Industrial Management Studies
Vol. 22, No. 74, Fall 2024; P 51-94
jims.atu.ac.ir
DOI: 10.22054/jims.2024.78110.2901

ATU PRESS

Original Research
Accepted: 22/09/2024
Revised: 5/9/2024
Received: 5/2/2024
eISSN: 2476-602X
ISSN: 2251/8029

Two-Channel Green Supply Chain Pricing Decisions Considering Advertising in Centralized and Decentralized Modes

Parisa Hosseini
Master, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Alzahra University, Tehran, Iran

Mehdi Seifbarghy *
Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Alzahra University, Tehran, Iran

Abstract
One of the most critical decisions in the supply chain is pricing, which plays a vital role in the profitability of the entire supply chain. In this research, a two-tier green supply chain is considered, comprising a producer and a retailer, where two types of products, standard and green, are produced. The demand for products is determined as a certain linear function of product prices, delivery time in the online channel, the level of green quality, advertising intensity, and information-tracing level. Green products are sold through the online channel, while standard products are distributed through traditional retail channels. The government provides subsidies for the production of green products and the implementation of blockchain technology. The decision-making problem is approached through two models: centralized and decentralized. In the decentralized model, a Stackelberg game is employed, with the producer leading the decision-making process. In the centralized model, all supply chain members make decisions in a unified manner. The results indicate that the centralized model yields the highest profitability for the supply chain. Additionally, in the centralized model, all products are observed to have the lowest prices.

* Corresponding Author: m.seifbarghy@alzahra.ac.ir
How to Cite: Hosseini, P., Seifbarghy, M. (2024). Two-Channel Green Supply Chain Pricing Decisions Considering Advertising in Centralized and Decentralized Modes, *Industrial Management Studies, 22(74),* 51-94.

Introduction

Today, with the expansion of the Internet and e-commerce, a large number of manufacturers are interested in creating an electronic channel in addition to the traditional retail channel for direct participation in the market. This distribution system, which includes traditional and direct retail channels, is called a two-channel supply chain. On the other hand, the production of green products is one of the important factors in environmental sustainability because green products have fewer negative effects on the environment than traditional products.

One of the most important and difficult decisions for an organization is how to price products. In addition to the product price, one of the factors affecting customers' decisions to buy from the online channel is the delivery time. Longer delivery time reduces customer loyalty to the online channel. Furthermore, advertising is a key tool for creating demand and expanding the market at any stage in the life of a business. Also, transparency of product information is an important factor that increases product sales.

In this research, a two-channel and two-level supply chain, including a manufacturer and a retailer, is considered under the centralized and decentralized decision-making model, and the simultaneous effect of five factors—price, delivery time, green product quality level, advertising level, and tracking level of information—is included in the product demand.

The manufacturer makes decisions regarding green product pricing, online channel delivery time, green product quality level, green product advertising level, and green product information tracking level, and then the retailer determines the standard product price.

Research Background

In this section, we only mention a few of the most related studies to the current one. Zhao et al. (2017) studied the pricing of two complementary products in a supply chain with two manufacturers and one retailer, where one of the two manufacturers uses dual channels, including the online channel and the traditional retail channel, to sell its product. Saha et al. (2018) investigated the optimal pricing policies in a two-channel, two-level supply chain, including a manufacturer and a retailer, under price-sensitive demand and delivery time. The manufacturer supplies the products to the retailer, and the

retailer fulfills the demand of the consumers by selling the products through both the online and retail channels. Jamali & Rasti-Barzoki (2018) studied the pricing of two alternative products, including a green product produced by the first manufacturer and a non-green product produced by the second manufacturer, under two two-channel supply chains, including online and retail channels. Zhang et al. (2021) considered the dynamic pricing strategy and green measures for a two-channel and two-stage supply chain, including a manufacturer and a retailer, under the centralized and decentralized model. The demand is deterministic and sensitive to the price and level of greenness. Zhong et al. (2023) investigated a supply chain with one manufacturer and two product sales channels, including a traditional retailer and an online retailer, under a competitive model that uses blockchain technology to track product information from the manufacturer to the consumer.

Materials and methods

The research problem addresses decisions related to pricing, delivery time, green quality level, advertising level, and information tracking level in a two-channel, two-echelon supply chain consisting of a manufacturer and a retailer with deterministic demand. The supply chain is single-period and multi-product, where one type of green product and two types of standard products are produced. The green product is sold through the online channel, while the standard products are sold through the traditional retail channel. The demand for the green product is a linear function of the product price, online delivery time, green product quality level, green product advertising level, and green product information tracking level. The demand for the standard products is also a linear function of the product price, online delivery time, and green product advertising level.

To encourage the manufacturer to produce green products and implement blockchain technology for product information transparency in the online channel, the government provides subsidies. This aims to increase the profits derived from production, creating an incentive for the manufacturer to produce the green product.

To model and solve the two-channel supply chain problem, after defining the parameters and decision variables, the assumptions for modeling are presented. Then, the demand functions for the products and the profit functions for the supply chain members are modeled. To determine the optimal values for decision variables and the profits of

the supply chain members, two decision-making models—centralized and decentralized—are examined. In the centralized model, the supply chain members make their decisions cohesively, while in the decentralized model, the members compete with each other under a Stackelberg game, with the manufacturer taking the lead.

Data analysis and findings

In this section, in order to solve the problem numerically, a numerical example is considered. The demand elasticity values of three types of lamp products have been calculated based on the elasticity formula, and the values of other parameters were determined based on the assumptions of the problem and field research.

Conclusion

Regarding the first research question, the profit of the centralized model is higher than that of the decentralized one. With a simple mathematical calculation, it can be concluded that for this real example, about 12.5% of the profit has increased in the centralized model compared to the decentralized one. Regarding the second research question, the more subsidy the government pays for the production of each unit of a green product, the higher the quality level of the green product will be. In relation to the third question, from the sensitivity analysis of the decentralized model, it can be seen that the increase in the sensitivity of green product customers towards the price of the green product severely reduces the demand for this product, and the profitability of the manufacturer and the supply chain is significantly affected.

Further research ideas

One idea for further research could be to conduct research in relation to the solutions for adopting green products by more people in society so that the use of green products continues to be beneficial. Considering that government subsidies are limited, another research topic could be about the allocation of government subsidies to various subjects, especially those related to sustainability and the environment.

Keywords: Pricing, Green supply chain, Delivery Time, Advertising, Information Tracing.

مقاله پژوهشی
تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۱۱/۱۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۶/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۱
ISSN: 2251/8029 eISSN: 2476-602X

مطالعات مدیریت صنعتی
سال بیست و دوم، شماره ۷۴، پاییز ۱۴۰۳، ص ۵۱ تا ۹۴
jims.atu.ac.ir
DOI: 10.22054/jims.2024.78110.2901

تصمیمات قیمت‌گذاری زنجیره تأمین سبز دو کاناله با در نظر گرفتن تبلیغات در حالات متمرکز و غیرمتمرکز

پریسا حسینی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران

مهدی سیف برقی * استاد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران

چکیده

تصمیمات قیمت‌گذاری از مهم‌ترین تصمیمات زنجیره تأمین می‌باشد که نقش حیاتی در سودآوری زنجیره تأمین دارد. در این تحقیق یک زنجیره تأمین سبز دو کاناله و دو سطحی متشکل از یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش در نظر گرفته شده است که دو نوع محصول استاندارد و یک نوع محصول سبز تولید می‌شود. تقاضای محصولات، قطعی و یک تابع خطی از قیمت محصولات، زمان تحویل کانال آنلاین، سطح کیفیت سبز، سطح تبلیغات و سطح ردیابی اطلاعات می‌باشد. محصول سبز از طریق کانال آنلاین و محصولات استاندارد از طریق کانال سنتی خرده‌فروشی به فروش می‌رسند. دولت جهت تولید محصول سبز و اجرای فناوری بلاکچین یارانه پرداخت می‌کند. مسئله تحت دو مدل تصمیم‌گیری متمرکز و غیرمتمرکز در نظر گرفته شده است که در مدل غیرمتمرکز، بازی استکلبرگ به رهبری تولیدکننده در نظر گرفته شده است و در مدل متمرکز، اعضای زنجیره تأمین تصمیمات خود را به‌طور یکپارچه اتخاذ می‌کنند. نتایج نشان داد که زنجیره تأمین در مدل متمرکز دارای بیشترین سودآوری می‌باشد. همچنین مشاهده گردید در مدل متمرکز تمامی محصولات از کمترین قیمت برخوردار می‌باشند.

کلیدواژه‌ها: قیمت‌گذاری، زنجیره تأمین سبز، زمان تحویل، تبلیغات، ردیابی اطلاعات.

* نویسنده مسئول: m.seifbarghy@alzahra.ac.ir

مقدمه

زنجیره تأمین یک فرآیند سازمان‌یافته تولید است که در آن مواد خام به کالاهای نهایی تبدیل شده و سپس به مشتریان نهایی تحویل می‌شوند (Janvier-James، 2012). با گسترش اینترنت و تجارت الکترونیک، بسیاری از تولیدکنندگان به ایجاد کانال‌های الکترونیکی علاوه بر کانال‌های خرده‌فروشی سنتی برای مشارکت مستقیم در بازار علاقه‌مند شده‌اند. این سیستم توزیع که شامل کانال‌های خرده‌فروشی سنتی و مستقیم است، به عنوان زنجیره تأمین دو کاناله شناخته می‌شود (Li et al.، 2016).

تولید محصول سبز به عنوان یکی از عوامل مهم در پایداری زیست‌محیطی مطرح است، زیرا این محصولات نسبت به محصولات سنتی اثرات منفی کمتری بر محیط‌زیست دارند و مضرات کمتری برای سلامت انسان به همراه می‌آورند. بنابراین، این محصولات به عنوان گزینه‌های سازگار با محیط‌زیست شناخته می‌شوند (Ranjan & Jha، 2019).

یکی از مهم‌ترین و دشوارترین تصمیمات یک سازمان، نحوه قیمت‌گذاری محصولات است (Lipovetsky et al.، 2011). علاوه بر قیمت، زمان تحویل نیز یکی از عوامل مؤثر در تصمیم‌گیری خرید مشتریان از کانال آنلاین به شمار می‌رود. زمان تحویل طولانی‌تر می‌تواند منجر به کاهش وفاداری مشتریان نسبت به این کانال شود (Saha et al.، 2018).

در فعالیت‌های تجاری، داشتن یک محصول عالی برای فروش کافی نیست. تبلیغات ابزاری کلیدی برای ایجاد تقاضا و گسترش بازار در مراحل مختلف عمر هر کسب‌وکار به شمار می‌رود (Liu et al.، 2014). همچنین، شفافیت اطلاعات محصول عامل مهمی است که می‌تواند به ارتقاء فروش کمک کند. برای برآورده کردن انتظارات مصرف‌کنندگان از اطلاعات کیفیت محصول، تولیدکنندگان از فناوری بلاک‌چین برای ردیابی اطلاعات محصول استفاده می‌کنند و دولت‌ها نیز با اجرای سیاست‌های مربوطه، استفاده از این فناوری را تشویق می‌کنند (Zhong et al.، 2023).

در این تحقیق یک زنجیره تأمین دو کاناله و دو سطحی شامل یک تولیدکننده و یک

خرده‌فروش تحت مدل تصمیم‌گیری متمرکز و غیرمتمرکز در نظر گرفته می‌شود و تأثیر هم‌زمان پنج عامل قیمت، زمان تحویل، سطح کیفیت محصول سبز، سطح تبلیغات و سطح ردیابی اطلاعات در تقاضای محصول لحاظ گردیده است که تأثیر هیچ‌یک در میزان تقاضای محصولات و سودآوری زنجیره تأمین قابل‌چشم‌پوشی نیست. تولیدکننده به تصمیمات قیمت‌گذاری محصول سبز، زمان تحویل کانال آنلاین، سطح کیفیت سبز محصول سبز، سطح تبلیغات محصول سبز و سطح ردیابی اطلاعات محصول سبز می‌پردازد و سپس خرده‌فروش، قیمت محصولات استاندارد را تعیین می‌نماید.

سؤالات تحقیق عبارت‌اند از:

۱- زنجیره تأمین در کدام مدل تصمیم‌گیری متمرکز و غیرمتمرکز دارای سودآوری بیشتری می‌باشد؟

۲-میزان یارانه دولتی به ازای هر واحد محصول سبز، چه تأثیری در ارتقاء سطح کیفیت محصول سبز خواهد داشت؟

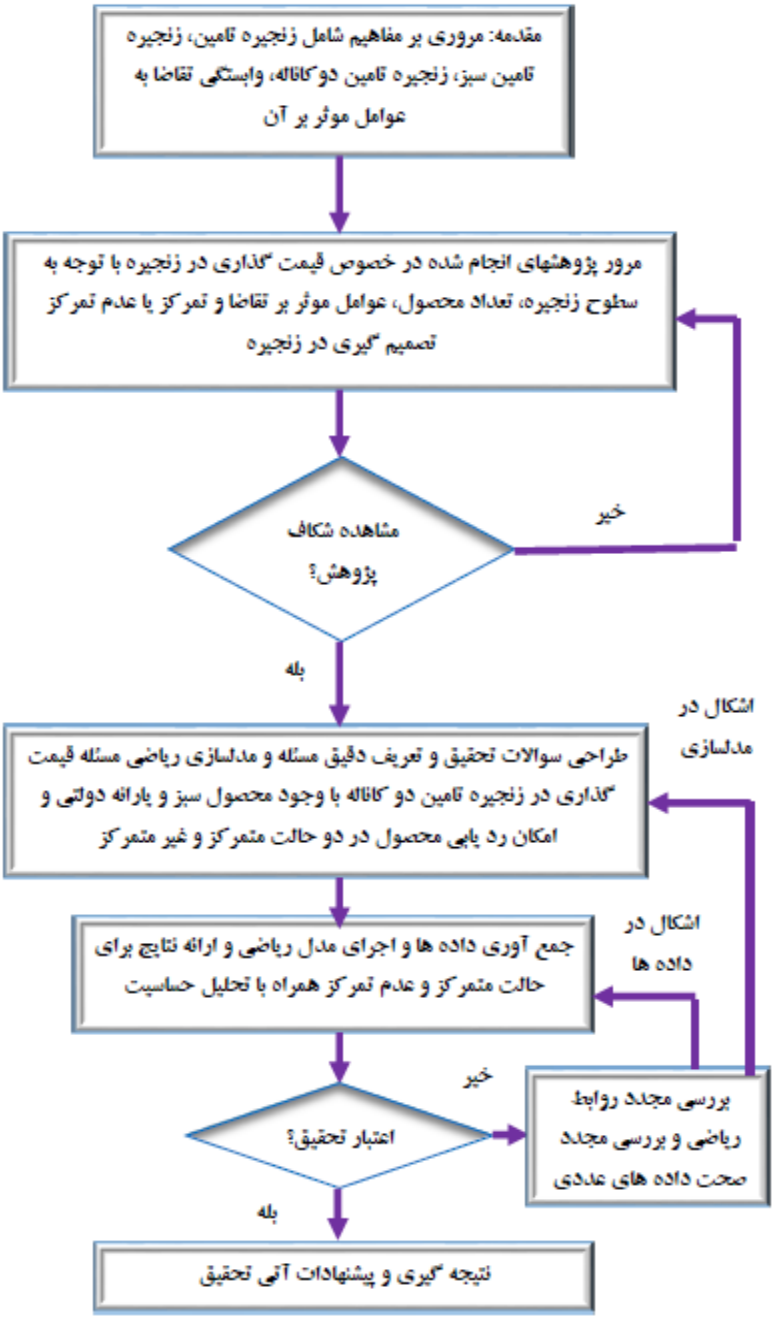
۳- حساسیت مشتریان نسبت به قیمت محصول سبز، چه تأثیری در سودآوری دارد؟

در شکل ۱ ساختار تحقیق و توضیح برخی جزئیات متناسب با تحقیق انجام‌شده داده شده است.

