



Original Article

Designing a Bi-Objective Stochastic Model for a Resilient Supply Chain Network taking into Account Support Supplier and Its Financial and Physical Flows

Azar Fathi Heli Abadi*, Abbas Rad**, Alireza Motameni***, Davood Talebi****

Abstract

In the present unstable business environment, supply chains are considerably impacted by disruptions, necessitating the implementation of resilience strategies. These strategies, however, pose significant financial challenges for companies. Therefore, financing is essential in developing resilient supply chain networks. In addition to utilizing existing capital, options such as bank loans and trade credit can be employed to alleviate the financial burden and enhance working capital. The present scholarship has failed to address the issue of financial strain resulting from the adoption of resilience strategies. Additionally, the significance of trade credit and repayment scheduling in all levels of the supply chain network also left under-researched. To fill this research gap, this paper proposes a three-tiered supply chain network consisting of main/support suppliers, factories, and distribution centers under uncertain demand conditions. The network is developed to effectively handle demand uncertainty and achieve optimal net present value and demand estimation. To solve the bi-objective model of the study, a preemptive fuzzy ideal programming approach accompanied by the implementation of the CPLEX solver is utilized. The findings lend support to the importance of securing financial support for support suppliers and establishing effective trade credit agreements across all levels of the supply chain.

Keywords: Capital-Constrained Supply Chain; Demand Uncertainty; Trade Credit, Financing; Multi-Objective Optimization; Resilience.

How to Cite: Fathi Heli Abadi, Azar; Rad, Abbas; Motameni, Alireza; Talebi, Davood (2023). Designing a Bi-Objective Stochastic Model for a Resilient Supply Chain Network taking into Account Support Supplier and Its Financial and Physical Flows, *Ind. Manag. Persp.*, 13(4), 208-248 (*In Persian*).

Received: Jun. 27, 2023; Revised: Aug. 14, 2023; Accepted: Nov. 25, 2023; Published Online: Nov. 29, 2023.

* Ph.D. Student, Department of Industrial Management and Information Technology, Faculty of Management and Accounting, Shahid Beheshti University.

** Assistant Professor, Department of Industrial Management and Information Technology, Faculty of Management and Accounting, Shahid Beheshti University.

Corresponding author. Email: a-raad@sbu.ac.ir

*** Associate Professor, Department of Industrial Management and Information Technology, Faculty of Management and Accounting, Shahid Beheshti University.

**** Assistant Professor, Department of Industrial Management and Information Technology, Faculty of Management and Accounting, Shahid Beheshti University.





طراحی یک مدل دوهدفه غیرقطعی برای شبکه زنجیره تأمین تاب‌آور با در نظر داشتن تأمین‌کننده پشتیبان و جریان‌های مالی و فیزیکی آن

آذر فتحی هلی‌آبادی*، عباس راد**^{ID}، علیرضا مؤتمنی***، داود طالبی****

چکیده

در شرایط ناپایدار موجود، شبکه‌های زنجیره تأمین تحت تأثیر شرایط اختلال است؛ بنابراین در طراحی شبکه‌های زنجیره تأمین باید استراتژی‌های تاب‌آوری لحاظ شود؛ اما این رویکرد بار مالی برای شرکت ایجاد می‌کند. در طراحی شبکه‌های زنجیره تأمین تاب‌آور، تأمین مالی بسیار اهمیت دارد. برای تأمین بار مالی، علاوه بر سرمایه موجود، می‌توان از وام‌های بانکی و اعتبار تجاری استفاده کرد که به بهبود سرمایه در گردش منجر می‌شود. بر اساس بررسی مبانی نظری موضوع، بار مالی ایجاد شده، به دلیل استفاده از استراتژی‌های تاب‌آوری، مورد توجه قرار نگرفته است؛ همچنین در نظر گرفتن اعتبار تجاری و زمان‌بندی بازپرداخت اعتبارهای تجاری در تمام سطوح در شبکه زنجیره تأمین بررسی نشده است. در این پژوهش سعی شده است خلأهای موجود پوشش داده شود. بدین منظور یک شبکه زنجیره تأمین سه‌سطحی شامل تأمین‌کنندگان اصلی و پشتیبان، کارخانه و مراکز توزیع، تحت شرایط عدم قطعیت تقاضا طراحی شد. اهداف اصلی پژوهش بیشینه‌سازی ارزش فعلی خالص و بیشینه‌سازی برآورد تقاضا است. برای حل مدل دوهدفه در این پژوهش از روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی پیشگیرانه و سالور CPLEX استفاده شد. طبق یافته‌های پژوهش، در صورتی تأمین‌کننده پشتیبان انتخاب می‌شود که بار مالی آن تأمین شده باشد؛ همچنین اعتبار تجاری بین تمام سطوح به‌طور مؤثر برقرار است.

کلیدواژه‌ها: زنجیره تأمین با سرمایه محدود؛ عدم قطعیت تقاضا؛ اعتبار تجاری؛ تأمین مالی؛ بهینه‌سازی چندهدفه؛ تاب‌آوری.

استناددهی: فتحی هلی‌آبادی، آذر؛ راد، عباس؛ مؤتمنی، علیرضا؛ طالبی، داود (۱۴۰۲). طراحی یک مدل دوهدفه غیرقطعی برای شبکه زنجیره تأمین تاب‌آور با در نظر داشتن تأمین‌کننده پشتیبان و جریان‌های مالی و فیزیکی آن. *چشم‌انداز مدیریت صنعتی*، ۱۳(۴)، ۲۰۸-۲۴۸.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۰۶، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۲۵/۲۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۰۴، تاریخ اولین انتشار: ۱۴۰۲/۰۹/۰۸.

* دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی و فناوری اطلاعات، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی.

** استادیار، گروه مدیریت صنعتی و فناوری اطلاعات، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی.

Email: a-raad@sbu.ac.ir؛ نویسنده مسئول

*** دانشیار، گروه مدیریت صنعتی و فناوری اطلاعات، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی.

**** استادیار، گروه مدیریت صنعتی و فناوری اطلاعات، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی.



۱. مقدمه

طراحی شبکه زنجیره تأمین از موضوع‌های اساسی در مدیریت زنجیره تأمین است که به تصمیم‌های راهبردی و فنی می‌پردازد [۲۸]. تأمین تقاضای مشتریان به دلیل شرایط عدم قطعیت و اختلال در سطوح شبکه زنجیره تأمین، نیازمند بازطراحی شبکه است [۳۲]. در شرایطی که تقاضای مشتریان و عرضه منابع ناپایدار است، شبکه‌های زنجیره تأمین باید متناسب با اختلال و توانایی شرکت، ریسک‌های موجود را به منظور رسیدن به اهداف شرکت مدیریت کنند [۳]. به‌طور کلی سه منبع اختلال شامل طبیعت، فعالیت‌های مخرب بشر و همه‌گیری گسترده، همواره فعالیت شرکت‌ها را تهدید می‌کنند [۳۳]. در این میان، تاب‌آوری می‌تواند در کنترل شرایط اختلال مؤثر باشد. تاب‌آوری در زنجیره تأمین به معنای توانایی شرکت در برآورده‌سازی تقاضای مشتریان در شرایط اختلال است؛ به بیان بهتر یعنی زنجیره تأمین قادر باشد به شکل سریع، مقرون‌به‌صرفه و عادلانه تقاضای مشتریان را برآورده کند [۱۹]. به‌منظور مدیریت این قبیل اختلالات، ضروری است که ظرفیت‌های بالفعل و بالقوه زنجیره تأمین برای تاب‌آوری بیشتر ارزیابی شود [۲۵]. پیش‌بینی وقایع اختلالی، مانند بحران‌های مالی، برای طراحی شبکه زنجیره تأمین ضرورت دارد [۱۷]. زنجیره‌های تأمین در برابر این بحران‌ها آسیب‌پذیری زیادی دارند؛ در نتیجه شرکت‌ها باید استراتژی مناسب برای مقابله با عدم قطعیت و افزایش تاب‌آوری اتخاذ کنند. انتخاب استراتژی تاب‌آوری آسان نیست؛ زیرا هر یک بار مالی زیادی برای شرکت به دنبال دارد [۱۳]. عملکرد شرکت‌های کوچک و متوسط و همچنین تاب‌آوری آن‌ها در مقابل ریسک‌های گوناگون رابطه مستقیمی با تأمین مالی دارد [۲۹]. رشد متوازن در سه بُعد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی و یکپارچگی بین جریان‌های مالی و فیزیکی ضامن بقا و توسعه هر زنجیره تأمین در بلندمدت است [۲۷]. جریان مالی در کنار جریان‌های کالا و اطلاعات از جریان‌های کلیدی و اثرگذار در هر زنجیره تأمین است [۲۲]؛ بنابراین در طراحی شبکه‌های زنجیره تأمین باید علاوه بر جریان‌های فیزیکی، جریان مالی نیز در نظر گرفته شود. جریان مالی همانند جریان فیزیکی، اما در جهت عکس وجود دارد. عملیات مالی تکمیل‌کننده جریان محصول فیزیکی است و تأمین مالی جریان محصول از تأمین تا مشتری را تضمین می‌کند [۳۵]. از آنجاکه درپیش‌گرفتن رویکرد تاب‌آوری بار مالی به دنبال دارد، تأمین مالی در زنجیره تأمین تاب‌آور از اهمیت زیادی برخوردار است. از سوی دیگر یکپارچه‌سازی تصمیم‌های مالی و لجستیکی موجب بهبود عملکرد در کل شبکه می‌شود [۲]. در مبانی نظری پژوهش، جریان‌های مالی و جریان‌های فیزیکی به‌طور جداگانه مدل‌سازی شده است. بهینگی هم‌زمان این جریان‌ها، به دلیل اثربخشی دوسویه، کارایی زنجیره تأمین را بهبود می‌بخشد [۴]. مدیریت صحیح سرمایه در گردش برای شرکت‌های کوچک و متوسط اهمیت زیادی دارد؛ زیرا نیاز به منابع مالی خارجی، مانند اعتبار تجاری و وام را کمتر می‌کند. اعتبار تجاری تأمین‌کنندگان برای تولیدکنندگان و همچنین اعتبار

تجاری تولیدکنندگان برای مشتریان و در نظر گرفتن تأخیر در این پرداخت‌ها باعث می‌شود از سرمایه در گردش به‌درستی استفاده شود [۱۰]. در طراحی شبکه زنجیره تأمین، جریان‌های مواد و اطلاعات به‌طور گسترده مطالعه شده است؛ اما جریان‌های مالی به‌ندرت مورد توجه قرار گرفته است. همچنین در شبکه‌های زنجیره تأمین از استراتژی‌های تاب‌آوری استفاده شده است؛ اما بار مالی آن در مدل‌سازی در نظر گرفته نشده است. امروزه منابع مالی برای بهبود زنجیره تأمین و مواجهه آن با اختلالات ضروری است. شرکت‌ها با مشکل تأمین مالی و منابع مالی محدود مواجه هستند. با توجه به آنچه بیان شد، در برنامه‌ریزی‌های زنجیره تأمین مالی، توجه هم‌زمان به جریان‌های مالی و فیزیکی و همچنین استراتژی‌های تأمین مالی، تاب‌آوری زنجیره تأمین را در برابر اختلالات افزایش می‌دهد.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

با وجود پژوهش‌های متعدد در زمینه زنجیره تأمین تاب‌آور، مطالعاتی که در آن‌ها جریان‌های فیزیکی و مالی هم‌زمان بررسی شده باشد، کمتر انجام شده است. در پیش گرفتن استراتژی‌های تاب‌آوری بار مالی برای شرکت به‌همراه دارد و ترکیب جریان‌های مالی و فیزیکی در این‌گونه مدل‌ها، تأمین مالی این استراتژی‌ها را تضمین می‌کند. پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه پژوهش حاضر را می‌توان در حوزه‌های زنجیره تأمین تاب‌آور و تأمین مالی در زنجیره تأمین بررسی کرد.

زنجیره تأمین تاب‌آور. در زمینه زنجیره تأمین تاب‌آور، مینا و سارما^۱ (۲۰۱۳)، برای حل مسئله تخصیص تولیدکننده در میان چند تأمین‌کننده، با در نظر گرفتن ریسک اختلال، استراتژی چندمنبعی را به‌کار بردند [۲۴]. زهیری و همکاران (۲۰۱۷)، در طراحی مدل ترکیبی چندهدفه پژوهش خود، تاب‌آوری و پایداری را بررسی کردند. در پژوهش یادشده از استراتژی‌های داشتن چند تأمین‌کننده و مدیریت پیچیدگی گره به‌عنوان استراتژی‌های تاب‌آوری استفاده شده است [۴۴]. جبارزاده و همکاران (۲۰۱۸)، زنجیره تأمین تاب‌آور و پایدار را با استفاده از استراتژی‌های ظرفیت تولید اضافی، موجودی اضطراری و حمایت از تأمین‌کنندگان توسعه دادند [۱۹]. غلامی زنجانی و همکاران (۲۰۲۱)، یک مدل تصادفی دوهدفه تاب‌آور برای پوشش‌دهی ویژگی‌های خاص برنامه‌ریزی موجودی گوشت توسعه دادند [۱۴]. حسنی و همکاران (۲۰۲۱)، برای طراحی شبکه زنجیره تأمین تاب‌آور و سبز سیستم تولید دستگاه پزشکی، مسائل اقتصادی، زیست‌محیطی و استراتژی‌های کاهشی را برای طراحی شبکه زنجیره تأمین انعطاف‌پذیر در نظر گرفتند [۱۸]. فروزش و همکاران (۲۰۲۲)، طراحی شبکه زنجیره تأمین سبز تاب‌آور را برای محصولات فاسدشدنی تحت ریسک‌های اختلال و عدم قطعیت‌های شناختی بررسی کردند. هدف

از این پژوهش، کمینه‌سازی پیامدهای اختلالات به‌وسیله ارائه استراتژی‌های جدید از جمله چندمنبعی‌بودن، تأمین‌کنندگان مالی، همکاری افقی، ریسک مسیر و شعاع پوشش بود [۱۳]. حبیب و همکاران (۲۰۲۲)، از رویکرد برنامه‌ریزی امکانی انعطاف‌پذیر تاب‌آور برای طراحی شبکه زنجیره تأمین بیودیزل استفاده کردند [۱۷]. ژوان و لی^۱ (۲۰۲۳)، عملکرد مالی شرکت‌ها در زنجیره‌های تأمین در طول همه‌گیری کووید - ۱۹ و نقش قابلیت پویایی و تاب‌آوری زنجیره تأمین را بررسی کردند [۲۱]. لی و همکاران^۲ (۲۰۲۲)، به‌شکل تجربی، ارتباط بین طراحی مدل کسب‌وکار، تاب‌آوری زنجیره تأمین و عملکرد زنجیره تأمین را با استفاده از فناوری بلاک‌چین و داده‌های جمع‌آوری‌شده از شرکت‌های چینی واکاوی کردند [۲۳]. نگوین و همکاران^۳ (۲۰۲۲)، تأثیر تأمین مالی زنجیره تأمین در ریسک زنجیره تأمین، تاب‌آوری زنجیره تأمین در برابر ریسک و عملکرد شرکت‌های کوچک و متوسط ویتنام در زنجیره‌های تأمین جهانی را مطالعه کردند [۲۹]. طالع‌زاده و همکاران (۲۰۲۲)، یک سیستم زنجیره تأمین پایدار بهینه را با در نظر گرفتن تصمیم‌های قیمت‌گذاری و فاکتورهای تاب‌آوری طراحی کردند [۳۹]. والی سیر و روغنیان (۲۰۲۲)، طراحی شبکه زنجیره تأمین ترکیبی پاسخگو، تاب‌آور و پایدار تحت عدم قطعیت هیبریدی را با در نظر گرفتن همه‌گیری کووید - ۱۹، به‌عنوان اختلال مورد بررسی قرار دادند [۴۱]. با توجه به گسترش تجارت الکترونیک به‌دنبال همه‌گیری کووید - ۱۹، ارکن و همکاران (۲۰۲۳)، بررسی کردند که چگونه تولید افزایشی می‌تواند به تاب‌آوری، سودآوری و رقابت زنجیره تأمین تجارت الکترونیک کمک کند [۱۲]. عربی و غلامیان (۲۰۲۳)، به طراحی شبکه زنجیره تأمین تاب‌آور حلقه‌بسته با در نظر گرفتن عدم قطعیت در کیفیت در صنعت معدن پرداختند [۲۸]. علیخانی و همکاران (۲۰۲۳)، بر اساس نظریه وابستگی منابع، پژوهشی در مورد انتخاب بهترین ترکیب ممکن از میان استراتژی‌های تاب‌آوری گوناگون انجام دادند. آن‌ها آثار مثبت و منفی استراتژی‌های تاب‌آوری و پویایی‌های زنجیره تأمین را بررسی کردند [۳].

