مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (زمستان ۱۳۹۷)
دوره‌ی ۱-۳۴، شماره‌ی ۲/۲، ص. ۵۳-۶۱

Original Article

سیاست‌های قیمت‌گذاری و سبز بودن در زنجیره‌ی تأمین محصولات سبز و غیر سبز، با مداخله‌ی دولت: رویکرد نظریه‌ی بازی

محمدرضا سینائی (دانشجوی کارشناسی ارشد)
مرتضی راستی برزکی * (دانشیار)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان

محیط زیست و مسائل پیرامون آن از جمله مباحث به‌روز و دغدغه‌های امروزه‌ی سیاست‌گذاران، سازمان‌ها، کسب‌وکارها و حتی مردم عادی است. کسب‌وکارها به دلایل مختلف ــ نظیر فشارهای دولتی، خواسته‌های مردمی، افزایش سهم بازار خود و... ــ اقدام به در نظرگیری مسائل زیست‌محیطی در زنجیره‌های تأمین خود می‌کنند. در این پژوهش زنجیره‌ی تأمینی که شامل یک تولیدکننده و دو خرده‌فروش است در نظر گرفته شده است. در این زنجیره‌ی تأمین سیاست‌های قیمت‌گذاری بهینه و نیز تعیین درجه‌ی سبز بهینه در دو حالت متمرکز و غیر متمرکز بررسی شده است. همچنین در این پژوهش به بررسی اثر مداخله دولت در زنجیره‌ی تأمین و جریمه محصولات ناسازگار با محیط زیست توسط دولت پرداخته شده است. در نهایت نیز مثال‌های عددی و تحلیل حساسیت‌های مختلف آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که سود اعضای زنجیره‌ی تأمین به طور چشمگیری وابسته به مقادیر و نسبت پارامترها و نیز مالیات اعمال شده توسط دولت است.

واژگان کلیدی: قیمت‌گذاری، زنجیره‌ی تأمین سبز، نظریه‌ی بازی، مداخله دولت.

m.sinayi@in.iut.ac.ir
rasti@cc.iut.ac.ir

۱. مقدمه

مسائل زیست‌محیطی نظیر افزایش میزان آلاینده‌ها، تغییرات آب و هوایی، افزایش میزان گازهای گلخانه‌یی، گرم شدن کره زمین و... تبدیل به دغدغه‌های مشترک امروزه بین مشتریان، کسب‌وکارها و دولت‌ها شده است.[۱و۲] هم‌زمان با افزایش بحران‌های زیست‌محیطی بر روی کره زمین دولت‌ها و سیاست‌گذاران با اعمال سیاست‌های مختلف خود در حمایت از واحدهای سبز یا جریمه‌ی واحدهای آلاینده و غیر سبز، سعی در بهبود روند نگران‌کننده‌ی تغییرات کره زمین دارند.[۳و۴] همچنین با افزایش آگاهی‌های عمومی درباره‌ی مسائل زیست‌محیطی و نیز نگرانی‌های موجود برای شرایط زندگی در سال‌های آینده بر روی کره زمین، مشتریان در هنگام خرید محصولات به مشخصات محصولات موجود در بازار توجه دارند و به محصولات سازگار با محیط زیست گرایش بیشتری پیدا کرده‌اند.[۵و۶] تولیدکنندگان و کسب‌وکارهای موجود نیز با توجه به تغییر نگرش و تغییر رفتار مشتریان و همچنین با توجه به سیاست‌های جدید دولتی، در پی تغییر فرایند تولید محصولات خود هستند؛[۶] بنابراین تولیدکنندگان و کسب‌وکارها برای بهبود مزایای رقابتی و سود خود اقدام به پیاده‌سازی مسائل مدیریت زنجیره‌ی تأمین سبز در کسب‌وکار خود می‌کنند.[۷-۱۰] در پی اجرای سیاست‌های زیست‌محیطی در زنجیره‌های تأمین، تولیدکنندگانِ محصولات اقدام به تولید محصولات سازگار با محیط زیست می‌کنند اما در این بین مشتریانی نیز وجود دارند که با وجود کالای سبز در درون بازار اقدام به خرید محصولات جایگزینِ غیر سبز می‌کنند. دلیل این رفتار مشتریان را می‌توان به عوامل مختلفی ازجمله گران‌تر بودن محصولات سبز، دسترسی بیشتر به محصولات غیر سبز در مقایسه با محصولات سبز، عدم آگاهی نسبت به زیان‌های زیست‌محیطی محصولات غیر سبز یا عادت‌های خرید برخی مشتریان نسبت داد. به همین دلیل برخی تولیدکنندگان برای حفظ مشتریان قبلی خود و جذب مشتریان جدید اقدام به تولید هم‌زمان محصولات سبز و غیر سبز جایگزین می‌کنند تا از این طریق بتوانند سهم خود را در بازار نسبت به رقبا افزایش دهند و ثبات خود را در محیط رقابتی موجود تضمین کنند. در ادامه، ادبیات موضوع و پژوهش‌های صورت‌گرفته در زمینه‌ی زنجیره‌ی تأمین سبز، قیمت‌گذاری و مداخله‌ی دولت در زنجیره‌های تأمین بررسی خواهد شد.

ملویا و کنت[۱۱] چارچوبی مبتنی‌بر فرایند تصمیم‌گیری فازی یک‌پارچه و ارزیابی آزمایشگاهی و همچنین تصمیم‌گیری چندمعیاره‌ی فازی را توسعه داده‌اند و از این چارچوب برای پیش‌بینی و اندازه‌گیری میزان موفقیت یا شکست اجرای مدیریت زنجیره‌ی تأمین سبز استفاده کرده‌اند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد که امکان اجرای موفق مدیریت زنجیره‌ی تأمین سبز تقریباً دو برابر اجرای ناموفق آن است.

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۵/۶/۲۱، اصلاحیه ۱۳۹۵/۱۲/۱۷، پذیرش ۱۳۹۶/۳/۶.
DOI:10.24200/J65.2018.20083

واچون و کلاسن[۱۲] اثر فعالیت‌های مشترک زیست‌محیطی را بر عملکرد تولید مورد بررسی قرار داده‌اند. آن‌ها دریافته‌اند که مزایای فعالیت‌های سبزِ مشترک با تأمین‌کنندگان بسیار زیاد است در حالی که همکاری با مشتریان نتایج متفاوتی به دست می‌دهد.

هوانگ و همکاران[۱۳] یک زنجیره‌ی تأمین سبز شامل دو تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و دو خرده‌فروش را در نظر گرفته‌اند. آن‌ها از رویکرد نظریه‌ی بازی برای بررسی اثرات طراحی خط محصول، انتخاب تأمین‌کننده و سیاست‌های قیمت‌گذاری بر سود و انتشار گازهای گلخانه‌یی استفاده کرده‌اند و از الگوریتم ژنتیک برای یافتن جواب مدل خود بهره برده‌اند. ژائو و همکاران[۱۴] یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه برای طرح مدیریت زنجیره‌ی تأمین سبز ارائه کرده‌اند که موجب کمینه‌شدن ریسک ایجاد شده توسط مواد خطرناک، انتشارات کربن و هزینه‌های اقتصادی آن می‌شود. آن‌ها در پژوهش خود با درنظرگیری سناریوهای مختلف به حل مدل خود پرداخته‌اند و از یک مطالعه‌ی موردی نیز برای تأیید مدل بهینه‌سازی خود و نتایج حاصله استفاده کرده‌اند. شا و همکاران[۱۵] یک مدل طراحی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین سبز برای بررسی انتشارات کربن و مسائل تجارت کربن پیشنهاد کرده‌اند که طی آن جریان بهینه‌ی مواد و همچنین انتشارات در سراسر شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین تعیین می‌شود؛ نتایج حاصله نشان داده است که جریان مواد در سراسر شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین با تغییر احتمال و همچنین اعتبار قیمت کربن تغییر می‌کند.

ژائو و همکاران[۱۶] یک زنجیره‌ی تأمین سبز را بررسی کردند و از نظریه‌ی بازی برای تحلیل استراتژی‌های انتخاب شده توسط تولیدکنندگان به‌منظور کاهش ریسک زیست‌محیطی چرخه‌ی عمر مواد اولیه و انتشارات کربن استفاده کرده‌اند.

ژو و همکاران[۱۷] به بررسی یک کسب‌وکار با مدل بازی تکاملی پرداخته‌اند که در آن برای دولت دو فرض نظارت یا عدم نظارت برکسب‌وکار، و برای کسب‌وکار دو فرض اجرای سیاست‌های سبز یا عدم اجرای آن‌ها در نظرگرفته شده، و نیز عایدی هرکدام از طرفین در چهار حالت ذکر شده مطالعه شده است.

