نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

ISSN: 2345-2269

سال دهم، شماره بیستم، بهار و تابستان ۱۴۰۱، صفحه ۴۹-۶۱

www.ier.basu.ac.ir

DOI: 10.22084/ier.2023.22074.1982

زنجیره‌تأمین حلقه بسته با کیفیت متفاوت محصولات تولید و بازتولید و نرخ بازگشت تصادفی با رویکرد نظریه بازی‌ها

یاسمین نمیری[۱]، مریم اسمعیلی[۲*]

۱. کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشکدهٔ مهندسی، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران

۲. دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکدهٔ مهندسی، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۳۹۹/۵/۱۹

پذیرش ۱۴۰۰/۱۲/۱۰

(مقاله پژوهشی)

کلمات کلیدی:

زنجیره‌تأمین حلقه بسته

سطح کیفیت

نظریه بازی ها

نرخ بازگشت تصادفی

قیمت‌گذاری

خلاصه

امروزه باتوجه به مسائل زیست‌محیطی، قوانین دولتی و منافع اقتصادی توجه به جمع‌آوری و بازتولید محصولات افزایش بیشتری پیدا کرده است. در این مقاله یک زنجیره‌تأمین حلقه بسته دوسطحی درنظر گرفته شده است که شامل یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش است و تقاضا از طریق کالاهای تولید شده و بازتولید شده تأمین می‌شود. کیفیت کالاهای دست‌دومی که بازتولید می‌شوند، با کیفیت محصولات نو، یکسان نبوده، تصادفی و از توزیع نمایی پیروی می‌کند. همچنین نرخ بازگشت کالاها تصادفی درنظر گرفته شده و از توزیع یکنواخت پیروی می‌کند. تولیدکننده به‌دنبال تعیین قیمت عمده‌فروشی کالاهای بازتولید و تولیدی به گونه است که سود خود را حداکثر سازد و خرده‌فروش نیز با هدف حداکثرسازی سود قیمت خرده‌فروشی کالاهای تولیدی و بازتولیدی و طول سیکل را تعیین می‌کند. تعامل میان خرده‌فروش و تولیدکننده با استفاده از رویکرد نظریه بازی‌ها در شرایط هم‌زمان (ایستا) و غیر هم‌زمان (تولیدکننده رهبر و خرده‌فروش رهبر) بررسی شده است. باتوجه به بررسی‌های صورت گرفته سود زنجیره‌تأمین (تولیدکننده و خرده‌فروش) در حالت غیرهم‌زمان بیشتر از حالت هم‌زمان می‌باشد.

۱. مقدمه

امروزه با کم شدن مواد اولیه مورد نیاز تولید محصولات در طبیعت، افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی از انباشت زباله حاصل از محصولات در پایان عمر، توسعه روزافزون فضای رقابتی و جهانی شدن بازار محصولات، موجب شده است که سازمان‌ها در جهت بقای خود، تلاش چشم‌گیری را در راستای تأمین و تدارک، تولید و توزیع کالاهای شرکت خود به‌کار گیرند تا توان پاسخ‌گویی به نیازهای متنوع مشتریان را در حداقل زمان و با صرف حداقل هزینه داشته باشند. دلایل متعددی مانند توسعه پایدار، نگرانی‌های زیست‌محیطی، کمبود انرژی، کاهش منابع طبیعی و همچنین مسائلی مانند استفاده مجدد از محصولات معیوب، کاهش هزینه‌های بازگشت محصولات مرجوعی و بهبود آوازه شرکت موجب افزایش توجه به مدیریت زنجیره‌تأمین حلقه بسته گردیده است [۱،۲]. محصولات از نظر کیفیت شامل محصولات قابل تعمیر و برگشت‌پذیر به چرخه‌ی فروش محصول و مواد دور ریختنی و محصولات قابل بازیافت می‌باشند [۳]. از صنایعی که از این مدل می‌توانند بهره جویند می‌توان به صنعت لاستیک‌سازی اشاره نمود [۴].

در این مقاله یک زنجیره‌تأمین حلقه بسته دوسطحی درنظر گرفته شده است که شامل یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش است و تقاضا از طریق کالاهای تولید شده و بازتولید شده تأمین می‌شود. تولیدکننده مسئول جمع‌آوری محصولات بازگشتی می‌باشد و قیمت خرید این محصولات بسته به کیفیت آن‌ها دارد. چراکه هزینه بازتولید آن‌ها متأثر از کیفیت محصولات جمع‌آوری شده است. همچنین نرخ بازگشت

* نویسنده مسئول: مریم اسمعیلی

تلفن: ۸۸۰۴۴۰۴۰-۰۲۱؛ پست الکترونیکی: esmaeili_m@alzahra.ac.ir

کالاها تصادفی درنظر گرفته شده که از توزیع یکنواخت پیروی می‌کند. کیفیت کالاهای دست دومی که بازتولید می‌شوند، با کیفیت محصولات نو، یکسان نبوده، تصادفی و از توزیع نمایی پیروی می‌کند. تولیدکننده به‌دنبال تعیین قیمت عمده‌فروشی کالاهای بازتولید و تولیدی به گونه است که سود خود را حداکثر سازد و خرده‌فروش نیز با هدف حداکثرسازی سود قیمت خرده‌فروشی کالاهای تولیدی و بازتولیدی و طول سیکل را تعیین می‌کند. تعامل میان خرده‌فروش و تولیدکننده با استفاده از رویکرد نظریه بازی‌ها در شرایط هم‌زمان (ایستا) و غیرهم‌زمان (تولیدکننده رهبر و خرده‌فروش رهبر) بررسی شده است. باتوجه به بررسی‌های صورت گرفته سود زنجیره‌تأمین (تولیدکننده و خرده‌فروش) در حالت غیر هم‌زمان بیشتر از حالت هم‌زمان می‌باشد.

۲. مرور ادبیات

باتوجه به نقش قیمت گذاری در بازار رقابتی، در سال‌های اخیر قیمت‌گذاری در زنجیره‌تأمین توجه بسیاری از محققین را به‌خود جلب کرده است [۵،۶]. در یک زنجیره‌تأمین مستقیم، تولیدکنندگان محصولات و اقلام خود را توسط خرده‌فروشان به فروش رسانده ولی دیگر هیچ مسئولیت و تعهدی را در قبال تولیدات توزیع و مصرف شده نمی‌پذیرند.

اما امروزه حجم محصولات تولیدی مصرف شده خسارات قابل ملاحظه‌ای را در جهت تخریب محیط زیست به‌بار آورده است. ازاین‌رو تولیدکنندگان تجهیزات اصلی را تشویق به جمع‌آوری کالاها کرده است. در یک زنجیره‌تأمین حلقه بسته، تولیدکنندگان کالاهای مصرفی را برای بازتولید و بازیافت توسط کانال‌های بازگشتی جمع‌آوری می‌کنند [۷،۸،۹].

برخی مقالات تأثیر فرآیندهای جمع‌آوری مجدد بر کاهش کربن، بهبود کیفیت و عملکرد زنجیره‌تأمین را مورد بررسی قرار داده‌اند [۱۰،۱۱]. فرض مشترک، قطعی بودن تقاضا و یکسان بودن کیفیت کالای تولید و بازتولید می‌باشد. همچنین مطالعه‌ای روی زنجیره‌تأمین لاستیک در کانادا با کیفیت یکسان کالای تولید و بازتولیدی توسط امین و همکاران (۲۰۱۷) انجام و مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط در طراحی و بهینه‌سازی شبکه زنجیره‌تأمین حلقه بسته پیشنهاد شده است [۴]. گیری و شارما (۲۰۱۶) تفاوت بین محصولات جدید و بازتولید، تولید ناقص در هر دو مورد و قرارداد بین تولیدکننده و خرده‌فروش را درنظر گرفتند. نتایج نشان می‌دهد که هنگامی‌که درآمد فروش محصولات جدید تولید شده افزایش می‌یابد، سطح کیفیت قابل قبول بازگشتی‌ها کاهش می‌یابد و تعداد کل قطعات حمل شده به خرده‌فروش در هر چرخه تولید افزایش می‌یابد [۱۲]. تصادفی بودن تقاضا و مقادیر بازگشتی بدون درنظر گرفتن زمان آماده‌سازی در مقاله تونتر (۲۰۰۲) توسعه داده شده است. در این مقاله حل از روش شبیه‌سازی و آنالیز عددی به‌دست آمده است [۱۳]. یکسان نبودن تقاضا برای محصولات تولید و بازتولید در مقاله مشتاق و همکاران (۲۰۱۷) بررسی شده که این فرض باعث به‌وجود آمدن شرایط فروش از دست رفته و دوره‌های کمبود برای هر دو نوع محصول می‌شود. همین‌طور فرض شده است که عملیات تولید و بازتولید کامل نبوده و عیوب محصولات با دوباره کاری اصلاح می‌شود. همچنین نرخ بازگشت کالاهای استفاده شده به‌عنوان یک تابع متغیر وابسته به مینیمم کیفیت قابل قبول بازگشتی‌ها درنظر گرفته شده است [۱۴]. در مقاله اولاه و همکاران (۲۰۲۰) علل اصلی نرخ باگشت پایین شناسایی و یک مدل تولیدی و بازتولید ترکیبی به‌همراه کانال ریکاوری ارائه و محصولات مورد استفاده با کیفیت متفاوت از دو کانال بازیابی سنتی مبتنی بر بازار و همچنین کانال جدید مبتنی بر فرکانس رادیویی تأمین می‌شود [۱۵]. از مقالات دیگر که کیفیت کالای تولیدی و بازتولیدی و همچنین قیمت آن‌ها را متفاوت درنظر گرفتند می‌توان به لیو و همکاران (۲۰۲۰) اشاره کرد [۱۶]. همچنین احمد.م.آ ال سادانی و همکاران (۲۰۱۰) فرض کردند که تقاضا برای آیتم‌های تولید شده متفاوت از بازتولید است که موجب کمبود موجودی می‌شود [۱۷]. عدم قطعیت کیفیت فرآورده‌های بازیابی شده و تأثیر سطح کیفیت این فرآورده‌ها با نرخ بازیابی، هزینه بازخرید و بازتولید در مقاله گوآ و همکاران (۲۰۱۵) بررسی شده است [۱۸]. در مقاله گوآ و همکاران (۲۰۱۹) کیفیت محصولات برگشتی دارای توزیع نمایی، نرخ و هزینه بازپرداخت تابعی از سطح کیفیت کالاهای برگشتی است. از کمبود صرف‌نظر شده و تقاضا قطعی بوده و به وسیله الگوریتم ژنتیک (GA) حل شده است. این مقاله برای عملکرد شرکت‌های تحت تأثیر اختلال و طراحی مکانیزم یارانه دولت مفید است [۱۹].