زنجیره تأمین مالی. در خصوص برنامه‌ریزی هم‌زمان جریان مالی و فیزیکی و تأمین مالی در زنجیره تأمین، نیکل و همکاران^۴ (۲۰۱۲)، مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین را با لحاظ کردن تصمیم‌های مالی مطرح کردند [۳۰]. نوییل و همکاران (۲۰۱۸)، در طراحی ساختار زنجیره تأمین، برای تأمین سرمایه لازم به‌منظور احداث کارخانه‌ها از دو منبع وام و سرمایه ذی‌نفعان استفاده کردند [۳۱]. وفآرانی و ترابی (۲۰۱۸)، با یکپارچه‌کردن طرح‌های تاکتیکی، مالی و فیزیکی در زنجیره تأمین تحت شرایط عدم قطعیت فازی، آثار متقابل جریان‌ها و توابع در زنجیره تأمین را

1. Juan & Li
 2. Li, et al.
 3. Nguyen, et al.
 4. Nickel, et al.

مدل سازی کردند [۴]. علوی و جبارزاده (۲۰۱۸)، مدلی برای بهینه سازی استفاده از اعتبار تجاری و اعتبار بانک در زنجیره تأمین معرفی کردند که در آن تصمیم های طراحی شبکه زنجیره تأمین نیز گنجانده شده است [۲]. دوالکار و کریشنا^۱ (۲۰۱۹)، اثر اعتبار تجاری را بررسی کردند و دریافتند که اعتبار تجاری موجب هماهنگی در زنجیره تأمین می شود [۱۱]. استفاده از استراتژی های مالی و عملیاتی مناسب برای تنظیم بودجه مورد نیاز، به منظور تأمین هزینه های زنجیره تأمین در پژوهش وانگ و هوانگ^۲ (۲۰۱۹)، مطرح شده است [۴۲]. گلی و همکاران (۲۰۲۰)، با در نظر گرفتن جریان مالی، تقاضا و نرخ بازگشت محصول غیرقطعی را بررسی کردند [۱۵]. تسائو و همکاران^۳ (۲۰۲۱)، تأثیر طرح های پرداخت در طراحی شبکه زنجیره تأمین را مورد بررسی قرار دادند. شبکه زنجیره تأمین مورد نظر آن ها شامل یک تأمین کننده خارجی، چندین مرکز توزیع (DC^۴) و چندین خرده فروش بود [۴۰]. سما و همکاران^۵ (۲۰۲۲)، با توجه به کمبود نقدینگی شرکت ها در دوران همه گیری کووید - ۱۹، جریان های مالی و فیزیکی را در مدل زنجیره تأمین بررسی کردند. هدف آن ها بهینه سازی سرمایه در گردش بود [۳۸]. بیگلر و همکاران (۲۰۲۲)، با توجه به هر دو حوزه جریان های محصولات و منابع مالی در میان گره های زنجیره تأمین، مشکل طراحی شبکه زنجیره تأمین را حل کردند. مدل ریاضی مطرح شده در پژوهش یاد شده در جهت پیشینه سازی ارزش ایجاد شده برای سهام داران شرکت بود [۹]. گوآن و همکاران^۶ (۲۰۲۲)، در ارائه مدل بهینه سازی زنجیره تأمین برای محصولات تازه تحت شرایط عدم قطعیت، از اعتبار تجاری و وام به طور هم زمان استفاده کردند [۱۶]. بیگلر و همکاران (۲۰۲۲)، یک مدل برنامه ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط را که شامل تصمیم های مالی و عملیاتی در طراحی شبکه زنجیره تأمین است، توسعه داده و وام بانکی، پرداخت بدهی و استفاده از سرمایه سهام داران را بررسی کردند [۸]. بدخشان و بال (۲۰۲۲)، برای کاهش تأثیر اختلالات جریان های مالی و فیزیکی در عملکرد زنجیره تأمین از چارچوب دوقلوی دیجیتال استفاده کردند. نتایج پژوهش آن ها نشان داد که استفاده از این چارچوب چرخه تبدیل پول نقد را برای اعضای بالادستی زنجیره تأمین کاهش می دهد [۵]. رحمانزاده و همکاران (۲۰۲۳)، مفهوم نوآوری باز را در فرایند طراحی محصول و برنامه ریزی اصلی زنجیره تأمین مطالعه کردند. ادغام جریان های مالی و فیزیکی، استفاده از سازوکار قیمت گذاری جدید و استفاده از نوآوری های بیرونی در فرایند طراحی محصول، سهم برجسته مدل پیشنهادی آن ها است [۳۴]. رضویان و همکاران (۲۰۲۱)، یک مدل ریاضی ترکیبی مالی و فیزیکی پایدار و ریسک گریز برای زنجیره تأمین تاب آور ارائه

-
1. Devalkar & Krishnan
 2. Wang & Huang
 3. Tsao, et al.
 4. Distribution Center
 5. Semaa, et al.
 6. Guan, et al.

دادند. آن‌ها برای افزایش تاب‌آوری زنجیره تأمین چندین استراتژی تاب‌آوری شامل چندمنبعی‌بودن، موجودی اضطراری و ظرفیت تولید اضافی را بررسی کردند؛ همچنین از برنامه‌ریزی احتمالی برای مدل‌سازی ریسک‌های اختلال و از استراتژی‌های مالی، مانند اعتبار تجاری و اعتبار بانک، استفاده کردند [۳۷].

با توجه به منابع معرفی‌شده در بخش پیشینه پژوهش، می‌توان ادعا کرد تقریباً در هیچ پژوهشی برای به‌کارگیری استراتژی تاب‌آوری، بار مالی ایجادشده حاصل از تأمین‌کننده پشتیبان بررسی نشده و فقط به مدل‌سازی آن پرداخته است؛ همچنین هیچ استراتژی‌ای برای تأمین مالی آن اتخاذ نشده است. در پژوهش‌های نامبرده، فقط اعتبار تجاری یک‌طرفه در طراحی مدل به‌کار رفته است؛ اما در پژوهش حاضر اعتبار تجاری دوطرفه در شرایط عدم قطعیت استوار در نظر گرفته شده است. یادآوری این نکته لازم است که اعتبار تجاری دوطرفه، یعنی کارخانه‌ها برای خرید مواد اولیه از تأمین‌کنندگان اصلی یا پشتیبان اعتبار تجاری دریافت می‌کنند و همچنین مراکز توزیع برای خرید محصولات از کارخانه‌ها اعتبار تجاری دریافت می‌کنند. یکی از نوآوری‌ها درباره ویژگی‌های مسئله و مدل‌سازی آن در پژوهش پیش رو، استفاده از تأمین‌کننده پشتیبان به‌عنوان استراتژی عملیاتی در تاب‌آوری زنجیره تأمین است. از آنجاکه در مدل‌سازی ریاضی، محدودیت بودجه در نظر گرفته شده، تاب‌آوری زنجیره تأمین به‌معنای انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین در برابر اختلالات است؛ به‌گونه‌ای که منابع مالی مورد نیاز برای انجام عملیات تولیدی برای برآورده‌سازی تقاضا فراهم شود. در پژوهش‌های پیشین، مدل‌سازی تأمین‌کننده پشتیبان و تدارک منابع مالی موردنیاز برای تأمین هزینه خرید مواد اولیه بررسی نشده است. مقاله پایه این پژوهش مطالعه وانگ و هوانگ (۲۰۱۹) است که در آن از رویکرد تاب‌آوری استفاده نشده است؛ درحالی که در پژوهش حاضر به تعیین اعتبار تجاری برای خرید مواد اولیه به‌عنوان منبع تأمین مالی مبتنی بر بدهی، فروش اعتباری محصولات، تعیین تأمین‌کننده پشتیبان در کنار تأمین‌کننده اصلی و به‌کارگیری این استراتژی‌ها در خدمت انعطاف‌پذیری و پوشش‌دهی ریسک‌های زنجیره تأمین توجه شده است؛ همچنین عدم قطعیت در تقاضا و اختلال در تأمین‌کننده اصلی با استفاده از روش برتسیماس و سیم^۱ در سال ۲۰۱۷ مدل‌سازی شده است. در نهایت می‌توان بیان کرد مدل‌سازی اعتبار تجاری دوطرفه برای یک زنجیره تأمین تاب‌آور سه‌سطحی شامل تأمین‌کنندگان اصلی / پشتیبان، کارخانه‌ها و مراکز توزیع و همچنین زمان‌بندی‌های بازپرداخت اعتبارهای تجاری دریافت‌شده توسط کارخانه‌ها و مراکز توزیع بررسی نشده است. در مبنای نظری پژوهش برای حل این‌گونه مسائل از روش‌های دقیق (پژوهش وانگ و هوانگ در سال ۲۰۱۹)، روش‌های ابتکاری مانند آزادسازی لاگرانژی (پژوهش علوی و جبارزاده در سال ۲۰۱۸) و الگوریتم‌های

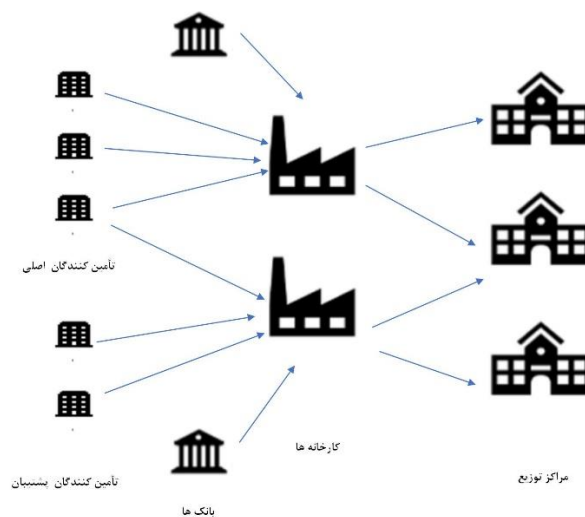
فراابتکاری چندهدفه (پژوهش گلی و همکاران در سال ۲۰۲۰) استفاده شده است؛ ولی روش حل برنامه‌ریزی آرمانی فازی کمتر به کار رفته است [۴۲، ۲، ۱۵].

۳. روش‌شناسی پژوهش

در این بخش، ابتدا مسئله پژوهش و مدل ریاضی تبیین می‌شود. پس از ارائه توضیحاتی در خصوص روش حل، در ادامه مدل ریاضی تحت شرایط عدم قطعیت بررسی خواهد شد. برای اعتبارسنجی مدل ریاضی این پژوهش یک مثال نمونه‌ای آورده و با نرم‌افزار گمز^۱ حل شده است. **تعریف مسئله پژوهش و مدل ریاضی.** امروزه به‌کاربردن رویکرد تاب‌آوری در زنجیره تأمین و به‌طور کل در تمام سیستم‌های تولیدی و کسب‌وکارها بسیار اهمیت دارد. تاب‌آوری موجب می‌شود در شرایط بروز اختلال، سیستم همواره بتواند پاسخگوی نیاز مشتریان باشد. عمده‌ترین اختلال‌ها در اصلی‌ترین سطح زنجیره تأمین، یعنی تأمین‌کنندگان ایجاد می‌شود. اگر تأمین‌کننده در تأمین مواد اولیه تولیدکنندگان دچار اختلال شود، ناسامانی تمام شبکه را دربرمی‌گیرد؛ در نتیجه تقاضای مشتریان ارضا نمی‌شود و موجب نارضایتی بخش مهم شبکه زنجیره تأمین می‌شود؛ زیرا تمام تصمیم‌گیری‌ها بر اساس تقاضای مشتریان صورت می‌گیرد. همان‌طور که ملاحظه شد، اتخاذ رویکرد تاب‌آوری در پژوهش‌های متفاوت بررسی شده؛ اما در این پژوهش‌ها بار مالی ایجادشده در پی به‌کارگیری استراتژی‌های تاب‌آوری برای مقابله با اختلال موردی توجهی قرار گرفته است؛ درحالی‌که در پژوهش حاضر به این مسئله پرداخته شده است.

مدل ریاضی زنجیره تأمین این پژوهش شامل سه سطح تأمین‌کنندگان، کارخانه‌ها و مراکز توزیع است. به‌منظور مقابله با اختلال در تأمین از تأمین‌کنندگان پشتیبان استفاده می‌شود. در مورد ارجحیت تأمین‌کننده اصلی نسبت به تأمین‌کننده پشتیبان باید گفت که پارامتر قیمت خرید مواد اولیه تأمین‌کننده اصلی نسبت به تأمین‌کننده پشتیبان (به عنوان ورودی مدل) کمتر تعیین شده است و مدل به همین دلیل تأمین‌کننده اصلی را برای خرید مواد اولیه انتخاب می‌کند؛ مگر اینکه اختلال در ظرفیت تأمین‌کننده اصلی ایجاد شود که مدل برای برآورد تقاضای مشتریان و تأمین مواد اولیه مورد نیاز برای تولید، در کنار تأمین‌کننده اصلی، تأمین‌کننده پشتیبان را نیز انتخاب می‌کند و به این شکل ارجحیت مشخص شده و مفهوم تاب‌آوری مدل محقق می‌شود. اختلال ایجادشده در ظرفیت تأمین‌کننده اصلی، تأمین مواد اولیه را دچار مشکل می‌سازد. با توجه به وجود تأمین‌کننده پشتیبان، زنجیره تأمین همچنان می‌تواند مواد اولیه را تأمین کند و تقاضای مشتریان را برآورده سازد. همان‌طور که گفته شد، بار مالی ایجادشده در این مدل ریاضی با استفاده از اعتبار تجاری تأمین می‌شود (در این مدل با تأمین‌کنندگانی همکاری می‌شود که به دو

صورت نقدی و اعتباری فعالیت کنند)؛ همچنین بین سایر سطوح دیگر نیز جریان فیزیکی می‌تواند به صورت اعتباری و نقدی باشد. کارخانه‌ها و مراکز توزیع هزینه‌های خرید مواد اولیه و محصولات را به تأمین‌کنندگان اصلی با تأخیر پرداخت می‌کنند. چنانچه این دیرکرد از دوره مجاز بیشتر شود، برای آن جریمه تعیین می‌شود. در دوره اول، برای احداث کارخانه‌ها و انجام عملیات تولیدی از منابع مالی وام و سرمایه اولیه استفاده می‌شود. زمان‌بندی بازپرداخت اعتبار تجاری دوطرفه و تخصیص منابع مالی برای احداث کارخانه‌ها در دوره اول از تصمیم‌گیری‌های مالی مدل است. انتخاب تأمین‌کننده اصلی و پشتیبان، تعیین مکان کارخانه‌ها، جریان فیزیکی (مقدار مواد اولیه) از طریق تأمین‌کننده اصلی و پشتیبان به کارخانه‌ها و همچنین از کارخانه‌ها به مراکز توزیع از تصمیم‌گیری‌های عملیاتی است که مدل ریاضی به آن می‌پردازد. شکل ۱، شماتیک زنجیره تأمین مدل‌سازی شده را نشان می‌دهد. مدل ریاضی چنددوره‌ای و چندمحصولی است و برای مدل‌سازی عدم قطعیت در تقاضا از روش برتسیماس و سیم^۱ استفاده می‌شود.



