Ind. Manag. Persp. 2024, 14(1), 35-56; doi: 10.48308/JIMP.14.1.35

Industrial Management Perspective

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

Original Article

A Model for R&D Investment, Operational Decision-Making and Cooperative Contracts of a Supply Chain in Complex Product Systems: Game Theoretic Approach

Jafar Gheidar-Kheljani*
Kourosh Halat**

Abstract

Introduction: Despite the fact that many researches have been conducted regarding cooperation in the supply chain; But research shows that collaborations in chains with asymmetric power structures, which lead to investment in research and development, have received less attention. This article deals with the development of a model for the supply chain of a complex product, which, in addition to operational decisions to supply the product to the market, also makes decisions regarding investment in research and development. Answering these questions by considering the different power structure in the supply chain and paying attention to cost sharing and revenue sharing contracts is one of the goals of this article: (1) determining the balance point between the amount of investment in research and development, product price and production amount (2) Investigating the impact of research and development uncertainty, buyer fairness and customer sensitivity to product technology level on supply chain performance

Methods: The risk of uncertainty in the output of the research and development process and the demand function dependent on the level of product technology are considered in the model. The model is developed under the asymmetric structure of power in the chain by considering various cooperation contracts including research and development cost sharing, production cost sharing, and revenue sharing. Each of the scenarios of this problem is presented as a non-linear two-level programming model. The two-level mathematical model was created with the Nash bargaining game approach and the simulation method was used in its optimization.

Received: Mar. 16, 2023; Revised: Jan. 25, 2024; Accepted: Feb. 19, 2024; Published Online: Mar. 05, 2024.

* Associate Professor, Management and Industrial Engineering Department, Malek-Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.
Corresponding Author, Email: Kheljani@aut.ac.ir
** Ph.D, Industrial Engineering Department, Islamic Azad University, Tehran South Branch, Tehran, Iran.

Ind. Manag. Persp. 2024, 14(1), 35-56; doi: 10.48308/JIMP.14.1.35

Industrial Management Perspective
Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

Original Article

Results and discussion: This research shows that the risk of uncertainty reduces the profit of the supply chain, but the provided cooperation contracts can improve the performance of the chain compared to the decentralized structure. It was also found that the revenue sharing contract can generate more profit for both the entire supply chain and the supplier. But from the point of view of the buyer and based on the bargaining power, when his bargaining power is relatively low, R&D cost sharing and production cost sharing contracts are more beneficial. Also, increasing the fairness of the buyer will improve the performance of the entire supply chain in the structures of revenue sharing and research and development cost sharing. It has also been shown that the market's sensitivity to the level of product technology improves the performance of the chain in the structure of production cost sharing contracts and research and development costs. But in the revenue sharing structure, all members of the chain may not benefit from the market's sensitivity to the level of product technology. In addition, the market's sensitivity to the price and the fairness of the buyer, respectively, always cause a decrease and an increase in the performance of the supply chain.
Conclusions: Due to the significant costs of research and development and production in complex products, paying attention to these costs in supply chain cooperation contracts and sharing them between the influential factors in the supply chain can lead to an increase in the performance of the supply chain. The bargaining power between the buyer and the seller in this type of chain can affect the type of contract. Considering the unknown nature of information for the supply chain parties, more models can be developed.

Keywords: Complex product; Supply chain; R&D investment; Uncertainty; Cooperative contracts; Nash bargaining game; Simulation.

How to Cite: Gheidar-Kheljani, Jafar; Halat, Kourosh (2024) A Model for R&D Investment, Operational Decision-Making and Cooperative Contracts of a Supply Chain in Complex Product Systems: Game Theoretic Approach. *Ind. Manag. Persp.*, 14(1), 35-56 *(In Persian)*.

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴۰۳، دوره ۱۴، شماره ۱، صص ۳۵ – ۵۶، doi: 10.48308/JIMP.14.1.35

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

نوع مقاله: پژوهشی

ارائه مدلی برای سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه، تصمیم‌گیری عملیاتی و قراردادهای همکاری در زنجیره تأمین محصول پیچیده: رویکرد نظریه بازی‌ها

جعفر قیدرخلجانی*

کورش حالت**

چکیده

مقدمه و اهداف: علی‌رغم اینکه پژوهش‌های متعددی در خصوص همکاری در زنجیره تأمین انجام شده است؛ اما بررسی‌ها نشان می‌دهد همکاری‌ها در زنجیره‌های با ساختار قدرت‌های نامتقارن که به سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه منجر می‌شود، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش به توسعه مدلی برای زنجیره تأمین یک محصول پیچیده پرداخته می‌شود که علاوه بر تصمیمات عملیاتی برای عرضه محصول به بازار، در خصوص سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه نیز تصمیم‌گیری می‌کند. پاسخ به این سؤال‌ها با درنظرگرفتن ساختار قدرت متفاوت در زنجیره‌تأمین و توجه به قراردادهای اشتراک‌گذاری هزینه‌ها و اشتراک‌گذاری درآمد از اهداف این پژوهش است: ۱. تعیین نقطه تعادل بین میزان سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه، قیمت محصول و میزان تولید؛ ۲. بررسی تأثیر عدم‌قطعیت تحقیق و توسعه، رعایت انصاف خریدار و حساسیت مشتری به سطح فناوری محصول بر عملکرد زنجیره‌تامین.

روش‌ها: ریسک عدم‌قطعیت در خروجی فرایند تحقیق و توسعه و تابع تقاضای وابسته به سطح فناوری محصول در مدل در نظر گرفته شده است. مدل تحت ساختار نامتقارن قدرت در زنجیره با درنظرگرفتن قراردادهای مختلف همکاری از جمله اشتراک هزینه‌های تحقیق و توسعه، اشتراک هزینه تولید و اشتراک درآمد توسعه یافته است. هر یک از سناریوهای این مسئله به صورت یک مدل برنامه‌ریزی دوسطحی غیرخطی ارائه شده است. مدل ریاضی دوسطحی با رویکرد بازی چانه‌زنی نش ایجاد شده و در بهینه‌سازی آن از روش شبیه‌سازی استفاده شده است.

یافته‌ها: این پژوهش نشان می‌دهد که ریسک عدم‌قطعیت موجب کاهش سود زنجیره تأمین می‌شود؛ اما قراردادهای همکاری ارائه‌شده می‌توانند عملکرد زنجیره را نسبت به ساختار غیرمتمرکز بهبود دهند؛ همچنین مشخص شد که قرارداد اشتراک درآمد می‌تواند سود بیشتری را هم برای کل زنجیره‌تامین و هم برای تأمین‌کننده ایجاد نماید. اما از نظر خریدار و بر اساس قدرت چانه‌زنی، زمانی که قدرت چانه‌زنی وی نسبتاً کم است، قراردادهای اشتراک هزینه تحقیق و توسعه و اشتراک هزینه تولید، مطلوبیت بیشتری ایجاد می‌کنند؛ همچنین افزایش رعایت انصاف خریدار موجب بهبود عملکرد کل زنجیره تأمین در ساختارهای اشتراک درآمد و اشترک هزینه تحقیق و توسعه خواهد شد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۵، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۰۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۳۰، تاریخ اولین انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۱۵.

* دانشیار، گروه مهندسی صنایع، مجتمع دانشگاهی مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک‌اشتر، تهران، ایران.

نویسنده مسئول: Kheljani@mut.ac.ir

** دکتری مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴۰۳، دوره ۱۴، شماره ۱، صص ۹ – ۳۵، doi: 10.48308/JIMP.13.4.9

چشم‌انداز مدیریت صنعتی
Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

نوع مقاله: پژوهشی

همچنین نشان داده شد که حساسیت بازار نسبت به سطح فناوری محصول موجب بهبود عملکرد زنجیره در ساختار قراردادهای اشتراک هزینه تولید و هزینه تحقیق و توسعه می‌شود؛ اما در ساختار اشتراک درآمد ممکن است تمامی اعضای زنجیره از حساسیت بازار نسبت به سطح فناوری محصول منتفع نشوند. به‌علاوه حساسیت بازار نسبت به قیمت و رعایت انصاف خریدار، به‌ترتیب همواره موجب کاهش و افزایش عملکرد زنجیره تأمین می‌شوند.

نتیجه‌گیری: به‌دلیل قابل‌توجه‌بودن هزینه‌های تحقیق و توسعه و تولید در محصولات پیچیده، توجه به این هزینه‌ها در قراردادهای همکاری زنجیره تأمین و تسهیم آن بین عامل‌های تأثیرگذار در زنجیره‌تأمین می‌تواند به افزایش عملکرد زنجیره‌تامین منجر شود. قدرت چانه‌زنی بین خریدار و فروشنده در این نوع از زنجیره‌ها می‌تواند نوع قرارداد را تحت تأثیر قرار دهد. با درنظرگرفتن نامعلوم‌بودن اطلاعات برای طرف‌های زنجیره تأمین می‌توان مدل‌های بیشتری را توسعه داد.

کلیدواژه‌ها: زنجیره‌تأمین؛ محصول پیچیده؛ سرمایه‌گذاری؛ تحقیق و توسعه؛ عدم‌قطعیت؛ قراردادهای همکاری؛ بازی چانه‌زنی‌نش.

استناددهی: قیدرخلجانی، جعفر؛ حالت، کورش (۱۴۰۳). ارائه مدلی برای سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه، تصمیم‌گیری عملیاتی و قراردادهای همکاری در زنجیره تأمین محصول پیچیده: رویکرد نظریه بازی‌ها. چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴(۱)، ۳۵-۵۶.

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

۱. مقدمه

در زنجیره‌های تأمین محصولات پیچیده[1] و بر پایه فناوری، عموماً مرحله تحقیق و توسعه[2] نسبت به مرحله تولید نقش پررنگ‌تری را در ایجاد مزیت رقابتی ایفا می‌کند. زنجیره تأمین[3] محصول پیچیده، کلاس خاصی از زنجیره تأمین است که فناوری‌محور است و در اقتصاد مدرن ارزش‌افزوده ایجاد می‌کند؛ همانند صنایع هوایی، خودروسازی و صنایع دفاعی. با توجه به رشد سریع فناوری و تغییرات در انتظارات مشتریان، در این نوع صنایع شرکت‌ها منابع زیادی را صرف فرایند تحقیق و توسعه و طراحی محصول می‌کنند [۱۳، ۲۸].

سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه تنها منوط به یک شرکت در زنجیره تأمین نیست و می‌تواند توسط اعضای بالادستی و پایین‌دستی زنجیره صورت پذیرد. بسیاری از اعضای یک زنجیره تأمین فرصت ایجاد ارزش‌افزوده در محصول را دارند [۲۴]. برای مثال، شرکت خودروسازی «ب ام و»[4] به‌منظور تولید خودروهای برقی، یک قرارداد همکاری به ارزش ۱۱۷ میلیون دلار با یک تولیدکننده باتری در چین به نام «کاتل»[5] امضا کر. شرکت «بی ام و» فناوری موردنیاز خود را طراحی می‌کند، شرکت «کاتل» نیز به عنوان توسعه‌دهنده فناوری باتری، دارای حقوق مالکیت فکری و ثبت اختراعات خود است. در این راستا تولیدکننده و تأمین‌کننده برای تولید ارزش‌افزوده در محصول با یکدیگر همکاری می‌کند [۲۶].

