Intervention of Government in the Competition between Green and Non-Green Supply Chains

Maryam Esmaeili

*Corresponding author, Associate Prof., Faculty of Industrial Engineering, Alzahra University, Tehran, Iran. E-mail: esmaeili_m@alzahra.ac.ir

Shahla Zandi

Ph.D. Student in Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, Alzahra University, Tehran, Iran. E-mail: sh.zandi@alzahra.ac.ir

Abstract

Objective: The environment and the related issues are among the most up-to-date topics and concerns of policymakers, businesses and even ordinary people. Managers often look for environmental issues in the supply chain of their businesses for a variety of reasons, including governmental pressures, peoples' demands, increasing their market share and etc. In this paper, two types of three-tier green and non-green supply chain including suppliers, manufacturers and retailers are considered with regard to the government intervention in the amount and price of green and non-green products.

Methods: In this research, the role of government as a leader is examined in the form of a nonlinear programming model considering four-level constraints to reduce the economic and environmental costs and increase the social welfare index by setting tariffs for both chains based on Stackelberg game. It is conducted in a fashion that, at first, the tariffs are set by the government (supply chains with green products will receive subsides otherwise they will be fined), and then the price and quantity of the products are determined by the retailer, manufacturer and supplier according to those tariffs.

Results: Finally, numerical examples are presented to illustrate the model and the sensitivity analysis of the importance of the role of the government for each of its goals and its impact on profits and tariffs imposed on supply chain has been examined.

Conclusion: The results showed that the profits of the supply chain members are significantly dependent on tariffs set by the government. The best balance between reducing economic and environmental costs and increasing the welfare of customers is obtained when the government attaches the same importance to all of them; this means that it can meet all three goals alike as much as possible.

Keywords: Pricing, Green supply chain, Government intervention, Game theory, Tariff.

Citation: Esmaeili, M., Zandi, Sh. (2018). Intervention of Government in the Competition between Green and Non-Green Supply Chains. *Industrial Management Journal*, 10(2), 297-314. (*in Persian*)

Industrial Management Journal, 2018, Vol. 10, No.2, pp. 297-314

DOI: 10.22059/imj.2018.262181.1007464

Received: December 3, 2017; Accepted: April 20, 2018

© Faculty of Management, University of Tehran

مداخله دولت در رقابت بین زنجیره‌های تأمین سبز و غیرسبز

مریم اسمعیلی

* نویسنده مسئول، دانشیار مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران. رایانامه: esmaeili_m@alzahra.ac.ir

شهلا زندی

دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه الزهرا، تهران، ایران. رایانامه: zandi@alzahra.ac.ir.sh

چکیده

هدف: محیط زیست و مسائل مربوط به آن، از جمله مباحث به‌روز و دغدغه‌های امروزه سیاست‌گذاران، سازمان‌ها، کسب‌وکارها و حتی مردم عادی است. مدیران اغلب کسب‌وکارها به دلایل گوناگونی از جمله فشارهای دولتی، خواسته‌های مردمی، افزایش سهم بازار خود و ...، در زنجیره‌های تأمین خود مسائل زیست‌محیطی را در نظر می‌گیرند. در این مقاله دو نوع زنجیره تأمین سبز و غیرسبز سه سطحی شامل تأمین‌کننده، تولیدکننده و خرده‌فروش با توجه به مداخله دولت در مقدار و قیمت محصولات سبز و غیر سبز بررسی شده است.

روش: در این پژوهش، نقش دولت به‌منزله رهبر، برای رسیدن به کاهش هزینه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی و افزایش شاخص رفاه اجتماعی با تعیین تعرفه‌هایی برای هر دو زنجیره بر اساس بازی استکلبرگ، به‌شکل مدل برنامه‌ریزی غیرخطی با محدودیت‌های چهارسطحی ارائه می‌شود؛ به‌طوری‌که ابتدا تعرفه‌ها (برای زنجیره‌های تأمین محصول سبز به‌صورت پرداخت یارانه و برای محصول غیرسبز به‌صورت دریافت جریمه) از سوی دولت تعیین شده؛ سپس بر اساس تعرفه‌ها، مقدار و قیمت محصولات توسط خرده‌فروش، تأمین‌کننده و تولیدکننده مشخص می‌شود.

یافته‌ها: برای تشریح مدل، مثال‌های عددی آورده شده است و تحلیل حساسیت روی میزان اهمیت دولت به هر یک از اهداف خود (کاهش هزینه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی و افزایش شاخص رفاه اجتماعی) و تأثیر آن بر سود حاصل و تعرفه‌های وضع شده برای زنجیره‌های تأمین بررسی شده است.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان می‌دهد که سود اعضای زنجیره تأمین به‌طور چشمگیری وابسته به تعرفه اعمال شده توسط دولت است. همچنین بهترین توازن بین کاهش هزینه‌های اقتصادی و محیطی و افزایش رفاه مشتریان، هنگامی به‌دست می‌آید که دولت برای همه آنها اهمیت یکسانی قائل شود؛ به این معنا که تا حد ممکن می‌تواند هر سه هدف خود را برآورده سازد.

کلیدواژه‌ها: قیمت‌گذاری، زنجیره تأمین سبز، مداخله دولت، نظریه بازی، تعرفه.

استناد: اسمعیلی، مریم؛ زندی، شهلا (۱۳۹۷). مداخله دولت در رقابت بین زنجیره‌های تأمین سبز و غیرسبز. *فصلنامه مدیریت صنعتی*، ۱۰(۲)، ۲۹۷– ۳۱۴.

فصلنامه مدیریت صنعتی، ۱۳۹۷، دوره ۱۰، شماره ۲، صص. ۲۹۷– ۳۱۴

DOI: 10.22059/imj.2018.262181.1007464

دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۱۲، پذیرش: ۱۳۹۷/۰۱/۳۱

© دانشکده مدیریت دانشگاه تهران

مقدمه

زنجیره تأمین سبز عبارت است از مجموعه اقدام‌های داخلی و خارجی بنگاه در سراسر زنجیره تأمین که به بهبود محیط زیست و جلوگیری از ایجاد آلودگی منجر شود؛ به بیان دیگر، ایده کلی زنجیره تأمین سبز، بیشینه‌کردن سود در کنار پیشگیری از آسیب‌های زیست‌محیطی است. هدف مدیریت زنجیره تأمین سبز، یافتن تعادل بین سود و هزینه‌های زیست‌محیطی در بحث قیمت‌گذاری در روابط عناصر زنجیره است. مسائل زیست‌محیطی همچون افزایش میزان آلاینده‌ها، تغییرات آب و هوایی، افزایش میزان گازهای گلخانه‌ای و گرم‌شدن کره زمین، به دغدغه‌های مشترک امروزه بین مشتریان، کسب‌وکارها و دولت‌ها تبدیل شده است (نیو، گرین و مرتون، ۲۰۰۲ و آزنون و نوسی، ۱۹۹۶). هم‌زمان با افزایش بحران‌های زیست‌محیطی روی کره زمین، دولت‌ها و سیاست‌گذاران با اعمال سیاست‌های مختلف، برای حمایت از واحدهای سبز یا جریمه واحدهای آلاینده و غیرسبز و بهبود روند نگران‌کننده تغییرات کره زمین، تلاش می‌کنند (لو و شاو، ۲۰۱۶ و چن و هاو، ۲۰۱۵). با افزایش آگاهی عمومی درباره مسائل زیست‌محیطی و نگرانی‌های ایجاد شده برای زندگی در سال‌های آینده روی کره زمین، مشتریان هنگام خرید محصولات به مشخصات محصولات موجود در بازار توجه کرده و تمایل آنها به سمت محصولات سازگار با محیط زیست سوق پیدا کرده است (زو، متیازاگن، گویندان، نورال، راماچندران و اشکومار، ۲۰۱۳ و تیلور، ۱۹۹۲). در پی اجرای سیاست‌های زیست‌محیطی در زنجیره‌های تأمین، تولیدکنندگانِ محصولات به تولید محصولات سازگار با محیط زیست اقدام کرده‌اند. در این بین، مشتریانی هستند که با وجود کالای سبز در بازار، به خرید محصولات جایگزین و غیرسبز اقدام می‌کنند. دلیل این رفتار مشتریان می‌تواند به عوامل مختلفی از جمله گران‌تر بودن محصولات سبز، دسترسی بیشتر به محصولات غیرسبز در مقایسه با محصولات سبز، ناآگاهی نسبت به زیان‌های زیست‌محیطی محصولات غیرسبز یا عادت خرید آنان بستگی داشته باشد. به همین دلیل برخی تولیدکنندگان برای حفظ مشتریان قبلی خود و جذب مشتریان جدید، به تولید هم‌زمان محصولات سبز و غیرسبز جایگزین اقدام می‌کنند تا از این طریق بتوانند سهم خود را در بازار نسبت به رقبا افزایش داده و ثبات خود را در محیط رقابتی موجود تضمین کنند (سینایی و راستی برزکی، ۱۳۹۷). در ادامه، ادبیات موضوع و پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه زنجیره تأمین سبز، قیمت‌گذاری و مداخله دولت در زنجیره‌های تأمین، مرور می‌شود.