شکل ۱. شماتیک زنجیره تأمین پژوهش

مفروضات مدل

- تقاضای مدل به صورت غیرقطعی در نظر گرفته شده است؛
- همه تصمیمات بصورت آنی قابلیت اجرایی دارند [۴۲].
- تأمین‌کنندگان اصلی دچار اختلال می‌شوند؛ اما تأمین‌کنندگان پشتیبان بدون اختلال هستند؛

- تأمین کنندگان و کارخانه‌ها به ترتیب برای خرید مواد اولیه و خرید محصولات برای کارخانه‌ها و مراکز توزیع، اعتباری تجاری تخصیص می‌دهند. اعتبار تجاری مطابق روش تأمین مالی حساب باز یا دوره خالص مدل‌سازی شده است. در این روش، یک دوره تأخیر مجاز برای بازپرداخت اعتبار تجاری تعیین می‌کنند. اگر اعتبارگیرنده قبل از آن دوره مجاز بازپرداخت را انجام دهد، شامل جریمه نمی‌شود؛ ولی اگر دوره مجاز سپری شود، بازپرداخت باید مطابق با جریمه مشخص انجام شود؛

- هر دوره عملیاتی به سه مرحله تقسیم شده است [۴۲]؛

- هر کارخانه‌ای که احداث شده باشد، می‌تواند در دوره اول وام بگیرد (این وام می‌تواند در انتهای مرحله اول از دوره زمانی اول در دسترس کارخانه قرار گیرد) [۴۲]؛

- هر کارخانه‌ای که احداث می‌شود، در طول افق برنامه‌ریزی، یک دارایی ثابت تلقی می‌شود که با روش استهلاک مجموع ارقام سنوات، استهلاک آن محاسبه می‌شود؛

- موجودی مواد اولیه و ارزش مواد اولیه باقی‌مانده لحاظ نشده است؛

- در مدل ریاضی طراحی شبکه زنجیره تأمین، نرخ مالیات و نرخ تورم در نظر گرفته شده است؛

- سرمایه وام می‌تواند بدون هزینه پرداخت شود؛ اما تا قبل از اتمام افق برنامه‌ریزی باید پرداخت صورت گیرد.

در ادامه مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای مورد استفاده در مدل ریاضی مسئله ارائه شده است.

مجموعه‌ها و شاخص‌ها

k : مجموعه تأمین کنندگان با اندیس $s \in S$ $s = 1, \dots, S$

j : مجموعه مراکز توزیع با اندیس $j \in J$ $j = 1, \dots, J$

i : مجموعه مواد اولیه با اندیس $i \in I$ $i = 1, \dots, I$

V : مجموعه محصولات با اندیس $v \in V$ $v = 1, \dots, V$

T : مجموعه دوره‌ها با اندیس $t \in T$ و $\psi \in T$ $t = 1, \dots, T$

L : مجموعه تأمین کنندگان پشتیبان با اندیس $l \in L$ $l = 1, \dots, L$

F : مجموعه مشخص کننده نوع خرید مواد اولیه (نقدی یا اعتباری) و نوع خرید محصولات (نقدی

یا اعتباری) با اندیس $f \in F$

L : مجموعه مکان‌های بالقوه کارخانه‌ها با اندیس $n \in N$ $n = 1, \dots, N$

پارامترها

d_{vj}^t : تقاضای محصول v توسط مرکز توزیع j در دوره t

α_{Sst} : ظرفیت تأمین کننده S در دوره t

α_{vnmnt} : ظرفیت تولید محصول v در کارخانه n در دوره t

$capl_t^i$: ظرفیت تأمین‌کننده پشتیبان l از مواد اولیه i

α : نرخ بهره ترکیبی پیوسته برای محاسبه NPV

R : نرخ بهره وام

θ : نرخ تورم

Tax : نرخ مالیات

iCC : بیشترین میزان سرمایه اولیه در دسترس در دوره اول برای احداث کارخانه‌ها و انجام عملیات تولید

iL : بیشترین میزان وام در دسترس در دوره اول برای احداث کارخانه‌ها و انجام عملیات تولید

R_{-Sis} : نرخ بهره جریمه تأخیر در بازپرداخت اعتبار تجاری که تأمین‌کننده s بابت خرید مواد اولیه i پرداخت کرده است.

R_{-Lil} : نرخ بهره جریمه تأخیر در بازپرداخت اعتبار تجاری که تأمین‌کننده پشتیبان l بابت خرید مواد اولیه i پرداخت کرده است.

W_{-nvnv} : نرخ بهره جریمه برای تأخیر در بازپرداخت اعتبار تجاری که کارخانه n بابت فروش محصول v پرداخت کرده است.

O_{ist} : بیشترین میزان اعتبار تجاری که تأمین‌کننده s در دوره t برای خرید مواد اولیه i پرداخت می‌کند.

O_{-Lilt} : بیشترین میزان اعتبار تجاری که تأمین‌کننده l در دوره t برای خرید مواد اولیه i پرداخت می‌کند.

Z_{vnt} : بیشترین میزان اعتبار تجاری که کارخانه n در دوره t برای فروش محصول v پرداخت می‌کند.

φ_{is} : تأخیر مجاز در بازپرداخت اعتبار تجاری به تأمین‌کننده s که بابت خرید مواد اولیه i پرداخت کرده است.

φ_{-lis} : تأخیر مجاز در بازپرداخت اعتبار تجاری به تأمین‌کننده l که بابت خرید مواد اولیه i پرداخت کرده است.

β_{nv} : تأخیر مجاز در بازپرداخت اعتبار تجاری به کارخانه n که بابت خرید محصول v پرداخت کرده است.

γ_n : عمر مفید کارخانه در مکان n

δ_n : ارزش اسقاط کارخانه در مکان n

p_{isn} : قیمت مواد اولیه i که کارخانه n از تأمین‌کننده s می‌خرد.

pp_{vnj} : قیمت محصول v که مرکز توزیع j از کارخانه n می‌خرد.

pl_{itn} : قیمت مواد اولیه i که کارخانه n از تأمین‌کننده l می‌خرد.

cn_n : هزینه ثابت برای احداث کارخانه در مکان n
 c_v^{pr} : هزینه تولید برای یک واحد محصول v
 c_v^{in} : هزینه نگهداری موجودی برای یک واحد محصول v
 c_{vnj}^{tr} : هزینه حمل یک واحد محصول v از کارخانه n به مرکز توزیع j
 α_{iv} : میزان مواد اولیه i که برای تولید یک واحد محصول v مصرف می‌شود.
 $delts_S^t$: درصدی که در هر دوره تأمین‌کننده اصلی نمی‌تواند مواد اولیه تأمین کند.
 $delts_I^t$: درصدی که در هر دوره تأمین‌کننده پشتیبان نمی‌تواند مواد اولیه تأمین کند.
 G_S^t : اختلال برای تأمین‌کننده اصلی در دوره t
 B : عدد به اندازه کافی بزرگ

متغیرهای تصمیم

سطح استراتژیک

Y_n : متغیر تصادفی صفر و یک برای احداث کارخانه در مکان n
 x_S : اگر تأمین‌کننده S انتخاب شود، ۱؛ در غیر این صورت صفر
 $IC0_n$: میزان سرمایه اولیه که به کارخانه n در ابتدای دوره اول تخصیص یافته است.
 سطح تاکتیکی
 x_l : اگر تأمین‌کننده l انتخاب شود، ۱؛ در غیر این صورت صفر
 QM_{isnt}^f : مقدار مواد اولیه i که تأمین‌کننده S از کارخانه n در دوره t به شکل f (نقدی/اعتباری) می‌خرد.
 TC_{isn}^t : مقدار اعتبار تجاری که تأمین‌کننده S به کارخانه n برای خرید مواد اولیه i در دوره t می‌دهد.
 $PT_{isn\psi}^t$: میزان بازپرداخت اعتبار تجاری به تأمین‌کننده S در دوره ψ که به کارخانه n در دوره t برای خرید مواد اولیه i پرداخت کرده است.
 Qln_{inf}^t : مقدار مواد اولیه i که تأمین‌کننده l از کارخانه n در دوره t به شکل f (نقدی/اعتباری) می‌خرد.
 TR_{in}^t : مقدار اعتبار تجاری که تأمین‌کننده l به کارخانه n برای خرید مواد اولیه i در دوره t می‌دهد.
 PR_{ilnt}^t : میزان بازپرداخت اعتبار تجاری به تأمین‌کننده l در دوره ψ که به کارخانه n در دوره t برای خرید مواد اولیه i پرداخت کرده است.
 Q_{vnt}^{pr} : مقدار محصول v که کارخانه n در دوره t تولید می‌کند.
 Q_{vnt}^{in} : مقدار موجودی محصول v در کارخانه n در انتهای دوره t

IC_n^t : میزان پول باقیمانده در کارخانه n در انتهای دوره t
 SC_{vnj}^t : مقدار اعتبار تجاری که کارخانه n به مرکز توزیع j برای خرید محصول v در دوره t می‌دهد.
 L_K_n : میزان وام که به کارخانه n در دوره اول تخصیص می‌یابد.
 $ST_{vnj\psi}^t$: میزان بازپرداخت اعتبار تجاری به کارخانه n در دوره ψ که به مرکز توزیع j در دوره t برای خرید محصول v پرداخت کرده است.
 C_{nt}^{op} : هزینه عملیات برای کارخانه n در دوره t
 C_{nt}^{tx} : هزینه مالیات برای کارخانه n در دوره t
 Π_n^t : درآمد مشمول مالیات برای کارخانه n در دوره t
 PR_n : پرداختی بابت اصل وام دریافت‌شده توسط کارخانه n در دوره اول
 II_n : پرداختی بابت سود وام دریافت‌شده توسط کارخانه n در دوره اول
 $Q_{vmjt}^{tr,f}$: مقدار محصول v که مرکز توزیع j از کارخانه n در دوره t به شکل f (نقدی / اعتباری) می‌خرد.

توابع هدف مدل ریاضی در محدودیت‌های ۱ و ۲، ارائه شده است. تابع هدف اول بیشینه‌سازی ارزش فعلی خالص دارایی سهام‌داران در انتهای افق برنامه‌ریزی و تابع هدف دوم، بیشینه‌سازی برآورد تقاضا است. در تابع هدف اول، ارزش فعلی خالص اجزای زیر بیشینه‌سازی می‌شود:

جزء اول: جزء اول عبارت است از: پولی که در کارخانه‌ها در انتهای افق برنامه‌ریزی باقی‌مانده است. با توجه به اینکه مدل چنددوره‌ای است، در نتیجه پولی که در کارخانه‌ها در انتهای دوره آخر باقی می‌ماند عبارت است از: مجموع پول باقی‌مانده از دوره قبل، درآمد نقدی حاصل از فروش و بازپرداخت اعتبار تجاری دریافت‌شده از کارخانه منهای مجموع بازپرداخت اعتبار تجاری دریافت‌شده از تأمین‌کننده اصلی و پشتیبان، هزینه‌های عملیاتی، هزینه مالیات و هزینه‌های اصل و سود وام.

جزء دوم: جزء دوم عبارت است از: ارزش موجودی محصولات تکمیل‌شده در انتهای افق برنامه‌ریزی. برای سادگی موجودی محصولات تکمیل‌شده در انتهای افق برنامه‌ریزی در هزینه تولید یک واحد محصول که به‌عنوان پارامتر مدل است، ضرب شده و هزینه تولید یک واحد محصول به‌عنوان ارزش موجودی یک واحد محصول در نظر گرفته شده است.

جزء سوم: جزء سوم عبارت است از: هزینه‌ای که برای احداث یک کارخانه صرف شده منهای مجموع استهلاک کارخانه‌ها در طول افق برنامه‌ریزی که با روش مجموع ارقام سنوات محاسبه شده است. در واقع هزینه‌ای که برای احداث کارخانه صرف شده، به‌عنوان ارزش کارخانه در نظر

گرفته شده است که استهلاک از آن کم شده است و ارزش باقی مانده کارخانه احداث شده در تابع هدف بیشینه سازی می شود.

