



## A Model for Inventory Control in Closed-Loop Supply Chain Management considering Multi-Objective Planning (Case Study: Cut and Press Shop, Iran Khodro Company)

**Abolfazl Sadeghian**  \*

Graduate in the field of management, Operations Research, Faculty of Management and Accounting, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran.

**Seyed Mohammad Ali Khatami Firooz Abadi** 

Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran

**Laya Olfat** 

Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran

**Maghsoud Amiri** 

Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran.

### Abstract

Nowadays, attending to closed-loop supply chain matters for survival in competitive circumstances not only has become a controversial topic but also is considered a critical topic as well. A closed-loop supply chain combines direct and reverse flow methods/manners. The goal of this paper is to present a model for inventory control in a closed-loop supply chain using a multiple-objective approach. This research intends to reach its main goal, including reducing expenses such as production, maintenance, and transportation in the direct flow,

\* Corresponding Author: Ab.sadeghian@ikco.ir

**How to Cite:** Sadeghian, A., Khatami, S. Olfat, L., Amiri, M. (2024). A Model for Inventory Control in Closed-Loop Supply Chain Management considering Multi-Objective Planning (Case Study: Cut and Press Shop, Iran Khodro Company), *Industrial Management Studies*, 22(74), 95-138.

as well as decreasing waste material and defects in the reverse flow, and ultimately, increasing the company's profit by designing and optimizing a multiple objective model. Hence, a double-purpose model in the closed-loop supply chain includes three classes in the direct flow, which include suppliers, manufacturers, and customers. Furthermore, it includes four classes in the reverse flow that include collection centers, inspection, repair centers, recycling centers, and disposal centers. According to the article's model, which is multipurpose, linear, and integer, at the beginning, the model is converted to a single objective by the Weighting and Constraint method and then solved using the Branch and Bound algorithm and Lingo software. Finally, the model is applied in Iran Khodro Company as a case study, and its function is validated. The results and outputs of the model solving demonstrate its capability to be useful for planning and inventory control in a closed-loop supply chain.

### **Introduction**

According to studies and research done in Iran Khodro Co., the capability of recycling defective sheets exists in this company, which is a significant amount from a financial perspective. Expense-decreasing policies, management emphasis on expense control and reduction, and focus on waste recycling on one hand, and the results of feedback reports from Iran Khodro Company excellence models on the other hand, indicate that in the waste control and recycling department, there are no standardized models for presentation and improvement. Instead, the focus has been concentrated more on short-term Kaizen activities in this company. Numerous factors influence processes within closed-loop supply chains, including distribution, transportation, production planning, and inventory control, all of which aim to achieve the organization's and the overall system's objectives. An ideal logistics network should be capable of delivering products to customers at the lowest cost and, at the same time, collecting returned products promptly to reintegrate them into the supply chain. Therefore, identifying the variables affecting these processes in closed-loop supply chains and optimizing conflicting objectives, which are often at odds, has been a key area of focus for researchers in this study. On the other hand, increasing demand leads to a greater need for raw materials, raising their prices and,

consequently, increasing the cost of raw material procurement. In such conditions, implementing a reverse supply chain integrated with the direct supply chain can create a closed-loop supply chain that saves raw materials, reduces overall costs, and increases organizational revenue. Another critical issue highlighting the importance of this topic is the impact of sanctions, which have disrupted many financial and economic equations of organizations, imposing significant costs on them. One potential solution to mitigate these challenges is focusing on reducing the explicit and hidden costs associated with production processes.

### **Materials and Methods**

The goal of this paper is to present a model for inventory control in a closed-loop supply chain using a multi-objective approach. This research intends to reach its main goal, including reducing expenses such as production, maintenance, and transportation in the direct flow, as well as decreasing waste material and defects in the reverse flow, and ultimately, increasing the company's profit by designing and optimizing a multi-objective model. The proposed integrated inventory control model for the closed-loop supply chain is designed for a multi-location, multi-echelon, multi-period, and multi-product system. In resource allocation, higher priority is given to customers of new products compared to customers of recycled products. Therefore, direct delivery and safety stock are considered exclusively for new products. New products are delivered to customers through a pull system, while recycled products are delivered via a push system, with raw materials for the latter being sourced from collected used products. The objective function of the proposed model aims to maximize total revenue, which is derived from the sale of new and recycled products to customers. Total costs include production, storage, recycling, repair, transportation, raw material procurement, inspection, and separation costs for collected products. Given that the model focuses on strategic decision-making, costs associated with opening and closing facilities, supplier selection, and other strategic decision-related expenses are excluded. The primary tactical decision-making facilitated by the proposed model serves as a reference for master planning. This integrated approach effectively addresses the complexities of managing inventory within a closed-loop supply chain

while ensuring an optimal balance between cost efficiency and customer satisfaction.

### **Discussion and Results**

Hence, a double-purpose model in the closed-loop supply chain includes three classes in the direct flow, which include suppliers, manufacturers, and customers. Furthermore, it includes four classes in the reverse flow that include collection centers, inspection, repair centers, recycling centers, and disposal centers. According to the article's model, which is multipurpose, linear, and integer, at the beginning, the model is converted to a single objective by the Weighting and Constraint method and then solved by using the Branch and Bound algorithm and Lingo software.

### **Conclusions**

In this study, a multi-objective inventory control model for a closed-loop supply chain management system was developed for the cutting and pressing factory of Iran Khodro, considering a deterministic and multi-objective approach. The first objective focuses on minimizing costs, including storage, raw material procurement, and production costs, among others, while the second objective aims to maximize revenue from product sales. To convert the model into a single-objective framework, the weighting and goal programming methods were employed, and the problem was solved using the branch-and-bound algorithm within the Lingo software environment. The results indicate that the computational deviations between the results of the weighting and goal programming algorithms in Lingo and the actual costs observed in the company, as well as the problem's dimensions, are negligible. This negligible percentage highlights the efficiency of the proposed algorithms. The study can be applied to similar industries such as manual pressing and cutting, casting, machining, and more, as remanufacturing products and using returned products are feasible alongside strengthening systems for storage, transportation, production, and collecting recyclable products. It is worth noting that both methods employed and the stated objectives have their own specific considerations. For further development of this research, factors such as the time required for recycling or repairing returned products, the probability of machine failures,


uncertainties in production (e.g., uncertainties in the quality or quantity of recycled products), the number of parts required to avoid production line stoppages, the introduction of discounts, and others can be considered. Additionally, the development and application of other methods, including heuristic and meta-heuristic approaches, are suggested for further exploration in this field.

**Keywords:** Closed-loop Supply chain, Multi-Objective Planning, Inventory Control.




## مدلی برای کنترل موجودی در مدیریت زنجیره تأمین حلقه بسته با رویکرد برنامه‌ریزی چند هدفه (مورد مطالعه: کارخانه برش و پرس ایران خودرو)


دانش‌آموخته مدیریت گرایش تحقیق در عملیات،  
دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه  
طباطبائی، تهران، ایران

ابوالفضل صادقیان \* 


استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و  
حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

سید محمدعلی خاتمی فیروزآبادی 

استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و  
حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

لعیا الفت 

استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و  
حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

مقصود امیری 

### چکیده

امروزه در نظر گرفتن بازگشت محصولات برای کسب رضایت مشتری اهمیت زیادی دارد. به همین دلیل، مبحث زنجیره تأمین حلقه بسته مورد توجه بسیار قرار گرفته است. از سوی دیگر، به منظور حصول منافع رقابتی در بازار، طراحی یک شبکه زنجیره تأمین کارا امری ضروری به نظر می‌رسد. بر اساس مطالعات و تحقیقات میدانی صورت گرفته در شرکت ایران خودرو، قابلیت بازیافت ورق‌های ضایع و معیوب در این شرکت وجود دارد که به لحاظ ریالی نیز رقم قابل توجهی می‌باشد. سیاست‌های کاهش هزینه‌ای شرکت و الزام مدیریتی مبنی بر کنترل و کاهش هزینه‌ها و تمرکز بر بحث بازیافت ضایعات از یک سو و نتایج

مقاله حاضر برگرفته از رساله دکتری رشته مدیریت صنعتی دانشگاه علامه طباطبائی است.

\* نویسنده مسئول: Ab.sadeghian@ikco.ir

گزارش‌های بازخورد مدل‌های تعالی شرکت ایران‌خودرو از سوی دیگر حاکی از آن است که در بخش کنترل ضایعات و بازیافت آن، مدل مدونی جهت موضوع قابل‌ارائه نبوده و در این شرکت بیشتر بر بهبود از طریق فعالیت‌های کابزنی کوتاه‌مدت تمرکز شده است. هدف این مقاله ارائه مدلی برای کنترل موجودی در مدیریت زنجیره تأمین حلقه بسته با رویکرد چند هدفه می‌باشد. این پژوهش درصدد است که با طراحی مدل ریاضی چند هدفه و بهینه‌سازی آن به اهداف اصلی خود، شامل کمینه کردن هزینه نگهداری، تولید و حمل‌ونقل در جریان مستقیم و همچنین میزان قطعات ضایع و معیوب در جریان معکوس و بیشینه کردن سودآوری سازمان برسد. در این راستا یک مدل دو هدفه در یک زنجیره تأمین حلقه بسته شامل سه رده در جریان روبه‌جلو دربرگیرنده تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و مشتریان و چهار رده در جریان معکوس دربرگیرنده قسمت‌های جمع‌آوری و بازرسی، بازیافت، تعمیر و دفع طراحی شده است. با توجه به اینکه مدل پژوهش از نوع چند هدفه، خطی و عدد صحیح می‌باشد، ابتدا مدل از دو روش وزن دهی و حدی به تابع تک هدفه تبدیل شده و سپس با استفاده از الگوریتم انشعاب و تحدید و نرم‌افزار Lingo حل شده است. در نهایت مدل مذکور در کارخانه برش و پرس شرکت ایران‌خودرو به صورت مورد کاوی توسعه داده شد و عملکرد آن صحنه‌گذاری گردید. نتایج و خروجی حل مدل قابلیت آن را به منظور برنامه‌ریزی و کنترل موجودی در مدیریت زنجیره تأمین حلقه بسته نشان می‌دهد.

**کلیدواژه‌ها:** زنجیره تأمین حلقه بسته، برنامه‌ریزی چند هدفه، کنترل موجودی.

## مقدمه

در سال‌های اخیر، پیشرفت در زمینه مدیریت زنجیره تأمین باعث کاهش هزینه‌ها و افزایش کیفیت محصولات در صنایع مختلف شده است. مدیریت زنجیره تأمین نگرشی است که با طراحی یک جریان هدفمند بین سطوح زنجیره تأمین سعی در ایجاد تعادل بین اهداف ناسازگار مسئله می‌کند (چن و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۶، ۲۹۵). زنجیره‌های تأمین قالب‌ها در دو نوع مختلف دسته‌بندی می‌شوند، نوع اول را زنجیره تأمین مستقیم می‌نامند که از تأمین‌کنندگان آغاز و به مشتریان نهایی ختم می‌شود و شامل فعالیت‌هایی نظیر تأمین، تولید، سفارش و خرید می‌باشد. نوع دوم را نیز زنجیره تأمین معکوس می‌نامند که از مشتریان نهایی آغاز و به تأمین‌کنندگان ختم می‌شود و شامل فعالیت‌هایی نظیر جمع‌آوری کالاهای بازیافت، دوباره‌کاری و تولید مجدد می‌باشد. از تلفیق یکپارچه این دو زنجیره با یکدیگر، زنجیره تأمین حلقه بسته ایجاد می‌شود که دارای فعالیت‌های هر دو زنجیره است (امین و ژانگ<sup>۲</sup>، ۲۰۱۳، ۴۱۶۵).

تحقیقات حاکی از آن است که سازمان‌هایی که زنجیره تأمین با حلقه بسته را مدنظر قرار داده‌اند، نسبت به هم‌تایان خود در موقعیت رقابتی بهتری قرار گرفته‌اند و همچنین توجه به این مسئله بر سوددهی آن‌ها نیز اثراتی را داشته است و تحقیقات نشان می‌دهد این فعالیت‌ها باعث ایجاد درآمدهای حاصل از کاهش مصرف مواد اولیه و ایجاد ارزش افزوده حاصل از محصولات اصلاح‌شده می‌شود (کروز ریورا و ارتل<sup>۳</sup>، ۲۰۰۹، ۱۹۶).