عملیات تولید و باز تولید ناقص و دوباره کاری در مقاله طالعی زاده و همکاران (۲۰۱۸) که یک زنجیره‌تأمین حلقه بسته چندسطحی شامل یک تأمین‌کننده، یک تولیدکننده، یک خرده‌فروش و جمع‌آوری کننده است، بررسی شده است. تقاضا برای محصولات تولید و بازتولید شده متفاوت بوده که منجربه شرایط فروش ازدست رفته می‌شود. همچنین نرخ بازگشت اقلام دست دوم به‌عنوان یک تابع متغیر وابسته به سطح کیفیت قابل قبول محصولات بازگشتی فرض شده است [۲۰]. در مقاله دیگر طالعی زاده و همکاران (۲۰۱۸) نرخ تقاضا بسته به هزینه واحد خرید و عوامل دیگر مانند زمان و در دسترس بودن محصولات در بازار است. همچنین تخفیف به‌طور منظم برای تشویق سفارش محصولات بیشتر با کاهش قیمت اعمال می‌شود [۲۱]. در مقاله چن و همکاران (۲۰۱۸) یک زنجیره‌تأمین بازگشتی شامل یک خرده‌فروش که مسئول بازیافت و یک تولیدکننده که مسئول بازتولید است بررسی گردیده است. همچنین سناریوهای مختلف غیر همکارانه و همکارانه قیمت‌گذاری مطرح شده است. همچنین شاخصی برای اندازه‌گیری آگاهی محیطی مشتریان برای موازنه مبادلات بین افزایش سود لجستیک معکوس و به‌دست آوردن قیمت بهینه در مورد خرده‌فروشان که مسئولیت بازیابی و تولیدکنندگان که مسئولیت بازتولید را برعهده دارند، پیشنهاد شده است [۳]. همچنین مایتی و همکاران (۲۰۱۷) نیز مدل پیشنهادی را تحت چهار ساختار تصمیم‌گیری متفاوت غیرمتمرکز (بازی نش)، تولیدکننده/خرده‌فروش رهبر (بازی استکلبرگ) و متمرکز

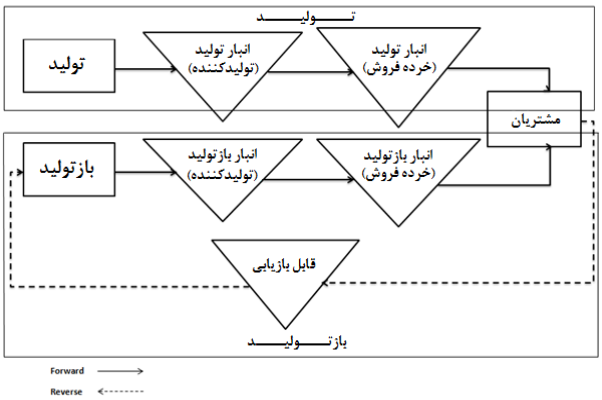
(بازی همکارانه) بررسی می‌کنند. در این مقاله همه محصولات بازگشتی بازتولید نمی‌شوند [۲۲].

در مقاله هوانگ (۲۰۱۷) تأثیر عوامل تصادفی بر فرآیند جمع‌آوری پویا محصولات در یک زنجیره‌تأمین حلقه بسته درنظر گرفته شده است. مدل این مقاله شامل یک خرده‌فروش و یک تولیدکننده که کالاهای دست دوم را جمع‌آوری می‌کند، می‌باشد و در دو حالت متمرکز و غیرمتمرکز استراتژی تولیدکننده و خرده‌فروش مورد بررسی قرار گرفته است [۲۳]. اثرات قیمت خرید برای تجزیه و تحلیل عملکرد یک زنجیره‌تأمین حلقه بسته در مقاله مطلق و همکاران (۲۰۲۰) زنجیره‌تأمینی متشکل از دو تولیدکننده و یک خرده‌فروش مدل‌سازی شده است که تولیدکنندگان با دو تابع قیمت خرید با یکدیگر رقابت می‌کنند. در این مقاله علاوه‌بر بازی استکلبرگ یک قرارداد قیمت عمده‌فروشی مبتنی بر جبران خسارت پیشنهاد می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد که قرارداد پیشنهادی سودآوری همه اعضا را افزایش می‌دهد [۲۴]. به‌طور کلی نوآوری های مقاله به شرح زیر می‌باشند:

- تصادفی درنظر گرفتن محصولات بازگشتی
- متفاوت درنظر گرفتن کیفیت محصولات بازتولیدی
- مدل نمودن تعاملات تولیدکننده و خرده‌فروش به‌صورت هم‌زمان و غیر هم‌زمان

۳. تعریف مساله

زنجیره‌تأمینی را درنظر بگیرید که شامل یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش است. تولیدکننده علاوه‌بر تولید محصولات نو از مواد خام، بازتولید اقلام دست دومی که از بازار جمع‌آوری کرده است، را انجام می دهد. خرده‌فروش نیز تقاضای مشتریان را برآورده می‌سازد.



شکل (۱): جریان مواد

متغیرهای تصمیم

WR	قیمت عمده‌فروشی هر واحد محصول بازتولیدی، [$] (متغیر تصمیم‌گیری تولیدکننده)
PMS	قیمت فروش هر واحد محصول تولیدی، [$] (متغیر تصمیم‌گیری خرده‌فروش)
PRS	قیمت فروش هر واحد محصول بازتولیدی، [$] (متغیر تصمیم‌گیری خرده‌فروش)
T	افق زمانی تولید و بازتولید کامل، [زمان] (متغیر تصمیم‌گیری خرده‌فروش)

پارامترها

Π_M	تابع سود تولیدکننده
Π_R	تابع سود خرده‌فروش
u	هزینه بازخرید [$]
μ	کشش قیمتی هزینه بازخرید، $0 \le \mu \le 1$
c	هزینه بازتولید [$]
δ	کشش قیمتی هزینه بازتولید، $0 \le \delta \le 1$
λ	کشش زمانی بازتولید [زمان]
D_M	تقاضای کالای تولیدی، [تعداد واحد محصول تولیدی در واحد زمان]
D_R	تقاضای کالای بازتولیدی، [تعداد واحد محصول تولیدی در واحد زمان]
h_w	هزینه نگهداری هر واحد موجودی در واحد زمان در انبار تولیدکننده، [واحد] [زمان]/[$]
h_S	هزینه نگهداری هر واحد موجودی در واحد زمان در انبار خرده‌فروش، [واحد] [زمان]/[$]
S_M	هزینه راه‌اندازی تولید، [$]
S_R	هزینه راه‌اندازی بازتولید، [$]
C_M	هزینه هر واحد تولید، [واحد]/[$]
C_r	هزینه هر واحد باز تولید (وابسته به کیفیت)، [واحد]/[$]
C_{raw}	هزینه خرید هر واحد مواد خام، [واحد]/[$]
α	نرخ جمع‌آوری محصولات بازگشتی، $0 \le \alpha \le 1$
d	نرخ برگشت محصولات
P	قیمت خرید هر واحد محصولات بازگشتی، [$]
H_w	میانگین هزینه نگهداری موجودی در انبار تولیدکننده، [$]
H_s	میانگین هزینه نگهداری موجودی در انبار خرده‌فروش، [$]
A	هزینه هر بار سفارش‌دهی، [$]
a	اندازه بازار
b_M	ضریب کششی بازار برای تولید، $0 \le b_M \le 1$
b	ضریب کششی بازار برای بازتولید، $0 \le b_R \le 1$
x	سطح کیفیت محصولات بازگشتی $0 \le x \le 1$
W_M	قیمت عمده‌فروشی کالای تولیدی [$]
f	کران پایین تابع محصولات بازگشتی
g	کران بالای تابع محصولات بازگشتی
$P_M = \beta^{-1} D_M$	نرخ تولید (β<1)، [تعداد واحد محصول تولیدی در واحد زمان]
$P_R = \Upsilon^{-1} D_R$	نرخ بازتولید (Υ<1)، [تعداد واحد محصول تولیدی در واحد زمان]

مفروضات

۱) حجم محصولات جمع‌آوری شده (α) تصادفی بوده و از توزیع

یکنواخت برخوردار است (معلوم نمی‌باشد که چند درصد از کالاها از سوی مصرف‌کننده جمع‌آوری می‌شود) [۲۵،۲۶].

$$f(\alpha)=\begin{cases}\dfrac{1}{g-f}, & for\ \ f\le\alpha\le g\\ 0, & for\ \ \alpha<f\ \ or\ \ \alpha>g\end{cases} \quad (۱)$$

۲) تقاضای تولید و بازتولید متأثر از قیمت فروش هر واحد از کالای تولید و بازتولید است [۲۰،۲۳].

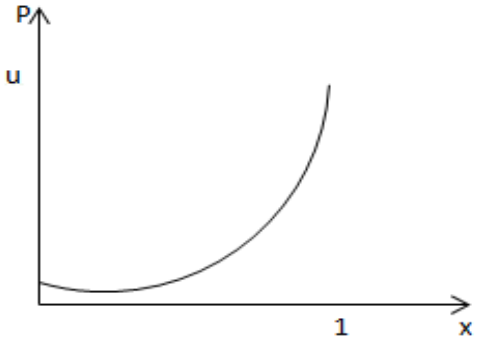
$$\begin{cases}D_M=a-P_{MS}+b_MP_{RS}\\ D_R=a-P_{RS}+b_RP_{MS}\end{cases} \quad (۲)$$

۳) ازآنجایی‌که موادکالاهای بازتولید شده از اقلام دست دوم هستند کیفت کالاهای بازتولید متفاوت از کالاهای تولیدی درنظر گرفته شده است [۱۶].