پیشینه پژوهش

سینایی و راستی (۱۳۹۷) زنجیره تأمینی با یک تولیدکننده محصول سبز و غیرسبز جایگزین، تولید کردند و به تجزیه و تحلیل دو خرده‌فروش سبز و غیرسبز همراه با اعمال مالیات توسط دولت روی محصولات غیرسبز در دو حالت متمرکز و نامتمرکز پرداختند. نتایج آنها نشان داد که دولت با اعمال مالیات بر محصول غیرسبز و در نتیجه تغییر هزینه و قیمت محصولات، می‌تواند موجب افزایش سطح سبزینگی محصول سبز و در نتیجه بهبود شرایط زیست‌محیطی شود.

لی و رئی (۲۰۰۷) برای هماهنگ‌سازی زنجیره تأمینی با یک تأمین‌کننده و یک خرده‌فروش، از قرارداد بازخرید مازاد سفارش خرده‌فروش استفاده کردند و برای تأمین‌کننده و خرده‌فروش به‌ترتیب ظرفیت تولید و خرید محدود در نظر گرفتند. آنها مسئله را تحت حالت‌های متمرکز و نامتمرکز (تأمین‌کننده ـ استکلبرگ) تحلیل کردند. یاوو و لیو (۲۰۰۵)

رقابت قیمت‌گذاری میان دو کانال مستقیم و خرده‌فروشی را تحت بازی‌های نش و تولیدکننده ـ استکلبرگ در یک زنجیره تأمین دو کانالی شامل یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش بررسی کردند. شا، ایرفان، شانکار و یاداو (۲۰۱۶) یک مدل طراحی شبکه زنجیره تأمین سبز برای بررسی انتشارات کربن و مسائل تجارت کربن پیشنهاد دادند. مدل آنها جریان بهینه مواد و همچنین انتشارات در سراسر شبکه زنجیره تأمین را تعیین می‌کرد. به‌کمک این مدل مشخص شد که جریان مواد در سراسر شبکه زنجیره تأمین با تغییر احتمال و همچنین اعتبار قیمت کربن، تغییر می‌کند. ژائو، نیفبور، هان، مک‌گوایر و دوتیز (۲۰۱۲) به بررسی یک زنجیره تأمین سبز پرداختند و از نظریه بازی برای تحلیل استراتژی‌های انتخاب شده توسط تولیدکنندگان به‌منظور کاهش ریسک زیست‌محیطی چرخه عمر مواد اولیه و انتشار کربن استفاده کردند. ژو و دو (۲۰۰۷) با استفاده از مدل بازی تکاملی، یک نوع کسب‌وکار را بررسی کردند. آنها در این بررسی برای دولت دو فرض نظارت و عدم نظارت بر کسب‌وکار و برای کسب‌وکار دو فرض اجرای سیاست‌های سبز و عدم اجرای سیاست‌های سبز در نظر گرفتند و درآمد هر یک را در چهار حالت بیان شده به‌دست آوردند. جمالی و راستی (۲۰۱۸) قیمت‌گذاری و تعیین درجه سبزینگی محصول سبز را در رقابت با محصول غیرسبز بررسی کردند. آنها زنجیره تأمینی با دو تولیدکننده محصول سبز و غیرسبز قابل جایگزین در نظر گرفتند و محصولات خود را از طریق کانال توزیع دوگانه خرده‌فروش و اینترنتی در دو حالت متمرکز و نامتمرکز بررسی کردند. برای حالت نامتمرکز ساختار استکلبرگ را به‌کار بردند و در آن تولیدکننده را در نقش رهبر و خرده‌فروش را در نقش پیرو در نظر گرفتند. نتایج پژوهش نشان داد در حالت متمرکز، علاوه بر سودآوری بیشتر، محصولات سبز با درجه بالاتری از سبز بودن تولید می‌شوند. اسمعیلی، علامه و تجویدی (۲۰۱۸) قیمت‌گذاری را در زنجیره تأمین دوسطحی با توجه به استراتژی‌های گوناگون جمع‌آوری محصولات مصرف شده بررسی کردند و نشان دادند که تقاضای سالانه به تلاش بازار همچون قیمت فروش حساس است. آنها چندین سیاست تشویق‌کننده دولت برای تولید محصول سبز را در نظر گرفتند و به این نتیجه دست یافتند که فرایند تولید مجدد در بلندمدت سودآورتر از شرکت‌هایی است که بازیافت ندارند و مشتریان نیاز بیشتری به مصرف محصولات سبز دارند.

وو (۲۰۱۳) رقابت بین دو زنجیره تأمین شامل تولیدکننده و خرده‌فروش را که تقاضا تابعی از قیمت نهایی و میزان تلاش برای افزایش محصول بود، در نظر گرفت. وی مسئله را در دو حالت متمرکز و نامتمرکز بررسی کرد. براری، اگروال، ژانگ، مهانتی و تیواری (۲۰۱۲) یک مدل بازی تکامل‌یافته برای حالتی که تولیدکننده به تولید محصولات سبز می‌پردازد و خرده‌فروش مسئولیت جذب مشتریان برای خرید کالاهای سبز را برعهده دارد، ارائه کردند. آنها به یافتن تعادل بین مزیت‌های اقتصادی و زیست‌محیطی با ایجاد هماهنگی بین تولیدکننده و خرده‌فروش پرداختند، به نحوی که تولیدکننده و خرده‌فروش با هم‌راستا کردن استراتژی‌هایشان بتوانند از طریق سبزکردن محصول به بیشینه سود اقتصادی دست یابند. هاو، وانگ و چنگ (۲۰۱۰) تصمیم‌های قیمت‌گذاری و زمان تحویل را در دو حالت متمرکز و نامتمرکز (تولیدکننده ـ استکلبرگ و خرده‌فروش ـ استکلبرگ) مطالعه کردند و نشان دادند که زمان تحویل بر تصمیم‌های قیمت‌گذاری، سود کل سیستم و سود تک‌تک اعضا تأثیر مستقیمی دارد. لی، ژاو، جیانگ و لی (۲۰۱۶) یک زنجیره تأمین با کانال توزیع دوگانه را بررسی کردند که در آن تولیدکننده، یک محصول سبز را تولید کرده و از طریق کانال‌های فروش مستقیم و خرده‌فروشی به دست مشتری نهایی می‌رساند. آنها نیز در مدل خود هزینه سبز بودن را در نظر گرفتند و مسئله

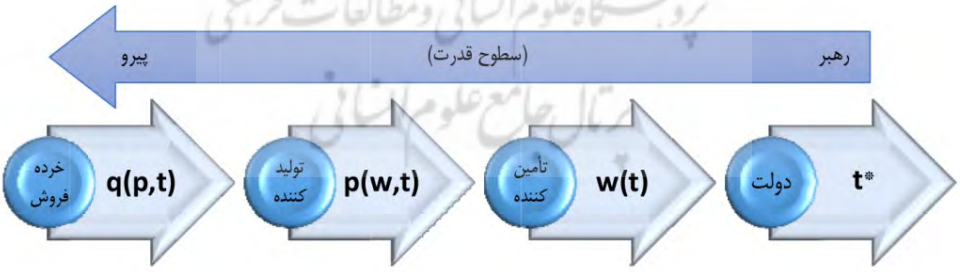
را در دو حالت متمرکز و نامتمرکز با استفاده از رویکرد نظریه بازی حل کردند و در نهایت به مقایسه نتایج به‌دست آمده از هر دو حالت پرداختند.

