

## ارائه مدل ریاضی جهت جمع آوری و بازتولید محصولات مستهلک در زنجیره تامین

### حلقه بسته با استفاده از نظریه بازیها

مهدی صفری<sup>۱</sup>، محمد فلاح<sup>۲\*</sup>، حامد کاظمی پور<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری، ۲- دانشیار، ۳- استادیار گروه مهندسی صنایع، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

(دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۰۲، پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۲)

### چکیده

در دنیای واقع بازتولید محصولات مستهلک به منظور کاهش هزینه‌ها در زنجیره‌های تأمین به عنوان یکی از مزیت‌های رقابتی شناخته می‌شود. در این مقاله به انتخاب رویکرد مناسب جمع‌آوری و بازتولید محصولات مستهلک در یک زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته باهدف کاهش هزینه‌ها با استفاده از نظریه‌ی بازی استکلبرگ پرداخته می‌شود. بدین منظور، اعضای زنجیره از جمله تولیدکننده، خرده‌فروش و پیمانکار بازتولید (به عنوان عضو سوم طرف قرارداد) حضور دارند. در این تحقیق چهار سناریو شامل: (۱) پرداخت مبلغی توسط تولیدکننده جهت جمع‌آوری و بازتولید محصول مستهلک؛ (۲) پرداخت مبلغی به صورت مشترک توسط خرده‌فروش و تولیدکننده جهت جمع‌آوری و بازتولید محصول مستهلک؛ (۳) پرداخت مبلغی به صورت مشترک توسط تولیدکننده و طرف سوم قرارداد جهت جمع‌آوری و بازتولید محصول مستهلک؛ و (۴) پرداخت مبلغی توسط تولیدکننده جهت جمع‌آوری و عدم بازتولید محصول، در نظر گرفته شده و نتایج آن مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. نتایج محاسباتی نشان دهنده‌ی آن است که سود زنجیره با در نظر گرفتن سناریوی سوم با نرخ بهینه بازتولید به بیشترین میزان خود خواهد رسید و نسبت به دیگر سناریوهای مسئله، اعضای زنجیره به منافع بیشتری دست خواهند یافت. علاوه بر این، در سناریوی بهینه، قیمت نهایی محصول نیز به کمترین میزان خود خواهد رسید. یافته‌های مسئله حاکی از آن است که هنگامی که فرآیند بازتولید صورت نمی‌گیرد، در زنجیره کمترین سود ممکن حاصل می‌شود. تحلیل حساسیت انجام شده با افزایش ضریب تأثیر قیمت نهایی محصول بر روی تقاضای مشتریان در بازه‌های مختلف در نظر گرفته شده، نشان دهنده‌ی روند کاهشی متغیرهای تصمیم قیمت نهایی محصول، قیمت فروش کالا به خرده‌فروش و مبلغ پرداختی به مشتری به ازای هر عدد محصول مستهلک شده خواهد بود.

**واژه‌های کلیدی:** زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته، محصول مستهلک، جمع‌آوری و بازتولید؛ قیمت‌گذاری؛ نظریه‌ی بازیها

### ۱- مقدمه

رضایت آن‌ها به دلیل توجه به مسائل زیست‌محیطی شود. توجه به مسائل زیست‌محیطی به دلیل قوانین و مقررات دولتی منجر به توجه بیش‌ازپیش سازمان‌ها و زنجیره‌های تأمین به این‌گونه مسائل شده است. یکی از جنبه‌های توجه به مسائل زیست‌محیطی که بیشتر از گذشته مورد توجه قرار گرفته، در نظر گرفتن موضوع بازیافت مواد است که در قالب زنجیره‌ی تأمین معکوس یا زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته مطرح شده است. توجه به موضوع بازیافت در زنجیره‌های تأمین می‌تواند علاوه بر سوددهی بیشتر آن‌ها، باعث ایجاد درآمدهای حاصل از کاهش استفاده از مواد اولیه و ایجاد ارزش افزوده حاصل شده از محصولات بازتولید شده شود. در برخی از سازمان‌های فروش، متعهد می‌شوند تا در دوره‌ی زمانی مشخصی تعمیرات و نگهداری محصول را به عهده بگیرند و یا با ترکیبی از پاسخ فعال و واکنشی به محصولات خارج از دسترس، نسبت به جایگزینی محصول معیوب و مستهلک از سرعت و زمان اقدام کنند. [۱]

زنجیره‌ی تأمین مجموعه‌ای از اعضا هستند که باهدف برآورده سازی نیاز مشتریان در کنار یکدیگر مشغول به فعالیت هستند. در این مجموعه، تصمیماتی که هریک از این اعضا می‌گیرند می‌تواند بر سود سایر اعضا تأثیر مستقیم و یا غیرمستقیم داشته باشد؛ بنابراین بهتر است تصمیماتی اتخاذ شوند که در راستای سود کل زنجیره‌ی تأمین باشند. امروزه بیش از هر زمانی زنجیره‌های تأمین رقابتی شده و به‌طور اساسی به مدیریت زنجیره‌های تأمین به‌عنوان یک مزیت رقابتی نگاه می‌کنند. از سوی دیگر در این فضای رقابتی بازیافت کالا در قالب مدیریت زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته می‌تواند نقشی را ایفا نماید و در کنار کاهش هزینه‌ها و همچنین افزایش رقابت میان زنجیره‌های تأمین، منجر به افزایش آگاهی عمومی و افزایش

طرف سوم تحمیل خواهد شد. دلیل این امر آن است که تولیدکننده می تواند کارمزد بیشتری را از شرکت طرف سوم به منظور تقسیم درآمد حاصل از بازتولید دریافت نماید. علاوه بر آن، تولیدکننده حالت بازتولید از طریق شرکت های طرف سوم را به حالت بازتولید با واسطه ی تولیدکننده ترجیح می دهد. البته باید در نظر گرفت که می بایست هزینه ی بازتولید شرکت طرف سوم نسبتاً پایین باشد و بازتولید بتواند همواره افزایش سود معقولی را برای تولیدکننده و شرکت حاصل نماید.

در مقاله ی ژو و وانگ [۷] با در نظر گرفتن کاهش ضایعات و بازتولید، به بررسی استراتژی تصمیم و توزیع سود در یک زنجیره تأمین حلقه بسته با تقاضای وابسته به قیمت خرده فروشی و کاهش ضایعات پرداخته شده است. در بازه ی زمانی اول، تولیدکننده محصولات جدیدی را برای خرده فروشان تأمین می نماید و خرده فروش آن ها را به مصرف کننده به فروش خواهد رساند. پس از آن، خرده فروش محصولات مصرف شده را بازتولید می نماید و محصولات جدید را در بازه ی زمانی دوم خریداری می کند. با در نظر گرفتن اولویت در محصولات بازتولید شده و کاهش آلاینده های زیست محیطی، مدل های ریاضی متمرکز و غیرمتمرکز متشکل از یک تولیدکننده ی مجزا و خرده فروش مجزا، جهت بررسی قیمت بهینه ی خرده فروشی بهینه با در نظر گرفتن نرخ بازیابی و نرخ کاهش ضایعات ارائه شده است. به واسطه ی مقایسه ی انجام شده در این تحقیق، نتایج محاسباتی نشان دهنده ی آن است که هر عضو زنجیره برای بیشینه کردن سود خود تصمیم خواهد گرفت که به صورت ناخودآگاه تأثیر دوطرفه را به همراه داشته باشد و بازدهی عملکرد زنجیره را در حالت سناریوی غیرمتمرکز تحت تأثیر قرار دهد. آن ها بر اساس نظریه ی دادوستد نش (Nash) درجه ی رضایتمندی را به عنوان یک تابع هدف مورد استفاده و امکان پیاده سازی روش هماهنگی را مورد بررسی قرار دادند. در انتها در این تحقیق، از یک مطالعه ی موردی جهت بررسی تأثیرات اولویت محصولات بازتولیدی و کاهنده ی آلاینده های کربنی و همچنین تصمیمات بهینه در زنجیره استفاده شده است.

محصولات با فناوری بالا یکی از قوی ترین بازارهای تدارکات معکوس با طیف وسیعی از ظرفیت است که باعث می شود درخواست های فروش پایدار بماند و استفاده از بخش ثالث جهت بازتولید، رشد فوق العاده زیر بخش ها را به همراه داشته باشد و برون سپاری و انجام تدارکات معکوس فعالیت های داخلی را نیز افزایش می دهد. [۱] تانگ و همکاران [۸] در پژوهشی دیگر به مطالعه ی یک زنجیره ی تأمین دوطرحی حلقه بسته با شرایط بازتولید در یک بازار رقابتی پرداخته اند. در این تحقیق استفاده از بازی استکلبرگ به نحوی لحاظ شده که در آن تولیدکننده

یوو و همکارانش [۲] رویکرد قیمت گذاری را در یک زنجیره ی تأمین متشکل از تولیدکننده و خرده فروشی در نظر گرفتند که بر اساس آن تولیدکننده قدرت غالب در زنجیره بود و با استفاده از دو قرارداد هماهنگی بازگشت محصول و در لحاظ تخفیف در تعداد فروش تحت بازی استکلبرگ، هماهنگی بین اعضای زنجیره ایجاد نمودند. محمودی و همکاران [۳] یک زنجیره ی تأمین دوطرحی را با یک تولیدکننده و یک شرکت ارائه دهنده ی خدمات لجستیک که دولت نقش نظارت بر روی این زنجیره تأمین را اعمال می کند، در نظر گرفتند که بر اساس آن، دولت از طریق تعیین تعرفه به تولیدکننده بر روی زنجیره ی تأمین نظارت می نماید. نتایج تحقیق آن ها نشان دهنده ی این موضوع است که وجود شرکت های ارائه دهنده ی خدمات لجستیک با وجود افزایش قیمت فروش محصولات، موجب کاهش آلودگی و همچنین افزایش مقدار تقاضا خواهد شد.