۴) کیفیت محصولات جمع‌آوری شده تصادفی بوده و به‌صورت نمایی بین ۰-۱ می‌تواند متغیر باشد [۲۵].

$$X(x)=\lambda e^{-\lambda x}\quad 0<x<1 \quad (۳)$$

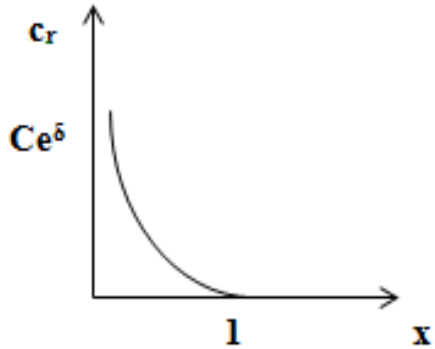
۵) قیمت خرید محصولات بازگشتی متأثر از سطح کیفیت آن‌ها است. هرچه کیفیت کالاهای دست دوم بالاتر باشد با قیمت بیشتری خریداری می‌شوند و برعکس [۲۵].



شکل (۲): تابع قیمت خرید محصولات بازگشتی

$$P=ue^{-\mu(1-x)}\quad 0<x<1 \quad (۴)$$

۶) هزینه بازتولید وابسته به سطح کیفیت محصولات بازگشتی است. چنانچه سطح کیفیت محصولات بازگشتی بالا باشد هزینه بازتولید برای تولیدکننده کمتر می‌شود و برعکس [۲۵].



شکل (۳): تابع هزینه بازتولید

$$C_r=ce^{\delta(1-x)}\quad 0<x<1 \quad (۵)$$

۷) کمبود مجاز نیست [۲۷].

۸) نسبت قیمت عمده‌فروشی محصولات تولیدی به بازتولیدی برابر است با نسبت هزینه تولید محصول به هزینه بازتولید. درواقع قیمت‌های عمده‌فروشی متأثر از هزینه‌های تولید و بازتولید می‌باشد [۲۶].

$$\frac{w_M}{w_R}=\frac{C_M}{C_r} \quad (۶)$$

۴. ارائه مدل

۴-۱. مدل تولیدکننده

تولیدکننده‌ای را درنظر بگیرید که قیمت فروش هر واحد محصول تولیدی و قیمت فروش هر واحد محصول بازتولیدی را به‌گونه‌ای تعیین می‌کند که سود خود را حداکثر نماید. تولیدکننده برای خرید مواد اولیه محدودیت ندارد [۲۸] و تمامی محصولات بازگشتی بازتولید می‌شوند و محدودیتی برای ظرفیت تولید وجود ندارد [۲۶]. همچنین در فرآیندهای تولید و بازتولید از زمان تدارک چشم‌پوشی شده و افق زمانی تولید و بازتولید یکسان است [۱۲]. درآمد تولیدکننده از فروش محصولات تولید شده (تقاضای کالا تولید * قیمت فروش محصولات تولیدی) و فروش محصولات باز تولید شده (تقاضای کالای بازتولید * قیمت فروش محصولات بازتولیدی) به‌دست می‌آید به عبارتی:

$$\text{درآمد تولیدکننده} = W_MD_M+W_RD_R \quad (۷)$$

با جای‌گذاری (۶) خواهیم داشت:

$$\text{درآمد تولیدکننده}=\frac{C_M}{C_r}W_RD_M+W_RD_R \quad (۸)$$

همچنین هزینه‌های تولیدکننده عبارت‌اند از: هزینه خرید مواد اولیه، هزینه راه‌اندازی، هزینه تولید، هزینه بازتولید، هزینه خرید محصولات بازگشتی و هزینه نگهداری که درادامه به‌شرح هزینه‌ها پرداخته می‌شود.

۴-۱-۱. هزینه خرید محصولات بازگشتی

باتوجه به فرض ۱ محصولات بازگشتی با نرخ تصادفی α از بازار جمع‌آوری می‌شوند. بنابراین نرخ بازگشت اقلام دست دوم مورد انتظار باتوجه به D_M و D_R به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$d=\alpha(D_M+D_R) \quad (۹)$$

$$E(d)=(D_M+D_R)\int\alpha f(\alpha)d(\alpha) \quad (۱۰)$$

براساس فرض ۵ قیمت خرید هر واحد محصولات بازگشتی P وابسته به سطح کیفیت محصولات بازگشتی (x) می‌باشد و طبق فرض ۴ در رابطه با کیفیت محصولات بازگشتی، میانگین قیمت خرید آن‌ها به‌صورت زیر است:

میانگین قیمت خرید محصولات بازگشتی

$$E(P)=\int_{-\infty}^{+\infty}\lambda e^{-\lambda x}ue^{-\mu(1-x)}dx$$

$$=u\lambda e^{-\theta}\int_0^1 e^{(\mu-\lambda)x}dx \quad (۱۱)$$

$$=\frac{u\lambda e^{-\mu}}{\theta-\lambda}\int_0^1 e^{(\mu-\lambda)x}d(\theta-\lambda)dx$$

$$= \frac{u\lambda e^{-\mu}}{\theta-\lambda}\left(e^{(\mu-\lambda)x}\right) = \frac{u\lambda}{\mu-\lambda}\left[e^{-\lambda}-e^{-\mu}\right]$$

بنابراین میانگین قیمت خرید کل محصولات بازگشتی برابر است با:

$$d.E(P) = d\frac{u\lambda}{\mu-\lambda}\left[e^{-\lambda}-e^{-\mu}\right] \quad (۱۲)$$

۴-۱-۲. هزینه بازتولید

براساس فرض ۶ هزینه مورد انتظار هر واحد بازتولید عبارتست از:

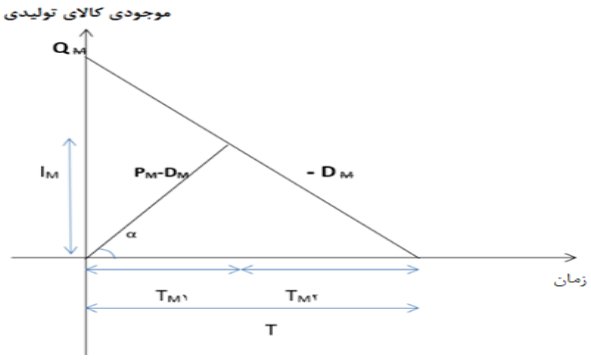
$$E(C_r) = \int_{-\infty}^{+\infty} \lambda e^{-\lambda x}\, ce^{\delta(1-x)}dx$$
$$= c\lambda e^{\delta}\int_0^1 e^{-(\delta+\lambda)x}\,dx$$
$$= -\frac{c\lambda e^{\delta}}{\delta+\lambda}\int_0^1 e^{-(\delta+\lambda)x}\,d(-(\delta+\lambda)x) \quad (۱۳)$$
$$-\frac{c\lambda e^{\delta}}{\delta+\lambda}\left(e^{-(\delta+\lambda)x}\right) = \frac{c\lambda}{\delta+\lambda}\left[e^{\delta}-e^{-\lambda}\right]$$

بنابراین میانگین کل هزینه بازتولید برابر است با:

$$d.E(c_r) = d\frac{C\lambda}{\delta+\lambda}\left[e^{\delta}-e^{-\lambda}\right] \quad (۱۴)$$

۴-۱-۳. هزینه‌های نگهداری کالاهای تولیدی

موجودی محصولات بازتولیدی با نرخ $P_R - D_R$ در واحد زمان افزایش می یابد و در I_M متوقف می‌شود [۲۴]. (شکل (۴))

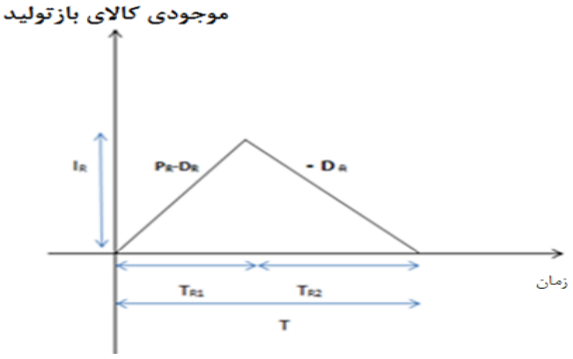


شکل (۴): موجودی کالای تولیدی

بنابراین هزینه نگهداری کالاهای تولیدی عبارتست از:

$$H_M = h_W\frac{Q_M}{2}\left(1-\frac{D_M}{P_M}\right)$$
$$= h_W\frac{TD_M}{2}\left(1-\frac{D_M}{P_M}\right) \quad (۱۵)$$

۴-۱-۴. هزینه نگهداری کالاهای بازتولیدی

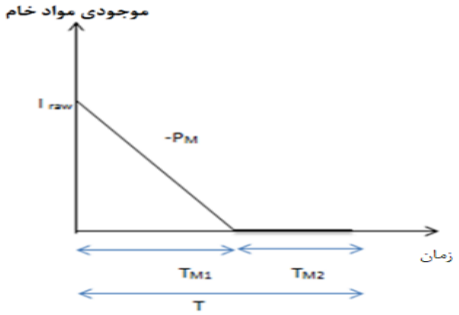


شکل (۵): موجودی کالای بازتولید

براساس شکل (۵) هزینه نگهداری کالاهای بازتولیدی به‌صورت زیر است:

$$H_R = h_W\frac{Q_R}{2}\left(1-\frac{D_R}{P_R}\right) = \frac{h_W}{2}D_R T\left(1-\frac{D_R}{P_R}\right) \quad (۱۶)$$

