Research in Production and Operations Management
University of Isfahan E-ISSN: 2981-0329
Vol. 15, Issue 3, No. 38, Autumn 2024
https://doi.org/10.22108/pom.2024.141851.1571

(Research paper)

Evaluation of Different Product Collection Structures Used in Closed-Loop Supply Chains with Consideration of Inspection Costs and Price-Dependent Demand

Mostafa Farokhiani
Department of Industrial Engineering, Imam Hossein University, Tehran, Iran, mostafa.farokhiani@ihu.ac.ir
Ali Shahandeh*
Department of Industrial and Systems Eng., Isfahan Univ. of Tech., Isfahan, Iran, ali-nook@iut.ac.ir

Purpose: This paper aims to study the different structures of collecting products used in the closed-loop supply chain to maximize the profit of the chain members, especially the manufacturer, using the game theory. Therefore, to obtain the equilibrium points of the decision variables of the manufacturer and the retailer, different structures of a collection of used products have been investigated in single-channel, dual-channel and triple-channel.

Design/methodology/approach: In this research, pricing in the reverse supply chain has been investigated in terms of different structures of product collection. Three categories of single-channel structure, dual-channel structure and triple-channel structure have been considered. In all structures, there is a manufacturer and a retailer. In the first structure, the manufacturer collects the products. In the second and third structures, the product collection operation has been assigned to the retailer and the third party, respectively. In the fourth, fifth, and sixth structures, the collection of products is done in combination with two separate channels. In the fourth and fifth structures, respectively, the manufacturer together with a retailer and the manufacturer together with a third- party have done the work of collecting the products. In the sixth structure, the responsibility of collecting the products has been assigned to the retailer and the third company simultaneously. In the seventh structure, the manufacturer together with the retailer and the third party carried out the product collection operation. The solution approach has been Stackelberg's game theory, in which the manufacturer is the leader and the retailer and the third party are the followers. First, the equilibrium values of the decision

* Corresponding author, Orcid: 0000-0002-4007-8289 2981-0329 / © University of Isfahan
This is an open access article under the CC-BY-NC-ND 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

variables were obtained simultaneously for the retailer and the third party and were placed in the manufacturer's profit function. Then the equilibrium values of the decision variables have been obtained.

Findings: The results indicated that in single-channel structures if the basic market demand is lower than the product collection cost factor, it would be better for the manufacturer to collect the used products alone. In two-channel structures, the manufacturer is better off collecting the used products jointly with the retailer or third party. Also, a threshold for the product collection cost coefficient has been determined, above which the producer will benefit from using the three-channel structure.

Research limitations/implications: Government interference, the lack of knowledge of a suitable collection structure, etc., are major challenges to managers in choosing the appropriate collection approach. Therefore, one of the important decisions faced by manufacturing companies is how to design a proper structure for collecting used products. For future work, more manufacturers and retailers can be used. It is also possible to outsource the inspection work to a retailer or a third party. Also, other structures can be examined, for example, in a structure where there are several manufacturers and several retailers, structures with more than triple channels can be considered.

Practical implications: Comparing the mathematical and parametric analysis in a supply chain where the manufacturer plays the main role, it would be better for the manufacturer to collect the products himself. But if it is to be outsourced. It would be better for him and the retailer to do the collection. Also, if the manufacturer is supposed to work with a retailer and a third party, he prefers to outsource the work to the retailer and the third party rather than doing it with the third party.

Social implications - There are many reasons why recycling and collecting used products are important. It can help reduce carbon footprint, save energy, prevent pollution, reduce greenhouse gases, and more.

Originality/value: In this research, in addition to examining single-channel and dual-channel structures, the triple-channel structure was studied and their results were analysed. In this research, due to the product inspection cost, it was observed that in single-channel structures, the first structure (the structure in which, the manufacturer collects products) creates the most profit for the manufacturer and the supply chain compared to other single-channel structures. In similar studies, the second structure (the retailer is a collector's member) creates the most profit for the manufacturer and the supply chain. Also, in this research, for the first time, all the collection structures were analysed and investigated to distinguish the known structures based on mathematical and parametric analysis.

Keywords: Closed-loop supply chain, Remanufacturing, Used products, Third-party, Dual channel, Triple channel

پژوهش در مدیریت تولید و عملیات، دوره ۱۵، شماره ۳، پیاپی ۳۸، پاییز ۱۴۰۳
دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۴ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۴ ص ۵۵-۹۰
https://doi.org/10.22108/pom.2024.141851.1571

(مقالهٔ پژوهشی)

ارزیابی ساختارهای متفاوت جمع‌آوری محصولات استفاده‌شده در زنجیرهٔ تأمین حلقه‌بسته با در نظر گرفتن هزینهٔ بازرسی و تقاضای وابسته به قیمت

مصطفی فرخیانی[۱]؛ علی شاهنده[۲*]

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین ، تهران، ایران، mostafa.farokhiani@ihu.ac.ir
۲- استاد دانشکده مهندسی صنایع و سیستمها، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران ali-nook@iut.ac.ir

چکیده: با توجه به اهمیت روزافزون مفهوم بازیافت و بازگردانی محصولات در زنجیرهٔ تأمین، فرآیند دفع محصولات استفاده‌شدهٔ قدیمی، یک جزء اساسی از مسئولیت‌های شرکت‌هاست. با توجه به قوانین زیست‌محیطی شدید، رشد فزایندهٔ شرکت‌ها منجر شده است تا شرکت‌ها استراتژی‌های مناسب مدیریتی را در برنامه‌ریزی تولیدشان به کار گیرند. یک استراتژی، تنظیم برنامه‌ای برای جمع‌آوری و پردازش محصولات جمع‌آوری‌شده از مشتریان است. در این مقاله، ساختارهای مختلف جمع‌آوری محصولات استفاده‌شده در زنجیرهٔ تأمین حلقه‌بسته، با هدف بیشینه‌کردن سود اعضای زنجیره، به‌ویژه تولیدکننده، با استفاده از نظریهٔ بازی بررسی می‌شود. بنابراین به‌منظور به دست آوردن نقاط تعادلی متغیرهای تصمیم تولیدکننده و خرده‌فروش، ساختارهای مختلف گردآوری محصولات استفاده‌شده در قالب یک‌کاناله، دو کاناله و سه‌کاناله بررسی شده است. در ساختارهای تک‌کاناله، تولیدکننده یک خرده‌فروش یا یک شرکت ثالث محصولات استفاده‌شده را جمع‌آوری می‌کند. در ساختارهای دو کاناله، دو عضو و در ساختار سه‌کاناله، هر سه عضو، محصولات را جمع‌آوری می‌کنند. هزینه‌ای برای جمع‌آوری محصولات استفاده شده و هزینه‌ای نیز برای بازرسی و شناسایی اقلام استفاده‌شدنی در نظر گرفته شده است. در تمام ساختارها، تولیدکننده محصولات اصلی را به خرده‌فروش و خرده‌فروش نیز محصول را در بازاری با تقاضای وابسته به قیمت می‌فروشد. در این تحقیق، نقاط تعادلی متغیرهای تصمیم تولیدکننده و خرده‌فروش محاسبه می‌شوند. ساختارها از دید تولیدکننده، به‌عنوان عضو اصلی طراحی‌کننده این ساختارها تحلیل و با محاسبات شرایطی تعیین می‌شوند که در آن هر ساختار بهتر از دیگر ساختارها عمل می‌کند. حسب نتایج به دست آمده در ساختارهای یک‌کاناله، اگر تقاضای پایهٔ بازار کمتر از ضریب هزینهٔ جمع‌آوری محصولات باشد، بهتر است که تولیدکننده به‌تنهایی محصولات استفاده‌شده را جمع‌آوری کند. در ساختارهای دوکاناله، بهتر است تولیدکننده محصولات استفاده‌شده را به‌طور مشترک با خرده‌فروش یا شرکت ثالث جمع‌آوری کند. همچنین آستانه‌ای برای ضریب هزینهٔ جمع‌آوری محصولات تعیین شده است که تولیدکننده بالاتر از آن از به‌کارگیری ساختار سه‌کاناله سود می‌برد. در پایان نیز متغیرهای تصمیم اعضای زنجیرهٔ تأمین براساس پارامترهای موجود بررسی و تحلیل شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: زنجیرهٔ تأمین حلقه بسته، قیمت‌گذاری، جمع‌آوری محصولات استفاده‌شده

* نویسنده مسئول، Orcid: 0000-0002-4007-8289

2981-0329 / © University of Isfahan
This is an open access article under the CC-BY-NC-ND 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

۱- مقدمه

در طی سال‌های اخیر، مدیران صنایع دریافتند که به‌منظور بقا در بازار رقابتی، لازم است علاوه بر تقویت فرایندهای داخلی سازمان، نظارت صحیحی نیز بر فعالیت‌های بیرون از سازمان انجام دهند. با پیدایش چنین نگرشی، یکی از مفاهیمی که به‌تازگی در ارتباط با زنجیرهٔ تأمین به آن توجه شده است، زنجیره‌های تأمین حلقه بسته[۱] است که لجستیک معکوس[۲]، یکی از فرآیندهای مهم در نظر گرفته می‌شود. در زنجیرهٔ تأمین رو به جلو[۳]، مشتری آخرین عنصر در فرآیند است، ولی در یک زنجیرهٔ تأمین حلقه‌بسته، فرآیندهای بازگشتی و بازیافت محصولات استفاده‌شده آخرین فرآیند است (Abbasi et al., 2022; Hong and yeh, 2012).

هماهنگی در زنجیرهٔ تأمین از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. زنجیره‌های تأمین حلقه‌بسته نیز از این قاعده مستثنا نیستند. پس با توجه به اهمیت موضوع جمع‌آوری، بازیافت و فرآیند دفع برای محصولات استفاده‌شده و قدیمی، یک جزء اساسی از مسئولیت‌های شرکت‌هاست. یکی از مواردی که کشورهای توسعه‌یافته بیشتر با آن سر و کار دارند، در رابطه با جمع‌آوری ضایعات الکتریکی و الکترونیکی است؛ برای مثال، تنها در آمریکا حدود ۵۰۰ میلیون رایانهٔ منسوخ یا استفاده‌ناپذیر وجود دارد، اما فقط ۱۰درصد آنها بازیافت می‌شوند. بسیاری از مواد قراضهٔ الکترونیکی به‌دلیل مواد خطرناک موجود در آن، مانند سرب، کادمیوم و جیوه، خطرات جدی را به وجود می‌آورند. به همین سبب نهادهای دولتی در اروپا و شمال آمریکا، دفع تجهیزات الکترونیکی حاوی مواد سمی را تنظیم می‌کنند. بعضی از دولت‌ها از تولیدکنندگان درخواست می‌کنند که بعد از فروش محصولات جدید و یا بازیافتی، محصولات قدیمی را جمع‌آوری کنند و یا به‌طور مناسب آنها را کنار بگذارند. بسیاری از تولیدکننده‌ها، مشتریان را به بازگشت محصولات برای بازیافت یا دفع موظف می‌کنند؛ برای مثال در سال ۲۰۰۸ شرکت اچ پی[۴]، ۲۶۵ میلیون پوند از محصولات استفاده‌شده‌اش را جمع‌آوری کرد. در سال ۲۰۰۸ شرکت دل[۵]، گزارش داد که حدود ۱۳۵ میلیون پوند از محصولاتش را بازتولید کرده است. امروزه شرکت دل قادر است حدود ۹۵درصد از محصولاتش را بازیافت و دوباره از آنها استفاده کند. با توجه به اینکه بازیافت محصولات و ضایعات، شهرت و فروش بالقوهٔ شرکت‌ها را در بین مشتریان افزایش می‌دهد، مطالعات بسیاری دربارهٔ مدیریت لجستیک معکوس برای کالاهای استفاده‌شده بحث می‌کنند (Hong and yeh, 2012).

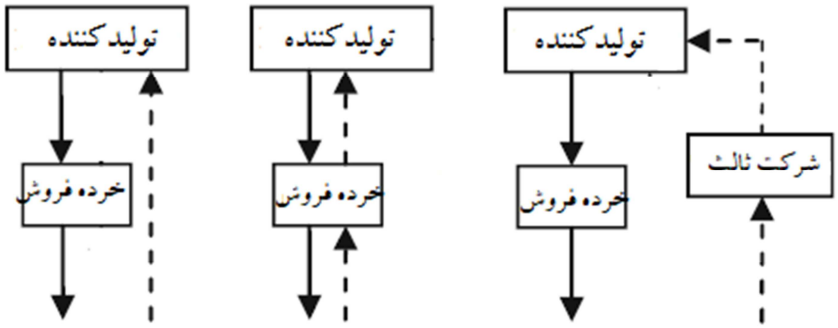
شرکت‌های بسیاری همچون بوش، کداک، دل و... از دو یا چند کانال برای گردآوری محصولات استفاده‌شده استفاده می‌کنند؛ برای نمونه، شرکت ایکس راکس[۶] فروشندگانش را ملزم می‌کند که مشتریانشان می‌توانند به‌طور مستقیم محصولات استفاده‌شده را بدون متحمل‌شدن هزینه‌ای برگردانند. بعضی از تولیدکنندگان هنوز به‌طور مستقیم محصولات استفاده‌شدهٔ را خودشان جمع‌آوری نمی‌کنند. آنها انگیزه‌هایی برای شرکت ثالثی ایجاد می‌کنند تا او را تشویق به جمع‌آوری کنند (Hong et al., 2013).

در این پژوهش، قیمت‌گذاری در زنجیرهٔ تأمین معکوس با در نظر گرفتن ساختارهای مختلف جمع‌آوری محصولات بررسی می‌شود. در این تحقیق سه ساختار یک‌کاناله، سه ساختار دوکاناله و یک ساختار سه‌کاناله بررسی می‌شود. در همهٔ ساختارها یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش وجود دارد. در ساختار اول، جریان بازگشتی را تولیدکننده انجام می‌دهد. در این ساختار، تولیدکننده نیز محصولات جدید را تولید می‌کند و به خرده‌فروش

می‌فروشد و خرده‌فروش نیز آنها را به مشتریان می‌فروشد. در ساختارهای دوم و سوم، عملیات جمع‌آوری محصولات به‌ترتیب به خرده‌فروش و شرکت ثالثی واگذار می‌شود.

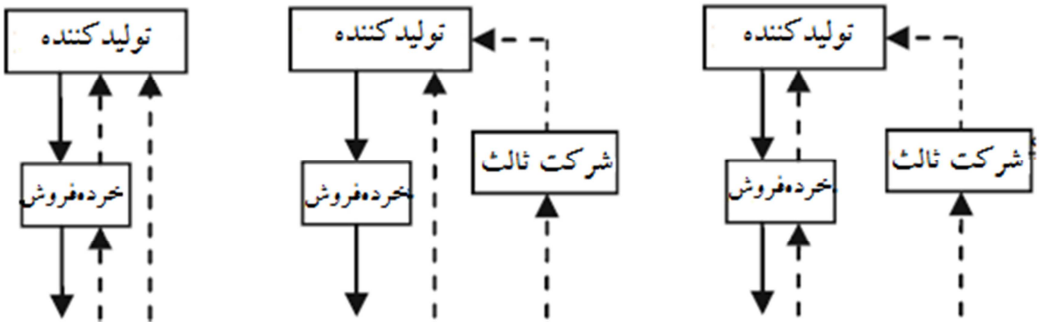
در ساختارهای چهارم، پنجم و ششم، جمع‌آوری محصولات با دو کانال مجزا انجام می‌شود. در ساختارهای چهارم و پنجم، به‌ترتیب تولیدکننده به‌همراه یک خرده‌فروش و تولیدکننده به‌همراه یک شرکت ثالث، کار جمع‌آوری محصولات را انجام می‌دهند. در ساختار ششم، مسئولیت جمع‌آوری محصولات به‌صورت هم‌زمان به خرده‌فروش و شرکت ثالث واگذار می‌شود. در ساختار هفتم، تولیدکننده به همراه خرده‌فروش و شرکت ثالث عملیات جمع‌آوری محصولات را انجام می‌دهند (Hong et al., 2013).

در همه‌ی ساختارها محصول جمع‌آوری‌شده ابتدا از سوی تولیدکننده بازرسی می‌شود و درصدی از محصولات جمع‌آوری‌شده که پتانسیل بازتولید را داشته باشند، با صرف هزینه‌ای کمتر از هزینهٔ ساخت تولید محصول جدید بازتولید و تحت قیمت مشخص به خرده‌فروش فروخته می‌شوند و خرده‌فروش نیز آنها را تحت قیمت مشخص به مشتریان می‌فروشد. مقداری نیز ضایعات شده است که با اعمال هزینه‌ای دورریز خواهد شد. در شکل‌های ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب، ساختارهای یک‌کاناله، دوکاناله و سه‌کاناله برای جمع‌آوری محصولات آورده شده‌اند.



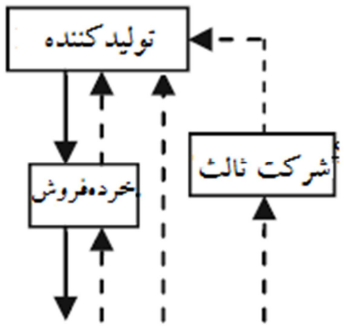
شکل ۱- ساختارهای یک‌کاناله برای جمع‌آوری محصولات

Fig.1- single structures for collecting used products



شکل۲- ساختارهای دوکانالهٔ جمع‌آوری محصولات

Fig.2- dual channel structres for collectig used products



شکل۳- ساختار سه‌کانالهٔ جمع‌آوری محصولات

Fig.3- triple channel structure for collecting used products

۲- پیشینهٔ پژوهش

۲-۱ ساختارهای یک‌کاناله

در بسیاری از مطالعات، زنجیره‌های تأمین حلقه بسته با یک کانال جمع‌آوری بررسی شده‌اند. در ساختارهای یک‌کاناله، محصولات را خود تولیدکننده و یا خرده‌فروش جمع‌آوری می‌کنند و گاهی نیز مسئولیت جمع‌آوری به شرکت ثالث محول می‌شود. ابتدا تحقیقاتی بررسی می‌شود که در آنها خرده‌فروش محصولات را جمع‌آوری می‌کند. در تحقیق مایتی و گیری[۷] (۲۰۱۷)، یک زنجیرهٔ تأمین حلقه‌بسته شامل یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش بررسی شد. خرده‌فروش محصولات استفاده‌شده را به دو روش بازیافت می‌کند. آنها مطالعهٔ خود را با سیاست‌های استکلبرگ تولیدکننده، استکلبرگ خرده‌فروش، تعادل نش و همکارانه بررسی کردند و نتیجه گرفتند که در شرایط همکارانه، سود زنجیرهٔ تأمین بهتر می‌شود.

دی گیووانی و زاکور[۸] (۲۰۱۴) یک زنجیرهٔ تأمین حلقه‌بستهٔ دو دوره‌ای را در نظر گرفتند که در آن تولیدکننده تصمیم می‌گیرد محصولات را در پایان دورهٔ عمرشان جمع کند یا به خرده‌فروش و شرکت ثالث برای جمع‌آوری برون‌سپاری کند. آنها نشان دادند برون‌سپاری به خرده‌فروش، مؤثرتر خواهد بود.

