نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

سال دوازدهم، شماره بیست و چهارم، بهار و تابستان ۱۴۰۳، صفحه ۱۱۵-۱۳۱

www.ier.basu.ac.ir

ISSN: 2345-2269

DOI: https://doi.org/10.22084/ier.2024.29059.2164

یک رویکرد نظریه بازی برای قیمت‌گذاری در زنجیره‌تأمین دوکاناله با درنظر گرفتن خدمات لجستیک

شایسته عابدینی‌ندوشن[۱]، محمدعلی اقبالی[۲]، مرتضی راستی‌برزکی[۳*]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکدهٔ مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۲. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی کامپیوتر و صنایع، دانشگاه صنعتی بیرجند، بیرجند، ایران

۳. استاد گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۸۳۱۱۱-۸۴۱۵۶، اصفهان، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۴۰۲/۱۲/۲۵

پذیرش ۱۴۰۳/۳/۲۱

(مقاله پژوهشی)

کلمات کلیدی:

قیمت‌گذاری

نظریه بازی

تعادل استکلبرگ

زنجیره‌تأمین با دو کانال توزیع

زنجیره‌تأمین خدمات لجستیک

خلاصه

این پژوهش مسأله قیمت‌گذاری در یک زنجیره‌ی تأمین شامل شرکت تولیدی، خرده‌فروش، ارائه‌دهنده خدمات لجستیک و ادغام‌کننده خدمات لجستیک را بررسی می‌کند. در این زنجیره‌تأمین سه محصول وجود دارد. دو محصول فیزیکی که توسط شرکت تولیدی ارائه می‌شوند و یک محصول به‌عنوان خدمت که توسط ارائه‌دهنده خدمات لجستیک ارائه می‌شود. دو محصول فیزیکی از طریق کانال آنلاین و کانال خرده‌فروشی به فروش می‌رسند. ارائه‌دهنده خدمات لجستیک، خدمت را برای ارسال محصول دوم به مشتری ارائه‌می‌کند. در این مقاله برای اولین‌بار، در کانال توزیع مستقیم نقش اعضای زنجیره‌تأمین لجستیک شامل اثر سطح خدمات لجستیک و قیمت خدمات درنظر گرفته شده است. هدف از این تحقیق بررسی اثر ادغام اعضای زنجیره‌تأمین بر سود سایر اعضا و سطح خدمت است. از این‌رو، مسأله تحت چهار سناریوی مختلف (غیرمتمرکز، ادغام تولیدکننده با خرده‌فروش، ادغام ارائه‌دهنده خدمات با ادغام‌کننده خدمات و ادغام تولیدکننده با خرده‌فروش و ارائه‌دهنده خدمات با ادغام‌کننده خدمات) بررسی می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که ادغام دو عضو زنجیره‌تأمین معمولاً سود را برای سایر اعضا کاهش می‌دهد. ادغام ارائه‌دهنده و یکپارچه‌کننده خدمات لجستیک می‌تواند سود تولیدکننده را افزایش و سود خرده‌فروش را کاهش دهد. به‌طور مشابه، ادغام تولیدکننده و خرده‌فروش معمولاً منجربه کاهش سود برای ارائه‌دهندگان خدمات لجستیک و ادغام‌کنندگان می‌شود. در سناریوی غیرمتمرکز، اگر قیمت خدمات و ضرایب خدمات افزایش یابد، سطح خدمات افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش هزینه خدمات، سطح خدمات را افزایش می‌دهد.

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر با توسعه‌ی اینترنت، تجارت الکترونیک[۲] گسترش یافته است. شرکت‌ها برای تحویل محصولات فروخته‌شده ازطریق کانال مستقیم به مشتری فعالیت‌های تدارکاتی را برون‌سپاری می‌کنند. درنتیجه خدمات لجستیکی، به زنجیره‌تأمین خدمات لجستیک[۳] واگذار می‌شود. زنجیره‌تأمین خدمات لجستیک شامل دو عضو است: ۱) ارائه‌دهنده خدمات لجستیک[۴] که ظرفیت تدارکات را تأمین می‌کند. و ۲) ادغام‌کننده خدمات لجستیک[۵] که ظرفیت خدمات لجستیکی مانند حمل‌ونقل و انبار را از ارائه‌دهنده‌ی خدمات لجستیکی خریداری می‌کند و با ادغام کردن ظرفیت‌ها، خدمات لجستیک یکپارچه را به مشتریان ارائه می‌دهد. درواقع محصولی که از طریق کانال آنلاین

* نویسنده مسئول: مرتضی راستی برزکی

تلفن: ۰۵۶-۳۹۳۲۱۴۴۱؛ پست الکترونیکی: rasti@cc.iut.ac.ir

2. e-commerce
3. Logistics service supply chain (LSSC)
4. Functional logistics service providers (FLSPs)
5. Logistics service integrator (LSI)

به‌دست مشتری می‌رسد، شامل دو محصول است، محصول فیزیکی به‌عنوان کالای اصلی و خدمات لجستیکی.

بصیری و حیدری [۱]، مسأله هماهنگی زنجیره‌تأمین سبز دومرحله‌ای با محصولات جایگزین را بررسی کردند. در این زنجیره‌تأمین یک محصول غیرسبز به فروش می‌رسد. مدیریت زنجیره قصد دارد در کنار محصول فعلی محصول جدید سبز را ارائه کند. تقاضا برای هر دو محصول تابعی از قیمت خرده‌فروشی و همچنین سطح سبز بودن محصول و سطح تلاش فروش در خرده‌فروشی است. لی و همکاران [۲]، خرید ظرفیت خدمات در یک زنجیره‌تأمین خدمات لجستیک را بررسی کردند. آن‌ها یک زنجیره‌تأمین دوسطحی شامل یک ارائه‌دهنده خدمات لجستیک و یک ادغام‌کننده خدمات لجستیک را در شرایط به‌روزشدن تقاضا و با درنظر گرفتن رفتار گریز از ضرر اعضای زنجیره‌تأمین بررسی کردند. مسأله با استفاده از بازی استکلبرگ در ۴ سناریو بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که: ۱- اولویت گریز از ضرر همیشه بر تصمیمات اعضای زنجیره‌تأمین اثر نمی‌گذارد. ۲- افزایش سطح خدمات می‌تواند بر استراتژی خرید ادغام‌کننده خدمات لجستیک و استراتژی قیمت‌گذاری ارائه‌دهنده خدمات لجستیک تأثیر بگذارد. وانگ و همکاران [۳]، یک زنجیره‌تأمین شامل دو تولیدکننده و یک خرده‌فروش را بررسی کردند. یکی از تولیدکنندگان فقط از طریق خرده‌فروش، محصول خود را به فروش می‌رساند. تولیدکننده‌ی دیگر علاوه‌بر استفاده از کانال توزیع سنتی از کانال مستقیم نیز برای فروش محصول خود استفاده می‌کند. دو محصولی که در این زنجیره‌تأمین وجود دارند، مکمل یکدیگر هستند. این مسأله در چهار سناریو حل شده است. نتایج نشان می‌دهد که مناقشه بین دوکانال منجربه کاهش تقاضای مصرف‌کننده در کانال خرده‌فروشی می‌شود. همچنین لی و همکاران [۴]، استراتژی قیمت‌گذاری در عملیات فروش دو مرحله‌ای را بررسی کردند. در این فروش دو فروشنده با محصول‌های مکمل وجود دارند. محصول اول ارزش مستقل دارد و محصول دوم فقط در ترکیب با محصول اول دارای ارزش است. فروش در دو دوره انجام می‌شود. در دوره‌ی دوم تخفیف ارائه می‌شود. مشتریان یا در دوره‌ی اول محصول را می‌خرند و یا برای تخفیف مرحله‌ی دوم منتظر می‌مانند. رنجان و همکاران [۵]، یک زنجیره‌تأمین با دو کانال توزیع را بررسی کردند. در این زنجیره‌تأمین تولیدکننده، محصولات سبز را از کانال آنلاین و محصولات غیرسبز را از کانال سنتی و از طریق یک خرده‌فروش به‌دست مشتری می‌رساند. در این مقاله سطح سبز بودن محصول (برای محصول سبز) و سطح تلاش خرده‌فروش (برای محصول غیرسبز)، درنظر گرفته شده است. این دو محصول به‌عنوان محصولات جایگزین هستند. مسأله در دو حالت متمرکز و غیرمتمرکز حل شده است. نتایج نشان می‌دهد، سطح سبز بودن محصول در حالت متمرکز بالاتر است. رحمانی و یاوری [۶]، سیاست‌های قیمت‌گذاری و سبزسازی محصول در یک زنجیره‌تأمین با دو کانال توزیع در شرایطی که در تقاضا اختلال ایجاد می‌شود را بررسی کردند. زنجیره‌تأمین شامل یک تولیدکننده محصولات سبز و یک خرده‌فروش است. مسأله در دو حالت متمرکز و غیرمتمرکز بررسی شده‌است. نتایج نشان می‌دهد، با افزایش اختلال در بازار یا کاهش هزینه‌های سبزسازی محصول، قیمت‌های بهینه در هر دو ساختار تصمیم‌گیری افزایش می‌یابد. جمالی و راستی [۷]، یک زنجیره‌تأمین شامل دو تولیدکننده و دو خرده‌فروش را بررسی کردند. در این زنجیره‌تأمین یک تولیدکننده محصولات سبز و دیگری محصول غیرسبز تولید می‌کند. هر دو تولیدکننده محصول خود را از هر دو کانال آنلاین وخرده‌فروشی به‌دست مشتری می‌رسانند. مسأله در دو سناریو متمرکز و غیرمتمرکز حل شده است. نتایج عددی نشان می‌دهد که در سناریو متمرکز، علاوه‌بر سود بیشتر، محصول سبز می‌تواند با درجه سبز بالاتر تولید شود. رئیسی و همکاران [۸]، رقابت دو تولیدکننده و یک خرده‌فروش مشترک را برای فضای قفسه و قیمت در دو حالت متمرکز و غیرمتمرکز بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد، درصورتی‌که دو برند تقریباً یکسان باشند، ادغام اعضای زنجیره‌تأمین باعث افزایش سود هر دو تولیدکننده می‌شود. در غیر این صورت سود برند ضعیف‌تر کاهش می‌یابد. راج و همکاران [۹]، قراردادهای عرضه در زنجیره‌تأمین پایدار را با استفاده از نظریه بازی بررسی کردند. شرکت تولیدی، مسئول سبزسازی و خرده‌فروش مسئول سطح خدمات برای فروش محصول غیرسبز است. مدل با استفاده از پنج نوع قرارداد متفاوت تجزیه و تحلیل شده است. نتایج نشان می‌دهد که مکانیسم‌های هماهنگی بین تأمین‌کننده و خریدار منجربه افزایش سطح سبز و سطح خدمت می‌شود. هوانگ و همکاران [۱۰]، زنجیره‌تأمین سبز با چندین تأمین‌کننده، چند خرده‌فروش و یک تولیدکننده را درنظر گرفتند. آن‌ها هم‌زمان تأثیرات طراحی خط تولید، انتخاب تأمین‌کننده، انتخاب مد حمل‌ونقل، استراتژی قیمت‌گذاری با درنظر گرفتن انتشار گازهای گلخانه‌ای را بررسی کردند. یانگ و شیائو [۱۱]، قیمت‌گذاری و سطح سبز بودن محصول را در حالت فازی با درنظر گرفتن دولت مطالعه کردند. آن‌ها مسأله را باتوجه به قدرت چانه‌زنی اعضای زنجیره‌تأمین، در سه سناریو بررسی کردند. در سناریوهای اول و دوم از تعادل استکلبرگ استفاده شده است و به‌ترتیب تولیدکننده و خرده‌فروش رهبر هستند. در سناریو سوم اعضای زنجیره‌تأمین از قدرت چانه‌زنی یکسان برخوردارند و مسأله با استفاده از تعادل نش بررسی می‌شود. ژائو و همکاران [۱۲]، سیاست‌های قیمت‌گذاری برای محصولات مکمل در یک زنجیره‌تأمین دو کاناله با دو تولیدکننده و یک خرده‌فروش را بررسی کردند. در این مسأله فقط یکی از تولیدکننده‌ها از هر دو کانال توزیع استفاده می‌کند. مسأله باتوجه به ساختار قدرت میان اعضای زنجیره‌تأمین، در چهار سناریو بررسی شده‌است. لیو و همکاران [۱۳]، اثر یارانه دولت بر تشویق شرکت‌ها برای انجام مسئولیت اجتماعی را بررسی کردند. در این مسأله دولت، یک خرده‌فروش غالب و تعدادی تولیدکننده وجود دارد. چن و همکاران [۱۴]، یک زنجیره‌تأمین فتوولتانیک را بررسی کردند. در این مسأله دولت، یک تأمین‌کننده و یک مونتاژکننده وجود دارد. هدف ایجاد حداکثر رفاه اجتماعی با حداقل یارانه از طرف دولت

است.

بررسی صورت گرفته در ادبیات موضوع با تأکید بر قیمت‌گذاری در زنجیره‌های تأمین دوکاناله، جنبه‌های کلیدی مختلفی را برجسته می‌کند. باتوجه به مطالب فوق و پیشنیه تحقیق، مطالعات قبلی بر اهمیت سلیقه و ترجیحات مصرف‌کننده، به اشتراک‌گذاری اطلاعات، مدل‌های تصمیم‌گیری و سطح خدمات در ساختارهای یک یا چندکانالی در زنجیره‌تأمین تأکید دارد. تحقیقات نشان می‌دهد که عواملی مانند ترجیحات کم‌کربن مصرف‌کنندگان [۱۵]، به اشتراک‌گذاری اطلاعات دوطرفه بین تولیدکنندگان و خرده‌فروشان [۱۶]، استراتژی‌های قیمت‌گذاری متمایز برای زنجیره‌های تأمین معکوس [۱۷]، تأثیر رفاه عمومی در تصمیمات قیمت‌گذاری در زنجیره‌های تأمین خدمات [۱۸] و تأثیر سطح خدمات بر رفتار و تصمیمات قیمت‌گذاری [۱۹] بسیار مهم است. این یافته‌ها بر اهمیت درنظر گرفتن عناصر متنوع مانند رفتار مصرف‌کننده، اشتراک اطلاعات و سطح خدمات هنگام تدوین استراتژی‌های قیمت‌گذاری در زنجیره‌های تأمین دو کانال با خدمات لجستیک تأکید می‌کند. برخی از محققین نیز مسأله قیمت‌گذاری در زنجیره‌های تأمین دوکاناله را با تأکید بر رقابت بین کانال‌ها، استراتژی‌های سبز و انتشار کربن و پویایی زنجیره بررسی کرده‌اند [۲۰]. همچنین مقوله‌هایی ازقبیل سطح خدمات و سطح مسئولیت اجتماعی شرکت و تأثیر آن بر فرآیند قیمت‌گذاری نیز مورد توجه بوده است [۲۱].