تیان و همکاران[۱۸] یک مدل دینامیکی جهت هدایت سیاست‌های یارانه‌یی برای ترویج مدیریت زنجیره‌ی تأمین سبز در چین توسعه داده‌اند. در پژوهش آن‌ها روابط ذی‌نفعان ازجمله دولت، شرکت‌ها و مصرف‌کنندگان از طریق نظریه‌ی بازی تکاملی مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفته است. نتایج پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد که یارانه برای تولیدکنندگان مؤثرتر از مصرف‌کنندگان جهت گسترش مدیریت زنجیره‌ی تأمین سبز است. شو و چن[۱۹] اثرات مداخله‌ی مالی دولت بر رقابت زنجیره‌ی تأمین سبز را با استفاده از یک مدل سه‌مرحله‌یی نظریه‌ی بازی تجزیه و تحلیل کرده‌اند. آن‌ها در پژوهش خود جواب‌های تعادلی نش برای تصمیمات دولت و اعضای زنجیره‌ی تأمین را به دست آورده‌اند و در نتایج تحلیلی پژوهش خود دریافته‌اند که دولت باید برای اطمینان از منفی نشدن سود سبز اختصاص داده شده به تولید سبز مالیات و یارانه سبز در نظر بگیرد.

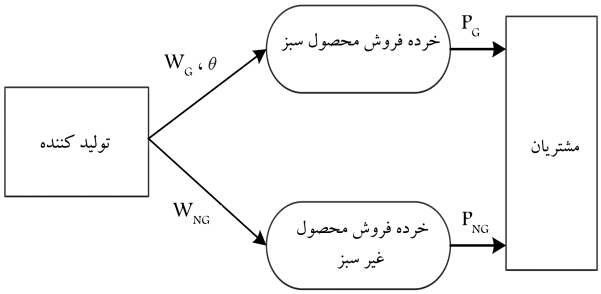
سازور و همکاران[۲۰] یک مدل ریاضی غیر قطعی و نیز یک سیاست جدید سفارش‌دهی در یک زنجیره‌ی تأمین متمرکز برای محصولات فاسدشدنی توسعه داده‌اند. آن‌ها در مدل خود هزینه‌های موجودی و حمل‌ونقل و همچنین اثرات زیست‌محیطی را تحت تقاضای غیر قطعی در نظرگرفته‌اند. سازور و همکاران با درنظرگیری وسایل نقلیه‌ی مختلف که سطوح مختلف گازهای گلخانه‌یی تولید می‌کنند، وسایل نقلیه و سیاست‌های موجودی بهینه را تعیین کرده‌اند. براری و همکاران[۲۱] یک مدل بازی تکامل‌یافته برای حالتی ارائه کرده‌اند که تولیدکننده به تولید محصولات سبز می‌پردازد و خرده‌فروش مسئولیت جذب مشتریان برای خرید کالاهای سبز را بر عهده دارد. آن‌ها به یافتن تعادل بین مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی با ایجاد هماهنگی بین تولیدکننده و خرده‌فروش پرداخته‌اند به نحوی که تولیدکننده و خرده‌فروش با هم‌راستا کردن راهکارهاشان بتوانند به بیشینه سود اقتصادی به‌وسیله‌ی اهرم سبزی محصول دست یابند.

قُش و شا[۲۲] یک زنجیره‌ی تأمین دوسطحی ــ شامل یک تولیدکننده، یک خرده‌فروش و مشتریان نهایی محصول ــ را در نظرگرفته‌اند. تولیدکننده یک محصول سبز تولید می‌کند و از طریق کانال خرده‌فروشی به مشتریان عرضه می‌کند. آن‌ها در کار خود برای محصول مورد نظر سطح سبز بودن را در نظرگرفته‌اند و به بررسی اثر ساختارهای کانال بر میزان سبز بودن کالا، قیمت آن و نیز سود حاصله پرداخته‌اند؛ همچنین اثر هزینه‌های سبز بودن محصول و حساسیت مشتریان بر تولید محصول سبز را بررسی کرده‌اند و در نهایت برای حل مسئله از رویکرد نظریه‌ی بازی استفاده کرده‌اند. لی و همکاران[۲۳] یک زنجیره‌ی تأمین با کانال توزیع دوگانه را بررسی کرده‌اند که در آن تولیدکننده یک محصول سبز را تولید و از طریق کانال‌های فروش مستقیم و خرده‌فروشی به دست مشتری نهایی می‌رساند. آن‌ها نیز در مدل خود هزینه‌ی سبز بودن را در نظرگرفته و مسئله را در دو حالت متمرکز و غیر متمرکز با استفاده از رویکرد نظریه‌ی بازی حل کرده‌اند و نتایج به دست آمده از هر دو حالت را با هم مقایسه کرده‌اند.

با توجه به ادبیات موضوع مرور شده و برای تعیین نوآوری پژوهش حاضر، مسئله‌ی تولیدکننده‌یی راکه در دنیای رقابتی امروز برای حفظ سهم بازار خود وکسب مشتریان جدید اقدام به تولید محصولات مشابه جایگزینی می‌کند که برخی با محیط زیست سازگارند (محصولات سبز) و برخی دیگر با محیط زیست ناسازگار (محصولات غیر سبز)، بررسی می‌کنیم. در نظرگیری هم‌زمان محصول سبز و محصول غیر سبز برای تولیدکننده با درنظرگرفتن سطح سبز برای محصول سبز، جنبه نوآوری مطالعه حاضر است. همچنین در این پژوهش آثار مداخله‌ی دولت در زنجیره‌ی تأمین و اعمال مالیات توسط دولت بر محصول ناسازگار با محیط زیست بررسی خواهد شد. براساس پژوهش‌های صورت گرفته در ادبیات موضوع مسئله ذکر شده در این مقاله تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است.

۲. مدل و فرضیات

در این پژوهش زنجیره‌ی تأمینی شامل یک تولیدکننده و دو خرده‌فروش در نظر گرفته می‌شود. تولیدکننده دو محصول تولید می‌کند که یکی محصول سبز (سازگار با محیط زیست) و دیگری محصول غیر سبز (ناسازگار با محیط زیست) است؛ اما این دو محصول جایگزین یکدیگرند (مانند ظروف یک‌بار مصرف که برخی با محیط زیست سازگارند و برخی دیگر ناسازگار؛ یا انواع شوینده‌ها، لوازم الکتریکی و...). تولیدکننده محصولات سبز و غیر سبز خود را از طریق دو خرده‌فروش ــ یکی فروشنده‌ی محصول سبز و دیگری فروشنده‌ی محصول غیر سبز ــ به مشتریان عرضه می‌کند. تولیدکننده محصول سبز خود را با قیمت عمده‌فروشی به خرده‌فروش سبز و محصول غیر سبز خود را با قیمت عمده‌فروشی W_{NG} به خرده‌فروش غیر سبز عرضه می‌کند. خرده‌فروش سبز و خرده‌فروش غیر سبز نیز به‌ترتیب محصولات خود را با قیمت P_G و P_{NG} به مشتریان نهایی می‌فروشند. در این میان دولت در راستای سیاست‌های خود برای حفظ محیط زیست و جهت نیل به اهداف پایداری اقدام به جریمه‌ی تولیدکنندگان محصولات ناسازگار با محیط زیست می‌کند، که این جریمه بیشتر به‌صورت مالیات از تولیدکنندگان محصولات ناسازگار با محیط زیست



شکل ۱. شماتیک مسئله مورد نظر.

اخذ می‌شود. در نتیجه دولت از تولیدکننده به دلیل تولید هر واحد محصول غیر سبز مقدار τ واحد مالیات اخذ می‌کند.

شماتیک مسئله‌ی مورد نظر به‌صورت شکل ۱ است. در ادامه متغیرها و پارامترهای استفاده شده در مدل ارائه شده است.

۱.۲. پارامترها

a_1, a_2: به ترتیب تقاضای پایه محصول سبز و محصول غیر سبز تولیدکننده $(a_1, a_2 > 0)$؛

β_1: ضریب حساسیت تقاضای محصول (سبز یا غیر سبز) نسبت به قیمت همان محصول، یا در واقع اثر تغییر قیمت هر محصول بر تقاضای همان محصول $(\beta_1 > 0)$؛

β_2: ضریب حساسیت تقاضای محصول نسبت به قیمت محصول جایگزین، به عبارت دقیق‌تر اثر تغییر قیمت هر محصول بر تقاضای محصول جایگزین $(\beta_1 > \beta_2,\ \beta_2 > 0)$؛

λ: ضریب اثربخشی تقاضای محصول سبز نسبت به افزایش هر واحد درجه سبز آن محصول یا همان اثر تغییر درجه سبز محصول بر تقاضای محصول سبز $(\beta_1 > \lambda,\ \lambda > 0)$؛

c_1, c_2: به‌ترتیب هزینه هر واحد تولید محصول سبز و محصول غیر سبز $(c_1, c_2 > 0)$؛

η: ضریب هزینه‌ی هر واحد افزایش درجه سبز محصول سبز $(\eta > 0)$؛

τ: مالیات اعمالی توسط دولت بر محصول غیر سبز (ناسازگار با محیط زیست).