۴-۱-۵. هزینه نگهداری مواد خام

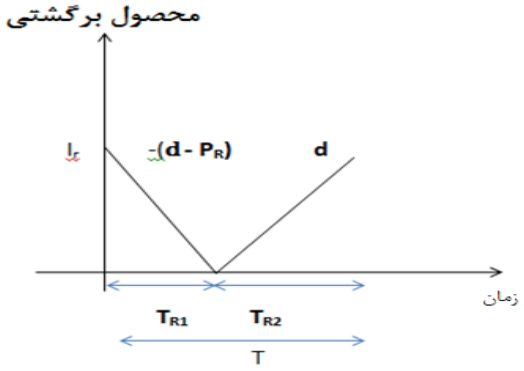


شکل (۶): موجودی مواد خام

مواد خام مورد نیاز برای تولید، در ابتدای هر دوره خریداری می‌شود و بیشترین مقدار آن I_{raw} است و با نرخ P_M در واحد زمان کاهش می‌یابد. (شکل(۶))

$$H_{raw} = \frac{h_W}{2P_M}D_M^2 T \quad (۱۷)$$

۴-۱-۶. هزینه نگهداری کالاهای بازگشتی



شکل (۷): موجودی محصولات برگشتی

براساس شکل ۷ هزینه نگهداری کالاهای بازگشتی به‌صورت زیر است:

$$H_r = \frac{h_W}{2}dT\left(1-\frac{D_R}{P_R}\right) \quad (۱۸)$$

۴-۱-۷. هزینه نگهداری کل موجودی در انبار تولیدکننده

هزینه نگهداری کل موجودی= هزینه‌های نگهداری کالاهای تولیدی + هزینه نگهداری کالاهای بازتولیدی + هزینه نگهداری مواد خام+ هزینه نگهداری کالاهای بازگشتی

$$H_W = h_W\frac{TD_M}{2}\left(1-\frac{D_M}{P_M}\right) + \frac{h_W}{2}D_R T\left(1-\frac{D_R}{P_R}\right)$$
$$+\frac{h_W}{2P_M}D_M^2 T + \frac{h_W}{2}dT\left(1-\frac{D_R}{P_R}\right)$$

با جای‌گذاری $P_M = \beta^{-1}D_M$ و $P_R = \Upsilon^{-1}D_R$ در رابطه فوق داریم:

$$H_W = h_W\frac{TD_M}{2}(1-\beta)+\frac{h_W}{2}D_RT(1-\gamma)+\frac{h_W}{2}\beta D_MT+\frac{h_W}{2}dT(1-\gamma) \quad (۱۹)$$

۴-۱-۸. سایر هزینه‌های تولیدکننده

هزینه تولید

$$D_MC_M \quad (۲۰)$$

هزینه خرید مواد اولیه

$$D_MC_{raw} \quad (۲۱)$$

هزینه راه‌اندازی

$$\frac{S_R+S_M}{T} \quad (۲۲)$$

۴-۱-۹. تابع سود تولیدکننده

$$E\Pi_M(W_R)=[W_MD_M+W_RD_R]-\left(h_W\frac{TD_M}{2}(1-\beta)+\frac{h_W}{2}D_RT(1-\gamma)+\frac{h_W}{2}\beta D_MT+\frac{h_W}{2}T(D_M+D_R)(1-\gamma)\int f(\alpha)d(\alpha)\right)-D_M(C_M+C_{raw})-\frac{S_R+S_M}{T}-\left(\frac{C\lambda}{\delta+\lambda}\left[e^{\delta}-e^{-\lambda}\right](D_M+D_R)\int f(\alpha)d(\alpha)\right)-\left(\frac{u\lambda}{\mu-\lambda}\left[e^{-\lambda}-e^{-\mu}\right](D_M+D_R)\int f(\alpha)d(\alpha)\right)$$

با جای‌گذاری (۲) و (۶) و عبارت $\int f(\alpha)d(\alpha)=\int\alpha\left(\frac{1}{g-f}\right)d(\alpha)=\frac{\alpha^2}{2}$ داریم:

$$\begin{aligned}&E\Pi_M(W_R)\\&=\left[\frac{C_M}{C_r}W_R(a-P_{MS}+b_MP_{RS})\right.\\&\left.+W_R(a-P_{RS}+b_RP_{MS})\right]\\&-h_W\frac{T}{2}\left((a-P_{MS}+b_MP_{RS})(1-\beta)\right.\\&+(a-P_{RS}+b_RP_{MS})(1-\gamma)\\&+\beta\,(a-P_{MS}+b_MP_{RS})\\&\left.+\frac{\alpha^2}{2}(a-P_{MS}+b_MP_{RS}+a-P_{RS}+b_RP_{MS})(1-\gamma)\right)\\&-\left(\left(\frac{\alpha^2}{2}(a-P_{MS}+b_MP_{RS}+a-P_{RS}+b_RP_{MS})\right)\frac{C\lambda}{\delta+\lambda}\left[e^{\delta}-e^{-\lambda}\right]\right)\\&-\left(\left(\frac{\alpha^2}{2}(a-P_{MS}+b_MP_{RS}+a-P_{RS}+b_RP_{MS})\right)\frac{u\lambda}{\mu-\lambda}\left[e^{-\lambda}-e^{-\mu}\right]\right)\\&-\frac{S_R+S_M}{T}-(a-P_{MS}+b_MP_{RS})(C_M+C_{raw})\end{aligned} \quad (۲۳)$$

تابع سود تولیدکننده یک تابع خطی نسبت‌به w_R می‌باشد لذا با درنظر گرفتن حاشیه سود K قیمت عمده‌فروشی کالای بازتولید عبارتست از:

$$\frac{\partial\Pi_M}{\partial W_M}=0\,,\frac{C_M}{C_r}(a-P_{MS}+b_MP_{RS})+(a-P_{RS}+b_RP_{MS})=0$$

$$\begin{aligned}&W_R\\&=K\,[w_M\,(a-P_MS+b_M\,P_RS\,)\\&+\;h_W\,T/2\,((a-P_MS+b_M\,P_RS\,)(1\\&-\beta)+(a-P_RS+b_R\,P_MS\,)(1-\gamma)\\&+\beta\,(a-P_MS+b_M\,P_RS\,)+\alpha\hat{}2/2\,(a\\&-P_MS+b_M\,P_RS+a-P_RS\\&+b_R\,P_MS\,)(1-\gamma))\\&+((\alpha\hat{}2/2\,(a-P_MS+b_M\,P_RS+a\\&-P_RS+b_R\,P_MS\,))\,C\lambda/(\delta+\lambda)\,[e\hat{}\delta\\&-e\hat{}(-\lambda)\,])\\&+((\alpha\hat{}2/2\,(a-P_MS+b_M\,P_RS+a\\&-P_RS+b_R\,P_MS\,))\,u\lambda/(\mu\\&-\lambda)\,[e\hat{}(-\lambda)-e\hat{}(-\mu)\,])\\&+(S_R+S_M)/T+(a-P_MS\\&+b_M\,P_RS\,)(C_M+C_raw\,)]/(a-P_RS\\&+b_R\,P_MS\,)\end{aligned} \quad (۲۴)$$

و سپس قیمت عمده‌فروشی کالای تولیدی بر اساس (۶) به‌دست می‌آید.

۴-۲. مدل خرده‌فروش

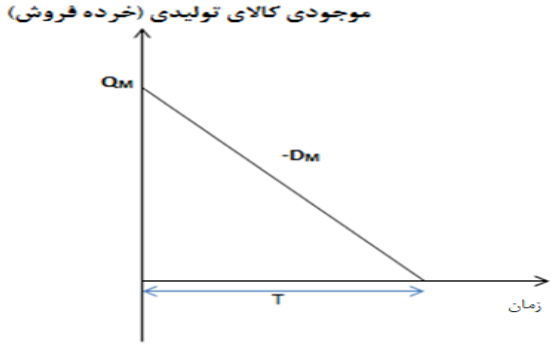
خرده‌فروشی را درنظر بگیرید که قیمت فروش هر واحد محصول تولیدی و بازتولیدی به مشتری را به‌گونه‌ای تعیین می‌کند که سودش حداکثر شود. درآمد خرده‌فروش از فروش محصولات نو به مشتری (میزان سفارش کالا تولیدی * قیمت فروش هر واحد کالا تولیدی) و فروش محصولات بازتولید شده به مشتری (میزان سفارش کالا بازتولیدی * قیمت فروش هر واحد کالا بازتولیدی) می‌باشد. همچنین

هزینه‌های خرده‌فروش عبارتند از: هزینه نگهداری، هزینه خرید و هزینه سفارش‌دهی به عبارتی:

درآمد خرده‌فروش = $P_{MS}D_M + P_{RS}D_R$ (۲۵)

۴-۲-۱. هزینه نگهداری محصولات تولیدی

تقاضای محصولات تولیدی D_M بوده که از حداکثر مقدار سفارش خرده‌فروش از تولیدکننده (Q_M) کاسته می‌شود (شکل (۸)).



شکل ۸: موجودی کالای تولیدی برای خرده‌فروش

$$H_{MS} = h_S\frac{Q_M}{2} = h_S\frac{D_M T}{2} \quad (۲۶)$$

۴-۲-۲. هزینه نگهداری محصولات بازتولیدی

تقاضای محصولات تولیدی D_R بوده که از حداکثر مقدار سفارش خرده‌فروش از تولیدکننده (Q_R) کاسته می‌شود. (شکل (۹))

شکل ۹: موجودی کالا بازتولیدی برای خرده‌فروش

$$H_{RS} = \frac{1}{2}h_S Q_R = \frac{1}{2}h_S D_R T \quad (۲۷)$$

متوسط هزینه نگهداری موجودی در انبار خرده‌فروش به‌صورت زیر به‌دست می‌آید.

$$H_{RS} = \frac{1}{2}h_S Q_R = \frac{1}{2}h_S D_R T \quad (۲۸)$$

۴-۲-۳. سایر هزینه‌های خرده‌فروش

هزینه سفارش‌دهی

$$\frac{A}{T} \quad (۲۹)$$

هزینه خرید

$$W_M D_M + W_R D_R = \frac{C_M}{C_r}W_R D_M + W_R D_R \quad (۳۰)$$

تابع سود خرده‌فروش

$$\Pi_R(P_{MS}, P_{RS}, T) = [P_{MS}D_M + P_{RS}D_R] - \frac{h_S}{2}T(D_M + D_R) - \left(\frac{C_M}{C_r}W_R D_M + W_R D_R\right) - \frac{A}{T}$$

با جای‌گذاری (۲) داریم:

$$\begin{aligned}\Pi_R(P_{MS}, P_{RS}, T) &= [P_{MS}(a - P_{MS} + b_M P_{RS}) + P_{RS}(a - P_{RS} + b_R P_{MS})] - \frac{h_S}{2}T(a - P_{MS} + b_M P_{RS} + a - P_{RS} + b_R P_{MS}) \\ &- \left(\frac{C_M}{C_r}W_R(a - P_{MS} + b_M P_{RS}) + W_R(a - P_{RS} + b_R P_{MS})\right) - \frac{A}{T}\end{aligned} \quad (۳۱)$$