به این منظور هونگ و یه[۹] (۲۰۱۲) یک مدل بررسی کردند که در آن خرده‌فروش محصولات را در پایان عمرشان جمع‌آوری و تولیدکننده با یک شرکت ثالث، برای کنترل مصرف محصولات همکاری می‌کند. در همین تحقیق مدلی ارائه شد که در آن خرده‌فروش محصولات را در پایان دورهٔ عمرشان جمع‌آوری می‌کند. در این مدل تولیدکننده با یک شرکت ثالثی برای جمع‌آوری محصولات استفاده‌شده همکاری می‌کند. نتیجهٔ این تحقیق نشان می‌دهد که نرخ بازگشت، سود تولیدکننده و سود کل اعضای زنجیره در مدل جمع‌آوری با خرده‌فروش، معمولاً بیشتر از ساختار جمع‌آوری بدون خرده‌فروش است. چوی و همکاران[۱۰] (۲۰۱۳) نشان دادند که اگر خرده‌فروش محصولات را در یک زنجیرهٔ تأمین حلقه‌بسته با یک تولیدکننده، یک خرده‌فروش و یک جمع‌کننده، جمع‌آوری کند، ازنظر سودآوری برای تولیدکننده به‌صرفه‌تر است. در برخی از تحقیقات انجام‌شده در این زمینه، محصولات را خود تولیدکننده جمع‌آوری می‌کند. در تحقیق رن و همکاران[۱۱] (۲۰۲۰) یک کانال CLSC بررسی شد که در آن تولیدکننده محصولات استفاده‌شده را جمع‌آوری می‌کرد. آنها مسئله را در دو حالت همکارانه و غیرهمکارانه حل کردند. نتایج نشان داد که در حالت همکاری، سود بیشتری عاید زنجیرهٔ تأمین می‌شود. همچنین در تحقیقات

لجستیک معکوس، دولت و حمایت‌های آن نقش مهمی دارد. ژانگ و همکاران[۱۲] (۲۰۲۱) یک زنجیرهٔ تأمین حلقه‌بستهٔ متشکل از تولیدکننده، خرده‌فروش و شرکت ثالث را بررسی کردند. آنها تأثیر سیاست‌های یارانهٔ دولت را مطالعه کردند. نتایج نشان داد بدون سیاست‌های یارانهٔ دولت، بازتولید برای اعضای CLSC بهتر است. از طرفی جولای و همکاران[۱۳] (۲۰۲۱) نقش دولت را در قیمت‌گذاری و تصمیمات سبز لجستیک معکوس مطالعه کردند. در مدل آنها، دو تولیدکننده و دو خرده‌فروش با یکدیگر رقابت می‌کنند. آنها مسئله را تحت تعادل نش و استکلبرگ (رویکرد حل) حل کردند و در تعادل نش، نتایج بهتری ازنظر سودآوری به دست آمد. کلبر و همکاران[۱۴] (۲۰۱۸) ادعا کردند که زنجیرهٔ تأمین حلقه‌بسته با در نظر گرفتن حمایت‌های دولت، یک فرضیه‌ای می‌سازد که تمایل مشتریان به خرید محصول بازتولیدشده، کسری از تمایل آنها به خرید محصول جدید است. این کسر، فاکتور تخفیف نامیده و فرض می‌شود که میان مشتریان ثابت است. آنها نتیجه گرفتند فاکتور تخفیف متنوع، محصولات بازتولیدشده را برای مشتریان جذاب‌تر می‌کند و سود را برای این محصولات افزایش می‌دهد.

تولیدکنندگان به‌دلیل کمبود منابع و دلایل زیست‌محیطی، تمایل به شرکت در بازتولید محصولات را دارند. در همین راستا هونگ و همکاران[۱۵] (۲۰۱۵) نشان دادند که تبلیغات نقش مهمی در پذیرش مشتریان برای کالای بازتولیدشده دارد و یک تعرفهٔ دوبخشی ساده، تصمیمات زنجیرهٔ تأمین حلقه‌بستهٔ غیرمتمرکز را هماهنگ می‌کند. چن و همکاران[۱۶] (۲۰۲۱) نشان دادند که زنجیرهٔ تأمین سبز یک لجستیک معکوس است که موجب کاهش ضایعات می‌شود. در مطالعهٔ آنها، مسئله با سناریوهای غیرهمکارانه، تعادل نش، استکلبرگ و همکارانه بررسی شد و آنها پیشنهاد کردند که ذی‌نفعان تصمیمات و قیمت‌گذاری را تحت سناریوی همکارانه اتخاذ کنند. همچنین شیمادا و واسنهو[۱۷] (۲۰۱۹) تأثیر قانون بازیافت را در صنعت لوازم خانگی در ژاپن بررسی کردند. مطالعهٔ آنها نشان داد که دولت‌ها برای حفظ شرایط محیطی و سودآوری بیشتر، ملزم به استفاده از فرآیند زنجیرهٔ تأمین معکوس‌اند و این التزام در آینده بیشتر احساس می‌شود.

یکی از موضوعات جدید که باعث بالابردن انعطاف در زنجیرهٔ تأمین می‌شود، مفهوم هماهنگی[۱۸] است. روییز بنتیز و موریل[۱۹] (۲۰۱۴) قرارداد قیمت عمده‌فروشی[۲۰] و قرارداد برگشت خرید[۲۱] بین تولیدکننده و خرده‌فروش را تحلیل کردند. در این تحقیق، تولیدکننده و خرده‌فروش با تقاضای تصادفی و قیمت خرده‌فروشی خارجی (که به‌صورت پارامتری تعیین می‌شود) مواجه‌اند. نتایج نشان داد وقتی بازیگران در ساختار غیرمتمرکز عمل می‌کنند، هماهنگی بهتری در زنجیرهٔ تأمین به دست می‌آید. چوانگ و همکاران[۲۲] (۲۰۱۴) زنجیرهٔ تأمین حلقه‌بسته را برای محصولات با تکنولوژی بالا با ویژگی چرخهٔ عمر کوتاه و تقاضای متغیر مطالعه کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد جمع‌آوری محصولات استفاده‌شده از سوی خرده‌فروش برای تولیدکننده، باعث هماهنگی و سود بیشتر می‌شود. بررسی‌های گیری و شرما[۲۳] (۲۰۱۶) نشان داد که در یک زنجیرهٔ تأمین حلقه‌بسته، شامل یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش با تقاضای تصادفی تولیدکننده، مقدار بهینهٔ تولید با توجه به عدم قطعیت در تقاضای بازار و کیفیت محصولات تعیین می‌شود. در تحقیق آنها استفاده از یک مدل قرارداد، نوسانات تقاضا را کنترل کرد.

در بیشتر تحقیقات انجام‌شده، تولیدکننده و خرده‌فروش عضو جمع‌آوری‌کنندهٔ محصولات بوده‌اند. در زمینهٔ واگذاری وظیفهٔ جمع‌آوری به شرکت ثالث نیز مطالعاتی انجام شده است. در این زمینه وو و ژو[۲۴] (۲۰۱۹) معتقدند که مدیران به‌طور عمده، با ورود یک شرکت ثالث به‌عنوان بازتولیدکنندهٔ شرکت ثالث موافق‌اند که برای

تولیدکنندگان تجهیزات اصلی ضروری‌اند. نتایج نشان داد بهره‌گیری از شرکت ثالث برای جمع‌آوری محصولات استفاده‌شده در صورتی سودآور است که برای محیط‌زیست ضرر نداشته باشد. سان و همکاران[۲۵] (۲۰۱۵) مدلی را توسعه دادند که قیمت را برای محصولات با دورهٔ عمر کوتاه بهینه می‌کند. در این مدل تصمیم‌گیری در دو حالت مستقل و متمرکز بررسی شد. آنها نشان دادند که کل سود به دست آمده در ساختار مستقل، کمتر از سود زنجیره در ساختار متمرکز است و در ساختار متمرکز (با در نظر گرفتن شرکت ثالث به‌عنوان عضو جمع‌آوری‌کننده) تقاضای بیشتری جلب سیستم می‌شود. همچنین ساهندی و چن[۲۶] (۲۰۲۳) در مطالعهٔ خود، زنجیرهٔ تأمین حلقه‌بستهٔ صنعت دارو را بررسی کردند. در تحقیق آنها تولیدکنندهٔ اصلی، جمع‌آوری محصولات را به شرکت ثالثی واگذار کرد. هدف از انجام این تحقیق، افزایش پایداری در زنجیرهٔ تأمین و کاهش ضایعات دارویی است.

در تحقیق طالبی‌زاده و همکاران[۲۷] (۲۰۲۳) دربارهٔ این بحث شد که محصولات جدید و یا محصولات بازتولیدشده دوستدار طبیعت‌اند یا نه. نتایج به دست آمده نشان داد که خرده‌فروش به‌دنبال شرایطی است که در آن بیشترین سود برای زنجیرهٔ تأمین ایجاد شود.

۲-۲ **ساختارهای** دوکاناله

در این بخش، ساختارهای دوکاناله در جمع‌آوری محصولات استفاده‌شده بررسی می‌شود. در ساختارهای دوکاناله، جمع‌آوری محصولات به‌صورت ترکیبی انجام می‌شود؛ به این صورت که ممکن است جمع‌آوری از سوی تولیدکننده و یکی از اعضای دیگر زنجیره (خرده‌فروش یا شرکت ثالث) انجام شود. همچنین ممکن است وظیفهٔ جمع‌آوری از سوی تولیدکننده به‌صورت هم‌زمان به خرده‌فروش و شرکت ثالث واگذار شود. هونگ و همکاران (۲۰۱۵) سه ساختار کانال معکوس را برای جمع‌آوری محصولات در نظر گرفتند. در ساختار اول، تولیدکننده و خرده‌فروش، در ساختار دوم تولیدکننده و شرکت ثالث و در ساختار سوم، خرده‌فروش و شرکت ثالث جمع‌آوری محصولات را انجام می‌دهند. نتایج نشان داد کانال جمع‌آوری ترکیبی از تولیدکننده و خرده‌فروش، از بین ساختارها بیشترین سود را برای تولیدکننده به‌همراه دارد. به‌تازگی در تحقیقی مشابه (ازنظر ساختار جمع‌آوری) گلی و تیرکولائی[۲۸] (۲۰۲۳) زنجیرهٔ تأمین حلقه‌بستهٔ مواد لبنی را با در نظر گرفتن جریان‌های مالی طراحی کردند. نتایج این تحقیق رشد ۴٫۸درصدی را در دارایی‌های مالی زنجیرهٔ تأمین را نشان داد. وان و هونگ[۲۹] (۲۰۱۹) برای بررسی سیاست‌های قیمت‌گذاری، سیاست‌های قیمت‌گذاری و بازیافت بهینه را برای یک زنجیرهٔ تأمین حلقه‌بسته با یک تولیدکننده و دو بازیافت‌کننده تجزیه و تحلیل کردند. آنها نشان دادند که یارانه‌های تولید مجدد یا بازیافت، باعث ارتقای سطح مصرف و بهبود سود اعضا می‌شود. کونگ و همکاران[۳۰] (۲۰۱۷) زنجیره‌های تأمین حلقه‌بسته با دو کانال را بررسی کردند. آنها نشان دادند که قیمت بهینه و سطح خدمات به تمرکز زنجیره بستگی دارد. در تحقیق وانگ و همکاران[۳۱] (۲۰۲۰)، دو زنجیرهٔ تأمین حلقه‌بسته با جمع‌آوری دوکاناله بررسی شدند. در زنجیرهٔ تأمین اول محصول استفاده‌شده از سوی خرده‌فروش و شرکت ثالث (مدل RT) و در دیگری محصول استفاده‌شده از سوی تولیدکننده و شرکت ثالث جمع‌آوری می‌شود (مدل MT). آنها نشان دادند که در هر دو مدل، مقدار کل جمع‌آوری و سود کلی افزایش می‌یابد. حسینی مطلق و همکاران[۳۲] (۲۰۲۰)، یک زنجیرهٔ تأمین حلقه‌بسته را با یک تولیدکننده و دو خرده‌فروش بررسی کردند که بر سر فروش اقلام و جمع‌آوری محصولات رقابت می‌کنند. مطالعهٔ آنها پایداری

زیست‌محیطی و اقتصادی را ترویج می‌کند. چن و همکاران (۲۰۲۱) استراتژی‌های جمع‌آوری را با ساختارهای جمع‌آوری دوکاناله مطالعه کردند. یک کانال، محصول استفاده‌شده را ازطریق پلتفرم آنلاین جمع‌آوری و کانال دیگر محصولات را ازطریق یک کانال سنتی دریافت می‌کند. آنها ضمن بررسی چهار استراتژی، نشان دادند که مدل سنتی، سود تولیدکننده و خرده‌فروش را بهبود می‌بخشد. ژی و همکاران[۳۳] (۲۰۱۷) یک زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بستهٔ دو کانالی را شامل یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش در نظر گرفتند. تولیدکننده محصول را به قیمت عمده‌فروشی و ازطریق کانال آفلاین به خرده‌فروش می‌فروشد. خرده‌فروش نیز محصول را به قیمت خرده‌فروشی به مشتریان می‌فروشد. همچنین تولیدکننده محصول را در کانال مستقیم و در قیمت مستقیم (آنلاین) به مصرف‌کنندگان می‌فروشد. آنها نشان دادند که قیمت‌های بهینهٔ آفلاین و آنلاین تحت تصمیم‌گیری غیرمتمرکز، بیشتر از قیمت تحت تصمیم‌گیری متمرکز است.

همچنین یولاح[۳۴] (۲۰۲۳) تأثیر حمل و نقل و انتشار کربن را در انتخاب کانال معکوس زنجیرهٔ تأمین حلقه‌بسته مطالعه کردند. در تحقیق او مدل بازتولید تحت ساختارهای مختلف کانال معکوس و سه‌گانه توسعه یافت و بررسی شد. نتایج او نشان داد نرخ بازتولید بهینه با افزایش در فاصلهٔ حمل و نقل معکوس کاهش می‌یابد، اما حمل و نقل مستقیم تأثیری در آن ندارد. علی و همکاران[۳۵] (۲۰۲۳) یک شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین حلقه‌بستهٔ گسترده را ارائه کردند که آثار زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی را با رویکرد چندهدفه بهینه می‌کرد. مدل آنها یک رویکرد و دید سیستمی مناسب را برای اعضای زنجیرهٔ تأمین ایجاد کرد. گائو و همکاران[۳۶] (۲۰۲۴) دربارهٔ تصمیمات جمع‌آوری محصولات در زنجیرهٔ تأمین حلقه‌بسته مطالعه کردند. نتایج آنها نشان داد نرخ بازگشت و میزان سفارش محصولات جدید و بازتولیدشده، به‌ترتیب توابع مقعر و محدبی‌اند.

گلی[۳۷] (۲۰۲۳) نقش بلاک‌چین را در فرآیندهای زنجیرهٔ تأمین حلقه‌بسته بررسی کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که به‌کارگیری فناوری بلاک‌چین، هزینه‌های زنجیرهٔ تأمین را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. در مطالعهٔ فوسون و همکاران[۳۸] (۲۰۲۴) جریان‌های بازگشتی در زنجیرهٔ تأمین حلقه‌بسته با در نظر گرفتن اثر شلاق[۳۹] چرمی بررسی شد. در این تحقیق بعد از بازرسی محصولات از سوی عضو جمع‌آوری‌کننده (شرکت ثالث) و ارجاع آنها به عضو بالاتر، از طرف تولیدکننده بازتولید می‌شوند. اثر شلاق به کاهش کیفیت محصولات در این زنجیرهٔ تأمین منجر شد. در پژوهشی مشابه نیز، وانگ و همکاران (۲۰۲۴) اشتراک اطلاعات در زنجیرهٔ تأمین حلقه‌بسته را با ساختار دوکاناله و تحت هزینهٔ تولید غیرخطی بررسی کردند. نتایج و مشاهده‌های آنها نشان داد که سود و اطلاعات خرده‌فروش به‌شدت تحت تأثیر تعاملات بین تأمین‌کننده و تولیدکننده است.

۲-۳ **شکاف** تحقیقاتی

در تحقیقات مشابه گذشته مانند ساواسکان و همکاران[۴۰] (۲۰۰۴) و هونگ و یه (۲۰۱۲) به‌ترتیب، ساختارهای تک کاناله و دوکاناله به‌صورت مجزا بررسی شدند. در این پژوهش علاوه بر بررسی ساختارهای یک‌کاناله و دوکاناله، ساختار سه کاناله نیز بررسی و نتایج آنها تحلیل می‌شود. در این تحقیق به‌دلیل استفاده از هزینهٔ بازرسی محصولات، مشاهده شد که در ساختارهای یک‌کاناله، ساختار اول (ساختاری که در آن تولیدکننده محصولات را جمع‌آوری می‌کند) بیشترین سود را نسبت‌به دیگر ساختارهای یک‌کاناله برای تولیدکننده و زنجیره ایجاد می‌کند، در

حالی که در تحقیق ساواسکان و همکاران، ساختار دوم (خرده‌فروش عضو جمع‌آوری‌کننده است) بیشترین سود را برای تولیدکننده و زنجیره ایجاد می‌کند. همچنین در این تحقیق برای اولین بار، همهٔ ساختارهای جمع‌آوری تحلیل و بررسی شدند تا وجه تمایز ساختارهای شناخته‌شده براساس تحلیل‌های ریاضی و پارامتری مشخص شود.

۳- روش‌شناسی پژوهش

۳-۱ معرفی مدل

در این پژوهش، قیمت‌گذاری در زنجیرهٔ تأمین معکوس با لحاظ ساختارهای مختلف جمع‌آوری محصولات بررسی و سه دسته ساختار یک‌کاناله، دوکاناله و یک ساختار سه‌کاناله در نظر گرفته می‌شود. در همهٔ ساختارها یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش وجود دارد. در ساختار اول، جمع‌آوری محصولات را تولیدکننده انجام می‌دهد. در ساختارهای دوم و سوم، عملیات جمع‌آوری محصولات به‌ترتیب به خرده‌فروش و شرکت ثالث واگذار می‌شود. در ساختارهای چهارم، پنجم و ششم، جمع‌آوری محصولات به‌صورت ترکیبی با دو کانال مجزا انجام می‌شود. در ساختارهای چهارم و پنجم، به‌ترتیب تولیدکننده به‌همراه یک خرده‌فروش و تولیدکننده به‌همراه یک شرکت ثالث، کار جمع‌آوری محصولات را انجام می‌دهند. در ساختار ششم، مسئولیت جمع‌آوری محصولات به‌صورت هم‌زمان به خرده‌فروش و شرکت ثالث واگذار می‌شود. در ساختار هفتم تولیدکننده به‌همراه خرده‌فروش و شرکت ثالث، عملیات جمع‌آوری محصولات را انجام می‌دهند.