## بیان مسئله

عوامل بسیار زیادی در فرآیندهای زنجیره تأمین حلقه بسته شامل فرآیندهای توزیع، حمل‌ونقل، برنامه‌ریزی تولید و کنترل موجودی وجود دارد و تمام آن‌ها در جهت نیل به اهداف سازمان و کل سیستم است. یک شبکه لجستیک ایده‌آل باید قادر باشد تا محصولات را با کمترین هزینه به دست مشتریان برساند و همچنین در زمان مناسب

---

1 Chen et al.

2 Amin and Zhang

3 Cruz-Rivera and Ertel



مدلی برای کنترل موجودی در مدیریت زنجیره تأمین حلقه بسته با...؛ صادقیان و همکاران | ۱۰۳

محصولات برگشتی را جمع‌آوری کرده و دوباره به چرخه زنجیره تأمین بازگرداند. لذا شناخت متغیرهای مؤثر بر فرآیندهای مربوطه در زنجیره تأمین حلقه بسته و بهینه‌سازی اهداف ناسازگار که بعضاً در تضاد با یکدیگر نیز می‌باشد، یکی از مسئله‌های مورد توجه محققین در این پژوهش بوده است.

از سویی دیگر با افزایش تقاضا، نیاز به مواد خام تولیدی افزایش یافته که این امر موجب بالا رفتن قیمت مواد و به تبع آن بالا رفتن هزینه تأمین مواد اولیه می‌شود. در این شرایط می‌توان با اجرا و پیاده‌سازی زنجیره تأمین معکوس (یکپارچه با زنجیره تأمین مستقیم) زنجیره تأمین حلقه بسته‌ای را به وجود آورد که موجب صرفه‌جویی در مصرف مواد اولیه و در مجموع کاهش هزینه‌ها و افزایش درآمد سازمان می‌شود.

از دیگر مسائل اصلی پرداختن به این موضوع اینکه اعمال تحریم‌ها بسیاری از معادلات مالی و اقتصادی سازمان‌ها را به هم ریخته و هزینه‌های بسیار زیادی به آن‌ها تحمیل نموده است. یکی از راه‌های برون‌رفت از این ورطه، توجه به کاهش هزینه‌های آشکار و پنهان ناشی از فرایندهای تولید می‌باشد.

گزارش بازخورد ارزیابی مدل تعالی سازمان (EFQM) نیز حاکی از آن است که مدل جامع و علمی به‌منظور کنترل موجودی مدیریت زنجیره تأمین در شرکت برش و پرس ایران خودرو مشاهده نشده است لذا بر اساس مطالعات مقدماتی انجام‌شده توسط پژوهشگران و برگزاری جلسات متعدد با مدیران مربوطه و متخصصین امر و با توجه به اهمیت موضوع، اقدام به ارائه مدلی علمی به‌منظور حل این مسئله گردید.

با توجه به غیر ارزش‌افزوده بودن ضایعات و معیوبات ناشی از فرایند تولید (جدول ۱) و عدم سابقه انجام کار در این حوزه توسط محققین پیشین و نیز طرح موضوع به‌عنوان یکی از مسائل مهم مورد بحث در این شرکت، هدف پژوهشگران بهینه‌سازی فعالیت‌های فوق در حوزه زنجیره تأمین حلقه بسته و کنترل موجودی در قالب مدل چند هدفه چند سطحی می‌باشد. در حال حاضر شرایط تأمین ورق با دشواری همراه شده است لذا به‌منظور کنترل موجودی بهینه و با توجه به اینکه دورریز ورق‌های مجاز طراحی بدون فرم بوده و

ابعاد مختلفی نیز دارند می‌توان از آن‌ها با توجه به ابعاد و جنس، جهت تولید قطعات کوچک پرسی در محصولات خانواده سمند و پژو استفاده و این دورریزها را جایگزین تأمین کویل و ورق نمود.

جدول ۱. تناژ سالانه قابل بازیافت

نوع گروه	ضخامت	ضایع و معیوب قابل بازیافت
خانواده پژو	۰,۷	۶۷۱
خانواده سمند	۰,۸	۴۱۷
مجموع تناژ قابل بازیافت سالانه		۱۰۸۵

با تحقق مدل طبق برآورد اولیه در مجموع شاهد ذخیره موجودی به میزان ۱۰۸۵ تن خواهیم بود که بازیافت این مقدار با به کارگیری زنجیره تأمین حلقه بسته تسهیل می‌گردد. لازم به ذکر است به دلیل صیانت از اطلاعات مالی شرکت ایران خودرو، ارائه برآورد دقیق هزینه ریالی در سرفصل‌های ایجاد درآمد، جلوگیری از ایجاد هزینه و کاهش هزینه امکان‌پذیر نمی‌باشد.

مبانی نظری و مروری بر مطالعات گذشته

در این بخش مروری بر ادبیات موضوع کنترل موجودی در زنجیره تأمین، زنجیره تأمین حلقه بسته و مدل‌سازی ریاضی در زنجیره تأمین حلقه بسته انجام می‌شود.

کنترل موجودی در زنجیره تأمین

بسیاری معتقدند تمرکز در یک زنجیره تأمین باید روی مدیریت موجودی باشد. یکی از مهم‌ترین نقش‌هایی که موجودی در زنجیره تأمین ایفا می‌کند تسهیل تعادل میان تقاضا و تأمین است. به منظور مدیریت مؤثر جریان‌های رفت و برگشتی در زنجیره، شرکت‌ها باید با تقاضای مشتریان و مبادله بخش‌های بالاتر زنجیره مقابله کنند. این کار عموماً توسط موجودی انجام می‌پذیرد (والر و همکاران، ۲۰۱۴).

در ابتدایی‌ترین تحقیق که توسط گویال<sup>۱</sup> (۱۹۷۷) در رابطه با بهینه‌سازی هم‌زمان فروشنده و خریدار ارائه شد، برای فروشنده نرخ تولید معینی در نظر گرفته شده است که در آن فروشنده، تولیدکننده نمی‌باشد. پس از آن تحقیقات بسیار دیگری نیز در این زمینه انجام شد. لین و هسیو<sup>۲</sup> (۲۰۰۵) یک مدل مقدار اقتصادی سفارش در زنجیره تأمین توسعه دادند که در آن یک کانال توزیع متشکل از یک تأمین‌کننده و یک خرده‌فروش در نظر گرفته شده است. وی و یانگ<sup>۳</sup> (۲۰۰۷) یک مسئله که در آن فروشنده یک محصول تولید کرده و آن را به چندین خریدار می‌دهد، پیشنهاد کردند. اگرچه کاهش قیمت‌ها بیشتر به نفع خریدار است اما در مدل نشان داده می‌شود که خرید خریدار در این سطح قیمت، به سود کل زنجیره است. این مقاله توسط عبدالجبار و سیسیلیا<sup>۴</sup> (۲۰۰۸) ارائه شد. در زمینه مدل‌های یک فروشنده، چند خریدار، طالعی زاده و همکاران (۲۰۱۲) مدلی چند محصولی با یک فروشنده و چند خریدار که در آن زمان تحویل متغیر است ارائه نمودند. در یکی از تحقیقات مربوط به زنجیره‌های تأمین چند سطحی که توسط ژو و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۳) ارائه شده است، سطوح زنجیره تأمین به صورت شبکه در نظر گرفته شده است. طالعی زاده و همکاران (۲۰۰۹) یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط که زمان‌های پر سازی را تصادفی در نظر می‌گیرد را ارائه کردند. این مدل چند محصولی دارای تخفیف نمودی است و در آن کمبود به صورت فروش ازدست‌رفته مجاز می‌باشد. رحمتی و همکاران (۲۰۱۵) یک مسئله تدارکات، تولید و توزیع یکپارچه دو هدفه را برای طراحی شبکه کنترل موجودی در زنجیره تأمین چند سطحی ارائه کردند. مدل از نوع برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح می‌باشد که اهداف در آن حداقل سازی هزینه کل و همچنین حداقل سازی متوسط تأخیر محصولات به مراکز توزیع می‌باشد.

---

1 Goyal

2 Hsiao and Lin

3 Wee & Yang

4 Abdul-Jabbar & Sicilia

5 Zhou et al

### زنجیره تأمین حلقه بسته

زنجیره تأمین حلقه بسته متشکل از زنجیره تأمین مستقیم و زنجیره تأمین معکوس می‌باشد که در آن منظور از زنجیره تأمین مستقیم، فعالیت‌هایی می‌باشد که موجب تبدیل مواد خام و نیمه ساخته به محصول نهایی می‌شود. زنجیره تأمین معکوس نیز فرآیند برنامه‌ریزی، پیاده‌سازی و کنترل کارا و مؤثر جریان محصولات برگشتی باهدف بازیابی ارزش یا دفع مناسب آن‌ها می‌باشد. توسعه زنجیره تأمین حلقه بسته می‌تواند از لحاظ اقتصادی و زیست‌محیطی سودمند باشد (فلیسچمانن و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۱، ۱۶۵).

جایارامان و همکاران<sup>۲</sup> (۱۹۹۹) یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط را ارائه دادند که هدف آن یافتن مقدار بهینه تولید محصولات در شبکه زنجیره تأمین معکوس می‌باشد. چانگ و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۸) یک استراتژی بهینه‌سازی را برای یک سیستم کنترل موجودی در زنجیره تأمین حلقه بسته با رویکرد تولید مجدد ارائه دادند. لی و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۰۹) با استفاده از نظریه «نابرابری تغییرات»، موقعیت بهینه شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته را تبیین کردند. در این مدل زنجیره تأمین شامل تأمین کنندگان ماده خام، تولید کنندگان، خرده‌فروشان، مشتریان و قسمت‌های دوباره‌کاری است. وانگ و حسو<sup>۵</sup> (۲۰۱۰) برای تحلیل ریسک در یک زنجیره تأمین حلقه بسته از روش برنامه‌ریزی خطی در حالت فازی استفاده کردند. ون هوی و همکاران (۲۰۱۱) به بیان تعاریفی از زنجیره تأمین حلقه بسته، زنجیره تأمین تولید و زنجیره تأمین تولید مجدد پرداختند. آن‌ها همچنین مقایسه ایدر سطح خرد و کلان بین زنجیره تأمین حلقه بسته و زنجیره تأمین سنتی انجام دادند. یوشیموتو و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۲۰) در پژوهش بهینه‌سازی چند دوره‌ای در شرایط عدم قطعیت تقاضا با استفاده از روش‌های تقویت‌شده ساده، احتمالی و پویا اقدام به کمینه‌سازی هزینه‌ها

---

1 Fleischmann et al

2 Jayaraman et al

3 Chung et al

4 Li et al

5 Wang and Hsu

6 Yoshimoto et al.

مدلی برای کنترل موجودی در مدیریت زنجیره تأمین حلقه بسته با...؛ صادقیان و همکاران | ۱۰۷

پرداخته‌اند. ونفانگ و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۹) به بررسی مدیریت موجودی مشترک زنجیره تأمین و بهینه‌سازی هزینه بر اساس الگوریتم کلنی مورچگان در فضای فازی و غیر فازی پرداخته‌اند.

#### مدل‌سازی ریاضی در زنجیره تأمین

منظور از مدل ریاضی، توصیف یک سیستم به کمک نمادهای ریاضی می‌باشد. منظور از مدل‌سازی ریاضی تلاش برای توسعه یک مدل ریاضی در یک سیستم مشخص است (فاکس و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۸).

