نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

سال هفتم، شماره پانزدهم، پاییز و زمستان ۱۳۹۸، صفحه ۳۷۷-۳۹۳

www.ier.basu.ac.ir

ISSN: 2345-2269

DOI: 10.22084/ier.2020.19410.1865

قیمت‌گذاری و جمع‌آوری محصولات در زنجیره تأمین حلقه بسته با دو کانال بازیافت رقابتی تحت رهبری مختلف

یحیی رنجبر[۱]، هادی صاحبی[۲*]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران

۲. استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۳۹۸/۳/۲۷

پذیرش ۱۳۹۸/۱۲/۲۵

کلمات کلیدی:

زنجیره تأمین حلقه بسته

رهبری کانال

دو کانال بازیافت رقابتی

بازسازی

نظریه بازی

خلاصه

در این مطالعه یک زنجیره تأمین حلقه بسته شامل یک سازنده، یک خرده‌فروش و یک جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث در نظر گرفته شده است. سازنده هم محصولات جدید را از مواد خام تولید می‌کند و هم محصولات استفاده‌شده جمع‌آوری شده را بازسازی می‌کند. سازنده محصولات جدید و محصولات بازسازی‌شده را از طریق خرده‌فروش به بازار عرضه می‌کند و در کانال معکوس، خرده‌فروش و جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث به‌طور رقابتی محصولات استفاده شده را جمع‌آوری می‌کنند. برای بررسی تصمیمات بهینه قیمت‌گذاری و جمع‌آوری تحت رهبری کانال مختلف، چهار سناریو متفاوت ساخته شده است- یک مدل متمرکز و سه مدل غیرمتمرکز شامل رهبری سازنده، رهبری خرده‌فروش و رهبری جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث. سپس با استفاده از آنالیز عددی، تصمیمات بهینه در سناریوهای مختلف مقایسه شده‌اند و تأثیر شدت رقابت بین دو کانال بازیافت بر متغیرهای تصمیم‌گیری و سود بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد مدل رهبری خرده‌فروش اغلب مؤثرترین سناریو در زنجیره تأمین حلقه بسته است.

۱- مقدمه

یکی از دغدغه‌های جوامع امروزی مصرف بیش از اندازه محصولات و چرخه کوتاه عمر محصولات می‌باشد. اهمیت مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی موجب افزایش توجه روزافزون به جمع‌آوری محصولات استفاده‌شده و بازسازی آن‌ها شده است که به‌طور قابل‌توجهی موجب کاهش مصرف انرژی، نیروی کار و در نتیجه هزینه تولید می‌شود و از طرف دیگر زباله‌ها را کاهش می‌دهد و مزایای زیست‌محیطی را به همراه دارد، به همین دلایل زنجیره تأمین حلقه بسته هم در عمل و در صنایع مختلف و هم در مطالعات دانشگاهی در دهه اخیر به‌شدت مورد توجه قرار گرفته است.

دیدگاه‌های مختلفی تاکنون در زنجیره تأمین حلقه بسته مورد بررسی قرار گرفته‌اند مانند برنامه‌ریزی تولید و مدیریت موجودی، طراحی شبکه‌های توزیع معکوس، مدیریت کانال و غیره. در میان این مطالعات، مدیریت کانال زنجیره تأمین حلقه بسته یکی از مهم‌ترین موضوعات هست. سواسکن و همکاران [۱]، جمع‌آوری سازنده، جمع‌آوری خرده‌فروش و جمع‌آوری بخش ثالث را مقایسه کرده‌اند تا کانال بازیافت مناسب را انتخاب کنند و نتیجه گرفته‌اند جمع‌آوری خرده‌فروش بهترین ساختار کانال بازیافت می‌باشد، بعد از این مطالعه، پژوهش‌های بسیاری در زمینه مدیریت کانال زنجیره تامین انجام شده است، در سال‌های اخیر دو کانال جمع‌آوری برای جمع‌آوری محصولات استفاده‌شده مورد بررسی قرار گرفته است. هونگ و همکاران [۲] مدل‌های زنجیره تأمین حلقه بسته را با دو کانال جمع‌آوری ترکیبی را بررسی کرده‌اند تا ساختار کانال معکوس مناسب برای جمع‌آوری محصولات استفاده‌شده را تعیین کنند.

* نویسنده مسئول: هادی صاحبی

تلفن: ۷۳۲۲۵۰۴۷-۰۲۱؛ پست الکترونیکی: hadi_sahebi@iust.ac.ir

پژوهش آن‌ها سه مدل در نظر گرفته است شامل مدل جمع‌آوری ترکیبی سازنده و خرده‌فروش، مدل جمع‌آوری ترکیبی سازنده و جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث و مدل جمع‌آوری ترکیبی خرده‌فروش و جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث و این سه مدل را تحت قیمت خرده‌فروشی، نرخ جمع‌آوری و سود با هم مقایسه کرده‌اند. هونگ و همکاران [۳] مطالعه قبلی را با در نظر گرفتن سرمایه‌گذاری تبلیغات توسط خرده‌فروش توسعه داده‌اند. گیری و همکاران [۴] یک زنجیره تأمین سه سطحی حلقه بسته را بررسی کرده‌اند که سازنده از طریق کانال اینترنت، هم محصولات را به بازار عرضه می‌کند و هم محصولات استفاده‌شده را جمع‌آوری می‌کند و از طرفی فروش محصولات از طریق کانال سنتی خرده‌فروشی انجام می‌شود و جمع‌آوری محصولات استفاده‌شده نیز از طریق کانال سنتی جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث انجام می‌شود تا به‌نوعی دو کانال مستقیم و دو کانال معکوس مورد ارزیابی قرار گیرد.

در تمامی مقالات ذکر شده با دو کانال بازیافت[۲]، رقابت بین دو کانال بازیافت بررسی نشده است. در سال ۲۰۱۳ هوآنگ و همکاران [۵] زنجیره تأمین حلقه بسته‌ای با دو کانال بازیافت بررسی کرده‌اند که خرده فروش و جمع‌آوری کننده بخش ثالث به طور رقابتی محصولات استفاده‌شده را جمع‌آوری می‌کنند. آن‌ها دو کانال بازیافت رقابتی را با یک کانال بازیافت خرده‌فروش (از نظر سواسکن و همکاران [۱] بهترین کانال جمع‌آوری برای محصولات استفاده‌شده می‌باشد) مقایسه کرده‌اند. کریمی و راستی برزکی [۶] از رویکرد نظریه بازی در یک زنجیره تأمین با دو کانال توزیع برای بررسی موضوع قیمت‌گذاری، تعیین سطح تبلیغات و تعیین سطح خدمت به‌طور هم‌زمان، استفاده کرده‌اند.

از چشم‌انداز مدیریت زنجیره تأمین، قدرت کانال به عنوان توانایی یک بخش به منظور تشویق بخش‌های دیگر به انجام آنچه در غیر این صورت انجام نمی‌شود، می‌باشد [۷]. چوی و همکاران [۸] به نوعی پیشگام در مقایسه عملکرد زنجیره تأمین سه سطحی حلقه بسته تحت رهبری مختلف می‌باشد، چهار مدل شامل یک مدل متمرکز و سه مدل غیرمتمرکز شامل رهبری سازنده، رهبری خرده‌فروش و رهبری جمع‌آوری‌کننده در نظر گرفته‌اند. ازآنجایی‌که در مطالعات قبلی مدیریت زنجیره تأمین حلقه بسته، همیشه فرض بر این بوده است که سازنده رهبر کانال است از مقایسه مدل‌ها در پژوهش چوی و همکاران به این نتیجه رسیدند برای سازنده بهترین سناریو رهبری خودش نیست بلکه مدل رهبری خرده‌فروش کاراترین مدل زنجیره تأمین حلقه بسته است که این نتیجه یک مدرک علمی مهم برای تغییر رهبری کانال از بالادست (سازنده) به پایین‌دست (خرده‌فروش) می‌باشد. ما و همکاران [۹] یک زنجیره تأمین دوسطحی را در نظر گرفته‌اند و تصمیمات تعادلی را تحت سه مدل استاکلبرگ سازنده، استاکلبرگ خرده‌فروش و نش عموی با تقاضای وابسته به کیفیت و تلاش بازاریابی مورد بررسی قرار داده‌اند. مایتی و گیری [۱۰] یک زنجیره تأمین سه سطحی حلقه بسته در نظر گرفته‌اند و تصمیمات تعادلی اعضا را در پنج سناریو شامل سناریو متمرکز و سناریوهای غیرمتمرکز بازی نش و سه سناریو بازی استاکلبرگ با رهبری سازنده، رهبری خرده‌فروش و رهبری جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث مورد بررسی قرار داده‌اند و مقایسه مدل‌های مختلف، با تقاضای وابسته به کیفیت محصول و قیمت خرده‌فروشی و با در نظر گرفتن اثر کیفیت محصول بر تصمیمات تعادلی انجام شده است. طالعی زاده و همکاران [۱۱]، مدل مایتی و گیری [۱۰] را با در نظر گرفتن اثر بازاریابی، تلاش جمع‌آوری، قیمت مرجع و سیاست بازگشت در زنجیره تأمین سه سطحی حلقه بسته توسعه داده‌اند. پنج مدل زنجیره تأمین حلقه بسته شامل متمرکز، نش عمودی، رهبری سازنده، رهبری خرده‌فروش و رهبری جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث ارائه شده و تصمیمات بهینه اعضا زنجیره تأمین تحت این مدل‌ها بررسی‌شده است. نتایج پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد اگر اولویت مشتری قیمت باشد رهبری خرده‌فروش بهترین مدل و اگر الویت مشتری کیفیت باشد مدل متمرکز و مدل رهبری سازنده بهترین مدل می‌باشند. گااو و همکاران [۱۲] ساختارهای قدرت کانال[۳] مختلف را در زنجیره تأمین دوسطحی حلقه بسته شامل یک سازنده و یک خرده‌فروش بررسی کرده‌اند. برای بررسی تصمیمات بهینه اعضا از نظریه بازی برای مدل‌سازی استفاده شده است و چهار مدل متمرکز و غیرمتمرکز استاکلبرگ سازنده، غیرمتمرکز استاکلبرگ خرده‌فروش و نش عمودی در نظر گرفته شده است و تصمیمات بهینه در هر مدل به‌دست‌آمده و مقایسه شده است. نتایج مطالعه آن‌ها نشان می‌دهد با تغییر کارایی تقاضا با توجه به تلاش جمع‌آوری، ساختار مناسب برای زنجیره تأمین حلقه بسته تغییر می‌کند. وانگ و همکاران [۱۳] اشتراک‌گذاری مجوز جمع‌آوری ضایعات الکتریکی و الکترونیکی[۴] بین سازنده و جمع‌آوری‌کننده در زنجیره تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن مکانیسم پاداش-جریم دولت[۵] بررسی کرده‌اند. ساختار قدرت مختلف شامل رهبری سازنده و رهبری جمع‌آوری‌کننده هم با مکانیسم پاداش-جریم دولت و هم بدون آن در پژوهش آن‌ها باهم مقایسه شده‌اند. وی و همکاران [۱۴] تصمیمات تعادلی جمع‌آوری و قیمت‌گذاری را در زنجیره تأمین دوسطحی حلقه بسته بررسی می‌کنند، ساختارهای قدرت مختلف شامل استاکلبرگ سازنده و استاکلبرگ خرده‌فروش با اطلاعات متقارن و نامتقارن مدل‌سازی شده است. زرنگ و همکاران [۱۵] چهار مدل زنجیره تأمین حلقه بسته شامل مدل متمرکز، مدل استاکلبرگ سازنده، مدل استاکلبرگ خرده‌فروش و مدل استاکلبرگ جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث با توجه به تابع تقاضای وابسته به قیمت و تلاش بازاریابی ارائه کرده‌اند. مقایسه بین مدل‌ها از جنبه‌های فرآیند بازسازی و رفاه مشتری انجام‌گرفته است و نتیجه گرفته شده است رهبری سازنده کاراترین مدل زنجیره تأمین حلقه بسته می‌باشد. ژنگ و همکاران [۱۶] یک زنجیره تأمین سه سطحی حلقه بسته با دو کانال مستقیم ارائه کرده‌اند و اثر رقابت بین دو کانال مستقیم را در ساختارهای قدرت مختلف بررسی کرده‌اند، وضعیت نسبی متقارن و نامتقارن بین کانال مستقیم و کانال خرده‌فروش در نظر گرفته شده

است و جمع‌آوری‌کننده محصولات استفاده شده را جمع‌آوری می‌کند. بر اساس نظریه بازی چهار مدل متمرکز، استاکلبرگ سازنده، استاکلبرگ خرده‌فروش و استاکلبرگ جمع‌آوری‌کننده ارائه شده و مقایسه بین مدل‌های مختلف از لحاظ قیمت‌گذاری، جمع‌آوری و سود انجام شده است.