۳-۲ پارامترها و متغیرهای تصمیم مسئله

به‌منظور مدل‌سازی مسئله، پارامترها و متغیرهای تصمیم به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

جدول۱- متغیرهای تصمیم مدل ریاضی مسئله

Table1- Decision variables of the model

نماد	توضیحات
w	قیمت عمده‌فروشی هر واحد محصول از سوی تولیدکننده به خرده‌فروش
φ_r	ضریب بازگشت محصول از سوی خرده‌فروش
p	قیمت فروش هر واحد محصول از سوی خرده‌فروش به مشتری
φ_t	ضریب بازگشت محصول از سوی شرکت ثالث
φ_m	ضریب بازگشت محصول از سوی تولیدکننده

جدول۲- پارامترها و نمادهای مدل ریاضی مسئله

Table2- Parameters and symbols of the model

نماد	توضیحات
r	قیمت محصولات جمع‌آوری‌شده (برگشتی)
c_m	هزینهٔ تولید محصول اصلی از سوی تولیدکننده
c_r	هزینهٔ بازتولید یا تعمیر محصول برگشتی
c_d	هزینهٔ دورریز محصولات برگشتی
c_i	هزینهٔ بازرسی محصولات برگشتی

نماد	توضیحات
$p1$	هزینه پرداختی محصولات بازیافتی از سوی خرده‌فروش به مشتریان
$w1$	هزینهٔ پرداختی محصولات بازیافتی از سوی تولیدکننده به خرده‌فروش
F	هزینهٔ ثابت بازگشت محصولات
λ	درصد ضایعات محصولات
d	تقاضای پایه در بازار
γ	ضریب حساسیت تقاضا به قیمت در بازار
Π_m	تابع سود تولیدکننده
Π_r	تابع سود خرده‌فروش
Π_t	تابع سود شرکت ثالث
Π_{mi}	سود تعادلی تولیدکننده در ساختار i ام (i=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)
w_i	قیمت عمده‌فروشی تعادلی تولیدکننده در ساختار i ام
φ_{mi}	نرخ بازگشت تعادلی محصولات تولیدکننده در ساختار i ام
Π_{ri}	سود تعادلی خرده‌فروش در ساختار i ام
p_i	قیمت خرده‌فروشی تعادلی خرده‌فروش در ساختار i ام
φ_{ri}	نرخ بازگشت تعادلی محصولات خرده‌فروش در ساختار i ام
Π_{ti}	سود تعادلی شرکت ثالث در ساختار i ام
φ_{ti}	نرخ بازگشت تعادلی محصولات شرکت ثالث در ساختار i ام

۳-۳ مفروضات مسئله

در این پژوهش، مفروضات زیر در نظر گرفته می‌شوند:

- میزان تقاضا به قیمت محصولات وابسته است؛
- هزینهٔ پرداختی تولیدکننده به شرکت ثالث و خرده‌فروش برای محصولات بازگشتی یکسان است؛
- رویکرد حل به‌صورت نظریهٔ بازی استکلبرگ است که در آن تولیدکننده رهبر و خرده‌فروش و شرکت ثالث پیرو هستند. ابتدا مقادیر تعادلی متغیرهای تصمیم به‌صورت هم‌زمان برای خرده‌فروش و شرکت ثالث به دست می‌آیند و در تابع سود تولیدکننده جایگذاری می‌شوند؛ سپس مقادیر تعادلی متغیرهای تصمیم به دست می‌آیند؛
- هزینهٔ تولید محصول جدید از هزینهٔ بازتولید محصول بازگشتی بیشتر است؛
- محصول بازتولیدشده تحت قیمت مشخص به خرده‌فروش فروخته می‌شود و خرده‌فروش نیز آن را تحت قیمت مشخص و کمتر از قیمت محصول جدید، به بازار عرضه می‌کند؛
- محصولات برگشتی با هزینهٔ c_i از سوی تولیدکننده بازرسی می‌شوند؛
- بخشی از محصولات برگشتی پس از بازرسی به‌عنوان محصول ضایعاتی شناخته شده و با اعمال هزینهٔ c_d، دورریز می‌شوند؛
- محصول جدید با قیمت c_m *از سوی* تولیدکننده تولید و با قیمت w به خرده‌فروش فروخته می‌شود و خرده‌فروش نیز آن را با قیمت p به مشتری می‌فروشد؛
- محصولات بازگشتی پذیرفته‌شده با هزینهٔ c_r بازتولید و با قیمت مشخص $w1$ به خرده‌فروش فروخته می‌شود و خرده‌فروش با قیمت مشخص $p1$ به مشتری می‌فروشد؛

- ❖ هزینهٔ r برای محصولاتی پرداخت می‌شود که بعد از بازرسی پذیرفته می‌شوند؛
- ❖ تقاضای محصولات بازگشتی ضریبی از تقاضای محصولات جدید است؛
- ❖ هزینهٔ ثابت جمع‌آوری محصولات از سوی جمع‌کننده $F\varphi^2$ و F یک پارامتر ثابت از جنس هزینه است.

در این مدل تقاضا به‌صورت وابسته به قیمت، به‌صورت زیر فرض می‌شود:

$$D(p) = d - \gamma p \qquad (۱)$$
$$d, \gamma \geq 0$$

که در این رابطه γ پارامتر حساسیت به قیمت محصول و d نیز تقاضای پایه در بازار است.

در ادامه سه دسته ساختار جمع‌آوری محصولات بررسی و حل شده‌اند. در دستهٔ اول ساختارهای یک‌کاناله، در دستهٔ دوم ساختارهای دوکاناله و در دستهٔ سوم یک ساختار سه‌کاناله قرار دارند. ساختارهای اول، دوم و سوم در دستهٔ اول، ساختارهای چهارم، پنجم و ششم در دستهٔ دوم و ساختار هفتم در دستهٔ سوم قرار دارند.

۴- مطالعهٔ موردی و یافته‌ها

در این بخش، هفت ساختار مورد بررسی این تحقیق با استفاده از نظریهٔ بازی حل می‌شوند و مقادیر تعادلی متغیرهای تصمیم به دست می‌آیند. همان‌گونه که قبلاً هم اشاره شد، مدل مدنظر این تحقیق برگرفته از مدل ساواسکان و همکاران (۲۰۰۴) و هونگ و همکاران (۲۰۱۳) است. با توجه به تعداد متغیرهای تصمیم مسئله، تولیدکننده با دو متغیر تصمیم، خرده‌فروش با دو متغیر تصمیم و شرکت ثالث با یک متغیر تصمیم، زمان حل مسئله و تعداد متغیرهای تصمیم در ساختارهای مختلف، به‌صورت جدول (۳) است.

جدول۳- زمان حل و تعداد متغیرهای تصمیم در ساختارهای مختلف

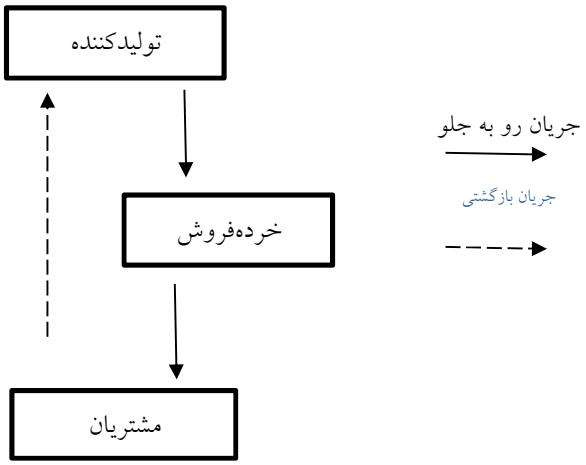
Table3- Solution time and number of decision variables in different structures

ساختار	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم
زمان حل (ثانیه)	۱۲۸	۱۲۵	۱۲۴	۶۰۰	۵۹۸	۶۱۰	۱۵۰۰
تعداد متغیرهای تصمیم	۳	۳	۳	۴	۴	۴	۵

با توجه به جدول (۳) و افزایش تعداد متغیرهای تصمیم در ساختارهای دوکاناله نسبت‌به ساختارهای یک‌کاناله، زمان حل افزایش می‌یابد. به همین ترتیب زمان حل در ساختار سه‌کاناله (ساختار هفتم) افزایش داشته است.

۴-۱ ساختار اول-جمع‌آوری محصولات از سوی تولیدکننده

در این ساختار، تولیدکننده محصولات استفاده‌شده را جمع‌آوری می‌کند. تولیدکننده بعد از جمع‌آوری محصولات، λدرصد از آنها را به‌عنوان ضایعات دور می‌ریزد و مابقی را بازتولید می‌کند و با قیمت مشخص $w1$ به خرده‌فروش می‌فروشد و خرده‌فروش نیز این محصولات را با قیمت مشخص $p1$ به دست مشتری می‌رساند. (شکل۴)



شکل۴- جمع‌آوری محصولات از سوی تولیدکننده

Fig.4- Collection of products by the manufacturer

تابع سود تولیدکننده

$$\Pi_m = (w - c_m)\mathrm{D(p)} + (1-\lambda)(\mathrm{w1} - c_r)\varphi_m \mathrm{D(p)} - c_i\varphi_m \mathrm{D(p)} - \lambda c_d \varphi_m \mathrm{D(p)} - F\varphi_m^2 \qquad (۲)$$

$$st: w، \varphi_m \geq 0، w > mdx(c_m، w1)$$

در رابطهٔ (۲)، عبارت اول و دوم به ترتیب سود فروش محصولات در کانال رو به جلو و کانال برگشتی است. عبارت سوم، هزینهٔ بازرسی محصولات برای تولیدکننده و عبارت‌های چهارم و پنجم نیز به‌ترتیب هزینهٔ دورریز و هزینهٔ ثابت جمع‌آوری محصولات‌اند.

تابع سود خرده‌فروش

$$\Pi_r = (p - w)\mathrm{D(p)} + (1-\lambda)(\mathrm{p1} - \mathrm{w1})\varphi_m \mathrm{D(p)} \qquad (۳)$$

$$\boldsymbol{st: p \geq 0، p \geq w}$$

در رابطهٔ (۳)، عبارت‌های اول و دوم به ترتیب سود محصولات جدید و بازتولیدشده برای خرده‌فروش است.

روابط با استفاده از نرم‌افزار متمتیکا[۴۱] حل و نتایج در ادامه بررسی می‌شوند.

به‌منظور تعیین مقادیر تعادلی ابتدا از رابطهٔ (۳) نسبت‌به متغیر p مشتق گرفته می‌شود.

$$p = \frac{d + w\gamma + (\mathrm{p1} - \mathrm{w1})(-1+\lambda)\gamma\varphi_m}{2\gamma} \qquad (۴)$$

با جایگذاری رابطهٔ (۴) در رابطهٔ (۲)، رابطهٔ (۵) حاصل می‌شود.

$$\begin{aligned}\Pi_{\mathrm{m1}} = {} & \frac{1}{2}w(d - w\gamma) + c_m(-d + w\gamma) + (-(\lambda-1)(d\mathrm{w1} + w(\mathrm{p1} - 2\mathrm{w1})) + \\ & \varphi_m(-(\lambda-1)(d\mathrm{w1} + w(\mathrm{p1} - 2\mathrm{w1})\gamma) - (d - w\gamma)(\lambda c_d + c_i + c_r - \lambda c_r) - 2F\varphi_m \\ & +(\mathrm{p1} - \mathrm{w1})(-1+\lambda)\gamma(\lambda c_d + c_i + (-1+\lambda)(\mathrm{w1} - c_r))\varphi_m\end{aligned} \qquad (۵)$$

با مشتق‌گیری از رابطهٔ (۵) نسبت‌به w و φ_m، مقادیر تعادلی آنها در ساختار اول به‌صورت زیر به دست می‌آید.

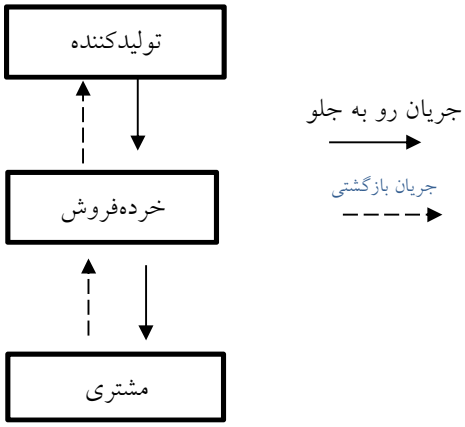
$$\begin{aligned}w_1 = {} & \frac{\gamma(d\lambda c_d + dc_i + (-1+\lambda)((-\mathrm{p1} + \mathrm{w1})\gamma c_m + d(\mathrm{w1} - c_r)))(\lambda c_d + c_i - (-1+\lambda)(\mathrm{p1} - 2\mathrm{w1} + c_r)}{(-8F + \mathrm{p1}^2(-1+\lambda)^2\gamma + \gamma(\lambda c_d + c_i + (-1+\lambda)(2\mathrm{p1} - c_r))(\lambda c_d + c_i - (-1+\lambda)c_r)} \\ & -\frac{\frac{1}{2}(d + \gamma c_m)(-2F + (\mathrm{p1} - \mathrm{w1})\mathrm{w1}(-1+\lambda)^2\gamma + (\mathrm{p1} - \mathrm{w1})(-1+\lambda)\gamma(\lambda c_d + c_i - (-1+\lambda)c_r}{(-8F + \mathrm{p1}^2(-1+\lambda)^2\gamma + \gamma(\lambda c_d + c_i + (-1+\lambda)(2\mathrm{p1} - c_r))(\lambda c_d + c_i - (-1+\lambda)c_r)}\end{aligned} \qquad (۶)$$

$$\varphi_{m1} = \frac{((d - \gamma c_m)(\lambda c_d + c_i + (-1+\lambda)(\mathrm{p1} - c_r)}{(-8F + \mathrm{p1}^2(-1+\lambda)^2\gamma + \gamma(\lambda c_d + c_i + (-1+\lambda)(2\mathrm{p1} - c_r))(\lambda c_d + c_i - (-1+\lambda)c_r)} \qquad (۷)$$

با جایگذاری روابط (۶) و (۷) در روابط سود و متغیرهای تصمیم اعضای زنجیره، مقادیر تعادلی نهایی آنها به دست می‌آید.

۴-۲ ساختار دوم-جمع‌آوری محصولات از سوی خرده‌فروش

در این ساختار گردآوری محصولات بازگشتی را خرده‌فروش انجام می‌دهد و در قبال جمع‌آوری محصولات، مبلغی را از تولیدکننده دریافت می‌کند. در این ساختار ، تولیدکننده محصولات جمع‌آوری‌شده را بازرسی می‌کند که λدرصد از این محصولات به‌عنوان ضایعات دور ریخته می‌شوند. محصولات پذیرفته‌شده با قیمت r از سوی تولیدکننده خریداری و بعد از بازتولید، با قیمت از پیش تعیین شدهٔ $w1$ به خرده‌فروش فروخته می‌شود و خرده‌فروش این محصولات را با قیمت مشخص $p1$ در بازار می‌فروشد (شکل۵).



شکل۵- جمع‌آوری محصولات از سوی خرده‌فروش

Fig.5- collection of products by retailer

تابع سود تولیدکننده

$$\Pi_m = (w - c_m)\mathrm{D(p)} + (1-\lambda)(\mathrm{w1} - c_r)\varphi_r \mathrm{D(p)} - (1-\lambda)r\varphi_r \mathrm{D(p)} - c_i\varphi_r \mathrm{D}(p) - \lambda c_d \varphi_r \mathrm{D(p)} \quad (۸)$$

$$st: w \geq 0, w > mdx(c_m, w1)$$

رابطهٔ (۸)، سود تولیدکننده را نشان می‌دهد: عبارت اول سود فروش از محصولات جدید، عبارت دوم سود فروش از محصولات بازیافتی، عبارت سوم هزینهٔ پرداختی به خرده‌فروش برای محصولات بازگشتی پذیرفته‌شده، عبارت چهارم هزینهٔ بازرسی و عبارت پنجم هزینهٔ دورریز محصولات است.

تابع سود خرده‌فروش

$$\Pi_r = (p - w)\mathrm{D(p)} + (1-\lambda)(\mathrm{p1} - \mathrm{w1})\varphi_r \mathrm{D(p)} + (1-\lambda)r\varphi_r - F\varphi_r^2 \quad (۹)$$

$$\boldsymbol{st: p, \varphi_r \geq 0, p \geq w}$$

رابطهٔ (۹) سود خرده‌فروش را نشان می‌دهد که عبارت‌های اول و دوم به ترتیب سود فروش محصولات جدید و بازیافتی است. عبارت سوم پول دریافتی از تولیدکننده برای جمع‌آوری محصولات و عبارت چهارم هزینهٔ ثابت جمع‌آوری محصولات است.

به‌منظور تعیین مقادیر تعادلی متغیرهای تصمیم خرده‌فروش، با توجه به اینکه رویکرد حل به‌صورت استکلبرگ است، ابتدا از رابطهٔ (۹) نسبت‌به متغیرهای تصمیم p و φ_r مشتق گرفته می‌شود.

$$\mathrm{p} = \frac{(r + d(\mathrm{p1} - \mathrm{w1}))(\mathrm{p1} - \mathrm{w1})(-1+\lambda)^2\gamma - 2F(d + w\gamma)}{\gamma(4F - (\mathrm{p1} - \mathrm{w1})^2(-1+\lambda)^2\gamma)} \quad (۱۰)$$

$$\varphi_r = -\frac{(-1+\lambda)\big(2r + (\mathrm{p1} - \mathrm{w1})(d - w\gamma)\big)}{4F - (\mathrm{p1} - \mathrm{w1})^2(-1+\lambda)^2\gamma} \quad (۱۱)$$

روابط (۱۰) و (۱۱) در رابطهٔ (۸) جایگذاری و تابع سود تولیدکننده به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\Pi_{\mathrm{m2}} = 1/4F - A_1\,(d + (r + A_2 - 2F(d + w\gamma)/(4F - A_1) \quad (۱۲)$$
$$(4FwA_3 + (r - \mathrm{w1}) + (r - \mathrm{p1})w(\mathrm{p1} - \mathrm{w1})\gamma) - (4Fc_m + \lambda)$$
$$(\lambda(2r + 4F(-1+\lambda)((r + d\mathrm{p1} - d\mathrm{w1}) + (\mathrm{p1} - \mathrm{w1})(d - w\gamma)(c_i + c_d)$$

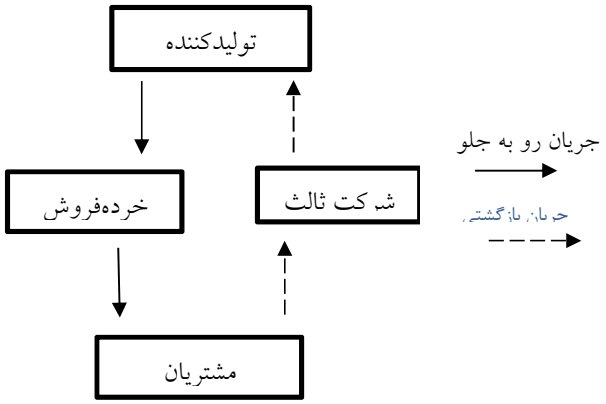
از رابطهٔ (۱۲) نسبت‌به w مشتق گرفته و مقدار تعادلی آن به‌صورت رابطهٔ (۱۳) محاسبه می‌شود.

$$w_1 = (8dF^2 + 2F\big(2r^2 + 2(1+d)r\mathrm{p1} - 2r\mathrm{w1} + d(-\mathrm{p1}^2 + \mathrm{w1}^2)\big)(-1+\lambda)^2\gamma + \quad (۱۳)$$
$$r(\mathrm{p1} - \mathrm{w1})^2(-1+\lambda)^2\gamma)c_d - 4F(-1+\lambda)((r + d\mathrm{p1} - d\mathrm{w1})$$
$$+ B_3\mathrm{B}_1/\big(4F\gamma(4B_1\gamma B_2)\big)$$

با جایگذاری رابطهٔ (۱۳) در روابط سود و متغیرهای تصمیم اعضای زنجیره، مقادیر نهایی تعادلی آنها به دست می‌آیند.