افزایش سطح فناوری محصول که ناشی از سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه است، نه‌تنها می‌تواند انطباق محصول با استانداردها و قوانین را بهبود دهد، بلکه می‌تواند مشتریان بیشتری را به خرید محصول ترغیب کند و درنتیجه تقاضای محصول را افزایش دهد. برای مثال، تولیدکنندگان سیستم‌های تهویه هوا نیاز دارند تا فناوری محصول خود را در راستای کاهش مصرف انرژی بهبود دهند تا هم استانداردهای زیست‌محیطی را پوشش دهند و هم رضایت مشتریان را کسب کنند [۱۰].

همان‌طور که شرکت‌ها در مرحله تولید و تحویل محصول در یک زنجیره تأمین با یکدیگر همکاری می‌کنند، لازم است به‌منظور کسب دانش موردنیاز نیز در مرحله تحقیق و توسعه با هم همکاری داشته باشند [۲]. اگرچه مشخص است که همکاری در تحقیق و توسعه می‌تواند به نشر دانش کمک کند و در طراحی محصول مفید باشد، اما چالش‌های مختلفی در این همکاری وجود دارد. اول آنکه خروجی مرحله تحقیق و توسعه همواره موفقیت‌آمیز نیست و احتمال دارد شرکتی نتواند پس از سرمایه‌گذاری در این بخش، ارزش‌افزوده‌ای در محصول ایجاد ند. چالش دیگر ساختار غیرمتمرکز است. اعضای مختلف زنجیره تأمین به صورت مستقل عمل می‌کنند و هر یک به‌دنبال افزایش سودآوری خود است و ازآنجاکه هزینه صورت‌پذیرفته در مرحله تحقیق و توسعه برای دیگری همواره قابل‌مشاهده نیست، ممکن است تضاد منافع میان اعضای زنجیره رخ دهد [۲۹].

هماهنگی میان اعضای زنجیره تأمین معمولاً به‌راحتی و به‌خودی‌خود اتفاق نمی‌افتد؛ زیرا شرکت‌های مختلف در زنجیره تأمین دارای قدرت‌های مختلفی در مذاکره با یکدیگر هستند و سودآوری خود را در اولویت قرار می‌دهند [۷]. پژوهش‌های مختلفی نشان داده که در یک کانال زنجیره تأمین رعایت انصاف[6] نقش اساسی در عملکرد زنجیره تأمین و ایجاد هماهنگی ایفا می‌کند [۲۱]. نوع همکاری نیز اهمیت بسزایی دارد. در این راستا نحوه تعامل و همکاری میان اعضای زنجیره تأمین باید به‌درستی طراحی شود تا تمامی اعضای زنجیره به اهداف خود دست یابند و انگیزه و تعهد کافی برای ادامه همکاری را داشته باشند [۱۵].

با وجود آنکه پژوهش‌علی زیادی در زمینه همکاری‌های زنجیره تأمین انجام شده است؛ اما بررسی آن با درنظرگرفتن سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه با ساختار قدرت‌های نامتقارن شرکت‌ها در مبانی نظری مغفول واقع شده است. در مبانی نظری مدیریت ریسک زنجیره تأمین، پژوهشگران زیادی ریسک‌های تغییر در عرضه و تقاضا را پوشش داده‌اند [۵] و به مطالعه ریسک عدم‌قطعیت در سرمایه‌گذاری توسعه محصول نیز کمتر پرداخته شده است. در این پژوهش عملکرد یک زنجیره تأمین دوسطحی شامل خریدار و تأمین‌کننده با یک محصول بررسی می‌شود. عدم‌قطعیت در فرآیند تحقیق و توسعه، نگرانی از رعایت انصاف خریدار و حساسیت بازار به سطح فناوری محصول در نظر گرفته شده است. یک ساختار تصمیم‌گیری به صورت سلسله‌مراتبی تحت بازی استکلبرگ[7] در نظر گرفته شده است که در مرحله اول نهاد خریدار و سپس تأمین‌کننده در فرآیند تحقیق و توسعه سرمایه‌گذاری می‌کنند؛ سپس هر کدام تصمیمات

1. Complex products
2. Research and Development (R&D)
3. Supply chain
4. BMW
5. CATL
6. Fairness concern
7. Stackelberg game

عملیاتی خود را از جمله میزان سفارش و قیمت مشخص می‌کنند؛ همچنین ساختار قدرت نامتقارن[1] بین دو شرکت با بازی چانه‌زنی نش[2] توسعه یافته است. سؤال‌های پژوهش عبارت‌اند از: ۱. چگونه در یک زنجیره تأمین نقطه تعادل برای میزان سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه، قیمت و میزان تولید به‌دست می‌آید؟ ۲. عدم‌قطعیت فرآیند تحقیق و توسعه، رعایت انصاف خریدار و حساسیت مشتری به سطح فناوری محصول چه اثری در عملکرد زنجیره تأمین دارد؟ ۳. قراردادهای اشتراک‌گذاری هزینه‌ها و اشتراک‌گذاری درآمد چگونه می‌تواند سطح عملکرد زنجیره را بهبود دهد؟ ۴. ساختار قدرت متفاوت در تعامل بین اعضای زنجیره چگونه بر روی جواب‌های مسئله اثر می‌گذارد؟

در بخش دوم به مرور مبانی نظری پرداخته می‌شود. در بخش سوم مسئله شرح داده شده و مدل‌های ساختار همکارانه توسعه داده شده است. در بخش چهارم رویکرد حل مسئله و یافته‌ها قابل‌مشاهده است و در نهایت نتیجه‌گیری در بخش ششم ارائه شده است.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

مبانی نظری موضوع در این مقاله به حوزه‌های سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه، قرارداد همکاری میان اعضای زنجیره تأمین با ساختار متفاوت چانه‌زنی می‌پردازد.

در مبانی نظری مدیریت زنجیره تأمین، قراردادهای مختلف همکاری توسط پژوهشگران توسعه داده شده و بررسی شده است. تعدادی از پژوهشگران نشان داده‌اند که برای ایجاد همکاری در مرحله تحقیق و توسعه، قرارداد اشتراک‌گذاری هزینه‌ها[3] می‌تواند مفید باشد. باسکاران و کریشنان[4] (۲۰۰۹)، بیان کردند که شرکت‌ها برای همکاری در تحقیق و توسعه باید روش‌های مختلفی برای به‌اشتراک‌گذاری میزان سرمایه‌گذاری به‌کار بگیرند [۲]. پون و قامت[5] (۲۰۲۰)، اثر رقابت و همکاری را در مسئله سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه میان دو شرکت مطالعه کردند [۱۶]. چن و همکاران[6] (۲۰۱۹)، مدل همکاری در تحقیق و توسعه و قیمت‌گذاری محصول را در یک زنجیره تأمین دوسطحی توسعه دادند و شرایط هماهنگی زنجیره را مشخص کردند [۳]. لیو و همکاران[7] (۲۰۲۲)، سرمایه‌گذاری تولیدکننده در سطح فناوری تأمین‌کننده را بررسی کردند و شرایطی را به‌دست آوردند که سرمایه‌گذاری در تأمین‌کننده فعلی سودآوری بیشتری را از حالت سرمایه‌گذاری در تأمین‌کننده جدید ایجاد می‌کند [۱۰]. یان و همکاران[8] (۲۰۲۲)، تأثیر فروش لایسنس فناوری در زنجیره تأمین دوسطحی را بر روی عملکرد زنجیره بررسی کردند [۲۳]. لی و همکاران[9] (۲۰۲۲)، پایداری ائتلاف همکاری در تحقیق و توسعه میان چند شرکت برای کاهش هزینه تولید را تحلیل کردند و راهبردهای مختلفی برای آن توسعه دادند [۸]. زیه و همکاران[10] (۲۰۲۱)، تأثیر دریافت یارانه و رفتار ریسک‌گریزی خریدار را بر روی میزان سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه مطالعه کردند [۲۲]. ژو و همکاران[11] (۲۰۲۱)، همکاری تولیدکننده و تـمین‌کننده در توسعه فناوری را مطالعه کردند. آن‌ها مدل قرارداد اشتراک هزینه‌ها و فروش لایسنس را توسعه داده و بررسی کردند و نشان دادند تحت چه شرایطی همکاری در توسعه فناوری می‌تواند سودآوری و سطح فناوری را افزایش دهد [۲۸]. مو و همکاران[12] (۲۰۲۲)، تعامل میان اعضای یک زنجیره تأمین را برای تصمیم‌گیری برای تلاش در تحقیق و توسعه و از طرف دیگر تلاش در بازاریابی مدل‌سازی کردند [۱۲]. آن‌ها اثر حساسیت مشتریان به فناوری محصول و یارانه دولت را بررسی کردند. منگ و همکاران[13] (۲۰۲۲)، مسئله تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه در یک زنجیره تأمین در شرایطی که تأمین‌کننده دارای سرمایه محدود است را بررسی کردند [۱۱]. آن‌ها راهبرد استفاده از وام بانکی و اشتراک‌گذاری هزینه‌ها را برای بهبود سرمایه‌گذاری پیشنهاد دادند. ترابی و تفکری[14] (۲۰۲۲)، مدل دوهدفه برای سرمایه‌گذاری در توسعه تأمین‌کننده را در یک زنجیره تأمین دوسطحی توسعه دادند [۲۰].

1. Asymmetric power structure
2. Nash Bargaining game
3. Cost-sharing contract
4. Bhaskaran and Krishnan
5. Pun and Ghamat
6. Chen, et al.
7. Liu, et al.
8. Yan, et al.
9. Li, et al.
10. Xie, et al.
11. Zhou, et al.
12. Mu, et al.
13 Meng, et al.
14. Torabi and Tafakkori

با وجود آنکه در پژوهش‌های اشاره‌شده، مدل سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه محصول در یک زنجیره تأمین ارائه شده، اما در هیچکدام از آن‌ها عدم‌قطعیت در خروجی تحقیق و توسعه را عنوان یک ریسک بررسی نشده است. تعداد بسیار کمی از پژوهشگران این عدم‌قطعیت را در نظر گرفته‌اند. بانجری و سیبرت[1] (۲۰۱۷)، اثر عدم‌قطعیت و محدودیت بودجه را بر روی شکل‌گیری همکاری در تحقیق و توسعه در صنعت تولید دارو مطالعه کردند [۱]. یو و همکاران[2] (۲۰۲۱)، مدل همکاری میان بین شرکت در یک زنجیره تأمین را توسعه دادند که در مرحله تحقیق و توسعه و فروش محصول در بازار فعالیت می‌کنند [۲۶]. آن‌ها اثر عدم‌قطعیت فرآیند تحقیق و توسعه را در نظر گرفتند و نشان دادند که چگونه قرارداد به‌اشتراک‌گذاری هزینه‌های تحقیق و توسعه میان اعضای زنجیره تأمین به بهبود سطح عملکرد کمک می‌کند. در این پژوهش‌ها نحوه تقسیم هزینه در قرارداد همکاری به‌صورت پارامتر ورودی مسئله در نظر گرفته شده است؛ اما در پژوهش حاضر، این متغیر به عنوان یک متغیر تصمیم مستقل در مدل قرار داده شده است.

