مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (زمستان ۱۳۹۸)
دوره‌ی ۱-۳۵، شماره‌ی ۲/۲، ص. ۲۹-۳۷

Original Article

یک رویکرد نظریه‌ی بازی برای قیمت‌گذاری و تعیین میزان مصرف انرژی محصولات در یک زنجیره‌ی تأمین با مشتریان حساس به مسائل زیست‌محیطی

ساجد زارع (کارشناسی ارشد)
مرتضی راستی برزکی * (دانشیار)
سید رضا حجازی (استاد)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان

با رشد سریع صنعت، روزبه‌روز به تعداد وسایل مصرف‌کننده‌ی انرژی در دنیا افزوده می‌شود. با این‌که این وسایل با ماشینی کردن زندگی انسان‌ها از یک سو اسباب راحتی آنها را فراهم کرده‌اند، مصرف بی‌رویه‌ی انرژی این محصولات آسیب‌های جدی به محیط زیست وارد کرده است که عواقب این آسیب‌ها سبب شده است عموم انسان‌ها نسبت به مسائل زیست‌محیطی حساسیت بیشتری نشان دهند؛ به همین دلیل در این مقاله یک زنجیره‌ی تأمین شامل دو تولیدکننده در نظر گرفته شده است که یکی از مشخصه‌های عملکردی برای محصولات این تولیدکنندگان مصرف انرژی است. هدف از انجام این مطالعه تحلیل رفتار این تولیدکنندگان در شرایط رقابت و پاسخ به این سؤال است که در شرایطی که مشتریان نسبت به هزینه‌ی انرژی و مسائل زیست‌محیطی حساسیت دارند، تولیدکنندگان چقدر باید برای بهبود مصرف انرژی هزینه کنند و قیمت محصول نهایی را چگونه تعیین کنند تا بیشترین سود ممکن را به دست آورند؟

sajed.zare@in.iut.ac.ir
rasti@cc.iut.ac.ir
rehejazi@cc.iut.ac.ir

واژگان کلیدی: زنجیره‌ی تأمین، مصرف انرژی، قیمت‌گذاری، نظریه‌ی بازی.

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر به دلیل پیشرفت فنّاوری و فراهم شدن ابزار تولید انبوه، بازار فروش انواع محصولات به شدت رقابتی شده است. علاوه بر آن به دلیل توسعه‌ی روش‌های حمل‌ونقل کالا، تولیدکنندگان یک محصول علاوه بر رقبای محلی باید با قوی‌ترین تولیدکنندگان بین‌المللی نیز رقابت کنند. به همین دلیل استفاده از ابزارهای علمی برای تصمیم‌گیری عقلانی به نظر می‌رسد.

در زنجیره‌ی تأمین یک محصول عوامل مختلفی مثل تأمین‌کننده، تولیدکننده، خرده فروش و ... حضور دارند. هر یک از این عوامل در شرایط رقابتی باید در مورد متغیرهای مختلفی مانند قیمت، فنّاوری تولید، کیفیت، سازگاری با محیط زیست، روش حمل‌ونقل و ... تصمیم‌گیری کنند که تصمیمات هر یک از این اعضا بر فروش و سود اعضای دیگر تأثیر می‌گذارد. برای بررسی علمی تصمیمات در این شرایط، نظریه‌ی بازی‌ها[1] یکی از مهم‌ترین ابزار است. نظریه‌ی بازی به بررسی رفتار تصمیم‌گیرندگانی می‌پردازد که تصمیم هر یک بر دیگری تأثیر می‌گذارد.[۱]

همان طور که گفته شد، یکی از تصمیمات مهمی که تولیدکنندگان در بازار رقابتی باید بگیرند، تصمیم درمورد میزان سازگاری محصولاتشان با محیط زیست است. یکی از مهم‌ترین ابعاد سازگاری با محیط زیست میزان مصرف انرژی و آلودگی‌های ناشی از آن است.[۲] امروزه بخش بزرگی از کالاهای مصرفی مختلفی که در زندگی روزمره‌ی انسان‌ها کاربرد دارند، محصولاتی هستند که استفاده از آنها نیازمند مصرف نوعی از انرژی است. برای مثال می‌توان به انواع محصولات الکترونیکی مانند یخچال، ماشین لباس‌شویی، مایکروویو و همچنین محصولاتی مثل خودرو، اجاق‌گاز و ... اشاره کرد. به طور واضح‌تر یک خودرو برای پیمودن مسافتی مشخص مقدار خاصی بنزین مصرف می‌کند؛ همچنین محصولات الکتریکی مثل ماشین لباس‌شویی برای انجام مدت زمان خاصی فعالیت، مقدار معینی انرژی الکتریکی مصرف می‌کنند.

با رشد سریع صنعت، روزبه‌روز به تعداد وسایل مصرف‌کننده‌ی انرژی در دنیا افزوده می‌شود. با این که این وسایل با ماشینی کردن زندگی انسان‌ها از یک‌سو اسباب راحتی آنها را فراهم کرده‌اند، طی سالیان گذشته مصرف بی‌رویه‌ی انرژی توسط این محصولات، آسیب‌های جدی به محیط زیست وارد کرده است. این آسیب‌ها باعث شده است که در چند دهه‌ی گذشته توجه به مسائل زیست‌محیطی افزایش چشمگیری داشته باشد.[۳] در حال حاضر این واقعیت که سوزاندن سوخت‌های فسیلی باعث آزاد شدن گازهای گلخانه‌یی و در نهایت باعث گرم شدن زمین می‌شود، به یک آگاهی عمومی تبدیل شده است. به همین دلیل امروزه مردم به جنبش‌های دوست‌دار محیط زیست پیوسته‌اند و خواستار این هستند که بدون تغییر شدید

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۷/۴/۳۰، اصلاحیه ۱۳۹۷/۱۰/۲۸، پذیرش ۱۳۹۷/۱۲/۱۲.
DOI:1024200/J65.2019.51220.1897

در سبک زندگی انسان‌ها تولید گازهای گلخانه‌یی به کمترین حد ممکن برسد و با سیاست‌های بهینه کردن مصرف انرژی یک اقتصاد پاک ایجاد شود.[۴]

توجه به این امر ضروری است که فقط سوخت‌های فسیلی نیستند که باعث ایجاد پیامدهای زیست‌محیطی می‌شوند؛ انرژی الکتریکی هم که در ظاهر آلودگی چندانی ندارد، سبب تخریب محیط زیست می‌شود. تولید انرژی الکتریکی توسط نیروگاه‌هایی که از سوخت فسیلی استفاده می‌کنند خود باعث آلودگی و انتشار گازهای گلخانه‌یی می‌شود؛ از طرفی تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر هم تأثیرات مخرب زیست‌محیطی به دنبال دارد. به طور مثال احداث سد برای تولید برق، باعث تغییر چرخه‌ی زیستی منطقه می‌شود، رودخانه‌ها را خشک می‌کند و زمین‌های کشاورزی را نابود می‌کند. علاوه بر آن استفاده از این منابع تجدیدپذیر باعث تخریب چشم‌اندازهای طبیعی می‌شود.

یکی از عوامل مؤثر در کاهش مصرف انرژی، بهبود کارایی مصرف انرژی در محصولات مصرف‌کننده است. افزایش کارایی انرژی در محصولاتی که از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند، به صورت مستقیم، باعث می‌شود انتشار گازهای گلخانه‌یی و آلودگی‌ها به میزان قابل‌توجهی کاهش یابد.[۵] بنابراین، یکی از مؤثرترین راه‌ها برای جلوگیری از آسیب‌های زیست‌محیطی ترغیب تولیدکنندگان به تولید محصولات کارا در مصرف انرژی است. اما به دلیل این که تولید محصولات کارا، هزینه‌بر است تولیدکنندگان به خودی خود به سمت تولید محصولات کارا نمی‌روند؛ بنابراین، تحقق این امر نیاز به دخالت عوامل خارجی دارد. از جمله موارد تأثیرگذار بر تصمیم تولیدکنندگان آگاهی زیست‌محیطی مشتریان و در نتیجه عدم تمایل آنها به خرید محصولات پرمصرف در انرژی است.