۲.۲. متغیرهای تصمیم

P_G: قیمت خرده‌فروشی محصول سبز؛

P_{NG}: قیمت خرده‌فروشی محصول غیر سبز؛

W_G: قیمت عمده‌فروشی محصول سبز؛

W_{NG}: قیمت عمده‌فروشی محصول غیر سبز؛

θ: درجه سبز محصول سبز.

۳.۲. متغیرهای کمکی

D_G: تقاضای محصول سبز؛

D_{NG}: تقاضای محصول غیر سبز؛

π_M: تابع سود تولیدکننده؛

π_{R_G}: تابع سود خرده‌فروش محصول سبز؛

$\pi_{R_{NG}}$: تابع سود خرده‌فروش محصول غیر سبز.

برخی فرضیات در نظرگرفته شده در این پژوهش عبارت است از:

- توابع تقاضا به‌صورت توابعی خطی از قیمت محصولات و درجه‌ی سبز بودن محصول سبز در نظر گرفته شده‌است؛ این فرض در ادبیات موضوع نیز رایج است.[۲۲و۲۳]
- در اینجا نیز فرض شده است برای تولید محصول سبز، تولیدکننده باید مقداری پول اضافی سرمایه‌گذاری کند تا به نوآوری سبز براساس فرایند تولید اصلی خودش دست یابد. هزینه‌ی این کار یک تابع درجه دو از درجه سبز فرض شده است. درنتیجه، هزینه‌ی اضافی که تولیدکننده برای تولید محصول سبز متحمل می‌شود برابر با $C(\theta) = \frac{\eta\theta^2}{2}$ خواهد بود، که در آن η ضریب هزینه‌ی هر واحد افزایش درجه سبز محصول سبز است. این نوع تابع هزینه نیز در ادبیات موضوع رایج است.[۲۲-۲۵]
- در این پژوهش فرض شده است که دولت بر محصولات غیر سبز مالیات اعمال می‌کند و این مالیات را تولیدکننده متحمل می‌شود که به‌صورت τD از سود تولیدکننده کم می‌شود. این فرض نیز در پژوهش‌های ادبیات موضوع رایج است.[۴]

توابع تقاضا و توابع سود هرکدام از اعضای زنجیره‌ی تأمین به‌صورت زیر خواهد بود.

$$D_G = \alpha_1 - \beta_1 P_G + \beta_2 P_{NG} + \lambda\theta \quad (1)$$

$$D_{NG} = \alpha_2 - \beta_1 P_{NG} + \beta_2 P_G - \lambda\theta \quad (2)$$

$$\pi_{R_G} = (P_G - W_G)\, D_G \quad (3)$$

$$\pi_{R_{NG}} = (P_{NG} - W_{NG})\, D_{NG} \quad (4)$$

$$\pi_M = (W_G - C_1)\, D_G + (W_{NG} - C_2)\, D_{NG} - \frac{\eta\theta^2}{2} - \tau D_{NG} \quad (5)$$

در نزدیک‌ترین مقاله به مقاله حاضر، از لحاظ مدل‌سازی،[۲۲] زنجیره‌ی تأمینی شامل یک تولیدکننده‌ی محصول سبز و یک خرده‌فروش در نظرگرفته شده است و تولیدکننده تنها یک نوع محصول سبز تولید می‌کند و از طریق خرده‌فروش به دست مشتریان نهایی می‌رساند. در صورت حذف محصول غیر سبز و روابط مربوط به آن در مدل مقاله حاضر (و همچنین حذف روابط مرتبط با مالیات دولت) و بازنویسی مدل مقاله، دقیقاً به مدل مقاله‌ی قُش و شا[۲۲] می‌رسیم که در نتیجه توابع تقاضا، توابع سود و جواب‌های مدل در صورت ساده‌سازی مقاله‌ی حاضر نیز برابر جواب‌های مدل مقاله قُش و شا[۲۲] خواهد شد (جدول ۱).

۴.۲. مدل غیر متمرکز

در مدل غیر متمرکز اعضای زنجیره‌ی تأمین به‌صورت جداگانه تصمیمات خود را اتخاذ می‌کنند و با هم همکاری نخواهند داشت. در این مدل فرض شده است که تولیدکننده رهبر و خرده‌فروشان پیرو هستند و یک بازی استکلبرگ بین تولیدکننده و خرده‌فروشان برقرار است. از طرفی خرده‌فروشان چون عمدتاً دارای قدرت برابر در بازار هستند در اینجا فرض می‌شود بین خرده‌فروشان بازی نش برقرار است و خرده‌فروشان به‌صورت هم‌زمان تصمیمات خود را اتخاذ می‌کنند. در این ساختار قدرت تولیدکننده و خرده‌فروشان تصمیمات خود را به‌صورت یک دنباله اخذ می‌کنند که ترتیب این وقایع چنین خواهد بود:

ابتدا خرده‌فروش محصول سبز و خرده‌فروش محصول غیر سبز به‌صورت هم‌زمان قیمت خرده‌فروشی محصولات خود را در پاسخ به قیمت‌های عمده‌فروشی

جدول ۱. مقایسه‌ی روابط در مقاله‌ی قُش و شا[۲۲] و مقاله‌ی حاضر.

	روابط مقاله قُش و شا[۲۲]		روابط مقاله حاضر
(۱)	$D_G = \alpha_1 - \beta_1 P_G + \lambda\theta$	$\Rightarrow$	$D_G = \alpha_1 - \beta_1 P_G + \beta_2 P_{NG} + \lambda\theta$
(۲)	کاملاً حذف می‌شود.	$\Rightarrow$	$D_{NG} = \alpha_2 - \beta_1 P_{NG} + \beta_2 P_G - \lambda\theta$
(۳)	$\pi_{R_G} = (P_G - W_G)D_G$	$\Rightarrow$	$\pi_{R_G} = (P_G - W_G)D_G$
(۴)	کاملاً حذف می‌شود.	$\Rightarrow$	$\pi_{R_{NG}} = (P_{NG} - W_{NG})D_{NG}$
(۵)	$\pi_M = (W_G - C_1)D_G - \frac{\eta\theta^2}{2}$	$\Rightarrow$	$\pi_M = (W_G - C_1)D_G + (W_{NG} - C_2)D_{NG} - \frac{\eta\theta^2}{2} - \tau D_{NG}$

محصولات سبز و غیر سبز و نیز درجه‌ی سبز داده شده توسط تولیدکننده تعیین می‌کنند. پس از آن تولیدکننده توابع پاسخ خرده‌فروشان را در تعیین قیمت‌های عمده‌فروشی محصولات سبز و غیر سبز و نیز درجه سبز برای بیشینه‌سازی سود خود به کار می‌گیرد. در نهایت هر کدام از طرفین پس از رخ دادن تقاضا به سود خود می‌رسند.

قضیه ۱. قیمت بهینه‌ی خرده‌فروشی محصول سبز و محصول غیر سبز، قیمت عمده‌فروشی محصول سبز و محصول غیر سبز و نیز درجه‌ی سبز بودن محصول سبز در یک مدل غیر متمرکز و تحت ساختار قدرت ذکر شده برابر خواهد بود با:

$$P_G = \frac{A_1 + A_2}{Y_1} + \frac{A_3}{Y_2} \quad (۶)$$

$$P_{NG} = \frac{A_4 + A_5}{Y_1} + \frac{A_6}{Y_2} \quad (۷)$$

$$W_G = \frac{1}{4}\left(2c_1 + \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{\beta_1 - \beta_2} + A_7\right) \quad (۸)$$

$$W_{NG} = \frac{1}{4}\left(2(c_2 + \tau) + \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{\beta_1 - \beta_2} - A_7\right) \quad (۹)$$

$$\theta = \frac{\lambda\beta_1\left(\alpha_1 - \alpha_2 + (\tau - c_1 + c_2)(\beta_1 + \beta_2)\right)}{2\left(2\eta\beta_1^2 + \eta\beta_2^2 - \beta_1(\lambda^2 - 3\eta\beta_2)\right)} \quad (۱۰)$$

که مقادیر A_1 تا A_7، Y_1 و Y_2 در پیوست آورده شده است.

