--Name of Journal---------
Vol(issue), PP.
.atu.ac.ir
DOI:

ATU PRESS

Original Reserch
Received: 2020/12/23
Accepted: 2021/12/18
ISSN: JIMS-2012-2593 (R2)
eISSN:

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 Tabatabaei University, Tehran, Iran

Laya Olfat — Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, Allameh Tabatabaei University, Tehran, Iran

Maghsoud Amiri — Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, Allameh Tabatabaei University, Tehran, Iran.

Abstract

Nowadays attending to products return is so important to gain customer consent. Hence, closed-loop supply chain has been paid attention a lot. Designing an efficient supply chain network looks a crucial affair as well.

Introduction

According to studies and researches done in Iran Khodro Co., the capability of recycling of defective sheets exists in this company that is a noteworthy amount

* Corresponding Author: Ab.sadeghian.ikco.ir
How to Cite: Sadeghian, A., Khatami, S. Olfat, L., Amiri, M. (2022). A Model for Inventory Control in Closed-Loop Supply Chain Management considering Multiple Objective Planning. Case: Iran Khodro Cut and Press Shop Company

considering financial aspect. Expense decrease policies, management emphasis on expenses control and decrease and focus on wastes recycle on one hand and the reports results of Iran Khodro Company excellence models feedback on the other hand, express in wastes control and recycle department, there are no standardized models for the presentation and improvement has been concentarted more through short-term Kaizen activities in this company.

Materials and Methods

This paper's goal is presenting a model for inventory control in closed loop supply chain by multi-objective approach. This research intends to reach its main goal including reduce expenses such as production, maintenance, transportation in direct flow also decrease the waste material and defective in reverse flow and in conclusion increase the company's profit by desingning and optimizing multi-objective model.

Discussion and Results

Hence a double purpose model in closed-loop supply chain consists three classes direct flow in which conclude suppliers, manufacturers and customers. Furthermore, this consists four classes in reverse flow that concludes: 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 converts to single objective by Weighting and Constraint method and then is solved by using Branch and bound algorithm and Lingo software.

Conclusions

Finally, the model is extended in Iran Khodro Company as a case study and its function validated. Results and output of model solving demonstrate its capability to be useful for planning and inventory control in closed-loop supply chain.

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

--نام مجله--------
دوره ؟، شماره ؟، نام فصل، سال، ص ص
.atu.ac.ir
DOI:

مقاله پژوهشی /سخن سردبیر
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۰۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۷
ISSN: JIMS-2012-2593 (R2)
eISSN:

مدلی برای کنترل موجودی در مدیریت زنجیره تامین حلقه بسته با رویکرد برنامه ریزی چند هدفه

مورد مطالعه: کارخانه برش و پرس ایران خودرو

ابوالفضل صادقیان * — دانش آموخته مدیریت گرایش تحقیق در عملیات، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران

سید محمد علی خاتمی فیروزآبادی — استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران

لعیا الفت — استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران

مقصود امیری — استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران

چکیده

امروزه در نظر گرفتن بازگشت محصولات برای کسب رضایت مشتری اهمیت زیادی دارد. به همین دلیل، مبحث زنجیره تامین 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 هزینه ای شرکت و الزام مدیریتی مبنی بر کنترل و کاهش هزینه‌ها و تمرکز بر بحث بازیافت ضایعات از یک سو و نتایج گزارشات بازخورد مدلهای تعالی شرکت ایران خودرو از سوی دیگر حاکی از آن است که در بخش کنترل ضایعات و بازیافت آن، مدل مدونی جهت موضوع قابل ارائه نبوده و در این شرکت بیشتر بر بهبود از طریق فعالیت‌های کایزنی کوتاه مدت تمرکز شده است.

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

* نویسنده مسئول: Ab.sadeghian.ikco.ir

هدف این مقاله ارائه مدلی برای کنترل موجودی در مدیریت زنجیره تامین حلقه بسته با رویکرد چند هدفه می باشد. این پژوهش در صدد است که با طراحی مدل ریاضی چند هدفه و بهینه سازی آن به اهداف اصلی خود، شامل کمینه کردن هزینه نگهداری، تولید و حمل و نقل 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 تامین حلقه بسته شامل سه رده در جریان رو به جلو دربرگیرنده تامین کنندگان، تولیدکنندگان و مشتریان و چهار رده در جریان معکوس دربرگیرنده قسمت های جمع آوری و بازرسی، بازیافت، تعمیر و دفع طراحی شده است. با توجه به اینکه مدل پژوهش از نوع چند هدفه، خطی و عدد صحیح می باشد، 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 نرم افزار Lingo حل شده است. در نهایت مدل مذکور در کارخانه برش و پرس شرکت ایران خودرو بصورت مورد کاوی توسعه داده شد و عملکرد آن صحه گذاری گردید. نتایج و خروجی حل مدل قابلیت آن را بمنظور برنامه ریزی و کنترل موجودی در مدیریت زنجیره تامین حلقه بسته نشان می دهد.

کلیدواژه‌ها: زنجیره تامین حلقه بسته، برنامه ریزی چند هدفه، کنترل موجودی.

۱- مقدمه

در سال های اخیر، پیشرفت در زمینه مدیریت زنجیره تامین باعث کاهش هزینه ها و افزایش کیفیت محصولات در صنایع مختلف شده است. مدیریت زنجیره تامین نگرشی است که با طراحی یک جریان هدفمند بین سطوح زنجیره تامین سعی در ایجاد تعادل بین اهداف ناسازگار مسأله می کند (چن و همکاران[1]، ۲۰۰۶، ۲۹۵). زنجیره های تامین قالبا در دو نوع مختلف دسته بندی می شوند، نوع اول را زنجیره تامین مستقیم می نامند که از تامین کنندگان آغاز و به مشتریان نهایی ختم می شود و شامل فعالیت هایی نظیر تامین، تولید، سفارش و خرید می باشد. نوع دوم را نیز زنجیره تامین معکوس می نامند که از مشتریان نهایی آغاز و به تامین کنندگان ختم می شود و شامل فعالیت هایی نظیر جمع آوری کالاهای بازیافت، دوباره کاری و تولید مجدد می باشد. از تلفیق یکپارچه این دو زنجیره با یکدیگر، زنجیره تامین حلقه بسته ایجاد می شود که دارای فعالیت های هر دو زنجیره است (امین و ژانگ[2]، ۲۰۱۳، ۴۱۶۵).

تحقیقات حاکی از آن است که سازمان هایی که زنجیره تأمین با حلقه بسته را مدنظر قرار داده اند، نسبت به همتایان خود در موقعیت رقابتی بهتری قرار گرفته اند و همچنین توجه به این مسئله بر سوددهی آنها نیز اثراتی را داشته است و تحقیقات نشان می دهد این فعالیت ها باعث ایجاد درآمدهای حاصل از کاهش مصرف مواد اولیه و ایجاد ارزش افزوده حاصل از محصولات اصلاح شده می شود (کروز ریورا و ارتل[3]، ۲۰۰۹، ۱۹۶).

۲- بیان مسئله

عوامل بسیار زیادی در فرآیندهای زنجیره تامین حلقه بسته شامل فرآیندهای توزیع، حمل و نقل، برنامه ریزی تولید و کنترل موجودی وجود دارد و تمام آنها در جهت نیل به اهداف سازمان و کل سیستم است. یک شبکه لجستیک ایده آل باید قادر باشد تا محصولات را با کمترین هزینه به دست مشتریان برساند و همچنین در زمان مناسب محصولات برگشتی را جمع آوری کرده و دوباره به چرخه زنجیره تامین بازگرداند. لذا شناخت متغیر های موثر بر فرآیند های مربوطه در زنجیره تامین حلقه بسته و بهینه سازی اهداف ناسازگار که بعضا در تضاد با یکدیگر نیز می باشد، یکی از مسئله های مورد توجه محققین در این پژوهش بوده است.

---

1 Chen et al.
2 Amin and Zhang
3 Cruz-Rivera and Ertel

از سویی دیگر با افزایش تقاضا، نیاز به مواد خام منابع تولیدی افزایش یافته که این امر موجب بالا رفتن قیمت مواد و به تبع آن بالا رفتن هزینه تامین مواد اولیه می شود. در این شرایط می توان با اجرا و پیاده سازی زنجیره تامین معکوس (یکپارچه با زنجیره تامین مستقیم) زنجیره تامین حلقه بسته ای را بوجود آورد که موجب صرفه جویی در مصرف مواد اولیه و در مجموع کاهش هزینه ها و افزایش درآمد سازمان می شود.