برخی از پژوهش‌ها نشان داده‌اند که ساختار نامتقارن قدرت در زنجیره می تواند موجب تقسیم سود ناعادلانه در زنجیره تأمین شود. از طرفی رفتار رعایت انصاف ممکن است تأثیر معکوسی داشته باشد. طالعی‌زاده و محمدی (۲۰۱۵)، مدل تعامل میان اعضای یک زنجیره تأمین را توسعه دادند و اثر آن را در سرمایه‌گذاری در تبلیغات بررسی کردند [۱۸]. لی و همکاران[3] (۲۰۱۸)، اثر رفتار رعایت انصاف توسط خریدار را در یک مسئله سرمایه‌گذاری بر روی کاهش آلایندگی یک زنجیره تأمین بررسی کردند [۹]. گوان و همکاران[4] (۲۰۲۰)، هماهنگی اعضای یک زنجیره تأمین را با درنظرگرفتن رعایت انصاف و قدرت‌های نامتقارن موردبررسی قرار دادند [۶]. ژنگ و همکاران[5] (۲۰۲۳)، نشان دادند که رفتار رعایت انصاف می‌تواند کارایی سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه را بهبود دهد [۲۷].

با توجه به پیشینه پژوهش و جدول ۱ که در آن تمایز این پژوهش نسبت به سایر مطالعات خلاصه شده است، سهم این پژوهش در مبانی نظری موضوع را موارد زیر تشکیل می‌دهد: ۱. توسعه مدل سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه و تصمیم‌گیری عملیاتی زنجیره تأمین با درنظرگرفتن عدم‌قطعیت خروجی تحقیق و توسعه؛ ۲. بررسی اثر تقاضای وابسته به سطح فناوری محصول و درجه رعایت انصاف خریدار بر روی عملکرد زنجیره تأمین؛ ۳. توسعه قراردادهای مختلف شامل اشتراک هزینه‌های تحقیق و توسعه، اشتراک هزینه تولید و اشتراک درآمد و بررسی تأثیر هر یک بر روی مدل؛ ۴. مطالعه اثر ساختار نامتقارن قدرت در زنجیره تأمین و ارائه مدل تصمیم‌گیری در این خصوص.

جدول ۱. خلاصه‌ای از پژوهش‌های پیشین مرتبط

رویکرد مدل‌سازی	قرارداد همکاری	رویکرد مدل‌سازی	رعایت انصاف	تقاضای وابسته به فناوری	عدم‌قطعیت تحقیق و توسعه	سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه	منابع
تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی	اشتراک‌گذاری هزینه‌ها	تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی		✓	✓	✓	[۲۶]
تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی	تعرفه دوبخشی	تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی				✓	[۳]
تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی	-	تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی		✓		✓	[۱۲]
تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی	اشتراک‌گذاری هزینه‌ها	تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی		✓		✓	[۲۸]
تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی	-	تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی		✓		✓	[۱۱]
تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی	فروش لایسنس	تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی		✓		✓	[۲۳]
تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی	تسهیم درآمد	تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی	✓				[۹]

1. Banerjee
2. Yu, et al.
3. Li, et al.
4. Guan, et al.R.
5. Zheng, et al.

رویکرد مدل‌سازی	قرارداد همکاری	رویکرد مدل‌سازی	رعایت انصاف	تقاضای وابسته به فناوری	عدم‌قطعیت تحقیق و توسعه	سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه	منابع
ساختار همکارانه	فروش لایسنس	ساختار همکارانه	✓	✓		✓	[۲۷]
بازی چانه‌زنی نش	اشتراک‌گذاری درآمد؛ اشتراک‌گذاری هزینه‌ها	بازی چانه‌زنی نش	✓			✓	[۶]
بازی چانه‌زنی نش	تصمیم‌گیری متمرکز	بازی چانه‌زنی نش		✓		✓	[۱۶]
ساختار تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی و بازی چانه‌زنی نش نامتقارن	اشتراک‌گذاری درآمد؛ اشتراک‌گذاری هزینه‌ها	ساختار تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی و بازی چانه‌زنی نش نامتقارن	✓	✓	✓	✓	**مقاله حاضر**

۳. روش‌شناسی پژوهش

تعریف مسئله. در این بخش مدل یک زنجیره تأمین دوسطحی شامل یک نهاد خریدار[1] و یک تأمین‌کننده[2] در نظر گرفته شده است که یک محصول با فناوری پایه را تولید و به بازار عرضه می‌کنند. هر یک از شرکت‌ها می‌توانند ابتدا در تحقیق و توسعه فناوری محصول سرمایه‌گذاری کنند تا ارزش افزوده‌ای از منظر فناوری در محصول ایجاد نمایند؛ سپس پیرامون قیمت و مقدار تولید محصول تصمیم‌گیری می‌کنند تا محصول را به بازار عرضه کنند. فهرست پارامترها و متغیرها برای مدل‌سازی ریاضی در جدول ۲، قابل‌مشاهده است. در ادامه جزئیات مدل شرح داده می‌شود.

جدول ۲. فهرست پارامترها و متغیرهای مدل

پارامترها	شرح
A	اندازه بازار محصول
β	حساسیت تابع قیمت به میزان تولید محصول
α	ضریب افزایش بازار به‌دلیل افزایش سطح فناوری محصول
k	ضریب آشنایی تأمین‌کننده با فناوری محصول
g_b/g_s	هزینه سرمایه‌گذاری در فناوری محصول توسط تأمین‌کننده/ خریدار
γ	ضریب افزایش هزینه متغیر تولید به‌دلیل افزایش سطح فناوری
f	هزینه ثابت تولید به‌دلیل افزایش سطح فناوری
δ	درجه رعایت انصاف خریدار
φ_b/φ_s	احتمال موفقیت تأمین‌کننده/ خریدار در تحقیق و توسعه برای ایجاد ارزش‌افزوده در محصول
متغیرهای تصمیم و توابع	
p	قیمت فروش محصول توسط خریدار
q	میزان سفارش خریدار به تأمین‌کننده
e_b/e_s	میزان تلاش در تحقیق و توسعه توسط تأمین‌کننده/ خریدار
v	میزان ارزش‌افزوده محصول به‌دلیل افزایش سطح فناوری محصول
w	قیمت عمده‌فروشی تأمین‌کننده
c	هزینه تولید هر واحد محصول توسط تأمین‌کننده
π_b/π_s	تابع سود تأمین‌کننده/ خریدار در طول دوره برنامه‌ریزی
Π_{sc}	تابع سود کل زنجیره تأمین در طول دوره برنامه‌ریزی

1. Buyer
2. Supplier

یک ساختار تصمیم‌گیری دوسطحی در نظر گرفته شده است که بر اساس آن یک بازی استکلبرگ در زنجیره تأمین شکل می‌گیرد. در این ساختار، نهاد خریدار به‌عنوان رهبر بازی[1] و تأمین‌کننده پیرو بازی[2] هستند.

در ابتدا پیش از شروع فصل فروش، نهاد خریدار نوع همکاری با تأمین‌کننده را مشخص می‌کند و قرارداد همکاری را به تأمین‌کننده پیشنهاد می‌دهد. در صورت قبول قرارداد، خریدار در تحقیق و توسعه و طراحی محصول سرمایه‌گذاری می‌کند و محصول را به تأمین‌کننده سفارش می‌دهد. با پیروی از مدل لیو و همکاران (۲۰۲۲) و برای ساده‌ترشدن محاسبات، میزان تلاش در تحقیق و توسعه بین صفر و یک نرمال شده است [۱۰]؛ یعنی $e_b \in [0,1]$. هزینه خریدار در تحقیق و توسعه محصول مقدار $\frac{g_b}{2}e_b^2$ است. همان‌طور که برخی پژوهشگران مانند ینیپازالی (۲۰۱۶) بیان کرده‌اند خروجی فرآیند تحقیق و توسعه همیشه موفقیت‌آمیز نیست؛ بنابراین این خروجی احتمالی در نظر گرفته می‌شود [۲۵]. با پیروی از تابع توزیع برنولی، با احتمال φ_b نتیجه تحقیق و توسعه خریدار از نظر فنی موفقیت‌آمیز است و با احتمال $1-\varphi_b$ نتیجه‌ای ندارد؛ یعنی ارزش افزوده‌ای در محصول ایجاد نمی‌شود.

علاوه بر خریدار، تأمین‌کننده نیز می‌تواند در تحقیق و توسعه سرمایه‌گذاری کند و قابلیت‌های محصول را بهبود دهد؛ بنابراین تأمین‌کننده با سطح $e_s \in [0,1]$ در تحقیق و توسعه تلاش می‌کند که هزینه آن $\left(\frac{g_s}{2}+\frac{1}{k}\right)e_s^2$ است. پارامتر g_s ضریب هزینه است و به پارامتر k «فاکتور آشنایی» گفته می‌شود که هر چقدر بالاتر باشد، یعنی تأمین‌کننده شناخت بیشتری از فناوری محصول دارد و برای دستیابی به سطح مشخصی از e_s هزینه کمتری را در تحقیق و توسعه صرف می‌کند [۲۶]. احتمال موفقیت تحقیق و توسعه برای تأمین‌کننده با φ_s نشان داده شده است.

در نتیجه انجام تحقیق و توسعه توسط خریدار و تأمین‌کننده و در نهایت ارزش محصول از نظر فنی برای مشتری می‌تواند افزایش یابد. ارزش افزوده محصول با v نشان داده می‌شود و بنابراین $v = \varphi_b e_b + \varphi_s e_s$. زمانی که $v = 0$ باشد، ارزش افزوده‌ای در محصول پایه ایجاد نشده است [۱۰، ۲۴].

