

هماهنگی تصمیمات کیفیت زیست‌محیطی و کیفیت عملکردی محصولات در زنجیره تأمین سبز دوسطحی

جعفر حیدری*، امیر معاریان**، علی بزرگی امیری***

چکیده

هدف پژوهش حاضر، بهینه‌سازی تصمیمات مرتبط با کیفیت زیست‌محیطی و عملکردی در کنار تصمیمات قیمت‌گذاری و بازاریابی در یک زنجیره تأمین سبز دوسطحی است. در این پژوهش، هماهنگی در زنجیره تأمین سبز در حالی که تقاضا متأثر از چهار عامل ۱. قیمت، ۲. تبلیغات/بازاریابی، ۳. کیفیت عملکردی و ۴. کیفیت زیست‌محیطی محصول است، تحت شرایط وجود آگاهی زیست‌محیطی مصرف‌کنندگان بررسی می‌شود. در این زنجیره تأمین، خرده‌فروش در مورد قیمت و تبلیغات تصمیم‌گیری می‌کند و تولیدکننده در مورد کیفیت عملکردی و کیفیت زیست‌محیطی محصول تصمیم می‌گیرد. در مرحله نخست، زنجیره تأمین تحت سناریوی تصمیم‌گیری مستقل اعضا (مدل تصمیم‌گیری غیرمتمرکز) مدل‌سازی می‌شود و در مرحله بعد، مقدار بهینه متغیرهای تصمیم با فرض اینکه کل زنجیره تأمین تحت مدیریت واحد است (مدل تصمیم‌گیری متمرکز)، بهینه‌سازی شده و در نهایت یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی به منظور مشارکت اعضای زنجیره تأمین غیرمتمرکز ارائه شده و مقدار بهینه متغیرهای تصمیم محاسبه می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که مدل مشارکتی پیشنهادی سودآوری بیشتر زنجیره تأمین نسبت به حالت غیرمتمرکز را در پی داشته است و موجب حصول یک بهبود پارتو در زنجیره تأمین شده است؛ همچنین اعضای زنجیره در حالت مشارکتی سطح بالاتری از اقدامات زیست‌محیطی را نسبت به حالت غیرمتمرکز از خود نشان می‌دهند.

کلیدواژه‌ها: زنجیره تأمین سبز؛ هماهنگی؛ سطح آگاهی زیست‌محیطی؛ قیمت‌گذاری؛
تصمیم‌گیری مشارکتی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۰/۰۴، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۱۰.

* دانشیار، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول).

Email: J.Heydari@ut.ac.ir

** کارشناسی ارشد، پردیس البرز، دانشگاه تهران.

*** استادیار، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

ظهور مفهوم آگاهی زیست‌محیطی مصرف‌کننده نشان از تغییر در رفتار مشتریان مدرن دارد [۴۴] که این تغییر رفتار، بازنگری در نحوه مدیریت زنجیره‌های تأمین را گریزناپذیر ساخته است. بر اساس گزارش آگاهی مشتریان^۱ (BBMG) حدود ۵۱ درصد از مشتریان آمریکایی تمایل به پرداخت مبالغ بیشتری در ازای خرید محصولات با سطح کیفیت بالای زیست‌محیطی دارند [۵]. همچنین گزارش کار گروه^۲ (OECD) نشان داد که ۲۷ درصد از مشتریان این کشورها را به دلیل تمایل بسیار زیاد در خصوص خرید محصولات سبز و فعالیت‌های زیست‌محیطی آنان، می‌توان «مشتریان سبز» نامید [۲۷]. بر پایه مطالعات صورت‌گرفته در سال ۲۰۰۸ توسط اتحادیه اروپا، حدود ۷۵ درصد از اروپاییان تمایل به خرید محصولات سبز دارند؛ درحالی‌که این مقدار در سال ۲۰۰۵ برابر با ۳۱ درصد بود [۷]؛ بنابراین این تغییر در نحوه نگرش مشتریان موجب شده است که زنجیره‌های تأمین نیازمند بازنگری در استراتژی‌های تولید و بازاریابی خود و ارائه محصولات سبزتر به مشتریان باشند. محصولات سبز در مقایسه با محصولات معمول موجود در بازار منافع زیست‌محیطی بیشتری (یا به‌طور مشابه، مضرات زیست‌محیطی کمتری) را به بار می‌آورد [۲۵] و این در حالی است که قیمت این محصولات در مقایسه با نمونه‌های مشابه معمول بالاتر است. درواقع به‌دلیل پذیرش مسئولیت اجتماعی^۳ و افزایش رقابت‌پذیری محصول در بازار، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و خرده‌فروشان مجبور به تحمل هزینه بیشتری در خصوص تولید محصولات سبز و پذیرش حاشیه سود کمتر خواهند بود. فشارهای وارده از سمت بازار و گاه از سمت دولت‌ها، زنجیره‌های تأمین را به سمت اجرای الگوی زنجیره تأمین سبز سوق داده است. تصمیمات اتخاذشده در یک زنجیره تأمین سبز ابعاد گوناگونی دارد. عناصر مختلفی از قبیل کارایی زیست‌محیطی و تجاری و تمایلات بعضاً متضاد اعضای زنجیره، نیازمند درک جامعی از شرایط حاکم بر زنجیره است [۱۱، ۳۷، ۳۸].

انگیزه اصلی انجام این پژوهش بر گرفته از اقدامات و تصمیمات زیست‌محیطی شرکت‌های بزرگ در جهت کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی و نیاز مبرم به بهینه‌سازی این اقدامات و تصمیمات در راستای سودآوری بیشتر زنجیره تأمین است [۳۰]. برای نمونه، «شرکت تولید پوشاک پاتاگونیای»^۴ در سال‌های اخیر اقدام به تولید پوشاک سبز کرده است [۱۰]. برند معروف «آدیداس» نیز اثرات زیست‌محیطی حاصل از تولید محصولات خود را از طریق سبز کردن محصولات تولیدی از نظر مواد اولیه، تولید و مواد به‌کاررفته در بسته‌بندی محصولات، کاهش

1. Bemporad Baranowski Marketing Group
 2. Organisation for Economic Co-operation and Development
 3. Social Responsibilities
 4. Patagonia

داده است [۹]. علاوه بر صنایع تولیدی، خرده‌فروش بزرگ «وال مارت»^۱ نیز توجه خود را به ارائه محصولات سبز معطوف کرده است. در سال ۲۰۰۵ مدیر عامل «وال مارت»، سه هدف بلندپروازانه را برای شرکت در نظر گرفت که یکی از آنها فروش محصولات بود که منابع زیست‌محیطی را حفظ کند [۲۹]. در کشورهایی با اقتصاد درحال‌ظهور، مثل هند، «شرکت کوکا کولا» با بازیافت‌کنندگان ثالثی که وظیفه بررسی و بازیافت بطری‌های خالی نوشابه را دارند در ارتباط است. این شرکت به‌صورت ابتکاری شبکه‌ای را برای جمع‌آوری بطری‌های خالی، سازماندهی کرده و انگیزه آنان را از طریق پرداخت‌های مالی، تأمین می‌کند [۳۶]. موارد ذکرشده همگی نمونه‌هایی واقعی از تمایلات زنجیره‌های تأمین مدرن به حرکت به سمت بهبود کیفیت زیست‌محیطی محصولات خود در کنار حفظ و ارتقای کیفیت عملکردی محصولات است که انگیزه اصلی برای انجام پژوهش حاضر به‌شمار می‌روند.

با توجه مطالب بیان‌شده، این پژوهش به‌دنبال بررسی نحوه اثرگذاری تصمیم‌گیری مشارکتی به‌عنوان سازوکار هماهنگی بر تصمیمات کلیدی اتخاذشده در یک زنجیره‌تأمین سبز دوسطحی است. به این منظور در این پژوهش، تصمیمات یک زنجیره تأمین مشتمل بر یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش به‌صورت ریاضی مدلسازی شده و تصمیمات بهینه هر دو عضو زنجیره تأمین استخراج می‌شود. درنهایت یک مدل تصمیم‌گیری مشارکتی ارائه می‌شود که بر اساس آن اعضا به‌واسطه بهینه‌سازی همزمان تصمیمات خود می‌توانند به‌طور منصفانه از عواید حاصل از بهینه‌سازی تصمیمات زنجیره تأمین بهره‌مند شوند. در این مسئله، پنج عامل تأثیرگذار بر تابع تقاضای مشتریان در نظر گرفته‌شده‌اند که عبارت‌اند از: سطح کیفیت محصول سبز؛ سطح اقدامات زیست‌محیطی زنجیره به‌منظور سبز کردن محصول؛ سطح آگاهی زیست‌محیطی مصرف‌کنندگان؛ سطح تلاش‌های بازاریابی / تبلیغاتی و درنهایت قیمت خرده‌فروشی محصول سبز برای ارائه به بازار مصرف. در زنجیره تأمین موردبررسی، تصمیمات مرتبط با کیفیت محصول و اقدامات زیست‌محیطی توسط تولیدکننده اتخاذ شده و تصمیمات مرتبط با بازاریابی محصول سبز و قیمت‌گذاری آن توسط خرده‌فروش اتخاذ می‌شود.

در پژوهش‌های پیشین در این حوزه، اگرچه تصمیمات مرتبط با اقدامات زیست‌محیطی یا تصمیمات مرتبط با تلاش‌های بازاریابی را می‌توان یافت، ولی هیچ‌یک از پژوهش‌های گذشته به‌طور هم‌زمان بهینه‌سازی چهار دسته تصمیم (تصمیمات مرتبط با کیفیت محصول، تصمیمات مرتبط با اقدامات زیست‌محیطی، تصمیمات بازاریابی، تصمیمات قیمت‌گذاری) را در نظر نگرفته‌اند و این در حالی است که این تصمیمات به‌عنوان پیشران‌های یک زنجیره تأمین سبز در عمل معمولاً باید به‌صورت همزمان اتخاذ شوند؛ چراکه هر یک از این تصمیمات بر دیگری مؤثر

1. Walmart

است و اتخاذ این تصمیمات به صورت سلسله‌مراتبی نمی‌تواند تضمین‌کننده بهترین عملکرد برای کل زنجیره تأمین باشد. از طرف دیگر در این پژوهش یک سازوکار مشارکتی به منظور انتفاع هر دو عضو زنجیره تأمین از عواید حاصل از بهینه‌سازی تصمیمات چهارگانه ارائه شده است که بر مبنای اهرم‌های قدرت چانه‌زنی اعضا قابل تنظیم است و یکی از جنبه‌های نوآوری پژوهش حاضر به شمار می‌رود. این مدل مشارکتی می‌تواند حصول یک رابطه برد-برد در این زنجیره تأمین را تضمین کند. در ادامه در بخش دوم مروری بر مبانی نظری موضوع صورت می‌گیرد و شکاف پژوهشی استخراج می‌شود. در بخش سوم، مسئله تعریف شده و مفروضات مسئله تبیین خواهد شد؛ سپس مدل ارائه شده در سه حالت غیرمتمرکز، متمرکز و مشارکتی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش چهارم، مطالعه عددی انجام می‌شود. در نهایت در بخش پنجم نتایج عمده و بینش‌های مدیریتی منتج از پژوهش مورد بحث قرار می‌گیرد.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

ایجاد هماهنگی در زنجیره تأمین سبز با استفاده از سازوکارهایی که انگیزه کافی را به اعضای زنجیره تأمین برای کنار گذاشتن سیاست‌های منفعت‌طلبانه خود بدهد، با توجه به حجم اندک منابع زیست‌محیطی موجود و اثرات مخرب زیست‌محیطی ناشی از فعالیت زنجیره‌های تأمین توجه بسیاری از پژوهشگران را جلب کرده است. در ادامه، مبانی نظری موضوع با توجه به حوزه پژوهشی این مطالعه در دو بخش شامل مدیریت زنجیره تأمین سبز و هماهنگی در زنجیره تأمین مورد بررسی قرار می‌گیرد و در نهایت برهم‌کنش این دو حوزه، یعنی هماهنگی در زنجیره‌های تأمین سبز که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است، مرور می‌شود.