خدمات لجستیک نقش مهمی در اثربخشی استراتژی‌های قیمت‌گذاری زنجیره‌تأمین دوکاناله دارند. در یک زنجیره‌تأمین دوکاناله، سطح خدمات لجستیک بر تصمیمات قیمت‌گذاری و سودآوری کلی تأثیر می‌گذارد [۱۶]. تولیدکنندگان و خرده‌فروشان هنگام تعیین قیمت باید سطح خدمات لجستیکی را به‌عنوان عاملی غیرقابل انکار درنظر بگیرند، زیرا این سطح تأثیر به‌سزایی بر قیمت‌ها در کانال خرده‌فروشی الکترونیکی دارد [۲۲]. علاوه‌بر این، هزینه‌های تدارکات بر توزیع سود بین کانال‌های آنلاین و آفلاین تأثیر می‌گذارد و اهمیت بهینه‌سازی لجستیک و فرآیندهای عملیاتی را برای به حداکثر رساندن سود برجسته می‌کند [۲۳]. تعامل بین خدمات لجستیک و تصمیمات قیمت‌گذاری برای دست‌یابی به یک وضعیت برد-برد در زنجیره‌تأمین ضروری است، به‌ویژه هنگامی‌که خرده‌فروشی‌های الکترونیکی قدرت چانه‌زنی خود را افزایش می‌دهند [۲۴].

در تحقیقات مذکور، نقش اعضای زنجیره‌تأمین لجستیک در قالب اثر عواملی همچون سطح خدمات و قیمت خدمات لجستیک بر قیمت‌گذاری با رویکرد نظریه بازی لحاظ نشده است. علاوه‌بر این اثر ادغام اعضای مختلف زنجیره‌تأمین و تأثیر هم‌افزایی بین آن‌ها بر سودآوری اعضای دیگر و کل زنجیره مورد بررسی قرار نگرفته است. در مطالعات گذشته، نقش اعضای زنجیره‌تأمین لجستیک مربوط به ارسال محصول در کانال مستقیم بررسی نشده است. از سوی دیگر، این تحقیق سعی دارد برای اولین بار اثر ادغام اعضای زنجیره‌تأمین بر سطح خدمت را بررسی نماید. بنابراین، تجزیه و تحلیل اثرات ادغام اعضای زنجیره‌تأمین و هم‌افزایی بین آن‌ها بر سودآوری اعضای دیگر و کل زنجیره و نیز تأثیر نقش اعضای فعال در بخش لجستیک بر قیمت‌گذاری و خدمات لجستیک، به‌عنوان نوآوری‌های مقاله حاضر می‌تواند از اهمیت برخوردار باشد. از این‌رو، در پژوهش حاضر، یک زنجیره‌تأمین با دو کانال توزیع (مستقیم و سنتی) بررسی شده است. در این مسأله دو محصول مکمل وجود دارد. هیچ‌کدام از این دو محصول به‌تنهایی ارزش ندارند. برای دست‌یابی به اهداف مذکور، پاسخ به سؤالات زیر ضروری است:

۱) تأثیر ادغام اعضای زنجیره‌تأمین تحت سناریوهای مختلف بر سود دیگر اعضا چگونه است؟
۲) تغییرات "هزینه سطح خدمات لجستیک" و "ضریب خدمات لجستیک" چگونه بر سود اعضای زنجیره‌تأمین اثرگذار است؟
۳) سطح خدمت لجستیک تحت تأثیر "قیمت عمده فروشی"، "هزینه سطح خدمات لجستیک" و "ضریب خدمات لجستیک" چگونه تغییر می‌کند؟

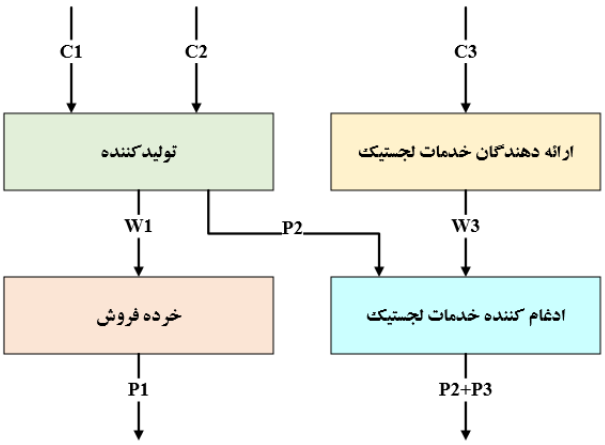
ساختار مقاله حاضر به این صورت است که، در بخش دوم تعریف مسأله بیان شده است. بخش سوم به مدل‌سازی مسأله با رویکرد نظریه بازی‌ها می‌پردازد. بخش چهارم به تحلیل نتایج حاصل از حل مسأله پرداخته و درنهایت، جمع‌بندی و نتایج حاصله و پیشنهادهای کاربردی در بخش ششم ارائه شده است.

۲. تعریف مسأله

مسأله شامل یک زنجیره‌تأمین با دو کانال توزیع است. مطابق شکل (۱)، شرکت تولیدی محصولات خود را از طریق دو کانال به فروش می‌رساند. محصول اول از طریق یک خرده‌فروش به بازار عرضه می‌شود. محصول دوم به‌صورت آنلاین فروخته می‌شود. ادغام‌کننده خدمات لجستیک، ظرفیت خدمات از ارائه‌دهنده خدمات لجستیک خریداری می‌کند و با ادغام خدمات، محصول عرضه شده در کانال آنلاین را به‌دست مشتری می‌رساند. درنتیجه محصول دوم به‌همراه یک کالا که از جنس خدمت است ارائه می‌شود. تقاضای محصول خدماتی ضریب ثابتی از تقاضای محصول دوم است.

ضریب خدمات لجستیک به‌عنوان یک معیار مهم برای ارزیابی اثربخشی و کارایی کلی یک ارائه‌دهنده خدمات لجستیک درنظر می‌گیرند. این ضریب ماحصل تلاش‌های لجستیکی شرکت در بهبود مستمر فاکتورهای مختلفی مانند تحویل به‌موقع، دقت سفارش، مدیریت موجودی و رضایت مشتری می‌باشد. با محاسبه این ضریب، شرکت‌ها می‌توانند عملکرد عملیات لجستیکی خود را ارزیابی و زمینه‌های بهبود را شناسایی کنند. هرچه این ضریب در یک شرکت ارائه‌دهنده خدمات لجستیک بالاتر باشد، معمولاً نشان‌دهنده سطح بالاتر کیفیت خدمات و درنهایت کسب رضایت مشتری است. با ردیابی معیارهایی مانند نرخ گردش موجودی، زمان تحویل سفارش و عملکرد تأمین‌کننده، شرکت ارائه‌دهنده خدمات لجستیک می‌تواند ضریب

خدمات لجستیکی را محاسبه کند. این امر می‌تواند به شرکت کمک کند تا زمینه‌هایی را برای بهبود شناسایی کند، مانند کاهش زمان تحویل یا بهینه‌سازی روابط تأمین‌کننده، تا کارایی و عملکرد کلی را افزایش دهد.



شکل (۱). ساختار مسأله

۲-۱. علائم

علائم مورد استفاده در این مقاله عبارتند از:

اندیس‌ها

m	تولیدکننده
r	خرده‌فروش
f	ارائه‌دهنده خدمات لجستیک
l	ادغام‌کننده خدمات لجستیک
mr	ادغام تولیدکننده و خرده‌فروش
fl	ادغام ارائه‌دهنده خدمات لجستیک و ادغام‌کننده خدمات لجستیک
t	تمام اعضای زنجیره‌تأمین
i	محصول، ($i = 1,2$ برای محصول فیزیکی و $i = 3$ برای محصول خدماتی)

پارامترها

α_i	تقاضای پایه محصول فیزیکی i
w_i	قیمت عمده‌فروشی محصول i
c_i	هزینه واحد تولید کالاها در شرکت تولیدی برای محصول اول و دوم
c_3	هزینه واحد عملیاتی در شرکت ارائه‌دهنده خدمات
β_i	کشسانی تقاضای هر محصول ناشی از تغییر قیمت خود محصول[1]
γ_i	کشسانی تقاضای هر محصول ناشی از تغییر قیمت محصول دیگر[2]
υ_i	حساسیت تقاضا به سطح خدمت در ارائه خدمات لجستیک برای محصول ۱ و ۲
μ	هزینه سطح خدمت
h	ضریب خدمات لجستیک لازم برای هر واحد از محصول دوم، $h \in [0,1]$

متغیرهای تصمیم

p_i	قیمت فروش محصول i
o	سطح خدمات لجستیک

توابع تقاضا و سود

D_i	تابع تقاضای محصول i
π_j	تابع سود اعضای زنجیره‌تأمین

علامت‌های اختصاری (سناریوها)

s_1	غیرمتمرکز
s_2	ادغام تولیدکننده و خرده‌فروش
s_3	ادغام ارائه‌دهنده خدمات و ادغام‌کننده خدمات
s_4	ادغام تولیدکننده و خرده‌فروش و ادغام ارائه‌دهنده خدمات و ادغام‌کننده خدمات

۳. مفروضات

- توابع تقاضا خطی و غیرمنفی هستند. (پژوهش‌های مشابه [۳،۵،۷]). همچنین، تقاضای خدمت، ضریب ثابتی از تقاضای محصول دوم است.
- مطابق با [۷]، قیمت خرده‌فروشی محصول اول و خدمات از هزینه تولید یا ارائه آن‌ها بزرگ‌تر است. ($C_1 < W_1$ و $C_3 < W_3$). قیمت فروش محصول اول و خدمات از قیمت عمده‌فروشی آن‌ها بزرگتر است ($W_1 < P_1$ و $W_3 < P_3$). همچنین، ، قیمت فروش محصول دوم از هزینه تولید آن‌بزرگتر است ($C_2 < P_2$).
- قیمت تمام‌شده محصول دوم برای مشتری شامل قیمت محصول دوم و خدمات است ($P_3 + P_2$). از سوی دیگر، در صورت افزایش قیمت یک محصول، تعداد مشتریانی که کاملاً از خرید منصرف می‌شوند از تعداد مشتریانی که محصول دیگر را می‌خرند بیشتر است ($\beta_2 > \gamma_1$ و $\beta_1 > \gamma_2$).
- هزینه افزایش سطح خدمت در کانال آنلاین به‌صورت $C(S) = \frac{\mu}{2}o^2$ محاسبه می‌شود. در مقالات متعددی همچون [۳]، [۲۵]، [۲۶] و [۲۷] این نوع هزینه‌ها به‌صورت کوادراتیک درنظر گرفته شده است. در اینجا نیز این ویژگی مورد نظر است. به این معنی که هرچه سطح خدمات لجستیک بهبود یابد، هزینه ارائه این خدمات افزایش بیشتری خواهد داشت.
- هزینه افزایش سطح خدمت در کانال آنلاین توسط ارائه‌دهنده خدمات پرداخت می‌شود. از سوی دیگر، باتوجه به هزینه مذکور، تغییر سطح خدمات بر تقاضای همان کانال نسبت‌به دیگری تأثیر بیشتری می‌گذارد ($\upsilon_1 < \upsilon_2$).
- مطابق با [۲]، ارائه‌دهنده خدمات، در زنجیره‌تأمین خدمات

1. Self-price elasticity

2. Cross-price elasticity

لجستیک ابتکار عمل را در دست دارد. بنابراین در سناریوها، ارائه‌دهنده خدمات، به‌عنوان رهبر و ادغام‌کننده خدمات به‌عنوان پیرو درنظر گرفته می‌شود.

- مطابق با [۷]، در زنجیره‌تأمین تولیدی، تولیدکننده ابتکار عمل را در دست دارد. بنابراین تولیدکننده، به‌عنوان رهبر و خرده‌فروش به‌عنوان پیرو درنظر گرفته می‌شود.

۳. مدل‌سازی و حل

همان‌طور که در بخش ۲ بیان شد در این تحقیق چهار سناریو بررسی وپس از تجزیه و تحلیل با هم مقایسه می‌شوند. از این‌رو، در ادامه باتوجه به مفروضات و تعریف مسأله توابع تقاضای مربوط به کالاهای فیزیکی و خدمات به‌صورت روابط (۱) تا (۳) بیان می‌شود:

$$D_1 = \alpha_1 - \beta_1 P_1 + \gamma_1 (P_2 + P_3) - v_1 O \quad (۱)$$

$$D_2 = \alpha_2 - \beta_2 (P_2 + P_3) + \gamma_2 P_1 + v_2 O \quad (۲)$$

$$D_3 = h(\alpha_2 - \beta_2 (P_2 + P_3) + \gamma_2 P_1 + v_2 O) \quad (۳)$$

باتوجه به روابط فوق، توابع تقاضای هر بازیکن به‌طور مستقیم تحت تأثیر قیمت محصولات و سطح خدمات لجستیک متغیر است. باتوجه به توابع تقاضا، توابع سود اعضای زنجیره‌تأمین به‌صورت روابط (۴) تا (۷) است:

$$\pi_m = (w_1 - c_1) D_1 + (p_2 - c_2) D_2 \quad (۴)$$

$$\pi_r = (p_1 - w_1) D_1 \quad (۵)$$

$$\pi_l = (p_3 - w_3) D_3 \quad (۶)$$

$$\pi_f = (w_3 - c_3) D_3 - \frac{\mu}{2} o^2 \quad (۷)$$

به‌منظور دست‌یابی به اهداف و پاسخ به سوالات اصلی تحقیق، مسأله حاضر تحت چهار سناریوی مختلف ("غیرمتمرکز"، "ادغام تولیدکننده و خرده‌فروش"، "ادغام ارائه‌دهنده خدمات و ادغام‌کننده خدمات" و درنهایت "ادغام تولیدکننده و خرده‌فروش و ادغام ارائه‌دهنده خدمات و ادغام‌کننده خدمات") مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد.

۳-۱. سناریو ۱

در این سناریو (غیرمتمرکز)، زنجیره‌تأمین تولیدی و زنجیره‌تأمین خدمات لجستیک با هم رقابت می‌کنند. رابطه‌بین اعضای هر زنجیره با بازی استکلبرگ بررسی می‌شود. در زنجیره‌تأمین تولیدی، خرده‌فروش پیرو و تولیدکننده رهبر است. در زنجیره خدمات لجستیک، ادغام‌کننده خدمات پیرو و ارائه‌دهنده خدمات رهبر است.