بر اساس پژوهش‌هایقبلی، جنبه های نوآورانه این پژوهش شامل موارد زیر می باشد:

- در نظر گرفتن دو کانال جمع‌آوری خرده فروش و کانال جمع‌آوری جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث تحت رهبری اعضا مختلف زنجیره تأمین
- در نظر گرفتن شدت رقابت بین دو کانال بازیافت و مقایسه مدل‌های متمرکز و غیرمتمرکز تحت این شرایط
- بررسی تاثیر شدت رقابت بین دو کانال بازیافت بر متغیرهای تصمیم و سود اعضا در مدل‌های مختلف.

بدین ترتیب در بخش‌های بعدی بر اساس نظریه بازی مدل ریاضی ارائه شده و تصمیمات تعادلی بدست می‌آید و مثال عددی برای مقایسه مدل‌های رهبری مختلف ارائه شده و آنالیز حساسیت مربوط به شدت رقابت بین دو کانال بازیافت ارائه شده است و در بخش پایانی نتایج و پیشنهادات آتی آورده شده است.

۲- تعریف مسئله

یک زنجیره تأمین حلقه بسته سه سطحی شامل یک سازنده، یک خرده‌فروش، یک جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث در نظر گرفته شده است. سازنده محصولات جدید را از مواد خام تولید می‌کند و هم‌چنین محصولات استفاده‌شده جمع‌آوری‌شده را بازسازی می‌کند. در کانال مستقیم، سازنده محصولات را به خرده‌فروش با قیمت عمده‌فروشی (W) می‌فروشد و خرده‌فروش محصولات را به مشتری یا مصرف‌کننده با قیمت خرده‌فروشی (P) می‌فروشد. در کانال معکوس، خرده‌فروش و جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث محصولات استفاده‌شده را از مشتری جمع‌آوری می‌کنند و با قیمت‌های انتقالی متفاوت به سازنده برای فرآیند بازسازی می‌رسانند.

برای در نظرگرفتن رهبری کانال مختلف برای زنجیره تأمین حلقه بسته با دو کانال بازیافت رقابتی از بازی استاکلبرگ برای ارائه سه مدل غیرمتمرکز شامل استاکلبرگ با رهبری سازنده، استاکلبرگ با رهبری خرده‌فروش و استاکلبرگ با رهبری جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث، استفاده شده است. به منظور فراهم آوردن یک مدل پایه برای مقایسه سه مدل غیرمتمرکز، یک سیستم متمرکز در نظر گرفته شده است که اعضا یک مشارکت واحد را تشکیل می‌دهند تا به‌طور مشترک تصمیمات را تعیین کنند.

۲-۱- متغیرها و پارامترها

C_m: هزینه ساخت هر واحد محصول نهایی از مواد خام

C_r: هزینه بازسازی محصول استفاده‌شده

W: قیمت عمده‌فروشی هر واحد از محصولات

P: قیمت خرده‌فروشی هر واحد از محصولات

τ: نرخ جمع‌آوری $0 \le \tau \le 1$

τ_R: نرخ جمع‌آوری خرده‌فروش

τ_T: نرخ جمع‌آوری جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث

A: میانگین قیمت بازیافت برای محصول استفاده‌شده، (ثابت پرداخت‌شده به مشتری که محصول استفاده‌شده را بازگرداند شامل هزینه‌های به دست آوردن محصول استفاده‌شده تا زمانی که به کارخانه سازنده برسد).

Δ: صرفه‌جویی هزینه هر واحد از بازسازی محصول $\Delta = C_m - C_r$

C_L: ضریب مبادله بین نرخ جمع‌آوری و سرمایه‌گذاری

ϕ: اندازه بازار پایه

β: حساسیت مصرف‌کننده به قیمت خرده‌فروشی

D: تقاضا برای محصول در بازار

b: قیمت انتقال هر واحد، سازنده محصولات استفاده‌شده را از خرده‌فروش در قیمت b_R و از جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث در قیمت b_T خریداری می‌کند.

I_R: سرمایه‌گذاری خرده‌فروش در جمع‌آوری محصولات استفاده‌شده

I_T: سرمایه‌گذاری جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث در جمع‌آوری محصولات استفاده‌شده

α: ضریب رقابت بین خرده‌فروش و جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث

Π: سود

Π_i^j, τ_i^j, b_i^j: به ترتیب قیمت انتقال، نرخ جمع‌آوری و سود عضو i وقتی عضو j رهبر است را نشان می‌دهد.

$i \in \{M,R,T\}$

$j \in \{C,M,R,T\}$

M به سازنده، R به خرده‌فروش، T به جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث و C به سیستم متمرکز اشاره دارد.

۲-۲- مفروضات مسئله

۱. به‌منظور اقتصادی بودن بازسازی فرض شده است بازسازی محصول هزینه کمتری نسبت به تولید محصول جدید دارد.

۲. فرض بر این است سازنده عمل بازسازی را نیز انجام می‌دهد؛ بنابراین کیفیت محصول بازسازی‌شده مشابه محصول جدید است. دوربین‌های تک کاربرِ کداک نمونه‌ای از این موارد می‌باشد، اغلب کسانی که دوربین‌های جدید خریداری کرده‌اند نمی‌دانند این دوربین‌ها شامل بخش بازسازی‌شده است [۱۷].

۳. تابع تقاضا قطعی و خطی می‌باشد:

$$D(P) = \phi - \beta P \qquad (۱)$$
$$0 < \phi, \quad 0 < \beta, \quad \phi > \beta C_m$$

۴. محصولات بازسازی‌شده برای برآورده کردن تقاضای بازار کافی نیستند به همین دلیل محصولات جدید نیز تولید می‌شوند، بنابراین میانگین هزینه ساخت هر واحد محصول:

$$\bar{C} = C_m(1-\tau_R-\tau_T)+C_r(\tau_R+\tau_T) \Rightarrow \quad \bar{C} = C_m-\Delta(\tau_R+\tau_T) \qquad (۲)$$

۵. بر طبق سواسکن و همکاران [۱] نرخ جمع‌آوری به‌عنوان تابعی از سرمایه‌گذاری در جمع‌آوری محصول استفاده‌شده مدل شده است و نرخ جمع‌آوری عامل جمع‌آوری‌کننده به صورت $\tau = \sqrt{\frac{I}{C_L}}$ می باشد. ازآنجایی‌که در این پژوهش خرده‌فروش و جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث برای جمع‌آوری محصولات استفاده‌شده در رقابت هستند، نرخ جمع‌آوری به‌طور منطقی به سرمایه‌گذاری آن‌ها بستگی دارد؛ نرخ جمع‌آوری یک‌طرف تابع افزایشی مونوتیک از سرمایه‌گذاری خودش و تابع کاهشی مونوتیک از سرمایه‌گذاری رقیبش فرمول‌بندی می‌شود؛ بر طبق هوآنگ و همکاران [۵] خواهیم داشت:

$$\tau_R = \sqrt{\frac{I_R^{'}}{C_L}} \qquad (۳)$$

$$I_R^{'} = I_R - \alpha_1 I_T \qquad (۴)$$

سرمایه‌گذاری مؤثر خرده‌فروش: I'_R

$$\tau_T = \sqrt{\frac{I_T^{'}}{C_L}} \qquad (۵)$$

$$I_T^{'} = I_T - \alpha_2 I_R \qquad (۶)$$

سرمایه‌گذاری مؤثر جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث: I'_T

بر طبق هوآنگ (۲۰۱۳) فرض می‌کنیم در عمل سرمایه‌گذاری یک طرف تأثیر بیشتری بر سرمایه‌گذاری مؤثر خودش دارد تا سرمایه‌گذاری طرف مقابل بنابراین: $0 \le \alpha_i < 1$ ، $i=1,2$

$$\tau_R = \sqrt{\frac{I_R-\alpha I_T}{C_L}} \qquad (۷)$$

$$\tau_T = \sqrt{\frac{I_T-\alpha I_R}{C_L}} \qquad (۸)$$

۶. همه محصولات جمع‌آوری‌شده با موفقیت بازسازی می‌شوند و هزینه بازسازی (C_r) برای همه محصولات بازسازی شده مشابه است.

۷. تولیدکننده، خرده‌فروش و جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث را برای جمع‌آوری محصول استفاده‌شده منصوب و قیمت انتقال را تعیین می‌کند.

۸. همه اعضا زنجیره تأمین حلقه بسته، علاقه به همکاری در سیستم کل دارند، برای این‌که مدل شدنی باشد:

$$P > W > 0$$
$$b_R > A > 0\,, \qquad b_T > A > 0$$
$$\Delta \ge b_R\,, \qquad \Delta \ge b_T$$

۹. همه اعضا دارای اطلاعات مشابه و ریسک خنثی می‌باشند. این فرض برای کنترل ناکارایی و مسائل مربوط به اشتراک‌گذاری ریسک ناشی از عدم تقارن اطلاعات می‌باشد [۱۸].

۳- فرمول سازی مدل و تعادلات

در این بخش، چهار مدل زنجیره تأمین حلقه بسته با دو کانال بازیافت ایجاد شده است و تأثیر ساختار قدرت بر راه‌حل‌های تعادلی مدل بررسی شده است.

۳-۱- مدل متمرکز زنجیره تأمین حلقه بسته با دو کانال بازیافت رقابتی

این سناریو، مدل پایه‌ای را برای مقایسه با مدل‌های غیرمتمرکز در سود زنجیره تأمین و عملکرد کانال، تحت رهبری‌های مختلف فراهم می‌کند. در کانال متمرکز سازنده، خرده‌فروش و جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث با یکدیگر همکاری می‌کنند و به‌عنوان یک کارخانه یکپارچه عمل می‌کنند.

سود سیستم برای زنجیره تأمین حلقه بسته در مدل متمرکز:

$$\Pi^C = (\phi-\beta P^C)\times[P^C - C_m + (\tau_T^C+\tau_R^C)(\Delta-A)] - (I_R^C+I_T^C) \qquad (۹)$$

با توجه به سرمایه‌گذاری خرده‌فروش و جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث، سود مدل متمرکز بصورت زیر می‌باشد،

$$\underset{P^C,\tau_R^C,\tau_T^C}{MAX}\ \Pi^C = (\phi-\beta P^C)\times[P^C - C_m + (\tau_R^C+\tau_T^C)(\Delta-A)] - \frac{[(\tau_R^C)^2+(\tau_T^C)^2]C_L}{1-\alpha} \qquad (۱۰)$$

قیمت خرده‌فروشی و نرخ جمع‌آوری خرده‌فروش و نرخ جمع‌آوری جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث متغیرهای تصمیم هستند باید طوری به دست آیند تا ماکزیمم سود حاصل شود.