در واقع هزینه های تولید و احداث که به صورت مثبت در نظر گرفته شده اند، به ترتیب در نقش ارزش موجودی محصولات تکمیل شده و ارزش کارخانه های احداث شده هستند که هر دو پارامتر مدل هستند.

$$\begin{aligned} \text{Max NPV} = & \left(\sum_{n \in N} e^{-(\alpha - \theta - \alpha \theta)T} (IC_n^T + \left(\sum_{v \in V} c_v^{pr} Q_{vnt}^{in} \right) \right. \\ & \left. + cn_n Y_n - \sum_{t \in T} \frac{\gamma_n - t - 1}{\frac{\gamma_n(\gamma_n + 1)}{2}} (cn_n - \delta_n) Y_n \right) \end{aligned} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\text{Max FR} = \frac{\sum_{v \in V} \sum_{n \in N} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} \sum_{f \in F} Q_{vnjt}^{tr,f}}{\sum_{v \in V} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} d_{vj}^t} \quad \text{رابطه (۲)}$$

محدودیت های ۳ تا ۱۰ نشان می دهند که احداث کارخانه در مکان خاص بر تصمیم هایی مانند تدارکات، تولید و تأمین مالی تأثیر می گذارد.

$$\sum_{i \in I} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} \sum_{f \in F} QM_{isnt}^f \leq \alpha_{-st} Y_n \quad \forall n \in N \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$Q_{vnt}^{pr} \leq \alpha_{-vn} Y_n \quad \forall v \in V, n \in N, t \in T \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$TC_{isn}^t \leq O_{ist} Y_n \quad \forall i \in I, s \in S, t \in T, n \in N \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$TR_{ilt}^t \leq O_{Lit} Y_n \quad \forall i \in I, l \in L, t \in T, n \in N \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$\sum_{j \in J} SC_{vnj}^t \leq Z_{vnt} Y_n \quad \forall v \in V, n \in N, t \in T \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$\sum_{v \in V} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} \sum_{\psi \in T | \psi \geq t+1} ST_{vmjt}^\psi \leq B * Y_n \quad \forall n \in N \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$L_k n \leq L Y_n \quad \forall n \in N \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$\sum_{t \in T} IC_n^t \leq B Y_n \quad \forall n \in N \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

طبق محدودیت ۱۱، مجموع کالاهایی که از کارخانه ها به مراکز توزیع ارسال می شود باید از تقاضای مشتریان کمتر باشد.

$$\sum_{n \in N} \sum_{f \in F} Q_{vnjt}^{tr,f} \leq d_{vj}^t \quad \forall v \in V, j \in J, t \in T \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

محدودیت ۱۲، تعادل موجودی در مدل‌های چنددوره‌ای را نشان می‌دهد. محدودیت ۱۳، مربوط به صفربودن موجودی در ابتدای افق برنامه‌ریزی است.

$$Q_{vnt}^{in} = Q_{vn(t-1)}^{in} + Q_{vnt}^{pr} - \sum_{j \in J} \sum_{f \in F} Q_{vnjt}^{tr,f} \quad \forall v \in V, n \in N, t \in T \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

$$Q_{vn,0}^{in} = 0 \quad \forall v \in V, n \in N \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

محدودیت‌های ۱۴ و ۱۵، نشان می‌دهند خریدهای اعتباری مواد اولیه از طریق اعتبار تجاری فراهم می‌شود که تأمین‌کننده به کارخانه پرداخت می‌کند. در واقع به‌اندازه هزینه‌ای که برای خرید مواد اولیه موردنیاز است، تأمین‌کنندگان اصلی و پشتیبان برای کارخانه‌ها اعتبار تخصیص می‌دهند. همان‌طور که مشخص است، اعتبار برای جریان فیزیکی مواد اولیه که به‌شکل اعتباری است، در نظر گرفته شده و خرید مواد اولیه به‌شکل نقدی در این محدودیت‌ها لحاظ نشده است.

$$QM_{isnt}^2 p_{isn} \leq TC_{isn}^t \quad \forall i \in I, s \in S, n \in N, t \in T \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

$$Qln_{ln2}^{it} pl_{lin} \leq TR_{ltn}^t \quad \forall i \in I, l \in L, n \in N, t \in T \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

محدودیت ۱۶، نشان می‌دهد که فروش اعتباری محصولات از طریق اعتباری که کارخانه به مراکز توزیع پرداخت می‌کند، انجام می‌شود. در واقع به‌اندازه ارزش محصولات که کارخانه به فروش می‌رساند، کارخانه‌ها برای توزیع‌کنندگان اعتبار تخصیص می‌دهند. چنان‌که ملاحظه می‌شود، جریان محصول که به‌شکل اعتباری به فروش رسیده، در این محدودیت در نظر گرفته شده است.

$$Q_{vnjt}^{tr,2} P_{vnj} \leq SC_{vnj}^t \quad \forall v \in V, n \in N, j \in J, t \in T \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

محدودیت‌های ۱۷ تا ۱۹، مربوط به بازپرداخت اعتبار تجاری و زمان‌بندی بازپرداخت اعتبار تجاری دریافت‌شده از تأمین‌کنندگان و کارخانه‌ها است. این محدودیت‌ها نشان می‌دهند که اگر

بازپرداخت اعتبار تجاری که کارخانه‌ها و مراکز توزیع دریافت کرده‌اند در دوره مجاز انجام شود، بازپرداخت معادل اعتبار دریافت شده صورت می‌گیرد؛ اما اگر دوره بازپرداخت از دوره مجاز بیشتر شود، شامل جریمه می‌شود. این جریمه نیز متناسب با تعداد دوره‌هایی است که تأخیر در بازپرداخت صورت گرفته است.

$$TC_{isn}^t \leq \sum_{\psi \in T | \psi \geq t+1} PT_{isnt}^\psi / (1 + R_{S_{is}})^{\max(0, \psi - t - \phi_{is})} \quad \forall i \quad \text{رابطه (۱۷)}$$

$$\in I, s \in S, n \in N, t \in T$$

$$TR_{lsn}^t \leq \sum_{\psi \in T | \psi \geq t+1} PR_{lsnt}^\psi / (1 + R_{l_{il}})^{\max(0, \psi - t - \phi_{l_{is}})} \quad \forall i \quad \text{رابطه (۱۸)}$$

$$\in I, l \in L, n \in N, t \in T$$

$$SC_{vnj}^t \leq \sum_{\psi \in T | \psi \geq t+1} ST_{vnjt}^\psi / (1 + W_{nv_{nv}})^{\max(0, \psi - t - \beta_{nv})} \quad \forall v \quad \text{رابطه (۱۹)}$$

$$\in V, n \in N, j \in J, t \in T$$

محدودیت ۲۰ نشان می‌دهد که پرداخت اعتبار تجاری توسط اعتباردهنده و بازپرداخت اعتبار تجاری توسط اعتبارگیرنده نمی‌تواند در یک دوره زمانی انجام شود. در واقع در این محدودیت جمع بازپرداخت‌های اعتبار تجاری به کارخانه‌ها، تأمین‌کنندگان اصلی و پشتیبان در شرایطی که دوره پرداخت و بازپرداخت یکسان باشد، برابر صفر قرار داده شده است و این محدودیت تضمین می‌کند که بازپرداخت اعتبارهای تجاری که در یک دوره خاص دریافت شده است، نمی‌تواند در همان دوره صورت گیرد. بازپرداخت اعتبار تجاری نمی‌تواند منفی باشد و به‌عنوان متغیر تصمیم مثبت در نظر گرفته شده‌اند.

$$\sum_{v \in V} \sum_{n \in N} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} ST_{vnjt}^\psi + \sum_{i \in I} \sum_{s \in S} \sum_{n \in N} PT_{isnt}^\psi + \sum_{i \in I} \sum_{l \in L} \sum_{n \in N} PR_{ilnt}^\psi \quad \text{رابطه (۲۰)}$$

$$= 0 \quad \forall t, \psi \in T, t = \psi$$

محدودیت ۲۱، مربوط به هزینه‌های تولید شامل هزینه تدارکات، تولید، موجودی و حمل‌ونقل است. هزینه تدارکات شامل هزینه‌های مربوط به خرید نقدی مواد اولیه از تأمین‌کنندگان اصلی و پشتیبان است. هزینه تولید، موجودی و حمل‌ونقل نیز از حاصل ضرب میزان تولید، میزان موجودی و میزان فروش در هزینه‌های واحد برای آن‌ها محاسبه شده است.

$$\begin{aligned}
C_{nt}^{op} = & \sum_{i \in I} \sum_{l \in L} Qln_{in1}^{it} \times pl_{iln} + \sum_{i \in I} \sum_{s \in S} QM_{isnt}^1 p_{isn} \\
& + \sum_{v \in V} Q_{vnt}^{pr} c_v^{pr} \\
& + \sum_{v \in V} Q_{vnt}^{in} c_v^{in} + \sum_{v \in V} \sum_{j \in J} \sum_{f \in F} Q_{vmjt}^{tr,f} c_{vnj}^{tr} \quad \forall n \\
& \in N, t \in T
\end{aligned} \quad \text{رابطه (۲۱)}$$

محدودیت ۲۲، حد بالای میزان سرمایه در دسترس در دوره اول را نشان می‌دهد. در دوره اول برای احداث کارخانه‌ها و انجام عملیات تولید سرمایه اولیه در دسترس است که به هر یک از کارخانه‌ها، مطابق خروجی مدل ریاضی، تخصیص داده خواهد شد.

$$\sum_{n \in N} IC0_n \leq icc_0 \quad \text{رابطه (۲۲)}$$

محدودیت ۲۳، پرداخت دوره‌ای اصل وام و محدودیت ۲۴، پرداخت دوره‌ای سود وام را نشان می‌دهد.

$$PR_n = \frac{L \cdot k_n}{T} \quad \forall n \quad \text{رابطه (۲۳)}$$

$$\in N$$

$$II_n = L \cdot K_n \times R \quad \forall n \quad \text{رابطه (۲۴)}$$

$$\in N$$

محدودیت ۲۵، درآمد مشمول مالیات را محاسبه می‌کند که برابر با درآمد خالص منهای استهلاک کارخانه‌ها است. برای حصول درآمد خالص، مجموع درآمد حاصل از فروش و بازپرداخت مراکز توزیع به کارخانه‌ها بابت اعتبار تجاری دریافت شده محاسبه شده و سپس هزینه‌های تأمین مالی، هزینه‌های عملیاتی و بازپرداخت‌های اعتبار تجاری کارخانه‌ها به تأمین‌کنندگان از آن کم می‌شود. طبق مفاهیم حسابداری تعهدی برای محاسبه درآمد مشمول مالیات در یک دوره، اعتبار تجاری‌هایی که در یک دوره کارخانه دریافت یا پرداخت می‌کند، حساب‌های پرداختی و حساب‌های دریافتی تلقی می‌شود. برای اینکه هزینه‌های جریمه دیرکرد بازپرداخت اعتبار تجاری در هزینه‌ها در نظر گرفته شود، مقادیر مربوط به بازپرداخت اعتبارهای تجاری دریافت شده یا پرداخت شده در یک دوره در محدودیت ۲۵، در نظر گرفته شده است.

$$\begin{aligned}
\Pi_n^t = & \sum_{v \in V} \sum_{j \in J} Q_{vnjt}^{tr,1} p_{pvj} + \sum_{v \in V} \sum_{j \in J} \sum_{\psi \in T | \psi \geq t+1} ST_{vnjt}^\psi \\
& - \sum_{i \in I} \sum_{s \in S} \sum_{\psi \in T | \psi \geq t+1} PT_{isnt}^\psi - C_{nt}^{op} - II_n \\
& - \frac{\gamma_n - t - 1}{\gamma_n(\gamma_n + 1)} (cn_n - \delta_n) \\
& - \sum_{i \in I} \sum_{l \in L} \sum_{\psi \in T | \psi \geq t+1} PR_{ilnt}^\psi \quad \forall n \in N, t \in T
\end{aligned}$$

رابطه (۲۵)

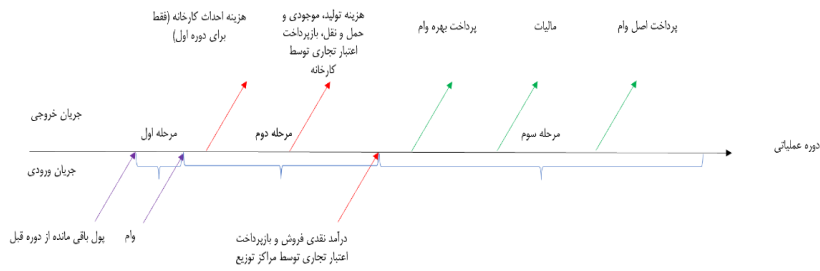
محدودیت ۲۶، هزینه مالیات کارخانه در یک دوره را نشان می‌دهد و محدودیت اصلی است که به شکل زیر خطی سازی شده است.

$$\begin{aligned}
C_{nt}^{tx} &= Tax \max\{\Pi_n^t, 0\} \quad \forall n \in N, t \in T \\
C_{nt}^{tx} &\geq Tax \Pi_n^t \quad \forall n \in N, t \in T \\
C_{nt}^{tx} &\geq 0 \quad \forall n \in N, t \in T
\end{aligned}$$

رابطه (۲۶)

محدودیت ۲۷، پول باقیمانده در کارخانه در انتهای یک دوره را نشان می‌دهد. برای به دست آوردن این محدودیت باید جریان ورودی پول در هر دوره از جریان خروجی پول در هر دوره کسر شود. مطابق شکل ۲، هر دوره زمانی به سه مرحله تقسیم می‌شود: در مرحله اول، جریان های ورودی پول عبارتند از پولی که از دوره ی قبلی به این دوره منتقل شده است و وام

در مرحله دوم، جریان های ورودی پول عبارتند از درآمد نقدی فروش و بازپرداخت اعتبار تجاری توسط مراکز توزیع به کارخانه ها و جریان های خروجی پول عبارتند از هزینه احداث کارخانه (فقط در دوره اول)، هزینه تولید، موجودی، حمل و نقل و بازپرداخت اعتبار تجاری به تأمین کنندگان در مرحله سوم، جریان های خروجی پول شامل پرداخت هزینه های اصل و سود وام و پرداخت مالیات می باشد [۴۲].



شکل ۲. جریان‌های ورودی و خروجی پول در یک دوره عملیاتی در یک کارخانه

$$IC_n^t = \begin{cases} IC_0 + L_K + \sum_{v \in V} \sum_{j \in J} Q_{vnjt}^{tr,1} pp_{vnj} - Y_n c_n - C_{nt}^{op} - C_{nt}^{tx} - II_n - PR_n & (t = 1) \\ IC_n^{t-1} + \sum_{v \in V} \sum_{j \in J} Q_{vnjt}^{tr,1} pp_{vnj} + \sum_{v \in V} \sum_{n \in N} \sum_{\psi \in T | \psi \leq t-1} ST_{vnj\psi}^t - \sum_{i \in I} \sum_{s \in S} \sum_{\psi \in T | \psi \leq t-1} PT_{isn\psi}^t - C_{nt}^{op} - C_{nt}^{tx} - \sum_{i \in I} \sum_{l \in L} \sum_{\psi \in T | \psi \leq t-1} P & (t > 1) \end{cases} \quad (27)$$

$\forall n \in N$

محدودیت‌های ۲۸ و ۲۹، نشان می‌دهند که در دوره اول برای تأمین مالی هزینه‌های احداث کارخانه و عملیات از سرمایه اولیه تخصیص یافته به کارخانه و وام استفاده می‌شود. همچنین در این دوره برای تأمین مالی هزینه‌های مالیات و پرداخت اصل و سود وام از درآمد نقدی حاصل از فروش استفاده می‌شود.

$$Y_n c_n + C_{n1}^{op} \leq IC_0 + L_K \quad \forall n \in N \quad (28)$$

$$C_{n1}^{tx} + PR_n + II_n \leq \sum_{v \in V} \sum_{j \in J} Q_{vnj1}^{tr,1} pp_{vnj} \quad \forall n \in N \quad (29)$$

محدودیت ۳۰، نشان می‌دهد که در سایر دوره‌ها (غیر از دوره اول) برای تأمین مالی هزینه‌های تولید از پول باقیمانده از دوره قبل استفاده می‌شود.

$$C_{nt}^{op} \leq IC_n^{t-1} \quad \forall t \quad \text{رابطه (۳۰)}$$

$$\geq 2, n \in N$$

طبق محدودیت ۳۱، در سایر دوره‌ها (غیر از دوره اول) تأمین مالی هزینه‌های مالیات، پرداخت اصل و سود وام و همچنین بازپرداخت اعتبار تجاری دریافت شده از تأمین کنندگان به وسیله درآمد نقدی حاصل از فروش و همچنین بازپرداخت‌های اعتبار تجاری توسط مراکز توزیع صورت می‌گیرد.

$$C_{nt}^{tx} + PR_n + II_n + \sum_{i \in I} \sum_{s \in S} \sum_{\psi \in T | \psi \leq t-1} PT_{isn\psi}^t$$

$$+ \sum_{i \in I} \sum_{l \in L} \sum_{\psi \in T | \psi \leq t-1} PR_{ilt}^\psi$$

$$\leq \sum_{v \in V} \sum_{n \in N} \sum_{\psi \in T | \psi \leq t-1} ST_{vnj\psi}^t \quad \text{رابطه (۳۱)}$$

$$+ \sum_{v \in V} \sum_{j \in J} Q_{vmjt}^{tr,1} pp_{vmj} \quad \forall t \geq 2, n \in N$$