در این حالت برای حل مسأله از روش استنتاج معکوس استفاده می‌کنیم. ابتدا تولیدکننده و ارائه‌دهنده خدمات لجستیک به‌عنوان رهبر، در بازی نش به‌ترتیب قیمت تعادلی محصول دوم و سطح خدمات لجستیک را تعیین می‌کنند. سپس، خرده‌فروش و ادغام‌کننده خدمات لجستیک به‌عنوان پیرو، قیمت محصولات اول و سوم را در قالب تعادل نش تعیین می‌کنند.

لم ۱. π_j ، p_i نسبت‌به (i=1, 3) ، (j=r, l) به مقعر است.

اثبات: باتوجه به این‌که $\frac{d\pi_r^2}{d^2 p_1} = -2\beta_1 < 0$ و $\frac{d\pi_l^2}{d^2 p_3} = -2h\beta_2 <$ 0 است، بنابراین، توابع سود خرده‌فروش و ادغام‌کننده خدمات لجستیک به‌ترتیب نسبت‌به قیمت فروش محصول اول و محصول سوم مقعر هستند.

لم ۲. قیمت محصولات اول و سوم در تعادل نش میان خرده‌فروش و ادغام‌کننده خدمات لجستیک از روابط (۸) و (۹) به‌دست می‌آیند.

$$p_1 = \frac{\alpha_2\gamma_1 + \beta_2(2\alpha_1 + 2w_1\beta_1 + (p_2 + w_3)\gamma_1 - 2o\nu_1) + o\gamma_1\nu_2}{4\beta_1\beta_2 - \gamma_1\gamma_2} \quad (۸)$$

$$p_3 = \frac{2\alpha_2\beta_1 + 2w_3\beta_1\beta_2 + \alpha_1\gamma_2 + w_1\beta_1\gamma_2 + p_2(-2\beta_1\beta_2 + \gamma_1\gamma_2) - o\gamma_2\nu_1 + 2o\beta_1\nu_2}{4\beta_1\beta_2 - \gamma_1\gamma_2} \quad (۹)$$

اثبات: باتوجه به لم ۱، بهترین پاسخ از حل هم‌زمان مشتق دستگاه مرتبه اول توابع سود به‌دست می‌آید. دستگاه مرتبه اول توابع سود به‌صورت یک دستگاه دومعادله و دومجهول است.

$$\begin{cases} \frac{d\pi_r}{dp_1} = \alpha_1 + (-2p_1 + w_1)\beta_1 + (p_2 + p_3)\gamma_1 - o\nu_1 = 0 \\ \frac{d\pi_l}{dp_3} = h(\alpha_2 + (-p_2 - 2p_3 + w_3)\beta_2 + p_1\gamma_2 + o\nu_2) = 0 \end{cases}$$

با حل هم‌زمان دستگاه فوق، مقادیر قیمت‌های تعادلی به‌دست می‌آید. بنابراین اثبات کامل می‌شود.

لم ۳. با درنظرگرفتن قیمت‌های تعادلی محصولات ۱ و۳ در تابع سود تولیدکننده و ارائه‌دهنده خدمات لجستیک، π_m نسبت‌به p_2 و π_f نسبت‌به O مقعر است.

اثبات: با جای‌گذاری روابط (۸) و (۹) درتوابع سود ارائه‌دهنده خدمات لجستیک و تولیدکننده روابط (۱۰) و (۱۱) به‌دست می‌آید.

$$\begin{aligned} \pi_m = \frac{1}{4\beta_1\beta_2 - \gamma_1\gamma_2} (& w_1^2\beta_1(-2\beta_1\beta_2 + \gamma_1\gamma_2) - (c_2 - p_2) \\ & \beta_2(2\alpha_2\beta_1 - 2w_3\beta_1\beta_2 + \alpha_1\gamma_2 + w_3\gamma_1\gamma_2 + p_2(-2\beta_1\beta_2 + \gamma_1\gamma_2) \\ & -o\gamma_2\nu_1 + 2o\beta_1\nu_2 + c_1\beta_1(-2\alpha_1\beta_2 - \alpha_2\gamma_1 + w_1(2\beta_1\beta_2 - \gamma_1\gamma_2) \\ & +\beta_2(-(p_2 + w_3)\gamma_1 + 2o\nu_1) - o\gamma_1\nu_2)) + w_1\beta_1(\alpha_2\gamma_1 + \beta_2(2\alpha_1 \\ & +w_3\gamma_1 - c_2\gamma_2 + p_2(\gamma_1 + \gamma_2) - 2o\nu_1) + o\gamma_1\nu_2)) \end{aligned} \quad (۱۰)$$

$$\pi_f = (\gamma_2\big(o^2\mu\gamma_1 - 2h(c_3 - w_3)\beta_2(\alpha_1 + (p_2 + w_3)\gamma_1 - o\nu_1)\big) + 2\beta_1\beta_2(-2o^2\mu + h(c_3 - w_3)(-2\alpha_2 + 2(p_2 + w_3)\beta_2 - w_1\gamma_2 - 2o\nu_2)))/(8\beta_1\beta_2 - 2\gamma_1\gamma_2) \quad (۱۱)$$

باتوجه به این‌که $\frac{d\pi_m^2}{d^2p_2} = 2\beta_2(-1 + \frac{2\beta_1\beta_2}{4\beta_1\beta_2 - \gamma_1\gamma_2}) < 0$ و $\frac{d\pi_f^2}{d^2o} = -\mu < 0$ است، توابع سود تولیدکننده و ارائه‌دهنده خدمات لجستیک به‌ترتیب نسبت‌به قیمت فروش محصول دوم و سطح خدمت مقعر هستند. بنابراین، لم برقرار است.

لم ۴. قیمت تعادلی محصول دوم و سطح خدمات لجستیک در تعادل نش میان تولیدکننده و ارائه‌دهنده خدمات لجستیک عبارتند از:

$$p_2 = (-8\mu w_3\beta_1^2\beta_2^2 - 4\mu c_1\beta_1^2\beta_2\gamma_1 + 4\mu w_1\beta_1^2\beta_2\gamma_1 + 4\mu\alpha_1\beta_1\beta_2\gamma_2 + 4\mu w_1\beta_1^2\beta_2\gamma_2 + 6\mu w_3\beta_1\beta_2\gamma_1\gamma_2 + \mu c_1\beta_1\gamma_1^2\gamma_2 - \mu w_1\beta_1\gamma_1^2\gamma_2 - \mu\alpha_1\gamma_1\gamma_2^2 - \mu w_1\beta_1\gamma_1\gamma_2^2 - \mu w_3\gamma_1^2\gamma_2^2 + 2\mu\alpha_2\beta_1(4\beta_1\beta_2 - \gamma_1\gamma_2) + \mu c_2(2\beta_1\beta_2 - \gamma_1\gamma_2)(4\beta_1\beta_2 - \gamma_1\gamma_2) - hc_3\beta_2\gamma_2^2\nu_1^2 + hw_3\beta_2\gamma_2^2\nu_1^2 + 4h(c_3 - w_3)\beta_1\beta_2\gamma_2\nu_1\nu_2 + 4h(-c_3 + w_3)\beta_1^2\beta_2\nu_2^2)/(2\mu(2\beta_1\beta_2 - \gamma_1\gamma_2)(4\beta_1\beta_2 - \gamma_1\gamma_2)) \quad (۱۲)$$

$$o = \frac{h(c_3 - w_3)\beta_2(\gamma_2\nu_1 - 2\beta_1\nu_2)}{\mu(4\beta_1\beta_2 - \gamma_1\gamma_2)} \quad (۱۳)$$

اثبات: باتوجه به لم ۳، مقدار بهینه قیمت محصول دوم و سطح خدمات لجستیک به‌ترتیب از حل $\frac{d\pi_m}{dp_2} = 0$ و $\frac{d\pi_f}{do} = 0$ مطابق روابط (۱۲) و (۱۳) به‌دست می‌آید و اثبات کامل می‌شود.

۳-۲. سناریو ۲

در این سناریو، تولیدکننده و خرده‌فروش ادغام می‌شوند و درنهایت ۳ عضو در یک بازی استکلبرگ بررسی می‌شود. ابتدا ادغام‌کننده خدمات پیرو و ارائه‌دهنده خدمات به‌عنوان رهبر درنظر گرفته شده است و سپس ارائه‌دهنده خدمات لجستیک پیرو و مجموعه‌ی تولیدکننده-خرده‌فروش به‌عنوان رهبر درنظر گرفته می‌شود. بنابراین، در گام نخست مقدار قیمت فروش کالای سوم براساس تابع سود ادغام‌کننده خدمات محاسبه می‌شود.

لم ۵. تابع سود ادغام‌کننده خدمات لجستیک (π_l) نسبت‌به قیمت فروش محصول سوم (p_3) مقعر است.

اثبات: باتوجه به این‌که $\frac{d\pi_l^2}{d^2p_3} = -2h\beta_2 < 0$ است. بنابراین، لم برقرار است.

لم ۶. قیمت محصول سوم براساس تابع سود ادغام‌کننده خدمات لجستیک مطابق رابطه (۱۴) به‌دست می‌آید.

$$p_3 = \frac{\alpha_2 - p_2\beta_2 + w_3\beta_2 + p_1\gamma_2 + o\nu_2}{2\beta_2} \quad (۱۴)$$

اثبات: با توجه به لم ۵، بهترین پاسخ با استفاده از مشتق مرتبه اول تابع سود نسبت به p_3 مطابق رابطه (۱۵) به دست می‌آید. بنابراین اثبات کامل می‌شود.

$$\frac{d\pi_l(p_3)}{dp_3} = h(\alpha_2 + (-p_2 - 2p_3 + w_3)\beta_2 + p_1\gamma_2 + o\nu_2) = 0 \quad (۱۵)$$

عبارت معادل p_3 در رابطه (۱۴) را در تابع سود ارائه‌دهنده خدمات لجستیک جایگذاری می‌کنیم.

$$\pi_f = \frac{1}{2}(-o^2\mu + h(c_3 - w_3)(-\alpha_2 + (p_2 + w_3)\beta_2 - p_1\gamma_2 - o\nu_2)) \quad (۱۶)$$

در این مرحله ارائه‌دهنده خدمات لجستیک به‌عنوان پیرو و مجموعه‌ی تولیدکننده-خرده‌فروش به‌عنوان رهبر است. با استفاده از تابع سود جدید ارائه‌دهنده خدمات، سطح خدمات لجستیک تعیین می‌شود.

لم ۷. تابع سود ارائه‌دهنده خدمات لجستیک (π_f) نسبت‌به سطح خدمت (o) مقعر است.

اثبات: باتوجه به این‌که $\frac{d\pi_f^2}{d^2o} = -\mu < 0$ است. بنابراین، لم برقرار است.

لم ۸. سطح خدمات با استفاده از تابع سود ارائه‌دهنده خدمات لجستیک مطابق رابطه (۱۷) است:

$$o = \frac{h(c_3 - w_3)\nu_2}{2\mu} \quad (۱۷)$$

اثبات: باتوجه به لم ۷، مقدار بهینه سطح خدمات لجستیک از حل $\frac{d\pi_f}{do} = 0$ مطابق رابطه (۱۸) به‌دست می‌آید.

$$\frac{d\pi_f}{do} = \frac{1}{2}(-2o\mu + h(-c_3 + w_3)\nu_2) = 0 \quad (۱۸)$$

با حل معادله فوق، سطح خدمت مطابق رابطه (۱۷) به‌دست می‌آید و اثبات کامل می‌شود.

باتوجه به این‌که دو عضو تولیدکننده و خرده‌فروش ادغام شده‌اند، یک تابع سود جدید از مجموع توابع سود آن‌ها خواهیم داشت.

$$\pi_{mr} = \pi_m + \pi_r \quad (۱۹)$$

عبارت‌های معادل o و p_3 را در (۱۹) جای‌گذاری می‌کنیم.

$$\pi_{\mathrm{mr}} = \frac{1}{4\mu\beta_2}(2\mu p_1^2(-2\beta_1\beta_2 + \gamma_1\gamma_2) + (c_2 - p_2)\beta_2(-2\mu\alpha_2 + 2\mu(p_2 + w_3)\beta_2 + h(c_3 - w_3)\nu_2^2) + c_1(-2\mu(\alpha_2\gamma_1 + \beta_2(2\alpha_1 - 2p_1\beta_1 + (p_2 + w_3)\gamma_1) + p_1\gamma_1\gamma_2) + 2h(-c_3 + w_3)\beta_2\nu_1\nu_2 + h(c_3 - w_3)\gamma_1\nu_2^2) + p_1(2\mu(\alpha_2\gamma_1 + \beta_2(2\alpha_1 + (p_2 + w_3)\gamma_1 + (-c_2 + p_2)\gamma_2)) + 2h(c_3 - w_3)\beta_2\nu_1\nu_2 + h(-c_3 + w_3)\gamma_1\nu_2^2)) \quad (۲۰)$$

لم ۹. تابع سود تولیدکننده-خرده‌فروش (π_{mr}) نسبت‌به قیمت محصول اول (p_1) و قیمت محصول دوم (p_2) مقعر است.