گو و ژنگ [۴] تأثیر رویکرد قیمت گذاری را بر روی سود چند شرکت مواد غذایی در قالب زنجیره ی تأمین بررسی کردند؛ جایی که بین شرکت ها دو حالت همکاری و رقابت در نظر گرفته شد. در این پژوهش، در حالت رقابت بین اعضا، از روش بازی نش هنگامی که قدرت شرکت ها یکسان بود و از روش بازی استکلبرگ وقتی قدرت آن ها متفاوت از یکدیگر بود، استفاده شده است و در نتیجه قیمت بهینه تعیین شده است. تاجیک جنگلی و همکاران [۵] به طراحی یک شبکه ی زنجیره ی تأمین حلقه بسته ی سبز برای محصول روغن موتور در شرایط عدم قطعیت پرداختند. مدل ریاضی ارائه شده ی آن ها متشکل از دو هدف است که تابع اول هزینه های شبکه و تابع دوم اثرات نامطلوب زیست محیطی شامل آلاینده های ناشی از بازیافت، حمل و نقل مواد بین مراکز مختلف و آلاینده های ناشی از انهدام مواد غیرقابل بازیافت را کمینه می کند.

در پژوهشی دیگر، وانگ و وانگ [۶] یک زنجیره ی تأمین حلقه بسته شامل تولیدکننده و یک طرف سوم که در آن تولیدکننده به طرف سوم اجازه ی فعالیت های بازتولید را در حضور مصرف کنندگان پایدار صادر می کند، در نظر گرفته شده است. در این پژوهش تأثیرات رفتار مصرف کننده ی پایدار و هزینه ی بازتولید شرکت طرف سوم بر سه سناریوی بازتولید شامل عدم بازتولید، بازتولید جزئی و بازتولید کلی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. برای حل این مسئله، از بازی استکلبرگ جهت دستیابی به استراتژی های متعادل هر مدل به کار گرفته شده و نشان داده شده که با افزایش تعداد مصرف کنندگان پایدار، نیاز به محصولات جدید کاهش پیدا کرده است و نیاز به محصولات بازتولید شده افزایش پیدا خواهد کرد. با در نظر گرفتن این نکته که سود تولیدکننده به سبب رفتار مصرف کننده ی پایدار کاهش می یابد، کاهش سود کمتری در زمان تحویل بازتولید به شرکت

بازتولیدکنندگان مستقل اجازه داده شود که محصولات مستعمل را با پرداخت هزینه به تولیدکننده بازیابی نمایند. یک مدل ریاضی نیز برای مقایسه‌ی سه سناریو در نظر گرفته شده برای مسئله ارائه شده است. این سه سناریو شامل رقابت، همکاری با توزیع‌کنندگان مجاز و همکاری از طریق تفویض مجوز بازتولید است. نتایج محاسباتی این تحقیق حاکی از آن است که همکاری به تأثیر مجوز دادن در بهبود تمایل مشتریان به خرید محصولات بازتولید شده بستگی خواهد داشت؛ باوجوداینکه اعطای مجوز جهت بازتولید بیشتر در اولویت تولیدکنندگان اصلی خواهد بود. اما این نکته لازم به ذکر است که مجوز توزیع تنها تحت شرایط خاصی قابل دستیابی است. شایان ذکر است که اگرچه سود تولیدکنندگان به صورت کلی در قیمت نهایی محصولات جدید کاهش می‌یابد، اما این سود هنگامی که قیمت‌های بالاتر منجر به تغییر استراتژی از رقابت به بازتولید می‌شود، افزایش پیدا خواهد کرد و این در حالی است که این همکاری می‌تواند به یک موقعیت برد-برد-برد در زنجیره منجر شود.

با توجه به پیشینه‌ی تحقیق و مرور ادبیات انجام شده در حوزه‌ی بازیافت محصولات مستهلک در زنجیره‌ی تأمین و زنجیره‌های تأمین حلقه‌بسته به‌منظور جمع‌آوری و بازتولید محصولات، در این مقاله برای اولین بار، یک زنجیره‌ی تأمین متشکل از تولیدکننده، خرده‌فروش و طرف سوم در نظر گرفته می‌شود که انجام فرآیندهای جمع‌آوری و بازتولید محصولات مستهلک را بر عهده دارند. بدین منظور سناریوهای مختلفی جهت ارزیابی روش‌های جمع‌آوری و بازتولید در نظر گرفته می‌شود و از روش نظریه‌ی بازی استکلبرگ جهت حل مدل پیشنهادی استفاده می‌شود. جهت تصدیق و اعتبارسنجی مدل و رویکرد پیشنهادی نیز از داده‌های موجود بازتولید موتورهای بنزینی دریایی استفاده شد و سپس نتایج محاسباتی و تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای کلیدی مدل ارائه خواهد شد. با توجه به توضیحات ارائه شده، نوآوری تحقیق پیش رو به شرح زیر خواهد بود:

- در نظر گرفتن یک زنجیره‌ی حلقه‌بسته دوسطحی به‌منظور جمع‌آوری و بازتولید محصولات مستهلک شده؛
- ارائه و ارزیابی سناریوهای مختلف جهت انجام فرآیندهای جمع‌آوری و بازتولید محصولات مستهلک؛
- استفاده از روش نظریه‌ی بازی استکلبرگ جهت حل و ارزیابی مدل ریاضی ارائه شده؛
- استفاده از داده‌های موجود بازتولید موتورهای بنزینی دریایی به‌منظور تجزیه و تحلیل مدل و رویکرد استفاده شده.

به‌عنوان رهبر و خرده‌فروش به‌عنوان پیرو در نظر گرفته شده است. مدل‌های تحلیلی در این تحقیق به‌منظور نمایش زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته با فرآیند بازتولید در یک بازار رقابتی به‌کار گرفته شده است. همچنین نرخ بازگشت مشابهی با کانال متمرکزی که با به‌کارگیری قرارداد بین تولیدکننده و خرده‌فروش به دست می‌آید، توسعه‌یافته است. این مدل‌ها همچنین تأثیر ابتکارات انگیزشی مثبت بر روی قصد خرید مشتریان به‌وسیله‌ی ایجاد رابطه بین بازخوردهای مثبت از بازتولید به نیاز مشتریان را نیز در نظر می‌گیرد. در دنیای واقع نیز این مدل‌ها می‌توانند مستقیماً بر روی یک زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته با شرایط بازتولید در یک بازار رقابتی پیاده‌سازی شود.

همان‌گونه که بیان شد، مطالعات بسیاری در زمینه‌ی سیاست بازگشت محصول انجام گرفته است و شرایط مختلفی را در زنجیره مورد بررسی قرار داده‌اند [۹-۱۱]. اما از سوی دیگر، تعدادی معدود از تحقیقات در ادبیات موضوع وجود دارند که در مدل از طرف سوم به‌عنوان بازتولیدکننده استفاده کرده باشند. به‌عنوان مثال، مقدس‌پور و همکاران [۱۲] یک مدل ریاضی با دو تابع هدف، چندمحصولی و چنددوره‌ای، برای طراحی زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته در صنعت تایر با در نظر گرفتن عوامل پایداری نظیر جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی، تحت مدیریت لجستیک طرف سوم قرارداد ارائه داده‌اند. اهداف مدل ریاضی پیشنهادی آن‌ها شامل حداکثرسازی سود حاصل از پردازش‌های متفاوت بر روی کالاهای فرسوده و جنبه‌های پایداری است. سلطانی و همکاران [۱۳] یک زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته در حالت چند دوره‌ای و چند محصولی و شامل بخش‌های تأمین، تولید، توزیع، جمع‌آوری، بازیافت و دفن در نظر گرفتند که هدف آن کاهش هزینه بوده است. این مدل پیشنهادی با استفاده از نرم افزار CPLEX و در قالب مطالعه‌ی موردی تحلیل و بررسی شده است. سیف‌برقی و ملک‌پور [۱۴] یک زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی شامل تولید، توزیع و بازیافت لاستیک خودرو در نظر گرفتند. آن‌ها مدل خود را در شرایط عدم قطعیت پارامترهای کلیدی نظیر تقاضا و نرخ برگشت محصول مورد بررسی و تحلیل قرار داده‌اند. جین و همکاران [۱۵] پژوهشی به‌منظور تفویض اختیار برای تولیدکنندگان اصلی تجهیزات، که قابلیت بازتولید تجهیزات را ندارند و قصد کسب منفعت از بازار بازتولید را دارند، انجام داده‌اند. در این تحقیق دو استراتژی تفویض اختیار (انتقال مجوز) مورد استفاده قرار گرفته است: ۱- انتقال مجوز به توزیع‌کنندگان محصول باهدف اینکه بازتولیدکنندگان مستقل را به توزیع‌کنندگان دارای مجوز تبدیل کند تا هم محصولات جدید و هم محصولات بازتولید شده را بفروشند ۲- انتقال مجوز جهت بازتولید، بدین ترتیب که به

میزان قابل توجهی صرفه جویی ایجاد کرد و رضایت مشتری را جلب نمود. به منظور بررسی دقیق و ارزیابی روش های بهینه ی بازتولید، چهار سناریو مختلف مورد بررسی قرار خواهند گرفت که به ترتیب عبارت است از: (۱) پرداخت مبلغی توسط تولیدکننده برای محصولات مستهلک به منظور فرآیند جمع آوری و بازتولید (۲) پرداخت مبلغی به صورت مشترک توسط خرده فروش و تولیدکننده برای محصولات مستهلک به منظور فرآیند جمع آوری و بازتولید (۳) پرداخت مبلغی به صورت مشترک توسط تولیدکننده و یک طرف سوم که وظیفه جمع آوری محصولات مستهلک را دارند به منظور انجام فرآیند بازتولید (۴) پرداخت مبلغی توسط تولیدکننده برای محصولات مستهلک و عدم انجام فرآیند بازتولید. در جدول (۱) نمادهای و علائم مورد استفاده در معادلات ریاضی معرفی و بیان شده است.