۴-۳ ساختار سوم-جمع‌آوری محصولات از سوی شرکت ثالث

در این ساختار تولیدکننده امر جمع‌آوری محصولات را به یک شرکت ثالث برون‌سپاری و شرکت ثالث نیز در قبال گردآوری محصولات، مبلغی را از تولیدکننده دریافت می‌کند. در این ساختار، مانند ساختار قبل، محصولات جدید در بازار به فروش می‌رسند. محصولات برگشتی از سوی شرکت ثالث جمع‌آوری و بعد از بازرسی محصولات پذیرفته‌شده با قیمت r توسط تولیدکننده خریداری می‌شود و تولیدکننده بعد از پردازش آنها، مجدداً محصولات بازتولیدشده را وارد بازار می‌کند (شکل۶).



شکل۶- جمع‌آوری محصولات توسط شرکت ثالث

Fig.6- collection product by third party

تابع سود تولیدکننده

$$\Pi_m = (w - c_m)\mathrm{D(p)} + (1-\lambda)(\mathrm{w1} - c_r)\varphi_t\mathrm{D(p)} - (1-\lambda)r\varphi_t\mathrm{D(p)} - c_i\varphi_t\mathrm{D(p)} - \quad (۱۴)$$
$$\lambda c_d\varphi_t\mathrm{D(p)}$$

$$st: w \geq 0, w > mdx(c_m, w1)$$

رابطهٔ (۱۴) سود تولیدکننده را نشان می‌دهد که عبارت‌های اول و دوم به ترتیب سود حاصل از فروش محصولات جدید و بازیافتی است. عبارت سوم هزینهٔ پرداختی به شرکت ثالث و عبارت‌های چهارم و پنجم به ترتیب هزینه‌های بازرسی و دورریزند.

تابع سود خرده‌فروش

$$\Pi_r = (p - w)\mathrm{D(p)} + (1 - \lambda)(\mathrm{p1} - \mathrm{w1})\varphi_t \mathrm{D(p)} \quad (۱۵)$$

$$st: p \geq 0, \mathrm{p} \geq \mathrm{w}$$

رابطهٔ (۱۵) سود خرده‌فروش را نشان می‌دهد که عبارت‌های اول و دوم به ترتیب سود حاصل از فروش محصولات جدید و بازیافتی است.

تابع سود شرکت ثالث

$$\Pi_t = (1 - \lambda)r\varphi_t \mathrm{D(p)} - F\varphi_t^2 \quad (۱۶)$$

$$st: \varphi_t \geq 0$$

رابطهٔ (۱۶) سود شرکت ثالث را نشان می‌دهد که عبارت اول مبلغ دریافتی از تولیدکننده و عبارت دوم هزینهٔ ثابت جمع‌آوری محصولات است.

در این ساختار ابتدا از روابط (۱۵) و (۱۶) نسبت‌به متغیرهای تصمیم به p و φ_t مشتق گرفته می‌شود و مقادیر تعادلی متغیرهای تصمیم به‌صورت زیر محاسبه می‌شوند.

$$p = \frac{d + w\gamma - \mathrm{p1}\gamma\varphi_t + \mathrm{w1}\gamma\varphi_t + \mathrm{p1}\lambda\gamma\varphi_t - \mathrm{w1}\lambda\gamma\varphi_t}{2\gamma} \quad (۱۷)$$

$$\varphi_t = \frac{r(-1 + \lambda)(d - w\gamma)}{2(-2F + r(\mathrm{p1} - \mathrm{w1})(-1 + \lambda)^2\gamma)} \quad (۱۸)$$

با جایگذاری روابط (۱۷) و (۱۸) در رابطهٔ (۱۴)، تابع سود تولیدکننده به‌صورت رابطهٔ (۱۹) محاسبه می‌شود.

$$\Pi_{m3} = \frac{(d - w\gamma)(-4F + r(\mathrm{p1} - \mathrm{w1})(-1 + \lambda)^2\gamma)}{8(-2F + r(\mathrm{p1} - \mathrm{w1})(-1 + \lambda)^2\gamma)^2}(-4Fw + \gamma) + (4Fc_m C_3\gamma) + \quad (۱۹)$$
$$r(-1 + \lambda)(\lambda(-d + w\gamma)c_d + (-d + w\gamma)c_i + 2(-\mathrm{p1} + \mathrm{w1})\gamma c_m$$

با مشتق‌گیری از رابطهٔ (۱۹)، مقدار تعادلی w در ساختار سوم به‌صورت رابطهٔ (۲۰) محاسبه می‌شود.

$$w_3 = \frac{2dF + dr(r - \mathrm{p1})(-1 + \lambda)^2\gamma + \gamma(2Fc_m + r(-1 + \lambda)(-d\lambda c_d - dc_i)) + C_2}{\gamma(4F + r(r - 2\mathrm{p1} + \mathrm{w1})(-1 + \lambda)^2\gamma - r(-1 + \lambda)\gamma(\lambda c_d + c_i - (-1 + \lambda)c_r))} \quad (۲۰)$$

با جایگذاری رابطهٔ (۲۰) در روابط سود و متغیرهای تصمیم، مقادیر تعادلی نهایی آنها به دست می‌آیند.

در ادامه لم‌های یک و دو برای بررسی ساختارهای یک‌کاناله از دیدگاه تولیدکننده آورده شده‌اند.

لم یک: ارتباط بین سود تولیدکننده در ساختارهای یک‌کاناله به‌صورت زیر است:

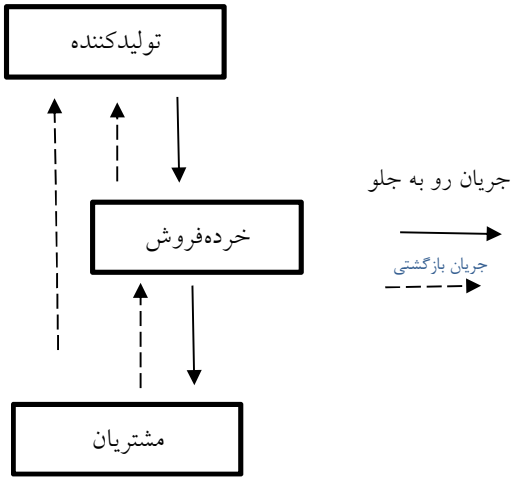
$$\begin{cases} \Pi_{m1} > \Pi_{m2} > \Pi_{m3} & -2dF + r(r - p1) > 4F, (2Fc_m - r(-1 + \lambda) > 8F\gamma \\ \Pi_{m1} < \Pi_{m2} < \Pi_{m3} & -2dF + r(r - p1) < 4F, (2Fc_m - r(-1 + \lambda) < 8F\gamma \end{cases} \quad (۲۱)$$

لم دو: ارتباط بین قیمت عمده‌فروشی در ساختارهای یک‌کاناله به‌صورت زیر است:

$$\begin{cases} w_2 < w_1 < w_3 \;\; if \;\; (\mathrm{p1} + \mathrm{w1})(-1 + \lambda)^3\gamma < (4F + (r - \mathrm{p1})(\mathrm{p1} - \mathrm{w1})) \\ w_2 > w_1 > w_3 \;\; if \;\; (\mathrm{p1} + \mathrm{w1})(-1 + \lambda)^3\gamma > (4F + (r - \mathrm{p1})(\mathrm{p1} - \mathrm{w1})) \end{cases} \quad (۲۲)$$

۴-۴ ساختار چهارم-جمع‌آوری محصولات از سوی تولیدکننده و خرده‌فروش

در این ساختار، عملیات جمع‌آوری به‌صورت ترکیبی و توسط تولیدکننده و خرده‌فروش انجام می‌گیرد. در این ساختار عملیات فرآیند فروش محصولات جدید، مانند ساختارهای قبل است. محصولاتی که خرده‌فروش جمع‌آوری کرده است، بعد از بازرسی، با قیمت r به تولیدکننده فروخته می‌شود و تولیدکننده آنها را بازتولید می‌کند و با قیمت مشخص $w1$ به خرده‌فروش می‌فروشد و خرده‌فروش نیز آنها را با قیمت $p1$ به مشتریان می‌فروشد (شکل۷).



شکل۷- جمع‌آوری محصولات توسط تولیدکننده و خرده‌فروش

Fig.7- collection product by manufacturer and retailer

تابع سود تولیدکننده

$$\Pi_m = (w - c_m)\mathrm{D(p)} + (1-\lambda)(\mathrm{w1} - c_r)(\varphi_m + \varphi_r)\mathrm{D(p)} - (1-\lambda)r\varphi_r\mathrm{D(p)} - c_i(\varphi_m + \varphi_r)\mathrm{D(p)} - \lambda c_d(\varphi_m + \varphi_r)\mathrm{D(p)} - F\varphi_m^2 \quad (۲۳)$$

$$st: w، \varphi_m \geq 0، w > mdx(c_m، w1)$$

رابطهٔ (۲۳) سود تولیدکننده را در ساختار چهارم نشان می‌دهد که در آن عبارت اول سود فروش محصولات در کانال مستقیم و عبارت دوم، سود فروش محصولات بازتولیدشده در کانال برگشتی است. عبارت سوم، هزینهٔ پرداختی به خرده‌فروش برای جمع‌آوری محصولات پذیرفته‌شده، عبارت چهارم هزینهٔ بازرسی محصولات و عبارت‌های پنجم و ششم به ترتیب هزینهٔ دورریز و هزینهٔ ثابت جمع‌آوری محصولات برگشتی‌اند.

تابع سود خرده‌فروش

$$\Pi_r = (p - w)\mathrm{D(p)} + (1-\lambda)(\mathrm{p1} - \mathrm{w1})(\varphi_m + \varphi_r)\mathrm{D(p)} + (1-\lambda)r\varphi_r\mathrm{D(p)} - F\varphi_r^2 \quad (۲۴)$$

$$st: p، \varphi_r \geq 0، p \geq w$$

رابطهٔ (۲۴) سود خرده‌فروش را نشان می‌دهد که در آن عبارت‌های اول و دوم سود محصولات جدید و بازتولید فروخته‌شده، عبارت سوم پول دریافتی از تولیدکننده برای جمع‌آوری محصولات و عبارت چهارم هزینهٔ ثابت بازگشت محصولات برای خرده‌فروش است.

از رابطهٔ (۲۴) نسبت‌به متغیرهای تصمیم p و φ_r مشتق گرفته می‌شود و مقدار تعادلی آنها به‌صورت زیر به دست می‌آید.

$$\mathrm{p} = -\frac{d(r+\mathrm{p1}-\mathrm{w1})^2(-1+\lambda)^2\gamma - 2F(d+w\gamma+(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})(-1+\lambda)\gamma\varphi_m)}{\gamma(4F-(r+\mathrm{p1}-\mathrm{w1})^2(-1+\lambda)^2\gamma)} \quad (۲۵)$$

$$\varphi_r = \frac{(r+\mathrm{p1}-\mathrm{w1})(-1+\lambda)(d-w\gamma-(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})(-1+\lambda)\gamma\varphi_m}{-4F+(r+\mathrm{p1}-\mathrm{w1})^2(-1+\lambda)^2\gamma} \quad (۲۶)$$

روابط (۲۵) و (۲۶) را در رابطهٔ (۲۳) جایگذاری و تابع سود تولیدکننده برحسب مقادیر تعادلی فوق به‌صورت رابطهٔ (۲۷) محاسبه می‌شود.

$$\Pi_{m4} = -\frac{2rF(r+\mathrm{p1}-\mathrm{w1})(-1+\lambda)^2(-d+w\gamma+(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})(-1+\lambda)\gamma\varphi_m)^2}{(-4F+(r+\mathrm{p1}-\mathrm{w1})^2(-1+\lambda)^2\gamma)^2} + \quad (۲۷)$$
$$(w-c_m)(2r+4\mathrm{p1}-2\mathrm{w1}-c_r)(\lambda c_d+c_i-(-1+\lambda)c_r-\lambda c_d D_1 D_2$$
$$+(1-\lambda)(\mathrm{w1}-c_r)D_1D_2-F\varphi_m^2))$$

از رابطهٔ (۲۷) نسبت‌به متغیرهای تصمیم w و φ_m مشتق گرفته می‌شود و مقادیر تعادلی آنها به‌صورت روابط (۲۸) و (۲۹) به دست می‌آید.

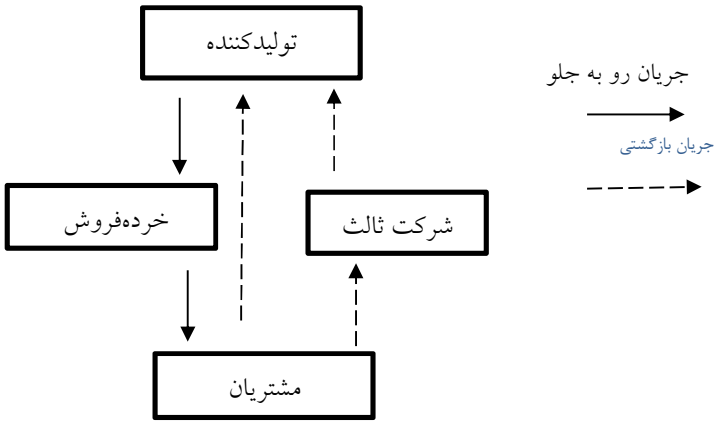
$$w_4 = \frac{(-4dF+D_4)+\gamma D_5+(-1+\lambda)^2c_i(dc_r(-2r-3\mathrm{p1}+\mathrm{w1}+c_r)+\gamma c_m)+\gamma c_m D_6}{(\gamma(-8F+\mathrm{p1}(2r+3\mathrm{p1}-2\mathrm{w1})(-1+\lambda)^2\gamma+\gamma(\lambda c_d+c_i+(-1+\lambda)D_3)} \quad (۲۸)$$

$$\varphi_{\mathrm{m4}} = \frac{((d-\gamma c_m)(\lambda c_d+c_i+(-1+\lambda)(\mathrm{p1}-c_r))}{(-8F+\mathrm{p1}(2r+3\mathrm{p1}-2\mathrm{w1})(-1+\lambda)^2\gamma+\gamma(\lambda c_d+c_i-1+\lambda)(2r+4\mathrm{p1}-2\mathrm{w1}-c_r)} \quad (۲۹)$$

با جایگذاری روابط (۲۸) و (۲۹) در روابط سود و متغیرهای تصمیم اعضای زنجیرهٔ مقادیر تعادلی نهایی آنها به دست می‌آیند.

۴-۵ ساختار پنجم-جمع‌آوری محصولات توسط تولیدکننده و شرکت ثالث

در این ساختار گردآوری محصولات استفاده‌شده از سوی تولیدکننده و شرکت ثالث انجام می‌شود. شرکت ثالث در قبال هر محصول جمع‌آوری‌شده و پذیرفته‌شده که به تولیدکننده می‌فروشد، r واحد پول دریافت می‌کند. خود تولیدکننده نیز با توجه به نرخ بازگشت، بخشی از محصولات را جمع‌آوری و بازتولید می‌کند (شکل۸).



شکل۸- جمع‌آوری محصولات توسط شرکت ثالث و تولیدکننده

Fug.8- Collection products by manufacturer and third party

تابع سود تولیدکننده

$$\Pi_m = (w - c_m)\mathrm{D(p)} + (1-\lambda)(\mathrm{w1} - c_r)\left(\varphi_t + \varphi_m\right)\mathrm{D(p)} - (1-\lambda)r\varphi_t\mathrm{D(p)} - \quad (۳۰)$$
$$c_i(\varphi_t + \varphi_m)D(p) - \lambda c_d(\varphi_t + \varphi_m)D(p) - F\varphi_m^2 \; st{:}\; w, \varphi_m \geq 0, w > mdx(c_m, w1)$$

در رابطهٔ (۳۰)، عبارت اول و دوم به ترتیب سود فروش محصولات جدید و بازتولیدشده، عبارت سوم هزینهٔ پرداختی به شرکت ثالث برای محصولات برگشتی پذیرفته‌شده، عبارت چهارم هزینهٔ بازرسی محصولات توسط تولیدکننده و عبارت‌های پنجم و ششم به ترتیب هزینهٔ دورریز و هزینهٔ ثابت جمع‌آوری محصولات‌اند.

تابع سود خرده‌فروش

$$\Pi_r = (p - w)\mathrm{D(p)} + (1-\lambda)(\mathrm{p1} - \mathrm{w1})(\varphi_t + \varphi_m)\mathrm{D(p)} \qquad st{:}\; p \geq 0, \mathrm{p} \geq \mathrm{w} \quad (۳۱)$$

رابطهٔ (۳۱) بدیهی و قبلاً تعریف شده است.

تابع سود شرکت ثالث

$$\Pi_t = (1-\lambda)r\varphi_t\mathrm{D(p)} - F\varphi_t^2 \qquad st{:}\; \varphi_t \geq 0 \quad (۳۲)$$

در رابطهٔ (۳۲)، عبارت اول پول دریافتی از تولیدکننده برای شرکت ثالث و عبارت دوم هزینهٔ ثابت جمع‌آوری محصولات است.

