مقاله پژوهشی

مطالعات مدیریت صنعتی
دوره ؟، شماره ؟، نام فصل، سال، ص ص
.atu.ac.ir
DOI:

تاریخ دریافت: ۰۰/۰۰/۰۰؛ تاریخ پذیرش: ۰۰/۰۰/۰۰

eISSN: 2476-5988 ISSN:2251-8037

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, playing 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 centralized and decentralized models. 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: Email Address: m.seifbarghy@alzahra.ac.ir
How to Cite: xxxxxxx

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 less negative effects on the environment than traditional products.

One of the most important and difficult decisions of an organization is how to price products. In addition to the product price, one of the effective factors in the decision of customers 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 some point in the life of any 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. The information is included in the product request.

The manufacturer deals with green product pricing decisions, 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 most related researches 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 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 definite 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.

Research method

In this problem, pricing decisions, delivery time, green quality level, advertisement level and information tracking level are addressed in a two-channel and two-level supply chain consisting of a manufacturer and a retailer with definite demand. The supply chain is single-period and multi-product, so that one type of green product and two types of standard products are produced. Green products are sold through the online channel and standard products are sold through the traditional (retail) channel. Green product demand is a linear function of product price, online channel delivery time, green product quality level, green product advertising level, and green product information tracking level. Demand for standard products is also a linear function of product price, online channel delivery time, and green product advertising level.
In order to model and solve the two-channel supply chain problem, after determining the parameters and decision variables, the assumptions are expressed. Then the modeling of product demand functions and profit functions of the supply chain members are developed. In order to determine the optimal values of the decision variables and the profits of the supply chain members, two centralized and decentralized decision-making models are examined, in which in the centralized model, the supply chain members take their decisions in an integrated manner while in the decentralized model, supply chain members compete with each other under a Stackelberg game led by the manufacturer.

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 have been determined based on the assumptions of the problem and field research.

Conclusion

Regarding the first research questions, the profit of the centralized model is higher than the decentralized one. With a simple mathematical calculation, it can be concluded that for this real example, about 12.5% 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 green product, the higher will be the quality level of the green product. 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 can be to conduct a research in relation to the solutions for adopting green products by more people in the society so that the use of green products continues to be beneficial. Considering that government subsidies are limited, another research can be about the allocation of government subsidies to various subjects, especially those related to sustainability and environment.

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

تصمیمات قیمت‌گذاری زنجیره‌تامین 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 مهم ترین تصمیمات زنجیره‌تامین می‌باشد که نقش حیاتی در سودآوری زنجیره-تامین دارد. در این تحقیق یک زنجیره‌تامین 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 درنظر گرفته شده است و در مدل متمرکز، اعضای زنجیره‌تامین تصمیمات خود را به طور یکپارچه اتخاذ می‌کنند. نتایج نشان داد که زنجیره‌تامین در مدل متمرکز دارای بیشترین سودآوری می‌باشد. همچنین مشاهده گردید در مدل متمرکز تمامی محصولات از کمترین قیمت برخوردار می‌باشند.

کلیدواژه‌ها: قیمت‌گذاری، زنجیره تامین سبز، زمان تحویل، تبلیغات، ردیابی اطلاعات

* نویسنده مسئول: Email Address (m.seifbarghy@alzahra.ac.ir)

مقدمه

زنجیره‌تامین یک فرآیند تولید سازمان‌یافته است که در آن مواد خام به کالاهای نهایی تبدیل شده و سپس به مشتریان نهایی تحویل داده می‌شوند(Janvier-James، ۲۰۱۲). امروزه با گسترش اینترنت و تجارت الکترونیک، تعداد زیادی از تولیدکنندگان، علاقه‌مند به ایجاد یک کانال الکترونیکی علاوه بر کانال خرده‌فروشی سنتی برای مشارکت مستقیم در بازار شده اند. این سیستم توزیع که شامل کانال‌های خرده‌فروشی سنتی و مستقیم است، یک زنجیره‌تامین دو کاناله نامیده می‌شود (Li et al.، ۲۰۱۶). تولید محصول سبز، به عنوان یکی از عوامل مهم در پایداری زیست‌محیطی می‌باشد زیرا محصول سبز، نسبت به محصول سنتی دارای اثرات منفی کمتری بر محیط زیست بوده و مضرات کمتری برای سلامتی به همراه دارد، بنابراین به عنوان یک محصول سازگار با محیط زیست شناخته می‌شود (Ranjan & Jha، ۲۰۱۹). از مهم‌ترین و سخت‌ترین تصمیمات یک سازمان، می‌توان به نحوه قیمت-گذاری محصولات اشاره کرد (Lipovetsky et al.، ۲۰۱۱). علاوه بر قیمت محصول، یکی از عوامل موثر در تصمیم‌گیری خرید مشتریان از کانال آنلاین، زمان تحویل می‌باشد. زمان تحویل طولانی‌تر سبب کاهش وفاداری مشتریان نسبت به کانال آنلاین می‌شود (Saha et al.، ۲۰۱۸). در فعالیت تجاری، داشتن یک محصول عالی برای فروش، کافی نیست. تبلیغات، ابزاری کلیدی جهت ایجاد تقاضا و گسترش بازار در مقاطعی از طول عمر هر کسب و کار می‌باشد (Liu et al.، ۲۰۱۴). همچنین شفافیت اطلاعات محصول، عامل مهمی است که سبب ارتقاء فروش محصول می‌شود. با هدف برآورده کردن انتظارات مصرف‌کنندگان از اطلاعات کیفیت محصول، تولیدکنندگان، فناوری بلاک‌چین را جهت ردیابی اطلاعات محصول، توسط مصرف‌کنندگان، به کار گرفته‌اند و دولت‌ها نیز با اجرای سیاست‌های مربوطه، استفاده از فناوری بلاک‌چین را تشویق می‌کنند (Zhong et al.، ۲۰۲۳).

در این تحقیق یک زنجیره‌تامین دو کاناله و دو سطحی شامل یک تولیدکننده و یک خرده-فروش تحت مدل تصمیم‌گیری متمرکز و غیرمتمرکز در نظر گرفته می‌شود و تاثیر همزمان پنج عامل قیمت، زمان تحویل، سطح کیفیت محصول سبز، سطح تبلیغات و سطح ردیابی

اطلاعات در تقاضای محصول لحاظ گردیده است که تاثیر هیچ یک در میزان تقاضای محصولات و سودآوری زنجیره‌تامین قابل چشم‌پوشی 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.