در ادامه ی این مقاله در بخش ۲ به ارائه ی روش تحقیق، در بخش ۳ به نتایج محاسباتی و تحلیل حساسیت های لازم بر روی پارامترهای کلیدی مدل ریاضی و در بخش ۴ به نتیجه گیری حاصل از انجام این پژوهش پرداخته شده است.

## ۲- روش تحقیق

در این پژوهش به طراحی و مقایسه ی روش های مختلف جمع آوری و بازتولید محصولات مستهلک به منظور کاهش هزینه ها باهدف بهینه نمودن توابع سود بازیگران در زنجیره ی تأمین پرداخته می شود. می توان با در نظر گرفتن صرفه جویی در هزینه های ناشی از بازتولید محصولات مستهلک و هم چنین در نظر گرفتن هزینه های جمع آوری و حمل و نقل این محصولات، رویکرد مناسبی اتخاذ نمود و همین طور در هزینه های تولید به

جدول (۱). نمادهای استفاده شده در مدل ریاضی

تعریف	نام نماد
$M, R, T, S$	به ترتیب نشان دهنده ی نمادهای تولیدکننده، خرده فروش، بخش سوم و زنجیره ی تأمین
$E, F, G, H$	به ترتیب نشان دهنده نمادهای سناریوها
$\delta_0$	مقدار تقاضای پایه و اولیه
$\delta_1$	ضریب تأثیر قیمت نهایی محصول بر روی تقاضای مشتریان
$\delta_2$	ضریب تأثیر مبلغ پرداختی توسط تولیدکننده/خرده فروش یا طرف سوم قرارداد به ازای هر واحد محصول بازگشتی
$\varphi_0$	تعداد پایه ی محصولات مستهلک بازگشتی
$\varphi_1$	ضریب تأثیر مبلغ پرداختی به ازای هر محصول مستهلک بر روی تعداد محصول های بازگشتی
$R$	تعداد محصولات مستهلک بازگشتی
$C$	هزینه تولید هر عدد محصول جدید با استفاده از مواد خام و اولیه
$G_M$	هزینه بازتولید هر عدد محصول مستهلک بازگشتی توسط تولیدکننده
$G_R$	هزینه بازتولید هر عدد محصول مستهلک بازگشتی توسط خرده فروش
$G_T$	هزینه بازتولید هر عدد محصول مستهلک بازگشتی توسط طرف سوم قرارداد
$T_1$	مقدار صرفه جویی در هزینه ی تولید هر عدد محصول با استفاده از فرآیند بازتولید توسط تولیدکننده
$T_2$	مقدار صرفه جویی در هزینه ی بازتولید هر عدد محصول با استفاده از فرآیند بازتولید توسط خرده فروش
$T_3$	مقدار صرفه جویی در هزینه ی بازتولید هر عدد محصول با استفاده از فرآیند بازتولید توسط بخش سوم
$f$	هزینه دریافتی توسط تولیدکننده به ازای انتقال آموزش و تجهیزات بازتولید برای خرده فروش یا طرف سوم قرارداد
$b$	هزینه ی حمل و نقل و انتقال محصول مستهلک از خرده فروش یا طرف سوم قرارداد به تولیدکننده
$\alpha$	نرخ قابلیت بازتولید محصولات های بازگشتی مستهلک
$w$	متغیر تصمیم نشان دهنده قیمت فروش کالا به خرده فروش توسط تولیدکننده
$s$	متغیر تصمیم نشان دهنده ی مبلغ پرداختی به مشتری به ازای هر عدد محصول مستهلک
$p$	متغیر تصمیم نشان دهنده ی قیمت نهایی هر عدد محصول
$\Pi$	متغیر تصمیم نشان دهنده ی تابع سود
$D$	تقاضای مشتریان
$h$	حقوق دریافتی خرده فروش به ازای تأمین هر عدد محصول

**۲-۲- جمع‌آوری و بازتولید ترکیبی توسط تولیدکننده و خرده‌فروش**

در این سناریو نیز یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش در نظر گرفته شده، با این تفاوت که محصولات مستهلک به صورت ترکیبی بازتولید می‌شوند. تولیدکننده ابتدا محصولات جدید و ساخته شده از مواد خام را با قیمت  $w$  به خرده‌فروش می‌فروشد و سپس خرده‌فروش، کالا را با قیمت نهایی  $p$  به دست مصرف‌کننده می‌رساند. شکل شماره (۲) شمای این سناریو را به تصویر می‌کشد. میزان صرفه‌جویی در هزینه تولید توسط تولیدکننده ( $T_1$ ) مطابق با رابطه شماره (۱) محاسبه می‌شود و میزان صرفه‌جویی در هزینه به ازای بازتولید هر محصول توسط خرده‌فروش ( $T_2$ ) از رابطه زیر حاصل می‌گردد [۱۹]:

$$T_2 = C - G_R \quad (۶)$$

هم‌چنین تعداد محصولات مستهلک بازگشتی از مصرف‌کننده نیز مطابق با سناریو اول از رابطه (۳) محاسبه می‌شود. از این رو تابع سود تولیدکننده در سناریو دوم از رابطه زیر به دست خواهد آمد:

$$\Pi_R^A(w) = (w - c)[D(p, s) - R(s)] + [(w - c + T_1 - b)(1 - \alpha)]R(s) + f\alpha R(s) \quad (۷)$$

که ساده‌شده معادله شماره (۷) به صورت زیر خواهد بود:

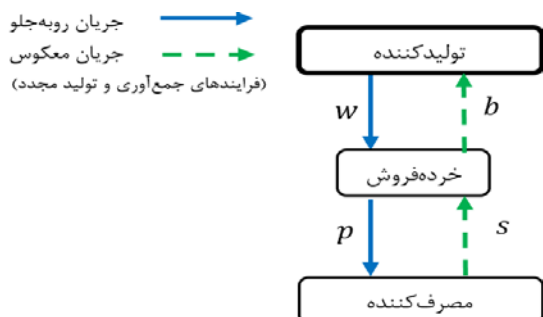
$$\Pi_M^B(w) = (w - c)[\delta_0 - \delta_1 p + \delta_2 s] + [(f - w + c)\alpha + (T_1 - b)(1 - \alpha)](\varphi_0 + \varphi_1 s) \quad (۸)$$

هم‌چنین تابع سود خرده‌فروش نیز از معادله شماره (۹) حاصل خواهد شد:

$$\Pi_R^B(p, s) = (p - w)D(p, s) + (w - c + T_2)\alpha R(s) + b(1 - \alpha)R(s) - b(1 - t)R(s) - f\alpha R(s) \quad (۹)$$

که تابع بالا به صورت زیر ساده و بازنویسی می‌شود:

$$\Pi_R^B(p, s) = (p - w)(\delta_0 - \delta_1 p + \delta_2 s) + [(w - c + T_2 - b - f)\alpha - b - r](\varphi_0 + \varphi_1 s) \quad (۱۰)$$



شکل (۲). نمای گرافیکی سناریوی دوم

مطابق با آنچه بیان شد، چهار روش مختلف جمع‌آوری و بازتولید به شرح ذیل است:

**۱-۲- جمع‌آوری و بازتولید توسط تولیدکننده**

در این سناریو یک زنجیره تأمین دوسطحی شامل یک تولیدکننده ( $M$ ) و خرده‌فروش ( $R$ ) در نظر گرفته شده است تا محصولات را به طور سنتی و از طریق خرده‌فروش به دست مشتریان برساند و تقاضای بازار قطعی در نظر گرفته می‌شود. شکل (۱) شمای گرافیکی این سناریو را نشان می‌دهد. میزان صرفه‌جویی در هزینه تولید در این سناریو از رابطه زیر پیروی می‌کند [۱۶ و ۱۷]:

$$T_1 = C - G_M \quad (۱)$$

تابع تقاضای مصرف‌کننده به قیمت نهایی و تمام‌شده‌ی فروش به مصرف‌کننده و میزان مبلغ پرداختی توسط تولیدکننده به ازای هر عدد محصول مستهلک ( $s$ ) است و از رابطه‌ی زیر پیروی می‌کند:

$$D(p, s) = \delta_0 - \delta_1 p + \delta_2 s \quad (۲)$$

از سوی دیگر تعداد محصولات بازگشتی نیز از رابطه زیر پیروی می‌کند [۱۸]:

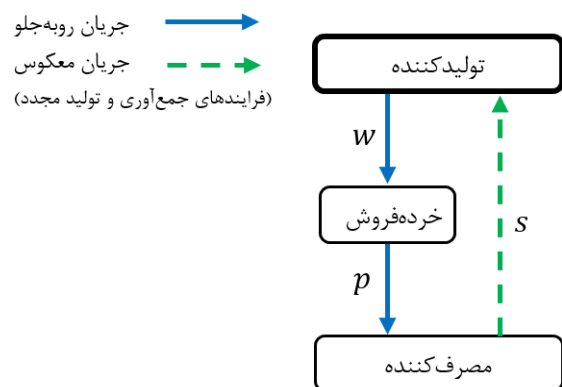
$$R(s) = \varphi_0 + \varphi_1 s \quad (۳)$$

با توجه به روابط تعریف شده‌ی بالا، تابع سود تولیدکننده از رابطه‌ی زیر حاصل خواهد شد:

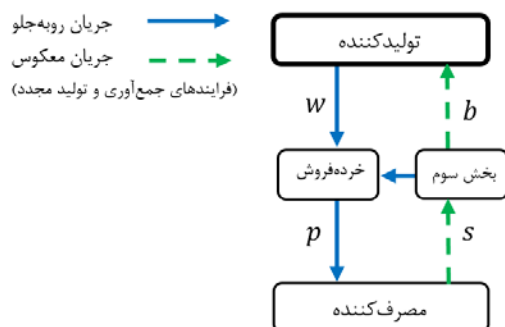
$$\Pi_M^A = (w - c)[D(p, s) - R(s)] + (w - c + T_1 - s)R(s) \quad (۴)$$

تابع سود خرده‌فروش نیز به طریق مشابه از معادله زیر حاصل می‌شود:

$$\Pi_R^A = (p - w)(\delta_0 - \delta_1 p + \delta_2 s) \quad (۵)$$



شکل (۱). نمای گرافیکی سناریوی اول



شکل (۳). نمای گرافیکی سناریوی سوم

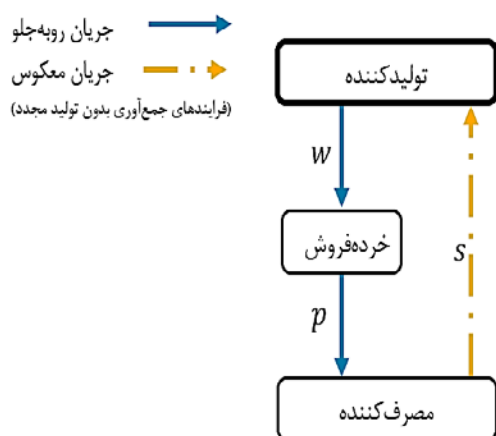
در نهایت معادله شماره‌ی (۱۵) به صورت زیر بازنویسی می‌گردد:

$$\Pi_T^C(s) = [(w - c + T_3 - b - f)\alpha + b - s](\varphi_0 + \varphi_1 s) \quad (16)$$

### ۲-۴- پرداخت به ازای هر محصولات مستهلک به مصرف کننده توسط تولیدکننده بدون در نظر گرفتن فرآیند باز تولید

در این سناریو یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش در نظر گرفته می‌شود. تولیدکننده این امکان را برای مشتری فراهم می‌نماید تا در صورتی که محصول مستهلک شود، آن را با مبلغ (s) از او خریداری نماید. شکل شماره‌ی (۴) شمای ظاهری سناریو شماره‌ی (۴) را نشان می‌دهد. همچنین تعداد محصولات مستهلک جمع‌آوری شده توسط تولیدکننده از معادله شماره‌ی (۱) به دست می‌آید. بنابراین با توجه به مطالب گفته‌شده، تابع سود تولیدکننده در این سناریو برابر است با:

$$\Pi_M^D(w, s) = (w - c)(\delta_0 - \delta_1 p + \delta_2 s) - s(\varphi_0 + \varphi_1 s) \quad (17)$$



شکل (۴). نمای گرافیکی سناریوی چهارم

### ۲-۳- جمع آوری و باز تولید ترکیبی توسط تولیدکننده و طرف سوم قرارداد

در این سناریو یک تولیدکننده، یک خرده‌فروش و یک عضو مستقل طرف سوم در نظر گرفته شده است. تولیدکننده محصولات جدید و ساخته شده از مواد خام را با قیمت w به خرده‌فروش خواهد رساند و خرده‌فروش با قیمت نهایی p آن‌ها را به دست مصرف کننده می‌رساند. پس از آن، محصولات مستهلک توسط طرف سوم با پرداخت مبلغ s به ازای هر کالای مستهلک جمع‌آوری شده و بخشی از این محصولات مستهلک با نرخ  $\alpha$  توسط طرف سوم باز تولید می‌شود. شکل شماره‌ی (۳) شمای گرافیکی این سناریو را نشان می‌دهد. میزان صرفه جویی در هزینه، در نتیجه‌ی باز تولید هر عدد محصول توسط تولیدکننده ( $T_1$ ) مطابق با رابطه‌ی شماره‌ی (۱) محاسبه خواهد شد و میزان صرفه جویی در هزینه در نتیجه‌ی باز تولید توسط بخش سوم از رابطه‌ی زیر به دست خواهد آمد [۱۹]:

$$T_3 = C - G_T \quad (11)$$

تابع تقاضای مصرف کننده همانند سناریوهای قبل، از رابطه‌ی (۲) و تابع تعداد محصولات مستهلک بازگشتی نیز از رابطه‌ی (۳) به دست خواهد آمد. از این رو با توجه به مطالب بیان شده، تابع سود تولیدکننده در سناریو شماره‌ی (۳) از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\Pi_M^C(w) = (w - c)[D(p, s) - R(s)] + [(w - c + T_1 - b)(1 - \alpha)]R(s) + f\alpha R(s) \quad (12)$$

ساده شده معادله‌ی شماره‌ی (۱۲) به صورت زیر خواهد بود:

$$\Pi_M^C(w) = (w - c)[\delta_0 - \delta_1 p + \delta_2 s] + [(f - w + c)\alpha + (T_1 - b)(1 - \alpha)](\varphi_0 + \varphi_1 s) \quad (13)$$

همچنین تابع سود خرده‌فروش نیز از معادله‌ی شماره‌ی (۱۴) به دست می‌آید:

$$\Pi_R^C(w) = (p - w)(\delta_0 - \delta_1 p + \delta_2 s) \quad (14)$$

همچنین تابع سود بخش سوم که وظیفه جمع‌آوری و باز تولید بخشی از محصولات جمع‌آوری شده را بر عهده دارد، به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\Pi_T^C(s) = (w - c + T_3)\alpha R(s) - sR(s) + b(1 - \alpha)R(s) - f\alpha R(s) \quad (15)$$

بیشترین سود را به دست آورد. به بیان دیگر هدف به دست آوردن تابعی برای سود دنباله‌رو برحسب استراتژی‌های مختلف رهبر است. به این منظور می‌توان از تابع سود دنباله‌رو نسبت به متغیرها مشتق گرفت.

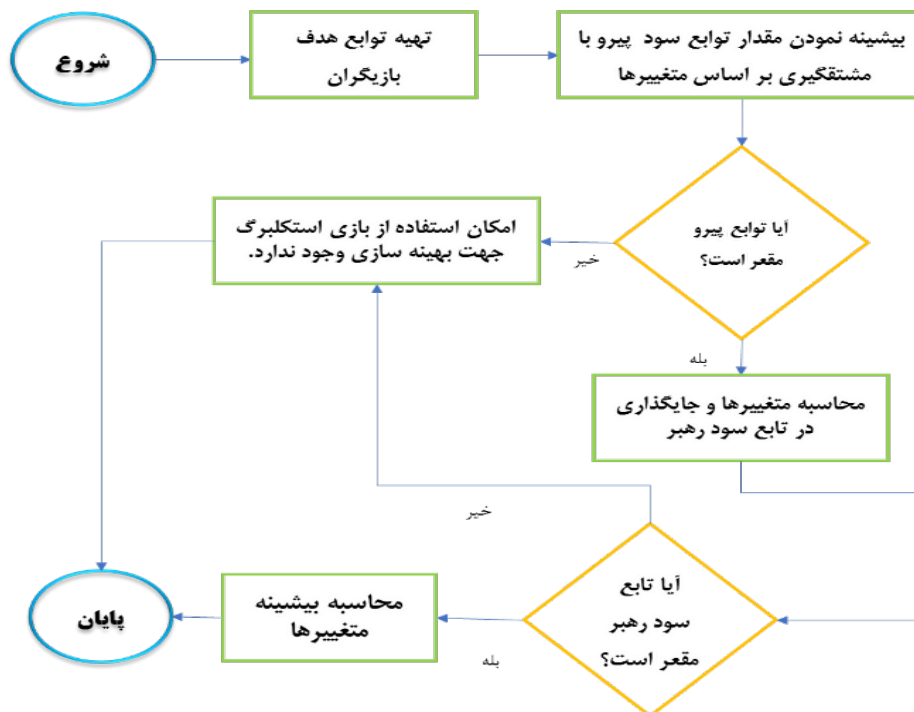
در این تحقیق یک زنجیره‌ی تأمین دوسطحی در نظر گرفته شده است و تولیدکننده باقیمت  $w$  محصولات را به خرده‌فروش می‌فروشد و خرده‌فروش با در نظر گرفتن حقوق دریافتی خود محصولات را با قیمت نهایی و تمام شده  $p$  به دست مصرف‌کننده می‌رساند. همچنین با توجه به سناریوهای مختلف، محصولات مستهلک بازگشتی توسط تولیدکننده، خرده‌فروش، بخش سوم با پرداخت مبلغ  $s$  به ازای هر کالا جمع‌آوری و بازتولید صورت می‌گیرد و با توجه به روش حل در بازی استکلبرگ- تولیدکننده رهبر ابتدا مقدار بهینه‌ی متغیرهای تصمیم را در بازیگران پیرو به دست آورده و در تابع سود تولیدکننده (عضو رهبر) قرار می‌گیرد پس از آن مقدار بهینه متغیرهای تصمیم تولیدکننده شامل قیمت فروش محصول به خرده‌فروش ( $w$ ) و مبلغ پرداختی به ازای محصول مستهلک ( $s$ ) تعیین می‌شود. شکل (۵) روند نمای بازی استکلبرگ را نمایش می‌دهد.