لو و بوستل<sup>۳</sup> (۲۰۰۷) یک مسئله مکان‌یابی با دو سطح را پیشنهاد دادند که در آن باید سه نوع تسهیلات در یک سیستم مشخص لجستیک معکوس مکان‌یابی شوند. آن‌ها یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط را پیشنهاد دادند که به‌طور هم‌زمان جریان مستقیم و معکوس و همین‌طور رابطه متقابل آن‌ها را در نظر می‌گرفت. آن‌ها یک الگوریتم بر مبنای هیوریستیک لاگرانژی پیشنهاد کردند. یاکوو و زانتوپولوس (۲۰۰۹) یک مدل دو مرحله‌ای برای لجستیک معکوس طراحی کردند. در مرحله اول، مدل تصمیم‌گیری مؤلفه‌های مناسب را شناسایی می‌کرد و در مرحله دوم به‌منظور پیکربندی شبکه یک مدل بهینه‌سازی چند دوره‌ای به کار گرفته شده بود. پیشوایی و همکاران (۲۰۱۰) یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلف دو هدفه ارائه دادند که در آن تابع هدف اول به حداقل رساندن هزینه‌های کل و تابع هدف دوم حداکثر کردن قدرت پاسخگویی شبکه لجستیک است. سپس آن را توسط الگوریتم ممیتیک<sup>۴</sup> حل کرده‌اند. طلوعی و همکاران (۲۰۱۶)، یک مدل ریاضی چند هدفه طراحی کردند که هزینه کنترل موجودی، هزینه تولید، میزان ضایعات و زمان انجام فرایندهای مختلف بر روی محصولات بازگشتی حداقل شود و از الگوریتم ژنتیک برای حل مدل خود استفاده کردند. احمد و همکاران (۲۰۲۰) در مدل بهینه‌سازی

---

1 Wenfang et al.

2 Fox et al

3 Lu and Bostel

4 Memetic

فازی نوتروسفیک<sup>۱</sup> اصلاح شده برای مدیریت بهینه زنجیره تأمین حلقه بسته تحت شرایط عدم اطمینان، با استفاده از رویکرد برنامه‌نویسی فازی نوتروسفیک اصلاح شده اقدام به بهینه‌سازی موضعی اهداف متناقض کرده‌اند.

در جدول ۲ به صورت مختصر خلاصه نتایج حاصل از تحقیقات پیشین پژوهشگران داخلی و خارجی در حوزه مورد بحث و همچنین همین تحقیق بر اساس تاریخ انتشار آثار آورده شده است.

جدول ۲. تغییرات توابع هدف (در حالت کلی)

ردیف تاریخ	محققان	نوع مسئله	تعداد اهداف	عملکرد تابع هدف	خطی / غیر خطی	قطعی / غیر قطعی	روش حل
۱	جایارامان و همکاران	NLP	۳	کمینه	غیر خطی	غیر قطعی	-
۲	لین و هسیو	NLP	۱	بیشینه	غیر خطی	قطعی	الگوریتم ژنتیک
۳	وی و یانگ	MILP	۲	مختلط	خطی	قطعی	-
۴	لو و بوستل	MINLP	۲	مختلط	خطی	قطعی	هیوریستیک، لاگرانژی
۵	عبدالجبار و سسیلیا	LP	۳	کمینه	خطی	قطعی	-
۶	چانگ و همکاران	NLP	۲	کمینه	غیر خطی	قطعی	-
۷	لی و همکاران	LP	۳	بیشینه	خطی	قطعی	-
۸	وانگ و حسو	LP	۱	کمینه	غیر خطی	غیر قطعی	-
۹	پیشوایی و همکاران	MINLP	۲	مختلط	غیر خطی	غیر قطعی	الگوریتم ممتیک
۱۰	ون هوی و همکاران	NLP	۲	بیشینه	غیر خطی	قطعی	-
۱۱	طالعی زاده و همکاران	MINLP	۲	مختلط	غیر خطی	غیر قطعی	الگوریتم ژنتیک
۱۲	زو و همکاران	NLP	۳	بیشینه	خطی	قطعی	-

1 neutrosophic

روش حل	قطعی / غیر قطعی	خطی / غیر خطی	عملکرد تابع هدف	تعداد اهداف	نوع مسئله	محققان	تاریخ	ردیف
-	قطعی	غیر خطی	مختلط	۲	MINLP	رحمتی و همکاران	۲۰۱۵	۱۳
الگوریتم ژنتیک	قطعی	غیر خطی	مختلط	۴	MINLP	طلوعی و همکاران	۲۰۱۶	۱۴
الگوریتم کلنی مورچگان	غیر قطعی	غیر خطی	بیشینه	۳	NLP	ونفانگ و همکاران	۲۰۱۹	۱۵
-	غیر قطعی	غیر خطی	مختلط	۲	MINLP	یوشیموتو و همکاران	۲۰۲۰	۱۶
بهینه‌سازی فازی، نوتروسفیک	قطعی	غیر خطی	مختلط	۳	MINLP	احمد و همکاران	۲۰۲۰	۱۷
شاخه و کران	قطعی	خطی	مختلط	۲	MILP	صادقیان و همکاران	۲۰۲۰	۱۸

### الگوریتم حل مدل ریاضی پژوهش

عمده مسائل بهینه‌سازی که در دنیای ما وجود دارد بیش از یک هدف را دربر می‌گیرد و پاسخ بهینه مسئله نیز هنگامی حاصل می‌گردد که کلیه اهداف به میزان خاصی از بهینگی رسیده باشند، به همین جهت این گونه مسائل را مسائل بهینه‌سازی چند هدفه می‌نامیم. در مسئله مورد نظر از دو روش «وزن دهی<sup>۱</sup>» و «حدی<sup>۲</sup>» برای تبدیل مسئله چند هدفه به تک هدفه و در ادامه با توجه به عدد صحیح بودن مسئله از الگوریتم انشعاب و تحدید (شاخه و کران) برای حل آن استفاده می‌شود.

### روش وزن دهی

مبنای روش وزن دهی مبتنی بر تبدیل مسائل چند هدفه به مسائل تک هدفه می‌باشد. از جمله مزایای این روش، مناسب بودن آن برای مسائل بهینه‌سازی محدب و ساده بودن

1 Weighting Approach  
2 Constraint Method

پایاده‌سازی آن است. از ویژگی‌های این روش تبدیل همه اهداف به یک هدف کلی در مسائلی که به‌طور هم‌زمان برخی اهداف باید حداقل و برخی دیگر باید حداکثر شوند می‌باشد. لازم به ذکر است که با توجه به ساختار متدلوزی مذکور، لزوم بررسی‌های بیشتر در قالب اعتبارسنجی‌ها و ممیزی نتایج نهایی جهت اطمینان از صحت جواب به‌دست‌آمده به‌عنوان جواب بهینه، ضروری است (اصغر پور، ۱۳۹۳، ۱۹۱).

برای حل مسئله چند معیاره خطی به این روش، اگر یک مجموعه خوب از وزن‌های تخمین زده‌شده و مسئله برنامه‌ریزی تک هدفه را به‌وسیله وزن‌های داده‌شده حل کنیم، مجموعه معتبری از نقاط مؤثر گوشه به دست می‌آید. در این روش بعد از تخمین اوزان موردنیاز (مشخص کردن حد بالایی برای وزن‌ها و افزایش سیستماتیک آنان)، تعداد نقاط قابل قبول و مقادیر هر یک از آن‌ها محاسبه و بهینه‌ترین مقدار مورد انتخاب قرار می‌گیرد (قدسی پور، ۱۳۹۷، ۱۱۷).

### روش حدی

در این الگوریتم حد بالا و پایین برای هدف مشخص‌شده و اهداف مدل به‌صورت سیستماتیک در این محدوده تغییر می‌کنند و جواب‌های مؤثر مشخص می‌شود. به‌طور دقیق‌تر این الگوریتم شامل قدم‌های زیر است:

در قدم اول جدول تغییرات باید ساخته شود به این صورت که ابتدا کلیه اهداف به‌صورت انفرادی بهینه شود و مقادیر بهینه به همراه متغیرهای مسئله محاسبه شود. سپس با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده مقادیر حداقل ( $n_k$ ) و حداکثر ( $M_k$ ) در جدول ۳ تغییرات ثبت شود.

جدول ۳. تغییرات توابع هدف (در حالت کلی)

	$Z_1(x)$	$Z_2(x)$	..	$Z_p(x)$
$x^1$	$Z_1(x^1)$	$Z_2(x^1)$	..	$Z_p(x^1)$
$x^2$	$Z_1(x^2)$	$Z_2(x^2)$	..	$Z_p(x^2)$
:	:	:	:	:
$x^p$	$Z_1(x^p)$	$Z_2(x^p)$	..	$Z_p(x^p)$
	$M_1$	$M_2$	..	$M_p$



	$Z_1(x)$	$Z_2(x)$	..	$Z_p(x)$
	$n_1$	$n_2$	..	$n_p$

در قدم دوم مسئله‌ای با  $p$  تابع هدف را به مسئله‌ای با  $p-1$  محدودیت تبدیل می‌کنیم.  $n_k$  و  $M_k$  که از قدم یک محاسبه شده‌اند، محدوده تغییرات تابع هدف  $k$  ام و همچنین محدوده تغییرات  $L_k$  را نشان می‌دهد. داریم:

$$n_k \leq L_k \leq M_k$$

مقادیر مختلفی را در محدوده فوق برای  $L_k$  انتخاب کرده تا جواب‌های مؤثر مربوط را مشخص کند (تعداد این مقادیر را  $r$  می‌نامیم). مسائل حدی تولیدشده در قدم دوم را برای همه ترکیبات مختلف  $L_k$  که تعداد آن  $r^{p-1}$  ترکیب مختلف است، حل می‌کنیم (قدسی پور، ۱۳۹۷، ۱۴۲).

$$L_k = n_k + \left[ \frac{t}{r-1} \right] (M_k - n_k) \quad t = 0, 1, 2, \dots, r-1$$

### الگوریتم انشعاب و تحدید (شاخه و کران)

الگوریتم شاخه و کران یکی از روش‌های کلاسیک حل مسئله برنامه‌ریزی عدد صحیح است. این روش به همراه روش برش گومری از مشهورترین روش‌ها در حل مسئله برنامه‌ریزی عدد صحیح هستند. در اکثر مقالات ارائه شده در این زمینه به روش شاخه و کران اشاره شده است، لذا این روش بسیار حائز اهمیت است.

مراحل اساسی برای این روش باهدف ماکزیمم سازی به شرح زیر است:

- (A) مسئله را بدون فرض عدد صحیح بودن متغیرهای تصمیم با روش‌های معمول حل می‌کنیم.
- (B) چنانچه جواب بهینه متغیرهای صحیح عددی صحیح باشد که به جواب بهینه رسیده‌ایم در غیر این صورت به مرحله بعدی می‌رویم (مرحله انشعاب).
- (C) در هر بار تکرار یکی از متغیرهای غیر صحیح را انتخاب می‌کنیم و عمل انشعاب را انجام می‌دهیم روش انشعاب به این صورت است که هر عدد غیر صحیح را همواره می‌توان بین دو عدد صحیح متوالی در نظر گرفت.

(D) مسائل فرعی جدید را حل می‌کنیم و آزمون به عمق رسیدن را بررسی می‌کنیم که شامل این سه حالت است:

I- مقدار تابع هدف مسئله فرعی از مقدار تابع هدف در مرحله قبل از آن کمتر بشود (در مسائل از نوع حداکثر سازی) برای مرحله شروع مقدار تابع هدف برای مقایسه منفی بی‌نهایت در نظر گرفته می‌شود.  
II- حالت خاص فاقد ناحیه موجه پیش بیاید.

III- به جواب صحیح برسیم چنانچه این جواب از جواب‌های قبلی شاخه‌ها بیشتر باشد به‌عنوان بهترین جواب موجود در نظر گرفته می‌شود و جایگزین مقدار تابع هدف برای مقایسه خواهد شد.

(E) برای تمام شاخه‌ها مسئله را به عمق می‌رسانیم در این صورت بهترین جواب موجود برای تابع هدف همان جواب بهینه خواهد بود (صمدی، ۱۳۹۵، ۶)

طرح و پیاده‌سازی مدل پژوهش در کارخانه برش و پرس شرکت ایران خودرو و آشنایی با شرکت ایران خودرو و صنعت مربوطه

صنعت خودروسازی یکی از مهم‌ترین صنایع کشور طی چند سال اخیر بوده و با توجه به نوع بازار داخلی و محدودیت‌های ورود محصولات خارجی، فضای اقتصادی بسیار مناسبی برای این صنعت ایجاد شده است. هرچند صنعت خودرو در ایران صنعت جوانی نیست ولیکن به دلایل مختلف رشد چندانی نسبت به صنعت خودرو در جهان نکرده است. فاصله موجود بین صنعت خودرو در ایران و صنعت خودرو در جهان فرصتی جهت خلاقیت و تلاش و کسب تجربه‌های جدید است. راه‌حل‌های موجود در صنعت خودرو جهان تنها چراغ راهنمایی برای یافتن مسیر است و جاری‌سازی هر یک از تکنیک‌ها در هر گوشه از این صنعت نیز مستلزم تلاش و کوشش فراوانی است که باعث کسب تجربه‌های جدیدی می‌گردد. محصولات شرکت ایران خودرو در خطوط تولید سالن‌های تولید قطعات پرس، شاتل، رنگ، موتور سازی و مونتاژ تندر تولید می‌شود.