از دیگر مسائل اصلی پرداختن به این موضوع اینکه اعمال تحریم ها بسیاری از معادلات مالی و اقتصادی سازمان ها را بهم ریخته و هزینه های بسیار زیادی به آن ها تحمیل نموده است. یکی از راه های برون رفت از این ورطه، توجه به کاهش هزینه های آشکار و پنهان ناشی از فرایند های تولید می باشد.

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

با توجه به غیر ارزش افزوده 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 به عنوان یکی از مسائل مهم مورد بحث در این شرکت، هدف پژوهشگران بهینه سازی فعالیت های فوق در حوزه زنجیره تامین حلقه بسته و کنترل موجودی در قالب مدل چند هدفه چند سطحی می باشد. در حال حاضر شرایط تامین ورق با دشواری همراه شده است لذا به منظور کنترل موجودی بهینه و با توجه به اینکه دور ریز ورقهای مجاز طراحی بدون فرم بوده و ابعاد مختلفی نیز دارند می توان از آنها با توجه به ابعاد و جنس ، جهت تولید قطعات کوچک پرسی در محصولات خانواده سمند و پژو استفاده و این دور ریز ها را جایگزین تامین کویل و ورق نمود .

جدول ۱ : تناژ سالانه قابل بازیافت

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

با تحقق مدل طبق برآورد اولیه در مجموع شاهد ذخیره موجودی به میزان ۱۰۸۵ تن خواهیم بود که بازیافت این مقدار با بکارگیری زنجیره تامین حلقه بسته تسهیل می گردد. لازم بذکر است به دلیل صیانت از اطلاعات مالی شرکت ایران خودرو، ارائه برآورد دقیق هزینه ریالی در سرفصل های ایجاد درآمد، جلوگیری از ایجاد هزینه و کاهش هزینه امکان پذیر نمی باشد.

۳- مبانی نظری و مروری بر مطالعات گذشته

در این بخش مروری بر ادبیات موضوع کنترل موجودی در زنجیره تامین، زنجیره تامین حلقه بسته و مدل سازی ریاضی در زنجیره تامین حلقه بسته انجام می شود.

۳-۱. کنترل موجودی در زنجیره تامین

بسیاری معتقدند تمرکز در یک زنجیره تأمین باید روی مدیریت موجودی باشد. یکی از مهم ترین نقش هایی که موجودی در زنجیره تأمین ایفا می کند تسهیل تعادل میان تقاضا و تأمین است. به منظور مدیریت مؤثر جریانهای رفت و برگشتی در زنجیره، شرکت ها باید با تقاضای مشتریان و مبادله بخش های بالاتر زنجیره مقابله کنند. این کار عموما توسط موجودی انجام می پذیرد (والر و همکاران، ۲۰۱۴).

در ابتدایی ترین تحقیق که توسط گویال[۴] (۱۹۷۷) در رابطه با بهینه سازی همزمان فروشنده و خریدار ارائه شد، برای فروشنده نرخ تولید معینی در نظر گرفته شده است که در آن فروشنده، تولید کننده نمی باشد. پس از آن تحقیقات بسیار دیگری نیز در این زمینه انجام شد. لین و هسیو[۵] (۲۰۰۵) یک مدل مقدار اقتصادی سفارش در زنجیره تأمین توسعه دادند که در آن یک کانال توزیع متشکل از یک تأمین کننده و یک خرده فروش در نظر گرفته شده است. وی و یانگ[۶] (۲۰۰۷) یک مسئله که در آن فروشنده یک محصول تولید کرده و آن را به چندین خریدار می دهد، پیشنهاد کردند. اگر چه کاهش قیمت ها بیشتر به نفع خریدار است اما در مدل نشان داده می شود که خرید خریدار در این سطح قیمت، به سود کل زنجیره است. این مقاله توسط عبد الجبار و سیسیلیا[۷] (۲۰۰۸) ارائه شد. در زمینه مدل های یک فروشنده، چند خریدار، طالعی زاده و همکاران (۲۰۱۲) مدلی چند محصولی با یک فروشنده و چند

4 Goyal
5 Hsiao and Lin
6Wee & Yang
7 Abdul-Jabbar & Sicilia

خریدار که در آن زمان تحویل متغیر است ارائه نمودند. در یکی از تحقیقات مربوط به زنجیره های تأمین چند سطحی که توسط ژو و همکاران[8] (۲۰۱۳) ارائه شده است، سطوح زنجیره تأمین به صورت شبکه در نظر گرفته شده است. طالعی زاده و همکاران (۲۰۰۹) یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط که زمان های پر سازی را تصادفی در نظر می گیرد، را ارائه کردند. این مدل چند محصولی دارای تخفیف نموی است و در آن کمبود به صورت فروش از دست رفته مجاز می باشد. 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 برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح می باشد که اهداف در آن حداقل سازی هزینه کل و همچنین حداقل سازی متوسط تأخیر محصولات به مراکز توزیع می باشد.

۲-۳. زنجیره تامین حلقه بسته

زنجیره تأمین حلقه بسته متشکل از زنجیره تأمین مستقیم و زنجیره تأمین معکوس می باشدکه در آن منظور از زنجیره تأمین مستقیم، فعالیت هایی می باشد که موجب تبدیل مواد خام و نیمه ساخته به محصول نهایی می شود. زنجیره تأمین معکوس نیز فرآیند برنامه ریزی، پیاده سازی و کنترل کارا و مؤثر جریان محصولات برگشتی با هدف بازیابی ارزش یا دفع مناسب آن ها می باشد. توسعه زنجیره تامین حلقه بسته می تواند از لحاظ اقتصادی و زیست محیطی سودمند باشد (فلیسچمانن و همکاران[9]، ۲۰۰۱، ۱۶۵).

جایارامان و همکاران[10] (۱۹۹۹)یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط را ارائه دادند که هدف آن یافتن مقدار بهینه تولید محصولات در شبکه زنجیره تامین معکوس می باشد. چانگ و همکاران[11] (۲۰۰۸) یک استراتژی بهینه سازی را برای یک سیستم کنترل موجودی در زنجیره تامین حلقه بسته با رویکرد تولید مجدد ارائه دادند. لی و همکاران [12] (۲۰۰۹) با استفاده از نظریه «نابرابری تغییرات»، موقعیت بهینه شبکه زنجیره تامین حلقه بسته راتبیین کردند.در این مدل زنجیره تامین شامل تامین کنندگان ماده خام، تولید کنندگان، خرده فروشان، مشتریان و قسمت های دوباره کاری است. وانگ و حسو[13] (۲۰۱۰) برای تحلیل

---

[8] Zhou et al
[9] Fleischmann et al
[10] Jayaraman et al
[11] Chung et al
[12] Li et al
[13] Wang and Hsu

ریسک در یک زنجیره تامین حلقه بسته از روش برنامه ریزی خطی در حالت فازی استفاده کردند. ون هوی و همکاران (۲۰۱۱) به بیان تعاریفی از زنجیره تامین حلقه بسته، زنجیره تامین تولید و زنجیره تامین تولید مجدد پرداختند. آنها همچنین مقایسه ایدر سطح خرد و کلان بین زنجیره تامین حلقه بسته و زنجیره تامین سنتی انجام دادند. یوشیموتو و همکاران[۱۴] (۲۰۲۰) در پژوهش بهینه سازی چند دوره ای در شرایط عدم قطعیت تقاضا با استفاده از روش های تقویت شده ساده، احتمالی و پویا اقدام به کمینه سازی هزینه ها پرداخته اند. ونفانگ و همکاران[۱۵] (۲۰۱۹) به بررسی مدیریت موجودی مشترک زنجیره تأمین و بهینه سازی هزینه براساس الگوریتم کلنی مورچگان در فضای فازی و غیر فازی پرداخته اند.

۳-۳. مدلسازی ریاضی در زنجیره تامین

منظور از مدل ریاضی، توصیف یک سیستم به کمک نماد های ریاضی می باشد. منظور از مدل‌سازی ریاضی تلاش برای توسعه یک مدل ریاضی در یک سیستم مشخص است (فاکس و همکاران[۱۶]، ۲۰۰۸).