که در تابع سود شماره‌ی (۱۷)، بخش اول نشان‌دهنده‌ی درآمد ناشی از فروش به خرده‌فروش و بخش دوم مبلغ ناشی از محصولات مستهلک بازگشتی است. همچنین تابع سود خرده‌فروش نیز از معادله‌ی زیر به دست خواهد آمد:

$$\Pi_R^D(p) = (p - w)(\delta_0 - \delta_1 p + \delta_2 s) \quad (18)$$

در بازی استکلبرگ که جهت تحلیل رفتار دو شرکت رقیب با قدرت متفاوت طراحی شده است و به مدل رهبر- پیرو نیز معروف است، بازیکنان به صورت متوالی تصمیم‌گیری می‌کنند. در حقیقت دو شرکت، استراتژی‌های بهینه‌ی خود را به طور متوالی و نه به صورت هم‌زمان تعیین می‌کنند. بازیکن رهبر استراتژی‌های بهینه‌ی تصمیم خود را بر اساس استراتژی بهترین پاسخ بازیکن‌های پیرو تعیین می‌کند و با وجود آنکه ادعا می‌شود ابتدا رهبر استراتژی تصمیم خود را اعلام می‌کند و سپس پیرو مقدار بهینه استراتژی خود را تعیین می‌کند، فرآیند بازی یک فرایند پس رو است.

درواقع فرض بر این است که رهبر می‌داند که دنباله‌رو تصمیم وی را تحت نظر دارد و دنباله‌رو به طور هوشمندانه بهترین عملکرد خود را در قبال عملکرد رهبر انجام خواهد داد تا



شکل (۵). روند نمای بازی استکلبرگ

بهینه‌ی متغیرهای تصمیم به منظور بیشینه کردن سود زنجیره‌ی تأمین، تولیدکننده، خرده‌فروش و طرف سوم و همچنین مقدار بهینه متغیرهای تصمیم تولیدکننده شامل قیمت فروش به خرده‌فروش توسط تولیدکننده ( $w$ ) و مبلغ پرداختی به

با توجه به نظریه بازی استکلبرگ- تولیدکننده، رهبر ابتدا مقدار بهینه‌ی متغیرهای تصمیم خرده‌فروش را محاسبه و در تابع سود تولیدکننده (رهبر) قرار خواهیم داد و سپس مقدار بهینه متغیرهای تصمیم تولیدکننده نیز معین می‌شوند. در ادامه مقدار

برای هر چهار سناریو ارائه خواهد شد. جدول (۲) روابط ریاضی به دست آمده برای مقدار بهینه متغیرهای تصمیم را نشان می دهد.

مصرف کننده توسط تولیدکننده/خرده فروش/ بخش سوم (S) و قیمت نهایی فروش (P) با استفاده از نظریه بازی استکلبرگ

جدول (۲). روابط ریاضی محاسبه شده برای محاسبه مقدار بهینه متغیرهای تصمیم تحت بازی استکلبرگ

سناریو اول	سناریو دوم	سناریو سوم	سناریو چهارم
$\frac{\delta_0 + \frac{\delta_2}{2} s^E + \frac{\delta_1 c}{2}}{\delta_1}$	$\frac{-H_5 + H_4 c - H_6 D_1 + H_7 \alpha}{2H_4 - 2tH_6}$	$\frac{E_2 - E_3 c - E_4 \alpha + E_6}{2E_5 - 2E_3}$	$\frac{D_2 - \delta_0 \varphi_1 - \delta_2 \varphi_1 c}{\frac{\delta_2^2}{4} - 2\varphi_1 \delta_1}$
$\frac{D_4 - \delta_1 \varphi_0 + T_1 \delta_1 \varphi_1}{D_3}$	$\frac{-H_3 w^F - \delta_0 \delta_2 - 2\delta_1 H_1}{D_3}$	$\frac{-\varphi_0 + \varphi_1 \alpha w^G + E_1}{2\varphi_1}$	$\frac{\frac{\delta_2}{2} w^H - \frac{\delta_2}{2} c - \varphi_0}{2\varphi_1}$
$\frac{\delta_0 + \delta_2 s^E + \delta_1 w^E}{2\delta_1}$	$\frac{\delta_0 + \delta_2 s^F + \delta_1 w^F}{2\delta_1}$	$\frac{\delta_0 + \delta_2 s^G + \delta_1 w^G}{2\delta_1}$	$\frac{\delta_0 + \delta_2 s^H + \delta_1 w^H}{2\delta_1}$

در بازتولید موتورهای مستهلک تأمین قطعات مهم موتور از جمله، پیستون Piston، سیلندر Cylinder، میلنگ shaft Crank، شاتون rod Connecting، میل بادامک shaft Cam، سر سیلندر head Cylinder، که به C+P5 مشهور است با سهولت قابل انجام است. بنابراین با استفاده از عملیات های دمنواژ، ساخت و تعویض قطعات کند مصرف، شست و شو و براده برداری قطعات اصلی، مونتاژ، تایمینگ، تعویض زیر سامانه های جانبی و تنظیم مجدد موتور می توان موتوری با همان کارایی را داشت. داده های استفاده شده در این تحقیق از یک شرکت فعال در زمینه اورهال و بازتولید موتورهای دیزل اخذ شده است. داده ها به صورت گزارش های منتشر شده از بخش مالی شرکت و همین طور مصاحبه با مجریان و متخصصان به دست آمده است. بنابراین زیرساخت تولید برخی از قطعات اصلی موتور، بازتولید این نوع موتورها از تولیدات مستهلک شده، می تواند برای تولیدکننده و مصرف کننده مقرون به صرفه باشد. به همین منظور مقادیر عددی مرتبط با بازتولید موتورهای مستهلک جمع آوری و در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است. داده های مورد استفاده به شرح زیر است:

$$\delta_0 = 2100, \delta_1 = 5.3, \delta_2 = 1.2, c = 18, G_M = 3, \alpha = 3.8$$

$$G_R = 3, G_r = 3, \varphi_0 = 50, \varphi_1 = 1.7, f = 25, b = 35$$

با جای گذاری مقادیر پارامترها در روابط ریاضی استفاده شده، مقدار بهینه متغیرهای تصمیم و همچنین سود زنجیره در سناریوهای مختلف به دست می آید که در جدول (۳) نمایش داده شده است.

همچنین مقادیر پارامترهای ثابت  $D_1$  تا  $D_5$ ،  $H_1$  تا  $H_7$ ،  $E_1$  تا  $E_6$  که در جدول (۲) مورد استفاده قرار گرفته، در پیوست در انتهای مقاله ضمیمه شده است.

### ۳- نتایج و تحلیل حساسیت

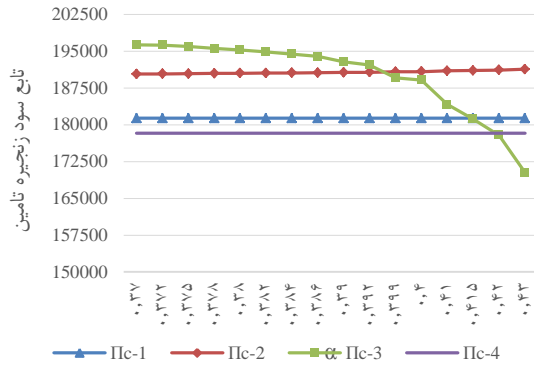
در این بخش با ارائه یک مثال عددی مبتنی بر داده های بازتولید موتورهای بنزینی دریایی، مقادیر متغیرهای تصمیم زنجیره ی تأمین در هر چهار سناریو را بررسی و مقایسه خواهیم نمود.

تحریم های ظالمانه ی ده های گذشته و کمبود سامانه های رانش دریایی در کشور، صنعتگران را مجبور به استفاده از شیوه های مختلفی جهت تأمین موتور برای شناورها کرده است. یکی از موفق ترین گزینه ها در سال های اخیر، بازتولید محصولات مستهلک بوده است. شرکت های مختلفی از جمله شرکت های دولتی و غیردولتی در زمینه اورهال و یا بازتولید موتورهای دیزلی دریایی فعالیت می نمایند و این روش توانسته بسیاری از کمبودها را مرتفع نماید.

یکی از مهم ترین دغدغه های مصرف کنندگان، یکسانی کیفیت محصول بازتولید شده با محصول ارائه شده ی قبلی است. بنابراین در این تحقیق همان طور که در بخش قبلی به آن اشاره شد، کیفیت دو محصول تولیدی یعنی بازتولید محصول از کالای مستهلک و محصول تولید شده در کارخانه از مواد اولیه ی یکسان در نظر گرفته شده است.

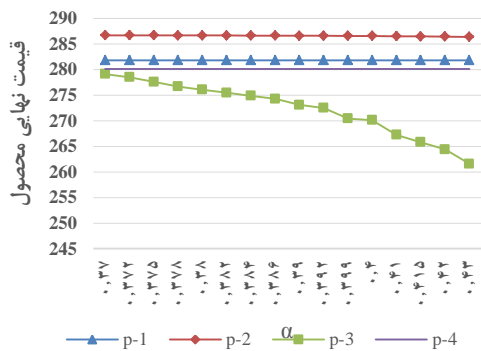


سود زنجیره تحت این سناریوها مطابق شکل (۶) به دست خواهد آمد و نتایج آن برای یافتن بهترین روش جمع‌آوری و بازتولید تحت بازی استکلبرگ با یکدیگر مقایسه شده است.



شکل (۶). نمودار تابع سود زنجیرهی تأمین به ازای مقادیر مختلف تغییرات پارامتر  $\alpha$

شکل (۶) مقدار بهینه سود زنجیره را به ازای مقادیر مختلف پارامتر  $\alpha$  در بازه  $[0.37, 0.43]$  نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که به ازای  $\alpha < 0.4$  تابع سود زنجیره در سناریوی سوم بالاتر از سایر سناریوها خواهد بود و این سناریو که بازتولید ترکیبی توسط تولیدکننده و طرف سوم است و توزیع‌کننده فقط مسئولیت انتقال و توزیع محصول را بر عهده دارد، منجر به سود بیشتری برای زنجیره خواهد شد. اما از سوی دیگر در  $\alpha \geq 0.4$  سناریو دوم دارای سود بیشتری نسبت به سایر سناریوها است و بازتولید ترکیبی توسط تولیدکننده و توزیع‌کننده در این سناریو منجر به سود بیشتری برای زنجیره خواهد شد. بنابراین، بهترین رویکرد در بیشینه کردن سود زنجیره به نرخ بازتولید پارامتر  $(\alpha)$  بستگی خواهد داشت که در  $\alpha < 0.4$  سناریو سوم سود بیشتری برای زنجیره به ارمغان می‌آورد و در این سناریو مطابق شکل (۷) محصول با قیمت نهایی کمتری به دست مصرف‌کننده خواهد رسید.