شرکت ایران خودرو شامل بخش‌ها و دپارتمان‌های تولیدی و غیر تولیدی می‌باشد

مدلی برای کنترل موجودی در مدیریت زنجیره تأمین حلقه بسته با...؛ صادقان و همکاران | ۱۱۳

که اهتمام هر یک از این بخش‌ها بر اساس انجام فعالیت‌های دارای ارزش افزوده می‌باشد. لیکن یکی از وظایف سازمانی مدیران و کارکنان مجموعه در این شرایط بحرانی به حداقل رساندن فعالیت‌های غیر ارزش افزوده در سازمان است.

حیطه کاری این پژوهش واقع در سالن پرس شماره ۳ می‌باشد. این سالن شامل دو خط بلنکینگ<sup>۱</sup> و ۶ خط پرس می‌باشد. وظیفه خطوط بلنکینگ خرد کردن کویل<sup>۱</sup> و تبدیل آن به شیت<sup>۲</sup> می‌باشد. اولین خط بلنکینگ ساخت شرکت wia کره می‌باشد، تناژ پرس این خط ۵۰۰ تن بوده و در طول خط از ابتدا تا انتها عملیات‌هایی مانند، شستشو، برش عرضی، level و stack نمودن ورق‌ها انجام می‌پذیرد. خط دوم ساخت شرکت schuler آلمان می‌باشد و مکانیزم این خط شبیه خط wia می‌باشد. در طول یک خط پرس نیز، بلنک تحت چندین عملیات تبدیل به قطعه نهایی می‌گردد. مشخصات فنی خطوط پرس این سالن پرس به شرح جدول ۴ می‌باشد:

جدول ۴. مشخصات فنی خطوط پرس سالن پرس

خط	تناژ پرس‌ها	سطح اتوماسیون	سال بهره‌برداری	شرکت سازنده پرس‌ها	شرکت سازنده ربات‌ها
G1-1	(2000,1000,800)	100%	۱۳۸۰	HITACHI	KUKA
G2-1	(1300,800,600)	100%	۱۳۸۰	WIA	KUKA
G2-2	(1500,800,600)	100%	۱۳۸۱	WIA	ABB
G2-3	(1500,800,600)	100%	۱۳۸۳	HITACHI	KUKA
G2-4	(1500,800,600)	100%	۱۳۸۳	HITACHI	KUKA
G1-2	(2000,1000,800)	100%	۱۳۸۴	HITACHI	KUKA

تنوع محصولات تولید این کارخانه شامل قطعات خودرو سمند، خودرو پژو ۴۰۵، خودرو پژو پارس، خودرو پژو ۲۰۶، خودرو پژو ۲۰۶ صندوقدار، خودرو رانا و خودرو دنا می‌باشد. این مجموعه توانایی تولید بیش از ۵۰ هزار قطعه در روز و تولید ۲۰ میلیون قطعه در سال را دارد.

1 Coil  
2 Sheet

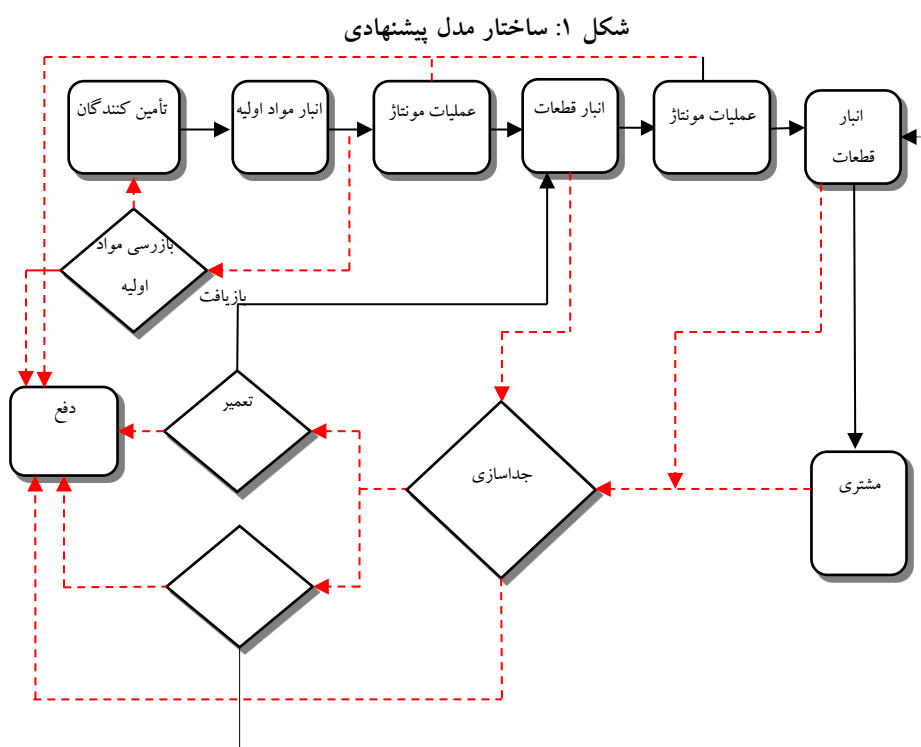
لازم به ذکر است که در مدل مذکور مواد اولیه (کوئل‌ها) در قالب ۶ دسته‌بندی، محصولات نوع اول (بلنک‌ها) در قالب ۹ دسته‌بندی و محصولات نوع دوم (قطعات پرسی) در قالب ۹۵ دسته‌بندی مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

### مدل پیشنهادی

مدل پیشنهادی کنترل موجودی یکپارچه برای زنجیره تأمین حلقه بسته، مدلی است برای سیستمی با چند مکان، چندلایه، چند دوره و چند محصول. در شکل ۱ ساختار شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته پیشنهادی آمده است. خطوط تیره جریان زنجیره تأمین مستقیم (مواد مصرفی و محصول نهایی) و خطوط خطچین جریان زنجیره تأمین معکوس (محصولات بازگشتی) را نشان می‌دهند. در این میان می‌توان محصولات جمع‌آوری شده را با تغییرات اندک به عنوان محصولات بازیافتی به جریان مستقیم محصولات برگرداند و یا در بازار مشتریان این محصولات فروخت.

اولویت مشتریان محصولات جدید در تخصیص منابع، بیشتر از مشتریان کالاهای بازیافت شده است، بنابراین حمل مستقیم کالاها و نگهداری ذخیره احتیاطی تنها برای کالاهای جدید در نظر گرفته می‌شود. محصولات جدید در قالب سیستم کششی و محصولات بازیافتی در قالب سیستم فشاری به مشتریان تحویل داده می‌شود که مواد اولیه آن با جمع‌آوری محصولات استفاده شده فراهم می‌شود. در تابع هدف مدل پیشنهادی، درآمد کل که حاصل از فروش کالاهای جدید و کالاهای بازیافتی به مشتریان است، حداکثر می‌شود. هزینه‌های کل نیز شامل هزینه‌های تولید، نگهداری، بازیافت، تعمیر، حمل‌ونقل، خرید مواد خام، بازرسی و جداسازی محصولات جمع‌آوری شده است. با توجه به اینکه هدف، تعیین تصمیم‌های راهبردی است، از هزینه‌های باز و بسته کردن تجهیزات، هزینه‌های انتخاب تأمین‌کنندگان و سایر هزینه‌های مرتبط با تصمیمات راهبردی صرف نظر شده است. تصمیم‌گیری اصلی تاکتیکی که به کمک مدل پیشنهادی صورت گرفته، مرجعی در برنامه‌ریزی اصلی می‌باشد. این تصمیم‌ها عبارت‌اند از:

چه مقدار محصول در کدام یک از خطوط، تولید شود؟  
 چه مقدار مواد اولیه در ابتدای دوره سفارش داده شود؟  
 چه مقدار محصول معیوب بازیافت یا تعمیر شود؟



### مفروضات مدل

- مدل به صورت چند محصولی است.
- کمبود مجاز نبوده و تقاضای محصولات به موقع و به طور کامل تأمین می شود.
- تمام محصولات معیوب در فرایند بازرسی و جداسازی به قسمت بازیافت و تعمیر منتقل شده و تمامی آن ها مجدداً به جریان مستقیم زنجیره تأمین بازگردانده می شود.
- تمام ضایعات به مرکز انهدام برده و دفع می شود.
- مراکز تولید، نگهداری، تعمیر، بازیافت و دفع ثابت در نظر گرفته شده است.

- مکان‌های مراکز بالقوه تولید، توزیع، بازیافت، تعمیر، دفع و... ثابت و مشخص است.
- موجودی بیان‌شده در مدل صرفاً شامل موجودی مواد اولیه، محصولات تولیدی، محصولات معیوب و ضایعات حاصل از تولید آنهاست و موارد دیگر مانند قطعات نیمه ساخته یا ابزار و ملزومات در مدل لحاظ نشده است.
- سطوح کیفیت محصولات نهایی حاصل از فرایندهای تولید و تولید مجدد مشابه یکدیگر در نظر گرفته می‌شود.

#### اندیس‌ها

- $I$ : مجموعه قطعات نوع  $i$  (بلنک) ( $i=1,2,\dots,I$ )
- $J$ : مجموعه قطعات نوع پرس ( $j=1,2,\dots,J$ )
- $N$ : مجموعه مواد اولیه (کویل‌ها) ( $n=1,2,\dots,N$ )
- $T$ : مجموعه دوره‌های زمانی ( $t=1,2,\dots,T$ )
- $L$ : مجموعه خطوط تولید قطعات بلنک ( $l=1,2,\dots,L$ )
- $L'$ : مجموعه خطوط تولید قطعات پرس ( $l'=1,2,\dots,L'$ )
- $S$ : مجموعه تأمین‌کنندگان ( $s=1,2,\dots,S$ )
- $W$ : مجموعه مراکز انبار مواد اولیه (کویل) ( $w=1,2,\dots,W$ )
- $W'$ : مجموعه مراکز انبار قطعات بلنک ( $w'=1,2,\dots,W'$ )
- $W''$ : مجموعه مراکز انبار قطعات پرس ( $w''=1,2,\dots,W''$ )
- $M$ : مجموعه مشتریان ( $m=1,2,\dots,M$ )
- $S$ : مجموعه تأمین‌کنندگان ( $s=1,2,\dots,S$ )
- $R$ : مجموعه مراکز بازیافت ( $r=1,2,\dots,R$ )
- $F$ : مجموعه مراکز تعمیر ( $f=1,2,\dots,F$ )
- $D$ : مجموعه مراکز دفع ( $d=1,2,\dots,D$ )

#### پارامترها

- MCnt: هزینه نگهداری کویل نوع n در دوره t.
- MBit: هزینه نگهداری قطعه بلنک نوع i در دوره t.
- MPjt: هزینه نگهداری قطعه پرسی نوع j در دوره t.
- PBilt: هزینه تولید قطعه بلنک نوع i در خط l در دوره t.
- PPjl't: هزینه تولید قطعه پرسی نوع j در خط l' در دوره t.
- PCnst: هزینه خرید کویل نوع n از تأمین کننده s در دوره t.
- BBil: زمان لازم برای تولید قطعه بلنک نوع i در خط l.
- BPjl': زمان لازم برای تولید قطعه پرسی نوع j در خط l'.
- DMCnt: میزان کویل موردنیاز نوع n در دوره t.
- DMBit: میزان بلنک موردنیاز نوع i در دوره t.
- DMPjt: میزان قطعه پرسی موردنیاز نوع j در دوره t.
- TCnswt: هزینه جابجایی کیلوگرم کویل نوع n از مرکز تأمین s به انبار w در دوره t.
- TC2nwl't: هزینه جابجایی کیلوگرم کویل های سالم نوع n از انبار w به خط تولید بلنک l در دوره t.
- TC'nswt: هزینه جابجایی کیلوگرم کویل معیوب نوع n از انبار w به مرکز تأمین s در دوره t.
- TBilw't: هزینه جابجایی کیلوگرم قطعه بلنک نوع i از خط تولید بلنک l به انبار w در دوره t.
- TB2iw'l't: هزینه جابجایی کیلوگرم قطعه بلنک سالم نوع i از انبار w' به خط تولید قطعات پرسی l' در دوره t.
- TB2'iw'rt: هزینه جابجایی کیلوگرم قطعات بلنک معیوب نوع i از انبار w' به مرکز بازیافت r در دوره t.
- TB3'iw'dt: هزینه جابجایی کیلوگرم قطعات بلنک معیوب نوع i از انبار w' به مرکز دفع d در دوره t.