در این ساختار ابتدا از روابط (۳۱) و (۳۲) نسبت‌به متغیرهای تصمیم به p و φ_t مشتق گرفته می‌شود و مقادیر تعادلی متغیرهای تصمیم خرده‌فروش و شرکت ثالث به ترتیب به‌صورت روابط (۳۳) و (۳۴) به دست می‌آیند.

$$\mathrm{p} = -\frac{-d - w\gamma + (\mathrm{p1} - \mathrm{w1})(1-\lambda)\gamma(\varphi_m + \varphi_t)}{2\gamma} \quad (۳۳)$$

$$\varphi_{\mathrm{t}} = \frac{r(-1+\lambda)(-d + w\gamma + (\mathrm{p1} - \mathrm{w1})(-1+\lambda)\gamma\varphi_m)}{4F - 2r(\mathrm{p1} - \mathrm{w1})(-1+\lambda)^2\gamma} \quad (۳۴)$$

با جایگذاری روابط (۳۳) و (۳۴) در رابطهٔ (۳۰)، تابع هدف تولیدکننده در ساختار پنجم با توجه به مقادیر تعادلی خرده‌فروش و شرکت ثالث به‌صورت زیر (رابطهٔ ۳۵) به دست می‌آید.

$$\Pi_{\mathrm{m5}} = -\frac{-r^2(1-\lambda) - d - w\gamma + (\mathrm{p1} - \mathrm{w1})(1-\lambda)E_2 - \lambda c_d E_1}{4F - 2r(\mathrm{p1} - \mathrm{w1})(-1+\lambda)^2\gamma} + (\mathrm{p1} - \mathrm{w1})(1-\lambda))E_1 \quad (۳۵)$$
$$+(w - c_m)\left(d + \gamma E_1 - d - w\gamma + (\mathrm{p1} - \mathrm{w1})(1-\lambda)\right)\left(d + \frac{1}{2} + (1-\lambda)(\mathrm{w1} - c_r)(-d - w\gamma - F\varphi_m^2\right)$$

در اینجا نیز از رابطهٔ (۳۵) نسبت‌به متغیرهای تصمیم w و φ_{m} مشتق گرفته می‌شود و مقادیر تعادلی متغیرهای تصمیم به‌صورت زیر به دست می‌آیند.

$$w_5 = \frac{dE_2 + \lambda^3\gamma E_3 - E_5 + \gamma(d(-1+\lambda)^2E_6c_r - c_mE_2 - E_7 + \lambda\gamma c_{dE_5} + (-1+\lambda)E_4\gamma c_i}{\gamma E_8 + \gamma(\lambda c_d + c_i) - (-1+\lambda)c_r)(-1+\lambda)^3\gamma E_9 - E_{10}} \quad (۳۶)$$

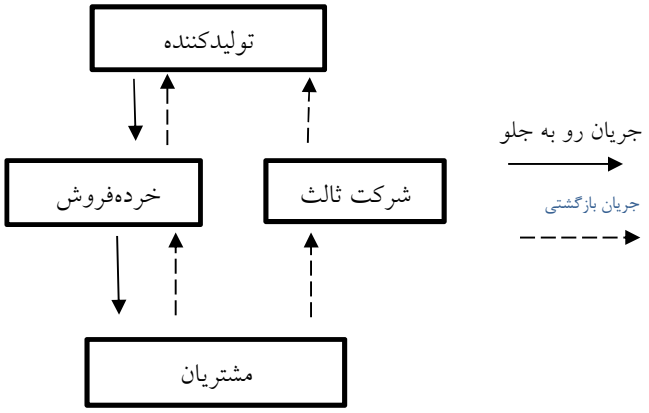
$$\varphi_{\mathrm{m5}} = \frac{(4F - r(\mathrm{p1} - \mathrm{w1})(-1+\lambda)^2\gamma)(\lambda c_d + c_i + (-1+\lambda)(\mathrm{p1} - c_r))(-d + \gamma c_m)}{32F^2 + (\lambda c_d + c_i - (-1+\lambda)c_r) + E_{12}(-1+\lambda)^3\gamma + E_{11}4F(-1+\lambda)^4\gamma^2} \quad (۳۷)$$

با جایگذاری روابط (۳۶) و (۳۷) در روابط سود و متغیرهای تصمیم اعضای زنجیره، مقادیر تعادلی نهایی آنها به دست می‌آیند.

۴-۶ ساختار ششم-جمع‌آوری محصولات توسط خرده‌فروش و شرکت ثالث

در این ساختار تولیدکننده به‌صورت ترکیبی بازیافت را به خرده‌فروش و شرکت ثالث به‌صورت هم‌زمان برون‌سپاری می‌کند. محصولات جمع‌آوری‌شدهٔ پذیرفته‌شده از سوی خرده‌فروش و شرکت ثالث با قیمت r به

تولیدکننده فروخته می‌شود و تولیدکننده بعد از بازتولید، آنها را وارد چرخه تولید می‌کند و با قیمت مشخص $w1$ به خرده‌فروش می‌فروشد وخرده‌فروش نیز آنها را با قیمت مشخص $p1$ به بازار عرضه می‌کند (شکل۹).



شکل۹- جمع‌آوری محصولات توسط خرده‌فروش و شرکت ثالث

Fig.9- collection products by retailer and third party

تابع سود تولیدکننده

$$\Pi_m = (w - c_m)\mathrm{D(p)} + (1-\lambda)(\mathrm{w1} - c_r)(\varphi_t + \varphi_r)\mathrm{D(p)} - (1-\lambda)r(\varphi_t + \varphi_r)\mathrm{D}(p) - c_i(\varphi_t + \varphi_r)D(p) - \lambda c_d(\varphi_t + \varphi_r)D(p) \quad (۳۸)$$

$$st: w \geq 0, w > mdx(c_m, w1)$$

در رابطهٔ (۳۸)، عبارت‌های اول و دوم سود فروش محصولات جدید و بازتولیدشده، عبارت سوم هزینهٔ پرداختی به شرکت ثالث و خرده‌فروش و عبارت‌های چهارم و پنجم به‌ترتیب هزینه‌های بازرسی و دورریزند.

تابع سود خرده‌فروش

$$\Pi_r = (p - w)\mathrm{D(p)} + (1-\lambda)(\mathrm{p1} - \mathrm{w1})(\varphi_t + \varphi_r)\mathrm{D(p)} + (1-\lambda)r\varphi_r\mathrm{D(p)} - F\varphi_r^2 \quad (۳۹)$$

$$st: p, \varphi_r \geq 0, p \geq w$$

در رابطهٔ (۳۹)، عبارت‌های اول و دوم سود فروش از محصولات، عبارت سوم مبلغ دریافتی از تولیدکننده بابت محصولات جمع‌آوری‌شده و عبارت چهارم هزینهٔ ثابت جمع‌آوری محصولات است.

تابع سود شرکت ثالث

$$\Pi_t = (1-\lambda)r\varphi_t\mathrm{D(p)} - F\varphi_t^2 \qquad st: \varphi_t \geq 0 \quad (۴۰)$$

در رابطهٔ (۴۰)، عبارت اول مبلغ دریافتی از تولیدکننده بابت محصولات جمع‌آوری‌شده و عبارت دوم هزینهٔ ثابت جمع‌آوری محصولات برای شرکت ثالث است.

ابتدا از رابطهٔ (۳۹) نسبت‌به متغیرهای تصمیم به p و φ_r مشتق گرفته می‌شود و مقدارهای تعادلی متغیرهای تصمیم آن به ترتیب به‌صورت روابط (۴۱) و (۴۲) به دست می‌آیند.

$$p = -\frac{d(r + \mathrm{p1} - \mathrm{w1})^2(-1+\lambda)^2\gamma - 2F(d + w\gamma + (\mathrm{p1} - \mathrm{w1})(-1+\lambda)\gamma\varphi_t)}{\gamma(4F - (r + \mathrm{p1} - \mathrm{w1})^2(-1+\lambda)^2\gamma)} \quad (۴۱)$$

$$\varphi_r = \frac{(r + \mathrm{p1} - \mathrm{w1})(-1+\lambda)(d - w\gamma - (\mathrm{p1} - \mathrm{w1})(-1+\lambda)\gamma\varphi_t)}{-4F + (r + \mathrm{p1} - \mathrm{w1})^2(-1+\lambda)^2\gamma} \quad (۴۲)$$

از رابطهٔ (۴۰) نیز نسبت‌به متغیر تصمیم φ_t مشتق گرفته می‌شود و مقدار آن به‌صورت رابطهٔ (۴۳) به دست می‌آید.

$$\varphi_t = \frac{r(-1+\lambda)(d-w\gamma)}{-4F+(r^2+4r(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})+(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})^2)(-1+\lambda)^2\gamma} \quad (۴۳)$$

با جایگذاری روابط (۴۱)، (۴۲) و (۴۳) در رابطهٔ (۳۸)، تابع سود تولیدکننده به‌صورت رابطهٔ (۴۴) خواهد بود.

$$\begin{aligned}\Pi_{m6} &= \frac{wF_3F_4+((d(r-\mathrm{w1})(-1+\lambda)^2+c_r)F_2+F_3(-1+\lambda)^2(d-w\gamma)+\frac{d(r+\mathrm{p1}-\mathrm{w1})^2(-1+\lambda)^2\gamma-2F(d+w\gamma+F_1)}{4F-(r+\mathrm{p1}-\mathrm{w1})^2(-1+\lambda)^2\gamma}-c_m}{4F-(r^2+4r(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})+(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})^2)(-1+\lambda)^2\gamma)(4F-(r+\mathrm{p1}-\mathrm{w1})^2(-1+\lambda)^2\gamma} \\ &- \frac{4F-\left(\gamma-\frac{F_1}{d-w\gamma}\right)F_2+F_3-(-1+\lambda)^2\gamma F_2}{4F-(r^2+4r(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})+(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})^2)(-1+\lambda)^2\gamma)(4F-(r+\mathrm{p1}-\mathrm{w1})^2(-1+\lambda)^2\gamma)}\end{aligned} \quad (۴۴)$$

در اینجا نیز از رابطهٔ (۴۴) نسبت‌به متغیر تصمیم w مشتق گرفته و مقدار تعادلی قیمت عمده‌فروشی برای ساختار ششم به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$w_6 = \frac{-(F_5+F_6)d(16F^2-8FF_8F_7-2d(c_d+c_m+c_i)F_9-4(F_6-4F)}{-2\gamma F_6^2F_5(-16F^2+4FF_{10}(-1+\lambda)^2\gamma+(r+\mathrm{p1}-\mathrm{w1})F_{11})}\frac{F_6+F_9(\lambda c_d+c_i-(-1+\lambda)c_r)}{F_6} \quad (۴۵)$$

با قرار دادن رابطهٔ (۴۵) در روابط سود و متغیرهای تصمیم اعضای زنجیره، مقادیر تعادلی نهایی برای متغیرهای تصمیم و توابع سود مسئله در این ساختار به دست می‌آیند.

در ادامه لم‌های سه و چهار برای بررسی ساختارهای دوکاناله از دیدگاه تولیدکننده ارائه شده‌اند.

لم سه: ارتباط بین سود تولیدکننده در ساختارهای دوکاناله به‌صورت زیر است:

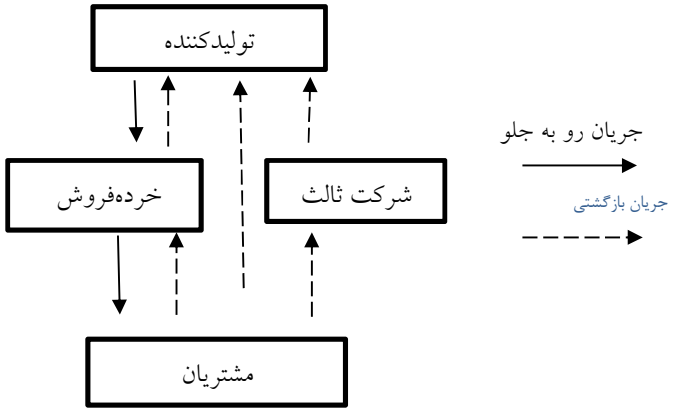
$$\begin{cases}\Pi_{m4}>\Pi_{m6}>\Pi_{m5} & if \quad (r^2+3r(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})+(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})^2)<4F \\ \Pi_{m4}<\Pi_{m6}<\Pi_{m5} & if \quad (r^2+3r(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})+(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})^2)>4F\end{cases} \quad (۴۶)$$

لم چهار: ارتباط بین قیمت عمده‌فروشی در ساختارهای دوکاناله به‌صورت زیر است:

$$\begin{cases}w_4<w_6<w_5 & if \quad \left(2Fc_m+r(-1+\lambda)\right)<(\lambda c_d+c_i-(-1+\lambda)c_r), \\ & (2r^2+4r(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})+(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})^2)>4F-(-1+\lambda)^2\gamma)C_2 \\ w_4>w_6>w_5 & if \quad \left(2Fc_m+r(-1+\lambda)\right)>(\lambda c_d+c_i-(-1+\lambda)c_r), \\ & (2r^2+4r(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})+(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})^2)<(4F-(-1+\lambda)^2\gamma)C_2\end{cases} \quad (۴۷)$$

۴-۷ ساختار هفتم-جمع‌آوری محصولات توسط تولیدکننده، خرده‌فروش و شرکت ثالث

در این ساختار، تولیدکننده، خرده‌فروش و شرکت ثالث به‌صورت هم‌زمان عملیات جمع‌آوری محصولات را انجام می‌دهند. محصولات گردآوری‌شده و پذیرفته‌شده از سوی خرده‌فروش و شرکت ثالث با قیمت r به تولیدکننده فروخته می‌شود و تولیدکننده بعد از بازتولید، آنها را وارد چرخهٔ تولید می‌کند و با قیمت مشخص $w1$ به خرده‌فروش می‌فروشد وخرده‌فروش نیز آنها را با قیمت مشخص $p1$ به بازار عرضه می‌کند. محصولات جمع‌آوری‌شده توسط تولیدکننده نیز، بعد از بازرسی وارد فرآیند بازتولید می‌شوند. فرآیند فروش محصول جدید همانند رویه‌های قبل است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- جمع‌آوری محصولات توسط تولیدکننده، خرده‌فروش و شرکت ثالث

Fig.10- Collection products by manufacturer, retailer and third party

تابع سود تولیدکننده

$$\Pi_m = (w - c_m)\mathrm{D(p)} + (1-\lambda)(\mathrm{w1} - c_r)(\varphi_t + \varphi_r + \varphi_m)\mathrm{D(p)} - (1-\lambda)r(\varphi_t + \varphi_r)\mathrm{D(p)} \quad (۴۸)$$
$$-c_i(\varphi_t + \varphi_r + \varphi_m)\mathrm{D(p)} - \lambda c_d(\varphi_t + \varphi_r + \varphi_m)\mathrm{D(p)} - F\varphi_m^2$$
$$st: w، \varphi_m \geq 0، w > mdx(c_m، w1)$$

در رابطهٔ (۴۸)، عبارت‌های اول و دوم به ترتیب سود فروش محصولات جدید و بازتولیدشده، عبارت سوم هزینهٔ پرداختی به شرکت ثالث و خرده‌فروش و عبارت‌های چهارم و پنجم به ترتیب هزینه‌های بازرسی و دورریزند. عبارت ششم نیز هزینهٔ ثابت جمع‌آوری محصولات است.

تابع سود خرده‌فروش

$$\Pi_r = (p - w)D(p) + (1-\lambda)(p1 - w1)(\varphi_t + \varphi_r + \varphi_m)D(p) + (1-\lambda)r\varphi_r D\mathrm{(p)} - F\varphi_r^2 \quad (۴۹)$$
$$st: p، \varphi_r \geq 0، p \geq w$$

در رابطهٔ (۴۹)، عبارت‌های اول و دوم به ترتیب سود فروش از محصولات جدید و بازتولیدشده برای خرده‌فروش‌اند. عبارت سوم پول دریافتی از تولیدکننده و عبارت چهارم هزینهٔ ثابت جمع‌آوری محصولات است.

تابع سود شرکت ثالث

$$\Pi_t = (1-\lambda)r\varphi_t\mathrm{D(p)} - F\varphi_t^2 \qquad st: \varphi_t \geq 0 \quad (۵۰)$$

در رابطهٔ (۵۰)، عبارت اول هزینهٔ دریافتی از تولیدکننده و عبارت دوم هزینهٔ ثابت بازگشت محصولات برای شرکت ثالث است.

ابتدا با مشتق‌گیری از رابطهٔ (۴۹)، نسبت به متغیرهای تصمیم p و φ_r مقادیر تعادلی آنها به ترتیب به‌صورت روابط (۵۱) و (۵۲) به دست می‌آیند.

$$p = -\frac{d(r + p1 - w1)^2(-1+\lambda)^2\gamma - 2F(d + w\gamma + (p1 - w1)(-1+\lambda)\gamma(\varphi_m + \varphi_t)}{\gamma(4F - (r + p1 - w1)^2(-1+\lambda)^2\gamma)} \quad (۵۱)$$

$$\varphi_r = \frac{(r + \mathrm{p1} - \mathrm{w1})(-1+\lambda)(d - w\gamma - (\mathrm{p1} - \mathrm{w1})(-1+\lambda)\gamma(\varphi_m + \varphi_t)}{-4F + (r + \mathrm{p1} - \mathrm{w1})^2(-1+\lambda)^2\gamma} \quad (۵۲)$$

با مشتق‌گیری از رابطهٔ (۵۰) نسبت‌به متغیر تصمیم φ_t، مقدار تعادلی نرخ بازگشت محصولات شرکت ثالث به‌صورت رابطهٔ (۵۳) به دست می‌آید.

$$\varphi_t = \frac{r(-1+\lambda)(d - w\gamma - (\mathrm{p1} - \mathrm{w1})(-1+\lambda)\gamma\varphi_m)}{-4F + (r^2 + 4r(\mathrm{p1} - \mathrm{w1}) + (\mathrm{p1} - \mathrm{w1})^2)(-1+\lambda)^2\gamma} \quad (۵۳)$$

در ادامه با جایگذاری روابط (۵۱)، (۵۲) و (۵۳) در رابطهٔ (۴۸)، رابطهٔ (۵۴) حاصل می‌شود.

$$\Pi_{m7} = [-F\varphi_m^2 + (w - c_m) + (1-\lambda)(w1 - c_r - r) - \lambda c_d - c_i](d + \frac{d - w\gamma - (p1 - w1)(-1+\lambda)\gamma\varphi_m E_1}{-4F + (r + p1 - w1)^2(-1+\lambda)^2\gamma} + \frac{r(-1+\lambda)(d - w\gamma - (p1-w1)(-1+\lambda)\gamma\varphi_m)}{-4F + (r^2 + 4r(p1-w1) + (p1-w1)^2)(-1+\lambda)^2\gamma}) \quad (۵۴)$$

با مشتق‌گیری از رابطهٔ (۵۴) نسبت‌به متغیرهای تصمیم مقادیر تعادلی w و φ_m، به ترتیب به‌صورت روابط (۵۵) و (۵۶) خواهد بود.

$$w = \frac{(-1+\lambda)\gamma c_i(-4dF(2r + \mathrm{p1} + \mathrm{w1}) + dE_2 - F_3 + d\gamma(2dc_i + ((-1+\lambda)(\mathrm{p1} - \mathrm{w1})\gamma c_m - 2dc_r))E}{2\lambda\gamma c_d E_2 + F_3\lambda^2\gamma + \mathrm{p1}D_3B_1r^2(3\mathrm{p1} - 2\mathrm{w1}) + r(5\mathrm{p1} - 4\mathrm{w1})(\mathrm{p1} - \mathrm{w1}) + \gamma E_8} \quad (۵۵)$$

$$\varphi_m = \frac{4F - (r^2 + r(\mathrm{p1} - \mathrm{w1}) + (\mathrm{p1} - \mathrm{w1})^2)(-1+\lambda)^2\gamma(-d + \gamma c_m)(\lambda c_d + c_i + (-1+\lambda)(\mathrm{p1} - c_r)}{2F_4(-1+\lambda)\gamma c_i + F_3 p1(-1+\lambda)^4\gamma^2 + (-1+\lambda)^2 - E_3\lambda^2\gamma c_d^2} \quad (۵۶)$$

در پایان با جایگذاری روابط (۵۵) و (۵۶) در توابع سود و متغیرهای تصمیم اعضای زنجیره، مقادیر تعادلی نهایی آنها به دست می‌آیند.