ازآنجایی‌که تابع سود خرده‌فروش مقعر است (اثبات در ضمیمه) مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم خرده‌فروش با مشتق‌گیری از تابع هدف خرده‌فروش نسبت‌به متغیرهای آن به‌دست خواهند آمد.

$$\frac{\partial \Pi_R}{\partial P_{MS}} = 0$$
$$\frac{\partial \Pi_R}{\partial P_{RS}} = 0$$
$$\frac{\partial \Pi_R}{\partial T} = 0$$

بنابراین خواهیم داشت:

$$a - 2P_{MS} + \frac{C_M}{C_r}W_R + P_{RS}b_M + P_{RS}b_R - b_R W_R - \frac{h_S T(b_R - 1)}{2} = 0 \quad (۳۲)$$

$$a - 2P_{RS} + W_R + P_{MS}b_M + P_{MS}b_R - b_M\frac{C_M}{C_r}W_R - \frac{h_S T(b_M - 1)}{2} = 0 \quad (۳۳)$$

$$\frac{A}{T^2} - \frac{h_S(2a - P_{RS} - P_{MS} + P_{MS}b_R + P_{RS}b_M)}{2} = 0 \quad (۳۴)$$

۴-۳. بازی ایستا (هم‌زمان)

چنانچه خرده‌فروش و تولیدکننده به‌طور هم‌زمان تصمیمات خود را اتخاذ نمایند. در این مدل بدون هیچ جای‌گذاری دسته معادلات (۲۴) و (۳۲) تا (۳۴) باید به‌طور هم‌زمان حل شوند [۲۹].

۴-۴. تولیدکننده استکلبرگ

چنانچه تولیدکننده از قدرت بیشتری نسبت‌به خرده‌فروش برخوردار باشد ابتدا قیمت عمده‌فروشی هر واحد محصول بازتولیدی توسط تولیدکننده تعیین و سپس قیمت فروش هر واحد محصول تولیدی و بازتولیدی و افق زمانی خرده‌فروش تعیین می‌شود. با استفاده از روش استنتاج روبه عقب ابتدا با فرض معلوم بودن قیمت عمده‌فروشی کالای بازتولید متغیرهای خرده‌فروش تعیین (P_{MS}, P_{RS}, T) و سپس سود تولیدکننده باتوجه به روابط (۳۲) تا (۳۴) حداکثر می‌شود [۲۹].

$$Max\ E\Pi_M(W_R) \quad \text{S.T.} \quad (۳۵)$$

$$\frac{\partial \Pi_R}{\partial P_{MS}} = 0$$
$$\frac{\partial \Pi_R}{\partial P_{RS}} = 0$$
$$\frac{\partial \Pi_R}{\partial T} = 0$$

۴-۵. خرده‌فروش استکلبرگ

چنانچه خرده‌فروش از قدرت بیشتری نسبت‌به تولیدکننده برخوردار باشد ابتدا قیمت فروش هر واحد محصول تولیدی، بازتولیدی و افق زمانی توسط خرده‌فروش تعیین و سپس قیمت عمده‌فروشی هر واحد محصول بازتولیدی و تولیدی تعیین می‌شود . با استفاده از روش استنتاج روبه عقب ابتدا با فرض معلوم بودن قیمت فروش هر واحد محصول تولیدی، بازتولیدی و افق زمانی، قیمت عمده‌فروشی کالای بازتولیدی تعیین و سپس سود خرده‌فروش براساس (۲۴) حداکثر می-شود [۲۹].

$$\begin{aligned} &Max\ \Pi_R(P_{MS}, P_{RS}, T) \\ &\text{S.T.} \\ &W_R = K\Bigg[w_M(a - P_{MS} + b_M P_{RS}) + \\ &h_W \frac{T}{2}\Bigg((a - P_{MS} + b_M P_{RS})(1-\beta) + (a - \\ &P_{RS} + b_R P_{MS})(1-\gamma) + \beta\,(a - P_{MS} + \\ &b_M P_{RS}) + \frac{\alpha^2}{2}(a - P_{MS} + b_M P_{RS} + a - P_{RS} + \\ &b_R P_{MS})(1-\gamma)\Bigg) + \Bigg(\Bigg(\frac{\alpha^2}{2}(a - P_{MS} + \\ &b_M P_{RS} + a - P_{RS} + b_R P_{MS})\Bigg)\frac{C\lambda}{\delta+\lambda}[e^{\delta} - \\ &e^{-\lambda}]\Bigg) + \Bigg(\Bigg(\frac{\alpha^2}{2}(a - P_{MS} + b_M P_{RS} + a - \\ &P_{RS} + b_R P_{MS})\Bigg)\frac{u\lambda}{\mu-\lambda}[e^{-\lambda} - e^{-\mu}]\Bigg) + \frac{S_R+S_M}{T} + \\ &(a - P_{MS} + b_M P_{RS})(C_M + C_{raw})\Bigg]/(a - \\ &P_{RS} + b_R P_{MS}) \end{aligned} \quad (۳۶)$$

۵. مثال عددی

در این قسمت، مثالی برای درک بهتر مدل‌های ارائه شده در قسمت قبل ارائه شده است. علاوه‌بر آن، آنالیز حساسیت انجام گرفته و تأثیر پارامترهای مختلف روی سود تولیدکننده و خردفروش تجزیه و تحلیل می‌گردد.

زنجیره‌تأمینی را درنظر بگیرید که اندازه بازار آن ۳۰۰، ضریب کششی بازار برای تولید و بازتولید ۰/۱، هزینه نگهداری هر واحد موجودی در انبار تولیدکننده و خرده‌فروش برابر $۲، هزینه راه‌اندازی تولید و بازتولید $۲۰، ضریب کششی هزینه بازخرید ۰/۳، ضریب کششی هزینه بازتولید ۰/۵، نرخ بازگشت محصولات ۰/۲، هزینه بازخرید و بازتولید به ترتیب $۷ و $۸، هزینه هر بار سفارش‌دهی مواد خام $۵، هزینه هر واحد تولید $۱۲، هزینه هر واحد مواد خام $۶ و حاشیه سود آن ۱/۵ می‌باشد. در حالت ایستا براساس روابط (۲۴) و (۳۲) تا (۳۴) در حالت تولیدکننده استکلبرگ براساس (۳۵) و در حالت خرده‌فروش استکلبرگ براساس (۳۶) مقادیر بهینه قیمت فروش هر واحد محصول تولیدی، بازتولیدی و افق زمانی و قیمت عمده‌فروشی هر واحد محصول باز تولیدی و تولیدی و سود خرده‌فروش و تولیدکننده عبارتند از:

P_{MS}	P_{RS}	W_M	W_R	T	Π_M	Π_R
۳۵۶/۲۶۶	۳۱۶/۰۰۲	۲۹۵/۵۳۴	۱۶۷/۹۱۷	۰/۶۶	۹۴۱/۸۰۵	۶۲۷/۰۷۹

جدول ۱: متغیرهای تصمیم و سود تولیدکننده و خرده‌فروش در حالت هم‌زمان

P_{MS}	P_{RS}	W_M	W_R	T	Π_M	Π_R
۳۵۲/۹۱۳	۳۱۷/۹۹۸	۲۳۴/۸۱۹	۱۳۳/۴۲	۰/۶	۵۹۸/۲۰۵	۳۳۹/۶۲

جدول ۲: متغیرهای تصمیم و سود تولیدکننده و خرده‌فروش در حالت تولیدکننده استکلبرگ

P_{MS}	P_{RS}	W_M	W_R	T	Π_M	Π_R
۳۵۳/۶۱۹	۳۱۲/۵۴	۱۹۴/۸۵۳	۱۱۰/۷۱۲	۰/۵۹	۴۰۷/۹۳	۱۰۶۴/۱۹۹

جدول ۳: متغیرهای تصمیم و سود تولیدکننده و خرده‌فروش در حالت خرده‌فروش استکلبرگ

نتایج حاکی از آن است که درحالتی‌که تولیدکننده و خرده‌فروش به‌طور هم‌زمان تصمیم می‌گیرند (از قدرت برابر برخوردارند) تصمیم‌گیری محافظه کارانه‌تر صورت می‌گیرد. اما در حالت غیرهم‌زمان، فردی که قدرت بیشتری دارد در راستای حداکثری سود تصمیم گرفته و فرد دیگر بهترین تصمیم (بهترین عکس العمل) را خواهد گرفت.

۶. تحلیل حساسیت

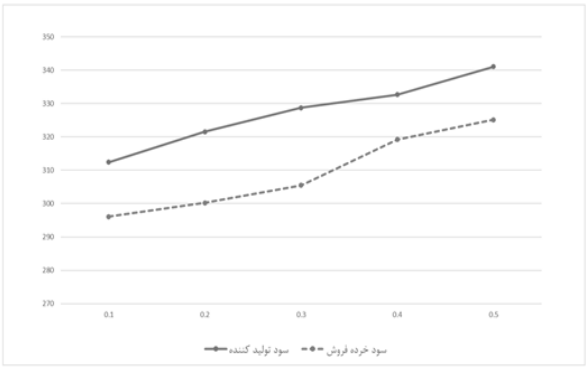
۶-۱. تحلیل حساسیت پارامتر μ (پارامتر تابع هزینه بازخرید)

با افزایش کشش قیمتی هزینه بازخرید (μ)، قیمت خرید هر واحد محصولات بازگشتی افزایش می‌یابد بدین صورت که هرچه کیفیت کالای بازگردانده شده بالاتر باشد تولیدکننده آن را با قیمت بیشتری خریداری می نماید چراکه کیفیت کالای بازگشتی بر هزینه بازتولید بسیار اثرگذار است. لذا با کاهش هزینه‌های بازتولید قیمت عمده‌فروشی و به‌تبع آن قیمت خرده‌فروشی کالاهای بازتولید نیز کاهش می‌یابد. همچنین سود تولیدکننده و خرده‌فروش افزایش می‌یابد. این امر در هردو حالت ایستا و استکلبرگ قابل رؤیت است. جداول (۶)-(۴) در ضمیمه آورده شده است.