TPj'l'w"t: هزینه جابجایی کیلوگرم قطعه پرسى نوع زاز خط تولید قطعات پرسى 'l به انبار w" در دوره t.

TP2jw"mt: هزینه جابجایی کیلوگرم قطعه پرسى سالم نوع زاز انبار w" به انبار مشتری m در دوره t.

TP'jw"t: هزینه جابجایی کیلوگرم قطعه پرسى معیوب نوع زاز انبار w" در دوره t.

TP2'jw"ft: هزینه جابجایی کیلوگرم قطعه پرسى معیوب نوع زاز انبار w" به مرکز تعمیر f در دوره t.

TP3'jw"dt: هزینه جابجایی کیلوگرم قطعه پرسى معیوب نوع زاز انبار w" به مرکز دفع d در دوره t.

TZBldt: هزینه جابجایی کیلوگرم ضایعات تولید قطعه بلنک از خط تولید بلنک l به مرکز دفع d در دوره t.

TZPl'dt: هزینه جابجایی کیلوگرم ضایعات پرسى از خط تولید قطعات پرسى 'l به مرکز دفع d در دوره t.

TZB'rdt: هزینه جابجایی کیلوگرم ضایعات عملیات بازیافت r به مرکز دفع d در دوره t مربوط به قطعات بلنک.

TZP'fdt: هزینه جابجایی کیلوگرم ضایعات عملیات مرکز تعمیر f به مرکز دفع d در دوره t مرتبط به قطعات پرسى.

QCt: هزینه بازرسی کویل در دوره t.

QBt: هزینه بازرسی قطعه بلنک در دوره t.

QPt: هزینه بازرسی قطعه پرسى در دوره t.

Rit: هزینه بازیافت قطعه بلنک معیوب نوع i در دوره t.

Fjt: هزینه تعمیر قطعه پرسى معیوب نوع j در دوره t.

DBt: هزینه دفع قطعه بلنک معیوب در دوره t.

DPt: هزینه دفع قطعه پرسى معیوب در دوره t.



- DZt: هزینه دفع ضایعات تولید و بازتولید تمامی قطعات در دوره t.
- SBitl: زمان راه‌اندازی برای تولید قطعه بلنک نوع i در خط l.
- SPjtl': زمان راه‌اندازی برای تولید قطعه پرسى نوع j در خط l'.
- CCst: ظرفیت تعداد خرید کویل از تأمین کننده s در دوره t.
- CBlt: ظرفیت تعداد تولید قطعه بلنک در خط بلنک l در دوره t.
- CPlt': ظرفیت تعداد تولید قطعه پرسى در خط پرس l' در دوره t.
- CB'rt: ظرفیت تعداد بازیافت مرکز r قطعه بلنک در دوره t.
- CP'ft: ظرفیت تعداد تعمیر مرکز f قطعه پرسى در دوره t.
- TCBlt: ظرفیت زمانی تولید قطعه بلنک در خط بلنک l در دوره t.
- TCPl't: ظرفیت زمانی تولید قطعه پرسى در خط بلنک l' در دوره t.
- CSCwt: ظرفیت انبار نگهداری w کویل‌های موجود در دوره t.
- CSBw't: ظرفیت انبار نگهداری w قطعات بلنک موجود در دوره t.
- CSPw''t: ظرفیت انبار نگهداری w قطعات پرسى موجود در دوره t.
- EPjmt: ارزش قطعه پرسى نوع j در دوره t که به مشتری m ارسال می‌شود.
- EB'it: ارزش قطعه بلنک معیوب دفع شده نوع i در دوره t.
- EP'jt: ارزش قطعه پرسى معیوب دفع شده نوع j در دوره t.
- Cst $\alpha$ : نرخ معیوب بودن کویل از سوی تأمین کننده s در دوره t.
- Blt $\alpha$ : نرخ معیوب بودن بلنک‌های تولیدی از سوی خط l در دوره t.
- Pl't $\alpha$ : نرخ معیوب بودن قطعات پرسى تولیدی از سوی خط l' در دوره t.
- $\beta$ Bt: درصد قطعات بلنک بازگشتی که در دوره t راهی بازیافت می‌شود.
- $\beta$ Pt: درصد قطعات پرسى بازگشتی که در دوره t راهی تعمیر می‌شود.
- $\gamma$ Bt: نرخ ضایعات تولیدشده حاصل از عملیات بلنک در دوره t که راهی دفع می‌شود.
- $\gamma$ Pt: نرخ ضایعات تولیدشده حاصل از عملیات پرس در دوره t که راهی دفع می‌شود.
- $\gamma$ 'Bt: نرخ ضایعات تولیدشده حاصل از عملیات بازیافت بلنک‌های معیوب در دوره t که

راهی دفع می شود.

$\gamma^t P^t$ : نرخ ضایعات تولیدشده حاصل از عملیات تعمیر قطعات پرسی در دوره  $t$  که راهی دفع می شود.

### متغیرها

$ICnwt$ : موجودی کویل نوع  $n$  در انبار  $w$  در پایان دوره  $t$  (در دوره  $t=0$  موجودی کویل برابر صفر می باشد).

$IBiw't$ : موجودی قطعه بلنک نوع  $i$  در انبار  $w'$  در پایان دوره  $t$  (در دوره  $t=0$  موجودی قطعه بلنک برابر صفر می باشد).

$IPjw''t$ : موجودی قطعه پرسی نوع  $j$  در انبار  $w''$  در پایان دوره  $t$  (در دوره  $t=0$  موجودی قطعه پرسی برابر صفر می باشد).

$XCnswt$ : تعداد کویل های خریداری شده نوع  $n$  از تأمین کننده  $s$  در دوره  $t$  جهت انتقال به انبار  $w$ .

$XC2nwt$ : تعداد کویل هایی که در دوره  $t$  از انبار  $w$  راهی خط تولید  $l$  می شود.

$XC'nwst$ : تعداد کویل های معیوب برگشتی نوع  $n$  از انبار  $w$  به تأمین کننده  $s$  در دوره  $t$ .

$XBilw't$ : تعداد تولید قطعه بلنک نوع  $i$  در خط  $l$  در دوره  $t$  که به انبار  $w'$  منتقل می شود.

$XB'iw't$ : تعداد تولید معیوب بلنک قابل بازیافت نوع  $i$  در دوره  $t$  که به انبار  $w'$  منتقل می شود.

$XB2iw't$ : تعداد تولید قطعه بلنک نوع  $i$  که از انبار  $w'$  به خط  $l'$  در دوره  $t$  منتقل می شود.

$XPjl'w''t$ : تعداد تولید قطعه پرسی نوع  $j$  که از خط  $l'$  به انبار  $w''$  در دوره  $t$  منتقل می شود.

$XP'jw''t$ : تعداد تولید معیوب پرسی قابل بازیافت نوع  $j$  در دوره  $t$  که به انبار  $w''$  منتقل می شود.

$XP2jw''mt$ : تعداد تولید قطعه پرسی نوع  $j$  که از انبار  $w''$  راهی سالن مشتری می شود در دوره  $t$ .

$XP2w''$ : تعداد تولید قطعه پرسی که از انبار  $w''$  راهی سالن مشتری می شود.

مدلی برای کنترل موجودی در مدیریت زنجیره تأمین حلقه بسته با ...؛ صادقیان و همکاران | ۱۲۱

WP"jmw"t: تعداد محصولات معیوب بازگشتی نوع j از مشتری m که به انبار w منتقل می شود.

WBiw'rt: تعداد قطعات معیوب بلنک قابل بازیافت نوع i که در دوره t از انبار w به مرکز بازیافت r منتقل می شود.

WB'iw'dt: تعداد قطعات معیوب بلنک غیرقابل بازیافت نوع i در دوره t که از انبار w راهی مرکز دفع d می شود.

WPjw"ft: تعداد قطعات معیوب پرسی قابل تعمیر نوع j که در دوره t از انبار w راهی مرکز تعمیر f می شود.

WP'jw"dt: تعداد قطعات معیوب پرسی غیرقابل تعمیر نوع j که در دوره t از انبار w راهی مرکز دفع d می شود.

ZBldt: ضایعات حاصل از عملیات بلنک در خط l در دوره t که راهی مرکز دفع d می شود.

ZB'rdt: ضایعات حاصل از قطعات بلنک معیوب عملیات بازیافت r در دوره t که راهی مرکز دفع d می شود.

ZPl'dt: ضایعات حاصل از عملیات پرس در خط l در دوره t که راهی مرکز دفع d می شود.

ZP'fdt: ضایعات حاصل از قطعات پرسی معیوب عملیات تعمیر f در دوره t که راهی مرکز دفع d می شود.

### مدل ریاضی

اولین تابع هدف بیان کننده کمینه کردن هزینه‌های مربوط به مواد اولیه (کویل‌ها)، محصولات نوع اول (بلنک‌ها) و محصولات نوع دوم (قطعات پرسی) است.

Min Z1

$$= \sum_n \sum_t MC_{nt} \sum_w IC_{nwt} + \sum_i \sum_t MB_{it} \sum_{w'} IB_{iw't} + \sum_j \sum_t MP_{jt} \sum_{w''} IP_{jw''t} \quad (1)$$

رابطه (۱) مربوط به هزینه‌های نگهداری می‌باشد.

$$+ \sum_i \sum_l \sum_t PB_{ilt} XB_{ilt} + \sum_j \sum_{l'} \sum_t PP_{jl't} XP_{jl't} \quad (2)$$

رابطه (۲) هزینه تولید محصولات می‌باشد.

$$+ \sum_n \sum_s \sum_t PC_{nst} \sum_w XC_{nswt} - \sum_n \sum_s \sum_t PC_{nst} \sum_w XC'_{nswt} \quad (3)$$

رابطه (۳) نشان‌دهنده هزینه تأمین مواد اولیه می‌باشد

$$+ \sum_n \sum_s \sum_w \sum_t TC_{nswt} XC_{nswt} + \sum_n \sum_w \sum_{l'} \sum_t TC2_{nwl't} XC2_{nwl't} \quad (4)$$

$$+ \sum_n \sum_w \sum_s \sum_t TC'_{nwst} XC'_{nwst}$$

$$+ \sum_i \sum_l \sum_{w'} \sum_t TB_{ilw't} XB_{ilw't} + \sum_i \sum_{w'} \sum_{l'} \sum_t TB2_{iw'l't} XB2_{iw'l't}$$

$$+ \sum_i \sum_{w'} \sum_r \sum_t TB2'_{iw'rt} WB_{iw'rt}$$

$$+ \sum_i \sum_{w'} \sum_d \sum_t TB3'_{iw'dt} WB'_{iw'dt} + \sum_i \sum_r \sum_{w'} \sum_t TB'_{irw't} WB_{irw't}$$

$$+ \sum_j \sum_{l'} \sum_{w''} \sum_t TP_{jl'w''t} XP_{jl'w''t} + \sum_j \sum_{w''} \sum_m \sum_t TP2_{jw''mt} XP2_{jw''mt}$$

$$+ \sum_j \sum_{w''} \sum_f \sum_t TP2'_{jw''ft} WP_{jw''ft}$$

$$+ \sum_j \sum_{w''} \sum_d \sum_t TP3'_{jw''dt} WP'_{jw''dt} + \sum_j \sum_f \sum_{w''} \sum_t TP'_{jfw''t} WP_{jfw''t}$$

مدلی برای کنترل موجودی در مدیریت زنجیره تأمین حلقه بسته با ...؛ صادقیان و همکاران | ۱۲۳

$$\begin{aligned}
 & + \sum_j \sum_m \sum_{w''} \sum_t TP'_{2jmw''t} WP''_{jmw''t} + \sum_l \sum_d \sum_t TZB_{ldt} ZB_{ldt} \\
 & \quad + \sum_{l'} \sum_d \sum_t TZP_{l'dt} ZP_{l'dt} \\
 & + \sum_r \sum_d \sum_t TZB'_{rdt} ZB'_{rdt} + \sum_f \sum_d \sum_t TZP'_{fdt} ZP'_{fdt}
 \end{aligned}$$

رابطه (۴) مربوط به هزینه حمل و نقل مواد می‌باشد.

$$\begin{aligned}
 & + QC_t \sum_n \sum_s \sum_w \sum_t XC_{nswt} + QB_t \sum_i \sum_l \sum_{w'} \sum_t XB_{ilw't} \\
 & + QP_t \sum_i \sum_{l'} \sum_{w''} \sum_t XP_{jl'w''t} \quad (5)
 \end{aligned}$$

رابطه (۵) در ارتباط با هزینه بازرسی مواد اولیه و محصولات می‌باشد.

$$+ \sum_i \sum_t R_{it} \sum_{w'} \sum_r WB_{iw'rt} + \sum_j \sum_t F_{jt} \sum_{w''} \sum_f WP_{jw''ft} \quad (6)$$

در رابطه (۶) هزینه تعمیر و بازیافت محصولات معیوب مدنظر می‌باشد.

$$\begin{aligned}
 & + \sum_t DB_t \sum_i \sum_{w'} \sum_d WB'_{iw'dt} + \sum_t DP_t \sum_j \sum_{w''} \sum_d WP'_{jw''dt} \quad (7) \\
 & + \sum_t DZ_t \left( \sum_l \sum_d ZB_{ldt} \right. \\
 & \quad \left. + \sum_r \sum_d ZB'_{rdt} + \sum_{l'} \sum_d ZP_{l'dt} + \sum_f \sum_d ZP'_{fdt} \right) \quad (8)
 \end{aligned}$$

روابط (۷) و (۸) به ترتیب مربوط به هزینه دفع تولیدات ضایع و هزینه دفع ضایعات ناشی از

تولید می‌باشد.