اثبات: مشتق دوم توابع سود خرده‌فروشان برحسب متغیر تصمیم آن‌ها برابر است با:

$$\frac{d^2\pi_{R_G}}{dP_G{}^2} = -2\beta_1 < 0, \qquad \frac{d^2\pi_{R_{NG}}}{dP_{NG}{}^2} = -2\beta_1 < 0$$

در نتیجه توابع سود خرده‌فروشان برحسب متغیر تصمیم آن‌ها مقعرند و در نقاط مشتق مساوی صفر خود دارای بیشینه‌اند؛ بنابراین با قرار دادن مشتق اول توابع سود خرده‌فروشان برحسب متغیر تصمیم آن‌ها برابر با صفر و حل دستگاه دو معادله دو مجهول به دست آمده، مقادیر توابع بهترین پاسخ خرده‌فروشان به دست می‌آید که این مقادیر برابر است با:

$$P_G{}^b = -\frac{2\beta_1\left(\theta\lambda + \alpha_1 + W_G\beta_1\right) + \left(-\theta\lambda + \alpha_2 + W_{NG}\beta_1\right)\beta_2}{-4\beta_1^2 + \beta_2^2} \quad (۱۱)$$

$$P_{NG}{}^b = \frac{2\beta_1\left(-\theta\lambda + \alpha_2 + W_{NG}\beta_1\right) + \left(\theta\lambda + \alpha_1 + W_G\beta_1\right)\beta_2}{4\beta_1^2 - \beta_2^2} \quad (۱۲)$$

با جایگذاری مقادیر روابط ۱۱ و ۱۲ در تابع سود تولیدکننده (رابطه‌ی ۵) و محاسبه‌ی تابع هسین خواهیم داشت:

$$H_{\pi_M} = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2\pi_M}{\partial W_G{}^2} & \frac{\partial^2\pi_M}{\partial W_G\partial W_{NG}} & \frac{\partial^2\pi_M}{\partial W_G\partial\theta} \\ \frac{\partial^2\pi_M}{\partial W_{NG}\partial W_G} & \frac{\partial^2\pi_M}{\partial W_{NG}{}^2} & \frac{\partial^2\pi_M}{\partial W_G\partial\theta} \\ \frac{\partial^2\pi_M}{\partial\theta\partial W_G} & \frac{\partial^2\pi_M}{\partial\theta\partial W_{NG}} & \frac{\partial^2\pi_M}{\partial\theta^2} \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} \frac{-8\beta_1^3 + 4\beta_1\beta_2^2}{8\beta_1^2 - 2\beta_2^2} & \frac{2\beta_1^2\beta_2}{4\beta_1^2 - \beta_2^2} & \frac{\lambda\beta_1}{2\beta_1 + \beta_2} \\ \frac{2\beta_1^2\beta_2}{4\beta_1^2 - \beta_2^2} & \frac{-8\beta_1^3 + 4\beta_1\beta_2^2}{8\beta_1^2 - 2\beta_2^2} & -\frac{\lambda\beta_1}{2\beta_1 + \beta_2} \\ \frac{\lambda\beta_1}{2\beta_1 + \beta_2} & -\frac{\lambda\beta_1}{2\beta_1 + \beta_2} & -\eta \end{pmatrix}$$

$$H_{1,1} = \frac{-8\beta_1^3 + 4\beta_1\beta_2^2}{8\beta_1^2 - 2\beta_2^2} \overset{\beta_1 \geq \beta_2}{\rightarrow} H_{1,1} < 0$$

$$Det\ H_{2\times 2} = Det\begin{bmatrix} \frac{-8\beta_1^3 + 4\beta_1\beta_2^2}{8\beta_1^2 - 2\beta_2^2} & \frac{4\beta_1^2\beta_2}{8\beta_1^2 - 2\beta_2^2} \\ \frac{4\beta_1^2\beta_2}{8\beta_1^2 - 2\beta_2^2} & \frac{-8\beta_1^3 + 4\beta_1\beta_2^2}{8\beta_1^2 - 2\beta_2^2} \end{bmatrix}$$

$$= \frac{4\left(\beta_1^4 - \beta_1^2\beta_2^2\right)}{4\beta_1^2 - \beta_2^2} \overset{\beta_1 \geq \beta_2}{\rightarrow} Det > 0$$

$$Det\ H_{3\times 3} = Det\begin{bmatrix} \frac{-8\beta_1^3 + 4\beta_1\beta_2^2}{8\beta_1^2 - 2\beta_2^2} & \frac{2\beta_1^2\beta_2}{4\beta_1^2 - \beta_2^2} & \frac{\lambda\beta_1}{2\beta_1 + \beta_2} \\ \frac{2\beta_1^2\beta_2}{4\beta_1^2 - \beta_2^2} & \frac{-8\beta_1^3 + 4\beta_1\beta_2^2}{8\beta_1^2 - 2\beta_2^2} & -\frac{\lambda\beta_1}{2\beta_1 + \beta_2} \\ \frac{\lambda\beta_1}{2\beta_1 + \beta_2} & -\frac{\lambda\beta_1}{2\beta_1 + \beta_2} & -\eta \end{bmatrix}$$

$$= -\frac{4\beta_1^2\left(\beta_1 - \beta_2\right)\left(2\eta\beta_1^2 + \eta\beta_2^2 - \beta_1\left(\lambda^2 - 3\eta\beta_2\right)\right)}{\left(2\beta_1 - \beta_2\right)\left(2\beta_1 + \beta_2\right)^2}$$

مقدار دترمینان ماتریس هسین تابع سود تولیدکننده به شرط $\eta > \frac{\lambda^2\beta_1}{(\beta_1+\beta_2)(2\beta_1+\beta_2)}$ منفی است و در نتیجه تابع سود تولیدکننده با وجود شرط ذکر شده نسبت به متغیرهای تصمیم W_G، W_{NG} و θ منفی معین است و در نقاط مشتق مساوی صفر خود دارای بیشینه است. با مساوی صفر قرار دادن مشتق تابع سود به دست آمده برای تولیدکننده نسبت به متغیرهای تصمیمش و حل دستگاه سه معادله سه مجهول به دست آمده، روابط ۸ تا ۱۰ به دست خواهد آمد و با جایگذاری این روابط در روابط ۱۱ و ۱۲ مقادیر روابط ۶ و ۷ به دست می‌آید. □

یادآور می‌شود چنانچه شرایط تقعر تابع سود تولیدکننده برقرار نباشد، نقاط مرزی نیز باید مورد بررسی قرار گیرد و جواب بهینه حالت غیر متمرکز از میان نقاط مرزی و نقاط مشتق مساوی صفر توابع به دست خواهد آمد.

براساس قضیه‌ی ۱.، قیمت‌های بهینه‌ی خرده‌فروشی خرده‌فروشان سبز و غیر سبز و نیز قیمت‌های بهینه‌ی عمده‌فروشی محصولات سبز و غیر سبز تولیدکننده، و نیز درجه سبز بهینه‌ی تولیدکننده در مدل غیر متمرکز و ساختار قدرت ذکرشده در صورت برقراری شرایط تقعر تابع سود تولیدکننده وجود دارند و نیز یکتا هستند.

طبق روابط موجود بین پارامترهای مدل و قضیه‌ی ۱. قیمت خرده‌فروشی و قیمت عمده‌فروشی محصول سبز در نقطه‌ی تعادل تابعی صعودی از α_1، c_2 و τ و قیمت خرده‌فروشی و همچنین قیمت عمده‌فروشی محصول غیر سبز در نقطه‌ی تعادل تابعی صعودی از α_2 و c_1 است. درجه‌ی سبز بودن محصول سبز نیز در نقطه‌ی تعادل تابعی صعودی از α_1، c_2 و τ و تابعی نزولی از α_2 و c_1 است. بنابراین در یک زنجیره‌ی تأمین غیر متمرکز اگر تقاضای پایه‌ی بازار برای محصول سبز یا هزینه‌ی تولید هر واحد محصول غیر سبز یا همچنین مالیات اعمال شده توسط دولت بر محصول غیر سبز بالا باشد خرده‌فروشِ محصولِ سبز و تولیدکننده هر دو قیمت‌های خرده‌فروشی و عمده‌فروشی بالایی برای محصول سبز تعیین می‌کنند. برای محصول غیر سبز نیز اگر تقاضای پایه‌ی بازار برای محصول غیر سبز یا هزینه‌ی تولید هر واحد محصول سبز بالا باشد خرده‌فروش محصول غیر سبز و تولیدکننده هر دو قیمت‌های خرده‌فروشی و عمده‌فروشی بالایی برای محصول غیر سبز تعیین می‌کنند. اگر تقاضای پایه‌ی بازار برای محصول سبز، هزینه‌ی تولید هر واحد محصول غیر سبز یا مالیات اعمال شده توسط دولت بر محصول غیر سبز بالا باشد تولیدکننده نیز درجه‌ی سبز محصول سبز خود را افزایش می‌دهد. همچنین اگر تقاضای پایه بازار برای محصول غیر سبز یا هزینه تولید هر واحد محصول سبز بالا باشد تولیدکننده درجه‌ی محصول سبز پایینی برای محصول سبز خود تعیین می‌کند.