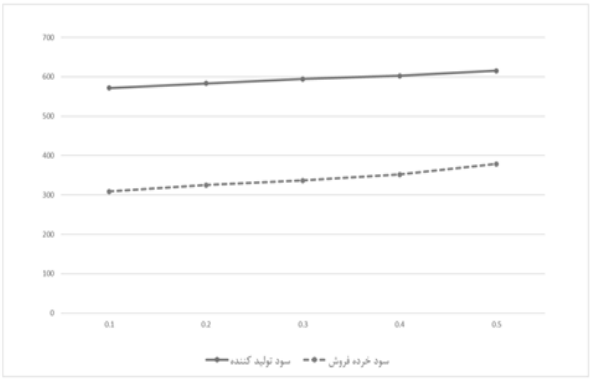
۶-۲. تحلیل حساسیت پارامتر δ (پارامتر تابع هزینه بازتولید)

با افزایش کشش قیمتی هزینه بازتولید (δ) هزینه بازتولید افزایش می یابد نماینگر ان است که هزینه باز تولید به‌شدت به کیفیت محصول جمع‌آوری شده حساس می‌باشد و تولیدکننده باید هزینه بیشتری را

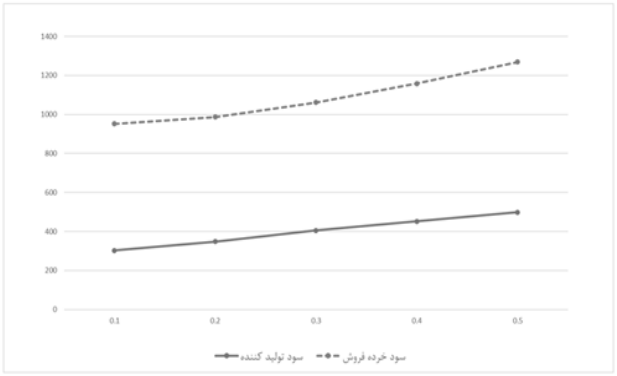
صرف بازیابی محصولات نماید. لذا قیمت فروش محصولات بازتولیدی افزایش می‌یابد و این امر موجب کاهش سود تولیدکننده و خرده‌فروش می‌گردد. جداول (۹)-(۷) در ضمیمه آورده شده است.



نمودار (۱): تحلیل حساست پارامتر Π_M و Π_R نسبت‌به پارامتر μ در حالت هم‌زمان



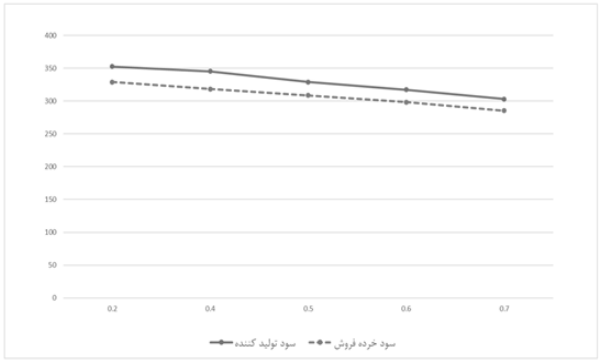
نمودار (۲): تحلیل حساست پارامتر Π_M و Π_R نسبت‌به پارامتر μ در حالت تولیدکننده استکلبرگ



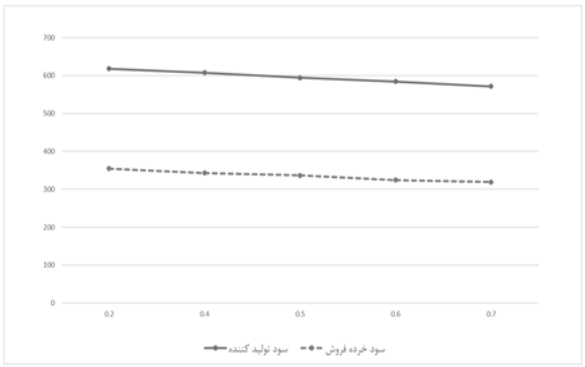
نمودار (۳): تحلیل حساست پارامتر Π_M و Π_R نسبت‌به پارامتر μ در حالت خرده‌فروش استکلبرگ

۶-۳. تحلیل حساسیت پارامتر α (نرخ بازگشت محصولات)

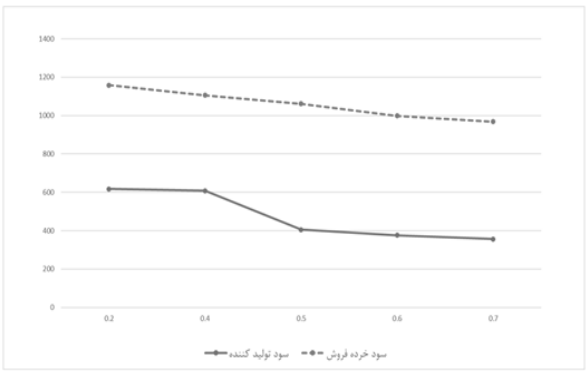
هنگامی‌که این پارامتر افزایش یابد به این معنی است که تعداد محصولات برگشت داده شده زیاد می‌شوند و باتوجه به نتایج به‌دست آمده قیمت عمده‌فروشی و خرده‌فروشی کالاهای بازتولیدی افزایش می‌یابد. طبق فرض ۶ هنگامی‌که کالاها از کیفیت پایین‌تری برخوردار باشند هزینه بازتولید آن‌ها بالا رفته و قیمت فروش آن‌ها همان‌طور که از نتایج به‌دست آمده، مشاهده می‌شود افزایش می‌یابد که این امر کاهش سود تولیدکننده و خرده‌فروش را در دوحالت ایستا و استکلبرگ به‌دنبال دارد. جداول (۱۲)-(۱۰) در ضمیمه آورده شده است.



نمودار (۴): تحلیل حساست پارامتر Π_M و Π_R نسبت‌به پارامتر δ در حالت هم‌زمان



نمودار (۵): تحلیل حساست پارامتر Π_M و Π_R نسبت‌به پارامتر δ در حالت تولیدکننده استکلبرگ



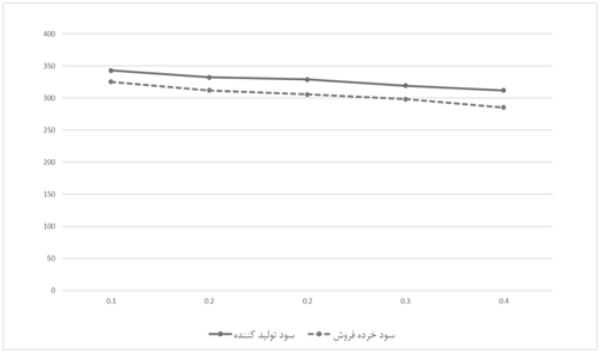
نمودار (۶): تحلیل حساست پارامتر Π_M و Π_R نسبت‌به پارامتر δ در حالت خرده‌فروش استکلبرگ

۷. نتیجه‌گیری

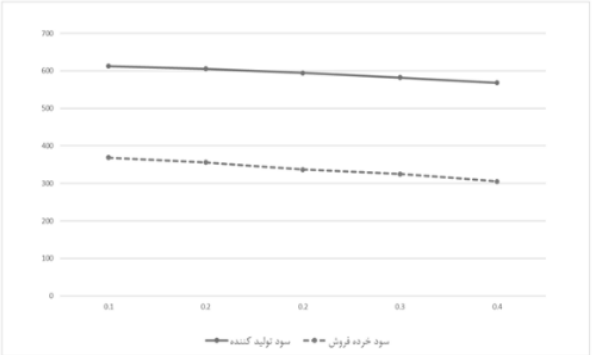
باتوجه به کاهش منابع طبیعی در جهان، موضوع لجستیک معکوس یکی از بحث‌های جدید در حوزه زنجیره‌تأمین و مدیریت لجستیک معکوس است. لذا مدیران زنجیره‌تأمین به‌دنبال راهی برای استفاده

مجدد از محصولات مصرف شده هستند که از مصرف‌کنندگان جمع‌آوری شده، فرآیند توزیع معکوس و سپس بررسی محصولات از نظر کیفیت را طی خواهند کرد. در این مقاله، یک زنجیره‌تأمین حلقه بسته بررسی شده‌است که در آن تولیدکننده موظف به جمع‌آوری اقلام دست دوم از بازار و مصرف‌کننده است. قیمت خرید کالاهای بازگشتی از مصرف‌کننده متأثر از سطح کیفیت این کالاها می باشد. میزان برگشت کالاها و همچنین کیفیت آن‌ها تصادفی درنظر گرفته شده است. همچنین کیفیت کالاهای بازتولیدی به مانند کیفیت کالاهای تولیدی نمی‌باشد. تعامل میان تولیدکننده و خرده‌فروش با استفاده از رویکرد نظریه بازی‌ها در شرایط هم‌زمان (بازی ایستا)، و غیرهم‌زمان (تولیدکننده از قدرت بیشتر برخوردار و برعکس) بررسی شده است. نتایج حاکی از ان است که که سود اعضای زنجیره تأمین درحالتی‌که یکی از اعضای زنجیره از قدرت بیشتری برخوردار است بیشتر از حالتی است که همه از قدرت برابر برخوردارند چراکه تصمیم‌گیری در حالت ایستا محافظه کارانه‌تر می‌باشد.

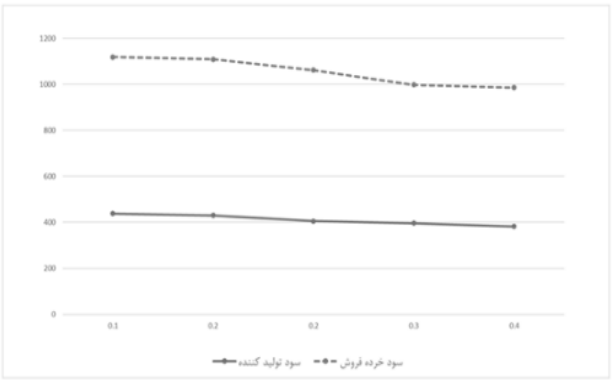
پیشنهادهایی که برای پژوهش‌های آینده می‌توان درنظر گرفت شامل درنظر گرفتن تقاضای محصولات تولیدی و بازتولیدی به‌صورت تصادفی، سطوح کیفیت متفاوت و بازار ثانویه، چندین محصول همراه با شرایط کمبود و پس‌افت، چندین تولیدکننده و خرده‌فروش در شرایط رقابتی و همکارانه و سیاست‌های مختلف جمع‌آوری اقلام دست دوم همراه با ریسک موجود.



