
10. Deb, K., & Srivastava, S. (2012). A genetic algorithm based augmented Lagrangian method for constrained optimization. *Computational optimization and Applications*, *53(3),* 869-902.
11. El-kholy, A. M. (2014). A multi-objective fuzzy linear programming model for cash flow management. *Engineering Research and Applications*, *4(8),* 152-163.
12. Faraji, M. A., & Behnamian, J. (2020). A simulation-based Genetic algorithm to solve the workshop flow scheduling problem by considering the energy cost under uncertainty conditions. *Journal of industrial management perspective*, *10(2),* 9-32. (in Persian)
13. Farris, T. M. & Hutchison, D. P. (2002). Cash-to-cash: the new supply chain management metric. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, *32(4),* 288-298.
14. Gardner, D. L. (2004). *Supply chain vector: Methods for linking the execution of global business models with financial performance*. J. Ross Publishing.
15. Garey, M. R., & Johnson, D. S. (1979). A Guide to the Theory of NP-Completeness. *WH Freemann, New York*, *70*.
16. Gitman, L. J., & Zutter, C. J. (2015). *Principles of Managerial Finance*. Prentice Hall. Pearson.
17. Gormley, F. M., & Meade, N. (2007). The utility of cash flow forecasts in the management of corporate cash balances. *European Journal of Operational Research*, *182*(2), 923-935.
18. Grubert, E. J. & Edwin. A. M. J. (1970). On the Cash Balance Problem. *Operational Research Quarterly*, *25(4),* 553-572.

19. Gupta, S., & Dutta, K. (2011). Modeling of financial supply chain. *European Journal of Operational Research*, *211(1),* 47-56.
20. Jahangiri, M. H., & Cecelja, F. (2014, December). Modelling financial flow of the supply chain. In *2014 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management* (pp. 1071-1075). IEEE.
21. John, A. O. (2014). Effect of cash management on profitability of Nigerian manufacturing firms. *International Journal of Marketing and Technology*, *4(1),* 129-140.
22. Kardan B., Vadiei, M. H., & Rostami, A. (2016). Using fuzzy regression to explain the relationship between supply chain management and financial performance. *Journal of industrial management perspective. 5(4),* 119-141. (in Persian)
23. Khakbiz, M., Rezaei Pandari, A., & Dehghan Niri, M. (2017). Designing a mathematical model for stock portfolio diversification and solving it using genetic algorithms. *Journal of industrial management perspective, 7(1),* 173-196. (in Persian)
24. Kim, I. Y., & De Weck, O. L. (2006). Adaptive weighted sum method for ultiobjective optimization: a new method for Pareto front generation. *Structural and multidisciplinary optimization*, *31(2),* 105-116.
25. Kraljic, P. (1983). Purchasing must become supply management, *Harvard Business Review*, *61(5),* 109-117.
26. Kroes, J. R., & Manikas, A. S. (2014). Cash flow management and manufacturing firm financial performance: A longitudinal perspective. *International Journal of Production Economics*, *148,* 37-50.
27. Krumrey, L., Moeini, M., & Wendt, O. (2017, June). A Cash-Flow-Based Optimization Model for Corporate Cash Management: A Monte-Carlo Simulation Approach. In *International Conference on Computer Science, Applied Mathematics and Applications* (pp. 34-46). Springer, Cham.
28. Longinidis, P., & Georgiadis, M.C. (2011). Manging the trade-offs between fincncial performance and credit solvency in the optimal design of supply chain networks under economic uncertainty. *Computers & chemical Engineering*, *48(10),* 264-279.
29. Mashayekhi, E. N. & Alam Tabriz, A. (2017). The effect of upstream and downstream supply chain integration on performance and quality program, *Journal of industrial management perspective. 6(4),* 37-57. (In Persian)
30. Miller, M.H., Orr, R. (1966). A model of the demand for money by firms. *The Quarterly Journal of Economics*, *80(3),* 413–435.
31. Moussawi-Haidar, L., & Jaber, M. Y. (2013). A joint model for cash and inventory management for a retailer under delay in payments. *Computers & Industrial Engineering*, *66(4),* 758-767.
32. Peng, J., & Zhou, Z. (2019). Working capital optimization in a supply chain perspective. *European Journal of Operational Research*, *277(3),* 846-856.
33. Pfohl, H. C., & Gomm, M. (2009). Supply chain finance: optimizing financial flows in supply chains. *Logistics research*, *1(3-4),* 149-161.
34. Radfar, A. & Mohammaditabar, D. (2019). A vendor-based two-objective inventory optimization in a green multilevel supply chain. *Journal of industrial management perspective, 9(3),* 109-134. (In Persian)
35. Reider, R., & Heyler, P. B. (2003). *Managing cash flow: An operational focus*. John Wiley & Sons.

36. Righetto, G. M., Morabito, R., & Alem, D. (2016). A robust optimization approach for cash flow management in stationery companies. *Computers & Industrial Engineering*, *99*, 137-152.
37. Righetto, G. M., Morabito, R., & Alem, D. (2019). Cash flow management by risk-neutral and risk-averse stochastic approaches. *Journal of the Operational Research Society*, *71(1)*, 55-68.
38. Ross, G.T., Soland, R.M., 1975. A branch and bound algorithm for the generalized assignment problem. *Mathematical Programming*, *8(1)*, 91–103.
39. Rostami, M. (2020). An optimal model for the closed-loop supply chain scheduling problem. *Journal of industrial management perspective*, *10(3)*, 29-52. (In Persian)
40. Salas-Molina, F., Pla-Santamaria, D., & Rodriguez-Aguilar, J. A. (2018). A multi-objective approach to the cash management problem. *Annals of Operations Research*, *267(1-2)*, 515-529.
41. Salas-Molina, F., Rodriguez-Aguilar, J. A., & Pla-Santamaria, D. (2019). A stochastic goal programming model to derive stable cash management policies. *Journal of Global Optimization*, 1-14.
42. Tangsucheeva, R., & Prabhu, V. (2013). Modeling and analysis of cash-flow bullwhip in supply chain. *International Journal of Production Economics*, *145(1)*, 431-447.
43. Wu, H., Liu, Y., & Wu, M. (2013). Supply Chain Model of Finance Payment, Which Made up of Providers, Central Enterprises and Distributors. *Information Technology Journal*, *12(18)*, 4699-4704.
44. Yang, X. S. (2014). *Nature-inspired metaheuristic algorithms*. Luniver press.