پیشینه پژوهش

Li et al. (۲۰۱۶) یک زنجیره تأمین دو کاناله متشکل از یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش را در نظر گرفتند که تولیدکننده به‌منظور حفاظت از محیط‌زیست و افزایش رقابت در بازار، یک نوع محصول سبز تولید می‌کند. علاوه بر کانال سنتی خرده‌فروشی، تولیدکننده محصولات را از طریق کانال مستقیم خود به فروش می‌رساند. زنجیره تأمین، تحت مدل متمرکز و غیرمتمرکز با استفاده از بازی استکلبرگ موردمطالعه قرار گرفته است.

شکل ۱. ساختار کلی تحقیق و مراحل آن



Zhao et al. (۲۰۱۷) به مطالعه قیمت‌گذاری دو محصول مکمل در یک زنجیره تأمین با دو تولیدکننده و یک خرده‌فروش پرداختند که یکی از دو تولیدکننده از کانال‌های دوگانه شامل کانال آنلاین و کانال خرده‌فروشی سنتی برای فروش محصول خود استفاده می‌کند. مسئله رقابتی و تحت بازی برتراند، استکلبرگ و نش درنظرگرفته شده است. طبق نتایج، با افزایش سطح مکمل بودن محصولات، قیمت بهینه دو محصول، کاهش می‌یابد و با ایجاد یک کانال آنلاین توسط یک تولیدکننده، قیمت خرده‌فروشی محصول افزایش می‌یابد.

Chen et al. (۲۰۱۷) در یک زنجیره تأمین به رهبری خرده‌فروش، بررسی کردند که کانال مستقیم ایجادشده توسط یک تولیدکننده چگونه می‌تواند بر تصمیمات خرده‌فروش و تولیدکننده تأثیر بگذارد و چه تأثیری بر سود آن‌ها خواهد داشت. یافته‌ها نشان می‌دهند که در مقایسه با زنجیره تأمین تک‌کانال خرده‌فروشی، یک زنجیره تأمین دو کاناله می‌تواند سود تولیدکننده و زنجیره تأمین را افزایش دهد. Saha et al. (۲۰۱۸) به بررسی سیاست‌های قیمت‌گذاری بهینه در یک زنجیره تأمین دو کاناله و دو سطحی شامل یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش، تحت تقاضای حساس به قیمت و زمان تحویل پرداختند. تولیدکننده محصولات را به خرده‌فروش عرضه می‌کند و خرده‌فروش با فروش محصولات از طریق کانال آنلاین و خرده‌فروشی، تقاضای مصرف‌کنندگان را برآورده می‌سازد. مسئله در سناریوهای رقابتی و همکاری تحت قیمت‌گذاری پایدار (برابری قیمت دو کانال) و قیمت‌گذاری ناپایدار (عدم برابری قیمت دو کانال) در نظرگرفته شده است. نتایج نشان داد سیاست قیمت‌گذاری ناپایدار، سودآوری بیشتری نسبت به سیاست قیمت‌گذاری پایدار، ایجاد می‌کند. Jamali & Rasti-Barzoki (۲۰۱۸) به قیمت‌گذاری دو محصول جایگزین، شامل یک محصول سبز تولیدشده توسط تولیدکننده اول و یک محصول غیرسبز تولیدشده توسط تولیدکننده دوم تحت دو زنجیره تأمین دو کاناله شامل کانال‌های آنلاین و خرده‌فروشی پرداختند. در سناریوی غیرمتمرکز، رقابت استکلبرگ بین سطح خرده‌فروش و سطح تولیدکننده کل زنجیره‌های تأمین در نظر گرفته می‌شود که تولیدکنندگان، رهبر بازی و خرده‌فروشان، پیرو هستند. در سناریوی متمرکز، تصمیمات هر زنجیره تأمین

به‌صورت یکپارچه اتخاذ می‌شود. طبق نتایج، سناریوی متمرکز سبب دستیابی به سطح بالاتری از سبز بودن محصول، در مقایسه با سناریوی غیرمتمرکز می‌شود. Modak & Kelle (۲۰۱۹) برای دسترسی به طیف وسیعی از مشتریان، کانال سنتی خرده‌فروشی را با یک کانال مستقیم آنلاین، ترکیب کردند و به بررسی تأثیر تقاضای غیرقطعی بر سیاست قیمت‌گذاری و سفارش بهینه در یک زنجیره تأمین دوکاناله و دو سطحی تحت تقاضای وابسته به قیمت و زمان تحویل، در دو مدل متمرکز و غیرمتمرکز، پرداختند. Heydari et al. (۲۰۱۹) یک زنجیره تأمین سبز دو کاناله و سه سطحی شامل یک تولیدکننده، یک توزیع‌کننده و یک خرده‌فروش در نظر گرفتند. تولیدکننده محصول تولیدشده را به توزیع‌کننده می‌فروشد و توزیع‌کننده محصولات را از طریق کانال آنلاین و سنتی به فروش می‌رساند. تقاضا در دو کانال، به قیمت و سطح سبز بودن محصول، بستگی دارد. Yan et al. (۲۰۲۰)، رقابت در تعیین قیمت را در یک زنجیره تأمین دو کاناله متشکل از یک تأمین‌کننده با محدودیت سرمایه و یک خرده‌فروش اینترنتی ارائه‌دهنده خدمات مالی، تحلیل کردند. Zhang et al. (۲۰۲۱) استراتژی قیمت‌گذاری پویا و اقدامات سبز را برای یک زنجیره تأمین دو کاناله و دو مرحله‌ای شامل یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش را تحت مدل متمرکز و غیرمتمرکز درنظر گرفتند. تقاضا قطعی و حساس به قیمت و سطح سبز بودن می‌باشد. Barman et al. (۲۰۲۱) یک زنجیره تأمین دو کاناله شامل یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش را برای فروش یک نوع محصول در نظر گرفتند که تقاضا به قیمت و سطح سبز بودن محصول بستگی دارد. Meng et al. (۲۰۲۱) به قیمت‌گذاری یک زنجیره تأمین سبز دو کاناله و دو سطحی شامل یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش پرداختند که دو نوع محصول سبز و معمولی تولید می‌شوند. محصولات سبز از طریق کانال آنلاین و محصولات معمولی از طریق خرده‌فروش به فروش می‌رسند و دولت جهت تولید محصول سبز یارانه پرداخت می‌کند. تقاضا خطی و وابسته به قیمت و سطح کیفیت سبز محصول سبز می‌باشد. Seifbarghy & Kafshian Ahar (۲۰۲۲) یک زنجیره تأمین دو کاناله شامل یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش را با تقاضای قطعی و وابسته به قیمت و

زمان تحویل در نظر گرفتند که تولیدکننده محصولات خود را از طریق دو کانال سنتی و آنلاین به فروش می‌رساند. محصولات در کانال آنلاین با دو روش حمل رقابتی و دو زمان تحویل متفاوت عرضه می‌شوند. در این مطالعه به حداکثرسازی سود اعضای زنجیره تأمین، در حالت متمرکز و غیرمتمرکز تحت بازی استکلبرگ با رهبری تولیدکننده پرداخته شده است. Chen & Gao (۲۰۲۲) به بررسی یک زنجیره تأمین دو کاناله متشکل از کانال مستقیم آنلاین و کانال خرده‌فروشی تحت سه حالت عدم تبلیغات، تبلیغات توسط خرده‌فروش و تبلیغات توسط تولیدکننده پرداختند. تقاضا قطعی و وابسته به قیمت و سطح تبلیغات می‌باشد. مطابق بازی استکلبرگ، تصمیمات بهینه و سود بهینه تولیدکننده و خرده‌فروش در حالات تبلیغاتی مختلف به‌دست‌آمده و مقایسه می‌شود. Zhong et al. (۲۰۲۳) یک زنجیره تأمین با یک تولیدکننده و دو کانال فروش محصول، شامل خرده‌فروش سنتی و خرده‌فروش آنلاین را تحت یک مدل رقابتی موردبررسی قرار دادند که تولیدکننده فناوری بلاک‌چین را جهت ردیابی اطلاعات محصول توسط مصرف‌کنندگان اتخاذ می‌کند. دولت جهت تشویق تولیدکننده به استفاده از فناوری بلاک‌چین، به ازای تولید هر واحد محصول و تسهیل هزینه‌های مربوط به تحقیق و توسعه فناوری بلاک‌چین، یارانه پرداخت می‌کند.

خلاصه‌ای از پژوهش‌های اخیر در جدول ۱ قابل‌مشاهده می‌باشد.

جدول ۱. خلاصه پژوهش‌های اخیر

تعداد سطوح	تعداد محصول				عوامل مؤثر بر تقاضا	ساختار زنجیره	
نویسندگان	دو	چند	تک	چند	علاوه بر قیمت	متمرکز	غیرمتمرکز
Li et al. (۲۰۱۶)	✓		✓		سطح کیفیت سبز	✓	✓
Zhao et al. (۲۰۱۷)	✓			✓	–		✓
Chen et al. (۲۰۱۷)	✓			✓	–	✓	✓
Saha et al. (۲۰۱۸)	✓			✓	زمان تحویل	✓	✓
Jamali & Rasti-Barzoki (۲۰۱۸)	✓			✓	سطح کیفیت سبز	✓	✓
Modak & Kelle.	✓			✓	زمان تحویل	✓	✓

تعداد سطوح	تعداد محصول				عوامل مؤثر بر تقاضا	ساختار زنجیره	
نویسندگان	دو	چند	تک	چند	علاوه بر قیمت	متمرکز	غیرمتمرکز
(۲۰۱۹)							
(۲۰۱۹) Heydari et al.		✓	✓		سطح کیفیت سبز	✓	✓
(۲۰۲۰) Yan et al.	✓			✓	–		✓
(۲۰۲۱) Zhang et al.	✓		✓		سطح کیفیت سبز	✓	✓
(۲۰۲۱) Barman et al.	✓			✓	سطح کیفیت سبز	✓	✓
Meng et al. (۲۰۲۱)	✓			✓	سطح کیفیت سبز		✓
Seifbarghy & Kafshian Ahar (۲۰۲۲)	✓			✓	زمان تحویل	✓	✓
(۲۰۲۲) Chen & Gao	✓			✓	سطح تبلیغات		✓
(۲۰۲۳) Zhong et al.	✓			✓	سطح ردیابی اطلاعات		✓
تحقیق حاضر	✓			✓	زمان تحویل، سطح کیفیت سبز، سطح تبلیغات، سطح ردیابی اطلاعات	✓	✓

با توجه به جدول ۱، در پژوهش‌های اخیر تنها یک عامل، هم‌زمان با قیمت در تقاضای محصولات تأثیرگذار است. همچنین اکثر تحقیقات گذشته تک‌محصولی می‌باشند. در این پژوهش، یک زنجیره تأمین چند محصولی در نظر گرفته شده است که عوامل زمان تحویل، سطح کیفیت سبز، سطح تبلیغات و سطح ردیابی اطلاعات علاوه بر قیمت در تقاضا مؤثر می‌باشند.

روش پژوهش

در این بخش، ابتدا مسئله تحقیق بیان گردیده و سپس به مدل‌سازی ریاضی و ارائه روش حل پرداخته می‌شود.