نمودار ۷: تحلیل حساست پارامتر Π_M و Π_R نسبت‌به پارامتر α در حالت هم‌زمان



نمودار ۸: تحلیل حساست پارامتر Π_M و Π_R نسبت‌به پارامتر α در حالت تولیدکننده استکلبرگ



نمودار (۹): تحلیل حساست پارامتر Π_M و Π_R نسبت‌به پارامتر α در حالت خرده‌فروش استکلبرگ

ضمیمه ۱:

ماتریس هشین تابع سود خرده‌فروش عبارتست از:

$$H=\begin{bmatrix} \frac{\partial^2\pi_R}{\partial P_{MS}\partial P_{MS}} & \frac{\partial^2\pi_R}{\partial P_{RS}\partial P_{MS}} & \frac{\partial^2\pi_R}{\partial T\partial P_{MS}} \\ \frac{\partial^2\pi_R}{\partial P_{MS}\partial P_{RS}} & \frac{\partial^2\pi_R}{\partial P_{RS}\partial P_{RS}} & \frac{\partial^2\pi_R}{\partial T\partial P_{RS}} \\ \frac{\partial^2\pi_R}{\partial P_{MS}\partial T} & \frac{\partial^2\pi_R}{\partial P_{RS}\partial T} & \frac{\partial^2\pi_R}{\partial T\partial T} \end{bmatrix}$$

$$H=\begin{bmatrix} -2 & b_M+b_R & \frac{h_S}{2}(1-b_R) \\ b_M+b_R & -2 & \frac{h_S}{2}(1-b_m) \\ \frac{h_S}{2}(1-b_R) & \frac{h_S}{2}(1-b_m) & \frac{-2A}{T^3} \end{bmatrix}$$

در ماتریس هشین، زیردترمینان‌ها به‌ترتیب منفی و مثبت هستند بنابراین ماتریس هشین بالا معین منفی است که نشان‌دهنده مقعر بودن تابع سود خرده‌فروش می‌باشد.

ضمیمه ۲:

	μ	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵
هم‌زمان	P_{MS}	۳۳۴/۳۰۲	۳۴۴/۱۰۵	۳۵۶/۲۶۶	۳۵۵/۷۷۴	۳۵۸/۸۰۵
	P_{RS}	۳۳۱/۷۳۳	۳۲۷/۹۹	۳۱۶/۰۰۲	۳۰۴/۲۷۹	۲۹۴/۸۶۸
	W_M	۳۰۰/۵۲۴	۲۹۸/۵۱۸	۲۹۵/۵۳۴	۲۹۱/۵۶۴	۲۸۸/۷۵۱
	W_R	۱۷۲/۱۶۷	۱۶۹/۸۲۶	۱۶۷/۹۱۷	۱۶۵/۷۱۷	۱۶۳/۸۴۶
	T	۰/۶۷۲	۰/۶۸۱	۰/۶۶	۰/۶۷۱	۰/۶۶۴

جدول (۴): تحلیل حساست پارامتر μ در حالت هم‌زمان

	μ	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵
استکلبرگ تولید کننده	P_{MS}	۳۵۰/۸۹۸	۳۵۱/۹۲۱	۳۵۲/۹۱۳	۳۵۵/۵۱۸	۳۵۶/۷۳۶
	P_{RS}	۳۱۷/۰۴۷	۳۱۷/۹۶۵	۳۱۷/۹۹۸	۳۱۸/۴۵	۳۱۹/۴۷
	W_M	۲۳۴/۵۷۷	۲۳۴/۴۵۷	۲۳۴/۸۱۹	۲۳۵/۶۲۰	۲۳۵/۵۰۰
	W_R	۱۳۵/۹۸۸	۱۳۵/۰۲۸	۱۳۳/۴۲	۱۲۴/۷۵۱	۱۲۳/۲۷۴
	T	۰/۶۱۸	۰/۶۱۲	۰/۶	۰/۶۲۵	۰/۶۲

جدول (۵): تحلیل حساست پارامتر μ در حالت تولیدکننده استکلبرگ

استکلبرگ خرده فروش	μ	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵
	P_{MS}	۳۵۲/۵۰۹	۳۵۳/۵۲۹	۳۵۳/۶۱۹	۳۵۴/۲۲۲	۳۵۵/۲۵۲
	P_{RS}	۳۱۳/۱۵۵	۳۱۱/۷۷۹	۳۱۲/۵۴	۳۱۰/۱۳۱	۳۰۶/۲۳۴
	W_M	۱۹۷/۰۸۳	۱۹۵/۱۹۵	۱۹۴/۸۵۳	۱۹۲/۲۹۲	۱۸۹/۲۶۰
	W_R	۱۱۹/۷۲۹	۱۱۳/۷۹۳	۱۱۰/۷۱۲	۱۰۶/۷۳۱	۱۰۱/۶۵
	T	۰/۵۷۷	۰/۵۹۸	۰/۵۹	۰/۶۰۲	۰/۶۰۳

جدول (۶): تحلیل حساست پارامتر μ در حالت خرده‌فروش استکلبرگ

همزمان	δ	۰/۲	۰/۳۵	۰/۵	۰/۶	۰/۷
	P_{MS}	۳۶۰/۳۶۸	۳۵۷/۶۹۷	۳۵۶/۲۶۶	۳۵۳/۶۲۶	۳۵۲/۵۳۴
	P_{RS}	۳۰۷/۲۱	۳۱۲/۱۳	۳۱۶/۰۰۲	۳۲۱/۲۴۵	۳۲۵/۰۹۸
	W_M	۲۸۰/۲۹۹	۲۸۷/۳۰۰	۲۹۵/۵۳۴	۲۹۹/۴۰۵	۳۰۴/۲۶۷
	W_R	۱۶۳/۰۳۶	۱۶۴/۲۶۷	۱۶۷/۹۱۷	۱۷۰/۰۱۵	۱۷۲/۱۴۱
	T	۰/۶۶۸	۰/۶۵۹	۰/۶۶	۰/۶۶۳	۰/۶۷۳

جدول (۷): تحلیل حساست پارامتر δ در حالت هم‌زمان

استکلبرگ تولید کننده	δ	۰/۲	۰/۳۵	۰/۵	۰/۶	۰/۷
	P_{MS}	۳۵۷/۴۸۶	۳۵۵/۷۲۵	۳۵۲/۹۱۳	۳۴۹/۶۸۲	۳۴۸/۳۴۹
	P_{RS}	۳۰۵/۷۷۸	۳۱۱/۶۵۷	۳۱۷/۹۹۸	۳۲۱/۶۵	۳۲۲/۶۵۷
	W_M	۲۲۸/۰۰۱	۲۳۰/۷۱۱	۲۳۴/۸۱۹	۲۳۸/۵۸۳	۲۴۰/۱۲۵
	W_R	۱۲۷/۵۲۰	۱۳۰/۷۱۸	۱۳۳/۴۲	۱۳۵/۰۲۶	۱۳۸/۰۱۲
	T	۰/۶۱۸	۰/۶۲۳	۰/۶	۰/۶۱۹	۰/۶۲

جدول (۸): تحلیل حساست پارامتر δ در حالت تولیدکننده استکلبرگ

استکلبرگ خرده فروش	δ	۰/۲	۰/۳۵	۰/۵	۰/۶	۰/۷
	P_{MS}	۳۵۶/۲۰۷	۳۵۴/۵۹۷	۳۵۳/۶۱۹	۳۵۱/۱۵۴	۳۴۸/۵۰۷
	P_{RS}	۲۸۳/۵۶۴	۲۹۴/۳۰۸	۳۱۲/۵۴	۳۲۱/۵۱۴	۳۴۴/۳۸۸
	W_M	۱۸۹/۹۵۹	۱۹۲/۹۳۳	۱۹۴/۸۵۳	۱۹۸/۷۲۹	۲۰۳/۴۰۴
	W_R	۱۰۵/۶۴۹	۱۰۹/۱۰۵	۱۱۰/۷۱۲	۱۱۰/۹۴۷	۱۱۲/۷۷۳
	T	۰/۵۷۸	۰/۵۸	۰/۵۹	۰/۵۹۲	۰/۵۹۳

جدول (۹): تحلیل حساست پارامتر δ در حالت خرده‌فروش استکلبرگ

همزمان	alpha	۰/۱	۰/۱۵	۰/۲	۰/۳	۰/۴
	P_{MS}	۳۶۰/۸۶۳	۳۵۹/۱۴۱	۳۵۶/۲۶۶	۳۵۳/۸۹	۳۴۷/۲۷۷
	P_{RS}	۲۹۹/۷۵۱	۳۰۸/۱۴	۳۱۶/۰۰۲	۳۲۱/۱۱۱	۳۳۴/۱۹۷
	W_M	۲۸۷/۶۹۸	۲۸۹/۷۰۸	۲۹۵/۵۳۴	۳۰۲/۵۶۲	۳۱۲/۵۴۳
	W_R	۱۵۸/۸۸۱	۱۶۴/۸۹۹	۱۶۷/۹۱۷	۱۷۶/۶۳۸	۱۹۰/۹۱۸
	T	۰/۶۷۷	۰/۶۵۳	۰/۶۶	۰/۶۷	۰/۶۷۴