محدودیت‌های ۳۲ تا ۳۴، روابط مربوط به تاب‌آوری را تضمین می‌کنند. طبق محدودیت ۳۲، زمانی که اختلال GS_s^t در ظرفیت تأمین کننده اصلی ایجاد می‌شود؛ به طوری که دیگر امکان تأمین کامل مواد اولیه وجود نداشته باشد، تأمین کننده پشتیبان توسط مدل انتخاب می‌شود که ظرفیت تأمین آن نیز از سوی محدودیت ۳۳ تضمین می‌گردد. در نهایت مطابق محدودیت ۳۴، میزان تولید در کارخانه بر اساس انتقال مواد اولیه از سوی دو تأمین کننده اصلی و پشتیبان تعیین می‌شود.

$$\frac{\sum_{n \in N} \sum_{i \in I} QM_{isnt}^f}{(1 - delts_s^t)} \leq (1 - GS_s^t) \times \alpha_{sSt} \times xs_s \quad \forall s \quad \text{رابطه (۳۲)}$$

$$\in S, t \in T, f \in F$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{n \in N} Qln_{inf}^{it} / (1 - delts_l^t) \leq capl_{it}^l \times xl_l \quad \forall l \quad \text{رابطه (۳۳)}$$

$$\in L, t \in T, f \in F$$

$$\alpha_{iv} \times Q_{vnt}^{pr} = \sum_{s \in S} \left(\frac{QM_{isnt}^f}{1 - delts_s^t} \right) + \sum_{l \in L} \left(\frac{Qln_{inf}^{it}}{1 - delts_l^t} \right) \quad \forall i \quad \text{رابطه (۳۴)}$$

$$\in I, r \in R, t \in T, v \in V, n \in N, f \in F$$

محدودیت‌های ۳۵ و ۳۶، دامنه تغییرات متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهند.

$$\begin{aligned}
 & QM_{isnt}^f, TC_{isn}^t, PT_{isn\psi}^t, Qln_{inf}^{it}, TR_{iln}^t, PR_{ilnt}^t, Q_{vnt}^{pr}, Q_{vnt}^{in}, IC \cdot n, IC_n^t, SC_v^t \\
 & L_{K_n}, ST_{vnj\psi}^t, C_{nt}^{op}, C_{nt}^{tx}, \Pi_n^t, PR_n, II_n, Q_{vnjt}^{tr,f} \geq 0
 \end{aligned}
 \tag{۳۵}$$

$$Y_n, xl_l, xs_s \in [0,1] \tag{۳۶} \text{ رابطه}$$

روش حل. برنامه‌ریزی آرمانی یکی از کاربردی‌ترین رویکردهای چندهدفه است. در رویکردهای برنامه‌ریزی آرمانی، تصمیم‌گیرندگان مقادیر خاصی را به توابع هدف به‌عنوان سطوح انتظار یا اهداف خود اختصاص می‌دهند و سپس سعی می‌کنند جمع انحرافات از سطوح انتظار را به حداقل برسانند. در برنامه‌ریزی آرمانی، آرمان توابع هدف باید با یک مقدار مشخص بیان شود و از آنجا که در مسائل واقعی عدم قطعیت وجود دارد، تعیین مقدار معینی برای هدف موردنظر تقریباً غیرممکن است. یکی از مؤثرترین رویکردها برای پرداختن به عدم قطعیت در فرایند تصمیم‌گیری، نظریه مجموعه‌های فازی است؛ بنابراین ترکیب نظریه مجموعه‌های فازی و برنامه‌ریزی آرمانی که به برنامه‌ریزی آرمانی فازی (FGP^1) منجر می‌شود، یک ایده عملی است [۳۳]. PFGP توسعه جدیدی از FGP است که نخستین بار میرزایی و همکاران (۲۰۱۸)، آن را معرفی کردند [۲۶]. روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی پیشگیرانه ($PFGP^2$) توسعه FGP است که قابلیت در نظر داشتن اهمیت و اولویت‌های متفاوت برای اهداف را دارد. در روش PFGP محدودیت روش‌های قبلی رفع شده است؛ از جمله اینکه تصمیم‌گیرندگان باید یک حد پایین خاص برای درجه دستیابی به اهداف تعیین کنند؛ همچنین ممکن است برای دستیابی به حداقل درجه موفقیت برای یک هدف، یک درجه دستیابی کل بهتر از همه اهداف را حذف کند. روش PFGP به این مشکل می‌پردازد و برای آن راه‌حلی ارائه می‌دهد و در عین حال اولویت اهداف را نیز در نظر می‌گیرد. در این روش، اهداف اولویت‌بندی می‌شوند و درجه دستیابی به مهم‌ترین هدف باید بیشتر از درجه دستیابی به اهداف دیگر باشد. این اولویت‌ها از طریق برخی معادلات، به‌عنوان محدودیت‌های اولویت، به مدل اضافه می‌شوند. PFGP را می‌توان در مسائل چندهدفه با عدم قطعیت در اهداف و اهداف با اهمیت متفاوت به‌کار بست. دلایل استفاده از روش PFGP ادامه بیان شده است:

- برنامه‌ریزی آرمانی یکی از متداول‌ترین روش‌های مورد استفاده برای حل مؤثر مدل‌های چندهدفه است [۲۰]؛

- این روش لزوم تعیین مقدار ثابت، هم برای تابع هدف و هم درجه دستیابی تابع هدف را از بین می‌برد و به‌درستی عدم قطعیت موجود در تعیین آرمان برای هر هدف را در نظر می‌گیرد [۲۶]؛

- مدیران صنعت به راحتی می توانند ساختار واضح و سراسر روش را درک کنند [۲۶]؛
 - در این روش تصمیم گیرندگان می توانند به آسانی تأثیرات اولویت توابع هدف را بر ارزش نهایی آنها تغییر دهند و آن ها را مشاهده کنند [۲۰]؛
 - این روش بهتر از روش های برنامه ریزی هدف فازی ارائه شده قبلی عمل می کند [۲۶].
 متغیرها و پارامترهای روش PFGP در ادامه تشریح می شود [۳۳].

μ_o : درجه دستیابی به هدف U_o : مرز بالای تاب آوری برای L_o : مرز پایین تاب آوری برای
 هدف هدف
 d_o^+ : تغییرات مثبت از سطح d_o^- : تغییرات منفی از سطح g_o : هدف مورد انتظار تابع
 مورد انتظار مورد انتظار هدف

بیکربندی کلی PFGP در ادامه تشریح شده است.

$$\text{Max} Z = \sum_{o=1,2} \mu_o \quad \text{رابطه (۳۷)}$$

$$g_c(x) = (\leq \geq) 0 \quad \forall c \quad \text{رابطه (۳۸)}$$

$$\mu_o + \frac{1}{U_o - g_o} \times d_o^+ \leq 1 \quad \forall o = 1,2 \quad \text{رابطه (۳۹)}$$

$$f_o - d_o^+ \leq g_o \quad \forall o = 1,2 \quad \text{رابطه (۴۰)}$$

$$\mu_o + \frac{1}{g_o - L_o} \times d_o^- \leq 1 \quad \forall o = 1,2 \quad \text{رابطه (۴۱)}$$

$$f_o + d_o^- \geq g_o \quad \forall o = 1,2 \quad \text{رابطه (۴۲)}$$

$$\mu_o \geq \mu_{o'} \quad \forall o \neq o' = 1,2 \quad \text{رابطه (۴۳)}$$

$$\mu_o, d_o^-, d_o^+ \geq 0 \quad \text{رابطه (۴۴)}$$

روابط ۳۷ تا ۴۴، نشان دهنده محدودیت های سیستم و f_o نشان دهنده تابع هدف o است.
 رابطه ۳۷، هدف روش PFGP را نشان می دهد که به حداکثر رساندن درجه دستیابی به اهداف پژوهش می پردازد. معادله ۳۸، قیود مسئله اصلی را ارائه می دهد. روابط ۳۹ و ۴۰، درجه دستیابی به حداقل رساندن اهداف را محاسبه می کنند و هدف بیشینه سازی فرض می شود. معادلات ۴۱ و ۴۲، درجه دستیابی به حداکثر کردن اهداف را محاسبه می کنند و هدف بیشینه سازی فرض می شود. معادله ۴۳، نمودار اولویت اهداف است. این معادله تضمین می کند که درجه دستیابی به مهم ترین هدف بیشتر از درجه دستیابی به اهداف دیگر خواهد بود. معادله ۴۴، ویژگی های متغیرهای تصمیم مسئله و PFGP را تعیین می کند.

مدل نهایی پژوهش به صورت زیر است:

$$\text{Max} Z = \mu_1 + \mu_2 \quad \text{رابطه (۴۵)}$$

s. t.

Equation 1 – 35

$$\mu_1 + \frac{1}{go_1 - L_1} \times d_1^- \leq 1 \quad \text{رابطه (۴۶)}$$

$$\text{Enpv} + d_1^- \geq go_1$$

$$\mu_2 + \frac{1}{go_2 - L_2} \times d_2^- \leq 1 \quad \text{رابطه (۴۷)}$$

$$\text{EFR} + d_2^- \geq go_2$$

$$\mu_1 \geq \mu_2 \quad \text{رابطه (۴۸)}$$

بررسی مدل تحت شرایط عدم قطعیت. در سال‌های اخیر برای مقابله با عدم قطعیت داده‌ها رویکرد بهینه‌سای استوار توسعه داده شده است. این رویکرد به دنبال جواب‌های نزدیک به بهینه است که با احتمال بالایی مواجه خواهد بود؛ به عبارت دیگر این امکان وجود داشته باشد که با کمی صرف نظر کردن از تابع هدف، موجه بودن جواب به دست آمده تضمین شود. در بهینه‌سازی استوار هدف یافتن راه‌حلی است که در مقابل عدم قطعیت کمترین تغییرات را نشان دهد [۶]. به طور کلی مدل‌های استواری موجود را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد [۴۳]: گروه اول به دنبال راه‌حلی است که تابع هدف را برای بدترین سناریو بهینه کند؛ گروه دوم، شرایطی را به راه‌حل‌ها تحمیل می‌کند. در این حالت، راه‌حلی را می‌توان یک حل استوار دانست که بتواند شرایط تحمیلی را برقرار کند.

رویکرد بهینه‌سازی استوار^۱ رویکرد مناسبی در مواجهه با عدم قطعیت داده‌ها است. با استفاده از این رویکرد می‌توان برنامه اولیه را به نحوی ایجاد کرد که تغییر داده‌ها حین اجرای برنامه تا حد ممکن کمترین تغییرات را در برنامه اولیه سبب شود. در ادامه روش برتسیماس و سیم برای یک مدل ریاضی ارائه می‌شود. مسئله زیر را در نظر بگیرید [۷]:

$$\text{Min } z = \sum_{i,j} c_{ij} x_j \quad \text{رابطه (۴۹)}$$

$$\text{s. t} \quad \text{رابطه (۵۰)}$$

$$\sum_j \hat{a}_{ij} x_j \geq b_i \quad \forall i \quad \text{رابطه (۵۱)}$$

$$x_j \geq 0 \quad \text{رابطه (۵۲)}$$

در رابطه ۵۱، پارامتر \hat{a}_{ij} تحت شرایط عدم قطعیت است. در ادامه همتای استوار حاصل از روش برتسیماس و سیم برای این مدل ارائه می‌شود. متغیرهای λ_i و μ_{ij} مثبت و Γ_i پارامتر کنترل عدم قطعیت هستند [۷، ۳۶].

$$\text{Min } z = \sum_{i,j} c_{ij}x_j \quad \text{رابطه (۵۳)}$$

$$\text{s. t} \quad \text{رابطه (۵۴)}$$

$$\sum_j a_{ij}x_j - \lambda_i \Gamma_i - \sum_j \mu_{ij} \geq b_i \quad \forall i \quad \text{رابطه (۵۵)}$$

$$\mu_{ij} + \lambda_i \geq \hat{a}_{ij}x_j \quad \text{رابطه (۵۶)}$$

$$\mu_{ij} \geq 0 \quad \text{رابطه (۵۷)}$$

$$\lambda_i \geq 0 \quad \text{رابطه (۵۸)}$$

$$x_j \geq 0 \quad \text{رابطه (۵۹)}$$

دلایل به کارگیری روش برتسیماس و سیم عبارت‌اند از [۷، ۳۶]:
 - سطح محافظه‌کاری راه‌حل‌های استوار از نظر محدودیت‌های احتمالی نقض محدودیت‌ها به شکل انعطاف‌پذیر تنظیم می‌شود؛ به طوری که با تغییر دیتاهای ورودی مسئله، محدودیت‌های مسئله همواره برآورد می‌شود (مدل، شدنی باقی می‌ماند)؛
 - یک جنبه دیگر این است که فرمول ریاست (برتسیماس و سیم) یک مسئله بهینه‌سازی خطی است؛

- در این روش محدوده نقض محدودیتی که در حالت عدم قطعیت است، تعیین می‌شود؛
 - این روش به طور عمده برای مسائل بهینه‌سازی استفاده می‌شود و سطوح ریسک‌گریزی و ریسک‌پذیری را برای تصمیم‌گیری متناسب با نگرش تصمیم‌گیرندگان (بر حسب ریسک‌پذیری/گریز) ارائه می‌دهد.

در مدل ریاضی این پژوهش، پارامترهای تقاضا و میزان اختلال در تأمین‌کننده اصلی تحت شرایط عدم قطعیت است که با استفاده از روش برتسیماس و سیم معادل ریاست آن نوشته می‌شود [۳۶]. با توجه به اینکه پارامترهای موردنظر در محدودیت‌های ۱۱، ۲ و ۳۱ تأثیر دارند، معادل ریاست آن در روابط ۶۰ تا ۶۳ نوشته می‌شود.

۱: متغیرهای دوگانه مربوط به محدودیت‌های Γ : تعداد ضرایب نامشخص از مقادیر اسمی بهینه‌سازی خطی اولیه پارامترهایی که اختلال دارند.