Max Z2

$$= \sum_j \sum_m \sum_t EP_{jmt} \sum_{w''} XP_{2w''} + \sum_i \sum_t EB'_{it} \sum_{w'} \sum_d WB'_{iw'dt}$$

$$+ \sum_j \sum_t EP'_{jt} \sum_{w''} \sum_d WP'_{jw''} dt \quad (9)$$

رابطه (۹) مربوط به دومین تابع هدف یعنی بیشینه کردن میزان فروش محصولات می‌باشد.  
S.T:

$$IC_{nt} = IC_{n(t-1)} + \sum_s XC_{nswt} - DMC_{nt} \quad (10)$$

$$IB_{it} = IB_{i(t-1)} + \sum_l XB_{ilt} - \sum_r WB_{irt} - DMB_{it}$$

$$IP_{it} = IP_{j(t-1)} + \sum_{l'} XP_{jl't} - \sum_f WP_{jft} - DMP_{jt}$$

رابطه (۱۰) بیان‌کننده تعادل موجودی، میزان تولید و تقاضا در محصولات و مواد اولیه می‌باشد.

$$\sum_s \sum_w XC_{nswt} = \sum_w \sum_l XC2_{nwl't} + \sum_w \sum_s XC'_{nwst} \quad (11)$$

$$\sum_s \sum_w XC'_{nswt} = \left( \sum_s \sum_w XC_{nswt} \right) \alpha C_{st}$$

$$\sum_s \sum_w XC2_{nswt} = \left( \sum_s \sum_w XC_{nswt} \right) (1 - \alpha C_{st})$$

رابطه (۱۱) نشان‌دهنده ارتباط بین مواد اولیه خریداری‌شده سالم و معیوب است.

$$\sum_l \sum_{w'} XB_{ilw't} = \sum_{w'} \sum_{l'} XB2_{iw'l't} + \sum_{w'} XB'_{iw't} \quad (12)$$

$$\sum_{w'} XB'_{iw't} = \left( \sum_l \sum_{w'} XB_{ilw't} \right) \alpha B_{lt}$$

$$\sum_{w'} \sum_{l'} XB2_{iw'l't} = \left( \sum_l \sum_{w'} XB_{ilw't} \right) (1 - \alpha B_{lt})$$

$$\sum_{w'} \sum_r WB_{iw'rt} = \left( \sum_{w'} XB'_{iw't} \right) \beta B_t$$

مدلی برای کنترل موجودی در مدیریت زنجیره تأمین حلقه بسته با ...؛ صادقان و همکاران | ۱۲۵

$$\sum_{w'} \sum_d \mathbf{WB}'_{iw/dt} = \left( \sum_{w'} \mathbf{XB}'_{iw/t} \right) (1 - \beta \mathbf{B}_t)$$

رابطه (۱۲) بیان‌کننده ارتباط میزان تولید، درصد ضایعات و معیوبات محصول اول (بلنک) می‌باشد.

$$\sum_{l'} \sum_{w''} \mathbf{XP}_{jl/w''t} = \sum_{w''} \sum_m \mathbf{XP}_{2jw''mt} + \sum_{w''} \mathbf{XP}'_{jw''t} \quad (13)$$

$$\sum_{w''} \mathbf{XP}'_{jw''t} = \left( \sum_{l'} \sum_{w''} \mathbf{XP}_{jl/w''t} \right) \alpha \mathbf{P}_{l't}$$

$$\sum_{w''} \sum_m \mathbf{XP}_{2jw''mt} = \left( \sum_{l'} \sum_{w''} \mathbf{XP}_{jl/w''t} \right) (1 - \alpha \mathbf{P}_{l't})$$

$$\sum_m \sum_{w''} \mathbf{WP}''_{jmw''t} = \left( \sum_{w''} \sum_m \mathbf{XP}_{2jw''mt} \right) \alpha' \mathbf{P}_{l't}$$

$$\sum_{w''} \sum_f \mathbf{WP}_{jw''ft} = \left( \sum_m \sum_{w''} \mathbf{WP}''_{jmw''t} + \sum_{l'} \sum_{w''} \mathbf{XP}_{jl/w''t} \right) \beta \mathbf{P}_t$$

$$\sum_{w''} \sum_d \mathbf{WP}'_{jw''dt} = \left( \sum_m \sum_{w''} \mathbf{WP}''_{jmw''t} + \sum_{l'} \sum_{w''} \mathbf{XP}_{jl/w''t} \right) (1 - \beta \mathbf{P}_t)$$

رابطه (۱۳) نیز بیان‌کننده ارتباط میزان تولید، درصد ضایعات و معیوبات محصول دوم (قطعات پرسی) می‌باشد.

$$\sum_{l'} \sum_d \mathbf{ZB}_{ldt} = \sum_i \sum_{l'} \sum_{w'} \mathbf{XB}_{ilw/t} \gamma \mathbf{B}_t \quad (14)$$

$$\sum_{l'} \sum_d \mathbf{ZP}'_{l'dt} = \sum_j \sum_{l'} \sum_{w''} \mathbf{XP}_{jl/w''t} \gamma \mathbf{P}_t$$

$$\sum_{l'} \sum_d \mathbf{ZB}'_{l'dt} = \sum_i \sum_{w'} \sum_r \mathbf{WB}_{iw/rt} \gamma' \mathbf{P}_t$$

$$\sum_{l'} \sum_d \mathbf{ZP}'_{f'dt} = \sum_j \sum_{w''} \sum_f \mathbf{WP}_{jw''ft} \gamma' \mathbf{P}_t$$

رابطه (۱۴) نشان‌دهنده مقادیر ضایعات تولیدشده بر حسب میزان تولید محصولات است.

$$IC_{n(t-1)} + \sum_1 XC2_{nit} \geq DMC_{nt} \quad (15)$$

$$IB_{i(t-1)} + \sum_{i'} XB2_{il't} \geq DMB_{it}$$

$$IP_{j(t-1)} + \sum_m XP2_{jmt} \geq DMP_{jt}$$

رابطه (۱۵) تضمین‌کننده تقاضای محصولات است.

$$\sum_n \sum_w XC_{nwst} \leq CC_{st} \quad (16)$$

$$\sum_i \sum_{w'} XB_{ilwt} \leq CB_{it}$$

$$\sum_j \sum_{w''} XP_{jlw''t} \leq CP_{lt}$$

رابطه (۱۶) محدودیت ظرفیت خطوط تولید محصولات و همچنین ظرفیت تأمین مواد اولیه از تأمین‌کنندگان است

$$\sum_i \sum_{w'} WB_{iw'rt} \leq CB'_{rt} \quad (17)$$

$$\sum_i \sum_{w''} WP_{jw''ft} \leq CP'_{ft}$$

رابطه (۱۷) نیز محدودیت ظرفیت خطوط بازیافت و تعمیر محصولات معیوب است.

$$\sum_i BB_{il} \sum_{w'} XB_{ilw't} + \sum_i SB_{ilt} \leq TCB_{it} \quad (18)$$

$$\sum_j BP_{jl} \sum_{w''} XP_{jlw''t} + \sum_j SP_{jlt} \leq TCP_{lt}$$



رابطه (۱۸) بیانگر محدودیت ظرفیت خطوط تولید با احتساب زمان بارگذاری است.

$$IC_{nw(t-1)} + \left( \sum_s \sum_n XC_{nswt} \right) * \frac{1}{2} \leq CSC_{wt} \quad (19)$$

$$IB_{iw(t-1)} + \left( \sum_i \sum_l XB_{ilwt} \right) * \frac{1}{2} \leq CSB_{w/t}$$

$$IP_{jw(t-1)} + \left( \sum_j \sum_{l'} XP_{jl'wt} \right) * \frac{1}{2} \leq CSP_{w't}$$

رابطه (۱۹) بیانگر محدودیت انبار برای محصولات تولیدی و مواد اولیه می‌باشد.

$$IC_{nwt}, IB_{iw't}, IP_{jw't}, XC_{nswt}, XC2_{nwt}, XC'_{nwst}, XB_{ilwt}, XB2_{iw't}, XB'_{iw'gt}, XP_{jl'w't}, XP2_{jw'mt}, XP'_{jw'gt}, XP2'_{jmg't}, WB_{igrt}, WB'_{igdt}, WP_{jgft}, WP'_{jgdt} \geq 0 \text{ \& Int. (20)}$$

$$0 \leq \alpha C_{st}, \alpha B_{lt}, \alpha P_{lt}, \alpha' P_{mt}, \beta B_t, \beta P_t, \gamma B_t, \gamma P_t, \gamma' B_t, \gamma' P_t \leq 1 \quad (21)$$

$$-1 \leq \mu C_{st}, \mu B_{lt}, \mu P_{lt} \leq 1$$

روابط (۲۰) و (۲۱) بیانگر مقادیر ممکن برای متغیرهای مسئله و همچنین مشخص کردن بازه ضرایب مورد استفاده در مسئله می‌باشد.

### پیاده‌سازی مدل

با توجه به مدل ارائه شده در پژوهش، در روش اول اوزان هر یک از اهداف با بهره‌گیری از نظر نخبگان شرکت و با استفاده از پرسشنامه مقایسات زوجی اهداف (شامل مقایسه هزینه‌های مختلف و درآمدها)، مورد مقایسه قرار گرفته و وزن هر کدام از آن‌ها محاسبه و در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵: ضرایب اهمیت در تابع هدف

اهداف	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>
اوزان	0.684	0.316

در روش دوم نیز مسئله موردنظر را با روش حدی به تابع تک هدفه تبدیل گردید. سپس مسائل به دست آمده از طریق الگوریتم انشعاب و تحدید به وسیله نرم افزار Lingo 17.0 و کامپیوتر شخصی با رم ۸ گیگ حل شد. مقادیر عددی پارامترهای مدل با استفاده از اطلاعات استخراج شده از کارخانه برش و پرس ایران خودرو با مشخصات ذکر شده در بخش قبل در دوره‌ای مشخص حاصل شده است. این مقادیر در جدول ۶ می‌باشد.