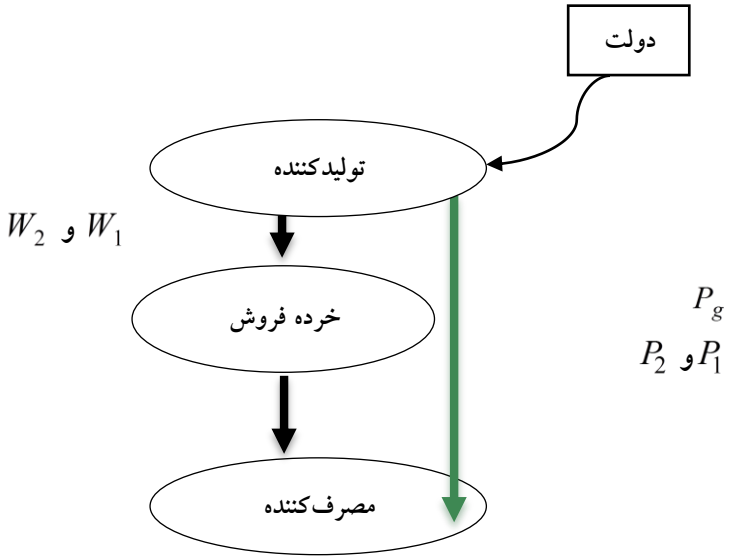
بیان مسئله تحقیق

در این مسئله به تصمیمات قیمت‌گذاری، زمان تحویل، سطح کیفیت سبز، سطح تبلیغات و

سطح ردیابی اطلاعات، در یک زنجیره تأمین دو کاناله و دو سطحی متشکل از یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش با تقاضای قطعی پرداخته می‌شود. زنجیره تأمین، تک – دوره‌ای و چند محصولی می‌باشد به‌طوری‌که یک نوع محصول سبز و دو نوع محصول استاندارد تولید می‌شود. محصول سبز از طریق کانال آنلاین و محصولات استاندارد از طریق کانال سنتی (خرده‌فروشی) به فروش می‌رسند. تقاضای محصول سبز، تابعی خطی از قیمت محصولات، زمان تحویل کانال آنلاین، سطح کیفیت محصول سبز، سطح تبلیغات محصول سبز و سطح ردیابی اطلاعات محصول سبز می‌باشد. تقاضای محصولات استاندارد نیز یک تابع خطی از قیمت محصولات، زمان تحویل کانال آنلاین و سطح تبلیغات محصول سبز می‌باشد. دولت جهت تشویق تولیدکننده به تولید محصول سبز و اجرای فناوری بلاک‌چین، باهدف شفاف‌سازی اطلاعات محصول سبز در کانال آنلاین، یارانه پرداخت می‌کند تا افزایش سود حاصل از تولید، انگیزه‌ای برای تولید محصول سبز باشد.

به‌منظور مدل‌سازی و حل مسئله زنجیره تأمین دو کاناله، پس از تعیین پارامترها و متغیرهای تصمیم، مفروضات تعیین‌شده در مدل‌سازی بیان می‌گردند. سپس به مدل‌سازی توابع تقاضای محصولات و توابع سود اعضای زنجیره تأمین پرداخته می‌شود. جهت تعیین مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم و سود اعضای زنجیره تأمین، دو مدل تصمیم‌گیری متمرکز و غیرمتمرکز موردبررسی قرار می‌گیرد که در مدل متمرکز، اعضای زنجیره تأمین تصمیمات خود را به‌طور یکپارچه اتخاذ می‌کنند و در مدل غیرمتمرکز، اعضای زنجیره تأمین تحت یک بازی استکلبرگ به رهبری تولیدکننده، با یکدیگر به رقابت می‌پردازند.

شکل ۲. ساختار زنجیره تأمین دو کاناله



مدل‌سازی ریاضی و روش حل در حالت تصمیم‌گیری متمرکز و غیرمتمرکز

نمادها، پارامترها، توابع سود و متغیرهای تصمیم مسئله در جدول ۲ مشاهده می‌شود.

جدول ۲. نمادها، پارامترها، توابع سود و متغیرهای تصمیم

	نمادها
$i=\{1,2\}$	محصولات استاندارد ۱ و ۲
s	محصول استاندارد جانشین
g	محصول سبز

جدول ۲. نمادها، پارامترها، توابع سود و متغیرهای تصمیم (ادامه)

r	خرده‌فروش
m	تولیدکننده
sc	زنجیره تأمین
c	مدل متمرکز
d	مدل غیرمتمرکز

co	مدل همکاری
	پارامترها
α	تقاضای بالقوه بازار $(0 < \alpha)$
ρ_i	سطح وفاداری مشتریان به محصول استاندارد i $(0 \le \rho_i)$ و $(0 \le \rho_1 + \rho_2 \le 1)$
β_g	کشش تقاضای محصول سبز نسبت به قیمت محصول سبز
β_i	کشش تقاضای محصول استاندارد iنسبت به قیمت محصول استاندارد i
γ_{is}	کشش متقاطع تقاضای محصول استاندارد i نسبت به قیمت محصول استاندارد جانشین
γ_{ig}	کشش متقاطع تقاضای محصول استاندارد i نسبت به قیمت محصول سبز
γ_{gi}	کشش متقاطع تقاضای محصول سبز نسبت به قیمت محصول استاندارد i
η_g	کشش تقاضای محصول سبز نسبت به زمان تحویل کانال آنلاین
η_i	کشش تقاضای محصول استاندارد i نسبت به زمان تحویل کانال آنلاین
λ	کشش تقاضای محصول سبز نسبت به سطح کیفیت سبز محصول سبز
ζ	کشش تقاضای محصول سبز نسبت به سطح ردیابی اطلاعات محصول سبز
τ_g	کشش تقاضای محصول سبز نسبت به سطح تبلیغات محصول سبز
τ_i	کشش تقاضای محصول استاندارد i نسبت به سطح تبلیغات محصول سبز
k	پارامتر سرمایه‌گذاری در تبلیغات محصول سبز
f	پارامتر سرمایه‌گذاری در سطح کیفیت سبز محصول سبز
	جدول ۲. نمادها، پارامترها، توابع سود و متغیرهای تصمیم (ادامه)
I	پارامتر سرمایه‌گذاری در سطح ردیابی اطلاعات محصول سبز
h_0 و h_1	پارامترهای سرمایه‌گذاری در زمان تحویل کانال آنلاین
ψ	میزان یارانه دولتی به ازای هر واحد محصول سبز
e	میزان یارانه دولتی جهت اجرای فناوری بلاک‌چین
C_g	هزینه تولید هر واحد محصول سبز
C_i	هزینه تولید هر واحد محصول استاندارد i

D_g تقاضای محصول سبز

D_i تقاضای محصول استاندارد i

توابع سود

π_m سود تولیدکننده

π_r سود خرده‌فروش

π_{sc} سود زنجیره تأمین

متغیرهای تصمیم

P_g قیمت هر واحد محصول سبز در کانال آنلاین

P_i قیمت هر واحد محصول استاندارد i در کانال سنتی

W_i قیمت عمده‌فروشی هر واحد محصول استاندارد i

L زمان تحویل محصول سبز در کانال آنلاین

θ سطح کیفیت سبز محصول سبز

ω سطح تبلیغات محصول سبز

b سطح ردیابی اطلاعات محصول سبز

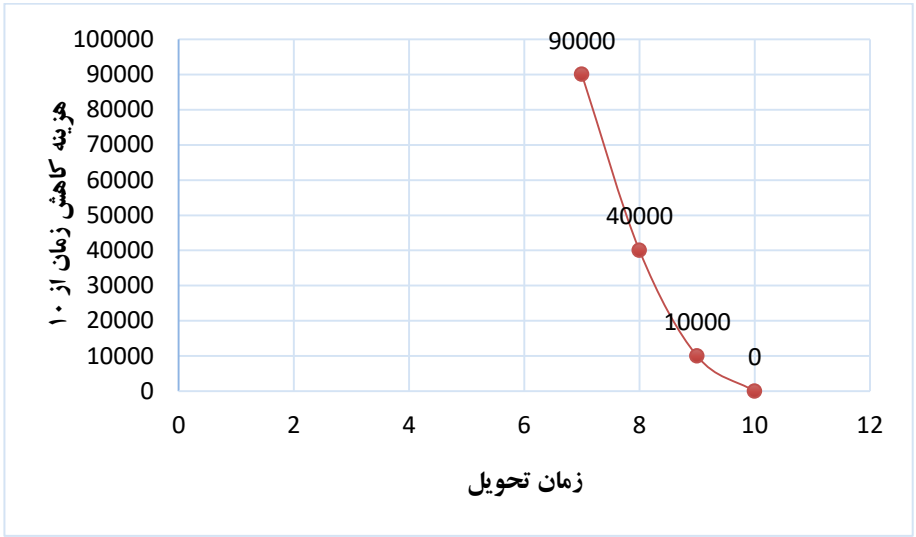
مفروضات مدل

- هر سه محصول جانشین یکدیگر می‌باشند؛ ($0 < \gamma_{is}, \gamma_{ig}, \gamma_{gi}$) (Meng et al., 2021).
- کشش تقاضای هر محصول، نسبت به قیمت خود محصول بیشتر از کشش تقاضا نسبت به قیمت محصول جانشین است (Meng et al.، ۲۰۲۱).
- کشش تقاضای محصول سبز نسبت به زمان تحویل کانال آنلاین، بیشتر از کشش تقاضای محصول استاندارد i نسبت به زمان تحویل کانال آنلاین است؛ ($0 < \eta_i < \eta_g$) (Modak & Kelle, 2019)

- سطح کیفیت سبز فقط در تقاضای محصول سبز تأثیر دارد و با افزایش سطح کیفیت سبز، تقاضای محصول سبز افزایش می‌یابد. درحالی‌که تأثیر آن در تقاضای محصولات استاندارد بسیار ناچیز فرض می‌شود.
- سطح ردیابی اطلاعات محصول سبز فقط در تقاضای محصول سبز تأثیر دارد و با افزایش سطح ردیابی اطلاعات محصول سبز، تقاضای محصول سبز افزایش می‌یابد. درحالی‌که تأثیر آن در تقاضای محصولات استاندارد بسیار ناچیز فرض می‌شود.
- سرمایه‌گذاری در سطح کیفیت سبز محصول سبز، به‌صورت $\frac{1}{2} f\theta^2$ درنظر گرفته می‌شود که به‌منظور تحقیق و توسعه (R&D) محصول سبز می‌باشد. این هزینه رابطه غیرخطی با سطح کیفیت سبز دارد و تابعی درجه دو از سطح کیفیت سبز است (Ranjan & Jha، ۲۰۱۹ و Ghosh & Shah، ۲۰۱۲). در ابتدا رابطه یادشده طبق تحقیق Ghosh & Shah (۲۰۱۲) بدون داشتن ضریب یک دوم ارائه شده است. در این تحقیق اشاره می‌کند که فرض می‌گردد هزینه‌های ارتقاء سطح سبز بودن محصول دارای رابطه درجه ۲ با سطح سبز بودن محصول داشته باشد و توجیه آن این است که معمولاً سرمایه‌گذاری روی این موضوع از منظر هزینه‌های تحقیق و توسعه از یک نقطه‌ای به بعد بسیار سنگین می‌شود؛ به‌عبارت‌دیگر در مراحل اولیه سبز شدن محصول معمولاً ایده‌ای داده می‌شود و پیاده‌سازی آن نسبتاً راحت است لیکن از یک نقطه به بعد هزینه نوآوری و ایجاد ایده‌های جدیدتر برای سبز شدن گران‌تر تمام می‌شود و به همین دلیل این هزینه با درجه سبزی محصول دارای رابطه درجه ۲ در نظر گرفته می‌شود در تحقیق Ranjan & Jha (۲۰۱۹) این مورد برای محصولاتی در نظر گرفته می‌شود که هزینه‌های نوآوری در آن به‌شدت محصولات دارای فناوری بالاتر (های تک) نباشد لذا در یک ضریب یک دوم به‌عنوان تعدیل ضرب می‌شود. بدیهی است که این ضریب صرفاً یک مقدار تقریبی و صرفاً جهت تعدیل است. در تحقیق جاری به دلیل اینکه مطالعه موردی ما روی محصول لامپ می‌باشد، به نظر می‌رسد فرمول دوم که دارای ضریب یک دوم می‌باشد مناسب‌تر خواهد بود.

- سرمایه‌گذاری در تبلیغات محصول سبز نیز به‌صورت $\frac{1}{2}k\omega^2$ در نظر گرفته می‌شود که رابطه غیرخطی با سطح تبلیغات دارد و تابعی درجه دو از سطح تبلیغات است (Chen & Gao, 2022). در این رابطه نیز مانند رابطه مربوط به هزینه‌های ارتقاء محصول سبز، فرض می‌گردد در ابتدای معرفی محصول سبز با هزینه‌های تبلیغات کمتری می‌توان مشتریان را جذب کرد اما از یک نقطه زمانی به بعد، هزینه‌های جلب مشتریان به محصول سبز پرهزینه‌تر خواهد شد که ازنظر کاربردی نیز در دنیای واقعی منطقی به نظر می‌رسد؛ زیرا اصولاً در ابتدای کار کسانی‌که تمایل بیشتری برای خرید محصول سبز داشته‌اند با تبلیغات مختصری جذب شده‌اند اما جذب افراد جدیدتر دارای تأخیر بیشتر و پرهزینه‌تر خواهد بود. ضریب یک دوم در این فرمول نیز به‌عنوان تعدیل هزینه تبلیغات برای محصولاتی که در طیف متوسط قرار دارند و بیشتر مورداستفاده قرار می‌گیرند یا ارزان‌تر هستند در نظر گرفته می‌شود.
- سرمایه‌گذاری در زمان تحویل کانال آنلاین به‌صورت $\left(h_0 - h_1 L\right)^2$ در نظر گرفته می‌شود که تابعی درجه دو از زمان تحویل است؛ $\left(L < \frac{h_0}{h_1}\right)$ (Modak & Kelle، ۲۰۱۹). در این رابطه نیز مانند موارد قبل فرض می‌گردد هزینه‌های کاهش زمان تحویل آنلاین از مقدار اولیه آن در ابتدا کم باشد و بتوان با راهکارهای مدیریتی ساده‌تر این هزینه را کاهش داد اما از یک نقطه زمانی به بعد، این هزینه زیاد خواهد شد که ازنظر کاربردی نیز در دنیای واقعی منطقی به نظر می‌رسد. جهت درک بهتر این موضوع مثالی عددی در این قسمت ارائه می‌شود. فرض کنیم مقادیر $h_o = 1000, h_1 = 100$داده شده باشند. طبق محدودیت موجود برای زمان تحویل $L \leq 10$، نمودار زیر در شکل ۳ نشان‌دهنده ارتباط بین هزینه‌های کاهش زمان تحویل آنلاین با مقدار زمان تحویل می‌باشد.