لو و بوستل[۱۷] (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 برنامه ریزی عدد صحیح مختلط را پیشنهاد دادند که به طور همزمان جریان مستقیم و معکوس و همین طور رابطه متقابل آنها را در نظر میگرفت. آنها یک الگوریتم بر مبنای هیوریستیک لاگرانژی پیشنهاد کردند. یاکوو و زانتوپولوس (۲۰۰۹) یک مدل دو مرحله ای برای لجستیک معکوس طراحی کردند. در مرحله اول، مدل تصمیم گیری مؤلفه های مناسب را شناسایی می کرد و در مرحله دوم به منظور پیکربندی شبکه یک مدل بهینه سازی چند دوره ای به کار گرفته شده بود. پیشوایی و همکاران (۲۰۱۰) یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلف دو هدفه ارائه دادند که در آن تابع هدف اول به حداقل رساندن هزینه های کل و تابع هدف دوم حداکثر کردن قدرت پاسخگویی شبکه لجستیک است. سپس آن را توسط الگوریتم ممتیک[۱۸]

---

[14] Yoshimoto et al.
[15] Wenfang et al.
[16] Fox et al
[17] Lu and Bostel
[18] Memetic

حل کرده اند. طلوعی و همکاران (۲۰۱۶)، یک مدل ریاضی چند هدفه طراحی کردند که هزینه کنترل موجودی، هزینه تولید، میزان ضایعات و زمان انجام فرایند های مختلف بر روی محصولات بازگشتی حداقل شود و از الگوریتم ژنتیک برای حل مدل خود استفاده کردند. احمد و همکاران (۲۰۲۰) در مدل بهینه سازی فازی نوتروسفیک[19] اصلاح شده برای مدیریت بهینه زنجیره تامین حلقه بسته تحت شرایط عدم اطمینان، با استفاده از رویکرد برنامه نویسی فازی نوتروزفیک اصلاح شده اقدام به بهینه سازی موضعی اهداف متناقض کرده اند.

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

جدول ۲ : تغیرات توابع هدف (در حالت کلی)

ردیف	تاریخ	محققان	نوع مسئله	تعداد اهداف	عملکرد تابع هدف	خطی/ غیر خطی	قطعی/ غیر قطعی	روش حل
۱	۱۹۹۹	جایارامان و همکاران	NLP	۳	کمینه	غیر خطی	غیر قطعی	–
۲	۲۰۰۵	لین و هسیو	NLP	۱	بشینه	غیر خطی	قطعی	الگوریتم ژنتیک
۳	۲۰۰۷	وی و یانگ	MILP	۲	مختلط	خطی	قطعی	–
۴	۲۰۰۷	لو و بوستل	MINLP	۲	مختلط	خطی	قطعی	هیوریستیک، لاگرانژی
۵	۲۰۰۸	عبد الجبار و سیسیلیا	LP	۳	کمینه	خطی	قطعی	–
۶	۲۰۰۸	چانگ و همکاران	NLP	۲	کمینه	غیر خطی	قطعی	–
۷	۲۰۰۹	لی و همکاران	LP	۳	بیشینه	خطی	قطعی	–
۸	۲۰۱۰	وانگ و حسو	LP	۱	کمینه	غیر خطی	غیر قطعی	–
۹	۲۰۱۰	پیشوایی و همکاران	MINLP	۲	مختلط	غیر خطی	غیر قطعی	الگوریتم ممتیک
۱۰	۲۰۱۱	ون هوی و همکاران	NLP	۲	بیشینه	غیر خطی	قطعی	–
۱۱	۲۰۱۲	طالعی زاده و همکاران	MINLP	۲	مختلط	غیر خطی	غیر قطعی	الگوریتم ژنتیک
۱۲	۲۰۱۳	ژو و همکاران	NLP	۳	بیشینه	خطی	قطعی	–

[19] neutrosophic

۱۳	۲۰۱۵	رحمتی و همکاران	MINLP	۲	مختلط	غیر خطی	قطعی	–
۱۴	۲۰۱۶	طلوعی و همکاران	MINLP	۴	مختلط	غیر خطی	قطعی	الگوریتم ژنتیک
۱۵	۲۰۱۹	ونفانگ و همکاران	NLP	۳	بیشینه	غیر خطی	غیر قطعی	الگوریتم کلنی مورچگان
۱۶	۲۰۲۰	یوشیموتو و همکاران	MINLP	۲	مختلط	غیر خطی	غیر قطعی	–
۱۷	۲۰۲۰	احمد و همکاران	MINLP	۳	مختلط	غیر خطی	قطعی	بهینه سازی فازی، نوتروسفیک
۱۸	۲۰۲۰	صادقیان و همکاران	MILP	۲	مختلط	خطی	قطعی	شاخه و کران

۴- الگوریتم حل مدل ریاضی پژوهش

عمده مسائل بهینه سازی که در دنیای ما وجود دارد بیش از یک هدف را دربر می گیرد و پاسخ بهینه مساله نیز هنگامی حاصل می گردد که کلیه اهداف به میزان خاصی از بهینگی رسیده باشند، به همین جهت این گونه مسائل را مسائل بهینه سازی چند هدفه می نامیم. در مسئله مورد نظر از دو روش «وزن دهی[۲۰] » و «حدی[۲۱] » 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 می شود.

۴-۱. روش وزن دهی

مبنای روش وزن دهی مبتنی بر تبدیل مسائل چند هدفه به مسائل تک هدفه می باشد. از جمله مزایای این روش، مناسب بودن آن برای مسائل بهینه سازی محدب و ساده بودن پیاده سازی آن است. از ویژگی های این روش تبدیل همه اهداف به یک هدف کلی در مسائلی که به طور همزمان برخی اهداف باید حداقل و برخی دیگر باید حداکثر شوند می باشد. لازم به ذکر است که با توجه به ساختار متدلوژی مذکور، لزوم بررسی های بیشتر در قالب اعتبار سنجی ها

[20] Weighting Approach
[21] Constraint Method

و ممیزی نتایج نهایی جهت اطمینان از صحت جواب به دست آمده به عنوان جواب بهینه ، ضروری است (اصغر پور، ۱۳۹۳، ۱۹۱).

برای حل مساله چند معیاره خطی به این روش، اگر یک مجموعه خوب از وزن های تخمین زده شده و مساله برنامه ریزی تک هدفه را بوسیله وزن های داده شده حل کنیم، مجموعه معتبری از نقاط موثر گوشه بدست می آید. در این روش بعد از تخمین اوزان مورد نیاز (مشخص کردن حد بالائی برای وزن ها و افزایش سیستماتیک آنان)، تعداد نقاط قابل قبول و مقادیر هر یک از آن ها محاسبه و بهینه ترین مقدار مورد انتخاب قرار می گیرد (قدسی پور، ۱۳۹۷، ۱۱۷).

۲-۴. روش حدی

در این الگوریتم حد بالا و پایین برای هدف مشخص شده و اهداف مدل بصورت سیستماتیک در این محدوده تغییر می کنند و جواب های موثر مشخص می شود. بطور دقیق تر این الگوریتم شامل قدم های زیراست:

در قدم اول جدول تغییرات باید ساخته شود به این صورت که ابتدا کلیه اهداف بصورت انفرادی بهینه شود و مقادیر بهینه به همراه متغیر های مسئله محاسبه شود. سپس با توجه به مقادیر بدست آمده 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
	n_1	n_2	..	n_p

در قدم دوم مسئله ای با p تابع هدف را به مسئله ای با p-1 محدودیت تبدیل می کنیم. n_k و M_k که از قدم یک محاسبه شده اند، محدوده تغییرات تابع هدف k ام و همچنین محدوده تغییرات L_k را نشان می دهد. داریم:

$$n_k \leq L_k \leq M_k$$

مقادیر مختلفی را در محدوده فوق برای L_k انتخاب کرده تا جواب های موثر مربوط را مشخص کند (تعداد این مقادیر را r می نامیم). مسائل حدی تولید شده در قدم دوم را برای همه ترکیبات مختلف L_k که تعداد آن r^{p-1} ترکیب مختلف است، حل می کنیم (قدسی پور، ۱۳۹۷، ۱۴۲).

$$\mathbf{L_k = n_k + \left[\frac{t}{r-1}\right](M_k - n_k)} \qquad \boldsymbol{t = 0.1.2.\ldots.r-1}$$

۳-۴. الگوریتم انشعاب و تحدید(شاخه و کران)

الگوریتم شاخه و کران یکی از روش های کلاسیک حل مسئله برنامه ریزی عدد صحیح است. این روش به همراه روش برش گومری از مشهورترین روش ها در حل مسئله برنامه ریزی عدد صحیح هستند. در اکثر مقایت 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 با هدف ماکزیمم سازی به شرح زیر است:

A) مسئله را بدون فرض عدد صحیح بودن متغیر های تصمیم با روشهای معمول حل می کنیم.

B) چنانچه جواب بهینه متغیرهای صحیح عددی صحیح باشد که به جواب بهینه رسیده ایم در غیر اینصورت به مرحله بعدی می رویم(مرحله انشعاب).

C) در هر بار تکرار یکی از متغیر های غیر صحیح را انتخاب می کنیم و عمل انشعاب را انجام میدهیم روش انشعاب به اینصورت است که هر عدد غیر صحیح را همواره میتوان بین دو عدد صحیح متوالی در نظر گرفت.

D) مسائل فرعی جدید را حل می کنیم و آزمون به عمق رسیدن را بررسی می کنیم 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 می شود.