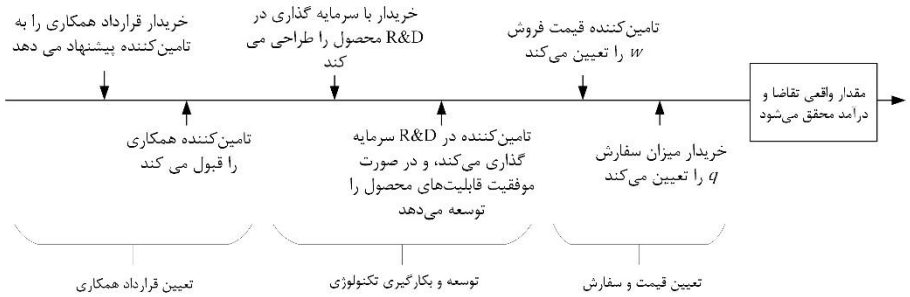
در مرحله بعدی و در فصل فروش، زنجیره تأمین محصول را تولید و به بازار عرضه می‌کند. تأمین‌کننده قیمت فروش w خود را تعیین و خریدار در هر دوره در خصوص میزان سفارش تصمیم‌گیری می‌کند. با استفاده از مدل کورنو[3] قیمت بازار بر اساس میزان عرضه به‌دست می‌آید. با درنظرگرفتن اثر فناوری محصول در تقاضا، تابع قیمت به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$p = A + \alpha v - \beta q$$ رابطه (۱)

در معادله ۱، A منعکس‌کننده اندازه بازار بوده و پایه بهایی است که مشتری حاضر است به‌ازای هر واحد محصول بپردازد. αv میزان افزایش در بازار به‌دلیل قابلیت‌های فنی محصول است؛ یعنی α مقداری است که مشتری به‌دلیل قابلیت‌های بیشتر فنی محصول تمایل دارد بپردازد. q مقدار عرضه محصول، β حساسیت قیمت به میزان عرضه است؛ در این معادله داریم $\alpha \geq 0$ و $0 \leq \beta \leq 1$. این‌گونه مدل‌سازی برای عرضه و قیمت در برخی از پژوهش‌های پیشین مشاهده می‌شود [۱۱، ۲۶، ۲۸].

پس از آنکه تأمین‌کننده، سفارش را دریافت کرد نسبت به تولید آن اقدام می‌کند. هزینه تولید تأمین کننده تابعی از سطح فناوری است. هزینه تولید هر واحد $c = c_0 + \gamma v$ است؛ به‌طوری‌که c_0 هزینه تولید برای محصول پایه است، v میزان ارزش‌افزوده در محصول به خاطر تلاش در تحقیق و توسعه و γ مقدار افزایش هزینه تولید با افزایش سطح فناوری است؛ همچنین برای ایجاد امکان تولید محصول با فناوری بالاتر، تأمین‌کننده باید هزینه ثابت fv را نیز بپردازد [۲۲].

1. Stackelberg leader
2. Stackelberg follower
3. Cournot Model



شکل ۱. توالی رویدادها در مسئله

مراحل رویدادها و تصمیم‌گیری در شکل ۱، به‌صورت خلاصه نشان داده شده است. در ادامه ابتدا مدل معیار و سپس مسئله تحت ساختار غیرمتمرکز توسعه می‌یابد.

مدل معیار[1]**:** در این بخش مدل مسئله تحت شرایط قطعی برای زنجیره‌تأمین متمرکز نوشته می‌شود. جواب‌های این مدل به‌عنوان معیاری برای مقایسه با سایر سناریوها استفاده می‌شود. در شرایط قطعی و نبود ریسک خروجی مرحله تحقیق و توسعه، $v = e_b + e_s$. بر اساس توضیحات بالا در خصوص نحوه بازی و تعامل اعضای زنجیره تأمین، توابع سود به‌صورت زیر نوشته می شوند.

$$\pi_b^B = (p-w)q - \frac{g_b}{2}e_b^2 \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\pi_s^B = (w-c)q - fv - \left(\frac{g_s}{2} + \frac{1}{k}\right)e_s^2 \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\Pi_{sc}^B = (p-c)q - \frac{g_b}{2}e_b^2 - fv - \left(\frac{g_s}{2} + \frac{1}{k}\right)e_s^2 \quad \text{رابطه (۴)}$$

قضیه ۱: مقدار بهینه متغیرها در مدل معیار به‌صورت زیر است.

$$q^{B*} = \frac{A - c_0 + (\alpha - \gamma)(e_b + e_s)}{2\beta} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$e_s^{B*} = \frac{e_b(4\beta + 2\beta g_s k) + (\alpha-\gamma)k(A-c_0) - 2\beta f k}{-k\alpha^2 + 2k\alpha\gamma - k\gamma^2 + 4\beta + 2\beta g_s k} - e_b \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$e_b^{B*} = \frac{(g_s k + 2)(\alpha c_0 - A\alpha + 2\beta f) + \gamma(A-c_0)(g_s k + 2)}{2(\alpha-\gamma)^2 - 4\beta g_b + \alpha^2 g_b k + \alpha^2 g_s k + g_b\gamma^2 k + g_s\gamma^2 k - 2\alpha g_b\gamma k - 2\alpha g_s\gamma k - 2\beta g_b g_s k} \quad \text{رابطه (۷)}$$

اثبات تمامی قضیه‌ها در پیوست الف درج شده است.

زنجیره تأمین غیرمتمرکز[2]**:** در زنجیره تأمین با ساختار غیرمتمرکز هر یک از اعضای زنجیره به‌دنبال بیشینه‌سازی تابع سود خود هستند. با توجه به توضیحات ارائه‌شده در خصوص نحوه بازی، مسئله تصمیم‌گیری برای خریدار و تأمین‌کننده به‌ترتیب به‌صورت زیر نوشته می‌شوند.

1. Benchmark model
2. Decentralized supply chain

$$max\ \pi_b^D = (p-w)q - \frac{g_b}{2}e_b^2 = (A+\alpha v-\beta q-w)q - \frac{g_b}{2}e_b^2$$
$$s.t.\ q \geq 0$$
$$0 \leq e_b \leq 1$$
رابطه (۸)

$$max\ \pi_s^D = (w-c)q - fv - \left(\frac{g_s}{2}+\frac{1}{k}\right)e_s^2 = (w-c_0-\gamma v)q - fv - \left(\frac{g_s}{2}+\frac{1}{k}\right)e_s^2$$
$$s.t.\ w \geq c$$
$$0 \leq e_s \leq 1$$
رابطه (۹)

در قضیه زیر مقادیر بهینه برای متغیرهای این مسئله ارائه شده است.

قضیه ۲: مدل در ساختار غیرمتمرکز دارای توابع سود محدب است؛ اگر و فقط اگر نامعادلات $g_s > \frac{(k{\phi_s}^2(\alpha-\gamma)^2-8\beta)}{4\beta k}$ و $g_b > \frac{2\beta{\phi_b}^2(\alpha-\gamma)^2(g_sk+2)^2}{\left(-k\alpha^2{\phi_s}^2+2k\alpha\gamma{\phi_s}^2-k\gamma^2{\phi_s}^2+8\beta+4\beta g_sk\right)^2}$ برقرار باشند. مقدار بهینه متغیرهای تصمیم به‌صورت زیر است:

$$q^{D*} = \frac{A-w+\alpha(e_b\phi_b+e_s\phi_s)}{2\beta}$$
رابطه (۱۰)

$$w^{D*} = \frac{A}{2}+\frac{c_0}{2}+\frac{(\alpha+\gamma)(e_b\phi_b+e_s\phi_s)}{2}$$
رابطه (۱۱)

$$e_s^{D*} = \frac{\phi_s\left(\frac{(\alpha-\gamma)(A-c_0+\alpha e_b\phi_b-e_b\gamma\phi_b)}{4\beta}-f\right)}{g_s+\frac{2}{k}-\frac{{\phi_s}^2(\alpha-\gamma)^2}{4\beta}}$$
رابطه (۱۲)

$$e_b^{D*} = \frac{2\beta\phi_b(\alpha-\gamma)(g_sk+2)\begin{pmatrix}2A-2c_0+Ag_sk-\\ c_0g_sk-\alpha fk{\phi_s}^2+f\gamma k{\phi_s}^2\end{pmatrix}}{\left(g_bM-2\beta{\phi_b}^2(\alpha-\gamma)^2(g_sk+2)^2\right)}$$
رابطه (۱۳)

با توجه به آنکه به‌دلیل ساختار متمرکز و قطعیت، بهترین سطح عملکرد زنجیره تأمین در مدل معیار به‌دست می‌آید و به‌راحتی می‌توان دید که جواب بهینه در ساختار غیرمتمرکز با ساختار متمرکز متفاوت است؛ درنتیجه $\Pi_{SC}^D \leq \Pi_{SC}^B$؛ بنابراین ایجاد سود حاشیه‌ای مضاعف در ساختار غیرمتمرکز موجب شده است که قرارداد عمده‌فروشی در مدل غیرمتمرکز نتواند حداکثر عملکرد زنجیره تأمین که در ساختار متمرکز رقم می‌خورد را برآورده کند؛ بنابراین همکاری میان اعضای زنجیره‌تأمین برای کاهش این ناکارآمدی ضروری است.

قرارداد همکاری با بازی چانه‌زنی نش. در این بخش مدل سه سناریوی مختلف مسئله با درنظرگرفتن قرارداد همکاری میان اعضای زنجیره تحت بازی چانه‌زنی نش توسعه می‌یابد.

قرارداد اشتراک هزینه‌های تحقیق و توسعه[1]: به‌عنوان یک روش همکاری، خریدار و تأمین‌کننده در قالب این قرارداد مجموع هزینه‌های تحقیق و توسعه را با هم به‌اشتراک می‌گذارند. کل هزینه تحقیق و توسعه $\left(\frac{g_b}{2}e_b^2+\left(\frac{g_s}{2}+\frac{1}{k}\right)e_s^2\right)$ است که در قالب این قرارداد میان اعضا تقسیم می‌شود. به این قرارداد «همکاری در توسعه محصول» نیز گفته می‌شود.

در این ساختار ابتدا خریدار پیشنهاد قرارداد را ارائه می‌کند که در آن x سهم او از کل هزینه تحقیق و توسعه است. در صورت قبول قرارداد توسط تأمین‌کننده، هر دو شرکت بر روی توسعه محصول سرمایه‌گذاری می‌کنند. پس از توسعه محصول، تأمین‌کننده قیمت عمده‌فروشی و خریدار میزان سفارش را تعیین می‌کنند. با درنظرگرفتن قدرت‌های چانه‌زنی نامتقارن بین دو شرکت، از مدل چانه‌زنی نش برای تعیین سهم هر شرکت از کل هزینه استفاده می‌شود. تابع هدف زیر در این راستا تعریف می‌شود.

1. R&D cost sharing contract

$$max\ U = Max[\pi_b^{RC} - u_b]^{\rho}[\pi_s^{RC} - u_s]^{1-\rho}$$ رابطه (۱۴)

پارامتر ρ نشان‌دهنده قدرت چانه‌زنی خریدار است و $0 \le \rho \le 1$؛ همچنین u_b و u_s حداقل مطلوبیت قابل‌قبول برای خریدار و تأمین‌کننده هستند که به‌دلیل ساده‌سازی و بدون آنکه خدشه‌ای در مدل ایجاد شود، آن‌ها صفر در نظر گرفته می‌شوند. در این مسئله با مدل دوسطحی زیر مواجه می‌شویم.

$$\begin{cases} max\ U = Max[\pi_b^{RC}]^{\rho}[\pi_s^{RC}]^{1-\rho} \\ s.t.\ \pi_b^{RC} = (p-w)q - x\left(\frac{g_b}{2}e_b^2 + \left(\frac{g_s}{2}+\frac{1}{k}\right)e_s^2\right) \\ 0 \le e_b \le 1 \\ 0 \le q \\ w \le p \\ 0 \le x \le 1 \\ \begin{cases} max\ \pi_s^{RC} = (w-c)q - fv - (1-x)\left(\frac{g_b}{2}e_b^2 + \left(\frac{g_s}{2}+\frac{1}{k}\right)e_s^2\right) \\ s.t.\ 0 \le e_s \le 1 \\ c \le w \end{cases} \end{cases}$$ رابطه (۱۵)

در سطح بالای مسئله، ابتدا متغیر x تعیین می‌شود؛ سپس خریدار در خصوص متغیرهای (e_b, q) و تأمین‌کننده در خصوص متغیرهای (e_s, w) تصمیم‌گیری می‌کنند.