مدنی و راستی (۲۰۱۷) یک مدل رقابتی ریاضی ارائه دادند و در آن برای دولت نقش رهبر را لحاظ کردند و دو زنجیره تأمین سبز و غیرسبز که هریک دربردارنده یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش بود را پیرو در نظر گرفتند و از این طریق، سیاست‌های قیمت‌گذاری، استراتژی‌های سبز بودن و تعیین تعرفه‌های دولت را با در نظر گرفتن نظارت مستقیم دولت بررسی کردند. در این پژوهش زنجیره تأمین دو سطحی در نظر گرفته شده است و هدف دولت، کاهش هزینه‌های زیست‌محیطی با توجه به تفاوت بین درجه سبزینگی محصول موجود و درجه سبزینگی استاندارد است. در نهایت تعرفه‌های دولت و قیمت فروش محصولات سبز و غیرسبز و درجه سبز بودن به‌عنوان متغیرهای تصمیم در مدل متمرکز و نامتمرکز محاسبه شدند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، تأثیر افزایش نرخ سوبسید بیشتر از نرخ مالیات بود که این مسئله موجب شد سود دولت و زنجیره‌های تأمین افزایش یابد. یو (۲۰۱۸) بر اساس نظریه بازی، نقش مشتریان محصولات سبز و غیرسبز را در قیمت‌گذاری محصولات با در نظر گرفتن تابع مطلوبیت آنها بررسی کرد. نتایج وی نشان داد که وجود مشتریان محصولات سبز برای تولیدکننده سبز و حتی مشتریان محصولات غیرسبز مفید است. علاوه بر این، تأثیر تعداد مشتریان سبز بر تولیدکننده‌ها نیز بررسی شده است. ژانگ و لیو (۲۰۱۳) چهار مدل برای یک زنجیره تأمین سه سطحی متشکل از تأمین‌کننده، تولیدکننده و خرده‌فروش ارائه دادند که شامل تصمیم‌گیری مشارکتی، بازی سه سطحی رهبر ـ پیرو و بازی‌های استکلبرگ ۱ و ۲ بود. بر اساس نتیجه آنها، این استراتژی‌ها می‌تواند به درآمد بیشتر سرمایه‌گذاری برای اعضای شرکت‌کننده در مشارکت نسبت به زمانی که اعضا مشارکت نمی‌کنند، منجر شود. از این رو بهینه‌سازی کلی و هماهنگی کامل زنجیره تأمین به‌دست می‌آید. در مقاله یاد شده زنجیره تأمین سه سطحی مطالعه شده و تفاوت آن با پژوهش حاضر، در نظر گرفتن یک زنجیره تأمین تولیدکننده محصول سبز و عدم بررسی دخالت دولت در این زنجیره است. اسمعیلی و همکارانش (۱۳۹۳) چندین مدل زنجیره تأمین حلقه بسته دوسطحی، با استفاده از نظریه بازی‌ها ارائه دادند و به بررسی این مسئله پرداختند که در یک زنجیره تأمین حلقه بسته با توجه به ریسک تولیدکننده در بازیافت، استراتژی مناسب هر عضو از میان استراتژی‌های متفاوت جمع‌آوری محصول‌های مصرفی که بتواند سود هر یک از آنها را بیشینه کند، کدام است. به همین منظور، بر اساس هر استراتژی، مقادیر بهینه قیمت عمده‌فروشی، قیمت محصول، سرمایه‌گذاری (هزینه) برای جمع‌آوری محصول‌های مصرفی و میزان سفارش را تعیین کردند. در این مقاله تأثیر مداخله دولت بر دو نوع زنجیره تأمین سبز و غیرسبز سه سطحی شامل تأمین‌کننده، تولیدکننده و خرده‌فروش بررسی شده است. با توجه به نقش کلیدی دولت در مسائل زیست‌محیطی، تعامل میان زنجیره تأمین و دولت به شکل بازی استکلبرگ مدل شده است که در آن دولت نقش رهبر را برعهده دارد و به‌دنبال کاهش هزینه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی و افزایش شاخص رفاه اجتماعی است. هدف تعیین تعرفه‌های یارانه و جریمه برای زنجیره‌های تأمین سبز و غیرسبز از سوی دولت و مقدار تولید و قیمت محصولات از سوی زنجیره تأمین است. براساس پژوهش‌های صورت‌گرفته در ادبیات موضوع و تا آنجا که نویسندگان این پژوهش می‌دانند، مسئله مطرح شده برای این مقاله تا کنون بررسی نشده است. با توجه به کارهای انجام شده، نوآوری مقاله حاضر را می‌توان به شکل زیر دسته‌بندی کرد:

- در نظر گرفتن یک زنجیره تأمین سه سطحی تأمین‌کننده، تولیدکننده و خرده‌فروش. در پژوهش‌های قبلی این زنجیره تأمین به‌صورت دو سطحی شامل تولیدکننده ـ تأمین‌کننده یا تولیدکننده ـ خرده‌فروش در نظر گرفته شده است.
- در نظر گرفتن چندین زنجیره تأمین محصول سبز یا غیرسبز همراه با نظارت دولت. در پژوهش‌های قبلی تنها یک زنجیره تأمین بررسی شده است.
- در نظر گرفتن اهداف متضاد برای دولت که شامل کاهش هزینه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی و افزایش شاخص رفاه اجتماعی است.

روش‌شناسی پژوهش

n_i زنجیره تأمین را در نظر بگیرید که محصولات سبز (سازگار با محیط زیست) و غیرسبزی (ناسازگار با محیط زیست) تولید می‌کنند که جایگزین هم هستند. هر زنجیره تأمین شامل یک تأمین‌کننده، تولیدکننده و خرده‌فروش است. فرض می‌شود که مقدار تولید در همه n_i زنجیره تأمین سبز یا غیرسبز یکسان است. با توجه به نقش کلیدی سیاست‌های دولت در تصمیم‌گیری و رقابت میان زنجیره تأمین‌ها، برای مدل‌کردن آنها، از بازی استکلبرگ استفاده شده است که دولت در نقش رهبر برای رسیدن به اهداف خود، تصمیم‌گیری (تعیین تعرفه برای زنجیره‌های تأمین) می‌کند. این تعرفه وارد شده از سوی دولت به زنجیره‌های تأمین محصول سبز به‌صورت پرداخت یارانه و برای محصول غیرسبز به‌صورت دریافت جریمه است؛ سپس خرده‌فروش مقدار سفارش خود را که تابعی از قیمت تولیدکننده و میزان تعرفه دولت است، تعیین می‌کند و به‌دنبال آن تولیدکننده و تأمین‌کننده نیز قیمت‌های خود را مشخص می‌کنند. در نهایت دولت مطابق با بهترین پاسخ اعضای زنجیره تأمین، تعرفه خود را بهینه خواهد کرد. شکل ۱ مراحل روش برگشتی را نشان می‌دهد.



شکل ۱. توالی تصمیم‌گیری به روش برگشتی با توجه به سطوح قدرت بازیکنان

نمادها

در این بخش برای درک بهتر، به معرفی متغیرهای تصمیم و پارامترهای به‌کار رفته در مدل پرداخته می‌شود.

متغیرهای تصمیم

برای متغیرهای تصمیم، اندیس i در نظر گرفته شده که نشان‌دهنده محصول سبز $(i = g)$ یا غیر سبز $(i = ng)$ است.

q_i: مقدار سفارش محصول i (سبزیا غیرسبز) در هر زنجیره تأمین

Q_i: مقدار سفارش کل محصول i (سبز یا غیرسبز) توسط همه n_i زنجیره (سبز یا غیرسبز)

w_i: قیمت پیشنهاد شده تأمین‌کننده زنجیره تأمین (سبز یا غیرسبز)

p_i: قیمت پیشنهادشده تولیدکننده زنجیره تأمین (سبز یا غیرسبز)

t_i: تعرفه وارد شده توسط دولت به هر واحد محصول نوع i (سبز یا غیرسبز)

پارامترها

r_i: قیمت خرده‌فروشی در زنجیره تأمین (سبز یا غیرسبز)

a_i: قیمت خرده‌فروش پایه برای محصول i (سبز یا غیرسبز)، $a_i \geq ۰$

b_i: ضریب حساسیت قیمت خرده‌فروش (محصول i) نسبت به مقدار تولید، $b_i \geq ۰$

n_i: تعداد زنجیره تأمین (سبز یا غیر سبز)

λ: ضریب جایگزینی محصولات سبز و غیرسبز و $۰ \leq \lambda \leq ۱$

C_i'': هزینه متغیر هر واحد محصول i (سبز یا غیرسبز) برای تأمین‌کننده، $C_{\mathrm{i}}'' \geq ۰$

$C_i\mathrm{C}$: هزینه متغیر هر واحد محصول i (سبز یا غیرسبز) برای خرده‌فروش، $C_i\mathrm{C} \geq ۰$

f_i'': هزینه ثابت برای تأمین‌کننده محصول i ، $f_{\mathrm{i}}'' \geq ۰$

f_i': هزینه ثابت برای تولیدکننده محصول i، $f_i' \geq ۰$

f_i: هزینه ثابت برای خرده‌فروش محصول i ، $f_i \geq ۰$

θ_{is}: ضریب توزیع تعرفه دولت برای تأمین‌کننده محصول i (سبز یا غیرسبز)

θ_{im}: ضریب توزیع تعرفه دولت برای تولیدکننده محصول i (سبز یا غیرسبز)

θ_{ir}: ضریب توزیع تعرفه دولت برای خرده‌فروش محصول i (سبز یا غیرسبز)

e_i: تأثیر محیطی هر واحد محصول i، $e_i \geq ۰$

φ: فاکتور هزینه تخصیص یافته به آلودگی محیطی ایجاد شده توسط محصولات، $\varphi \geq ۰$