II- حالت خاص فاقد ناحیه موجه پیش بیاید.

III- به جواب صحیح برسیم چنانچه این جواب از جوابهای قبلی شاخه ها بیشتر باشد به عنوان بهترین جواب موجود در نظر گرفته می شود و جایگزین مقدار تابع هدف برای مقایسه خواهد شد.

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

۵- طرح و پیاده سازی مدل پژوهش در کارخانه برش و پرس شرکت ایران خودرو

۵-۱. 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 محدودیت های ورود محصولات خارجی ، فضای اقتصادی بسیار مناسبی برای این صنعت ایجاد شده است. هر چند 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 تجربه های جدید است. راه حل های موجود در صنعت خودرو جهان تنها چراغ راهنمایی برای یافتن مسیر است و جاری سازی هر یک از تکنیک ها در هر گوشه از این صنعت نیز مستلزم تلاش و کوشش فراوانی است که باعث کسب تجربه های جدیدی می گردد. محصولات شرکت ایران خودرو در خطوط تولید سالن های تولید قطعات پرسی, شاتل ، رنگ ، موتور سازی ، مونتاژ وتندر تولید می شود.

شرکت ایران خودرو شامل بخش ها و دپارتمان های تولیدی و غیر تولیدی می باشد که اهتمام هر یک از این بخش ها بر اساس انجام فعالیت های دارای ارزش افزوده می باشد. لیکن یکی از وظایف سازمانی مدیران و کارکنان مجموعه در این شرایط بحرانی به حداقل رساندن فعالیت های غیر ارزش افزوده در سازمان است.

حیطه کاری این پژوهش واقع در سالن پرس شماره ۳ می باشد.این سالن شامل دو خط بلنکینگ و ۶ خط پرسی می باشد. وظیفه خطوط بلنکینگ خرد کردن کویل[۲۲] و تبدیل آن به شیت[۲۳] می باشد. اولین خط بلنکینگ ساخت شرکت wia کره می‌باشد، تناژ پرس این خط ۵۰۰ تن بوده و در طول خط از ابتدا تا انتها عملیات هایی مانند ، شستشو ، برش عرضی ، level و stack نمودن ورقها انجام می پذیرد. خط دوم ساخت شرکت schuler آلمان می باشد و مکانیزم این خط شبیه خط wia می باشد. در طول یک خط پرسی نیز، بلنک تحت چندین عملیات تبدیل به قطعه نهایی میگردد. مشخصات فنی خطوط پرسی این سالن پرس به شرح جدول ۴ می باشد:

جدول ۴ : مشخصات فنی خطوط پرسی سالن پرس

خط	تناژ پرس ها	سطح اتوماسیون	سال بهره برداری	شرکت سازنده پرس ها	شرکت سازنده ربات ها
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 می باشد. این مجموعه توانایی تولید بیش از ۵۰ هزار قطعه در روز و تولید ۲۰ میلیون قطعه در سال را دارد. لازم به ذکر است که در مدل مذکور مواد اولیه (کویل ها) در قالب ۶ دسته بندی، محصولات نوع اول (بلنک ها) در قالب ۹ دسته بندی و محصولات نوع دوم (قطعات پرسی) در قالب ۹۵ دسته بندی مورد مطالعه قرار می گیرد.

۲-۵. مدل پیشنهادی

[22] Coil
[23] Sheet

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 حلقهٔ بستهٔ پیشنهادی آمده است. خطوط تیره جریان زنجیره تامین مستقیم (مواد مصرفی و محصول نهایی) و خطوط خطچین جریان زنجیره تامین معکوس (محصولات بازگشتی) را نشان می دهند. در این میان می توان محصولات جمع آوری شده را با تغییرات اندک به عنوان محصولات بازیافتی به جریان مستقیم محصولات برگرداند و یا در بازار مشتریان این محصولات فروخت.

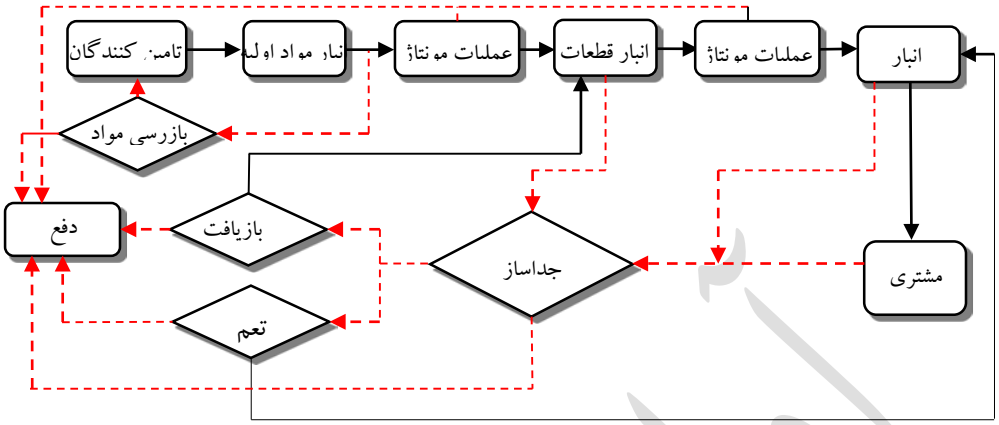
اولویت مشتریان محصولات جدید در تخصیص منابع، بیشتر از مشتریان کالاهای بازیافت شده است، بنابراین حمل مستقیم کالاها و نگهداری ذخیرهٔ احتیاطی تنها برای کالاهای جدید در نظر گرفته می شود. محصولات جدید در قالب سیستم کششی و محصولات بازیافتی در قالب سیستم فشاری به مشتریان تحویل داده می شود که مواد اولیه آن با جمع آوری محصولات استفاده شده فراهم می شود. در تابع هدف مدل پیشنهادی، درآمد کل که حاصل از فروش کالاهای جدید و کالاهای بازیافتی به مشتریان است، حداکثر می شود. هزینه های کل نیز شامل هزینه های تولید، نگهداری، بازیافت، تعمیر، حمل ونقل، خرید مواد خام، بازرسی و جداسازی محصولات جمع آوری شده است. با توجه به اینکه هدف، تعیین تصمیم های راهبردی است، از هزینه های باز و بسته کردن تجهیزات، هزینه های انتخاب تأمین کنندگان و سایر هزینه های مرتبط با تصمیمات راهبردی صرف نظر شده است. تصمیم گیری اصلی تاکتیکی که به کمک مدل پیشنهادی صورت گرفته، مرجعی در برنامه ریزی اصلی می باشد. این تصمیم ها عبارت اند از:

چه مقدار محصول در کدام یک از خطوط، تولید شود؟

چه مقدار مواد اولیه در ابتدای دوره سفارش دهده شود؟

چه مقدار محصول معیوب بازیافت یا تعمیر شود؟

شکل ۱ : ساختار مدل پیشنهادی



۵-۲-۱. مفروضات مدل

- مدل بصورت چند محصولی است.
- کمبود مجاز نبوده و تقاضای محصولات به موقع و بطور کامل تامین می شود.
- تمام محصولات معیوب در فرایند بازرسی و جداسازی به قسمت بازیافت و تعمیر منتقل شده و تمامی آن ها مجددا به جریان مستقیم زنجیره تامین 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.
- مکان های مراکز بالقوه تولید، توزیع، بازیافت ، تعمیر، دفع و... ثابت و مشخص است.
- موجودی بیان شده در مدل صرفا شامل موجودی مواد اولیه، محصولات تولیدی، محصولات معیوب و ضایعات حاصل از تولید آن هاست و موارد دیگر مانند قطعات نیمه ساخته یا ابزار و ملزومات در مدل لحاظ نشده است.
- سطوح کیفیت محصولات نهایی حاصل از فرایند های تولید و تولید مجدد مشابه یکدیگر در نظر گرفته می شود.

۵-۲-۲. اندیس ها

I: مجموعه قطعات نوع بلنک ($i=1,2,\ldots,I$)

J: مجموعه قطعات نوع پرس (j=1,2,…,J)

N: مجموعه مواد اولیه(کویل ها) (n=1,2,…,N)

T: مجموعه دوره های زمانی (t=1,2,…,T)

L: مجموعه خطوط تولید قطعات بلنک (l=1,2,…,L)

L': مجموعه خطوط تولید قطعات پرسی (l=1,2,…,L')

S: مجموعه تامین کنندگان (t=1,2,…,S)

W: مجموعه مراکز انبار مواد اولیه (کویل) (w=1,2,…,W)

W': مجموعه مراکز انبار قطعات بلنک (w'=1,2,…,W')

W'': مجموعه مراکز انبار قطعات پرسی (w''=1,2,…,W'')

M: مجموعه مشتریان (m=1,2,…,M)

S: مجموعه تامین کنندگان (t=1,2,…,S)

R: مجموعه مراکز بازیافت (r=1,2,…,R)

F: مجموعه مراکز تعمیر (f=1,2,…,F)

D: مجموعه مراکز دفع (d=1,2,…,D)

۳-۲-۵. پارامتر ها

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 تامین 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 مورد نیاز نوع n در دوره t .