اشتراک هزینه‌های تولید[1]: در این ساختار کل هزینه تولید محصول که $(cq + fv)$ است در میان اعضا تقسیم می‌شود. متغیر y سهم خریدار از کل این هزینه را نشان می‌دهد. مدل ریاضی مسئله به‌صورت زیر تبدیل می‌شود.

$$\begin{cases} max\ U = Max[\pi_b^{PC}]^{\rho}[\pi_s^{PC}]^{1-\rho} \\ s.t.\ \pi_b^{PC} = (p-w)q - y(cq+fv) - \frac{g_b}{2}e_b^2 \\ 0 \le e_b \le 1 \\ 0 \le q \\ w \le p \\ 0 \le y \le 1 \\ \begin{cases} max\ \pi_s^{PC} = wq - (1-y)(cq+fv) - \left(\frac{g_s}{2}+\frac{1}{k}\right)e_s^2 \\ s.t.\ 0 \le e_s \le 1 \\ c \le w \end{cases} \end{cases}$$ رابطه (۱۶)

اشتراک درآمد[2]: در چارچوب این قرارداد خریدار بخشی از درآمد خود با تأمین‌کننده را به‌اشتراک می‌گذارد. متغیر z سهم خریدار از کل درآمد را نشان می دهد. مدل ریاضی این سناریو به‌صورت رابطه ۱۷، نوشته می‌شود.

1. Production cost sharing contract
2. Revenue sharing contract

$$\begin{cases} max\ U = Max[\pi_b^{RV}]^{\rho}[\pi_s^{RV}]^{1-\rho} \\ s.t.\ \pi_b^{PC} = z(p-w)q - \dfrac{g_b}{2}e_b^2 \\ 0 \le e_b \le 1 \\ 0 \le q \\ w \le p \\ 0 \le z \le 1 \\ \begin{cases} max\ \pi_s^{PC} = (1-z)(p-w)q + (w-c)q \\ \qquad\qquad -fv - \left(\dfrac{g_s}{2} + \dfrac{1}{k}\right)e_s^2 \\ s.t.\ 0 \le e_s \le 1 \\ c \le w \end{cases} \end{cases}$$

رابطه (۱۷)

نگرانی از رعایت انصاف: نهاد خریدار به‌عنوان رهبر بازی، به دنبال افزایش سودآوری است؛ اما او ممکن است کاهش سود تأمین‌کننده را نیز در نظر بگیرد. با درنظرگرفتن گریز از نابرابری در خریدار، پارامتر δ به‌عنوان درجه رعایت انصاف معرفی می‌شود؛ به‌طوری‌که $0 \le \delta \le 1$. در این حالت، تابع سود خریدار به شکل زیر تغییر می‌کند [۲۱].

$$U_b = \pi_b - \delta(\pi_s - \pi_b)$$

رابطه (۱۸)

بدین صورت خریدار کاهش سود تأمین‌کننده نسبت به خود را در تصمیم‌گیری لحاظ می‌کند.

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

در این بخش ابتدا روش و الگوریتم حل مدل‌ها ارائه می‌شود؛ سپس نتایج حل می‌شوند و مقایسه سناریوها در قالب محاسبات عددی صورت می‌گیرد.

رویکرد حل مسئله: پژوهش حاضر با یک مسئله تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی مواجه است که در آن ابتدا سهم هر یک از اعضا در هزینه توسط بازی چانه‌زنی نش تعیین می‌شود؛ سپس نهاد خریدار متغیرهای خود را تعیین می‌کند و در سطح پایین تأمین‌کننده تصمیم‌گیری می‌کند. زمانی که در مسئله چندسطحی، مسئله سطح پایین (پیرو) محدب باشد، می‌توان شرایط کاروش–کان–تاکر[1] مدل سطح پایین را در مسئله سطح بالا (رهبر) جایگذاری کرد و در نتیجه به یک مدل تک‌سطحی دست یافت [۴، ۱۷]. مطابق با قضیه ۲ در مدل زنجیره تأمین غیرمتمرکز، مسئله‌های خریدار و تأمین‌کننده محدب هستند. با توجه به خاصیت جمع‌پذیری توابع محدب، مسئله تأمین‌کننده در سناریوهای همکاری در بخش نیز محدب است. به‌صورت کلی برای مسئله بیشینه‌سازی با i متغیر تصمیم و j محدودیت همانند زیر،

$$\begin{aligned} &max\ \pi(x_i) \\ &f_j(x_i) \le b_j \forall j \end{aligned}$$

رابطه (۱۹)

با استفاده از شرایط KKT، جواب بهینه در دستگاه معادلات زیر صدق می‌کند.

$$\begin{aligned} &\frac{\partial \pi(x_i)}{\partial x_i} - \sum_j \lambda_j \frac{\partial f_j(x_i)}{\partial x_i} = 0 \forall i \\ &\lambda_j [b_j - f_j(x_i)] \forall j \\ &\lambda_j \ge 0 \forall j \end{aligned}$$

رابطه (۲۰)

1. Karush-Kuhn-Tucker (KKT)

به‌طوری‌که λ_j ضرایب مربوط با شرایط KKT است و می‌تواند به‌عنوان قیمت سایه برای هر محدودیت در نظر گرفته شود.

در سناریوی D، معادله ۹، مسئله تأمین‌کننده دارای دو متغیر تصمیم (e_s, w) و دو محدودیت $0 \le e_s \le 1$ و $c \le w$ است. شرایط KKT آن به‌صورت زیر نوشته می‌شود.

رابطه (۲۱)

$$\frac{\partial \pi_s^D}{\partial w} - \lambda_1 \left(\frac{\partial(-w)}{\partial w}\right) = 0$$
$$\frac{\partial \pi_s^D}{\partial e_s} - \lambda_2 \left(\frac{\partial(e_S)}{\partial e_S}\right) = 0$$
$$\lambda_1(-c + w) = 0$$
$$\lambda_2(e_s - 1) = 0$$
$$\lambda_1, \lambda_2 \ge 0$$

حال با جایگذاری معادله ۲۱ در مسئله۸، مدل تک‌سطحی به‌دست می‌آید. به‌صورت مشابه، تمامی سناریوها را می‌توان به مدل تک‌سطحی تبدیل کرد.

برای حل مدل‌ها به‌دلیل وجود پارامترهای تصادفی در مسئله از روش شبیه‌سازی بهره‌گیری می‌شود. بسیاری از مسائل دنیای واقعی به دلایل متعددی از قبیل غیرخطی‌بودن روابط، ترکیب متغیرها و پارامترهای غیرقطعی بسیار پیچیده‌تر از آن هستند که بتوان متغیرهای تصمیم بهینه آن را به صورت فرم بسته و تحلیلی محاسبه کرد. استفاده از شبیه‌سازی رایانه‌ای برای ارزیابی سیستم‌های پیچیده می‌تواند بسیار مفید باشد. با این حال محدودیت‌هایی در استفاده از آن وجود دارد؛ زیرا گاهی جواب بهینه را نمی‌توان از این روش به‌دست آورد؛ همچنین ارزیابی سناریوهایی با تعداد زیاد ممکن است دشوار باشد [۱۹]. برای یافتن جواب موجه و بهینه یا نزدیک به بهینه، یکپارچه‌سازی و ترکیب شبیه‌سازی و بهینه‌سازی مفید است. چنین رویکردی از روش بهینه‌سازی برای یافتن جواب مسئله استفاده می‌کند. این جواب‌ها توسط مدل شبیه‌سازی ارزیابی می‌شوند تا اثر متغیرهای تصادفی بر روی مسئله مشخص شود [۱۴]. مدل به دفعات مختلف با تولید پارامترهای تصادفی حل می‌شود و میانگین متحرک متغیرها به‌دست می‌آید. بدین منظور الگوریتم حل مسئله توسعه یافته و مراحل آن در جدول ۳، مشخص شده است.

جدول ۳. الگوریتم حل هر یک از سناریوها

۱	**شروع**
۲	انتخاب سناریو از مجموعه $S = \{D, RC, PC, RV\}$
۳	پارامترهای ورودی مدل را وارد کنید.
۴	تعداد تکرار الگوریتم را وارد کنید N
۵	قرار دهید $n = 1$
۶	عدد تصادفی برای پارامتر تصادفی را تولید کنید. $\varphi_b \in U(0,1)$ $\varphi_s \in U(0,1)$
۷	شرط اول بهینگی $\frac{\partial U}{\partial q} = 0$ را محاسبه و متغیر q را بر حسب w، e_s و e_b بنویسید.
۸	متغیرهای c و p را محاسبه کنید.
۹	شرایط KKT برای مسئله سطح پایین را در مسئله سطح بالا جایگزین کنید، با استفاده از معادلات روابط ۱۹ و ۲۰
۱۰	از نرم افزار بهینه‌سازی (مانند ابزار fmincon در Matlab) برای یافتن جواب‌های بهینه مدل تک‌سطحی استفاده کنید.
۱۱	میانگین متحرک توابع سود و U را محاسبه کنید.
۱۲	اگر $n < N$ قرار دهید $n = n + 1$ و به مرحله ۶ بروید؛ در غیر این صورت به مرحله ۲ بروید.

محاسبات عددی: این بخش جواب مدل‌های ارائه‌شده در بخش‌های قبلی را با مثال عددی بررسی می‌کند. هدف اصلی یافتن متغیرهای مدل و بررسی عملکرد زنجیره تأمین است. برنامه‌نویسی مدل‌های بخش ۴ به همراه الگوریتم حل مسئله در نرم افزار Matlab

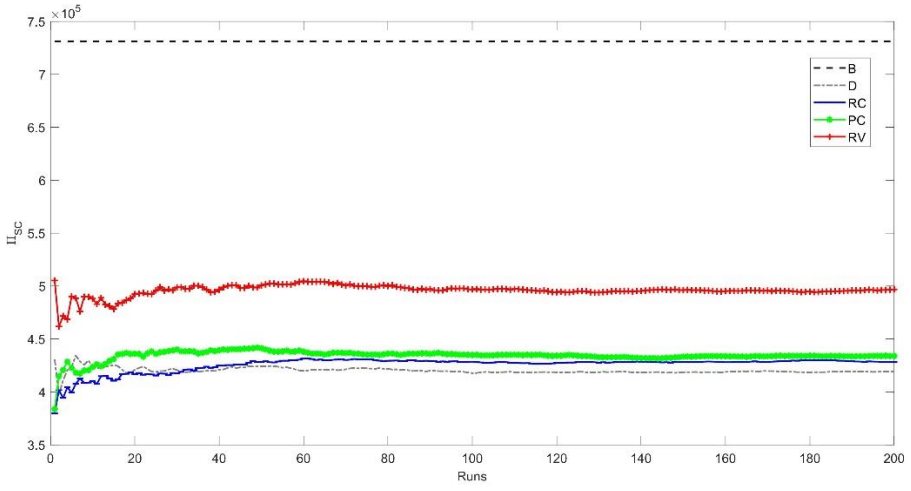
انجام شده و از ابزار Fmincon در بهینه‌سازی استفاده شده است. تعداد دوره شبیه‌سازی N برابر با ۲۰۰ است؛ به‌علاوه ۲۵ دوره برای گرم‌شدن سیستم[1] در نظر گرفته شده است. پارامترهای ورودی مسئله در جدول ۴، ارائه شده است.