اثبات: ماتریس هسین مطابق رابطه (۲۱) است.

$$H[\pi_{\mathrm{mr}}(p_1,p_2)] = \begin{bmatrix} -2\beta_1 + \frac{\gamma_1\gamma_2}{\beta_2} & \frac{1}{2}(\gamma_1+\gamma_2) \\ \frac{1}{2}(\gamma_1+\gamma_2) & -\beta_2 \end{bmatrix} \quad (۲۱)$$

برای اثبات مقعر بودن، باید ماتریس هسین تابع π_{mr} نسبت‌به متغیرهای تصمیمش منفی معین باشد. درصورتی‌که یکی از نامعادلات زیر برقرار باشد. بنابراین، ماتریس هسین منفی معین است و π_{mr} نسبت‌به p_1 و p_2 مقعر است. بنابراین، لم برقرار است.

$$8\beta_1 > \gamma_1 + 6\gamma_2 + \frac{\gamma_2^2}{\gamma_1} \quad (۲۲)$$

$$\beta_2 > \frac{\gamma_1^2 + 6\gamma_1\gamma_2 + \gamma_2^2}{8\beta_1} \;\&\; 8\beta_1 \leq \gamma_1 + 6\gamma_2 + \frac{\gamma_2^2}{\gamma_1} \;\& \;\& \; 8\beta_1 > \gamma_2 (\gamma_2 > \gamma_1 \parallel 0 < \gamma_2 < \gamma_1) \quad (۲۳)$$

لم ۱۰. قیمت محصول اول و قیمت محصول دوم با استفاده از تابع سود تولیدکننده-خرده‌فروش در روابط (۲۴) و (۲۵) نشان داده شده است.

$$\begin{aligned} p_1 = -((&2\mu(4\alpha_1\beta_2 + (c_2+w_3)\beta_2(\gamma_1-\gamma_2) + \alpha_2(3\gamma_1+\gamma_2) \\ &+c_1(4\beta_1\beta_2 - \gamma_1(\gamma_1+3\gamma_2))) + 4h(c_3-w_3)\beta_2\nu_1\nu_2 + h(-c_3 \\ &+w_3)(3\gamma_1+\gamma_2)\nu_2^2)/(2\mu(-8\beta_1\beta_2+\gamma_1^2+6\gamma_1\gamma_2+\gamma_2^2)))) \end{aligned} \quad (۲۴)$$

$$\begin{aligned} p_2 = -((&2\mu) - (((\beta_2(4(c_2-w_3)\beta_1\beta_2 + 2(\alpha_1 - c_1\beta_1)\gamma_1 \\ &+w_3\gamma_1^2) + \alpha_2(4\beta_1\beta_2 + \gamma_1(\gamma_1-\gamma_2)) + (2(\alpha_1+c_1\beta_1)\beta_2 \\ &+3(-c_2+w_3)\beta_2\gamma_1 + c_1\gamma_1^2)\gamma_2 - (c_2\beta_2 + c_1\gamma_1)\gamma_2^2) + 2h \\ &(c_3-w_3)\beta_2(\gamma_1+\gamma_2)\nu_1\nu_2 + h(-c_3+w_3)(4\beta_1\beta_2+\gamma_1 \\ &(\gamma_1-\gamma_2))\nu_2^2)/(2\mu\beta_2(-8\beta_1\beta_2+\gamma_1^2+6\gamma_1\gamma_2+\gamma_2^2))) \end{aligned} \quad (۲۵)$$

اثبات: باتوجه به لم ۹، مقدار بهترین پاسخ (مقادیر بهینه p_1, p_2) از حل دستگاه مرتبه اول تابع سود تولیدکننده-خرده‌فروش مطابق رابطه (۲۶) به‌دست می‌آید. بنابراین اثبات کامل می‌شود.

$$\begin{cases} \frac{d\pi_{mr}}{dp_1} = 0 \\ \frac{d\pi_{mr}}{dp_2} = 0 \end{cases} \quad (۲۶)$$

۳-۳. سناریو ۳

در این سناریو ارائه‌دهنده خدمات و ادغام‌کننده خدمات با یکدیگر ادغام می‌شوند. خرده‌فروش و مجموعه ادغام‌شده (ارائه‌دهنده خدمات-ادغام‌کننده خدمات) به‌عنوان دو عضو پیرو و تولیدکننده به‌عنوان رهبر درنظر گرفته شده است. رابطه بین این دو با تعادل نش بررسی می‌شود. تابع سود حاصل از ادغام ارائه‌دهنده خدمات و ادغام‌کننده خدمات مطابق رابطه (۲۷) است:

$$\pi_{\mathrm{fl}} = -\frac{o^2\mu}{2} + h(c_3-p_3)(-\alpha_2 + (p_2+p_3)\beta_2 - p_1\gamma_2 - o\nu_2) \quad (۲۷)$$

لم ۱۱. تابع سود خرده‌فروش (π_r) نسبت‌به قیمت محصول اول (p_1) و تابع سود مجموعه ارائه‌دهنده خدمات-ادغام‌کننده خدمات (π_{fl}) نسبت‌به قیمت محصول سوم (p_3) و سطح خدمت مقعر است.

اثبات: مشتق دوم π_r نسبت‌به p_1 برابر است با $\frac{d\pi_r^2}{d^2p_1} = -2\beta_1$ که مقدار آن منفی است. ازطرفی در ماتریس هسین $H[\pi_{\mathrm{fl}}(p_3,o)] = \begin{bmatrix} -2h\beta_2 & h\nu_2 \\ h\nu_2 & -\mu \end{bmatrix}$، درصورتی‌که $h < \frac{2\mu\beta_2}{\nu_2^2}$ برقرار باشد، آنگاه ماتریس هسین منفی معین بوده و π_{fl} نسبت‌به p_3 و o، مقعر است. بنابراین لم برقرار است.

لم ۱۲. قیمت محصول سوم و سطح خدمت با استفاده از تابع سود ارائه‌دهنده خدمات-ادغام‌کننده خدمات و قیمت محصول اول با استفاده از تابع سود خرده‌فروش به‌ترتیب با روابط (۲۸)-(۳۰) به‌دست می‌آید.

$$p_3 = \frac{2\mu\beta_1(\alpha_2 + (c_3-p_2)\beta_2) + \mu(\alpha_1 + w_1\beta_1 + p_2\gamma_1)\gamma_2 + hc_3\gamma_2\nu_1\nu_2 - 2hc_3\beta_1\nu_2^2}{\gamma_2(-\mu\gamma_1 + h\nu_1\nu_2) + \beta_1(4\mu\beta_2 - 2h\nu_2^2)} \quad (۲۸)$$

$$o = -\frac{h(2\beta_1(\alpha_2 - (c_3+p_2)\beta_2) + (\alpha_1 + w_1\beta_1 + (c_3+p_2)\gamma_1)\gamma_2)\nu_2}{\gamma_2(\mu\gamma_1 - h\nu_1\nu_2) + \beta_1(-4\mu\beta_2 + 2h\nu_2^2)} \quad (۲۹)$$

$$p_1 = (-2\mu(\alpha_1 + w_1\beta_1)\beta_2 - \mu(\alpha_2 + (c_3+p_2)\beta_2)\gamma_1 + h(\alpha_2 - (c_3+p_2)\beta_2)\nu_1\nu_2 + h(\alpha_1 + w_1\beta_1 + (c_3 + p_2)\gamma_1)\nu_2^2)/(\gamma_2(\mu\gamma_1 - h\nu_1\nu_2) + \beta_1(-4\mu\beta_2 + 2h\nu_2^2)) \quad (۳۰)$$

اثبات: باتوجه به لم ۱۱، بهترین پاسخ از حل هم‌زمان مشتق دستگاه مرتبه اول توابع سود ارائه‌دهنده خدمات-ادغام‌کننده خدمات و خرده‌فروش به‌دست می‌آید.

$$\begin{cases} \frac{d\pi_{\mathrm{fl}}(p_3)}{dp_3} = h(\alpha_2 + (c_3 - p_2 - 2p_3)\beta_2 + p_1\gamma_2 + o\nu_2) = 0 \\ \frac{d\pi_{\mathrm{fl}}(o)}{do} = -o\mu + h(-c_3+p_3)\nu_2 = 0 \\ \frac{d\pi_{\mathrm{r}}(p_1)}{dp_1} = \alpha_1 + (-2p_1 + w_1)\beta_1 + (p_2+p_3)\gamma_1 - o\nu_1 = 0 \end{cases}$$

با حل هم‌زمان دستگاه فوق، مقادیر تعادلی قیمت محصول اول و سوم و سطح خدمت به‌دست می‌آید. بنابراین اثبات کامل می‌شود.

در این مرحله عبارت‌های معادل را در تابع سود تولیدکننده جای‌گذاری می‌کنیم.

$$\begin{aligned}\pi_m = {} & (\mu(c_2-p_2)\beta_2(2\beta_1(\alpha_2-(c_3+p_2)\beta_2)+(\alpha_1+(c_3+p_2)\gamma_1)\gamma_2)\\ & +w_1\beta_1(\mu(-\alpha_2\gamma_1-\beta_2(2\alpha_1+(c_3+p_2)\gamma_1+(-c_2+p_2)\gamma_2))+h(\alpha_2-\\ & (c_3+p_2)\beta_2)\nu_1\nu_2+h(\alpha_1+(c_3+p_2)\gamma_1)\nu_2^2)+c_1\beta_1(\mu(\alpha_2\gamma_1+\beta_2(2\alpha_1\\ & -2w_1\beta_1+(c_3+p_2)\gamma_1)+w_1\gamma_1\gamma_2)+h(-\alpha_2+(c_3+p_2)\beta_2-w_1\gamma_2)\nu_1\nu_2\\ & -h(\alpha_1-w_1\beta_1+(c_3+p_2)\gamma_1)\nu_2^2)+w_1^2\beta_1(\gamma_2(-\mu\gamma_1+h\nu_1\nu_2)+\\ & \beta_1(2\mu\beta_2-h\nu_2^2)))/(\gamma_2(\mu\gamma_1-h\nu_1\nu_2)+\beta_1(-4\mu\beta_2+2h\nu_2^2))\end{aligned} \quad (۳۱)$$

لم ۱۳. تابع سود تولیدکننده نسبت‌به قیمت محصول دوم مقعر است.

اثبات: باتوجه به $\frac{d\pi_m^2}{d^2p_2}=\frac{2\mu\beta_2(-2\beta_1\beta_2+\gamma_1\gamma_2)}{\gamma_2(-\mu\gamma_1+h\nu_1\nu_2)+\beta_1(4\mu\beta_2-2h\nu_2^2)}$، اگر $h<\frac{-4\mu\beta_1\beta_2+\mu\gamma_1\gamma_2}{\gamma_2\nu_1\nu_2-2\beta_1\nu_2^2}$ برقرار باشد. آنگاه مشتق مرتبه دوم تابع سود تولیدکننده نسبت‌به قیمت محصول دوم منفی خواهد بود. بنابراین، لم برقرار است.

لم ۱۴. قیمت محصول دوم با استفاده از تابع سود تولیدکننده مطابق رابطه (۳۲) است:

$$\begin{aligned}p_2 = {} & (\mu\beta_2(\beta_1(2\alpha_2+2(c_2-c_3)\beta_2+(-c_1\\ & +w_1)\gamma_1)+(\alpha_1+w_1\beta_1\\ & +(-c_2+c_3)\gamma_1)\gamma_2)+h(-c_1\\ & +w_1)\beta_1\beta_2\nu_1\nu_2+h(c_1\\ & -w_1)\beta_1\gamma_1\nu_2^2)/(2\mu\beta_2(2\beta_1\beta_2\\ & -\gamma_1\gamma_2))\end{aligned} \quad (۳۲)$$

اثبات: باتوجه به لم ۱۳، قیمت تعادلی محصول دوم از حل مشتق مرتبه اول تابع سود تولیدکننده نسبت‌به قیمت محصول دوم مطابق با رابطه (۳۳) به‌دست می‌آید.

$$\frac{d\pi_m(p_2)}{dp_2}=0 \quad (۳۳)$$

۳-۴. سناریو ۴

در این سناریو از یک‌سو تولیدکننده با خرده‌فروش و از سوی دیگر، ارائه‌دهنده خدمات لجستیک با ادغام‌کننده خدمات لجستیک، با یکدیگر ادغام می‌شوند. درنهایت دو مجموعه ادغامی در یک بازی استکلبرگ بررسی می‌شود. در این حالت، مجموعه ارائه‌دهنده خدمات-ادغام‌کننده خدمات به‌عنوان پیرو و مجموعه تولیدکننده-خرده‌فروش به‌عنوان رهبر درنظر گرفته شده است. توابع سود جدید به‌صورت زیر هستند:

$$\begin{aligned}\pi_{\mathrm{mr}} = {} & (p_1-w_1)(\alpha_1-p_1\beta_1+(p_2+p_3)\gamma_1-o\nu_1)\\ & +(-c_1+w_1)(\alpha_1-p_1\beta_1\\ & +(p_2+p_3)\gamma_1-o\nu_1)+(-c_2\\ & +p_2)(\alpha_2-(p_2+p_3)\beta_2\\ & +p_1\gamma_2+o\nu_2)\end{aligned} \quad (۳۴)$$

$$\pi_{\mathrm{fl}} = -\frac{o^2\mu}{2}+h(c_3-p_3)(-\alpha_2+(p_2+p_3)\beta_2-p_1\gamma_2-o\nu_2) \quad (۳۵)$$

لم ۱۵. تابع سود ارائه‌دهنده خدمات-ادغام‌کننده خدمات (π_{fl}) نسبت‌به قیمت محصول سوم (p_3) و سطح خدمت مقعر است.

اثبات: ماتریس هسین مطابق رابطه (۳۶) است.

$$H[\pi_{\mathrm{fl}}(p_3,o)]=\begin{bmatrix}-2h\beta_2 & h\nu_2\\ h\nu_2 & -\mu\end{bmatrix} \quad (۳۶)$$

برای اثبات مقعر بودن، باید ماتریس هسین تابع π_{fl} نسبت‌به متغیرهای تصمیمش منفی معین باشد. درصورتی‌که $h<\frac{2\mu\beta_2}{\nu_2^2}$ برقرار باشد. ماتریس هسین منفی معین است و π_{fl} نسبت‌به p_3 و o مقعر است. بنابراین، لم برقرار است.

لم ۱۶. قیمت محصول سوم (p_3) و سطح خدمت (o) با استفاده از تابع سود ارائه‌دهنده خدمات-ادغام‌کننده خدمات مطابق روابط (۴۴) و (۴۵) است.

$$p_3=-\frac{-\mu\alpha_2-\mu c_3\beta_2+\mu p_2\beta_2-\mu p_1\gamma_2+hc_3\nu_2^2}{2\mu\beta_2-h\nu_2^2} \quad (۳۷)$$

$$o=-\frac{h(\alpha_2\nu_2-c_3\beta_2\nu_2-p_2\beta_2\nu_2+p_1\gamma_2\nu_2)}{-2\mu\beta_2+h\nu_2^2} \quad (۳۸)$$

اثبات: باتوجه به لم ۱۵، بهترین پاسخ از حل دستگاه مرتبه اول سود ارائه‌دهنده خدمات-ادغام‌کننده خدمات مطابق با رابطه (۳۹) به‌دست می‌آید. بنابراین اثبات کامل می‌شود.

$$\begin{cases}\frac{d\pi_{\mathrm{fl}}(p_3)}{dp_3}=0\\ \frac{d\pi_{\mathrm{fl}}(o)}{do}=0\end{cases} \quad (۳۹)$$

در این مرحله عبارت‌های معادل را درتابع سود تولیدکننده-خرده‌فروش جای‌گذاری می‌کنیم.

$$\begin{aligned}\pi_{\mathrm{mr}} = {} & (\mu((c_2-p_2)\beta_2(-\alpha_2+(c_3+p_2)\beta_2)\\ & +p_1^2(-2\beta_1\beta_2+\gamma_1\gamma_2)\\ & +p_1(\alpha_2\gamma_1+\beta_2(2\alpha_1+(c_3\\ & +p_2)\gamma_1+(-c_2+p_2)\gamma_2)))\\ & +hp_1(-\alpha_2+(c_3+p_2)\beta_2\\ & -p_1\gamma_2)\nu_1\nu_2+hp_1(-\alpha_1\\ & +p_1\beta_1-(c_3+p_2)\gamma_1)\nu_2^2\\ & +c_1(-\mu(\alpha_2\gamma_1+\beta_2(2\alpha_1\\ & -2p_1\beta_1+(c_3+p_2)\gamma_1)\\ & +p_1\gamma_1\gamma_2)+h(\alpha_2-(c_3\\ & +p_2)\beta_2+p_1\gamma_2)\nu_1\nu_2\\ & +h(\alpha_1-p_1\beta_1+(c_3\\ & +p_2)\gamma_1)\nu_2^2))/(2\mu\beta_2\\ & -h\nu_2^2)\end{aligned} \quad (۴۰)$$

لم ۱۷. تابع سود تولیدکننده–خرده‌فروش (π_{mr}) نسبت‌به قیمت محصول اول (p_1) و دوم (p_2) مقعر است.