سوالات تحقیق عبارتند از:

۱- زنجیره‌تامین در کدام مدل تصمیم‌گیری متمرکز و غیر متمرکز دارای سودآوری بیشتری می‌باشد؟

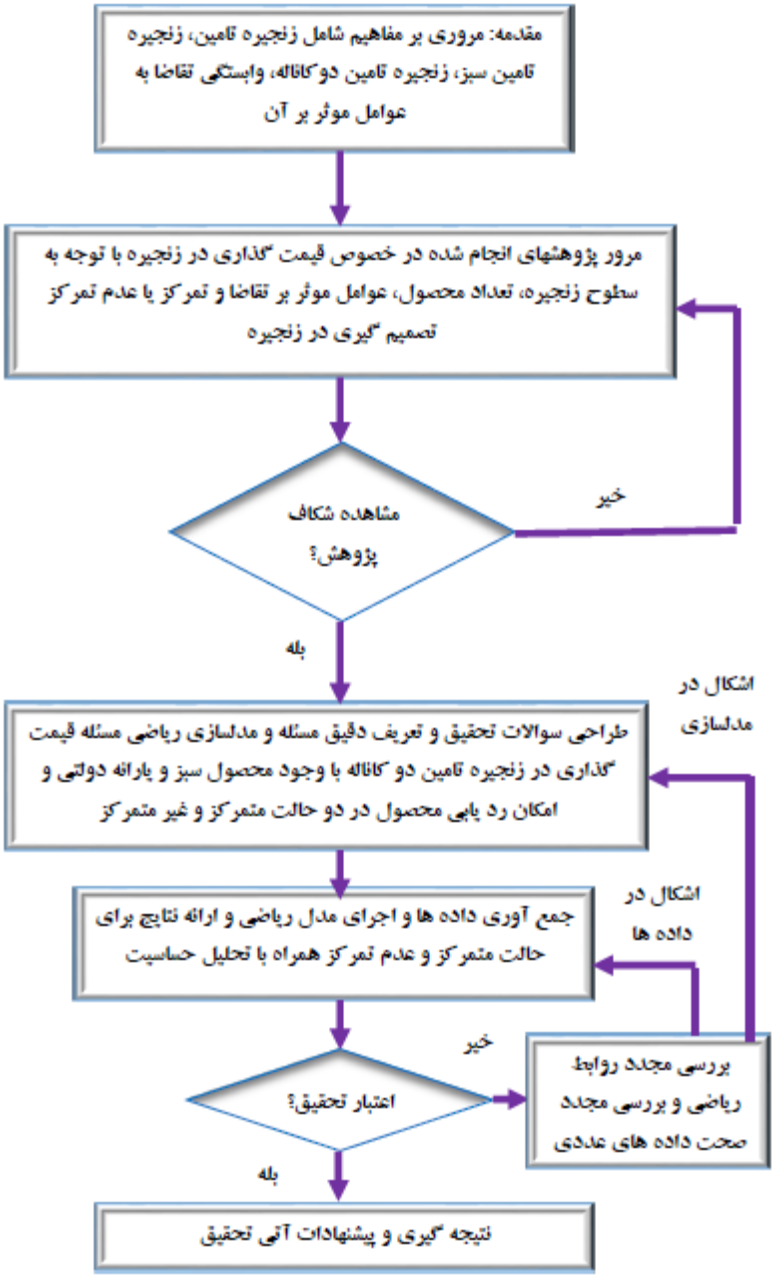
۲-میزان یارانه دولتی به ازای هر واحد محصول سبز، چه تاثیری در ارتقاء سطح کیفیت محصول سبز خواهد داشت؟

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

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

پیشینه پژوهش

Li et al. (۲۰۱۶) یک زنجیره‌تامین دو کاناله متشکل از یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش را در نظر گرفتند که تولیدکننده به منظور حفاظت از محیط زیست و افزایش رقابت در بازار، یک نوع محصول سبز تولید می‌کند. علاوه بر کانال سنتی خرده فروشی، تولیدکننده محصولات را از طریق کانال مستقیم خود به فروش می‌رساند. زنجیره‌تامین، تحت مدل متمرکز و غیرمتمرکز با استفاده از بازی استکلبرگ مورد مطالعه قرار گرفته است.



شکل۱. ساختار کلی تحقیق و مراحل آن

Zhao et al. (۲۰۱۷) به مطالعه قیمت‌گذاری دو محصول مکمل در یک زنجیره‌تامین با دو تولیدکننده و یک خرده‌فروش پرداختند که یکی از دو تولیدکننده از کانال های 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 زنجیره‌تامین به رهبری خرده‌فروش، بررسی کردند که کانال مستقیم ایجاد شده 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 زنجیره‌تامین تک‌کانال خرده‌فروشی، یک زنجیره‌تامین دو کاناله می‌تواند سود تولیدکننده و زنجیره‌تامین را افزایش‌دهد. Saha et al. (۲۰۱۸) به بررسی سیاست‌های قیمت‌گذاری بهینه در یک زنجیره‌تامین 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 تولید شده توسط تولیدکننده اول و یک محصول غیرسبز تولید شده توسط تولیدکننده دوم تحت دو زنجیره‌تامین دو کاناله شامل کانال‌های آنلاین و خرده‌فروشی پرداختند. در سناریوی غیرمتمرکز، رقابت استکلبرگ بین سطح خرده‌فروش و سطح تولیدکننده کل زنجیره‌های تامین در نظر گرفته می‌شود که تولیدکنندگان، رهبر بازی و خرده‌فروشان، پیرو هستند. در سناریوی متمرکز، تصمیمات هر زنجیره‌تامین به صورت 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 تاثیر تقاضای غیرقطعی بر سیاست قیمت‌گذاری و سفارش بهینه در یک زنجیره‌تامین دوکاناله و دو سطحی تحت تقاضای وابسته به قیمت و زمان تحویل، در دو مدل متمرکز و غیرمتمرکز، پرداختند. Heydari et al. (۲۰۱۹) یک زنجیره‌تامین 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-تامین دو کاناله متشکل از یک تامین‌کننده 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 زنجیره‌تامین 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 زنجیره‌تامین 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 قیمت-گذاری یک زنجیره‌تامین سبز دو کاناله و دو سطحی شامل یک تولیدکننده و یک خرده-فروش 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 زنجیره‌تامین 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 زنجیره‌تامین، در حالت

متمرکز و غیرمتمرکز تحت بازی استکلبرگ با رهبری تولیدکننده پرداخته شده است. Chen & Gao (۲۰۲۲) به بررسی یک زنجیره‌تامین 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 به دست آمده و مقایسه می‌شود. Zhong et al. (۲۰۲۳) یک زنجیره‌تامین با یک تولیدکننده و دو کانال فروش محصول، شامل خرده‌فروش سنتی و خرده‌فروش آنلاین را تحت یک مدل رقابتی مورد بررسی 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 هزینه-های مربوط به تحقیق و توسعه فناوری بلاک‌چین، یارانه پرداخت می‌کند.