در ادامه لم‌های پنج، شش و هفت برای بررسی همهٔ ساختارها از دیدگاه تولیدکننده آورده شده‌اند.

لم پنج: ارتباط بین سود تولیدکننده در ساختار اول (بهترین ساختار یک‌کاناله ازنظر سودآوری)، ساختار چهارم (بهترین ساختار دوکاناله ازنظر سودآوری) و ساختار هفتم به‌صورت زیر است:

$$\begin{cases} \Pi_{m7} > \Pi_{m4} > \Pi_{m1} & if \quad C_2 > (-8F + \mathrm{p1}^2(-1+\lambda)^2 \\ \Pi_{m7} < \Pi_{m4} < \Pi_{m1} & if \quad C_2 < (-8F + \mathrm{p1}^2(-1+\lambda)^2 \end{cases} \quad (۵۷)$$

لم شش: ارتباط بین قیمت عمده‌فروشی در ساختارهای دوم، چهارم و هفتم به‌صورت زیر است:

$$\begin{cases} w_7 < w_4 < w_2 \quad if \quad (\mathrm{p1} + \mathrm{w1})(-1+\lambda)^3\gamma < 4F + (r - \mathrm{p1})(\mathrm{p1} - \mathrm{w1}), \\ \qquad\qquad\qquad (-1+\lambda)^2 4F(r + d\mathrm{p1} - d\mathrm{w1}) < F_1 \\ w_7 > w_4 > w_2 \quad if \quad (\mathrm{p1} + \mathrm{w1})(-1+\lambda)^3\gamma > 4F + (r - \mathrm{p1})(\mathrm{p1} - \mathrm{w1}), \\ \qquad\qquad\qquad (-1+\lambda)^2 4F(r + d\mathrm{p1} - d\mathrm{w1}) > F_1 \end{cases} \quad (۵۸)$$

لم هفت: ارتباط بین نرخ بازگشت محصولات تولیدکننده در ساختارهایی که تولیدکننده در عملیات جمع‌آوری محصولات نقش دارد، به‌صورت زیر است:

$$\begin{cases} \varphi_{m7} > \varphi_{m4} > \varphi_{m5} > \varphi_{m1} \quad if \quad (-1+\lambda)^2\gamma - C_2 > r\mathrm{p1}^2 - 4F, \\ \qquad\qquad \lambda^2\gamma(-1+\lambda)(\mathrm{p1} - c_r) < (4F - (\mathrm{p1} - \mathrm{w1})^2(-1+\lambda)^2\gamma) \\ \varphi_{m7} < \varphi_{m4} < \varphi_{m5} < \varphi_{m1} \quad if \quad (-1+\lambda)^2\gamma - C_2 < r\mathrm{p1}^2 - 4F, \\ \qquad\qquad \lambda^2\gamma(-1+\lambda)(\mathrm{p1} - c_r) > (4F - (\mathrm{p1} - \mathrm{w1})^2(-1+\lambda)^2\gamma) \end{cases} \quad (۵۹)$$

۵- بحث

۵-۱ تحلیل پارامتری

در این بخش، ابتدا توابع سود و متغیرهای تصمیم به دست آمده برای تولیدکننده، خرده‌فروش و شرکت ثالث برای هفت ساختار مطرح‌شده به ازای مقادیر مختلف بعضی از پارامترهای مسئله، با ساختارهای دیگر بررسی و مقایسه می‌شود. به‌منظور تحلیل پارامتری، ابتدا سود تولیدکننده به‌صورت سه‌بعدی نسبت‌به پارامترهای λ ،γ و r تحلیل و بررسی می‌شود و در ادامه نیز سود و برخی از متغیرهای تصمیم اعضای زنجیرهٔ تأمین این مطالعه، به ازای پارمترهای هزینهٔ بازگشتی محصولات استفاده‌شده، تقاضای پایه در بازار، هزینهٔ ثابت گردآوری محصولات و ضریب حساسیت به قیمت بررسی می‌شوند. به‌دلیل تعدد پارامترها، پارامترهایی برای تحلیل انتخاب شدند که متغیرهای تصمیم مسئله بیشترین حساسیت را به آنها داشته باشند. بعد از تحلیل حساسیت‌های به عمل آمده و بررسی روابط ریاضی، مهم‌ترین پارامترها برای تحلیل متغیرهای تصمیم استفاده می‌شوند. سود تولیدکننده به ازای تقاضای پایه در بازار بررسی و مشاهده می‌شود که رفتار صعودی سود تولیدکننده نسبت‌به این پارامتر منوط به این است که مقدار این پارامتر از ۳۰ کمتر نباشد. همچنین ضریب بازگشت محصولات برای تولیدکننده به‌ازای هزینهٔ ثابت جمع‌آوری محصولات نزولی است. درواقع هرچه این هزینه برای تولیدکننده بیشتر باشد، تولیدکننده رغبت کمتری به جمع‌آوری محصولات دارد. سود خرده‌فروش نیز، به ازای ضریب حساسیت تقاضا به قیمت بررسی و مشاهده می‌شود هرچه حساسیت تقاضای بازار به قیمت بیشتر در نظر گرفته شود، سود خرده‌فروش کاهش می‌یابد. برای شرکت ثالث هم مشاهده می‌شود که هرچه قیمت بیشتری برای محصولات بازگشتی‌اش لحاظ شود، نرخ بازگشت محصولاتش بیشتر می‌شود.

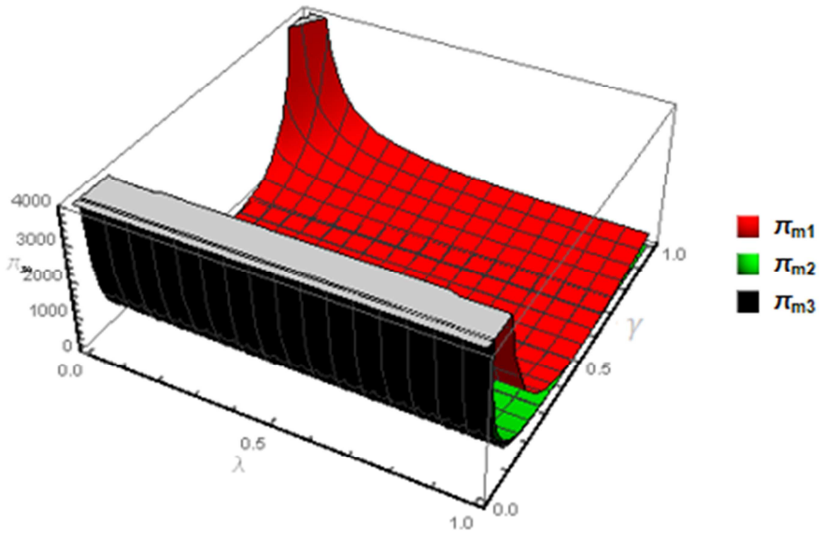
برای رسم نمودار و همچنین حل مثال‌های عددی، از مقادیر پارامتری جدول (۴) استفاده می‌شود.

جدول۴- مقادیر مرتبط با پارامترهای مسئله

Table4- Values for problem parameters

پارامتر	d	γ	λ	r	c_m	c_r	c_i	c_d	F	$p1$	$w1$
مقدار	۷۵	۰/۱۸	۰/۰۵	۲۰	۱۳۰	۵۰	۳	۱/۵	۱۴۰۰	۱۶۰	۱۲۰

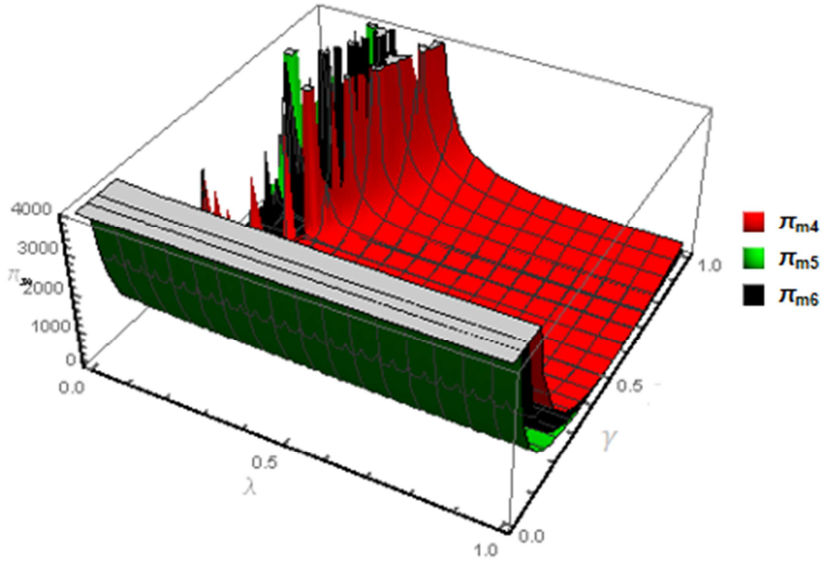
ابتدا در شکل (۱۱) سود تولیدکننده در ساختارهای یک‌کاناله نسبت‌به دو پارامتر λ و γ بررسی و مقایسه می‌شود (در این شکل منظور از π_{m1} سود تولیدکننده در ساختار اول و منظور از π_{m2} سود تولیدکننده در ساختار دوم و به همین ترتیب دیگر ساختارهاست).



شکل۱۱- سود مورد انتظار تولیدکننده در ساختارهای یک‌کاناله براساس مقادیر مختلف λو γ

Fig.11- manufacturer's expected profit in single structures based on different values of λ and γ

در ادامه و در شکل (۱۲) نیز، ساختارهای دوکاناله نسبت‌به مقادیر مختلف λ و γ بررسی و تحلیل می‌شوند.

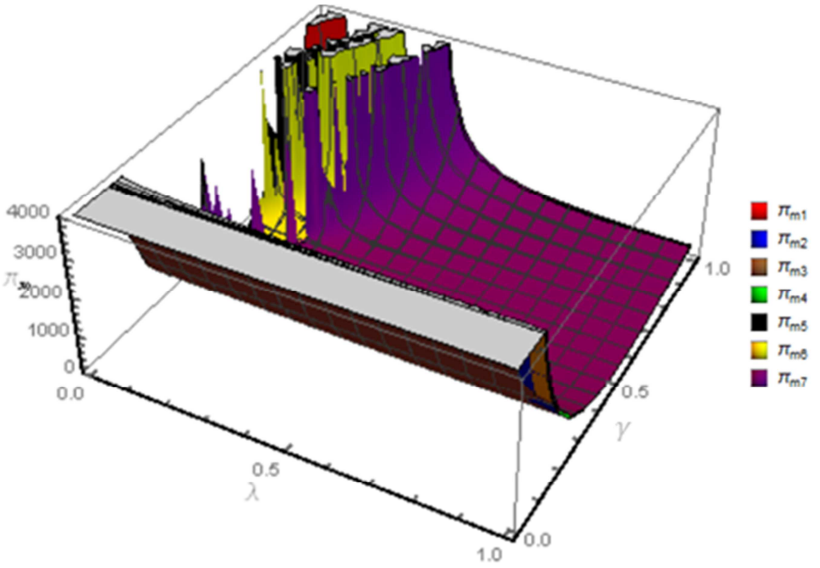


شکل۱۲- سود مورد انتظار تولیدکننده در ساختارهای یک‌کاناله براساس مقادیر مختلف λو γ

Fig.12- manufacturer's expected profit in single structures based on different values of λ and γ

همان‌طور که در شکل‌های (۱۱) و (۱۲) مشاهده شد، همانند روابط ریاضی از بین ساختارهای یک‌کاناله، ساختار اول و از بین ساختارهای دوکاناله، ساختار چهارم بیشترین سود را برای تولید ایجاد می‌کند.

در شکل (۱۳) ساختارهای یک‌کاناله و دوکاناله براساس مقادیر مختلف λ و γ با ساختار هفتم مقایسه می‌شوند.

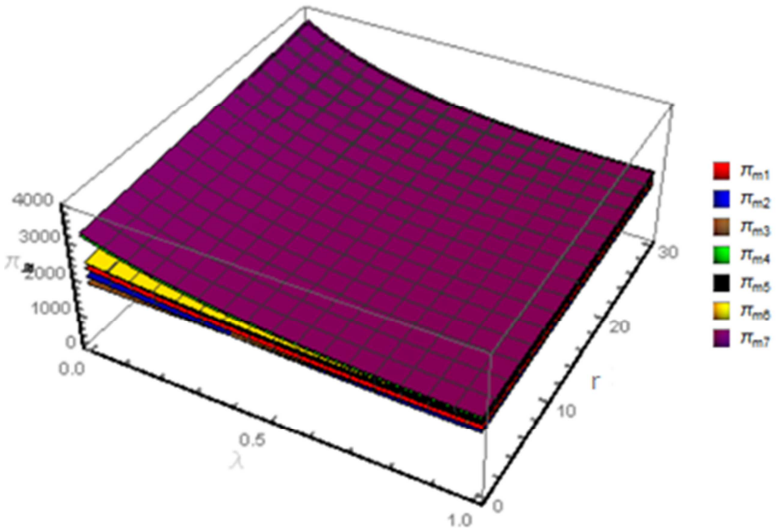


شکل۱۳- سود موردانتظار تولیدکننده در همهٔ ساختارها براساس مقادیر مختلف λو γ

Fig.13- manufacturer's expected profit in all structures based on different values of λ and γ

شکل (۱۳) سود تولیدکننده را براساس مقادیر مختلف λ و γ مقایسه می‌کند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، به شرطی که $w_r < {p_r}^2$ باشد، ساختار هفتم بیشترین سود را از میان ساختارها دارد.

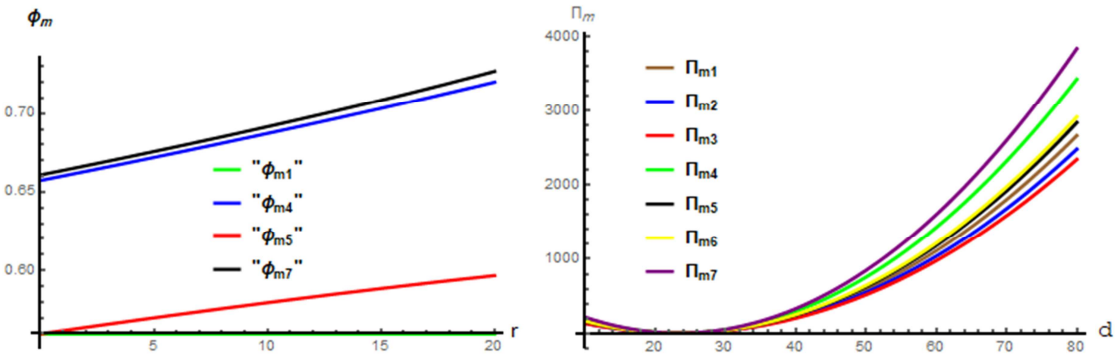
همچنین در شکل (۱۴) نیز سود تولیدکننده به ازای مقادیر مختلف λ و r بررسی می‌شود.



شکل۱۴- سود موردانتظار تولیدکننده در همهٔ ساختارها براساس مقادیر مختلفλ و r

Fig.14- Manufacturer's expected profit in all structures based on different values of λ and r

شکل ۱۴، مطابق لم ۵ و طبق رابطهٔ $w_r < {p_r}^2$، ساختار هفتم بیشترین سود را برای تولیدکننده ایجاد می‌کند.



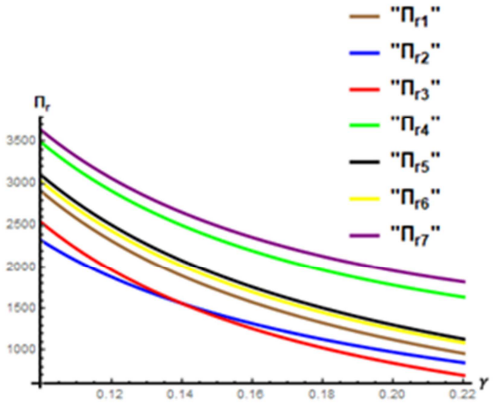
شکل۱۵- سود تولیدکننده به ازای r

Fig.15- manufacturer profit per r

شکل۱۶- ضریب بازگشت محصولات تولیدکننده به ازای r

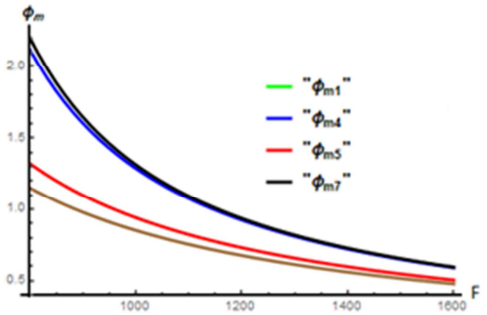
Fig.16- return rate for manufacturer per r

در شکل (۱۵) سود تولیدکننده به ازای تقاضای پایه در بازار بررسی شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، سود تولیدکننده بعد از اینکه تقاضای پایه در بازار بیش از ۳۰ باشد، سیر صعودی داشته است و ساختار هفتم نیز به دیگر ساختارها سود بیشتری دارد. در شکل (۱۶) نیز ضریب بازگشت محصولات برای تولیدکننده نسبت‌به قیمت محصولات بازگشتی در ساختارهای اول، چهارم، پنجم و هفتم بررسی شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، هرچه قیمت بالاتری برای محصولات بازگشتی در نظر گرفته شود، ضریب بازگشت محصولات برای تولیدکننده بیشتر می‌شود. دقت شود در ساختار اول به‌دلیل اینکه خود تولیدکننده محصولات را گردآوری می‌کند، ضریب بازگشت محصولات ارتباطی با قیمت محصولات بازگشتی ندارد (نمودار سبزرنگ).



شکل۱۸- سود خرده‌فروش به ازای γ

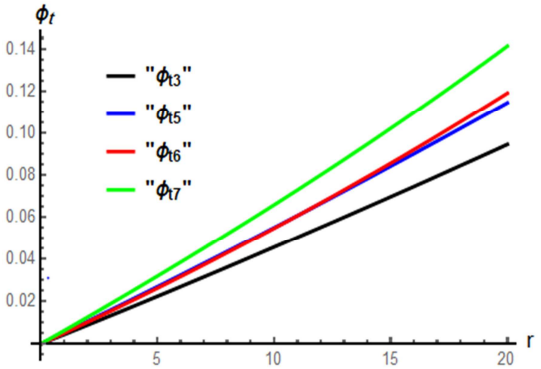
Fig.18- retailer profit per γ



شکل۱۷- ضریب بازگشت محصولات تولیدکننده به ازای F

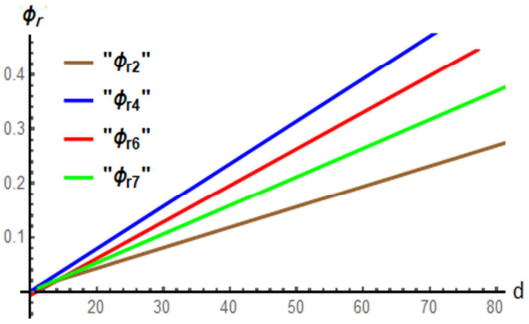
Fig.17- return rate for manufacturer per F

همان‌طور که در شکل (۱۷) مشاهده می‌شود، ضریب بازگشت محصولات تولیدکننده به ازای هزینهٔ ثابت گردآوری محصولات سیر نزولی داشته و طبیعی است که هرچه این هزینه برای تولیدکننده بیشتر باشد، تمایل کمتری به گردآوری محصولات دارد. شکل (۱۸) نیز بیان می‌کند که هرچه ضریب حساسیت تقاضا به قیمت در بازار بیشتر باشد، سود کمتری عاید خرده‌فروش می‌شود.