مدیریت زنجیره تأمین سبز. مدیریت زنجیره تأمین سبز، یکپارچه‌کننده مدیریت زنجیره تأمین با الزامات زیست‌محیطی در تمام مراحل طراحی محصول [۲۶]، انتخاب و تأمین مواد اولیه، تولید و ساخت [۲۳]، فرآیندهای توزیع و انتقال، تحویل به مشتری و بالاخره پس از مصرف، مدیریت بازیافت و مصرف مجدد [۲۸] به منظور پیشینه‌کردن میزان بهره‌وری مصرف انرژی و منابع، همراه با بهبود عملکرد کل زنجیره تأمین است [۱]. در حوزه زنجیره تأمین سبز بسیاری از پژوهشگران به ساخت و تولید مجدد و لجستیک معکوس توجه کرده‌اند. مطالعات مربوط به این حوزه از نظر تعداد و مسائل مورد بررسی فراوان است [۳]، [۸]، [۲۴]، [۳۳]، [۳۴].

طی یک مطالعه موردی، گوش و شاه (۲۰۱۲) یک زنجیره تأمین سبز تولید پوشاک را که اقدام به طراحی مجدد یک محصول سبز کرده است را در نظر گرفتند. با هدف افزایش سودآوری اعضا و زنجیره‌تأمین سبز، با استفاده از نظریه بازی‌ها و قرارداد تعرفه دوبخشی هماهنگی در کانال تولید محصول ایجاد شد [۱۰]. گوش و شاه (۲۰۱۵) از طریق طراحی مجدد محصول اقدام

به ایجاد هماهنگی در یک زنجیره تأمین سبز با استفاده از نظریه بازی‌ها و قرارداد به-اشتراک‌گذاری هزینه‌ها کردند [۹]. ژانگ و لیو (۲۰۱۳) یک زنجیره تأمین سبز سه‌سطحی را طی چهار سناریوی تصمیم‌گیری همکارانه، بازی رهبر-پیرو سه‌سطحی و دو بازی استاکلبرگ مدل-سازی کردند [۴۳].

با در نظر گرفتن تأثیرات سطح آگاهی زیست‌محیطی مصرف‌کنندگان، پژوهشگران بسیاری سعی داشتند عامل کیفیت زیست‌محیطی را به‌عنوان عامل تقویت‌کننده تقاضای بازار معرفی کنند. ژانگ و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر سطح آگاهی زیست‌محیطی بر مقدار اقتصادی سفارش و هماهنگی کانال را در یک زنجیره تأمین سبز که دو محصول سبز و سنتی را با دو مشخصه قیمت و کیفیت زیست‌محیطی تولید می‌کند، در نظر گرفتند [۴۶]. در ادامه به‌عنوان تعمیمی از مدل ارائه‌شده، ظرفیت تولید محصول به مدل اضافه شد. یادآور می‌شود که درجه سبز بودن محصول در این مطالعه جزو پارامترهای مسئله در نظر گرفته شد. لیو و همکاران (۲۰۱۲)، تأثیر رقابت و سطح آگاهی زیست‌محیطی را در یک زنجیره تأمین سبز دوسطحی بررسی کردند [۱۸]. ژانگ و همکاران (۲۰۱۴)، مسئله قیمت‌گذاری و هماهنگی در یک زنجیره تأمین سبز را که دو محصول جایگزین سبز و سنتی را تولید می‌کند طی دو حالت همکارانه و غیرهمکارانه مورد-بررسی قرار دادند [۴۵].

هماهنگی در زنجیره تأمین. اگرچه بیشتر تصمیمات هر یک از اعضای زنجیره بر سودآوری سایر اعضا به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم اثر می‌گذارد، زنجیره تأمینی که رضایت تعداد بیشتری از مشتریان را جلب کند در این رقابت برنده خواهد بود [۱۷] و این مهم تنها با استفاده از سازوکارهای هماهنگی امکان‌پذیر است [۱۲].

ما و همکاران، یک زنجیره تأمین دوسطحی با تابع تقاضای خطی را در دو حالت متمرکز و غیرمتمرکز به تصویر کشیده و نشان دادند استفاده از قرارداد به‌اشتراک‌گذاری هزینه‌ها نمی‌تواند به‌صورت مناسبی زنجیره را هماهنگ سازد [۲۰]. ژی و همکاران، دو زنجیره تأمین دوسطحی که هر یک محصولی منحصربه‌فرد را به بازار ارائه می‌دهند، در نظر گرفتند و مسئله بهبود کیفیت در سه سناریو مختلف بررسی شد [۴۰]. ما و همکاران (۲۰۱۳b) مسئله ایجاد تعادل در یک زنجیره تأمین دوسطحی شامل یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش را تحت شرایطی که تقاضای بازار متأثر از اقدامات بازاریابی/تبلیغات و سرمایه‌گذاری‌های کیفی بود تحت سه استراتژی، تولیدکننده استاکلبرگ، خرده‌فروش استاکلبرگ و ادغام عمودی موردبررسی قرار دادند [۲۱]. وو (۲۰۱۳)، رفتار تعادلی ناشی از چانه‌زنی را در رقابت بین دو زنجیره متمایز بررسی کرد [۳۹]. در پژوهش لو و همکاران، مسئله قیمت‌گذاری در یک زنجیره تأمین مشتمل بر یک خرده‌فروش و دو تولیدکننده که مشغول رقابت با هم هستند، بررسی شد [۱۹].

هماهنگی در زنجیره تأمین سبز. بهینه‌سازی و هماهنگ‌سازی تصمیمات مرتبط با محیط‌زیست در زنجیره‌های تأمین سبز در سال‌های اخیر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در پژوهشی، بهینه‌سازی تصمیمات قیمت‌گذاری در یک زنجیره تأمین دوکاناله در شرایطی که کالای سبز از طریق کانال آنلاین و کالای غیرسبز از طریق کانال خرده‌فروشی سنتی ارائه می‌شود، تحلیل شده است [۳۲] و یک سازوکار هماهنگی بر پایه تسهیم سود ارائه شده است که سودآوری بیشتر دو عضو زنجیره تأمین را تضمین می‌کند. اخیراً نیز در پژوهشی یک قرارداد حمل‌ونقل عرضی برای هماهنگ‌سازی یک زنجیره تأمین سبز دوکاناله ارائه شده است که در آن هر یک از دوکانال ممکن است درگیر اختلال شوند [۲]. قرارداد قیمت عمده‌فروشی و همچنین قرارداد تسهیم هزینه به‌منظور هماهنگ‌سازی تصمیمات در یک زنجیره تأمین دوسطحی تحت قانون انتشار آلاینده ارائه شده است که در آن تولیدکننده قادر به کاهش آلاینده‌گی در فرآیند تولید به‌واسطه سرمایه‌گذاری در بهبود فناوری مورد استفاده بوده و نشان داده شده است که ترکیب قراردادهای یادشده با یک قرارداد تعرفه دویخشی می‌تواند موجب ایجاد شرایط برد-برد برای هر دو عضو زنجیره تأمین شود [۴۲].

در پژوهشی مسئله هماهنگ‌سازی تصمیمات قیمت‌گذاری و آلاینده‌گی زیست‌محیطی در یک زنجیره تأمین دوکاناله تحت قانون انتشار آلاینده بررسی و یک قرارداد تسهیم درآمد بهبود یافته به‌منظور هماهنگ‌سازی این زنجیره تأمین ارائه شده است [۴۱]. هماهنگی تصمیمات قیمت‌گذاری، کیفیت زیست‌محیطی محصول و تلاش برای فروش در یک زنجیره تأمین سبز دوسطحی با وجود دو نوع کالای قابل‌جایگزینی (سبز و غیرسبز) بررسی شده و یک سازوکار همکاری به‌منظور هماهنگ‌سازی تصمیمات در این زنجیره تأمین ارائه شده است که سودآوری بیشتر هر دو عضو زنجیره تأمین را تضمین می‌کند [۴]. در پژوهش ما و همکاران (۲۰۱۸)، شش مدل بر مبنای نظریه بازی‌ها برای هماهنگ‌سازی تصمیمات قیمت‌گذاری و سطح سبزیبودن محصول در یک زنجیره تأمین با وجود دو تولیدکننده و یک خرده‌فروش ارائه شده است [۲۲] و قرارداد تسهیم هزینه به‌منظور هماهنگ‌سازی تصمیمات زنجیره تأمین یادشده توسعه داده شده است. در پژوهشی در سال ۲۰۱۸، تصمیمات مرتبط با کیفیت سبز محصول و همچنین طول دوره گارانتی محصول در یک زنجیره تأمین با وجود دو خرده‌فروش ارائه شده است [۱۴].

کاربرد قرارداد تسهیم درآمد در یک زنجیره تأمین سبز در پژوهش سونگ و گاو (۲۰۱۸) بررسی شد و نتایج نشان داد که تسهیم درآمد ارائه‌شده توسط خرده‌فروش می‌تواند سطح عملکرد زیست‌محیطی زنجیره تأمین را نسبت به حالت غیرمتمرکز بهبود بخشد [۳۵]. در پژوهش راج و همکاران (۲۰۱۸)، هماهنگی تصمیمات زیست‌محیطی با تصمیمات مرتبط با مسئولیت اجتماعی زنجیره تأمین نیز بررسی شده است که در آن تولیدکننده مسئولیت ارتقای عملکرد زیست‌محیطی و خرده‌فروش مسئولیت ارتقای سطح عملکرد اجتماعی زنجیره تأمین را برعهده دارد [۳۱]. در

پژوهش حسینی مطلق و ابراهیمی (۲۰۱۸) سازوکار تسهیم هزینه به منظور هماهنگ‌سازی تصمیمات مرتبط با عملکرد زیست محیطی و عملکرد اجتماعی یک زنجیره تأمین شامل یک تولیدکننده و دو خرده فروش ارائه شد که در آن تولیدکننده با سرمایه‌گذاری بر روی ارتقای سطح فناوری مورد استفاده می‌تواند کیفیت زیست محیطی محصول را افزایش دهد و در مقابل خرده‌فروشان نیز می‌توانند سطح مسئولیت‌پذیری اجتماعی زنجیره تأمین را ارتقا دهند [۱۳]. در پژوهش یادشده نشان داده شد که قرارداد تسهیم هزینه پیشنهادی این قابلیت را دارد که علاوه بر بهبود سودآوری زنجیره تأمین، سطح کیفیت زیست محیطی محصول و همچنین سطح مسئولیت‌پذیری اجتماعی خرده‌فروشان را ارتقا دهد.

در جدول ۱، مقایسه‌ای بین نزدیک‌ترین مقالات اخیر مرتبط با این پژوهش صورت گرفته است. بر اساس این مقایسه مشخص شد که شیوه تصمیم‌گیری مشارکتی به‌عنوان سازوکار هماهنگ‌سازی در هیچ یک از مطالعات پیشین استفاده نشده است؛ از طرفی مجموعه عوامل وابسته‌کننده تقاضا در این مقالات، محدودتر از مطالعه حاضر است. در این مطالعه مدلی به نسبت واقعی‌تر از پژوهش‌های قبلی برای هماهنگ‌سازی زنجیره تأمین سبز دوسطحی با استفاده از شیوه تصمیم‌گیری مشارکتی، با اضافه کردن عامل کیفیت محصول و تلاش‌های بازاریابی / تبلیغاتی در کنار سطح آگاهی زیست محیطی و قیمت محصول ارائه می‌شود.