DMBit: میزان بلنک مورد نیاز نوع i در دوره t.

DMPjt: میزان قطعه پرسی مورد نیاز نوع j در دوره t.

TCnswt: هزینه جابجایی کیلوگرم کویل نوع n از مرکز تامین s به انبار w در دوره t.

TC2nwlt: 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 تامین 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 ازانبار 'w به خط تولیدقطعات پرسی 'l دردوره 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'wبه مرکز دفع d در دوره t.

TPjl'w''t: هزینه جابجایی کیلوگرم قطعه پرسی نوع j از خط تولید قطعات پرسی 'l به انبار ''w در دوره t.

TP2jw''mt: هزینه جابجایی کیلوگرم قطعه پرسی سالم نوع j از انبار ''w به انبار مشتری m در دوره t.

TP'jw''t: هزینه جابجایی کیلوگرم قطعه پرسی معیوب نوع j از انبار ''w در دوره t.

TP2'jw''ft: هزینه جابجایی کیلوگرم قطعه پرسی معیوب نوع j از انبار ''w به مرکز تعمیر f در دوره t.

TP3'jw''dt: هزینه جابجایی کیلوگرم قطعه پرسی معیوب نوع j از 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 قطعه پرسی ازخط تولید قطعات پرسی 'l به مرکزدفع d دردوره t.

TZB'rdt: هزینه جابجایی کیلوگرم ضایعات عملیات بازیافت r به مرکزدفع d دردوره t مربوط به قطعات بلنک.

TZP'fdt: هزینه جابجایی کیلوگرم ضایعات عملیات مرکزتعمیرfبه مرکزدفعd دردوره tمرتبط به قطعات پرسی.

QCt: هزینه بازرسی کویل در دوره t .

QBt: هزینه بازرسی قطعه بلنک در دوره t.

QPt: هزینه بازرسی قطعه پرسی در دوره t.

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

Fjt: هزینه تعمیر قطعه پرسی معیوب نوع jدر دوره t .

DBt: هزینه دفع قطعه بلنک معیوب در دوره t.

DPt: هزینه دفع قطعه پرسی میعوب در دوره t.

DZt: هزینه دفع ضایعات تولید و بازتولید تمامی قطعات در دوره t.

SBitl: زمان راه اندازی برای تولید قطعه بلنک نوع i در خط l .

'SPjtl: زمان راه اندازی برای تولید قطعه پرسی نوع jدر خط 'l .

CCst: ظرفیت تعداد خرید کویل از تامین کننده s در دوره t.

CBlt: ظرفیت تعداد تولید قطعه بلنک در خط بلنک l در دوره t.

CPl't: ظرفیت تعداد تولید قطعه پرسی 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 پرسی در دوره t.

TCBlt: ظرفیت زمانی تولید قطعه بلنک در خط بلنک l در دوره t.

TCPl't: ظرفیت زمانی تولید قطعه پرسی در خط بلنک 'l در دوره t.

$CSCw_t$: ظرفیت انبار نگهداری w کویل های موجود در دوره t.

$CSBw'_t$: ظرفیت انبار نگهداری w قطعات بلنک موجود در دوره t.

$CSPw''_t$: ظرفیت انبار نگهداری w قطعات پرسی موجود در دوره t.

$EPjmt$: ارزش قطعه پرسی نوع j در دوره t که به مشتری m ارسال می شود.

EB'_{it}: ارزش قطعه بلنک معیوب دفع شده نوع i در دوره t .

EP'_{jt}: ارزش قطعه پرسی معیوب دفع شده نوع j در دوره t.

αCst: نرخ معیوب بودن کویل از سوی تامین کننده s در دوره t.

αBlt: نرخ معیوب بودن بلنک های تولیدی از سوی خط l در دوره t.

$\alpha Pl't$: نرخ معیوب بودن قطعات پرسی تولیدی از سوی خط 'l در دوره t.

βBt: درصد قطعات بلنک بازگشتی که در دوره t راهی بازیافت می شود.

βPt: درصد قطعات پرسی بازگشتی که در دوره t راهی تعمیر می شود.

γBt: نرخ ضایعات تولید شده حاصل از عملیات بلنک در دوره t که راهی دفع می شود.

γPt: نرخ ضایعات تولید شده حاصل از عملیات پرس در دوره t که راهی دفع می شود.

$\gamma' Bt$: نرخ ضایعات تولید شده حاصل از عملیات بازیافت بلنک های معیوب در دوره t که راهی دفع می شود.

$\gamma' Pt$: نرخ ضایعات تولید شده حاصل از عملیات تعمیر قطعات پرسی در دوره t که راهی دفع می شود.

۴-۲-۵. 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 تامین کننده s در دوره t جهت انتقال به انبار w.

XC2nwlt: 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 تامین 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'l'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'j'w''t: تعداد تولید معیوب پرسی قابل بازیافت نوع i 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.

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 غیر قابل 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 غیر قابل 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.

۵-۲-۵. مدل ریاضی

اولین تابع هدف بیان کننده کمینه کردن هزینه های مربوط به مواد اولیه (کویل ها)،محصولات نوع اول (بلنک ها) و محصولات نوع دوم (قطعات پرسی) است.

$$\textbf{Min Z1} = \sum_{n}\sum_{t} MC_{nt} \sum_{w} IC_{nwt} + \sum_{i}\sum_{t} MB_{it} \sum_{w'} IB_{iw't} + \sum_{j}\sum_{t} MP_{jt} \sum_{w''} IP_{jw''t} \quad (1)$$

رابطه (۱) مربوط به هزینه های نگهداری می باشد.

$$+ \sum_{i}\sum_{l}\sum_{t} PB_{ilt}\, XB_{ilt} + \sum_{j}\sum_{l'}\sum_{t} PP_{jl't}\, XP_{jl't} \quad (2)$$

رابطه (۲) هزینه تولید محصولات می باشد.

$$+ \sum_{n}\sum_{s}\sum_{t} PC_{nst} \sum_{w} XC_{nswt} - \sum_{n}\sum_{s}\sum_{t} PC_{nst} \sum_{w} XC'_{nswt} \quad (3)$$

رابطه (۳) نشان دهنده هزینه تامین مواد اولیه می باشد

$$+\sum_{n}\sum_{s}\sum_{w}\sum_{t} TC_{nswt}XC_{nswt} + \sum_{n}\sum_{w}\sum_{l}\sum_{t} TC2_{nwlt}XC2_{nwlt} \quad (4)$$

$$+\sum_{n}\sum_{w}\sum_{s}\sum_{t} TC'_{nwst}XC'_{nwst}$$

$$+\sum_{i}\sum_{l}\sum_{w\prime}\sum_{t} TB_{ilw\prime t}XB_{ilw\prime t}$$

$$+\sum_{i}\sum_{w\prime}\sum_{l'}\sum_{t} TB2_{iw\prime l't}XB2_{iw\prime l't}$$

$$+\sum_{i}\sum_{w\prime}\sum_{r}\sum_{t} TB2'_{iw\prime rt}WB_{iw\prime rt}$$

$$+\sum_{i}\sum_{w\prime}\sum_{d}\sum_{t} TB3'_{iw\prime dt}WB'_{iw\prime dt}$$

$$+\sum_{i}\sum_{r}\sum_{w\prime}\sum_{t} TB'_{irw\prime t}WB_{irw\prime t}$$

$$+\sum_{j}\sum_{l'}\sum_{w"}\sum_{t} TP_{jl'w"t}XP_{jl'w"t}$$

$$+\sum_{j}\sum_{w"}\sum_{m}\sum_{t} TP2_{jw"mt}XP2_{jw"mt}$$

$$+\sum_{j}\sum_{w"}\sum_{f}\sum_{t} TP2'_{jw"ft}WP_{jw"ft}$$

$$+\sum_{j}\sum_{w"}\sum_{d}\sum_{t} TP3'_{jw"dt}WP'_{jw"dt}$$

$$+\sum_{j}\sum_{f}\sum_{w"}\sum_{t} TP'_{jfw"t}WP_{jfw"t}$$

$$+\sum_{j}\sum_{m}\sum_{w"}\sum_{t} TP'2_{jmw"t}\,WP"_{jmw"t}+\sum_{l}\sum_{d}\sum_{t} TZB_{ldt}\,ZB_{ldt}$$
$$+\sum_{l'}\sum_{d}\sum_{t} TZP_{l'dt}\,ZP_{l'dt}$$
$$+\sum_{r}\sum_{d}\sum_{t} TZB'_{rdt}\,ZB'_{rdt}+\sum_{f}\sum_{d}\sum_{t} TZP'_{fdt}\,ZP'_{fdt}$$

