

قیمت‌گذاری و تعیین درجه سبز محصول در زنجیره‌های تأمین رقیب با در نظر گرفتن دخالت دولت

مجتبی نوروزی فصیح^۱، انور محمودی^{۲*}

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۲. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

خلاصه

در این پژوهش به بررسی سیاست‌های قیمت‌گذاری و تعیین درجه سبز کالا در دو زنجیره تأمین رقیب پرداخته می‌شود. هر زنجیره شامل یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش است که یک کالای سبز را تولید کرده و به مصرف‌کننده نهایی می‌رسانند. کالاهای تولید شده توسط این دو زنجیره جایگزین یکدیگر هستند. این مسأله در دو حالت در نظر گرفته شده است؛ در حالت نخست فرض می‌شود تولیدکننده رهبر بازار است اما در حالت دوم خرده‌فروش نقش رهبر بازار را عهده‌دار خواهد بود. در هر دو حالت، دولت به‌عنوان یک عامل قوی، بر بازار تأثیرگذار خواهد بود. نحوه تأثیرگذاری دولت بر زنجیره‌ها بدین صورت است که دولت با برقراری یک سیستم یارانه/جریمه و نیز تعیین یک حداقل درجه سبز مشخص برای کالاها، جریمه و یا یارانه‌ای را برای هر تولیدکننده در نظر خواهد گرفت. در این پژوهش با توجه به قیمت‌های عمده‌فروشی و خرده‌فروشی و میزان یارانه و جریمه و همچنین توابع تقاضا، تابع سود تولیدکننده و خرده‌فروش ارائه می‌شود. سپس با استفاده از رویکرد نظریه بازی‌ها، قیمت‌های تعادلی عمده‌فروشی و خرده‌فروشی و نیز درجه سبز تعادلی ارائه می‌شود. نتایج عددی نشان می‌دهد که بازی خرده‌فروش-استکلیبرگ، شرایط بهتری را برای اعضای زنجیره و محیط زیست فراهم می‌کند و این تأثیر با میزان رقابت بین اعضا رابطه مستقیم دارد.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۴۰۰/۰۲/۱۱

پذیرش ۱۴۰۰/۰۵/۳۰

(مقاله پژوهشی)

کلمات کلیدی:

زنجیره تأمین سبز

نظریه بازی

قیمت‌گذاری

دخالت دولت

۱. مقدمه

در سال‌های گذشته، نگرانی‌های زیست‌محیطی، فشارهای نظارتی و رقابتی، سازمان‌ها را به سمت زنجیره‌های تأمین سبز سوق داده است [۱]. در این شرایط زنجیره‌های تأمین سبز می‌تواند به‌عنوان تحولی نو در مدیریت منابع، موجب به حداقل رساندن تأثیرات زیست‌محیطی شود [۲]. سبز کردن زنجیره‌های تأمین به معنای در نظر گرفتن معیارهای زیست‌محیطی در تمام سطوح زنجیره، از تأمین‌کننده و تولیدکننده تا مصرف‌کننده نهایی می‌باشد [۳]. در این راستا، دولت‌ها به‌منظور تشویق تولیدکنندگان کالاهای سبز، اقدام به تصویب سیاست‌ها و آیین‌نامه‌های حمایتی نموده‌اند [۴]. به عبارتی می‌توان گفت از آنجاکه دولت قدرتمندترین تصمیم‌گیرنده در بازار است، می‌تواند برای کاهش آلودگی و افزایش پایداری محصولات، قوانینی را وضع نماید [۵].

باتوجه به جذابیت و اهمیت روزافزون کالاهای سبز و افزایش تمایل مصرف‌کنندگان نسبت به مصرف این کالاها، به‌منظور دستیابی به بهترین کارایی، لزوم بررسی و مطالعه رفتار و عملکرد تولیدکنندگان، خرده‌فروشان و زنجیره‌های تأمین کالاهای سبز نیز افزایش یافته است. از طرفی با ورود دولت به بازار کالاهای سبز و اعمال مقرراتی در جهت حفظ محیط و نیز پاسخ‌گویی به افکار عمومی، تولیدکنندگان و خرده‌فروش‌های کالاهای سبز ناچار به اتخاذ سیاست‌هایی جهت پاسخ‌گویی به اقدامات دولت هستند.

باتوجه به موارد فوق و همچنین با مطالعه ادبیات موجود مشخص شد که بیشتر مطالعات صورت گرفته، به بررسی رقابت و یا همکاری بین تولیدکننده و خرده‌فروش در یک زنجیره سبز پرداخته‌اند. تعدادی از مطالعات نیز بر نحوه تقابل یک زنجیره تأمین سبز و یک زنجیره تأمین

* نویسنده مسئول: انور محمودی

تلفن: ۰۰۳۶۶۴۶۰۰-۰۸۷؛ پست الکترونیکی: anwar.mahmoodi@uok.ac.ir

جاری در زیربخش ۲-۳ ارائه می‌شود.

۱-۲. رقابت در زنجیره‌های تأمین سبز

هوانگ و همکاران [۷] به بررسی برهم کنش چند تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش در یک زنجیره تأمین سبز پرداختند. بصیری و حیدری [۸] اثر رقابت و همکاری بین اجزای یک زنجیره تأمین که یک کالای سبز و یک کالای غیرسبز تولید می‌کند را بررسی کردند. چن و همکاران [۹] به بررسی سیاست‌های قیمت‌گذاری و استراتژی‌های سبز در یک زنجیره تأمین سبز با رقابت عمودی و افقی پرداختند که شامل یک تولیدکننده سبز، یک تولیدکننده سنتی و یک خرده‌فروش مشترک بود. حافظ‌الکتب [۱۰] به بررسی دو زنجیره تأمین سبز، متشکل از دو تولیدکننده و دو خرده‌فروش که کالای قابل تعویض می‌فروشد، پرداخت. پانجا و موندال [۱۱] رقابت بین تولیدکننده و خرده‌فروش را در یک زنجیره تأمین سبز و با در نظر گرفتن شرایط مختلف برای تقاضای بازار مورد بررسی قرار دادند.

در بیشتر پژوهش‌های انجام شده به‌ویژه در سال‌های گذشته همانند [۱۲]، [۱۳] و [۱۴] فقط به بررسی تصمیمات خرده‌فروش و تولیدکننده در یک زنجیره تأمین سبز پرداخته شده است. همچنین تعدادی از مقالات ارائه شده مانند [۱۵] و [۱۶] به بررسی برقرار ساختن و یا عدم برقرارسازی کانال‌های فروش مستقیم توسط تولیدکنندگان پرداخته‌اند. سایر پژوهش‌ها همانند [۱۷] و [۱۸] که رقابت بین زنجیره‌های مجزا را مورد بررسی قرار داده‌اند نیز بیشتر بر رقابت بین یک زنجیره سبز و یک زنجیره غیرسبز متمرکز شده‌اند؛ درحالی‌که در این پژوهش با توجه به گرایش روزافزون برندهای جهانی به تولید کالاهای سبز، سعی شده است مدلی برای رقابت بین دو زنجیره سبز ارائه گردد.

۲-۲. نقش دولت در توسعه زنجیره‌های تأمین سبز

در این بخش نحوه دخالت دولت در بازار کالاهای سبز بررسی می‌شود. شو [۱۲] به بررسی تعاملات بین تولیدکنندگان و تأمین‌کنندگان تحت مداخله دولت پرداخت و نشان داد که مداخله مالی توسط دولت تأثیر قابل توجهی در قدرت چانه‌زنی نسبی اعضای یک زنجیره تأمین سبز در مذاکرات دارد. شو و چن [۱۹] با بررسی اثر دخالت دولت در یک زنجیره تأمین سبز به این نتیجه رسیدند که به‌منظور کسب سود، دولت باید سیاست مالیات و یارانه را اتخاذ کند. جین و می [۲۰] به بررسی نحوه کنش بین دولت و تأمین‌کنندگان پرداختند و دریافتند ضروری است که دولت مجازات‌هایی را برای کالاهای غیرسبز در نظر بگیرد. مدنی و راستی-برزوکی [۱۷] در رقابت بین یک زنجیره سبز و یک زنجیره غیرسبز، دولت را به‌عنوان رهبر بازار در نظر گرفتند. در این تحقیق دولت برای کالاهای سبز یارانه و برای کالاهای غیرسبز مالیات در نظر خواهد گرفت. یانگ و شیائو [۲۱] اثر یارانه دولتی را بر یک زنجیره سبز مورد بررسی قرار دادند و دریافتند دخالت دولت همیشه برای زنجیره تأمین سبز مفید نیست. لوی و همکاران [۲۲] با در نظر گرفتن کانال‌های چندگانه در یک زنجیره تأمین، تأثیر یارانه دولتی را بر این زنجیره بررسی کردند. سان و همکاران [۲۳] تأثیر سرمایه‌گذاری سبز از طرف تولیدکننده و یا تأمین‌کننده را در یک زنجیره تأمین و با در نظر

غیرسبز تمرکز نموده‌اند. موارد گفته شده با توجه به گرایش روزافزون زنجیره‌های تأمین به تولید کالاهای سبز با کاستی‌هایی روبه‌رو است. از طرفی، اکثر تحقیقات موجود نقش دولت را به یک تشویق‌کننده محدود کرده‌اند که این مورد نیز با توجه به اقدامات سختگیرانه دولت‌های کنونی در مواجهه با آلودگی‌های محیطی نمی‌تواند پاسخ‌گوی نیازهای دنیای واقعی باشد.