در مدل متمرکز اگر شرط زیر برقرار باشد:

$$2C_L > (\phi-\beta C_m)(1-\alpha)(\Delta-A) + \beta(1-\alpha)(\Delta-A)^2 \qquad (۱۱)$$

پاسخ بهینه مدل متمرکز به دست می‌آید:

$$P^{C*} = \frac{C_L(\phi+\beta C_m)-\beta\phi(1-\alpha)(\Delta-A)^2}{\beta[2C_L-\beta(1-\alpha)(\Delta-A)^2]} \qquad (۱۲)$$

$$\tau_R^{C*} = \frac{(\phi-\beta C_m)(1-\alpha)(\Delta-A)}{2[2C_L-\beta(1-\alpha)(\Delta-A)^2]} \qquad (۱۳)$$

$$\tau_T^{C*} = \frac{(\phi-\beta C_m)(1-\alpha)(\Delta-A)}{2[2C_L-\beta(1-\alpha)(\Delta-A)^2]} \qquad (۱۴)$$

۳-۲- مدل‌های غیرمتمرکز زنجیره تأمین حلقه بسته با دو کانال بازیافت رقابتی

در مدل غیرمتمرکز سازنده، خرده‌فروش و جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث تصمیم‌گیرندگان مستقل هستند و هریک از آن‌ها قصد دارند سود خود را ماکزیمم کنند از سه مدل استاکلبرگ سازنده، استاکلبرگ خرده‌فروش، استاکلبرگ جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث در این قسمت برای مدل‌سازی استفاده می‌شود. بازی استاکلبرگ زمانی استفاده می‌شود که یک شرکت از ارزش تجاری بیشتری نسبت به سایر بنگاه‌ها و شرکت‌ها برخوردار باشد و شناخته‌شده‌تر از دیگر عوامل و اعضا زنجیره باشد که در این صورت می‌تواند به‌عنوان رهبر عمل کند و سایر بنگاه‌ها به رهبر خود وابسته هستند.

توابع سود سازنده، خرده‌فروش، جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث بر اساس مفروضات به شکل زیر است:

$$\Pi_M = (\phi - \beta P)[W - C_m + (\Delta - b_R)\tau_R + (\Delta - b_T)\tau_T] \quad (۱۵)$$

$$\Pi_R = (P - W)(\phi - \beta P) + (b_R - A) \times \tau_R(\phi - \beta P) - \frac{C_L\tau_R^2 + \alpha C_L\tau_T^2}{1-\alpha^2} \quad (۱۶)$$

$$\Pi_T = (b_T - A)\tau_T(\phi - \beta P) - \frac{C_L\tau_T^2 + \alpha C_L\tau_R^2}{1-\alpha^2} \quad (۱۷)$$

۳-۲-۱- مدل رهبری سازنده

سازنده به‌عنوان رهبر در عمل و ادبیات به‌خوبی مورد توجه و تجزیه‌وتحلیل قرارگرفته است. در زنجیره تأمین تولید سنتی، مرحله تولید و طراحی اغلب به‌طور مستقیم فعالیت‌های خرده‌فروشی را تعیین می‌کند و رهبری کارخانه سازنده در زنجیره تأمین بسیار رایج است و بسیاری از تولیدکنندگان تجهیزات اصلی به‌عنوان رهبر در زنجیره تأمین عمل می‌کنند. در این سناریو سازنده رهبر و خرده‌فروش و جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث پیروان هستند.

$$\underset{w^M, b_R^M, b_T^M}{MAX}\ \Pi_M^M = (W^M, b_R^M, b_T^M; P^M, \tau_R^M, \tau_T^M) \quad (۱۸)$$

$$S.t.\ P^M > W^M \quad (۱۹)$$

$$(P^M, \tau_R^M) = \arg \underset{P^M, \tau_R^M}{MAX}\ \Pi_R^M(P^M, \tau_R^M; W^M, b_R^M) \quad (۲۰)$$

$$\tau_T^M = \arg \underset{\tau_T^M}{MAX}\ \Pi_T^M(\tau_T^M; b_T^M) \quad (۲۱)$$

برای به‌دست آوردن تصمیمات تعادلی اعضا از روش استقرای معکوس[۶] استفاده شده است.

اگر شروط زیر برقرار باشد،

$$4C_L > \beta(b_R^M - A)^2(1-\alpha^2) \quad (۲۲)$$

$$4C_L > \beta(1-\alpha^2)[(b_R^M - A)^2 + (\Delta + A - 2b_T^M)^2 + (\Delta - b_R^M)\times(b_R^M - A) + (\Delta - b_T^M)(b_T^M - A)] \quad (۲۳)$$

تصمیمات بهینه اعضا به‌صورت زیر می‌باشد:

(۲۴)

$$W^{M*} = \frac{8C_L(\phi + \beta C_m) - \beta(1-\alpha^2)(\Delta - A)^2(3\phi + 2\beta C_m)}{\beta[16C_L - 5\beta(1-\alpha^2)(\Delta - A)^2]} \quad (۲۴)$$

$$b_R^{M*} = \Delta \quad (۲۵)$$

$$b_T^{M*} = \frac{\Delta + A}{2} \quad (۲۶)$$

$$P^{M*} = \frac{2C_L(6\phi + 2\beta C_m) - 5\beta\phi(1-\alpha^2)(\Delta - A)^2}{\beta[16C_L - 5\beta(1-\alpha^2)(\Delta - A)^2]} \quad (۲۷)$$

$$\tau_R^{M*} = \frac{2(\phi - \beta C_m)(1-\alpha^2)(\Delta - A)}{16C_L - 5\beta(1-\alpha^2)(\Delta - A)^2} \quad (۲۸)$$

$$\tau_T^{M*} = \frac{(\phi - \beta C_m)(1-\alpha^2)(\Delta - A)}{16C_L - 5\beta(1-\alpha^2)(\Delta - A)^2} \quad (۲۹)$$

۳-۲-۲- مدل رهبری خرده‌فروش

با توسعه و رشد صنعت خرده‌فروشی جهان، بسیاری از خرده‌فروشان بزرگ مانند وال‌مارت، تسکو، کارفور و... اغلب به‌عنوان رهبر کانال در زنجیره تأمین عمل می‌کنند. در این مدل خرده‌فروش رهبر استاکلبرگ و سازنده و جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث پیروان هستند:

$$\underset{p^R, \tau_R^R}{MAX}\ \Pi_R^R = (P^R, \tau_R^R; W^R, b_R^R) \quad (۳۰)$$

$$S.t.$$

$$(W^R, b_R^R, b_T^R) = \arg \underset{W^R, b_R^R, b_T^R}{MAX}\ \Pi_M^R(W^R, b_R^R, b_T^R; P^R, \tau_R^R, \tau_T^R) \quad (۳۱)$$

$$P^R > W^R \quad (۳۲)$$

$$\tau_T^R = \arg \underset{\tau_T^R}{MAX}\ \Pi_T^R(\tau_T^R; b_T^R) \quad (۳۳)$$

برای به‌دست آوردن تصمیمات تعادلی اعضا از روش استقرای معکوس استفاده شده است.

اگر شرط زیر برقرار باشد:

$$8C_L > \beta(\Delta - A)^2(1-\alpha^2)(4-\alpha) \quad (۳۴)$$

جواب‌های بهینه این مدل بصورت زیر بدست می‌آید:

$$p^{R*}=\frac{4C_L(\phi+\beta C_m)-\beta\phi(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2(4-\alpha)}{\beta[8C_L-\beta(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2(4-\alpha)]} \quad (۳۵)$$

$$\tau_R^{R*}=\frac{2(\phi-\beta C_m)(1-\alpha^2)(\Delta-A)}{8C_L-\beta(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2(4-\alpha)} \quad (۳۶)$$

$$w^{R*}=\frac{4C_L(\phi+3\beta C_m)-\beta(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2(4-\alpha)(\phi+\beta C_m)}{\beta[16C_L-2\beta(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2(4-\alpha)]} \quad (۳۷)$$

$$\tau_T^{R*}=\frac{(\phi-\beta C_m)(1-\alpha^2)(\Delta-A)}{8C_L-\beta(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2(4-\alpha)} \quad (۳۸)$$

$$b_R^{R*}=\Delta \quad (۳۹)$$

$$b_T^{R}=\frac{\Delta+A}{2} \quad (۴۰)$$

۳-۲-۳- مدل رهبری جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث

در برخی صنایع مانند مدیریت فلز سیمز، خدمات بازیابی جهانی آی بی ام و... جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث به‌عنوان رهبر عمل می‌کند. در این مدل جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث به‌عنوان رهبر و سازنده و خرده‌فروش به‌عنوان پیروان استاکلبرگ هستند.

$$\underset{\tau_T^T}{MAX}\ \Pi_T^T(\tau_T^T;b_T^T) \quad (۴۱)$$

S.t.

$$(P^T,\tau_R^T)=\arg\ \underset{P^T,\tau_R^T}{MAX}\Pi_R^T(P^T,\tau_R^T;W^T,b_R^T) \quad (۴۲)$$

$$(W^T,b_R^T,b_T^T)=\arg \quad (۴۳)$$

$$\underset{W^T,b_R^T,b_T^T}{MAX}\ \Pi_M^T(W^T,b_R^T,b_T^T;P^T,\tau_R^T,\tau_T^T) \quad (۴۴)$$

$$P^T>W^T$$

همانند مدل‌های غیرمتمرکز قبلی برای به‌دست آوردن تصمیمات تعادلی اعضا از روش استقرای معکوس استفاده شده است. اگر شرط زیر برقرا باشد:

$$4C_L>\beta(b_R^T-A)^2(1-\alpha^2) \quad (۴۵)$$

تصمیمات بهینه اعضا به‌دست می‌آید:

$$p^{T*}=\frac{C_L(2\phi+\beta C_m)-\beta\phi(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2}{\beta[3C_L-\beta(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2]} \quad (۴۶)$$

$$\tau_R^{T*}=\frac{(\phi-\beta C_m)(1-\alpha^2)(\Delta-A)}{6C_L-2\beta(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2} \quad (۴۷)$$

$$w^{T*}=\frac{C_L(2\phi+4\beta C_m)-\beta(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2(\phi+\beta C_m)}{\beta[6C_L-2\beta(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2]} \quad (۴۸)$$

$$\tau_T^{T*}=\frac{(\phi-\beta C_m)(1-\alpha^2)(\Delta-A)}{2[6C_L-2\beta(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2]} \quad (۴۹)$$

$$b_R^{T*}=\Delta \quad (۵۰)$$

$$b_T^{T*}=\frac{\Delta+A}{2} \quad (۵۱)$$

۴- آنالیز عددی

همان‌طور که در مقالات طالعی‌زاده و همکاران [۱۱]، گیری و همکاران [۴]، مایتی و گیری [۱۰]، زرنگ و همکاران [۱۵] و... مثال عددی ارائه شده است تا عملکرد مدل و سیستم زنجیره تأمین حلقه بسته ارائه‌شده را نشان دهد در این مطالعه نیز از مثال عددی استفاده شده است، مثال عددی ارائه شده است تا با فرض‌ها و شرایط مدل مطابقت داشته باشند. از پارامترهای عددی زیر در این پژوهش استفاده شده است:

ϕ=۱۰۰, β=۰/۱۵, C_m=۱۵۰ , C_r= ۳۰

Δ= ۱۵۰-۳۰=۱۲۰ , A= ۲۰, C_L=۵۰۰۰

و همچنین شدت رقابت α در بازه [۰ , ۱) با گام ۰/۱ در نظر گرفته شده است. نتایج مثال عددی در جدول ۱ ارائه شده است.

با توجه به جدول ۱ خواهیم داشت،

$W^M > W^T > W^R$، برای قیمت عمده‌فروشی بهینه، توجه به این نکته قابل توجه است که مقدار آن در مدل رهبری خرده‌فروش کوچک‌ترین است زیرا خرده‌فروش انگیزه قوی برای به حداقل رساندن قیمت عمده‌فروشی دارد. در مدل رهبری سازنده به این دلیل که سازنده دارای قدرت بیشتری نسبت به سایر اعضاست قیمت عمده‌فروشی بیشتری را برای افزایش سود طلب می‌کند.

$P^M > P^T > P^C > P^R$، مدل رهبری خرده‌فروش کمترین قیمت خرده‌فروشی دارد حتی از مدل متمرکز نیز کمتر می‌باشد اما در مدل‌های رهبری سازنده و جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث به دلیل بالا بودن قیمت عمده‌فروشی و اثر مستقیمی که بر قیمت خرده‌فروشی می‌گذارد به ترتیب بالاترین قیمت خرده‌فروشی مشاهده شده است.