با توجه به اهمیت مصرف انرژی، در این مقاله زنجیره‌ی تأمین[۲] نوعی از محصولاتی که استفاده از آنها نیازمند مصرف نوعی از انرژی است، در نظر گرفته می‌شود و تصمیمات اعضای این زنجیره با ابزار نظریه‌ی بازی تحلیل می‌شود. یکی از تصمیمات مهمی که تولیدکنندگان در این زنجیره با آن مواجه هستند تعیین میزان مصرف انرژی محصولاتشان است. تولیدکنندگان می‌توانند با انتخاب فنّاوری محصول، بررسی عوامل مختلف و صرف هزینه در روش تولید، مصرف انرژی محصولات خود را کاهش دهند. واضح است که تولید محصولاتی با مصرف انرژی کمتر نسبت به تولید محصولات معمولی به هزینه‌ی بیشتری احتیاج داشته باشد[۶] ولی در عوض این بهبود در میزان مصرف انرژی باعث می‌شود هزینه‌ی استفاده از محصول برای مشتری نهایی کاهش یابد و نگرانی‌های او نسبت به مشکلات زیست‌محیطی نیز کاهش یابد که همین موضوع باعث افزایش تقاضای مشتریان می‌شود. سؤال مهم این است که تولیدکننده چه میزان باید بر روی افزایش بهینگی مصرف انرژی محصولش هزینه کند تا بتواند بیشترین سود را در بازار رقابتی جذب کند؟

سؤال دیگری که وجود دارد این است که با توجه به میزان مصرف انرژی و هزینه‌ی انجام شده برای کاهش آن، قیمت محصول چه میزان باید تعیین شود؟ تعیین قیمت از این جهت مهم است که به طور مستقیم با مشتری نهایی در ارتباط است و در میزان تقاضای بازار تأثیر زیادی دارد.

زنجیره‌ی تأمین در نظر گرفته شده در این مقاله شامل دو تولیدکننده است که هرکدام یک محصول مصرف‌کننده‌ی انرژی به مشتریان می‌فروشند. محصولات تولیدی این دو تولیدکننده جانشین یکدیگرند. مثلاً می‌توان دو تولیدکننده‌ی خودرو در نظر گرفت. این تولیدکنندگان در مورد میزان مصرف انرژی محصولات و قیمت فروش تصمیم می‌گیرند. با توجه به این که تصمیمات هر یک از تولیدکنندگان بر فروش و سود دیگری تأثیر می‌گذارد، این تصمیمات با ابزار نظریه‌ی بازی تحلیل می‌شود و بهترین تصمیم برای هریک از تولیدکنندگان تعیین می‌شود. پس از مشخص شدن بهترین تصمیم برای میزان مصرف انرژی، میزان هزینه‌ی بهبود مصرف انرژی که هر تولیدکننده برای کسب بیشترین سود باید بپردازد، مشخص می‌شود و به سؤالات مطرح شده در بالا پاسخ داده می‌شود.

۱.۱. پیشینه‌ی تحقیق

در بررسی پیشینه‌ی موضوع، چند جریان پژوهشی مرتبط با موضوع وجود دارد. از جمله این جریان‌ها می‌توان به قیمت‌گذاری، طراحی و تولید سبز و صرفه‌جویی در مصرف انرژی اشاره کرد که در ادامه مهم‌ترین پژوهش‌های مربوط به آنها توضیح داده می‌شود.

بررسی اثرات قیمت‌گذاری رقابتی در زنجیره‌ی تأمین، موضوع بسیاری از پژوهش‌های انجام شده در مبحث زنجیره‌ی تأمین است؛ در همین زمینه می‌توان به پژوهش‌های اقتصادی در مورد اثرات متقابل قیمت،[۷و۸] تحقیقاتی درباره‌ی اثر قیمت[۹و۱۰] و قیمت‌گذاری بهینه برای محصول[۱۱-۱۴] اشاره کرد. علاوه بر آن جریانی از پژوهش‌ها به بررسی هم‌زمان قیمت‌گذاری به همراه سایر عوامل دیگر می‌پردازند. مثلاً پژوهش‌های[۱۵-۱۷] بحث قیمت‌گذاری و اثر تبلیغات را در ساختارهای مختلف بررسی کرده‌اند.

در برخی از پژوهش‌ها از جمله[۱۸و۱۹] به بررسی دلایل، مشوق‌ها و قوانینی پرداخته می‌شود که باعث می‌شود صاحبان کسب و کار به سمت تولید محصولات سبز و کارا بروند. به عبارتی دو دلیل مهم برای انتخاب تولید محصول سازگار با محیط وجود دارد؛ یکی این که آگاهی مشتریان نسبت به حفظ محیط زیست باعث می‌شود پول بیشتری برای این محصولات بپردازند و دیگری این که دولت‌ها از تولیدکنندگان این‌گونه محصولات حمایت می‌کنند. ما و همکاران[۲۰] به بررسی اثر اعمال مالیات بر میزان انتشار گاز کربن پرداختند و به این نتیجه رسیدند که این مالیات می‌تواند تولیدکنندگان را به سمت تولید محصولاتی که گاز کربن کمتری منتشر می‌کنند، ترغیب کند. میاو و همکاران[۲۱] نیز در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که قوانین و سیاست‌های محدودکننده‌ی انتشار گاز کربن باعث می‌شود تولیدکنندگان به سمت تولید محصولات سازگار با محیط زیست هدایت شوند.

یکی از اولین پژوهش‌هایی که می‌توان به طور هم‌زمان بحث قیمت‌گذاری و طراحی ویژگی‌های محصول را در نظر گرفت، توسط مورثی[۲۲] انجام شد. در این پژوهش نقش ترجیحات مشتری با استفاده از یک بازی دومرحله‌یی[۳] که تولیدکننده در مرحله‌ی اول ویژگی محصولات خود را تعیین می‌کرد و در مرحله‌ی دوم قیمت‌گذاری می‌کرد، بررسی شد.

قش و شا[۲۳] یک زنجیره‌ی تأمین شامل یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش در نظر گرفتند. آنها در پژوهش خود یک شاخص سبز بودن برای محصولات تولیدکننده در نظر گرفتند و با استفاده از نظریه‌ی بازی تأثیر هزینه‌ی تولید سبز و حساسیت مشتریان به مسائل زیست‌محیطی را بر سطح سبز بودن محصولات بررسی کردند.

چیترا[۲۴] در پژوهش خود نشان داد که هرچه آگاهی مشتریان نسبت به مسائل زیست‌محیطی بیشتر شود حاضرند بابت یک محصول سازگارتر و کاراتر پول بیشتری پرداخت کنند.

فلچمان و همکاران[۲۵] بیان کردند که شناخته شدن یک تولیدکننده به عنوان تولیدکننده‌ی سبز تأثیر به سزایی در بازار محصولات وی دارد. بنابراین فارغ از هر نوع ابزاری تولیدکنندگان برای کسب سهم بازار بیشتر به سمت تولید سبز می‌روند.

اخیراً هوانگ و همکاران[۲۶] با در نظر گرفتن یک زنجیره‌ی تأمین از تولیدکننده و خرده‌فروش از ابزار نظریه‌ی بازی استفاده کرده‌اند تا با کمک آن بهترین خط تولید، تأمین‌کننده و قیمت را تعیین کنند تا علاوه برکسب سود کمینه، میزان انتشارگازهای گلخانه‌یی کمینه شود.

لی و همکاران[۲۷] یک کانال توزیع اینترنتی برای تولیدکننده در نظر گرفتند و سیاست‌های سبزسازی و قیمت‌گذاری را در یک زنجیره‌ی تأمین با کانال توزیع دوگانه بررسی کردند. لیو و همکاران[۲۸] آگاهی زیست‌محیطی مشتریان را در مدل خود در نظر گرفتند. در پژوهش آنها رقابت بین محصولات جایگزینی بود که توسط تولیدکنندگان مختلف طراحی و قیمت‌گذاری می‌شد. ژانگ و همکاران[۲۹] علاوه بر در نظر گرفتن آگاهی زیست‌محیطی مشتریان، در مورد مسئله‌ی هماهنگی کانال توزیع[۴] با دو محصول جایگزین بحث کردند.

نی و همکاران[۳۰] بحث کارایی انرژی را در یک ساختار انحصار دوگانه بررسی کردند. هدف آنها بررسی ساختاری بود که در آن مصرف انرژی در طول تولید یک محصول کمینه شود.

در ادامه به بررسی پژوهش‌هایی پرداخته می‌شود که به طور دقیق‌تر به موضوع صرفه‌جویی انرژی پرداخته‌اند.

کوهن و همکاران[۳۱] ساختاری را بررسی کردند که در آن تولیدکنندگان ویژگی و قیمت محصولشان را با توجه به یارانه‌ی پیشنهاد شده توسط دولت تعیین می‌کنند. در این پژوهش هدف دست‌یابی به سبزترین محصولات با کمترین یارانه است.

کراس و همکاران[۳۲] یک بازی استکلبرگ بین دو بازیکن اصلی شامل یک شرکت که به دنبال بیشینه کردن سود خود است به عنوان پیرو و یک سیاست‌گذار با هدف بیشینه کردن رفاه اجتماعی و کمینه کردن اثرات زیست‌محیطی به عنوان رهبر در نظر گرفتند.

ژو و همکاران[۳۳] در مقاله‌ی خود میزان مصرف انرژی محصولات را به عنوان شاخصی از سبز بودن در نظر گرفتند. در این پژوهش، دولت یک سطح آستانه‌ی مصرف انرژی تعیین می‌کند و به محصولاتی که مصرف انرژی آنها از این آستانه کمتر باشد گواهی سبز بودن اعطا می‌کند؛ علاوه بر آن به مشتریان این محصولات یارانه پرداخت می‌کند.

ژی[۳۴] در پژوهش خود معیار سطح صرفه‌جویی انرژی را تعریف کرد و مانند بحث کیفیت آن را مدل کرد. در این پژوهش تصمیم‌گیرنده به دنبال بیشینه کردن رفاه اجتماعی است و این کار را با تعیین یک حد آستانه برای سطح صرفه‌جویی انرژی تعیین می‌کند؛ به گونه‌یی که محصولاتی که سطح صرفه‌جویی آنها از حد خاصی کمتر باشد، اجازه‌ی ورود به بازار را پیدا نمی‌کنند.

درکارهای مشابه قبلی که به بررسی مصرف انرژی محصولات نهایی پرداخته‌اند، عامل بازدارنده، یک حد آستانه‌ی مصرف انرژی برای دادن گواهی سبز یا جلوگیری از ورود محصولات پرمصرف به بازاراست. این حد آستانه سبب می‌شود که تولیدکنندگان محصولاتی که کارایی کمی دارند، مصرف انرژی محصولات خود را فقط تا رسیدن به حد آستانه بهبود بخشند و تلاش بیشتری برای بهبود محصول خود نکنند. از طرفی تولیدکنندگانی که محصولاتشان این حد را رعایت می‌کند تمایلی به بهبود محصول خود ندارند و حتی ممکن است به دلیل هزینه‌بر بودن تولید محصول با کارایی بالا، کارایی محصولات خود را تا رسیدن به حد آستانه کاهش دهند. بنابراین برای جلوگیری از به وجود آمدن این مشکل، در این مقاله میزان مصرف انرژی به جای سطح صرفه‌جویی انرژی مدل می‌شود و با در نظرگرفتن یک رابطه‌ی پیوسته بین میزان مصرف انرژی محصول با تقاضای مشتریان، تصمیم تولیدکنندگان تحلیل می‌شود.

۲. تعریف مسئله

دو شرکت تولیدکننده را در نظر بگیرید که در یک بازار رقابتی با انحصار دوگانه، هرکدام یک محصول تولید می‌کنند. این محصولات جانشین[۵] یکدیگر هستند که برای انجام یک فعالیت مشخص میزان معینی انرژی مصرف می‌کنند. مثلاً می‌توان دو تولیدکننده‌ی خودرو را در نظرگرفت. ساختار رقابت این دو تولیدکننده در شکل ۱ نشان داده شده است.

هریک از تولیدکنندگان محصول خود را با قیمت P_i به دست مشتری می‌رسانند. هرکدام از این محصولات برای انجام کار مشخصی k_i واحد انرژی مصرف می‌کنند. مثلاً هر خودرو برای پیمودن مسافت مشخص ۱۰۰ کیلومتر میزان متفاوتی سوخت مصرف می‌کند. در این ساختار تولیدکنندگان می‌توانند درمورد قیمت و میزان مصرف انرژی محصولات خود (p_i و k_i) تصمیم‌گیری کنند. بنابراین هدف ارائه‌ی مدلی است که بتواند تصمیمات این دو تولیدکننده را مدل کند و بهترین تصمیم ممکن برای آنها برای کسب بیشترین سود را مشخص کند.

۱.۲. فهرست علائم

متغیرهای تصمیم

p_i: قیمت محصول iام؛

k_i: میزان مصرف انرژی بهینه شده در یک استفاده‌ی مشخص از محصول.

متغیرهای کمکی

D_i: میزان تقاضای بازار برای محصول iام؛

π_i: تابع سود تولیدکننده‌ی i.

پارامترهای مسئله

α_i: تقاضای پایه برای محصول i؛

β_1: حساسیت تقاضای محصول به قیمت خودش؛

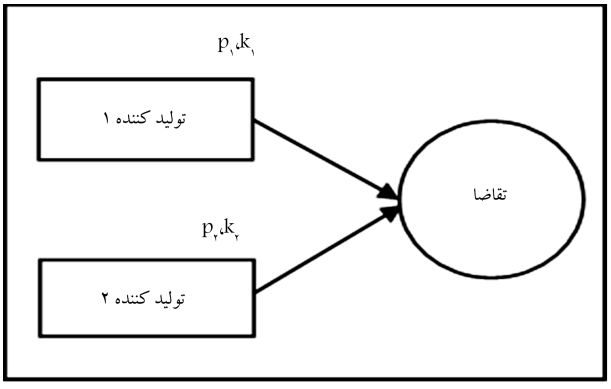
β_2: حساسیت تقاضای محصول به قیمت محصول رقیب؛

γ_1: تعداد مشتریانی که با افزایش یک واحد هزینه‌ی مصرف انرژی از خرید منصرف می‌شوند؛

γ_2: تعداد مشتریانی که با افزایش یک واحد اختلاف هزینه‌ی مصرف انرژی بین دو محصول جانشین از محصول پرمصرف به محصول با مصرف کمتر روی می‌آورند؛

γ_3: تعداد مشتریانی‌که با افزایش یک واحد مصرف انرژی به دلیل نگرانی زیست‌محیطی از خرید منصرف می‌شوند؛

γ_4: تعداد مشتریانی که با افزایش یک واحد اختلاف میزان مصرف انرژی بین دو



شکل ۱. ساختار رقابت.

محصول جانشین از محصول پرمصرف به محصول با مصرف کمتر روی می‌آورند؛
k_{0i}: میزان مصرف انرژی در حالت معمولی در یک استفاده‌ی مشخص از محصول؛
v_i: هزینه‌ی متغیر تولید هر واحد از محصول iام؛
c_i: هزینه‌ی بهبود میزان مصرف انرژی محصول iام.

۲.۲. فرضیات مسئله

در این بخش فرضیات کلی که در نظرگرفته شده‌اند، آورده شده است.

۱. در این مسئله مشتری با توجه به قیمت انرژی، نسبت به هزینه‌ی مصرف انرژی حساس است و این متغیر بر روی تقاضای وی تأثیر می‌گذارد.
در بازار خودرو مشتریان در زمان خرید، با توجه به میزان مصرف سوخت خودرو و قیمت هر لیتر سوخت، هزینه‌ی استفاده از آن را در نظر می‌گیرند و سعی می‌کنند خودرویی را انتخاب کنند که هزینه‌ی استفاده‌ی کمتری داشته باشد.

۲. مشتری به دلیل نگرانی‌های زیست‌محیطی که دارد، تمایل دارد مصرف انرژی محصولی که خریداری می‌کند، کمترین حد ممکن باشد.
افرادی که می‌خواهند خودرو خریداری کنند سعی می‌کنند محصولی را انتخاب کنند که مصرف سوخت کمتری داشته باشد؛ زیرا می‌دانند محصولاتی که سوخت بیشتری می‌سوزانند باعث آلودگی بیشتر هوا می‌شوند.

۳. در این مقاله فرض اصلی این است که مشتریان ممکن است به دلیل حساسیتشان به مسائل زیست‌محیطی یا حساسیت به هزینه‌ی انرژی از خرید محصول صرف نظر کنند و تولیدکنندگان برای مقابله با این موضوع دو راه دارند؛ یکی این‌که میزان مصرف انرژی محصولشان را کاهش دهند و دیگری این که قیمت محصول را کمتر کنند تا جذابیت محصول را افزایش دهند.

۴. یکی از مهم‌ترین فرضیات این مسئله این است که تولیدکننده با صرف هزینه‌ی بیشتر می‌تواند کنترل بهتری بر روی فرایند تولید داشته باشد، طراحی بهتری انجام دهد و فنّاوری تولید مناسب‌تری انتخاب کند تا در نتیجه کارایی مصرف انرژی محصول خود را افزایش دهد.

۵. فرض می‌شود که هرچه میزان مصرف انرژی بهتر شود، بهبود بیشتر آن سخت‌تر می‌شود.

۶. تابع تقاضا با قیمت، هزینه‌ی مصرف انرژی و حساسیت مشتریان رابطه‌ی خطی دارد.

۷. هزینه‌ی بهبود کارایی به تقاضای محصولات و میزان تولید بستگی ندارد.

در ادامه با استفاده از ابزار نظریه‌ی بازی مسئله ابتدا مدل می‌شود و سپس تصمیمات بهینه هر یک از تولیدکنندگان برای قیمت و میزان بهینگی مصرف انرژی تعیین می‌شود.

۳. مدل‌سازی

با توجه به مسئله‌ی تعریف شده در بخش ۲، تابع تقاضای محصول تولیدکننده‌ی اول طبق رابطه‌ی ۱ است.

$$D_1 = \alpha_1 - \beta_1 p_1 + \beta_2 p_2 - \gamma_1 k_1 p_3 + \gamma_2 (k_2 - k_1) p_3 \\ -\gamma_2 k_1 + \gamma_2 (k_2 - k_1) \qquad (1)$$

در رابطه‌ی ۱ قسمت اول نشان‌دهنده قابلیت بازار برای محصول مورد نظر است. قسمت دوم و سوم بیان‌گر این هستند که هرچه قیمت محصول بیشتر باشد، تقاضای آن کاهش می‌یابد؛ ولی هرچه قیمت کالای جانشین آن بیشتر باشد، تقاضای محصول مورد نظر افزایش می‌یابد.

p_3 قیمت واحد انرژی است؛ بنابراین، $k_1 p_3$ میزان هزینه‌یی است که مشتری برای انجام یک کار مشخص توسط محصول، باید پرداخت کند. هرچه این هزینه بیشتر باشد تمایل مشتریان برای خرید کمتر می‌شود در نتیجه بخشی از مشتریان طبق قسمت چهارم رابطه به طورکلی از خرید منصرف می‌شوند همچنین درصورتی که محصول جانشین مصرف انرژی کمتری داشته باشد بخشی از آنها، همان طور که در قسمت پنجم نشان داده شده است، به سمت محصول جانشین سوق پیدا می‌کنند.

قسمت‌های ششم و هفتم رابطه‌ی ۱ بیان‌گر میزان حساسیت مشتریان به آلودگی و مشکلات زیست‌محیطی ایجاد شده توسط انرژی مصرف شده است. با افزایش حساسیت مشتریان بخشی از آنها طبق قسمت ششم به طورکلی از خرید منصرف می‌شوند؛ همچنین بخشی از مشتریان طبق قسمت هفتم به سمت خرید محصول جانشینی که مصرف انرژی کمتری دارد، تمایل پیدا می‌کنند.

به همین ترتیب تابع تقاضای محصول تولیدکننده‌ی دوم نیز به صورت رابطه‌ی ۲ به دست می‌آید.

$$D_2 = \alpha_1 - \beta_1 p_2 + \beta_2 p_1 - \gamma_1 k_2 p_3 + \gamma_2 (k_1 - k_2) p_3 \\ -\gamma_2 k_2 + \gamma_2 (k_1 - k_2) \qquad (2)$$

در مرحله‌ی بعدی مدل‌سازی باید تابع سود هرکدام از تولیدکنندگان مشخص شود. سود هر تولیدکننده برابر است با اختلاف میزان درآمد با هزینه‌های تولید. در این‌جا درآمد از میزان فروش که حاصل‌ضرب قیمت نهایی در تقاضاست، به دست می‌آید. کل هزینه‌های تولید محصول تولیدکننده‌ی اول به صورت رابطه‌ی ۳ محاسبه می‌شود.

$$C_1 = v_1 D_1 + c_1 (k_{01} - k_1)^2 \qquad (3)$$

قسمت اول رابطه‌ی ۳ نشان‌دهنده‌ی هزینه‌های متغیر تولید است. قسمت دوم بیان می‌کند که اگر تولیدکننده بخواهد میزان مصرف انرژی محصول خود را از میزان مصرف k_{01} که در حالت تولید معمولی است به میزان مصرف k_1 برساند، باید $c_1 (k_{01} - k_1)^2$ واحد هزینه کند که رفتار این هزینه باید محدب باشد[۳۴] زیرا هرچه مصرف انرژی بهبود یابد، بهبود مجدد نیازمند هزینه‌ی بیشتری نسبت به قبل است.

به همین ترتیب هزینه‌های تولید محصول تولیدکننده‌ی دوم نیز محاسبه می‌شود و درنهایت تابع سود هریک از تولیدکنندگان به صورت روابط ۴ و ۵ به دست می‌آید.

$$\pi_1 = D_1 (p_1 - v_1) - c_1 (k_{01} - k_1)^2 \qquad (4)$$

$$\pi_2 = D_2 (p_2 - v_2) - c_2 (k_{02} - k_2)^2 \qquad (5)$$

با توجه به محصولات و توابع تقاضا، روابط بین پارامترهای مسئله را مطابق جدول ۱ می‌توان در نظر گرفت.

۴. حل مدل

حال با مشخص شدن توابع تقاضا، روابط بین پارامترها و توابع سود می‌توان تعادل نش مسئله را به دست آورد. برای محاسبه‌ی تعادل نش فرض می‌شود تمام بازیکنان

جدول ۱. روابط بین پارامترهای مسئله.

رابطه	توضیح
$\beta_i, \gamma_i > 0$ $D_i, \alpha_i > 0$	تابع تقاضا و پارامترهای آن باید همواره مثبت باشد.
$\beta_1 > \beta_2$	تأثیر افزایش قیمت یک کالا بر روی تقاضایش بیشتر از تأثیر افزایش قیمت محصول جانشینش است.
$k_{01} \geq k_1$ $k_{02} \geq k_2$	میزان مصرف انرژی در حالت بهینه باید کمتر از حالت عادی باشد.

(در این‌جا تولیدکنندگان) با آگاهی کامل و به صورت هم‌زمان و مستقل تصمیم‌گیری می‌کنند.

قضیه ۱: برای حل مدل، ابتدا از تابع سود تولیدکنندگان (روابط ۴ و ۵) نسبت به متغیر تصمیم هر تولیدکننده مشتق گرفته می‌شود. سپس یک دستگاه چهار معادله و چهار مجهولی به دست می‌آید که با حل دستگاه، تعادل نش به صورت روابط ۶ تا ۹ برای متغیرهای تصمیم بازیکنان به دست می‌آید.

اثبات ۱: هرکدام از تولیدکنندگان دو متغیر تصمیم دارند. برای این‌که نقاط به دست آمده برای هر تولیدکننده بهینه باشد، باید تابع سود تولیدکننده نسبت به هریک از متغیرهای تصمیم مقعر باشد

$$p_1 = \{\alpha_1\left(8c_1c_2\beta_1 - 2c_1\lambda_1^2\right) + 2c_1[-2c_2\left(2k_{01}\beta_1 + k_{02}\beta_2\right)\lambda_1 + k_{01}\lambda_1^3 + 2c_2\left(2k_{02}\beta_1 + k_{01}\beta_2\right)\lambda_2 - k_{01}\lambda_1\lambda_2^2 + \alpha_2\left(2c_2\beta_2 - \lambda_1\lambda_2\right) + v_2\left(\beta_2\left(2c_2\beta_1 - \lambda_1^2\right) + \beta_1\lambda_1\lambda_2\right)] + v_1\left(8c_1c_2\beta_1^2 - 2\left(c_1 + 2c_2\right)\beta_1\lambda_1^2 + \lambda_1\left(\lambda_1^2 + 2c_2\beta_2\lambda_2 - \lambda_1\lambda_2^2\right)\right)\}/g \quad (6)$$

$$p_2 = \{\alpha_2\left(8c_1c_2\beta_1 - 2c_2\lambda_1^2\right) + 2c_2[-2c_1\left(2k_{02}\beta_1 + k_{01}\beta_2\right)\lambda_1 + k_{02}\lambda_1^3 + 2c_1\left(2k_{01}\beta_1 + k_{02}\beta_2\right)\lambda_2 - k_{02}\lambda_1\lambda_2^2 + \alpha_1\left(2c_1\beta_2 - \lambda_1\lambda_2\right) + v_1\left(\beta_2\left(2c_1\beta_1 - \lambda_1^2\right) + \beta_1\lambda_1\lambda_2\right)] + v_2\left(8c_1c_2\beta_1^2 - 2\left(2c_1 + c_2\right)\beta_1\lambda_1^2 + \lambda_1\left(\lambda_1^2 + 2c_1\beta_2\lambda_2 - \lambda_1\lambda_2^2\right)\right)\}/g \quad (7)$$

$$k_1 = \{-2c_2\beta_2^2\left(2c_1k_{01} + v_1\lambda_1\right) + 4c_2\beta_1^2\left(4c_1k_{01} + v_1\lambda_1\right) + \lambda_1^2\left(\alpha_1\lambda_1 + \alpha_2\lambda_2\right) - \beta_1\lambda_1[4c_2\alpha_1 + 2c_2v_2\beta_2 + 4c_1k_{01}\lambda_1 + v_1\lambda_1^2 + \left(4c_2k_{02} + v_2\lambda_1\right)\lambda_2] + \beta_2\lambda_1\left(-2c_2\alpha_2 + 2c_1k_{01}\lambda_2 + \lambda_1\left(2c_2k_{02} + v_2\lambda_1 + v_1\lambda_2\right)\right)\}/g \quad (8)$$

$$k_2 = \{-2c_1\beta_2^2\left(2c_2k_{02} + v_2\lambda_1\right) + 4c_1\beta_1^2\left(4c_2k_{02} + v_2\lambda_1\right) + \lambda_1^2\left(\alpha_2\lambda_1 + \alpha_1\lambda_2\right) - \beta_1\lambda_1[4c_1\alpha_2 + 2c_1v_1\beta_2 + 4c_2k_{02}\lambda_1 + v_2\lambda_1^2 + \left(4c_1k_{01} + v_1\lambda_1\right)\lambda_2] + \beta_2\lambda_1\left(-2c_1\alpha_1 + 2c_2k_{02}\lambda_2 + \lambda_1\left(2c_1k_{01} + v_1\lambda_1 + v_2\lambda_2\right)\right)\}/g \quad (9)$$

که در آن:

$$\lambda_1 = p_3\left(\gamma_1 + \gamma_2\right) + \gamma_3 + \gamma_4$$

$$\lambda_2 = \left(p_3\gamma_2 + \gamma_4\right)$$

$$g = 16c_1c_2\beta_1^2 - 4\left(c_1 + c_2\right)\beta_1\lambda_1^2 + \lambda_1^4 - \left(2c_1\beta_2 - \lambda_1\lambda_2\right)\left(2c_2\beta_2 - \lambda_1\lambda_2\right)$$

برای اثبات مقعر بودن باید ماتریس هسین تابع سود تولیدکننده نسبت به متغیرهای تصمیمش منفی معین باشد. ماتریس هسین تابع سود تولیدکننده اول نسبت به k_1 و p_1 طبق رابطه‌ی ۱۰ است.

$$\begin{pmatrix} -2\beta_1 & -\lambda_1 \\ -\lambda_1 & -2c_1 \end{pmatrix} \quad (10)$$

با توجه به روابط جدول ۱ و منفی بودن عبارت $-2\beta_1$ در صورتی که دترمینان ماتریس رابطه‌ی ۱۰ مثبت باشد، ماتریس هسین منفی معین است. بنابراین در صورتی که رابطه‌ی ۱۱ برقرار باشد، ماتریس هسین منفی معین است.

$$c_1 > \frac{\lambda_1^2}{4\beta_1} \quad (11)$$

به طور مشابه برای منفی‌معین بودن ماتریس هسین مربوط به تولیدکننده‌ی دوم شرط به دست می‌آید.

$$c_2 > \frac{\lambda_1^2}{4\beta_1} \quad (12)$$

با توجه به این که مقدار پارامتر هزینه‌ی بهبود مصرف انرژی (c_1) بسیار بزرگ‌تر از مقدار پارامتر λ_1 است، شرایط ۱۱ و ۱۲ در اکثر موارد برقرار است و نیاز به بررسی شرایط مرزی نیست؛ بنابراین روابط ۶ تا ۹ تعادل نش مسئله هستند. در صورت برقرار نبودن این شرایط باید شرایط مرزی بررسی شود. اما در این مقاله فرض می‌شود c_1 به اندازه‌ی کافی بزرگ هست تا این شرایط برقرار باشد.

۵. مثال عددی

در این بخش برای فهم بهتر مسئله، یک مثال عددی ارائه می‌شود. برای یک زنجیره‌ی تأمین خودرو اطلاعات تولیدکنندگان مطابق جدول ۲ و پارامترهای مثال طبق جدول ۳ است.

جدول ۲. اطلاعات تولیدکنندگان.

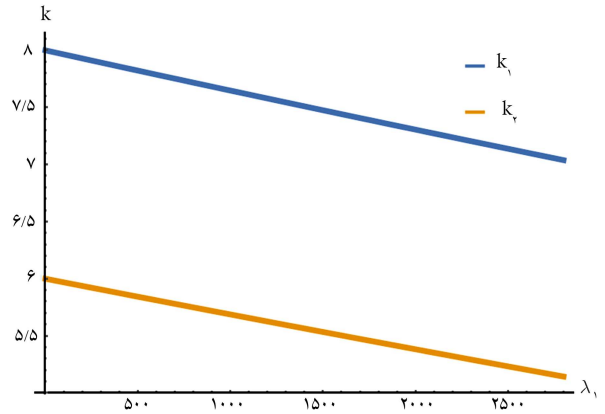
	تولیدکننده‌ی اول	تولیدکننده‌ی دوم
هزینه‌ی متغیر تولید (هزار واحد پولی)	۱۱۰۰۰	۱۱۰۰۰
تقاضای پایه (سالیانه)	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰
میزان مصرف انرژی در حالت معمولی	۸	۶
هزینه‌ی بهبود کارایی مصرف انرژی (هزار واحد پولی)	۷۰۰۰۰۰۰	۸۰۰۰۰۰۰

جدول ۳. پارامترهای مثال.

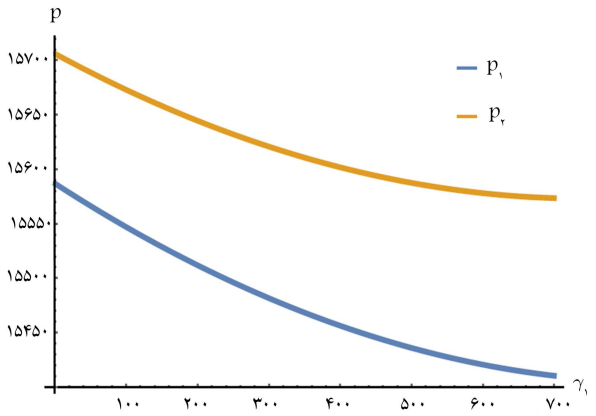
پارامتر	β_1	β_2	γ_1	γ_2	γ_3	γ_4	p_3
مقدار	۸۰	۴۰	۱۰۰	۶۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۱۰ هزار واحد پولی

جدول ۴. نقاط تعادلی و سود تولیدکنندگان.

متغیرهای تصمیم				سود	
p_1	p_2	k_1	k_2	π_1	π_2
۱۵۵۴۷	۱۵۶۷۳	۵/۴۰۱	۳/۶۶۳	$۱/۶۰۷ \times ۱۰^۹$	$۱/۷۰۳ \times ۱۰^۹$



شکل ۲. نمودار تغییرات میزان مصرف انرژی محصولات نسبت به پارامتر λ_1.



شکل ۳. تغییرات قیمت محصولات نسبت به پارامتر γ_1.

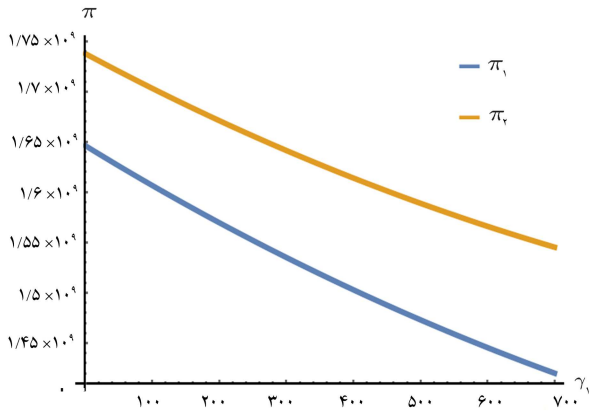
با توجه به اطلاعات مسئله مثال، نقاط تعادلی و سود تولیدکنندگان به صورت جدول ۴ به دست می‌آید. این جدول تصمیمات بهینه‌ی تولیدکنندگان را نشان می‌دهد.

نقاط تعادلی به دست آمده از حل مثال نشان می‌دهد تولیدکننده‌ی دوم با این‌که قیمت فروش بالاتری را تعیین کرده است، به دلیل این‌که میزان مصرف انرژی محصولش برای انجام یک کار مشخص کمتر از محصول رقیب است، توانسته تقاضای بیشتری جذب کند و در نتیجه سود بیشتری کسب کند.

۶. تحلیل حساسیت

نتیجه ۱: اگر نمودار تغییرات میزان مصرف انرژی محصولات نسبت به پارامتر $\lambda_1 = p_3(\gamma_1+\gamma_2)+\gamma_3+\gamma_4$ رسم شود شکل ۲ مشاهده می‌شود که این تغییرات نزولی است. این بدین معنی است که با افزایش هریک از پارامترهای p_3 و λ_1 تا λ_4 تولیدکنندگان سعی می‌کنند با صرف هزینه‌ی بیشتر میزان مصرف انرژی محصولاتشان را کاهش دهند. در نتیجه هرچه با افزایش آگاهی عموم مشتریان حساسیت آنها نسبت به مسائل زیست‌محیطی افزایش یابد، تولیدکنندگان برای جلب رضایت آن‌ها باید کارایی مصرف انرژی محصولاتشان را افزایش بدهند. علاوه بر آن قیمت انرژی نیز همین تأثیر را دارد و نشان می‌دهد برای این‌که تولیدکنندگان محصولات خود را بهبود دهند، می‌توان سازوکاری برای افزایش قیمت انرژی ایجاد کرد.

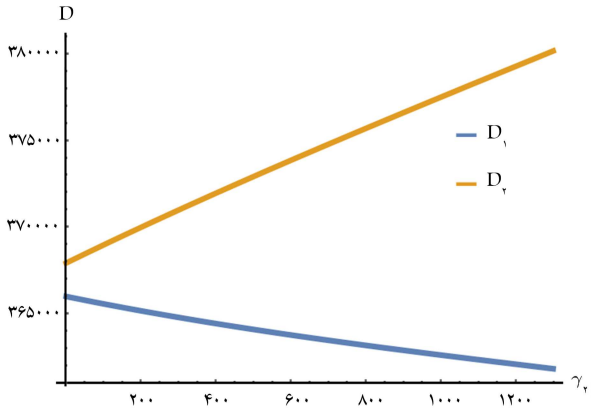
نتیجه ۲: با توجه به شکل ۳ که تغییرات قیمت محصولات را نسبت به λ_1 نشان می‌دهد، با افزایش آگاهی زیست‌محیطی مشتریان تولیدکننده برای راضی نگه‌داشتن آنها باید قیمت خود را کاهش دهد. البته این کاهش قیمت همان طور که در شکل ۴ مشخص است، سودشان را نیز کاهش می‌دهد.



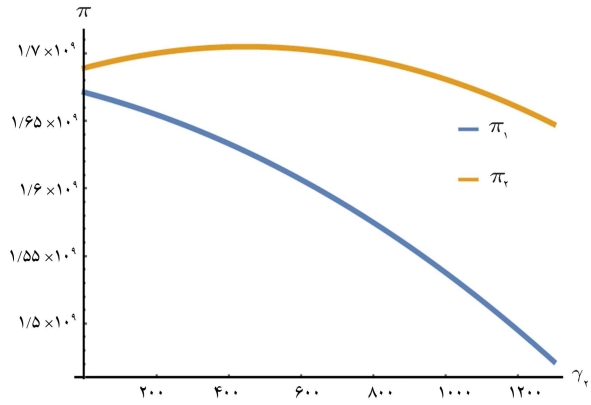
شکل ۴. تغییرات سود تولیدکنندگان نسبت به پارامتر γ_1.

نتیجه ۳: یکی از نکات جالبی که از شکل ۳ برداشت می‌شود این است که هرچه مشتریان نسبت به مسائل زیست‌محیطی اهمیت بیشتری بدهند، تولیدکننده‌ی دوم- که محصولی با مصرف انرژی کمتر تولید می‌کند - برای جبران فروش کمتر از رقیب خود باید قیمتش را کاهش بدهد و با توجه شکل ۴ به سود کمتری را هم از دست می‌دهد.

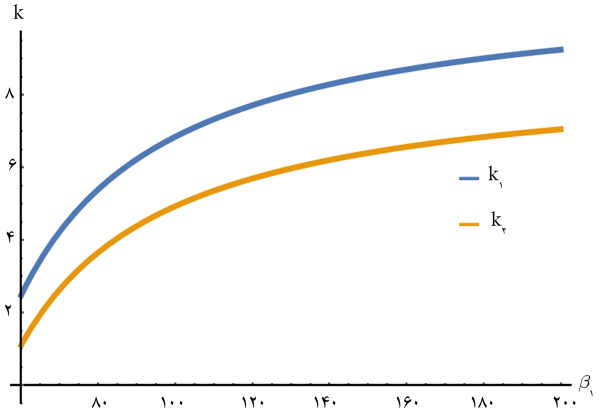
نتیجه ۴: شکل ۵ نشان می‌دهد که با افزایش پارامتر λ_2 مشتریان تمایل بیشتری دارند که از محصول کم‌مصرف‌تر که در این‌جا محصول تولیدکننده‌ی دوم است، استفاده کنند. هرچه این تمایل بیشتر باشد اختلاف تقاضای دو محصول بیشتر می‌شود و تولیدکننده‌ی محصول کم‌مصرف‌تر می‌تواند به همین نسبت قیمت محصولات خود را افزایش دهد که همین امر باعث می‌شود با افزایش تمایل مشتریان به خرید محصول



شکل ۵. تغییرات تقاضای محصولات نسبت به پارامتر γ_2.



شکل ۶. تغییرات سود تولیدکنندگان نسبت به پارامتر γ_2.

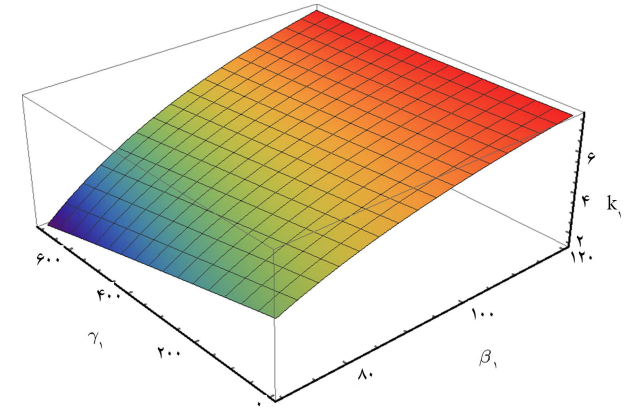


شکل ۷. تغییرات میزان مصرف انرژی نسبت به پارامتر β_1.

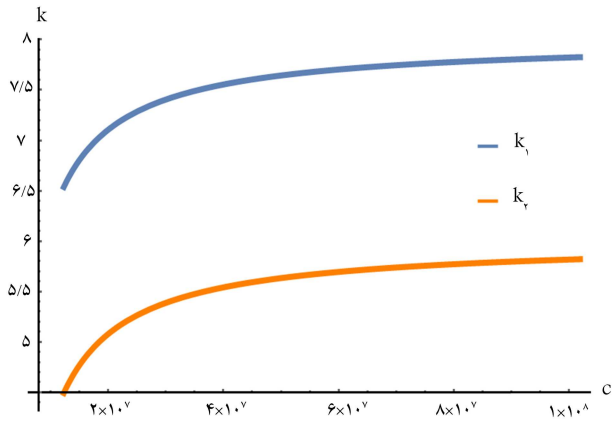
کم‌مصرف‌تر در ابتدا سود تولیدکننده‌ی دوم افزایش داشته باشد (شکل ۶).

نتیجه ۵: شکل ۷ نشان می‌دهد که بیشتر بودن حساسیت نسبت به قیمت محصول باعث می‌شود که اهمیت میزان مصرف انرژی کاهش پیدا کند؛ بنابراین در محصولاتی که حساسیت مشتریان آن نسبت به قیمت محصول بیشتر است، آگاهی زیست‌محیطی تأثیر کمتری بر میزان مصرف انرژی دارد. این موضوع به خوبی در شکل ۸ مشخص است. در شکل ۸ مشاهده می‌شود که هرچه مقدار پارامتر β_1 بیشتر باشد تأثیرگذاری پارامتر γ_1 بر روی میزان مصرف انرژی کاهش می‌یابد.

نتیجه ۶: با توجه به شکل ۹ هزینه‌ی بهبود مصرف انرژی تأثیر بسیار زیادی



شکل ۸. تغییرات میزان مصرف انرژی محصول تولیدکننده‌ی اول نسبت به پارامترهای β_1 و γ_1.



شکل ۹. تغییرات میزان مصرف انرژی نسبت به هزینه‌ی بهبود مصرف.

در میزان مصرف انرژی محصولات دارد. بنابراین استفاده از فنّاوری‌های جدید و کم‌هزینه‌تر راه حل مناسبی برای کاهش مصرف انرژی است.

نتیجه ۷: نتیجه‌ی دیگری که از شکل ۹ برداشت می‌شود این است که صرف این نکته که مشتریان نسبت به مسائل زیست‌محیطی حساس باشند، باعث نمی‌شود که تولیدکنندگان مصرف انرژی محصولاتشان را کاهش بدهند و این موضوع به هزینه‌ی بهبود انرژی بستگی دارد.

۷. نتیجه‌گیری

امروزه بحث کارایی مصرف انرژی در زنجیره‌ی تأمین اهمیت ویژه‌یی پیدا کرده است. علاوه بر آن افزایش آگاهی زیست‌محیطی عموم مردم باعث شده است نسبت به میزان مصرف انرژی و آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از آن حساسیت بیشتری پیدا کنند. به همین دلیل در مسئله‌ی مطرح شده در این مقاله یک زنجیره‌ی تأمین ساده شامل دو تولیدکننده در نظر گرفته شد که هرکدام از این تولیدکنندگان یک محصول تولید می‌کنند. یکی از مشخصه‌های عملکردی برای محصولات این تولیدکنندگان مصرف انرژی است. در این مسئله فرض شده است که مشتریان علاوه بر این‌که نسبت به هزینه‌ی مصرف انرژی محصولات حساس‌اند به دلیل حساسیتی که نسبت به مسائل زیست‌محیطی دارند، تمایل دارند که محصولی با مصرف انرژی کمتر خریداری کنند.

در مدل ارائه شده، تولیدکنندگان می‌توانند در مورد میزان مصرف انرژی محصول خود (هزینه‌یی که برای بهبود مصرف انرژی صرف می‌کنند) و قیمت تصمیم‌گیری کنند. هدف از انجام این مطالعه تحلیل رفتار این تولیدکنندگان در شرایط رقابت و پاسخ به این سؤال بود که در شرایط مسئله‌ی تعریف شده، چقدر باید برای بهبود مصرف انرژی هزینه کنند و قیمت محصول نهایی را چگونه تعیین کنند تا بیشترین سود ممکن را به دست آورند؟

با توجه به مثال عددی مشخص شد که آگاهی مشتریان به مسائل زیست‌محیطی و تمایلشان برای خرید محصولاتی که آسیب کمتری به محیط زیست وارد می‌کند، سبب می‌شود تولیدکنندگان برای جلب رضایت آنها اقدام کنند و با صرف هزینه، کارایی مصرف انرژی محصولاتشان را افزایش دهند که میزان بهبود بستگی به هزینه‌ی بهبود مصرف انرژی دارد...

نتیجه‌ی دیگر این است که با افزایش حساسیت مشتریان به میزان مصرف انرژی، قیمت محصولات و سود تولیدکنندگان کاهش می‌یابد، اما تولیدکننده‌یی که محصولش نسبت به رقیب انرژی کمتری مصرف می‌کند، متحمل ضرر کمتری می‌شود.

مثال عددی نشان می‌دهد تقاضای محصولی که برای انجام یک کار مشخص میزان کمتری انرژی مصرف می‌کند، حتی با این‌که قیمت بیشتری داشته باشد، تقاضای بیشتری دارد و تولیدکننده‌ی آن نسبت به رقیب سود بیشتری کسب می‌کند.

تحلیل حساسیت نشان می‌دهد افزایش آگاهی زیست‌محیطی مردم بر میزان مصرف انرژی محصولاتی که حساسیت کمتری نسبت به قیمت آنها وجود دارد، تأثیر بیشتری دارد.

با توجه به نتایج مطرح شده، تولیدکنندگان برای جبران مشتریانی که به دلیل حساسیت به مسائل زیست‌محیطی یا حساسیت به هزینه‌ی انرژی از دست می‌دهند، می‌توانند از سیاست‌های کاهش مصرف انرژی و کاهش قیمت محصول یا ترکیبی از این دو سیاست استفاده کنند که این موضوع بستگی به شرایط رقابت، میزان مصرف انرژی محصول رقیب و هزینه‌ی بهبود مصرف انرژی دارد. جواب حاصل از مدل ارائه شده در این مقاله با در نظرگرفتن این شرایط، بهترین سیاست را برای تولیدکنندگان مشخص می‌کند.

برخی از نتایج و تحلیل‌هایی که بیان شد با توجه به بازار واقعی قابل پیش‌بینی بود که این خود نشان می‌دهند که خروجی مدل برای رفتار تولیدکنندگان، بر منطق حاکم بر بازار محصولات مصرف‌کننده انرژی مطابقت دارد و به نوعی نشان‌دهنده‌ی اعتبار مدل مطرح شده است.

یکی از زمینه‌های تحقیقاتی آینده می‌تواند در نظر گرفتن متغیر میزان آلودگی ایجاد شده باشد. این عامل باعث می‌شود تولیدکنندگان با بهبود نحوه‌ی مصرف انرژی، میزان آلودگی ایجاد شده در طی مصرف مقدار یکسان از انرژی را کاهش دهند.

بررسی اثر تبلیغات و فرهنگ‌سازی دولت بر روی میزان آگاهی زیست‌محیطی مردم و مصرف انرژی محصولات، مدل کردن مسائل با استفاده از توابع تقاضای احتمالی و غیرقطعی و بررسی تأثیر تغییرات قدرت خرید مشتریان از دیگر زمینه‌های مناسب برای تحقیقات آینده است.

برای پژوهش‌های آتی می‌توان تأثیر دخالت‌های دولت در تشویق تولیدکنندگان به تولید محصولات سازگار با محیط زیست را مطالعه کرد. این دخالت‌ها می‌تواند با اعمال مالیات و همچنین سیاست‌های برچسب انرژی باشد. در سیاست برچسب انرژی، دولت می‌تواند مانع از ورود به بازار محصولات پرمصرف شود. مدل کردن این سیاست در کنار آگاهی زیست‌محیطی مشتریان یکی از پیشنهادها برای انجام تحقیقات آتی است.

پانوشت‌ها

1. game theory
2. supply chain
3. two-stage game
4. channel coordination
5. substitute

منابع (References)

1. Aumann, R.J., Game Theory, in Game Theory, J. Eatwell, M. Milgate, P. Newman, Editors., Palgrave Macmillan UK: London. p. 1-53, (1989)
2. Dincer, I. and Rosen, M. A."Energy, environment and sustainable development", *Applied Energy*, **64**(1-4), pp. 427-440 (1999).
3. Zabaniotou, A. and Andreou, K. "Development of alternative energy sources for GHG emissions reduction in the textile industry by energy recovery from cotton ginning waste", *Journal of Cleaner Production*, **18**(8), pp. 784-790 (2010).
4. Dixon, R.K., et al. "US energy conservation and efficiency policies: Challenges and opportunities", *Energy Policy*, **38**(11), pp. 6398-6408 (2010).
5. Dai, H., et al. "Green growth: the economic impacts of large-scale renewable energy development in China", *Applied Energy*, **162**, pp. 435-449. (2016).
6. Conrad, K. "Price competition and product differentiation when consumers care for the environment", *Environmental and Resource Economics*, **31**(1), pp. 1-19 (2005).
7. Horváth, C. and Fok, D. "Moderating factors of immediate, gross, and net cross-brand effects of price promotions", *Marketing Science*, **32**(1), pp. 127-152 (2013)
8. Moorthy, S. "A general theory of pass-through in channels with category management and retail competition", *Marketing Science*, **24**(1), pp. 110-122 (2005).
9. 9. Ho, H.D., Ganesan, S. and Oppewal, H. "The impact of store-price signals on consumer search and store evaluation", *Journal of Retailing*, **87**(2), pp. 127-141 (2011).
10. Cox, A.D. and Cox, D. "Competing on price: the role of retail price advertisements", *Journal of Retailing*, **66**(4), pp. 428 (1990).

11. Dockner, E. and Jøgensen, S. "Optimal pricing strategies for new products in dynamic oligopolies", *Marketing Science*, **7**(4), pp. 315-334 (1988).

12. Wang, X. and Li, D. "A dynamic product quality evaluation based pricing model for perishable food supply chains", *Omega*, **40**(6), pp. 906-917 (2012).

13. Jafari, H., Hejazi, S.R. and Rasti-Barzoki, M. "Pricing decisions in dual-channel supply chain including monopolistic manufacturer and duopolistic retailers: a game-theoretic approach", *Journal of Industry, Competition and Trade*, **16**(3), pp.323-343 (2016).

14. Farrokhi, M.A. and Rasti-Barzoki, M. "Pricing in a two-echelon supply chain with manufacturers' competing to seizing the market in the make-to-order environment by using game theory", *Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems*, **3**(6), pp. 207-219 (In Persian) (2016).

15. 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**(1), pp. 43-59 (2016).

16. Zarei, J., Rasti Barzoki, M. and Hejazi, S.R. "Coordination of pricing policies and cooperative advertising considering the costs of inventory in a two-level supply chain: a game-theoretic approach", *Industrial Engineering and Management*, **34-1**, pp. 51-61 (2018) (In Persian).

17. Rahmani, A., Hejazi, S.R. and Rasti-Barzoki, M. "Fnefdaaapidcsc", *Sharif Journal of Industrial Engineering & Management*, **33.1**(2.1), pp. 79-90 (2018). (In Persian).

18. 18. Tang, C.S. and Zhou, S. "Research advances in environmentally and socially sustainable operations", *European Journal of Operational Research*, **223**(3), pp. 585-594 (2012).

19. Gouda, S.K., Jonnalagedda, S. and Saranga, H. "Design for the environment: Impact of regulatory policies on product development", *European Journal of Operational Research*, **248**(2), pp. 558-570 (2016).

20. Ma, X., et al. "Optimal procurement decision with a carbon tax for the manufacturing industry", *Computers & Operations Research*, **89**, ppp. 360-368 (2018).

21. Miao, Z., et al. "Remanufacturing with trade-ins under carbon regulations", *Computers & Operations Research*, **89**, pp. 253-268 (2018).

22. Moorthy, K.S. " Product and Price Competition in a Duopoly", *Marketing Science*, **7**(2), pp. 141-168 (1988).

23. Ghosh, D. and Shah, J. "A comparative analysis of greening policies across supply chain structures", *International Journal of Production Economics*, **135**(2), pp. 568-583 (2012).

24. Chitra, K. "In search of the green consumers: a perseptual study", *Journal of Services Research*, **7**(1), pp.173-191 (2007).

25. Fleischmann, M. et al. "Quantitative models for reverse logistics: a review", *European Journal of Operational Research*, **103**(1), pp. 1-17 (1997).

26. Huang, Y. et al. "Green supply chain coordination with greenhouse gases emissions management: a game-theoretic approach", *Journal of Cleaner Production*, **112**, Part 3, pp. 2004-2014 (2016).

27. Li, B., et al. "Pricing policies of a competitive dual-channel green supply chain", *Journal of Cleaner Production*, **112**, Part 3, pp. 2029-2042. (2016).

28. Liu, Z., Anderson, T.D. and Cruz, J.M."Consumer environmental awareness and competition in two-stage supply chains", *European Journal of Operational Research*, **218**(3), pp. 602-613 (2012).

29. Zhang, L., Wang, J. and You, J."Consumer environmental awareness and channel coordination with two substitutable products", *European Journal of Operational Research*, **241**(1), pp. 63-73 (2015).

30. Nie, P.-y. et al. "How to subsidize energy efficiency under duopoly efficiently?", *Applied Energy*, **175**, pp. 31-39 (2016).

31. Cohen, M. Lobel, R. and Perakis, G. "The impact of demand uncertainty on Consumer subsidies for green technology adoption", *Management Science*, **62**(5), pp.1235-1258 (2015).

32. Krass, D. Nedorezov, T. and Ovchinnikov, A. "Environmental taxes and the choice of green technology", *Production and Operations Management*, **22**(5), pp. 1035-1055 (2013).

33. Zhou, W. and Huang, W. "Contract designs for energy-saving product development in a monopoly", *European Journal of Operational Research*, **250**(3), pp. 902-913 (2016).

34. Xie, G. "Modeling decision processes of a green supply chain with regulation on energy saving level", *Computers & Operations Research*, **54**, pp. 266-273 (2015).