خلاصه ای از پژوهش‌های اخیر در جدول ۱ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول۱. خلاصه پژوهش های اخیر

نویسندگان	تعداد سطوح		تعداد محصول		عوامل موثر بر تقاضا علاوه بر قیمت	ساختار زنجیره	
	دو	چند	تک	چند		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 (۲۰۱۹)	✓	✓	زمان تحویل	✓	✓
Heydari et al. (۲۰۱۹)	✓	✓	سطح کیفیت سبز	✓	✓
Yan et al. (۲۰۲۰)	✓	✓	-		✓
Zhang et al. (۲۰۲۱)	✓	✓	سطح کیفیت سبز	✓	✓
Barman et al. (۲۰۲۱)	✓	✓	سطح کیفیت سبز	✓	✓
Meng et al. (۲۰۲۱)	✓		سطح کیفیت سبز	✓	✓
Seifbarghy & Kafshian Ahar (۲۰۲۲)	✓	✓	زمان تحویل	✓	✓
Chen & Gao (۲۰۲۲)	✓	✓	سطح تبلیغات		✓
Zhong et al. (۲۰۲۳)	✓	✓	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 تاثیرگذار است. همچنین اکثر تحقیقات گذشته تک محصولی می باشند. در این پژوهش، یک زنجیره‌تامین 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 موثر می‌باشند.

روش پژوهش

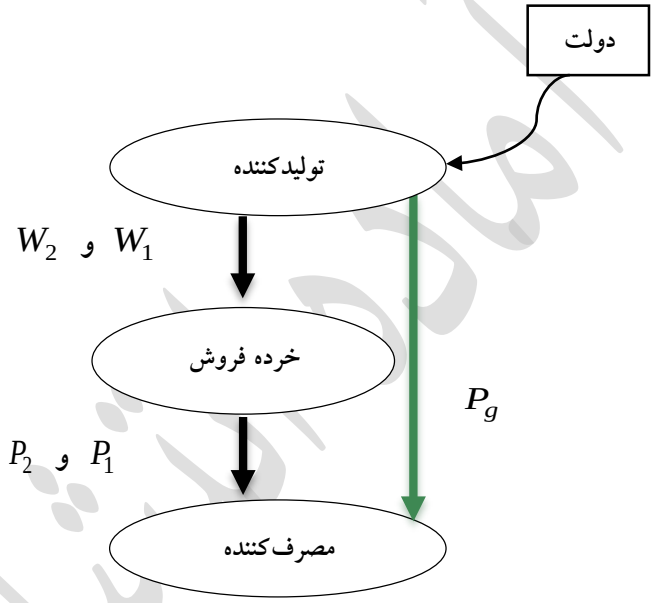
در این بخش، ابتدا مسئله تحقیق بیان گردیده و سپس به مدلسازی ریاضی و ارائه روش حل پرداخته می‌شود.

بیان مسئله تحقیق

در این مسئله به تصمیمات قیمت‌گذاری، زمان تحویل، سطح کیفیت سبز، سطح تبلیغات و سطح ردیابی اطلاعات، در یک زنجیره‌تامین دو کاناله و دو سطحی متشکل از یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش با تقاضای قطعی پرداخته می‌شود. زنجیره‌تامین، تک دوره‌ای و چند محصولی می‌باشد به طوری که 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، با هدف شفاف‌سازی اطلاعات محصول سبز در کانال آنلاین، یارانه پرداخت می‌کند تا افزایش سود حاصل از تولید، انگیزه ای برای تولید محصول سبز باشد.

به منظور مدلسازی و حل مسئله زنجیره‌تامین دو کاناله، پس از تعیین پارامترها و متغیرهای تصمیم، مفروضات تعیین شده در مدلسازی بیان می‌گردند. سپس به مدلسازی توابع تقاضای

محصولات و توابع سود اعضای زنجیره‌تامین پرداخته می‌شود. جهت تعیین مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم و سود اعضای زنجیره‌تامین، دو مدل تصمیم‌گیری متمرکز و غیرمتمرکز مورد بررسی قرار می‌گیرد که در مدل متمرکز، اعضای زنجیره‌تامین تصمیمات خود را به طور یکپارچه اتخاذ می‌کنند و در مدل غیرمتمرکز، اعضای زنجیره‌تامین تحت یک بازی استکلبرگ به رهبری تولیدکننده، با یکدیگر به رقابت می‌پردازند.



شکل۲. ساختار زنجیره‌تامین دو کاناله

مدلسازی ریاضی و روش حل در حالت تصمیم گیری متمرکز و غیرمتمرکز

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

جدول۲. نمادها، پارامترها، توابع سود و متغیرهای تصمیم

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

جدول۲. نمادها، پارامترها، توابع سود و متغیرهای تصمیم (ادامه)

r	خرده‌فروش
m	تولیدکننده
sc	زنجیره‌تامین
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 i نسبت 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

جدول۲. 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 زنجیره‌تامین
	متغیرهای تصمیم
P_g	قیمت هر واحد محصول سبز در کانال آنلاین
P_i	قیمت هر واحد محصول استاندارد iدر 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