با توجه به جدول ۱، اگر α > ۰/۵ باشد:

$$\tau_R^R > \tau_R^C > \tau_R^T > \tau_R^M$$

بیشترین نرخ جمع‌آوری کانال خرده‌فروش مربوط به وقتی است که خرده‌فروش رهبر کانال است حتی از مدل متمرکز نیز بیشتر است و کمترین نرخ جمع‌آوری خرده‌فروش تحت رهبری سازنده می‌باشد.

و اگر α < ۰/۵ باشد:

$$\tau_R^R > \tau_R^T > \tau_R^C > \tau_R^M$$

در این حالت حتی نرخ جمع‌آوری خرده‌فروش تحت رهبری جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث از مدل متمرکز بهتر می‌باشد، از آنجایی که در مدل متمرکز نرخ جمع‌آوری خرده‌فروش و جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث یکسان می‌باشد با افزایش شدت رقابت نرخ جمع‌آوری هردو به یک نسبت کاهش می‌یابد اما در مدل رهبری جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث چون خرده‌فروش قیمت انتقالی بیشتری دریافت می‌کند شدت کاهش نرخ جمع‌آوری خرده‌فروش کمتر می‌باشد.

اگر α > ۰/۳۱ باشد:

$$\tau^C > \tau^R > \tau^T > \tau^M$$

در این حالت نرخ جمع‌آوری کل در مدل متمرکز بیشترین است زیرا تصمیمات در کانال کاملاً هماهنگ هستند و در بین تمام مدل‌های غیرمتمرکز مدل رهبری خرده‌فروش بیشترین نرخ جمع‌آوری دارد و رهبری سازنده کمترین نرخ جمع‌آوری را دارا می‌باشد.

$\Pi^{M}> \Pi^{T}> \Pi^{R}>\Pi^{C}$ ، سود کل زنجیره تأمین در مدل متمرکز از تمامی مدل‌های غیرمتمرکز بیشتر است زیرا تصمیمات در مورد متمرکز به‌صورت هماهنگ گرفته می‌شود. آشکار است که هر چه بیشتر از محصولات استفاده‌شده دوباره استفاده شود، زنجیره تأمین می‌تواند سود بیشتری به دست آورد، ازاین‌رو، به‌استثنای مدل تصمیم متمرکز، سود زمانی که خرده‌فروش رهبر کانال است بزرگ‌تر می‌باشد، زیرا تحت رهبری خرده‌فروش قیمت خرده‌فروشی پایین‌تر و نرخ جمع‌آوری بیشتر است. از طرفی تحت رهبری سازنده به دلیل قیمت عمده‌فروشی و قیمت خرده‌فروشی بالا و نرخ جمع‌آوری پایین و به دنبال آن هزینه تولید بالا، منجر به این می‌شود سود زنجیره تأمین تحت رهبری سازنده پایین‌ترین مقدار در بین تمامی مدل‌ها باشد.

۵- جمع‌بندی نتایج حل مدل

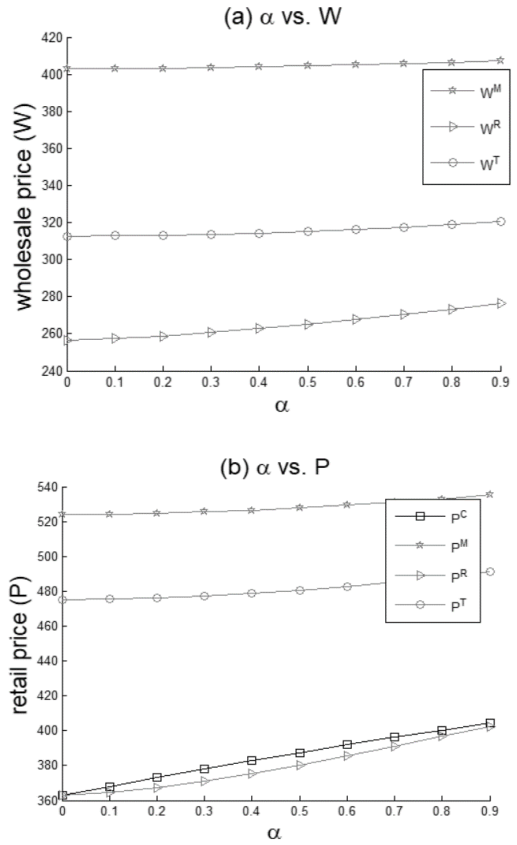
۱. قیمت عمده‌فروشی و به دنبال آن قیمت خرده‌فروشی در مدل رهبری سازنده بیشترین است و مدل رهبری خرده‌فروش کمترین قیمت خرده‌فروشی را نسبت به سایر مدل‌های غیرمتمرکز و مدل متمرکز ارائه می‌دهد، بنابراین زیان‌آورترین مدل برای مشتری و مصرف‌کننده محصولات، مدل رهبری سازنده می‌باشد و مدل رهبری خرده‌فروش نسبت به سایر مدل‌ها برای مصرف‌کننده سودآورتر است و رفاه بیشتری را برای مصرف‌کننده به همراه دارد ، بنابراین مصرف‌کننده مدل رهبری خرده‌فروش را ترجیح می‌دهد.

۲. در بین مدل‌های غیرمتمرکز بیشترین نرخ جمع‌آوری کل تحت رهبری خرده‌فروش و کمترین نرخ جمع‌آوری مربوط به رهبری سازنده می‌باشد، بنابراین در مورد فرآیند بازسازی و مسائل زیست‌محیطی مدل متمرکز بهترین می‌باشد و بهترین مدل در بین مدل‌های غیرمتمرکز ، مدل رهبری خرده‌فروش می‌باشد.

۳. سود کل زنجیره تأمین در مدل متمرکز از تمامی مدل‌های غیرمتمرکز بیشتر است و در بین مدل‌های غیرمتمرکز سود کل زنجیره تأمین تحت رهبری خرده‌فروش بیشترین است و تحت رهبری سازنده کمترین می‌باشد، همچنین مدل غیرمتمرکز خرده‌فروش از نظر سود کل زنجیره تأمین بسیار به مدل متمرکز نزدیک است، در نتیجه مدل غیرمتمرکز رهبری خرده‌فروش از نظر سود بهترین مدل می‌باشد.

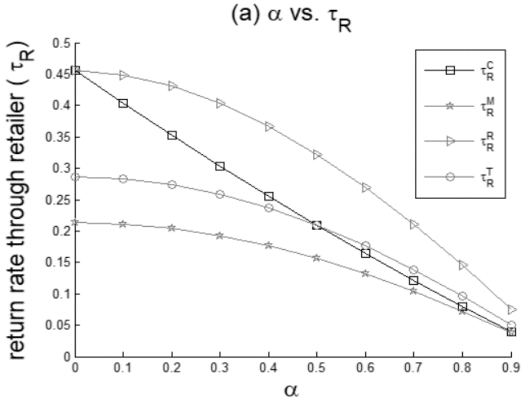
۶- آنالیز حساسیت

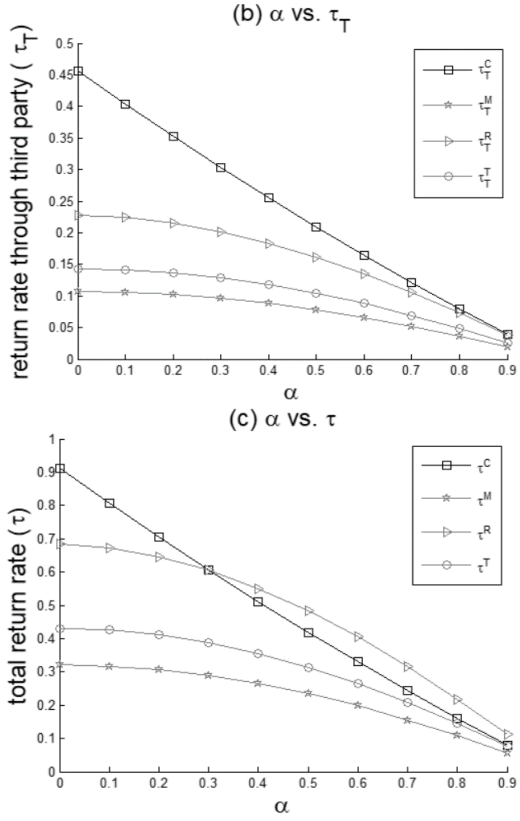
در این قسمت رفتار متغیرهای تصمیم بهینه و همچنین سود اعضا و سود کل زنجیره تأمین حلقه بسته با افزایش شدت رقابت بین دو کانال بازیافت (α) بررسی شده است و نتایج در شکل‌های مربوطه نشان داده شده است.



شکل (۱): آنالیز حساسیت قیمت عمده‌فروشی و قیمت خرده‌فروشی

همان‌طور که در شکل (۱) قابل مشاهده است با افزایش شدت رقابت بین دو کانال جمع‌آوری قیمت عمده‌فروشی و و قیمت خرده‌فروشی در تمامی مدل‌ها افزایش می‌یابد و بیشترین تأثیر افزایش شدت رقابت بین دو کانال جمع‌آوری بر قیمت عمده‌فروشی و قیمت خرده‌فروشی تحت رهبری خرده‌فروش می‌باشد که به‌صورت افزایشی افزایش می‌یابد.

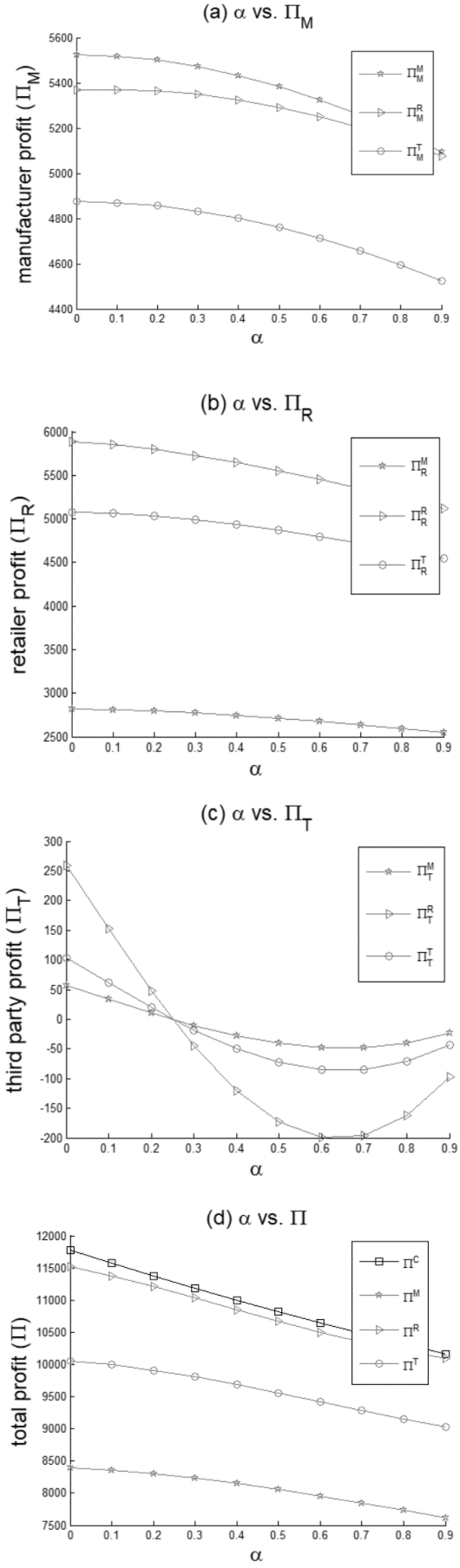




شکل (۲): آنالیز حساسیت نرخ‌های جمع‌آوری

با توجه به شکل ۲ (*a*)، نرخ جمع‌آوری خرده‌فروش در تمامی مدل‌ها با افزایش شدت رقابت کاهش می‌یابد. شدت کاهش نرخ جمع‌آوری خرده فروش تحت مدل متمرکز از مدل رهبری جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث بیشتر است طوری که در شدت رقابت کمتر از متوسط نرخ جمع‌آوری از طریق کانال خرده‌فروشی در مدل متمرکز از مدل رهبری جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث بیشتر است اما در شدت رقابت بیشتر از متوسط، نرخ جمع‌آوری از طریق کانال خرده‌فروشی در مدل متمرکز از مدل رهبری جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث کمتر است. با توجه به شکل ۲ (*b*)، نرخ جمع‌آوری جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث نیز تحت تمامی مدل‌ها با افزایش شدت رقابت کاهش می‌یابد.