شکل۲۰. نرخ بازگشت شرکت ثالث به ازای r

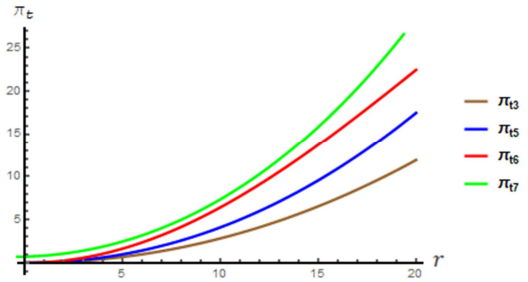
Figure20. return rate of third party per r



شکل۱۹ . نرخ بازگشت خرده‌فروش به ازای d

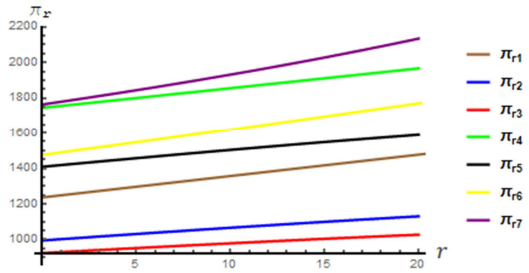
Figure19. return rate of retailer per d

شکل (۱۹) نشان می‌دهد که ضریب بازگشت محصولات برای خرده‌فروش، با تقاضای پایه در بازار ارتباط مستقیمی دارد و همان‌گونه که شکل (۲۰) نیز نشان می‌دهد، ضریب بازگشت محصولات برای شرکت ثالث ارتباط مستقیمی با قیمت محصولات بازگشتی دارد. طبیعی است هرچه مبلغ بیشتری به شرکت ثالث برای بازگشت محصولات استفاده‌شده پرداخت شود، تمایل بیشتری برای بازگشت محصولات استفاده‌شده خواهد داشت.



شکل۲۲- سود شرکت‌ثالث به ازای r

Fig.22- Third-party profit per r



شکل۲۱- سود خرده‌فروش به ازای r

Fig.21- retailer profit per r

در شکل (۲۱) مشاهده می‌شود که سود خرده‌فروش در همهٔ ساختارها به ازای مقادیر مختلف r روند صعودی دارد. همچنین ساختار هفتم نسبت‌به دیگر ساختارها سود بیشتری برای خرده‌فروش ایجاد می‌کند. در شکل (۲۲) نیز سود شرکت ثالث نسبت‌به r در ساختارهایی نشان داده شده است که شرکت ثالث حضور دارد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، سود شرکت ثالث نیز در ساختار هفتم نسبت‌به دیگر ساختارها وضعیت بهتری دارد.

در ادامهٔ این بخش نیز، سود مورد انتظار در ساختارهای یک‌کاناله و دوکاناله با ساختار سه‌کاناله مقایسه می‌شود. این نسبت به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R_i = \frac{\pi_i}{\pi_{m7}}, (i = m1;\ m2;\ m3;\ m4; m5; m6) \qquad (۶۰)$$

ما به‌دنبال بررسی این هستیم که کدام ساختار در مقایسه با ساختار سه‌کاناله برای مقادیر مختلف پارامترها برای تولیدکننده سودآورتر است. برای این کار در جدول (۵)، مقادیر مختلفی برای $\lambda, w1$ در نظر گرفته می‌شود. بقیهٔ پارامترها نیز مطابق جدول (۴) هستند.

جدول۵. R_i براساس مقادیر w1 و λ

Table5. R_i in terms of λ and w1

λ \ $w1$	$w1$ = 110						$w1$ = 100						$w1$ = 09					
	R_6	R_5	R_4	R_3	R_2	R_1	R_6	R_5	R_4	R_3	R_2	R_1	R_6	R_5	R_4	R_3	R_2	R_1
۰	۰٫۸۶	۰٫۸۳	۰٫۸۹	۰٫۸۰	۰٫۸۲	۰٫۸۵	۰٫۸۳	۰٫۸۲	۰٫۸۸	۰٫۷۲	۰٫۷۴	۰٫۷۹	۰٫۷۷	۰٫۷۵	۰٫۸۸	۰٫۶۳	۰٫۶۷	۰٫۷۱
۰٫۱	۰٫۸۶	۰٫۸۳	۰٫۸۹	۰٫۸۱	۰٫۸۳	۰٫۸۶	۰٫۸۴	۰٫۸۲	۰٫۸۹	۰٫۷۳	۰٫۷۵	۰٫۸۰	۰٫۷۸	۰٫۷۶	۰٫۸۹	۰٫۶۴	۰٫۶۷	۰٫۷۲
۰٫۲	۰٫۸۷	۰٫۸۴	۰٫۹۰	۰٫۸۱	۰٫۸۳	۰٫۸۶	۰٫۸۵	۰٫۸۳	۰٫۸۹	۰٫۷۳	۰٫۷۵	۰٫۸۰	۰٫۷۸	۰٫۷۷	۰٫۹۰	۰٫۶۵	۰٫۶۸	۰٫۷۲
۰٫۳	۰٫۸۷	۰٫۸۴	۰٫۹۰	۰٫۸۲	۰٫۸۴	۰٫۸۷	۰٫۸۵	۰٫۸۳	۰٫۹۰	۰٫۷۴	۰٫۷۶	۰٫۸۱	۰٫۷۹	۰٫۷۷	۰٫۹۰	۰٫۶۵	۰٫۶۸	۰٫۷۳
۰٫۴	۰٫۸۸	۰٫۸۵	۰٫۹۱	۰٫۸۲	۰٫۸۴	۰٫۸۷	۰٫۸۶	۰٫۸۴	۰٫۹۱	۰٫۷۵	۰٫۷۶	۰٫۸۱	۰٫۷۹	۰٫۷۸	۰٫۹۱	۰٫۶۶	۰٫۶۹	۰٫۷۳
۰٫۵	۰٫۸۸	۰٫۸۶	۰٫۹۲	۰٫۸۳	۰٫۸۵	۰٫۸۸	۰٫۸۶	۰٫۸۵	۰٫۹۲	۰٫۷۵	۰٫۷۷	۰٫۸۲	۰٫۸۰	۰٫۷۸	۰٫۹۱	۰٫۶۶	۰٫۷۰	۰٫۷۴
۰٫۶	۰٫۸۹	۰٫۸۷	۰٫۹۲	۰٫۸۳	۰٫۸۵	۰٫۸۸	۰٫۸۷	۰٫۸۵	۰٫۹۲	۰٫۷۶	۰٫۷۷	۰٫۸۲	۰٫۸۱	۰٫۷۹	۰٫۹۱	۰٫۶۷	۰٫۷۰	۰٫۷۵
۰٫۷	۰٫۸۹	۰٫۸۷	۰٫۹۳	۰٫۸۴	۰٫۸۶	۰٫۸۹	۰٫۸۷	۰٫۸۵	۰٫۹۳	۰٫۷۶	۰٫۷۸	۰٫۸۲	۰٫۸۱	۰٫۷۹	۰٫۹۲	۰٫۶۷	۰٫۷۱	۰٫۷۶
۰٫۸	۰٫۹۰	۰٫۸۸	۰٫۹۳	۰٫۸۵	۰٫۸۷	۰٫۸۹	۰٫۸۸	۰٫۸۶	۰٫۹۳	۰٫۷۷	۰٫۷۸	۰٫۸۳	۰٫۸۲	۰٫۸۰	۰٫۹۲	۰٫۶۸	۰٫۷۲	۰٫۷۶
۰٫۹	۰٫۹۰	۰٫۸۸	۰٫۹۴	۰٫۸۵	۰٫۸۷	۰٫۹۰	۰٫۸۸	۰٫۸۶	۰٫۹۴	۰٫۷۸	۰٫۷۹	۰٫۸۳	۰٫۸۲	۰٫۸۰	۰٫۹۳	۰٫۶۸	۰٫۷۲	۰٫۷۷
۱	۰٫۹۱	۰٫۸۹	۰٫۹۴	۰٫۸۶	۰٫۸۸	۰٫۹۰	۰٫۸۹	۰٫۸۷	۰٫۹۴	۰٫۷۸	۰٫۷۹	۰٫۸۴	۰٫۸۳	۰٫۸۱	۰٫۹۳	۰٫۶۹	۰٫۷۳	۰٫۷۸

طبق جدول (۳)، R_i براساس λ روند صعودی دارد. ساختار هفتم در مقایسه با دیگر ساختارها سود بیشتری ایجاد می‌کند. همچنین نتایج جدول فوق نشان می‌دهد که نسبت سود ساختارهای دوکاناله به ساختارهای تک کاناله تفاوت چشمگیری دارد؛ برای مثال $\lambda = .5$ و $w1 = 90$ داریم $R_1 = .74$ و $R_1 = .91$.

در انتهای این بخش نیز، یک مثال عددی براساس مقادیر پارامترها ارائه می‌شود. در جدول (۶) مقادیر مربوط به متغیرهای تصمیم اعضای زنجیره در ساختارهای هفت‌گانه نشان داده شده است.

جدول۶.- نتایج مثال عددی

Table 6. Numerical example results

ساختار / متغیرهای تصمیم		اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم
متغیرهای تصمیم تولیدکننده	w	۲۶۶/۲۱	۲۶۴/۶۵	۲۶۹/۱۴	۲۴۶/۲۰	۲۶۰/۶۶	۲۵۲/۸۰	۲۳۹/۶۸
	τ_m	۰/۵۶	-	-	۰/۶۲	۰/۶۰	-	۰/۶۳
	π_m	۲۲۱۵/۲۴	۲۰۶۴/۶۲	۱۹۴۹/۴۶	۲۸۴۹/۶۷	۲۳۶۱/۰۱	۲۴۲۴/۹۳	۳۱۹۱/۶۳
متغیرهای تصمیم خرده‌فروش	p	۳۳۰/۸۰	۳۳۶/۸۲	۳۴۱/۱۰	۳۳۰/۸۰	۳۲۵/۱۵	۳۲۲/۶۸	۳۰۵/۱۶
	τ_r	-	۰/۲۰	-	۰/۳۲	-	۰/۳۵	۰/۲۳
	π_r	۱۳۲۷/۰۱	۱۲۳۷/۷۳	۱۰۲۷/۶۹	۱۹۶۶/۶۲	۱۵۰۷/۴۰	۱۴۵۲/۷۳	۲۱۳۳/۹۸
متغیرهای تصمیم شرکت ثالث	τ_t	-	-	۰/۰۹	-	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۴
	π_t	-	-	۱۱/۹۲	-	۱۷/۴۸	۲۲/۴۸	۲۵/۹۳

در جدول (۶) مشاهده می‌شود که مقادیر تعادلی سود هر سه عضو زنجیره در ساختار هفتم نسبت‌به دیگر ساختارها بیشتر است. همچنین در ساختارهای دوکاناله، ساختار چهارم برای تولیدکننده و خرده‌فروش سودآورتر است. در ساختارهای یک‌کاناله نیز، ساختار اول برای تولیدکننده و خرده‌فروش ازنظر سودآوری بهتر است.

۶- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

دلایل زیادی وجود دارد که چرا جمع‌آوری محصولات استفاده‌شده و تولید مجدد آنها مهم است. این مفهوم به کاهش ردپای کربن، صرفه‌جویی در انرژی، جلوگیری از آلودگی، کاهش گازهای گلخانه‌ای و غیره کمک می‌کند. یکی از تصمیمات مهمی که شرکت‌های تولیدی با آن مواجه‌اند، نحوهٔ طراحی ساختار مناسب برای جمع‌آوری محصولات استفاده‌شده است. در این تحقیق سه ساختار یک‌کاناله، سه ساختار دوکاناله و یک ساختار سه‌کاناله برای جمع‌آوری محصولات استفاده‌شده بررسی شد. هزینه‌ای برای جمع‌آوری محصولات استفاده‌شده و هزینه‌ای برای بازرسی و تشخیص اقلام معیوب در نظر گرفتیم. در تمام ساختارها، تولیدکننده محصولات اصلی را به خرده‌فروش می‌فروشد و سپس خرده‌فروش محصول نهایی را به بازاری با تقاضای وابسته به قیمت، می‌فروشد. ما تصمیمات قیمت‌گذاری تولیدکننده و خرده‌فروش را طبق یک رویهٔ معکوس به نقطهٔ تعادلی رساندیم. همچنین سطح تلاش برای جمع‌آوری محصولات استفاده‌شدهٔ هر عضو را بهینه کردیم؛ سپس این ساختارها را از دیدگاه سازنده مقایسه کردیم.

با توجه به نتایج ما، اگر تقاضای پایهٔ بازار (α) کمتر از ضریب هزینهٔ جمع‌آوری (G) در ساختارهای تک‌کانالی باشد، بهتر است تولیدکننده محصولات استفاده‌شده را به‌تنهایی جمع‌آوری کند. اگر قیمت واحد محصولات جمع‌آوری‌شده (b) کمتر از G در ساختارهای دوکاناله باشد، بهتر است تولیدکننده محصولات استفاده‌شده را با خرده‌فروش جمع‌آوری کند. اگر G و p_r به‌اندازهٔ کافی بزرگ باشند که $Max\{a,b\} < G$ و $w_r < {p_r}^2$ برقرار شود، بهتر است تولیدکننده از ساختار سه‌کاناله استفاده کند. نتایج نشان داد که ساختار سه‌کاناله زمانی برای تولیدکننده سودآورتر است که بیشتر محصولات جمع‌آوری‌شده بدون نقص باشند. همچنین با در نظر گرفتن مقادیر پارامترهای مختلف، مزایای ساختارهای دوکاناله نسبت‌به ساختارهای یک‌کاناله، برجسته شد.

در ادامهٔ این تحقیق، الف- تقاضا به‌صورت غیرخطی یا احتمالی در نظر گرفته می‌شود؛ ب- تولیدکننده‌ها و خرده‌فروش‌های بیشتری مدنظر قرار می‌گیرند و بین تولیدکننده و خرده‌فروش قراردادهای زنجیرهٔ تأمین مثل قرارداد تسهیم سود، تعرفهٔ دوبخشی و دیگر قراردادها را منعقد می‌شود؛ ج- ساختارهای دیگر جمع‌آوری محصولات نیز بررسی می‌شود و برای فروش محصولات بازتولیدشده، یک بازار ثانویه به وجود می‌آید، به‌گونه‌ای که تولیدکننده محصولات بازتولیدشده را تحت قیمت مشخص و کمتری نسبت‌به محصول جدید در آن به فروش می‌رساند و د- برای قیمت‌گذاری محصول بازتولیدشده تصمیم‌گیری و متغیر تصمیم تولیدکننده در مدل در نظر گرفته می‌شود.

پیوست ۱

علائم اختصاری استفاده‌شده در مقاله

$$A_1 = \frac{1}{2}w(d - w\gamma) + c_m(-d + w\gamma)$$
$$A_2 = -(\lambda - 1)(d\mathrm{w1} + w(\mathrm{p1} - 2\mathrm{w1})$$
$$B_1 = (\mathrm{p1} - \mathrm{w1})^2(-1 + \lambda)^2\gamma$$
$$B_2 = d(\mathrm{p1} - \mathrm{w1}))(\mathrm{p1} - \mathrm{w1})(-1 + \lambda)^2\gamma$$
$$B_3 = r(\mathrm{p1} - \mathrm{w1})^2(-1 + \lambda)^2\gamma)c_i + 2F$$
$$C_1 = r(-1 + \lambda)^2(d(r - \mathrm{w1}) - w(r - 2\mathrm{p1} + \mathrm{w1})$$
$$C_2 = (-1 + \lambda)((-\mathrm{p1} + \mathrm{w1})\gamma c_m + dc_r))$$

$$C_3 = r(-1+\lambda)\gamma(\lambda c_d + c_i - (-1+\lambda)c_r$$

$$D_1 = d + \frac{d(r+\mathrm{p1}-\mathrm{w1})^2(-1+\lambda)^2\gamma - 2F(d+w\gamma+(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})(-1+\lambda)\gamma\varphi_m}{4F-(r+\mathrm{p1}-\mathrm{w1})^2(-1+\lambda)^2\gamma}$$

$$D_2 = \varphi_m + \frac{(r+\mathrm{p1}-\mathrm{w1})(-1+\lambda)(d-w\gamma-(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})(-1+\lambda)\gamma\varphi_m}{-4F+(r+\mathrm{p1}-\mathrm{w1})^2(-1+\lambda)^2\gamma}$$

$$D_3 = (2r+4\mathrm{p1}-2\mathrm{w1}-c_r)(\lambda c_d + c_i - (-1+\lambda)c_r$$

$$D_4 = d(r^2-\mathrm{p1}^2-(2r+\mathrm{p1})\mathrm{w1}+\mathrm{w1}^2)(-1+\lambda)^2\gamma$$

$$D_5 = \big(d\lambda^2c_d^2 + dc_i^2 - 4Fc_m + \lambda c_d\big(2dc_i + (-1+\lambda)(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})\big)\gamma c_m\big)$$
$$+d(2r+3\mathrm{p1}-\mathrm{w})$$

$$D_6 = r^2 + 2r\mathrm{p1} + 2\mathrm{p1}^2 - 2r\mathrm{w1} - 3\mathrm{p1w1} + \mathrm{w1}^2 + (-\mathrm{p1}+\mathrm{w1})c_r$$

$$E_1 = \varphi_m + \frac{r(-1+\lambda)(-d+w\gamma+(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})(-1+\lambda)\gamma\varphi_m)}{4F-2r(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})(-1+\lambda)^2\gamma}$$

$$E_2 = \big(16F^2 + 4F(2r(r-\mathrm{p1})-\mathrm{p1w1})(-1+\lambda)^2\gamma + r\mathrm{p1}(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})\mathrm{w1}(-1+\lambda)^4\gamma^2\big)$$

$$E_3 = (-4F + r(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})(-1+\lambda)^2\gamma)c_d^2 + d\gamma(-4F + r(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})(-1+\lambda)^2\gamma)c_i^2)$$

$$E_4 = \big(-4dF(2r+\mathrm{p1}+\mathrm{w1}) + dr(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})(\mathrm{p1}+\mathrm{w1})(-1+\lambda)^2\gamma\big)$$