۲: متغیرهای دوگانه مربوط به محدودیت‌های p : درصد اختلال ایجادشده بهینه‌سازی خطی اولیه

$$\begin{aligned} \hat{d}_{vj}^t &= p \times d_{vj}^t \\ \widehat{GS}_s^t &= p \times GS_s^t \\ \text{MaxFR} &= \frac{\sum_{v \in V} \sum_{n \in N} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} \sum_{f \in F} Q_{vnjt}^{tr,f}}{\sum_{v \in V} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} d_{vj}^t + \{\Gamma^d \times \hat{d}_{vj}^t\}} \end{aligned} \quad \text{رابطه (۶۰)}$$

$$\begin{aligned} \sum_{n \in N} \sum_{f \in F} Q_{vnjt}^{tr,f} &\leq d_{vj}^t \\ &- \{\Gamma^d \times \hat{d}_{vj}^t\} \quad \forall v \\ &\in V, k \in K, j \in J, t \in T \end{aligned} \quad \text{رابطه (۶۱)}$$

$$\begin{aligned} \frac{\sum_n \sum_i Q_{isnt}^{m,f}}{(1 - \text{delts}_s^t)} &\leq (1 - GS_s^t) \times \alpha_{sstk} \times xs_s \\ &- \{\mu_{st}^{GS} + \Gamma^{GS} \times \lambda^{GS}\} \quad \forall s \in S, t \in T, f \\ &\in F \end{aligned} \quad \text{رابطه (۶۲)}$$

$$\mu_{st}^{GS} + \lambda^{GS} \geq \widehat{GS}_s^t \times \alpha_{sstk} \times xs_s \quad \text{رابطه (۶۳)}$$

مثال نمونه‌ای. هدف از این قسمت، بررسی نتایج عددی و اعتبارسنجی مدل ریاضی با یک مثال است که شامل دو تأمین‌کننده اصلی و دو تأمین‌کننده پشتیبان، دو مکان بالقوه برای احداث کارخانه، دو مرکز توزیع، دو نوع مواد اولیه و محصول و پنج دوره زمانی است. تقاضای مراکز توزیع به صورت تصادفی بین ۲۵ تا ۴۰ است. متوسط تقاضا به صورت تصادفی به کارخانه‌ها و تأمین‌کنندگان برای تعیین پارامتر ظرفیت آن‌ها تخصیص می‌یابد و ظرفیت تأمین‌کنندگان به صورت تصادفی بین ۱۰۰ تا ۱۱۰ و ظرفیت کارخانه‌ها به صورت تصادفی بین ۱۲۰ تا ۱۳۰ انتخاب می‌شود. هزینه ثابت برای احداث کارخانه‌ها بر اساس ظرفیت کارخانه‌ها یعنی $(\sum_{v \in V} \alpha_{vnvnt})$ تعیین می‌شود. رابطه ۶۴ ارتباط بین هزینه ثابت احداث کارخانه‌ها و ظرفیت آن‌ها را نشان می‌دهد. در این معادله، γ_0 و γ_1 به اندازه ۵۰۰۰ و ۲۵ تنظیم شده است. برای تخمین γ_2 نقطه اوج این معادله را در نظر بگیرید. این مقدار به میزان ۲ درصد بالاتر از بیشترین ظرفیت کارخانه است. $EP = \frac{-\gamma_1}{2\gamma_2} = 1/02 \times \text{Max}\{\sum_{v \in V} \alpha_{vnvntk}; \forall n \in N\}$ است. $(N, t \in T, k \in K)$ ؛ در نتیجه γ_2 مطابق رابطه ۶۵ به دست می‌آید [۳۱].

$$cn_n = \gamma_2 \sum_{v \in V} \alpha_{vnvntk}^2 + \gamma_1 \sum_{v \in V} \alpha_{vnvntk} + \gamma_0 \quad \forall n \in N, t \in T, k \in K \quad \text{رابطه (۶۴)}$$

$$\gamma_2 = \frac{-122/5}{\text{Max}\{\sum_{v \in V} \alpha_{vntk}; \forall n \in N, t \in T, k \in K\}} \quad \text{رابطه (۶۵)}$$

هزینه ثابت احداث کارخانه‌ها بر ظرفیت آن‌ها تقسیم و متوسط این مقادیر محاسبه شده و با U_0 نشان داده می‌شود. برای به‌دست‌آوردن هزینه حمل، فاصله بین تأمین‌کنندگان تا کارخانه‌ها و همچنین فاصله بین کارخانه‌ها تا مراکز توزیع در ۵ درصد مقدار U_0 ضرب می‌شود [۳۱].

مثال مطرح‌شده با نرم‌افزار گمز و سالور سیپلکس توسط روش حل برنامه‌ریزی آرمانی فازی حل و نتایج حل و خروجی‌ها در قالب جداول و نمودارها ارائه شده است. فرض می‌شود $\mu_1 \geq \mu_2$ است که مقدار هدف اول $959873/264$ و مقدار هدف دوم برابر $0/809$ است. مقادیر انحراف برای هدف اول $d_1^- = 0, d_2^- = 0.015$ است. در این شرایط تأمین‌کننده پشتیبان ۲ و تأمین‌کننده اصلی ۱ و ۲ برای تأمین نیاز کارخانه برای تولید انتخاب می‌شوند و کارخانه n_2 برای تولید محصولات در شبکه‌ی زنجیره تأمین احداث شده است.

برای حل مسئله موردنظر ابتدا باید حدود توابع هدف مشخص و گزارش شود و تضاد بین اهداف از این طریق موردبررسی قرار گیرد. برای نمایش تضاد بین اهداف باید به این موضوع دقت شود که اگر تقاضای بیشتری تأمین شود، سود کاهش می‌یابد؛ مگر اینکه سود حاصل از این تأمین خیلی بیشتر از هزینه‌های آن باشد که بر اساس محدودیت ۲۷، سود منهای هزینه محاسبه می‌شود. تضاد بین هدف تأمین تقاضا با هدف اول از طریق هزینه‌های تأمین نیاز مشتریان تضمین می‌شود. اگر تأمین تقاضا افزایش داشته باشد، هزینه‌های حاصل از بازپرداخت اعتبار تجاری دریافت‌شده از تأمین‌کنندگان اصلی و پشتیبان، هزینه‌های عملیاتی، هزینه مالیات و پرداخت اصل و سود وام افزایش می‌یابد و موجب کاهش سود می‌شود؛ همچنین بر اساس پژوهش نوییل و همکاران (۲۰۱۸)، می‌توان اثبات کرد که این دو هدف در تضاد هستند [۳۱].

حدود توابع هدف در جدول ۱، ارائه شده است که بر اساس آن، اگر میزان تأمین تقاضا تقریباً ۴ درصد افزایش یابد، یعنی از $0/805$ به $0/835$ برسد، مقدار هزینه‌های مربوطه افزایش می‌یابد و مقدار تابع سود کاهش پیدا می‌کند و از $977545/48$ به $619771/169$ می‌رسد.

جدول ۱. نمایش تضاد بین اهداف پژوهش

	ENPV	EFR	MAX	MIN		
ENPV	977545/48	619771/169	ENPV	EFR	ENPV	EFR
EFR	0/805	0/835	977545/48	0/835	619771/169	0/805

جدول ۵، دربرگیرنده مقادیر مربوط به اعتبارهای تجاری و بازپرداخت‌های اعتبار تجاری است که کارخانه‌ها برای خرید مواد اولیه از تأمین‌کنندگان دریافت کرده بودند. در خصوص زمان‌بندی بازپرداخت اعتبارهای تجاری دریافت‌شده بین تأمین‌کننده پشتیبان و کارخانه می‌توان گفت در دوره ۳، به‌میزان ۱۳۸ واحد دریافت کرده و یک دوره بعد بازپرداخت انجام شده و شامل جریمه نشده است؛ همچنین در دوره ۴، به میزان ۱۴۰ واحد دریافت کرده و یک دوره بعد بازپرداخت انجام شده است. از آنجاکه زمان مجاز برای تأخیر در بازپرداخت اعتبار تجاری دریافت‌شده از تأمین‌کنندگان، یک دوره زمانی تعیین شده، اکثر بازپرداخت‌ها بعد از یک دوره زمانی صورت گرفته و جریمه دیرکرد برای بازپرداخت‌ها لحاظ نشده است؛ اما سطرهای ۲، ۱ و ۷ جدول ۵، شامل جریمه شده است.

جدول ۵. مقادیر اعتبار تجاری و بازپرداخت اعتباری تجاری بین کارخانه و تأمین‌کنندگان

مواد اولیه		تأمین‌کننده		کارخانه		دوره		PT	TC
i_1	i_2	s_1	s_2	n_1	n_2	پرداخت	بازپرداخت		
*		*		*		۱	۳	۴۱/۲۱۵	۳۰/۵۲۹
						۱	۳	۵۰/۹۲۲	۳۷/۷۲
*			*	*		۲	۳	۳۳/۹۶۷	۳۳/۹۶۷
						۴	۵	۳۱/۱۹۶	۳۱/۱۹۶
	*	*		*		۱	۲	۳۰/۵۵۴	۳۰/۵۵۴
						۲	۳	۳۵/۷۶۳	۳۵/۷۶۳
*		*		*		۱	۳	۴۷/۵۱۸	۳۵/۱۹۹

جدول ۶ مقادیر مربوط به اعتبارهای تجاری و بازپرداخت‌های اعتبار تجاری را نشان می‌دهد که مراکز توزیع برای خرید محصولات از تأمین‌کنندگان دریافت کرده بودند. زمان‌بندی بازپرداخت اعتبارهای تجاری دریافت‌شده در جدول ۶ ارائه شده است. از آنجاکه زمان مجاز برای تأخیر در بازپرداخت اعتبار تجاری دریافت‌شده از کارخانه‌ها، یک دوره زمانی در نظر گرفته شده، تمام بازپرداخت‌ها در دوره زمانی آخر انجام شده است. با توجه به اینکه بخشی از تابع هدف مدل در جهت حداکثرسازی پول در دست، در انتهای افق برنامه‌ریزی در کارخانه‌ها است، این نحوه زمان‌بندی در جهت حداکثرسازی تابع هدف مدل است.

جدول ۶. مقادیر اعتبار تجاری و بازپرداخت اعتباری تجاری بین مراکز توزیع و کارخانه

محصول		کارخانه		مرکز توزیع		دوره		ST	SC
v_1	v_2	n_1	n_2	j_1	j_2	پرداخت	بازپرداخت		
						۲	۵	۱۷۰۸۱/۱۷۲	۱۰۱۰۷/۲۰۳
*			*		*	۳	۵	۱۴۰۴۳/۵۰۰	۱۰۸۰۲/۶۹۳
						۴	۵	۱۰۲۰۳/۳۷۸	۱۰۲۰۳/۳۷۸
						۲	۵	۱۹۵۴۶/۸۸۵	۱۱۵۶۶/۲۰۴
	*		*		*	۳	۵	۱۵۴۵۸/۹۴۸	۱۱۸۹۱/۴۹۹
						۴	۵	۱۱۱۹۲/۹۲۵	۱۱۱۹۲/۹۲۵

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

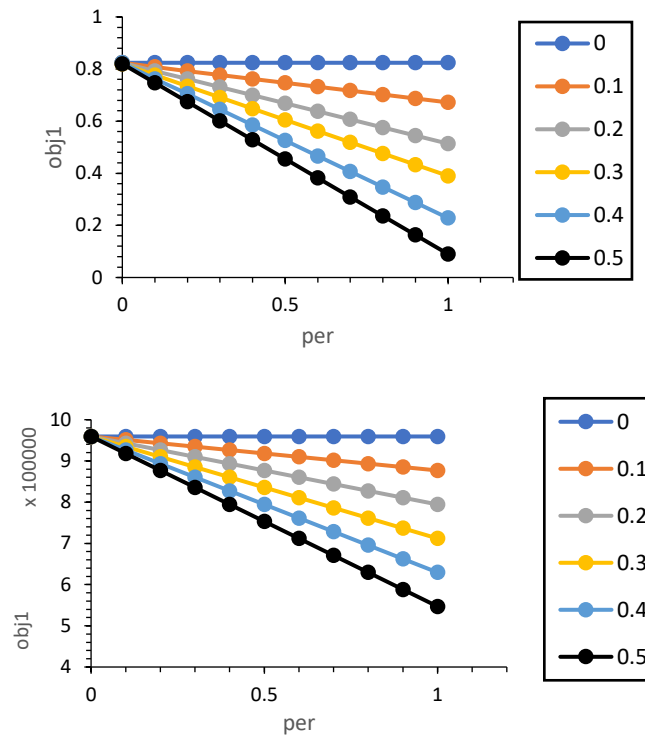
در این بخش، پارامترهای تحت شرایط عدم قطعیت تحلیل می‌شود؛ به این صورت که درصد تغییرات در تقاضا بین صفر تا ۱ و پارامتر کنترل عدم قطعیت نیز بین صفر تا ۱ مدنظر است. با توجه به جدول ۷، با افزایش تأثیر عدم قطعیت، مقادیر توابع هدف بدتر می‌شود. در این مدل پیشنهادی، تعداد گوناگونی پارامتر Γ وجود دارد که به‌طور مستقیم بر میزان متغیرهای تصمیم اثرگذار است. یکی از روش‌های مشخص کردن مقدار این پارامترها این است که مدل چندین بار برای هر یک از مقادیر Γ حل شود و بهترین گزینه که سازگاری و تناسب بهتری دارد، انتخاب شود. روش دیگر برای انتخاب این پارامترها رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی است. در این پژوهش از روش اول استفاده شده و مقادیر مختلف Γ طبق جدول ۷، به‌دست آمده است.

جدول ۷. نتایج حاصل از تحلیل عدم قطعیت

$\Gamma^d - \Gamma^{GS}$	*	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵
Per	Z_1					
۰	۹۵۹۲۹۲	۹۵۹۲۹۲	۹۵۹۲۹۲	۹۵۹۲۹۲	۹۵۹۲۹۲	۹۵۹۲۹۲
۰/۱	۹۵۹۲۹۲	۹۵۱۰۴۴	۹۴۲۷۹۷	۹۳۴۵۴۹	۹۲۶۳۰۲	۹۱۸۰۵۴
۰/۲	۹۵۹۲۹۲	۹۴۲۷۹۷	۹۲۶۳۰۲	۹۰۹۸۰۷	۸۹۳۳۱۲	۸۷۶۸۱۷
۰/۳	۹۵۹۲۹۲	۹۳۴۵۴۹	۹۰۹۸۰۷	۸۸۵۰۶۴	۸۶۰۳۲۱	۸۳۵۵۷۹
۰/۴	۹۵۹۲۹۲	۹۲۶۳۰۲	۸۹۳۳۱۲	۸۶۰۳۲۱	۸۲۷۳۳۱	۷۹۴۳۴۱
۰/۵	۹۵۹۲۹۲	۹۱۸۰۵۴	۸۷۶۸۱۷	۸۳۵۵۷۹	۷۹۴۳۴۱	۷۵۳۱۰۴
۰/۶	۹۵۹۲۹۲	۹۰۹۸۰۷	۸۶۰۳۲۱	۸۱۰۸۳۶	۷۶۱۳۵۱	۷۱۱۸۶۶
۰/۷	۹۵۹۲۹۲	۹۰۱۵۵۹	۸۴۲۸۲۶	۷۸۶۰۹۴	۷۲۸۳۶۱	۶۷۰۶۲۸
۰/۸	۹۵۹۲۹۲	۸۹۳۳۱۲	۸۲۷۳۳۱	۷۶۱۳۵۱	۶۹۵۳۷۱	۶۲۹۳۹۱
۰/۹	۹۵۹۲۹۲	۸۸۵۰۶۴	۸۱۰۸۳۶	۷۳۶۶۰۹	۶۶۲۳۸۱	۵۸۸۱۵۳
۱	۹۵۹۲۹۲	۸۷۶۸۱۷	۷۹۴۳۴۱	۷۱۱۸۶۶	۶۲۹۳۹۱	۵۴۶۹۱۵