با توجه به پارامترهای ورودی و اعداد تصادفی، بازدهی فرآیند تحقیق و توسعه در هر دوره تصادفی بین صفر تا ۱ تولید شده است؛ همچنین در این مثال درجه انصاف در نظر گرفته نشده $\delta = 0$ و سپس در انتهای این بخش اثر این پارامتر بررسی خواهد شد.

جدول ۴. پارامترهای ورودی مثال عددی

پارامتر	مقدار
A	\$1000
β	0.4
α	200 \$
k	2
g_b	5.1e+3 \$
g_s	6.2e+3 \$
c_0	100 \$
γ	80 \$
f	1000 \$
ρ	0.8

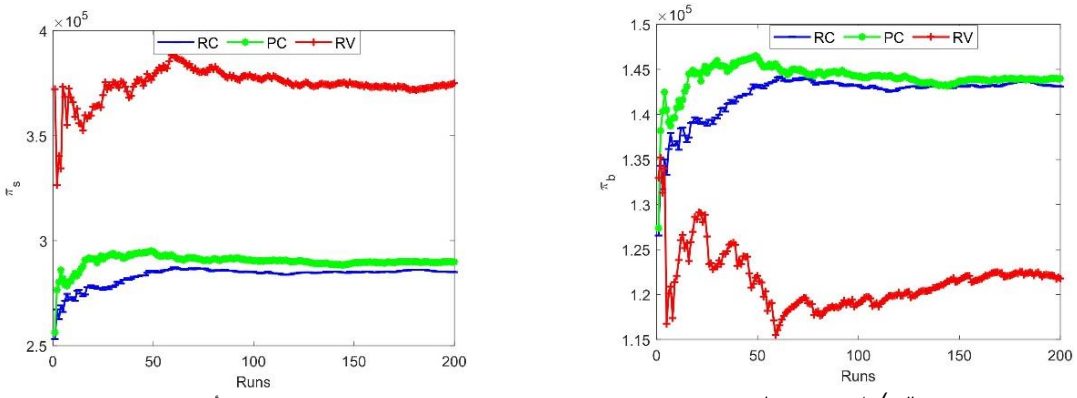
ابتدا در شکل ۲، مشاهده می‌شود که به‌صورت میانگین، مجموع سود زنجیره تأمین در مدل معیار، بسیار بالاتر از وضعیت تحت ریسک عدم‌قطعیت تحقیق و توسعه است. این شکل نشان می‌دهد که چگونه عدم‌قطعیت می‌تواند موجب ضرر برای اعضای زنجیره تأمین شود. در این شکل $\Pi_{SC}^{RV} > \Pi_{SC}^{PC} > \Pi_{SC}^{RC} > \Pi_{SC}^{D}$، سود زنجیره در مدل غیرمتمرکز از سایر قراردادهای همکاری پایین‌تر است و قرارداد اشتراک درآمد RV در مجموع سود بیشتری را ایجاد کرده است.



شکل ۲. سود کل زنجیره تأمین در هر سناریو

در شکل ۳، متوسط تابع سود خریدار و تأمین‌کننده برای هر یک از سناریوهای مسئله مشخص شده است. خریدار در قرارداد اشتراک هزینه تولید و تأمین‌کننده در قرارداد اشتراک درآمد سود بالاتری را به‌دست آورده‌اند.

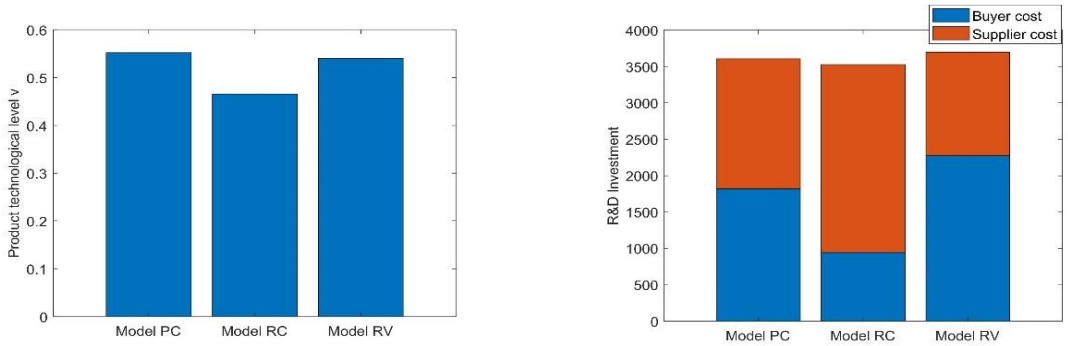
1. Warmup period



الف) تابع سود خریدار ب) تابع سود تأمین‌کننده

شکل ۳. توابع سود خریدار و تأمین‌کننده در هر سناریو

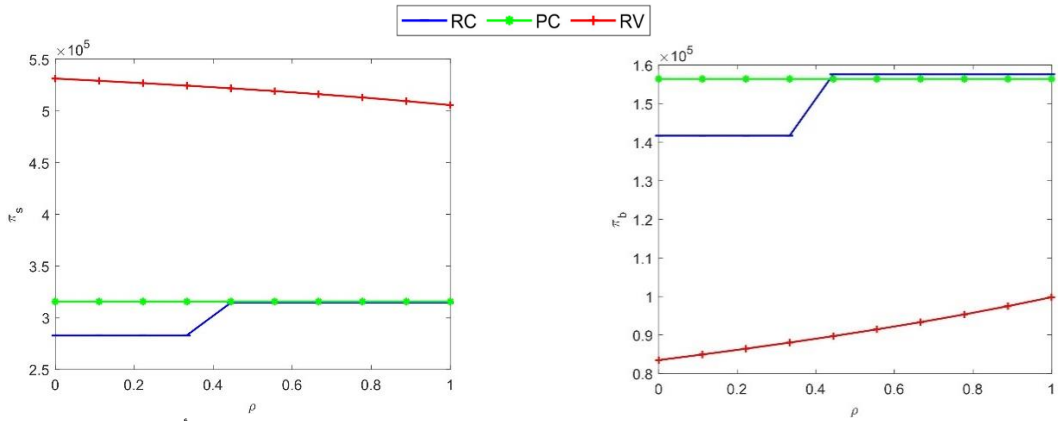
دو شاخص عملکردی مهم دیگر در این مسئله، هزینه‌های سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه و هزینه سرمایه‌گذاری در قابلیت اطمینان است. شکل ۴ (الف) نشان می‌دهد که مجموع بهینه سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه توسط زنجیره تأمین در سناریوهای مختلف با یکدیگر تفاوت زیادی ندارند؛ اما نهاد خریدار در قالب قرارداد اشتراک هزینه تحقیق و توسعه RC هزینه خود را در این حوزه کاهش می‌دهد. این امر موجب شده است تا به‌دلیل هزینه بیشتر، تأمین‌کننده تلاش کمتری در تحقیق و توسعه کند و در نهایت در سناریوی RC سطح فناوری محصول کاهش یابد؛ به‌علاوه در شکل ۴ (ب) می‌توان دید که فناوری محصول در سناریوی اشتراک هزینه تولید PC بیشتر است.



الف) سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه ب) سطح فناوری محصول

شکل ۴. میزان سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه و سطح فناوری محصول

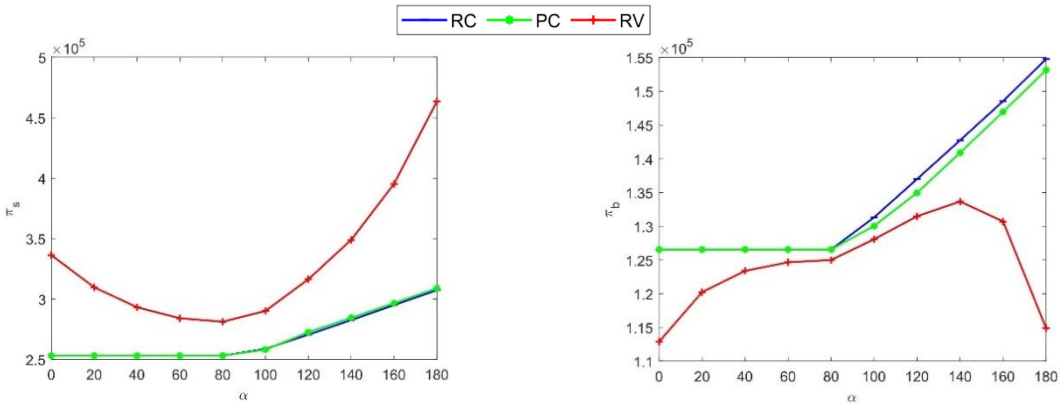
در ادامه به‌منظور تحلیل مدل، تغییرات توابع سود نسبت به تغییرات پارامترهای مدل بررسی می‌شود. ابتدا در شکل ۵ (الف) مشاهده می‌شود که حدی برای قدرت چانه‌زنی خریدار ρ وجود دارد که برای مقادیر کمتر از آن حد، خریدار قرارداد اشتراک هزینه تولید و برای مقایر بالاتر، قرارداد اشتراک هزینه تحقیق و توسعه را ترجیح خواهد داد؛ همچنین مطابق شکل ۵ (ب) با افزایش این پارامتر سود خریدار در سناریوی اشتراک درآمد کاهش می‌یابد؛ اما با تغییرات ρ توابع سود هر دو عضو زنجیره در سناریوی اشتراک هزینه تولید ثابت و در سناریوی اشتراک هزینه تحقیق و توسعه افزایش می‌یابد.