$$E_5 = (4F - r(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})(-1+\lambda)^2\gamma)(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})\gamma c_m - 2dc_r)$$

$$E_6 = 4F(2r+\mathrm{p1}+\mathrm{w1}) - r(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})(\mathrm{p1}+\mathrm{w1})(-1+\lambda)^2\gamma +$$
$$(-4F + r(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})(-1+\lambda)^2\gamma)c_r$$

$$E_7 = (\mathrm{p1}-\mathrm{w1})(-1+\lambda)^2\gamma(-4F + r(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})(-1+\lambda)^2\gamma c_r)$$

$$E_8 = 32F^2 + 4F(2r^2 - \mathrm{p1}^2 + 2r(-2\mathrm{p1}+\mathrm{w1}))$$

$$E_9 = \big(-8F(r+\mathrm{p1})(-1+\lambda) + 2r\mathrm{p1}(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})(-1+\lambda)^3\gamma\big)$$

$$E_{10} = (4F - r(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})(-1+\lambda)^2\gamma)(\lambda c_d + c_i - (-1+\lambda)c_r)$$

$$E_{11} = (2r^2 - \mathrm{p1}^2 + 2r(-2\mathrm{p1}+\mathrm{w1}))(-1+\lambda)^2\gamma + r\mathrm{p1}^2(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})$$

$$E_{12} = (\lambda c_d + c_i - (-1+\lambda)c_r)(-8F(r+\mathrm{p1})(-1+\lambda) + 2r\mathrm{p1}(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})$$

$$F_1 = \frac{r(-1+\lambda)(d-w\gamma)}{-4F+(r^2+4r(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})+(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})^2)(-1+\lambda)^2\gamma}$$

$$F_2 = (-4F(2r+\mathrm{p1}-\mathrm{w1}) + (2r^2+4r(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})+(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})^2)(r+\mathrm{p1}-\mathrm{w1})(-1+\lambda)^2\gamma)$$

$$F_3 = (16F^2 - 4F(\mathrm{p1}(5r+2\mathrm{p1}) - 3(r+\mathrm{p1})\mathrm{w1}+\mathrm{w1}^2)(-1+\lambda)^2\gamma - (r+\mathrm{p1}-\mathrm{w1})$$

$$F_4 = (r^3 - \mathrm{p1}(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})^2 + 4r\mathrm{p1}(-\mathrm{p1}+\mathrm{w1}) - r^2(\mathrm{p1}+\mathrm{w1}))(-1+\lambda)^4\gamma^2$$

$$F_5 = (4F - (r^2 + 3r(\mathrm{p1}-\mathrm{w1}) + (\mathrm{p1}-\mathrm{w1})^2)(-1+\lambda)^2\gamma)$$

$$F_6 = (4F - (r^2 + 4r(\mathrm{p1}-\mathrm{w1}) + (\mathrm{p1}-\mathrm{w1})^2)(-1+\lambda)^2\gamma)$$

$$F_7 = (r^2 - 2r\mathrm{p1} + \mathrm{p1}(-\mathrm{p1}+\mathrm{w1}))(-1+\lambda)^2\gamma + (r+\mathrm{p1}-\mathrm{w1})$$

$$F_8 = (3r^3 + r^2(3\mathrm{p1}-7\mathrm{w1}) - (\mathrm{p1}-\mathrm{w1})^2(\mathrm{p1}+\mathrm{w1}) - r(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})(3\mathrm{p1}+5\mathrm{w1})$$

$$F_9 = (-1+\lambda)\gamma(-4F(2r+\mathrm{p1}-\mathrm{w1}) + (2r^2+4r(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})+(\mathrm{p1}-\mathrm{w1})^2)$$
$$(r+\mathrm{p1}-\mathrm{w1})(-1+\lambda)^2\gamma)$$

$$F_{10} = (\mathrm{p1}(5r+2\mathrm{p1}) - 3(r+\mathrm{p1})\mathrm{w1}+\mathrm{w1}^2)$$

$$F_1 = \lambda^2c_d^2 + dc_i^2 - 4Fc_m + \lambda c_d(2dc_i + (-1+\lambda)((\mathrm{p1}-\mathrm{w1})\gamma c_m)$$

پیوست۲: اثبات لم‌های ریاضی

اثبات لم یک

برای اثبات لم یک به‌صورت زیر عمل می‌شود:

$$\Pi_{m1} - \Pi_{m2} > \Pi_{m2} - \Pi_{m3} > 0 \qquad (\text{پ-}۱)$$

عبارت فوق برقرار می‌شود، به شرطی که روابط زیر بین پارامترهای مدل برقرار باشد:

$$\big(2Fc_m - r(-1+\lambda)\big) < 8F\gamma \qquad (\text{پ-}۳)$$

در غیر این صورت، رابطهٔ بین سود تولیدکننده در ساختارهای یک‌کاناله به‌صورت زیر است:

$$\Pi_{m1} < \Pi_{m2} < \Pi_{m3} \qquad (\text{پ-}۴)$$

به این‌ترتیب لم یک اثبات می‌شود. □

اثبات لم دو

به‌منظور اثبات لم دو به‌صورت زیر عمل می‌شود:

$$w_2 - w_1 < w_1 - w_3 < 0 \quad (پ-۵)$$

عبارت فوق به‌شرطی برقرار می‌شود که روابط زیر بین پارامترهای مدل برقرار باشد.

$$(\mathrm{p1} + \mathrm{w1})(-1+\lambda)^3\gamma < \left(4F + (r - \mathrm{p1})(\mathrm{p1} - \mathrm{w1})\right) \quad (پ-۶)$$

در غیر این صورت ارتباط بین قیمت عمده‌فروشی در ساختارهای یک‌کاناله به‌صورت زیر است:

$$w_2 > w_1 > w_3 \quad (پ-۷)$$

به این ترتیب لم دو اثبات می‌شود. □

اثبات لم سه

به‌منظور اثبات لم سه به‌صورت زیر عمل می‌شود:

$$\Pi_{m4} - \Pi_{m6} > \Pi_{m6} - \Pi_{m5} > 0 \quad (پ-۸)$$

عبارت فوق به شرطی برقرار می‌شود که ارتباط زیر بین پارامترهای مدل برقرار باشد:

$$(r^2 + 3r(\mathrm{p1} - \mathrm{w1}) + (\mathrm{p1} - \mathrm{w1})^2) < 4F \quad (پ-۹)$$

در غیر این صورت، ارتباط بین سود تولیدکننده در ساختارهای دوکاناله به‌صورت زیر است:

$$\Pi_{m4} < \Pi_{m6} < \Pi_{m5} \quad (پ-۱۰)$$

به این صورت لم سه اثبات می‌شود. □

اثبات لم چهار

برای اثبات لم چهار، به‌صورت زیر عمل می‌شود:

$$w_4 - w_6 < w_6 - w_5 < 0 \quad (پ-۱۱)$$

به شرطی عبارت فوق برقرار می‌شود که روابط زیر بین پارامترهای مدل برقرار باشند:

$$\left(2Fc_m + r(-1+\lambda)\right) < (\lambda c_d + c_i - (-1+\lambda)c_r) \quad (پ-۱۲)$$

$$(2r^2 + 4r(\mathrm{p1} - \mathrm{w1}) + (\mathrm{p1} - \mathrm{w1})^2) > (4F - (-1+\lambda)^2\gamma)C_2 \quad (پ-۱۳)$$

در غیر این صورت ارتباط بین قیمت عمده‌فروشی در ساختارهای دوکاناله به‌صورت زیر است:

$$w_4 > w_6 > w_5 \quad (پ-۱۴)$$

به این ترتیب لم چهار اثبات می‌شود. □

اثبات لم پنج

به‌منظور اثبات لم پنج، به‌دنبال لم‌های یک و سه، سود تولیدکننده در ساختارهای اول، چهارم و هفتم به‌صورت زیر بررسی می‌شود:

$$\Pi_{m7} - \Pi_{m4} > \Pi_{m4} - \Pi_{m1} > 0 \quad (پ-۱۵)$$

عبارت فوق به شرطی برقرار می‌شود که ارتباط زیر بین پارامترهای مدل برقرار باشد:

$$C_2 > (-8F + \mathrm{p1}^2(-1+\lambda)^2) \quad (پ-۱۶)$$

در غیر این صورت، ارتباط به‌صورت زیر می‌شود:

$$\Pi_{m7} < \Pi_{m4} < \Pi_{m1} \quad (پ-۱۷)$$

به این ترتیب لم پنج اثبات می‌شود. □

اثبات لم شش

به‌منظور اثبات لم شش، قیمت عمده‌فروشی در ساختارهای دوم، چهارم و هفتم به‌صورت زیر بررسی می‌شود:

$$w_7 - w_4 < w_4 - w_2 < 0 \quad (پ-۱۸)$$

عبارت فوق به شرطی برقرار می‌شود که روابط زیر بین پارامترهای مدل برقرار باشند:

$$(\mathrm{p1} + \mathrm{w1})(-1+\lambda)^3\gamma < 4F + (r - \mathrm{p1})(\mathrm{p1} - \mathrm{w1}) \quad (پ-۱۹)$$

$$(-1+\lambda)^2 4F(r + d\mathrm{p1} - d\mathrm{w1}) < F_1 \quad (پ-۲۰)$$

در غیر این صورت، رابطه به‌صورت زیر برقرار می‌شود:

$$w_7 > w_4 > w_2 \quad (پ-۲۱)$$

به این ترتیب لم شش اثبات می‌شود. □

اثبات لم هفت

به‌منظور اثبات لم سه، به‌صورت زیر عمل می‌شود:

$$\varphi_{m7} - \varphi_{m4} > \varphi_{m4} - \varphi_{m5} > \varphi_{m5} - \varphi_{m1} > 0 \quad (پ-۲۲)$$

عبارت فوق به شرطی برقرار می‌شود که روابط زیر بین پارامترهای مدل برقرار باشد:

$$(-1+\lambda)^2\gamma - C_2 > r\mathrm{p1}^2 - 4F \quad (پ-۲۳)$$

$$\lambda^2\gamma(-1+\lambda)(\mathrm{p1} - c_r) < (4F - (\mathrm{p1} - \mathrm{w1})^2(-1+\lambda)^2\gamma) \quad (پ-۲۴)$$

در غیر این صورت، ارتباط بین نرخ بازگشت محصولات تولیدکننده به صورت زیر است:

$$\varphi_{m7} < \varphi_{m4} < \varphi_{m5} < \varphi_{m1} \quad (پ-۲۵)$$

به این ترتیب لم هفت اثبات می‌شود. □

References

Abbasi, S., Daneshmand-Mehr, M., & Ghane Kanafi, A. (2022). Green Closed-Loop Supply Chain Network Design During the Coronavirus (COVID-19) Pandemic: a Case Study in the Iranian Automotive Industry. In *Environmental Modeling and Assessment* (Issue 0123456789). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/s10666-022-09863-0 .

Ali, S. M., Fathollahi-Fard, A. M., Ahnaf, R., & Wong, K. Y. (2023). A multi-objective closed-loop supply chain under uncertainty: An efficient Lagrangian relaxation reformulation using a neighborhood-based algorithm. *Journal of Cleaner Production*, *423*(January), 138702. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138702.

Chen, X., Goh, M., Li, B., & Cheng, Y. (2021). Collection strategies and pricing decisions for dual channel EOL products. *Computers & Industrial Engineering*, *159*, 107477. https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107477

Choi, T. M., Li, Y., & Xu, L. (2013). Channel leadership, performance and coordination in closed loop supply chains. *International journal of production economics*, *146*(1), 371-380. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.08.002

Chuang, C. H., Wang, C. X., & Zhao, Y. (2014). Closed-loop supply chain models for a high-tech product under alternative reverse channel and collection cost structures. *International Journal of Production Economics*, *156*, 108-123. doi: 10.1016/j.ijpe.2014.05.008.

De Giovanni, P., & Zaccour, G. (2014). A two-period game of a closed-loop supply chain. *European Journal of Operational Research*, *232*(1), 22-40. doi: 10.1016/j.ejor.2013.06.032.

Fussone, R., Dominguez, R., Cannella, S., & Framinan, J. M. (2024). Bullwhip effect in closed-loop supply chains with multiple reverse flows: a simulation study. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, *36*(1), 250-278. https://doi.org/10.1007/s10696-023-09486-x.

Gao, N., Qu, L., Jiang, Y., & Hou, J. (2024). Game Models for Ordering and Channel Decisions of New and Differentiated Remanufactured Products in a Closed-Loop Supply Chain with Sales Efforts. *Systems*, *12*(3), 67. https://doi.org/10.3390/systems12030067.

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(3)*, 2015-2028 https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.147.

Goli, A. (2023). Integration of blockchain-enabled closed-loop supply chain and robust product portfolio design. *Computers & Industrial Engineering*, *179*(May), 109211. https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109211

Goli, A., & Tirkolaee, E. B. (2023). Designing a portfolio-based closed-loop supply chain network for dairy products with a financial approach: Accelerated Benders decomposition algorithm. *Computers & Operations Research*, *155*, 106244. https://doi.org/10.1016/j.cor.2023.106244.

Hong, X., Wang, Z., Wang, D., & Zhang, H. (2013). Decision models of closed-loop supply chain with remanufacturing under hybrid dual-channel collection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *68*, 1851-1865. doi: 10.1007/s00170-013-4982-1.

Hong, I. H., & Yeh, J. S. (2012). Modeling closed-loop supply chains in the electronics industry: A retailer collection application. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *48*(4), 817-829. https://doi.org/10.1016/j.tre.2012.01.006

Hong, X., Xu, L., Du, P., & Wang, W. (2015). Joint advertising, pricing and collection decisions in a closed-loop supply chain. *International Journal of Production Economics*, *167*, 12-22. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.05.001

Hosseini-motlagh, S., Johari, M., Ebrahimi, S., & Rogetzer, P. (2020). Computers & Industrial Engineering Competitive channels coordination in a closed-loop supply chain based on energy-saving effort and cost-tariff contract. *Computers & Industrial Engineering*, *149*(May), 106763. https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106763.

Jolai, H., Hafezalkotob, A., & Reza-Gharehbagh, R. (2021). Pricing and greening decisions of competitive forward and reverse supply chains under government financial intervention: Iranian

motorcycle industry case study. *Computers & Industrial Engineering*, *157*, 107329. https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107329

Kleber, R., Reimann, M., Souza, G. C., & Zhang, W. (2018). On the robustness of the consumer homogeneity assumption with respect to the discount factor for remanufactured products. *European Journal of Operational Research*, *269*(3), 1027-1040. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.02.052.

Kong, L., Liu, Z., Pan, Y., Xie, J., & Yang, G. (2017). Pricing and service decision of dual-channel operations in an O2O closed-loop supply chain. *Industrial Management and Data Systems*, *117*(8), 1567–1588. https://doi.org/10.1108/IMDS-12-2016-0544.

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. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.09.025.

Ren, X., Herty, M., & Zhao, L. (2020). Optimal price and service decisions for sharing platform and coordination between manufacturer and platform with recycling. *Computers & Industrial Engineering*, *147*, 106586. https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106586

Ruiz-Benitez, R., & Muriel, A. (2014). Consumer returns in a decentralized supply chain. *International Journal of Production Economics*, *147*, 573-592. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.05.010.

San Gan, S., Pujawan, I. N., & Widodo, B. (2015). Pricing decision model for new and remanufactured short-life cycle products with time-dependent demand. *Operations Research Perspectives*, *2*, 1-12. doi: 10.1016/j.orp.2014.11.001.

Savaskan, R. C., Bhattacharya, S., & Van Wassenhove, L. N. (2004). Closed-loop supply chain models with product remanufacturing. *Management science*, *50*(2), 239-252. https://doi.org/10.1287/mnsc.1030.0186.

Shimada, T., & Wassenhove, L. N. (2019). Closed-Loop supply chain activities in Japanese home appliance/personal computer manufacturers: A case study. *International Journal of Production Economics*, *212*, 259-265. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.11.010

Suhandi, V., & Chen, P. S. (2023). Closed-loop supply chain inventory model in the pharmaceutical industry toward a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, *383*, 135474. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135474.

Taleizadeh, A. A., Moshtagh, M. S., Vahedi-Nouri, B., & Sarkar, B. (2023). New products or remanufactured products: Which is consumer-friendly under a closed-loop multi-level supply chain?. *Journal of Retailing and Consumer Services*, *73*, 103295. https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2023.103295.

Ullah, M. (2023). Impact of transportation and carbon emissions on reverse channel selection in closed-loop supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, *394*(October 2022), 136370. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136370.

Wan, N., & Hong, D. (2019). The impacts of subsidy policies and transfer pricing policies on the closed-loop supply chain with dual collection channels. *Journal of Cleaner Production*, *224*, 881–891. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.274.

Wang, N., Song, Y., He, Q., & Jia, T. (2020a). Competitive dual-collecting regarding consumer behavior and coordination in closed-loop supply chain. *Computers and Industrial Engineering*, *144*(28), 106481. https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106481.

Wang, T. Y., Chen, Z. S., Wang, X. J., Govindan, K., & Skibniewski, M. J. (2024). Strategic information sharing in the dual-channel closed loop supply chain with nonlinear production cost. *Information Sciences*, *657(February)*, 119944. https://doi.org/10.1016/j.ins.2023.119944.

Wo, X., & Zhou, Y. (2019). Buyer-specific versus uniform pricing in a closed-loop supply chain with third-party remanufacturing. *European Journal of Operational Research*, *273*(2), 548-560. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.08.028.

Xie, J., Liang, L., Liu, L., & Ieromonachou, P. (2017). Coordination contracts of dual-channel with cooperation advertising in closed-loop supply chains. *International Journal of Production*

Economics, *183*, 528-538. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.07.026.

Zhang, X. M., Li, Q. W., Liu, Z., & Chang, C. T. (2021). Optimal pricing and remanufacturing mode in a closed-loop supply chain of WEEE under government fund policy. *Computers & Industrial Engineering*, *151*, 106951.https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106951.

[1].Closed Loop Suppply Chain
[2].Reverse Logistic
[3].forward supply chain
[4].HP
[5].Dell
[6].Xerox
[7].Maiti and Giri
[8].De Giovanni and Zaccour
[9].Hong and yeh
[10].Choi et al.
[11].Ren et al.
[12].Zhang et al.
[13].Jolai et al.
[14].Kleber et al.
[15].Hong et al.
[16].Chen et al.
[17].Shimada and Wassenhove
[18] coordination
[19].Ruiz-Benitez & Muriel
[20].Whole-sale price
[21].Buy-Back
[22]. Chuang et al.
[23].Giri and sharma
[24].Wo and Zhou
[25].San Gan et al.
[26] Suhandi and chen
[27] Talebizadeh et al.
[28] Goli and tirkolaee
[29].Wan and hong
[30].Kong et al.
[31].Wang et al.
[32].Hosseinimotlagh et al.
[33].Xie et al.
[34].Ullah
[35].Ali et al.
[36].Gao et al.
[37].Goli
[38] Fussone et al.
[39] Bullwhip effect
[40].Savaskan et al.
[41].Mathematica