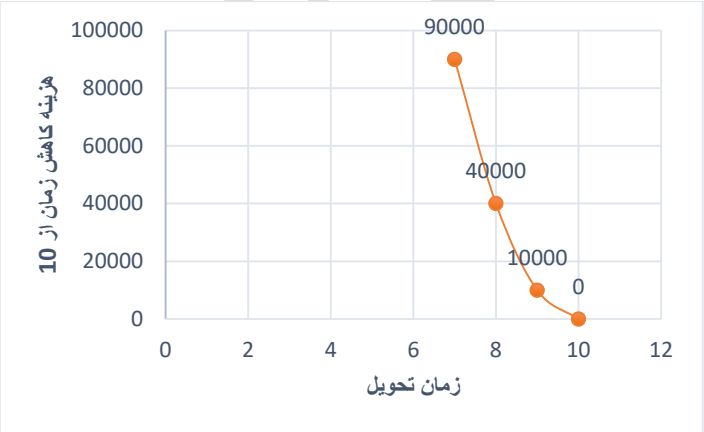
مفروضات مدل

- هر سه محصول جانشین یکدیگر می‌باشند؛ ($0 < \gamma_{is}, \gamma_{ig}, \gamma_{gi}$) (Meng et al.، ۲۰۲۱).
- 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، ۲۰۱۹)
- سطح کیفیت سبز فقط در تقاضای محصول سبز تاثیر دارد و با افزایش سطح کیفیت سبز، تقاضای محصول سبز افزایش می‌یابد. درحالی که تاثیر آن در تقاضای محصولات استاندارد بسیار ناچیز فرض می‌شود.
- سطح ردیابی اطلاعات محصول سبز فقط در تقاضای محصول سبز تاثیر دارد و با افزایش سطح ردیابی اطلاعات محصول سبز، تقاضای محصول سبز افزایش می‌یابد. در حالی که تاثیر آن در تقاضای محصولات استاندارد بسیار ناچیز فرض می‌شود.
- سرمایه‌گذاری در سطح کیفیت سبز محصول سبز، به صورت $\frac{1}{2} f\theta^2$ درنظر گرفته می‌شود که به منظور 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 یاد شده طبق تحقیق Ghosh & Shah (۲۰۱۲) بدون داشتن ضریب یک دوم ارائه شده است. در

این تحقیق اشاره می کند که فرض می گردد هزینه های ارتقاء سطح سبز بودن محصول دارای رابطه درجه ۲ با سطح سبز بودن محصول داشته باشد و توجیه آن این است که معمولا سرمایه گذاری روی این موضوع از منظر هزینه های تحقیق و توسعه از یک نقطه ای به بعد بسیار سنگین می شود. به عبارت دیگر در مراحل اولیه سبز شدن محصول معمولا ایده ای داده می شود و پیاده سازی آن نسبتا راحت است لیکن از یک نقطه به بعد هزینه نوآوری و ایجاد ایده های جدید تر برای سبز شدن گران تر تمام می شود و به همین دلیل این هزینه با درجه سبزی محصول دارای رابطه درجه ۲ در نظر گرفته می شوددر تحقیق Ranjan & Jha (۲۰۱۹) این مورد برای محصولاتی در نظر گرفته می شود که هزینه های نوآوری در آن به شدت محصولات دارای فناوری بالاتر (های تک) نباشد لذا در یک ضریب یک دوم به عنوان تعدیل ضرب می شود. بدیهی است که این ضریب صرفا یک مقدار تقریبی و صرفا جهت تعدیل است. در تحقیق جاری به دلیل اینکه مطالعه موردی ما روی محصول لامپ می باشد، به نظر می رسد فرمول دوم که دارای ضریب یک دوم می باشد مناسب تر خواهد بود.

- سرمایه‌گذاری در تبلیغات محصول سبز نیز به صورت $\frac{1}{2}k\omega^2$ در نظر گرفته می‌شود که رابطه غیرخطی با سطح تبلیغات دارد و تابعی درجه دو از سطح تبلیغات است (Chen & Gao، ۲۰۲۲). در این رابطه نیز مانند رابطه مربوط به هزینه های ارتقاء محصول سبز، فرض می گردد در ابتدای معرفی محصول سبز با هزینه های تبلیغات کمتری می توان مشتریان را جذب کرد اما از یک نقطه زمانی به بعد، هزینه های جلب مشتریان به محصول سبز پر هزینه تر خواهد شد که از نظر کاربردی نیز در دنیای واقعی منطقی به نظر می رسد. زیرا اصولا در ابتدای کار کسانیکه تمایل بیشتری برای خرید محصول سبز داشته اند با تبلیغات مختصری جذب شده اند اما جذب افراد جدیدتر دارای تاخیر بیشتر و پر هزینه تر خواهد بود. ضریب یک دوم در این فرمول نیز به عنوان تعدیل هزینه تبلیغات برای محصولاتی که در طیف متوسط قرار دارند و بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند یا ارزان تر هستند در نظر گرفته می شود.

- سرمایه‌گذاری در زمان تحویل کانال آنلاین به صورت $\left(h_0 - h_1 L\right)^2$ 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 می گردد هزینه های کاهش زمان تحویل آنلاین از مقدار اولیه آن در ابتدا کم باشد و بتوان با راهکارهای مدیریتی ساده تر این هزینه را کاهش داد اما از یک نقطه زمانی به بعد، این هزینه زیاد خواهد شد که از نظر کاربردی نیز در دنیای واقعی منطقی به نظر می رسد. جهت درک بهتر این موضوع مثالی عددی در این قسمت ارائه می شود. 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 نشان دهنده ارتباط بین هزینه های کاهش زمان تحویل آنلاین با مقدار زمان تحویل می باشد.



شکل۳. 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 در حالیکه برای کاهش از ۹ به ۸، به ۴۰۰۰۰ واحد پولی هزینه نیاز است.

- سرمایه‌گذاری جهت تحقیق و توسعه فناوری بلاک‌چین، به صورت $\frac{1}{2}Ib^2$ 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 هزینه های ارتقاء و تبلیغات محصول سبز، فرض می گردد در ابتدای معرفی محصول سبز با هزینه های تحقیق و توسعه کمتری می توان ردیابی محصول را انجام داد اما از یک نقطه زمانی به بعد، هزینه های ردیابی بسیار زیاد خواهد شد که از نظر کاربردی نیز در دنیای واقعی منطقی به نظر می رسد. زیرا اصولا در ابتدای کار می توان با فناوریهای موجود، ردیابی محصولات را انجام داد اما برای ارتقا آن نیازمند سرمایه گذاری بیشتر و نوآوری بسیار بالاتری خواهیم بود. ضریب یک دوم در این فرمول نیز به عنوان تعدیل هزینه ردیابی برای محصولاتی که در طیف متوسط قرار دارند و هزینه های ردیابی آنها نسبت به محصولات دیگر کمتر است، در نظر گرفته می شود.
- 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 به صورت تابعی خطی از قیمت خود محصول، قیمت محصولات جانشین، زمان تحویل کانال آنلاین و سطح تبلیغات محصول سبز می‌باشد. تابع تقاضای محصول سبز به صورت 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 بهره گیری از آنها در تشکیل روابط سود اجزای زنجیره تامین می باشد.