D: مینیمم مقدار تقاضای کل بازار، $\mathrm{D} \geq ۰$

L_{is}: حداقل سود قابل قبول برای تأمین‌کننده، $L_{is} \geq ۰$

L_{im}: حداقل سود قابل قبول برای تولیدکننده، $L_{im} \geq ۰$

L_{ir}: حداقل سود قابل قبول برای خرده‌فروش، $L_{ir} \geq ۰$

مدل پژوهش

در این مقاله محصولات سبز و غیرسبز می‌توانند جایگزین هم باشند، از این رو قیمت خرده‌فروشی محصول (سبز یا غیرسبز) تابعی از مقدار تولید هر دو محصول است (حافظ‌الکتب، ۲۰۱۸؛ بیسچی، چیارلا، کوپل و سیداروسکی، ۲۰۰۹ و بونمن، هاگسپیل و کورت، ۲۰۱۵) و با فرض اینکه مقادیر تولید همه زنجیره‌ها (سبز یا غیرسبز) یکسان هستند، رابطه ۱ به‌دست آمده است.

$$r_i\left(Q_i، Q_j\right) = a_i - b_i\left(Q_i + \lambda Q_j\right) \Rightarrow r_i = a_i - b_i\left(n_i q_i + \lambda n_j q_j\right). \quad \text{رابطه ۱)}$$
$$i \neq j = g، ng$$

توابع سود زنجیره تأمین

در این بخش، توابع سود هر یک از اعضای زنجیره تأمین به‌صورت نشان داده شده است. در این توابع فرض شده است که زنجیره تأمین i مطابق با ضریب توزیع تعرفه خود موظف است که به دولت جریمه بپردازد یا بر حسب سبز بودن محصول یارانه دریافت کند. مجموع ضرایب توزیع تعرفه هر زنجیره برابر با ۱ می‌شود. با توجه به اضافه‌شدن سطح سوم (خرده‌فروش) به مقاله، رابطه ۲ بیان‌کننده سود خرده‌فروش است، به‌گونه‌ای که:

سود خرده‌فروش= (قیمت فروش تولیدکننده محصول سبز یا غیرسبز ــ قیمت فروش خرده‌فروش محصول سبز یا غیرسبز) مقدار سفارش ــ تعرفه وارد شده از سوی دولت برای محصول ــ هزینه‌های تدارکات و توزیع محصول.

رابطه‌های ۳ و ۴ برگرفته از مقاله حافظ‌الکتب (۲۰۱۸) است و سود تولیدکننده و تأمین‌کننده را نشان می‌دهد، به‌گونه‌ای که:

سود تولیدکننده = (قیمت فروش تأمین‌کننده محصول سبز یا غیرسبز ـ قیمت فروش تولیدکننده محصول سبز یا غیرسبز) مقدار سفارش ــ تعرفه وارد شده از سوی دولت برای محصول ــ هزینه‌های تولید محصول

سود تأمین‌کننده= (قیمت فروش تأمین‌کننده محصول سبز یا غیرسبز ــ هزینه تمام شده محصول سبز یا غیرسبز) ــ تعرفه وارد شده از سوی دولت مربوط به محصول ــ هزینه‌های تدارکات محصول

$$\pi_{\boldsymbol{ri}} = (r_i - p_i)q_i + \theta_{ir} t_i q_i - c_i q_i - f_i \qquad i = g، ng \quad \text{رابطه ۲)}$$

$$\pi_{mi} = (p_i - w_i + \theta_{im} t_i)q_i - f'_i \qquad i = g، ng \quad \text{رابطه ۳)}$$

$$\pi_{si} = (w_i - c"_i + \theta_{is} t_i)q_i - f"_i \qquad i = g، ng \quad \text{رابطه ۴)}$$

در رقابت بین زنجیره تأمین سبز و غیرسبز تحت مداخله دولت، ابتدا خرده‌فروش برای بیشینه‌کردن تابع سود خود، با مشتق‌گیری از رابطه ۲ نسبت به مقدار سفارش و مساوی صفر قرار دادن آن، بهترین مقدار پاسخ خرده‌فروشان به ازای تعرفه وارد شده از سوی دولت به‌دست می‌آورد (رابطه ۵).

$$q_i^*(p، t) = \frac{A_i - 2b_j(p_i - \theta_{ir} t_i) + \lambda b_i(p_j - \theta_{jr} t_j)}{n_i E} \quad \text{رابطه ۵)}$$
$$q_i(p، t) > 0 \quad i \neq j = g، ng$$

$$A_i = 2b_j(a_i - c_i) - \lambda b_i(a_j - c_j)$$
$$E = (4 - \lambda^2) b_i b_j$$

پس از جای‌گذاری مقدار سفارش به‌دست آمده در تابع سود تولیدکننده، تولیدکننده برای بیشینه‌کردن سود خود، طبق رابطه ۶ قیمت عمده‌فروشی را بر اساس تعرفه دولت و قیمت فروش تأمین‌کننده اعلام می‌کند. در واقع از تابع سود

تولیدکننده نسبت به قیمت تولیدکننده مشتق گرفته می‌شود که بهترین استراتژی پاسخ تولیدکننده محصول i (سبز یا غیرسبز) با توجه به قیمت تأمین‌کننده و تعرفه دولت (جریمه، یارانه) است.

رابطه ۶)

$$p_i^*(w.t) = \frac{4\left[A_i - 2b_j(w_i + \theta_{ir}t_i - \theta_{im}t_i) + \lambda b_i\theta_{jr}t_j\right] - \lambda[2b_i\left(w_j + \theta_{jr}t_j - \theta_{jm}t_j\right) + A_j + \lambda b_j\theta_{ir}t_i}{b_j(16-\lambda^2)}$$

$$i \neq j = g, ng$$

اگر قیمت عمده‌فروش به‌دست آمده را در مقدار تولید محاسبه‌شده در رابطه ۵ جایگزین کنیم، می‌توانیم مقدار تولید را بر اساس قیمت تأمین‌کننده و تعرفه دولت که در رابطه ۷ نشان داده شده است، محاسبه کنیم.

رابطه ۷)

$$q_i^*(w.t) = \frac{\left\{\begin{matrix} 6\lambda\left[A_j + 2b_i\left(w_j + \theta_{jr}t_j - \theta_{jm}t_j\right) + \lambda b_j\theta_{ir}t_i\right] - F\left[A_i + 2b_j(w_i + \theta_{ir}t_i - \theta_{im}t_i) + \lambda i\theta_{jr}t_{ij}\right] \\ +(16-\lambda^2)\left[2\theta_{ir}t_i - \lambda\theta_{jr}t_j\right] \end{matrix}\right\}}{n_iE(16-\lambda^2)}$$

$$i \neq j = g,n$$

حال مقدار سفارش و قیمت عمده‌فروش به‌دست آمده را می‌توان در تابع سود تأمین‌کننده جایگزین کرد و با مشتق‌گیری آن نسبت به قیمت تأمین‌کننده، بهترین پاسخ تأمین‌کننده بر اساس تعرفه دولت تعیین می‌شود (رابطه ۸).

رابطه ۸)

$$w_i^*(t) = \frac{\begin{matrix} \frac{3\lambda}{F}(1-b_i)\left[A_j + 2b_i\left(\theta_{jr}t_j - \theta_{jm}t_j\right) + \lambda b_j\theta_{ir}t_i\right] - \left(\frac{18b_i\lambda^2}{F^2} - \frac{1}{2}\right) \\ \left[A_i + 2b_j(\theta_{ir}t_i - \theta_{im}t_i) + \lambda b_i i\theta_{jr}t_j\right] + \frac{(16-\lambda^2)}{F}\left[\frac{3b_i\lambda}{F}(2\theta_{ir}t_i - \lambda\theta_{ir}t_i) + \frac{1}{2}\right. \\ \left.(2\theta_{ir}t_i - \lambda\theta_{jr}t_j)\right] + \left[\frac{3b_i\lambda}{F}\left(2b_i(c"_j - \theta_{js}t_j)\right) + \frac{1}{2}(2b_j(c"_i - \theta_{is}t_i)\right] \end{matrix}}{1 - \frac{18b_i\lambda^2}{F^2}}$$

$$F = (8+\lambda^2)\text{ ، }i \neq j = g,ng$$

اکنون با استفاده از قیمت تأمین‌کننده محاسبه شده و جای‌گذاری آن، مقدار سفارش محصول i (سبزیا غیرسبز) $q_i^*(t)$، قیمت خرده‌فروشی $r^*{}_i(t)$ و قیمت عمده‌فروشی $p_i^*(t)$ ، برحسب تعرفه دولت به‌دست می‌آید.