امروزه بسیاری از خرده‌فروشان کوچک و بزرگ در سراسر دنیا به‌منظور کسب مزیت رقابتی و نشان دادن نقش خود در جلوگیری از آلودگی محیط و نیز به خطر افتادن سلامت انسان‌ها، تصمیم به شرکت در برنامه‌های مربوط به تولید کالای سبز گرفته‌اند. دخالت شرکت‌های خرده‌فروشی یا به‌صورت مشارکت در بازیافت مواد موجود در بسته‌بندی کالاها و یا به‌صورت سرمایه‌گذاری مستقیم در تولید کالای سبز می‌باشد. به‌عنوان مثال خرده‌فروشی تریدر جوز (Trader Joe's) در چند سال گذشته بیش از ۶۷۰ میلیون پوند مواد از جمله مقوا، بسته‌بندی‌های پلاستیکی و سطل‌های پلاستیکی را بازیافت کرده است و همچنین با سرمایه‌گذاری ۲۰۰ میلیون دلاری در سال ۲۰۲۰، بسته‌بندی بیش از ۱۵۰ محصول را با از بین بردن اجزای اضافی بهبود داده است که نتیجه این تلاش، حذف ۲ میلیون پوند بسته‌بندی پلاستیکی از محصولات بوده است [۶].

باتوجه به موارد گفته شده و نیز در نظر گرفتن این مورد که در اکثر پژوهش‌های موجود سرمایه‌گذاری برای تولید کالای سبز برعهده تولیدکننده در نظر گرفته شده است، به‌منظور پر کردن خلأ موجود، در این پژوهش فرض می‌شود هزینه تولید کالای سبز برعهده خرده‌فروش می‌باشد.

در این پژوهش به‌دنبال پاسخ‌گویی به سوالات زیر خواهیم بود:

۱) تأثیر دخالت دولت در درجه سبز کالا، قیمت‌ها و سود زنجیره‌ها چگونه است؟

۲) ساختار رهبری زنجیره (تولیدکننده-استکلیبرگ و یا خرده‌فروش-استکلیبرگ) چه تأثیری بر قیمت و درجه سبز کالا دارد؟

به‌منظور پاسخ‌گویی به سوالات فوق، در این پژوهش، به بررسی رقابت بین دو زنجیره تأمین دوسطحی که هر کدام شامل یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش است، پرداخته می‌شود. در سناریوی اول تولیدکننده رهبر بازار است اما در سناریوی دوم خرده‌فروش این نقش را برعهده می‌گیرد. هر تولیدکننده یک کالای سبز تولید می‌کند که این کالاها جایگزین هم هستند و هر کالا توسط یک خرده‌فروش و در یک بازار مشترک به‌دست مصرف‌کننده می‌رسند. لازم به ذکر است در این تحقیق دولت حداقل درجه سبزی را به‌منظور اعطای یارانه و یا اعمال جریمه در نظر خواهد گرفت.

۲. مرور ادبیات

در این بخش، در ابتدا ادبیات موضوع رقابت در زنجیره‌های تأمین سبز در زیربخش ۲-۱ مرور می‌شود. سپس نقش دولت در توسعه زنجیره‌های تأمین سبز در زیربخش ۲-۲ مرور می‌گردد. در نهایت، سهم پژوهش

گرفتن یارانه دولتی بررسی کردند.

دخالت دولت در مدل می‌باشد. در پژوهش‌های پیشین مانند [۱۷] و [۴] که به بررسی زنجیره‌های با کالاهای سبز و غیرسبز پرداخته‌اند معمولاً مرزبندی خاصی توسط دولت به‌منظور جداسازی کالاهای سبز و غیرسبز انجام نشده است و فقط به این مورد بسنده شده است که برای کالاهای سبز، یارانه و برای کالاهای غیرسبز جریمه‌ی خاصی اعمال می‌شود؛ اما در این پژوهش دولت با تعیین حداقلی برای درجه سبز کالا، میزان یارانه و جریمه را برای هر تولیدکننده مشخص می‌کند.

در تحقیقاتی همانند [۲۱] و [۲۸]، شیوه دخالت دولت همانند پژوهش حاضر است اما تفاوت این دو تحقیق در این است که در [۲۱] رقابت تولیدکننده-استکلیبرگ و خرده‌فروش-استکلیبرگ در بین اجزای یک زنجیره تأمین بررسی شده است و در [۲۸] به رقابت بین یک زنجیره سبز و یک زنجیره غیرسبز با درنظر گرفتن بازی تولیدکننده-استکلیبرگ و پرداخت هزینه سبزشسازی از سوی تولیدکننده پرداخته شده است. یکی دیگر از مواردی که در تحقیقات پیشین به حد کافی مورد توجه قرار نگرفته است، توانایی خرده‌فروشان در سرمایه‌گذاری به‌منظور تولید کالای سبز است. در همه مطالعات فوق، فرض بر این است که سرمایه‌گذاری سبز به‌عهده تولیدکننده است اما همان‌طور که پیشتر گفته شد در حال حاضر بسیاری از خرده‌فروشان به‌منظور کسب مزیت رقابتی اقدام به سرمایه‌گذاری سبز نموده‌اند؛ به‌همین دلیل در این پژوهش فرض بر این است که هزینه سرمایه‌گذاری سبز برعهده خرده‌فروشان است.

در مطالعاتی مانند [۱۹]، [۲۵]، [۱۷] و [۱۰] که رقابت بین دو زنجیره را بررسی کرده‌اند، دو منبع اول، در درون هر زنجیره حالت همکاری بین اعضا را درنظر گرفته‌اند. منبع [۱۷] رقابت بین یک زنجیره سبز و غیرسبز را در حالت تولیدکننده-استکلیبرگ بررسی کرده است و منبع [۱۰] رقابت بین زنجیره‌ای را با درنظر گرفتن یارانه و ساختار بازی تولیدکننده-استکلیبرگ درنظر گرفته است. لازم به ذکر است تمامی منابع فوق، پرداخت هزینه سبزشسازی را از سوی تولیدکننده درنظر گرفته‌اند.

۳. مدل مسأله و روش حل

۳-۱. شرح مسأله

در این پژوهش دو زنجیره تأمین سبز رقیب درنظر گرفته شده است که هر کدام شامل یک تولیدکننده سبز و یک خرده‌فروش هستند. فرض شده است تابع تقاضا به‌صورت قطعی و وابسته به قیمت و درجه سبز کالا می‌باشد. همچنین فرض شده است هر تولیدکننده یک کالای سبز تولید و از طریق خرده‌فروش به‌فروش می‌رساند که این کالاهای سبز جایگزین هم هستند. در این مدل هر دو زنجیره رقیب، دارای قدرت برابر هستند، اما در درون زنجیره‌ها، در حالت اول تولیدکننده نقش رهبر بازی استکلیبرگ (تولیدکننده-استکلیبرگ) را عهده‌دار است و در حالت دوم خرده‌فروش این نقش را برعهده خواهد داشت (خرده‌فروش-استکلیبرگ). شکل (۱) ساختار شماتیک مدل را نشان می‌دهد.

تحقیقات فوق و اکثر تحقیقات انجام شده در این حوزه بیشتر بر بررسی تأثیر یارانه‌های دولتی متمرکز هستند. مطالعاتی که جریمه‌های دولتی را نیز درنظر گرفته‌اند، معمولاً مرزبندی خاصی برای کالای سبز و غیرسبز درنظر نگرفته‌اند اما در این پژوهش دولت با تعریف پارامتری برای تعیین حداقل درجه سبز ممکن برای کالا، مشخص خواهد کرد که تولیدکننده یارانه دریافت خواهد کرد و یا جریمه خواهد شد.

۲-۳. سهم پژوهش حاضر

برای نشان دادن سهم اصلی این مطالعه در ادبیات موجود، جدول (۱) ارائه شده است که شامل مقایسه‌ای مختصر در میان ادبیات مربوطه و براساس مفروضات اصلی است.

مسأله مورد بررسی در این پژوهش، بررسی رقابت بین دو زنجیره تأمین سبز است که هر کدام یک کالای سبز که جانشین هم هستند را به بازار عرضه می‌کنند. وجه تمایز مسأله موردنظر با ادبیات موجود، رقابتی بودن زنجیره‌های تأمین و همچنین دخالت دولت با استفاده از سیستم یارانه/جریمه است. به این صورت که دولت به‌عنوان ناظر، تولیدکننده‌ای را که درجه سبز کالایش از حداقل درجه سبز تعیین شده توسط دولت کمتر باشد جریمه، و تولیدکننده‌ای را که درجه سبز کالایش از کمینه درجه سبز تعیین شده بیشتر باشد، تشویق خواهد کرد. درون هر زنجیره نیز بین تولیدکننده و خرده‌فروش، رقابت تولیدکننده-استکلیبرگ (در حالت اول) و خرده‌فروش-استکلیبرگ (در حالت دوم) برقرار است. عمده‌ترین تفاوت‌های پژوهش حاضر نسبت به ادبیات موجود را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد:

جدول (۱): برخی از مقالات مرور شده در این پژوهش

مرجع	نوع کالا		نوع رقابت	دخالت دولت	
	غیرسبز	سبز		جریمه	یارانه
[۱۲]	✓	✓	درون زنجیره	✓	MS & RS
[۱۹]	✓	✓	بین زنجیره	✓	-
[۲۰]	✓	✓	درون زنجیره	✓	-
[۱۷]	✓	✓	بین زنجیره	✓	MS
[۲۱]	✓	✓	درون زنجیره	✓	MS & RS
[۲۴]	✓	✓	درون زنجیره	✓	MS
[۲۵]	✓	✓	بین زنجیره	✓	-
[۲۶]	✓	✓	درون زنجیره	✓	MS
[۷]	✓	✓	درون زنجیره	✓	MS
[۲۷]	✓	✓	درون زنجیره	✓	MS
[۱۰]	✓	✓	بین زنجیره	✓	MS
[۲۸]	✓	✓	بین زنجیره	✓	MS
[۲۹]	✓	✓	درون زنجیره	✓	MS
[۱۵]	✓	✓	درون زنجیره	✓	MS
[۲۳]	✓	✓	درون زنجیره	✓	-
پژوهش حاضر	✓	✓	بین زنجیره	✓	MS & RS

یکی از جنبه‌های تمایز این پژوهش نسبت به ادبیات موجود، نحوه

(1,2)

پارامترها

- a_i بازار پایه برای کالای i ام، $(i = 1,2) a_i \geq 0$
- b_i ضریب حساسیت تقاضای خرده‌فروش i به قیمت خودش، $(i = 1,2) b_i \geq 0$
- c_i هزینه تولید کالای i ام، $(i = 1,2)$
- γ ضریب حساسیت تقاضای خرده‌فروش i به قیمت رقیب، $(i = 1,2) b_i > \gamma \geq 0$
- δ_i ضریب حساسیت تقاضای تولیدکننده i نسبت به سطح سبز خودش، $(i = 1,2)$
- λ ضریب حساسیت تقاضا نسبت به سطح سبز رقیب، $\delta_i >$
- $\lambda \geq 0$
- μ_i ضریب هزینه سرمایه‌گذاری سبز برای کالای i ام، $(i = 1,2)$

متغیرهای تصمیم

- p_{in} قیمت نهایی کالای i ام در سناریو n ، $(i = 1,2; n = 1,2) p_{in} \geq 0$
- w_{in} قیمت عمده‌فروشی کالای i ام در سناریو n ، $(i = 1,2; n = 1,2) w_{in} \geq 0$
- θ_{in} درجه سبز کالای i ام در سناریو n ، $(i = 1,2; n = 1,2) \theta_{in} \geq 0$

۳-۲. مدل‌سازی مسأله

در این پژوهش فرض شده است مصرف‌کنندگان نسبت به قیمت و درجه سبز کالا حساس هستند. هنگامی که درجه سبز یک زنجیره دچار اختلال شود و یا درجه سبز زنجیره رقیب بهبود یابد، مصرف‌کنندگان به خرید از زنجیره رقیب روی می‌آورند. این شرایط هنگامی که قیمت فروش یک زنجیره افزایش یابد و یا قیمت فروش زنجیره رقیب کاهش یابد نیز صادق است. در اینجا از یک مدل تقاضای خطی استفاده شده است که نسبت به قیمت خرده‌فروشی زنجیره و رقیب آن و همچنین نسبت به درجه سبز کالا و درجه سبز زنجیره رقیب، خطی است. تابع تقاضای زنجیره‌تأمین سبز، مشابه مدل [۳۰] و [۳۱]، به شکل زیر است:

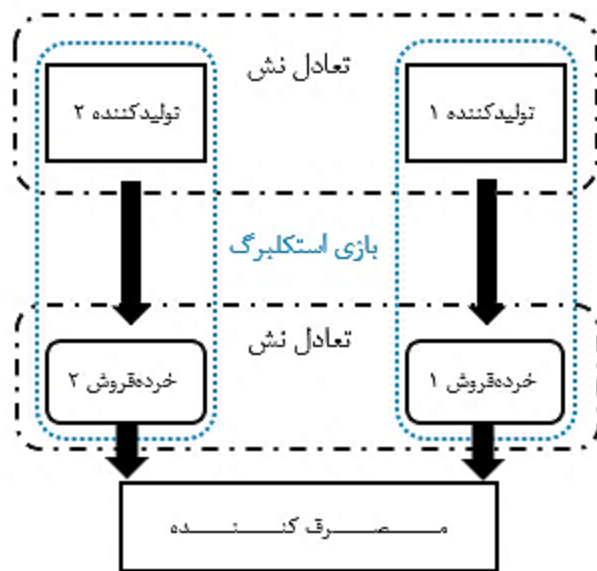
$$d_i = a_i - b_i p_{in} + \gamma p_{jn} + \delta_i \theta_{in} - \lambda \theta_{jn}; \quad i = 1,2 \& j = 3 - i; n = 1,2 \quad (1)$$

در ادامه تعدادی از مهم‌ترین فرضیات در نظر گرفته شده در این پژوهش بیان شده است:

فرض ۱: $(b_i > \delta_i)$

این فرض بدین معناست که تقاضا برای محصول سبز، بیشتر از این که به درجه سبز وابسته باشد، تحت تأثیر قیمت خرده‌فروشی است. [۱۵] و [۱۸] مهم‌ترین منابعی هستند که این فرض را در مسأله خود وارد کرده‌اند.

فرض ۲: دولت برای تولید هر واحد کالای سبز، یارانه/جریمه‌ای به میزان θ_0 برای تولیدکننده در نظر می‌گیرد که در آن θ_0 حداقل سطح سبز برای دریافت یارانه است و k عامل تعدیل دولت در ارائه یارانه/جریمه به تولیدکننده است. اگر $\theta_i \geq \theta_0$ در این صورت یارانه



شکل (۱): ساختار بازی در درون و بیرون زنجیره

در این مدل، مداخله دولت به‌عنوان یک عنصر مهم بازار در نظر گرفته شده است. در این پژوهش به‌مانند [۲۱] و [۲۸]، دخالت دولت به‌صورت مکانیزم یارانه/جریمه در نظر گرفته شده است. این مکانیزم به این صورت است که دولت یک درجه سبز کمینه را برای کالاهای سبز در نظر می‌گیرد؛ اگر درجه سبز کالاهای تولید شده، از درجه سبز کمینه تعیین شده توسط دولت بیشتر باشد، تولیدکننده یارانه دریافت می‌کند اما اگر درجه سبز کالا کمتر از حد تعیین شده باشد، آن تولیدکننده مشمول جریمه می‌شود. جریمه و یارانه اعمال شده برای هر تولیدکننده دارای یک ضریب تعدیل است که این ضریب نیز توسط دولت تعیین می‌شود. همان‌طور که قبلاً نیز گفته شد، در این تحقیق و در هر دو حالت، هزینه سرمایه‌گذاری سبز برعهده خرده‌فروش خواهد بود. لازم به ذکر است مطابق با ادبیات موجود از جمله مراجع [۲۱] و [۲۸]، یارانه و جریمه اعمال شده از طرف دولت، بر تابع سود تولیدکننده اثرگذار خواهد بود.

در این مسأله، قیمت عمده‌فروشی یک متغیر تصمیم برای تولیدکننده است و درجه سبز کالا و قیمت خرده‌فروشی، متغیرهای تصمیم خرده‌فروش می‌باشد. هدف این مسأله دستیابی به مقدار بهینه قیمت عمده‌فروشی، قیمت خرده‌فروشی و درجه سبز کالا، به‌گونه‌ای است که میزان سود هر زنجیره ماکزیمم شود.

نمادگذاری مسأله به‌صورت زیر است:

اندیس

- i مجموعه نشان‌دهنده شماره کالا $(i = 1,2)$
- n مجموعه نشان‌دهنده شماره سناریو $(n = 1,2)$
- d_i تابع تقاضا برای کالای i ام، $(i = 1,2) d_i \geq 0$
- π_{in}^M تابع سود تولیدکننده i در سناریو n $(i = 1,2; n = 1,2)$
- π_{in}^R تابع سود خرده‌فروش i در سناریو n $(i = 1,2; n = 1,2)$

$$W_{i1} = \frac{\left(\frac{2U_i V_i (-V_j Y_i + X_i Z_j - H U_j (c_i + k\theta_0^2)) + (S_j X_i + V_j (\gamma T_i + \lambda G_i \delta_j)) (-V_i Y_j + X_j Z_i - H U_i (c_j + k\theta_0^2))}{(S_i X_j + V_i (\gamma T_j + \lambda G_j \delta_i)) (S_j X_i + V_j (\gamma T_i + \lambda G_i \delta_j))} - 4U_i U_j V_i V_j \right)}{i}; \quad (6)$$

مقادیر U_i, V_i, Y_i و X_i در پیوست شماره ۱ آورده شده است.

اثبات: اثبات در پیوست شماره ۲ آورده شده است.

۳-۲. سناریو دوم (خرده‌فروش-استکلبرگ)

همان‌طور که پیشتر بیان شد، در این حالت و در درون هر یک از زنجیره‌های تأمین، خرده‌فروش به‌عنوان رهبر بازی استکلبرگ ایفای نقش خواهد کرد. در این سناریو نیز مانند سناریوی اول هزینه سرمایه‌گذاری سبز برعهده خرده‌فروش است.

علاوه بر موارد بیان شده، فرض بر این است که در این سناریو قدرت دو زنجیره برابر است. از آنجاکه در این سناریو تولیدکننده نقش پیرو را عهده‌دار است، لذا در مرحله نخست باید مقدار W_{i2} را محاسبه نمود. باید در نظر داشت قیمت خرده‌فروشی برابر با حاصل جمع قیمت عمده‌فروشی و سود حاشیه‌ای خرده‌فروش است که به‌صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$p_{i2} = w_{i2} + m_{i2}$$

لم ۱: قیمت تعادلی عمده‌فروشی برای سناریو دوم با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$w_{i2} = \frac{1}{b_i} (a_i + \gamma p_{j2} + b_i (c_i - p_{i2} + k\theta_0 (\theta_0 - \theta_{i2})) + \delta_i \theta_{i2} - \lambda \theta_{j2}); \quad i = 1, 2; j = 3 - i \quad (7)$$

اثبات: اثبات در پیوست شماره ۲ آورده شده است.

مطابق با بازی خرده‌فروش-استکلبرگ، در این مرحله نوبت به محاسبه متغیرهای تصمیم خرده‌فروش می‌باشد. از آنجاکه خرده‌فروش هزینه سرمایه‌گذاری سبز را تقبل می‌کند، در نتیجه درجه سبز کالا یک متغیر تصمیم برای خرده‌فروش می‌باشد که در این مرحله به همراه قیمت خرده‌فروشی کالا و به‌صورت هم‌زمان محاسبه خواهد شد.

قضیه ۳: تحت فرض $\mu_i > \frac{(\delta_i + kb_i \theta_0)^2}{4b_i}$ بازی ایستا بین دو خرده‌فروش دقیقاً یک تعادل نش دارد که از روابط زیر به‌دست می‌آید:

$$p_{i2} = \frac{\left(\frac{(c_i + k\theta_0^2)(F_j(\delta_i + kb_i \theta_0) + b_i L_j \mu_i)}{+(k\theta_0(\delta_i + kb_i \theta_0) - 3\mu_i)(-A_j(\delta_j + kb_j \theta_0) + B_j \mu_j)} \right)}{(\delta_i + kb_i \theta_0)(F_j + kM_j \theta_0) + (b_i L_j - 3M_j)\mu_i}; \quad i = 1, 2; j = 3 - i \quad (8)$$

$$\theta_{i2} = \frac{1}{(\delta_i + kb_i \theta_0)(F_j + kM_j \theta_0) + (b_i L_j - 3M_j)\mu_i} (\delta_i + kb_i \theta_0)(A_j(\delta_j + kb_j \theta_0) + M_j(c_i + k\theta_0^2) - B_j \mu_j); \quad i = 1, 2; j = 3 - i \quad (9)$$

مقادیر A_i, B_i, F_i, L_i و M_i در پیوست شماره ۱ آورده شده است.

اثبات: اثبات در پیوست شماره ۲ آورده شده است.

۴. نتایج

برابر است با $k\theta_0(\theta_i - \theta_0)$ و در غیر این صورت جریمه برابر است با $-k\theta_0(\theta_i - \theta_0)$. در این پژوهش نیز به مانند [۲۸] و [۲۹] از مکانیزم بالا برای بررسی دخالت دولت در زنجیره‌های سبز استفاده شده است.

فرض ۳: هزینه سرمایه‌گذاری سبز برای کالا به سطح سبز وابسته است و برابر $I = \frac{\mu_i}{2} \theta_i^2$ در نظر گرفته می‌شود. این تابع هزینه برای اولین بار در [۳۲] و سپس در [۱۲] استفاده شد.

باتوجه به مطالب بالا تابع سود تولیدکننده و خرده‌فروش به شکل زیر نشان داده می‌شود:

$$\pi_{in}^M = (w_{in} - c_i + s)d_i - I = (w_{in} - c_i + k\theta_0(\theta_{in} - \theta_0))(a_i - b_i p_{in} + \gamma p_{jn} + \delta_i \theta_{in} - \lambda \theta_{jn}); \quad i = 1, 2; j = 3 - i; n = 1, 2 \quad (2)$$

$$\pi_{in}^R = (p_{in} - w_{in})d_i = (p_{in} - w_{in})(a_i - b_i p_{in} + \gamma p_{jn} + \delta_i \theta_{in} - \lambda \theta_{jn}) - \frac{\mu_i}{2} \theta_{in}^2; \quad i = 1, 2; j = 3 - i; n = 1, 2 \quad (3)$$

۳-۳. روش حل مسأله

۳-۳-۱. سناریو اول (تولیدکننده-استکلبرگ)

برای حل مسأله باتوجه به وجود رقابت درون و بیرون زنجیره‌ای از تکنیک‌های نظریه بازی‌ها استفاده می‌شود. توالی زمانی تصمیم‌گیری‌ها در بازی تولیدکننده-استکلبرگ، به شکل زیر است:

۱) ابتدا تولیدکنندگان قیمت عمده‌فروشی کالای خود را تعیین می‌کند.

۲) خرده‌فروش‌ها پس از مشاهده قیمت عمده‌فروشی، قیمت خرده‌فروشی و درجه سبز خود را به‌صورت هم‌زمان تعیین می‌کنند. در نتیجه علاوه بر رقابت استکلبرگ در یک زنجیره، یک رقابت بین استنتاج بازگشتی ابتدا تعادل نش خرده‌فروش‌ها با فرض قیمت‌های عمده‌فروش داده شده ارائه می‌شود.

قضیه ۱: با فرض $\mu_i > \frac{\delta_i^2}{2b_i}$ قیمت و درجه سبز تعادلی برای خرده‌فروش با استفاده از روابط (۴) و (۵) به‌دست خواهد آمد.

$$p_{i1} = \frac{T_j w_{i1} - S_j w_{j1} \mu_i + Z_j \mu_i}{H = 3 - i}; \quad i = 1, 2 \text{ \& } j \quad (4)$$

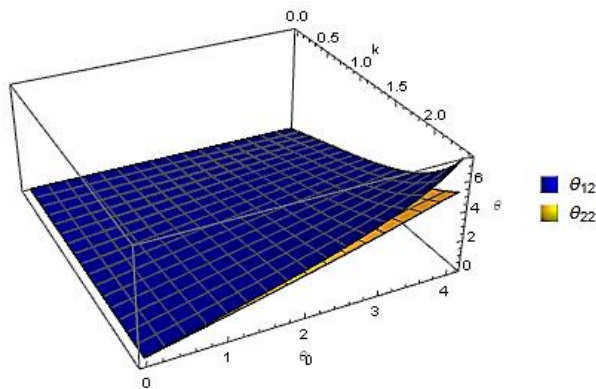
$$\theta_{i1} = \frac{\delta_i (-G_j w_{i1} - S_j w_{j1} + Z_j)}{H = 3 - i}; \quad i = 1, 2 \text{ \& } j \quad (5)$$

مقادیر H, T_i, S_i, G_i و Z_i در پیوست شماره ۱ آورده شده است.

اثبات: اثبات در پیوست شماره ۲ آورده شده است.

همان‌طور که پیشتر گفته شد، بین خرده‌فروش و تولیدکننده هر زنجیره، رقابت استکلبرگ وجود دارد، بنابراین روابط مربوط به قیمت خرده‌فروشی و درجه سبز کالا در تابع سود تولیدکنندگان جایگذاری می‌شود.

قضیه ۲: تحت فرض $k\theta_0 < \frac{H}{G_j \delta_i}$ بازی ایستا بین دو تولیدکننده دقیقاً یک تعادل نش دارد که از رابطه زیر به‌دست می‌آید.



شکل (۳): تأثیر k و θ_0 بر درجه سبز کالا در سناریوی دوم

افزایش در میزان قیمت‌ها و نیز کم بودن درجه سبز کالا باعث کم شدن تقاضا برای تولیدکننده و خرده‌فروش می‌شود که این امر کاهش سود اعضا را به دنبال دارد که این کاهش سود در جدول (۳) دیده می‌شود.

در سناریوی دوم شرایطی متفاوت نسبت به سناریوی اول وجود دارد. در این حالت، همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، با افزایش میزان دخالت دولت، خرده‌فروش به دلیل رهبر بودن در بازار و بهره‌مندی از شرایط موجود اقدام به افزایش درجه سبز کالا می‌کند. افزایش درجه سبز کالا موجب افزایش یارانه اعطا شده به تولیدکننده می‌شود که این مسئله و نیز دخالت نداشتن تولیدکننده در هزینه‌های مربوط به سرمایه‌گذاری سبز موجب کاهش قیمت عمده‌فروشی می‌شود. با کاهش قیمت عمده‌فروشی و افزایش تقاضا و همچنین با بیشتر شدن مقدار یارانه اعطا شده به تولیدکننده، تابع سود هر دو تولیدکننده همان‌طور که در جدول (۴) مشاهده می‌شود، روندی صعودی پیدا می‌کند. با کاهش قیمت عمده‌فروشی از یک سو و نیز افزایش درجه سبز کالا و به دنبال آن افزایش تقاضا برای کالا از سوی دیگر، خرده‌فروش اقدام به کاهش قیمت خرده‌فروشی می‌کند. در این حالت به دلیل بالا بودن درجه سبز کالا و در نتیجه تحمیل هزینه‌های زیادی جهت سبزی سازی کالا، تابع سود خرده‌فروش کاهش می‌یابد.

به‌طور کلی و به‌عنوان یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت در شرایطی که تولیدکننده رهبر بازار است، تأمین هزینه سرمایه‌گذاری سبز توسط خرده‌فروش می‌تواند اثرات نامطلوبی بر محیط زیست (به دلیل پایین بودن درجه سبز کالا)، مصرف‌کنندگان و اعضای زنجیره تأمین (به دلیل افزایش قیمت‌ها) بگذارد. اما در شرایطی که خرده‌فروش رهبر بازار است، پرداخت هزینه سبزی سازی از سوی خرده‌فروش به سود محیط، مصرف‌کننده و اعضای زنجیره خواهد بود.

جدول (۳): تأثیر k و θ_0 بر سود اعضای زنجیره در سناریوی اول

k	θ_0	π_{11}^M	π_{11}^R	π_{21}^M	π_{21}^R	$\pi_{11}^M + \pi_{11}^R$	$\pi_{21}^M + \pi_{21}^R$
۰.۸	۲.۱	۱۴۶۸	۷۰۷	۱۱۸۷	۵۷۱	۲۱۷۵	۱۷۵۸
۶.۱	۴.۲	۱۲۲۸	۶۰۰	۹۷۰	۴۷۴	۱۸۲۶	۱۴۴۴
۴.۲	۶.۳	۶۶۷	۳۴۴	۴۷۸	۲۴۰	۱۰۱۱	۷۱۸

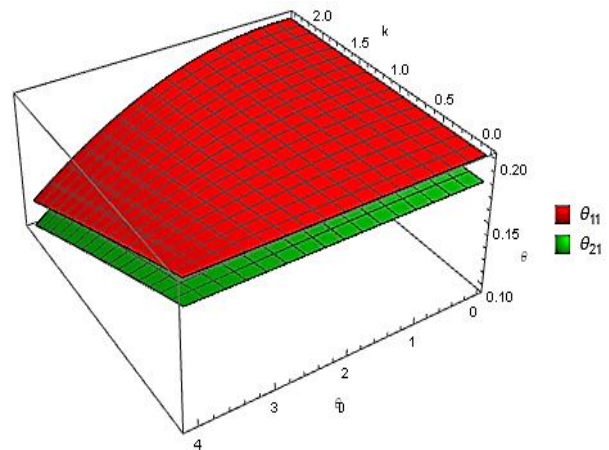
در این قسمت ابتدا تأثیر k و θ_0 به صورت هم‌زمان بر قیمت‌های عمده‌فروشی و خرده‌فروشی و درجه سبز کالا و سپس تأثیر ضریب هزینه سرمایه‌گذاری سبز و ضریب حساسیت به درجه سبز بررسی می‌شود. برای بررسی این پارامترها یک مثال عددی پایه در نظر گرفته شده است که مقادیر اولیه پارامترهای آن در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول (۲): مقادیر مربوط به مثال عددی پایه

$a_1 = 120$	$b_2 = 2$	$\mu_1 = 75$	$\delta_2 = 0.8$
$a_2 = 100$	$c_1 = 6$	$\mu_2 = 75$	$\gamma = 0.8$
$b_1 = 2$	$c_2 = 6$	$\delta_1 = 0.8$	$\lambda = 0.7$

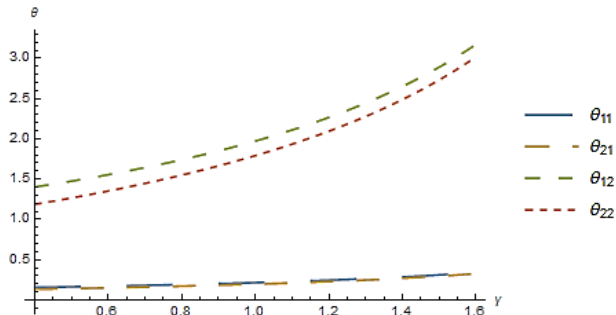
۴-۱. آنالیز میزان اثرگذاری دولت بر قیمت‌ها و درجه سبز

باتوجه به مقادیر در نظر گرفته شده برای مثال عددی پایه و در نظر گرفتن فرض موجود در قضیه (۲)، بازه به‌دست آمده برای ضریب تعدیل برابر با $0 \leq k \leq 2.4$ و محدوده مجاز برای حداقل درجه سبز تعیین شده توسط دولت برابر با $0 \leq \theta_0 \leq 4.1$ می‌باشد. افزایش میزان k و θ_0 به معنی بیشتر شدن دخالت دولت در امر تولید کالای سبز است. همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار k و θ_0 ، درجه سبز کالا در سناریوی اول تغییر محسوسی نخواهد داشت زیرا در این سناریو تولیدکننده رهبر بازار است و از طرفی یارانه و جریمه اعمال شده از طرف دولت، تأثیر مستقیمی بر خرده‌فروش نخواهد داشت و در نتیجه خرده‌فروش نیازی به افزایش درجه سبز کالا ندارد. در این حالت با افزایش θ_0 ، به دلیل پایین بودن درجه سبز کالا، تولیدکننده با جریمه‌ی دولتی مواجه خواهد شد که میزان این جریمه با افزایش مقدار k و θ_0 بیشتر خواهد شد. همچنین در این حالت به دلیل پایین بودن درجه سبز، نمی‌توان انتظار افزایش تقاضا برای کالا را داشت. در این شرایط تولیدکننده به‌منظور کم کردن اثر این جریمه‌های دولتی، ناچار به افزایش قیمت عمده‌فروشی خواهد بود که این افزایش در قیمت عمده‌فروشی، موجب به وجود آمدن یک روند صعودی در قیمت‌های خرده‌فروشی نیز خواهد شد که این افزایش قیمت در شکل‌های (۴) و (۵) دیده می‌شود.

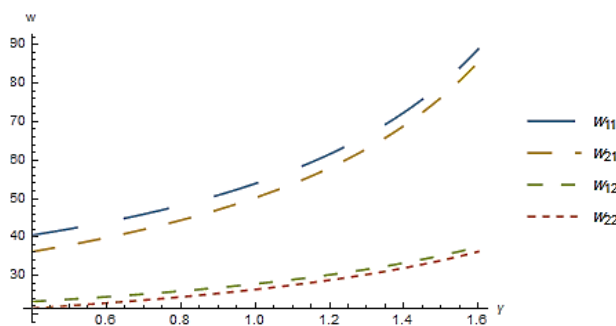


شکل (۲): تأثیر k و θ_0 بر درجه سبز کالا در سناریوی اول

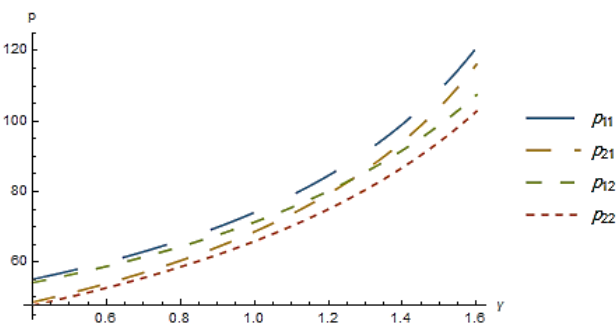
خرده‌فروش قیمت نهایی کالا را افزایش خواهد داد. در مجموع می‌توان گفت افزایش میزان رقابت موجب افزایش قیمت‌های عمده‌فروشی و خرده‌فروشی و درجه سبز کالا خواهد شد اما این شرایط در صورتی اثرات مطلوبی بر محیط و اجتماع خواهد داشت که رهبری بازار برعهده خرده‌فروش باشد.



شکل (۶): تأثیر γ بر درجه سبز کالا



شکل (۷): تأثیر γ بر قیمت عمده‌فروشی



شکل (۸): تأثیر γ بر قیمت خرده‌فروشی

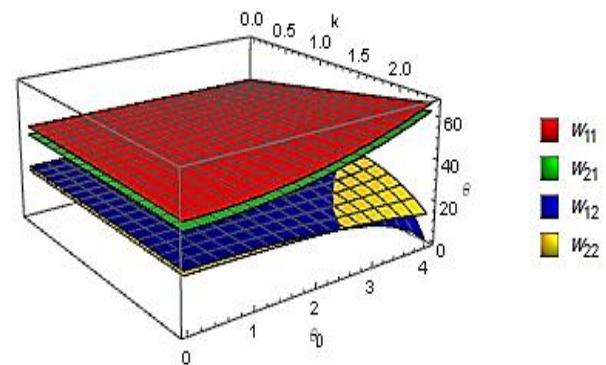
۵. جمع‌بندی و پیشنهاد پژوهش‌های آتی

در این پژوهش مدلی برای بررسی رقابت بین دو زنجیره تأمین سبز دو سطحی، در دو حالت مختلف و با در نظر گرفتن دخالت دولت ارائه شد. در این مدل فرض شد علاوه بر رقابت بین زنجیره‌ها، درون هر زنجیره نیز رقابتی به صورت تولیدکننده-استکلبرگ یا خرده‌فروش-استکلبرگ برقرار است.

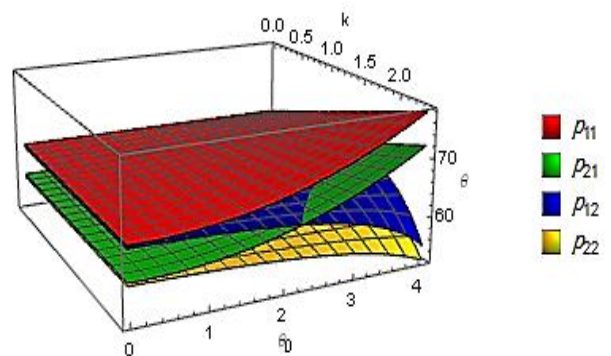
نتایج عددی نشان می‌دهد اعمال یارانه و جریمه از طرف دولت می‌تواند تأثیر زیادی بر درجه سبز و قیمت‌های عمده‌فروشی و

جدول (۴): تأثیر k و θ_0 بر سود اعضای زنجیره در سناریوی اول

k	θ_0	π_{12}^M	π_{12}^R	π_{22}^M	π_{22}^R	$\pi_{12}^M + \pi_{12}^R$	$\pi_{22}^M + \pi_{22}^R$
۰/۸	۱/۲	۷۳۹	۱۴۶۱	۵۹۷	۱۱۸۰	۲۲۰۰	۱۷۷۷
۱/۶	۲/۴	۷۳۸	۱۲۹۹	۵۷۷	۱۰۱۶	۲۰۲۷	۱۵۹۳
۲/۴	۳/۶	۱۱۱۹	۱۰۱۹	۷۱۴	۶۵۰	۲۱۳۸	۱۳۹۱



شکل (۴): تأثیر k و θ_0 بر قیمت عمده‌فروشی



شکل (۵): تأثیر k و θ_0 بر قیمت خرده‌فروشی

۴-۲. تأثیر γ بر متغیرهای تصمیم مسأله

در این قسمت با در نظر گرفتن $k = 1.5$ و $\theta_0 = 2$ ، تأثیر تغییرات γ در بازه $[0.4, 1.6]$ بر قیمت‌های خرده‌فروشی و عمده‌فروشی و بر درجه سبز کالا بررسی می‌شود. در واقع این پارامتر نشان‌دهنده میزان رقابت بین دو زنجیره می‌باشد. باتوجه به شکل (۶)، در سناریوی اول و با افزایش میزان رقابت، درجه سبز کالا اندکی افزایش می‌یابد اما این افزایش به اندازه‌ای نیست که درجه سبز کالا را به θ_0 رسانده و مانع از جریمه تولیدکنندگان توسط دولت شود. در این شرایط به منظور جبران جریمه دولتی، تولیدکننده اقدام به افزایش قیمت عمده‌فروشی می‌کند که این امر بر قیمت‌های خرده‌فروشی نیز اثرگذار خواهد بود. در شکل‌های (۷) و (۸)، میزان افزایش قیمت‌های عمده‌فروشی و خرده‌فروشی مشاهده می‌شود. پایین بودن درجه سبز کالا در این سناریو ناشی از ساختار بازی و تأمین هزینه سبزی توسط خرده‌فروش می‌باشد.

در سناریوی دوم، با افزایش مقدار γ ، درجه سبز کالا نیز به میزان چشم‌گیری افزایش می‌یابد. در این حالت، تولیدکنندگان به دلیل دریافت یارانه از سوی دولت، به منظور حفظ تقاضا تمایل چندانی برای افزایش قیمت عمده‌فروشی نخواهند داشت. با افزایش درجه سبز کالا و به دنبال آن افزایش تقاضا و همچنین به دلیل افزایش هزینه تولید کالای سبز،

- “Evolutionary game on government regulation and green supply chain decision-making,” *Energies*, vol. 13, no. 3, 2020, doi: 10.3390/en13030620.
- [5] R. N. Giri, S. K. Mondal, and M. Maiti, “Government intervention on a competing supply chain with two green manufacturers and a retailer,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 128, pp. 104–121, 2019, doi: 10.1016/j.cie.2018.12.030.
- [6] Traderjoes, “Sustainability,” 2020. <https://www.traderjoes.com/home/sustainability>.
- [7] Y. Huang, K. Wang, T. Zhang, and C. Pang, “Green supply chain coordination with greenhouse gases emissions management: A game-theoretic approach,” *J. Clean. Prod.*, vol. 112, pp. 2004–2014, 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.05.137.
- [8] Z. Basiri and J. Heydari, “A mathematical model for green supply chain coordination with substitutable products,” *J. Clean. Prod.*, vol. 145, pp. 232–249, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.01.060.
- [9] S. Chen, X. Wang, Y. Wu, and L. Ni, “Pricing policies in green supply chains with vertical and horizontal competition,” *Sustain.*, vol. 9, no. 12, p. 2359, 2017, doi: 10.3390/su9122359.
- [10] A. Hafezalkotob, “Competition, cooperation, and cooptation of green supply chains under regulations on energy saving levels,” *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 97, pp. 228–250, 2017, doi: 10.1016/j.tre.2016.11.004.
- [11] S. Panja and S. K. Mondal, “Exploring a two-layer green supply chain game theoretic model with credit linked demand and mark-up under revenue sharing contract,” *J. Clean. Prod.*, vol. 250, p. 119491, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119491.
- [12] J. B. Sheu, “Bargaining framework for competitive green supply chains under governmental financial intervention,” *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 47, no. 5, pp. 573–592, 2011, doi: 10.1016/j.tre.2010.12.006.
- [13] D. Ghosh and J. Shah, “Supply chain analysis under green sensitive consumer demand and cost sharing contract,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 164, pp. 319–329, 2015, doi: 10.1016/j.ijpe.2014.11.005.
- [14] Z. Hong and X. Guo, “Green product supply chain contracts considering environmental responsibilities,” *Omega (United Kingdom)*, vol. 83, pp. 155–166, 2019, doi: 10.1016/j.omega.2018.02.010.
- [15] B. Li, M. Zhu, Y. Jiang, and Z. Li, “Pricing policies of a competitive dual-channel green supply chain,” *J. Clean. Prod.*, vol. 112, pp. 2029–2042, 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.05.017.
- [16] W. Ma, Z. Cheng, and S. Xu, “A game theoretic approach for improving environmental and economic performance in a dual-channel green supply chain,” *Sustain.*, vol. 10, no. 6, p. 1918, 2018, doi: 10.3390/su10061918.
- خرده‌فروشی داشته باشد. در این پژوهش از آنجا که هزینه سبزسازی کالا برعهده خرده‌فروش است، ساختار رهبری زنجیره‌تأمین تأثیر به‌سزایی بر سیاست‌های اعمال شده از طرف اعضا خواهد داشت به‌گونه‌ای که این عامل نتایج حاصل از دخالت دولت را نیز تحت تأثیر قرار خواهد داد. تجزیه و تحلیل مدل نشان داد در شرایطی که تولیدکننده رهبر بازار است، خرده‌فروش سعی در پایین نگه داشتن درجه سبز کالا به‌منظور کاهش هزینه‌های خود دارد که این مسأله در مجموع اثرات خوبی بر بازار و جامعه نخواهد داشت. رهبر شدن خرده‌فروش در زنجیره این فرصت را به‌دست خواهد داد که به‌منظور بهره‌مندی از شرایط رهبری، توجه به مسائل زیست‌محیطی افزایش یابد که این امر نتایج مطلوبی بر مسائل اقتصادی نیز خواهد داشت.
- در نهایت، باتوجه به کاستی‌های موجود در این پژوهش، پیشنهادات زیر جهت تحقیقات آتی ارائه می‌شود:
- (۱) در نظر گرفتن رویکردهای متفاوت در رقابت بین زنجیره‌ها در این پژوهش فرض شده است هر دو زنجیره دارای قدرت برابر هستند. می‌توان رقابتی را در نظر گرفت که بین زنجیره‌ها رقابت استکلیبگ وجود داشته باشد.
- (۲) تقسیم یارانه و جریمه در این پژوهش جریمه و یارانه دولتی فقط به تولیدکننده تعلق می‌گیرد. با در نظر گرفتن قراردادی به‌منظور تقسیم هزینه سبزسازی کالا بین تولیدکننده و خرده‌فروش، می‌توان شرایطی را به وجود آورد که هر دو عضو در پرداخت جریمه و یا بهره‌مندی از یارانه شریک باشند. این حالت شاید بتواند منجر به عدالت بیشتر در کنش بین اعضا و نیز بهره‌مندی اقتصادی و زیست‌محیطی بهتر برای تولیدکننده و خرده‌فروش شود.
- (۱) در نظر گرفتن زنجیره‌های چندسطحی مدل‌سازی رقابت بین زنجیره‌ها در شرایطی که هر زنجیره دارای تأمین‌کننده/تأمین‌کنندگان می‌باشد. همچنین می‌توان در هر زنجیره، چندین خرده‌فروش را وارد بازی نمود.

مراجع

- [1] A. Diabat, D. Kannan, and K. Mathiyazhagan, “Analysis of enablers for implementation of sustainable supply chain management - A textile case,” *J. Clean. Prod.*, vol. 83, pp. 391–403, 2014, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.06.081.
- [2] S. K. Srivastava, “Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review,” *International Journal of Management Reviews*, vol. 9, no. 1, pp. 53–80, 2007, doi: 10.1111/j.1468-2370.2007.00202.x.
- [۳] ج. قهرمانی نهر، ق. ن. علی، ا. ب. ح. رضا، ت. م. رضا، (۱۳۹۷). طراحی یک شبکه زنجیره‌تأمین سبز چندهدفه چندمحصولی و چنددوره‌ای با در نظر گرفتن تخفیف در شرایط عدم قطعیت. نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید. (۱۳)۶. ۱۱۹–۱۳۷
doi: 10.22084/ier.2017.8877.1421.۱۳۷
- [4] J. Xu, J. Cao, Y. Wang, X. Shi, and J. Zeng,

- Clean. Prod.*, vol. 208, pp. 436–447, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.10.121.
- [25] A. Hafezalkotob, “Competition of two green and regular supply chains under environmental protection and revenue seeking policies of government,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 82, pp. 103–114, 2015, doi: 10.1016/j.cie.2015.01.016.
- [26] S. Swami and J. Shah, “Channel coordination in green supply chain management,” *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 64, no. 3, pp. 336–351, 2013, doi: 10.1057/jors.2012.44.
- [27] C. T. Zhang, H. X. Wang, and M. L. Ren, “Research on pricing and coordination strategy of green supply chain under hybrid production mode,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 72, no. 1, pp. 24–31, 2014, doi: 10.1016/j.cie.2014.03.012.
- [28] D. Yang, J. Wang, and D. Song, “Channel structure strategies of supply chains with varying green cost and governmental interventions,” *Sustain.*, vol. 12, no. 1, p. 113, 2020, doi: 10.3390/SU12010113.
- [29] J. Cao and X. Zhang, “Coordination strategy of Green Supply Chain under the free market mechanism,” in *Energy Procedia*, 2013, vol. 36, pp. 1130–1137, doi: 10.1016/j.egypro.2013.07.128.
- [30] L. Wang and Q. Song, “Pricing policies for dual-channel supply chain with green investment and sales effort under uncertain demand,” *Math. Comput. Simul.*, vol. 171, pp. 79–93, 2020, doi: 10.1016/j.matcom.2019.08.010.
- [31] X. Chen, Z. Luo, and X. Wang, “Impact of efficiency, investment, and competition on low carbon manufacturing,” *J. Clean. Prod.*, vol. 143, pp. 388–400, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.12.095.
- [32] R. D. Banker, I. Khosla, and K. K. Sinha, “Quality and competition,” *Manage. Sci.*, vol. 44, no. 9, pp. 1179–1192, 1998, doi: 10.1287/mnsc.44.9.1179.
- [17] S. R. Madani and M. Rasti-Barzoki, “Sustainable supply chain management with pricing, greening and governmental tariffs determining strategies: A game-theoretic approach,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 105, pp. 287–298, 2017, doi: 10.1016/j.cie.2017.01.017.
- [18] M. B. Jamali and M. Rasti-Barzoki, “A game theoretic approach for green and non-green product pricing in chain-to-chain competitive sustainable and regular dual-channel supply chains,” *J. Clean. Prod.*, vol. 170, pp. 1029–1043, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.09.181.
- [19] J. B. Sheu and Y. J. Chen, “Impact of government financial intervention on competition among green supply chains,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 138, no. 1, pp. 201–213, 2012, doi: 10.1016/j.ijpe.2012.03.024.
- [20] C. Jin and L. Mei, “Game analysis of multi-strategy between government and suppliers in green supply chain,” in *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2012, vol. 113 LNEE, pp. 185–191, doi: 10.1007/978-94-007-2169-2_22.
- [21] D. Yang and T. Xiao, “Pricing and green level decisions of a green supply chain with governmental interventions under fuzzy uncertainties,” *J. Clean. Prod.*, vol. 149, pp. 1174–1187, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.02.138.
- [22] B. Liu, T. Li, and S. B. Tsai, “Low carbon strategy analysis of competing supply chains with different power structures,” *Sustain.*, vol. 9, no. 5, pp. 1–21, 2017, doi: 10.3390/su9050835.
- [23] H. Sun, Y. Wan, L. Zhang, and Z. Zhou, “Evolutionary game of the green investment in a two-echelon supply chain under a government subsidy mechanism,” *J. Clean. Prod.*, vol. 235, pp. 1315–1326, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.06.329.
- [24] Y. Liu, B. ting Quan, Q. Xu, and J. Y. L. Forrest, “Corporate social responsibility and decision analysis in a supply chain through government subsidy,” *J.*

پیوست شماره ۱

$$\begin{aligned}
A_i &= a_j(\delta_i + kb_i\theta_0) + a_i(\lambda + k\gamma\theta_0) + (\gamma\delta_i - \lambda b_i)(c_i + k\theta_0^2) \\
B_i &= 3\gamma a_i + 4a_j b_i + \gamma b_i(c_i + k\theta_0^2) \\
F_i &= (\delta_i + kb_i\theta_0)(-\delta_j(\delta_i + kb_i\theta_0) + \lambda(\lambda + k\gamma\theta_0)) + \mu_i(-3\gamma\lambda + 4b_i\delta_j) \\
L_i &= (\delta_i + kb_i\theta_0)^2 - 4b_i\mu_i \\
M_i &= (\delta_i + kb_i\theta_0)(-b_j(\delta_i + kb_i\theta_0) + \gamma(\lambda + k\gamma\theta_0)) + \mu_i(-3\gamma^2 + 4b_i b_j) \\
H &= \lambda\delta_i(\lambda\delta_j - \gamma\mu_j) - \delta_i^2(\delta_j^2 - 2b_j\mu_j) + \mu_i(-\gamma\lambda\delta_j + 2b_i\delta_j^2 + (\gamma^2 - 4b_i b_j)\mu_j) \\
T_i &= \lambda\delta_j(\lambda\delta_i - \gamma\mu_i) - \delta_j^2(\delta_i^2 - 2b_i\mu_i) + b_j\mu_j(\delta_i^2 - 2b_i\mu_i) \\
S_i &= -\gamma\delta_i^2 + b_i(\lambda\delta_i + \gamma\mu_i) \\
Z_i &= a_i(\lambda\delta_i - \gamma\mu_i) + a_j(\delta_i^2 - 2b_i\mu_i) \\
G_i &= -\gamma\lambda\delta_i + b_j\delta_i^2 + (\gamma^2 - 2b_i b_j)\mu_i \\
V_i &= H - kG_i\delta_j\theta_0 \\
Y_i &= Ha_i + Z_i(-\lambda\delta_j + \gamma\mu_j) \\
X_i &= -H\delta_i^2 + 2kG_j\delta_i^3\theta_0 + Hb_i\mu_i + k\delta_i\theta_0(b_i(T_j - G_j\mu_i) + S_i(-\lambda\delta_j + \gamma\mu_j)) \\
U_i &= b_jT_i + G_i\delta_j^2 + S_j(-\lambda\delta_i + \gamma\mu_i)
\end{aligned}$$

پیوست شماره ۲

اثبات قضیه ۱:

برای بیشینه‌سازی توابع چندمتغیره از ماتریس هشین استفاده می‌شود که مبنای آن بر مشتقات جزئی این توابع است، استفاده می‌شود. اگر ماتریس هشین در نقاط مورد نظر (متغیرهای مسأله) یک ماتریس معین منفی باشد، تابع مربوطه در آن نقاط دارای یک نقطه بیشینه محلی است. برای معین منفی بودن ماتریس هشین در یک ماتریس 2×2 باید درایه اول ماتریس منفی و دترمینان آن مثبت باشد. حال در این قسمت پس از محاسبه مشتق مرتبه اول و دوم تابع سود نسبت به قیمت خرده‌فروشی و درجه سبز کالا، ماتریس هشین به صورت زیر تشکیل خواهد شد:

$$H(\pi_{i1}^R) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 \pi_{i1}^R}{\partial p_{i1}^2} & \frac{\partial^2 \pi_{i1}^R}{\partial p_{i1} \partial \theta_{i1}} \\ \frac{\partial^2 \pi_{i1}^R}{\partial \theta_{i1} \partial p_{i1}} & \frac{\partial^2 \pi_{i1}^R}{\partial \theta_{i1}^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2b_i & \delta_i \\ \delta_i & -\mu_i \end{bmatrix}; i = 1, 2; j = 3 - i$$

درایه اول ماتریس همواره منفی است و دترمینان نیز به‌ازای $\mu_i > \frac{\delta_i^2}{2b_i}$ مثبت است. لذا تابع سود خرده‌فروش نسبت به قیمت خرده‌فروشی و درجه سبز کالا مقعر است. حال با حل هم‌زمان دستگاه زیر، مقادیر بهینه قیمت خرده‌فروشی و درجه سبز کالا مطابق با روابط (۴) و (۵) به‌دست خواهد آمد:

$$\begin{cases} \frac{\partial \pi_{i1}^R}{\partial p_{i1}} = 0 \Rightarrow a_i - b_i p_{i1} + \gamma p_{j1} - b_i(p_{i1} - w_{i1}) + \delta_i \theta_{i1} - \lambda \theta_{j1} = 0 \\ \frac{\partial \pi_{i1}^R}{\partial \theta_{i1}} = 0 \Rightarrow (p_{i1} - w_{i1})\delta_i - \theta_{i1}\mu_i = 0 \end{cases}; i = 1, 2; j = 3 - i$$

اثبات قضیه ۲:

مشتق مرتبه اول و دوم تابع سود تولیدکننده نسبت به قیمت عمده‌فروشی به صورت زیر است:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \pi_{i1}^M}{\partial w_{i1}} &= 0; i = 1, 2; j = 3 - i \\
\frac{\partial^2 \pi_{i1}^M}{\partial w_{i1}^2} &= \frac{-2(H - kG_j\delta_i\theta_0)(b_i T_j + G_j\delta_i^2 + S_i(-\lambda\delta_j + \gamma\mu_j))}{H^2}
\end{aligned}$$

مخرج کسر همواره مثبت است، در نتیجه صورت کسر باید منفی باشد، یعنی:

$$(H - kG_j\delta_i\theta_0)(b_i T_j + G_j\delta_i^2 + S_i(-\lambda\delta_j + \gamma\mu_j)) > 0$$

که این اتفاق به‌ازای $k\theta_0 < \frac{H}{G_j\delta_i}$ رخ خواهد داد.

به این ترتیب تابع سود تولیدکننده نسبت به قیمت عمده‌فروشی مقعر است و قیمت تعادلی از برابر صفر قرار دادن مشتق اول و حل آن به‌دست می‌آید.

اثبات لم ۱:

با در نظر گرفتن رابطه $p_{i2} = w_{i2} + m_{i2}$ مشتق مرتبه اول و دوم تابع سود تولیدکننده نسبت به قیمت عمده‌فروشی به صورت زیر است:

$$\frac{\partial \pi_{i2}^M}{\partial w_{i2}} = a_i + \gamma p_{j2} - b_i(m_{i2} + w_{i2}) + \delta_i \theta_{i2} - b_i(-c_i + w_{i2} + k\theta_0(-\theta_0 + \theta_{i2})) - \lambda \theta_{j2}; \quad i = 1, 2; j = 3 - i$$

$$\frac{\partial^2 \pi_{i2}^M}{\partial w_{i2}^2} = -2b_i < 0$$

باتوجه به این که مشتق مرتبه دوم منفی است در نتیجه تابع سود نسبت به قیمت عمده‌فروشی مقعر است و مقدار آن با برابر صفر قرار دادن مشتق مرتبه اول و حل آن به دست خواهد آمد.

اثبات قضیه ۳:

در این حالت پس از محاسبه مشتق مرتبه اول و دوم تابع سود نسبت به قیمت خرده‌فروشی و درجه سبز کالا، ماتریس هشین به صورت زیر تشکیل خواهد شد:

$$H(\pi_{i2}^R) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 \pi_{i2}^R}{\partial p_{i2}^2} & \frac{\partial^2 \pi_{i2}^R}{\partial p_{i2} \partial \theta_{i2}} \\ \frac{\partial^2 \pi_{i2}^R}{\partial \theta_{i2} \partial p_{i2}} & \frac{\partial^2 \pi_{i2}^R}{\partial \theta_{i2}^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -4b_i & 3\delta_i - kb_i\theta_0 \\ 3\delta_i - kb_i\theta_0 & -\frac{2\delta_i(\delta_i - kb_i\theta_0)}{b_i} - \mu_i \end{bmatrix}; \quad i = 1, 2; j = 3 - i$$

درایه اول ماتریس همواره منفی است و دترمینان نیز به ازای $\mu_i > \frac{(\delta_i + kb_i\theta_0)^2}{4b_i}$ مثبت است. در نتیجه با برابر صفر قرار دادن مشتق اول تابع سود نسبت به p_{i2} و θ_{i2} و حل هم‌زمان دستگاه حاصل، می‌توان مقادیر بهینه قیمت خرده‌فروشی و درجه سبز کالا را به صورت روابط (۸) و (۹) به دست آورد.



DOI: 10.22084/IER.2021.24189.2023

Pricing and Determining Product Greenness Level in Competing Supply Chains Under Government Intervention

M. NowrouziFasih¹, A. Mahmoodi^{2*}

1. M.A. Student of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kurdistan University, Sanandaj, Iran
2. Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kurdistan University, Sanandaj, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received 01 May 2021

Accepted 21 August 2021

Keywords:

Green supply chain
Game theory
Pricing
Government intervention

ABSTRACT

This study examines the pricing and product greenness level determining policies in two competing supply chains. Each supply chain consists of one manufacturer and one retailer, in which the manufacturer produces a green product, and the retailer delivers it to the end consumer. The manufactured products in supply chains are substitutable. This problem is considered in two scenarios: either the manufacturer or the retailer leads the market. In both cases, the government, as a powerful party, can affect the market by establishing a subsidy/punishment system. This system sets a threshold for the product greenness level and punishes or supports the manufacturer accordingly. In this research, we present the manufacturer and retailer profit functions, taking advantage of wholesale and retail prices, the amount of subsidy and punishment, and demand functions. Next, we use a game-theoretic approach to provide the equilibrium wholesale and retail prices and the equilibrium greenness levels. Numerical results show that the retailer-Stackelberg structure provides better conditions for the supply chain members and the environment, and it is even more highlighted with the competition intensity between the members.

* Corresponding author. A. Mahmoodi
Tel.: 087-33664600; E-mail address: anwar.mahmoodi@uok.ac.ir