جدول ۱. شکاف پژوهشی موجود در مباحث نظری موضوع

منبع	زنجیره سبز	عوامل وابسته‌کننده تقاضا	سازوکار هماهنگ‌سازی	متغیرهای تصمیم
[۱۸]	✓	سطح آگاهی زیست محیطی، قیمت	-----	قیمت خرده‌فروشی، قیمت عمده‌فروشی، بهبودهای زیست محیطی
[۹]	✓	حساسیت مشتریان به محصولات سبز، قیمت	قرارداد به‌اشتراک‌گذاری درآمد	قیمت عمده‌فروشی، قیمت خرده‌فروشی، کیفیت زیست محیطی
[۱۰]	✓	قیمت و سطح سبز بودن محصول	قرارداد دویخشی	قیمت خرده‌فروشی و سبز بودن محصول
[۴۶]	✓	قیمت، کیفیت زیست محیطی	قرارداد بازگشت	مقدار سفارش‌دهی، قیمت عمده‌فروشی، اعتبار بازگشت
[۴۵]	×	قیمت	بازی همکارانه	قیمت خرده‌فروشی و عمده‌فروشی
[۴۰]	✓	سطح صرفه‌جویی در انرژی و قیمت	قیمت عمده‌فروشی و طرح به‌اشتراک‌گذاری درآمد	سطح صرفه‌جویی در انرژی، قیمت خرده‌فروشی
[۲۰]	×	قیمت، تبلیغات / بازاریابی، کیفیت	بازی استاکلبرگ و چانه‌زنی نش	قیمت خرده‌فروشی، سطح تبلیغات / بازاریابی، کیفیت

منبع	زنجیره سبز	عوامل وابسته‌کننده تقاضا	سازوکار هماهنگ‌سازی	متغیرهای تصمیم
[۲۱]	×	قیمت، تبلیغات/ بازاریابی، کیفیت	قرارداد تعرفه دوبخشی تقویت‌شده	قیمت خرده‌فروشی، سطح تبلیغات/ بازاریابی، کیفیت
[۱۶]	✓	قیمت و سطح سبز بودن محصول	قرارداد دوبخشی	قیمت خرده‌فروشی و سطح سبز بودن محصول
[۴۱]	✓	قیمت و سطح سبز بودن محصول	قرارداد تسهیم درآمد بهبودیافته	قیمت خرده‌فروشی و سطح سبز بودن محصول
[۴]	✓	قیمت خرده‌فروشی، کیفیت زیست‌محیطی محصول و تلاش برای فروش	سازوکار تصمیم‌گیری مشارکتی	قیمت خرده‌فروشی، کیفیت زیست‌محیطی محصول و تلاش برای فروش
[۱۳]	✓	سطح سبز بودن محصول و سطح مسئولیت اجتماعی زنجیره تأمین	قرارداد تسهیم هزینه	سطح سبز بودن محصول و سطح مسئولیت اجتماعی زنجیره تأمین
مطالعه حاضر	✓	قیمت، سطح سبز بودن محصول، تبلیغات/ بازاریابی و کیفیت	سازوکار تصمیم‌گیری مشارکتی با در نظر گرفتن اهرم‌های قدرت	قیمت خرده‌فروشی، سطح اقدامات زیست‌محیطی، سطح تبلیغات/ بازاریابی و کیفیت

۳. روش‌شناسی پژوهش

تعریف مسئله. این مطالعه به دنبال بررسی نحوه اثرگذاری تصمیم‌گیری مشارکتی به‌عنوان سازوکار هماهنگی بر تصمیمات کلیدی اتخاذ‌شده در یک زنجیره تأمین سبز دوسطحی است. این زنجیره مشتمل بر یک تولیدکننده و خرده‌فروش است که در آن یک نوع محصول سبز تولید می‌شود. تابع تقاضای محصول خطی - قطعی است و متغیرهای تصمیم عبارت‌اند از: سطح کیفیت محصول سبز؛ سطح اقدامات زیست‌محیطی زنجیره جهت سبز کردن محصول؛ سطح تلاش‌های بازاریابی/ تبلیغاتی و در نهایت قیمت محصول سبز برای ارائه به بازار مصرف. تقاضای بازار تحت تأثیر آگاهی زیست‌محیطی مصرف‌کنندگان قرار دارد؛ به این معنا که مصرف‌کنندگان محصول، به سبز بودن فرآیند تولید و تأثیرات ناشی از مصرف محصول بر محیط‌زیست اهمیت می‌دهند.

مفروضات کلیدی مسئله

- اعضای زنجیره تأمین تصمیماتی منطقی بر مبنای مدل ریاضی اتخاذ می‌کنند.
- ارائه تنها یک محصول سبز به بازار مصرف
- متغیرهای تصمیم، تلاش‌های بازاریابی/ تبلیغات، کیفیت محصول، قیمت و سطح اقدامات زیست‌محیطی زنجیره است.

- مشتریان قادر به تشخیص سطح کیفیت محصول و اقدامات زیست محیطی زنجیره هستند.
- با افزایش قیمت خرده فروشی، سطح تقاضای محصول در بازار افت خواهد کرد و این در حالی است که با افزایش سطح کیفیت، تبلیغات/بازاریابی و سطح کیفیت زیست محیطی محصول، سطح تقاضای بازار افزایش خواهد یافت.
- بهبودهای زیست محیطی محصول سبز بر عهده بالادست زنجیره (تولیدکننده) است.
- تابع تقاضای بازار باید مقداری غیرمنفی باشد؛ به همین منظور ظرفیت اولیه بازار به اندازه کافی بزرگ در نظر گرفته شده است.

علائم اختصاری و نمادها. فهرستی از علائم اختصاری به کاررفته در مدل سازی ها مطابق جدول ۲، ارائه شده است.

مدل سازی ریاضی. با توجه به مطالب گفته شده، تابع تقاضای بازار، D ، تابعی از سطح تلاش های بازاریابی / تبلیغات و سطح کیفیت محصول بر اساس منطق به کاررفته توسط ما و همکاران (۲۰۱۳a) و قیمت خرده فروشی و بهبودهای زیست محیطی بر اساس منطق به کاررفته توسط لیو و همکاران (۲۰۱۲) است. به صورت رابطه ۱، است:

$$D = \alpha + \tau e + \lambda \theta + \gamma \varphi - bp \quad (1)$$

که در آن α ظرفیت اولیه تقاضای بازار، b حساسیت بازار به قیمت محصول است. پارامتر γ تأثیر تلاش های بازاریابی را بر تابع تقاضا محاسبه کرده و پارامتر λ تأثیر تلاش های بهبود کیفیت محصول را بر تابع تقاضا بررسی می کند. τ سطح آگاهی زیست محیطی است که یک عامل تصادفی با $E(\tau)=t$ است [۱۸].

جدول ۲. اندیس ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم مسئله

اندیس ها	
SC	زنجیره تأمین
M	تولیدکننده
R	خرده فروش
Ce	حالت متمرکز
De	حالت غیرمتمرکز
Co	حالت تصمیم گیری مشارکتی
پارامترها	

D	تابع تقاضای بازار
α	مقدار قطعی ظرفیت اولیه تقاضای بازار در ساختار مدل پایه
b	حساسیت تقاضا به قیمت محصول
τ	سطح آگاهی زیست‌محیطی مصرف‌کننده که یک عامل تصادفی با $E(\tau)=t$ است.
λ	حساسیت تقاضا به تلاش‌های بهبود کیفیت
γ	حساسیت تقاضا به تلاش‌های بازاریابی و تبلیغاتی
η	ضریب هزینه بازاریابی
ε	ضریب هزینه بهبود کیفیت
I	ضریب هزینه سرمایه‌گذاری سبز
w	قیمت عمده فروشی
β_1	ضریب اشتراک تولیدکننده در حالت مشارکتی از مابه‌التفاوت سود کل زنجیره در حالت متمرکز و غیرمتمرکز
β_2	ضریب اشتراک خرده‌فروش در حالت مشارکتی از مابه‌التفاوت سود کل زنجیره در حالت متمرکز و غیرمتمرکز
EP	تابع سود
متغیرهای تصمیم	
e	سطح بهبودهای زیست‌محیطی در محصول، تعیین شده توسط تولیدکننده
θ	سطح کیفیت محصول تعیین شده توسط تولیدکننده
φ	سطح تلاش‌های بازاریابی خرده‌فروش
p	قیمت فروش محصول تعیین شده توسط خرده‌فروش

در تابع تقاضا، جمله دوم میزان افزایش تقاضای بازار بر پایه بهبود اقدامات زیست‌محیطی و افزایش کیفیت زیست‌محیطی محصولات در تقابل با طبیعت را نشان می‌دهد. جمله سوم افزایش تقاضای بازار به دلیل بهبود سطح کیفیت محصول را کنترل می‌کند. جمله چهارم افزایش تقاضای محصول بر اساس انجام اقدامات تبلیغاتی و بازاریابی را به تصویر می‌کشد و جمله انتهایی واکنش منفی بازار نسبت به قیمت محصول را تحت نظر دارد.

بر اساس مطالعات گذشته، سطح آگاهی زیست‌محیطی مصرف‌کنندگان بر تمایل مشتریان به خرید محصولات سبز تأثیر می‌گذارد [۶] و می‌تواند در صنایع مختلف، گروه‌های مختلف از مشتریان و همچنین در طول زمان تغییر کند [۱۵]. حد پایین عامل برابر با صفر و حد بالای آن بسته به نوع محصول و صنعت تولیدی می‌تواند هر عددی باشد.

در ادامه، ساختار مسئله تحت سه حالت غیرمتمرکز، متمرکز و تصمیم‌گیری مشارکتی بررسی می‌شود و بسته به شرایط هر حالت، شیوه حل مسئله شرح داده خواهد شد. در انتها مقدار بهینه متغیرهای تصمیم و سود اعضا و زنجیره در آن محاسبه می‌شود.

حالت غیرمتمرکز. در این ساختار فرض شده است که تولیدکننده رهبر استاکلبرگ مسئله باشد؛ بنابراین در ابتدا تولیدکننده سطح کیفیت محصول و سطح بهبودهای زیست‌محیطی را با در نظر گرفتن تابع واکنش خرده‌فروش و تقاضای بازار مشخص می‌کند؛ سپس خرده‌فروش با توجه به تقاضای بازار و مقادیر سطح کیفیت محصول و سطح بهبودهای زیست‌محیطی تعیین شده توسط تولیدکننده، میزان قیمت خرده‌فروشی و سطح تلاش‌های بازاریابی خود را تعیین می‌کند. برای حل این مسئله از روش بازگشت استفاده می‌شود.

مسئله خرده‌فروش. اگر فرض شود تولیدکننده تصمیمات خود را در مواجهه با تقاضای بازار از پیش گرفته باشد، در این قسمت به بررسی تصمیمات خرده‌فروش در مواجهه با تقاضای بازار و تصمیمات اتخاذ شده توسط تولیدکننده پرداخته خواهد شد؛ بدین ترتیب که با توجه به تابع تقاضا، خرده‌فروش سود موردانتظار خود را مشخص می‌کند و به محاسبه سطح تلاش‌های بازاریابی / تبلیغات و قیمت فروش با توجه به معلوم فرض کردن متغیرهای تحت کنترل تولیدکننده خواهد پرداخت. با توجه به مطالب ذکر شده، تابع سود خرده‌فروش با توجه به تقاضای بازار به صورت معادله ۲، است:

$$\max_{(p, \varphi)} EP_R^{De} = \text{Max } E \left[(p - w)D - \frac{\eta\varphi^2}{2} \right] \quad (2)$$

در معادله ۲، بخش نخست از جمله اول میزان سود ناشی از فروش هر واحد محصول توسط خرده‌فروش و بخش دوم جمله اول معرف تقاضای محصول است، بنابراین جمله اول معادله ۲، نشان‌دهنده سود حاصل از فروش محصول سبز برای خرده‌فروش است و جمله دوم، ساختار هزینه‌ای تلاش‌های بازاریابی و تبلیغاتی خرده‌فروش را نشان می‌دهد. فرض شده است که تلاش‌های بازاریابی / تبلیغات خرده‌فروش با ساختار هزینه‌ای $\eta\varphi^2/2$ که مستقل از هزینه حاشیه خرده‌فروش است بتواند بر ساختار تابع سود خرده‌فروش تأثیر بگذارد که در این ساختار η ضریب هزینه بازاریابی بوده و در مبانی نظری موضوع از قبیل تحقیق ما و همکاران (۲۰۱۳b) از این ساختار استفاده شده است. با برقراری شرط اول بهینگی در مورد معادله ۲، نسبت به متغیرهای p, φ خواهیم داشت:

$$\frac{\partial}{\partial p} EP_R^{De} = \alpha + te + \lambda\theta + \gamma\varphi - 2bp + wb = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial \varphi} EP_R^{De} = \gamma\rho - \eta\varphi - w\gamma = 0 \quad (4)$$