شکل ۳. رابطه بین زمان تحویل و هزینه مرتبط با آن



طبق شکل ۳، مشخص است که در زمان تحویل ۱۰، هزینه صفر است زیرا هیچ فعالیت خاصی برای کاهش این زمان از منظر مدیریتی صورت نگرفته است. کاهش ۱ واحد زمان تحویل از ۱۰ به ۹، مستلزم ۱۰۰۰۰ واحد هزینه بوده درحالی‌که برای کاهش از ۹ به ۸، به ۴۰۰۰۰ واحد پولی هزینه نیاز است.

- سرمایه‌گذاری جهت تحقیق و توسعه فناوری بلاک‌چین، به‌صورت $\frac{1}{2}Ib^2$ در نظرگرفته می‌شود که رابطه غیرخطی با سطح ردیابی اطلاعات دارد و تابعی درجه دو از سطح ردیابی اطلاعات است (Zhong et al.، ۲۰۲۳). در این رابطه نیز مانند رابطه مربوط به هزینه‌های ارتقاء و تبلیغات محصول سبز، فرض می‌گردد در ابتدای معرفی محصول سبز با هزینه‌های تحقیق و توسعه کمتری می‌توان ردیابی محصول را انجام داد اما از یک نقطه زمانی به بعد، هزینه‌های ردیابی بسیار زیاد خواهد شد که ازنظر کاربردی نیز در دنیای واقعی منطقی به نظر می‌رسد؛ زیرا اصولاً در ابتدای کار می‌توان با فناوری‌های موجود، ردیابی محصولات را انجام داد اما برای ارتقا آن نیازمند سرمایه‌گذاری بیشتر و نوآوری بسیار بالاتری خواهیم بود. ضریب یک دوم در این فرمول نیز به‌عنوان تعدیل هزینه ردیابی

برای محصولاتی که در طیف متوسط قرار دارند و هزینه‌های ردیابی آن‌ها نسبت به محصولات دیگر کمتر است، در نظر گرفته می‌شود.

- قیمت فروش محصول سبز بیشتر از هزینه تولید محصول سبز توسط تولیدکننده است؛ ($C_g < P_g$)
- قیمت عمده‌فروشی محصول استاندارد i بیشتر از هزینه تولید محصول استاندارد i توسط تولیدکننده است؛ ($C_i < W_i$)
- قیمت فروش محصول استاندارد i توسط خرده‌فروش، بیشتر از قیمت عمده‌فروشی تولیدکننده است؛ ($W_i < P_i$)

توابع تقاضا

مطابق با پژوهش‌های Meng et al. (۲۰۲۱)، Modak & Kelle (۲۰۱۹)، Ranjan & Jha (۲۰۱۹) و Zhong et al. (۲۰۲۳) فرض می‌شود توابع تقاضای محصولات نسبت به قیمت، زمان تحویل، سطح کیفیت سبز، سطح تبلیغات و سطح ردیابی اطلاعات خطی هستند.

تابع تقاضای محصول استاندارد ۱ و ۲ به‌صورت تابعی خطی از قیمت خود محصول، قیمت محصولات جانشین، زمان تحویل کانال آنلاین و سطح تبلیغات محصول سبز می‌باشد.

تابع تقاضای محصول سبز به‌صورت تابعی خطی از قیمت محصول سبز، قیمت محصولات جانشین، زمان تحویل کانال آنلاین، سطح کیفیت سبز محصول سبز، سطح تبلیغات محصول سبز و سطح ردیابی اطلاعات محصول سبز می‌باشد. علت آوردن توابع تقاضا در این بخش بهره‌گیری از آن‌ها در تشکیل روابط سود اجزای زنجیره تأمین می‌باشد.

توابع تقاضای محصول استاندارد ۱، محصول استاندارد ۲ و محصول سبز به ترتیب در روابط ۱، ۲ و ۳ عبارت‌اند از:

$$D_1 = \rho_1\alpha - \beta_1 P_1 + \gamma_{1s} P_2 + \gamma_{1g} P_g + \eta_1 L - \tau_1 \omega \quad (۱)$$

$$D_2 = \rho_2\alpha - \beta_2 P_2 + \gamma_{2s} P_1 + \gamma_{2g} P_g + \eta_2 L - \tau_2 \omega \quad (۲)$$

(۳)

$$D_g = (1-\rho_1-\rho_2)\alpha - \beta_g P_g + \gamma_{g1} P_1 + \gamma_{g2} P_2 - \eta_g L + \lambda\theta + \tau_g \omega + \zeta b$$

تقاضای محصولات استاندارد با قیمت محصولات جانشین و زمان تحویل کانال آنلاین، رابطه مستقیم و با قیمت خود محصول و سطح تبلیغات محصول سبز، رابطه معکوس دارد.

تقاضای محصول سبز با قیمت محصولات جانشین، سطح کیفیت سبز محصول سبز، سطح تبلیغات محصول سبز و سطح ردیابی اطلاعات محصول سبز، رابطه مستقیم و با قیمت محصول سبز و زمان تحویل کانال آنلاین، رابطه معکوس دارد.

توابع سود

طبق مدل Meng et al. (۲۰۲۱) و مفروضات بیان‌شده توابع سود تولیدکننده و خرده‌فروش به ترتیب در روابط ۴ و ۵ ارائه می‌گردد. این توابع در بخش‌های بعدی به‌عنوان پایه‌ای برای مقایسه سیستم‌های متمرکز و غیرمتمرکز مورداستفاده قرار خواهند گرفت.

$$\pi_m(P_g, W_1, W_2, L, \theta, \omega, b) = (P_g - C_g + \psi) D_g + (W_1 - C_1) D_1 + (W_2 - C_2) D_2 - (h_0 - h_1 L)^2 - \frac{1}{2} f\theta^2 - \frac{1}{2} k\omega^2 - \frac{1}{2} I b^2 (1-e) \quad (۴)$$

$$\pi_r(P_1, P_2) = (P_1 - W_1) D_1 + (P_2 - W_2) D_2 \quad (۵)$$

- **مدل تصمیم‌گیری غیرمتمرکز**

در مدل غیرمتمرکز، هر یک از اعضای زنجیره تأمین درصدد بیشینه کردن سود خود هستند، بنابراین یک بازی استکلبرگ با رهبری تولیدکننده در نظر گرفته می‌شود. بازی استکلبرگ یک بازی رقابتی و پویا با اطلاعات کامل می‌باشد و به روش برگشت به عقب حل می‌شود. در این بازی، فرض تولیدکننده به‌عنوان رهبر بازی، تصمیم‌گیری منطقی خرده‌فروش است، بنابراین با درنظرگرفتن تصمیمات خرده‌فروش و باهدف حداکثرسازی سود خود، در خصوص قیمت محصول سبز (P_g)، قیمت عمده‌فروشی محصول استاندارد ۱ (W_1)، قیمت عمده‌فروشی محصول استاندارد ۲ (W_2)، زمان تحویل کانال آنلاین (L)، سطح کیفیت سبز محصول سبز (θ)، سطح تبلیغات محصول سبز (ω) و سطح ردیابی

اطلاعات محصول سبز (b) تصمیم‌گیری می‌کند، سپس خرده‌فروش به‌عنوان پیرو بر اساس تصمیمات بهینه تولیدکننده و باهدف حداکثرسازی سود خود، قیمت محصول استاندارد ۱ (P_1) و قیمت محصول استاندارد ۲ (P_2) را تعیین می‌نماید.

جهت حل مدل غیرمتمرکز، از تابع سود خرده‌فروش (رابطه ۵) نسبت به قیمت محصول استاندارد ۱ (P_1) و قیمت محصول استاندارد ۲ (P_2) مشتق گرفته و مساوی با صفر قرار داده می‌شود که در روابط ۶ و ۷ عبارت‌اند از:

$$\frac{\partial \pi_r\left(P_1,P_2\right)}{\partial P_1}=\eta_1 L+\rho_1\alpha-\tau_1\omega+\gamma_{1g}P_g+\gamma_{1s}P_2-\beta_1P_1 \quad (۶)$$
$$-\left(P_1-W_1\right)\beta_1+\left(P_2-W_2\right)\gamma_{2s}=0$$

$$\frac{\partial \pi_r\left(P_1,P_2\right)}{\partial P_2}=\left(P_1-W_1\right)\gamma_{1s}+\eta_2 L+\rho_2\alpha-\tau_2\omega+\gamma_{2g}P_g+\gamma_{2s}P_1 \quad (۷)$$
$$-\beta_2P_2-\left(P_2-W_2\right)\beta_2=0$$

مقادیر بهینه قیمت محصول استاندارد ۱ (P_1) و قیمت محصول استاندارد ۲ (P_2) بر اساس حل دو معادله ۶ و ۷ مطابق روابط ۸ و ۹ حاصل می‌شوند به‌طوری‌که جواب‌های بهینه به‌طور هم‌زمان در هر دو معادله صدق می‌کنند. مقادیر پارامترهای E_1، E_2 و E_5 در پیوست ارائه شده است. برای سایر روابط نیز نمادهایی که جدید است در پیوست ارائه شده‌اند.

$$P_1=\frac{\gamma_{1s}^2W_1+E_1\gamma_{1s}+E_2\beta_2-\gamma_{2s}\left(\eta_2 L+\rho_2\alpha-\tau_2\omega+\gamma_{2g}P_g\right)}{E_5} \quad (۸)$$

$$P_2=\frac{\gamma_{2s}^2W_2+E_3\gamma_{2s}+E_4\beta_1-\gamma_{1s}\left(\eta_1 L+\rho_1\alpha-\tau_1\omega+\gamma_{1g}P_g\right)}{E_5} \quad (۹)$$

جهت بررسی تقعر تابع سود خرده‌فروش نسبت به قیمت محصول استاندارد ۱ و قیمت محصول استاندارد ۲ ماتریس هسین محاسبه می‌شود. درصورتی‌که ماتریس هسین، معین

منفی باشد، تابع سود خرده‌فروش، نسبت به قیمت محصولات استاندارد ۱ و ۲ مقعر است. ماتریس هسین را تحت شرایطی که $|H_1|<0$ و $|H_2|>0$ باشد، معین منفی می‌نامند. ماتریس هسین مطابق رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود و بر اساس آن انتگرال دو ماتریس ارائه‌شده در معادلات ۱۱ و ۱۲ موردبررسی قرار می‌گیرد.

$$H\left[\pi_r\left(P_1,P_2\right)\right]=\begin{bmatrix}\dfrac{\partial^2\pi_r}{\partial P_1^2} & \dfrac{\partial^2\pi_r}{\partial P_1\partial P_2}\\ \dfrac{\partial^2\pi_r}{\partial P_2\partial P_1} & \dfrac{\partial^2\pi_r}{\partial P_2^2}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-2\beta_1 & \gamma_{1s}+\gamma_{2s}\\ \gamma_{1s}+\gamma_{2s} & -2\beta_2\end{bmatrix} \quad (۱۰)$$

$$|H_1|=-2\beta_1 \quad (۱۱)$$

$$|H_2|=-\gamma_{1s}^2-2\gamma_{1s}\gamma_{2s}-\gamma_{2s}^2+4\beta_1\beta_2 \quad (۱۲)$$

با توجه به $\beta_1>0$، شرط $|H_1|<0$ برقرار است.

درصورتی‌که شرط $4\beta_1\beta_2>\gamma_{1s}^2+2\gamma_{1s}\gamma_{2s}+\gamma_{2s}^2$ برقرار باشد، تابع سود خرده‌فروش نسبت به P_1 و P_2 مقعر می‌باشد و مقادیر متغیرهای تصمیم، بهینه هستند؛ بنابراین با استفاده از مقادیر عددی مسئله می‌توان بهینگی متغیرهای تصمیم را تضمین نمود.

مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم خرده‌فروش (P_1,P_2) در تابع سود تولیدکننده جایگذاری شده و رابطه ۱۳ حاصل می‌شود که ارائه‌دهنده سود تولیدکننده می‌باشد.

$$\pi_m\left(P_g, W_1, W_2, L, \theta, \omega, b\right) = \left(P_g - C_g + \psi\right)$$
$$\left(\left(1-\rho_1-\rho_2\right)\alpha - \beta_g P_g + \frac{\gamma_{g1}E_6}{E_5} + \frac{\gamma_{g2}E_7}{E_5} - \eta_g L + \lambda\theta + \tau_g\omega + \zeta b\right)$$
$$+\left(W_1 - C_1\right)\left(\eta_1 L + \rho_1\alpha - \tau_1\omega + \gamma_{1g}P_g + \frac{\gamma_{1s}E_7}{E_5} - \frac{\beta_1 E_6}{E_5}\right)$$
$$+\left(W_2 - C_2\right)\left(\eta_2 L + \rho_2\alpha - \tau_2\omega + \gamma_{2g}P_g + \frac{\gamma_{2s}E_6}{E_5} - \frac{\beta_2 E_7}{E_5}\right)$$
$$-\left(-h_1 L + h_0\right)^2 - \frac{f\theta^2}{2} - \frac{k\omega^2}{2} - \frac{\mathrm{I}b^2\left(1-e\right)}{2}$$
(۱۳)

سپس جهت به دست‌آوردن مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم تولیدکننده از تابع سود تولیدکننده (رابطه ۱۳) نسبت به قیمت محصول سبز (P_g)، قیمت عمده‌فروشی محصول استاندارد ۱ (W_1)، قیمت عمده‌فروشی محصول استاندارد ۲ (W_2)، زمان تحویل کانال آنلاین (L)، سطح کیفیت سبز محصول سبز (θ)، سطح تبلیغات محصول سبز (ω) و سطح ردیابی اطلاعات محصول سبز (b) مشتق گرفته و مساوی با صفر قرار داده می‌شود که به ترتیب در روابط ۱۴ الی ۲۰ معادلات مربوط به مشتقات گرفته‌شده ارائه شده‌اند.