ب) تغییرات تابع سود تأمین‌کننده

الف) تغییرات تابع سود خریدار

شکل ۵. تغییرات توابع سود نسبت به تغییرات قدرت اعضای زنجیره



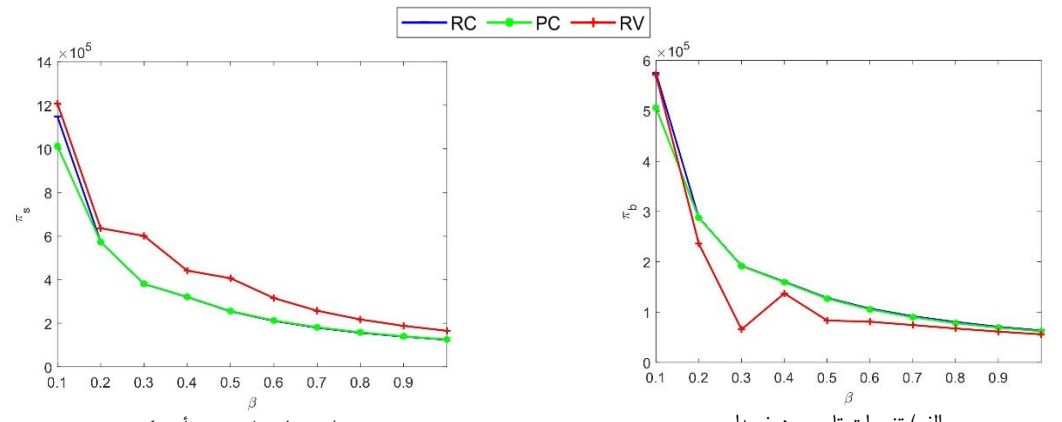
ب) تغییرات تابع سود تأمین‌کننده

الف) تغییرات تابع سود خریدار

شکل ۶. تغییرات توابع سود نسبت به حساسیت بازار به سطح فناوری محصول

شکل ۶، نشان می‌دهد که هر چه حساسیت بازار نسبت به سطح فناوری محصول α بیشتر باشد، از نظر خریدار قرارداد اشتراک هزینه تحقیق و توسعه بهتر و قرارداد اشتراک درآمد مطلوبیت کمتری خواهد داشت؛ اما با افزایش این پارامتر تابع سود تأمین‌کننده در سناریوهای RC و PC افزایش و در سناریوی RV ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد.

تحلیل حساسیت توابع سود نسبت به پارامتر حساسیت بازار به قیمت β در شکل ۷، نشان می‌دهد که توابع سود در تمامی سناریوها برای زنجیره تأمین کاهش می‌یابد. هرچه بازار رقابتی‌تر باشد و به قیمت حساسیت بیشتری نشان دهد، عملکرد زنجیره تأمین کاهش بیشتری دارد.

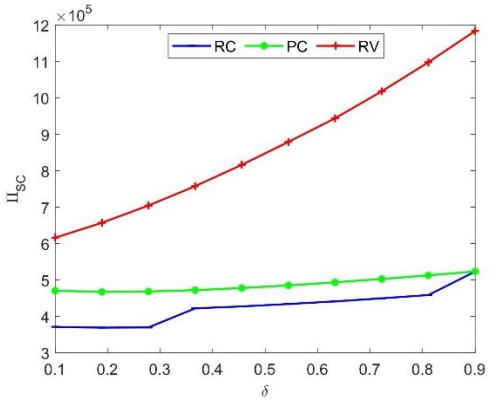


ب) تغییرات تابع سود تأمین‌کننده

الف) تغییرات تابع سود خریدار

شکل ۷. تغییرات توابع سود نسبت به حساسیت بازار به قیمت

درنهایت در شکل ۸، اثر درجه انصاف خریدار δ بر عملکرد کل زنجیره تأمین مشخص شده است. ابتدا در محاسبات صورت‌پذیرفته، معادله ۱۸، به‌جای تابع π_b جایگذاری شده و سپس تغییرات سود نسبت به آن بررسی شده است. در سناریوی اشتراک هزینه تحقیق و توسعه و اشتراک درآمد، با افزایش δ مقدار سود زنجیره تأمین افزایش می‌یابد؛ اما در مدل سناریوی اشتراک هزینه تولید تغییرات سود بسیار ناچیز است.



شکل ۸. تغییرات عملکرد زنجیره تأمین نسبت به درجه انصاف خریدار

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف از این پژوهش، بهبود زنجیره‌تأمین محصول پیچیده در مواجهه با ریسک عدم‌قطعیت در فرآیند تحقیق و توسعه است. در این پژوهش مدل سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه و قراردادهای مختلف همکاری توسعه داده شده و اثر آن‌ها را بر سودآوری زنجیره تأمین بررسی شده است. ابتدا مدل زنجیره تأمین غیرمتمرکز در شرایط ریسک با رویکرد بازی استکلبرگ توسعه یافت؛ سپس تأثیر نحوه همکاری بر مسئله با قراردادهای مختلفی شامل اشتراک‌گذاری هزینه‌های تحقیق و توسعه، اشتراک‌گذاری هزینه تولید و اشتراک‌گذاری درآمد ارائه شد. هر یک از سناریوهای این مسئله یک مدل برنامه‌ریزی دوسطحی غیرخطی بوده است. به‌منظور بررسی تأثیر قدرت‌های نامتقارن میان اعضای زنجیره، پارامتر هر قرارداد در یک بازی چانه‌زنی نش تعیین شده است. برای حل هر سناریو، شرایط KKT مسئله سطح پایین در مدل جایگذاری شده و مدل تک‌سطحی به‌دست آمده است؛ سپس بهینه‌سازی مدل چانه‌زنی نش با رویکرد شبیه‌سازی پیشنهاد شده است.

نتایج نشان می‌دهند که عدم‌قطعیت در فرآیند تحقیق و توسعه موجب کاهش سود زنجیره تأمین می‌شوند و تمامی قراردادها پیشنهادی می‌توانند سطح عملکرد را نسبت به ساختار غیرمتمرکز بهبود دهند. قرارداد اشتراک درآمد در مجموع سود بیشتری را هم برای کل زنجیره و هم برای تأمین‌کننده ایجاد کرده است؛ اما از منظر خریدار، زمانی که قدرت چانه‌زنی وی نسبتاً کم است، قرارداد اشتراک هزینه تولید و در زمانی که قدرت چانه‌زنی بیشتری دارد، قرارداد اشتراک هزینه تحقیق و توسعه مطلوبیت بیشتری را ایجاد می‌کند؛ همچنین نشان داده شده که حساسیت بازار نسبت به سطح فناوری محصول موجب بهبود عملکرد زنجیره در ساختار قراردادهای اشتراک هزینه تولید و هزینه تحقیق و توسعه می‌شود؛ اما در ساختار اشتراک درآمد ممکن است تمامی اعضای زنجیره از حساسیت بازار نسبت به سطح فناوری محصول منتفع نشوند؛ به‌علاوه حساسیت بازار نسبت به قیمت و رعایت انصاف خریدار، به‌ترتیب همواره موجب کاهش و افزایش عملکرد زنجیره تأمین می‌شوند.

این پژوهش از چند جهت توسط سایر پژوهشگران می‌تواند توسعه یابد: نخست آنکه روش‌های مختلف همکاری در توسعه فناوری‌های محصول، همانند قرارداد فروش لایسنس نیاز است تا مطالعه شود. دوم اینکه ساختارهای پیچیده‌تر زنجیره تأمین و شبکه‌های چندلایه‌ای باید بررسی شوند. درنهایت آنکه اطلاعات میان اعضای زنجیره تأمین در این پژوهش معلوم در نظر گرفته شده است. پیشنهاد می‌شود در سایر مطالعات اثر عدم‌تقارن اطلاعات بین خریدار و تأمین‌کننده نیز در نظر گرفته شود.

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 به‌عنوان شاهدی بی‌طرف ولی متخصص بوده است و نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارند.

پیوست الف

اثبات قضیه ۱: با استفاده از تکنیک استنتاج بازگشتی[1] ابتدا میزان سفارش و سپس مقادیر سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه محاسبه می‌شوند. با محاسبه مشتق دوم تابع سود، معادله ۴، نسبت به q داریم $\frac{\partial^2 \Pi_{SC}^B}{\partial q^2} = -2\beta$؛ بنابراین تابع سود محدب است. با قراردادن مشتق اول این تابع مساوی با صفر، معادله زیر به‌دست می‌آید.

$$q^{B*} = \frac{A - c_0 + (\alpha - \gamma)(e_b + e_s)}{2\beta} \quad \text{رابطه (۲۲)}$$

با قراردادن معادله بالا در Π_{SC}^B، مسئله در مرحله اول بازی دارای دو متغیر تصمیم (e_b, e_s) است. ماتریس هشین و دترمینان آن به‌صورت زیر به‌دست می‌آید.

$$H_{\Pi_{SC}^B} = \begin{pmatrix} \sigma_1 - \frac{2}{k} - \frac{\gamma(\alpha-\gamma)}{\beta} - g_s & \sigma_1 - \frac{\gamma(\alpha-\gamma)}{\beta} \\ \sigma_1 - \frac{\gamma(\alpha-\gamma)}{\beta} & \sigma_1 - \frac{\gamma(\alpha-\gamma)}{\beta} - g_b \end{pmatrix} \quad \text{رابطه (۲۳)}$$

$$det(H_{\Pi_{sc}^B}) = -\frac{\begin{matrix}(\alpha-\gamma)^2 + k(\alpha^2+\gamma^2)(g_b+g_s) - \\ 2\alpha g_b \gamma k - 2\alpha g_s \gamma k - 4\beta g_b - 2\beta g_b g_s k\end{matrix}}{2\beta k} \quad \text{رابطه (۲۴)}$$

به‌طوری‌که $\sigma_1 = \frac{(\alpha-\gamma)\left(\frac{\alpha}{2}+\frac{\gamma}{2}\right)}{\beta}$. تابع سود محدب است؛ اگر $det(H_{\Pi_{SC}^B}) > 0$؛ یعنی نامعادله $(g_b + g_s) < \frac{2\beta g_b(2+g_s k)-(\alpha-\gamma)^2}{k(\alpha^2+\gamma^2-2\alpha\gamma k)}$ برقرار باشد. حال با حل دستگاه $\left\{\frac{\partial \Pi_{SC}^B}{\partial e_b} = 0, \frac{\partial \Pi_{SC}^B}{\partial e_s} = 0\right\}$ نتایج زیر حاصل می‌شود.

$$e_s^{B*} = \frac{e_b(4\beta + 2\beta g_s k) + (\alpha-\gamma)k(A-c_0) - 2\beta f k}{-k\alpha^2 + 2k\alpha\gamma - k\gamma^2 + 4\beta + 2\beta g_s k} - e_b \quad \text{رابطه (۲۵)}$$

$$e_b^{B*} = \frac{\begin{matrix}(g_s k+2)(\alpha c_0 - A\alpha + 2\beta f) + \gamma(A-c_0)(g_s k+2) \\ 2(\alpha-\gamma)^2 - 4\beta g_b + \alpha^2 g_b k + \alpha^2 g_s k + g_b \gamma^2 k + \\ g_s \gamma^2 k - 2\alpha g_b \gamma k - 2\alpha g_s \gamma k - 2\beta g_b g_s k\end{matrix}}{} \quad \text{رابطه (۲۶)}$$

■

اثبات قضیه ۲: ابتدا میزان سفارش و سپس مسئله تأمین‌کننده و در نهایت مسئله سرمایه‌گذاری خریدار حل می‌شوند. با محاسبه مشتق دوم تابع سود خریدار نسبت به q داریم $\frac{\partial^2 \pi_b^D}{\partial q^2} = -2\beta$؛ بنابراین تابع سود خریدار محدب است. با قراردادن مشتق اول این تابع مساوی با صفر، معادله زیر به‌دست می‌آید.

$$q^{D*} = \frac{A - w + \alpha(e_b \phi_b + e_s \phi_s)}{2\beta} \quad \text{رابطه (۲۷)}$$

مسئله تأمین‌کننده دارای دو متغیر تصمیم (w, e_s) است. با قراردادن معادله بالا در π_s^D، ماتریس هشین و دترمینان آن به‌صورت زیر به‌دست می‌آید.