برای اینکه با حل معادلات بالا بتوان جواب دقیقی برای مسئله یافت ابتدا باید اثبات کرد که ماتریس هسین معادله ۲، یک ماتریس معین منفی است؛ بنابراین داریم:

$$H(p, \varphi) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2}{\partial \rho^2} EP_R^{De} & \frac{\partial^2}{\partial \rho \partial \varphi} EP_R^{De} \\ \frac{\partial^2}{\partial \varphi \partial \rho} EP_R^{De} & \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} EP_R^{De} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2b & \gamma \\ \gamma & -\eta \end{bmatrix} \quad (5)$$

باید توجه داشت که ماتریس هسین معادله ۲، به ازای تمامی مقادیر p, φ معین منفی است؛ به شرط اینکه $2b\eta - \gamma^2 > 0$ را ارضا کند. با حل معادلات ۳ و ۴، داریم:

$$p^*(e, \theta) = \frac{\eta(\alpha + bw + et + \lambda\theta) - w\gamma^2}{2b\eta - \gamma^2} \quad (6)$$

$$\varphi^*(e, \theta) = \frac{\gamma(\alpha - bw + et + \lambda\theta)}{2b\eta - \gamma^2} \quad (7)$$

مسئله تولیدکننده. با توجه به نتایج به دست آمده از واکنش خرده‌فروش در برابر تصمیمات تولیدکننده، در ادامه روش بازگشت، تولیدکننده تابع سود خود را تشکیل خواهد داد و با در نظر گرفتن واکنش خرده‌فروش به تصمیمات خود، مقدار بهینه متغیرهای واگذر شده به بالادست را محاسبه خواهد کرد؛ بنابراین تابع سود تولیدکننده به صورت معادله ۸ خواهد بود:

$$\max_{(e, \theta)} EP_M^{De} = \text{Max } E \left[(w - c)D - Ie^2 - \frac{\varepsilon\theta^2}{2} \right] \quad (8)$$

در معادله ۸، بخش نخست از جمله اول میزان سود ناشی از فروش هر واحد محصول توسط تولیدکننده و بخش دوم تابع تقاضای محصول است؛ بنابراین جمله اول معادله نشان‌دهنده سود ناشی از فروش محصول سبز برای تولیدکننده است، جمله دوم هزینه‌های سرمایه‌گذاری سبز را نشان می‌دهد و جمله سوم هزینه‌های بهبود کیفیت محصول را به تصویر می‌کشد. در ادامه فرض شده است که بهبودهای زیست‌محیطی محصول سبز بر هزینه حاشیه‌ای تولیدکننده تأثیرگذار نباشد؛ در نتیجه تولیدکننده باید پول بیشتری را در جهت بهبود کیفیت زیست‌محیطی محصول سرمایه‌گذاری کند؛ بنابراین هزینه اضافی صرف‌شده در این خصوص توسط تولیدکننده به صورت Ie^2 که در آن I ضریب سرمایه‌گذاری سبز است بر تابع سود تولیدکننده اعمال می‌شود. استفاده از این ساختار در مبانی نظری موضوع در مواردی از قبیل پژوهش‌های گوش و شاه (۲۰۱۵) و

همچنین لیو و همکاران (۲۰۱۲) به چشم می‌خورند؛ همچنین هزینه صرف‌شده در زمینه بهبود کیفی محصول نیز مستقل از هزینه‌های حاشیه‌ای تولیدکننده است. این هزینه با ساختار $\varepsilon\theta^2/2$ که در آن ε ضریب هزینه بهبودهای کیفی است بر تابع سود تولیدکننده اعمال خواهد شد. این ساختار هزینه‌ای در مبانی نظری موضوع در موارد متعددی مورد استفاده قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به پژوهش ما و همکاران (۲۰۱۳) اشاره کرد. حال با جایگذاری معادلات ۶ و ۷ در معادلات ۱ و ۸، داریم:

$$D(e, \theta) = \frac{\alpha b \eta - \eta \omega b^2 + b \eta t + b \lambda \theta \eta}{2b\eta - \gamma^2} \quad (۹)$$

$$\begin{aligned} \text{Max } EP_M^{De}(e, \theta) & \quad (۱۰) \\ & = (-2\eta b^2 w^2 + 2w c \eta b^2 - 4I \eta b e^2 \\ & + 2\eta t b e w - 2c \eta t b e - 2\varepsilon \eta b \theta^2 + 2\lambda \eta b \theta w \\ & - 2c \lambda \eta b \theta + 2\alpha \eta b w - 2\alpha c \eta b + 2I e^2 \gamma^2 \\ & + \varepsilon \theta^2 \gamma^2) / (4b\eta - 2\gamma^2) \end{aligned}$$

بدین ترتیب تابع سود موردانتظار تولیدکننده و تابع تقاضا مستقل از p , φ به دست می‌آیند. حال با برقراری شرط اول بهینگی در مورد معادله ۱۰، نسبت به متغیرهای e و θ خواهیم داشت:

$$\frac{\partial}{\partial e} EP_M^{De} = \frac{(w - c)b\eta t}{2b\eta - \gamma^2} - 2Ie = 0 \quad (۱۱)$$

$$\frac{\partial}{\partial \theta} EP_M^{De} = \frac{(w - c)b\lambda\eta}{2b\eta - \gamma^2} - \varepsilon\theta = 0 \quad (۱۲)$$

برای اینکه با حل معادلات بالا بتوان جواب دقیقی برای مسئله یافت، ابتدا باید اثبات کرد که ماتریس هسین معادله ۱۰ یک ماتریس معین منفی است؛ بنابراین داریم:

$$H(e, \theta) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2}{\partial e^2} EP_M^{De} & \frac{\partial^2}{\partial e \partial \theta} EP_M^{De} \\ \frac{\partial^2}{\partial \theta \partial e} EP_M^{De} & \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} EP_M^{De} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2I & 0 \\ 0 & -\varepsilon \end{bmatrix} \quad (۱۳)$$

باید توجه داشت که ماتریس هسین معادله ۱۰، به‌ازای تمامی مقادیر قابل قبول e و θ معین منفی است. با حل معادلات ۱۱ و ۱۲، خواهیم داشت:

$$e^* = \frac{(w - c)b\eta t}{2I(2b\eta - \gamma^2)} \quad (14)$$

$$\theta^* = \frac{(w - c)b\lambda\eta}{\varepsilon(2b\eta - \gamma^2)} \quad (15)$$

با جایگذاری معادلات ۱۴ و ۱۵ در معادلات ۶ و ۷، مقادیر بهینه p , φ به دست می‌آید.

$$p^* = \frac{\eta(a + bw) - w\gamma^2}{2b\eta - \gamma^2} + \frac{(w - c)bt\lambda^2}{\varepsilon(2b\eta - \eta^2)^2} + \frac{(w - c)b\eta t^2}{2I(2b\eta - \eta^2)^2} \quad (16)$$

$$\varphi^* = \frac{\gamma(a - bw)}{2b\eta - \gamma^2} + \frac{(w - c)bt\lambda^2}{\varepsilon(2b\eta - \eta^2)^2} + \frac{(w - c)b\eta t^2}{2I(2b\eta - \eta^2)^2} \quad (17)$$

با جایگذاری معادلات ۱۴ تا ۱۷ در معادلات ۲ و ۸، مقدار سود تولیدکننده و خرده‌فروش به دست می‌آید و با جمع مقادیر به دست آمده مقدار سود زنجیره تأمین نیز مشخص می‌شود.

$$EP_M^{*De} = (8wI\varepsilon c\eta^2 b^3 - 8I\varepsilon w^2 \eta^2 b^3 + 2Ib^2 c^2 \lambda^2 \eta^2 + \varepsilon b^2 c^2 \eta^2 t^2 - 4Icwb^2 \lambda^2 \eta^2 - 2w\varepsilon c b^2 t^2 \eta^2 - 8\alpha I \varepsilon c b^2 \eta^2 - 4w c \eta I \varepsilon b^2 \gamma^2 + 2Ib^2 \lambda^2 \eta^2 w^2 + \varepsilon b^2 \eta^2 t^2 w^2 + 8\alpha I \varepsilon w b^2 \eta^2 + 4I\varepsilon \eta b^2 w^2 \gamma^2 + 4\alpha I b c \varepsilon \eta \gamma^2 - 4\alpha I \varepsilon b \eta w \gamma^2) / (4I\varepsilon(2b\eta - \gamma^2)^2) \quad (18)$$

$$\begin{aligned}
EP_R^{*De} = & (16\alpha^2 b^2 I^2 \varepsilon^2 \eta^3 - 16b\alpha^2 I^2 \varepsilon^2 \eta^2 \varepsilon^2 + 4\eta\alpha^2 I^2 \varepsilon^2 \gamma^4) \\
& - 32\alpha w I^2 \varepsilon^2 b^3 \eta^3 - 16\alpha c \varepsilon b^2 I^2 \lambda^2 \eta^3 \\
& - 8\alpha c I b^2 \varepsilon^2 t^2 \eta^3 + 16\alpha \varepsilon w b^2 I^2 \lambda^2 \eta^3 \\
& + 32\alpha w b^2 I^2 \varepsilon^2 \eta^2 \gamma^2 + 8\alpha I w b^2 \varepsilon^2 t^2 \eta^3 \\
& + 8abc \varepsilon I^2 \lambda^2 \eta^2 \gamma^2 + 4abc I \varepsilon^2 \eta^2 t^2 \gamma^2 \\
& - 8ab \varepsilon w I^2 \lambda^2 \eta^2 \gamma^2 - 8ab \eta w I^2 \varepsilon^2 \gamma^4 \\
& - 4ab I w \varepsilon^2 \eta^2 t^2 \gamma^2 + 16I^2 \varepsilon^2 w^2 \eta^3 b^4 \\
& + 16c \varepsilon w I^2 \lambda^2 b^3 \eta^3 + 8c I w \varepsilon^2 t^2 b^3 \eta^3 \\
& - 16\varepsilon I^2 \lambda^2 w^2 b^3 \eta^3 - 16I^2 \varepsilon^2 \eta^2 \gamma^2 w^2 b^3 \\
& - 8I \varepsilon^2 t^2 w^2 b^3 \eta^3 + 4b^2 c^2 I^2 \eta^3 \lambda^4 \\
& + 4I \varepsilon t^2 \lambda^2 b^2 c^2 \eta^3 + b^2 c^2 \varepsilon^2 \eta^3 t^4 - 8c w b^2 I^2 \eta^3 \lambda^4 \\
& - 8c \varepsilon w b^2 I^2 \lambda^2 \eta^2 \gamma^2 - 8c I \varepsilon w b^2 \lambda^2 t^2 \eta^3 \\
& - 4c I w b^2 \varepsilon^2 \eta^2 t^2 \gamma^2 - 2c w b^2 \varepsilon^2 \eta^3 t^4 \\
& + 4b^2 I^2 w^2 \eta^3 \lambda^4 + 8\varepsilon b^2 I^2 \lambda^2 \eta^2 w^2 \gamma^2 \\
& + 4\eta b^2 I^2 \varepsilon^2 w^2 \gamma^4 + 4I \varepsilon b^2 \lambda^2 t^2 w^2 \eta^3 \\
& + 4I b^2 \varepsilon^2 \eta^2 t^2 w^2 \gamma^2 \\
& + b^2 \varepsilon^2 w^2 \eta^3 t^4 / (8I^2 \varepsilon^2 (2b\eta - \gamma^2)^3)
\end{aligned} \tag{۱۹}$$

$$EP_{SC}^{*De} = EP_M^{*De} + EP_R^{*De} \tag{۲۰}$$

حالت متمرکز. در این حالت، شرایطی در نظر گرفته می‌شود که در آن یک تصمیم‌گیرنده واحد که می‌تواند تولیدکننده یا خرده‌فروش و یا یک ائتلاف مشترک باشد با توجه به تابع تقاضای بازار، مقدار بهینه قیمت محصول، تلاش‌های بازاریابی و تبلیغات، تلاش‌های بهبود کیفیت و سطح مناسب بهبودهای زیست محیطی محصول را تعیین می‌کند. پس از تعیین مقدار بهینه متغیرهای تصمیم، سفارش صورت می‌گیرد و عرضه حاصل می‌شود. تصمیم‌گیرنده اصلی زنجیره تأمین متمرکز یا ادغامی همواره به دنبال بیشینه کردن سود موردانتظار کل زنجیره تأمین است.

