نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید
IERPS
ISSN: 2345-2269
نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید
سال یازدهم، شماره بیست و سوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۲، صفحه ۹۳-۱۰۳
www.ier.basu.ac.ir
DOI: https://dx.doi.org/10.22084/IER.2024.5567

بررسی تأثیر سرمایه‌گذاری برای بهبود بهره‌وری انرژی دو وسیله برقی جایگزین بر روی رفتار خرید مشتریان با استفاده از رویکرد نظریه بازی

حامد جعفری[۱]

[۱]. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکدهٔ فنی مهندسی گلپایگان، دانشگاه صنعتی اصفهان، گلپایگان، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
دریافت ۱۴۰۲/۷/۱۲
پذیرش ۱۴۰۲/۱۰/۱۹
(مقاله پژوهشی)

کلمات کلیدی:
وسایل برقی جایگزین
بهره‌وری انرژی
قیمت‌گذاری
نظریه بازی
تعادل نش

خلاصه

در این تحقیق، دو وسیله خانگی برقی جایگزین درنظر گرفته شده است که توسط دو تولیدکننده رقیب تولید شده و به‌کمک دو نمایندگی به مشتریان فروخته می‌شوند. در بازار موردبررسی، تقاضای مشتریان برای این دو محصـــول برمبنای قیمت فروش و میزان بهره‌وری انرژی آن‌ها مشخص می‌گردند. برای افزایش میزان فروش و جذب مشتریان، یکی از تولیدکننده‌ها سرمایه‌گذاری جدیدی بر روی بهبود بهره‌وری انرژی محصولات خود انجام می‌دهد. در ادامه از رویکرد نظریه بازی برای اتخاذ تصمیمات مربوط به قیمت‌گذاری و بهره‌وری انرژی محصولات استفاده می‌گردد. بدین منظور مسأله تحت بازی‌های نش و زنجیره‌به‌زنجیره فرمول‌بندی و تحلیل می‌شود. در بازی نش، رقابت مستقل میان اعضا درنظر گرفته می‌شود؛ درحالی‌که در بازی زنجیره‌به‌زنجیره، زنجیره تأمین محصـــولات با یکدیگر رقابت می‌نمایند. درنهایت تصمیمات مربوط به مدل‌های موردبررسی تحلیل شده و برخی نتایج و نکات مدیریتی ارائه می‌شوند. نتایج نشان می‌دهند که تحت برخی شرایط می‌توان با سرمایه‌گذاری برای بهبود بهره‌وری انرژی محصولات، مشتریان بیشتری را جذب نموده و سودهای بیشتری به‌دست آورد. به‌دلیل رقابت شدید میان زنجیره‌های تأمین محصولات، ممکن است مقادیر سود اعضا در حالت همکاری کمتر از حالت رقابت تعیین شوند. همچنین سیاست‌هایی که هزینه بهبود بهره‌وری انرژی وسایل برقی را کاهش می‌دهند، از دیدگاه تولیدکننده و نمایندگی آن محصول مقرون‌به‌صرفه هستند.

۱. مقدمه

امروزه نقش انرژی در زندگی روزمره برای برآوردن نیازهای مختلف غیرقابل انکار است [۱,۲]. انرژی را می‌توان از منابع تجدیدپذیر و یا تجدیدناپذیر تولید نمود [۳,۴]. انرژی به اشکال مختلف ازجمله شیمیایی، تابشی، مکانیکی، حرارتی، هسته‌ای و الکتریکی وجود دارد [۵,۶]. انرژی الکتریکی به روش‌های مختلف ازجمله استفاده از سوخت-های فسیلی، باد و انرژی هسته‌ای تولید می‌شود [۷]. در این میان سوخت‌های فسیلی به‌عنوان منبعی حیاتی برای تولید این نوع انرژی درنظر گرفته می‌شوند [۸,۹].

کمبود منابع تجدیدناپذیر از یک طرف و تشدید مصرف انرژی از سمت دیگر، دولت‌ها را وادار نموده تا انرژی را به‌صورت استراتژیک مدیریت کنند [۱۰,۱۱]. استفاده کارآمد از انرژی، رویکردی مناسب برای حفظ منابع طبیعی و کاهش مصرف انرژی است [۱۲]. می‌توان گفت که افزایش بهره‌وری انرژی منجربه استفاده کارآمد و کاهش مصرف انرژی خواهد شد [۱۳]. وسایل برقی خانگی مانند یخچال، ماشین ظرف‌شویی و ماشین لباس‌شویی بخش قابل‌توجهی از انرژی الکتریکی جهـان را مصـرف می‌کنند [۱۴,۱۵]. درنتیجه بهبود بهره‌وری انرژی چنین وسایلی نقش مهمی در حفظ منابع طبیعی و

* نویسنده مسئول: حامد جعفری
تلفن: ۰۳۱-۵۷۲۴۳۲۳۸؛ پست الکترونیکی: hamed.jafari@iut.ac.ir

کاهش هزینه‌های مصرف انرژی ایفا می‌کند.

باتوجه به توضیحات ارائه‌شده می‌توان گفت که اتخاذ تصمیماتی که منجربه بهبود بهره‌وری انرژی محصولات می‌شوند، بسیار حائز اهمیت است. البته به‌دلیل رقابت شدید موجود در بازارهای رقابتی، این نوع تصمیمات به روابط استراتژیک میان تصمیم‌گیرندگان وابسته هستند. نظریه بازی رویکردی برای مطالعه مدل‌های ریاضی تحت تعاملات استراتژیک ایجادشده میان برخی تصمیم‌گیرندگان است [۱۶ و۱۷]. در سال‌های اخیر، نظریه بازی به‌طور گسترده‌ای برای تصمیم‌گیری در زنجیره تأمین انرژی مورد استفاده قرار گرفته است. با این وجود مطالعاتی که بهبود بهره‌وری انرژی لوازم خانگی برقی را با استفاده از رویکرد نظریه بازی بررسی کرده‌اند، همچنان محدود بوده و اغلب این مطالعات به‌شرح زیر هستند:

نی و همکاران [۱۸] و جعفری [۱۹] تأثیر یارانه‌های دولتی را بر روی بهبود بهره‌وری انرژی بررسی کرده‌اند. نی و همکاران [۲۰] نیز این مسأله را در حالت‌های یارانه دوطرفه، یارانه یک‌طرفه و بدون یارانه درنظر گرفته‌اند. اویانگ و جو [۲۱] زنجیره تأمینی را درنظر گرفته‌اند که در آن یک تولیدکننده طرح بهبود کارایی انرژی خود را تحت سناریوهای مختلف رقابتی و مشارکتی انتخاب می‌کند.

ژانگ و همکاران [۲۲] و هیومین و همکاران [۲۳] یک مدل نظریه بازی برای تحلیل تعاملات موجود میان یک تولیدکننده و یک واسطه فروش توسعه داده و از رویکردهای مختلف برای بهره‌وری انرژی استفاده نموده‌اند.

چن و همکاران [۲۴] نظریه بازی را به‌منظور اتخاذ تصمیمات مرتبط با قیمت‌گذاری و کاهش انتشار کربن به‌کار برده‌اند. آن‌ها تأثیر بهبود بهره‌وری انرژی را بر روی کاهش آلودگی هوا بررسی کرده‌اند.

همچنین حافظ‌الکتب [۲۵] بهره‌وری انرژی را در یک زنجیره تأمین سبز مورد بررسی قرار داده و از مدل‌های نش و استکلبرگ برای تحلیل تصمیمات در این ساختار استفاده نموده است.

در تحقیق فعلی دو وسیله برقی خانگی جایگزین تحت زنجیره تأمینی شامل دو تولیدکننده و دو نمایندگی تولید شده و به‌فروش می‌رسد. در این ساختار یکی از تولیدکننده‌ها قصد دارد بر روی بهبود بهره‌وری انرژی محصولات خود سرمایه‌گذاری جدیدی انجام دهد. بدین منظور از رویکرد نظریه بازی برای اتخاذ تصمیمات استفاده شده و تأثیر میزان بهره‌وری انرژی محصولات بر روی رفتار مشتریان بررسی خواهد شد. باتوجه به مطالعات مرورشده می‌توان گفت که مسأله درنظرگرفته‌شده در این تحقیق شامل بررسی تأثیر میزان سرمایه‌گذاری برای بهبود بهره‌وری انرژی دو وسیله برقی جایگزین بر روی رفتار خرید مشتریان در زنجیره تأمینی شامل دو تولیدکننده و دو نمایندگی با استفاده از رویکرد نظریه بازی برای اولین‌بار در ادبیات موضوع مطرح شده است. می‌توان گفت برخلاف تحقیقات قبلی انجام‌شده که تأثیر سیاست‌های حمایتی دولت بر روی بهبود بهره‌وری انرژی را درنظر گرفته است، در مطالعه فعلی رقابت میان دو وسیله برقی جایگزین که یکی از آن‌ها از نقطه‌نظر مصرف انرژی کارا و دیگری ناکارا است، مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج حاصل از این تحقیق به تولیدکنندگان وسایل خانگی برقی کمک می‌کند تا میزان تأثیر سرمایه‌گذاری برای بهبود کارایی انرژی محصولات خود را بر روی تقاضای مشتریان تعیین کنند.