شکل (۷). قیمت تمام‌شده محصول به ازای مقادیر مختلف پارامتر  $\alpha$

علاوه بر این، نرخ بهینه‌ی پارامتر  $\alpha$  در سناریوی سوم در  $\alpha^3 = 0.37$  حاصل می‌شود و سود زنجیره را بیشینه خواهد نمود

جدول (۳). مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم و توابع سود زنجیره

سناریو	سناریوی اول	سناریوی دوم	سناریوی سوم	سناریوی چهارم
$w$	۱۹۶/۲	۱۸۹/۳	۱۸۱/۱	۱۹۵/۱
$s$	۳۶/۰۱	۹۲/۱	۶۹/۸	۲۸/۲۰
$s$	۲۸۱/۸	۲۸۶/۴	۲۷۹/۱	۲۸۰/۱۵
$\Pi_M$	۱۱۹۷۷۶/۹	۱۱۶۰۶۵/۴	۱۱۵۶۵۴/۷	۱۱۷۵۱۷/۳
$\Pi_R$	۶۱۵۶۱/۴	۷۵۲۶۴/۴	۸۰۶۳۱/۱	۶۰۷۶۲/۳
$\Pi_T$	-	-	۳۵/۲۷۱۰۴	-
$\Pi_C$	۱۸۱۳۳۸/۴	۱۹۱۳۲۹/۹	۱۹۶۳۲۱/۱	۱۷۸۲۷۹/۷

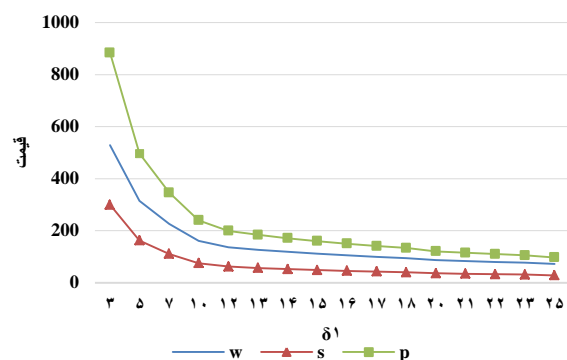
همان‌گونه که از جدول بالا برداشت می‌شود، با در نظر گرفتن  $\alpha = 0.37$  سود زنجیره در سناریوی سوم مقدار بیشتری را به نسبت سایر سناریوها تحت بازی استکلبرگ اتخاذ می‌کند و قیمت نهایی محصول (p) نیز در این سناریو کمتر از باقی سناریوها خواهد بود و با به‌کارگیری این سناریو این امکان به وجود خواهد آمد که محصولات مستهلک بازتولید شده و به این شکل با کاهش هزینه‌های بازتولید باقیمت پایین‌تر و با سود بیشتری نسبت به باقی سناریوها در اختیار مصرف‌کننده قرار گذاشته شود.

در این تحقیق به منظور شناخت عمیق از نحوه عملکرد بازتولید محصولات مستهلک، تجزیه و تحلیل داده‌ها برای رسیدن به حالت بهینه را در دو بخش بررسی می‌کنیم. ابتدا رفتار توابع سود در مواجهه با تغییرات پارامتر  $\alpha$  (نرخ قابلیت بازتولید محصول‌های بازگشتی مستهلک) در نظر گرفته می‌شود و در بخش دوم، کلیه‌ی پارامترها را ثابت در نظر گرفته و تأثیر سایر متغیرها و توابع سود با پارامتر  $\delta_1$  (ضریب تأثیر قیمت بر روی تقاضا) در بازه‌های مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

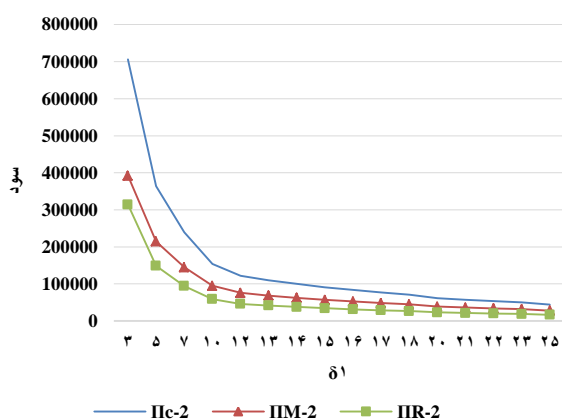
### ۳-۱- تجزیه و تحلیل داده‌ها بر اساس پارامتر $\alpha$

تغییرات  $\alpha$  از این جهت انجام می‌گیرد که چه نسبتی از محصولات مستهلک جهت بازتولید نزد تولیدکننده ارسال شده و چه میزان به سایر بازیگران زنجیره سپرده شود. همان‌طور که در قسمت قبل بیان شد، در سناریوی شماره‌ی (۱) همه‌ی محصولات مستهلک به تولیدکننده بازگردانده می‌شود و همین‌طور در سناریوی شماره‌ی (۴)، هیچ‌گونه بازتولیدی صورت نخواهد پذیرفت. بنابراین تغییر پارامتر  $\alpha$  در این دو سناریو بی‌تأثیر خواهد بود. با جای‌گذاری مقادیر عددی جدول شماره‌ی (۲) در توابع سود زنجیره‌ی تأمین در سناریوها، مقدار بهینه‌ی

**تجزیه و تحلیل پارامترها در سناریوی دوم:** در شکل (۱۰) و شکل (۱۱)، با افزایش ضریب تأثیر قیمت بر روی تقاضا، قیمت فروش تولیدکننده (w) کاهش می‌یابد و این کاهش قیمت منجر به کاهش درآمد تولیدکننده خواهد شد و در نتیجه تابع سود تولیدکننده مطابق شکل (۱۱) روند کاهشی پیدا خواهد کرد.



شکل (۱۰). روند تغییرات قیمت فروش به توزیع کننده، قیمت نهایی و تمام شده محصول و مبلغ پرداختی در سناریوی دوم



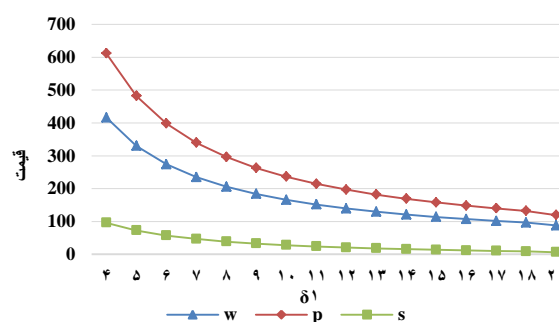
شکل (۱۱). روند تغییرات تابع سود تولیدکننده، توزیع کننده و زنجیره تأمین در سناریوی دوم

**تجزیه و تحلیل پارامترها در سناریو سوم:** شکل (۱۲) و شکل (۱۳) نشان دهنده آن است که با افزایش  $\delta_1$  در بازه  $[4/8, 3]$  متغیر تصمیم قیمت فروش به توزیع کننده (w)، قیمت نهایی محصول (p) و مبلغ پرداختی به ازای محصول مستهلک توسط بخش سوم (s) کاهش خواهد یافت. با کاهش قیمت (w) درآمد تولیدکننده کاهش یافته و در نتیجه تابع سود تولیدکننده، طرف سوم و زنجیره مطابق شکل (۱۳) روند کاهشی پیدا می‌کند. همان طور که در این شکل مشهود است، با توجه به اینکه در مدل ریاضی رهبر تولیدکننده در نظر گرفته شده است، تولیدکننده ابتدا به دنبال منافع خود و حداکثر کردن میزان سود است و در قدم بعدی به دنبال بیشتر شدن سود زنجیره خواهد بود. بنابراین میزان سود طرف سوم نسبت به تولیدکننده و توزیع کننده بسیار کمتر خواهد بود ولی طبق بررسی انجام شده در این پژوهش،

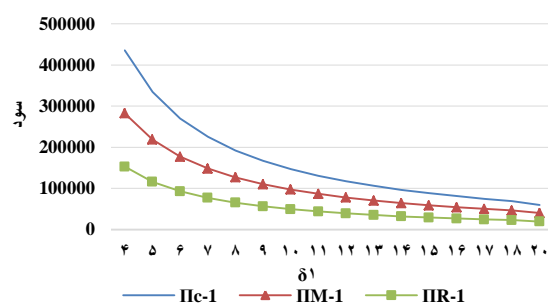
$(\Pi_c^3 = 196321.1)$  و نرخ بهینه  $\alpha$  در سناریوی چهارم در  $\alpha^3 = 0.43$  به وقوع می‌پیوندد که سود زنجیره با این نرخ  $(\Pi_c^3 = 191330)$  خواهد شد. بنابراین با اطلاع از مقادیر مناسب پارامتر  $\alpha$  در سناریوهای مختلف تحت بازی استکلبرگ، مقدار بهینه متغیرهای تصمیم مسئله شامل قیمت نهایی محصول (p)، قیمت فروش به توزیع کننده (w) و مبلغ پرداختی به ازای محصولات مستهلک (s) و همچنین توابع تولیدکننده، توزیع کننده و کل زنجیره تحت بازی استکلبرگ در جدول (۳) ارائه شده است.