نرخ جمع‌آوری کل که از جمع نرخ جمع‌آوری خرده‌فروش و نرخ جمع‌آوری جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث به دست می‌آید نیز در تمامی مدل‌ها با افزایش شدت رقابت کاهش می‌یابد. در مجموع با نزدیک شدن شدت رقابت بین دو کانال بازیافت به یک، نرخ‌های جمع‌آوری به صفر میل می‌کند.



شکل (۳): آنالیز حساسیت سود هر یک از اعضا و سود کل

جدول (۱): نتایج بهینه مدل

Parameter	α									
	۰	۰,۱	۰,۲	۰,۳	۰,۴	۰,۵	۰,۶	۰,۷	۰,۸	۰,۹
W^M	۴۰۲,۵۸	۴۰۳,۰۴	۴۰۳,۲۲	۴۰۳,۵۱	۴۰۳,۹۱	۴۰۴,۴۲	۴۰۵,۰۳	۴۰۵,۷۳	۴۰۶,۵۲	۴۰۷,۳۹
W^R	۲۵۶,۳۷	۲۵۷,۲۹	۲۵۸,۶۹	۲۶۰,۵۰	۲۶۲,۶۴	۲۵۶,۰۶	۲۶۷,۶۹	۲۷۰,۴۶	۲۷۳,۳۳	۲۷۶,۲۴
W^T	۳۱۲,۶۵	۳۱۲,۷۶	۳۱۳,۰۷	۳۱۳,۶۰	۳۱۴,۳۲	۳۱۵,۲۴	۳۱۶,۳۳	۳۱۷,۵۹	۳۱۹,۰۰	۳۲۰,۵۵
P^C	۳۶۲,۷۴	۳۶۸,۰۱	۳۷۳,۱۰	۳۷۸,۰۲	۳۸۲,۷۸	۳۸۷,۳۸	۳۹۱,۸۴	۳۹۶,۱۶	۴۰۰,۳۴	۴۰۴,۳۹
P^M	۵۲۴,۱۳	۵۲۴,۲۸	۵۲۴,۷۲	۵۲۵,۴۵	۵۲۶,۴۵	۵۲۷,۷۳	۵۲۹,۲۵	۵۳۱,۰۱	۵۳۲,۹۸	۵۳۵,۱۵
P^R	۳۶۲,۷۴	۳۶۴,۵۹	۳۶۷,۳۹	۳۷۱,۰۰	۳۷۵,۲۹	۳۸۰,۱۲	۳۸۵,۳۸	۳۹۰,۹۳	۳۹۶,۶۶	۴۰۲,۴۹
P^T	۴۷۵,۳۰	۴۷۵,۵۲	۴۷۶,۱۵	۴۷۷,۲۰	۴۷۸,۶۵	۴۸۰,۴۸	۴۸۲,۶۶	۴۸۵,۱۸	۴۸۸,۰۱	۴۹۱,۱۰
τ_R^C	۰,۴۵۵۸	۰,۴۰۳۱	۰,۳۵۲۲	۰,۳۰۳۰	۰,۲۵۵۴	۰,۲۰۹۴	۰,۱۶۴۸	۰,۱۲۱۷	۰,۰۷۹۸	۰,۰۳۹۳
τ_T^C	۰,۴۵۵۸	۰,۴۰۳۱	۰,۳۵۲۲	۰,۳۰۳۰	۰,۲۵۵۴	۰,۲۰۹۴	۰,۱۶۴۸	۰,۱۲۱۷	۰,۰۷۹۸	۰,۳۹۳
τ^c	۰,۹۱۱۶	۰,۸۰۶۲	۰,۷۰۴۴	۰,۶۰۶	۰,۵۱۰۸	۰,۴۱۸۸	۰,۳۲۹۶	۰,۲۴۳۴	۰,۱۵۹۶	۰,۰۷۸۶
τ_R^M	۰,۲۱۳۷	۰,۲۱۱۴	۰,۲۰۴۳	۰,۱۹۲۷	۰,۱۷۶۶	۰,۱۵۶۳	۰,۱۳۱۹	۰,۱۰۳۷	۰,۰۷۲۱	۰,۰۳۷۴
τ_T^M	۰۱۰۶۸	۰,۱۰۵۷	۰,۱۰۲۱	۰,۰۹۶۳	۰,۰۸۸۳	۰,۷۸۱	۰,۰۶۵۹	۰,۰۵۱۸	۰,۰۳۶۰	۰,۰۱۸۷
τ^M	۰,۳۲۰۵	۰,۳۱۷۱	۰,۳۰۶۴	۰,۲۸۹	۰,۲۶۴۹	۰,۲۳۴۴	۰,۱۹۷۸	۰,۱۵۵۵	۰,۱۰۸۱	۰,۰۵۶۱
τ_R^R	۰,۴۵۵۸	۰,۴۴۸۵	۰,۴۳۰۹	۰,۴۰۳۵	۰۳۶,۷۱	۰,۳۲۲۳	۰,۲۷۰۰	۰,۲۱۰۹	۰,۱۴۵۷	۰,۷۵۲
τ_T^R	۰,۲۲۷۹	۰۲۲۴۲	۰,۲۱۵۴	۰,۲۰۱۷	۰,۱۸۳۵	۰,۱۶۱۱	۰,۱۳۵۰	۰,۱۰۵۴	۰,۰۷۲۸	۰,۰۳۷۶
τ^R	۰,۶۸۳۷	۰,۶۷۲۷	۰,۶۴۶۳	۰,۶۰۵۲	۰,۵۵۰۶	۰,۴۸۳۴	۰,۴۰۵	۰,۳۱۶۳	۰,۲۱۸۵	۰,۱۱۲۸
τ_R^T	۰,۲۸۷۰	۰,۲۸۳۸	۰,۲۷۴۳	۰,۲۵۸۶	۰,۲۳۶۹	۰,۲۰۹۴	۰,۱۷۶۶	۰,۱۳۸۸	۰,۰۹۶۴	۰,۰۵۰۰
τ_T^T	۰,۱۴۳۵	۰,۱۴۱۹	۰,۱۳۷۱	۰,۱۲۹۳	۰,۱۱۸۴	۰,۱۰۴۷	۰,۰۸۸۳	۰,۰۶۹۴	۰,۰۴۸۲	۰,۰۲۵۰
τ^T	۰,۴۳۰۵	۰,۴۲۵۷	۰,۴۱۱۴	۰,۳۸۷۹	۰,۳۵۵۳	۰,۳۱۴۱	۰,۲۶۴۹	۰,۲۰۸۲	۰,۱۴۴۶	۰,۰۷۵
Π_M^M	۵۵۲۲,۹۹	۵۵۱۷,۲۸	۵۵۰۰,۲۳	۵۴۷۲,۰۴	۵۴۳۳,۰۶	۰,۵۳۸۳,۷۵	۵۳۲۴,۶۹	۵۲۵۶,۵۴	۵۱۸۰,۰۳	۵۰۹۵,۹۸
Π_R^M	۲۸۱۸,۶۳	۲۸۰۹,۴۴	۲۷۹۳,۶۳	۲۷۷۱,۷۵	۲۷۴۴,۴	۲۷۱۲,۲۴	۲۶۷۵,۹۴	۲۶۳۶,۱۹	۲۵۹۳,۶۴	۲۵۴۸,۹۱
Π_T^M	۵۷,۱۳	۳۳,۸۶	۱۰,۸۷	-۱۰,۲۰	-۲۷,۸۶	-۴۰,۷۱	-۴۷,۵۸	-۴۷,۵۱	-۳۹۸۰	-۲۴,۰۲
Π^M	۸۳۹۸,۷۵	۸۳۶۰,۵۸	۸۳۰۴,۷۳	۸۲۳۳,۵۹	۸۱۴۹,۶	۸۰۵۵,۲۸	۷۹۵۳,۰۵	۷۸۴۵,۲۲	۷۷۳۳,۸۷	۷۶۲۰,۸۷
Π_M^R	۵۳۶۸,۹۰	۵۳۶۹,۸۷	۵۳۶۳,۱۴	۵۳۴۸,۱۵	۵۳۲۴,۴۷	۵۲۹۱,۹۱	۵۲۵۰,۵۳	۵۲۰۰,۶۰	۵۱۴۲,۶۲	۵۰۷۷,۲۳
Π_R^R	۵۸۸۸,۴۸	۵۸۵۲,۵۹	۵۷۹۸,۴۳	۵۷۲۸,۵۰	۵۶۴۵,۳۹	۵۵۵۱,۷۰	۵۴۴۹,۹۲	۵۳۴۲,۳۷	۵۲۳۱,۱۹	۵۱۱۸,۲۵
Π_T^R	۲۵۹,۷۸	۱۵۲,۴۳	۴۸,۳۶	-۴۴,۷۴	-۱۲۰,۳۴	-۱۷۳,۱۹	-۱۹۹,۳۸	-۱۹۶,۳۰	-۱۶۲,۳۸	-۹۶,۹۵
Π^R	۱۱۵۱۷,۲	۱۱۳۷۷,۹	۱۱۲۰۹,۹	۱۱۰۳۱,۹	۱۰۸۴۹,۵	۱۰۶۷۰,۴	۱۰۵۰۱,۱	۱۰۳۴۶,۷	۱۰۲۱۱,۴	۱۰۰۹۸,۵
Π_M^T	۴۸۷۴,۷۶	۴۸۷۰,۱۱	۴۸۵۶,۲۱	۴۸۳۳,۲۲	۴۸۰۱,۳۹	۴۷۶۱,۰۶	۴۷۱۲,۶۶	۴۶۵۶,۶۸	۴۵۹۳,۶۸	۴۵۲۴,۲۶
Π_R^T	۵۰۸۰,۷۳	۵۰۶۳,۳۹	۵۰۳۲,۶۰	۴۹۸۹,۴۰	۴۹۳۵,۰۱	۴۸۷۰,۷۴	۴۷۹۷,۹۷	۴۷۱۸,۰۸	۴۶۳۲,۴۵	۴۵۴۲,۳۸
Π_T^T	۱۰۲,۹۸	۶۱,۰۳	۱۹,۵۹	-۱۸,۳۷	-۵۰,۱۰	-۷۳,۱۲	-۸۵,۳۱	-۸۵,۰۳	-۷۱,۰۹	-۴۲,۸۲
Π^T	۱۰۰۵۸,۵	۹۹۹۴,۵۳	۹۹۰۸,۴	۹۸۰۴,۲۵	۹۶۸۶,۳	۹۵۵۸,۶۸	۹۴۲۵,۳۲	۹۲۸۹,۷۳	۹۱۵۵,۰۴	۹۰۲۳,۸۲
Π^C	۱۱۷۷۶,۹۶	۱۱۵۷۲,۷۴	۱۱۳۷۵,۴۷	۱۱۱۸۴,۸۲	۱۱۰۰۰,۴۶	۱۰۸۲۲,۰۷	۱۰۶۴۹,۳۸	۱۰۴۸۲,۱۱	۱۰۳۲۰,۰۲	۱۰۱۶۲,۸۶

با توجه به شکل ۳ (a) و (b)، سود سازنده با افزایش شدت رقابت بین دو کانال جمع‌آوری در تمامی مدل‌های غیرمتمرکز کاهش می‌یابد سود خرده‌فروش با افزایش شدت رقابت بین دو کانال جمع‌آوری در تمامی مدل‌ها به‌صورت افزایشی کاهش می‌یابد.

در شکل ۳ (c)، سود جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث با افزایش شدت رقابت بین دو کانال جمع‌آوری در تمامی مدل‌های غیرمتمرکز کاهش می‌یابد تا وقتی شدت رقابت بین دو کانال جمع‌آوری به ۰/۶ می‌رسد و بعد از آن سود جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث در تمامی مدل‌های غیرمتمرکز افزایش می‌یابد، شدت کاهش و افزایش در مدل رهبری خرده‌فروش بیشترین می‌باشد، به نوعی بیشترین تأثیر افزایش شدت رقابت بین دو کانال جمع‌آوری تحت مدل رهبری خرده‌فروش می‌باشد. البته در α=۰/۲۵ سود جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث در تمامی مدل‌های غیرمتمرکز صفر می‌شود و در عمل وارد زنجیره تأمین نخواهد شد.

سود کل در تمامی مدل‌ها با افزایش شدت رقابت بین دو کانال جمع‌آوری خرده‌فروش و جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث کاهش می‌یابد همان‌طور که در شکل ۳ (d) مشاهده می‌شود. از آنجایی که با افزایش شدت رقابت، قیمت عمده‌فروشی و به دنبال آن قیمت خرده‌فروشی افزایش می‌یابد و همچنین نرخ جمع‌آوری در کانال‌ها به دلیل افزایش سرمایه‌گذاری در شدت رقابت بالا، کاهش می‌یابد که در مجموع باعث افزایش هزینه تولید می‌شود زیرا بازسازی کمتر و هزینه‌بر می‌شود، در نتیجه سود کاهش می‌یابد.

۷- جمع‌بندی و نتیجه گیری

در این مطالعه یک زنجیره تأمین سه سطحی حلقه بسته شامل یک سازنده، یک خرده‌فروش و یک جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث در نظر گرفته شده است. سازنده محصولات جدید را از مواد خام و محصولات

بازسازی‌شده را از محصولات استفاده‌شده جمع‌آوری‌شده تولید می‌کند و هر دو محصول را از طریق خرده‌فروش در یک بازار مشابه عرضه می‌کند. کانال جمع‌آوری خرده‌فروش به همراه کانال جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث، محصولات استفاده‌شده را از طریق کانال معکوس جمع‌آوری می‌کنند و همچنین رقابت بین دو کانال معکوس در نظر گرفته شده است. برای در نظر گرفتن رهبری کانال مختلف از بازی استاکلبرگ استفاده شده است و چهار مدل مختلف زنجیره تأمین حلقه بسته شامل مدل متمرکز، مدل غیرمتمرکز رهبری سازنده، مدل غیرمتمرکز رهبری خرده‌فروش و مدل غیرمتمرکز رهبری جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث ارائه شده است. بنابراین سهم این پژوهش در ادبیات موضوع عبارت است از :

- در نظر گرفتن دو کانال جمع‌آوری شامل کانال جمع‌آوری خرده فروش و کانال جمع‌آوری جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث تحت رهبری اعضا مختلف زنجیره تأمین
- در نظر گرفتن رقابت بین دو کانال بازیافت و مقایسه مدل‌های متمرکز و غیرمتمرکز تحت این شرایط
- بررسی تاثیر شدت رقابت بین دو کانال بازیافت بر متغیرهای تصمیم و سود اعضا در مدل‌های مختلف.

برای رسیدن به تصمیمات تعادلی بهینه از روش استقرای معکوس استفاده شده است و در نرم‌افزار متلب توابع حل شده‌اند. از مثال عددی برای مقایسه مدل‌های مختلف استفاده شده است و آنالیز حساسیت متغیرهای تصمیم و توابع سود بر اساس شدت رقابت بین دو کانال بازیافت، اندازه بازار پایه و حساسیت تقاضا به قیمت خرده‌فروشی انجام گرفته است و نتایج زیر ارائه شده است:

زیان‌آورترین مدل برای مشتری و مصرف‌کننده محصولات، مدل رهبری سازنده می‌باشد و مدل رهبری خرده‌فروش نسبت به سایر مدل‌ها برای مصرف‌کننده سودآورتر است و رفاه بیشتری را برای مصرف‌کننده به همراه دارد حتی نسبت به مدل متمرکز، بنابراین مصرف‌کننده مدل رهبری خرده‌فروش را ترجیح می‌دهد.

نرخ جمع‌آوری در مدل متمرکز وقتی شدت رقابت پایین می‌باشد بیشترین است و با افزایش شدت رقابت، نرخ جمع‌آوری کل در مدل رهبری خرده‌فروش بیشترین می‌باشد. در مورد مسائل زیست‌محیطی، مدل متمرکز بهترین می‌باشد و در بین مدل‌های غیرمتمرکز بهترین مدل، مدل رهبری خرده‌فروش می‌باشد.

سود کل زنجیره تأمین در مدل متمرکز از تمامی مدل‌های غیرمتمرکز بیشتر است و در بین مدل‌های غیرمتمرکز سود کل زنجیره تأمین تحت رهبری خرده‌فروش بیشترین است و تحت رهبری سازنده کمترین می‌باشد، همچنین مدل غیرمتمرکز خرده‌فروش از نظر سود کل زنجیره تأمین بسیار به مدل متمرکز نزدیک است، در نتیجه مدل غیرمتمرکز رهبری خرده‌فروش از نظر سود بهترین مدل می‌باشد.

۸- پیشنهادها برای تحقیقات آتی

با توجه به تحقیقات صورت گرفته و فرض‌های در نظر گرفته شده در مدل، پیشنهادهای زیر می‌تواند به‌عنوان تحقیقات آتی در نظر گرفته شود:

می‌توان مدل را به‌گونه‌ای توسعه داد که دو یا چند خرده‌فروش به‌جای یک خرده‌فروش در نظر گرفته شود. در این پژوهش فرض شده است محصولات جدید و بازسازی‌شده مشابه بوده و در بازار مشابه به فروش می‌رسند، در نظرگرفتن تفاوت بین محصولات می‌تواند موضوعی جالبی برای پژوهش باشد. تمام اعضا در این مدل ریسک خنثی در نظر گرفته شده‌اند و می‌توان بازی را به‌گونه‌ای بررسی کرد که اعضا در آن ریسک‌پذیر یا ریسک گریز باشند. در نظر گرفتن سطح کیفیت محصول بازگشتی در مدل و بررسی این مورد که کدام سناریو رهبری کانال از نظر کیفیت محصول بهتر می‌باشد[۱۹].

مراجع

[1] Savaskan, R. C., Bhattacharya, S., Van Wassenhove, L. N. (2004). "Closed-loop supply chain models with product remanufacturing". *Management science*, 50(2), 239-252

[2] Hong, X., Wang, Z., Wang, D., Zhang, H. (2013). "Decision models of closed-loop supply chain with remanufacturing under hybrid dual-channel collection". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 68(5-8), 1851-1865.

[3] Hong, X., Zhang, H., Zhong, Q., Liu, L. (2016). "Optimal decisions of a hybrid manufacturing-remanufacturing system within a closed-loop supply chain". *European Journal of Industrial Engineering*, 10(1), 21-50.

[4] Giri, B. C., Chakraborty, A., Maiti, T. (2017). "Pricing and return product collection decisions in a closed-loop supply chain with dual-channel in both forward and reverse logistics". *Journal of manufacturing systems*, 42, 104-123.

[5] Huang, M., Song, M., Lee, L. H., Ching, W. K. (2013). "Analysis for strategy of closed-loop supply chain with dual recycling channel". *International Journal of Production Economics*, 144(2), 510-520.

[۶] کریمی ، ناصرو راستی برزکی، مرتضی. (۱۳۹۷). "رویکرد نظریه بازی برای قیمت‌گذاری و تعیین سطح تبلیغات و سطح خدمت در یک زنجیره تأمین دارای کانال توزیع دوگانه: تصمیم‌گیری متمرکز"، *نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید*، ۶(۱۳)، ۱۷۹-۱۹۳.

[7] Chen, L. G., Ding, D., Ou, J. (2014). "Power structure and profitability in assembly supply chains". *Production and Operations Management*, 23(9), 1599-1616.

[8] Choi, T. M., Li, Y., Xu, L. (2013). "Channel leadership, performance and coordination in closed loop supply chains". *International Journal of Production Economics*, 146(1), 371-380.

[9] Ma, P., Wang, H., Shang, J. (2013). "Supply chain channel strategies with quality and marketing effort-

dependent demand". *International Journal of Production Economics*, 144(2), 572-581.

[10] Maiti, T., Giri, B. C. (2015). "A closed loop supply chain under retail price and product quality dependent demand". *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 624-637.

[11] Taleizadeh, A. A., Moshtagh, M. S., Moon, I. (2017). "Optimal decisions of price, quality, effort level and return policy in a three-level closed-loop supply chain based on different game theory approaches". *European Journal of Industrial Engineering*, 11(4), 486-525.

[12] Gao, J., Han, H., Hou, L., Wang, H. (2016). "Pricing and effort decisions in a closed-loop supply chain under different channel power structures". *Journal of Cleaner Production*, 112, 2043-2057.

[13] Wang, W., Zhang, Y., Zhang, K., Bai, T., Shang, J. (2015). "Reward–penalty mechanism for closed-loop supply chains under responsibility-sharing and different power structures". *International Journal of Production Economics*, 170, 178-190.

[14] Wei, J., Govindan, K., Li, Y., Zhao, J. (2015). "Pricing and collecting decisions in a closed-loop supply chain with symmetric and asymmetric information". *Computers & Operations Research*, 54: 257-265.

[15] Zerang, E. S., Taleizadeh, A. A., Razmi, J. (2018). "Analytical comparisons in a three-echelon closed-loop supply chain with price and marketing effort-dependent demand: game theory approaches". *Environment, development and sustainability*, 20(1), 451-478.

[16] Zheng, B., Yang, C., Yang, J., Zhang, M. (2017). "Dual-channel closed loop supply chains: Forward channel competition, power structures and coordination". *International Journal of Production Research*, 55(12), 3510-3527.

[17] S Shi, J., Zhang, G., Sha, J., Amin, S. H. (2010). "Coordinating production and recycling decisions with stochastic demand and return". *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 19(4), 385-407.

[18] Corbett, C. J., De Groote, X. (2000). "A supplier's optimal quantity discount policy under asymmetric information". *Management science*, 46(3), 444-450.

[۱۹] علیزاده باسبان، نیما و طالعی‌زاده، عطالله. (۱۳۹۶). کاهش نشر کربن در یک زنجیره تأمین دو سطحی با درنظر گرفتن سطح کیفیت، سیاست بازگشت محصول و قیمت‌گذاری بازپرداخت: رویکرد تئوری بازی‌ها، نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم های تولید. ۵(۱۱)، ۲۲۹-۲۴۹

پیوست

• پیوست مدل متمرکز

باتوجه به تابع سود متمرکز،

$$\Pi^C = (\phi - \beta P^C) \times [P^C - C_m + (\tau_T^C + \tau_R^C)(\Delta - A)] - (I_R^C + I_T^C)$$

برای سرمایه‌گذاری خرده‌فروش و جمع‌آوری‌کننده بخش ثالث خواهیم داشت،

$$I_R = C_L \tau_R^2 + \alpha I_T$$
$$I_T = C_L \tau_T^2 + \alpha I_R$$

با جایگذاری I_T در فرمول I_R خواهیم داشت،

$$I_R = C_L \tau_R^2 + \alpha C_L \tau_T^2 + \alpha^2 I_R$$
$$\Rightarrow I_R = \frac{C_L \tau_R^2 + \alpha C_L \tau_T^2}{1-\alpha^2}$$

به طریق مشابه برای I_T خواهیم داشت،

$$I_T = \frac{C_L \tau_T^2 + \alpha C_L \tau_R^2}{1-\alpha^2}$$

با جمع I_T و I_R خواهیم داشت،

$$I_R + I_T = \frac{C_L \tau_R^2 + \alpha C_L \tau_T^2}{1-\alpha^2} + \frac{C_L \tau_T^2 + \alpha C_L \tau_R^2}{1-\alpha^2} = \frac{(\tau_R^2 + \tau_T^2) C_L}{1-\alpha}$$

حال با جایگذاری $I_R + I_T$، تابع سود متمرکز به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\underset{P^C, \tau_R^C, \tau_T^C}{MAX}\ \Pi^C = (\phi - \beta P^C)[P^C - C_m + (\tau_R^C + \tau_T^C)(\Delta - A)] - \frac{[(\tau_R^C)^2 + (\tau_T^C)^2] C_L}{1-\alpha}$$

مقعر بودن نقش مهمی در استرتژی بهینه سازی در بازی‌ها ایفا می‌کند، به همین دلیل ابتدا مشتق مرتبه اول سود متمرکز را نسبت به متغیرهای تصمیم به‌دست می‌آوریم،

$$\frac{\partial \Pi^C}{P^C} = -2\beta P^C + \phi + \beta C_m - \beta(\tau_R^C + \tau_T^C)(\Delta - A)$$
$$\frac{\partial \Pi^C}{\partial \tau_R^C} = (\phi - \beta P^C)(\Delta - A) - \frac{2C_L}{1-\alpha}\tau_R^C$$
$$\frac{\partial \Pi^C}{\partial \tau_T^C} = (\phi - \beta P^C)(\Delta - A) - \frac{2C_L}{1-\alpha}\tau_T^C$$

ماتریس هسین سود متمرکز را حساب می‌کنیم،

$$H(\Pi^C) = \begin{bmatrix} -2\beta & -\beta(\Delta - A) & -\beta(\Delta - A) \\ -\beta(\Delta - A) & -\frac{2C_L}{1-\alpha} & 0 \\ -\beta(\Delta - A) & 0 & -\frac{2C_L}{1-\alpha} \end{bmatrix}$$

حال برای این که تابع سود متمرکز نسبت به متغیر های $(P^C, \tau_R^C, \tau_T^C)$ مقعر باشد، باید ماتریس هسین آن معین منفی باشد، با توجه به معادلات دترمینان‌های ماینور، برای این که Π^C در نقاط $(P^C, \tau_R^C, \tau_T^C)$ مقعر باشد و جواب منحصر به فرد داشته باشد شرط زیر باید برقرار باشد،

$$2C_L > \beta(1-\alpha)(\Delta - A)^2$$

حال با حل معادلات نتایج بهینه مدل بدست خواهد آمد:

$$\begin{cases} \frac{\partial \Pi^C}{P^C} = 0 \\ \frac{\partial \Pi^C}{\partial \tau_R^C} = 0 \\ \frac{\partial \Pi^C}{\partial \tau_T^C} = 0 \end{cases}$$

$$P^{C*} = \frac{C_L(\phi + \beta C_m) - \beta\phi(1-\alpha)(\Delta - A)^2}{\beta[2C_L - \beta(1-\alpha)(\Delta - A)^2]}$$
$$\tau_R^{C*} = \frac{(\phi - \beta C_m)(1-\alpha)(\Delta - A)}{2[2C_L - \beta(1-\alpha)(\Delta - A)^2]}$$
$$\tau_T^{C*} = \frac{(\phi - \beta C_m)(1-\alpha)(\Delta - A)}{2[2C_L - \beta(1-\alpha)(\Delta - A)^2]}$$

با توجه به محدودیت $0 \le \tau_R^{C*} + \tau_T^{C*} < 1$ خواهیم داشت،

$$2C_L > (\phi - \beta C_m)(1-\alpha)(\Delta - A) + \beta(1-\alpha)(\Delta - A)^2$$

که این شرایط اثبات مدل متمرکز را تکمیل می‌کند.

• پیوست مدل رهبری سازنده

ابتدا مقعر بودن تابع سود جمع‌آوری کننده بخش ثالث را در نظر می‌گیریم:

$$\frac{\partial \Pi_T^M}{\partial \tau_T^M} = (b_T^M - A)(\phi - \beta P^M) - \frac{2C_L}{1-\alpha^2}\tau_T^M$$

از آن‌جایی که $\frac{\partial^2 \Pi_T^M}{(\partial \tau_T^M)^2} = -\frac{2C_L}{1-\alpha^2} < 0$، بنابراین تابع سود جمع‌آوری کننده بخش ثالث نسبت به τ_T^M مقعر است و دارای جواب بهینه منحصر به فرد می‌باشد.

برای این که تابع سود خرده فروش مقعر و دارای جواب بهینه منحصر به فرد باشد خواهیم داشت،

$$\frac{\partial \Pi_R^M}{\partial P^M} = \phi - 2\beta P^M + \beta W^M - \beta\tau_R^M(b_R^M - A)$$
$$\frac{\partial \Pi_R^M}{\partial \tau_R^M} = (b_R^M - A)(\phi - \beta P^M) - \frac{2C_L}{1-\alpha^2}\tau_R^M$$

$$H(\Pi_R^M)=\begin{bmatrix} -2\beta & -\beta(b_R^M-A) \\ -\beta(b_R^M-A) & -\frac{2C_L}{1-\alpha^2} \end{bmatrix}$$

حال برای این که تابع سود خرده فروش مقعر باشد نسبت به متغیرهای (P^M,τ_R^M)، باید ماتریس هسین آن معین منفی باشد، با توجه به معادلات دترمینان های ماینور، برای این که Π_R^M در نقاط (P^M,τ_R^M) مقعر باشد و جواب منحصر به فرد داشته باشد شرط زیر باید برقرار باشد،

$$4C_L > \beta(b_R^M-A)^2(1-\alpha^2)$$

با استفاده از حل معادلات زیر پاسخ خرده فروش و جمع‌آوری کننده بخش ثالث را بدست می‌آوریم،

$$\frac{\partial\Pi_T^M}{\partial\tau_T^M}=0$$
$$\frac{\partial\Pi_R^M}{\partial P^M}=0$$
$$\frac{\partial\Pi_R^M}{\partial\tau_R^M}=0$$

$$\hat{P}^M=\frac{2C_L(\phi+\beta W^M)-\beta\phi(1-\alpha^2)(b_R^M-A)^2}{\beta[4C_L-\beta(1-\alpha^2)(b_R^M-A)^2]}$$
$$\hat{\tau}_R^M=\frac{(\phi-\beta W^M)(1-\alpha^2)(b_R^M-A)}{4C_L-\beta(1-\alpha^2)(b_R^M-A)^2}$$
$$\hat{\tau}_R^M=\frac{(\phi-\beta W^M)(1-\alpha^2)(b_R^M-A)}{4C_L-\beta(1-\alpha^2)(b_R^M-A)^2}$$

بعد از بدست آوردن جواب‌های بهینه خرده فروش و جمع‌آوری کننده بخش ثالث و با جایگذاری $\hat{P}^M,\hat{\tau}_R^M,\hat{\tau}_T^M$ در تابع سود سازنده و ایجاد ماتریس هسین خواهیم داشت،

$$\hat{\Pi}_M^M=\phi-\frac{2C_L(\phi+\beta W^M)-\beta\phi(b_R^M-A)(1-\alpha^2)}{4C_L-\beta(b_R^M-A)^2(1-\alpha^2)}[W^M-C_m$$
$$+\frac{(\Delta-b_R^M)(\phi-\beta W^M)(1-\alpha^2)(b_R^M-A)+(\Delta-b_T^M)(\phi-\beta W^M)(1-\alpha^2)(b_T^M-A)}{4C_L-\beta(b_R^M-A)^2(1-\alpha^2)}$$

اگر درنظر بگیریم،

$$Y=4C_L-\beta(b_R^M-A)^2(1-\alpha^2)$$
$$S=(\Delta-b_R^M)(b_R^M-A)+(\Delta-b_T^M)(b_T^M-A)$$

آن‌گاه خواهیم داشت:

$$\hat{\Pi}_M^M=\frac{2C_L(\phi-\beta W^M)}{Y}[W^M-C_m+\frac{S(\phi-\beta W^M)(1-\alpha^2)}{Y}]$$

با ایجاد ماتریس هسین $\hat{\Pi}_M^M$ و تعیین دترمینان های ماینور آن و بررسی معین منفی بودن ماتریس هسین خواهیم داشت:

$$H(\hat{\Pi}_M^M)=\begin{bmatrix} -\frac{-4\beta C_L[4C_L-\beta(1-\alpha^2)\{(b_R^M-A)^2+S\}]}{Y^2} & \frac{-4\beta C_L(1-\alpha^2)(\phi-\beta W^M)(\Delta+A-2b_T^M)}{Y^2} \\ \frac{-4\beta C_L(1-\alpha^2)(\phi-\beta W^M)(\Delta+A-2b_T^M)}{Y^2} & \frac{-4C_L(1-\alpha^2)(\phi-\beta W^M)^2}{Y^2} \end{bmatrix}$$

$$4C_L>\beta(1-\alpha^2)[(b_R^M-A)+(\Delta+A-2b_T^M)^2+(\Delta-b_R^M)(b_R^M-A)+(\Delta-b_T^M)(b_T^M-A)]$$

اگر شرط بالا بر قرار باشد تابع $\hat{\Pi}_M^M$ نسبت به $\hat{W}^M,\hat{b}_T^M$ مقعر است و از آزمون مشتق اول خواهیم داشت،

$$\hat{W}^M=\frac{2\beta(1-\alpha^2)\phi S-(\phi+\beta C_m)Y}{2\beta^2(1-\alpha^2)S-2\beta Y}$$
$$\hat{b}_R^M=\frac{\Delta+A}{2}$$

با جایگذاری $\hat{W}^M,\hat{b}_T^M$ در $\hat{\Pi}_M^M$ و مشتق گیری از آن نسبت به $\hat{b}_R^M$ خواهیم داشت،

$$\frac{\partial\hat{\Pi}_M^M}{\partial\hat{b}_R^M}=\frac{C_L(1-\alpha^2)(\phi-\beta C_m)^2(\Delta-A)}{2[Y-\beta(1-\alpha^2)S]^2}>0$$

از آن جایی که $\hat{\Pi}_M^M$ نسبت به $\hat{b}_R^M$ تابع همواره افزایشی است بنابراین قیمت انتقال برای خرده‌فروش با حد بالای خودش یعنی Δ برابر می‌باشد بنابراین،

$$b_T^{M*}=\frac{\Delta+A}{2}\quad,\quad b_R^{M*}=\Delta$$

$$W^{M*}=\frac{8C_L(\phi+\beta C_m)-\beta(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2(3\phi+2\beta C_m)}{\beta[16C_L-5\beta(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2]}$$

حال با جایگذاری W^{M*} در توابع $\hat{P}^M,\hat{\tau}_R^M,\hat{\tau}_T^M$ خواهیم داشت:

$$P^{M*}=\frac{2C_L(6\phi+2\beta C_m)-5\beta\phi(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2}{\beta[16C_L-5\beta(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2]}$$
$$\tau_R^{M*}=\frac{2(\phi-\beta C_m)(1-\alpha^2)(\Delta-A)}{16C_L-5\beta(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2}$$
$$\tau_T^{M*}=\frac{(\phi-\beta C_m)(1-\alpha^2)(\Delta-A)}{16C_L-5\beta(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2}$$

حال مانند پیوست قبل محدودیت $0\le\tau_R^{M*}+\tau_T^{M*}<1$ اثبات را تکمیل می‌کند.

- **پیوست مدل رهبری خرده فروش**

ابتدا مقعر بودن تابع سود جمع‌آوری کننده بخش ثالث را در نظر می‌گیریم،

از آن جایی که $\frac{\partial^2\Pi_T^R}{\partial(\tau_T^R)^2}=-\frac{2C_L}{1-\alpha^2}<0$ ، تابع سود جمع‌آوری کننده بخش ثالث نسبت به τ_T^R مقعر است و دارای جواب بهینه منحصر به فرد می باشد بنابراین،

$$\frac{\partial\Pi_T^R}{\partial\tau_T^R}=(b_T^R-A)(\phi-\beta P^R)-\frac{2C_L}{1-\alpha^2}\tau_T^R$$

$$\hat{\tau}_T^R=\frac{(\phi-\beta P^R)(b_T^R-A)(1-\alpha^2)}{2C_L}$$

برای سازنده نیز خواهیم داشت:

$$\hat{W}^R=\frac{P^R+C_m}{2}$$

در جمع‌آوری خرده‌فروش متوجه می‌شویم، تولید کننده هرگونه پس‌انداز مستقیم از بازسازی را استخراج نمی‌کند بلکه ترجیح می‌دهد آن را به خرده فروش منتقل کند، وقتی خرده فروش جمع‌آوری را بر عهده دارد یک واحد افزایش در تقاضا تابع سودش را به دو روش افزایش می‌دهد،

۱. تقاضای اضافی، حاشیه (P-W) از خرید جدید را به وجود می‌آورد.
۲. نجات محصول استفاده شده،

به عبارتی در جمع‌آوری خرده فروش، حاشیه سود بیشتری از افزایش هر واحد تقاضا برای خرده فروش وجود دارد نسبت به حالتی که جمع‌آوری کننده بخش ثالث عمل جمع‌آوری را انجام می‌دهد، بنابراین در سطح مشخصی از τ ، انتقال تمام پس انداز به خرده فروش موجب افزایش مزایا برای خرده فروش می‌شود $((\Delta-A)\tau>(b-A)\tau)$، که این به عنوان انگیزه‌ای برای کاهش قیمت خرده فروشی و افزایش تقاضا منجر به افزایش سود می‌شود.

اثر دیگر اثر مقیاسی است که افزایش تقاضا بر τ اعمال می‌کند، که بازار بزرگتری برای جمع‌آوری محصول استفاده شده فراهم می‌کند و جمع‌آوری را برای خرده‌فروش سودمند می‌کند، بنابراین خرده فروش انگیزه‌ای برای افزایش سرمایه گذاری در جمع‌آوری محصول استفاده شده و افزایش τ خواهد داشت و سازنده ترجیح می‌دهد صرفه جویی هزینه از بازسازی را به خرده فروش انتقال دهد تا سودش به خاطر افزایش تقاضا محصول افزایش یابد.

بنابراین سازنده یعنی بیشترین مقدار ممکن یعنی تمامی صرفه جویی ناشی از بازسازی (Δ) به خرده‌فروش به عنوان قیمت انتقال (b) می‌پردازد یعنی Δ=b. به دو دلیل سازنده این کار را انجام می‌دهد، دلیل اول اینکه با افزایش قیمت انتقال (b) انگیزه خرده‌فروش برای جمع‌آوری محصولات استفاده‌شده افزایش می‌یابد اما دلیل دوم که دلیل که مهم‌تر با تاثیر بیشتری نیز می‌باشد با افزایش قیمت انتقال قیمت خرده‌فروشی کاهش می‌یابد و هم چنین با کاهش قیمت فروش، تقاضا در کانال مستقیم افزایش می‌یابد که با افزایش تقاضا هم سود سازنده افزایش می‌یابد و هم نرخ جمع‌آوری، که با افزایش نرخ جمع‌آوری هزینه تولید محصول سازنده کاهش می‌یابد که این مورد نیز سبب افزایش سود سازنده می‌شود. بنابراین سود ناشی از افزایش تقاضا و کاهش هزینه تولید موجب می‌شود سازنده تمام صرفه جویی ناشی از بازسازی را به خرده فروش انتقال دهد.

حال اگر سازنده بخشی از صرفه جویی هزینه از بازسازی را به خرده فروش انتقال دهد به دلیل اثر نهایی سازی دو جانبه در زنجیره تامین، بخشی از صرفه جویی هزینه از بازسازی در حاشیه سود خرده فروش وارد می‌شود که خرده فروش آن را بر قیمت تنظیم می‌کند، در نتیجه تقاضا و جمع‌آوری محصول استفاده شده نسبت به حالتی که $\Delta=b$ کم‌تر خواهد بود و سود نیز کمتر خواهد بود، پس، $b_R^R=\Delta$

$$\frac{\partial\Pi_M^R}{\partial b_T^R}=\frac{(1-\alpha^2)(\phi-\beta P^R)^2(A-2b_T^R+\Delta)}{2C_L}$$

با توجه به این که $\frac{\partial^2\Pi_M^R}{\partial(b_T^R)^2}=-\frac{(1-\alpha^2)(\phi-\beta P^R)}{C_L}<0$ ، پس تابع سود سازنده نسبت به b_T^R مقعر است، بنابراین،

$$b_T^R=\frac{\Delta+A}{2}$$

حال با جایگذاری $\hat{\tau}_T^R,b_R^R,b_T^R,\hat{W}^R$ در تابع سود خرده‌فروش، تابع سود زیر بدست می‌آید و ماتریس هسین آن را می سازیم:

$$\hat{\Pi}_R^R=\frac{(P^R-C_m)}{2}(\phi-\beta P^R)+(\Delta-A)(\phi-\beta P^R)\tau_R^R-\frac{\alpha(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2(\phi-\beta P^R)^2}{16C_L}-\frac{C_L(\tau_R^R)^2}{(1-\alpha^2)}$$

$$H(\hat{\Pi}_R^R)=\begin{bmatrix}\frac{-\beta^2(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2}{8C_L} & -\beta(\Delta-A)\\ -\beta(\Delta-A) & -\frac{2C_L}{(1-\alpha^2)}\end{bmatrix}$$

حال برای این که $H(\hat{\Pi}_R^R)$ معین منفی باشد باید شرط زیر بر قرار باشد،

$$8C_L>\beta(\Delta-A)^2(1-\alpha^2)(4-\alpha)$$

اگر شرط بالا بر قرار باشد، تابع سود خرده فروش($\hat{\Pi}_R^R$) نسبت به P^R,τ_R^R مقعر است و دارای جواب بهینه منحصر به فرد می‌باشد،

$$P^{R*}=\frac{4C_L(\phi+\beta C_m)-\beta\phi(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2(4-\alpha)}{\beta[8C_L-\beta(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2(4-\alpha)]}$$

$$\tau_R^{R*}=\frac{2(\phi-\beta C_m)(1-\alpha^2)(\Delta-A)}{8C_L-\beta(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2(4-\alpha)}$$

حال با جایگذاری P^{R*} در معادلات $\hat{\tau}_T^R,\hat{W}^R$، مقادیر بهینه قیمت عمده فروشی و نرخ جمع‌آوری جمع‌آوری کننده بخش ثالث بدست می‌آید:

$$W^{R*}=\frac{4C_L(\phi+3\beta C_m)-\beta(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2(4-\alpha)(\phi+\beta C_m)}{\beta[16C_L-2\beta(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2(4-\alpha)]}$$

$$\tau_T^{R*}=\frac{(\phi-\beta C_m)(1-\alpha^2)(\Delta-A)}{8C_L-\beta(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2(4-\alpha)}$$

مانند پیوست‌های قبل محدودیت $0\le\tau_R^{R*}+\tau_T^{R*}<1$ پیوست ج را تکمیل می‌کند.

- **پیوست مدل رهبری جمع‌آوری کننده بخش ثالث**

ابتدا برای بررسی مقعر بودن تابع سود خرده فروش ماتریس هسین آن را تشکیل می‌دهیم:

$$\frac{\partial\Pi_R^T}{\partial P^R}=\phi-\beta P^T+\beta(W^T-P^T)-\beta\tau_R^T(b_R^T-A)$$

$$\frac{\partial\Pi_R^T}{\partial\tau_R^T}=(\phi-\beta P^T)(b_R^T-A)-\frac{2C_L\tau_R^T}{(1-\alpha^2)}$$

$$H(\Pi_R^T)=\begin{bmatrix}-2\beta & -\beta(b_R^T-A)\\ -\beta(b_R^T-A) & \frac{-2C_L}{1-\alpha^2}\end{bmatrix}$$

برای این که تابع سود خرده فروش نسبت به τ_R^T,P^T مقعر باشد باید $H(\Pi_R^T)$ معین منفی باشد، در این صورت خواهیم داشت:

$$4C_L>\beta(b_R^T-A)^2(1-\alpha^2)$$

که با برقراری شرط بالا تابع سود خرده فروش مقعر و دارای جواب بهینه منحصر به فرد است.

با توجه به توضیحات ارائه شده در پیوست قبلی برای سازنده خواهیم داشت،

$$\hat{w}^T=\frac{P^T+C_m}{2},\qquad b_R^T=\Delta$$

با توجه به این که سازنده قیمت انتقالی را تعیین می‌کند بنابراین قمیت انتقال میانگین A و Δ می‌باشد(زرنگ و همکاران ۲۰۱۶) بنابراین $b_T^T=\frac{\Delta+A}{2}$، با حل معادلات $\frac{\partial\Pi_R^T}{\partial P^T}=0$,$\frac{\partial\Pi_R^T}{\partial\tau_R^T}=0$، تصمیمات بهینه خرده فروش به‌دست می‌آید،

$$P^{T*}=\frac{C_L(2\phi+\beta C_m)-\beta\phi(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2}{\beta[3C_L-\beta(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2]}$$

$$\tau_R^{T*}=\frac{(\phi-\beta C_m)(1-\alpha^2)(\Delta-A)}{6C_L-2\beta(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2}$$

با جایگذاری P^{T*} در معادله $\hat{w}^T=\frac{P^T+C_m}{2}$ خواهیم داشت،

$$W^{T*}=\frac{C_L(2\phi+4\beta C_m)-\beta(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2(\phi+\beta C_m)}{\beta[6C_L-2\beta(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2]}$$

برای بررسی مقعر بودن تابع سود جمع‌آوری کننده بخش ثالث، پس از جایگذاری واکنش‌های بهینه سازنده و خرده فروش در تابع سود آن خواهیم داشت،

$$\frac{\partial^2\hat{\Pi}_T^T}{\partial(\tau_T^T)^2}=\frac{C_L(\phi-\beta C_m)(\Delta-A)}{2(3C_L-\beta(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2)}-\frac{2C_L\tau_T^T}{(1-\alpha^2)}$$

$$\frac{\partial^2\hat{\Pi}_T^T}{\partial(\tau_T^T)^2}<0$$

$\frac{\partial^2\hat{\Pi}_T^T}{\partial(\tau_T^T)^2}<0$ نشان می‌دهد، $\hat{\Pi}_T^T$ نسبت به τ_T^T مقعر است و دارای جواب بهینه منحصر به فرد می‌باشد،

$$\tau_T^{T*}=\frac{(\phi-\beta C_m)(1-\alpha^2)(\Delta-A)}{2[6C_L-2\beta(1-\alpha^2)(\Delta-A)^2]}$$

محدودیت $0\le\tau_R^{T*}+\tau_T^{T*}<1$ پیوست را کامل می‌کند.

IERPS Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

ISSN: 2345-2269

Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

Autumn and Winter 2020, Volume 7., No. 15., pp. 377-393
www.ier.basu.ac.ir

DOI: 10.22084/ier.2020.19410.1865

The Pricing and Collection Decisions in the Closed-Loop Supply Chain with Dual Competitive Recycling Channels Under Different Channel Leadership

Y. Ranjbar[1], H. Sahebi[2*]

[1, 2, 3] Faculty of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

***Article history*:**

Received 17 June 2019
Accepted 15 March 2020

***Keywords*:**

Closed-loop supply chain
Channel leadership
Dual competitive recycling channel
Remanufacturing
Game theory

ABSTRACT

In the twenty-first century especially in the recent decade, due to concerns about the environment and social responsibility, the Closed-loop supply chain has attracted more attention. In this paper, a closed loop supply chain consisting of a manufacturer, a retailer, and a third-party collector is considered. The manufacturer also produces new products from raw materials and simultaneously remanufacturing the used products. In the direct channel, the manufacturer introduces new products and remanufactured products to the market through a retailer, and in the reverse channel, the retailer and third-party collector competitively collect the used products. To analyze the optimal pricing and collecting decisions under different channel leadership, Four different scenarios based on game theory have been developed - a centralized model and three decentralized models based on the Stackelberg game including Manufacturer-led, Retailer-led, and Third Party collector-led. Then, using numerical analysis, we compared and analyzed the optimal decisions in different scenarios and examined the effect of competition intensity between the dual recycling channel of the retailer and third-party collector on decision variables, profit of members and total profit. We concluded that the profit of chain Supply in the centralized scenario is larger than decentralized models, In addition it can be concluded that the retailer-led decentralized model is often the most effective scenario in the CLSC.

* Corresponding author. H. Sahebi
Tel.: 021-73225047; E-mail address: hadi_sahebi@iust.ac.ir