$$\frac{\partial \pi_m\left(P_g,W_1,W_2,L,\theta,\omega,b\right)}{\partial P_g}=\left(1-\rho_1-\rho_2\right)\alpha-\beta_g P_g$$
$$+\frac{\gamma_{g1}E_6}{E_5}+\frac{\gamma_{g2}E_7}{E_5}-\eta_g L+\lambda\theta+\tau_g\omega+\zeta b$$
$$+\left(P_g-C_g+\psi\right)\left(-\beta_g+\frac{\gamma_{g1}E_8}{E_5}+\frac{\gamma_{g2}E_9}{E_5}\right) \quad (۱۴)$$
$$+\left(W_1-C_1\right)\left(\gamma_{1g}+\frac{\gamma_{1s}E_9}{E_5}-\frac{\beta_1E_8}{E_5}\right)$$
$$+\left(W_2-C_2\right)\left(\gamma_{2g}+\frac{\gamma_{2s}E_8}{E_5}-\frac{\beta_2E_9}{E_5}\right)=0$$

$$\frac{\partial \pi_m\left(P_g,W_1,W_2,L,\theta,\omega,b\right)}{\partial W_1}=\eta_1 L+\rho_1\alpha-\tau_1\omega+\gamma_{1g}P_g+\frac{\gamma_{1s}E_7}{E_5}$$
$$-\frac{\beta_1E_6}{E_5}+\left(P_g-C_g+\psi\right)\left(\frac{\gamma_{g1}E_{10}}{E_5}+\frac{\gamma_{g2}\left(\gamma_{1s}\beta_1-\gamma_{2s}\beta_1\right)}{E_5}\right)$$
(۱۵)
$$+\left(W_1-C_1\right)\left(\frac{\gamma_{1s}\left(\gamma_{1s}\beta_1-\gamma_{2s}\beta_1\right)}{E_5}-\frac{\beta_1E_{10}}{E_5}\right)$$
$$+\left(W_2-C_2\right)\left(\frac{\gamma_{2s}E_{10}}{E_5}-\frac{\beta_2\left(\gamma_{1s}\beta_1-\gamma_{2s}\beta_1\right)}{E_5}\right)=0$$

$$\frac{\partial \pi_m\left(P_g,W_1,W_2,L,\theta,\omega,b\right)}{\partial W_2}=\eta_2 L+\rho_2\alpha-\tau_2\omega$$
$$+\gamma_{2g}P_g+\frac{\gamma_{2s}E_6}{E_5}-\frac{\beta_2E_7}{E_5}$$
$$+\left(P_g-C_g+\psi\right)\left(\frac{\gamma_{g1}\left(-\gamma_{1s}\beta_2+\gamma_{2s}\beta_2\right)}{E_5}+\frac{\gamma_{g2}F_1}{E_5}\right) \quad (۱۶)$$
$$+\left(W_1-C_1\right)\left(\frac{\gamma_{1s}F_1}{E_5}-\frac{\beta_1\left(-\gamma_{1s}\beta_2+\gamma_{2s}\beta_2\right)}{E_5}\right)$$
$$+\left(W_2-C_2\right)\left(\frac{\gamma_{2s}\left(-\gamma_{1s}\beta_2+\gamma_{2s}\beta_2\right)}{E_5}-\frac{\beta_2F_1}{E_5}\right)=0$$

$$\frac{\partial \pi_m\left(P_g,W_1,W_2,L,\theta,\omega,b\right)}{\partial L}=\left(P_g-C_g+\psi\right)$$
$$\left(\frac{\gamma_{g1}F_2}{E_5}+\frac{\gamma_{g2}F_3}{E_5}-\eta_g\right)+\left(W_1-C_1\right)\left(\eta_1+\frac{\gamma_{1s}F_3}{E_5}-\frac{\beta_1F_2}{E_5}\right) \quad (۱۷)$$
$$+\left(W_2-C_2\right)\left(\eta_2+\frac{\gamma_{2s}F_2}{E_5}-\frac{\beta_2F_3}{E_5}\right)+2\left(-Lh_1+h_0\right)h_1=0$$

$$\frac{\partial \pi_m\left(P_g,W_1,W_2,L,\theta,\omega,b\right)}{\partial \theta}=\left(P_g-C_g+\psi\right)\lambda-f\theta=0 \quad (۱۸)$$

$$\frac{\partial \pi_m\left(P_g,W_1,W_2,L,\theta,\omega,b\right)}{\partial \omega}=\left(P_g-C_g+\psi\right)$$
$$\left(\frac{\gamma_{g1}F_4}{E_5}+\frac{\gamma_{g2}F_5}{E_5}+\tau_g\right)+\left(W_1-C_1\right)\left(-\tau_1+\frac{\gamma_{1s}F_5}{E_5}-\frac{\beta_1F_4}{E_5}\right) \quad (۱۹)$$
$$+\left(W_2-C_2\right)\left(-\tau_2+\frac{\gamma_{2s}F_4}{E_5}-\frac{\beta_2F_5}{E_5}\right)-k\omega=0$$

$$\frac{\partial \pi_m\left(P_g, W_1, W_2, L, \theta, \omega, b\right)}{\partial b} = \left(P_g - C_g + \psi\right)\zeta - Ib\left(1-e\right) = 0 \quad (۲۰)$$

مقادیر بهینه قیمت محصول سبز (P_g)، قیمت عمده‌فروشی محصول استاندارد ۱ (W_1)، قیمت عمده‌فروشی محصول استاندارد ۲ (W_2)، زمان تحویل کانال آنلاین (L)، سطح کیفیت سبز محصول سبز (θ)، سطح تبلیغات محصول سبز (ω) و سطح ردیابی اطلاعات محصول سبز (b) از حل معادلات ۱۴ الی ۲۰ حاصل می‌شوند، به‌طوری‌که جواب‌های بهینه به‌طور هم‌زمان در هر هفت معادله صدق می‌کنند.

به علت حجم زیاد مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم تولیدکننده، از نوشتن مقادیر پارامتریک متغیرهای تصمیم، صرف‌نظر شده و خروجی نرم‌افزار، به پیوست[1] می‌باشد.

جهت بررسی تقعر تابع سود تولیدکننده نسبت به قیمت محصول سبز، قیمت عمده‌فروشی محصول استاندارد ۱، قیمت عمده‌فروشی محصول استاندارد ۲، زمان تحویل کانال آنلاین، سطح کیفیت سبز محصول سبز، سطح تبلیغات محصول سبز و سطح ردیابی اطلاعات محصول سبز، ماتریس هسین محاسبه می‌شود. درصورتی‌که ماتریس هسین معین منفی باشد، تابع سود تولیدکننده نسبت به متغیرهای تصمیم، مقعر است. ماتریس هسین و دترمینان‌های مربوطه به پیوست می‌باشد.

با جایگذاری مقادیر بهینه‌ی متغیرهای تصمیم تولیدکننده در تصمیمات خرده‌فروش (قیمت محصول استاندارد ۱ و ۲)، تصمیمات بهینه خرده‌فروش حاصل می‌شود.

به علت حجم زیاد مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم خرده‌فروش، از نوشتن مقادیر پارامتریک متغیرهای تصمیم، صرف‌نظر شده و خروجی نرم‌افزار Maple، به پیوست می‌باشد.

درنهایت، مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم تولیدکننده و خرده‌فروش، در توابع سود تولیدکننده و خرده‌فروش جایگذاری شده و سود بهینه اعضای زنجیره تأمین، حاصل می‌شود. همچنین سود کل زنجیره تأمین از حاصل جمع توابع سود تولیدکننده و

1 https://drive.google.com/drive/folders/1urwM23HcddF5S_4j15GNf1tOStL0FMr-?usp=drive_link

خرده‌فروش به دست خواهد آمد.

- **مدل تصمیم‌گیری متمرکز**

در مدل تصمیم‌گیری متمرکز، به حداکثرسازی سود کل زنجیره تأمین در شرایط هماهنگی اعضای زنجیره تأمین پرداخته می‌شود، به‌طوری‌که تولیدکننده و خرده‌فروش تصمیمات خود را به‌طور یکپارچه اتخاذ می‌کنند و تولیدکننده تمامی تصمیمات زنجیره تأمین را کنترل می‌کند.

تابع سود زنجیره تأمین به‌صورت مجموع درآمد حاصل از فروش محصولات استاندارد و سبز توسط تولیدکننده و خرده‌فروش منهای هزینه‌های سرمایه‌گذاری روی کاهش زمان تحویل آنلاین، هزینه سرمایه‌گذاری روی افزایش کیفیت و تبلیغات محصول سبز و هزینه تحقیق و توسعه فناوری بلاک‌چین برای ردیابی محصول می‌باشد که مطابق رابطه ۲۱ ارائه می‌گردد:

$$\pi_{sc}(P_g, L, \theta, \omega, b, P_1, P_2) = (P_g - C_g + \psi)D_g + (P_1 - C_1)D_1 + (P_2 - C_2)D_2 - (h_0 - h_1 L)^2 - \frac{1}{2} f\theta^2 - \frac{1}{2} k\omega^2 - \frac{1}{2} Ib^2 (1-e) \quad (۲۱)$$

در مدل تصمیم‌گیری متمرکز، جهت به دست آوردن مقادیر بهینه‌ی متغیرهای تصمیم تولیدکننده و خرده‌فروش، از تابع سود زنجیره تأمین نسبت به قیمت محصول سبز (P_g)، زمان تحویل کانال آنلاین (L)، سطح کیفیت سبز محصول سبز (θ)، سطح تبلیغات محصول سبز (ω)، سطح ردیابی اطلاعات محصول سبز (b)، قیمت محصول استاندارد ۱ (P_1) و قیمت محصول استاندارد ۲ (P_2) مشتق گرفته و مساوی با صفر قرار داده می‌شود که به ترتیب در روابط ۲۲ الی ۲۸ معادلات مربوط به مشتقات جزئی ذکرشده برای یافتن جواب بهینه مدل ارائه می‌شوند.

$$\frac{\partial \pi_{sc}(P_g, L, \theta, \omega, b, P_1, P_2)}{\partial P_g} = (1-\rho_1-\rho_2)\alpha - \beta_g P_g + \gamma_{g1} P_1$$
$$+\gamma_{g2} P_2 - \eta_g L + \lambda\theta + \tau_g \omega + \zeta b - (P_g - C_g + \psi)\beta_g \quad (۲۲)$$
$$+(P_1 - C_1)\gamma_{1g} + (P_2 - C_2)\gamma_{2g} = 0$$

$$\frac{\partial \pi_{sc}(P_g, L, \theta, \omega, b, P_1, P_2)}{\partial L} = -(P_g - C_g + \psi)\eta_g + (P_1 - C_1)\eta_1 \quad (۲۳)$$
$$+(P_2 - C_2)\eta_2 + 2(-Lh_1 + h_0)h_1 = 0$$

$$\frac{\partial \pi_{sc}(P_g, L, \theta, \omega, b, P_1, P_2)}{\partial \theta} = (P_g - C_g + \psi)\lambda - f\theta = 0 \quad (۲۴)$$

$$\frac{\partial \pi_{sc}(P_g, L, \theta, \omega, b, P_1, P_2)}{\partial \omega} = (P_g - C_g + \psi)\tau_g - (P_1 - C_1)\tau_1 \quad (۲۵)$$
$$-(P_2 - C_2)\tau_2 - k\omega = 0$$

$$\frac{\partial \pi_{sc}(P_g, L, \theta, \omega, b, P_1, P_2)}{\partial b} = (P_g - C_g + \psi)\zeta - \mathrm{I}b(1-e) = 0 \quad (۲۶)$$

$$\frac{\partial \pi_{sc}(P_g, L, \theta, \omega, b, P_1, P_2)}{\partial P_1} = (P_g - C_g + \psi)\gamma_{g1} + L\eta_1 + \alpha\rho_1 \quad (۲۷)$$
$$-\omega\tau_1 + \gamma_{1g} P_g + \gamma_{1s} P_2 - P_1\beta_1 - (P_1 - C_1)\beta_1 + (P_2 - C_2)\gamma_{2s} = 0$$

$$\frac{\partial \pi_{sc}(P_g, L, \theta, \omega, b, P_1, P_2)}{\partial P_2} = (P_g - C_g + \psi)\gamma_{g2} + (P_1 - C_1)\gamma_{1s} \quad (۲۸)$$
$$+L\eta_2 + \alpha\rho_2 - \omega\tau_2 + \gamma_{2g} P_g + \gamma_{2s} P_1 - P_2\beta_2 - (P_2 - C_2)\beta_2 = 0$$

مقادیر بهینه قیمت محصول سبز، زمان تحویل کانال آنلاین، سطح کیفیت سبز محصول سبز، سطح تبلیغات محصول سبز، سطح ردیابی اطلاعات محصول سبز، قیمت محصول استاندارد ۱ و قیمت محصول استاندارد ۲ از حل معادلات ۲۲ الی ۲۸ حاصل می‌شوند

به‌طوری‌که جواب‌های بهینه به‌طور هم‌زمان در هر هفت معادله صدق می‌کنند.

به علت حجم زیاد مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم اعضای زنجیره تأمین، از نوشتن مقادیر پارامتریک متغیرهای تصمیم، صرف‌نظر شده و خروجی نرم‌افزار میپل، به پیوست می‌باشد.

جهت بررسی تقعر تابع سود زنجیره تأمین نسبت به قیمت محصول سبز (P_g)، زمان تحویل کانال آنلاین (L)، سطح کیفیت سبز محصول سبز (θ)، سطح تبلیغات محصول سبز (ω)، سطح ردیابی اطلاعات محصول سبز (b)، قیمت محصول استاندارد ۱ (P_1) و قیمت محصول استاندارد ۲ (P_2) ماتریس هسین محاسبه می‌شود. درصورتی‌که ماتریس هسین معین منفی باشد، تابع سود زنجیره تأمین نسبت به متغیرهای تصمیم، مقعر است. ماتریس هسین و دترمینان‌های مربوطه به پیوست می‌باشد.

درنهایت، مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم تولیدکننده و خرده‌فروش در تابع سود زنجیره تأمین، جایگذاری شده و سود بهینه زنجیره تأمین، حاصل می‌شود.

تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

در این بخش به‌منظور حل عددی مسئله یک مثال عددی در نظر گرفته شده است. مقادیر کشش تقاضای سه نوع محصول لامپ بر اساس فرمول کشش محاسبه شده است و مقادیر سایر پارامترها نیز بر اساس مفروضات مسئله و تحقیقات میدانی تعیین شده‌اند که در جدول ۳ قابل‌مشاهده می‌باشد.