توابع هدف دولت

در قسمت قبل، با توجه به بیشینه‌کردن سود اعضای زنجیره تأمین (سبز یا غیرسبز)، بهترین پاسخ آنها (مقدار تولید بهینه و قیمت‌ها) را محاسبه کردیم و در نهایت تمام قیمت‌ها (تأمین‌کننده، تولیدکننده و خرده‌فروش) و مقدار سفارش بر اساس تعرفه وارد شده از سوی دولت به‌دست آمد. در این قسمت اهداف دولت را برای تعیین استراتژی بهینه آن بیان می‌کنیم. دولت‌ها اغلب از ابزارهای مالی و غیرمالی برای کاهش آثار منفی محیطی محصولات استفاده می‌کنند. هزینه‌های محیطی[1] و هزینه‌های اقتصادی خالص دولت[2]، دو معیار مناسب برای ارزیابی سیاست‌های سبزینگی دولت به‌شمار

1. Environmental Cost(EC)
2. Government Net Expenditure(GNE)

می‌روند. در مقاله‌های متعددی نیز این معیارها مهم‌ترین اهداف دولت برای مداخله در بازار رقابتی زنجیره‌های تأمین سبز معرفی شده‌اند (شیو و چن، ۲۰۱۲؛ حافظ‌الکتب، ۲۰۱۵ و حافظ‌الکتب، ۲۰۱۷ب). هرچند با دو معیار مطرح‌شده بیشتر بر کاهش هزینه‌های محیطی و اقتصادی تمرکز می‌شود، دولت می‌تواند با در نظرگرفتن اهداف اجتماعی[1]، به‌دنبال افزایش رفاه شهروندان نیز باشد. همان‌طور که می‌دانیم محصولات سبز و غیرسبز آثار محیطی متفاوتی دارند. تأثیر محیطی هر واحد محصول i با e_i نشان داده می‌شود و هزینه‌های محیطی، کل هزینه‌های آلودگی محیطی ایجاد شده توسط تولید محصولات سبز و غیرسبز را اندازه می‌گیرند. رابطه ۹ کل هزینه‌های محیطی را نشان می‌دهد که در مقاله‌های متعددی از این معیار استفاده شده است (حافظ‌الکتب، ۲۰۱۸).

$$EC = \sum_{k=1}^{ng} \varphi e_g q_{g_k} + \sum_{k=1}^{n_{ng}} \varphi e_{ng} q_{ng_k} = n_g \varphi e_g q_g + n_{ng} \varphi e_{ng} q_{ng}$$ رابطه ۹)

یکی دیگر از اهداف دولت در نظر گرفتن هزینه‌های اقتصادی است (حافظ الکتب، ۲۰۱۸) که بر اساس خالص پرداختی دولت (تعرفه جریمه و یارانه) به زنجیره‌های تأمین سبز و غیرسبز محاسبه می‌شود. رابطه ۱۰ نحوه محاسبه این هزینه را بیان می‌کند.

$$GNE = \sum_{k=1}^{ng} t_g q_{g_k} + \sum_{k=1}^{n_{ng}} t_{ng} q_{ng_k} = n_g t_g q_g + n_{ng} t_{ng} q_{ng}$$ رابطه ۱۰)

رفاه و رضایت ایجاد شده از مصرف محصول در مشتریان نیز یکی دیگر از اهداف دولت است که باید بیشینه شود. مطابق تعریف کلاسیک اقتصادی، این شاخص از طریق تفاوت بین بالاترین قیمتی که مشتریان حاضرند برای آن محصول پرداخت کنند و قیمت واقعی محصول به‌دست می‌آید که در مدل‌های بازی اغلب مقاله‌ها با رابطه‌های مشابه مشاهده می‌شود (شی و چن، ۲۰۱۲؛ حافظ‌الکتب، ۲۰۱۷ الف و شیو، ۲۰۱۱).

از آنجا که در این مقاله قیمت نهایی محصول، تابع خطی از مقدار تولید آن است، این شاخص به کمک رابطه زیر محاسبه شده و در تابع هدف دولت لحاظ می‌شود (حافظ‌الکتب، ۲۰۱۵).

$$CS = \frac{1}{2}\left(\sum_{k=1}^{ng} q_{g_k} + \sum_{k=1}^{n_{ng}} q_{ng_k}\right)^2 = \frac{1}{2}\left(n_g q_g + n_{ng} q_{ng}\right)^2$$ رابطه ۱۱)

بنابراین دولت بر اساس اهداف بیان‌شده، به‌دنبال کاهش هزینه‌های محیطی و اقتصادی و افزایش رفاه مشتریان است. برای تعیین استراتژی بهینه دولت، مسئله همانند یک بازی چهار نفره با جمع غیرصفر و اطلاعات تمام، در نظر گرفته می‌شود. در واقع بر اساس بازی استکلبرگ بازیکنان به‌طور متوالی از بالاترین سطح قدرت (دولت) به سمت پایین‌ترین سطح (خرده‌فروش)، استراتژی بهینه خود را انتخاب می‌کنند (لی و شین، ۲۰۰۱). دولت با توجه به نقش رهبری در بازار رقابتی، به‌عنوان رهبر استکلبرگ در نخستین سطح تصمیم‌گیری قرار گرفته (تابع هدف) و تأمین‌کننده‌ها، تولیدکنندگان و خرده‌فروشان به‌عنوان پیرو استکلبرگ، در سطح تصمیم‌گیری دوم، سوم و چهارم محدودیت‌ها قرار می‌گیرند (شرالی، سویستر و مورفی، ۱۹۸۳).

1. Consumer Surplus(CS)

$$Min\ Z1(t) = GNE(t)$$ رابطه ۱۲)

$$Min\ Z2(t) = EC(t)$$ رابطه ۱۳)

$$Max\ Z3(t) = CS(t)$$ رابطه ۱۴)

S.t:

$$\pi_{s_i} \gg L_{si}\ .\quad i = (g‘ng)$$ رابطه ۱۵)

$$\pi_{m_i} \gg L_{mi}\ .\quad i = (g‘ng)$$ رابطه ۱۶)

$$\pi_{r_i} \gg L_{ri}\ .\quad i = (g‘ng)$$ رابطه ۱۷)

$$Q_g + Q_{ng} \gg D$$ رابطه ۱۸)

$$Max\ \pi_{s_g}$$ رابطه ۱۹)

$$Max\ \pi_{s_{ng}}$$ رابطه ۲۰)

S.t:

$$Max\ \pi_{m_g}$$ رابطه ۲۱)

$$Max\ \pi_{m_{ng}}$$ رابطه ۲۲)

S.t:

$$Max\ \pi_{r_g}$$ رابطه ۲۳)

$$Max\ \pi_{r_{ng}}$$ رابطه ۲۴)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

در این مدل، رابطه‌های ۱۲ تا ۱۴ توابع هدف دولت هستند. نامعادله‌های ۱۵ تا ۱۷ کسب حداقل سود قابل قبول برای هریک از اعضای زنجیره تأمین را تضمین می‌کنند. محدودیت ۱۸ بیان می‌کند که کل تقاضای بازار باید ارضا شود. از آنجا که اعضای زنجیره، هر یک به‌دنبال کسب بیشترین سود هستند، محدودیت‌های ۱۹ تا ۲۴ در سطح‌های دوم، سوم و چهارم، ماکزیمم سود اعضای زنجیره را در نظر می‌گیرند.

برای سهولت محاسبه، مطابق با روش انتقال بیان‌شده در مقاله لی و شین (۲۰۰۱) یک مسئله برنامه‌ریزی چند سطحی می‌تواند با در نظر گرفتن مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم مسائل سطوح پایین‌تر، به‌عنوان شرایطی برای مسئله سطح بالاتر، به مسئله برنامه‌ریزی یک سطحی تبدیل شود. بنابراین، با توجه به استراتژی‌های بهینه خرده‌فروش، تولیدکننده و تأمین‌کننده که در قسمت قبل محاسبه شد، مسئله برنامه‌ریزی ۱۵ تا ۲۴ می‌تواند به مسئله بهینه‌سازی یک سطحی تبدیل شود که در شکل ۲ نشان داده شده است.

$$Min\ Z1(t) = GNE(t)$$
$$Min\ Z2(t) = EC(t)$$
$$Max\ Z3(t) = CS(t)$$

S.t:

$$\pi_{s_g} \gg L_{sg}\ .$$
$$\pi_{s_{ng}} \gg L_{sng}\ .$$
$$\pi_{m_g} \gg L_{mg}\ .$$
$$\pi_{m_{ng}} \gg L_{mng}\ .$$
$$\pi_{r_g} \gg L_{rg}\ .$$
$$\pi_{r_{ng}} \gg L_{rng}\ .$$
$$n_g q_g + n_{ng} q_{ng} \gg D.$$

شکل ۲. مدل برنامه‌ریزی یک سطحی دولت

با توجه به اهداف متفاوت دولت، مدل یک مسئله چند هدفه است که با استفاده از روش ال پی متریک طبق رابطه ۲۵ به یک مسئله تک‌هدفه تبدیل می‌شود تا انحراف نسبی کل توابع هدف از نقاط ایده‌آل شدنی آنها کمینه شود (فیگریا، گرکو و ارگات، ۲۰۰۵).