### ۳-۲- تجزیه و تحلیل داده‌ها بر اساس تغییرات پارامتر $\delta_1$

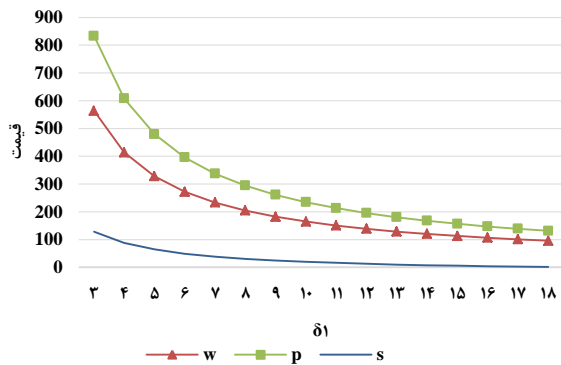
**تجزیه و تحلیل داده‌ها در سناریوی اول:** در شکل (۸) و شکل (۹) تأثیر پارامتر  $\delta_1$  را بر روی متغیرهای تصمیم مسئله تحت سناریو اول در بازی استکلبرگ را نشان می‌دهد. با افزایش پارامتر  $\delta_1$  در بازه  $[4, 20]$  متغیرهای تصمیم قیمت فروش به توزیع کننده توسط تولیدکننده (w)، قیمت نهایی و تمام شده مصرف کننده (p) و مبلغ پرداختی به مصرف کننده توسط تولیدکننده به ازای محصول مستهلک (s) کاهش خواهد یافت. در زمانی که  $\delta_1 = 4$  است، حداکثر اختلاف بین (s) و (w) وجود خواهد داشت که با افزایش آن به میزان  $\delta_1 = 20$  اختلاف این دو متغیر به کمترین میزان ممکن خواهد رسید. با کاهش قیمت (w) سود دریافتی تولیدکننده به ازای فروش محصول کاهش می‌یابد و در نتیجه تابع سود تولیدکننده مطابق شکل (۹) روند نزولی خواهد داشت.



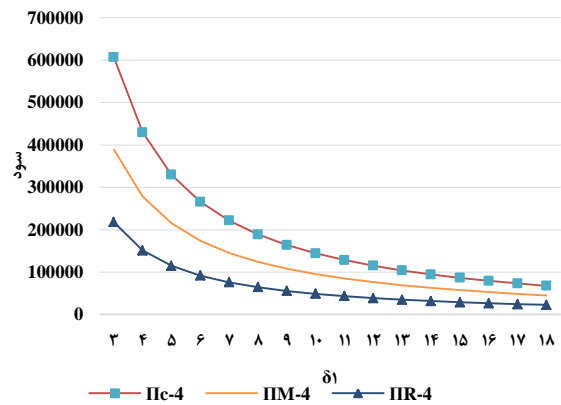
شکل (۸). روند تغییرات قیمت فروش به توزیع کننده، قیمت نهایی و تمام شده محصول و مبلغ پرداختی در سناریوی اول



شکل (۹). نمودار تابع سود تولیدکننده، توزیع کننده و زنجیره تأمین در سناریوی اول



شکل (۱۴). روند تغییرات قیمت فروش به توزیع‌کننده، قیمت نهایی و تمام‌شده محصول و مبلغ پرداختی در سناریوی چهارم

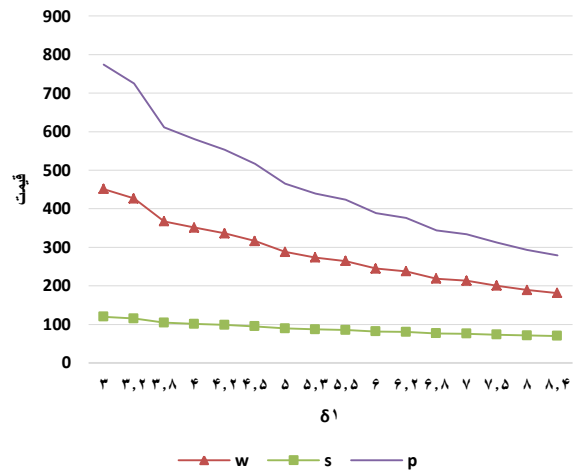


شکل (۱۵). روند تغییرات تابع سود تولیدکننده، توزیع‌کننده و زنجیره‌ی تأمین در سناریوی چهارم

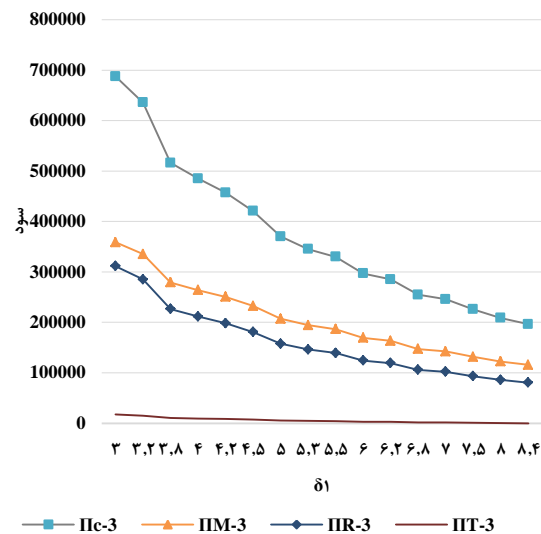
#### ۴- نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش نشان می‌دهد با به دست آوردن مقادیر بهینه متغیرهای قیمت فروش کالا به خرده‌فروش، مبلغ پرداختی به مشتری و همچنین قیمت نهایی هر عدد محصول در این پژوهش سناریوی مبتنی بر پرداخت مبلغی به صورت مشترک توسط تولیدکننده و طرف سوم قرارداد جهت جمع‌آوری و بازتولید محصول مستهلک عملکرد مناسب‌تری را به نمایش می‌گذارد. در شکل (۱۶) ترتیب اولویت سناریوها مشخص شده است. این برتری به ازای  $\alpha < 0.4$  پایدار خواهد بود و با افزایش پارامتر  $\alpha$  این برتری از بین می‌رود. این سناریو که بازتولید ترکیبی توسط تولیدکننده و طرف سوم است و خرده‌فروش فقط مسئولیت انتقال و توزیع محصول را بر عهده دارد، منجر به سود بالاتری برای زنجیره می‌شود. پس از سناریوی سوم به ترتیب سناریوهای دوم، اول و چهارم عملکرد مناسب‌تری را خواهند داشت.

هرچند سود طرف سوم نسبت به سایر بازیگران زنجیره ناچیز است اما باعث افزایش سود در کل زنجیره خواهد شد و نسبت به سایر سناریوها وضعیت مطلوب‌تری خواهد داشت.



شکل (۱۲). روند تغییرات قیمت فروش به توزیع‌کننده، قیمت نهایی و تمام‌شده محصول و مبلغ پرداختی در سناریوی سوم



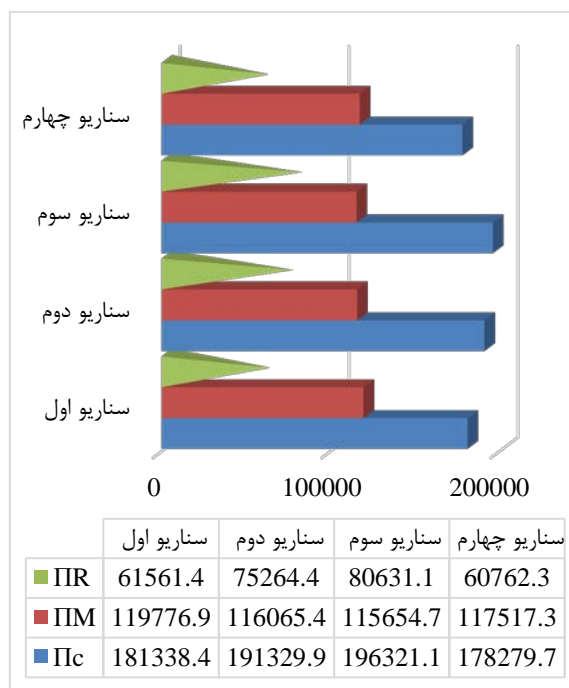
شکل (۱۳). نمودار تابع سود تولیدکننده، توزیع‌کننده، بخش سوم و زنجیره‌ی تأمین در سناریوی سوم

**تجزیه و تحلیل پارامترها در سناریوی چهارم:** در تجزیه و تحلیل سناریوی چهارم همانند سناریوی اول شیب نمودارهای شکل (۱۴) و شکل (۱۵) نشان می‌دهد که با افزایش ضریب تأثیر  $\delta_1$  باعث کاهش قیمت  $w$  و در نتیجه کاهش درآمد تولیدکننده می‌شود و در نهایت مطابق شکل (۱۵) تابع سود تولیدکننده تحت سناریوی چهارم کاهش خواهد یافت.

قطعیت در تقاضا و عدم قطعیت در تقاضای محصولات بازگشتی اشاره نمود. همچنین می‌توان اهداف دیگری همچون کمترین زمان پاسخ‌گویی و افزایش سطح کیفیت محصولات خروجی و توسعه‌ی سناریوها را در مدل لحاظ نمود.