توابع تقاضای محصول استاندارد۱، محصول استاندارد۲ و محصول سبز به ترتیب در روابط ۱، ۲ و ۳ عبارتند از:

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

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

$$D_g = (1-\rho_1-\rho_2)\alpha - \beta_g P_g + \gamma_{g1} P_1 + \gamma_{g2} P_2 - \eta_g L + \lambda\theta + \tau_g \omega + \zeta b \quad (۳)$$

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 بیان شده توابع سود تولیدکننده و خرده-فروش به ترتیب در روابط ۴ و ۵ ارائه می گردد. این توابع در بخش های بعدی به عنوان پایه ای برای مقایسه سیستمهای متمرکز و غیر متمرکز مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

$$\pi_m\left(P_g,W_1,W_2,L,\theta,\omega,b\right)=\left(P_g-C_g+\psi\right)D_g+\left(W_1-C_1\right)D_1 \\ +\left(W_2-C_2\right)D_2-\left(h_0-h_1L\right)^2-\frac{1}{2}f\theta^2-\frac{1}{2}k\omega^2-\frac{1}{2}Ib^2\left(1-e\right) \quad (۴)$$

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

- **مدل تصمیم‌گیری غیرمتمرکز**

در مدل غیرمتمرکز، هر یک از اعضای زنجیره‌تامین 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 به عنوان رهبر بازی، تصمیم‌گیری منطقی خرده‌فروش است، بنابراین با درنظرگرفتن تصمیمات خرده‌فروش و با هدف حداکثرسازی سود خود، درخصوص قیمت محصول سبز (P_g)، قیمت عمده‌فروشی محصول استاندارد۱ (W_1)، قیمت عمده‌فروشی محصول استاندارد۲ (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 به عنوان پیرو بر اساس تصمیمات بهینه تولیدکننده و با هدف حداکثرسازی سود خود، قیمت محصول استاندارد۱ (P_1) و قیمت محصول استاندارد۲ (P_2) را تعیین می‌نماید.

جهت حل مدل غیرمتمرکز، از تابع سود خرده‌فروش (رابطه ۵) نسبت به قیمت محصول استاندارد۱ (P_1) و قیمت محصول استاندارد ۲ (P_2) مشتق گرفته و مساوی با صفر قرار داده می‌شود که در روابط ۶ و ۷ عبارتند از:

$$\frac{\partial\pi_r\left(P_1,P_2\right)}{\partial P_1}=\eta_1L+\rho_1\alpha-\tau_1\omega+\gamma_{1g}P_g+\gamma_{1s}P_2-\beta_1P_1 \\ -\left(P_1-W_1\right)\beta_1+\left(P_2-W_2\right)\gamma_{2s}=0 \quad (۶)$$

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

مقادیر بهینه قیمت محصول استاندارد۱ (P_1) و قیمت محصول استاندارد ۲ (P_2) بر اساس حل دو معادله ۶ و ۷ مطابق روابط ۸ و ۹ حاصل می‌شوند به طوری که جواب‌های بهینه به طور همزمان در هر دو معادله صدق می‌کنند. مقادیر پارامترهای E_1 ، E_2و E_5 در پیوست ارائه شده است. برای سایر روابط نیز نمادهایی که جدید است در پیوست ارائه شده اند.

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

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

جهت بررسی تقعر تابع سود خرده‌فروش نسبت به قیمت محصول استاندارد ۱ و قیمت محصول استاندارد ۲ ماتریس هسین محاسبه می‌شود. در صورتی که 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 ارائه شده در معادلات ۱۱ و ۱۲ مورد بررسی قرار می گیرد.

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

$$\left|H_1\right| = -2\beta_1 \qquad (۱۱)$$

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

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

در صورتی که شرط $4\beta_1\beta_2 > \gamma_{1s}^2 + 2\gamma_{1s}\gamma_{2s} + \gamma_{2s}^2$ برقرار باشد، تابع سود خرده-فروش 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 ارائه دهنده سود تولید کننده می باشد.

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

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 استاندارد۱ (W_1)، قیمت عمده‌فروشی محصول استاندارد۲ (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 گرفته شده ارائه شده اند.

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

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

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

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

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

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

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

مقادیر بهینه قیمت محصول سبز (P_g)، قیمت عمده‌فروشی محصول استاندارد۱ (W_1)، قیمت عمده‌فروشی محصول استاندارد۲ (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، به طوری‌که جواب‌های بهینه به طور همزمان در هر هفت معادله صدق می‌کنند.

به علت حجم زیاد مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم تولیدکننده، از نوشتن مقادیر پارامتریک متغیرهای تصمیم، صرف نظر 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. در صورتی که ماتریس هسین معین منفی باشد، تابع سود تولیدکننده نسبت به متغیرهای تصمیم، مقعر است. ماتریس هسین و دترمینان‌های مربوطه به پیوست می‌باشد.

باجایگذاری 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، صرف نظر شده و خروجی نرم‌افزار Maple، به پیوست می‌باشد.

در نهایت، مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم تولیدکننده و خرده‌فروش، در توابع سود تولیدکننده و خرده‌فروش جایگذاری شده و سود بهینه اعضای زنجیره‌تامین، حاصل می‌شود. همچنین

---

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

سود کل زنجیره‌تامین از حاصل جمع توابع سود تولیدکننده و خرده‌فروش به دست خواهد آمد.

- **مدل تصمیم‌گیری متمرکز**

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

تابع سود زنجیره‌تامین به صورت مجموع درآمد حاصل از فروش محصولات استاندارد و سبز توسط تولید کننده و خرده فروش منهای هزینه های سرمایه گذاری روی کاهش زمان تحویل آنلاین، هزینه سرمایه گذاری روی افزایش کیفیت و تبلیغات محصول سبز و هزینه تحقیق و توسعه فناوری بلاک‌چین برای ردیابی محصول می باشد که مطابق رابطه ۲۱ ارائه می گردد:

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

در مدل تصمیم‌گیری متمرکز، جهت به دست‌آوردن مقادیر بهینه‌ی متغیرهای تصمیم تولیدکننده و خرده‌فروش، از تابع سود زنجیره‌تامین 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 استاندارد۱ (P_1) و قیمت محصول استاندارد۲ (P_2) مشتق گرفته و مساوی با صفر قرار داده می‌شود که به ترتیب در روابط ۲۲ الی ۲۸ معادلات مربوط به مشتقات جزئی ذکر شده برای یافتن جواب بهینه مدل ارائه می شوند.