جدول (۱۰): تحلیل حساست پارامتر α در حالت هم‌زمان

استکلبرگ تولید کننده	alpha	۰/۱	۰/۱۵	۰/۲	۰/۳	۰/۴
	P_{MS}	۳۵۲/۰۸۹	۳۵۲/۰۴۰	۳۵۲/۹۱۳	۳۵۱/۰۸۸	۳۵۰/۸۲۵
	P_{RS}	۲۹۳/۵۵۸	۲۹۸/۷۳۸	۳۱۷/۹۹۸	۳۲۵/۷۱۹	۳۳۸/۷۳۷
	W_M	۲۲۵/۶۹۸	۲۲۷/۸۹۷	۲۳۴/۸۱۹	۲۴۳/۴۵۹	۲۵۰/۷۷۲
	W_R	۱۳۸/۰۰۷	۱۳۶/۷۳	۱۳۳/۴۲	۱۲۸/۲۶۱	۱۲۱/۷۴۸
	T	۰/۵۷	۰/۵۹۹	۰/۶	۰/۶۱	۰/۶۱۹

جدول (۱۱): تحلیل حساست پارامتر α در حالت تولیدکننده استکلبرگ

استکلبرگ خرده فروش	alpha	۰/۱	۰/۱۵	۰/۲	۰/۳	۰/۴
	P_{MS}	۳۵۲/۸۹۶	۳۵۲/۸۸۳	۳۵۳/۶۱۹	۳۵۳/۸۰۱	۳۵۳/۴۸۹
	P_{RS}	۳۱۰/۴۷۵	۳۱۰/۷۹۹	۳۱۲/۵۴	۳۱۴/۵۰۳	۳۱۴/۲۲۷
	W_M	۱۸۸/۸۱۵	۱۹۰/۵۶۷	۱۹۴/۸۵۳	۱۹۷/۷۱۳	۲۰۳/۵۳۹
	W_R	۱۰۸/۴۵۳	۱۰۹/۸۸۹	۱۱۰/۷۱۲	۱۱۱/۳۴۶	۱۱۳/۲۷۶
	T	۰/۵۸۹	۰/۵۹۳	۰/۵۹	۰/۵۹۱	۰/۵۹۲

جدول (۱۲): تحلیل حساست پارامتر α در حالت خرده‌فروش استکلبرگ

مراجع

[1] Kenne, J. P., Dejax, P., Gharbi, A. (2012). Production planning of a hybrid manufacturing–remanufacturing system under uncertainty within a closed-loop supply chain, International Journal of Production Economics, 135(1), 81-93.

[۲] رنجبر، یحیی، صاحبی، هادی (۱۳۹۸). قیمت‌گذاری وجمع‌آوری محصولات در زنجیره‌تأمین حلقه بسته با دو کانال بازیافت رقابتی تحت رهبری مختلف، نشریه پژوهش های مهندسی صنایع در سیستم های تولید، دوره ۷، شماره ۱۵، ۳۷۷-۳۹۳.

[3] Chen, D., Ignatius, J., Sun, D., Zhan, S., Zhou, C., Marra, M., Demirbag, M. (2018). Reverse logistics pricing strategy for a green supply chain: A view of customers' environmental awareness, International Journal of Production Economics, 217,197-210.

[4] Amin, S. H., Zhang, G., Akhtar, P. (2017). Effects of uncertainty on a tire closed-loop supply chain network, Expert Systems with Applications, 73, 82-91.

[5] Mohammadi, F., Esmaeili, M., Zhang, J. (2022). A two-level supply chain with price sensitive random demand, random yield, inspection, and rework process, International Journal of Operational Research, 45, 219-240.

[6] Kalantari, S.S., Esmaeili, M., Taleizadeh, A. A. (2021). Selling by clicks or leasing by bricks? A dynamic game for pricing durable products in a dual-channel supply chain, Journal of Industrial and Management Optimization,19(2), 1-32.

[7] Liu, L., Wang, Z., Xu, L., Hong, X., Govindan, K. (2017). Collection effort and reverse channel choices in a closed-loop supply chain. Journal of cleaner production, 144, 492-500.

[۸] ناصری، فروزان، اسمعیلی، مریم، سیف برقی، مهدی (۱۳۹۹). مدل‌سازی یک سیستم تولید ترکیبی احتمالی با درنظر گرفتن نوسازی و بازتولید، نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، دوره ۸، شماره ۱۷، ۳۹۹-۴۲۱.

[9] Naseri, F., Esmaeili, M., Seifbarghy, M. (2021). Pricing and inventory control decisions in the stochastic hybrid production systems with multiple recovery options, Rairo-Operations Research, 45, 219-240.

[10] Taleizadeh, A. A., Alizadeh-Basban, N., Niaki, S. T. A. (2019). A closed-loop supply chain considering carbon reduction, quality improvement effort, and return policy under two remanufacturing scenarios, Journal of Cleaner Production, 232, 1230-1250

[۱۱] علیزاده باسبان، نیما، طالعی زاده، عطا الله (۱۳۹۶). کاهش نشر کربن در یک زنجیره‌تأمین دوسطحی با درنظر گرفتن سطح کیفیت، سیاست بازگشت محصول و قیمت‌گذاری بازپرداخت. رویکرد تئوری بازی‌ها،

نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، دوره ۵، شماره ۱۱، ۲۲۹-۲۴۹.

[12] Giri, B. C., Sharma, S. (2016). Optimal production policy for a closed-loop hybrid system with uncertain demand and return under supply disruption, Journal of Cleaner Production, 112, 2015-2028.

[13] Teunter, R. H. (2002). Economic order quantities for stochastic discounted cost inventory systems with remanufacturing, International Journal of Logistics, 5(2), 161-175.

[14] Mohammed, F., Selim, S. Z., Hassan, A., Syed, M. N. (2017). Multi-period planning of closed-loop supply chain with carbon policies under uncertainty, Transportation Research Part D: Transport and Environment, 51, 146-172.

[15] Ullah, M., Sarkar, B. (2020). Recovery-channel selection in a hybrid manufacturing-remanufacturing production model with RFID and product quality, International Journal of Production Economics, 219, 360-374.

[16] Liu, W., Qin, D., Shen, N., Zhang, J., Jin, M., Xie, N., Chang, X. (2020). Optimal pricing for a multi-echelon closed loop supply chain with different power structures and product dual differences, Journal of Cleaner Production, 257, 120281.

[17] El Saadany, A. M., Jaber, M. Y. (2010). A production/remanufacturing inventory model with price and quality dependant return rate, Computers & Industrial Engineering, 58(3), 352-362.

[18] Guo, J., Ya, G. (2015). Optimal strategies for manufacturing/remanufacturing system with the consideration of recycled products, Computers & Industrial Engineering, 89, 226-234.

[19] Guo, J., He, L., Gen, M. (2019). Optimal strategies for the closed-loop supply chain with the consideration of supply disruption and subsidy policy, Computers & Industrial Engineering, 128, 886-893.

[20] Taleizadeh, A. A., Hazarkhani, B., Moon, I. (2018). Joint pricing and inventory decisions with carbon emission considerations, partial backordering and planned discounts, Annals of Operations Research, 290, 95-113.

[21] Taleizadeh, A. A., Moshtagh, M. S. (2018). A consignment stock scheme for closed loop supply chain with imperfect manufacturing processes, lost sales, and quality dependent return: Multi Levels Structure, International Journal of Production Economic, 217, 298-316.

[22] Maiti, T., Giri, B. C. (2017). Two-way product recovery in a closed-loop supply chain with variable markup under price and quality dependent demand, International Journal of Production Economics, 183, 259-272.

[23] Huang, Z., Nie, J., Tsai, S. B. (2017). Dynamic collection strategy and coordination of a remanufacturing closed-loop supply chain under uncertainty, Sustainability, 9(5), 683.

[24] Hosseini-Motlagh, S. M., Ebrahimi, S., Zirakpourdehkordi, R. (2020). Coordination of dual-function acquisition price and corporate social responsibility in a sustainable closed-loop supply chain, Journal of Cleaner Production, 251, 119629.

[25] Guo, J., Ya, G. (2015). Optimal strategies for manufacturing/remanufacturing system with the consideration of recycled products, Computers & Industrial Engineering, 89, 226-234.

[26] Moshtagh, M. S., Taleizadeh, A. A. (2017). Stochastic integrated manufacturing and remanufacturing model with shortage, rework and quality-based return rate in a closed loop supply chain, Journal of cleaner production, 141, 1548-1573.

[27] Zhou, L., Naim, M. M., Disney, S. M. (2017). The impact of product returns and remanufacturing uncertainties on the dynamic performance of a multi-echelon closed-loop supply chain, International Journal of Production Economics, 183, 487-502.

[28] 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.

[۲۹] یوسفی، خجسته (۱۳۹۷). بررسی رقابت بین دو محصول نو و بازتولید در یک زنجیره‌تأمین حلقه بسته با درنظر گرفتن کمبود با رویکرد نظریه بازی‌ها، دانشکده فنی مهندسی، الزهرا.

IERPS Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

ISSN: 2345-2269

Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

Spring and Summer 2022, Volume 10., No. 20., pp. 49-61
www.ier.basu.ac.ir

DOI: 10.22084/ier.2023.22074.1982

Closed-loop Supply Chain with Different Quality of Manufacturing and Remanufacturing Products and a Stochastic Return Rate by Game Theory Approach

Y. Nameiri[1], M. Esmaeili[2*]

[1.] M. A. in Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Al-Zahra University, Tehran, Iran
[2.] Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Al-Zahra University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

***Article history*:**

Received: 2020/08/09
Accepted: 2022/03/01

***Keywords*:**

Closed Loop Supply Chain
Quality Level
Game Theory
Stochastic Return Rate
Pricing

ABSTRACT

Nowadays, due to environmental issues, government laws and economic interests, attention to product collection and reproduction has increased. In this thesis, a two-level closed loop supply chain is considered, which includes a manufacturer and a retailer, and the demand is met through manufactured and remanufactured products. The quality of second-hand products that are remanufactured is not as same as the quality of new products, it is random and follows the distribution. Also, the rate of return of goods is considered random and follows a uniform distribution. The manufacturer determines the wholesale price of the remanufactured and manufactured products in order to maximize their profit, and the retailer determines the retail price of the manufactured and remanufactured products and the length of the cycle in order to maximize the profit. The interaction between the retailer and the manufacturer has been modeled by using the game theory approach in the static and Stackelberg (either the leader manufacturer or the leader retailer) games. According to studies, the profit of the supply chain (the manufacturer and the retailer) in Stackelberg game is more than static game.

[*] Corresponding author. M. Esmaeili
Tel.:021-88044040; E-mail address: esmaeili_m@alzahra.ac.ir