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

$$+QC_t\sum_{n}\sum_{s}\sum_{w}\sum_{t} XC_{nswt}+QB_t\sum_{i}\sum_{l}\sum_{w'}\sum_{t} XB_{ilw't}$$
$$+QP_t\sum_{i}\sum_{l'}\sum_{w"}\sum_{t} XP_{jl'w"t} \qquad (5)$$

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

$$+\sum_{i}\sum_{t} R_{it}\sum_{W'}\sum_{r} WB_{iw'rt}$$
$$+\sum_{j}\sum_{t} F_{jt}\sum_{w"}\sum_{f} WP_{jw"ft} \qquad (6)$$

در رابطه (۶) هزینه تعمیر و بازیافت محصولات معیوب مد نظر می باشد.

$$+\sum_{t} DB_t\sum_{i}\sum_{w'}\sum_{d} WB'_{iw'dt}$$
$$+\sum_{t} DP_t\sum_{j}\sum_{w"}\sum_{d} WP'_{jw"dt} \quad (7)$$
$$+\sum_{t} DZ_t\Big(\sum_{l}\sum_{d} ZB_{ldt}$$
$$+\sum_{r}\sum_{d} ZB'_{rdt}+\sum_{l'}\sum_{d} ZP_{l'dt}$$
$$+\sum_{f}\sum_{d} ZP'_{fdt}\Big) \quad (8)$$

روابط (۷) و (۸) بترتیب مربوط به هزینه دفع تولیدات ضایع و هزینه دفع ضایعات ناشی از تولید می باشد.

$$\textbf{Max Z2} = \sum_{j}\sum_{m}\sum_{t} EP_{jmt} \sum_{w"} XP2_{w"} + \sum_{i}\sum_{t} EB'_{it} \sum_{w\prime}\sum_{d} WB'_{iw\prime dt} + \sum_{j}\sum_{t} EP'_{jt} \sum_{w"}\sum_{d} WP'_{jw"dt} \qquad (9)$$

رابطه (۹) مربوط به دومین تابع هدف یعنی بیشینه کردن میزان فروش محصولات می باشد.

S.T :

$$IC_{nt} = IC_{n(t-1)} + \sum_{s} XC_{nswt} - DMC_{nt} \qquad (10)$$

$$IB_{it} = IB_{i(t-1)} + \sum_{l} XB_{ilt} - \sum_{r} WB_{irt} - DMB_{it}$$

$$IP_{it} = IP_{j(t-1)} + \sum_{l\prime} XP_{jl\prime t} - \sum_{f} WP_{jft} - DMP_{jt}$$

رابطه (۱۰) بیان کننده تعادل موجودی ، میزان تولید و تقاضا در محصولات و مواد اولیه می باشد.

$$\sum_{s}\sum_{w} XC_{nswt} = \sum_{w}\sum_{l} XC2_{nwlt} + \sum_{w}\sum_{s} XC'_{nwst} \qquad (11)$$

$$\sum_{s}\sum_{w} XC'_{nswt} = (\sum_{s}\sum_{w} XC_{nswt})\alpha C_{st}$$

$$\sum_{s}\sum_{w} XC2_{nswt} = (\sum_{s}\sum_{w} XC_{nswt})(1 - \alpha C_{st})$$

رابطه (۱۱) نشان دهنده ارتباط بین مواد اولیه خریداری شده سالم و معیوب است.

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

$$\sum_{w\prime} \mathbf{XB'_{iw\prime t}} = (\sum_{l} \sum_{w\prime} \mathbf{XB_{ilw\prime t}})\, \boldsymbol{\alpha} \mathbf{B_{lt}}$$

$$\sum_{w'} \sum_{l'} \mathbf{XB2_{iw'l't}} = (\sum_{l} \sum_{w'} \mathbf{XB_{ilw't}})\, (\mathbf{1} - \boldsymbol{\alpha} \mathbf{B_{lt}})$$

$$\sum_{w\prime} \sum_{r} \mathbf{WB_{iw\prime rt}} = (\sum_{w\prime} \mathbf{XB'_{iw\prime t}}) \boldsymbol{\beta} \mathbf{B_t}$$

$$\sum_{w\prime} \sum_{d} \mathbf{WB'_{iw\prime dt}} = (\sum_{w\prime} \mathbf{XB'_{iw\prime t}})(\mathbf{1} - \boldsymbol{\beta} \mathbf{B_t})$$

رابطه (۱۲) بیان کننده ارتباط میزان تولید، درصد ضایعات و معیوبات محصول اول (بلنک) می باشد.

$$\sum_{l\prime} \sum_{w"} \mathbf{XP_{jl\prime w"t}} = \sum_{w"} \sum_{m} \mathbf{XP2_{jw"mt}} + \sum_{w"} \mathbf{XP'_{jw"t}} \qquad (13)$$

$$\sum_{w"} \mathbf{XP'_{jw"t}} = (\sum_{l\prime} \sum_{w"} \mathbf{XP_{jl\prime\, w"t}}) \boldsymbol{\alpha} \mathbf{P_{l\prime t}}$$

$$\sum_{w"} \sum_{m} \mathbf{XP2_{jw"mt}} = (\sum_{l\prime} \sum_{w"} \mathbf{XP_{jl\prime\, w"t}})(\mathbf{1} - \boldsymbol{\alpha} \mathbf{P_{l'\prime t}})$$

$$\sum_{m} \sum_{w"} \mathbf{WP"_{jmw"t}} = (\sum_{w"} \sum_{m} \mathbf{XP2_{jw"mt}}) \boldsymbol{\alpha'} \mathbf{P_{l\prime t}}$$

$$\sum_{w"} \sum_{f} \mathbf{WP_{jW"ft}} = (\sum_{m} \sum_{w"} \mathbf{WP"_{jmw"t}} + \sum_{l\prime} \sum_{w"} \mathbf{XP_{jl\prime\, w"t}}) \boldsymbol{\beta} \mathbf{P_t}$$

$$\sum_{w"} \sum_{d} \mathbf{WP'_{jW"dt}} = (\sum_{m} \sum_{w"} \mathbf{WP"_{jmw"t}} + \sum_{l\prime} \sum_{w"} \mathbf{XP_{jl\prime\, w"t}})(\mathbf{1} - \boldsymbol{\beta} \mathbf{P_t})$$

رابطه (۱۳) نیز بیان کننده ارتباط میزان تولید، درصد ضایعات و معیوبات محصول دوم (قطعات پرسی) می باشد.

$$\sum_{l}\sum_{d} ZB_{ldt} = \sum_{i}\sum_{l}\sum_{w\prime} XB_{ilw\prime t}\gamma B_t \qquad (14)$$

$$\sum_{l'}\sum_{d} ZP_{l'dt} = \sum_{j}\sum_{l'}\sum_{w"} XP_{jl'w"t}\gamma P_t$$

$$\sum_{l\prime}\sum_{d} ZB'_{l\prime dt} = \sum_{i}\sum_{w\prime}\sum_{r} WB_{iw\prime rt}\gamma' P_t$$

$$\sum_{l\prime}\sum_{d} ZP'_{fdt} = \sum_{j}\sum_{w"}\sum_{f} WP_{jwft}\gamma' P_t$$

رابطه (۱۴) نشان دهنده مقادیر ضایعات تولید شده بر حسب میزان تولید محصولات است.

$$IC_{n(t-1)} + \sum_{l} XC2_{nlt} \geq DMC_{nt} \qquad (15)$$

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

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

رابطه (۱۵) تضمین کننده تقاضای محصولات است.

$$\sum_{n}\sum_{w} XC_{nwst} \leq CC_{st} \qquad (16)$$

$$\sum_{i}\sum_{w\prime} XB_{ilwt} \leq CB_{lt}$$

$$\sum_{j}\sum_{w"} XP_{jl\prime w"t} \leq CP_{l\prime t}$$

رابطه (۱۶) محدودیت ظرفیت خطوط تولید محصولات و همچنین ظرفیت تامین مواد اولیه از تامین کنندگان است

$$\sum_{i}\sum_{w\prime} \mathbf{WB_{iw\prime rt}} \leq \mathbf{CB'_{rt}} \qquad (17)$$
$$\sum_{i}\sum_{w"} \mathbf{WP_{jw"ft}} \leq \mathbf{CP'_{ft}}$$