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

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

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

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

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

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

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

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 به‌طوری که جواب‌های بهینه به طور همزمان در هر هفت معادله صدق می‌کنند.

به علت حجم زیاد مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم اعضای زنجیره‌تامین، از نوشتن مقادیر پارامتریک متغیرهای تصمیم، صرف نظر شده و خروجی نرم‌افزار میپل، به پیوست می‌باشد. جهت بررسی تقعر تابع سود زنجیره‌تامین 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 استاندارد۱ (P_1) و قیمت محصول استاندارد۲ (P_2) ماتریس هسین محاسبه می‌شود. در صورتی که ماتریس هسین معین منفی باشد، تابع سود زنجیره‌تامین نسبت به متغیرهای تصمیم، مقعر است. ماتریس هسین و دترمینان‌های مربوطه به پیوست می‌باشد.

در نهایت، مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم تولیدکننده و خرده‌فروش در تابع سود زنجیره-تامین، جایگذاری شده و سود بهینه زنجیره‌تامین، حاصل می‌شود.

تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

در این بخش به منظور 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 قابل مشاهده می‌باشد.

جدول۳. 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.

جدول۴. 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

جدول۴. 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.

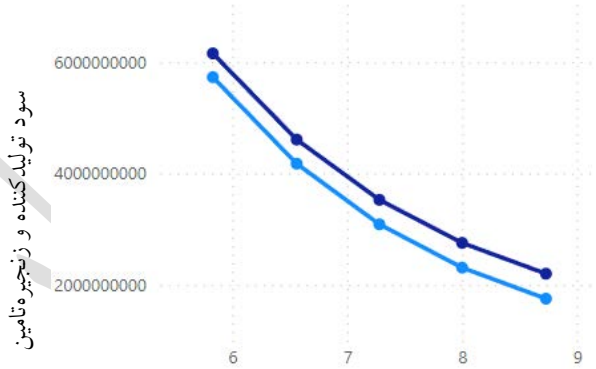
جدول ۵. حل مسائل نمونه ای

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	۳۸۷۲۹/۳۵	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

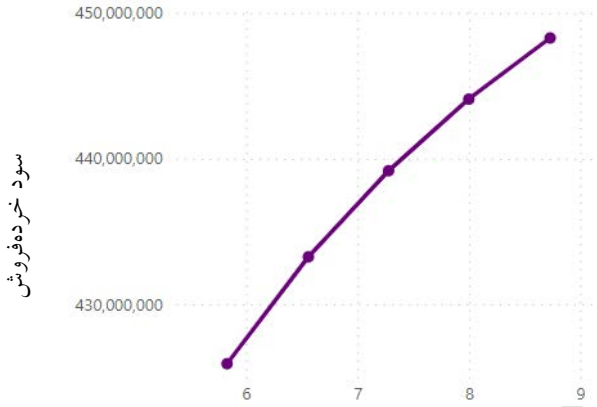
جدول ۵. حل مسائل نمونه ای (ادامه)

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	۳۵۲۳۳/۱۹	۲۰۴۲۶/۶۵	۲۳۱۰۵۵۵۹۸۸	۴۴۴۰۸۸۹۰۷/۲	۲۷۵۴۶۴۴۸۹۵
	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 زنجیره‌تامین نسبت به پارامتر β_g**



شکل۴. حساسیت سود تولیدکننده و زنجیره‌تامین نسبت به پارامتر β_g

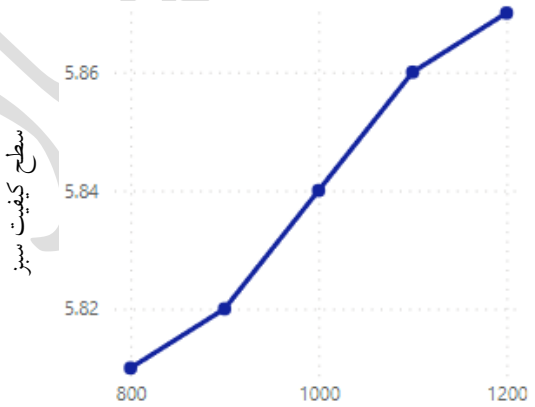


کشش تقاضای محصول سبز نسبت به قیمت محصول سبز (β_g)

شکل۵. حساسیت سود خرده‌فروش نسبت به پارامتر β_g

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

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

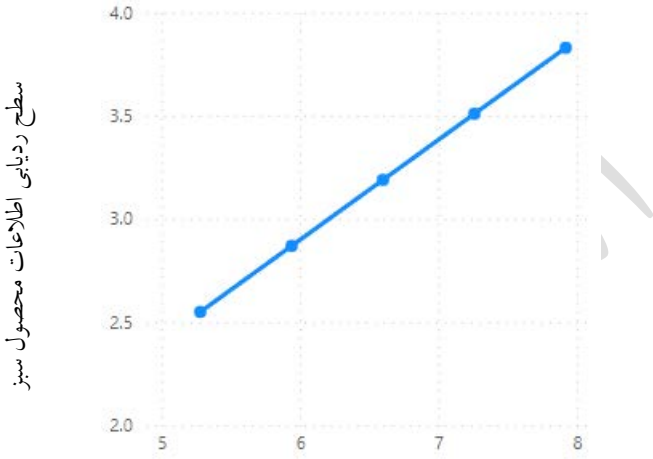


یارانه دولتی به ازای تولید هر واحد محصول سبز (ψ)

شکل۶. حساسیت سطح کیفیت سبز نسبت به پارامتر 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**