۵.۲. مدل متمرکز

در یک مدل متمرکز خرده‌فروشان و تولیدکننده ضمن رعایت همکاری با هم، به‌صورت یک واحد یک‌پارچه عمل می‌کنند. در واقع در یک مدل متمرکز می‌توان مجموعه‌ی خرده‌فروشان و تولیدکننده را به‌عنوان یک کل در نظر گرفت که تصمیمات زنجیره‌ی تأمین را به‌صورت متمرکز اخذ می‌کند. در این مدل خرده‌فروشان و تولیدکننده قیمت‌های خرده‌فروشی محصولات سبز و غیر سبز و همچنین درجه‌ی سبز محصول سبز را با همدیگر تعیین می‌کنند. بنابراین سود زنجیره‌ی تأمین در حالت متمرکز برابر خواهد بود با:

$$\pi_{SC} = (P_G - C_1) D_G + (P_{NG} - C_2) D_{NG} - \frac{\eta\theta^2}{2} - \tau D_{NG} \quad (13)$$

قضیه‌ی ۲. در یک مدل متمرکز قیمت‌های خرده‌فروشی بهینه‌ی محصولات سبز و غیر سبز و نیز درجه سبز محصول سبز برابر خواهد بود با:

$$P_G = \frac{1}{4}\left(2c_1 + \frac{\alpha_1+\alpha_2}{\beta_1-\beta_2} + \frac{\lambda^2\tau + \lambda^2(-c_1+c_2) + \eta\alpha_1 - \eta\alpha_2}{-\lambda^2 + \eta(\beta_1+\beta_2)}\right) \quad (14)$$

$$P_{NG} = \frac{1}{4}\left(2(\tau+c_2) + \frac{\alpha_1+\alpha_2}{\beta_1-\beta_2} + \frac{\lambda^2\tau + \lambda^2(-c_1+c_2) + \eta\alpha_1 - \eta\alpha_2}{\lambda^2 - \eta(\beta_1+\beta_2)}\right) \quad (15)$$

$$\theta = \frac{\lambda(\alpha_1 - \alpha_2 + (\tau - c_1 + c_2)(\beta_1+\beta_2))}{2(-\lambda^2 + \eta(\beta_1+\beta_2))} \quad (16)$$

اثبات: ماتریس هسین تابع سود زنجیره‌ی تأمین در حالت متمرکز نسبت به متغیرهای تصمیم زنجیره‌ی تأمین برابر خواهد بود با:

$$H_{\pi_{sc}} = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2\pi_M}{\partial P_G^2} & \frac{\partial^2\pi_M}{\partial P_G \partial P_{NG}} & \frac{\partial^2\pi_M}{\partial P_G \partial\theta} \\ \frac{\partial^2\pi_M}{\partial P_{NG}\partial P_G} & \frac{\partial^2\pi_M}{\partial P_{NG}^2} & \frac{\partial^2\pi_M}{\partial P_G \partial\theta} \\ \frac{\partial^2\pi_M}{\partial\theta\partial P_G} & \frac{\partial^2\pi_M}{\partial\theta\partial P_{NG}} & \frac{\partial^2\pi_M}{\partial\theta^2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2\beta_1 & 2\beta_2 & \lambda \\ 2\beta_2 & -2\beta_1 & -\lambda \\ \lambda & -\lambda & -\eta \end{pmatrix}$$

$$H_{1\times1} = -2\beta_1 < 0$$

$$Det\ H_{2\times2} = Det \begin{bmatrix} -2\beta_1 & 2\beta_2 \\ 2\beta_2 & -2\beta_1 \end{bmatrix} = 4\left(\beta_1^2 - \beta_2^2\right) \overset{\beta_1>\beta_2}{\rightarrow} Det\ H_{2\times2} > 0$$

$$Det\ H_{3\times3} = Det \begin{bmatrix} -2\beta_1 & 2\beta_2 & \lambda \\ 2\beta_2 & -2\beta_1 & -\lambda \\ \lambda & -\lambda & -\eta \end{bmatrix} = -4(\beta_1-\beta_2)\left(-\lambda^2 + \eta(\beta_1+\beta_2)\right)$$

مقدار دترمینان ماتریس هسین زنجیره‌ی تأمین متمرکز به شرط برقراری رابطه $\eta > \frac{\lambda^2}{\beta_1+\beta_2}$ منفی است و درنتیجه تابع سود زنجیره‌ی تأمین با وجود شرط ذکر شده نسبت به متغیرهای تصمیم P_G، P_{NG} و θ منفی معین است و در نقاط مشتق مساوی صفر خود بیشینه است. با مساوی صفر قرار دادن مشتق تابع سود زنجیره‌ی تأمین نسبت به متغیرهای تصمیم و حل دستگاه سه معادله سه مجهول به دست آمده، روابط ۱۴ تا ۱۶ به دست خواهد آمد. □

لازم به ذکر است در صورتی که شرایط تقعر تابع سود زنجیره‌ی تأمین متمرکز برقرار نباشد، نقاط مرزی نیز باید بررسی شود و جواب بهینه‌ی حالت متمرکز از میان نقاط مرزی و نقاط مشتق مساوی صفر تابع سود زنجیره‌ی تأمین متمرکز به دست خواهد آمد.

بنا بر قضیه‌ی ۲. قیمت‌های بهینه‌ی خرده‌فروشی محصولات سبز و غیر سبز و نیز درجه‌ی سبز بهینه‌ی محصول سبز در مدل متمرکز در صورت برقراری شرایط تقعر تابع سود زنجیره‌ی تأمین متمرکز وجود دارند و یکتا نیز هستند.

براساس روابط موجود بین پارامترهای مدل و قضیه‌ی ۲. قیمت خرده‌فروشی محصول سبز در نقطه‌ی تعادل تابعی صعودی از α_1، c_2 و τ و قیمت خرده‌فروشی محصول غیر سبز در نقطه‌ی تعادل تابعی صعودی از α_2 و c_1 است. درجه‌ی سبز بودن محصول سبز نیز در نقطه‌ی تعادل تابعی صعودی از α_1، c_2 و τ و تابعی نزولی از α_2 و c_1 است. بنابراین در یک زنجیره‌ی تأمین متمرکز اگر تقاضای پایه‌ی بازار برای محصول سبز یا هزینه‌ی تولید هر واحد محصول غیر سبز یا مالیات اعمال شده توسط دولت بر محصول غیر سبز بالا باشد خرده‌فروشِ محصولِ سبز قیمت خرده‌فروشی بالایی برای محصول سبز تعیین می‌کند. برای محصول غیر سبز نیز اگر تقاضای پایه‌ی بازار برای محصول غیر سبز یا هزینه‌ی تولید هر واحد محصول سبز بالا باشد خرده‌فروش محصول غیر سبز قیمت خرده‌فروشی بالایی برای محصول غیر سبز تعیین می‌کند. اگر تقاضای پایه‌ی بازار برای محصول سبز یا هزینه‌ی تولید هر واحد محصول غیر سبز یا مالیات اعمال شده توسط دولت بر محصول غیر سبز بالا باشد تولیدکننده نیز درجه‌ی سبز محصول سبز خود را افزایش می‌دهد و اگر تقاضای

پایه بازار برای محصول غیر سبز یا هزینه‌ی تولید هر واحد محصول سبز بالا باشد تولیدکننده درجه‌ی محصول سبز پایینی برای محصول سبز خود تعیین خواهد کرد.

۳. مثال‌های عددی و تحلیل حساسیت

در این بخش مثال‌های عددی برای اثبات شدنی بودن مدل مسئله و نیز اثبات اثر مالیات دولت بر سود اعضای زنجیره‌ی تأمین در هر دو مدل متمرکز و غیر متمرکز آورده شده است. همچنین بر پارامترهای مختلف مدل نیز تحلیل حساسیت‌هایی صورت گرفته است. مقادیر فرضی پارامترها عبارت است از:

$$\alpha_1 = ۴۰۰, \quad \alpha_2 = ۴۰۰, \quad \beta_1 = ۱۰, \quad \beta_2 = ۵,$$
$$\lambda = ۶, \quad c_1 = ۵, \quad c_2 = ۳, \quad \eta = ۴, \quad \tau = ۵$$

لازم به ذکر است که مقادیر پارامترها چنان انتخاب شده که اولاً شرایط شدنی بودن و تقعر توابع سود را ارضا کنند و ثانیاً متناسب با مقادیر پارامترهای موجود در مثال‌های عددی مقالات پایه[۲۲و۲۳] باشند. برای حل مدل، رسم شکل‌ها و انجام تحلیل حساسیت‌های مختلف مسئله، از نرم‌افزار Mathematica ۱۰/۰ استفاده شده است.

با قراردادن مقادیر ذکر شده برای پارامترها در مدل، جواب‌های بهینه‌ی مسئله و توابع سود اعضای زنجیره‌ی تأمین به دست خواهد آمد. برای مدل غیر متمرکز زنجیره‌ی تأمین جواب‌های بهینه برابر خواهد بود با:

$$W_G = ۴۲/۷, \quad W_{NG} = ۴۳/۸, \quad \theta = ۱/۲, \quad P_G = ۵۵/۶,$$
$$P_{NG} = ۵۵/۴, \quad \pi_{R_G} = ۱۶۴۹/۲, \quad \pi_{R_{NG}} = ۱۳۵۹/۱,$$
$$\pi_M = ۹۰۱۲/۶$$

و برای مدل متمرکز خواهیم داشت:

$$P_G = ۴۳/۶, \quad P_{NG} = ۴۲/۸, \quad \theta = ۵/۶, \quad \pi_M = ۱۳۵۴۷/۸$$

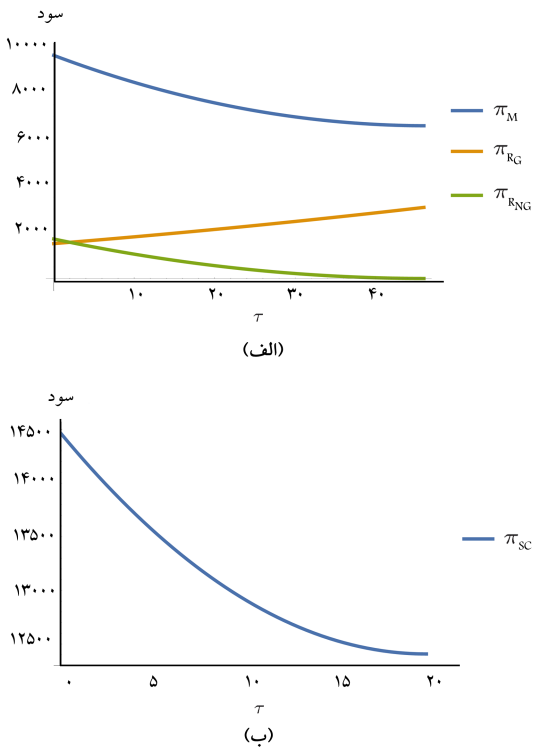
حال به بررسی اثر مالیات اعمالی دولت بر سود اعضای زنجیره‌ی تأمین و مقادیر جواب‌های بهینه مسئله خواهیم پرداخت.

در مدل غیر متمرکز با تغییر میزان مالیات اعمالی دولت بر کالای غیر سبز میزان توابع سود اعضای زنجیره‌ی تأمین تغییر خواهد کرد که این تغییرات در شکل ۲ مشخص شده است. چنان که مشاهده می‌شود با افزایش میزان مالیات اعمالی از سوی دولت سود خرده‌فروش سبز افزایش و سود خرده‌فروش غیرسبز و تولیدکننده کاهش می‌یابد.

اثر تغییر سایر پارامترهای مدل بر سود اعضای زنجیره‌ی تأمین در حالت غیر متمرکز نیز در ادامه آورده شده است (برای حالت متمرکز نیز تقریباً نمودارهای یکسانی به دست می‌آید که به منظور جلوگیری از تداخل مباحث، از آوردن آن‌ها صرف نظر شده است).

همان‌طورکه از شکل ۳ نیز مشخص است با افزایش مقادیر α_1، α_2 و β_2 سود همه اعضای زنجیره‌ی تأمین افزایش می‌یابد که افزایش سود تولیدکننده در مقابل افزایش سود خرده‌فروشان چشمگیرتر است. همچنین با افزایش مقدار β_1 سود همه اعضای زنجیره‌ی تأمین کاهش می‌یابد.

شکل ۴ نیز نشان‌گر اثر تغییر سایر پارامترهای مدل بر سود اعضای زنجیره‌ی تأمین است. چنان که مشاهده می‌شود، افزایش هزینه‌ی هر واحد تولید محصول



شکل ۲. اثر مالیات بر سود اعضای زنجیره‌ی تأمین.

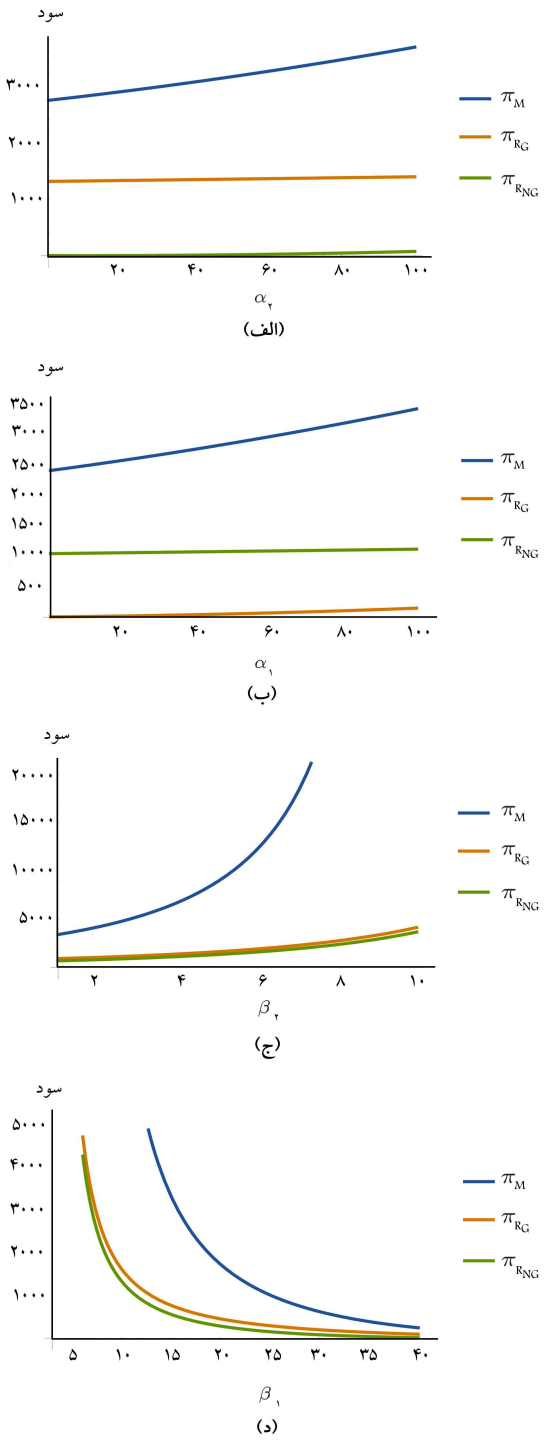
سبز (c_1) باعث کاهش سود خرده‌فروش محصول سبز و سود تولیدکننده و افزایش سود خرده‌فروش محصول غیر سبز می‌شود. همچنین افزایش هزینه‌ی هر واحد تولید محصول غیر سبز (c_2) باعث کاهش سود خرده‌فروش محصول غیر سبز و سود تولیدکننده و افزایش سود خرده‌فروش محصول سبز می‌شود. افزایش میزان λ باعث افزایش ناچیز سود خرده‌فروش سبز و کاهش ناچیز سود خرده‌فروش غیر سبز می‌شود. افزایش میزان η باعث افزایش سود خرده‌فروش غیر سبز و کاهش سود خرده‌فروش سبز و سود تولیدکننده می‌شود که این تغییرات در مقادیر کم η چشمگیرتر و در مقادیر بزرگ η نامحسوس است.

اثر تغییر هم‌زمان β_1 و β_2 بر درجه‌ی سبز بهینه‌ی محصول سبز و نیز قیمت بهینه‌ی خرده‌فروشی محصول سبز نیز در ادامه آورده شده است.

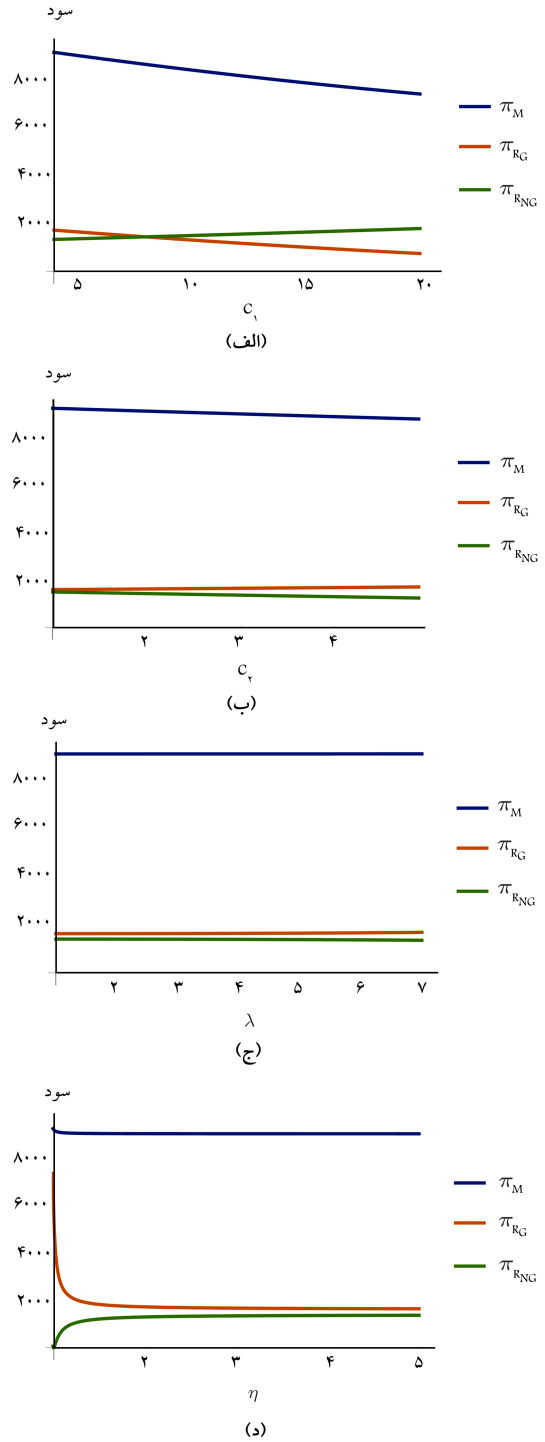
نکته‌ی جالبی که از شکل ۵ برداشت می‌شود این است که در مقادیر کم β_2 با افزایش مقدار β_1 میزان درجه‌ی سبز محصول سبز کاهش می‌یابد ولی در مقادیر بزرگ‌تر β_2 با افزایش مقدار β_1 میزان درجه‌ی سبز محصول سبز افزایش می‌یابد که این نشان می‌دهد تا چه میزان حساسیت مشتریان نسبت به تغییرات قیمت محصول سبز و تغییرات قیمت محصول غیر سبز بر روی درجه سبز محصول سبز اثرگذار است.

شکل ۶ نیز نشان‌دهنده‌ی اثر تغییر هم‌زمان β_1 و β_2 بر قیمت خرده‌فروشی بهینه‌ی محصول سبز است. چنان که از شکل ۶ نیز مشخص است در مقادیر کم β_1 با افزایش مقدار β_2 قیمت بهینه‌ی محصول سبز به‌صورت چشمگیری افزایش می‌یابد در حالی که در مقادیر بزرگ β_1 با افزایش مقدار β_2 قیمت بهینه محصول سبز بسیار کم افزایش می‌یابد (برای قیمت خرده‌فروشی بهینه‌ی محصول غیر سبز و نیز قیمت‌های عمده‌فروشی بهینه‌ی هر دو محصول برحسب β_1 و β_2 نمودارهایی مشابه شکل ۶ به دست می‌آید).

در شکل ۷ اثر تغییر هم‌زمان η و τ بر درجه‌ی سبز بهینه‌ی محصول سبز نشان داده شده است. چنان که مشاهده می‌شود، اگر ضریب هزینه‌ی هر واحد افزایش



شکل ۳. اثر تغییر تقاضاهای پایه‌ی بازار دو محصول و نیزکشش قیمتی آن‌ها بر سود اعضای زنجیره‌ی تأمین.

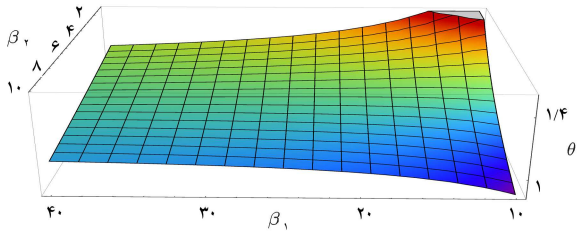


شکل ۴. اثر تغییر سایر پارامترهای مدل بر سود اعضای زنجیره‌ی تأمین.

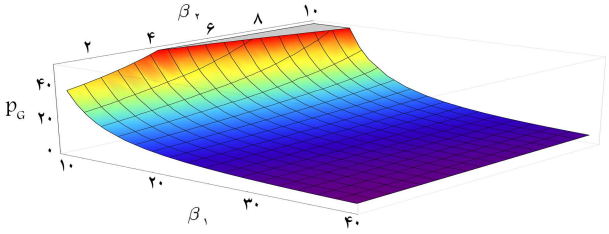
درجه‌ی سبز محصول سبز (η) کم باشد با اعمال مالیات، درجه‌ی سبز محصول سبز به‌صورت چشمگیری افزایش می‌یابد در حالی که در مقادیر بزرگ η با اعمال مالیات، درجه‌ی سبز محصول سبز بسیار کم افزایش می‌یابد. از شکل ۷ این نکته نیز برداشت می‌شود که در مقادیر کم τ با افزایش میزان η درجه‌ی سبز محصول سبز افزایش می‌یابد و در مقادیر بزرگ τ با افزایش میزان η درجه‌ی سبز محصول سبزکاهش می‌یابد.

۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

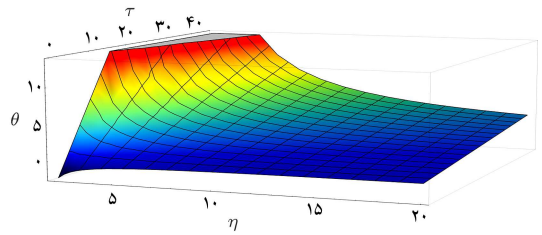
در این پژوهش زنجیره‌ی تأمینی مورد بررسی قرارگرفت که در آن یک تولیدکننده دو نوع محصول سبز و غیر سبز جایگزین تولید و از طریق دو خرده‌فروش سبز و غیر سبز به دست مشتریان می‌رساند. همچنین فرض شد که دولت نیز در راستای اهداف و سیاست‌های خود برای حفاظت محیط زیست و دست‌یابی به اهداف پایداری،



شکل ۵. اثر تغییر هم‌زمان β_1 و β_2 بر درجه سبز بهینه محصول سبز.



شکل ۶. اثر تغییر هم‌زمان β_1 و β_2 بر قیمت خرده‌فروشی بهینه‌ی محصول سبز.



شکل ۷. اثر تغییر هم‌زمان η و τ بر درجه سبز بهینه محصول سبز.

بر محصول غیر سبز تولیدکننده مالیات اعمال می‌کند. زنجیره‌ی تأمین مذکور در دو حالت متمرکز و غیر متمرکز مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفت و جواب‌های بهینه‌ی هر حالت تعیین شد. در نهایت نیز مثال‌های عددی برای نشان دادن شدنی بودن مسئله و نیز تحلیل حساسیت‌های مختلف آورده شد.

نتایج حاصله نشان می‌دهد که در مدل غیر متمرکز برای خرده‌فروشان قیمت‌های خرده‌فروشی بهینه و برای تولیدکننده قیمت بهینه‌ی عمده‌فروشی و نیز سطح سبز بهینه‌ی محصول وجود دارد و یکتاست. در مدل متمرکز نیز قیمت‌های بهینه خرده‌فروشی و همچنین سطح سبز بهینه‌ی محصول وجود دارد و یکتاست. یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که دولت با اعمال مالیات بر محصول غیر سبز و در نتیجه تغییر هزینه‌ها و قیمت‌های محصولات می‌تواند باعث افزایش سطح سبز محصول سبز و در نتیجه بهبود شرایط زیست‌محیطی شود. نتایج حاصله از حل و تحلیل حساسیت عددی مدل مسئله نشان می‌دهد که سود اعضای زنجیره‌ی تأمین به‌شدت وابسته به مقادیر و نسبت پارامترهایی همچون ضرایب حساسیت تقاضای محصول نسبت به قیمت (β_1 و β_2)، ضریب هزینه‌ی هر واحد افزایش درجه‌ی سبز محصول سبز (η) و نیز مالیات اعمال شده توسط دولت τ است و دولت می‌تواند با تغییر میزان مالیات اعمالی خود درجه‌ی سبز محصول سبز را افزایش یا کاهش دهد.

برای تحقیقات آتی موضوعات پیشنهادی عبارت است از:

۱. در نظرگرفتن یک زنجیره‌ی تأمین مشابه دیگر با زنجیره‌ی تأمین در نظرگرفته شده و بررسی رقابت بین این دو زنجیره‌ی تأمین، که می‌تواند به نوبه‌ی خود حاوی نکات ارزشمندی برای تولیدکنندگان، دولت و سایر اعضای زنجیره‌ی تأمین باشد.

۲. بررسی زنجیره‌ی تأمینی که در آن یک تولیدکننده‌ی محصولات سبز و غیر سبز و یک خرده‌فروش مشترک برای هر دو نوع محصول وجود داشته باشد.

۳. بررسی اثر یارانه‌های دولتی بر واحدهای سبز، یا بررسی توأمان یارانه‌های دولتی بر واحدهای سبز و مالیات‌ها و جریمه‌های دولتی بر واحدهای غیر سبز که زمینه‌یی جالب و نیز راهنمایی مؤثر برای یاری دولت جهت نیل به اهداف پایداری است.

۴. در نظرگرفتن قیمت‌گذاری پویا یا تبلیغات برای محصول سبز.[۲۶و۲۷]

۵. بررسی مسئله با در نظرگرفتن سایر اعضای زنجیره‌ی تأمین و نیز زنجیره‌های تأمین چندسطحی.[۲۸و۲۹]

منابع (References)

1. New, S., Green, K. and Morton, B. “An analysis of private versus public sector responses to the environmental challenges of the supply chain”, *Journal of Public Procurement*, **2**, p. 93-105 (2002).
2. Azznone, G. and Noci, G. “Measuring the environmental performance of new products: An integrated approach”, *International Journal of Production Research*, **34**, pp. 3055-3078 (1996).
3. Lu, Z. and Shao, S. “Impacts of government subsidies on pricing and performance level choice in energy performance contracting: A two-step optimal decision model”, *Applied Energy*, **184**, pp. 1176-1183 (15 December 2016).
4. Chen, X. and Hao G. “Sustainable pricing and production policies for two competing firms with carbon emissions tax”, *International Journal of Production Research*, **53**, pp. 6408-6420 (2015).
5. Xu, L., Mathiyazhagan, K., Govindan, K., Noorul Haq, A., Ramachandran, N.V. and Ashokkumar, A. “Multiple comparative studies of green supply chain management: Pressures analysis”, *Resources, Conservation and Recycling*, **78**, pp. 26-35 (2013).
6. Taylor, S.R. “Green management: The next competitive weapon”, *Futures*, **24**, pp. 669-680 (1992).
7. Sarkis, J. “A strategic decision framework for green supply chain management”, *Journal of Cleaner Production*, **11**, pp. 397-409 (2003).
8. Srivastava, S.K. “Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review”, *International Journal of Management Reviews*, **9**, pp. 53-80 (2007).
9. Zhu, Q., Sarkis, J. and Lai, K.-H. “Green supply chain management implications for “closing the loop””, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **44**, pp. 1-18 (2008).
10. Tseng, M.-L., Chiang, J.H. and Lan, L.W. “Selection of optimal supplier in supply chain management strategy with analytic network process and choquet integral”, *Computers & Industrial Engineering*, **57**, pp. 330-340 (2009).

11. Malviya, R.K. and Kant, R. "Hybrid decision making approach to predict and measure the success possibility of green supply chain management implementation", *Journal of Cleaner Production*, **135**, pp. 387-409 (2016).
12. Vachon, S. and Klassen, R.D. "Environmental management and manufacturing performance: The role of collaboration in the supply chain", *International Journal of Production Economics*, **111**, pp. 299-315 (2008).
13. Huang, Y., Wang, K., Zhang, T. and Pang, C. "Green supply chain coordination with greenhouse gases emissions management: A game-theoretic approach", *Journal of Cleaner Production*, **112**(3), pp. 2004-2014 (2016).
14. Zhao, R., Liu, Y., Zhang, N. and Huang, T. "An optimization model for green supply chain management by using a big data analytic approach", *Journal of Cleaner Production*, **142**, pp. 1085-1097 (2017).
15. Shaw, K., Irfan, M., Shankar, R. and Yadav, S.S. "Low carbon chance constrained supply chain network design problem: A benders decomposition based approach", *Computers & Industrial Engineering*, **98**, pp. 483-497 (2016).
16. Zhao, R., Neighbour, G., Han, J., McGuire, M. and Deutz, P. "Using game theory to describe strategy selection for environmental risk and carbon emissions reduction in the green supply chain", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, **25**, pp. 927-936 (2012).
17. Zhu, Q.-h. and Dou, Y.-J. "Evolutionary game model between governments and core enterprises in greening supply chains", *Systems Engineering - Theory & Practice*, **27**, pp. 85-89 (2007).
18. Tian, Y., Govindan, K. and Zhu, Q. "A system dynamics model based on evolutionary game theory for green supply chain management diffusion among Chinese manufacturers", *Journal of Cleaner Production*, **80**, pp. 96-105 (2014).
19. Sheu, J.-B. and Chen, Y.J. "Impact of government financial intervention on competition among green supply chains", *International Journal of Production Economics*, **138**, pp. 201-213 (2012).
20. Sazvar, Z., Mirzapour Al-e-Hashem, S.M.J., Baboli, A. and Akbari Jokar, M.R. "A bi-objective stochastic programming model for a centralized green supply chain with deteriorating products", *International Journal of Production Economics*, **150**, pp. 140-154 (2014).
21. Barari, S., Agarwal, G., Zhang, W.C., Mahanty, B. and Tiwari, M. "A decision framework for the analysis of green supply chain contracts: An evolutionary game approach", *Expert Systems with Applications*, **39**, pp. 2965-2976 (2012).
22. Ghosh, D. and Shah, J. "A comparative analysis of greening policies across supply chain structures", *International Journal of Production Economics*, **135**, pp. 568-583 (2012).
23. Li, B., Zhu, M., Jiang, Y. and Li, Z. "Pricing policies of a competitive dual-channel green supply chain", *Journal of Cleaner Production*, **112**(3), pp. 2029-2042 (2016).
24. Ni, D., Li, K.W. and Tang, X. "Social responsibility allocation in two-echelon supply chains: Insights from wholesale price contracts", *European Journal of Operational Research*, **207**, pp. 1269-1279 (2010).
25. Swami, S. and Shah, J. "Channel coordination in green supply chain management", *Journal of the Operational Research Society*, **64**, pp. 336-351 (2013).
26. Rahmani, A., Hejazi, S.R. and Rasti-Barzoki, M. "Feedback nash equilibrium for dynamic advertising and pricing in dual channel supply chain", *Sharif Journal, Industrial Engineering & Management*, **33-1**(2/1), pp. 79-90 (2018).
27. Chaeb, J. and Rasti-Barzoki, M. "Coordination via cooperative advertising and pricing in a manufacturer-retailer supply chain", *Computers & Industrial Engineering*, **99**, pp. 112-123 (2016).
28. Esmaeili, P., Rasti-Barzoki, M. and Hejazi, R. "Pricing and advertising decisions in a three-level supply chain with nash, stackelberg and cooperative games", *International Journal of Industiral Engineering & Producion Research*, **27**, pp. 43-59 (2016).
29. Munson, C.L. and Rosenblatt, M.J. "Coordinating a three-level supply chain with quantity discounts", *IIE transactions*, **33**, pp. 371-384 (2001).

پیوست

روابط استفاده شده در متن مقاله عبارت‌اند از:

$$Y_1 = 4\left(\beta_1-\beta_2\right)\left(2\beta_1-\beta_2\right)\left(2\eta\beta_1^2+\eta\beta_2^2-\beta_1\left(\lambda^2-3\eta\beta_2\right)\right)$$

$$Y_2 = 4\left(2\beta_1-\beta_2\right)\left(2\eta\beta_1^2+\eta\beta_2^2-\beta_1\left(\lambda^2-3\eta\beta_2\right)\right)$$

$$A_1 = \alpha_1\beta_1\left(-3\lambda^2\beta_1+12\eta\beta_1^2+2\beta_2\left(\lambda^2-3\eta\beta_2\right)\right)$$

$$A_2 = \alpha_2\left(-3\lambda^2\beta_1^2+2\beta_1\left(\lambda^2+5\eta\beta_1\right)\beta_2-4\eta\beta_2^3\right)$$

$$A_3 = \beta_1\Bigg(4\eta c_1\beta_1^2+\beta_1\Big(\lambda^2(-5c_1+3(\tau+c_2))+2\eta(\tau+2c_1+c_2)\Big)\beta_2+2\beta_2\left(\lambda^2c_1-(\tau+c_2)(\lambda^2-\eta\beta_2)\right)\Bigg)$$

$$A_4 = \alpha_1\left(-3\lambda^2\beta_1^2+2\beta_1\left(\lambda^2+5\eta\beta_1\right)\beta_2-4\eta\beta_2^3\right)$$

$$A_5 = \alpha_2\beta_1\left(-3\beta_1\left(\lambda^2-4\eta\beta_1\right)+2\lambda^2\beta_2-6\eta\beta_2^2\right)$$

$$A_6 = \beta_1\Bigg(\beta_1\left(\lambda^2(3c_1-5(\tau+c_2))+4\eta(\tau+c_2)\beta_1\right)+2\Big(\lambda^2(\tau-c_1+c_2)+\eta(c_1+2(\tau+c_2))\beta_1\Big)\beta_2+2\eta c_1\beta_2^2\Bigg)$$

$$A_7 = \frac{\left(\lambda^2\tau+\lambda^2(-c_1+c_2)+2\eta\alpha_1-2\eta\alpha_2\right)\beta_1+\eta(\alpha_1-\alpha_2)\beta_2}{2\eta\beta_1^2+\eta\beta_2^2-\beta_1\left(\lambda^2-3\eta\beta_2\right)}$$