اثبات: ماتریس هسین مطابق رابطه (۴۱) است.

$$H[\pi_{\mathrm{mr}}(p_1,p_2)]= \quad (۴۱)$$

$$\begin{bmatrix} -2\beta_1 + \frac{2\gamma_2(-\mu\gamma_1 + h\nu_1\nu_2)}{-2\mu\beta_2 + h\nu_2^2} & \frac{h\gamma_1\nu_2^2 - \beta_2(\mu(\gamma_1+\gamma_2)+h\nu_1\nu_2)}{-2\mu\beta_2 + h\nu_2^2} \\ \frac{h\gamma_1\nu_2^2 - \beta_2(\mu(\gamma_1+\gamma_2)+h\nu_1\nu_2)}{-2\mu\beta_2 + h\nu_2^2} & \frac{2\mu\beta_2^2}{-2\mu\beta_2 + h\nu_2^2} \end{bmatrix}$$

برای اثبات مقعر بودن، باید ماتریس هسین تابع π_{mr} نسبت‌به متغیرهای تصمیمش منفی معین باشد. درصورتی‌که روابط (۴۲) و (۴۳) برقرار باشد. ماتریس هسین منفی معین است و π_{mr} نسبت‌به p_1 و p_2 مقعر است. بنابراین، لم برقرار است.

$$-2\beta_1 + \frac{2\gamma_2(-\mu\gamma_1 + h\nu_1\nu_2)}{-2\mu\beta_2 + h\nu_2^2} < 0 \quad (۴۲)$$

$$\begin{aligned} &-h^2\gamma_1^2\nu_2^4 + 2h\beta_2\gamma_1\nu_2^2(\mu(\gamma_1+\gamma_2) + h\nu_1\nu_2) \\ &\quad + 4\mu\beta_1\beta_2^2(2\mu\beta_2 - h\nu_2^2) \\ &\quad - \beta_2^2\big(\mu^2\gamma_1^2 + (\mu\gamma_2 - h\nu_1\nu_2)^2 \\ &\quad + 2\mu\gamma_1(3\mu\gamma_2 + h\nu_1\nu_2)\big) > 0 \end{aligned} \quad (۴۳)$$

لم ۱۸. قیمت محصولات اول (p_1) و دوم (p_2) با استفاده از تابع سود تولیدکننده–خرده‌فروش (π_{mr}) مطابق روابط (۴۴) و (۴۵) است.

$$\begin{aligned} p_1 = (&\mu^2\beta_2^2(-4\alpha_1\beta_2 + (c_2+c_3)\beta_2(-\gamma_1 \\ &+ \gamma_2) - \alpha_2(3\gamma_1 + \gamma_2) \\ &+ c_1(-4\beta_1\beta_2 + \gamma_1(\gamma_1 \\ &+ 3\gamma_2))) - h\mu\beta_2^2(-\alpha_2 \\ &+ (c_2+c_3)\beta_2 + c_1(-2\gamma_1 \\ &+ \gamma_2))\nu_1\nu_2 + h\beta_2(2\mu\alpha_1\beta_2 \\ &+ \mu(\alpha_2 + (c_2+c_3)\beta_2)\gamma_1 \\ &+ c_1(2\mu\beta_1\beta_2 - \mu\gamma_1(2\gamma_1 \\ &+ \gamma_2) + h\beta_2\nu_1^2))\nu_2^2 \\ &- 2h^2c_1\beta_2\gamma_1\nu_1\nu_2^3 \\ &+ h^2c_1\gamma_1^2\nu_2^4)/(h^2\gamma_1^2\nu_2^4 \\ &- 2h\beta_2\gamma_1\nu_2^2(\mu(\gamma_1+\gamma_2) \\ &+ h\nu_1\nu_2) + 4\mu\beta_1\beta_2^2(-2\mu\beta_2 \\ &+ h\nu_2^2) + \beta_2^2(\mu^2\gamma_1^2 \\ &+ (\mu\gamma_2 - h\nu_1\nu_2)^2 \\ &+ 2\mu\gamma_1(3\mu\gamma_2 + h\nu_1\nu_2))) \end{aligned} \quad (۴۴)$$

$$\begin{aligned} p_2 = (&\mu^2\beta_2(\beta_2(4(c_2-c_3)\beta_1\beta_2 + 2(\alpha_1 \\ &- c_1\beta_1)\gamma_1 + c_3\gamma_1^2) \\ &+ \alpha_2(4\beta_1\beta_2 + \gamma_1(\gamma_1 - \gamma_2)) \\ &+ (2(\alpha_1 + c_1\beta_1)\beta_2 \\ &+ 3(-c_2 + c_3)\beta_2\gamma_1 \\ &+ c_1\gamma_1^2)\gamma_2 - (c_2\beta_2 \\ &+ c_1\gamma_1)\gamma_2^2) + h\mu\beta_2(2\beta_2(\alpha_1 \\ &- c_1\beta_1 + c_3\gamma_1) + (\alpha_2 + (c_2 \\ &- c_3)\beta_2)\gamma_2 + c_1\gamma_2^2)\nu_1\nu_2 \\ &- h(\mu(\alpha_2(2\beta_1\beta_2 + \gamma_1^2) \\ &+ \beta_2(2(c_2-c_3)\beta_1\beta_2 \\ &+ 3(\alpha_1 - c_1\beta_1)\gamma_1 + 2c_3\gamma_1^2) \\ &+ ((\alpha_1 + c_1\beta_1)\beta_2 + (-c_2 \\ &+ c_3)\beta_2\gamma_1 + c_1\gamma_1^2)\gamma_2) \\ &+ h\beta_2(\alpha_2 - c_3\beta_2 \\ &+ c_1\gamma_2)\nu_1^2)\nu_2^2 + h^2(\alpha_2\gamma_1 \\ &- \beta_2(\alpha_1 - c_1\beta_1 + 2c_3\gamma_1) \\ &+ c_1\gamma_1\gamma_2)\nu_1\nu_2^3 + h^2\gamma_1(\alpha_1 \\ &- c_1\beta_1 \\ &+ c_3\gamma_1)\nu_2^4)/(-h^2\gamma_1^2\nu_2^4 \\ &+ 2h\beta_2\gamma_1\nu_2^2(\mu(\gamma_1+\gamma_2) \\ &+ h\nu_1\nu_2) + 4\mu\beta_1\beta_2^2(2\mu\beta_2 \\ &- h\nu_2^2) + \beta_2^2(-\mu^2\gamma_1^2 \\ &- (\mu\gamma_2 - h\nu_1\nu_2)^2 \\ &- 2\mu\gamma_1(3\mu\gamma_2 + h\nu_1\nu_2))) \end{aligned} \quad (۴۵)$$

اثبات: باتوجه به لم ۱۷، بهترین پاسخ از حل دستگاه مرتبه اول سود تولیدکننده–خرده‌فروش (π_{mr}) مطابق با رابطه (۴۶) به‌دست می‌آید. بنابراین اثبات کامل می‌شود.

$$\begin{cases} \dfrac{d\pi_{mr}(p_1)}{dp_1} = 0 \\ \dfrac{d\pi_{mr}(p_2)}{dp_2} = 0 \end{cases} \quad (۴۶)$$

۴. تحلیل روابط متغیرها و پارامترها

در بخش‌های ۰ تا ۰ اثر برخی از پارامترها بر سطح خدمت در هر ۴ سناریو بررسی می‌شود.

۴-۱. اثر ضریب خدمات لجستیک بر سطح خدمت

روابط (۴۷)-(۵۰) مشتق سطح خدمت نسبت‌به ضریب خدمات لجستیک را نشان می‌دهد:

$$\frac{do^{s_1}}{dh} = \frac{(c_3 - w_3)\beta_2(\gamma_2\nu_1 - 2\beta_1\nu_2)}{\mu(4\beta_1\beta_2 - \gamma_1\gamma_2)} \quad (۴۷)$$

$$\frac{do^{s_2}}{dh} = \frac{(-c_3 + w_3)\nu_2}{2\mu} \quad (۴۸)$$

$$\frac{do^{s_3}}{dh} = \frac{\beta_2 - \gamma_1\gamma_2)(2\beta_1(\alpha_2 - (c_3+p_2)\beta_2) + (\alpha_1 + w_1\beta_1 + (c_3+p_2)\gamma_1)\gamma_2)\nu_2}{(\gamma_2(-\mu\gamma_1 + h\nu_1\nu_2) + \beta_1(4\mu\beta_2 - 2h\nu_2^2))^2} \quad (۴۹)$$

$$\frac{do^{s_4}}{dh} = \frac{2\mu\beta_2(\alpha_2 - (c_3+p_2)\beta_2 + p_1\gamma_2)\nu_2}{(-2\mu\beta_2 + h\nu_2^2)^2} \quad (۵۰)$$

روابط (۴۷) و (۴۸) همواره مثبت هستند. افزایش ضریب خدمات لجستیک در سناریوهای اول و دوم همواره باعث افزایش سطح خدمت می‌شود.

$$h < \frac{-4\mu\beta_1\beta_2 + \mu\gamma_1\gamma_2}{\gamma_2\nu_1\nu_2 - 2\beta_1\nu_2^2} \,||\, h > \frac{-4\mu\beta_1\beta_2 + \mu\gamma_1\gamma_2}{\gamma_2\nu_1\nu_2 - 2\beta_1\nu_2^2} \quad (۵۱)$$

$$p_2 < \frac{2\beta_1(\alpha_2 - c_3\beta_2) + (\alpha_1 + w_1\beta_1 + c_3\gamma_1)\gamma_2}{2\beta_1\beta_2 - \gamma_1\gamma_2} \quad (۵۲)$$

باتوجه به رابطه (۴۹)، اگر روابط (۵۱) و (۵۲) برقرار باشد، آنگاه $\frac{do^{s3}}{dh} > 0$، درنتیجه در سناریوی سوم، افزایش ضریب خدمات لجستیک باعث افزایش سطح خدمت می‌شود.

$$h < \frac{-4\mu\beta_1\beta_2 + \mu\gamma_1\gamma_2}{\gamma_2\nu_1\nu_2 - 2\beta_1\nu_2^2} \,||\, h > \frac{-4\mu\beta_1\beta_2 + \mu\gamma_1\gamma_2}{\gamma_2\nu_1\nu_2 - 2\beta_1\nu_2^2} \quad (۵۳)$$

$$p_2 < \frac{2\beta_1(\alpha_2 - c_3\beta_2) + (\alpha_1 + w_1\beta_1 + c_3\gamma_1)\gamma_2}{2\beta_1\beta_2 - \gamma_1\gamma_2} \quad (۵۴)$$

همچنین، باتوجه به رابطه (۵۰)، اگر روابط (۵۱)، (۵۳) و (۵۴) برقرار باشد، آنگاه $\frac{do^{s4}}{dh} > 0$، در سناریوی چهارم، افزایش ضریب خدمات لجستیک باعث افزایش سطح خدمت می‌شود.

۴-۲. اثر هزینه تولید محصول سوم بر سطح خدمت

روابط (۵۵) تا (۵۸) مشتق سطح خدمت نسبت‌به هزینه تولید محصول سوم را نشان می‌دهد.

$$\frac{do^{s_1}}{dc_3} = \frac{h\beta_2(\gamma_2\nu_1 - 2\beta_1\nu_2)}{\mu(4\beta_1\beta_2 - \gamma_1\gamma_2)} \quad (۵۵)$$

$$\frac{do^{s_2}}{dc_3} = -\frac{h\nu_2}{2\mu} \quad (۵۶)$$

$$\frac{do^{s_3}}{dc_3} = \frac{h(2\beta_1\beta_2 - \gamma_1\gamma_2)\nu_2}{\gamma_2(\mu\gamma_1 - h\nu_1\nu_2) + \beta_1(-4\mu\beta_2 + 2h\nu_2^2)} \quad (۵۷)$$

$$\frac{do^{s_4}}{dc_3} = \frac{h\beta_2\nu_2}{-2\mu\beta_2 + h\nu_2^2} \quad (۵۸)$$

روابط (۵۵) و (۵۶) همواره منفی هستند. درنتیجه، افزایش هزینه تولید محصول سوم در سناریوهای اول و دوم همواره باعث کاهش سطح خدمت می‌شود.

باتوجه به رابطه (۵۷)، اگر $h > \frac{-4\mu\beta_1\beta_2 + \mu\gamma_1\gamma_2}{\gamma_2\nu_1\nu_2 - 2\beta_1\nu_2^2}$ برقرار باشد، آنگاه $\frac{do^{s_3}}{dc_3} > 0$، درنتیجه در سناریوی سوم، افزایش هزینه تولید محصول سوم باعث افزایش سطح خدمت می‌شود. همچنین، باتوجه به رابطه (۵۸)، اگر $h > \frac{2\mu\beta_2}{\nu_2^2}$ برقرار باشد، آنگاه $\frac{do^{s_4}}{dc_3} > 0$، درنتیجه در سناریوی چهارم، افزایش هزینه تولید محصول سوم باعث افزایش سطح خدمت‌می‌شود.

۴-۳. اثر قیمت عمده‌فروشی محصول سوم بر سطح خدمت

روابط (۴۰) و (۴۱) مشتق سطح خدمت نسبت‌به قیمت عمده‌فروشی محصول سوم را نشان می‌دهد.

$$\frac{do^{s_1}}{dw_3} = \frac{h\beta_2(-\gamma_2\nu_1 + 2\beta_1\nu_2)}{\mu(4\beta_1\beta_2 - \gamma_1\gamma_2)} \quad (۵۹)$$

$$\frac{do^{s_2}}{dw_3} = \frac{h\nu_2}{2\mu} \quad (۶۰)$$

روابط (۴۰) و (۴۱) همواره مثبت هستند. افزایش قیمت عمده‌فروشی محصول سوم در سناریوهای اول و دوم همواره باعث افزایش سطح خدمت می‌شود.