1. Backward induction technique

$$H_{\pi_s^D} = \begin{pmatrix} -\left(g_s + \frac{2}{k} + \frac{\alpha\gamma{\phi_s}^2}{\beta}\right) & \frac{\alpha\phi_s}{2\beta} + \frac{\gamma\phi_s}{2\beta} \\ \frac{\alpha\phi_s}{2\beta} + \frac{\gamma\phi_s}{2\beta} & -\frac{1}{\beta} \end{pmatrix}$$ رابطه (۲۸)

$$g_s > \frac{\left(k{\phi_s}^2(\alpha-\gamma)^2 - 8\beta\right)}{4\beta k}$$ رابطه (۲۹)

تابع سود تأمین‌کننده محدب است اگر $det(H_{\pi_s^D}) > 0$ ،$\det(H_{\pi_s^D}) > 0$ یعنی نامعادله $g_s > \frac{k{\phi_s}^2(\alpha-\gamma)^2-8\beta}{4\beta k}$ برقرار باشد. حال با حل دستگاه معادلات $\frac{\partial\pi_s^D}{\partial w} = 0$ و سپس $\frac{\partial\pi_s^D}{\partial e_s} = 0$ نتایج زیر حاصل می‌شود.

$$w^{D*} = \frac{A}{2} + \frac{c_0}{2} + \frac{(\alpha+\gamma)(e_b\phi_b + e_s\phi_s)}{2}$$ رابطه (۳۰)

$$e_s^{D*} = \frac{\phi_s\left(\frac{(\alpha-\gamma)(A-c_0+\alpha e_b\phi_b - e_b\gamma\phi_b)}{4\beta} - f\right)}{g_s + \frac{2}{k} - \frac{{\phi_s}^2(\alpha-\gamma)^2}{4\beta}}$$ رابطه (۳۱)

حال می‌توان شرط محدب‌بودن تابع سود خریدار نسبت به e_B را محاسبه کرد و مقدار بهینه آن را به‌دست آورد. با جایگذاری معادلات ۳۰ و ۳۱ در π_b^D و با محاسبه مشتق دوم نسبت به e_b و ساده‌سازی، می‌توان دید که شرط محدب‌بودن برقراری رابطه زیر است.

$$g_b > \frac{2\beta{\phi_b}^2(\alpha-\gamma)^2(g_sk+2)^2}{\left(-k\alpha^2{\phi_s}^2 + 2k\alpha\gamma{\phi_s}^2 - k\gamma^2{\phi_s}^2 + 8\beta + 4\beta g_sk\right)^2}$$ رابطه (۳۲)

در نتیجه از حل $\frac{\partial\pi_b^D}{\partial e_b} = 0$ جواب بهینه e_b به‌دست می‌آید که در زیر نشان داده شده است.

$$e_b^{D*} = \frac{2\beta\phi_b(\alpha-\gamma)(g_sk+2)\left(2A - 2c_0 + Ag_sk - c_0g_sk - \alpha fk{\phi_s}^2 + f\gamma k{\phi_s}^2\right)}{\left(g_bM - 2\beta{\phi_b}^2(\alpha-\gamma)^2(g_sk+2)^2\right)}$$ رابطه (۳۳)

به‌طوری‌که $M = \left(-k\alpha^2{\phi_s}^2 + 2k\alpha\gamma{\phi_s}^2 - k\gamma^2{\phi_s}^2 + 8\beta + 4\beta g_sk\right)^2$.

منابع

1. Banerjee, T., & Siebert, R. (2017). Dynamic impact of uncertainty on R&D cooperation formation and research performance: Evidence from the bio-pharmaceutical industry. *Reserch Policy, 46(7),* 1255–1271. DOI:https://doi.org/ 10. 1016/ j.respol.2017.05.009
2. Bhaskaran, S. R., & Krishnan, V. (2009). Effort, revenue, and cost sharing mechanisms for collaborative new product development. *Management Science, 55(7),* 1152–1169. DOI:https://doi.org/10.1287/mnsc.1090.1010
3. Chen, X., Wang, X., & Zhou, M. (2019). Firms' green R&D cooperation behaviour in a supply chain: Technological spillover, power and coordination. *Int. J. Prod. Econ., 218,* 118–134. DOI:https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.04.033
4. Colson, B., Marcotte, P., & Savard, G. (2007). An overview of bilevel optimization. *Annals of Operations Research, 153(1),* 235–256. DOI:https://doi.org/10.1007/s10479-007-0176-2
5. Duong & Chong, J. (2020). Supply chain collaboration in the presence of disruptions: a literature review. *International Journal of Production Research, 58,* 11, 3488–3507. DOI:https://doi.org/10.1080/00207543. 2020. 1712491
6. Guan, Z., Ye, T., & Yin, R. (2020). Channel coordination under Nash bargaining fairness concerns in differential games of goodwill accumulation. *European Journal of Opereational Research, 285(3),* 916–930. DOI:https://doi.org /10.1016/j.ejor.2020.02.028
7. Leider, S., & Lovejoy, W. S. (2016). Bargaining in Supply Chains. *Management Science*, 1–20. DOI:https://doi.org/10.1287/mnsc.2015.2273
8. Li C., Zhou Y. W., Cao B., and Zhong Y. (2022). Equilibrium analysis and coalition stability in R&D cooperation with spillovers. *IISE Transactions, 54(4),* 348–362. DOI:https://doi.org/10.1080/24725854.2021.1947545
9. Li, Q., Xiao, T., & Qiu, Y. (2018). Price and carbon emission reduction decisions and revenue-sharing contract considering fairness concerns. *Journal of Cleaner Production, 190,* 303–314. DOI:https://doi.org/ 10.1016/j.jclepro.2018.04.032
10. Liu, G., Wang, H., & Shao, X. (2022). Technology investments into a supplier with upstream entry. *European Journal of Operational Research*. *14(15).* DOI:https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.05.054
11. Meng W., Ma M., Li Y., and Huang B. (2022). New energy vehicle R&D strategy with supplier capital constraints under China's dual credit policy. *Energy Policy, 168,* 113099. DOI:https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113099
12. Mu M., Li Q., Dai G., Li K., Zhang F., and Zhang. (2022). Government Subsidy Policy and Online Selling Strategy in a Platform Supply Chain with Green R&D and DDM Activities. *Sustainability, 14(15),* DOI:https://doi.org/10.3390/su14159658
13. Nooraei Baydokht R., Hamedi M., and Asgharizadeh E. (2018). A Model for R&D Project Portfolio Selection and Development in LCSI Enterprises. *The Journal of Industrial Managemane Perspective*. *8(3).* https://jimp.sbu.ac.ir/article_87164.html. (In persian).
14. Noordhoek M., Dullaert W., Lai D. S W, and Leeuw S. D. (2018). A simulation – optimization approach for a service-constrained multi-echelon distribution network. *Transportation Research, Part E 114,* 292–311. DOI:https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.02.006
15. Roberta Pereira C., Christopher M., and Lago Da Silva A. (2014). Achieving supply chain resilience: the role of procurement. *Supply Chain Management. 19,* 626–642. DOI:https://doi.org/10.1108/SCM-09-2013-0346
16. Pun, H. & Ghamat, S. (2016). The value of partnership under competition: When competitors may be R&D joint-venture and supply-chain partners for a critical component. *International Journal of Production Economics, 177,* 1–11. DOI:https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.03.018
17. Talbi, E. (2013). A Taxonomy of Metaheuristics for Bi-level. In *Metaheuristics for Bi-level Optimization*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1–39. DOI:https://doi.org/10.1007/978-3-642-37838-6
18. Taleizadeh A. A. and Mohammadi R. (2015). Optimizing the Selling Price and Advertising Cost in a Two Layers Supply Chain Including a Manufacturer and Two Retailers. *The Journal of Industrial Management Perspective. 5(2).* https://jimp.sbu.ac.ir/article_87259.html. (In persian).
19. Tekin, E., & Sabuncuoglu, I. (2004). Simulation optimization: A comprehensive review on theory and applications. *IIE Transaction. (Institute Ind. Eng., 36(11),* 1067–1081. DOI:https://doi.org/10.1080/07408170490500654
20. Torabi S. A. and Tafakkori K. (2022). Designing an Applied Approach to Support Supplier Development Decisions in Buyer- Supplier Relationship Management. *The Journal of Industrial Management Perspective, 12(46),* 9–36. DOI:https://doi.org/10.52547/JIMP.12.2.9. (In persian).
21. Wang, L., Xiao, T., & Lu, Q. (2018). The Role of Fairness in Cooperative Supply Chain. *International Journal of Applied Mathematics, 48(3).*
22. Xie, L., Hou, P., & Han, H. (2021). Implications of government subsidy on the vaccine product R&D when the buyer is risk averse. *Transportation Research Part E. 146,* 102220. DOI:https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102220
23. Yan, F., Chen, H., & Zhang Z. (2022). Price and cooperation decisions in a cooperative R&D supply chain with different licensing models. *Kybernetes*. DOI:https://doi.org/10.1108/K-12-2021-1347
24. Yao, D. Q., Yue, X., & Liu, J. (2008). Vertical cost information sharing in a supply chain with value-adding retailers. *Omega*, *36(5),* 838–851. DOI:https://doi.org/10.1016/j.omega.2006.04.003
25. Yenipazarli A. (2016). Managing new and remanufactured products to mitigate environmental damage under emissions regulation. *European Journal of Operational Research, 249(1),* 117–130.

DOI:https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.08.020
26. Yu, X., Lan Y., & Zhao Y. (2021). Strategic green technology innovation in a two-stage alliance: Vertical collaboration or co-development? *Omega (United Kingdom)*, *98*, 102116. DOI:https://doi.org/10.1016/j.omega.2019.102116
27. Zheng, Y., Liu, S., Zhao, Y., Han, C., Zhou, Q., Wang, L., Colace, F., Alhalabi, W., & Alsharif, H. (2023). Game analysis on general purpose technology cooperative R&D with fairness concern from the technology chain
28. Zhou, J., Zhu, J., & Wang, H. (2021). Dual-sourcing and technology cooperation strategies for developing competitive supplier in complex product systems. *Computer & Industrial Engineering*, *159(29)*, 107482.
29. Zhu, K. & Weyant, J. P. (2003). Strategic Decisions of New Technology Adoption under Asymmetric Information: A Game-Theoretic Model. *Decision Sciences*, *34(4)*, 643–675. DOI:https://doi.org/10.1111/j.1540-5414.2003.02460.x