## ۵- مراجع

- [1] D. Blumberg, "Introduction to Management of Reverse Logistics and Closed Loop Supply Chain Processes." R. ehteshamrasi, Tehran, Aritarin, 2018. (In Persian)
- [2] S. H. Yoo, D. Kim, and M.S. Park, "Pricing and return policy under various supply contracts in a closed-loop supply chain." International Journal of Production Research, vol. 53(1), pp.106-126, 2015.
- [3] Mahmoudi, D. Shishebori, A. Sadegheih, "Pricing for a multi-channel supply chain with the participation of a third-party logistics service: A game theory approach." Iranian Journal of Supply Chain Management, vol. 22(67), pp. 23-34, 2020. (In Persian)
- [4] X. Guo and X. Zheng, "Examination of restaurants online pricing strategies: A game analytical approach." Journal of Hospitality Marketing & Management, vol. 26(6), pp.659-673, 2017.
- [5] A. Makui, M. Tajik Jangali, E. Dehghani, "Designing and planning a green closed-loop supply chain network considering a networked commodity and waste collection system (case study: Behran oil company)." Iranian Journal of Supply Chain Management, vol. 22(68), pp. 40-55, 2020. (In Persian)
- [6] Y. Huang and Z. Wang, "Pricing and production decisions in a closed-loop supply chain considering strategic consumers and technology licensing." International Journal of Production Research, vol. 57(9), pp. 2847-2866, 2019.
- [7] L. Xu, and C. Wang, "Sustainable manufacturing in a closed-loop supply chain considering emission reduction and remanufacturing." Resources, Conservation and Recycling, vol. 131, pp. 297-304, 2018.
- [8] I. C. Bilegan, T. G. Crainic, and Y. Wang. "Scheduled service network design with revenue management considerations and an intermodal barge transportation illustration." European Journal of Operational Research, 2021.
- [9] S. Zhao, F. Wu, T. Jia, and L. Shu, "The impact of product returns on price and delivery time competition in online retailing." Computers & Industrial Engineering, vol. 125, pp. 658-667, 2018.
- [10] J. Chen, and P. C. Bell, "Implementing market segmentation using full-refund and no-refund customer returns policies in a dual-channel supply chain structure." International Journal of



شکل (۱۶). ترتیب سناریوها با توجه به میزان سود اکتساب شده

می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که در صورت عدم حضور طرف سوم در زنجیره، بهترین عملکرد، استفاده از خرده‌فروش در همکاری در فرآیند بازتولید است و در نهایت اگر تولیدکننده تمامی فرآیند بازتولید را خود به عهده گیرد و به‌صورت برون‌سپاری هیچ‌گونه همکاری را طلب نکند، بهتر از زمانی نتیجه خواهد گرفت که فرآیند بازتولید به‌صورت کامل متوقف شود. همچنین ضریب تأثیر قیمت نهایی محصول بر روی تقاضای مشتریان در سناریوهای مسئله مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی‌های انجام‌شده این نتیجه حاصل شد که با افزایش  $\delta_1$  در بازه‌های مختلف، متغیرهای تصمیم قیمت فروش به توزیع‌کننده توسط تولیدکننده ( $w$ )، قیمت نهایی مصرف‌کننده ( $p$ ) و مبلغ پرداختی به مصرف‌کننده توسط تولیدکننده به ازای محصول مستهلك ( $s$ ) کاهش می‌یابد و در تمامی سناریوها با کاهش قیمت  $w$ ، سود دریافتی تولیدکننده به ازای فروش محصول کاهش دارد و در نهایت تابع سود تولیدکننده کاهش می‌یابد. هم‌چنین با کاهش متغیر  $s$  از آنجایی که مبلغ پرداختی به مصرف‌کننده به ازای محصول مستهلك کاهش می‌یابد، تمایل مصرف‌کننده برای خرید کاهش می‌یابد و تقاضا رو به کاهش می‌رود. هم‌چنین با کاهش قیمت ( $p$ )، میزان سود دریافتی توسط توزیع‌کننده نیز روند کاهشی دارد؛ کاهش تقاضا و کاهش سود ناشی از افول قیمت باعث کاهش سود توزیع‌شده و متعاقباً با کاهش سود توزیع‌کننده و تولیدکننده، تابع سود کل زنجیره نیز کاهش می‌یابد. به‌منظور پیشنهاد جهت انجام تحقیقات آتی می‌توان مدل را به‌صورت چند محصولی تعمیم داد. همین‌طور با لحاظ نمودن عدم

- [15] M. Jin, G. Li and M. Reimann, "Team of rivals: How should original equipment manufacturers cooperate with independent remanufacturers via authorisation?." *European Journal of Operational Research*, vol. 296(3), pp. 837-845, 2022.
- [16] N. Oraiopoulos, M. E. Ferguson, and L. B. Toktay, "Relicensing as a secondary market strategy." *Management Science*, vol. 58(5), pp. 1022-1037, 2012.
- [17] Atasu, M. Sarvary, and L. N. Van Wassenhove, "Remanufacturing as a marketing strategy." *Management science*, vol. 54(10), pp. 1731-1746, 2008.
- [18] S. B. Larsen, D. Masi, D. C. Feibert, and P. Jacobsen, "How the reverse supply chain impacts the firm's financial performance: A manufacturer's perspective." *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2018.
- [19] Y. Huang and Z. Wang, "Closed-loop supply chain models with product take-back and hybrid remanufacturing under technology licensing." *Journal of cleaner production*, vol. 142, pp. 3917-3927, 2017.
- Production Economics, vol. 136(1), pp. 56-66, 2012.
- [11] X. Huang, S. M. Choi, W. K. Ching, T. K. Siu, and M. Huang, "On supply chain coordination for false failure returns: A quantity discount contract approach." *International Journal of Production Economics*, vol. 133(2), pp. 634-644, 2011.
- [12] B. Moghadas Poor and A. Bozorgi, "A closed-loop supply chain network design with considering third party logistics (A case study)." *Iranian Journal of Supply Chain Management*, vol. 22(66), pp. 75-92, 2020. (In Persian)
- [13] M. Soltani Tehrani, M. Mosadegh-Khah, and H. Hassanpour, "Multi-level, multi-product, multi-cycle closed-loop supply chain optimization to reduce supply chain costs." *Iranian Journal of Supply Chain Management*, vol. 18(53), pp. 27-36, 2016. (In Persian)
- [14] M. Seifbarghy and S. Malekpour Kolbadinejhad, "Development of a closed loop supply chain network considering environmental factors and location-inventory decisions under uncertainty." *Iranian Journal of Supply Chain Management*, vol. 22(67), pp. 4-12, 2020. (In Persian)

پیوست

$$D_1 = [(f + c)t + (T_1 - b)(1 - t)] \quad (۱)$$

$$D_2 = \frac{\delta_2 \varphi_0}{2} + \frac{\delta_2^2 c}{4} \quad (۲)$$

$$D_3 = \delta_2^2 - 4\varphi_1 \delta_1 \quad (۳)$$

$$D_4 = \frac{\delta_0 \delta_2}{4} + \frac{\delta_1 \delta_2 c}{4} - \frac{\delta_2 \delta_1 c}{2} \quad (۴)$$

$$D_5 = \frac{\delta_2^2}{4} - 2\delta_1 \varphi_1 \quad (۵)$$

$$H_1 = \varphi_1 [(T_1 - c - b - f)\alpha + b] \quad (۶)$$

$$H_2 = \varphi_1 \alpha - \delta_2 \quad (۷)$$

$$H_3 = \delta_1 \delta_2 + 2\delta_1 H_2 \quad (۸)$$

$$H_4 = -\frac{\delta_1}{2} - \frac{\delta_1 H_3}{2(\delta_2^2 - 4\varphi_1 \delta_1)} \quad (۹)$$

$$H_5 = \frac{\delta_0}{2} - \frac{\delta_2^2 (\delta_0 \delta_2 + 2\delta_1 H_1)}{2(\delta_2^2 - 4\varphi_1 \delta_1)} \quad (۱۰)$$

$$H_6 = -\frac{H_3 \varphi_1}{\delta_2^2 - 4\varphi_1 \delta_1} \quad (۱۱)$$

$$H_7 = \varphi_0 - \frac{\varphi_1 (\delta_0 \delta_2 + 2\delta_1 H_1)}{2(\delta_2^2 - 4\varphi_1 \delta_1)} \quad (۱۲)$$

$$E_1 = (T_2 - c - b - f)\alpha + b \quad (۱۳)$$

$$E_2 = \frac{\delta_0}{2} - \frac{\delta_2 (\varphi_0 - E_1)}{4\varphi_1} \quad (۱۴)$$

$$E_3 = \frac{\delta_2 \varphi_1 \alpha}{4\varphi_1} - \frac{\delta_1}{2} \quad (۱۵)$$

$$E_4 = \frac{\varphi_0}{2} + \frac{E_1}{2} \quad (۱۶)$$

$$E_5 = \frac{\varphi_1 \alpha}{2} \quad (۱۷)$$

$$E_6 = E_5 [(f + c)\alpha + (T_1 - b)(1 - \alpha)] \quad (۱۸)$$

## **Presenting a Mathematical Model for the Collection and Reproduction of Depreciated Products in a Closed Loop Supply Chain Using the Game Theory**

**M. Safari, M. Fallah\*, H. Kazemipoor**

\*Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

(Received: 22/01/2022; Accepted: 21/02/2022)

### **Abstract**

*In the real world, remanufacturing depreciated products for the purpose of cost reduction in supply chains, is recognized as a competitive advantage. In this paper, an appropriate approach for collecting and remanufacturing depreciated products in a closed-loop supply chain is considered with the aim of reducing costs using the Stackelberg game theory. To this end, the considered chain members include the manufacturer, the retailer, and the remanufacture contractor (as the third party to the contract). In this research, the four following scenarios are considered and the results are analyzed: 1) Payment by the manufacturer to collect and reproduce the depreciated product; 2) Joint payment of an amount by the retailer and the manufacturer to collect and reproduce the depreciated product; 3) Joint payment of an amount by the manufacturer and the third party to the contract to collect and reproduce the depreciated product; 4) Payment by the manufacturer for collection and non-reproduction of the product. The computational results show that the chain profit will reach its maximum amount with the optimal reproduction rate considering the third scenario, and the chain members will gain more benefits than other scenarios. The findings of this research indicate that when the reproduction process does not take place, the lowest possible profit is made in the chain. The sensitivity analysis performed by increasing the effect of the final product price on customer demand in different periods, shows a decreasing trend in the three decision variables of final product price, selling price to the retailer, and the amount paid to the customer for each consumed product.*

**Keywords:** Closed-loop Supply Chain, Depreciated Product, Collection and Remanufacturing; Pricing, Game Theory