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

$$\sum_{i} \mathbf{BB_{il}} \sum_{w\prime} \mathbf{XB_{ilw\prime t}} + \sum_{i} \mathbf{SB_{ilt}} \leq \mathbf{TCB_{lt}} \qquad (18)$$
$$\sum_{j} \mathbf{BP_{jl\prime}} \sum_{w"} \mathbf{XP_{jl\prime w"t}} + \sum_{j} \mathbf{SP_{jlt}} \leq \mathbf{TCP_{l\prime t}}$$

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

$$\mathbf{IC_{nw(t-1)}} + (\sum_{s}\sum_{n} \mathbf{XC_{nswt}}) * \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}} \leq \mathbf{CSC_{wt}} \qquad (19)$$
$$\mathbf{IB_{iw\prime(t-1)}} + (\sum_{i}\sum_{l} \mathbf{XB_{ilw\prime t}}) * \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}} \leq \mathbf{CSB_{w\prime t}}$$
$$\mathbf{IP_{jw"(t-1)}} + (\sum_{j}\sum_{l\prime} \mathbf{XP_{jl\prime w"t}}) * \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}} \leq \mathbf{CSP_{w"t}}$$

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

$IC_{nwt}, IB_{iw't}, IP_{jw"t}, XC_{nswt}, XC2_{nwlt}, XC'_{nwst}, XB_{ilw't}, XB2_{iw'l't}, XB'_{iw'gt}, XP_{jl'w"t}, XP2_{jw"mt}, XP'_{jw"gt}, XP2'_{jmgt}, WB_{igrt}, WB'_{igdt}, WP_{jgft}, WP'_{jgdt} \geq 0$ & Int. (۲۰)

$0 \leq \alpha C_{st}, \alpha B_{lt}, \alpha P_{l't}, \alpha' P_{mt}, \beta B_t, \beta P_t, \gamma B_t, \gamma P_t, \gamma' B_t, \gamma' P_t \leq 1$ (۲۱)

$-1 \leq \mu C_{st}, \mu B_{lt}, \mu P_{l't} \leq 1$

روابط (۲۰) و (۲۱) بیانگر مقادیر ممکن برای متغیر های مسئله و همچنین مشخص کردن بازه ضرایب مورد استفاده در مسئله می باشد.

۳-۵. پیاده سازی مدل

با توجه به مدل ارائه شده در پژوهش، در روش اول اوزان هر یک از اهداف با بهره گیری از نظر نخبگان شرکت و با استفاده از پرسشنامه مقایسات زوجی اهداف (شامل مقایسه هزینه های مختلف و درآمد ها)، مورد مقایسه قرار گرفته و وزن هر کدام از آن ها محاسبه و در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵ : ضرایب اهمییت در تابع هدف

اهداف	Z_1	Z_2
اوزان	0.684	0.316

در روش دوم نیز مسئله مورد نظر را با روش حدی به تابع تک هدفه تبدیل گردید. سپس مسائل بدست آمده از طریق الگوریتم انشعاب و تحدید بوسیله نرم افزار Lingo 17.0 و کامپیوتر شخصی با رم ۸ گیگ حل شد. مقادیر عددی پارامتر های مدل با استفاده از اطلاعات استخراج شده از کارخانه برش و پرس ایران خودرو با مشخصات ذکر شده در بخش قبل در دوره ای مشخص حاصل شده است. این مقادیر در جدول ۶ می باشد.

جدول ۶ : حجم مدل مسئله

اندیس	I	J	N	T	L	L'	W	M	S	R	F	D
تعریف	قطعات بلنک	قطعات پرس	کویل	دوره زمانی	خطوط بلنکینگ	خطوط پرسینگ	انبار	مشتریان	تامین کنندگان	بازیافت	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 پارامتر های مدل مسئله

پارامترها	واحد	مقادیر پارامترها
MC_{nt}	تومان	MC11= MC21= MC31= MC41= MC51= MC61=37000
MB_{it}	تومان	(MB11, MB21, MB31, …) = (273, 328, 345, …)
MP_{jt}	تومان	(MP11, MP21, MP31, …) = (157.8, 158.9, 32.4, …)
PC_{nst}	تومان	(PC111, PC211, PC311, …) = (55000000, 61000000, 59580000, …)
PB_{ilt}	تومان	(PB111, PB211, PB311, …) = (6490.6, 7560.5, 8000, …)
DMP_{jt}	تعداد	(DMP11, DMP21, DMP31, …) = (1476, 1471, 1933, …)
CC_{st}	تعداد	(CC11, CC21, CC31, …) = (60, 20, 15, …)
CSC_{wt}	تعداد	CSC11 = 100
TC_{nswt}	تومان	(TC1111, TC2111, TC3111, …) = (1738, 2086, 2433, …)
BB_{il}	ثانیه	(BB11, BB21, BB31, …) = (3.18, 4.06, 3.25, …)
QC_t	تومان	QC1 = 37000
R_{it}	تومان	(R11, R21, R31, …) = (201, 242, 254, …)
:	:	:

۱-۳-۵. حل با الگوریتم وزن دهی

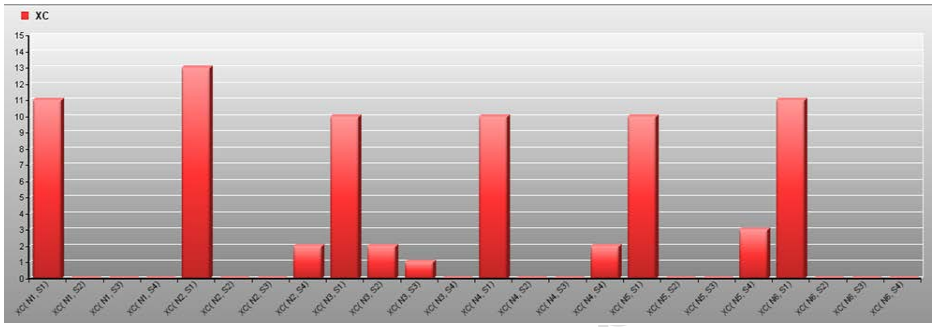
در این مرحله با توجه به اوزان مشخص شده در جدول ۵، اقدام به حل مدل در نرم افزار لینگو گردید. این پیاده سازی در ۴ بخش برنامه ریزی مواد اولیه (کویل ها)، برنامه ریزی تولید محصول نوع اول (بلنک ها)، برنامه ریزی تولید محصول نوع دوم (قطعات پرسی) و نتیجه در جداول ۹و۱۰ و خروجی نمودار لینگو در اشکال ۲ و ۳ ارائه شده است.

جدول ۹ : نتایج حل مدل برای برنامه ریزی مواد اولیه (کویل ها)

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

	۰	۰	۰	XC_{1211}
	۰	۰	۰	XC_{1311}
	۰	۰	۰	XC_{1411}
۱	۱	۱۳	۰	XC_{2111}
	۰	۰	۰	XC_{2211}
	۰	۰	۰	XC_{2311}
	۰	۲	۰	XC_{2411}
۱	۰	۱۰	۰	XC_{3111}
	۰	۲	۰	XC_{3211}
	۰	۱	۰	XC_{3311}
	۰	۰	۰	XC_{3411}
۱	۰	۱۰	۰	XC_{4111}
	۰	۰	۰	XC_{4211}
	۰	۰	۰	XC_{4311}
	۰	۲	۰	XC_{4411}
۱	۱	۱۰	۰	XC_{5111}
	۰	۰	۰	XC_{5211}
	۰	۰	۰	XC_{5311}
	۰	۳	۰	XC_{5411}
۱	۰	۱۱	۰	XC_{6111}
	۰	۰	۰	XC_{6211}
	۰	۰	۰	XC_{6311}
	۰	۰	۰	XC_{6411}
۵	۲	۷۵	۰	ΣXC
مقدار تابع هدف دوم(درآمد)	مقدار تابع هدف اول (هزینه تامین مواد اولیه)			
۰	-۳۰۴۴۲۷۷۰۰۰			Z_c

شکل ۲ : خروجی نمودار لینگو برای مواد اولیه

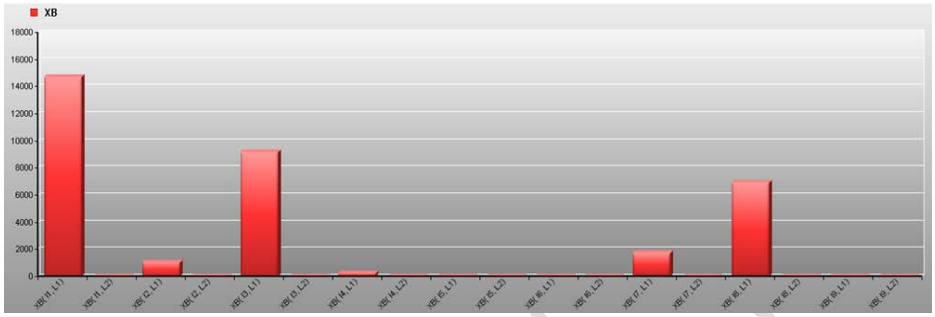


جدول ۱۰ : نتایج حل مدل برای برنامه ریزی محصولات نوع اول (بلنک ها)

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	
ΣXB	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 پرسی، صرفا به ذکر تابع هدف نتایج حل مدل برای برنامه ریزی محصولات نوع دوم (قطعات پرسی) 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 برنامه ریزی محصولات نوع دوم (قطعات پرسی)

	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

۲-۳-۵. حل با الگوریتم حدی

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

$$\begin{cases} 0 \le L_2 \le 7854294000 \\ Z_2 \ge L_2 \end{cases}$$

با توجه به اینکه تابع $Z2$ از جنس درامد است پس بهینه ترین حالت ،حالت بیشینه است، بنابراین بهینه ترین بازه برای آن بازه $Z2 \ge 7858469000$ می باشد. بعد از ایجاد این محدودیت، مدل حل شده و نتایج زیر در جدول ۱۳حاصل 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 جواب های نهایی و سنجش راه حل های مورد استفاده است. با توجه به نتایج بدست آمده، میزان انحراف نتایج محاسباتی الگوریتم های حدی و وزن دهی در نرم افزار لینگو برای این مسئله با هزینه های واقعی در شرکت و همچنین با توجه به ابعاد مسئله، درصد ناچیزی است و این درصد نشان دهنده کارایی الگوریتم های پیشنهادی است. به بیان دیگر نتایج و خروجی حل مدل قابلیت آن را بمنظور برنامه ریزی و کنترل موجودی در مدیریت زنجیره تامین حلقه بسته نشان می دهد.

۶- نتیجه گیری و پیشنهادات

در این پژوهش مدلی برای کنترل موجودی در مدیریت زنجیره تامین حلقه بسته با رویکرد برنامه ریزی چند هدفه در کارخانه برش و پرس ایران خودرو بصورت قطعی و چند هدفه

توسعه داده شده است که هدف اول آن شامل کمینه سازی هزینه های نگهداری، خرید مواد اولیه، تولید و ... و هدف دوم آن شامل بیشینه سازی درآمد حاصل از فروش محصولات می باشد. بمنظور 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 بدست آمده حاکی از آن است که میزان انحراف نتایج محاسباتی الگوریتم های حدی و وزن دهی در نرم افزار لینگو برای این مسئله با هزینه های واقعی در شرکت و همچنین با توجه به ابعاد مسئله، درصد ناچیزی است و این درصد نشان دهنده کارایی الگوریتم های پیشنهادی است. این مطالعه می تواند در صنایع مشابه نظیر پرسکاری و برشکاری دستی، ریخته گری، تراشکاری و ... بکار گرفته شود. چرا که تولید مجدد محصولات و استفاده از محصولات برگشتی با تقویت سیستم های نگهداری، حمل و نقل، تولید و ... در کنار جمع آوری محصولات قابل بازیافت امکان پذیر است. لازم به ذکر است که هر یک از دو روش بکار گرفته شده و همچنین اهداف مذکور در مقاله ملاحظات خاص خود را بدنبال داشته است. برای توسعه این پژوهش میتوان از مواردی نظیر زمان بازیافت یا تعمیر محصولات بازگشتی، احتمال خرابی ماشین آلات، عدم قطعیت های 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 بکارگیری سایر روش ها از جمله ابتکار و فرا ابتکاری جهت مسئله نیز بمنظور پژوهش بیشتر در این حوزه پیشنهاد می گردد. 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 بخش های مشابه کارخانه های 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 می باشد.

منابع

اصغر پور, م. (۱۳۹۲). تصمیم‌گیری‌های چند معیاره. تهران: موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران.

صدری،پدرام. (۱۳۹۵). رویکردی جدید در حل مسائل برنامه ریزی عدد صحیح خطی خالص با ضرایب صحیح. دانشگاه صنعتی اصفهان, ۶-۱۳.
(DOI: https://elmnet.ir/doc/20548242-31891)

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)

قدسی پور, س. (۱۳۹۷). مباحثی در تصمیم گیری چند معیاره: برنامه ریزی چندهدفه (روش های وزن دهی بعد از حل). تهران: مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیر کبیر.

کولیایی،مریم. (۱۳۹۴). طراحی مدل ریاضی مدیریت زنجیره تأمین با حلقه بسته (موردکاوی: شرکت تولیدی شیشه ایمنی به‌نور). دانشکده مدیریت و اقتصاد دانشگاه تربیت مدرس, ۲۰-۲۵.
(DOI: https://www.magiran.com/p1528381)

References

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. Neurosurg Focus, E15. (DOI: https://doi.org/10.3171/foc.2003.15.2.15)

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, 343-403. (DOI: http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-819670-0.00015-9)

Amin, S., & Zhang, G. (2013). A Multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return. Mathematical Modelling, 4165-4176. (DOI: https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.09.039)

Amin, S., & Zhang, G. (2013). A three-stage model for closed-loop supply chain configuration under uncertainty. International Journal of Production Research, 1405-1425. (DOI: http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2012.693643)

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, 289-301. (DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2005.03.009)

Chung, S., Wee, H., & Yang, P. (2008). Optimal policy for a closed-loop supply chain inventory system with remanufacturing. Mathematical and Computer Modelling, 867-881. (DOI: https://doi.org/10.1016/j.mcm.2007.11.014)

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, 196. (DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2008.04.041)

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, 382-393. (DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.02.004)

Du, F., & Evans, G. (2008). A bi-objective reverse logistics network analysis for post-sale service. Computers & Operations Research, 2617–2634. (DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2006.12.020)

Fleischmann, M., Beullens, P., & Bloemhof-Ruwaard, J. (2001). The impact of product recovery on logistics network design. Production and Operations Management, 156-173. (DOI: https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2001.tb00076.x)

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. (DOI: https://doi.org/10.1016/S0925-5273(97)00009-1)

Gupta, A., & Evans, G. W. (2009). A goal programming model for the operation ofclosed-loop supply chains. Eng. Optim., 713–735. (DOI: http://dx.doi.org/10.1080/03052150902802242)

Jayaraman, V., Guide Jr, V., & Srivastava, R. (1999). A closed-loop logistics model for remanufactuting. The Journal of the Operational Research Society, 497-508. (DOI: https://doi.org/10.2307/3009998)

Keyvanshokooh, 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, 76-92. (DOI: https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.08.028)

Ko, H., & Evans, G. (2007). A genetic algorithm-based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse logistics network for 3PLs. Computers & Operations Research, 346–366. (DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2005.03.004)

Lu, Z., & Bostel, N. (2007). A facility location model for logistics systems including reverse flows: The case of remanufacturing activities. Computers & Operations Research, 299–323. (DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2005.03.002)

Ohmori, S., & Yoshimoto, K. (2020). A Robust Optimization for Multi-Period Lost Sales Inventory Control Problem. Operations and Supply Chain Management: An International Journal, 375-381. (DOI: https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.08.028)

Pishvaee, M. S., Farahani, R. Z., & Dullaert, W. (2010). A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design. Computers & Operations Research, 1100–1112. (DOI: https://doi.org/10.1016/j.cor.2009.09.018)

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. Computer & Operation Research, 35-51. (DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2014.08.010)

.

Taleizadeh, A. A., Aryanezhad, M. B., & Makoee, 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. (DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.mcm.2008.10.013)

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, 5338-5348. (DOI: https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.11.001)

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, 2148-2162. (DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.05.009)

Wee, H. M., & Yang, P. C. (2007). A Mutual Beneficial Pricing Strategy of an Integrated VendorBuyers Inventory System. International Journal of Advanced Manufacturing and Technology, 179–187. (DOI: http://dx.doi.org/10.1007/s00170-006-0581-8)

Xanthopoulos, A., & Iakovou, E. (2009). On the optimal design of the disassembly and recovery processes. Waste Manag, 1702–1711. (DOI: https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.11.009)

Yang, G., Wang, Z., & Li, X. (2009). The optimization of the closed-loop supply chain network. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 16-28. (DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2008.02.007)

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, 1729-1737. (DOI: https://doi.org/10.17559/tv-20190805123158)

Zhou, W. Q., Chen, L. G., & M., H. (2013). A Multi-Product Multi-Echelon Inventory Control Model with Joint Replenishment Strategy. Applied

Mathematical Modeling, 2039-2050. (DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2012.04.054)

References [In Persian]

Asgharpour, M. (2013). Multiple criteria decision making. Tehran: University of Tehran Printing and Publishing Institute. [In Persian]

Sadri, P. (2016). A new approach in solving pure linear integer programming problems with integer coefficients. Isfahan University of Technology, 6-13. [In Persian]

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]

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]

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]