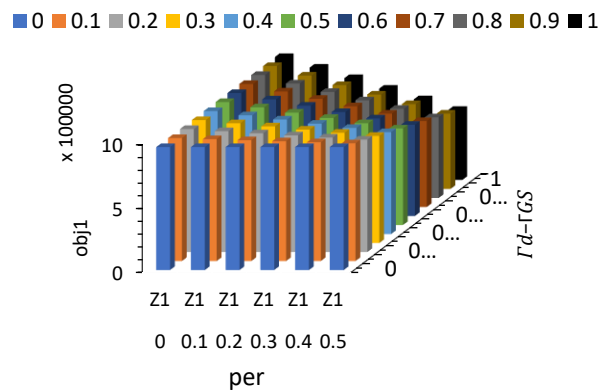
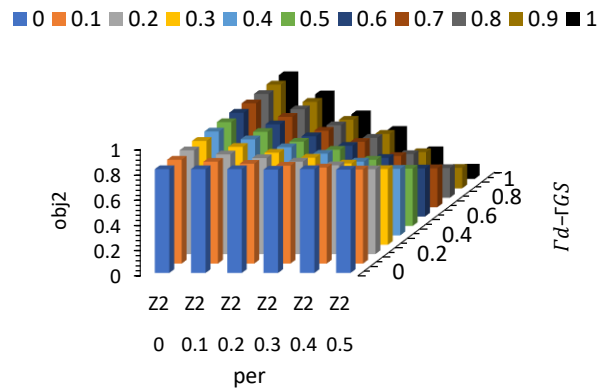
$\Gamma^d - \Gamma^{GS}$	*	+/۱	+/۲	+/۳	+/۴	+/۵
$\Gamma^d - \Gamma^{GS}$	*	+/۱	+/۲	+/۳	+/۴	+/۵
Per	Z_2					
.	-/۸۲۴	-/۸۲۴	-/۸۲۴	-/۸۲	-/۸۲۴	-/۸۲
./۱	-/۸۲۴	-/۸۰۸	-/۷۹۲	-/۷۷۷	-/۷۶۲	-/۷۴۷
./۲	-/۸۲۴	-/۷۹۲	-/۷۶۲	-/۷۳۴	-/۷۰۵	-/۶۷۴
./۳	-/۸۲۴	-/۷۷۷	-/۷۳۰۶۷	-/۶۹۱	-/۶۴۴۶۷	-/۶۰۱
./۴	-/۸۲۴	-/۷۶۲	-/۶۹۹۶۷	-/۶۴۸	-/۵۸۵۱۷	-/۵۲۸
./۵	-/۸۲۴	-/۷۴۷	-/۶۶۸۶۷	-/۶۰۵	-/۵۲۵۶۷	-/۴۵۵
./۶	-/۸۲۴	-/۷۳۲	-/۶۳۷۶۷	-/۵۶۲	-/۴۶۶۱۷	-/۳۸۲
./۷	-/۸۲۴	-/۷۱۷	-/۶۰۶۶۷	-/۵۱۹	-/۴۰۶۶۷	-/۳۰۹
./۸	-/۸۲۴	-/۷۰۲	-/۵۷۵۶۷	-/۴۷۶	-/۳۴۷۱۷	-/۲۳۶
./۹	-/۸۲۴	-/۶۸۷	-/۵۴۴۶۷	-/۴۳۳	-/۲۸۷۶۷	-/۱۶۳
./۱	-/۸۲۴	-/۶۷۲	-/۵۱۳۶۷	-/۳۹	-/۲۲۸۱۷	-/۰۹

در رویکرد برتسیماس و سیم، سطح محافظه کاری کنترل شدنی است. Γ پارامتر کنترل عدم قطعیت را نشان می دهد.



شکل ۳. نتیجه تأثیر عدم قطعیت

طبق شکل ۳، روند بدتر شدن جواب (کاهش در مقدار هدف اول و دوم) با افزایش بودجه عدم قطعیت است. این افزایش در درصد میزان مجاز تغییر از مقدار اسمی (Per) بیشتر است؛ زیرا هرچه پارامتر دارای عدم قطعیت بتواند مقدار بیشتری به خود بگیرد، بر میزان جریمه اعمال شده افزوده می‌شود و در نهایت موجب بدتر شدن جواب‌ها می‌شود.

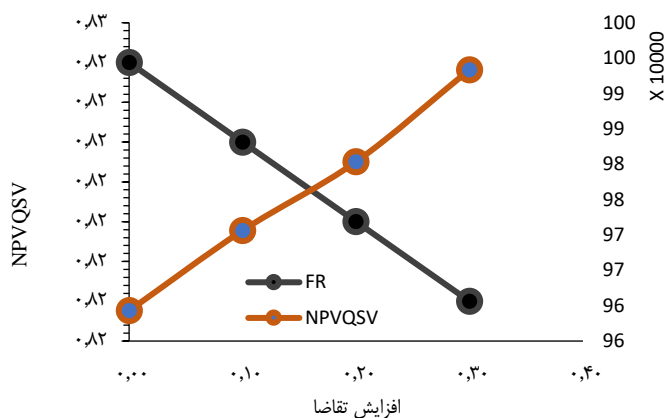


شکل ۴. نتیجه حاصل از تأثیر عدم قطعیت

شکل ۴، روند بدتر شدن جواب با افزایش بودجه عدم قطعیت و درصد تغییر از مقدار اسمی را به وضوح نشان می‌دهد. در این بخش مدیریت شبکه زنجیره تأمین اهمیت دارد که تصمیم‌های آن درباره میزان ریسک و در نظر گرفتن عدم قطعیت است. اگر مدیر از عدم قطعیت به طور کلی یا جزئی چشم‌پوشی کند، در واقع ریسک را پذیرفته است. بسته به نوع مدیریت و ریسک‌پذیری آن، این درصد چشم‌پوشی از عدم قطعیت و میزان ریسک متفاوت است. با توجه به نتایج جدول ۷ و نمودارهای مرتبط با جدول ۷، اگر سطح عدم قطعیت در بیشترین مقدار خود قرار داشته باشد، پاسخ روش برتسیماس و سیم در کمترین مقدار خود قرار دارد و اگر یکی از این مقادیر صفر باشد، با مقدار مدل در حالت قطعی یکسان است. بر اساس جدول ۷، برای مثال، اگر $Per = 20\%$ درصد باشد و سطح عدم قطعیت (Γ) از 0.3 به 0.2 کاهش یابد، پاسخ مدل برای هدف دوم از

۰/۷۷۷ به ۰/۷۹۲ و برای هدف اول از ۹۳۴۵۴۹/۲۱ به ۹۴۳۷۹۶/۷۳ افزایش می‌یابد؛ اما این افزایش با در نظر گرفتن مقداری از عدم قطعیت رخ داده است. به همین ترتیب با کاهش سطح عدم قطعیت، میزان ارضای تقاضای مشتریان و میزان ازدیاد سود افزایش می‌یابد. در این میان، مدیر با توجه به استراتژی‌های شبکه زنجیره تأمین، به تصمیم‌گیری نهایی مبنی بر پذیرش سطح عدم قطعیت و هزینه‌های ناشی از ریسک‌پذیری می‌پردازد و در نتیجه به برآورد صحیح میزان تابع هدف سود و تقاضای سیستم مورد نظر خود اقدام می‌کند؛ بنابراین با افزایش عدم قطعیت، بخشی از اطلاعات برای برآورد درست توابع هدف از بین می‌رود و نتایج بهتری کسب می‌شود. این نتایج از واقعیت دور و همراه با ریسک است.

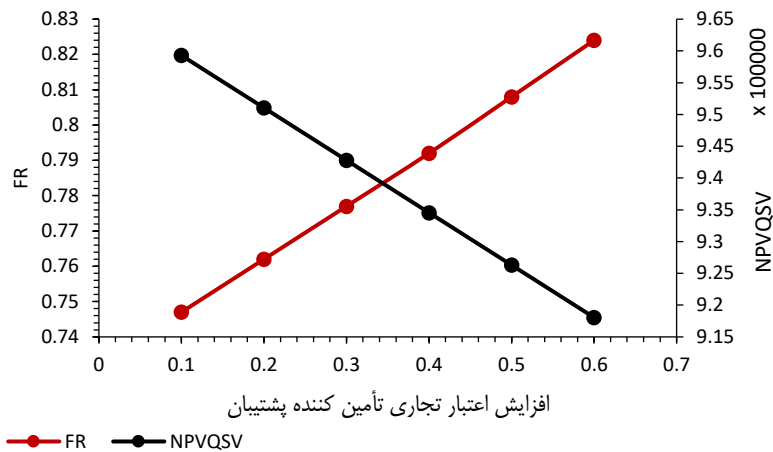
در طراحی شبکه‌های زنجیره تأمین، تقاضای یکی از پارامترهای تعیین‌کننده در مدل ریاضی است. در این بخش، پارامتر تقاضا از ۱۰ درصد تا ۳۰ درصد مقدار اولیه افزایش داده شده است. نتایج این تحلیل در شکل ۵، مشاهده می‌شود.



شکل ۵. تأثیر افزایش تقاضا بر روی توابع هدف

با توجه به شکل ۵، با افزایش مقدار تقاضا در بازه تعریف‌شده، مقدار هدف ارزش فعلی خالص دارایی سهام‌داران در انتهای افق برنامه‌ریزی یا همان NPVQSV افزایش می‌یابد و تابع هدف برآورد تقاضا برای رضایت مشتریان کاهش پیدا می‌کند. از آنجاکه در این مطالعه، شبکه زنجیره تأمین با سرمایه محدود طراحی شده، تابع هدف برآورد تقاضا برای رضایت مشتریان، به علت کمبود منابع مالی، به میزان اولیه ۰/۸۲۴ برآورده شده است. با افزایش پارامتر تقاضا با ثابت ماندن سایر پارامترهای مدل، میزان منابع مالی موجود می‌تواند کسر کمتری از تقاضای مشتریان را برآورده کند.

به منظور برآورد تأثیر اعتبار تجاری تأمین کننده پشتیبان به عنوان منبع تأمین مالی داخلی برای تولید محصولات، میزان پارامتر اعتبار تجاری تأمین کننده پشتیبان از ۱۰ درصد تا ۶۰ درصد مقدار اولیه افزایش داده شده است که نتایج در شکل ۶ مشاهده می شود.



شکل ۶. تأثیر افزایش اعتبار تجاری تأمین کننده پشتیبان بر روی توابع هدف

همان طور که در شکل ۶ مشاهده می شود، با افزایش اعتبار تجاری تأمین کننده پشتیبان به کارخانه به منظور خرید مواد اولیه، به دلیل محدودیت موجود در منابع مالی، منابع مالی موجود که برای خرید مواد اولیه مصرف می شود، آزادسازی و در سایر هزینه های تولید صرف می شود؛ در نتیجه میزان تولید و مقدار هدف برآورد تقاضا افزایش می یابد. از سوی دیگر افزایش هزینه ها موجب کاهش سود می شود. برآورده سازی تقاضا و حفظ سهم بازار برای کسب و کارهایی که در زنجیره تأمین فعالیت می کنند، از جایگاهی ویژه برخوردار است. مدیریت زنجیره تأمین به معنای سودآوری برای همه اعضا است. این سودآوری بر اثر ارتباط و هماهنگی میان اعضا تحقق می یابد. در پژوهش حاضر میزان برآورد تقاضا ۰/۸۲۴ حاصل شده است که این مقدار نشان می دهد بخشی از تقاضا پاسخ داده نشده است و موجب عدم رضایت مشتریان خواهد شد. اگر مقدار تقاضا افزایش یابد، مدیران شبکه زنجیره تأمین باید هماهنگی لازم را با تأمین کنندگان برای تأمین آن داشته باشند که یکی از ضرورت ها برای انجام این مهم تأمین مالی آن است. اعتبار تجاری که منبع تأمین مالی است، باعث هماهنگی میان اعضای زنجیره تأمین می شود؛ به این معنا که وضعیت سرمایه ای اعضای زنجیره تأمین به یکدیگر گره می خورد و از کمبود منابع مالی جلوگیری می شود. با توجه به اینکه جریان مالی پشتوانه جریان فیزیکی و عملیات زنجیره تأمین است، استفاده از اعتبار تجاری و وام و همچنین در نظر گرفتن تأمین کننده پشتیبان به طور

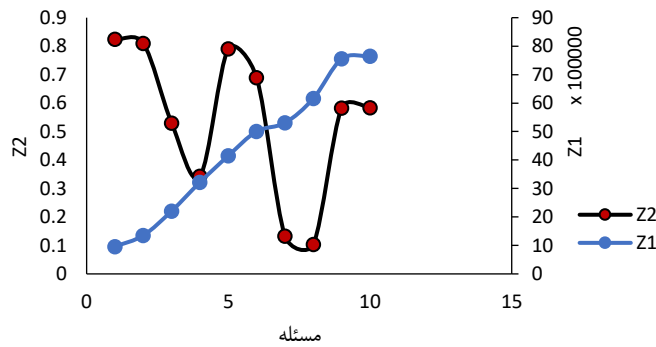
هم‌زمان به رفع مشکل کمبود بودجه زنجیره تأمین کمک می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که میزان مواد اولیه برای تولید محصولات از طریق تأمین‌کننده پشتیبان به کارخانه به‌صورت نقدی صفر و به‌صورت اعتباری ۲۷۸ واحد بوده است که اگر تأمین‌کننده پشتیبان در نظر گرفته نمی‌شد، این میزان تأمین نمی‌شد که کمبود و نارضایتی مشتریان را به دنبال داشت؛ از طرفی ۲۱ واحد به‌صورت اعتباری و ۶۳۷ واحد به‌صورت نقدی از تأمین‌کننده اصلی به کارخانه ارسال شد. این موضوع تأثیر در نظر داشتن جریان مالی در کنار جریان‌های فیزیکی بر روی تصمیم‌گیری ارسال جریان فیزیکی از یک لایه به لایه دیگر را نشان می‌دهد. از سوی دیگر عدم قطعیت در دنیای کسب‌وکار امروز اجتناب‌ناپذیر است و مدیران باید کسب‌وکارشان را با تکیه بر دیدگاه زنجیره‌ای و همچنین استفاده از استراتژی‌های مالی و عملیاتی مناسب ایمن کنند. استفاده از رویکرد استوار باعث می‌شود مدیران تأثیر ریسک و عدم قطعیت را بر توابع هدف به‌شکل واقع‌بینانه در نظر بگیرند و پوشش‌دهی ریسک را انجام دهند. نتایج نشان می‌دهد که اگر مدیر از عدم قطعیت چشم‌پوشی کند، در واقع ریسک آن را پذیرفته است. بسته به نوع مدیریت و ریسک‌پذیری تصمیم‌گیرندگان، درصد چشم‌پوشی از عدم قطعیت و ریسک متفاوت است. اگر سطح عدم قطعیت در بیشترین مقدار خود قرار داشته باشد، پاسخ روش برتسیماس و سیم در کمترین مقدار خود قرار دارد و اگر یکی از این مقادیر صفر باشد، با مقدار مدل در حالت قطعی یکسان است. هنگامی که تأمین‌کننده اصلی با اختلال مواجه می‌شود، برای برآورده‌سازی توابع هدف از تأمین‌کننده پشتیبان استفاده می‌شود و بار مالی تحمیل شده از طریق خرید اعتباری مواد اولیه تأمین می‌شود؛ همچنین نتایج تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد که مقدار اعتبار تجاری کارخانه با افزایش تأخیر در بازپرداخت کاهش می‌یابد و با افزایش نرخ بهره، جریمه تأخیر افزایش پیدا می‌کند.