نتیجه‌گیری: در سناریوهایی که ادغام‌کننده خدمات و ارائه‌دهنده خدمات، ادغام نشده‌اند: افزایش ضریب خدمات لجستیک و قیمت عمده‌فروشی محصول سوم همواره باعث افزایش سطح خدمت می‌شود. همچنین افزایش قیمت فروش محصول سوم همواره باعث کاهش سطح خدمت می‌شود. در سناریوهایی که ادغام‌کننده خدمات و ارائه‌دهنده خدمات، ادغام شده‌اند: افزایش ضریب خدمات لجستیک و قیمت فروش محصول سوم در شرایط خاصی باعث افزایش سطح خدمت می‌شود. همچنین قیمت عمده فروشی محصول سوم در سطح خدمت تأثیر ندارد.

۵. مثال عددی

در این بخش به‌منظور بررسی روابط بین متغیرهای مسأله و مقایسه سناریوهای مختلف با یکدیگر، یک مثال عددی حل می‌شود. داده‌ها در جدول (۱) آمده است. مقادیر عددی باید طوری لحاظ گردند که محدودیت‌های ذکر شده در مفروضات تحقیق را برآورده سازند به‌طوری‌که شدنی بودن مدل تضمین شود.

جدول (۱). مقدار پارامترها

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
w_1	۱۵	α_1	۴۰۰	γ_1	۰/۰۵
w_3	۳۰	α_2	۳۵۰	γ_2	۰/۰۲
c_1	۵	μ	۲	ν_1	۰/۱
c_2	۱۵	β_1	۰/۴	ν_2	۰/۲۵
c_3	۵	β_2	۰,۳	h	۱

جدول (۲)، مقدار متغیرهای تصمیم را در هر سناریو نشان می‌دهد.

جدول (۲). مقدار متغیرهای تصمیم

متغیر	s_1	s_2	s_3	s_4
p_1	۵۶۴/۵۵۴	۵۷۰/۰۳۱	۵۶۰/۴۳۵	۵۵۶/۸۷۷
p_2	۵۹۶/۳۲۲	۶۴۲/۵۷۱	۶۰۸/۲۴۱	۶۶۰/۸۸۱
p_3	۳۱۹/۶۳۷	۲۹۶/۷	۳۱۶/۶۲۴	۲۸۹/۰۸۵
O	۱/۵۵۰	۱/۵۶۳	۳۸/۹۵۳	۳۵/۵۱۱

مقایسه متغیرهای تصمیم لجستیک در سناریوها به شرح زیر است:

$$p_1^{s_2} > p_1^{s_1} > p_1^{s_3} > p_1^{s_4}, p_1^{s_4} > p_1^{s_2} > p_1^{s_3} > p_1^{s_1}$$
$$p_1^{s_1} > p_1^{s_3} > p_1^{s_2} > p_1^{s_4}, o^{s_3} > o^{s_4} > o^{s_2} > o^{s_1}$$

با ادغام ارائه‌دهنده خدمات و ادغام‌کننده خدمات، سطح خدمات لجستیک افزایش یافته است.

جدول (۳) مقدار تابع سود را در هر سناریو نشان می‌دهد.

جدول (۳). مقادیر تابع سود

متغیر	s_1	s_2	s_3	s_4
π_m	۵۲۷۱۰	–	۵۷۶۴۲	–
π_r	۱۲۰۸۰۳	–	۱۱۹۰۰۰	–
π_l	۲۵۱۶۷	۲۱۳۳۹	—	–
π_f	۲۱۷۰	۱۹۹۸	—	–
π_{fl}	۲۷۳۳۶	۲۳۳۶	۲۷۶۱۶	۲۲۹۵۰
π_{mr}	۱۷۳۵۱۳	۱۷۳۸۳۸	۱۷۶۶۴۲	۱۷۷۰۸۳
π_t	۲۰۰۸۵۰	۱۹۷۱۷۴	۲۰۴۲۵۸	۲۰۰۰۳۴

۵-۱. مقایسه سود در سناریوهای مختلف

مجموع سود تولیدکننده-خرده‌فروش و سود ارائه‌دهنده خدمات-ادغام‌کننده خدمات، به‌ترتیب مطابق روابط (۶۱) و (۶۲) به‌دست می‌آید.

$$\pi_{mr}^{s_3} = \pi_m^{s_3} + \pi_r^{s_3} \quad , \quad \pi_{mr}^{s_1} = \pi_m^{s_1} + \pi_r^{s_1} \quad (۶۱)$$

$$\pi_{fl}^{S_2} = \pi_f^{S_2} + \pi_l^{S_2}\ ,\ \ \pi_{fl}^{S_1} = \pi_f^{S_1} + \pi_l^{S_1} \quad (۶۲)$$

پس از انجام محاسبات مربوطه، مقایسه سود در سناریوهای مختلف مطابق روابط (۶۳)-(۶۵) به‌دست می‌آید.

$$\pi_{mr}^{S_1} > \pi_{mr}^{S_4} > \pi_{mr}^{S_3} > \pi_{mr}^{S_2} \quad (۶۳)$$

$$\pi_{fl}^{S_3} > \pi_{fl}^{S_1} > \pi_{fl}^{S_2} > \pi_{fl}^{S_4} \quad (۶۴)$$

$$\pi_t^{S_3} > \pi_t^{S_1} > \pi_t^{S_4} > \pi_t^{S_2} \quad (۶۵)$$

سود کل زنجیره‌تأمین در حالت ادغام ارائه‌دهنده خدمات و ادغام‌کننده خدمات بیشترین مقدار و در حالت ادغام تولیدکننده و خرده‌فروش کمترین مقدار را دارد.

۵-۲. تحلیل حساسیت

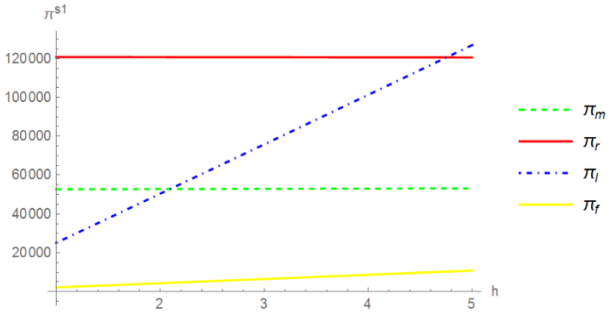
محدوده تغییر پارامترها در جدول (۴) نشان داده شده است.

جدول (۴). بازه تغییر پارامترها

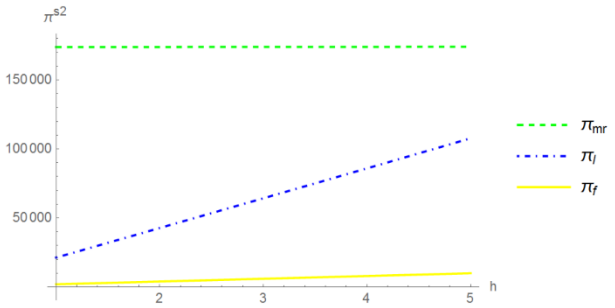
پارامتر	بازه تغییر	پارامتر	بازه تغییر
h	[۱ و ۵]	υ_2	[۰/۲ و ۰/۰۱]
μ	[۱ و ۴]	β_1	[۰/۱ و ۰/۶]
w_3	[۲۰ و ۴۰]	β_2	[۰/۱ و ۰/۶]
υ_1	[۰/۰۱ و ۰/۳]		

در این بخش تغییر سود اعضای زنجیره‌تأمین در سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد.

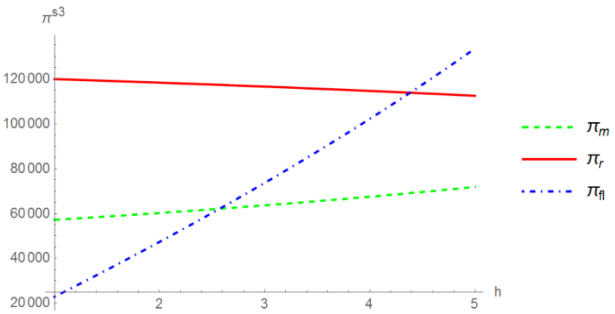
باتوجه به شکل (۲) در حالت غیرمتمرکز با افزایش ضریب خدمات لجستیک، مقدار سود ادغام‌کننده خدمات لجستیک و ارائه‌دهنده خدمات لجستیک افزایش می‌یابد و مقدار سود تولیدکننده و خرده‌فروش کاهش می‌یابد. ادغام‌کننده خدمات لجستیک بیشترین حساسیت را نسبت‌به تغییر ضریب خدمات لجستیک دارد. ابتدا ارتباط سود اجزای زنجیره به‌صورت $\pi_r > \pi_m > \pi_l > \pi_f$ است. با افزایش ضریب خدمات لجستیک مقدار سود به‌شکل $\pi_r > \pi_l > \pi_m > \pi_f$ تغییر می‌کند و در ادامه ارتباط سود به‌شکل $\pi_l > \pi_r > \pi_m > \pi_f$ خواهد بود. باتوجه به شکل (۳)، در سناریو ادغام تولیدکننده و خرده‌فروش، مقدار سود تولیدکننده-خرده‌فروش تقریباً ثابت است. با افزایش ضریب خدمات لجستیک، مقدار سود ادغام‌کننده خدمات لجستیک و ارائه‌دهنده خدمات لجستیک افزایش می‌یابد. رابطه‌ی سودها به‌شکل $\pi_{mr} > \pi_l > \pi_f$ است. شکل (۴) تابع سود در حالت ترکیب ارائه‌دهنده خدمات و ادغام‌کننده خدمات را نشان می‌دهد. با افزایش ضریب خدمات لجستیک، سود ادغام‌کننده خدمات-ارائه‌دهنده خدمات و تولیدکننده افزایش می‌یابد و سود خرده‌فروش کاهش می‌یابد. ابتدا ارتباط سود اجزای زنجیره به‌صورت $\pi_r > \pi_m > \pi_{lf}$ است. با افزایش ضریب خدمات لجستیک مقدار سود به‌شکل $\pi_r > \pi_{lf} > \pi_m$ تغییر می‌کند و در ادامه ارتباط سود به‌شکل $\pi_{lf} > \pi_r > \pi_m$ خواهد بود. باتوجه به شکل (۵) با افزایش ضریب خدمات لجستیک، سود ادغام‌کننده خدمات-ارائه‌دهنده خدمات و سود تولیدکننده-خرده‌فروش افزایش می‌یابد. ارتباط سود اجزای زنجیره‌تأمین به‌صورت $\pi_{mr} > \pi_{lf}$ است.



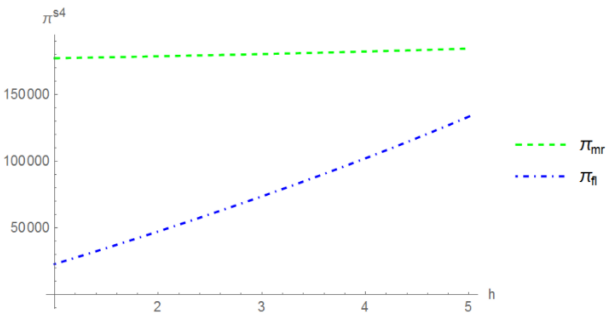
شکل (۲). تابع سود (سناریوی ۱)



شکل (۳). تابع سود (سناریوی ۲)



شکل (۴). تابع سود (سناریوی ۳)



شکل (۵). تابع سود (سناریوی ۴)

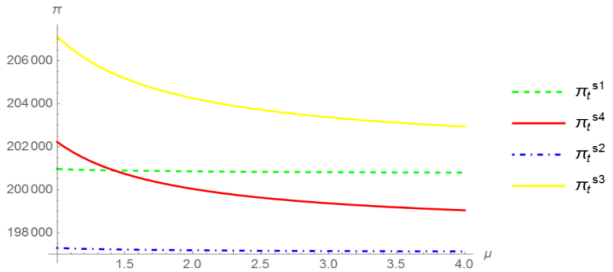
به‌طور خلاصه می‌توان گفت: با افزایش ضریب خدمات لجستیک، مقدار سود ادغام‌کننده خدمات و ارائه‌دهنده خدمات و ادغام‌کننده خدمات-ارائه‌دهنده خدمات افزایش می‌یابد. همچنین زمانی‌که اعضای لجستیک ادغام می‌شوند، مقدار سود تولیدکننده، خرده‌فروش و تولیدکننده-خرده‌فروش با افزایش ضریب خدمات لجستیک افزایش می‌یابد.

۵-۲-۱. مقایسه سود کل زنجیره‌تأمین در سناریوها با تغییر μ و h

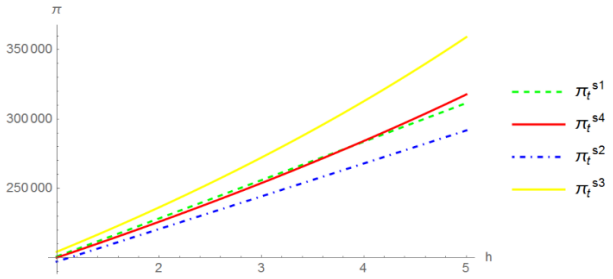
در شکل (۶)، با افزایش هزینه‌ی افزایش سطح خدمت در سناریوهایی که ارائه‌دهنده‌خدمات و ادغام‌کننده خدمات ادغام شده‌اند، تغییر سود

بیشتر است. سود کل زنجیره‌تأمین به‌شکل $\pi_t^{s_3} > \pi_t^{s_4} > \pi_t^{s_1} > \pi_t^{s_2}$ است. با افزایش هزینه‌ی افزایش سطح خدمات، مقدار سود به‌شکل $\pi_t^{s_3} > \pi_t^{s_1} > \pi_t^{s_4} > \pi_t^{s_2}$ خواهد بود. باتوجه به شکل (۷)، رابطه‌ی سود ابتدا به‌صورت $\pi_t^{s_3} > \pi_t^{s_4} > \pi_t^{s_1} > \pi_t^{s_2}$ است. با افزایش مقدار h رابطه بین سودها به‌شکل $\pi_t^{s_3} > \pi_t^{s_4} > \pi_t^{s_1} > \pi_t^{s_2}$ خواهد بود.

باتوجه به تحلیل‌های فوق، سود کل زنجیره‌تأمین در سناریوهای غیرمتمرکز و ادغام تولیدکننده-خرده‌فروش نسبت‌به تغییر هزینه افزایش سطح خدمت و ضریب خدمت حساسیت کمتری دارد.