مسئله زنجیره تأمین. تابع سود موردانتظار زنجیره تأمین می‌تواند به شکل زیر مطرح شود:

$$\max_{(e, \theta, \rho, \varphi)} EP_{SC}^{Ce} = \text{Max } E \left[(p - c)D - \frac{\eta\varphi^2}{2} - \frac{\varepsilon\theta^2}{2} - Ie^2 \right] \tag{۲۱}$$

با برقراری شرط اول بهینگی در مورد معادله ۲۱، نسبت به متغیرهای p, e, θ, φ خواهیم داشت:

$$\frac{\partial}{\partial \rho} EP_{SC}^{Ce} = \alpha + te + \lambda\theta + \varphi\gamma - 2bp + cb = 0 \tag{۲۲}$$

$$\frac{\partial}{\partial e} EP_{sc}^{Ce} = pt - ct - 2Ie = 0 \quad (۲۳)$$

$$\frac{\partial}{\partial \theta} EP_{sc}^{Ce} = p\lambda - c\lambda - \varepsilon\theta = 0 \quad (۲۴)$$

$$\frac{\partial}{\partial \varphi} EP_{sc}^{Ce} = \gamma p - c\gamma - \eta\varphi = 0 \quad (۲۵)$$

برای اینکه با حل معادلات بالا بتوان جواب دقیقی برای مسئله یافت ابتدا باید اثبات کرد که ماتریس هسین معادله ۲۱ یک ماتریس معین منفی است؛ بنابراین داریم:

$$H(\rho, e, \theta, \varphi) \quad (۲۶)$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{\partial^2}{\partial \rho^2} EP_{sc}^{Ce} & \frac{\partial^2}{\partial \rho \partial e} EP_{sc}^{Ce} & \frac{\partial^2}{\partial \rho \partial \theta} EP_{sc}^{Ce} & \frac{\partial^2}{\partial \rho \partial \varphi} EP_{sc}^{Ce} \\ \frac{\partial^2}{\partial e \partial \rho} EP_{sc}^{Ce} & \frac{\partial^2}{\partial e^2} EP_{sc}^{Ce} & \frac{\partial^2}{\partial e \partial \theta} EP_{sc}^{Ce} & \frac{\partial^2}{\partial e \partial \varphi} EP_{sc}^{Ce} \\ \frac{\partial^2}{\partial \theta \partial \rho} EP_{sc}^{Ce} & \frac{\partial^2}{\partial \theta \partial e} EP_{sc}^{Ce} & \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} EP_{sc}^{Ce} & \frac{\partial^2}{\partial \theta \partial \varphi} EP_{sc}^{Ce} \\ \frac{\partial^2}{\partial \varphi \partial \rho} EP_{sc}^{Ce} & \frac{\partial^2}{\partial \varphi \partial e} EP_{sc}^{Ce} & \frac{\partial^2}{\partial \varphi \partial \theta} EP_{sc}^{Ce} & \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} EP_{sc}^{Ce} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -2b & t & \lambda & \gamma \\ t & -2I & 0 & 0 \\ \lambda & 0 & -\varepsilon & 0 \\ \gamma & 0 & 0 & -\eta \end{bmatrix}$$

باید توجه داشت که ماتریس هسین معادله ۲۶، به‌ازای تمامی مقادیر p, e, θ, φ معین منفی است؛ مشروط بر اینکه شرایط $4bI\varepsilon - 2I\lambda^2 - \varepsilon t^2 > 0$ ، $4bI - t^2 > 0$ و $4bI\varepsilon\eta - 2I\eta\lambda^2 - \varepsilon\eta t^2 - 2I\varepsilon\gamma^2 > 0$ را ارضا کند. با حل دستگاه چهارمعادله چهارمجهولی از معادلات ۲۲ تا ۲۵ حل بهینه‌ای که سود زنجیره تأمین را در حالت متمرکز به بیشینه مقدار خود می‌رساند بر اساس روابط ۲۷ تا ۳۰ محقق می‌شود:

$$p^* = \frac{2Ic\eta\lambda^2 + 2Ic\varepsilon\gamma^2 + c\varepsilon\eta t^2 - 2h\varepsilon\eta(\alpha + bc)}{2I\eta\lambda^2 + \varepsilon\eta t^2 + 2I\varepsilon\gamma^2 - 4Ib\varepsilon\eta} \quad (۲۷)$$

$$e^* = \frac{\varepsilon\eta(bc - \alpha)}{2I\eta\lambda^2 + \varepsilon\eta t^2 + 2I\varepsilon\gamma^2 - 4Ib\varepsilon\eta} \quad (۲۸)$$

$$\theta^* = \frac{2I\lambda\eta(bc - \alpha)}{2I\eta\lambda^2 + \varepsilon\eta t^2 + 2I\varepsilon\gamma^2 - 4Ib\varepsilon\eta} \quad (۲۹)$$

$$\varphi^* = \frac{2I\epsilon\gamma(bc - \alpha)}{2I\eta\lambda^2 + \epsilon\eta t^2 + 2I\epsilon\gamma^2 - 4Ib\epsilon\eta} \quad (30)$$

با توجه به مقادیر به دست آمده، مقدار بهینه سود زنجیره تأمین سبز، خرده فروش و تولیدکننده عبارت‌اند از:

$$EP_{SC}^{*Ce} = \frac{2abc\eta\epsilon I - I\epsilon\eta\alpha^2 - I\epsilon\eta b^2 c^2}{2I\eta\lambda^2 + \epsilon\eta t^2 + 2I\epsilon\gamma^2 - 4Ib\epsilon\eta} \quad (31)$$

$$EP_R^{*Ce} = \frac{(4b\alpha^2 I^2 \epsilon^2 \eta^2 - 8wab^2 I^2 \epsilon^2 \eta^2 + 2\eta\alpha^2 I^2 \epsilon^2 \gamma^2 - 4abc\epsilon I^2 \lambda^2 \eta^2 - 2abcI\epsilon^2 \eta^2 t^2 + 4wab\epsilon I^2 \lambda^2 \eta^2 + 4wab\eta I^2 \epsilon^2 \gamma^2 + 2wabI\epsilon^2 \eta^2 t^2 - 4c^2 I^2 \epsilon^2 \eta^2 b^3 + 8wcl^2 \epsilon^2 \eta^2 b^3 + 4\epsilon b^2 c^2 I^2 \lambda^2 \eta^2 + 2\eta b^2 c^2 I^2 \epsilon^2 \gamma^2 + 2Ib^2 c^2 \epsilon^2 \eta^2 t^2 - 4wcc\epsilon I^2 \lambda^2 \eta^2 b^2 - 4wcn\eta b^2 I^2 \epsilon^2 \gamma^2 - 2wclb^2 \epsilon^2 \eta^2 t^2)}{(2I\eta\lambda^2 + \epsilon\eta t^2 + 2I\epsilon\gamma^2 - 4Ib\epsilon\eta)^2} \quad (32)$$

$$EP_M^{*Ce} = \frac{(-2\epsilon\alpha^2 I^2 \lambda^2 \eta^2 - I\alpha^2 \epsilon^2 \eta^2 t^2 - 8acb^2 I^2 \epsilon^2 \eta^2 + 8wab^2 I^2 \epsilon^2 \eta^2 + 8abc\epsilon I^2 \lambda^2 \eta^2 + 4abc\eta I^2 \epsilon^2 \gamma^2 + 4abcI\epsilon^2 \eta^2 t^2 - 4wab\epsilon I^2 \lambda^2 \eta^2 - 4wab\eta I^2 \epsilon^2 \gamma^2 - 2wabI\epsilon^2 \eta^2 t^2 + 8c^2 I^2 \epsilon^2 \eta^2 b^3 - 8wcl^2 \epsilon^2 \eta^2 b^2 - 6\epsilon b^2 c^2 I^2 \lambda^2 \eta^2 - 4\eta b^2 c^2 I^2 \epsilon^2 \gamma^2 - 3Ib^2 c^2 \epsilon^2 \eta^2 t^2 + 4wcc\epsilon b^2 I^2 \lambda^2 \eta^2 + 4wcn\eta b^2 I^2 \epsilon^2 \gamma^2 + 2wclb^2 \epsilon^2 \eta^2 t^2)}{(2I\eta\lambda^2 + \epsilon\eta t^2 + 2I\epsilon\gamma^2 - 4Ib\epsilon\eta)^2} \quad (33)$$

حالت مشارکتی. این ساختار به دنبال بیشینه کردن سود موردانتظار زنجیره تأمین است؛ ولی نکته حائز اهمیت این است که شرط بزرگ‌تر بودن مقادیر سود تولیدکننده و خرده‌فروش نسبت به حالت غیرمتمرکز باید همواره برقرار باشد تا مشارکت اعضا تضمین شود. در حالت مشارکتی اهداف و سیاست‌های اعضای زنجیره هر یک به‌تنهایی حائز اهمیت است، درست برخلاف حالت متمرکز که تمامی اعضا باید اهداف و سیاست‌های خود را کنار بگذارند و در راستای سیاست اصلی زنجیره تأمین حرکت کنند. در حالت متمرکز، هر یک از اعضا که اهداف و سیاست‌هایی هم‌راستا و یا نزدیک به اهداف و سیاست‌های زنجیره داشته باشند نفع بیشتری را از شرایط خواهند برد؛ ولی در حالت مشارکتی علاوه بر اینکه دستیابی به اهداف و سیاست‌های کلی زنجیره هدف اصلی است، برآورده کردن اهداف و سیاست‌های اعضا نیز حائز اهمیت است. بدین

ترتیب انگیزه کافی برای استقبال از این شیوه تصمیم‌گیری در میان اعضا ایجاد می‌شود؛ زیرا اعضا این شانس را دارند که در کنار تحقق سود بیشتر برای کل زنجیره، بتوانند اهداف خود را نیز تحقق بخشند و از شرایط برد-برد این روش بهره‌مند شوند. در ادامه یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای سناریوی تصمیم‌گیری مشارکتی اعضا ارائه می‌شود.