در ادامه ۱۰ مسئله نمونه‌ای بررسی می‌شود. ابعاد مسائل در جدول ۸، ارائه شده است که مشخصات آن برای تأمین‌کنندگان اصلی و پشتیبان بین ۲ تا ۱۰، نقاط بالقوه برای احداث کارخانه بین ۲ تا ۱۲ مکان، مراکز توزیع بین ۲ تا ۳۵ مرکز، مواد اولیه و محصولات بین ۲ تا ۷ مورد و دوره زمانی بین ۵ تا ۶ دوره طراحی شده است. در شش مسئله، هدف دوم بر هدف اول و در چهار مسئله دیگر هدف اول بر هدف دوم اولویت دارد.

جدول ۸. حل مدل ریاضی در ابعاد مختلف

زمان حل (s)	هدف دوم	هدف اول	دوره	محصول	مواد اولیه	مركز توزیع	کارخانه	تأمین کننده اصلی	تأمین کننده پشتیبان	مسئله
۱	-/۸۲۴	۹۵۹۲۹۱/۷۸	۵	۲	۲	۲	۲	۲	۲	$\mu_2 \geq \mu_1$
۲	-/۸۱	۱۳۵۰۲۲۶/۰۹	۵	۲	۲	۳	۳	۲	۲	$\mu_2 \geq \mu_1$
۳/۲۵	-/۵۳	۲۲۰۹۳۹۶/۹۸	۵	۳	۲	۵	۳	۲	۲	$\mu_1 \geq \mu_2$
۹/۰۸	-/۳۴۳	۳۲۱۹۹۴۲/۱۸	۶	۳	۲	۸	۴	۲	۴	$\mu_1 \geq \mu_2$
۱۴/۳۸	-/۷۹۱	۴۱۵۰۵۵۵/۵۵	۶	۴	۴	۱۰	۵	۳	۵	$\mu_2 \geq \mu_1$
۱۷/۴۹	-/۶۸۹	۵۰۰۷۱۷۲/۲۸	۶	۴	۴	۱۵	۶	۴	۴	$\mu_2 \geq \mu_1$
۲۳/۱۴	-/۱۳۳	۵۳۰۴۸۶۱/۴۶	۶	۵	۵	۲۰	۸	۵	۵	$\mu_1 \geq \mu_2$
۳۰/۷۲	-/۱۰۴	۶۱۶۱۳۹۹/۳۵	۶	۶	۶	۲۵	۱۰	۶	۶	$\mu_1 \geq \mu_2$
۱۰۰/۲۵	-/۵۸۳	۷۵۵۳۳۸۸/۷۲	۶	۷	۷	۳۰	۱۲	۷	۷	$\mu_2 \geq \mu_1$
۱۲۷/۴۳	-/۵۸۴	۷۶۴۸۱۶۸/۶۴	۶	۷	۷	۳۵	۱۲	۷	۷	$\mu_2 \geq \mu_1$

با توجه به جدول ۸، نتایج نشان می‌دهد به‌طور کلی مقدار هدف اول این پژوهش به‌صورت صعودی افزایش داشته است؛ همچنین در مسائلی که اولویت هدف دوم بوده است، مقدار هدف دوم روندی افزایشی داشته است. برای مثال، می‌توان نتیجه حاصل از حل مسائل ۱، ۲، ۵، ۶، ۹ و ۱۰ را نسبت به مسائل ۳، ۴، ۷ و ۸ مقایسه کرد. این موضوع به‌دلیل ماهیت روش حل برنامه‌ریزی آرمانی فازی پیشگیرانه مورداستفاده در این بخش است. شکل ۷، بررسی مدل در ابعاد مختلف را نشان می‌دهد.



شکل ۷. بررسی مدل در ابعاد مختلف

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش، یک شبکه زنجیره تأمین تاب‌آور طراحی شده است. به منظور افزایش تاب‌آوری از تأمین‌کننده پشتیبان استفاده شد و برای تأمین مالی از اعتبار تجاری و وام علاوه بر سرمایه بهره گرفته شد. هدف انتخاب تأمین‌کننده اصلی و پشتیبان با توجه به شرایط مالی بوده است. هدف اصلی بیشینه‌سازی ارزش فعلی خالص دارایی سهام‌داران و هدف دیگر بیشینه‌سازی برآورده‌سازی تقاضا موردبررسی قرار گرفت. جنبه‌های مالی مانند تخصیص منابع مالی، زمان‌بندی پرداخت و بازپرداخت اعتبار تجاری، مالیات و نرخ تورم برای یکپارچگی جریان مالی و فیزیکی شبکه اعمال شد. برای حل مدل، روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی پیشگیرانه به کار رفت. نتایج نشان داد که در نظر گرفتن مسائل مالی در یک زنجیره تأمین چگونه می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های کمی و کیفی انتقال محصولات در تمامی سطوح مؤثر واقع شود و علاوه بر این تا زمانی که بار مالی تأمین نشود، امکان انتخاب تأمین‌کننده پشتیبان نخواهد بود؛ همچنین افزایش وام و افزایش اعتبار تجاری به افزایش ارزش فعلی خالص دارایی سهام‌داران نیز منجر می‌شود. اعتبار تجاری به عنوان ابزار تأمین مالی مبتنی بر بدهی عملکرد تأمین‌کننده اصلی و پشتیبان و خریدار اعتبار را افزایش می‌دهد؛ در نتیجه شرکای زنجیره تأمین نباید نسبت به وضعیت سرمایه‌ای یکدیگر بی‌تفاوت باشند. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد با افزایش اعتبار تجاری تأمین‌کننده پشتیبان به کارخانه به دلیل خرید مواد اولیه، با توجه به محدودیت موجود در منابع مالی، منابع مالی موجود که برای خرید مواد اولیه مصرف می‌شود آزادسازی شده و در جهت سایر هزینه‌های تولید صرف خواهد شد؛ در نتیجه میزان تولید و مقدار هدف برآورد تقاضا افزایش می‌یابد.

تعارض منافع. برای ارائه مطالب و نگارش این مقاله هیچ‌گونه کمک مالی از هیچ فرد، نهاد و سازمانی دریافت نشده است و نتایج و دستاوردهای این مقاله به نفع یا ضرر سازمان یا فردی خاص نخواهد بود. حضور نویسندگان در این پژوهش به عنوان شاهدهی بی‌طرف ولی متخصص بوده است و نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافی ندارند.

منابع

1. Arabi, M. & Gholamian, M. R. (2023). Resilient closed-loop supply chain network design considering quality uncertainty: A case study of stone quarries. *Resources Policy*, 80, 103290.
2. Alavi, S. H., & Jabbarzadeh, A. (2018). Supply chain network design using trade credit and bank credit: A robust optimization model with real world application. *Computers & industrial engineering*, 125, 69-86.
3. Alikhani, R. Ranjbar, A., Jamali, A., Torabi, S. A., & Zobel, C. W. (2023). Towards increasing synergistic effects of resilience strategies in supply chain network design. *Omega*, 116, 102819.
4. Arani, H. V., & Torabi, S. A. (2018). Integrated material-financial supply chain master planning under mixed uncertainty. *Information Sciences*, 423, 96-114.
5. Badakhshan, E., & Ball, P. (2023). Applying digital twins for inventory and cash management in supply chains under physical and financial disruptions. *International Journal of Production Research*, 61(15), 5094-5116.
6. Ben-Tal, A. El Ghaoui, L., & Nemirovski, A. (2009). *Robust optimization* (Vol. 28).
7. Bertsimas, D., & Sim, M. (2004). The price of robustness. *Operations research*, 52(1), 35-53.
8. Biglar, A. Hamta, N., & Ahmadi Rad, M. (2022). Integration of liability payment and new funding entries in the optimal design of a supply chain network. *Advances in Mathematical Finance and Applications*, 7(3), 715-740.
9. Biglar, A. Hamta, N., & Rad, M. A. (2022). A Mathematical Programming Approach to Supply Chain Network Design considering Shareholder Value Creation. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2022.
10. Brahm, A. Hadj-Alouane, A., & Sboui, S. (2020). Dynamic and reactive optimization of physical and financial flows in the supply chain. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 11(1), 83-106.
11. Devalkar, S. K., & Krishnan, H. (2019). The impact of working capital financing costs on the efficiency of trade credit. *Production and Operations Management*, 28(4), 878-889.
12. Ekren, B. Y., Stylos, N., Zwiigelaar, J., Turhanlar, E. E., & Kumar, V. (2023). Additive manufacturing integration in e-commerce supply chain network to improve resilience and competitiveness. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 122, 102676.
13. Foroozesh, N. Karimi, B., & Mousavi, S. M. (2022). Green-resilient supply chain network design for perishable products considering route risk and horizontal collaboration under robust interval-valued type-2 fuzzy uncertainty: A case study in food industry. *Journal of environmental management*, 307, 114470.
14. Gholami-Zanjani, S. M., Jabalameli, M. S., & Pishvae, M. S. (2021). A resilient-green model for multi-echelon meat supply chain planning. *Computers & Industrial Engineering*, 152, 107018.
15. Goli, A. Zare, H. K., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Sadegheih, A. (2020). Multiobjective fuzzy mathematical model for a financially constrained closed-loop supply chain with labor employment. *Computational Intelligence*, 36(1), 4-34.

16. Guan, Z., Mou, Y., & Sun, M. (2022). Hybrid robust and stochastic optimization for a capital-constrained fresh product supply chain integrating risk-aversion behavior and financial strategies. *Computers & Industrial Engineering*, 169, 108224.
17. Habib, M. S., Omair, M., Ramzan, M. B., Chaudhary, T. N., Farooq, M., & Sarkar, B. (2022). A robust possibilistic flexible programming approach toward a resilient and cost-efficient biodiesel supply chain network. *Journal of Cleaner Production*, 366, 132752.
18. Hasani, A., Mokhtari, H., & Fattahi, M. (2021). A multi-objective optimization approach for green and resilient supply chain network design: a real-life case study. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123199.
19. Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B., & Sabouhi, F. (2018). Resilient and sustainable supply chain design: sustainability analysis under disruption risks. *International Journal of Production Research*, 56(17), 5945-5968.
20. Jones, D., & Tamiz, M. (2016). A review of goal programming. *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys*, 903-926.
21. Juan, S. J., & Li, E. Y. (2023). Financial performance of firms with supply chains during the COVID-19 pandemic: the roles of dynamic capability and supply chain resilience. *International Journal of Operations & Production Management*, (ahead-of-print).
22. Kalantari, M., Pishvaei, M. S., & Yaghoubi, S. (2024). A multi objective model integrating financial and material flow in supply chain master planning. *Journal of industrial management perspective*, 5(3, Autumn 2015), 139-167.
23. Li, G., Xue, J., Li, N., & Ivanov, D. (2022). Blockchain-supported business model design, supply chain resilience, and firm performance. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 163, 102773.
24. Meena, P. L., & Sarmah, S. P. (2013). Multiple sourcing under supplier failure risk and quantity discount: A genetic algorithm approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 50, 84-97.
25. Mehrjerdi, Y. Z., & Shafiee, M. (2021). A resilient and sustainable closed-loop supply chain using multiple sourcing and information sharing strategies. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125141.
26. Mirzaee, H., Naderi, B., & Pasandideh, S. H. R. (2018). A preemptive fuzzy goal programming model for generalized supplier selection and order allocation with incremental discount. *Computers & Industrial Engineering*, 122, 292-302.
27. Mohammadi, A., Alam Tabriz, A., & Peshwai, M. (2017). Providing a model for the main planning of the sustainable supply chain considering the integration of financial and physical flow. *The Journal of Industrial Management Perspective*, 8(1), 39-62. (In Persian)
28. Mohammadi, A., Khalifa, M., Abbasi, A., Ali Mohammadlou, M., & Eghtesadi Fard, M. (2016). Supply chain design with financial and operational integration approach. *The Journal of Industrial Management Perspective*, 7(2), 139-168. (In Persian)
29. Nguyen, D., Nguyen, T., Nguyen, X., Do, T., & Ngo, H. (2022). The effect of supply chain finance on supply chain risk, supply chain risk resilience, and performance of Vietnam SMEs in global supply chain. *Uncertain Supply Chain Management*, 10(1), 225-238.

30. Nickel, S., Saldanha-da-Gama, F., & Ziegler, H. P. (2012). A multi-stage stochastic supply network design problem with financial decisions and risk management. *Omega*, 40(5), 511-524.
31. Nobil, A. H., Jalali, S., & Niaki, S. T. A. (2018). Financially embedded facility location decisions on designing a supply chain structure: A case study. *Systems Engineering*, 21(6), 520-533.
32. Pishvae, M. S., Razmi, J., & Torabi, S. A. (2014). An accelerated Benders decomposition algorithm for sustainable supply chain network design under uncertainty: A case study of medical needle and syringe supply chain. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 67, 14-38.
33. Pourmehdi, M., Paydar, M. M., & Asadi-Gangraj, E. (2020). Scenario-based design of a steel sustainable closed-loop supply chain network considering production technology. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123298.
34. Rahmzadeh, S., Pishvae, M. S., & Rasouli, M. R. (2023). A robust fuzzy-stochastic optimization model for managing open innovation uncertainty in the ambidextrous supply chain planning problem. *Soft Computing*, 27(10), 6345-6365.
35. Ramezani, M., Kimiagari, A. M., & Karimi, B. (2014). Closed-loop supply chain network design: A financial approach. *Applied Mathematical Modelling*, 38(15-16), 4099-4119.
36. Ramezani, R., & Behboodi, Z. (2017). Blood supply chain network design under uncertainties in supply and demand considering social aspects. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 104, 69-82.
37. Razavian, E., Tabriz, A. A., Zandieh, M., & Hamidzadeh, M. R. (2021). An integrated material-financial risk-averse resilient supply chain model with a real-world application. *Computers & Industrial Engineering*, 161, 107629.
38. Sema, H., Alaoui, S. S., Farhaoui, Y., Aksasse, B., Mousrij, A., & Hou, M. A. (2022). Modeling Financial Supply Chain Planning Under COVID-19 Conditions for Working Capital Optimization through Genetic Algorithm: A Real Case Study. *International Journal of Applied Metaheuristic Computing (IJAMC)*, 13(1), 1-23.
39. Taleizadeh, A. A., Ahmadzadeh, K., Sarker, B. R., & Ghavamifar, A. (2022). Designing an optimal sustainable supply chain system considering pricing decisions and resilience factors. *Journal of Cleaner Production*, 332, 129895.
40. Tsao, Y. C., Muthi'ah, A. D., Vu, T. L., & Arvitrida, N. I. (2021). Supply chain network design under advance-cash-credit payment. *Annals of Operations Research*, 305(1-2), 251-272.
41. Vali-Siar, M. M., & Roghanian, E. (2022). Sustainable, resilient and responsive mixed supply chain network design under hybrid uncertainty with considering COVID-19 pandemic disruption. *Sustainable production and consumption*, 30, 278-300.
42. Wang, M., & Huang, H. (2019). The design of a flexible capital-constrained global supply chain by integrating operational and financial strategies. *Omega*, 88, 40-62.

43. Xu, W. & Xiao, T. (2011). Strategic robust mixed model assembly line balancing based on scenario planning. *Tsinghua Science & Technology*, 16(3), 308-314.
44. Zahiri, B., Zhuang, J., & Mohammadi, M. (2017). Toward an integrated sustainable-resilient supply chain: A pharmaceutical case study. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 103, 109-142.