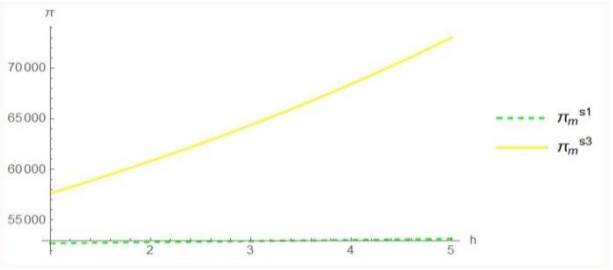


شکل (۶). تابع سود کل زنجیره‌تأمین (بر حسب μ)

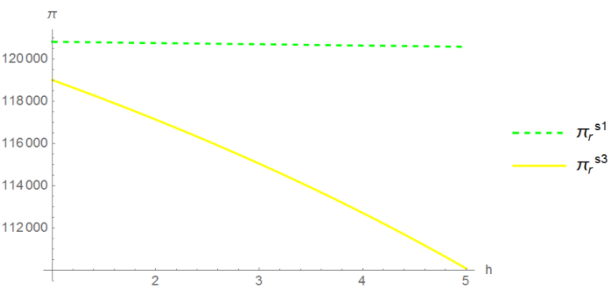


شکل (۷). تابع سود کل زنجیره‌تأمین (بر حسب h)

۵-۲-۲. بررسی سود خرده‌فروش و تولیدکننده با ادغام اعضای لجستیک



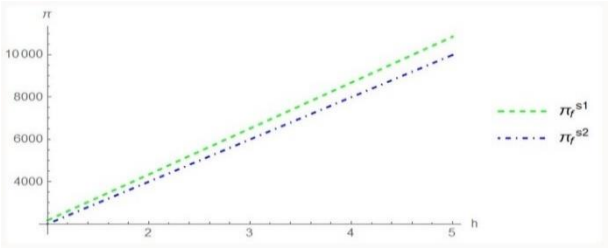
شکل (۸). تابع سود تولیدکننده (بر حسب h)



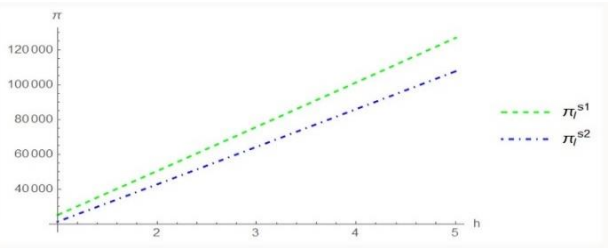
شکل (۹). تابع سود خرده‌فروش (بر حسب h)

مقدار سود خرده‌فروش در حالت ادغام اعضای لجستیک همواره کمتر از حالت غیرمتمرکز است. مقدار سود تولیدکننده در حالت ادغام اعضای لجستیک همیشه بیشتر از حالت غیرمتمرکز است. با کاهش ضریب خدمات لجستیک اختلاف سود در سناریوها کاهش می‌یابد.

۵-۲-۳. بررسی سود خرده‌فروش و تولیدکننده با خرده‌فروش و تولیدکننده



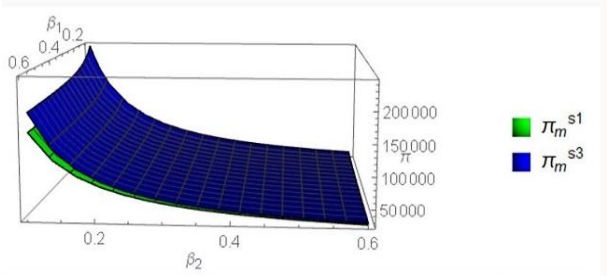
شکل (۱۰). تابع سود ارائه‌دهنده خدمات (بر حسب h)



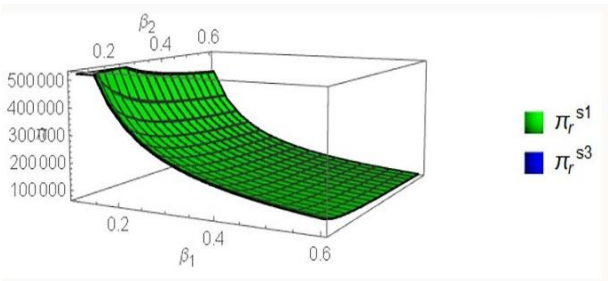
شکل (۱۱). تابع سود ادغام‌کننده خدمات (بر حسب h)

مقدار سود ارائه‌دهنده خدمات و ادغام‌کننده خدمات در حالت غیرمتمرکز همواره از حالت ادغام تولیدکننده و خرده‌فروش بیشتر است. با افزایش ضریب خدمات لجستیک، اختلاف سود بین سناریوها بیشتر می‌شود.

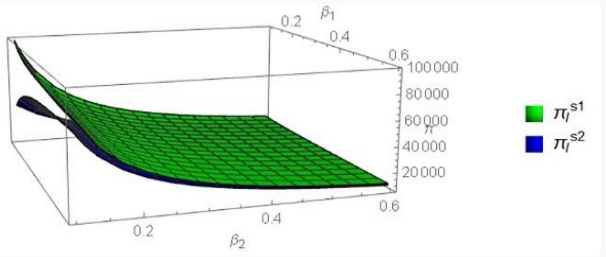
۵-۲-۴. تأثیر β (کشسانی تقاضای هر محصول ناشی از تغییر قیمت خود محصول) بر سود اعضای زنجیره‌تأمین



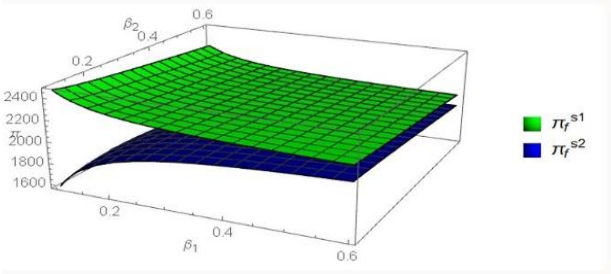
شکل (۱۲). تابع سود تولیدکننده (بر حسب β_1 و β_2)



شکل (۱۳). تابع سود خرده‌فروش (بر حسب β_1 و β_2)



شکل (۱۴). تابع سود ادغام‌کننده خدمات (بر حسب β_1 و β_2)

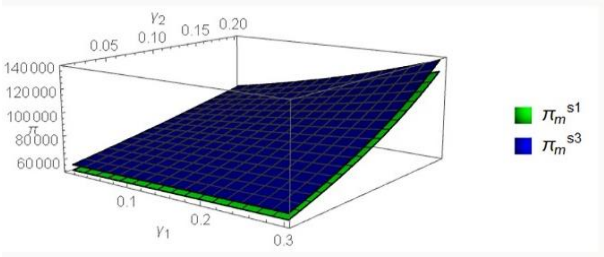


شکل (۱۵). تابع سود ارائه‌دهنده خدمات (بر حسب β_1 و β_2)

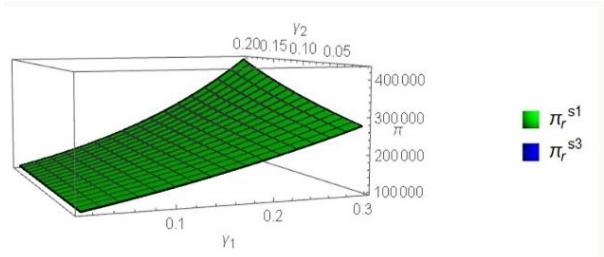
باتوجه به شکل (۱۲) سود تولیدکننده در حالت غیرمتمرکز کمتر از حالت ادغام اعضای لجستیک است. با افزایش کشسانی تقاضای محصول دوم، اختلاف سود کاهش می‌یابد. در هر دو سناریو زمانی‌که کشسانی تقاضای محصول اول و دوم کمترین مقدار را داشته باشد، سود تولیدکننده ماکزیمم می‌شود. در شکل (۱۳) سود خرده‌فروش در حالت غیرمتمرکز و ادغام اعضای لجستیک، مقدار یکسانی است. زمانی‌که کشسانی تقاضای محصول اول و دوم کمترین مقدار را داشته باشد، مقدار سود ماکزیمم می‌شود. باتوجه به شکل (۱۴)، سود ادغام‌کننده خدمات درحالتی‌که تولیدکننده و خرده‌فروش ادغام می‌شوند از سناریو غیرمتمرکز کمتر است. زمانی‌که کشسانی تقاضای محصول اول و دوم کمترین مقدار را داشته باشند، سود ادغام‌کننده خدمات در سناریو غیرمتمرکز بیشترین مقدار را دارد. زمانی‌که کشسانی تقاضای محصول دوم کمترین مقدار و کشسانی تقاضای محصول اول بیشترین مقدار را داشته باشد، سود ادغام‌کننده خدمات در سناریو ادغام تولیدکننده و خرده‌فروش بیشترین مقدار را دارد. در شکل (۱۵) سود ارائه‌دهنده خدمات در سناریو ادغام تولیدکننده و خرده‌فروش از سناریو غیرمتمرکز کمتر است. با افزایش کشسانی تقاضای محصول اول اختلاف سود کاهش می‌یابد. زمانی‌که کشسانی تقاضای محصول اول و دوم کمترین مقدار را داشته باشند، سود در حالت غیرمتمرکز بیشترین مقدار و در سناریو ادغام تولیدکننده و خرده‌فروش کمترین مقدار را دارد.

از تحلیل‌های فوق این‌گونه استنباط می‌شود که درحالتی‌که اعضای لجستیک ادغام می‌شوند، سود تولیدکننده افزایش می‌یابد و سود خرده‌فروش تغییر نمی‌کند. از سوی دیگر، زمانی‌که تولیدکننده و خرده‌فروش ادغام می‌شوند، سود ارائه‌دهنده خدمات و ادغام‌کننده خدمات کاهش می‌یابد.

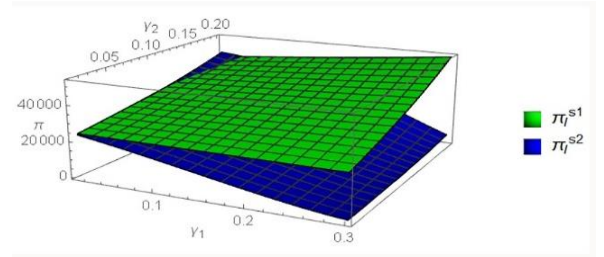
۵-۲-۵. تأثیر γ (کشسانی تقاضای هر محصول ناشی از تغییر قیمت محصول دیگر محصولات) بر سود اعضا



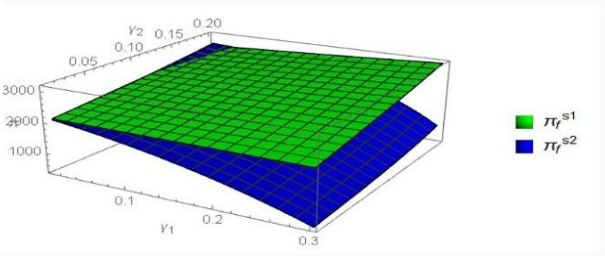
شکل (۱۶). تابع سود تولیدکننده (بر حسب γ_1 و γ_2)



شکل (۱۷). تابع سود خرده‌فروش (بر حسب γ_1 و γ_2)



شکل (۱۸). تابع سود ادغام‌کننده خدمات (بر حسب γ_1 و γ_2)



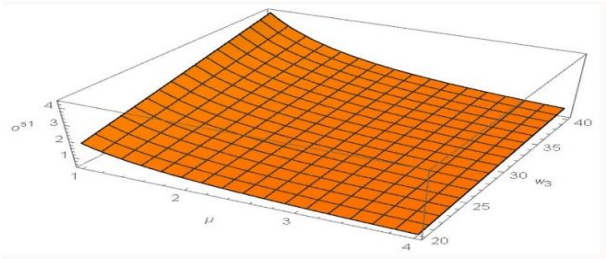
شکل (۱۹). تابع سود ارائه‌دهنده خدمات (بر حسب γ_1 و γ_2)

در شکل (۱۶) مقدار سود تولیدکننده در حالت ادغام اعضای لجستیک، بیشتر از حالت غیرمتمرکز است. مقدار سود در هر دو سناریو زمانی‌که کشسانی تقاضای محصول اول و دوم بیشترین مقدار را دارد، ماکزیمم می‌شود. شکل (۱۷) مقدار سود خرده‌فروش در حالت ادغام اعضای لجستیک را نشان می‌دهد. با تغییر کشسانی تقاضای محصول اول و دوم، سود خرده‌فروش در دو سناریو مساوی است. زمانی‌که کشسانی تقاضای محصول اول و دوم بیشترین مقدار را داشته باشند، سود ماکزیمم می‌شود. در شکل (۱۸) سود ادغام‌کننده خدمات در سناریو غیرمتمرکز زمانی که کشسانی تقاضای محصول اول و دوم

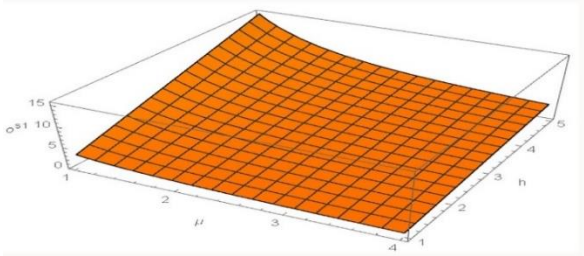
بیشترین مقدار را دارد، ماکزیمم می‌شود. در سناریو ادغام تولیدکننده و خرده‌فروش، وقتی کشسانی تقاضای محصول دوم بیشترین مقدار و کشسانی تقاضای محصول اول کمترین مقدار را داشته باشد، سود ادغام‌کننده خدمات ماکزیمم می‌شود. در شکل (۱۹) تغییر سود ارائه‌دهنده خدمات مشابه سود ادغام‌کننده خدمات در شکل ۱۸ است.

به‌طور خلاصه می‌توان گفت: درحالتی‌که اعضای لجستیک ادغام می‌شوند: این ادغام می‌تواند منجربه کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی شود، که درنتیجه سود تولیدکننده را افزایش می‌دهد. اما این تغییرات تأثیری بر سود خرده‌فروش ندارد، زیرا قیمت‌ها و هزینه‌های خرده‌فروش تغییر نمی‌کند، زیرا قیمت‌ها و شرایط فروش توسط تولیدکننده تعیین شده و سود نهایی خرده‌فروش به تغییرات در بازار و تقاضای مشتریان بستگی دارد. در حالت دوم، ادغام تولیدکننده و خرده‌فروش می‌تواند منجربه کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی شود، اما اثرات آن بر سود به تغییرات در کشسانی تقاضای محصولات وابسته است. اگر کشسانی تقاضای محصول اول و دوم متفاوت باشد، سناریو با سود بیشتر برای ارائه‌دهنده خدمات و ادغام‌کننده خدمات نیز متفاوت خواهد بود.