مدل تصمیم‌گیری مشارکتی. در تصمیم‌گیری مشارکتی، هر یک از اعضا بر اساس قدرت چانه‌زنی، تسلط بر بازار و یا برآورد ارزش مالی سازمان که به صورت اهرم‌های قدرت β_1 و β_2 در مدل وارد می‌شود، می‌توانند در خصوص تسهیم سود افزایش‌یافته زنجیره با استفاده از این روش مذاکره کنند؛ بنابراین در تصمیم‌گیری مشارکتی علاوه بر تلاش برای سودآوری بیشتر زنجیره تأمین، ایجاد انگیزش کافی در اعضا، برای برآورده کردن اهداف شخصی آن‌ها نیز اهمیت دارد. با توجه به موارد گفته‌شده، مدل ریاضی حالت مشارکتی به صورت زیر است:

$$\text{Max } EP_{SC}^{Co} = \text{Max} \left[(p - c)(\alpha + \tau e + \lambda \theta + \gamma \varphi - bp) - \frac{\eta \varphi^2}{2} - \frac{\varepsilon \theta^2}{2} - Ie^2 \right] \quad (34)$$

s.t:

$$EP_M^{Co} = \left[(w - c)(\alpha + \tau e + \lambda \theta + \gamma \varphi - bp) - Ie^2 - \frac{\varepsilon \theta^2}{2} \right] \geq EP_M^{*De} + \beta_1 (EP_{SC}^{*Ce} - E_{SC}^{*De}) \quad (35)$$

$$EP_R^{Co} = \left[(p - w)(\alpha + \tau e + \lambda \theta + \gamma \varphi - bp) - \frac{\eta \varphi^2}{2} \right] \geq EP_R^{*De} + \beta_2 (EP_{SC}^{*Ce} - E_{SC}^{*De}) \quad (36)$$

$$0 < \beta_1 + \beta_2 < 1 \quad (37)$$

$$p, e, \theta, \varphi \in R^+ \quad (38)$$

تابع هدف ۳۴، به دنبال بیشینه کردن سود زنجیره تأمین در حالت تصمیم‌گیری مشارکتی است، محدودیت ۳۵، تضمین می‌کند که مقدار سود تولیدکننده در حالت تصمیم‌گیری مشارکتی حتماً بیشتر از سود تولیدکننده در حالت بهینه غیرمتمرکز باشد؛ به عبارتی با اضافه کردن مقدار $\beta_1 (EP_{SC}^{*Ce} - E_{SC}^{*De})$ به سمت راست محدودیت ۳۵، انگیزه لازم برای مشارکت تولیدکننده در تصمیم‌گیری مشارکتی ایجاد می‌شود؛ همچنین EP_M^{*De} مقدار بهینه سود موردانتظار تولیدکننده

در حالت غیرمتمرکز یا معادله ۱۸، است. محدودیت ۳۶، به صورت مشابهی تضمین می‌کند که مقدار سود خرده‌فروش در حالت تصمیم‌گیری مشارکتی حتماً بیشتر از سود خرده‌فروش در حالت بهینه غیرمتمرکز باشد؛ به عبارت دیگر با اضافه کردن مقدار $(EP_{SC}^{*De} - EP_{SC}^{*Ce})$ به سمت راست محدودیت ۳۶، انگیزه لازم برای مشارکت خرده‌فروش در تصمیم‌گیری مشارکتی ایجاد می‌شود؛ همچنین EP_R^{*De} مقدار بهینه سود موردانتظار خرده‌فروش در حالت غیرمتمرکز یا معادله ۱۹، است. محدودیت ۳۷، هم اطمینان می‌دهد که انگیزه لازم برای مشارکت اعضا فراهم شده است و هم از غیرموجه شدن جواب مسئله جلوگیری می‌کند. محدودیت ۳۸، محدوده امکان‌پذیر متغیرهای تصمیم مسئله را مشخص می‌کند.

جدول ۳. پارامترهای مثال عددی

	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	TP10
α	۱۰۰۰	۹۰۰	۱۲۰۰	۱۱۱۰	۱۵۰۰	۱۲۵۰	۱۱۳۵	۱۳۷۰	۱۸۰۰	۲۰۰۰
b	۳۰	۴۰	۳۸	۴۰	۵۰	۳۸	۴۲	۵۲	۵۵	۶۰
c	۶	۱۰	۷	۸	۷	۹	۶	۶	۷	۷
w	۱۰	۱۵	۱۳	۱۸	۲۰	۱۳	۱۱	۱۸	۲۰	۲۰
η	۲۰	۱۸	۱۶	۱۳	۱۴	۱۲	۱۰	۱۷	۱۹	۲۰
ε	۱۵	۱۸	۱۳	۱۰	۷	۱۲	۱۵	۱۲	۱۵	۱۸
I	۱۷	۱۳	۱۷	۱۸	۲۰	۲۰	۱۸	۱۴	۱۶	۱۵
γ	۱۳	۱۰	۱۲	۱۷	۱۵	۱۴	۱۶	۱۳	۱۱	۱۴
t	۷	۱۳	۱۵	۱۵	۱۰	۱۸	۱۰	۱۶	۱۴	۱۲
λ	۱۰	۷	۲۰	۱۵	۱۷	۷	۱۳	۱۲	۱۳	۱۵
β_1	-۰/۳	-۰/۲۷	-۰/۲	-۰/۳۲	-۰/۳	-۰/۳	-۰/۲۴	-۰/۱	-۰/۱۲	-۰/۲۶
β_2	-۰/۱	-۰/۴۳	-۰/۱۵	-۰/۱۴	-۰/۳	-۰/۱	-۰/۳۳	-۰/۴	-۰/۲۷	-۰/۲۶

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

برای بررسی کمی نتایج حاصل از مدل، مجموعه‌ای از ۱۰ مثال عددی برای تحلیل کارایی مدل‌ها اجرا شد. در جدول ۳، مجموعه پارامترهای به‌کاررفته برای بررسی کارایی مدل بر اساس مثال‌های عددی و در جدول ۴، نتایج اجرای مدل‌های پیشنهادی بر روی داده‌های جدول ۳ در هر سه حالت غیرمتمرکز، متمرکز و تصمیم‌گیری مشارکتی ارائه شده است. بر اساس نتایج جدول ۴، مدل مشارکتی پیشنهادی توانسته است در کلیه مسائل آزمایش موجب سودآوری بیشتر زنجیره تأمین نسبت به حالت غیرمتمرکز شود. اگرچه مدل پیشنهادی نتوانسته است به میزان سود حالت متمرکز دست یابد، مشخص است که سود هر دو عضو نسبت به حال غیرمتمرکز بهبود یافته است و در نتیجه اعضا، انگیزه کافی برای مشارکت دارند.

جدول ۴. کارایی زنجیره تأمین سبز به‌ارزای ورودی‌های جدول ۳

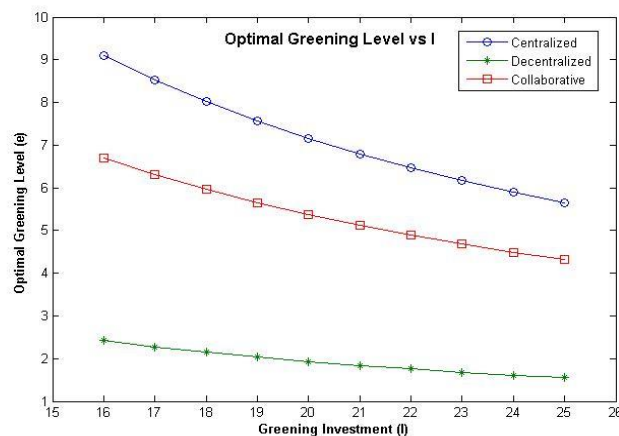
حالت متمرکز							
	p^*	e^*	θ^*	φ^*	EP_{Sc}^{*Ce}	EP_R^{*Ce}	EP_M^{*Ce}
TP _۱	۲۴/۸۷۶	۳/۸۸۶	۱۲/۵۸۴	۱۲/۲۶۹	۷۷۳۹	۶۹۱۸/۳۰۴	۸۲۰/۶۹۷
TP _۲	۱۷/۶۶۶	۳/۸۳۳	۲/۹۸۱	۴/۲۵۹	۱۹۱۶/۵	۱۲۶۲/۲	۶۵۴/۳
TP _۳	۲۴/۷۲۶	۷/۸۲۱	۱۳/۶۳۶	۱۳/۲۹۵	۸۲۷۸/۲	۶۴۸۴/۸	۱۷۹۳/۴
TP _۴	۳۵/۲۲۳	۱۱/۳۴۳	۴۰/۸۳۵	۳۵/۶	۱۰۷۵۲/۹۷۴	۱۰۵۱۷/۱۰۳	۲۳۵/۸۷۱
TP _۵	۳۵/۶۴۸	۷/۱۶۲	۶۹/۵۷۳	۳۰/۶۹۴	۱۶۴۷۲	۱۵۸۱۹	۶۵۳
TP _۶	۲۸/۱۲۳	۸/۶۰۵	۱۱/۱۵۵	۲۲/۳۱۰	۸۶۸۸/۱۶	۸۰۰۲/۵	۶۷۹/۰۸۷
TP _۷	۲۵/۹۰۷	۵/۵۳۰	۱۷/۲۵۳	۳۱/۸۵۲	۸۷۸۹/۱	۷۳۹۱/۵	۱۳۹۷/۶
TP _۸	۲۰/۵۱۰	۸/۲۹۱	۱۴/۵۱۰	۱۱/۰۹۶	۷۶۷۵/۷۵۳	۸۴۷/۲۵۳	۶۸۲۵/۵
TP _۹	۲۳/۴۰۸	۷/۱۷۸	۱۴/۲۲۰	۹/۴۹۹	۱۱۶۰۸/۵۱	۲۳۱۸/۰۱	۹۳۹۰/۵
TP _{۱۰}	۲۴/۰۰۸	۶/۸۰۳	۱۴/۱۷۳	۱۱/۹۰۵	۱۳۴۳۶/۱	۲۶۷۲/۱	۱۰۷۶۴
حالت غیرمتمرکز							
	p^*	e^*	θ^*	φ^*	EP_{Sc}^{*De}	EP_R^{*De}	EP_M^{*De}
TP _۱	۲۳/۹۴۵	-/۴۷۹	۱/۵۵۲	۹/۰۶۴	۶۶۶۴/۰۱۶	۵۰۱۲/۵۱۲	۱۶۵۱/۵۰۴
TP _۲	۱۹/۲۶۳	۱/۳۴۳	۱/۰۴۵	۲/۴۲۴	۱۵۴۷/۶۹۷	۷۰۸/۴۴۵	۸۳۹/۲۵۲
TP _۳	۲۴/۲۶۴	۱/۵۰۱	۲/۶۱۸	۸/۴۴۸	۶۷۳۵/۹	۴۲۵۰/۵	۲۴۸۵/۴
TP _۴	۲۸/۱۹۷	۲/۸۸۵	۱۰/۳۸۶	۱۳/۳۳۴	۶۳۹۲/۹	۳۰۰۳/۳	۳۳۸۹/۶
TP _۵	۲۹/۹۹۸	۱/۹۳۶	۱۸/۸۰۹	۱۰/۷۱۲	۹۳۸۰/۱	۴۱۹۴/۶	۵۱۸۵/۵
TP _۶	۲۶/۱۹۱	۱/۱۴۶	۱/۴۸۶	۱۵/۳۸۹	۷۱۵۶/۱	۵۱۹۰/۷	۱۹۶۵/۴
TP _۷	۲۳/۳۸۹	-/۹۹۹	۳/۱۱۶	۱۹/۸۲۲	۶۹۹۲/۵	۴۴۸۱/۶	۲۵۱۰/۸
TP _۸	۲۴/۱۰۵	۳/۷۹۱	۶/۶۳۴	۴/۶۶۹	۵۰۹۷/۵	۱۷۵۳/۱	۳۳۴۴/۵
TP _۹	۲۷/۹۱۳	۳/۰۱۹	۵/۹۸۰	۴/۵۸۱	۸۴۸۷/۷	۳۲۴۴/۱	۵۲۴۳/۶
TP _{۱۰}	۲۸/۳۷۱	۲/۸۳۱	۵/۸۹۸	۵/۸۶۰	۹۹۵۶/۶	۳۸۶۰/۸	۶۰۹۵/۸
حالت مشارکتی							
	p^*	e^*	θ^*	φ^*	EP_{Sc}^{*Co}	EP_R^{*Co}	EP_M^{*Co}
TP _۱	۲۱/۸۰۸	۲/۰۴۴	۶/۶۱۷	۱۲/۸۵۶	۷۳۲۷/۷۷۶	۵۳۵۲/۶۹۸	۱۹۷۴/۰۵۴
TP _۲	۱۸/۴۹۷	۴/۸۳۷	۳/۷۶۲	۴/۰۲۱	۱۸۸۳/۲۲۳	۸۶۷/۰۲۳	۱۰۱۶/۲
TP _۳	۲۲/۹۵۴	۵/۹۴۳	۱۰/۳۶۲	۱۳/۴۶۱	۸۱۳۳/۴۴۲	۵۳۳۹/۴۸۸	۲۷۹۳/۹۳۱
TP _۴	۳۰/۳۷۳	۸/۰۹۱	۲۹/۱۲۶	۳۳/۳۶۲	۱۰۱۷۶/۸	۵۳۹۱/۸۶۱	۴۷۸۴/۹۱۳
TP _۵	۳۰/۹۴۹	۵/۴۸۱	۵۳/۳۴۷	۲۸/۸۱۸	۱۵۸۶۹/۸۲	۸۹۱۱/۱۹۳	۶۹۵۸/۵۹۹
TP _۶	۲۴/۷۴۳	۴/۴۱۸	۵/۷۲۷	۲۳/۱۲۰	۸۰۶۱/۱۲۰	۵۶۳۵/۹۶۵	۲۴۲۵/۰۷۰
TP _۷	۲۳/۶۸۸	۳/۷۵۷	۱۱/۷۲۳	۳۲/۲۰۴	۸۴۸۲/۰۰۵	۵۵۴۰/۱۴۸	۲۹۴۱/۸۹۸
TP _۸	۲۳/۲۳۰	۱۱/۱۲۳	۱۹/۴۶۵	۱۰/۴۲۹	۷۲۸۹/۰۳۰	۲۷۸۴/۴۴۴	۴۵۰۴/۵۶۷
TP _۹	۲۵/۷۳۳	۹/۰۸۳	۱۷/۹۹۴	۸/۸۷۸	۱۱۳۰۲/۷۴۶	۴۰۸۶/۵۸۷	۷۲۱۶/۱۵۶
TP _{۱۰}	۲۶/۳۰۷	۸/۶۴۰	۱۸/۰۰۱	۱۱/۰۸۹	۱۳۰۸۵/۹۱۱	۴۷۶۵/۱۸۲	۸۳۲۰/۸۳۴

تحلیل حساسیت. در این قسمت، تأثیرات هزینه سرمایه‌گذاری سبز و سطح آگاهی زیست محیطی بر شاخص‌های منتخب کارایی زنجیره تأمین سبز و هر یک از اعضا بررسی می‌شود.

تحلیل تأثیرات هزینه سرمایه‌گذاری‌های سبز: حد پایین سرمایه‌گذاری سبز باید در محدوده زیر قرار داشته باشد.

$$I > \frac{-a\epsilon\eta t^2 + 3bc\epsilon\eta t^2 - 2b\epsilon\eta w t^2}{2 \left(a\eta\lambda^2 - 3bc\eta\lambda^2 + 4c\epsilon\eta b^2 - 2bc\epsilon\gamma^2 + 2b\eta w\lambda^2 - 4\epsilon\eta w b^2 + 2b\epsilon w\gamma^2 \right)} \quad (39)$$

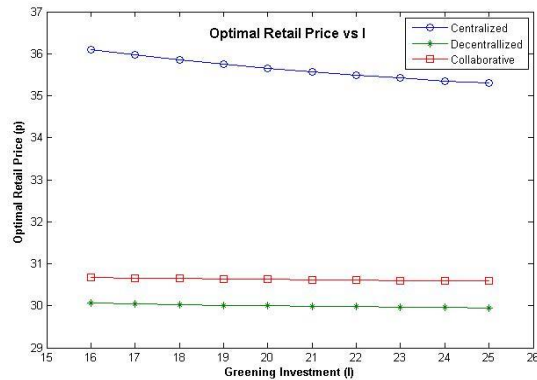
بدین ترتیب با توجه به این نکته و با استفاده از پارامترهای مثال عددی پنج باید $I > 15/395$ باشد تا مسئله در محدوده شدنی قرار بگیرد. مطابق با نمودار ۱، همان‌طور که انتظار می‌رفت، ضریب سرمایه‌گذاری سبز، تأثیر منفی بر سطح بهبودهای زیست محیطی دارد؛ همچنین سطح اقدامات زیست محیطی در حالت متمرکز بیشتر از حالت مشارکتی و در ادامه بیشتر از حالت غیرمتمرکز است؛ از طرفی مقادیر بهینه بهبودهای زیست محیطی به دست آمده در حالت مشارکتی فاصله کمی با نتایج حاصل از حالت متمرکز دارد.



نمودار ۱. سطح بهینه اقدامات زیست محیطی، تابعی از سرمایه‌گذاری سبز

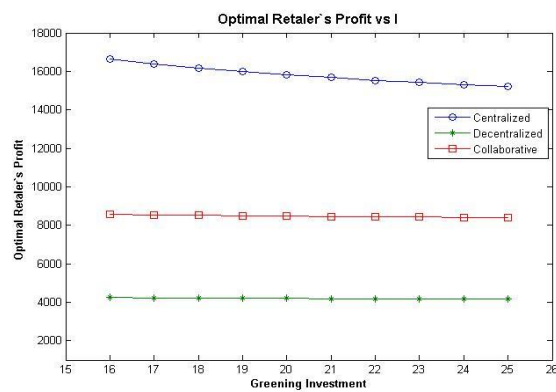
با توجه به نمودار ۲، با افزایش هزینه سرمایه‌گذاری‌های سبز، سطح قیمت خرده‌فروشی در هر سه حالت کاهش می‌یابد؛ همچنین در یک نتیجه‌گیری جالب سطح قیمت محصول در حالت متمرکز بیشتر از حالت مشارکتی و در ادامه بیشتر از حالت غیرمتمرکز است. دلیل این پدیده را می‌توان در بهتر بودن شرایط عوامل مثبت تأثیرگذار بر تقاضا دانست که زنجیره تأمین سبز را به

سمت قیمت خرده‌فروشی بالاتر سوق می‌دهد؛ از طرفی با افزایش هزینه سرمایه‌گذاری‌های سبز، قیمت خرده‌فروشی در حالت متمرکز با شیب بیشتری در مقایسه با دو حالت دیگر کاهش می‌یابد؛ بدین ترتیب می‌توان دریافت که حالت مشارکتی با افزایش هزینه سرمایه‌گذاری‌های سبز واکنش نرم‌تری به تغییر در قیمت خرده‌فروشی دارد.

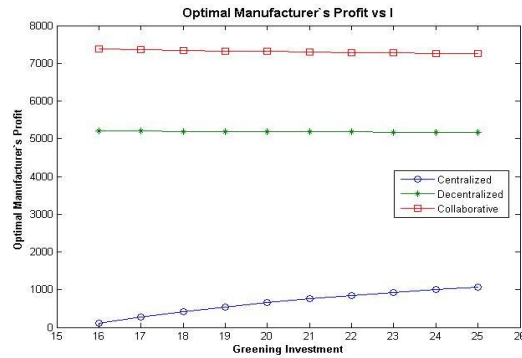


نمودار ۲. مقدار بهینه قیمت خرده‌فروشی، تابعی از سرمایه‌گذاری سبز

با توجه به نمودار ۴، سود تولیدکننده با افزایش هزینه سرمایه‌گذاری‌های سبز، در حالات سه‌گانه رفتارهای متفاوتی را نشان می‌دهد. در حالت متمرکز با افزایش هزینه سرمایه‌گذاری‌های سبز، تولیدکننده رفته‌رفته با افزایش سوددهی روبه‌رو می‌شود؛ درحالی‌که سایر حالات با کاهش در میزان سوددهی تولیدکننده روبه‌رو هستند. از طرفی در حالات غیرمتمرکز و مشارکتی با کاهش ملایم شیب سوددهی تولیدکننده مشاهده می‌شود. برهم‌کنش نمودارهای ۳ و ۴ باعث پدیدار شدن نمودار ۵ یا همان سوددهی کل زنجیره تأمین سبز می‌شود.

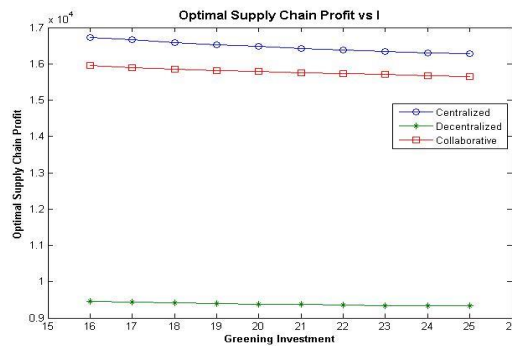


نمودار ۳. مقدار بهینه سود خرده‌فروشی، تابعی از سرمایه‌گذاری سبز



نمودار ۴. مقدار بهینه سود تولیدکننده به عنوان تابعی از سرمایه گذاری سبز

نمودار ۵، نشان از بهبود مطلق سوددهی حالت مشارکتی نسبت به حالت غیرمتمرکز و فاصله اندک سود کل ناشی از حالت مشارکتی در مقایسه با حالت متمرکز دارد. سوددهی زنجیره تأمین سبز با افزایش میزان هزینه سرمایه گذاری‌های سبز در هر سه حالت متمرکز، غیرمتمرکز و مشارکتی با کاهش روبه‌رو می‌شود.

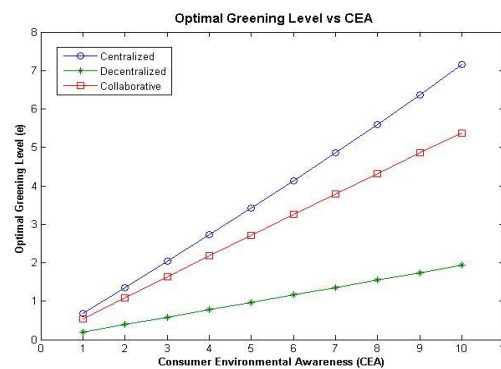


نمودار ۵. مقدار بهینه سود زنجیره تأمین، تابعی از سرمایه گذاری سبز

تحلیل تأثیرات سطح آگاهی زیست محیطی: با توجه به روابط ۱ تا ۳۳، حد بالای ارزش موردانتظار سطح آگاهی زیست محیطی باید در محدوده زیر قرار داشته باشد.

$$0 < t < \sqrt{\frac{-2I\epsilon\eta(\alpha - 3bc) \left(\begin{matrix} \alpha\eta\lambda^2 - 3bc\eta\lambda^2 + 4c\epsilon\eta b^2 - 2bc\epsilon\gamma^2 \\ + 2b\eta\omega\lambda^2 - 4\epsilon\eta\omega b^2 + 2b\epsilon\omega\gamma^2 \end{matrix} \right)}{\alpha\epsilon\eta - 3bc\epsilon\eta + 2b\epsilon\eta\omega}} \quad (40)$$

بدین ترتیب با استفاده از پارامترهای مثال عددی پنج، سطح آگاهی زیست‌محیطی باید در محدوده $0 < t < 11/397$ قرار بگیرد تا مسئله در محدوده شدنی باشد. مطابق با نمودار ۶، سطح اقدامات زیست‌محیطی، رابطه‌ای مستقیم با سطح آگاهی زیست‌محیطی دارد و این شرایط بر هر سه حالت، حکم فرما است. همچنین سطح بهینه اقدامات زیست‌محیطی در حالت مشارکتی بیشتر از حالت غیرمتمرکز است؛ بنابراین تصمیم‌گیری در حالت مشارکتی، انگیزه لازم برای استفاده اعضا از این شیوه در راستای دست‌یافتن به سطوح بالاتری از اقدامات زیست‌محیطی را تضمین می‌کند. از طرفی از نظر زنجیره تأمین سبز، با افزایش سطح آگاهی زیست‌محیطی با توجه به تأثیر مثبت این عامل بر تقاضای بازار، میل و رغبت بیشتری در مشتریان ایجاد می‌شود که این امر افزایش فروش و متعاقباً افزایش سود زنجیره تأمین سبز را به دنبال دارد.