جزییات مربوط به مقالات مرورشده و مقایسه تحقیق فعلی با این مطالعات در جدول (۱) ارائه شده‌اند.

جدول (۱). جزییات مربوط به مقالات مرورشده

نویسندگان	تعداد محصول	بازی	بازیکنان
نی و همکاران [۱۸]	۱	نش	تعدادی کارخانه
جعفری [۱۹]	۱	نش، همکارانه	تأمین‌کننده، تولیدکننده، دولت
نی و همکاران [۲۰]	۱	نش	تعدادی کارخانه
اویانگ و جو [۲۱]	۱	نش، استکلبرگ	تولیدکننده، پیمانکار
ژانگ و همکاران [۲۲]	۱	نش، همکارانه	تولیدکننده، پیمانکار
هیومین و همکاران [۲۳]	۱	نش، همکارانه	تولیدکننده، دولت
چن و همکاران [۲۴]	۱	نش، استکلبرگ	دو تولیدکننده
حافظ‌الکتب [۲۵]	۱	نش، همکارانه	دولت، تولیدکننده
مطالعه فعلی	۲	نش زنجیره به زنجیره	دو تولیدکننده، دو نمایندگی

ساختار مقاله به‌صورت زیر است: در بخش ۲ مسأله موردبررسی تعریف می‌شود. در بخش ۳ از رویکرد نظریه بازی برای اتخاذ تصمیمات استفاده می‌گردد. بخش ۴ مربوط به نتایج و یافته‌ها است. درنهایت در بخش ۵ تحقیق انجام‌شده جمع‌بندی و برخی پیشنهادها برای مطالعات آینده ارائه خواهند شد.

۲. تعریف مسأله

دو وسیله خانگی برقی جایگزین را درنظر بگیرید که در یک بازار مشترک تولید و به مشتریان فروخته می‌شوند. هرکدام از این محصولات توسط تولیدکننده مربوطه تولید و به‌کمک یک نمایندگی به‌فروش می‌رسد. در این بازار، تقاضای مشتریان برای دو محصول براساس قیمت فروش و میزان بهره‌وری انرژی آن‌ها تعیین می‌گردند. برای افزایش میزان فروش و جذب مشتریان، یکی از تولیدکننده‌ها تصمیم دارد تا سرمایه‌گذاری جدیدی بر روی بهبود بهره‌وری انرژی محصولات خود انجام دهد. فرض کنید محصولی که بر روی بهبود بهره‌وری انرژی آن سرمایه‌گذاری می‌گردد، «وسیله برقی کارا» و محصول دیگر «وسیله برقی ناکارا» نامیده شوند. لازم به ذکر است که سطح بهره‌وری انرژی این دو محصول قبل از انجام سرمایه‌گذاری توسط

تولیدکننده مذکور یکسان بوده و پس از انجام سرمایه‌گذاری، بهره‌وری انرژی وسیله برقی کارا بیشتر از وسیله برقی ناکارا خواهد شد. این مقدار سرمایه‌گذاری به‌میزان بهبود بهره‌وری انرژی وسیله برقی کارا پس از انجام سرمایه‌گذاری وابسته است. نمادهای مورد استفاده در این تحقیق در جدول (۲) تعریف شده‌اند.

جدول (۲). نمادهای مورد استفاده در تحقیق

نماد	تعریف
	پارامترها
C_e	هزینه تولید هر واحد وسیله برقی کارا
C_n	هزینه تولید هر واحد وسیله برقی ناکارا
V_e	حداکثر تقاضای مشتریان برای وسیله برقی کارا در بازار
V_n	حداکثر تقاضای مشتریان برای وسیله برقی ناکارا در بازار
β	میزان کاهش تقاضای یک محصول با افزایش یک واحد قیمت آن
β'	میزان افزایش تقاضای یک محصول با افزایش یک واحد قیمت محصول دیگر ($\beta > \beta'$)
θ	میزان افزایش تقاضای وسیله برقی کارا با افزایش یک واحد نرخ بهره‌وری انرژی آن
θ'	میزان کاهش تقاضای وسیله برقی ناکارا با افزایش یک واحد نرخ بهره‌وری انرژی وسیله برقی کارا ($\theta > \theta'$)
γ	هزینه هر واحد تلاش تولیدکننده برای بهبود نرخ بهره‌وری انرژی وسیله برقی کارا
	متغیرهای تصمیم مستقل
W_e	قیمت فروش هر واحد وسیله برقی کارا تعیین‌شده توسط تولیدکننده مربوطه برای نمایندگی آن
W_n	قیمت فروش هر واحد وسیله برقی ناکارا تعیین‌شده توسط تولیدکننده مربوطه برای نمایندگی آن
P_e	قیمت فروش هر واحد وسیله برقی کارا تعیین‌شده توسط نمایندگی مربوطه برای مشتریان
P_n	قیمت فروش هر واحد وسیله برقی ناکارا تعیین‌شده توسط نمایندگی مربوطه برای مشتریان
E	میزان بهبود نرخ بهره‌وری انرژی وسیله برقی کارا تعیین‌شده توسط تولیدکننده مربوطه
	متغیرهای تصمیم وابسته
D_e	تقاضای مشتریان برای وسیله برقی کارا
D_n	تقاضای مشتریان برای وسیله برقی ناکارا
I	میزان سرمایه‌گذاری برای بهبود بهره‌وری انرژی وسیله برقی کارا توسط تولیدکننده مربوطه
M_e	سود تخصیص داده‌شده به تولیدکننده وسیله برقی کارا
M_n	سود تخصیص داده‌شده به تولیدکننده وسیله برقی ناکارا
A_e	سود تخصیص داده‌شده به نمایندگی وسیله برقی کارا
A_n	سود تخصیص داده‌شده به نمایندگی وسیله برقی ناکارا
T_e	کل سود مربوط به زنجیره تأمین وسیله برقی کارا
T_n	کل سود مربوط به زنجیره تأمین وسیله برقی ناکارا

در مسأله موردبررسی، تولیدکننده هر نوع وسیله برقی، محصولات خود را تولید نموده و آن‌ها را به نمایندگی مربوطه می‌فروشد. نمایندگی مربوطه نیز این محصولات را به مشتریان نهایی تحویل می‌دهد. در این ساختار، تقاضای مشتریان برای هر نوع وسیله برقی باتوجه به قیمت و سطح بهره‌وری انرژی آن مشخص خواهد شد. در چنین شرایطی توابع تقاضای مربوط به وسایل برقی کارا و ناکارا به‌صورت زیر مدل‌سازی می‌شوند:

$$D_e = V_e - \beta P_e + \beta' P_n + \theta E \quad (۱)$$

$$D_n = V_n - \beta P_n + \beta' P_e - \theta' E \quad (۲)$$

مقادیر سود تخصیص داده‌شده به تولیدکننده‌ها، نمایندگی‌ها و کل زنجیره تأمین محصولات به‌صورت زیر فرمول‌بندی خواهند شد:

$$M_e = (W_e - C_e)D_e - \frac{\gamma E^2}{2} \quad (۳)$$

$$M_n = (W_n - C_n)D_n \quad (۴)$$

$$A_e = (P_e - W_e)D_e \quad (۵)$$

$$A_n = (P_n - W_n)D_n \quad (۶)$$

$$T_e = M_e + A_e = (P_e - C_e)D_e - \frac{\gamma E^2}{2} \quad (۷)$$

$$T_n = M_n + A_n = (P_n - C_n)D_n \quad (۸)$$

فرض می‌گردد که مقدار سرمایه موردنیاز برای بهبود بهره‌وری انرژی وسیله برقی کارا، تابعی صعودی و محدب نسبت به E است. به‌عبارت دیگر هرچقدر نرخ بهره‌وری انرژی وسیله برقی کارا بیشتر بهبود بیابد، مقدار سرمایه‌گذاری انجام‌شده توسط تولیدکننده مربوطه نیز با شدت بیشتری افزایش خواهد یافت. باتوجه به این توضیحات، مقدار سرمایه‌گذاری انجام‌شده توسط تولیدکننده برای بهبود بهره‌وری انرژی وسیله برقی کارا به‌اندازه E به‌صورت $I = \gamma E^2/2$ درنظر گرفته شده است. درواقع اگر E مقدار بهبود نرخ بهره‌وری انرژی وسیله برقی کارا باشد، آنگاه $E^2/2$ بیانگر مقدار تلاش تولیدکننده مربوطه برای دستیابی به چنین سطحی از بهره‌وری انرژی بوده و γ نیز هزینه هر واحد تلاش وی در این شرایط خواهد بود.

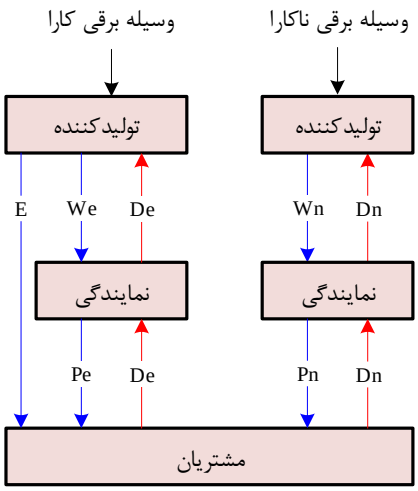
لازم به ذکر است که برای شدنی بودن تصمیمات موردبررسی، محدودیت‌های زیر در مسأله درنظر گرفته می‌شوند:

$$D_e \geq 0,\ D_n \geq 0,\ C_e \leq W_e \leq P_e,\ C_n \leq W_n \leq P_n,\ P_e \geq P_n,\ 0 < E < 1 \quad (۹)$$

در رابطه (۹) دو محدودیت اول تضمین می‌کنند که تقاضای هر دو محصول نامنفی هستند. باتوجه به دو محدودیت بعدی، سودهای حاشیه‌ای همه اعضا نامنفی خواهند بود. نظربه محدودیت بعدی، قیمت وسیله برقی کارا نباید کمتر از قیمت وسیله برقی ناکارا تعیین شود؛ زیرا در غیر این صورت مشتریان انگیزه‌ای برای خرید وسیله برقی ناکارا با قیمت بیشتر و بهره‌وری انرژی کمتر نسبت به وسیله برقی کارا ندارند. همچنین محدودیت آخر بازه تغییرات نرخ بهبود بهره‌وری انرژی وسیله برقی کارا را مشخص می‌کند. شکل (۱) ساختار مسأله تعریف‌شده را نشان می‌دهد.

لازم به ذکر است که در مسأله مورد بررسی برخی مفروضات درنظر گرفته شده‌اند. در این تحقیق، بازار فروش مربوط به دو محصول

جایگزین درنظر گرفته شده است. درواقع بازار مورد بررسی به‌صورت دوانحصاری است. برای فرمول‌بندی تقاضای محصولات نیز از یک تابع خطی استفاده شده است. همچنین برای فرمول‌بندی مقدار سرمایه‌گذاری برای بهبود بهره‌وری انرژی وسیله برقی کارا از یک تابع درجه دوم که نسبت‌به بهبود نرخ بهره‌وری انرژی این محصول صعودی و محدب است، استفاده شده است. این نوع فرمول‌بندی‌ها در بسیاری از مقالات منتشرشده نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند.



شکل (۱). ساختار مسأله تعریف‌شده

۳. تحلیل تصمیمات

در این بخش از رویکرد نظریه بازی برای تحلیل تصمیمات در مسأله موردبررسی استفاده می‌شود. بدین منظور مسأله تحت بازی‌های نش و زنجیره‌به‌زنجیره فرمول‌بندی و تحلیل می‌گردد.

۳-۱. بازی نش: رقابت میان اعضا

در بازی نش، اعضا تصمیمات خود را به‌صورت همزمان و مستقل تعیین می‌کنند. درواقع در این شرایط همه اعضا برای اتخاذ تصمیمات خود با یکدیگر رقابت می‌نمایند. در ادامه مسأله موردبررسی تحت بازی نش تحلیل می‌شود.

قضیه ۱. توابع سود M_e و M_n به‌ترتیب نسبت به متغیرهای W_e و W_n به‌صورت صعودی و خطی هستند.

اثبات. داریم:

$$\begin{aligned}
&\frac{dM_e}{dW_e} = V_e - \beta P_e + \beta' P_n + \theta E = D_e \geq 0\\
&\frac{d^2M_e}{dW_e{}^2} = 0\\
&\frac{dM_n}{dW_n} = V_n - \beta P_n + \beta' P_e - \theta' E = D_n \geq 0\\
&\frac{d^2M_n}{dW_n{}^2} = 0
\end{aligned} \qquad (۱۰)$$

برگرفته از مشتق‌های اول و دوم محاسبه‌شده در رابطه (۱۰) می‌توان گفت که تابع سود تولیدکننده هر محصول نسبت‌به قیمت فروش آن به نمایندگی مربوطه به‌صورت صعودی و خطی است. ■

باتوجه به قضیه ۱ می‌توان نتیجه گرفت که تولیدکننده هر نوع وسیله برقی تمایل دارد محصولات خود را با بیشترین قیمت شدنی به نمایندگی مربوطه بفروشد. برگرفته از محدودیت (۹)، P_e و P_n بیشترین مقادیر شدنی به‌ترتیب برای W_e و W_n هستند. با انتخاب $W_e = P_e$ و $W_n = P_n$ مقادیر سود هر دو نمایندگی برابر با صفر شده و آن‌ها انگیزه لازم برای حضور در بازار را نخواهند داشت. بدین منظور، فرض می‌گردد که نمایندگی هر نوع وسیله برقی زمانی در بازار حضور می‌یابد که سود حاشیه‌ای وی حداقل به‌اندازه نصف سود حاشیه‌ای تولیدکننده مربوطه باشد. با این توضیحات، محدودیت‌های $(P_e - W_e) \geq (W_e - C_e)/2$ و $(P_n - W_n) \geq (W_n - C_n)/2$ در بازی نش درنظر گرفته می‌شوند. در این شرایط $(2P_e + C_e)/3$ و $(2P_n + C_n)/3$ بیشترین مقادیر شدنی به‌ترتیب برای W_e و W_n بوده و با انتخاب $W_e = (2P_e + C_e)/3$ و $W_n = (2P_n + C_n)/3$ قیمت‌های فروش محصولات از تولیدکننده‌ها به نمایندگی‌ها تثبیت می‌شـــوند. با جای‌گذاری این روابـط در توابع سود M_e، A_e و A_n به‌ترتیب توابع جدید ${M_e}^{new}$، ${A_e}^{new}$ و ${A_n}^{new}$ به‌دست می‌آیند. اکنون سعی می‌کنیم که مقادیر سایر تصمیمات را تعیین نماییم.

قضیه ۲. توابع ${M_e}^{new}$، ${A_e}^{new}$ و ${A_n}^{new}$ به‌ترتیب نسبت به E، P_e و P_n به‌صورت اکیداً مقعر هستند.

اثبات. داریم:

$$\begin{aligned}
&\frac{d{M_e}^{new}}{dE} = \frac{1}{3}(2\theta P_e - 2\theta C_e - 3\gamma E)\\
&\frac{d^2{M_e}^{new}}{dE^2} = -\gamma < 0\\
&\frac{d{A_e}^{new}}{dP_e} = \frac{1}{3}(V_e + \beta C_e - 2\beta P_e + \beta' P_n + \theta E)\\
&\frac{d^2{A_e}^{new}}{d{P_e}^2} = -\frac{2\beta}{3} < 0\\
&\frac{d{A_n}^{new}}{dP_n} = \frac{1}{3}(V_n + \beta C_n - 2\beta P_n + \beta' P_e - \theta' E)\\
&\frac{d^2{A_n}^{new}}{d{P_n}^2} = -\frac{2\beta}{3} < 0
\end{aligned} \qquad (۱۱)$$

باتوجه به مشتق‌های مرتبه دوم ارائه‌شده در رابطه (۱۱) توابع سود ${M_e}^{new}$، ${A_e}^{new}$ و ${A_n}^{new}$ به‌ترتیب نسبت به E، P_e و P_n به‌صورت اکیداً مقعر هستند. ■

درنتیجه جواب حاصل از حل همزمان مشتق‌های مرتبه اول محاسبه‌شده در رابطه (۱۱) در صورت شدنی بودن، جواب مسأله را در بازی نش تولید می‌کند.

قضیه ۳. تصمیمات تعیین‌شده توسط اعضا در بازی نش به‌صورت زیر هستند:

$$\begin{aligned}
&{W_e}^N = C_e + \frac{2\gamma\left(2\beta V_e + \beta'(\beta C_n + V_n) - C_e(2\beta^2 - \beta'^2)\right)}{4\beta(3\beta\gamma - \theta^2) - 3\gamma\beta'^2 + 2\theta\beta'\theta'}\\
&{W_n}^N = \frac{1}{3}C_n\\
&+\frac{2(3\beta\gamma - \theta^2)(2\beta C_n + 2V_n + \beta' C_e) + 6\gamma V_e\beta' + 4\theta\theta'(\beta C_e - V_e)}{3(4\beta(3\beta\gamma - \theta^2) - 3\gamma\beta'^2 + 2\theta\beta'\theta')}\\
&{P_e}^N = \frac{6\beta\gamma V_e + 3\gamma\beta'(\beta C_n + V_n) + 2C_e\beta(3\beta\gamma - 2\theta^2) + 2C_e\theta\beta'\theta'}{4\beta(3\beta\gamma - \theta^2) - 3\gamma\beta'^2 + 2\theta\beta'\theta'}\\
&{P_n}^N = \frac{(3\beta\gamma - \theta^2)(2\beta C_n + 2V_n + \beta' C_e) + 3\gamma V_e\beta' + 2\theta\theta'(\beta C_e - V_e)}{4\beta(3\beta\gamma - \theta^2) - 3\gamma\beta'^2 + 2\theta\beta'\theta'}
\end{aligned}$$

$$E^N = \frac{2\theta\left(2\beta V_e + \beta'(\beta C_n + V_n) - C_e\left(2\beta^2 - \beta'^2\right)\right)}{4\beta(3\beta\gamma - \theta^2) - 3\gamma\beta'^2 + 2\theta\beta'\theta'} \quad (۱۲)$$

اثبات. با حل همزمان مشتق‌های مرتبه اول محاسبه‌شده در رابطه (۱۱) و جای‌گذاری نتایج حاصل در روابط مربوط به W_e و W_n رابطه (۱۲) به‌دست خواهد آمد. □

با جای‌گذاری مقادیر مربوط به رابطه (۱۲) در روابط (۱)-(۶) تقاضای وسایل برقی موردبررسی و مقادیر سود تخصیص‌داده‌شده به اعضا در بازی نش نیز محاسبه می‌شوند.

۳-۲. بازی زنجیره‌به‌زنجیره: رقابت میان زنجیره‌های تأمین

در بازی زنجیره‌به‌زنجیره، اعضای زنجیره تأمین مربوط به هر نوع وسیله برقی تصمیمات خود را به‌صورت یکپارچه تعیین می‌کنند. درواقع در این بازی تولیدکننده و نمایندگی هر نوع وسیله برقی با یکدیگر همکاری نموده و کل سود مربوط به زنجیره تأمین آن محصول را حداکثر می‌کنند. به‌عبارت دیگر در این شرایط رقابت میان زنجیره‌های تأمین مربوط به دو نوع وسیله برقی درنظر گرفته می‌شود. لازم به ذکر است که قیمت فروش هر نوع وسیله برقی از تولیدکننده به نمایندگی مربوطه تأثیری بر روی کل سود زنجیره تأمین آن محصول ندارد؛ بنابراین در بازی زنجیره‌به‌زنجیره این قیمت‌ها نادیده گرفته می‌شوند.

قضیه ۴. T_e نسبت به P_e و E و T_n نسبت به P_n اکیداً مقعر هستند.

اثبات. داریم:

$$\begin{aligned}
&\frac{\partial T_e}{\partial P_e} = V_e + \beta C_e - 2\beta P_e + \beta' P_n + \theta E \\
&\frac{\partial^2 T_e}{\partial {P_e}^2} = -2\beta < 0 \\
&\frac{\partial T_e}{\partial E} = \theta P_e - \theta C_e - \gamma E \\
&\frac{\partial^2 T_e}{\partial E^2} = -\gamma < 0 \\
&\frac{dT_n}{dP_n} = V_n + \beta C_n - 2\beta P_n + \beta' P_e - \theta' E \\
&\frac{d^2 T_n}{d{P_n}^2} = -2\beta < 0
\end{aligned} \quad (۱۳)$$

ازآنجایی‌که مشتق‌های مرتبه دوم محاسبه‌شده در رابطه (۱۳) منفی هستند، قضیه ۴ قابل‌اثبات خواهد بود. ■

به‌عنوان نتیجه می‌توان گفت که جواب حاصل از حل همزمان مشتق‌های مرتبه اول ارائه‌شده در رابطه (۱۳) در صورت شدنی بودن، جواب مسأله را در بازی زنجیره‌به‌زنجیره تولید می‌کند.

قضیه ۵. تصمیمات اتخاذشده توسط اعضا در بازی زنجیره‌به‌زنجیره به‌صورت زیر هستند:

$$\begin{aligned}
{P_e}^C &= \frac{2\beta\gamma V_e + \gamma\beta'(\beta C_n + V_n) + 2\beta C_e(\beta\gamma - \theta^2) + \theta\beta'\theta' C_e}{4\beta^2\gamma - 2\beta\theta^2 - \gamma\beta'^2 + \theta\beta'\theta'} \\
{P_n}^C &= \frac{(2\beta\gamma - \theta^2)(\beta C_n + V_n + \beta' C_e) + \gamma V_e\beta' + \theta\theta'(\beta C_e - V_e)}{4\beta^2\gamma - 2\beta\theta^2 - \gamma\beta'^2 + \theta\beta'\theta'} \\
E^C &= \frac{\theta\left(2\beta V_e + \beta'(\beta C_n + V_n) - C_e\left(2\beta^2 - \beta'^2\right)\right)}{4\beta^2\gamma - 2\beta\theta^2 - \gamma\beta'^2 + \theta\beta'\theta'}
\end{aligned} \quad (۱۴)$$

اثبات. با حل همزمان مشتق‌های مرتبه اول محاسبه‌شده در رابطه (۱۳)، رابطه (۱۴) حاصل می‌گردد. ■

با جای‌گذاری تصمیمات تعیین‌شده در روابط (۱)، (۲)، (۷) و (۸) تقاضای وسایل برقی کارا و ناکارا (${D_e}^C$ و ${D_n}^C$) و کل سود مربوط به زنجیره تأمین آن‌ها (${T_e}^C$ و ${T_n}^C$) در بازی زنجیره‌به‌زنجیره به‌دست می‌آیند. لازم به ذکر است که سهم سود هر کدام از اعضا در این بازی همچنان مشخص نشده است. فرض کنیم که سهم سود حاصل از همکاری تولیدکننده‌ها با نمایندگی‌های مربوط به وسایل برقی کارا و ناکارا در همکاری ایجادشده به‌ترتیب برابر با r_e و r_n باشند. در این شرایط سود حاصل از همکاری ایجادشده در بازی زنجیره‌به‌زنجیره به‌صورت زیر میان تولیدکننده‌ها و نمایندگی‌ها تسهیم می‌گردد:

$$\begin{aligned}
{M_e}^C &= r_e {T_e}^C \\
{M_n}^C &= r_n {T_n}^C \\
{A_e}^C &= (1 - r_e){T_e}^C \\
{A_n}^C &= (1 - r_n){T_n}^C
\end{aligned} \quad (۱۵)$$

۴. نتایج و یافته‌ها

در این بخش نتایج و یافته‌های مربوط به تحلیل تصمیمات و بازی‌های موردبررسی ارائه خواهند شد.

۴-۱. جذب مشتریان از طریق بهبود بهره‌وری انرژی

ابتدا شرایطی را بررسی می‌کنیم که تحت آن‌ها بتوان از طریق بهبود سطح بهره‌وری انرژی محصولات، مشتریان بیشتری را جذب نمود. بدین منظور مقادیر تقاضای وسایل برقی کارا و ناکارا تحت بازی‌های مختلف با یکدیگر مقایسه می‌شوند. داریم:

$$\begin{aligned}
{D_e}^N > {D_n}^N \quad &\leftrightarrow \quad 2\beta V_e + \beta'(\beta C_n + V_n) - \left(2\beta^2 - \beta'^2\right)C_e > 0 \\
{D_e}^C > {D_n}^C \quad &\leftrightarrow \quad \left(2\beta V_e + \beta'(\beta C_n + V_n) - \left(2\beta^2 - \beta'^2\right)C_e\right)(\beta'\theta - 2\beta\theta') > 0
\end{aligned} \quad (۱۶)$$

برگرفته از رابطه (۱۶) تولیدکننده محصول کارا می‌تواند تحت شرایط مذکور با سرمایه‌گذاری برای بهبود بهره‌وری انرژی محصولات خود، مشتریان بیشتری را جذب نماید. ممکن است باتوجه به مقادیر پارامترهای مسأله و قیمت‌های تعیین‌شده برای محصولات، تقاضای مشتریان برای وسیله برقی کارا کمتر از وسیله برقی ناکارا گردد.

۴-۲. اقتصادی‌بودن سرمایه‌گذاری برای بهبود بهره‌وری

اکنون شرایطی را بررسی می‌کنیم که تحت آن‌ها برای تولیدکننده وسیله برقی کارا مقرون‌به‌صرفه است تا بر روی بهبود بهره‌وری انرژی محصولات خود سرمایه‌گذاری کند. فرض کنید مقدار سود تولیدکننده وسیله برقی کارا هنگامی‌که برای بهبود بهره‌وری انرژی محصولات خود سرمایه‌گذاری نمی‌کند ($I = 0$)، را با نماد ${M_e}^0$ و مقدار سود وی هنگامی که به‌اندازه $I = \gamma E^2/2$ برای بهبود بهره‌وری انرژی محصولاتش سرمایه‌گذاری می‌کند، را با نماد ${M_e}^I$ نشان دهیم. در این شرایط با مقایسه این مقادیر سود تحت بازی‌های نش و زنجیره‌به‌زنجیره داریم:

$$\left({M_e}^I\right)^N > \left({M_e}^0\right)^N \quad \leftrightarrow \quad 3\beta\gamma - \theta^2 > 0 \quad (۱۷)$$

$$\left(M_e{}^I\right)^C > \left(M_e{}^0\right)^C \quad \leftrightarrow \quad 2\beta\gamma - \theta^2 > 0$$

باتوجه به رابطه (۱۷) و تحت برخی شرایط، از دیدگاه تولیدکننده وسیله برقی کارا اقتصادی است که برای بهبود بهره‌وری انرژی محصولات خود سرمایه‌گذاری کند و مقدار سود خود را نسبت‌به حالت عدم سرمایه‌گذاری افزایش دهد. درواقع ممکن است تصمیمات طوری اتخاذ شوند که سرمایه‌گذاری برای بهبود بهره‌وری انرژی محصولات ازنظر تولیدکننده مربوطه مقرون‌به‌صرفه نباشد.

۴-۳. اقتصادی‌بودن همکاری میان اعضا

اکنون به این سؤال پاسخ می‌دهیم که تحت چه شرایطی همکاری میان تولیدکننده و نمایندگی هر نوع وسیله برقی در بازی زنجیره‌به‌زنجیره سودهای بیشتری را نسبت به رقابت ایجادشده در بازی نش برای آن‌ها به‌همراه دارد؟ با مقایسه مقادیر سود اعضا تحت بازی‌های نش و زنجیره‌به‌زنجیره داریم:

$$\begin{aligned}
&M_e{}^C > M_e{}^N \quad \leftrightarrow \\
&r_e \\
&> \frac{6\beta\gamma(4\beta^2\gamma - 2\beta\theta^2 - \gamma\beta'^2 + \theta\beta'\theta')^2}{(2\beta\gamma - \theta^2)(4\beta(3\beta\gamma - \theta^2) - 3\gamma\beta'^2 + 2\theta\beta'\theta')^2} \\
&M_n{}^C > M_n{}^N \quad \leftrightarrow \\
&r_n > \frac{2(4\beta^2\gamma - 2\beta\theta^2 - \gamma\beta'^2 + \theta\beta'\theta')^2}{3(4\beta(3\beta\gamma - \theta^2) - 3\gamma\beta'^2 + 2\theta\beta'\theta')^2} \\
&A_e{}^C > A_e{}^N \quad \leftrightarrow \\
&r_e \\
&< 1 - \frac{6\beta\gamma(4\beta^2\gamma - 2\beta\theta^2 - \gamma\beta'^2 + \theta\beta'\theta')^2}{(2\beta\gamma - \theta^2)(4\beta(3\beta\gamma - \theta^2) - 3\gamma\beta'^2 + 2\theta\beta'\theta')^2} \\
&A_n{}^C > A_n{}^N \quad \leftrightarrow \\
&r_n < 1 - \frac{2(4\beta^2\gamma - 2\beta\theta^2 - \gamma\beta'^2 + \theta\beta'\theta')^2}{3(4\beta(3\beta\gamma - \theta^2) - 3\gamma\beta'^2 + 2\theta\beta'\theta')^2}
\end{aligned} \tag{۱۸}$$

با توجه به رابطه (۱۸) و تحت برخی شرایط بر روی سهم سود تولیدکننده‌ها از همکاری ایجادشده در بازی زنجیره‌به‌زنجیره، مقادیر سود تخصیص داده‌شده به اعضا در این بازی بیشتر از بازی نش خواهند بود. درواقع ممکن است سود اعضا در حالت همکاری کمتر از حالت رقابت تعیین شوند. در این شرایط می‌توان گفت که همکاری میان تولیدکننده و نمایندگی هر نوع وسیله برقی در بازی زنجیره‌به‌زنجیره به‌دلیل رقابت شدید میان زنجیره‌های تأمین دو محصول خنثی شده و درنتیجه سودهای کمتری نسبت به حالت رقابت به اعضا تخصیص داده شده‌اند.

۴-۴. مثال عددی

بازار فروش ماشین لباسشویی در کشور را درنظر بگیرید. فرض کنید در چنین بازاری شرکت‌های اسنوا و پاکشوما محصولات مشابهی را تولید نموده و توسط نمایندگی‌هایشان آن‌ها را به مشتریان می‌فروشند. برای افزایش میزان فروش و جذب مشتریان، شرکت اسنوا قصد دارد تا بر روی بهبود بهره‌وری انرژی محصولات خود سرمایه‌گذاری کند.

فرض کنید هزینه تولید هر ماشین لباسشویی برای شرکت‌های اسنوا و پاکشوما به‌ترتیب برابر با $C_e = 4.5$ و $C_n = 3$ (برحسب میلیون تومان) باشند. حداکثر تقاضای بازار برای ماشین لباسشویی‌های تولیدشده توسط این دو شرکت نیز به‌ترتیب برابر با $V_e = 4000$ و $V_n = 2500$ واحد درنظر گرفته شده‌اند. با افزایش قیمت محصولات تولیدشده توسط یک شرکت به‌اندازه یک میلیون تومان، تقاضای شرکت مذکور به‌تعداد $\beta = 300$ واحد کاهش می‌یابد که بخشی از آن به‌تعداد $\beta' = 80$ واحد جذب شرکت رقیب می‌شوند. با دو برابر شدن نرخ بهره‌وری انرژی محصولات تولیدشده توسط شرکت اسنوا، تقاضای این شرکت به‌تعداد $\theta = 1000$ واحد افزایش و تقاضای شرکت پاکشوما به‌تعداد $\theta' = 500$ واحد کاهش می‌یابند. هزینه هر واحد تلاش شرکت اسنوا برای بهبود نرخ بهره‌وری انرژی محصولاتش نیز برابر با $\gamma = 10000$ (ده میلیارد تومان) است. همچنین در صورت اتخاذ تصمیمات به‌صورت یکپارچه، سهم سود حاصل از همکاری شرکت‌های اسنوا و پاکشوما با نمایندگی‌هایشان به‌ترتیب برابر با $r_e = 0.7$ و $r_n = 0.7$ درنظر گرفته شده‌اند.

مقادیر مربوط به تصمیمات تعیین‌شده، تقاضای مشتریان برای دو شرکت، سودهای تخصیص‌داده‌شده به تولیدکننده‌ها و نمایندگی‌ها و میزان سرمایه‌گذاری شرکت اسنوا برای بهبود بهره‌وری انرژی محصولاتش در جدول (۳) خلاصه شده‌اند. تمامی قیمت‌ها و مقادیر سود ارائه‌شده در جدول (۳) برحسب میلیون تومان هستند.

باتوجه به نتایج ارائه‌شده در جدول (۳)، شرکت اسنوا می‌تواند با سرمایه‌گذاری برای بهبود بهره‌وری انرژی محصولات خود، مشتریان بیشتری را جذب نماید. همچنین برای این شرکت اقتصادی است که بر روی بهبود بهره‌وری انرژی محصولاتش سرمایه‌گذاری کند.

جدول (۳). نتایج مربوط به مثال عددی

متغیر	بازی نش	بازی زنجیره-به‌زنجیره
قیمت نهایی ماشین لباسشویی اسنوا	۱۰/۴۸	۱۰/۸۵
قیمت نهایی ماشین لباسشویی پاکشوما	۶/۷۳	۶/۵۸
نرخ بهبود بهره‌وری انرژی محصول اسنوا	۰/۴۰	۰/۶۴
تقاضای ماشین لباسشویی اسنوا	۱۷۹۴	۱۹۰۶
تقاضای ماشین لباسشویی پاکشوما	۱۱۲۰	۱۰۷۵
سود شرکت اسنوا	۶۳۵۴/۲۱	۷۰۶۴/۲۱
سود شرکت پاکشوما	۲۷۸۵/۰۶	۲۶۹۷/۹۸
سود نمایندگی مربوط به شرکت اسنوا	۳۵۷۴/۲۵	۳۰۲۷/۵۲
سود نمایندگی مربوط به شرکت پاکشوما	۱۳۹۲/۵۳	۱۱۵۶/۲۸
میزان سرمایه‌گذاری شرکت اسنوا برای بهبود بهره‌وری انرژی	۷۹۴/۲۸	۲۰۱۸/۳۴

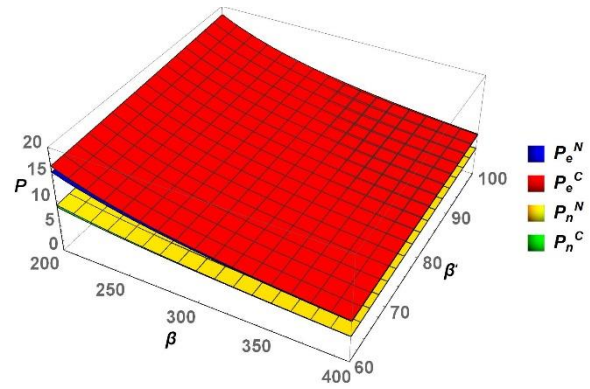
۴-۵. تحلیل حساسیت پارامترها

در این بخش یک تحلیل حساسیت انجام می‌شود تا نحوه تغییر تصمیمات نسبت‌به تغییر برخی پارامترهای مسأله مشخص گردند. لازم به ذکر است که مقادیر پیش‌فرض پارامترها برابر با مقادیر تعیین‌شده در مثال عددی درنظر گرفته شده‌اند.

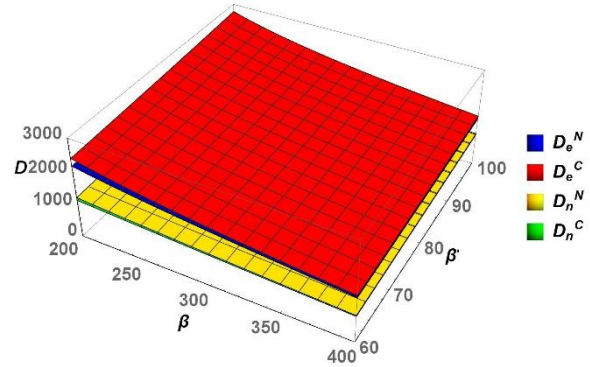
شکل (۲) تحلیل حساسیت مربوط به پارامترهای β و β' را نشان

می‌دهد. باتوجه به شکل (۲) با کاهش حساسیت تقاضای یک محصول نسبت به قیمت خودش و یا افزایش حساسیت تقاضای آن محصول نسبت به قیمت محصول دیگر، قیمت فروش محصولات به مشتریان، تقاضای آن‌ها، سودهای تخصیص‌داده‌شده به تولیدکننده‌ها و نمایندگی‌ها، نرخ بهبود بهره‌وری انرژی و میزان سرمایه‌گذاری برای بهبود بهره‌وری انرژی وسیله برقی کارا افزایش خواهند یافت. بنابراین اعضا می‌توانند با اتخاذ سیاست‌هایی که منجربه کاهش حساسیت تقاضای یک محصول نسبت‌به قیمت خودش و یا افزایش حساسیت تقاضای آن محصول نسبت‌به قیمت محصول دیگر می‌شوند، تقاضای محصولات و مقادیر سودشان را افزایش دهند.

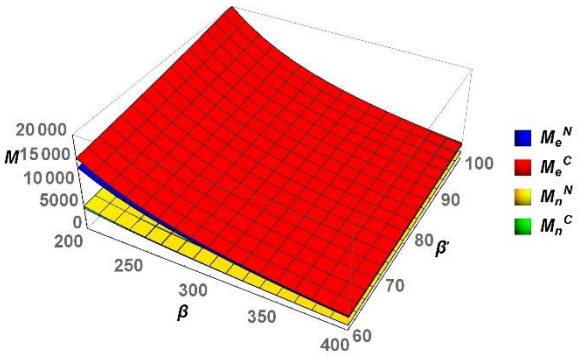
تحلیل حساسیت مربوط به پارامترهای θ و θ' در شکل (۳) نشان داده شده است. به‌وضوح با افزایش حساسیت تقاضای وسایل برقی کارا و ناکارا نسبت‌به میزان بهره‌وری انرژی محصول کارا، قیمت و تقاضای محصول کارا افزایش و قیمت و تقاضای محصول ناکارا کاهش می‌یابند. در این شرایط مقادیر سود تخصیص‌داده‌شده به تولیدکننده و نمایندگی محصول کارا افزایش و مقادیر سود مربوط به تولیدکننده و نمایندگی محصول ناکارا کاهش خواهند یافت. همچنین نرخ بهبود بهره‌وری انرژی و میزان سرمایه‌گذاری برای بهبود بهره‌وری انرژی وسیله برقی کارا نیز بیشتر می‌شوند. به‌عنوان نتیجه، سیاست‌هایی که منجربه افزایش حساسیت تقاضای محصولات نسبت به‌میزان بهره‌وری انرژی محصول کارا می‌شوند، از دیدگاه تولیدکننده و نمایندگی آن محصول اقتصادی هستند. این نتیجه به‌صورت برعکس برای تولیدکننده و نمایندگی وسیله برقی ناکارا قابل توجیه خواهد بود.



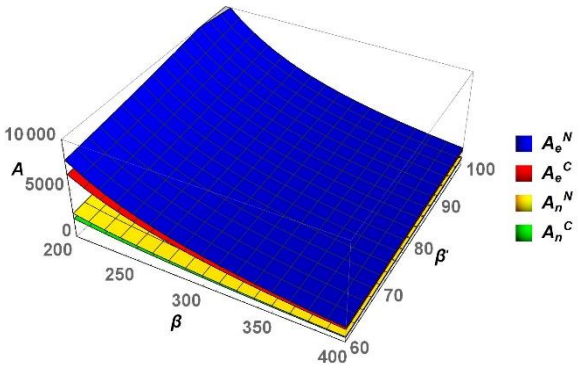
شکل (۲-الف). تغییرات قیمت فروش محصولات



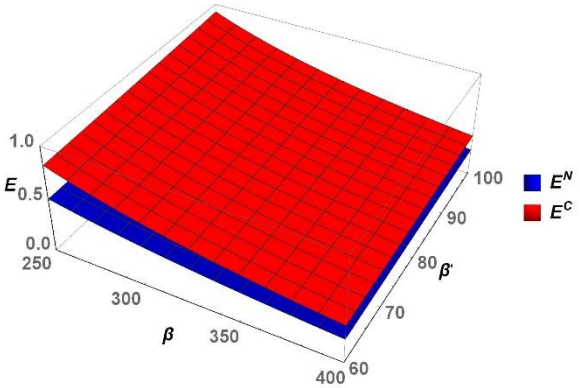
شکل (۲-ب). تغییرات تقاضای محصولات



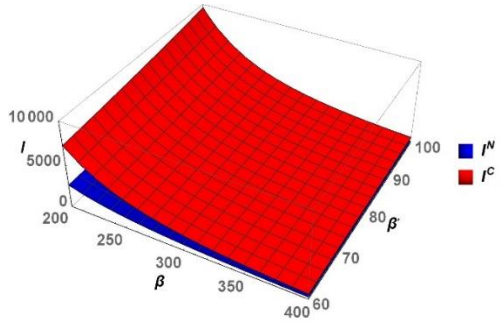
شکل (۲-پ). تغییرات سود تولیدکننده‌ها



شکل (۲-ت). تغییرات سود نمایندگی‌ها



شکل (۲-ث). تغییرات نرخ بهبود بهره‌وری انرژی

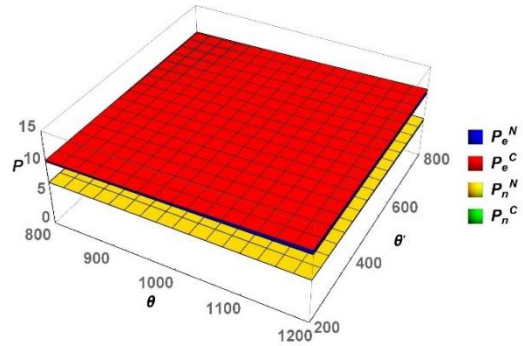


شکل (۲-ج). تغییرات سرمایه‌گذاری برای بهره‌وری انرژی

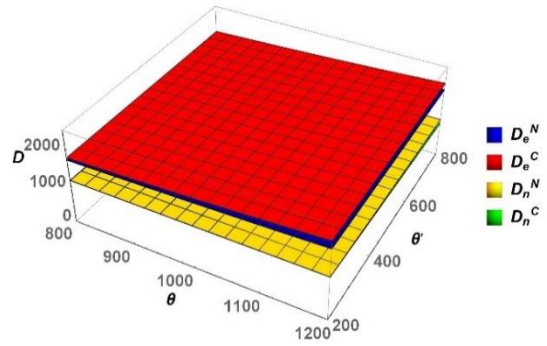
شکل (۲). تحلیل حساسیت پارامترهای β و β'

همچنین تحلیل حساسیت مربوط به پارامتر γ در شکل (۴) نشان داده شده است. باتوجه به شکل (۴) با افزایش هزینه تلاش تولیدکننده برای بهبود بهره‌وری انرژی وسیله برقی کارا، قیمت و تقاضای محصول کارا، سودهای تخصیص‌داده‌شده به تولیدکننده و نمایندگی مربوطه،

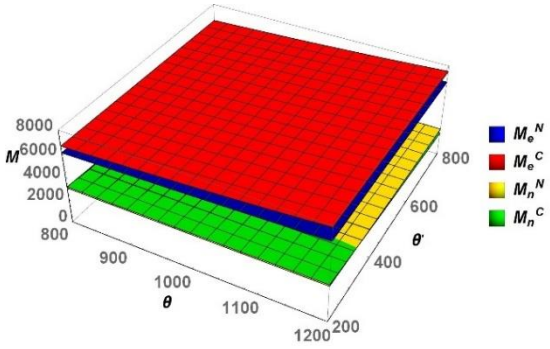
نرخ بهبود بهره‌وری انرژی و میزان سرمایه‌گذاری برای بهبود بهره‌وری انرژی آن کمتر شده و مقادیر متناظر برای وسیله برقی ناکارا افزایش می‌یابند؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت سیاست‌هایی که هزینه بهبود بهره‌وری انرژی وسایل برقی را کاهش می‌دهند، از دیدگاه تولیدکننده و نمایندگی آن محصول مقرون‌به‌صرفه خواهند بود.



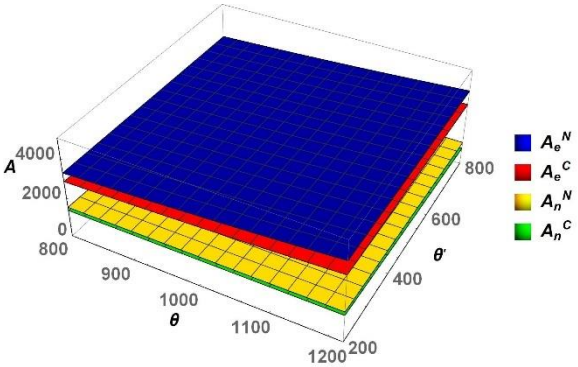
شکل (۳-الف). تغییرات قیمت فروش محصولات



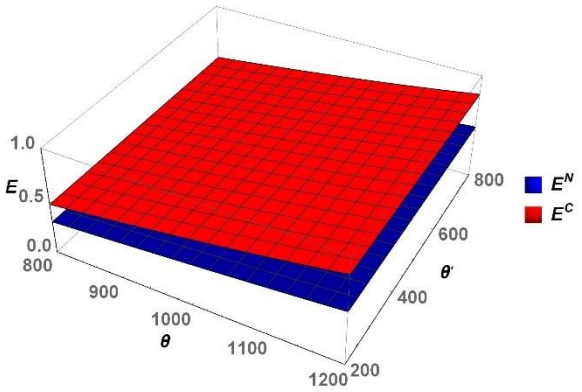
شکل (۳-ب). تغییرات تقاضای محصولات



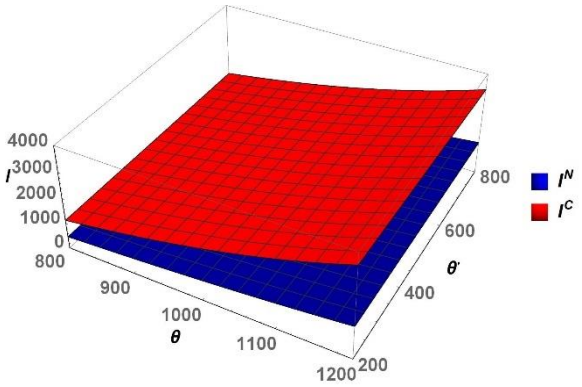
شکل (۳-پ). تغییرات سود تولیدکننده‌ها



شکل (۳-ت). تغییرات سود نمایندگی‌ها

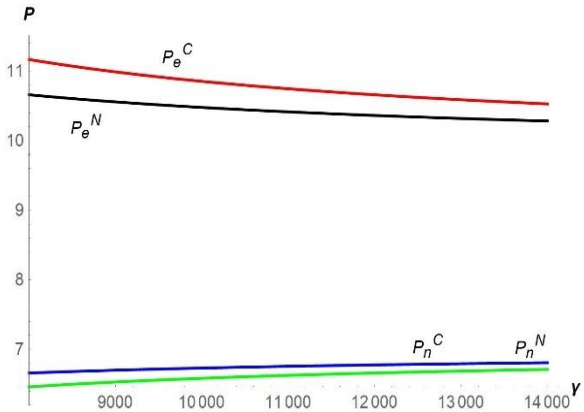


شکل (۳-ث). تغییرات نرخ بهبود بهره‌وری انرژی

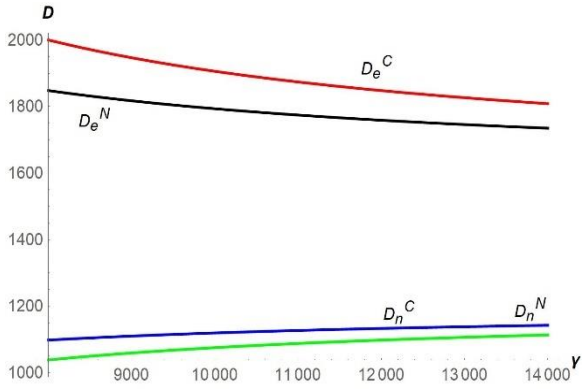


شکل (۳-ج). تغییرات سرمایه‌گذاری برای بهره‌وری انرژی

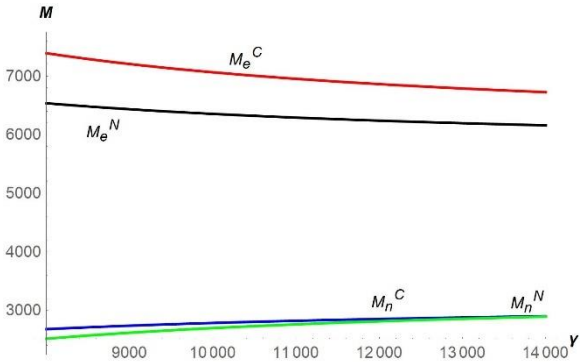
شکل (۳). تحلیل حساسیت پارامترهای θ و θ'



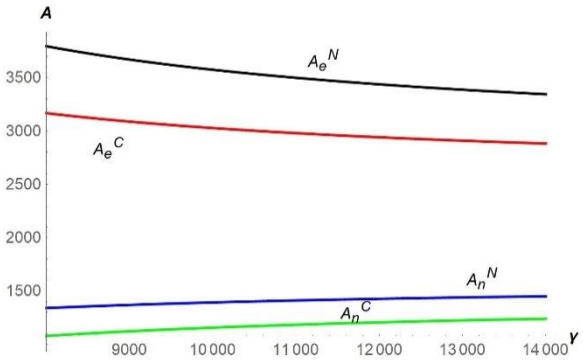
شکل (۴-الف). تغییرات قیمت فروش محصولات



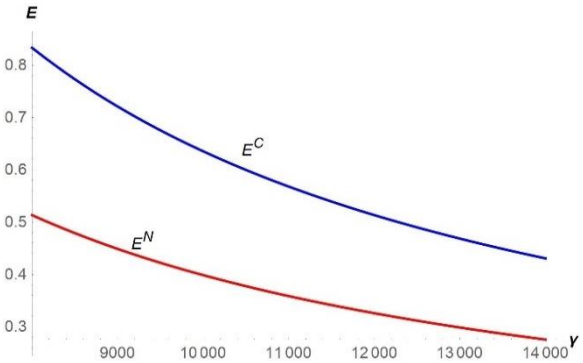
شکل (۴-ب). تغییرات تقاضای محصولات



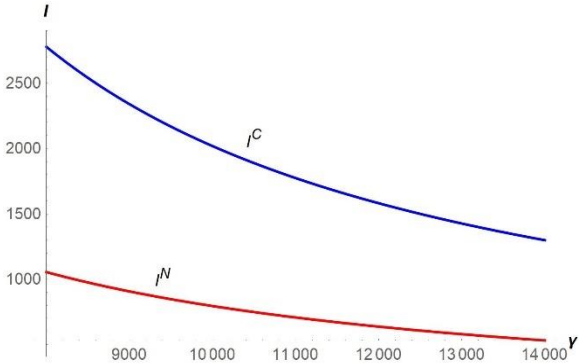
شکل (۴-پ). تغییرات سود تولیدکننده‌ها



شکل (۴-ت). تغییرات سود نمایندگی‌ها



شکل (۴-ث). تغییرات نرخ بهبود بهره‌وری انرژی



شکل (۴-ج). تغییرات سرمایه‌گذاری برای بهره‌وری انرژی

شکل (۴). تحلیل حساسیت پارامتر γ

۵. جمع‌بندی و پیشنهادها

در این تحقیق زنجیره تأمینی شامل دو تولیدکننده و دو نمایندگی درنظر گرفته شد. در ساختار موردبررسی، دو وسیله برقی جایگزین توسط دو تولیدکننده رقیب تولید شده و به‌کمک دو نمایندگی به مشتریان فروخته می‌شوند. در بازار، تقاضای مشتریان برای این دو وسیله برقی باتوجه به قیمت فروش و نرخ بهره‌وری انرژی آن‌ها تعیین می‌شوند. به‌همین منظور، یک از تولیدکننده‌ها تصمیم دارد بر روی بهبود بهره‌وری انرژی محصولات خود سرمایه‌گذاری کند.

سپس از رویکرد نظریه بازی برای اتخاذ تصمیمات و یافتن تعادل در مسأله تعریف‌شده استفاده گردید. بدین منظور مسأله تحت دو بازی نش و زنجیره‌به‌زنجیره مدل‌سازی و تحلیل شد. در بازی نش، رقابت مستقل میان اعضا درنظر گرفته می‌شود؛ درحالی‌که در بازی زنجیره‌به زنجیره، زنجیره تأمین محصولات با یکدیگر رقابت می‌نمایند.

درادامه تحلیل‌های مربوط به تصمیمات و بازی‌های موردبررسی انجام شده و نتایج حاصل از آن‌ها ارائه شدند.

ابتدا شرایطی را بررسی نمودیم که تحت آن‌ها بتوان از طریق بهبود سطح بهره‌وری انرژی محصولات، مشتریان بیشتری را جذب نمود. نتایج نشان می‌دهند که تولیدکننده محصول کارا می‌تواند تحت برخی شرایط با سرمایه‌گذاری برای بهبود بهره‌وری انرژی محصولات خود، مشتریان بیشتری را جذب نماید.

سپس بدین سؤال پاسخ دادیم که تحت چه شرایطی برای تولیدکننده وسیله برقی مقرون‌به‌صرفه است تا بر روی بهبود بهره‌وری انرژی محصولات خود سرمایه‌گذاری کند؟ باتوجه به نتایج، از دیدگاه تولیدکننده وسیله برقی کارا اقتصادی است که برای بهبود بهره‌وری انرژی محصولات خود سرمایه‌گذاری کند، اگر برخی شرایط برقرار باشند.

درنهایت نیز یک تحلیل حساسیت انجام شد تا نحوه تغییر تصمیمات نسبت‌به تغییر برخی پارامترهای مسأله مشخص شوند. باتوجه به نتایج، با اتخاذ سیاست‌هایی که منجربه کاهش حساسیت تقاضای یک محصول نسبت‌به قیمت خودش و یا افزایش حساسیت تقاضای آن محصول نسبت‌به قیمت محصول دیگر می‌شوند، تقاضای محصولات و مقادیر سود اعضا افزایش می‌یابند. با اتخاذ سیاست‌هایی که منجربه افزایش حساسیت تقاضای محصولات نسبت به میزان بهره‌وری انرژی محصول کارا می‌شوند، مقادیر سود تولیدکننده و نمایندگی آن محصول افزایش خواهند یافت. همچنین سیاست‌هایی که هزینه بهبود بهره‌وری انرژی وسایل برقی را کاهش می‌دهند، از دیدگاه تولیدکننده و نمایندگی آن محصول مقرون‌به‌صرفه هستند.

در مطالعات آتی می‌توان از انواع قراردادهای طراحی‌شده در مدیریت زنجیره تأمین برای یکپارچه‌سازی تصمیمات در مسأله مورد بررسی استفاده نمود. در این تحقیق از یک تابع خطی برای فرمول‌بندی تقاضای محصولات استفاده گردید. در تحقیقات آتی می‌توان از توابع غیرخطی موجود در ادبیات نیز بدین منظور استفاده نمود. در تحقیقات آینده می‌توان تأثیر حمایت‌های دولت از محصول با کارایی انرژی بالاتر را بر روی رفتار خرید مشتریان بررسی نمود. همچنین می‌توان از بازی استکلبرگ که در آن قدرت تصمیم‌گیری تولیدکننده‌ها بیشتر از نمایندگی‌ها است، نیز برای تحلیل تصمیمات استفاده نمود.

مراجع

[1] Emrani, A., et al., Assessment of the round-trip efficiency of gravity energy storage system: Analytical and numerical analysis of energy loss mechanisms. Journal of Energy Storage, 2022. 55: p. 105504.

[2] İnada, A.A., S. Arman, and B. Safaei, A novel review on the efficiency of nanomaterials for solar energy storage systems. Journal of Energy Storage, 2022. 55: p. 105661.

[3] Hu, S., et al., Energy efficiency and power density analysis of a tube array liquid piston air compressor/expander for compressed air energy storage. Journal of Energy Storage, 2022. 55: p. 105674.

[4] Aouzellag, H., et al., Proposed hysteresis energy management strategy based on storage system efficiency for hybrid electric vehicle. Journal of Energy Storage, 2022. 54: p. 105259.

[5] Tushar, Q., et al., An integrated approach of BIM-enabled LCA and energy simulation: The optimized solution towards sustainable development. Journal of Cleaner Production, 2021. 289: p. 125622.

[6] Lasala, S., et al., Thermo-chemical engines: Unexploited high-potential energy converters. Energy Conversion and Management, 2021. 229: p. 113685.

[7] Desideri, U., S. Proietti, and P. Sdringola, Solar-powered cooling systems: Technical and economic analysis on industrial refrigeration and air-conditioning applications. Applied Energy, 2009. 86(9): p. 1376-1386.

[8] Hanif, I., Impact of fossil fuels energy consumption, energy policies, and urban sprawl on carbon emissions in East Asia and the Pacific: A panel investigation. Energy strategy reviews, 2018. 21: p. 16-24.

[9] Chapman, A.J., B.C. McLellan, and T. Tezuka, Prioritizing mitigation efforts considering co-benefits, equity and energy justice: Fossil fuel to renewable energy transition pathways. Applied energy, 2018. 219: p. 187-198.

[10] Ezbakhe, F. and A .Pérez-Foguet, Decision analysis for sustainable development: The case of renewable energy planning under uncertainty. European journal of operational research, 2021. 291(2): p. 601-613.

[11] Skevas, I., Inference in the spatial autoregressive efficiency model with an application to Dutch dairy farms. European Journal of Operational Research, 2020. 283(1): p. 356-364.

[12] Prabakaran, V., et al., Studying the energy efficiency feasibility of composite superabsorbent coated heat exchangers in open-cycle heat transformation applications. Energy Conversion and Management, 2022. 266: p. 115867.

[13] Brugger, H. and A.D. Henry, Influence of policy discourse networks on local energy transitions. Environmental Innovation and Societal Transitions, 2021. 39: p. 141-154.

[14] Farmann, A. and D.U. Sauer, A comprehensive review of on-board State-of-Available-Power prediction techniques for lithium-ion batteries in electric vehicles. Journal of Power Sources, 2016. 329: p. 123-137.

[15] Farmann, A. and D.U. Sauer, Comparative study of reduced order equivalent circuit models for on-board state-of-available-power prediction of lithium-ion batteries in electric vehicles. Applied Energy, 2018. 225: p. 1102-1122.

[۱۶] جعفری، حامد و حقیقی، محمدحسین (۱۴۰۰). تصمیمات قیمت‌گذاری و خدمات خرده‌فروشی در زنجیره‌تأمینی شامل یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش بااستفاده از رویکرد نظریه بازی، نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۱۱: ۱۳۵-۱۲۵.

[۱۷] جعفری، حامد (۱۴۰۲). رویکرد نظریه بازی برای تحلیل تصمیمات قیمت‌گذاری و تبلیغات مشارکتی دو محصول جایگزین تحت زنجیره‌تأمینی شامل دو تولیدکننده و دو فروشنده، نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۱۱: ۹۵-۸۳.

[18] Nie, P.-Y., C. Wang, and Y.-C. Yang, Comparison of energy efficiency subsidies under market power. Energy Policy, 2017. 11: p. 144-149.

[19] Jafari, H., Energy storage by improving energy-efficiency of electricity home appliances under governmental supporting policies: A game-theoretic approach. Journal of Energy Storage, 2023. 63: p. 106972.

[20] Nie, P.-y., et al., How to subsidize energy efficiency under duopoly efficiently? Applied Energy, 2016. 175: p. 31-39.

[21] Ouyang, J. and P. Ju, The choice of energy saving modes for an energy-intensive manufacturer under non-coordination and coordination scenarios. Energy, 2017. 126: p. 733-745.

[22] Zhang, W., et al., Investigating the inferior manufacturer's cooperation with a third party under the energy performance contracting mechanism. Journal of Cleaner Production, 2020. 272: p. 122530.

[23] Huimin, L., Z. Xinyue, and H. Mengyue, Game-theory-based analysis of Energy Performance Contracting for building retrofits. Journal of cleaner production, 2019. 231: p. 1089-1099.

[24] Chen, X., Z. Luo, and X. Wang, Impact of efficiency, investment, and competition on low carbon manufacturing. Journal of cleaner production, 2017. 143: p. 388-400.

[25] Hafezalkotob, A., Competition, cooperation, and coopetition of green supply chains under regulations on energy saving levels. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2017. 97: p. 228-250.

IERPS Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

ISSN: 2345-2269

Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

Autumn and Winter 2023, Volume 11., No. 23., pp. 91-103
www.ier.basu.ac.ir

DOI: https://dx.doi.org/10.22084/IER.2024.5567

Investigating Effects of Energy-Efficiency Improvement of Two Substitutable Electricity Products on Customers' Behavior Using Game-Theoretic Approach

Hamed Jafari[1]

[1]. Assistant Professor, Industrial Engineering Group, Golpayegan College of Engineering, Isfahan University of Technology, Golpayegan, Iran

ARTICLE INFO

***Article history*:**

Received 4 October 2023
Accepted 8 January 2024

***Keywords*:**

Substitutable Electricity Products
Energy-Efficiency
Pricing
Game Theory
Nash Equilibrium

ABSTRACT

Consider two substitutable electricity home-appliances that are produced by two competing manufacturers and are then sold to customers by two agencies. In the considered market, customers' demands for these products are specified based on the selling prices as well as their energy-efficiency levels. To attract customers, one of the manufacturers aims to invest on the energy-efficiency improvement of his products. In this research, the pricing and energy-efficiency decisions are investigated on the mentioned problem. Moreover, the game theory is applied to set these decisions. In this setting, the problem is analyzed under Nash and Chain-to-chain games. In Nash game, the competition among the members is independently considered, while the products' supply chains compete in Chain-to-chain game. Finally, the decisions are analyzed and some results and insights are provided. The results indicate that under some conditions, it is possible to attract more customers and obtain higher profits by investing on the energy-efficiency improvement. Due to the competition between both supply chains, the members' profits in the cooperative mode may be set lower than in the competitive mode. Also, policies that reduce the cost for the energy-efficiency improvement of an electricity appliance will be beneficial for its members.

* Corresponding author. H. Jafari
Tel.:031-57243238; E-mail address: hamed.jafari@iut.ac.ir