۵-۲-۶. تحلیل حساسیت سطح خدمات لجستیک در سناریو غیرمتمرکز



شکل (۲۰). اثر μ و w_3 بر سطح خدمات لجستیک



شکل (۲۱). اثر h و μ بر سطح خدمات لجستیک

باتوجه به شکل (۲۰) با افزایش قیمت خدمات و کاهش هزینه افزایش سطح خدمات، سطح خدمات لجستیک افزایش می‌یابد. در شکل (۲۱) زمانی‌که ضریب خدمات لجستیک بیشترین مقدار و هزینه افزایش سطح خدمات کمترین مقدار را داشته باشد، سطح خدمات لجستیک ماکزیمم می‌شود.

۶. نتایج و پیشنهادهای کاربردی

در این پژوهش مسأله قیمت‌گذاری در یک زنجیره‌تأمین با دو کانال توزیع با درنظر گرفتن اعضای لجستیک مورد بررسی قرار گرفت. مسأله در چهار سناریو، با ادغام اعضای مختلف با یکدیگر، حل شد. اثر برخی از پارامترهای مسأله بر سطح خدمت لجستیک به‌عنوان یک متغیر مورد بررسی قرار گرفت. درادامه یک مثال عددی به‌همراه تحلیل حساسیت برخی از پارامترها نسبت‌به سود و سطح خدمت در سناریوهای مختلف، ارائه شد. نتایج نشان می‌دهد که: با ادغام اعضای لجستیک سود تولیدکننده افزایش می‌یابد، سود خرده‌فروش در برخی موارد کاهش یافته و در برخی شرایط تغییر نمی‌کند. همچنین با ادغام تولیدکننده و خرده‌فروش، در بیشتر موارد سود ادغام‌کننده خدمات و ارائه‌دهنده خدمات کاهش می‌یابد. ادغام اعضای لجستیک در رابطه‌ی پارامترها با سطح خدمت اثرگذار است. به‌عنوان مثال، در شرایط عدم ادغام اعضای لجستیک، افزایش قیمت فروش محصول سوم همواره باعث کاهش سطح خدمت می‌شود. اگر اعضای لجستیک ادغام شوند افزایش قیمت فروش محصول سوم در برخی شرایط باعث افزایش سطح خدمت می‌شود. در سناریو غیرمتمرکز اگر قیمت خدمات و ضریب خدمات افزایش یابد، سطح خدمات افزایش می‌یابد. همچنین با کاهش هزینه افزایش سطح خدمت، سطح خدمات افزایش می‌یابد.

باتوجه به نتایج و یافته‌های تحقیق، بینش‌های مدیریتی زیر قابل بررسی و دقت نظر می‌باشد:

- ازآنجاکه ادغام اعضای لجستیک به نظر می‌رسد تا حدودی می‌تواند تأثیرگذاری بیشتری بر سود و خدمات داشته باشد، پیشنهاد می‌شود تا شرکت‌ها با دقت بیشتری، این امکانات را برای بهبود عملکرد خود ارزیابی کنند. به‌طور خاص، توجه به ادغام تولیدکننده و خرده‌فروش به‌عنوان یک زمینه مهم برای بهبود سود و خدمات می‌تواند مفید باشد. همچنین، تلاش در جهت یکپارچه‌سازی فعالیت‌های شرکت‌های ارائه‌دهنده خدمات لجستیک و نیز ادغام‌کننده آن، زمینه را برای بهبود سطح خدمات لجستیک فراهم نموده به‌طوری‌که در بلندمدت باعث سودآوری مطلوب برای تمامی اعضای زنجیره خواهد شد.
- باتوجه به تغییرات گسترده در سلیقه و انتظارات مشتریان و نیز اهمیت ارائه خدمات پس از فروش همچون خدمات لجستیکی، بهترین تصمیم برای مدیران در این موقعیت می‌تواند بهبود فن‌آوری و استفاده از سیستم‌های اتوماتیک در فرایندهای لجستیکی باشد. بهبود فن‌آوری و استفاده از سیستم‌های هوشمند می‌تواند به مدیران کمک کند تا فرآیندهای لجستیکی را بهبود بخشیده و به درک بهتری از نیازهای مشتریان خود برسند. این تصمیم‌گیری می‌تواند به بهبود کیفیت خدمات، افزایش کارایی و کاهش هزینه‌ها منجر شود و درنهایت به رضایت مشتریان بیشتری منجر شود.
- استفاده از فن‌آوری‌های نوین مانند اینترنت اشیاء می‌تواند بهبود قابل توجهی در عملکرد زنجیره‌تأمین داشته باشد. بنابراین، ارتقاء فن‌آوری‌های پشتیبانی از زنجیره‌تأمین می‌تواند به بهبود عملکرد و افزایش سود کمک کند. همچنین، ایجاد ارتباطات بهتر و

همکاری مؤثر بین اعضای زنجیره‌تأمین، می‌تواند به کاهش هزینه‌ها و بهبود خدمات منجر شود. بنابراین، تمرکز بر بهبود تعاملات و ارتباطات داخلی و خارجی می‌تواند به ارتقاء عملکرد زنجیره‌تأمین کمک کند.

- ایجاد یک سیستم زنجیره‌تأمین انعطاف‌پذیر، که قادر باشد به مواجهه با تغییرات سریع در بازار و نیازمندی‌ها پاسخ دهد، می‌تواند به بهبود عملکرد و عدم افزایش هزینه‌ها منجر شود. درنهایت، شرکت‌ها باید بهبودهای ارائه شده در تحقیقات علمی را در مدیریت و بهینه‌سازی زنجیره‌تأمین خود لحاظ کنند، بهبودهای خود را توسعه دهند و با استفاده از روش‌های نوین و به‌روز، عملکرد و سودآوری خود را بهبود بخشند.

در پژوهش‌های آینده می‌توان اثر سطح تلاش در خرده‌فروشی و اثر تبلیغات را درنظر گرفت. همچنین می‌توان با اضافه کردن دولت به‌عنوان یک عضو جدید، اثر یارانه‌ی دولت را درنظر گرفت. فروش محصول در دو دوره، امکان بازخرید محصول از مشتری و تابع تقاضای احتمالی نیز می‌تواند به‌عنوان پژوهش‌های آینده در این مسأله درنظر گرفته شود.

مراجع

[1] Z. Basiri, J. Heydari, A mathematical model for green supply chain coordination with substitutable products, J. Clean. Prod. 145 (2017) 232–249. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.060.

[2] W. Liu, M. Wang, D. Zhu, L. Zhou, Service capacity procurement of logistics service supply chain with demand updating and loss-averse preference, Appl. Math. Model. 66 (2019) 486–507. https://doi.org/10.1016/j.apm.2018.09.020.

[3] L. Wang, H. Song, Y. Wang, Pricing and service decisions of complementary products in a dual-channel supply chain, Comput. Ind. Eng. 105 (2017) 223–233. https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.12.034.

[4] S. Li, L. Shao, H. You, Markdown pricing or bundling for complementary products in the presence of strategic consumers, Procedia Comput. Sci. 112 (2017) 1562–1569. https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.08.096.

[5] A. Ranjan, J.K. Jha, Pricing and coordination strategies of a dual-channel supply chain considering green quality and sales effort, J. Clean. Prod. 218 (2019) 409–424. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.297.

[6] K. Rahmani, M. Yavari, Pricing policies for a dual-channel green supply chain under demand disruptions, Comput. Ind. Eng. 127 (2019) 493–510. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.10.039.

[7] M.B. Jamali, 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. 170 (2018) 1029–1043. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.181.

[8] M. Reisi, S.A. Gabriel, B. Fahimnia, Supply chain competition on shelf space and pricing for soft drinks: A bilevel optimization approach, Int. J. Prod. Econ. 211 (2019) 237–250. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.12.018.

[9] A. Raj, I. Biswas, S.K. Srivastava, Designing supply contracts for the sustainable supply chain using game theory, J. Clean. Prod. 185 (2018) 275–284. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.046.

[10] Y. Huang, K. Wang, T. Zhang, C. Pang, Green supply chain coordination with greenhouse gases emissions management: a game-theoretic approach, J. Clean. Prod. 112 (2016) 2004–2014. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.137.

[11] D. Yang, T. Xiao, Pricing and green level decisions of a green supply chain with governmental interventions under fuzzy uncertainties, J. Clean. Prod. 149 (2017) 1174–1187. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.138.

[12] J. Zhao, X. Hou, Y. Guo, J. Wei, Pricing policies for complementary products in a dual-channel supply chain, Appl. Math. Model. 49 (2017) 437–451. https://doi.org/10.1016/j.apm.2017.04.023.

[13] Y. Liu, B. Quan, Q. Xu, J.Y.-L. Forrest, Corporate social responsibility and decision analysis in a supply chain through government subsidy, J. Clean. Prod. 208 (2019) 436–447. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.121.

[14] Z. Chen, S.-I. Ivan Su, Social welfare maximization with the least subsidy: Photovoltaic supply chain equilibrium and coordination with fairness concern, Renew. Energy 132 (2019) 1332–1347. https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.09.026.

[15] C. Song, B. Xu, L. Xu, Dual-Channel Supply Chain Pricing Decisions for Low-Carbon Consumers: A Review, J. Intell. Manag. Decis. 2 (2023) 57–65. https://doi.org/10.56578/jimd020202.

[16] Mingxing Xu; Ruoshan Yu; Huishui Su, Pricing and service strategies of dual-channel supply chain under information sharing., DYNA - Ing. e Ind. 98 (2023) 154. https://doi.org/10.6036/10835.

[17]]Y. Kang, J. Chen, D. Wu, Research on Pricing Strategies of Dual Channel Reverse Supply Chain Considering Service Outsourcing in Multi-regional Situation, ACM Int. Conf. Proceeding Ser. (2022) 23–27. https://doi.org/10.1145/3572647.3572651.

[18] Y. Ma, Z. Li, K. Liu, Z. Liu, Price Decision-Making in Dual-Channel Healthcare Services Supply Chain Considering the Channel Acceptance, Price Ceiling, and Public Welfare, Int. J. Environ. Res. Public Health 19 (2022). https://doi.org/10.3390/ijerph192013028.

[19] X. Zhang, H. Xu, C. Zhang, S. Xiao, Y. Zhang, Pricing Decision Models of the Dual Channel Supply Chain with Service Level and Return, Energies 15 (2022). https://doi.org/10.3390/en15239237.

[20] L. Tombido, I. Baihaqi, Dual and Multi-channel closed-loop supply chains: A state of the art review, J. Remanufacturing 12 (2022) 89–123. https://doi.org/10.1007/s13243-021-00103-4.

[21] B. Xin, L. Zhang, L. Xie, Pricing decision of a dual-channel supply chain with different payment, corporate social responsibility and service level, RAIRO - Oper. Res. 56 (2022) 49–75. https://doi.org/10.1051/ro/2021187.

[22] L.H. He, X. Liao, Z.G. Zhang, P. Haug, Analysis of online dual-channel supply chain based on service level of logistics and national advertising, Qual. Technol. Quant. Manag. 13 (2016) 473–490. https://doi.org/10.1080/16843703.2016.1191181.

[23] B. Yan, Z. Chen, X. Wang, Z. Jin, Influence of logistic

service level on multichannel decision of a two-echelon supply chain, Int. J. Prod. Res. 58 (2020) 3304–3329. https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1671622.

[24] X. Zhu, Y. Song, G. Lin, W. Xu, Pricing Decisions and Coordination in E-Commerce Supply Chain with Wholesale Price Contract Considering Focus Preferences, J. Theor. Appl. Electron. Commer. Res. 18 (2023) 1041–1068. https://doi.org/10.3390/jtaer18020053.

[25] Y.C. Chen, S.C. Fang, U.P. Wen, Pricing policies for substitutable products in a supply chain with Internet and traditional channels, Eur. J. Oper. Res. 224 (2013) 542–551. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.09.003.

[26] G. Liu, J. Zhang, W. Tang, Strategic transfer pricing in a marketing-operations interface with quality level and advertising dependent goodwill, Omega (United Kingdom) 56 (2015) 1–15. https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.01.004.

[27] P. De Giovanni, Quality improvement vs. advertising support: Which strategy works better for a manufacturer?, Eur. J. Oper. Res. 208 (2011) 119–130. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.08.003.

IERPS Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

ISSN: 2345-2269

Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

Spring and Summer 2024, Volume 12., No. 24., pp. 115-131
www.ier.basu.ac.ir

DOI: https://doi.org/10.22084/ier.2024.29059.2164

A Game-Theoretic Approach for Pricing in Dual-Channel Supply Chains Considering Logistics Services

Shayesteh Abedini Nodoushan [1], Mohammad Ali Eghbali[2], Morteza Rasti-Barzoki[3*]

[1.] Master's student, Department of Industrial and Systems Engineering, Faculty of Industrial and Systems Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
[2.] Assistant professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Computer and Industrial Engineering, Birjand University of Technology, Birjand, Iran
[3.] Professor, Department of Industrial and Systems Engineering, Faculty of Industrial and Systems Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111, Iran

ARTICLE INFO

***Article history*:**

Received 15 March 2024
Accepted 10 June 2024

***Keywords*:**

Pricing, Game Theory
Stackelberg Equilibrium
Dual-Channel Supply Chains and Logistics Service Supply Chain

ABSTRACT

In recent years, manufacturers have started selling their products online. This study examines pricing in a supply chain involving manufacturing, retailers, logistics service providers, and integrators. There are three products in this chain: two physical products from manufacturers and a service product from logistics providers. Physical products are sold online and in retail stores, with online purchases including two products. The problem is examined in four scenarios, including decentralized, manufacturer integration with retailer, functional logistics service provider integration with logistics service integrator, and a combined approach of manufacturer integration with retailer and functional logistics service provider integration with logistics service integrator. This paper introduces a novel approach by analyzing the impact of logistics supply chain members, focusing on logistics service levels and pricing. The study aims to explore how the integration of supply chain members influences the profits and service levels of other stakeholders. The results indicate that integrating two supply chain members typically lowers profits for other members. Integrating a logistics service provider and integrator can increase manufacturer profit and decrease retailer profit in certain cases, while in other cases profits remain unchanged. Similarly, integrating manufacturer and retailer usually results in decreased profits for logistics service providers and integrators. The integration of functional logistics service provider and logistics service integrator has an impact on the relationship of parameters with service level. In the decentralized scenario, if service price and service coefficients increase, service levels increase. It also increases service levels as the cost of service increases.

[*] Corresponding author. M. Rasti-Barzoki
Tel.:056-32391441; E-mail address: rasti@cc.iut.ac.ir