جدول ۳. مقادیر پارامترهای مسئله

پارامترها	α	ρ_1	ρ_2	β_g	β_1	β_2	γ_{1s}	γ_{2s}
مقادیر	۷۵۰۰۰۰	۰/۲	۰/۱	۷/۲۸	۳/۹	۴/۳	۰/۱۹	۰/۴۳
پارامترها	γ_{1g}	γ_{2g}	γ_{g1}	γ_{g2}	η_g	η_1	η_2	λ
مقادیر	۰/۳۹	۱/۷۲	۰/۷۲	۱/۴۵	۳/۳۶	۰/۶	۱/۱۴	۳/۲۲
پارامترها	ζ	ψ	τ_g	τ_1	τ_2	k	f	I
مقادیر	۶/۶	۱۰۰۰	۶/۵	۰/۰۵	۱/۲۲	۵۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰
پارامترها	h_0	h_1	e	C_g	C_1	C_2		
مقادیر	۱۵۰۰۰	۶۰۰۰	۰/۷۵	۵۳۰۰۰	۶۵۰۰	۲۲۰۰۰		

نتایج حاصل از حل مدل با استفاده از نرم‌افزار Maple در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ٤. نتایج حاصل از حل مثال عددی

	نماد	مدل غیرمتمرکز	مدل متمرکز
متغیرهای تصمیم	P_g^*	۷۰۱۳۷/۹۸	۶۹۹۶۸/۷۱
	P_1^*	۳۸۷۲۹/۲۵	۲۹۵۰۳/۵۷
	P_2^*	۴۴۵۴۰/۹۶	۳۸۷۲۷/۷۴
	W_1^*	۲۹۲۳۴/۱۶	-
	W_2^*	۳۹۲۹۲/۳۱	-
	L^*	۲/۵	۲/۵
	θ^*	۵/۸۴	۵/۷۹
	ω^*	۲/۰۶	۱/۹
	b^*	۳/۱۹	۳/۱۶
توابع تقاضا	D_g	۱۰۶۹۰۹/۸۵	۹۳۰۶۹/۰۹
	D_1	۳۴۷۷۳/۹۳	۶۹۵۸۳/۵۴
	D_2	۲۰۷۶۵/۱۱	۴۱۵۰۳/۹۷

جدول ۵. نتایج حاصل از حل مثال عددی (ادامه)

	نماد	مدل غیرمتمرکز	مدل متمرکز
توابع سود	π_m^*	۳۰۸۸۲۹۳۲۸۹	-
	π_r^*	۴۳۹۱۷۰۳۷۳	-
	π_{sc}^*	۳۵۲۷۴۶۳۶۶۲	۳۹۶۶۸۲۳۰۰۳

به منظور تحلیل حساسیت مسئله و بررسی اثر برخی پارامترها در متغیرهای تصمیم، توابع تقاضا و توابع سود در مدل تصمیم‌گیری غیرمتمرکز به حل مسائل نمونه‌ای پرداخته شده است.

جدول ٦. حل مسائل نمونه‌ای

پارامترها	مقادیر	P_g^*	P_1^*	P_2^*	W_1^*	W_2^*	L^*	θ^*	ω^*	b^*
β_g	۵/۸۳	۸۲۵۹۷/۲۸	۴۰۵۵۲/۴۳	۴۹۴۸۱/۰۹	۳۱۳۷۰/۶۱	۴۴۰۲۰/۸	۲/۵	۹/۸۵	۳/۵۷	۵/۳۹
	۶/۵۶	۷۵۵۵۴/۸۶	۳۹۵۲۱/۹	۴۶۶۸۸/۷۶	۳۰۱۶۳/۰۱	۴۱۳۴۸/۱	۲/۵	۷/۵۸	۲/۷۲	۴/۱۵
	۷/۲۸	۷۰۱۳۷/۹۸	۳۸۷۲۹/۲۵	۴۴۵۴۰/۹۶	۲۹۲۳۴/۱۶	۳۹۲۹۲/۳۱	۲/۵	۵/۸۴	۲/۰۶	۳/۱۹
	۸	۶۵۷۸۸/۶۵	۳۸۰۹۲/۸	۴۲۸۱۶/۴۴	۲۸۴۸۸/۳۶	۳۷۶۴۱/۶۸	۲/۵	۴/۴۴	۱/۵۴	۲/۴۳
	۸/۷۳	۶۲۱۷۴/۵۳	۳۷۵۶۳/۹۴	۴۱۳۸۳/۴۴	۲۷۸۶۸/۶۲	۳۶۲۷۰/۰۶	۲/۵	۳/۲۸	۱/۱	۱/۷۹
ζ	۵/۲۸	۷۰۱۳۷/۴	۳۸۷۲۹/۱۶	۴۴۵۴۰/۷۳	۲۹۲۳۴/۰۶	۳۹۲۹۲/۰۹	۲/۵	۵/۸۴	۲/۰۶	۲/۵۵
	۵/۹۴	۷۰۱۳۷/۶۷	۳۸۷۲۹/۲	۴۴۵۴۰/۸۴	۲۹۲۳۴/۱	۳۹۲۹۲/۲	۲/۵	۵/۸۴	۲/۰۶	۲/۸۷
	۶/۶	۷۰۱۳۷/۹۸	۳۸۷۲۹/۲۵	۴۴۵۴۰/۹۶	۲۹۲۳۴/۱۶	۳۹۲۹۲/۳۱	۲/۵	۵/۸۴	۲/۰۶	۳/۱۹
	۷/۲۶	۷۰۱۳۸/۳۱	۳۸۷۲۹/۲۹	۴۴۵۴۱/۰۹	۲۹۲۳۴/۲۱	۳۹۲۹۲/۴۴	۲/۵	۵/۸۴	۲/۰۶	۳/۵۱
	۷/۹۲	۷۰۱۳۸/۶۸	۳۸۷۲۹/۳۵	۴۴۵۴۱/۲۴	۲۹۲۳۴/۲۸	۳۹۲۹۲/۵۸	۲/۵	۵/۸۴	۲/۰۶	۳/۸۳
ψ	۸۰۰	۷۰۲۳۸/۱۳	۳۸۷۳۳/۲۷	۴۴۵۶۳/۰۵	۲۹۲۲۹/۰۴	۳۹۲۹۵/۶۲	۲/۵	۵/۸۱	۲/۰۵	۳/۱۷
	۹۰۰	۷۰۱۸۸/۰۵	۳۸۷۳۱/۲۶	۴۴۵۵۲	۲۹۲۳۱/۶	۳۹۲۹۳/۹۶	۲/۵	۵/۸۲	۲/۰۶	۳/۱۸
	۱۰۰۰	۷۰۱۳۷/۹۸	۳۸۷۲۹/۲۵	۴۴۵۴۰/۹۶	۲۹۲۳۴/۱۶	۳۹۲۹۲/۳۱	۲/۵	۵/۸۴	۲/۰۶	۳/۱۹
	۱۱۰۰	۷۰۰۸۷/۹	۳۸۷۲۷/۲۳	۴۴۵۲۹/۹۱	۲۹۲۳۶/۷۱	۳۹۲۹۰/۶۶	۲/۵	۵/۸۶	۲/۰۷	۳/۲
	۱۲۰۰	۷۰۰۳۷/۸۳	۳۸۷۲۵/۲۲	۴۴۵۱۸/۸۷	۲۹۲۳۹/۲۷	۳۹۲۸۹	۲/۵	۵/۸۷	۲/۰۸	۳/۲۱

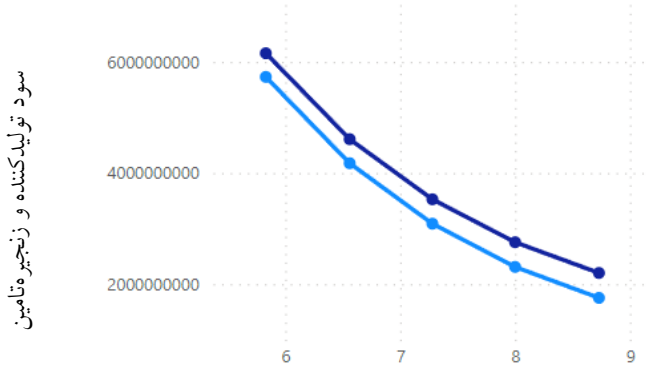
جدول ۷. حل مسائل نمونه‌ای (ادامه)

پارامترها	مقادیر	D_g	D_1	D_2	π_m^*	π_r^*	π_{sc}^*
β_g	۵/۸۳	۱۴۴۴۸۵/۲۳	۳۳۴۶۱/۱۸	۲۱۷۳۴/۶۸	۵۷۳۰۳۲۳۳۹۷	۴۲۵۹۱۲۱۲۰	۶۱۵۶۲۳۵۵۱۷
	۶/۵۶	۱۲۵۵۷۵/۶۷	۳۴۲۰۳/۱۹	۲۱۱۸۶/۶۵	۴۱۷۶۳۹۴۱۱۰	۴۳۳۲۵۴۶۵۳/۳	۴۶۰۹۶۴۸۷۶۳
	۷/۲۸	۱۰۶۹۰۹/۸۵	۳۴۷۷۳/۹۳	۲۰۷۶۵/۱۱	۳۰۸۸۲۹۳۲۸۹	۴۳۹۱۷۰۳۷۲/۶	۳۵۲۷۴۶۳۶۶۲
	۸	۸۸۲۳۳/۳۴	۳۵۲۳۲/۱۹	۲۰۴۲۶/۶۵	۲۳۱۰۵۵۵۹۸۸	۴۴۴۰۸۸۹۰۷/۲	۲۷۵۴۶۴۴۸۹۵

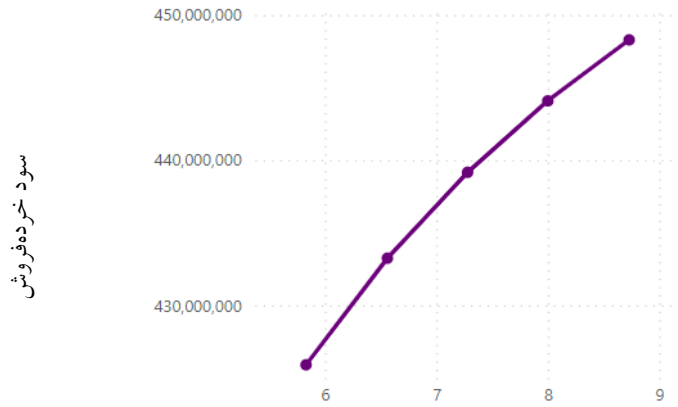
پارامترها	مقادیر	D_g	D_1	D_2	π_m^*	π_r^*	π_{sc}^*
	۸/۷۳	۶۹۲۸۹/۴۹	۳۵۶۱۲/۹۹	۲۰۱۴۵/۴۱	۱۷۵۳۳۲۰۸۲۵	۴۴۸۲۹۰۳۰۵/۲	۲۲۰۱۶۱۱۱۳۰
ζ	۵/۲۸	۱۰۶۹۰۶/۰۶	۳۴۷۷۳/۹۹	۲۰۷۶۵/۰۷	۳۰۸۸۲۲۴۴۹۹	۴۳۹۱۷۱۰۰۸/۱	۳۵۲۷۳۹۵۵۰۷
	۵/۹۴	۱۰۶۹۰۷/۸۵	۳۴۷۷۳/۹۷	۲۰۷۶۵/۰۹	۳۰۸۸۲۵۶۹۹۶	۴۳۹۱۷۰۷۱۳/۳	۳۵۲۷۴۲۷۷۰۹
	۶/۶	۱۰۶۹۰۹/۸۵	۳۴۷۷۳/۹۳	۲۰۷۶۵/۱۱	۳۰۸۸۲۹۳۲۸۹	۴۳۹۱۷۰۳۷۲/۶	۳۵۲۷۴۶۳۶۶۲
	۷/۲۶	۱۰۶۹۱۲/۰۵	۳۴۷۷۳/۹	۲۰۷۶۵/۱۴	۳۰۸۸۳۳۳۴۲۰	۴۳۹۱۶۹۹۹۹/۵	۳۵۲۷۵۰۳۴۲۰
	۷/۹۲	۱۰۶۹۱۴/۴۷	۳۴۷۷۳/۸۶	۲۰۷۶۵/۱۷	۳۰۸۸۳۷۷۳۶۲	۴۳۹۱۶۹۵۸۶/۳	۳۵۲۷۵۴۶۹۴۸
ψ	۸۰۰	۱۰۶۲۱۵/۳۶	۳۴۸۰۱/۵	۲۰۸۴۴/۱۴	۳۰۶۶۹۸۰۷۷۲	۴۴۰۵۵۶۳۷۸/۹	۳۵۰۷۵۳۷۱۵۱
	۹۰۰	۱۰۶۵۶۲/۶۱	۳۴۷۸۷/۷۱	۲۰۸۰۴/۶۳	۳۰۷۷۶۱۹۶۵۹	۴۳۹۸۶۲۹۳۹/۲	۳۵۱۷۴۸۲۵۹۸
	۱۰۰۰	۱۰۶۹۰۹/۸۵	۳۴۷۷۳/۹۳	۲۰۷۶۵/۱۱	۳۰۸۸۲۹۳۲۸۹	۴۳۹۱۷۰۳۷۲/۶	۳۵۲۷۴۶۳۶۶۲
	۱۱۰۰	۱۰۷۲۵۷/۰۹	۳۴۷۶۰/۱۵	۲۰۷۲۵/۶	۳۰۹۹۰۰۱۶۴۱	۴۳۸۴۷۸۶۷۲/۴	۳۵۳۷۴۸۰۳۱۳
	۱۲۰۰	۱۰۷۶۰۴/۳۳	۳۴۷۴۶/۳۷	۲۰۶۸۶/۰۹	۳۱۰۹۷۴۴۷۰۶	۴۳۷۷۸۷۸۳۸/۳	۳۵۴۷۵۳۲۵۴۴

- **حساسیت سود تولیدکننده، خرده‌فروش و زنجیره تأمین نسبت به پارامتر β_g**

شکل ٤. حساسیت سود تولیدکننده و زنجیره تأمین نسبت به پارامتر β_g



شکل ۵. حساسیت سود خرده‌فروش نسبت به پارامتر β_g

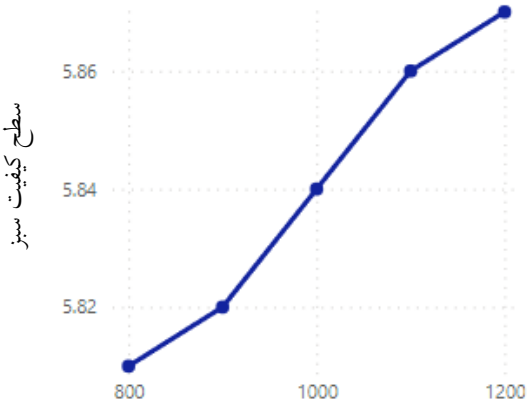


کشش تقاضای محصول سبز نسبت به قیمت محصول سبز (β_g)

مطابق با شکل ۴ و ۵ رصورت افزایش حساسیت مشتریان نسبت به قیمت محصول سبز، با کاهش میزان تقاضای محصول سبز، سود تولیدکننده و سود کل زنجیره تأمین کاهش می‌یابد، در حالی که سود خرده‌فروش روند صعودی خواهد داشت.