شکل۷. حساسیت سطح ردیابی اطلاعات محصول سبز نسبت به پارامتر 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 زنجیره‌تامین سبز دو کاناله و دو سطحی متشکل از یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش، در نظر گرفته شده است که زنجیره‌تامین، تک دوره‌ای و چند محصولی می‌باشد به طوری که 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. زنجیره‌تامین، تحت مدل تصمیم‌گیری متمرکز و غیرمتمرکز مورد بررسی قرار گرفته است که در مدل متمرکز، تولیدکننده و خرده‌فروش، تصمیمات خود را به طور یکپارچه اتخاذ می‌کنند. در مدل غیرمتمرکز، تولیدکننده و خرده-فروش 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 سوالات تحقیق، در مورد سوال اول تحقیق که در بخش مقدمه ارائه گردید، سود زنجیره در حالت متمرکز عدد ۳۹۶۶۸۲۳۰۰۳ و در حالت غیر متمرکز عدد ۳۵۲۷۴۶۳۶۶۲ بدست آمده است. بنابراین می توان گفت که سود حالت متمرکز بیشتر از غیرمتمرکز است. با محاسبه ساده ریاضی می توان گفت برای این مثال واقعی، حدود ۱۲,۵ درصد سود در حالت متمرکز نسبت به غیر متمرکز افزایش یافته است. در خصوص سوال 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 می دهد با ۵۰ درصد افزایش یارانه، سطح کیفیت حدود ۱ درصد افزایش یافته است. در رابطه با سوال سوم تحقیق، از تحلیل حساسیت مدل غیرمتمرکز می‌توان دریافت که افزایش حساسیت مشتریان محصول سبز نسبت به قیمت محصول سبز، به شدت سبب کاهش تقاضای این محصول می‌شود و سودآوری تولیدکننده و زنجیره‌تامین، به طور چشمگیری تحت تاثیر آن قرار گرفته و کاهش می‌یابد، در حالی که 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 می یابد. به عبارت دیگر در مقابل حدود ۵۰ درصد افزایش حساسیت، سود زنجیره حدود ۶۴ درصد کاهش می یابد.

همچنین مشاهده گردید که هر سه محصول، در مدل متمرکز دارای کمترین قیمت می-باشند. در مقایسه با تحقیقات مشابه که ساختار زنجیره تامین شان به صورت دوکاناله و متشکل از یک تولید کننده و خرده فروش همراه با ارائه محصول سبز می باشد، می توان به تحقیق Li et al. (۲۰۱۶) اشاره کرد. در تحقیق مورد اشاره نتیجه مهم این بود که در صورتیکه هزینه ارتقاء سطح کیفیت محصول سبز از مقداری بیشتر شود، تولید کننده ترجیح خواهد داد کانال آنلاین خود را ببندد. این نتیجه مهمی است و این نکته را تاکید می کند که یارانه های دولتی می توانند در تشویق به ادامه کار تولیدکننده بسیار موثر باشند. Meng et al. (۲۰۲۱) دریافتند که ارائه یارانه های دولتی منجر به کاهش قیمت محصول سبز و افزایش بیشتر سود بیشتر تولید کننده نسبت به خرده فروش می شود 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 تولید کننده در بهره گیری از فناوریهای ردیابی محصول نظیر بلاک چین بالا بوده و منجر به فروش بیشتر می شود و در کنار آن خرده فروش و مصرف کنندگان نیز می توانند از منافع آن استفاده کنند. در هر حال باید به هزینه های بهره گیری از این فناوری ها در مقابل منافع آن توجه کرد.

پیشنهادات آتی

با توجه به تحقیق حاضر که زنجیره‌تامینی با یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش می‌باشد، می‌توان در تحقیقات آینده زنجیره تامین مورد بررسی را توسعه سطح داد و بررسی نمود آیا همین نتایج بدست آمده در مورد آن نیز صادق است؟ به عبارت دیگر می توان چندین تولیدکننده و چندین خرده‌فروش برای زنجیره تامین، در نظر گرفت. همچنین از فرض وجود عدم قطعیت در تقاضا را به مدل اضافه نمود به نحوی که به غیر از 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، به شدت سبب کاهش تقاضای این محصول می‌شود و سودآوری تولیدکننده و زنجیره‌تامین، به طور چشمگیری تحت تاثیر آن قرار می گیرد که البته انتظار طبیعی می تواند باشد. در این خصوص می توان در رابطه با راهکارهای استقبال بیشتر افراد جامعه از محصول سبز تحقیقی انجام داد به نحوی که بررسی نمود با چه مکانیزمهایی می توان 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 یارانه های دولتی محدود هستند، تحقیق دیگر می تواند در خصوص میزان تخصیص یارانه دولت به امور مختلف به خصوص مواردی باشد که به حوزه پایداری و زیست محیطی مربوط می شود. بدیهی است که دولتها با توجه به فشارهای جامعه عموما یارانه را به حوزه هایی تخصیص می دهند که از نظر اقتصادی به جامعه کمک کند در حالیکه منظر زیست محیطی نیز در بلندمدت بسیار مهم است.

تعارض منافع

نویسندگان تعارض منافع ندارند.

ORCID

Parisa Hosseini http://orcid.org/0000-0002-7473-71829

Mehdi Seifbarghy http://orcid.org/0000-0002-0772-4509

پیوست : مقادیر نمادهای استفاده شده در فرمولهای ارائه شده:

به دلیل بزرگی برخی از فرمولها در واقع در پیوست ارائه شده، هر کدام از نمادهای استفاده شده در فرمولهای مقاله توضیح داده شده اند. مثلا اولین رابطه در پیوست E_1 می باشد که در فرمول ۸ برای تعیین قیمت محصول ۱ استفاده می شود. سایر روابط نیز در رابطه های متناظر خود در مقاله مورد استفاده قرار گرفته اند.