نمودار ۶. سطح بهینه اقدامات زیست‌محیطی، تابعی از سطح آگاهی زیست‌محیطی

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مطالعه مسئله ایجاد هماهنگی در یک زنجیره تأمین سبز دوسطحی شامل یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش با در نظر گرفتن سطح آگاهی زیست‌محیطی و تلاش‌های زیست‌محیطی بررسی شد. نوآوری این مطالعه استفاده از سازوکار تصمیم‌گیری مشارکتی در ایجاد انگیزش و هماهنگی میان اعضای زنجیره تأمین سبز، استفاده از اهرم‌های قدرت برای ایجاد مجموعه جواب‌های پارتو و استفاده از مجموعه کامل‌تری از عوامل تأثیرگذار بر تابع تقاضا محصول است. نتایج نشان داد که حالت متمرکز، سود کل زنجیره و میزان بهبودهای زیست‌محیطی و کیفیت و سطح تبلیغات/بازاریابی را افزایش می‌دهد؛ ولی لزوماً سود اعضا را به صورت مناسبی تعیین نمی‌کند. تصمیم‌گیری بر مبنای حالت غیرمتمرکز نیز نمی‌تواند سودآوری بیشتر کل زنجیره تأمین را تضمین کند؛ چراکه هر یک از اعضا تنها به دنبال اهداف و سودآوری خود هستند. چنین شرایطی همواره به کارایی پایین زنجیره تأمین سبز و تقاضای اندک در بازار

منجر می‌شود؛ ولی در حالت مشارکتی علاوه بر اهداف کلی زنجیره تأمین اهداف و سیاست‌های اعضا نیز با اهمیت است و اعضا می‌توانند با مذاکره در خصوص پارامترهای مختلف به تصمیمات بهتری دست یابند که هم منافع کل زنجیره و هم منافع هر یک از اعضا را در نظر داشته باشد. بررسی مثال‌های عددی نشان می‌دهد که حالت مشارکتی در مقایسه با حالت متمرکز به سوددهی کمتری می‌انجامد؛ ولی در عوض تسهیم بهتری از سود را میان اعضا انجام می‌دهد. با توجه به نتایج و تحلیل حساسیت‌های صورت‌گرفته می‌توان نتیجه گرفت که تصمیم‌گیری مشارکتی، توانایی هماهنگ‌سازی کل زنجیره تأمین سبز را دارد و موجب افزایش تمایل اعضا برای شرکت در این زنجیره هماهنگ می‌شود.

منابع

1. Amacher, G. S., Koskela, E., & Ollikainen, M. (2004). Environmental quality competition and eco-labelling. *Journal Environment Economics Management*, 47, 284–306.
2. Aslani, A., & Heydari, J. (2019). Transshipment Contract for Coordination of a Green Dual-Channel Supply Chain under Channel Disruption. *Journal of Cleaner Production*, 223, 596-609.
3. Atasu, A., Sarvary, M., & Van Wassenhove, L. N. (2008). Remanufacturing as a marketing strategy. *Management Science*, 54(10), 1731-1746.
4. Basiri, Z., & Heydari, J., (2017). A mathematical model for green supply chain coordination with substitutable products. *Journal of cleaner production*, 145, 232-249.
5. Bemporad, R., & Baranowski, M. (2007). Conscious consumers are changing the rules of marketing. Are you ready? *Highlights from the BBMG conscious consumer report*. <http://www.bbm.com>.
6. Chitra, K. (2007). In search of the green consumers: A perceptual study. *Journal of Services Research*, 7(1), 173–191.
7. European Commission (2008). Attitudes of Europeans citizens towards the environment. http://www.ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_295_en.pdf.
8. Geyer, R., Wassenhove, L.N.V., & Atasu, A., (2007). The economics of remanufacturing under limited component durability and finite product life cycles. *Management Science*, 53(1), 88-100.
9. Ghosh, D., & Shah, D. (2015). Supply chain analysis under green sensitive consumer demand and cost sharing contract,” *Int. J. Production Economics*, 164, 319-329.
10. Ghosh, D., & Shah, J. (2012). A comparative analysis of greening policies across supply chain structures. *International Journal of Production Economics*, 135(2), 568-583.
11. Green, K. W., Jr, Zelbst, P. J., Meacham, J., & Bhadauria, V. S. (2012). Green supply chain management practices: Impact on performance. *Supply Chain Management: An International Journal*, 17(3), 290–305.
12. Heydari, J., (2013). Optimizing supplier’s replenishment strategy in a two echelon supply chain under stochastic lead time, *Journal of Industrial Management Perspectives*, 3(9), 37-59 (In Persian)
13. Hosseini-Motlagh, S.M., & Ebrahimi, S. (2018). Coordination of a green supply chain with one manufacturer and two duopolistic retailers through an environmental and social cost-sharing contract. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 11, 108-126.
14. Hosseini-Motlagh, S.M., Nematollahi, M. & Nouri, M. (2018). Coordination of green quality and green warranty decisions in a two-echelon competitive supply chain with substitutable products. *Journal of cleaner production*, 196, 961-984.
15. Laroche, M., Bergeron, J., & Barbaro-Forleo, G. (2001). Targeting consumers who are willing to pay more for environmentally-friendly products. *Journal of Consumer Marketing*, 18(6), 503–520.
16. Li, B., Zhu, M., & Jiang, Y. (2016). Pricing policies of a competitive dual-channel green supply chain,” *Journal of Cleaner Production*, 112, 2029-2042.

17. Liu, J., Martin, B., & Wang, H. (2014). Supply chain coordination with customer returns and refund-dependent demand. *International Journal of Production Economics*, 148, 81-89.
18. Liu, Z., Anderson, T. D., & Cruz, J. M. (2012). Consumer environmental awareness and competition in two-stage supply chains. *European Journal of Operational Research*, 218, 602-613.
19. Lu, J.C., Tsao, Y.C., & Charoensiriwath, C. (2011). Competition under manufacturer service and retail price. *Economic Modelling*, 28(3), 1256-1264.
20. Ma, P., Wang, H., & Shang, J. (2013a). Supply chain channel strategies with quality and marketing effort-dependent demand. *International Journal of Production Economics*, 144, 572-581.
21. Ma, P., Wang, H., & Shang, J. (2013b). Contract design for two-stage supply chain coordination: Integrating manufacturer-quality and retailer-marketing efforts. *International Journal of Production Economics*, 146, 745-755.
22. Ma, P., Zhang, C., Hong, X. Xu, H. (2018). Pricing decisions for substitutable products with green manufacturing in a competitive supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 183, 618-640.
23. Martin-Herran, G., & Taboubi, S. (2015). Price coordination in distribution channels: A dynamic perspective. *European Journal of Operational Research*, 240(2), 401-414.
24. Mitra, S., & Webster, S. (2008). Competition in remanufacturing and Effects of Government Subsidies. *International Journal of Production Economics*, 111, 287-298.
25. Mortazavi, S., Seif Barghy, M., (2018). Two-objective modeling of location-allocation problem in a green supply chain considering transportation system and CO2 emission, *Journal of Industrial Management Perspectives*, 8(29), 163-185 (In Persian) [cheshm 1]
26. Navinchandra, D. (1990). *Steps toward environmentally compatible product and process design: A case for green engineering*. Carnegie Mellon University, Robotics Institute, Pittsburgh, PA.
27. OECD (2002). Report of the OECD workshop on information and consumer decision making for sustainable consumption. Working Party on National Environmental Policy. *ENV/EPOC/WPNEP (2001)16/FINAL*.
28. Östlin, J., Sundin, E., & Björkman, M. (2008). Importance of closed-loop supply chain relationships for product remanufacturing. *International Journal of Production Economics*, 115(2), 336-348.
29. Plambeck, E. L. (2007). The greening of Wal-Mart's supply chain. *Supply Chain Management Review*, 11(5), 18-25.
30. Proposing model for master planning of sustainable supply chain with considering integration of physical and financial flow, *Journal of Industrial Management Perspectives*, 8(29), 39-62 (In Persian)
31. Raj, A., Biswas, I. & Srivastava, S.K., (2018). Designing supply contracts for the sustainable supply chain using game theory. *Journal of cleaner production*, 185, 275-284.
32. Ranjan, A., & Jha, J. K. (2019). Pricing and coordination strategies of a dual-channel supply chain considering green quality and sales effort. *Journal of Cleaner Production*, 218, 409-424.
33. Savaskan, C., & Van Wassenhove, L.N., (2006). Reverse channel design: The case of competing retailers. *Management Science*, 52(1), 1-14.

34. Savaskan, C., Bhattacharya, S., Van Wassenhove, L. N. (2004). Closed-loop supply chain models with product remanufacturing. *Management Science*, 50(2), 239-252.
35. Song, H. & Gao, X., (2018). Green supply chain game model and analysis under revenue-sharing contract. *Journal of Cleaner Production*, 170, 183-192.
36. Swami, S., & Shah, J. (2012). Channel coordination in green supply chain management. *Journal of Operational Research Society*, 64(3), 336-351.
37. Testa, F., & Iraldo, F. (2010). Shadows and lights of GSCM (Green Supply Chain Management): Determinants and effects of these practices based on a multinational study. *Journal of Cleaner Production*, 18(10), 953-962.
38. Tsai, W. H., & Hung, S. J. (2009). A fuzzy goal programming approach for green supply chain optimization under activity-based costing and performance evaluation with a value-chain structure. *International Journal of Production Research*, 47(18), 4991-5017.
39. Wu, D.D. (2013). Bargaining in supply chain with price and promotional effort depended demand. *Mathematical and Computer Modeling*, 58, 1659-1669.
40. Xie, G. (2015). Modeling decision processes of a green supply chain with regulation on energy saving level. *Computer & Operational Research*, 54, 266-273.
41. Xu, L., Wang, C., & Zhao, J. (2018). Decision and coordination in the dual-channel supply chain considering cap-and-trade regulation. *Journal of Cleaner Production*, 197, 551-561.
42. Xu, X., He, P., Xu, H., & Zhang, Q. (2017). Supply chain coordination with green technology under cap-and-trade regulation. *International Journal of Production Economics*, 183, 433-442.
43. Zhang, Ch. T., & Liu, L. P. (2013). Research on coordination mechanism in three-level green supply chain under non-cooperative game. *Applied Mathematical Modelling*, 37, 3369-3379.
44. Zhang, Ch. T., Wang, H. X., & Ren, M. L. (2014). Research on pricing and coordination strategy of green supply chain under hybrid production mode. *Computers & Industrial Engineering*, 72, 24-31.
45. Zhang, Ch. T., Wang, H. X., & Ren, M. L. (2014). Research on pricing and coordination strategy of green supply chain under hybrid production mode. *Computers & Industrial Engineering*, 72, 24-31.
46. Zhang, L., Wang, J., & You, J. (2015). Consumer environmental awareness and channel coordination with two substitutable products. *European Journal of Operational Research*, 241, 63-73.

Coordinating Green/Functional Quality Decisions in a Two-Stage Green Supply Chain

Jafar Heydari^{*}, Amir Memarian^{**}, Ali Bozorgi Amiri^{***}

Abstract

The current research intends to optimize green/functional quality decisions along with pricing and marketing decisions in a two-echelon supply chain. In this paper, coordination of a supply chain is analyzed under consumer environmental awareness (CEA) where demand is a function of: (1) price, (2) marketing/advertisements, (3) functional quality, (4) green quality. In the investigated supply chain, the retailer decides on price and advertisement decisions while the manufacturer decides on functional/green quality decisions. At first, the supply chain is modeled under decentralized decision making and at the second stage, decision variables are optimized under the centralized structure. Finally, a mathematical programming model is developed to coordinate decision variables and at the same time ensures participation of both supply chain members. Results show that the proposed mathematical model results in higher profit for the supply chain compared to the decentralized model and also achieves a Pareto improvement for supply chain members. In addition, compared to the decentralized model, under the proposed model, the green quality of products is decided in higher levels.

Keywords: Green Supply Chain; Coordination; Consumer Environmental Awareness (CEA); Pricing; Collaborative Decision Making.

Received: Dec. 25, 2018, Accepted: April 30, 2019.

* Associate Professor, University of Tehran (Corresponding Author).

Email: J.Heydari@ut.ac.ir

** M.Sc., Alborz Campus, University of Tehran.

*** Assistant Professor, School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran.