

بهینه‌سازی قیمت عمده‌فروشی و خرده‌فروشی، سطح کیفیت و هزینه‌های بازاریابی در یک زنجیره تأمین حلقه بسته با استفاده از نظریه بازی‌ها

عطاالله طالع‌زاده^{۱*}، شقایق ودادی مقدم^۲

۱. استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران

۲. کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب

(تاریخ دریافت ۹۴/۰۱/۲۴ - تاریخ دریافت روایت اصلاح‌شده ۹۴/۰۵/۱۲ - تاریخ تصویب ۹۴/۱۰/۰۷)

چکیده

در این پژوهش، بهینه‌سازی سطح کیفیت و هزینه‌های بازاریابی در یک زنجیره تأمین حلقه بسته با یک تولیدکننده، یک خرده‌فروش و یک عضو سوم زنجیره با استفاده از سیاست استکلبرگ تئوری بازی‌ها بررسی می‌شود. تولیدکننده محصولات را با کیفیتی مناسب تولید می‌کند و به خرده‌فروش می‌فروشد. خرده‌فروش هزینه‌های مربوط به بازاریابی را می‌پردازد و عضو سوم زنجیره مسئول جمع‌آوری محصولات مستعمل از مصرف‌کننده و فرستادن آن‌ها به تولیدکننده است. تولیدکننده محصولات بازگشتی را دوباره‌کاری می‌کند و کیفیت محصولات بازگشتی با کیفیت محصولات تولیدشده از مواد خام یکسان است. در این پژوهش، دو سناریو تحت سیاست استکلبرگ در نظر گرفته شده است. متغیرهای تصمیم مدل شامل سطح کیفیت، هزینه بازاریابی، قیمت‌های بهینه عمده‌فروشی و خرده‌فروشی هستند. پس از بررسی مقربودن توابع سود اعضای زنجیره، برای تک‌تک متغیرهای تصمیم رابطه بهینه فرم بسته استخراج و مثال عددی ارائه شده است. در نهایت، برای بررسی حساسیت متغیرهای تصمیم نسبت به پارامترهای کلیدی مدل تحلیل حساسیت صورت گرفته است.

واژه‌های کلیدی: استکلبرگ، بازاریابی، زنجیره تأمین، قیمت‌گذاری، کیفیت، نظریه بازی‌ها.

مقدمه

استفاده از مدل استکلبرگ تولیدکننده- رهبر توانستند به ساختار کانال معکوس مناسبی برای جمع‌آوری محصولات استفاده شده دست یابند. آن‌ها نشان دادند می‌توان سازوکار همکاری ساده طراحی کرد، به‌طوری‌که سطح تلاش خرده‌فروش برای جمع‌آوری برابر با سیستم زنجیره تأمین متمرکز باشد. سپس ساواکان و همکاران [۴] با ایجاد دو دسته رقابت میان خرده‌فروشان در زنجیره تأمین یک مسئله همکاری در مدل جمع‌آوری غیرمستقیم ارائه دادند. چونگ و همکاران [۵] به پیشنهاد یک سیستم موجودی چندسطحی با قابلیت بازسازی و پیدا کردن سیاست مطلوب برای یک سیستم موجودی زنجیره تأمین حلقه بسته توسعه داده‌اند. گورنانی و ارکوک [۶] یک کانال غیرمتمرکز را مطالعه کردند که در آن تقاضای بازار یک تابع از اقدامات خرده‌فروش است و تولیدکننده کیفیت محصول را انتخاب

مدیریت زنجیره تأمین حلقه بسته بر جمع‌آوری محصولات از اعضای پایین دست و استفاده مجدد از آن‌ها برای ایجاد ارزش اضافی تمرکز دارد [۱]. امروزه با افزایش نگرانی‌ها درباره مسائل زیست محیطی و افزایش فروش شرکت‌ها، به زنجیره تأمین حلقه بسته توجه بیشتری شده است. همچنین، مسئله بهبود کیفیت در استفاده مجدد از محصولات مقوله مهمی تلقی می‌شود. به طور خاص، برای بهبود کیفیت محصول، تولیدکننده باید فرایند تولید، قابلیت بازرسی و آگاهی از کیفیت را سازماندهی کند. ادغام بازاریابی و مدیریت تولید حوزه ای کلیدی در پیشرفت تحقیقات اخیر در بازی‌های مختلف است [۲]. برخی مطالعات فقط بر اقدامات بازاریابی یا کیفیت با ایجاد اهمیت بر فعالیت‌های تولید مجدد تمرکز دارند. ساواکان و همکاران [۳] با در نظر گرفتن یک زنجیره تأمین حلقه بسته با

بررسی و شواهد را استخراج کردند. یانگ و همکاران [۱۹] با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی تجزیه و تحلیل بهینه‌سازی ترتیبی، بهینه‌سازی متمرکز بدون به اشتراک گذاری سود و بهینه‌سازی متمرکز، یک سیستم حلقه بسته تدارکات با ساخت و بازسازی چرخه را تحلیل کردند. ما و همکاران [۲۰ و ۲۱] یک زنجیره تأمین دو سطحی با کانال‌های راهبردی کیفیت و تلاش بازاریابی وابسته به تقاضا را تحت ساختار سه زنجیره تأمین بررسی کردند. هوانگ و همکاران [۱] راهبردهای بهینه در زنجیره تأمین حلقه بسته با کانال بازیافت دوگانه را بررسی کردند که در آن تولیدکننده محصولات را از طریق خرده‌فروش در زنجیره تأمین رو به جلو می‌فروشد، درحالی‌که وی برای جمع‌آوری محصولات مورد استفاده با شخص ثالث در زنجیره تأمین معکوس در رقابت است. مایتی و گیری [۲۲] مطالعاتی را روی زنجیره تأمین حلقه بسته با تقاضای وابسته به کیفیت محصول در پنج سناریو انجام دادند و در نهایت با مقایسه نتایج به بهترین سناریو دست یافتند. گیری و شارما [۲۳] مطالعاتی در زمینه زنجیره تأمین دو سطحی شامل یک تولیدکننده و دو خرده‌فروش و با در نظر گرفتن تقاضای وابسته به هزینه‌های تبلیغات انجام دادند. آنان با ایجاد دو راهبرد قیمت‌گذاری خرده‌فروشان و تولیدکنندگان را به بهینه‌ترین راهبرد سوق دادند. مقدم و مبینی [۲۴] یک مدل ریاضی شبکه زنجیره تأمین معکوس پیشنهاد دادند که برای قیمت‌گذاری با هدف به حداکثر رساندن سود مجموع مناسب است. آل اوراردیقی [۲۵] نشان داد قدرت هماهنگی بالقوه در به اشتراک‌گذاری درآمد در زنجیره تأمین به بهبود سطح کیفیت محصولات منجر می‌شود. آوست و بوچر [۲۶] قیمت‌گذاری بهینه و تصمیمات بازاریابی در یک زنجیره تأمین با یک تولیدکننده و خرده‌فروش را بررسی کردند، درحالی‌که تقاضا تابعی از قیمت است. ما و وانگ [۲۷] با در نظر گرفتن یک زنجیره تأمین حلقه بسته با بهبود محصول - که از یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش تشکیل شده است - دو مدل بازی غیرهمکاری استکلبرگ و مدل بازی همکار به همکار ارائه دادند. وی و همکاران [۲۸] با استفاده از تئوری بازی یک پیشنهاد در زمینه قیمت‌گذاری بهینه و تصمیم‌گیری‌های جمع‌آوری از یک زنجیره تأمین حلقه بسته با ساختار

می‌کند. المهداو و متین [۷] یک زنجیره تأمین با یک تولیدکننده و چندین خرده‌فروش را بررسی کردند. آنان بهره‌وری زنجیره‌های تأمین مختلف را میان تولیدکننده - رهبر و خرده‌فروش - رهبر مقایسه کردند و دریافتند با رهبری خرده‌فروشی کل قیمت عمده‌فروشی کاهش می‌یابد. وانگ و همکاران [۸] آثار تقاضای وابسته به سرمایه‌گذاری را در تبلیغات بررسی کردند. فرر و سوامیناتحان [۹] با گسترش یک مدل که در آن محصولات دوباره تولید شده از انواع جدید و متفاوت بودند، سبب شدند بینش‌های جدید تأثیرگذاری به وجود آیند. ووی و ژاو [۱۰] توانستند به راه حل مشکل تصمیم‌گیری قیمت‌گذاری یک زنجیره تأمین حلقه بسته فازی با رقابت خرده‌فروشان دست یابند. لو و همکاران [۱۱] به تعیین تصمیمات قیمت‌گذاری در زنجیره تأمین - که شامل دو تولیدکننده رقیب و یک خرده‌فروش است - پرداختند و با استفاده از تئوری بازی‌ها راه حلی تعادلی ارائه دادند. میترا [۱۲] یک مدل احتمالی و قطعی را برای یک سیستم دو سطحی با خواسته‌های همبسته و بازده، تحت ساختارهای هزینه کلی توسعه داد. تارخ و همکاران [۱۳] یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای طراحی یک شبکه لجستیک یکپارچه پیشرو - معکوس چندلایه، چندمحصولی، تک‌دوره‌ای به همراه ظرفیت‌های محدود شده و با شرایط نبود قطعیت ارائه دادند. طاهری فرد و همکاران [۱۴] تصمیمات قیمت‌گذاری و سفارش‌دهی در یک زنجیره تأمین دو سطحی را تحت تقاضای احتمالی شامل یک تولیدکننده و دو خرده‌فروش رقیب بررسی کردند و دو سناریوی استکلبرگ و کورنو را میان خرده‌فروشان برقرار کردند. لی و همکاران [۱۵] بر ارتباط میان سیاست بازگشتی، کیفیت محصولات و راهبرد قیمت‌گذاری در فروش مستقیم آنلاین تمرکز داشتند. گویندان و همکاران [۱۶] با تمرکز بر هماهنگی در زنجیره تأمین رو به جلو و برگشت به عقب به مروری جامع دست یافتند. چویی و همکاران [۱۷] با مطالعه زنجیره تأمین حلقه بسته با یک خرده‌فروش، یک جمع‌آوری‌کننده و یک تولیدکننده، عملکردهای مختلف زنجیره تأمین حلقه بسته تحت کانال‌های راهبردی مختلف را بررسی کردند. یی و موخوپادی [۱۸] نقش راهبردهای طرف تقاضا را برای یک شرکت درگیر در رقابت انحصار دوگانه در کیفیت و قیمت

اطلاعات متقارن و نامتقارن ارائه دادند.

اهمیت تولید با استفاده از بازاریابی محصولات مستعمل با ضمانت بر اینکه کیفیت این محصولات با کیفیت محصولات تولیدشده از مواد اولیه برابری می‌کند از موضوعات جالب در زنجیره تأمین است. مصرف‌کنندگان خواهان محصولات سازگار با محیط‌زیست هستند و مطالعات نیز نشان می‌دهد رشد شرکت‌های سبز در مقایسه با دیگر شرکت‌ها بیشتر است. در این پژوهش، یک زنجیره تأمین حلقه بسته با یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش و یک عضو سوم در نظر گرفته می‌شود. فرض می‌شود تولیدکننده به برآورده کردن تقاضا با تولید محصولات جدید از مواد اولیه و تولید مجدد محصولات بازگردانده شده می‌پردازد. تقاضا به قیمت خرده‌فروش، کیفیت محصول و سطح اقدامات بازاریابی وابسته است. در این تحقیق، تأثیر اقدامات بازاریابی خرده‌فروش، بهبود کیفیت تولیدکننده و فعالیت‌های عضو سوم زنجیره بررسی می‌شود. با در نظر گرفتن دو سیاست مختلف استکلبرگ به فرموله کردن تابع سود هر عضو در زنجیره تأمین حلقه بسته پرداخته می‌شود و راه حل بهینه پیشنهاد داده می‌شود. در ادامه، مسئله و فرضیات تعریف می‌شود. سپس نمادها و پارامترهای مورد استفاده در مدل بیان می‌شود و مسئله براساس دو سیاست استکلبرگ فرموله می‌شود. پایان تحقیق به ارائه مثال عددی و جمع‌بندی و پیشنهادها برای تحقیقات آتی اختصاص دارد.

تعریف مسئله

در این پژوهش، یک زنجیره تأمین حلقه بسته شامل یک تولیدکننده، یک خرده‌فروش و یک عضو سوم می‌شود که عضو سوم محصولات مستعمل را از مصرف‌کننده جمع‌آوری می‌کند و برای تولیدکننده می‌فرستد. تولیدکننده محصولات خود را به خرده‌فروش در بازار می‌فروشد. عضو سوم محصولات بازگشتی را جمع‌آوری می‌کند و به تولیدکننده می‌فروشد. دو سناریوی استکلبرگ تولیدکننده-رهبر و خرده‌فروش-رهبر در این پژوهش در نظر گرفته شده است. فرضیات زیر برای توسعه بهتر مدل نیز در نظر گرفته می‌شوند.

۱. تقاضای بازار تابع خطی از قیمت خرده‌فروش، کیفیت

محصول و سطح اقدامات بازاریابی است.

$$D = d - \alpha p + \beta q + \theta m \quad (1)$$

۲. کیفیت محصولات ساخته‌شده بالاتر از کیفیت محصولات بازگشتی است ($q > q_r$). در نتیجه، اگر محصولات بازگشتی حداقل کیفیت را داشته باشند، برای تولیدکننده قابل قبول است. علاوه بر این، بعد از دوباره کاری محصولات بازگشتی، کیفیت محصولات بازسازی شده با کیفیت محصولات تولیدشده از مواد اولیه برابری می‌کند. محصولات بازسازی شده به همان قیمت محصولات تولیدشده از مواد اولیه در بازار فروخته می‌شود.

۳. نرخ بازگشت (τ) عضو سوم، کسری از تقاضای کل است [۲۲].

۴. هزینه هر واحد برای دوباره‌سازی کمتر از هزینه ساخت است ($C_r < C_m$).

۵. همه بازیکنان در زنجیره تأمین حلقه بسته به یک همکاری یکپارچه در سیستم تمایل دارند [۲۲]. همچنین، فرض بر این است:

$$p > w > 0, C_m - C_r > C_t > A_t > 0, C_A > 0, q > q_r.$$

مدل‌سازی

پارامترهای زیر برای توسعه مدل تعریف می‌شود:

w : قیمت عمده‌فروشی هر واحد محصول

P : قیمت خرده‌فروشی هر واحد محصول

D : نرخ تقاضای محصول در بازار

m : سطح اقدامات بازاریابی

q : کیفیت محصول

τ : نرخ جمع‌آوری عضو سوم

d : تقاضای ثابت بازار

g : هزینه هر واحد از دست‌دادن حسن نیت محصول نزد تولیدکننده

α : عامل حساسیت تقاضا نسبت به قیمت فروش

β : عامل حساسیت تقاضا نسبت به کیفیت محصول

θ : عامل حساسیت تقاضا نسبت به هزینه‌های بازاریابی محصول

محصول

γ : سرمایه‌گذاری مؤثر توسط عضو سوم برای

جمع‌آوری محصولات بازگشتی

$$\frac{\partial \pi_r}{\partial m^M} = \theta(p^M - w^M) - C_A m^M \quad (۶)$$

همچنین، مشتق دوم تابع سود خرده فروش نسبت به متغیرهای تصمیم منفی است:

$$\frac{\partial^2 \pi_r}{\partial p^M} < 0, \quad \frac{\partial^2 \pi_r}{\partial m^M} < 0$$

ماتریس هشین مربوط به تابع سود خرده فروش نیز به صورت زیر است.

$$H^R = \begin{pmatrix} -2\alpha & \theta \\ \theta & -C_A \end{pmatrix} \quad (۷)$$

$$\text{و اگر, } |H_1^R| = -2\alpha < 0, \quad |H_2^R| = 2\alpha C_A - \theta > 0$$

$$C_A > \frac{\theta}{2\alpha} \quad (۸)$$

بنابراین، با برقراری رابطه ۸، تابع سود خرده فروش مقعر می شود و عکس العمل بهینه آن با مساوی قرار دادن روابط ۵ و ۶ به صورت زیر است:

$$p^M = \frac{d + \beta q^M + \theta m^M + \alpha w^M}{2\alpha} \quad (۹)$$

$$m^M = \frac{\theta(p^M - w^M)}{C_A} \quad (۱۰)$$

عکس العمل عضو سوم

با عکس العمل خرده فروش، عضو سوم نیز باید پاسخ خود را به رفتار تولیدکننده نشان دهد. با توجه به رابطه ۴،

$$(۱۱)$$

$$\frac{\partial \pi_t}{\partial \tau^M} = -2\gamma \tau^M - (A_t - C_t)(d - \alpha p^M + \beta q^M + \theta m^M)$$

همچنین،

$$\frac{\partial^2 \pi_t}{\partial \tau^M} = -2M\gamma < 0 \quad (۱۲)$$

مشتق تابع سود عضو سوم نسبت به تنها متغیر تصمیم منفی است؛ بنابراین، تابع سود وی مقعر است و نرخ جمع آوری توسط عضو سوم با مساوی صفر قرار دادن رابطه ۱۱ به صورت زیر به دست می آید.

C_m : هزینه ساخت هر واحد محصول از مواد اولیه
 C_r : هزینه بازسازی هر واحد محصول از محصولات بازگشتی

C_q : هزینه بهبود کیفیت محصول نزد تولیدکننده
 C_A : هزینه بازاریابی محصول نزد خرده فروش
 C_t : قیمت بازیافت محصولات بازگشتی که توسط تولیدکننده به عضو سوم پرداخت می شود

A_t : هزینه بازیافت محصولات بازگشتی جمع آوری شده توسط عضو سوم

حال براساس فرضیات و پارامترهای تعریف شده در مسئله، سود تولیدکننده، خرده فروش و عضو سوم به ترتیب به صورت زیر است:

$$\pi_m(w, \tau) = Dw - DC_m(1 - \tau) - (1 - q)g - \tau D(C_r + C_t) - \frac{C_q q^2}{2} \quad (۲)$$

$$\text{S.t: } p > w > 0 \\ 0 < q < 1$$

$$\pi_r(p, \theta) = D(p - w) - \frac{m^2 C_A}{2} \quad (۳)$$

$$\text{S.t: } 0 < m < 1$$

$$\pi_t = \tau D(C_t - A_t) - \gamma \tau^2 \quad (۴)$$

$$\text{S.t: } 0 < \tau < 1$$

سیاست تولیدکننده- رهبر

در این سناریو، تولیدکننده رهبر مدل استکلبرگ است و دیگر بازیکنان پیرو هستند. براساس سیاست استکلبرگ در تئوری بازیها، در این حالت خرده فروش و عضو سوم بهترین پاسخ را به رفتار تولیدکننده می دهند و سپس تولیدکننده به اتخاذ تصمیم بهینه اقدام می کند.

عکس العمل خرده فروش

با توجه به تابع سود خرده فروش در تساوی شماره ۳ داریم:

$$\frac{\partial \pi_r}{\partial p^M} = d - \alpha p^M + \beta q^M + \theta m^M - \alpha(p^M - w^M) \quad (۵)$$

$$|H_1^M| = -\frac{\alpha(\alpha\beta^2 C_A^2 + 2\alpha\theta^2 C_r C_i - 4\theta^4 C_i)}{\theta^4} \tau^M = \frac{(C_i - C_A)[2C_A(d + \beta q^M - \alpha w^M)]}{8\gamma C_A} + \frac{+2\theta(p^M - w^M) + \theta^2(w^M - p^M)]}{8\gamma C_A} \quad (13)$$

$$-\frac{\alpha^2 C_i (A_i - C_i)(-2\theta^2 + \alpha C_A)(C_r - C_m + C_i)}{\gamma\theta^4} > 0.$$

در نتیجه، با برقراری روابط بالا، تابع سود تولیدکننده نیز مقعر است و جواب بهینه تولیدکننده با مساوی صفر قراردادان روابط ۱۴ و ۱۵ به دست می‌آید.

سیاست خرده‌فروش - رهبر

در این سناریو، خرده‌فروش رهبر مدل استکلبرگ است و دیگر بازیکنان پیرو هستند. براساس سیاست استکلبرگ در تئوری بازی‌ها، در این حالت عضو سوم و تولیدکننده بهترین پاسخ را به رفتار تولیدکننده می‌دهند و سپس خرده‌فروش تصمیم بهینه خود را اتخاذ می‌کند. شایان ذکر است عکس‌العمل عضو سوم تأثیری بر قیمت عمده‌فروشی ندارد؛ بنابراین، تابع سود تولیدکننده با در نظر گرفتن قیمت عمده‌فروشی افزایش می‌یابد. پس $p^R > w^R$. در این صورت، قیمت عمده‌فروشی به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود [۲۹]:

$$w^R = \frac{1}{2}(p^R + C_m) \quad (17)$$

عکس‌العمل عضو سوم

با توجه به معادله ۴ داریم:

$$(18)$$

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial \tau^R} = -2\gamma\tau^R - (A_i - C_i)(d - \alpha p^R + \beta q^R + \theta m^R)$$

همچنین مشتق دوم تابع خرده‌فروش منفی است:

$$\frac{\partial^2 \pi^R}{\partial \tau^R} = -2R\gamma\tau^R < 0$$

بنابراین، تابع سود عضو سوم مقعر است و نرخ جمع‌آوری محصولات برگشتی توسط عضو با مساوی صفر قراردادان معادله ۱۸ به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\tau^R = \frac{(C_i - A_i)(d - \alpha p^R + \beta q^R + \theta m^R)}{2\gamma} \quad (19)$$

تصمیم بهینه تولیدکننده

بعد از عکس‌العمل‌های خرده‌فروش و عضو سوم، تولیدکننده در پی حداکثر کردن سود خود تصمیم بهینه را اتخاذ می‌کند. با توجه به رابطه ۲،

$$\frac{\partial \pi}{\partial q^M} = \frac{g\theta^2 - C_i q^M \theta^2 - C_A C_m \alpha \beta + C_A \alpha \beta w^M}{\theta^2} + \frac{C_A \alpha^2 \beta (A_i - C_i)(C_r - C_m + C_i)}{\gamma} + \left(\frac{-2\theta^2 w^M + C_A d + C_i \beta q^M + \alpha w^M C_A}{\theta^4} \right) \quad (14)$$

$$\frac{\partial \pi}{\partial w^M} = \frac{\alpha(C_A d + 2\theta^2 C_m - 4\theta^2 w^M - \alpha C_A C_m)}{\theta^2} + \frac{\alpha(+\beta q^M C_i + 2\alpha w^M C_A)}{\theta^2} + \left(\frac{\alpha^2 (A_i - C_i)(-2\theta^2 + \alpha C_A)(C_r - C_m + C_i)}{\gamma} \right) + \left(\frac{-2\theta^2 w^M + C_A d + \beta q^M C_A + \alpha w^M C_A}{\theta^4} \right) \quad (15)$$

و ماتریس هشین متناسب با تابع سود تولیدکننده به صورت زیر است:

$$H^M = \begin{pmatrix} -C_i + \frac{\alpha^2 \beta^2 C_A^2 X_1 X_2}{\gamma\theta^4} & \frac{\alpha\beta C_A}{\theta^2} + \frac{\alpha^2 \beta C_A X_1 X_2 X_3}{\gamma\theta^4} \\ \frac{\alpha\beta C_A}{\theta^2} + \frac{\alpha^2 \beta C_A X_1 X_2 X_3}{\gamma\theta^4} & \frac{2\alpha X_3}{\theta^2} + \frac{\alpha^2 X_1 X_3^2 X_2}{\gamma\theta^4} \end{pmatrix}$$

که $X_3 = -2\theta^2 + \alpha C_A$ و $X_2 = C_r - C_m + C_i$ ، $X_1 = A_i - C_i$

$$|H_1^M| = \frac{\alpha^2 \beta^2 C_A^2 (A_i - C_i)(C_r - C_m + C_i)}{\gamma\theta^4} - C_i < 0,$$

اگر

$$C_i > \frac{\alpha^2 \beta^2 C_A^2 (A_i - C_i)(C_r - C_m + C_i)}{\gamma\theta^4} \quad (16)$$

و همواره

$$\frac{\partial \pi_r}{\partial m^r} = -m^r C_A - \frac{\theta \gamma C q (C_m - p^r)}{2 \left(\begin{array}{l} \gamma C_q + \beta^2 C_i^2 + \beta^2 A_i C_m \\ -\beta^2 A_i C_r - \beta^2 A_i C_i - \beta^2 C_m C_i \\ + \beta^2 C_r C_i \end{array} \right)} \quad (25)$$

ماتریس هشین مرتبط با تابع سود خرده‌فروش به صورت

زیر است:

$$H^r = \begin{pmatrix} -\frac{\alpha C_q}{C_q - \frac{\beta^2 X_1 X_4}{\gamma}} & \frac{\theta C_q}{2 \left(\begin{array}{l} C_q - \frac{\beta^2 X_1 X_4}{\gamma} \\ + \frac{C_m \beta^2 X_1}{\gamma} \end{array} \right)} \\ \frac{\beta^2 C_m X_1}{\gamma} & -C_i \\ \frac{\theta C_q}{2 \left(\begin{array}{l} C_q - \frac{\beta^2 X_1 X_4}{\gamma} \\ + \frac{\beta^2 C_m X_1}{\gamma} \end{array} \right)} & -C_i \end{pmatrix} \quad (26)$$

$$X_1 = (A_i - C_i), \quad X_4 = (C_r + C_i)$$

$$\begin{aligned} |H_1^r| &= -\frac{\alpha \gamma C_q}{\gamma C_q + \beta^2 (C_i^2 + A_i C_m - A_i C_r - A_i C_i - C_m C_i + C_r C_i)} < 0 \\ |H_2^r| &= \frac{\left(\begin{array}{l} \gamma C_q (4\alpha C_A C_i^2 - 4\alpha C_A C_m C_i + 4\alpha C_A C_r C_i) \\ -\gamma A_i C_q (4\alpha C_A C_r - 4\alpha C_A C_m + 4\alpha C_A C_i) \end{array} \right)}{4} > 0 \\ &= \frac{\left(\begin{array}{l} \gamma C_q + \beta^2 C_i^2 + \beta^2 A_i C_m - \beta^2 A_i C_r \\ -\beta^2 A_i C_i - \beta^2 C_m C_i \beta^2 + \beta^2 C_r C_i \end{array} \right)^2}{4} > 0 \end{aligned}$$

در نتیجه، تابع سود خرده‌فروش مقعر است و با مساوی صفر قراردادن معادلات ۲۴ و ۲۵، تصمیم بهینه خرده‌فروش

به صورت زیر به دست می‌آید:

(۲۷)

$$p^r = \frac{dC_q + \beta g - \beta^2 C_m + \beta^2 w^r + \alpha C_m C_q + \theta m^r C_q}{2\alpha C_q} \quad (28)$$

$$m^r = -\frac{\gamma \theta C_q (C_m - p^r)}{2C_A \left(\begin{array}{l} \gamma C_q + \beta^2 C_i^2 + \beta^2 A_i C_m - \beta^2 A_i C_r \\ -\beta^2 A_i C_i - \beta^2 C_m C_i + \beta^2 C_r C_i \end{array} \right)}$$

شایان ذکر است در صورت برقرار نشدن یکی از شروط

عکس‌العمل تولیدکننده

در این قسمت با توجه به تابع سود تولیدکننده داریم:

(۲۰)

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi}{\partial q^r} &= g - \beta C_m - q^r C_q + \beta w^r \\ &+ \frac{\beta (A_i - C_i)(C_r + C_i)(d - \alpha p^r + \beta q^r + \theta m^r)}{\lambda} \\ &- \frac{\beta C_m (A_i - C_i)(d - \alpha p^r + \beta q^r + \theta m^r)}{\gamma} \end{aligned}$$

همچنین براساس معادله ۱۷، مشتق دوم تابع سود

تولیدکننده منفی است:

$$\frac{\partial^2 \pi}{(\partial q^r)^2} = \frac{\beta^2 (A_i - C_i)(C_r - C_m + C_i)}{\gamma} - C_q < 0$$

اگر

$$C_q > \frac{\beta^2 (A_i - C_i)(C_r - C_m + C_i)}{\gamma} \quad (21)$$

با برقراری رابطه ۲۱، عکس‌العمل بهینه تولیدکننده

به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} q^r &= C_m - \frac{g}{\beta} + \frac{C q q^r}{\beta} \\ &+ \frac{C_m (A_i - C_i)(d - \alpha p^r + \beta q^r + \theta m^r)}{\gamma} \\ &- \frac{(A_i - C_i)(C_r + C_i)(d - \alpha p^r + \beta q^r + \theta m^r)}{\gamma} \end{aligned} \quad (22)$$

$$w^r = \frac{C_m + p^r}{2} \quad (23)$$

تصمیم بهینه خرده‌فروش

بعد از عکس‌العمل‌های عضو سوم و تولیدکننده، خرده‌فروش

در پی حداکثر کردن سود خود، تصمیم بهینه را اتخاذ

می‌کند. با توجه به رابطه ۳ داریم:

$$\frac{\partial \pi_r}{\partial p^r} = \frac{\gamma \left(\begin{array}{l} dC_q + \beta g - \beta^2 C_m + \beta^2 w^r \\ + \alpha C_m C_q - 2\alpha p^r C_q + \theta m^r C_q \end{array} \right)}{2 \left(\begin{array}{l} \gamma C_q + \beta^2 C_i^2 + \beta^2 A_i C_m - \beta^2 A_i C_r \\ -\beta^2 A_i C_i - \beta^2 C_m C_i + \beta^2 C_r C_i \end{array} \right)} \quad (24)$$

مقربودن توابع سود، باید از یکی از نرم‌افزارهای بهینه‌سازی مانند GAMS استفاده کرد.

مثال عددی

در این بخش، عملکرد مدل توسعه‌یافته زنجیره تأمین حلقه بسته تحت دو سیاست استکلبرگ با یک مثال عددی نشان داده می‌شود. مقادیر عددی پارامترها به صورت زیر است.
 $d = 80$; $\alpha = 0.25$; $\beta = 0.75$; $\theta = 0.5$;

$$g = 100$$
 ; $\gamma = 3000$;

$$C_m = 100$$
 ; $C_r = 30$; $C_i = 70$;

$$C_q = 8$$
 ; $A_i = 15$; $C_A = 4$

با مشاهده نتایج حل مدل مشخص می‌شود در سیاست خرده‌فروش- رهبر مقدار سود هریک از بازیکنان زنجیره و سود کل زنجیره تأمین بیشتر است. نتایج بهینه در جدول ۱ نشان داده می‌شود.

جدول ۱. نتایج بهینه تحت دو سیاست

متغیرهای تصمیم	تولیدکننده- رهبر	خرده‌فروش- رهبر
w	۵/۲۱۲	۲۵/۱۵۶
p	۷۵/۲۶۸	۵/۲۱۲
q	۱	۱
m	۱	۱
τ	۱۲۸۹/۰	۲۵۷۸/۰
π_m	۰۳/۱۵۷۸	۲۵۶/۲۹۹۷
π_r	۰۱۵۶/۷۸۹	۴۰۶/۱۴۳۹
π_i	۷۸۹/۶۹	۹۵/۱۶۳
π	۸۳۶/۲۴۳۶	۶۱۶۸/۴۶۰۰

تحلیل حساسیت

در این بخش، میزان تأثیر چند پارامتر مهم بر متغیرهای تصمیم، میزان سود هریک از بازیکنان زنجیره و سود کل زنجیره تأمین بررسی می‌شود. مشاهدات زیر از انجام دادن تحلیل حساسیت روی پارامترهای θ, β, α حاصل می‌شود:

- وقتی مقدار پارامتر α (عامل حساسیت به قیمت فروش در تقاضا) افزایش داده می‌شود، قیمت خرده‌فروش و قیمت عمده‌فروشی تولیدکننده کاهش

می‌یابد. در نتیجه، مقدار سود هریک از بازیکنان زنجیره کاهش می‌یابد و به همین ترتیب سود کل زنجیره تأمین کاهش می‌یابد. هنگامی که $\alpha = 1$ می‌شود، مقدار قیمت عمده‌فروشی و قیمت خرده‌فروش برابر است و سود خرده‌فروش برابر صفر است. جدول ۲ نتایج تغییر پارامتر α را نشان می‌دهد. شکل‌های ۱ تا ۴ دیاگرام تغییرات قیمت را نسبت به تغییرات α نشان می‌دهد.

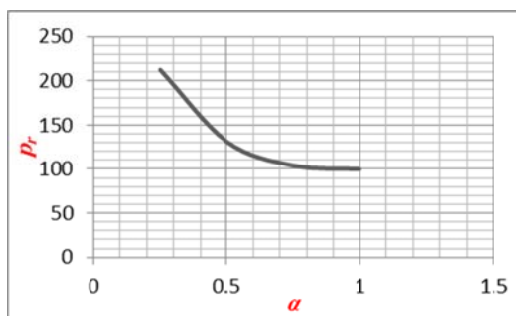
- هنگامی که مقدار پارامتر β (عامل حساسیت به کیفیت محصول در بازار) و θ (عامل حساسیت به بازاریابی محصول در بازار) کاهش یا افزایش داده می‌شود، مقدار قیمت عمده‌فروشی و قیمت خرده‌فروشی در حد چند واحد تغییر می‌کند؛ بنابراین، کیفیت محصول و هزینه بازاریابی به‌عنوان عوامل تأثیرگذار بر تقاضای بازار و سود هریک از بازیکنان زنجیره تأمین بعد از قیمت محصول قرار دارند. جدول ۳ و ۴ نتایج تغییرات β, θ را نشان می‌دهد. شکل‌های ۵ تا ۱۲ دیاگرام تغییرات قیمت را نسبت به تغییرات β, θ نشان می‌دهد.

جدول ۲. نتایج تحلیل حساسیت پارامتر α

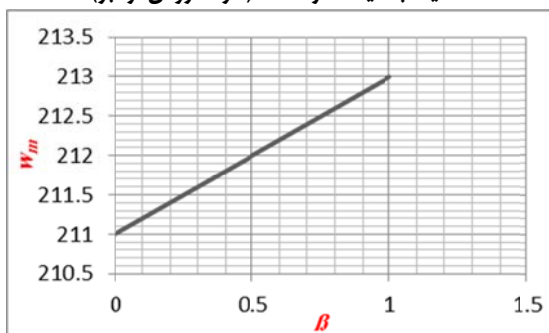
α	۰	۲۵/۰	۵/۰	۷۵/۰	۱
w_m	∞	۵/۲۱۲	۲۵/۱۳۱	۸۳۳/۱۰۳	۳۷۵/۹۰
w_r	∞	۲۵/۱۵۶	۶۲۵/۱۱۵	۹۵۷/۱۰۱	۱۰۰
p_m	∞	۷۵/۲۶۸	۸۷۵/۱۴۶	۸۳۳/۱۰۵	۳۷۵/۹۰
p_r	∞	۵/۲۱۲	۲۵/۱۳۱	۹۱۵/۱۰۳	۱۰۰

جدول ۳. نتایج تحلیل حساسیت پارامتر β

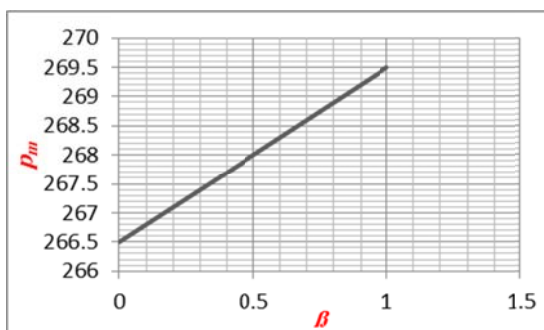
β	۰	۲۵/۰	۵/۰	۷۵/۰	۱
w_m	۲۱۱	۵/۲۱۱	۲۱۲	۵/۲۱۲	۲۱۳
w_r	۵/۱۵۵	۷۵/۱۵۵	۱۵۶	۲۵/۱۵۶	۵/۱۵۶
p_m	۵/۲۶۶	۲۵/۲۶۷	۲۶۸	۷۵/۲۶۸	۵/۲۶۹
p_r	۲۱۱	۵/۲۱۱	۲۱۲	۵/۲۱۲	۲۱۳



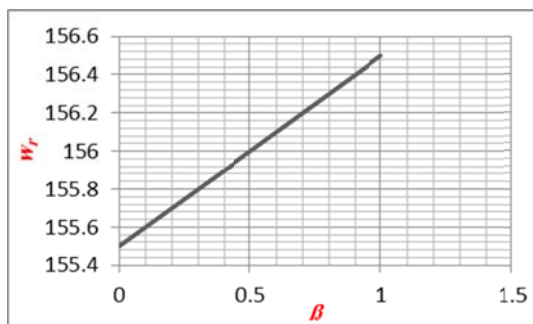
شکل ۴. نمودار تغییرات قیمت محصول نسبت به عامل حساسیت به قیمت در تقاضا (خرده‌فروش- رهبر)



شکل ۵. نمودار تغییرات قیمت عمده‌فروشی نسبت به عامل حساسیت به کیفیت محصول (تولیدکننده- رهبر)



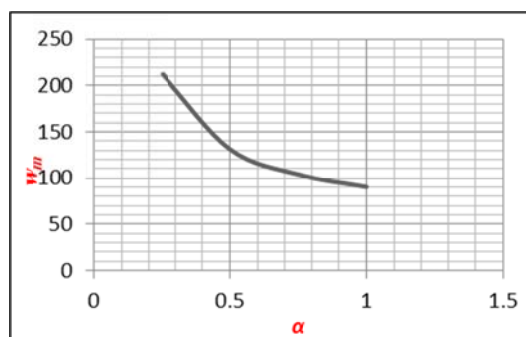
شکل ۶. نمودار تغییرات قیمت محصول نسبت به عامل حساسیت به کیفیت محصول (تولیدکننده- رهبر)



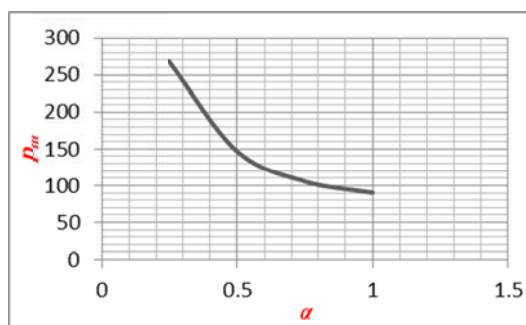
شکل ۷. نمودار تغییرات قیمت عمده‌فروشی نسبت به عامل حساسیت به کیفیت محصول (خرده‌فروش- رهبر)

جدول ۴. نتایج تحلیل حساسیت پارامتر θ

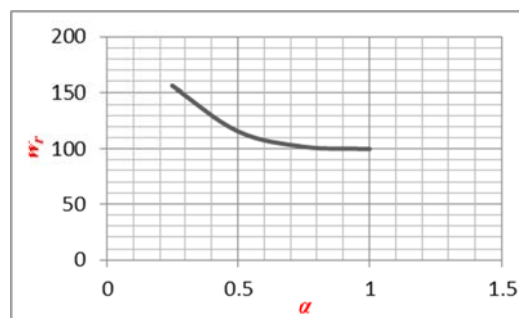
θ	۰	۲۵/۰	۵/۰	۷۵/۰	۱
w_m	۵/۲۱۱	۲۱۲	۵/۲۱۲	۲۱۳	۵/۲۱۳
w_r	۷۵/۱۵۵	۱۵۶	۲۵/۱۵۶	۵/۱۵۶	۷۵/۱۵۶
p_m	۲۵/۲۶۷	۲۶۸	۷۵/۲۶۸	۵/۲۶۹	۲۵/۲۷۰
p_r	۵/۲۱۱	۲۱۲	۵/۲۱۲	۲۱۳	۵/۲۱۳



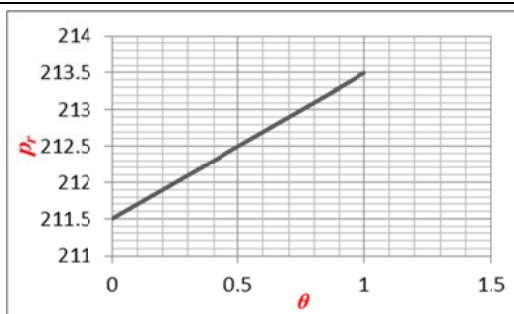
شکل ۱. نمودار تغییرات قیمت عمده‌فروشی نسبت به عامل حساسیت به قیمت در تقاضا (تولیدکننده- رهبر)



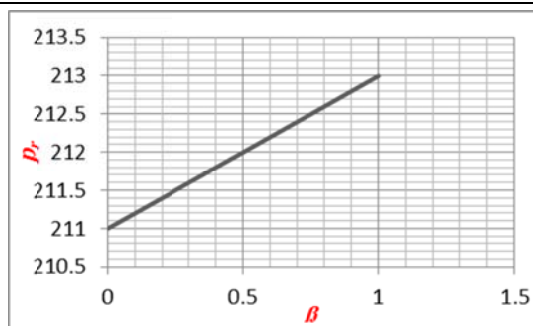
شکل ۲. نمودار تغییرات قیمت محصول نسبت به عامل حساسیت به قیمت در تقاضا (تولیدکننده- رهبر)



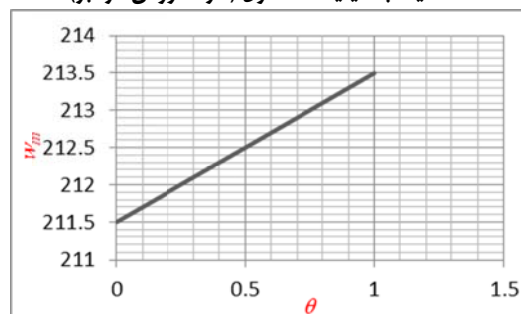
شکل ۳. نمودار تغییرات قیمت عمده‌فروشی محصول نسبت به عامل حساسیت به قیمت در تقاضا (خرده‌فروش- رهبر)



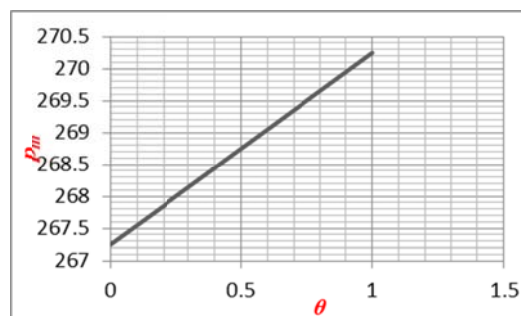
شکل ۱۲. نمودار تغییرات قیمت محصول نسبت به عامل حساسیت به بازاریابی محصول (خرده‌فروش - رهبر)



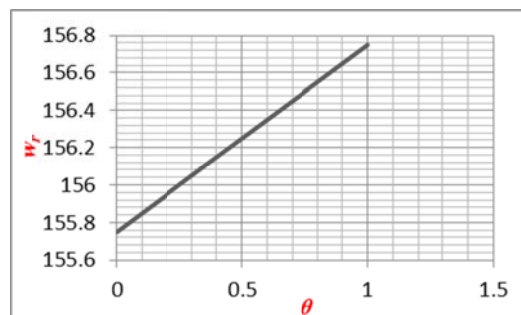
شکل ۸. نمودار تغییرات قیمت محصول نسبت به عامل حساسیت به کیفیت محصول (خرده‌فروش - رهبر)



شکل ۹. نمودار تغییرات قیمت عمده‌فروشی نسبت به عامل حساسیت به بازاریابی محصول (تولیدکننده-رهبر)



شکل ۱۰. نمودار تغییرات قیمت محصول نسبت به عامل حساسیت به بازاریابی محصول (تولیدکننده- رهبر)



شکل ۱۱. نمودار تغییرات قیمت عمده‌فروشی نسبت به عامل حساسیت به بازاریابی محصول (خرده‌فروش - رهبر)

نتیجه‌گیری

این پژوهش دربرگیرنده یک زنجیره تأمین حلقه بسته با یک تولیدکننده، یک خرده‌فروش و یک عضو سوم است. تولیدکننده بخشی از تقاضای بازار را با تولید محصول از مواد اولیه تأمین می‌کند و بخشی دیگر را از دوباره‌کاری محصولات بازگشتی که توسط عضو سوم جمع‌آوری می‌شود، تأمین می‌کند. تولیدکننده محصولات را با یک قیمت عمده‌فروشی در بازار به خرده‌فروش می‌فروشد. اقدامات بهبود کیفیتی توسط تولیدکننده و اقدامات بازاریابی توسط خرده‌فروش در زنجیره انجام می‌گیرد. دو سناریوی استکلبرگ، تولیدکننده- رهبر و خرده‌فروش- رهبر در نظر گرفته شد. با مقایسه نتایج مثال عددی مشخص شد سناریوی خرده‌فروش- رهبر بهترین سناریو برای کل زنجیره تأمین است، به طوری که یک وضعیت برد- برد را برای بازیکنان زنجیره فراهم می‌کند. تحقیقات ما نشان داد بازاریابی با در نظر گرفتن کیفیت تأثیر مثبت بر تقاضای مصرف‌کنندگان دارد. برای تحقیقات آینده، در نظر گرفتن چند خرده‌فروش که محصولات را به فروش می‌رسانند، به دنیای واقعی بسیار نزدیک‌تر است. در نظر گرفتن سازوکار همکاری مثل اشتراک گذاری هزینه و فرض تابع تقاضای احتمالی و همچنین اقدام خرده‌فروش به‌عنوان جمع‌کننده محصولات مصرف‌شده از مصرف‌کنندگان راهکار مناسبی برای گسترش این کار است.

تشکر و قدردانی

از حمایت مالی دانشگاه تهران در این تحقیق در قالب طرح پژوهشی شماره ۳۰۰۱۵-۱-۰۲ قدردانی می‌شود.

مراجع

1. 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*, Vol. 144, No. 2, PP. 510-520.
2. Giovanni, P.D., (2011). "Quality improvement vs. advertising support: Which strategy works better for a manufacturer?." *European journal of operational research*, Vol. 208, No. 2, PP. 119-130.
3. Savaskan, R.C., Bhattacharya S., Van Wassenhove, L.N., (2004). "Closed loop supply chain models with product remanufacturing." *Management science*, Vol. 50, No. 2, PP. 239-252.
4. Savaskan, R.C. and Van Wassenhove L.N., (2006). "Reverse channel design: the case of competing retailers." *Management Science*, Vol. 52, No. 1, PP. 1-14.
5. Chung, S.L., Wee, H.M., Yang, P.C., (2008). "Optimal policy for a closed-loop supply chain inventory system with remanufacturing." *Mathematical and computer modelling*, Vol. 48, No. 5-6, PP. 867-881.
6. Gurnani, H. and Erkoc, M., (2008). "Supply contracts in manufacturer-retailer interactions with manufacturer-quality and retailer effort induced demand." *Naval research logistics*, Vol. 55, PP. 200-217.
7. Almehdawe, E. and Matin, B., (2010). "Vendor managed inventory with a capacited manufacturer and multiple retailer: retailer versus manufacturer leadership." *International journal of production economics*, Vol. 128, No. 1, PP. 292-302.
8. Wang, S., Zhou, Y., Wang, J., (2010). "Supply chain coordination with two production models and random demand depending on advertising expenditure and selling price." *International journal of systems science*, Vol. 41, PP. 1257-1272.
9. Ferrer, G. and Swaminathan, J., (2010). "Managing new and differentiated remanufactured products." *European journal of operational research*, Vol.203, No. 2, PP. 370-379.
10. Wei, J., and Zhao, J., (2011). "Pricing decisions with retailer competition in a fuzzy closed-loop supply chain." *Expert systems with application*, Vol. 38, No. 9, PP. 11209-11216.
11. Lu, J.C., Tsao, Y.C., Charoensiriwath, C., (2011). "Competition under manufacturer service and retail price." *Economic modelling*, Vol. 28, No. 3, PP. 1256-1264.
12. Mitra, S., (2012). "Inventory management in a two-echelon closed loop supply chain with correlated demands and returns." *Computers & industrial engineering*, Vol. 62, No. 4, PP. 870-879.
13. Tarokh, M.J., Esmaeli, M., Torabi, Sh., (1391). "An integral optimization model for designing reverse logistics network under uncertainty", *Journal of industrial engineering*, No. 2, PP. 159-173.
14. Taherifard, M., Teymori. E., Shaghghi, E.M., (1391). "Decision strategy under stackelberg policy and kono model in a two stage supply chain", *Journal of Industrial Management, (Published by Islamic Azad University - Sanandaj Branch)*, No. 19.
15. Li, Y., Xu, L., Li, D., (2013). "Examining relationships between return policy, product quality and pricing strategy in online direct selling." *International Journal of Production Economics*, Vol. 144, PP. 451-60.
16. Govindan, K., Popiuc, M.N., Diabat, A., (2013). "Overview of coordination contract within forward and reverse supply chain." *Journal of cleaner production*, Vol. 47, PP. 319-334.
17. Choi, T.M., Li, Y., Xu, L., (2013). "Channel leadership, performance and coordination in closed loop supply chain." *International journal of production economics*, Vol. 146, No. 2, PP. 371-380.
18. Ye, G. and Mukhopadhyay, S.K., (2013). "Role of demand side strategy in quality competition." *International journal of production economics*, Vol. 145, No. 2, PP. 696-701.
19. Yang, P.C., Chung, S.L., Wee, H.M., Zahara, E., Peng, C.Y., (2013). "Collaboration for a closed-loop deteriorating inventory supply chain with multi retailer and price-sensitive demand." *International journal of production economics*, Vol. 143, No. 2, PP. 557-566.

20. Ma, P., Wang, H., Shang, J., (2013). "Contract design for two-stage supply chain coordination: integration manufacturer-quality and retailer-marketing effort." *International journal of production economics*, Vol. 146, No. 2, PP. 745-755.
 21. Ma, P., Wang, H., Shang, J., (2013b). "Supply chain channel strategies with quality and marketing effort-dependent demand." *International journal of production economics*, Vol. 144, PP. 572-581.
 22. Maiti, T. and Giri, B.C., (2014). "A closed loop supply chain under retailer price and product quality dependent demand." *Journal of Manufacturing Systems*.
 23. Giri, B.C. and Sharma, S., (2014). "Manufacturer's pricing strategy in a two-level supply chain with competing retailers and advertising cost dependent demand." *Economic modelling*, Vol. 38, PP. 102-111.
 24. Moghaddam, S.V. and Mobini, A. (2014). "Pricing approach in a reverse supply chain." Proceedings of the CIE44 and IMSS'14 international conference on computers & industrial engineering, 14-16 October, Istanbul, Turkey, PP. 2085-2091.
 25. El Ouardighi, F., (2014). "Supply quality management with optimal wholesale price and revenue sharing contract: a two-stage game approach." *International journal of production economics*.
 26. Aust, G., Buscher, U., (2014). "Vertical cooperative advertising and pricing decisions in a manufacturer-retailer supply chain: a game theoretic approach." *European journal of operational research*, Vol. 223, PP. 473-482.
 27. Ma, J. and Wang, H., (2014). "Complexity analysis of dynamic non-cooperative game models for closed loop supply chain with product recovery." *Applied mathematical modelling*, Vol. 38, No. 23, PP. 5562-5572.
 28. 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*, Vol. 54, PP. 257-265.
 29. Jørgensen, S. and Zaccour, G., (1999). "Equilibrium pricing and advertising strategies in a marketing channel." *Journal of optimization theory and applications*, Vol. 102, No. 1, PP. 111-125.
-