جدول ۶. حجم مدل مسئله

اندیس	I	J	N	T	L	L'	W	M	S	R	F	D
تعریف	قطعات پلنک	قطعات پرس	کوئل	دوره زمانی	خطوط پلنکینگ	خطوط پرسینگ	انبار	مشتریان	تأمین کنندگان	باز یافت	تعمیر	دفع
تعداد/نوع	۹	۹۵	۶	۱	۲	۶	۱	۱	۴	۱	۱	۱

جدول ۷. مشخصات مدل مسئله

شرح	نوع	تعداد
متغیر	خطی عدد صحیح	۶۱۲
پارامتر	-	۱۳۳۵
محدودیت	خطی	۲۸۹

جدول ۸: مقادیر پارامترهای مدل مسئله

پارامترها	واحد	مقادیر پارامترها
$MC_{nt}$	تومان	$MC11=MC21=MC31=MC41=MC51=MC61=37000$
$MB_{it}$	تومان	$(MB11, MB21, MB31, \dots) = (273, 328, 345, \dots)$
$MP_{jt}$	تومان	$(MP11, MP21, MP31, \dots) = (157.8, 158.9, 32.4, \dots)$
$PC_{nst}$	تومان	$(PC111, PC211, PC311, \dots) = (55000000, 61000000, 59580000, \dots)$
$PB_{ilt}$	تومان	$(PB111, PB211, PB311, \dots) = (6490.6, 7560.5, 8000, \dots)$
$DMP_{jt}$	تعداد	$(DMP11, DMP21, DMP31, \dots) = (1476, 1471, 1933, \dots)$
$CC_{st}$	تعداد	$(CC11, CC21, CC31, \dots) = (60, 20, 15, \dots)$
$CSC_{wt}$	تعداد	$CSC11 = 100$
$TC_{nswt}$	تومان	$(TC1111, TC2111, TC3111, \dots) = (1738, 2086, 2433, \dots)$

پارامترها	واحد	مقادیر پارامترها
$BB_{it}$	ثانیه	$(BB_{11}, BB_{21}, BB_{31}, \dots) = (3.18, 4.06, 3.25, \dots)$
$QC_t$	تومان	$QC_1 = 37000$
$R_{it}$	تومان	$(R_{11}, R_{21}, R_{31}, \dots) = (201, 242, 254, \dots)$
:	:	:

### حل با الگوریتم وزن دهی

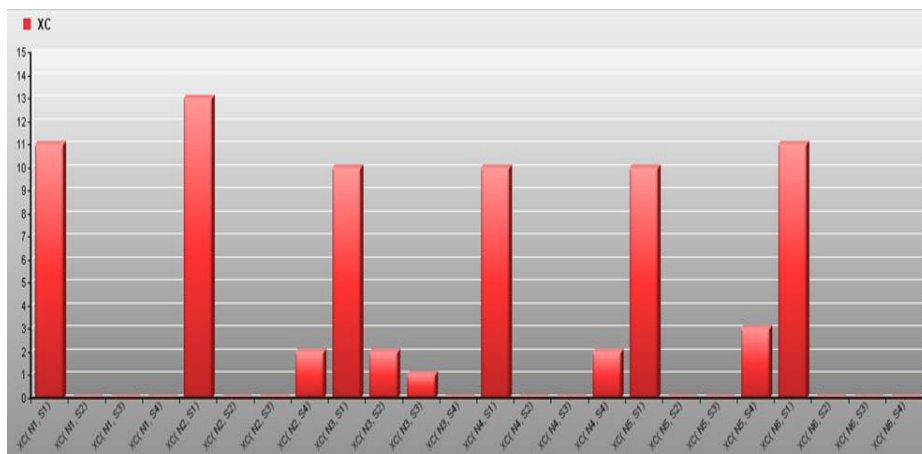
در این مرحله با توجه به اوزان مشخص شده در جدول ۵، اقدام به حل مدل در نرم افزار لینگو گردید. این پیاده سازی در ۴ بخش برنامه ریزی مواد اولیه (کویل‌ها)، برنامه ریزی تولید محصول نوع اول (بلنک‌ها)، برنامه ریزی تولید محصول نوع دوم (قطعات پرسی) و نتیجه در جداول ۹ و ۱۰ و خروجی نمودار لینگو در اشکال ۲ و ۳ ارائه شده است.

جدول ۹. نتایج حل مدل برای برنامه ریزی مواد اولیه (کویل‌ها)

متغیر	مقدار موجودی اولیه ( $IC_{nw(t-1)}$ )	مقدار خرید ( $XC_{nswt}$ )	مقدار معیوب ( $XC'_{nswt}$ )	مقدار موجودی پایانی ( $IC_{nwt}$ )
$XC_{1111}$	۰	۱۱	۰	۱
$XC_{1211}$	۰	۰	۰	
$XC_{1311}$	۰	۰	۰	
$XC_{1411}$	۰	۰	۰	
$XC_{2111}$	۰	۱۳	۱	۱
$XC_{2211}$	۰	۰	۰	
$XC_{2311}$	۰	۰	۰	
$XC_{2411}$	۰	۲	۰	
$XC_{3111}$	۰	۱۰	۰	۱
$XC_{3211}$	۰	۲	۰	
$XC_{3311}$	۰	۱	۰	
$XC_{3411}$	۰	۰	۰	
$XC_{4111}$	۰	۱۰	۰	۱
$XC_{4211}$	۰	۰	۰	

متغیر	مقدار موجودی اولیه ( $IC_{nw(t-1)}$ )	مقدار خرید ( $XC_{nswt}$ )	مقدار معیوب ( $XC'_{nswt}$ )	مقدار موجودی پایانی ( $IC_{nwt}$ )
$XC_{4311}$	۰	۰	۰	
$XC_{4411}$	۰	۲	۰	
$XC_{5111}$	۰	۱۰	۱	
$XC_{5211}$	۰	۰	۰	
$XC_{5311}$	۰	۰	۰	۱
$XC_{5411}$	۰	۳	۰	
$XC_{6111}$	۰	۱۱	۰	
$XC_{6211}$	۰	۰	۰	۱
$XC_{6311}$	۰	۰	۰	
$XC_{6411}$	۰	۰	۰	
(XC	۰	۷۵	۲	
	مقدار تابع هدف اول (هزینه تأمین مواد اولیه)			مقدار تابع هدف دوم (درآمد)
$Z_c$	-۳۰۴۴۲۷۷۰۰۰			۰

شکل ۲. خروجی نمودار لینگو برای مواد اولیه

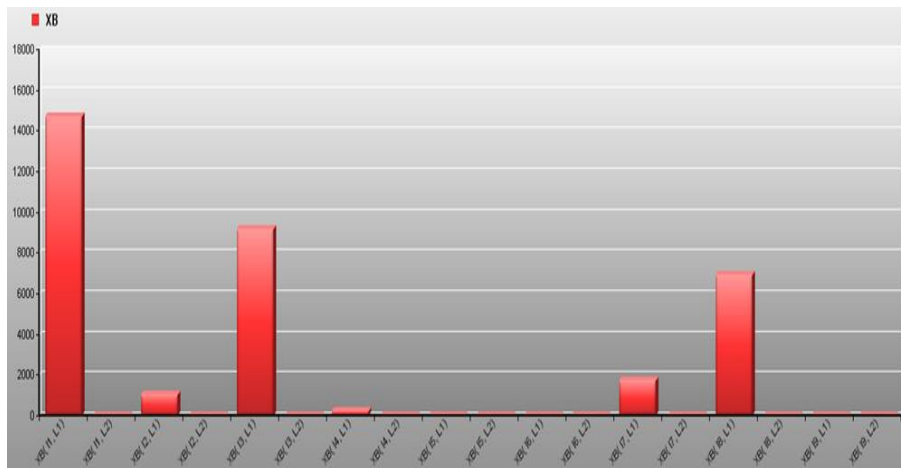


جدول ۱۰. نتایج حل مدل برای برنامه‌ریزی محصولات نوع اول (بلنک‌ها)

مدلی برای کنترل موجودی در مدیریت زنجیره تأمین حلقه بسته با ...؛ صادقان و همکاران | ۱۳۱

متغیر	مقدار موجودی ابتدایی ( $IB_{iw(t-1)}$ )	مقدار خرید ( $XB_{ilwt}$ )	مقدار معیوب قابل بازیافت ( $WB_{igrt}$ )	مقدار ضایعات جهت انهدام ( $WB'_{igdt}$ )	مقدار موجودی پایانی ( $IB_{iwt}$ )
$XB_{1111}$	۳۰۰۰	۱۴۷۳۲	۲۵۰۴	۱۹۱۵	۴۴۲۰
$XB_{1211}$		۰	۰	۰	
$XB_{2111}$	۷۰۰	۱۰۳۷	۱۷۶	۱۳۴	۳۱۱
$XB_{2211}$		۰	۰	۰	
$XB_{3111}$	۱۸۰۰	۹۱۷۵	۱۵۵۹	۱۱۹۲	۲۷۵۲
$XB_{3211}$		۰	۰	۰	
$XB_{4111}$	۳۰۰	۲۴۶	۴۱	۳۲	۷۳
$XB_{4211}$		۰	۰	۰	
$XB_{5111}$	۸۰۰	۰	۰	۰	۵۲۹
$XB_{5211}$		۰	۰	۰	
$XB_{6111}$	۳۰۰۰	۰	۰	۰	۲۷۲۶
$XB_{6211}$		۰	۰	۰	
$XB_{7111}$	۷۰۰	۱۷۲۷	۲۹۳	۲۲۴	۵۱۸
$XB_{7211}$		۰	۰	۰	
$XB_{8111}$	۱۸۰۰	۶۹۵۱	۱۱۸۱	۹۰۴	۲۰۸۵
$XB_{8211}$		۰	۰	۰	
$XB_{9111}$	۳۰۰۰	۰	۰	۰	۸۰۲
$XB_{9211}$		۰	۰	۰	
(XB)	۱۵۱۰۰	۳۳۸۶۸	۵۷۵۴	۴۴۰۱	۱۴۲۱۶
	مقدار تابع هدف اول (هزینه تولید)			مقدار تابع هدف دوم (درآمد)	
$Z_b$	-۵۴۶۵۹۲۱۰۰۰			۰	

شکل ۳. خروجی نمودار لینگو برای محصول اول



با توجه به تشابه محاسبات و حجم زیاد اطلاعات قطعات پرسى، صرفاً به ذکر تابع هدف نتایج حل مدل برای برنامه‌ریزی محصولات نوع دوم (قطعات پرسى) در جدول ۱۱ اکتفا شده است و همچنین نتایج کلی حل مدل با الگوریتم وزن دهی در جدول ۱۲ آمده است.

جدول ۱۱. نتایج حل مدل برای برنامه‌ریزی محصولات نوع دوم (قطعات پرسى)

	مقدار تابع هدف اول (هزینه تولید)	مقدار تابع هدف دوم (درآمد)
$Z_p$	-۸۸۱۰۶۰۰۰۰۰	۷۸۵۸۴۳۶۰۰۰

جدول ۱۲. نتایج کلی حل مدل با الگوریتم وزن دهی

	مقدار تابع هدف اول (هزینه تولید)	مقدار تابع هدف دوم (درآمد)	مجموع
$Z_c$	-۳۰۴۴۲۷۷۰۰۰	۰	-۳۰۴۴۲۷۷۰۰۰
$Z_b$	-۵۴۶۵۹۲۱۰۰۰	۰	-۵۴۶۵۹۲۱۰۰۰
$Z_p$	-۸۸۱۰۶۰۰۰۰۰	۷۸۵۸۴۳۶۰۰۰	-۹۵۲۱۶۴۰۰۰
$Z^*$			-۹۴۶۲۳۶۲۰۰۰

### حل با الگوریتم حدی

در این مرحله تابع هدف دوم مدل را به صورت محدودیت در مدل نوشته و مطابق الگوریتم حدی مقادیر  $L_k, M_k, n_k$  را محاسبه کرده سپس با استفاده از نرم‌افزار لینگو مقدار  $Z^*$  محاسبه شده است. بعد از حل مسئله فقط با تابع هدف اول، مقادیر زیر به دست آمد:

مدلی برای کنترل موجودی در مدیریت زنجیره تأمین حلقه بسته با ...؛ صادقان و همکاران | ۱۳۳

$$0 \leq L_2 \leq 7854294000$$

$$Z_2 \geq L_2$$

با توجه به اینکه تابع  $Z_2$  از جنس درآمد است پس بهینه‌ترین حالت، حالت بیشینه است، بنابراین بهینه‌ترین بازه برای آن بازه  $Z_2 \geq 7858469000$  می‌باشد. بعد از ایجاد این محدودیت، مدل حل شده و نتایج زیر در جدول ۱۳ حاصل شده است:

جدول ۱۳: نتایج کلی حل مدل با الگوریتم حدی

	مقدار تابع هدف
$Z_c$	-۴۴۸۲۲۴۱۰۰۰
$Z_b$	-۳۰۵۴۸۵۱۰۰۰
$Z_p$	-۹۲۸۸۲۹۰۰۰
$Z^*$	-۸۴۶۵۹۲۱۰۰۰