- **حساسیت سطح کیفیت سبز نسبت به یارانه دولتی محصول سبز (ψ)**

شکل ۶. حساسیت سطح کیفیت سبز نسبت به پارامتر ψ

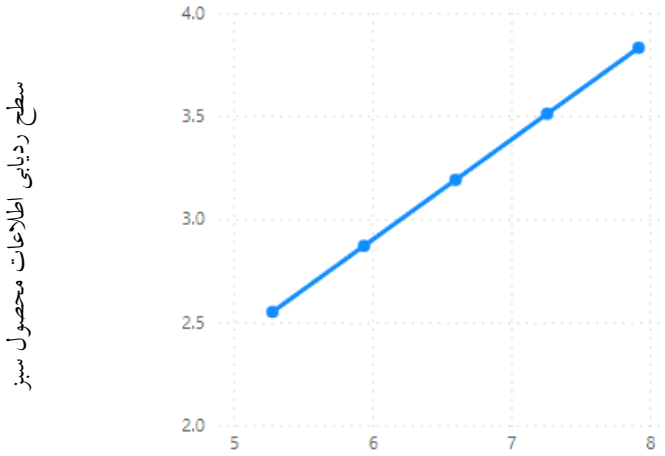


یارانه دولتی به ازای تولید هر واحد محصول سبز (ψ)

طبق شکل ۶، در صورت افزایش یارانه دولتی به ازای تولید هر واحد محصول سبز، مقدار بهینه‌ی سطح کیفیت سبز محصول سبز نیز افزایش می‌یابد.

- **حساسیت سطح ردیابی اطلاعات محصول سبز نسبت به پارامتر ζ**

شکل ۷. حساسیت سطح ردیابی اطلاعات محصول سبز نسبت به پارامتر ζ



کشش تقاضای محصول سبز نسبت به سطح ردیابی اطلاعات (ζ)

شکل ۷ نشان می‌دهد با افزایش حساسیت مشتریان نسبت به سطح ردیابی اطلاعات محصول سبز، سطح ردیابی اطلاعات محصول سبز افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، یک زنجیره تأمین سبز دو کاناله و دو سطحی متشکل از یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش، در نظر گرفته شده است که زنجیره تأمین، تک دوره‌ای و چند محصولی می‌باشد به‌طوری‌که یک نوع محصول سبز و دو نوع محصول استاندارد تولید می‌شود. تولیدکننده محصول سبز را از طریق کانال آنلاین و محصولات استاندارد را از طریق کانال سنتی (خرده‌فروشی) به فروش می‌رساند. تقاضای محصول سبز، قطعی و یک تابع خطی از قیمت محصولات، زمان تحویل کانال آنلاین، سطح کیفیت سبز محصول سبز، سطح

تبلیغات محصول سبز و سطح ردیابی اطلاعات محصول سبز می‌باشد. تقاضای محصولات استاندارد نیز، قطعی و یک تابع خطی از قیمت محصولات، زمان تحویل کانال آنلاین و سطح تبلیغات محصول سبز می‌باشد. دولت جهت تشویق تولیدکننده به تولید محصول سبز و اجرای فناوری بلاک‌چین، یارانه پرداخت می‌کند. زنجیره تأمین، تحت مدل تصمیم‌گیری متمرکز و غیرمتمرکز موردبررسی قرار گرفته است که در مدل متمرکز، تولیدکننده و خرده‌فروش، تصمیمات خود را به‌طور یکپارچه اتخاذ می‌کنند. در مدل غیرمتمرکز، تولیدکننده و خرده‌فروش در یک بازی استکلبرگ به رهبری تولیدکننده به رقابت می‌پردازند که ابتدا تولیدکننده در خصوص قیمت محصول سبز، قیمت عمده‌فروشی محصولات استاندارد، زمان تحویل کانال آنلاین، سطح کیفیت سبز محصول سبز، سطح تبلیغات محصول سبز و سطح ردیابی اطلاعات محصول سبز تصمیم‌گیری نموده و سپس خرده‌فروش، با توجه به تصمیمات تولیدکننده، قیمت محصولات استاندارد را تعیین می‌نماید.

در رابطه با پاسخ به سؤالات تحقیق، در مورد سؤال اول تحقیق که در بخش مقدمه ارائه گردید، سود زنجیره در حالت متمرکز عدد ۳۹۶۶۸۲۳۰۰۳ و در حالت غیرمتمرکز عدد ۳۵۲۷۴۶۳۶۶۲ به‌دست‌آمده است؛ بنابراین می‌توان گفت که سود حالت متمرکز بیشتر از غیرمتمرکز است. با محاسبه ساده ریاضی می‌توان گفت برای این مثال واقعی، حدود ۱۲٫۵ درصد سود در حالت متمرکز نسبت به غیرمتمرکز افزایش یافته است. در خصوص سؤال دوم تحقیق، هرچه دولت یارانه بیشتری به ازای تولید هر واحد محصول سبز پرداخت کند، سطح کیفیت سبز محصول سبز افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج عددی با افزایش میزان یارانه دولتی از عدد ۸۰۰ به ۱۲۰۰ سطح کیفیت محصول سبز از ۵٫۸۱ به ۵٫۸۷ افزایش یافته است که نشان می‌دهد با ۵۰ درصد افزایش یارانه، سطح کیفیت حدود ۱ درصد افزایش یافته است. در رابطه با سؤال سوم تحقیق، از تحلیل حساسیت مدل غیرمتمرکز می‌توان دریافت که افزایش حساسیت مشتریان محصول سبز نسبت به قیمت محصول سبز، به‌شدت سبب کاهش تقاضای این محصول می‌شود و سودآوری تولیدکننده و زنجیره تأمین، به‌طور

چشمگیری تحت تأثیر آن قرار گرفته و کاهش می‌یابد، درحالی‌که سود خرده‌فروش افزایش خواهد یافت. طبق نتایج عددی با افزایش حساسیت نسبت به قیمت محصول سبز، از عدد ۵٫۸۳ به ۸٫۷۳، سودآوری زنجیره از ۶۱۵۶۲۳۵۵۱۷ به ۲۲۰۱۶۱۱۱۳۰ کاهش می‌یابد؛ به‌عبارت‌دیگر در مقابل حدود ۵۰ درصد افزایش حساسیت، سود زنجیره حدود ۶۴ درصد کاهش می‌یابد.

همچنین مشاهده گردید که هر سه محصول، در مدل متمرکز دارای کمترین قیمت می‌باشند. در مقایسه با تحقیقات مشابه که ساختار زنجیره تأمینشان به‌صورت دوکاناله و متشکل از یک تولیدکننده و خرده‌فروش همراه با ارائه محصول سبز می‌باشد، می‌توان به تحقیق .Li et al (۲۰۱۶) اشاره کرد. در تحقیق مورداشاره نتیجه مهم این بود که درصورتی‌که هزینه ارتقاء سطح کیفیت محصول سبز از مقداری بیشتر شود، تولیدکننده ترجیح خواهد داد کانال آنلاین خود را ببندد. این نتیجه مهمی است و این نکته را تأکید می‌کند که یارانه‌های دولتی می‌توانند در تشویق به ادامه کار تولیدکننده بسیار مؤثر باشند. .Meng et al (۲۰۲۱) دریافتند که ارائه یارانه‌های دولتی منجر به کاهش قیمت محصول سبز و افزایش بیشتر سود بیشتر تولیدکننده نسبت به خرده‌فروش می‌شود و هر چه ترجیح مشتریان در مصرف محصول سبز بیشتر باشد، تقاضای آن بیشتر و سود زنجیره نیز افزایش خواهد یافت. .Zhong et al (۲۰۲۳) دریافتند که تمایل تولیدکننده در بهره‌گیری از فناوری‌های ردیابی محصول نظیر بلاک چین بالا بوده و منجر به فروش بیشتر می‌شود و در کنار آن خرده‌فروش و مصرف‌کنندگان نیز می‌توانند از منافع آن استفاده کنند. درهرحال باید به هزینه‌های بهره‌گیری از این فناوری‌ها در مقابل منافع آن توجه کرد.

پیشنهادهای آتی

با توجه به تحقیق حاضر که زنجیره تأمینی با یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش می‌باشد، می‌توان در تحقیقات آینده زنجیره تأمین موردبررسی را توسعه سطح داد و بررسی نمود آیا همین نتایج به‌دست‌آمده در مورد آن نیز صادق است؟ به‌عبارت‌دیگر می‌توان چندین تولیدکننده و چندین خرده‌فروش برای زنجیره تأمین، در نظر گرفت. همچنین از فرض

وجود عدم قطعیت در تقاضا را به مدل اضافه نمود به‌نحوی‌که به‌غیراز وابستگی آن به عواملی مانند قیمت و زمان تحویل، بخشی از تقاضا نیز به عوامل تصادفی ارتباط داشته باشد.

از نتایج حاصل از این تحقیق این بود که افزایش حساسیت مشتریان محصول سبز نسبت به قیمت محصول سبز، به‌شدت سبب کاهش تقاضای این محصول می‌شود و سودآوری تولیدکننده و زنجیره تأمین، به‌طور چشمگیری تحت تأثیر آن قرار می‌گیرد که البته انتظار طبیعی می‌تواند باشد. در این خصوص می‌توان در رابطه با راهکارهای استقبال بیشتر افراد جامعه از محصول سبز تحقیقی انجام داد به‌نحوی‌که بررسی نمود با چه مکانیزم‌هایی می‌توان این حساسیت را کاهش داد تا همچنان استفاده از محصول سبز مطلوبیت خود را داشته باشد. از دیگر نتایج این بود که با افزایش یارانه دولتی به ازای تولید هر واحد محصول سبز، سطح کیفیت محصول سبز افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه یارانه‌های دولتی محدود هستند، تحقیق دیگر می‌تواند در خصوص میزان تخصیص یارانه دولت به امور مختلف به‌خصوص مواردی باشد که به حوزه پایداری و زیست‌محیطی مربوط می‌شود. بدیهی است که دولت‌ها با توجه به فشارهای جامعه عموماً یارانه را به حوزه‌هایی تخصیص می‌دهند که ازنظر اقتصادی به جامعه کمک کند درحالی‌که منظر زیست‌محیطی نیز در بلندمدت بسیار مهم است.

تعارض منافع

نویسندگان تعارض منافع ندارند.

ORCID
Parisa Hosseini **http://orcid.org/0000-0002-7473-7182**
Mehdi Seifbarghy **http://orcid.org/0000-0002-0772-4509**

پیوست: مقادیر نمادهای استفاده‌شده در فرمول‌های ارائه‌شده:

به دلیل بزرگی برخی از فرمول‌ها درواقع در پیوست ارائه‌شده، هرکدام از نمادهای استفاده‌شده در فرمول‌های مقاله توضیح داده شده‌اند. مثلاً اولین رابطه در پیوست E_1 می‌باشد که در فرمول ۸ برای تعیین قیمت محصول ۱ استفاده می‌شود. سایر روابط نیز در رابطه‌های متناظر خود در مقاله مورداستفاده قرار گرفته‌اند.

$$E_1 = \left(-\eta_2 L - \rho_2 \alpha + \tau_2 \omega - \gamma_{2g} P_g + \gamma_{2s} W_1 - W_2 \beta_2\right)$$
$$E_2 = \left(-2L\eta_1 - 2\alpha\rho_1 + 2\omega\tau_1 - 2\gamma_{1g} P_g + \gamma_{2s} W_2 - 2W_1 \beta_1\right)$$
$$E_3 = \left(-L\eta_1 - \alpha\rho_1 + \omega\tau_1 - \gamma_{1g} P_g + \gamma_{1s} W_2 - W_1 \beta_1\right)$$
$$E_4 = \left(-2\eta_2 L - 2\rho_2 \alpha + 2\tau_2 \omega + \gamma_{1s} W_1 - 2\gamma_{2g} P_g - 2W_2 \beta_2\right)$$
$$E_5 = \gamma_{1s}^2 + 2\gamma_{1s}\gamma_{2s} + \gamma_{2s}^2 - 4\beta_1\beta_2$$
$$E_6 = \left(\gamma_{1s}^2 W_1 + E_1\gamma_{1s} + E_2\beta_2 - \gamma_{2s}\left(\eta_2 L + \rho_2\alpha - \tau_2\omega + \gamma_{2g} P_g\right)\right)$$
$$E_7 = \left(\gamma_{2s}^2 W_2 + E_3\gamma_{2s} + E_4\beta_1 - \gamma_{1s}\left(\eta_1 L + \rho_1\alpha - \tau_1\omega + \gamma_{1g} P_g\right)\right)$$
$$E_8 = \left(-2\gamma_{1g}\beta_2 - \gamma_{1s}\gamma_{2g} - \gamma_{2g}\gamma_{2s}\right)$$
$$E_9 = \left(-\gamma_{1g}\gamma_{1s} - \gamma_{1g}\gamma_{2s} - 2\gamma_{2g}\beta_1\right)$$
$$E_{10} = \left(\gamma_{1s}^2 + \gamma_{1s}\gamma_{2s} - 2\beta_1\beta_2\right)$$

$$F_1 = \left(\gamma_{1s}\gamma_{2s} + \gamma_{2s}^2 - 2\beta_1\beta_2\right)$$
$$F_2 = \left(-\gamma_{1s}\eta_2 - \gamma_{2s}\eta_2 - 2\beta_2\eta_1\right)$$
$$F_3 = \left(-\gamma_{1s}\eta_1 - \gamma_{2s}\eta_1 - 2\beta_1\eta_2\right)$$
$$F_4 = \left(\gamma_{1s}\tau_2 + \gamma_{2s}\tau_2 + 2\beta_2\tau_1\right)$$
$$F_5 = \left(\gamma_{1s}\tau_1 + \gamma_{2s}\tau_1 + 2\beta_1\tau_2\right)$$
$$F_6 = \gamma_{1s}\beta_1 - \gamma_{2s}\beta_1$$
$$F_7 = -\gamma_{1s}\beta_2 + \gamma_{2s}\beta_2$$
$$F_8 = \frac{\gamma_{g1}E_{10}}{E_5} + \frac{\gamma_{g2}F_6}{E_5} + \gamma_{1g} + \frac{\gamma_{1s}E_9}{E_5} - \frac{\beta_1 E_8}{E_5}$$
$$F_9 = \frac{\gamma_{g1}F_7}{E_5} + \frac{\gamma_{g2}F_1}{E_5} + \gamma_{2g} + \frac{\gamma_{2s}E_8}{E_5} - \frac{\beta_2 E_9}{E_5}$$
$$F_{10} = \frac{\gamma_{1s}F_1}{E_5} - \frac{\beta_1 F_7}{E_5} + \frac{\gamma_{2s}E_{10}}{E_5} - \frac{\beta_2 F_6}{E_5}$$

$$G_1 = \frac{\gamma_{g1}F_4}{E_5} + \frac{\gamma_{g2}F_5}{E_5} + \tau_g$$

$$G_2 = \frac{\gamma_{g1}F_2}{E_5} + \frac{\gamma_{g2}F_3}{E_5} - \eta_g$$

$$G_3 = \eta_1 + \frac{\gamma_{1s}F_3}{E_5} - \frac{\beta_1 F_2}{E_5}$$

$$G_4 = \eta_2 + \frac{\gamma_{2s}F_2}{E_5} - \frac{\beta_2 F_3}{E_5}$$

$$G_5 = -\tau_1 + \frac{\gamma_{1s}F_5}{E_5} - \frac{\beta_1 F_4}{E_5}$$

$$G_6 = -\tau_2 + \frac{\gamma_{2s}F_4}{E_5} - \frac{\beta_2 F_5}{E_5}$$

$$G_7 = -2\beta_g + \frac{2\gamma_{g1}E_8}{E_5} + \frac{2\gamma_{g2}E_9}{E_5}$$

$$G_8 = \frac{2\gamma_{1s}F_6}{E_5} - \frac{2\beta_1 E_{10}}{E_5}$$

$$G_9 = \frac{2\gamma_{2s}F_7}{E_5} - \frac{2\beta_2 F_1}{E_5}$$

$$N_1 = \gamma_{g1} + \gamma_{1g}$$

$$N_2 = \gamma_{g2} + \gamma_{2g}$$

$$N_3 = \gamma_{1s} + \gamma_{2s}$$

$$N_4 = \Big(\Big(-4\mathrm{I}N_3^2\beta_g - 4\mathrm{I}N_1N_2N_3 + \big(16\mathrm{I}\beta_2\beta_g - 4\mathrm{I}N_2^2\big)\beta_1 - 4\mathrm{I}N_1^2\beta_2\Big)k + \big(-8\mathrm{I}\beta_2\beta_g + 2\mathrm{I}N_2^2\big)\tau_1^2 + \Big(\big(-8\mathrm{I}\beta_g N_3 - 4\mathrm{I}N_1N_2\big)\tau_2 + 8\mathrm{I}\tau_g\Big(\beta_2N_1 + \frac{N_2N_3}{2}\Big)\Big)\tau_1 + \big(2\mathrm{I}N_1^2 - 8\mathrm{I}\beta_1\beta_g\big)\tau_2^2 + 8\mathrm{I}\tau_g\Big(\beta_1N_2 + \frac{N_1N_3}{2}\Big)\tau_2 - 8\mathrm{I}\tau_g^2\Big(\beta_1\beta_2 - \frac{N_3^2}{4}\Big)\Big)$$

$$N_5 = \Big(\big(-4\mathrm{I}\beta_2\beta_g + \mathrm{I}N_2^2\big)\eta_1^2 + \Big(\big(-4\mathrm{I}\beta_g N_3 - 2\mathrm{I}N_1N_2\big)\eta_2 + 4\mathrm{I}\Big(\beta_2N_1 + \frac{N_2N_3}{2}\Big)\eta_g\Big)\eta_1 + \big(-4\mathrm{I}\beta_1\beta_g + \mathrm{I}N_1^2\big)\eta_2^2 + 4\mathrm{I}\Big(\beta_1N_2 + \frac{N_1N_3}{2}\Big)\eta_g\eta_2 - 4\mathrm{I}\Big(\beta_1\beta_2 - \frac{N_3^2}{4}\Big)\eta_g^2\Big)$$

$$N_6=\Big(\Big(\Big(-4\mathrm{I}\tau_2\beta_g+2\mathrm{I}\tau_g N_2\Big)\tau_1+2\mathrm{I}\Big(N_1\tau_2+N_3\tau_g\Big)\tau_g\Big)\eta_2$$
$$+2\mathrm{I}\Big(\Big(N_2\tau_2-2\beta_2\tau_g\Big)\tau_1-\tau_2^2N_1-\tau_gN_3\tau_2\Big)\eta_g\Big)$$

$$N_7=\Big(\Big(\Big(4\mathrm{I}\beta_g-2\zeta^2\Big)N_3^2+4\mathrm{I}N_1N_2N_3+\Big(\Big(-16\mathrm{I}\beta_g+8\zeta^2\Big)\beta_2+4\mathrm{I}N_2^2\Big)\beta_1+4\mathrm{I}N_1^2\beta_2\Big)k$$
$$+\Big(\Big(8\mathrm{I}\beta_g-4\zeta^2\Big)\beta_2-2\mathrm{I}N_2^2\Big)\tau_1^2+\Big(\Big(\Big(8\mathrm{I}\beta_g-4\zeta^2\Big)N_3+4\mathrm{I}N_1N_2\Big)\tau_2$$
$$-8\mathrm{I}\tau_g\Big(\beta_2N_1+\frac{N_2N_3}{2}\Big)\Big)\tau_1+\Big(\Big(8\mathrm{I}\beta_g-4\zeta^2\Big)\beta_1-2\mathrm{I}N_1^2\Big)\tau_2^2-8\mathrm{I}\tau_g\Big(\beta_1N_2+\frac{N_1N_3}{2}\Big)\tau_2$$
$$+8\mathrm{I}\tau_g^2\Big(\beta_1\beta_2-\frac{N_3^2}{4}\Big)\Big)$$

$$N_8=\Big(\Big(\Big(4\mathrm{I}\beta_g-2\zeta^2\Big)\beta_2-\mathrm{I}N_2^2\Big)\eta_1^2$$
$$+\Big(\Big(\Big(4\mathrm{I}\beta_g-2\zeta^2\Big)N_3+2\mathrm{I}N_1N_2\Big)\eta_2-4\mathrm{I}\Big(\beta_2N_1+\frac{N_2N_3}{2}\Big)\eta_g\Big)\eta_1$$
$$+\Big(\Big(4\mathrm{I}\beta_g-2\zeta^2\Big)\beta_1-\mathrm{I}N_1^2\Big)\eta_2^2-4\mathrm{I}\Big(\beta_1N_2+\frac{N_1N_3}{2}\Big)\eta_g\eta_2+4\mathrm{I}\Big(\beta_1\beta_2-\frac{N_3^2}{4}\Big)\eta_g^2\Big)$$

$$N_9=\Big(\Big(\Big(\Big(4\mathrm{I}\beta_g-2\zeta^2\Big)\tau_2-2\mathrm{I}\tau_gN_2\Big)\tau_1-2\mathrm{I}\Big(N_1\tau_2+N_3\tau_g\Big)\tau_g\Big)\eta_2$$
$$-2\mathrm{I}\Big(\Big(N_2\tau_2-2\beta_2\tau_g\Big)\tau_1-\tau_2^2N_1-\tau_gN_3\tau_2\Big)\eta_g\Big)$$

$$N_{10}=\Big(\Big(\Big(-2N_3^2+8\beta_1\beta_2\Big)k-4\tau_1^2\beta_2-4\tau_2N_3\tau_1-4\tau_2^2\beta_1\Big)h_1^2$$
$$+\Big(-2N_3\eta_1\eta_2-2\beta_1\eta_2^2-2\beta_2\eta_1^2\Big)k+\big(\eta_1\tau_2-\eta_2\tau_1\big)^2\Big)$$

References

1. Barman, A., Das, R., & De, P. K. (2021). Optimal pricing and greening decision in a manufacturer-retailer dual-channel supply chain. *Materials Today: Proceedings, 42*, 870-875. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.719
2. Chen, J., & Gao, W. (2022). Research on promotion mode of dual channel supply chain considering consumer channel preference. In *Proceedings of The International Conference on Electronic Business, Volume 22* (pp. 354-362). ICEB'22, Bangkok, Thailand, October 13-17, 2022. https://aisel.aisnet.org/iceb2022/33
3. Chen, X., Zhang, H., Zhang, M., & Chen, J. (2017). Optimal decisions in a retailer Stackelberg supply chain. *International Journal of Production Economics, 187*, 260-270. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.03.002
4. Ghosh, D., & Shah, J. (2012). A comparative analysis of greening policies across supply chain structures. *International Journal of Production Economics, 135*, 568-583. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.05.027
5. Heydari, J., Govindan, K., & Aslani, A. (2019). Pricing and greening decisions in a three-tier dual channel supply chain. *International Journal of Production Economics, 217*, 185-196. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.11.012
6. Jamali, M.-B., & Rasti-Barzoki, M. (2018). A game theoretic approach for green and non-green product pricing in chain-to-chain competitive sustainable and regular dual-channel supply chains. *Journal of Cleaner Production, 170*, 1029-1043. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.181
7. Janvier-James, A. M. (2012). A new introduction to supply chains and supply chain management: Definitions and theories perspective. *International Business Research, 5*(1), 194-207. https://doi.org/10.5539/ibr.v5n1p194
8. Li, B., Hou, P.-W., Chen, P., & Li, Q.-H. (2016). Pricing strategy and coordination in a dual channel supply chain with a risk-averse retailer. *International Journal of Production Economics, 178*, 154-168. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.05.010
9. Li, B., Zhu, M., Jiang, Y., & Li, Z. (2016). Pricing policies of a competitive dual-channel green supply chain. *Journal of Cleaner Production, 112*(Part 3), 2029-2042. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.017
10. Lipovetsky, S., Magnan, S., & Zanetti-Polzi, A. (2011). Pricing

models in marketing research. *Intelligent Information Management, 3*, 167-174. https://doi.org/10.4236/iim.2011.35020

11. Liu, B., Cai, G., & Tsay, A. A. (2014). Advertising in asymmetric competing supply chains. *Production and Operations Management, 23*(11), 1845-1858. https://doi.org/10.1111/poms.12090
12. Meng, Q., Li, M., Liu, W., Li, Z., & Zhang, J. (2021). Pricing policies of dual-channel green supply chain: Considering government subsidies and consumers' dual preferences. *Sustainable Production and Consumption, 26*, 1021-1030. https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.01.012
13. Modak, N. M., & Kelle, P. (2019). Managing a dual-channel supply chain under price and delivery-time dependent stochastic demand. *European Journal of Operational Research, 272*(1), 147-161. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.05.067
14. Ranjan, A., & Jha, J. (2019). Pricing and coordination strategies of a dual-channel supply chain considering green quality and sales effort. *Journal of Cleaner Production, 218*, 409-424. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.297
15. Saha, S., Modak, N. M., Panda, S., & Sana, S. S. (2018). Managing a retailer's dual-channel supply chain under price-and delivery time-sensitive demand. *Journal of Modelling in Management, 13*(2), 351-374. https://doi.org/10.1108/JM2-10-2016-0089
16. Seifbarghy, M., & Kafshian Ahar, H. (2022). Price and lead time decisions in a dual-channel supply chain with traditional and online sales channels considering centralized and decentralized conditions and transportation modes. *Journal of Industrial Management Perspective, 12*(1), 135-159. https://doi.org/10.52547/JIMP.12.135
17. Yan, N., Liu, Y., Xu, X., & He, X. (2020). Strategic dual-channel pricing games with e-retailer finance. *European Journal of Operational Research, 283*(1), 138-151. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.10.046
18. Zhang, C., Liu, Y., & Han, G. (2021). Two-stage pricing strategies of a dual-channel supply chain considering public green preference. *Computers & Industrial Engineering, 151*, 106988. https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106988
19. Zhao, J., Hou, X., Guo, Y., & Wei, J. (2017). Pricing policies for complementary products in a dual-channel supply chain. *Applied Mathematical Modelling, 49*, 437-451. https://doi.org/10.1016/j.apm.2017.04.023
20. Zhong, Y., Yang, T., Yu, H., Zhong, S., & Xie, W. (2023). Impacts of

blockchain technology with government subsidies on a dual-channel supply chain for tracing product information. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 171*, 103032. https://doi.org/10.1016/j.tre.2023.103032

استناد به این مقاله: حسینی، پریسا.، سیف برقی، مهدی. . (۱۴۰۳). تصمیمات قیمت‌گذاری زنجیره تأمین سبز دو کاناله با در نظر گرفتن تبلیغات در حالات متمرکز و غیرمتمرکز، *مطالعات مدیریت صنعتی، ۲۲(۷۴)*، ۵۱-۹۴. DOI: 10.22054/jims.2024.78110.2901

Industrial Management Studies is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.