$$E_1 = \left(-\eta_2 L - \rho_2 \alpha + \tau_2 \omega - \gamma_{2g} P_g + \gamma_{2s} W_1 - W_2 \beta_2\right)$$

$$E_2 = \left(-2L\eta_1 - 2\alpha\rho_1 + 2\omega\tau_1 - 2\gamma_{1g} P_g + \gamma_{2s} W_2 - 2W_1 \beta_1\right)$$

$$E_3 = \left(-L\eta_1 - \alpha\rho_1 + \omega\tau_1 - \gamma_{1g} P_g + \gamma_{1s} W_2 - W_1 \beta_1\right)$$

$$E_4 = \left(-2\eta_2 L - 2\rho_2 \alpha + 2\tau_2 \omega + \gamma_{1s} W_1 - 2\gamma_{2g} P_g - 2W_2 \beta_2\right)$$

$$E_5 = \gamma_{1s}^2 + 2\gamma_{1s}\gamma_{2s} + \gamma_{2s}^2 - 4\beta_1\beta_2$$

$$E_6 = \left(\gamma_{1s}^2 W_1 + E_1\gamma_{1s} + E_2\beta_2 - \gamma_{2s}\left(\eta_2 L + \rho_2\alpha - \tau_2\omega + \gamma_{2g} P_g\right)\right)$$

$$E_7 = \left(\gamma_{2s}^2 W_2 + E_3\gamma_{2s} + E_4\beta_1 - \gamma_{1s}\left(\eta_1 L + \rho_1\alpha - \tau_1\omega + \gamma_{1g} P_g\right)\right)$$

$$E_8 = \left(-2\gamma_{1g}\beta_2 - \gamma_{1s}\gamma_{2g} - \gamma_{2g}\gamma_{2s}\right)$$

$$E_9 = \left(-\gamma_{1g}\gamma_{1s} - \gamma_{1g}\gamma_{2s} - 2\gamma_{2g}\beta_1\right)$$

$$E_{10} = \left(\gamma_{1s}^2 + \gamma_{1s}\gamma_{2s} - 2\beta_1\beta_2\right)$$

$$F_1 = \left(\gamma_{1s}\gamma_{2s} + \gamma_{2s}^2 - 2\beta_1\beta_2\right)$$

$$F_2 = \left(-\gamma_{1s}\eta_2 - \gamma_{2s}\eta_2 - 2\beta_2\eta_1\right)$$

$$F_3 = \left(-\gamma_{1s}\eta_1 - \gamma_{2s}\eta_1 - 2\beta_1\eta_2\right)$$

$$F_4 = \left(\gamma_{1s}\tau_2 + \gamma_{2s}\tau_2 + 2\beta_2\tau_1\right)$$

$$F_5 = \left(\gamma_{1s}\tau_1 + \gamma_{2s}\tau_1 + 2\beta_1\tau_2\right)$$

$$F_6 = \gamma_{1s}\beta_1 - \gamma_{2s}\beta_1$$

$$F_7 = -\gamma_{1s}\beta_2 + \gamma_{2s}\beta_2$$

$$F_8 = \frac{\gamma_{g1}E_{10}}{E_5} + \frac{\gamma_{g2}F_6}{E_5} + \gamma_{1g} + \frac{\gamma_{1s}E_9}{E_5} - \frac{\beta_1 E_8}{E_5}$$

$$F_9 = \frac{\gamma_{g1}F_7}{E_5} + \frac{\gamma_{g2}F_1}{E_5} + \gamma_{2g} + \frac{\gamma_{2s}E_8}{E_5} - \frac{\beta_2 E_9}{E_5}$$

$$F_{10} = \frac{\gamma_{1s}F_1}{E_5} - \frac{\beta_1 F_7}{E_5} + \frac{\gamma_{2s}E_{10}}{E_5} - \frac{\beta_2 F_6}{E_5}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$N_7=\left(\left(\left(4\mathrm{I}\beta_g-2\zeta^2\right)N_3^2+4\mathrm{I}N_1N_2N_3+\left(\left(-16\mathrm{I}\beta_g+8\zeta^2\right)\beta_2+4\mathrm{I}N_2^2\right)\beta_1+4\mathrm{I}N_1^2\beta_2\right)k\right.$$
$$+\left(\left(8\mathrm{I}\beta_g-4\zeta^2\right)\beta_2-2\mathrm{I}N_2^2\right)\tau_1^2+\left(\left(\left(8\mathrm{I}\beta_g-4\zeta^2\right)N_3+4\mathrm{I}N_1N_2\right)\tau_2\right.$$
$$\left.\left.-8\mathrm{I}\tau_g\left(\beta_2N_1+\frac{N_2N_3}{2}\right)\right)\tau_1+\left(\left(8\mathrm{I}\beta_g-4\zeta^2\right)\beta_1-2\mathrm{I}N_1^2\right)\tau_2^2-8\mathrm{I}\tau_g\left(\beta_1N_2+\frac{N_1N_3}{2}\right)\tau_2\right.$$
$$\left.+8\mathrm{I}\tau_g^2\left(\beta_1\beta_2-\frac{N_3^2}{4}\right)\right)$$
$$N_8=\left(\left(\left(4\mathrm{I}\beta_g-2\zeta^2\right)\beta_2-\mathrm{I}N_2^2\right)\eta_1^2\right.$$
$$+\left(\left(\left(4\mathrm{I}\beta_g-2\zeta^2\right)N_3+2\mathrm{I}N_1N_2\right)\eta_2-4\mathrm{I}\left(\beta_2N_1+\frac{N_2N_3}{2}\right)\eta_g\right)\eta_1$$
$$\left.+\left(\left(4\mathrm{I}\beta_g-2\zeta^2\right)\beta_1-\mathrm{I}N_1^2\right)\eta_2^2-4\mathrm{I}\left(\beta_1N_2+\frac{N_1N_3}{2}\right)\eta_g\eta_2+4\mathrm{I}\left(\beta_1\beta_2-\frac{N_3^2}{4}\right)\eta_g^2\right)$$
$$N_9=\left(\left(\left(\left(4\mathrm{I}\beta_g-2\zeta^2\right)\tau_2-2\mathrm{I}\tau_gN_2\right)\tau_1-2\mathrm{I}\left(N_1\tau_2+N_3\tau_g\right)\tau_g\right)\eta_2\right.$$
$$\left.-2\mathrm{I}\left(\left(N_2\tau_2-2\beta_2\tau_g\right)\tau_1-\tau_2^2N_1-\tau_gN_3\tau_2\right)\eta_g\right)$$
$$N_{10}=\left(\left(\left(-2N_3^2+8\beta_1\beta_2\right)k-4\tau_1^2\beta_2-4\tau_2N_3\tau_1-4\tau_2^2\beta_1\right)h_1^2\right.$$
$$\left.+\left(-2N_3\eta_1\eta_2-2\beta_1\eta_2^2-2\beta_2\eta_1^2\right)k+\left(\eta_1\tau_2-\eta_2\tau_1\right)^2\right)$$

منابع

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.

Chen, J., & Gao, W. (2022). Research on promotion mode of dual channel supply chain considering consumer channel preference. 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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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, Spring 2022), 135-159. https://doi.org/ 10.52547/JIMP.12.135.

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.

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.

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.

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.