همان‌طور که ملاحظه شد برای حل مدل مذکور از دو روش مختلف استفاده شد که دلیل آن اعتبارسنجی جواب‌های نهایی و سنجش راه‌حل‌های مورد استفاده است. با توجه به نتایج به دست آمده، میزان انحراف نتایج محاسباتی الگوریتم‌های حدی و وزن دهی در نرم‌افزار لینگو برای این مسئله با هزینه‌های واقعی در شرکت و همچنین با توجه به ابعاد مسئله، درصد ناچیزی است و این درصد نشان‌دهنده کارایی الگوریتم‌های پیشنهادی است. به بیان دیگر نتایج و خروجی حل مدل قابلیت آن را به منظور برنامه‌ریزی و کنترل موجودی در مدیریت زنجیره تأمین حلقه بسته نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش مدلی برای کنترل موجودی در مدیریت زنجیره تأمین حلقه بسته با رویکرد برنامه‌ریزی چند هدفه در کارخانه برش و پرس ایران خودرو به صورت قطعی و چند هدفه توسعه داده شده است که هدف اول آن شامل کمینه‌سازی هزینه‌های نگهداری، خرید مواد اولیه، تولید و ... و هدف دوم آن شامل بیشینه‌سازی درآمد حاصل از فروش محصولات می‌باشد. به منظور تبدیل مدل مذکور به مدل تک هدفه از روش وزن دهی و حدی و برای حل آن از الگوریتم انشعاب و تحدید در بستر برنامه لینگو استفاده شده است. نتایج


به دست آمده حاکی از آن است که میزان انحراف نتایج محاسباتی الگوریتم‌های حدی و وزن دهی در نرم‌افزار لینگو برای این مسئله با هزینه‌های واقعی در شرکت و همچنین با توجه به ابعاد مسئله، درصد ناچیزی است و این درصد نشان‌دهنده کارایی الگوریتم‌های پیشنهادی است. این مطالعه می‌تواند در صنایع مشابه نظیر پرس کاری و برشکاری دستی، ریخته‌گری، تراشکاری و ... بکار گرفته شود. چراکه تولید مجدد محصولات و استفاده از محصولات برگشتی با تقویت سیستم‌های نگهداری، حمل‌ونقل، تولید و ... در کنار جمع‌آوری محصولات قابل بازیافت امکان‌پذیر است. لازم به ذکر است که هر یک از دو روش بکار گرفته شده و همچنین اهداف مذکور در مقاله ملاحظات خاص خود را به دنبال داشته است. برای توسعه این پژوهش می‌توان از مواردی نظیر زمان بازیافت یا تعمیر محصولات بازگشتی، احتمال خرابی ماشین‌آلات، عدم قطعیت‌های موجود در مورد تولید از جمله عدم قطعیت کیفیت یا کمیت محصولات بازیافتی، تعداد قطعات برای جلوگیری از توقف خط تولید، ایجاد تخفیف و ... استفاده کرد. همچنین توسعه و به‌کارگیری سایر روش‌ها از جمله ابتکار و فرا ابتکاری جهت مسئله نیز به‌منظور پژوهش بیشتر در این حوزه پیشنهاد می‌گردد. درباره موانع موجود در مسیر توسعه پژوهش نیز باید گفت که با توجه به ساختار مدل طرح شده در این پژوهش، این مدل قابلیت توسعه در سایر بخش‌های مشابه کارخانه‌های دیگر را ندارد. همچنین در دسترس نبودن پارامترهای قطعی برای مدل که در برخی موارد منجر به استفاده از نظرات خبرگان شدیم، از دیگر موانع می‌باشد.

## تعارض منافع


نویسنده هیچ‌گونه تعارض منافی ندارد.

### ORCID

Abolfazl Sadeghian


 <https://orcid.org/0000-0003-4099-5308>

Seyed Mohammad Ali


 <https://orcid.org/0000-0002-1103-9854>

Khatami Firooz Abadi

Laya Olfat

 <https://orcid.org/0000-0003-4550-8775>

Maghsoud Amiri

 <https://orcid.org/0000-0002-0650-2584>



## منابع

۱. اصغر پور، م. (۱۳۹۲). تصمیم‌گیری‌های چند معیاره. تهران: موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران.
۲. صدری، پدram. (۱۳۹۵). رویکردی جدید در حل مسائل برنامه‌ریزی عدد صحیح خطی خالص با ضرایب صحیح. نشریه دانشگاه صنعتی اصفهان، ۶-۱۳. (DOI: <https://elmnet.ir/doc/20548242-31891>)
۳. صمدی، پ. (۱۳۹۵). رویکردی جدید در حل مسائل برنامه‌ریزی عدد صحیح خطی خالص با ضرایب صحیح. نشریه دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها صنعتی اصفهان، ۱۵-۱۸. (DOI: <https://elmnet.ir/doc/20548242-31891>)
۴. قدسی پور، س. (۱۳۹۷). مباحثی در تصمیم‌گیری چند معیاره: برنامه‌ریزی چندهدفه (روش‌های وزن دهی بعد از حل). تهران: مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیر کبیر.
۵. کولیایی، مریم. (۱۳۹۴). طراحی مدل ریاضی مدیریت زنجیره تأمین با حلقه بسته (مورد کاوی: شرکت تولیدی شیشه ایمنی به‌نور). نشریه دانشکده مدیریت و اقتصاد دانشگاه تربیت مدرس، ۲۰-۲۵. (DOI: <https://www.magiran.com/p1528381>)

## References

6. Acosta, F. J., Quinones Hinojosa, A., Schmidt, M., & Weinstein, P. R. (2003). Diagnosis and management of sacral Tarlov cysts: Case report and review of the literature. *Neurosurgical Focus*, 15(2). <https://doi.org/10.3171/foc.2003.15.2.15>
7. Ahmad, F., Adhami, A. Y., & Smarandache, F. (2020). Modified neutrosophic fuzzy optimization model for optimal closed-loop supply chain management under uncertainty. In *Optimization Theory Based on Neutrosophic and Plithogenic Sets* (pp. 343-403). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819670-0.00015-9>
8. Amin, S., & Zhang, G. (2013). A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return. *Mathematical Modelling*, 37(4), 4165-4176. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.09.039>
9. Amin, S., & Zhang, G. (2013). A three-stage model for closed-loop supply chain configuration under uncertainty. *International Journal of Production Research*, 51(5), 1405-1425. <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.693643>
10. Chen, C. T., Lin, C. T., & Huang, S. F. (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management.

- International Journal of Production Economics*, 102(2), 289-301.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2005.03.009>
11. Chung, S., Wee, H., & Yang, P. (2008). Optimal policy for a closed-loop supply chain inventory system with remanufacturing. *Mathematical and Computer Modelling*, 47(5-6), 867-881.  
<https://doi.org/10.1016/j.mcm.2007.11.014>
  12. Cruz-Rivera, R. J., & Ertel. (2009). Reverse logistics network design for the collection of end-of-life vehicles in Mexico. *European Journal of Operational Research*, 193(1), 196-206.  
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.04.041>
  13. Dinesh, K. K., Nachiappan, S., & Abdulrahman, M. (2016). Closed-loop supply chain network: Designs for energy and time value efficiency. *International Journal of Production Economics*, 171, 382-393.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.02.004>
  14. Du, F., & Evans, G. (2008). A bi-objective reverse logistics network analysis for post-sale service. *Computers & Operations Research*, 35(8), 2617-2634. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2006.12.020>
  15. Fleischmann, M., Beullens, P., & Bloemhof-Ruwaard, J. (2001). The impact of product recovery on logistics network design. *Production and Operations Management*, 10(2), 156-173.  
<https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2001.tb00076.x>
  16. Ghodsypour, S., & O'Brien, C. (1998). A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming. *International Journal of Production Economics*, 56-57, 56-57. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(97\)00009-1](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(97)00009-1)
  17. Gupta, A., & Evans, G. W. (2009). A goal programming model for the operation of closed-loop supply chains. *Engineering Optimization*, 41(7), 713-735. <https://doi.org/10.1080/03052150902802242>
  18. Jayaraman, V., Guide Jr, V., & Srivastava, R. (1999). A closed-loop logistics model for remanufacturing. *The Journal of the Operational Research Society*, 50(5), 497-508. <https://doi.org/10.2307/3009998>
  19. Keyvanshokoh, E., Ryan, S. M., & Kabir, E. (2015). Hybrid robust and stochastic optimization for closed-loop supply chain network design using accelerated Benders decomposition. *European Journal of Operational Research*, 241(1), 76-92.  
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.08.028>
  20. Ko, H., & Evans, G. (2007). A genetic algorithm-based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse logistics network for 3PLs. *Computers & Operations Research*, 34(2), 346-366.  
<https://doi.org/10.1016/j.cor.2005.03.004>
  21. Lu, Z., & Bostel, N. (2007). A facility location model for logistics systems including reverse flows: The case of remanufacturing

- activities. *Computers & Operations Research*, 34(2), 299–323. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2005.03.002>
22. Ohmori, S., & Yoshimoto, K. (2020). A robust optimization for multi-period lost sales inventory control problem. *Operations and Supply Chain Management: An International Journal*, 13(4), 375-381. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.08.028>
23. Pishvaei, M. S., Farahani, R. Z., & Dullaert, W. (2010). A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design. *Computers & Operations Research*, 37(6), 1100–1112. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2009.09.018>
24. Sarrafha, K., Rahmati, S. H., Niaki, S. T., & Zaretalab, A. (2015). A bi-objective integrated procurement, production, and distribution problem of a multi-echelon supply chain network design: A new tuned MOEA. *Computers & Operations Research*, 54, 35-51. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.08.010>
25. Taleizadeh, A. A., Aryanezhad, M. B., & Makoei, A. (2009). A hybrid method of Pareto, TOPSIS, and genetic algorithm to optimize multi-product multi-constraint inventory control systems with random fuzzy replenishments. *Mathematical and Computer Modelling*, 49(3-4), 49. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2008.10.013>
26. Taleizadeh, A., Niaki, S. T., & Makui, A. (2012). Multi-product multiple-buyer single-vendor supply chain problem with stochastic demand, variable lead-time, and multi-chance constraint. *Expert Systems with Applications*, 39(5), 5338-5348. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.11.001>
27. Wang, H. F., & Hsu, H. W. (2010). Resolution of an uncertain closed-loop logistics model: An application to fuzzy linear programs with risk analysis. *Journal of Environmental Management*, 91(8), 2148-2162. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.05.009>
28. Wee, H. M., & Yang, P. C. (2007). A mutual beneficial pricing strategy of an integrated vendor-buyers inventory system. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 33(1-2), 179–187. <https://doi.org/10.1007/s00170-006-0581-8>
29. Xanthopoulos, A., & Iakovou, E. (2009). On the optimal design of the disassembly and recovery processes. *Waste Management*, 29(6), 1702–1711. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.11.009>
30. Yang, G., Wang, Z., & Li, X. (2009). The optimization of the closed-loop supply chain network. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(1), 16-28. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2008.02.007>
31. Yu, W., Hou, G., & Li, J. (2019). Supply chain joint inventory management and cost optimization based on ant colony algorithm and

fuzzy model. *Tehnički vjesnik*, 26(6), 1729-1737.  
<https://doi.org/10.17559/tv-20190805123158>

32. Zhou, W. Q., Chen, L. G., & M., H. (2013). A multi-product multi-echelon inventory control model with joint replenishment strategy. *Applied Mathematical Modeling*, 37(4), 2039-2050.  
<https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.04.054>

#### References [In Persian]

1. Asgharpour, M. (2013). *Multiple criteria decision making*. Tehran: University of Tehran Printing and Publishing Institute. [In Persian]
2. Sadri, P. (2016). A new approach in solving pure linear integer programming problems with integer coefficients. *Isfahan University of Technology*, 6-13. [In Persian]
3. Samadi, P. (2016). A new approach in solving pure linear integer programming problems with integer coefficients. *Isfahan Faculty of Industrial Engineering and Industrial Systems Journal*, 18-15. [In Persian]
4. Ghodsipour, M. (2018). *Discussions in multi-criteria decision-making: Multi-objective planning (weighting methods after solving)*. Tehran: Publishing Center of Amir Kabir University of Technology. [In Persian]
5. Koliaei, M. (2015). Designing a closed-loop supply chain management mathematical model (case study: Behnoor Safety Glass Manufacturing Company). *Faculty of Management and Economics, Tarbiat Modares University*, 20-25. [In Persian]

استناد به این مقاله: صادقیان، ابوالفضل،، خاتمی فیروزآبادی، سید محمدعلی،، الفت، لعیا، امیری، مقصود. (۱۴۰۳). مدلی برای کنترل موجودی در مدیریت زنجیره تأمین حلقه بسته با رویکرد برنامه‌ریزی چند هدفه (مورد مطالعه: کارخانه برش و پرس ایران خودرو)، *مطالعات مدیریت صنعتی*، ۲۲(۷۴)، ۹۵-۱۳۸. DOI: 10.22054/jims.2022.57816.2593



Industrial Management Studies is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.