چشم‌انداز مدیریت صنعتی
سال نهم، شماره ۳۳، بهار ۱۳۹۸
شاپا چاپی: ۹۸۷۴-۲۲۵۱، شاپا الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵
ص‌ص ۱۱۴ ° ۸۷

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

جعفر حیدری*، امیر معماریان، 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 حالتی 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 درنهایت یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی به‌منظور 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[1] (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[2] (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 می‌آورند [۲۵] و این در حالی است که قیمت این محصولات در مقایسه با نمونه‌های مشابه معمول بالاتر است. درواقع به‌دلیل پذیرش مسئولیت اجتماعی[3] 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 برگرفته 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 پاتاگونیا[4]» 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 سبزکردن 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[1]» 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 محصولاتی 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 زنجیره‌تامین 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 سبزکردن 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 به‌صورت سلسله‌مراتبی نمی‌تواند تضمین‌کننده بهترین عملکرد برای کل زنجیره تأمین باشد. از طرف دیگر در این پژوهش یک سازوکار مشارکتی به‌منظور انتفاع هر دو عضو زنجیره تأمین از عواید حاصل از بهینه‌سازی تصمیمات چهارگانه ارائه شده است که بر مبنای اهرم‌های قدرت چانه‌زنی اعضا قابل‌تنظیم 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 موردبررسی قرار می‌گیرد. در بخش چهارم، مطالعه عددی انجام می‌شود. درنهایت در بخش پنجم نتایج عمده و بینش‌های مدیریتی منتج از پژوهش موردبحث 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 کنارگذاشتن 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 موردبررسی قرار می‌گیرد و درنهای برهم‌کنش این دو حوزه، یعنی هماهنگی در زنجیره‌های تأمین سبز که در سال‌های اخیر موردتوجه 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] به‌منظور بیشینه‌کردن 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 موردبررسی 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 زنجیره‌تامین 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 به‌اشتراک‌گذاری 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 مدل‌سازی کردند [۴۳].

با درنظرگرفتن تأثیرات سطح آگاهی زیست‌محیطی مصرف‌کنندگان، پژوهشگران بسیاری سعی داشتند عامل کیفیت زیست‌محیطی را به‌عنوان عامل تقویت کننده 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 سبزبودن 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 سرمایه گذاری‌های 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 موردتوجه 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 آلایندگی در فرآیند تولید به‌واسطه سرمایه‌گذاری در بهبود فناوری مورداستفاده بوده و نشان داده شده است که ترکیب قراردادهای یادشده با یک قرارداد تعرفه دوبخشی می‌تواند موجب ایجاد شرایط برد–برد برای هر دو عضو زنجیره تأمین شود [۴۲].

در پژوهشی مسئله هماهنگ‌سازی تصمیمات قیمت‌گذاری و آلایندگی زیست‌محیطی در یک زنجیره تأمین دوکاناله تحت قانون انتشار آلاینده بررسی و یک قرارداد تسهیم درآمد بهبودیافته 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 سبزبودن 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 گاوو (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 به‌منظور هماهنگ‌سازی تصمیمات مرتبط با عملکرد زیست‌محیطی 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 مورداستفاده می‌تواند کیفیت زیست‌محیطی 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 زیست‌محیطی 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 اضافه‌کردن عامل کیفیت محصول و تلاش‌های بازاریابی/ تبلیغاتی در کنار سطح آگاهی زیست‌محیطی و قیمت محصول ارائه می‌شود.

جدول ۱. شکاف پژوهشی موجود در مبانی نظری موضوع

منبع	زنجیره سبز	عوامل وابسته‌کننده تقاضا	سازوکار هماهنگ‌سازی	متغیرهای تصمیم
[۱۸]	✓	سطح آگاهی زیست‌محیطی، قیمت	-------	قیمت خرده‌فروشی، قیمت عمده‌فروشی، بهبودهای زیست‌محیطی
[۹]	✓	حساسیت مشتریان به محصولات سبز، قیمت	قرارداد به‌اشتراک‌گذاری درآمد	قیمت عمده‌فروشی، قیمت خرده‌فروشی، کیفیت زیست‌محیطی
[۱۰]	✓	قیمت و سطح سبزبودن محصول	قرارداد تعرفه دوبخشی	قیمت خرده‌فروشی و سطح سبزبودن محصول
[۴۶]	✓	قیمت، کیفیت زیست‌محیطی	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 سبزبودن محصول	قرارداد تعرفه دوبخشی	قیمت خرده‌فروشی و سطح سبزبودن محصول
[۴۱]	✓	قیمت و سطح سبزبودن محصول	قرارداد تسهیم درآمد بهبودیافته	قیمت خرده‌فروشی و سطح سبزبودن 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 سبزبودن محصول و سطح مسئولیت اجتماعی زنجیره تأمین	قرارداد تسهیم هزینه	سطح سبزبودن محصول و سطح مسئولیت اجتماعی زنجیره تأمین
مطالعه حاضر	✓	قیمت، سطح سبزبودن محصول، تبلیغات/ بازاریابی و کیفیت	سازوکار تصمیم‌گیری مشارکتی با درنظرگرفتن اهرم‌های قدرت	قیمت خرده‌فروشی، سطح اقدامات زیست‌محیطی، سطح تبلیغات/ بازاریابی و کیفیت

۳. روش‌شناسی پژوهش

تعریف مسئله. این مطالعه به‌دنبال 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 ـ قطعی است و متغیرهای تصمیم عبارت‌اند از: سطح کیفیت محصول سبز؛ سطح اقدامات زیست‌محیطی زنجیره جهت سبزکردن محصول؛ سطح تلاش‌های بازاریابی/ تبلیغاتی و درنهایت قیمت محصول سبز برای ارائه به بازار مصرف. تقاضای بازار تحت تأثیر آگاهی زیست‌محیطی مصرف‌کنندگان قرار دارد؛ به این معنا که مصرف‌کنندگان محصول، به سبزبودن فرآیند تولید و تأثیرات ناشی از مصرف محصول بر محیط‌زیست اهمیت می‌دهند.

مفروضات کلیدی مسئله

ـ اعضای زنجیره‌تامین تصمیماتی منطقی بر مبنای مدل ریاضی اتخاذ می‌کنند.

ـ ارائه تنها یک محصول سبز به بازار مصرف

ـ متغیرهای تصمیم، تلاش‌های بازاریابی/ تبلیغات، کیفیت محصول، قیمت و سطح اقدامات زیست‌محیطی زنجیره است.

ـ مشتریان قادر به تشخیص سطح کیفیت محصول و اقدامات زیست‌محیطی زنجیره هستند.
ـ با افزایش قیمت خرده‌فروشی، سطح تقاضای محصول در بازار افت خواهد کرد و این در حالی است که با افزایش سطح کیفیت، تبلیغات/ بازاریابی و سطح کیفیت زیست‌محیطی محصول، سطح تقاضای بازار افزایش خواهد یافت.
ـ بهبودهای زیست‌محیطی محصول سبز بر عهده بالادست زنجیره (تولیدکننده) است.
ـ 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 به‌کاررفته در مدل‌سازی‌ها مطابق جدول ۲، ارائه شده است.

مدل‌سازی ریاضی. با توجه به مطالب گفته‌شده، تابع تقاضای بازار، D، تابعی از سطح تلاش‌های بازاریابی/ تبلیغات و سطح کیفیت محصول بر اساس منطق به‌کاررفته توسط ما و همکاران (۲۰۱۳a) و قیمت خرده‌فروشی و بهبودهای زیست‌محیطی بر اساس منطق به‌کاررفته توسط لیو و همکاران (۲۰۱۲) است. به‌صورت رابطه ۱، است:

$$D = \alpha + \tau e + \lambda\theta + \gamma\varphi - bp \qquad (۱)$$

که در آن ظرفیت اولیه تقاضای بازار، b حساسیت بازار به قیمت محصول است. پارامتر تأثیر تلاش‌های بازاریابی را بر تابع تقاضا محاسبه کرده و پارامتر تأثیر تلاش‌های بهبود کیفیت محصول را بر تابع تقاضا بررسی می‌کند. سطح آگاهی زیست‌محیطی است که یک عامل تصادفی با E( )t است [۱۸].

جدول ۲. اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم مسئله

اندیس‌ها	
SC	زنجیره تأمین
M	تولیدکننده
R	خرده‌فروش
Ce	حالت متمرکز
De	حالت غیرمتمرکز
Co	حالت تصمیم‌گیری مشارکتی
پارامترها	

D	تابع تقاضای بازار
α	مقدار قطعی ظرفیت اولیه تقاضای بازار در ساختار مدل پایه
b	حساسیت تقاضا به قیمت محصول
	سطح آگاهی زیست‌محیطی مصرف‌کننده که یک عامل تصادفی با $E(\ )$ است.
	حساسیت تقاضا به تلاش‌های بهبود کیفیت
	حساسیت تقاضا به تلاش‌های بازاریابی و تبلیغاتی
	ضریب هزینه بازاریابی
	ضریب هزینه بهبود کیفیت
I	ضریب هزینه سرمایه گذاری سبز
w	قیمت عمده فروشی
$_1$	ضریب اشتراک تولیدکننده در حالت مشارکتی از مابه‌التفاوت سود کل زنجیره در حالات متمرکز و غیرمتمرکز
$_2$	ضریب اشتراک خرده‌فروش در حالت مشارکتی از مابه‌التفاوت سود کل زنجیره در حالات متمرکز و غیرمتمرکز
EP	تابع سود
متغیرهای تصمیم	
e	سطح بهبودهای زیست‌محیطی در محصول، تعیین‌شده توسط تولیدکننده
	سطح کیفیت محصول تعیین‌شده توسط تولیدکننده
	سطح تلاش‌های بازاریابی خرده‌فروش
p	قیمت فروش محصول تعیین‌شده 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 به‌دلیل بهبود سطح کیفیت محصول را کنترل می‌کند. جمله چهارم افزایش تقاضای محصول بر اساس انجام اقدامات تبلیغاتی و بازاریابی را به‌تصویر 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 درنظرگرفتن تابع واکنش خرده‌فروش و تقاضای بازار مشخص می‌کند؛ سپس خرده‌فروش با توجه به تقاضای بازار و مقادیر سطح کیفیت محصول و سطح بهبودهای زیست‌محیطی تعیین‌شده توسط تولیدکننده، میزان قیمت خرده‌فروشی و سطح تلاش‌های بازاریابی خود را تعیین می‌کند. برای حل این مسئله از روش بازگشت استفاده می‌شود.

مسئله خرده فروش. 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 اتخاذشده 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 ذکرشده، تابع سود خرده‌فروش با توجه به تقاضای بازار به‌صورت معادله ۲، است:

$$\max_{(p,\varphi)} EP_R^{De} = Max\ E\left[(p-w)D - \frac{\eta\varphi^2}{2}\right] \qquad (۲)$$

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 هزینه‌های $\eta\varphi^2/2$ 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:

$$\frac{\partial}{\partial p} EP_R^{De} = \alpha + te + \lambda\theta + \gamma\varphi - 2bp + wb = 0 \qquad (۳)$$

$$\frac{\partial}{\partial \varphi} EP_R^{De} = \gamma\rho - \eta\varphi - w\gamma = 0 \qquad (۴)$$

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:

$$H(p,\varphi)=\begin{bmatrix}\frac{\partial^2}{\partial\rho^2}EP_R^{De} & \frac{\partial^2}{\partial\rho\partial\varphi}EP_R^{De}\\ \frac{\partial^2}{\partial\varphi\partial\rho}EP_R^{De} & \frac{\partial^2}{\partial\varphi^2}EP_R^{De}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-2b & \gamma\\ \gamma & -\eta\end{bmatrix} \quad (۵)$$

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:

$$p^*(e,\theta)=\frac{\eta(\alpha+bw+et+\lambda\theta)-w\gamma^2}{2b\eta-\gamma^2} \quad (۶)$$

$$\varphi^*(e,\theta)=\frac{\gamma(\alpha-bw+et+\lambda\theta)}{2b\eta-\gamma^2} \quad (۷)$$

مسئله تولیدکننده. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از واکنش خرده‌فروش در برابر تصمیمات تولیدکننده، در ادامه روش بازگشت، تولیدکننده تابع سود خود را تشکیل خواهد داد و با درنظرگرفتن واکنش خرده‌فروش به تصمیمات خود، مقدار بهینه متغیرهای واگذرشده به بالادست را محاسبه خواهد کرد؛ بنابراین تابع سود تولیدکننده به صورت معادل ۸، خواهد بود:

$$\max_{(e,\theta)} EP_M^{De} = Max\ E\left[(w-c)D-Ie^2-\frac{\varepsilon\theta^2}{2}\right] \quad (۸)$$

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 به‌تصویر می‌کشد. در ادامه فرض شده است که بهبودهای زیست‌محیطی محصول سبز بر هزینه حاشیه‌ای تولیدکننده تأثیرگذار نباشد؛ درنتیجه تولیدکننده باید پول بیشتری را در جهت بهبود کیفیت زیست‌محیطی محصول سرمایه گذاری کند؛ بنابراین هزینه اضافی صرف‌شده در این خصوص توسط تولیدکننده به‌صورت Ie^2 که در آن I ضریب سرمایه‌گذاری سبز است بر تابع سود تولید کننده 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 ضریب هزینه بهبودهای کیفی است بر تابع سود تولیدکننده اعمال خواهد شد. این ساختار هزینه‌ای در مبانی نظری موضوع در موارد متعددی مورداستفاده 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:

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

$$\begin{aligned} Max\ EP_M^{De}(e,\theta) \quad & (۱۰)\\ &=(-2\eta b\hat{}2\ w\hat{}2+2wc\eta b\hat{}2-4I\eta be\hat{}2\\ &+2\eta tbew-2c\eta tbe-2\varepsilon\eta b\theta\hat{}2+2\lambda\eta b\theta w\\ &-2c\lambda\eta b\theta+2\alpha\eta bw-2\alpha c\eta b+2Ie\hat{}2\,\gamma\hat{}2\\ &+\varepsilon\theta\hat{}2\,\gamma\hat{}2)/(4b\eta-2\gamma\hat{}2)\end{aligned}$$

بدین ترتیب تابع سود موردانتظار تولیدکننده و تابع تقاضا مستقل از $p,\ \varphi$ به‌دست 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 قابل‌قبول e و θ معین منفی است. با حل معادلات ۱۱ و ۱۲، خواهیم داشت:

$$e^* = \frac{(w-c)b\eta t}{2I(2b\eta - \gamma^2)} \quad (۱۴)$$

$$\theta^* = \frac{(w-c)b\lambda\eta}{\varepsilon(2b\eta - \gamma^2)} \quad (۱۵)$$

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

$$p^* = \frac{\eta(a+bw) - w\gamma^2}{2b\eta - \gamma^2} + \frac{(w-c)bt\lambda^2}{\varepsilon(2b\eta - \eta^2)^2} + \frac{(w-c)b\eta t^2}{2I(2b\eta - \eta^2)^2} \quad (۱۶)$$

$$\varphi^* = \frac{\gamma(a-bw)}{2b\eta - \gamma^2} + \frac{(w-c)bt\lambda^2}{\varepsilon(2b\eta - \eta^2)^2} + \frac{(w-c)b\eta t^2}{2I(2b\eta - \eta^2)^2} \quad (۱۷)$$

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

$$\begin{aligned} EP_M^{*De} = (&8wI\varepsilon c\eta^2 b^3 - 8I\varepsilon w^2\eta^2 b^3 + 2Ib^2c^2\lambda^2\eta^2 + \varepsilon b^2c^2\eta^2 t^2 \\ &- 4Icwb^2\lambda^2\eta^2 - 2w\varepsilon cb^2t^2\eta^2 - 8\alpha I\varepsilon cb^2\eta^2 \\ &- 4wc\eta I\varepsilon b^2\gamma^2 + 2Ib^2\lambda^2\eta^2 w^2 + \varepsilon b^2\eta^2 t^2 w^2 \\ &+ 8\alpha I\varepsilon wb^2\eta^2 + 4I\varepsilon\eta b^2 w^2\gamma^2 + 4\alpha Ibc\varepsilon\eta\gamma^2 \\ &- 4\alpha I\varepsilon b\eta w\gamma^2)/(4I\varepsilon(2b\eta - \gamma^2)^2) \end{aligned} \quad (۱۸)$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

$$EP_R^{*De} = (16\alpha^2 b^2 I^2 \varepsilon^2 \eta^3 - 16b\alpha^2 I^2 \varepsilon^2 \eta^2 \varepsilon^2 + 4\eta\alpha^2 I^2 \varepsilon^2 \gamma^4 - 32\alpha w I^2 \varepsilon^2 b^3 \eta^3 - 16\alpha c \varepsilon b^2 I^2 \lambda^2 \eta^3 - 8\alpha c I b^2 \varepsilon^2 t^2 \eta^3 + 16\alpha \varepsilon w b^2 I^2 \lambda^2 \eta^3 + 32\alpha w b^2 I^2 \varepsilon^2 \eta^2 \gamma^2 + 8\alpha I w b^2 \varepsilon^2 t^2 \eta^3 + 8\alpha b c \varepsilon I^2 \lambda^2 \eta^2 \gamma^2 + 4\alpha b c I \varepsilon^2 \eta^2 t^2 \gamma^2 - 8\alpha b \varepsilon w I^2 \lambda^2 \eta^2 \gamma^2 - 8\alpha b \eta w I^2 \varepsilon^2 \gamma^4 - 4\alpha b I w \varepsilon^2 \eta^2 t^2 \gamma^2 + 16 I^2 \varepsilon^2 w^2 \eta^3 b^4 + 16 c \varepsilon w I^2 \lambda^2 b^3 \eta^3 + 8 c I w \varepsilon^2 t^2 b^3 \eta^3 - 16\varepsilon I^2 \lambda^2 w^2 b^3 \eta^3 - 16 I^2 \varepsilon^2 \eta^2 \gamma^2 w^2 b^3 - 8 I \varepsilon^2 t^2 w^2 b^3 \eta^3 + 4 b^2 c^2 I^2 \eta^3 \lambda^4 + 4 I \varepsilon t^2 \lambda^2 b^2 c^2 \eta^3 + b^2 c^2 \varepsilon^2 \eta^3 t^4 - 8 c w b^2 I^2 \eta^3 \lambda^4 - 8 c \varepsilon w b^2 I^2 \lambda^2 \eta^2 \gamma^2 - 8 c I \varepsilon w b^2 \lambda^2 t^2 \eta^3 - 4 c I w b^2 \varepsilon^2 \eta^2 t^2 \gamma^2 - 2 c w b^2 \varepsilon^2 \eta^3 t^4 + 4 b^2 I^2 w^2 \eta^3 \lambda^4 + 8\varepsilon b^2 I^2 \lambda^2 \eta^2 w^2 \gamma^2 + 4\eta b^2 I^2 \varepsilon^2 w^2 \gamma^4 + 4 I \varepsilon b^2 \lambda^2 t^2 w^2 \eta^3 + 4 I b^2 \varepsilon^2 \eta^2 t^2 w^2 \gamma^2 + b^2 \varepsilon^2 w^2 \eta^3 t^4)/(8 I^2 \varepsilon^2 (2b\eta - \gamma^2)^3) \quad (۱۹)$$

$$EP_{SC}^{*De} = EP_M^{*De} + EP_R^{*De} \quad (۲۰)$$

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 زیست‌محیطی 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 به‌دنبال بیشینه‌کردن سود موردانتظار کل زنجیره تأمین است.

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

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

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

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

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

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

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

برای اینکه با حل معادلات بالا بتوان جواب دقیقی برای مسئله یافت ابتدا باید اثبات کرد که ماتریس هسین معادله۲۱ یک ماتریس معین منفی است؛ بنابراین داریم:

$$H(\rho, e, \theta, \varphi) \quad (۲۶)$$
$$= \begin{bmatrix} \frac{\partial^2}{\partial^2 \rho}EP_{sc}^{Ce} & \frac{\partial^2}{\partial \rho \partial e}EP_{sc}^{Ce} & \frac{\partial^2}{\partial \rho \partial \theta}EP_{sc}^{Ce} & \frac{\partial^2}{\partial \rho \partial \varphi}EP_{sc}^{Ce} \\ \frac{\partial^2}{\partial e \partial \rho}EP_{sc}^{Ce} & \frac{\partial^2}{\partial e^2}EP_{sc}^{Ce} & \frac{\partial^2}{\partial e \partial \theta}EP_{sc}^{Ce} & \frac{\partial^2}{\partial e \partial \varphi}EP_{sc}^{Ce} \\ \frac{\partial^2}{\partial \theta \partial \rho}EP_{sc}^{Ce} & \frac{\partial^2}{\partial \theta \partial e}EP_{sc}^{Ce} & \frac{\partial^2}{\partial \theta^2}EP_{sc}^{Ce} & \frac{\partial^2}{\partial \theta \partial \varphi}EP_{sc}^{Ce} \\ \frac{\partial^2}{\partial \varphi \partial \rho}EP_{sc}^{Ce} & \frac{\partial^2}{\partial \varphi \partial e}EP_{sc}^{Ce} & \frac{\partial^2}{\partial \varphi \partial \theta}EP_{sc}^{Ce} & \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2}EP_{sc}^{Ce} \end{bmatrix}$$
$$= \begin{bmatrix} -2b & t & \lambda & \gamma \\ t & -2I & 0 & 0 \\ \lambda & 0 & -\varepsilon & 0 \\ \gamma & 0 & 0 & -\eta \end{bmatrix}$$

باید توجه داشت که ماتریس هسین معادله ۲۶، به‌ازای تمامی مقادیر p, e, θ, φ معین منفی است؛ مشروط بر اینکه شرایط $4bI - t^2 > 0$، $4bI\varepsilon - 2I\lambda^2 - \varepsilon t^2 > 0$ 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 تا۳۰ محقق می‌شود:

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

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

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

$$\varphi^* = \frac{2I\varepsilon\gamma(bc-\alpha)}{2I\eta\lambda^2+\varepsilon\eta t^2+2I\varepsilon\gamma^2-4Ib\varepsilon\eta} \quad (۳۰)$$

با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده، مقدار بهینه سود زنجیره تأمین سبز، خرده‌فروش و تولیدکننده عبارت‌اند از:

$$EP_{SC}^{*Ce} = \frac{2\alpha bc\eta\varepsilon I - I\varepsilon\eta\alpha^2 - I\varepsilon\eta b^2c^2}{2I\eta\lambda^2+\varepsilon\eta t^2+2I\varepsilon\gamma^2-4Ib\varepsilon\eta} \quad (۳۱)$$

$$\begin{aligned} EP_R^{*Ce} = (&4b\alpha^2I^2\varepsilon^2\eta^2 - 8w\alpha b^2I^2\varepsilon^2\eta^2 + 2\eta\alpha^2I^2\varepsilon^2\gamma^2 \\ &- 4\alpha bc\varepsilon I^2\lambda^2\eta^2 - 2\alpha bcI\varepsilon^2\eta^2t^2 + 4w\alpha b\varepsilon I^2\lambda^2\eta^2 \\ &+ 4w\alpha b\eta I^2\varepsilon^2\gamma^2 + 2w\alpha bI\varepsilon^2\eta^2t^2 - 4c^2I^2\varepsilon^2\eta^2b^3 \\ &+ 8wcI^2\varepsilon^2\eta^2b^3 + 4\varepsilon b^2c^2I^2\lambda^2\eta^2 + 2\eta b^2c^2I^2\varepsilon^2\gamma^2 \\ &+ 2Ib^2c^2\varepsilon^2\eta^2t^2 - 4wc\varepsilon I^2\lambda^2\eta^2b^2 \\ &- 4wc\eta b^2I^2\varepsilon^2\gamma^2 \\ &- 2wcIb^2\varepsilon^2\eta^2t^2) \\ &/(2I\eta\lambda^2+\varepsilon\eta t^2+2I\varepsilon\gamma^2-4Ib\varepsilon\eta)^2 \end{aligned} \quad (۳۲)$$

$$\begin{aligned} EP_M^{*Ce} = (&-2\varepsilon\alpha^2I^2\lambda^2\eta^2 - I\alpha^2\varepsilon^2\eta^2t^2 - 8\alpha cb^2I^2\varepsilon^2\eta^2 \\ &+ 8w\alpha b^2I^2\varepsilon^2\eta^2 + 8\alpha bc\varepsilon I^2\lambda^2\eta^2 + 4\alpha bc\eta I^2\varepsilon^2\gamma^2 \\ &+ 4\alpha bcI\varepsilon^2\eta^2t^2 - 4w\alpha b\varepsilon I^2\lambda^2\eta^2 - 4w\alpha b\eta I^2\varepsilon^2\gamma^2 \\ &- 2w\alpha bI\varepsilon^2\eta^2t^2 + 8c^2I^2\varepsilon^2\eta^2b^3 - 8wcI^2\varepsilon^2\eta^2b^2 \\ &- 6\varepsilon b^2c^2I^2\lambda^2\eta^2 - 4\eta b^2c^2I^2\varepsilon^2\gamma^2 \\ &- 3Ib^2c^2\varepsilon^2\eta^2t^2 + 4wc\varepsilon b^2I^2\lambda^2\eta^2 \\ &+ 4wc\eta b^2I^2\varepsilon^2\gamma^2 \\ &+ 2wcIb^2\varepsilon^2\eta^2t^2) \\ &/(2I\eta\lambda^2+\varepsilon\eta t^2+2I\varepsilon\gamma^2-4Ib\varepsilon\eta)^2 \end{aligned} \quad (۳۳)$$

حالت مشارکتی. این ساختار به‌دنبال بیشینه‌کردن سود موردانتظار زنجیره تأمین است؛ ولی نکته حائز اهمیت این است که شرط بزرگ‌تربودن 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، برآورده‌کردن 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 به‌صورت اهرم‌های قدرت $_1$ و $_2$ 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 برآورده‌کردن اهداف شخصی آن‌ها نیز اهمیت دارد. با توجه به موارد گفته‌شده، مدل ریاضی حالت مشارکتی به صورت زیر است:

$$Max\ EP_{sc}^{Co} = Max\ \left[(p-c)(\alpha+\tau e+\lambda\theta+\gamma\varphi-bp)-\frac{\eta\varphi^2}{2}-\frac{\varepsilon\theta^2}{2}-Ie^2\right] \quad (۳۴)$$

s.t:

$$EP_M^{Co} = \left[(w-c)(\alpha+\tau e+\lambda\theta+\gamma\varphi-bp)-Ie^2-\frac{\varepsilon\theta^2}{2}\right] \geq EP^{*\,De}_{M}+\beta_1(EP^{*\,Ce}_{SC}-E^{*\,De}_{SC}) \quad (۳۵)$$

$$EP_R^{Co} = \left[(p-w)(\alpha+\tau e+\lambda\theta+\gamma\varphi-bp)-\frac{\eta\varphi^2}{2}\right] \geq EP^{*\,De}_{R}+\beta_2(EP^{*\,Ce}_{SC}-E^{*\,De}_{SC}) \quad (۳۶)$$

$$0<\beta_1+\beta_2<1 \quad (۳۷)$$

$$p,e,\theta,\varphi \in R^+ \quad (۳۸)$$

تابع هدف ۳۴، به‌دنبال بیشینه‌کردن 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؛ به‌عبارتی با اضافه‌کردن مقدار $\beta_1(EP^{*\,Ce}_{Sc}-E^{*\,De}_{Sc})$ به سمت راست محدودیت ۳۵، انگیزه لازم برای مشارکت تولیدکننده در تصمیم‌گیری مشارکتی ایجاد می‌شود؛ همچنین $EP^{*\,De}_{M}$ مقدار بهینه سود موردانتظار تولیدکننده

در حالت غیرمتمرکز یا معادله ۱۸، است. محدودیت ۳۶، به‌صورت مشابهی تضمین می‌کند که مقدار سود خرده‌فروش در حالت تصمیم‌گیری مشارکتی حتماً بیشتر از سود خرده‌فروش در حالت بهینه غیرمتمرکز باشد؛ به‌عبارت‌دیگر با اضافه کردن مقدار $\beta_2(EP^{*}{}_{SC}^{Ce} - E^{*}{}_{SC}^{De})$ 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 غیرموجه‌شدن 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
	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
	۲۰	۱۸	۱۶	۱۳	۱۴	۱۲	۱۰	۱۷	۱۹	۲۰
	۱۵	۱۸	۱۳	۱۰	۷	۱۲	۱۵	۱۲	۱۵	۱۸
I	۱۷	۱۳	۱۷	۱۸	۲۰	۲۰	۱۸	۱۴	۱۶	۱۵
	۱۳	۱۰	۱۲	۱۷	۱۵	۱۴	۱۶	۱۳	۱۱	۱۴
t	۷	۱۳	۱۵	۱۵	۱۰	۱۸	۱۰	۱۶	۱۴	۱۲
	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

٤. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

برای بررسی کمّی 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 به‌ازای ورودی‌های جدول ۳

حالت متمرکز

	p^*	e^*	*	*	EP_{Sc}^{*Ce}	EP_{R}^{*Ce}	EP_{M}^{*Ce}
TP۱	۲۴/۸۷۶	۳/۸۸۶	۱۲/۵۸۴	۱۲/۲۶۹	۷۷۳۹	۶۹۱۸/۳۰۴	۸۲۰/۶۹۷
TP۲	۱۷/۶۶۶	۳/۸۳۳	۲/۹۸۱	۴/۲۵۹	۱۹۱۶/۵	۱۲۶۲/۲	۶۵۴/۳
TP۳	۲۴/۷۲۶	۷/۸۲۱	۱۳/۶۳۶	۱۳/۲۹۵	۸۲۷۸/۲	۶۴۸۴/۸	۱۷۹۳/۴
TP۴	۳۵/۲۲۳	۱۱/۳۴۳	۴۰/۸۳۵	۳۵/۶	۱۰۷۵۲/۹۷۴	۱۰۵۱۷/۱۰۳	۲۳۵/۸۷۱
TP۵	۳۵/۶۴۸	۷/۱۶۲	۶۹/۵۷۳	۳۰/۶۹۴	۱۶۴۷۲	۱۵۸۱۹	۶۵۳
TP۶	۲۸/۱۲۳	۸/۶۰۵	۱۱/۱۵۵	۲۲/۳۱۰	۸۶۸۸/۱۶	۸۰۰۲/۵	۶۷۹/۰۸۷
TP۷	۲۵/۹۰۷	۵/۵۳۰	۱۷/۲۵۳	۳۱/۸۵۲	۸۷۸۹/۱	۷۳۹۱/۵	۱۳۹۷/۶
TP۸	۲۰/۵۱۰	۸/۲۹۱	۱۴/۵۱۰	۱۱/۰۹۶	۷۶۷۵/۷۵۳	۸۴۷/۲۵۳	۶۸۲۵/۵
TP۹	۲۳/۴۰۸	۷/۱۷۸	۱۴/۲۲۰	۹/۴۹۹	۱۱۶۰۸/۵۱	۲۲۱۸/۰۱	۹۳۹۰/۵
TP۱۰	۲۴/۰۰۸	۶/۸۰۳	۱۴/۱۷۳	۱۱/۹۰۵	۱۳۴۳۶/۱	۲۶۷۲/۱	۱۰۷۶۴

حالت غیرمتمرکز

	p^*	e^*	*	*	EP_{Sc}^{*De}	EP_{R}^{*De}	EP_{M}^{*De}
TP۱	۲۳/۹۴۵	۰/۴۷۹	۱/۵۵۲	۹/۰۶۴	۶۶۶۴/۰۱۶	۵۰۱۲/۵۱۲	۱۶۵۱/۵۰۴
TP۲	۱۹/۳۶۳	۱/۳۴۳	۱/۰۴۵	۲/۴۲۴	۱۵۴۷/۶۹۷	۷۰۸/۴۴۵	۸۳۹/۲۵۲
TP۳	۲۴/۲۶۴	۱/۵۰۱	۲/۶۱۸	۸/۴۴۸	۶۷۳۵/۹	۴۲۵۰/۵	۲۴۸۵/۴
TP۴	۲۸/۱۹۷	۲/۸۸۵	۱۰/۳۸۶	۱۳/۳۳۴	۶۳۹۲/۹	۳۰۰۳/۳	۳۳۸۹/۶
TP۵	۲۹/۹۹۸	۱/۹۳۶	۱۸/۸۰۹	۱۰/۷۱۲	۹۳۸۰/۱	۴۱۹۴/۶	۵۱۸۵/۵
TP۶	۲۶/۱۹۱	۱/۱۴۶	۱/۴۸۶	۱۵/۳۸۹	۷۱۵۶/۱	۵۱۹۰/۷	۱۹۶۵/۴
TP۷	۲۳/۳۸۹	۰/۹۹۹	۳/۱۱۶	۱۹/۸۲۲	۶۹۹۲/۵	۴۴۸۱/۶	۲۵۱۰/۸
TP۸	۲۴/۱۰۵	۳/۷۹۱	۶/۶۳۴	۴/۶۶۹	۵۰۹۷/۵	۱۷۵۳/۱	۳۳۴۴/۵
TP۹	۲۷/۹۱۳	۳/۰۱۹	۵/۹۸۰	۴/۵۸۱	۸۴۸۷/۷	۳۲۴۴/۱	۵۲۴۳/۶
TP۱۰	۲۸/۳۷۱	۲/۸۳۱	۵/۸۹۸	۵/۸۶۰	۹۹۵۶/۶	۳۸۶۰/۸	۶۰۹۵/۸

حالت مشارکتی

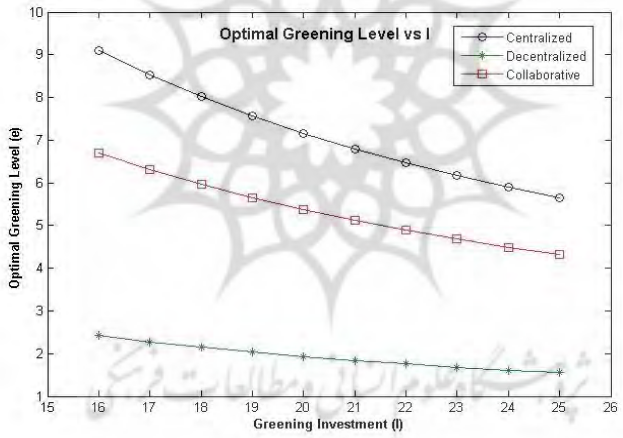
	p^*	e^*	*	*	EP_{Sc}^{*Co}	EP_{R}^{*Co}	EP_{M}^{*Co}
TP۱	۲۱/۸۰۸	۲/۰۴۴	۶/۶۱۷	۱۲/۸۵۶	۷۳۲۷/۷۷۶	۵۳۵۳/۶۹۸	۱۹۷۴/۰۵۴
TP۲	۱۸/۴۹۷	۴/۸۳۷	۳/۷۶۲	۴/۰۲۱	۱۸۸۳/۲۲۳	۸۶۷/۰۲۳	۱۰۱۶/۲
TP۳	۲۲/۹۵۴	۵/۹۴۳	۱۰/۳۶۲	۱۳/۴۶۱	۸۱۳۳/۴۴۲	۵۳۳۹/۴۸۸	۲۷۹۳/۹۳۱
TP۴	۳۰/۳۷۳	۸/۰۹۱	۲۹/۱۲۶	۳۳/۳۶۲	۱۰۱۷۶/۸	۵۳۹۱/۸۶۱	۴۷۸۴/۹۱۳
TP۵	۳۰/۹۴۹	۵/۴۸۱	۵۳/۲۴۷	۲۸/۸۱۸	۱۵۸۶۹/۸۲	۸۹۱۱/۱۹۳	۶۹۵۸/۵۹۹
TP۶	۲۴/۷۴۳	۴/۴۱۸	۵/۷۲۷	۲۳/۱۲۰	۸۰۶۱/۱۲۰	۵۶۳۵/۹۶۵	۲۴۲۵/۰۷۰
TP۷	۲۳/۶۸۸	۳/۷۵۷	۱۱/۷۲۳	۳۲/۲۰۴	۸۴۸۲/۰۰۵	۵۵۴۰/۱۴۸	۲۹۴۱/۸۹۸
TP۸	۲۳/۲۳۰	۱۱/۱۲۳	۱۹/۴۶۵	۱۰/۴۲۹	۷۲۸۹/۰۳۰	۲۷۸۴/۴۴۴	۴۵۰۴/۵۶۷
TP۹	۲۵/۷۳۳	۹/۰۸۳	۱۷/۹۹۴	۸/۸۷۸	۱۱۳۰۲/۷۴۶	۴۰۸۶/۵۸۷	۷۲۱۶/۱۵۶
TP۱۰	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 زیست‌محیطی 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.

$$I > \frac{-a\varepsilon\eta t^2 + 3bc\varepsilon\eta t^2 - 2b\varepsilon\eta w t^2}{2\begin{pmatrix} a\eta\lambda^2 - 3bc\eta\lambda^2 + 4c\varepsilon\eta b^2 - 2bc\varepsilon\gamma^2 \\ +2b\eta w\lambda^2 - 4\varepsilon\eta w b^2 + 2b\varepsilon w\gamma^2 \end{pmatrix}} \qquad (۳۹)$$

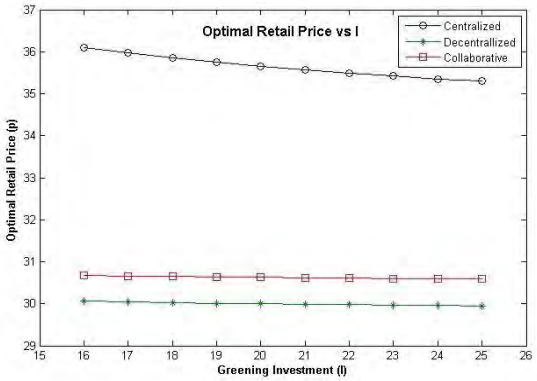
بدین‌ترتیب با توجه به این نکته و با استفاده از پارامترهای مثال عددی پنج باید I >15/395 باشد تا مسئله در محدوده شدنی قرار بگیرد. مطابق با نمودار ۱، همان‌طور که انتظار می‌رفت، ضریب سرمایه‌گذاری سبز، تأثیر منفی بر سطح بهبودهای زیست‌محیطی دارد؛ همچنین سطح اقدامات زیست‌محیطی در حالت متمرکز بیشتر از حالت مشارکتی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



نمودار ۱. سطح بهینه اقدامات زیست‌محیطی، تابعی از سرمایه گذاری سبز

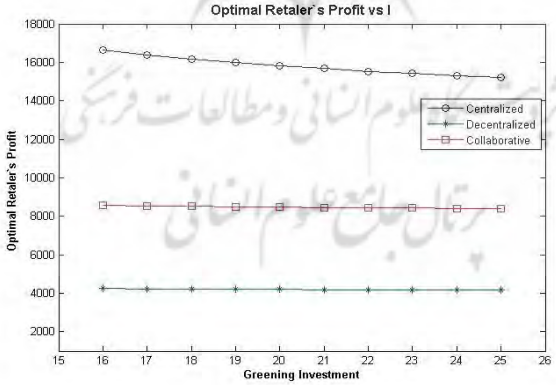
با توجه به نمودار ۲، با افزایش هزینه سرمایه‌گذاری‌های سبز، سطح قیمت خرده‌فروشی در هر سه حالت کاهش می‌یابد؛ همچنین در یک نتیجه‌گیری جالب سطح قیمت محصول در حالت متمرکز بیشتر از حالت مشارکتی و در ادامه بیشتر از حالت غیرمتمرکز است. دلیل این پدیده را می‌توان در بهتربودن شرایط عوامل مثبت تأثیرگذار بر تقاضا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

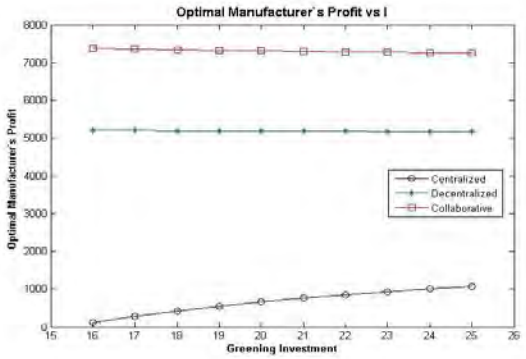


نمودار ۲. مقدار بهینه قیمت خرده‌فروشی، تابعی از سرمایه‌گذاری سبز

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 و۴ باعث پدیدارشدن نمودار ۵ یا همان سوددهی کل زنجیره تأمین سبز می‌شود.

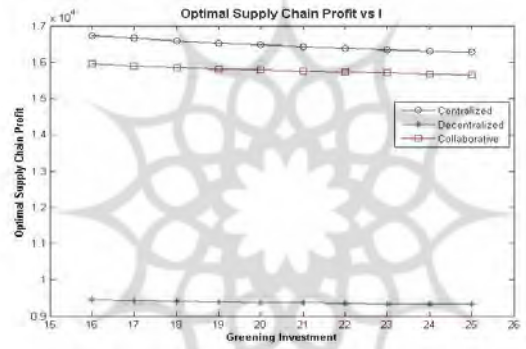


نمودار ۳. مقدار بهینه سود خرده‌فروشی، تابعی از سرمایه‌گذاری سبز



نمودار ۴. مقدار بهینه سود تولیدکننده به‌عنوان تابعی از سرمایه‌گذاری 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 تـأمین سبز با افزایش میزان هزینه سرمایه‌گذاری‌های سـبز در هـر سـه حالـت متمرکـز، غیرمتمرکـز و مشارکتی با کاهش روبه‌رو می‌شود.

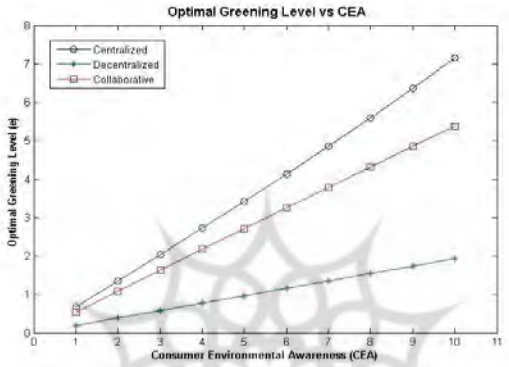


نمودار ۵. مقدار بهینه سود زنجیره تأمین، تابعی از سرمایه گذاری سبز

تحلیل تأثیرات سطح آگاهی زیست‌محیطـی: بـا توجـه بـه روابـط ۱ تـا ۳۳، حـد بـالای ارزش موردانتظار سطح آگاهی زیست‌محیطی باید در محدوده زیر قرار داشته باشد.

$$0 < t < \frac{\sqrt{-2I\varepsilon\eta\begin{pmatrix}\alpha-3bc\\+2bw\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\alpha\eta\lambda^2-3bc\eta\lambda^2+4c\varepsilon\eta b^2-2bc\varepsilon\gamma^2\\+2b\eta w\lambda^2-4\varepsilon\eta w b^2+2b\varepsilon w\gamma^2\end{pmatrix}}}{\alpha\varepsilon\eta-3bc\varepsilon\eta+2b\varepsilon\eta w} \quad (۴۰)$$

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 به‌دنبال 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 درنظرگرفتن 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 به‌دنبال 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 بااهمیت 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.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

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.bbmg.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.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

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.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Received: Dec. 25, 2018, Accpeted: 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.