رابطه ۲۵)
$$Min\ z = \left[\theta_1\left(\frac{\overline{GNE}-GNE}{\overline{GNE}-\underline{GNE}}\right)^n + \theta_2\left(\frac{\overline{EC}-EC}{\overline{EC}-\underline{EC}}\right)^n + \theta_3\left(\frac{\overline{CS}-CS}{\overline{CS}-\underline{CS}}\right)^n\right]$$

در این رابطه مقادیر ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی با توجه به محدودیت‌های مسئله (شکل ۲) و در نظر گرفتن هر یک از توابع به‌عنوان تنها تابع هدف، به‌صورت کمینه و بیشینه به‌دست می‌آیند. شایان ذکر است که θ_i وزن یا اهمیت هر یک از اهداف برای دولت ($\sum_i \theta i = ۱$) و n یک پارامتر است که چون تابع مد نظر غیر خطی است، برای سادگی n در اینجا ۱ در نظر گرفته می‌شود (فیگریا و همکاران، ۲۰۰۵).

یافته‌های پژوهش

در این بخش برای حل مسئله و تشریح مدل، مثال عددی آورده شده است. فرض کنید ۲۰ زنجیره تأمین سبز و ۱۰۰ زنجیره تأمین غیرسبز یک محصول جایگزین تولید می‌کنند. هزینه متغیر تأمین‌کننده سبز ۳۰ واحد پولی به ازای هر واحد محصول و هزینه متغیر تأمین‌کننده غیرسبز ۱۵ واحد پولی به ازای هر واحد محصول است. هزینه متغیر خرده‌فروش سبز ۷۰ واحد پولی به ازای هر واحد محصول و هزینه متغیر خرده‌فروش غیرسبز ۳۵ واحد پولی به ازای هر واحد محصول است. فرض می‌شود که قیمت خرده‌فروش (سبز یا غیرسبز) تحت تأثیر مقدار تولید بوده و ضریب حساسیت آن نسبت به مقدار تولید ۰/۰۰۰۲ است. دولت به‌منظور کاهش آلودگی زیست‌محیطی حاصل از تولید این محصولات، کاهش هزینه‌های اقتصادی خود و افزایش رضایت مشتریان، تعرفه‌هایی به‌صورت جریمه و یارانه برای زنجیره‌های تأمین محصولات سبز و غیرسبز وضع می‌کند که ضریب توزیع آن بین اعضای زنجیره، برای تأمین‌کننده‌ها ۰/۴و برای تولیدکننده‌ها و خرده‌فروش‌ها

۰/۳است. تأثیر محیطی هر واحد محصول سبز برابر ۱۴ (تن کربن) و برای هر واحد محصول غیرسبز ۳۶ (تن کربن) در نظر گرفته شده است. فاکتور هزینه تخصیص‌یافته به آلودگی محیطی ایجاد شده توسط محصولات ۰/۰۳۷ است، حداقل سود و هزینه‌های ثابت برای تمام اعضای زنجیره تأمین، صفر در نظر گرفته شده است.

مدل با استفاده از نرم‌افزار GAMS win32 24.1.2 روی سیستم Intel core 13-5005u, 2GHZ حل شد و زمان محاسبه ۳ ثانیه طول کشید. در جدول ۱ با در نظر گرفتن هر یک از اهداف دولت به‌طور جداگانه به‌عنوان تنها تابع هدف مدل (شکل ۳)، مقادیر بهینه مینیمم‌سازی، ماکزیمم‌سازی و تعرفه‌های وضع شده بهینه از سوی دولت برای هر زنجیره محاسبه شده است. هنگام تصمیم‌گیری برای تعیین مقدار تعرفه‌ها، دولت باید بهترین پاسخ‌های زنجیره تأمین سبز و غیر سبز را که همان قیمت‌های بهینه اعضای آن و مقدار تولید است، در نظر داشته باشد. جدول ۲ اهمیت هر سه هدف دولت با وزن‌دهی را نشان می‌دهد که به‌طور مثال چهار حالت به ازای مقادیر مختلف اهمیت توابع هدف در نظر گرفته شده است. فرض می‌شود در حالت اول، دولت فقط بر کاهش هزینه‌های اقتصادی تمرکز می‌کند، در حالت دوم فقط کاهش هزینه‌های محیطی اهمیت دارد، در حالت سوم فقط افزایش رفاه و رضایت مشتریان مهم است و در آخرین حالت هرسه هدف برای دولت از اهمیت یکسانی برخوردارند.

جدول ۱. مقادیر بهینه توابع هدف دولت و تعرفه‌ها (سبز و غیرسبز)

	GNE		EC		CS	
	Maximization	Minimization	Maximization	Minimization	Maximization	Minimization
	۲۷۲	−۴۲۴/۱۱	۸۴/۰۹	۶۰/۶۳	۱۷۵/۲۳	۱۳۵/۳۵
	۲/۸۸	۳/۹۱	۴/۹۵	۳/۹۸	۲/۵۹	۷/۹۷
	−۷/۱۳	−۵/۴۶	−۸/۲۵	−۷/۱۸	−۴/۱۲	−۳/۲۱

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول ۲. حالت‌های مختلف اهمیت توابع هدف دولت

سناریو	تعریف سناریو	θ_1	θ_2	θ_3
۱	کاهش هزینه‌های اقتصادی	۱	۰	۰
۲	کاهش هزینه‌های محیطی	۰	۱	۰
۳	افزایش رفاه و رضایت مشتریان	۰	۰	۱
۴	اهمیت یکسان هر سه تابع هدف	۱/۳	۱/۳	۱/۳

در جدول‌های ۳ و ۴ مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم و توابع سود اعضای زنجیره تأمین با توجه به چهار حالت بیان‌شده محاسبه شده است.

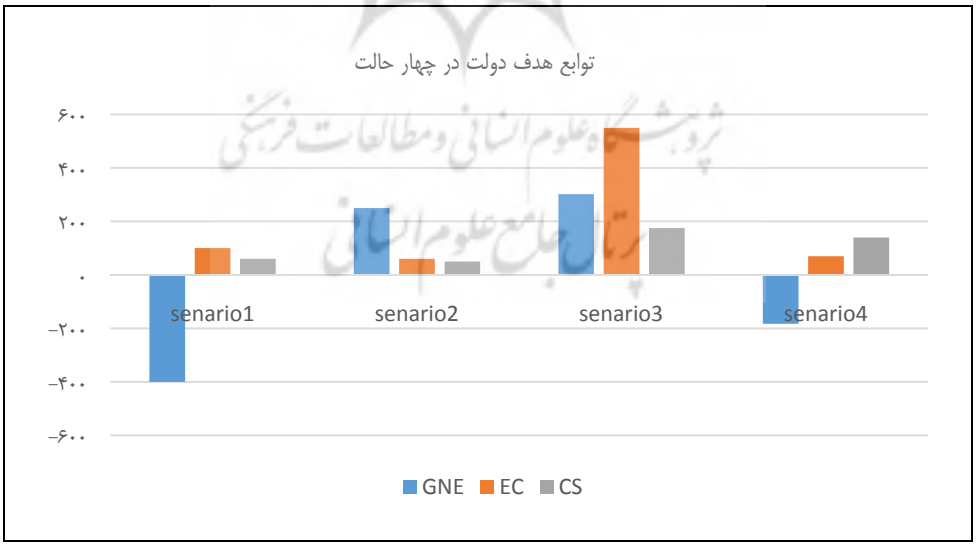
جدول۳. جواب‌های بهینه در حالت‌های مختلف

سناریو	t_g	t_{ng}	q_g	q_{ng}	r_g	r_{ng}	w_g	w_{ng}	p_g	p_{ng}
۱	۳/ ۹۱	−۵/ ۴۶	۱۳۱۶ /۹۲	۳۹۶/۱۵	۱۲۹/۱۶	۷۸/۱۸	۳۶/۴۶	۲۱/۱۰	۵۴/۳۲	۴۰/۱۷
۲	۳/۹۸	−۷/۱۸	۱۳۵۴/۳	۳۶۱/۹۴	۱۳۶/۱۵	۷۷/۱۱	۳۷/۲۲	۲۰/۶۵	۵۶/۴۹	۳۹/۲۱
۳	۲/۵۹	−۴/۱۲	۱۲۰۲/۷	۳۹۸/۵۸	۱۲۸/۱۲	۷۸/۲۳	۳۵/۰۹	۲۱/۳۲	۵۲/۹۹	۴۱/۰۱
۴	۹/۰۳	−۱۰/۲۸	۱۴۴۱/۲۶	۱۹۴/۳۳	۱۶۰/۱۵	۷۶/۹۶	۳۸/۱۳	۲۰/۱۱	۵۷/۲۸	۳۸/۸۹

جدول ٤. توابع سود بهینه در حالت‌های مختلف

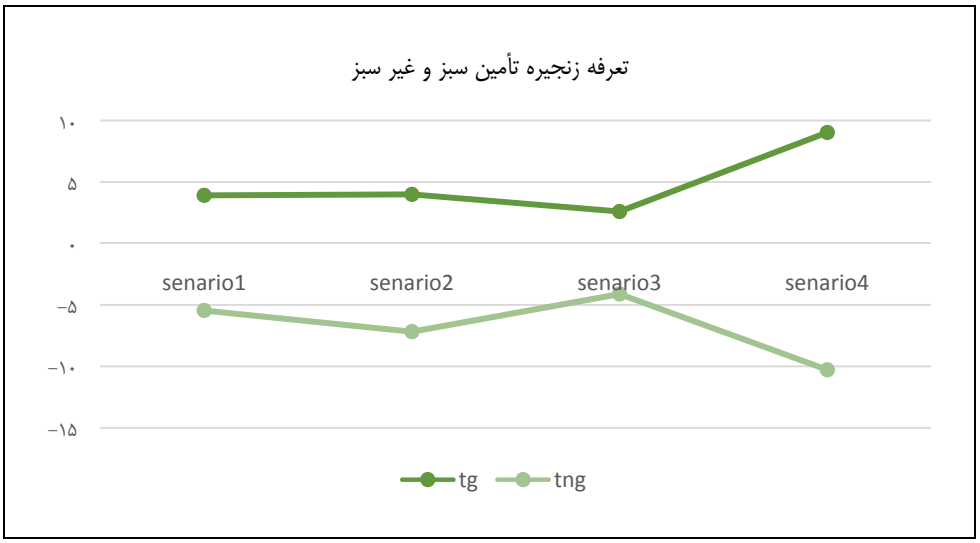
سناریو	π_{r_g}	$\pi_{r_{ng}}$	π_{m_g}	$\pi_{m_{ng}}$	π_{s_g}	$\pi_{s_{ng}}$	π_{T_g}	$\pi_{T_{ng}}$
۱	۷۹۱۹	۴۶۰۳/۱۷	۲۵۰۶۵	۵۱۶۲/۵	۱۰۵۶۶	۵۱۵۷	۴۳۵۴۸	۱۴۹۲۲/۶۷
۲	۱۱۰۵۱	۳۵۷۱	۲۵۱۸۱	۴۹۳۷	۱۰۸۶۳	۴۷۸۸	۴۷۰۹۵	۱۳۲۹۶
۳	۶۸۹۲	۵۹۹۲	۲۰۰۴۰	۶۶۸۷	۹۲۰۱	۶۷۱۷	۳۶۱۳۳	۱۹۳۹۶
۴	۱۲۸۲۷	۳۴۴۱	۲۵۹۵۹	۴۳۹۰	۱۱۹۶۸	۴۶۹۰	۵۰۷۵۴	۱۲۵۲۱

شکل ۳ نمودار مقادیر بهینه توابع هدف در چهار حالت بیان‌شده در جدول ۲ را نمایش می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، بیشترین توازن به‌وجود آمده بین اهداف دولت، در حالت چهارم است.

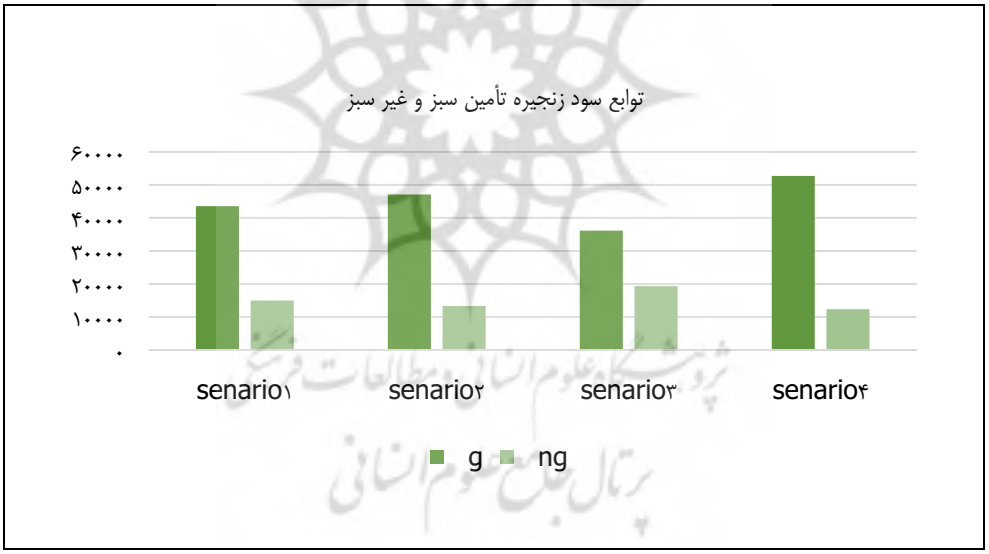


شکل ۳. نمودار تابع هدف در حالت‌های مختلف

در شکل ۴ تعرفه‌های وضع شده از سوی دولت و در شکل ۵ مقدار سود زنجیره تأمین سبز و غیرسبز برای حالت‌های مختلف میزان اهمیت دولت نسبت به اهدافش (مندرج در جدول ۲) نشان داده شده است.



شکل ٤. تعرفه زنجیره تأمین سبز و غیرسبز در حالت‌های مختلف



شکل ٥. نمودار تابع سود زنجیره تأمین سبز و غیرسبز در حالت‌های مختلف

نتایج به‌دست آمده حاکی از آن است که دولت می‌تواند با توجه به اهمیت نسبی که برای هر یک از اهداف خود در مدل در نظر می‌گیرد، بهترین مقادیر تعرفه را برای زنجیره تأمین سبز و غیرسبز به‌دست آورد. هزینه‌های خالص اقتصادی دولت، هزینه‌های محیطی و شاخص رفاه مشتریان، می‌توانند عملکرد دولت را تحت تأثیر قرار دهند؛ به این معنا که هرگاه دولت روی یکی از اهداف خود تمرکز کند، ممکن است برای سایر اهداف وضعیت بدتری ایجاد شود. برای مثال، همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، هر گاه دولت اهمیت یکسانی برای کاهش هزینه‌های اقتصادی، محیطی و افزایش رفاه مشتریان در نظر گیرد (حالت چهارم) لازم است تعرفه بیشتری به‌منزله یارانه به زنجیره تأمین سبز بپردازد

و از سوی دیگر، جریمه بیشتری نیز از زنجیره تأمین غیرسبز دریافت کند. در این حالت، مطابق شکل ۵ بر میزان سود کلی زنجیره تأمین سبز افزوده می‌شود، در حالی که سود زنجیره تأمین غیرسبز کاهش می‌یابد. حال اگر دولت فقط بر افزایش رفاه مشتریان تمرکز کند، تعرفه کمتری به‌منزله یارانه می‌پردازد و همچنین تعرفه کمتری به‌منزله جریمه دریافت می‌کند. در این حالت سود زنجیره تأمین سبز کاهش یافته، اما سود زنجیره تأمین غیرسبز افزایش می‌یابد. دولت می‌تواند با انجام تحلیل حساسیت روی اهمیت یا وزن اهداف خود (اقتصادی، محیطی و مشتریان) و با رعایت این محدودیت که اعضای زنجیره به بیشترین سود ممکن خود دست یابند، مناسب‌ترین تعرفه‌ها را برای زنجیره‌های تأمین سبز و غیرسبز، محاسبه کند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله، زنجیره‌های تأمین سبز و غیرسبزی که تولیدکنندگان تنها یک محصول جایگزین را برای هر یک تولید کرده‌اند، همراه با نقش کلیدی دولت در مسائل زیست‌محیطی بررسی شد. هر یک از زنجیره‌ها سه سطح تأمین‌کننده، تولیدکننده و خرده‌فروش را دربردارند. با توجه به نقش رهبری دولت، مسئله به شکل بازی استکلبرگ، مدل شد و سایر اعضای زنجیره نیز پیرو در نظر گرفته شدند. در هر زنجیره، مقدار سفارش و قیمت محصولات (سبز یا غیرسبز) برای خرده‌فروشان، تولیدکنندگان و تأمین‌کنندگان، مطابق با بیشینه‌کردن سود هر یک بر اساس تعرفه وضع شده از سوی دولت که شامل جریمه برای زنجیره تأمین غیرسبز و یارانه برای زنجیره تأمین سبز است، تعیین شد. دولت نیز بر اساس بهترین پاسخ هر یک از اعضای زنجیره و در نظرگرفتن اهداف متضاد خود (کاهش هزینه‌های اقتصادی و محیطی، افزایش رفاه مشتریان) در غالب یک برنامه‌ریزی چندهدفه با محدودیت‌های چند سطحی که شامل بیشینه‌شدن سود خرده‌فروشان، تولیدکنندگان و تأمین‌کنندگان است، بهترین استراتژی خود را (میزان تعرفه وارد شده به هر زنجیره) تعیین کرد. برای درک بهتر مدل، مثال عددی و تحلیل حساسیت برای هر یک از توابع هدف دولت (شامل کاهش هزینه‌های اقتصادی و محیطی و افزایش رفاه مشتریان) انجام گرفت و تأثیر آنها بر میزان تعرفه‌ها و سود زنجیره‌های تأمین بررسی شد. نتایج نشان داد بهترین توازن بین کاهش هزینه‌های اقتصادی و محیطی و افزایش رفاه مشتریان، هنگامی به‌دست می‌آید که دولت برای همه آنها اهمیت یکسانی قائل شود؛ به این معنا که تا حد ممکن می‌تواند هر سه هدف خود را برآورده سازد.

در پایان، پیشنهادهایی برای پژوهشگران آینده ارائه می‌شود. زنجیره‌های سبز و غیرسبز ناهمگن فرض شوند، به‌طوری که بتوانند محصولات جایگزین‌ناپذیری تولید کنند و تأثیرات مداخله دولت بر آنها بررسی شود. همچنین می‌توان عدم قطعیت در میزان سفارش و تعرفه دولتی را در موقعیت‌هایی مانند اعمال تحریم‌ها و تغییر شرایط واردات و صادرات در نظر گرفت؛ به‌طوری که نوع بازی از حالت اطلاعات کامل به اطلاعات ناقص تغییر کند. در نظر گرفتن قیمت‌گذاری پویا و تبلیغات برای محصول سبز نیز می‌تواند پیشنهاد دیگری برای پژوهشگران بعدی باشد.

منابع

سینایی، محمدرضا؛ راستی برزکی، مرتضی (۱۳۹۷). سیاست‌های قیمت گذاری و سبز بودن در زنجیره تأمین محصولات سبز و غیر سبز با مداخله دولت: رویکرد نظریه بازی. *نشریه مهندسی صنایع و* مدیریت. DOI: 10.24200/J65.2018.20083

علامه، غزاله؛ اسمعیلی، مریم؛ تجویدی، ترانه (۱۳۹۳). توسعه چندین مدل قیمت‌گذاری در زنجیره تأمین سبز تحت ریسک با رویکرد نظریه بازی‌ها. *فصلنامه مدیریت صنعتی*، ۶(۴)،۷۶۷-۷۸۹.

References

Allameh, Gh., Esmaili, M., Tajvidi, T. (2014). The development of several pricing models in the green supply chain under the risk with game theory. *Industrial Management Quarterly*, 6(4), 767-789. (*in Persian*)

Azznone, G., & Noci, G. (1996). Measuring the environmental performance of new products: an integrated approach. *International Journal of Production Research*, 34(11), 3055-3078.

Barari, S., Agarwal, G., Zhang, W.C., Mahanty, B., & Tiwari, M. (2012). A decision framework for the analysis of green supply chain contracts: An evolutionary game approach. *Journal of expert systems with applications*, 39(3), 2965-2976.

Bischi, G.I., Chiarella, C., Kopel, M., Szidarovszky, F. (2009). Nonlinear Oligopolies: Stability and Bifurcations. *Business and Economics*, Springer.

Boonman, H.J., Hagspiel, V., Kort, P.M. (2015). Dedicated vs product flexible production technology: strategic capacity investment choice. *Journal of operation and research*, 244(1), 141-152.

Chen, X., & Hao, G. (2015). Sustainable pricing and production policies for two competing firms with carbon emissions tax. *International Journal of Production Research*, 53(21), 6408-6420.

Esmaili, M., Allameh, Gh., Tajvidi, T. (2015). Using game theory for analyzing pricing models in closed-loop supply chain from short- and long- term prespective. *International Journal of Production Research*, 54(7),2152-2169.

Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M. (2005). *Multiple Criteria Decision Analysis. State of the Art Surveys*. Springer-Verlag New York.

Hafezolkotob, A. (2018). Direct and indirect intervention schemas of government in the competition between green and non green supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 70, 753-772.

Hafezalkotob, A. (2015). Competition of two green and regular supply chains under environmental protection and revenue seeking policies of government. *Computer Industrial Engineering*, 82, 103-114.

Hafezalkotob, A. (2017b). Competition of domestic manufacturer and foreign supplier under sustainable development objectives of government. *Mathematics and Computation*, 292, 294-308.

Hafezalkotob, A. (2017a). Competition, cooperation, and coopetition of green supply chains under regulations on energy saving levels. *Transportation research Part E logist*, 97, 228-250.

Hua, G., Wang, S., Cheng, T.C.E. (2010). Price and lead time decisions in dual-channel supply chains. *European Journal of Operational Research*, 205(1), 113–126.

Jamali, M., & Rasti, 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.

Lee, C.H., Rhee, B.D. (2007). Channel coordination using product returns for a supply chain with stochastic salvage capacity. *European Journal of Operational Research*, 177(1), 214–238.

Lee, E.S., Shih, H.S. (2001). *Fuzzy and Multi-level Decision Making: an Interactive Computational Approach*. Advanced Manufacturing Series, Springer.

Lu, Z., & Shao, S. (2016). Impacts of government subsidies on pricing and performance level choice in Energy Performance Contracting: A two-step optimal decision model. *Applied Energy*, 184, 1176-1183.

Li, B., Zhu, M., Jiang, Y., & Li, Z. (2016). Pricing policies of a competitive dual-channel green supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 112 (3), 2029-2042.

Madani, R., Rasti-Barzoki, M. (2017). Sustainable supply chain management with pricing, greening and governmental tariffs determining strategies: A game-theoretic approach. *Journal of Computers & Industrial Engineering*, 105, 287–298.

New, S., Green, K., & Morton, B. (2002). An analysis of private versus public sector responses to the environmental challenges of the supply chain. *Journal of Public Procurement*,2 (1), 93-99.

Shaw, K., Irfan, M., Shankar, R., & Yadav, S.S. (2016). Low carbon chance constrained supply chain network design problem: a Benders decomposition based approach. *Computers & Industrial Engineering*, 98(c), 483-497.

Sherali, H.D., Soyster, A.L., Murphy, F.H. (1983). Stackelberg-nash-cournot equilibria: characterizations and computations. *Operational research*, 31(2), 253-276.

Sheu, J., Chen, Y.J. (2012). Impact of government financial intervention on competition among green supply chains. *International Journal of Production Economics*, 138(1), 201-213.

Sheu, J. (2011). Bargaining framework for competitive green supply chains under governmental financial intervention. *Transportation research Part E logist*, 47(5), 573-592.

Sinai, M., & Rasti, M. (2018). Pricing and greening policies in the supply chain of green and non-green products with government intervention: The game theory approach. *Journal of Industrial Engineering and Management*, DOI: 10.24200/J65.2018.20083. (*in Persian*)

Taylor, S.R. (1992). Green management: the next competitive weapon. *Journal of Futures*, 24(7), 669-680.

Wu, D.D. (2013). Bargaining in supply chain with price and promotional effort dependent demand. *Mathematical and Computer Modelling*, 58(9-10), 1659–1669.

Xu, L., Mathiyazhagan, K., Govindan, K., Noorul Haq, A., Ramachandran, N.V. and Ashokkumar, A. (2013). Multiple comparative studies of Green Supply Chain Management: Pressures analysis. *Journal of Resources, Conservation and Recycling*, 78, 26-35.

Yao, D.Q., Liu, J.J. (2005). Competitive pricing of mixed retail and e-tail distribution channels. *Omega*, 33(3), 235–247.

Zhang, CH., Liu, L. (2013). Research on coordination mechanism in three-level green supply chain under non-cooperative game. *Applied Mathematical Modelling*, 37(5) 3369–3379.

Zhao, R., Neighbour, G., Han J., McGuire, M., & Deutz P. (2012). Using game theory to describe strategy selection for environmental risk and carbon emissions reduction in the green supply chain. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 25(6), 927-936.

Zhou, Y. (2018). The role of green customers under competition: A mixed blessing? *Journal of Cleaner Production*, 170, 857-866.

Zhu, Q. H. & Dou, Y.J. (2007). Evolutionary Game Model between Governments and Core Enterprises in Greening Supply Chains. *Systems Engineering - Theory & Practice*, 27(12), 85-89.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی