"Research Article"

10.71737/jpm.2025.3093598

Modeling a Sustainable Supply Chain Using a Hybrid Optimization for Discrete Event Simulation under Uncertainty: a Case Study of Iran Khodro Automotive Group

Banafsheh Famouri[1], Seyyed Javad Iranban fard [2], Seyyed Mohammad Seyyed Hosseini[3], Nazanin Pilehvari[4]

(Received:2024.04.04 - Accepted:2024.07.01)

Abstract

In this research, a pattern for modeling the sustainable supply chain of the automotive products group by using the hybrid model of discrete event-based simulation is presented. To this end, first, the simulation model of the current state of the supply chain has been developed using AnyLogic simulation software, and the necessary processes were carried out to confirm the validation of the model. After validitating the model, in the first step, the economic aspects of the supply chain were evaluated. In this regard, the supply chain was examined from two perspectives: the number of transportation fleets and the levels of ordering and maintenance of spare parts. In order to optimize the results of the objective function, the meta-heuristic method opt Quest was used to minimize the cost of waiting for customers to receive products, the waiting cost of agents to receive spare parts, and costs related to maintenance, repair and depreciation of vehicles. The output of the optimization process showed that with a 19-digit increase in the number of fleets compared to the current situation, the waiting time of Samand Group customers will decrease by 4%, Dena Group by 1.1%, and Peugeot Group by 8.9%. Also, the annual production of Peugeot products has increased to 33,000 units, and there has been no significant change in the production of other groups. The establishment of the optimal situation, in addition to the economic benefits of the chain, has led to improvements in social and environmental dimensions as well.

Key Words: sustainability, simulation, optimization, automobile manufacturing, supply chain, uncertainty

1.Ph.D. candidate Department of in Industrial Management, Science and Research Unit, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2.Associate Professor, Department of Industrial Management, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

*. Corresponding author: Javad.iranban@iau.ac.ir

3.Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, University of Science and Technology, Tehran, Iran

4.Professor, Department of Industrial Management,West Tehran Branch,Islamic Azad University,Tehran, Iran

1. Introduction

Today, the issue of supply chain and its role in creating and developing competitive advantage, reducing costs, increasing productivity and motivating employees is considered one of the important strategic issues of any business. In this regard, various supply chain paradigms such as green, lean, agile, large, resilient, etc. have been proposed over time, one or a combination of which is used by different organizations based on their strategic conditions and priorities. In recent years, the sustainable supply chain, which is the result of combining and balancing economic, environmental and social aspects, has received a lot of attention. Sustainable supply chain management indeed provides a significant competitive advantage for companies by enhancing efficiency and reducing costs. Vasei et al. (2023) noted that sustainable development in supply chain management is not only a limiting factor but an approach to improve performance and has an effect on the company's competitive power and its supply chain organization. Therefore, identifying and introducing new paradigms in the supply chain is among the needs of companies to stay in today's competitive and uncertain market conditions. All the mentioned cases make it inevitable to design a comprehensive and effective model for the supply chain.

2. Literature Review

Abir et al. (2020) designed a sustainable closed-loop supply chain network with the objectives of minimizing total costs, reducing carbon dioxide emissions, and maximizing sustainability by fulfilling as much customer demand as possible under uncertainty. Ahranjani et al. (2020), by presenting a mixed integer linear programming model, designed and planned bioethanol supply chain networks with several raw materials. In order to create flexibility against existing uncertainties and the risks of disruption in the supply chain, they used a stochastic combination planning approach. Fazli Khalaf et al. (2020) incorporated sustainability principles in the design of a hydrogen supply chain network across three levels: producers, warehouses and customers. In order to deal with the combined uncertainties included in the model, they developed a mixed

flexible possibility planning method and conducted a case study to implement and analyze the results of the proposed model.

3. Methodology

In this research, a framework for assessing sustainability within the supply chain of Iran Khodro Company is presented by leveraging a hybrid simulation approach that focuses on discrete event- based factors. To this end, the factors identified within the supply chain along with their behaviors have been thoroughly considered to design a sustainable supply chain that effectively balances economic, social and environmental components. In order to simulate the model, AnyLogic software is used and in order to optimize, opt Quest meta-heuristic method is used in each execution of the simulation model. In this algorithm, values for the decision variable are iteratively selected to ultimately lead to the optimization of the objective function. Accordingly, the objective functions and constraints are defined by the following equations within opt Quest software to facilitate the optimization process.

4.Result

The output of the optimization process show that increasing the fleet size by19 units compared to the current level reduces the waiting time for customers as follows: a 4% decrease for the Samand Group, 1.1% for Dana Group, and 8.9% for Peugeot Group. Additionally, the annual production of Peugeot vehicles increased by 33,000 units; however, there has been no significant change in the products of other groups. The 19-digit increase in the fleet size led to an increase in the mileage of about 860,000 kilometers. Furthermore, vehicle traffic related to parts requiring rework due to quality problems also increased by 5,750 kilometers. The increase in the fleet navigation shows that, within the current simulation model, the parts produced by the suppliers as well as the parts requiring rework experience delays due to insufficient fleet capacity. In terms of extracting the optimal/near-optimal point of ordering and inventory levels, the objective function was defined to minimize both the cost of maintaining parts and the cost of waiting for representatives to receive parts. It was found that the optimal close points extracted with the

connection of the simulation model and meta-heuristic methods reduce the amount of inventory in Isacco's warehouse by 50%, representing a significant number to reduce the costs of the supply chain. Furthermore, even if the number of the fleet increases to 223, this inventory reduction will still provide same-day dispatch of parts from the warehouse.

5. Discussion

In previous researches, the combined approach of simulation and optimization has not been used in the design of supply chain models. For this purpose, by using the mixed simulation approach of the discrete-based event, in the present study, the supply chain was modeled and the aspects of sustainability were optimized. Another important point is that, unlike previous studies which have focused on the economic aspect of the issue, it simultaneously examines the environmental, economic and social factors influencing supply chain performance.

Conflict of interest: none

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

10.71737/jpm.2025.3093598

((مقاله پژوهشی))

طراحی مدل زنجیرهٔ تأمین پایدار عاملیت‌های خودروسازی با استفاده از مدل ترکیبی بهینه‌سازی شبیه‌سازی گسسته پیشامد در شرایط عدم قطعیت : مطالعه موردی گروه خودروسازی ایران‌خودرو

بنفشه فاموری[۱]، سید جواد ایران بان فرد*[۲]، سیدمحمد سید حسینی[۳]، نازنین پیله‌وری[۴]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۸–پذیرش نهایی:۱۴۰۳/۰۴/۱۱)

چکیده

در این تحقیق یک الگو برای مدل‌سازی زنجیرهٔ تأمین پایدار گروه محصولات خودروسازی با استفاده از مدل ترکیبی شبیه‌سازی عامل بنیان گسسته پیشامد ارائه شده است. برای این منظور، ابتدا مدل وضعیت فعلی زنجیرهٔ تأمین با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی Any Logic پیاده سازی شده و فرایندهای موردنیاز جهت تأیید اعتبارسنجی مدل صورت پذیرفت. پس از تأیید اعتبار مدل شبیه‌سازی ترکیبی، در گام اول جنبه‌های اقتصادی زنجیرهٔ تأمین مورد ارزیابی قرار گرفت. در این راستا، زنجیرهٔ تأمین از دو منظر تعداد ناوگان حمل‌ونقل و میزان سطوح سفارش دهی و نگهداری موجودی قطعات یدکی بررسی شد. به منظور بهینه سازی نتایج تابع هدف ، از روش فراابتکاری opt Quest برای حداقل کردن هزینه انتظار مشتریان جهت دریافت محصولات، هزینه انتظار نمایندگان جهت دریافت قطعات یدکی و هزینه‌های مربوط به نگهداری، تعمیرات و استهلاک وسایل نقلیه استفاده شد. خروجی فرایند بهینه‌سازی نشان داد که با افزایش ۱۹ عددی تعداد ناوگان نسبت به وضعیت فعلی، زمان انتظار مشتریان گروه سمند ۴ درصد، گروه دنا ۱,۱ درصد و گروه پژو ۸,۹ درصد کاهش می‌یابد. همچنین تعداد تولید محصولات پژو تا ۳۳ هزار دستگاه در سال افزایش داشته است و در خصوص تولید محصولات سایر گروه‌ها تغییر مشخصی حاصل نشده است. استقرار وضعیت بهینه علاوه بر صرفه اقتصادی برای زنجیرهٔ، سبب شده است تا در ابعاد اجتماعی و زیست محیطی نیز بهبود حاصل شود.

واژه‌های کلیدی: زنجیرهٔ تأمین ، پایداری، شبیه‌سازی، بهینه‌سازی، خودروسازی

۱.دانشجوی دکتری گروه مدیریت صنعتی، واحد علوم و تحقیقات،دانشگاه ازاد اسلامی، تهران، ایران
۲.دانشیار گروه مدیریت صنعتی، واحد شیراز،دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران
*.نویسنده مسؤول: Javad.iranban@iau.ac.ir
۳.استاد گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت،تهران، ایران
۴.استاد گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

مقدمه

تفکیک مدیریت زنجیرۀ تأمین پایدار به بخشهای متفاوت مانند تأکید بر کیفیت، انتخاب تأمین‌کننده، استراتژی عملیات مدیریت زنجیرۀ تأمین و تکنولوژی فرایند و تولید، در مجموع باعث شکل گیری یک پایه دانشی سیستماتیک برای کل حوزه گردیده است.یکی از موانع بزرگ پیش روی حوزه مدیریت زنجیرۀ تأمین پایدار، گذار از تفکر سنتی درباره مدیریت عملیات است (رودباری و همکاران، ۲۰۲۱). برای غلبه بر این موضوع و ایجاد تغییر در این نگرش باید به مواردی همچون پژوهشهای بیشتر، بررسی موردی مسائل و موضوعات مرتبط با حوزه زنجیرۀ تأمین، توجه خاص به ارتباطات صنعتی، استانداردسازی عملکرد و... پرداخت تا در مجموع با کاهش تأثیرات بیرونی که اغلب ناشی از قوانین و مقررات محیط خارجی است و باهماهنگی خط مشی ها و رویه های درونی سازمان باعث بهبود کارایی، کاهش هزینه و افزایش کیفیت گردید. همچنین رویکردهای مؤثر برای تسهیم اطلاعات در پیکره زنجیرۀ تأمین نیازمند گسترش هستند و پژوهشگران باید از مزیت فناوری اطلاعات و ارتباطات برای همکاری و مشارکت مؤثرتر بهره جویند.

در دهه‌های اخیر، ملاحظات زیست‌محیطی و اجتماعی مانند کاهش منابع خام، ازدیاد پسماند، افزایش آلاینده‌ها و گسترش سطح آلودگی ناشی از آنها از موضوعات مهم و قابل‌توجه سازمان‌ها گردیده‌اند (زهور و دیگران،۲۰۲۲). مدیران زنجیرۀ تأمین ناگزیر از تعقیب چندین هدف متناقض هستند، مانند بیشینه سازی سود، کمینه سازی هزینه های عملیات، کاهش تأثیرات مخرب زیست محیطی و افزایش رضایتمندی اجتماعی. البته چندین چالش دیگر همچون تصمیم گیرنده های متعدد، ارزیابی تأثیرات محیطی و مزایای اجتماعی در یک زنجیرۀ تأمین چند جانبه مبتنی بر رویکرد بین سازمانی و مرتبط با فرایندهای گوناگون برای طراحی، تأمین،تولید و توزیع محصولات در بازارهای جهانی را نیز باید به این موارد اضافه نمود. زنجیره تأمین شرکت ایران خودرو به‌عنوان بزرگترین شرکت خودروسازی در ایران، محصولات متفاوتی را تولید می کند که در این تحقیق محصولات گروه های سمند، دنا و پژو مورد استفاده قرار گرفته است. به منظور استفاده مجدد از قطعات، زنجیرۀ تأمین به صورت حلقه بسته در نظر گرفته شده تا قطعاتی که نیاز به دوباره کاری و تعمیر دارند نیز در این زنجیره در نظر گرفته شود. این قطعات شامل باتری، صندلی و سیلندر مربوط به هر سه گروه محصول می باشد که در زنجیرۀ تأمین و مدل‌سازی لحاظ می گردد. تابع هدف مسأله به گونه ای تعریف شده است که در هر یک از ابعاد بتوان به اهداف موردنظر دست یافت. با توجه به شرایط عدم قطعیت درصنعت خودرو و همچنین ضرورت مدلسازی زنجیرۀ تأمین پایدار، از نرم افزار شبیه سازیAnyLogic استفاده می شود. در این راستا اثرات عدم قطعیت در داده ها و

شرایط حاکم و همچنین بهره گیری از سناریوهای مختلف برای سنجش میزان تأثیر بر ابعاد سه گانه پایداری اقتصادی ، زیست محیطی و اجتماعی مورد استفاده قرار می گیرد که تا کنون در تحقیقات گذشته به آن پرداخته نشده است. در این پژوهش همچنین استخراج نقاط بهینه با استفاده از نرم افزار شبیه سازی بهینه سازی به منظورحفظ تعادل بین ابعاد سه گانه فوق و ارتقای عملکرد زنجیرهٔ تأمین مورد بررسی قرار می گیرد. در هر یک از ابعاد پایداری سناریوهای مختلف جهت بهینه سازی همزمان سه بعد مورد استفاده قرار گرفته و جهت بهینه سازی هر یک از ابعاد پایداری نیز از نرم افزار شبیه سازی بهینه سازی Opt Quest بهره گرفته می شود.

در پژو هش حاضر و در راستای ایجاد الگوی پایداری زنجیرهٔ تأمین، مدل شبیه سازی زنجیرهٔ تأمین با درنظر گرفتن ابعاد پایداری و بهینه سازی ابعاد به منظور تعادل بین سه بعد ارائه خواهد شد. مدل ارائه شده ،ضمن در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت و ناپایدار و با استفاده از رویکرد شبیه سازی ترکیبی با بهینه سازی، به یک وضعیت پایدار از ابعاد اقتصادی ، زیست محیطی و اجتماعی زنجیرهٔ تأمین دست خواهد یافت.

بدین منظور مسأله مورد نظر در ابعاد اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی به دنبال کاهش هزینه ها در گروه های مختلف تولید خودرو در گروه صنعتی ایران‌خودرو خواهد بود. بنابراین هدف اصلی این تحقیق طراحی وبه کارگیری مدل زنجیرهٔ تأمین پایدار در گروه صنعتی ایران خودرو است.

گووندان و قلیزاده (۲۰۲۱)، مدلی برای یک شبکه لجستیک معکوس پایدار برای وسایل نقلیه پایان عمر در ایران را با ویژگی‌های داده‌های بزرگ و احتمال اختلال در ظرفیت تسهیلات طراحی کردند. هدف مدل به‌حداقل‌رساندن هزینه کل شبکه لجستیک معکوس پایدار و تاب‌آور است. از یک الگوریتم متقاطع آنتروپی به همراه بهینه‌سازی استوار مبتنی بر سناریو استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که تغییر وضعیت سناریو به طور قابل‌توجهی بر هزینه‌های زیست‌محیطی و اجتماعی بهینه تأثیر می‌گذارد. رودباری و همکاران (۲۰۲۱)، یک مدل ریاضی چندهدفه برای طراحی یک زنجیره تأمین پایدار تاب‌آور بر اساس سطوح تصمیم‌گیری استراتژیک و تاکتیکی معرفی کردند. در این راستا، از برنامه‌ریزی ظرفیت بر اساس افزونگی برای مواجهه با انعطاف‌پذیری تقاضا استفاده شده است. زنجیره تأمین واکسن آنفلوانزا در ایران برای اعتبار بخشیدن به مدل پیشنهادی موردمطالعه قرار گرفته است. یک رویکرد بهینه‌سازی فازی استوار برای مقابله با عدم‌قطعیت‌ها استفاده شده است. مدل چندهدفه با برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای حل شده است. نتایج مشخص کرد که داشتن افزونگی در زنجیره تأمین همیشه هزینه‌های کل را افزایش نمی‌دهد. امیریان و همکاران (۲۰۲۲) یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط غیرخطی برای مسأله طراحی شبکه زنجیره تأمین پایدار و قابل‌اطمینان به‌صورت سه هدفه، چندمحصولی، چندسطحی، چند منبعی، چندظرفیتی و چندمرحله‌ای

در نظر گرفتند. آنها از روش محدودیت نرمال شده برای حل مسأله بهینه‌سازی چندهدفه پیشنهادی و یافتن جواب‌های بهینه پارتو استفاده کردند. برای سنجش دقت و عملکرد کلی مدل پیشنهادی، چندین نمونه مثال عددی با داده‌های تصادفی در ابعاد مختلف در نظر گرفته شد و با تغییر پارامترهای مختلف مدل، تحلیل حساسیت توابع هدف برای تحلیل رفتار مدل انجام گرفت. پانور و همکاران (۲۰۲۲)، با درنظرگرفتن عوامل تاب‌آوری و تصمیمات قیمت‌گذاری، یک برنامه ریزی دوسطحی برای بهینه‌سازی یک زنجیره تأمین پایدار ارائه دادند. در مدل توسعه‌یافته از مدل بازی استکلبرگ با رهبری دولت و پیروی تولیدکننده برای بررسی تأثیر نرخ مالیات بر ایفای تعهدات مسئولیت زیست‌محیطی، اجتماعی و دولت به‌کاررفته است. قاسمی و ابوالقاسمیان (۲۰۲۳) از یک مدل برنامه‌ریزی دوسطحی برای ارائه یک بازی استاکلبرگ استفاده کرده اند. مدل پیشنهادی برای تعیین مقدار بهینه محصولات و اجزا در هر بخش شبکه، برای به‌حداقل‌رساندن هزینه‌های کل سیستم و بهینه‌سازی حمل‌ونقل در سیستم پیشنهاد شده است. عملکرد مدل پیشنهادی با الگوریتم‌های فراابتکاری ژنتیک و بهینه‌سازی گرگ خاکستری مقایسه شده است. نتایج نشان داد که خطای محاسبه الگوریتم گرگ خاکستری کمتر از خطای ژنتیک است. باتوجه به بررسی‌های صورت پذیرفته در مطالعات نظری و تجربی، شکاف تحقیقاتی مشاهده شده در حوزه ارائه مدل ریاضی جهت بهینه‌سازی زنجیرهٔ تأمین پایدار برای صنعت خودروسازی در شرایط عدم‌قطعیت می باشد که تاکنون پژوهشی براین‌اساس انجام نشده است. در جدول ۱، طبقه بندی ادبیات تحقیق نشان‌داده‌شده است.

جدول ۱- طبقه بندی ادبیات

Table 1- Classification of literature

نویسنده	سال	ساختار زنجیرهٔ تأمین	پایداری	روش حل					منطق حل		رویکرد حل		
				WSM	DEA	MIP	Game Theory	Simulation	Exact	Fuzzy	Meta heuristic	Epsilon constraint	Experimental
آبیر و همکان	2020	CLSC	*	*							*		*
اهرنجانی و همکاران	2020	-				*		*					*
فضلی خلف وهمکاران	2020	-						*					*
گویندان و همکاران	2021	CLSC	*		*	*				*			
رودباری و همکاران	2021	CLSC	*				*		*			*	
امیریان و همکاران	2022	CLSC	*				*			*		*	
پانور و همکاران	2022	CLSC	*				*		*			*	
قاسمی و ابوالقاسمیان	2023	-					*	*			*		*

ازاین‌رو نوآوری و سهم مشارکت این تحقیق به شرح ذیل است:

استفاده از سناریوهای مختلف به‌منظور حفظ تعادل در ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی و ارتقای عملکرد زنجیرهٔ تأمین مطرح است.در همین راستا استخراج نقاط بهینه با استفاده از نرم‌افزار بهینه‌سازی- شبیه‌سازی صورت می‌پذیرد.

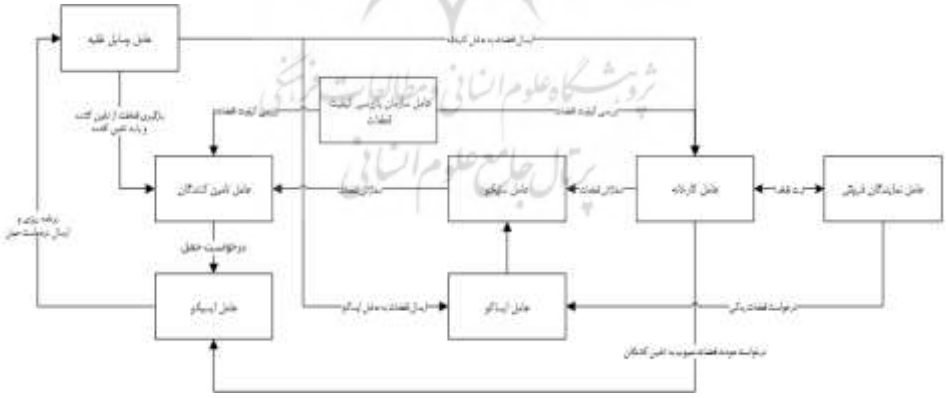
هدف اصلی از انجام این تحقیق طراحی مدل زنجیرهٔ تأمین پایدار با استفاده از مدل ترکیبی بهینه‌سازی شبیه‌سازی گسسته پیشامد در شرایط عدم قطعیت در خودروهای تجاری گروه صنعتی ایران خودرو می باشد.

معرفی ساختار مدل زنجیرهٔ تأمین

در زنجیره تأمین شرکت ایران‌خودرو و با نظر گرفتن ویژگی‌های اجزای زنجیره تأمین، تعریف هر جز به‌صورت عامل صورت پذیرفته که در ادامه عاملیت‌های این زنجیره تأمین به شرح زیر شناسایی شده‌اند:

۱) عامل تأمین کنندگان ۲) عامل کارخانه ۳) عامل ایسیکو
۴) عامل ایساکو ۵) عامل ساپکو ۶) عامل وسایل نقلیه
۷) عامل نمایندگان فروش ۸) عامل سازمان بازرسی کیفیت قطعات

نحوه تعامل هر یک از عامل‌های ذکر شده در شکل ۱ نشان‌داده‌شده است.



شکل ۱- مدل ساختار زنجیرهٔ تأمین

Figure 1- Supply chain structure model

ابزار و روش

تابع هدف مسأله برای دو عامل نمایندگان و مشتریان مطابق روابط ۱ و ۲ می باشند:

$$Min\ Z = \sum_i (CW_i \times W_i) + \sum_i \sum_j (CW_{ij} \times W_{ij}) + (CT \times x) \quad (۱)$$

متغییرها و پارامتر ها:

Cw_i هزینه انتظار مشتری جهت دریافت گروه محصول i ام

w_i مجموع زمان انتظار مشتریان جهت دریافت گروه محصول i ام

CT هزینه نگهداری و تعمیرات و استهلاک وسیله نقلیه

Cw_{ij} هزینه انتظار نمایندگان جهت دریافت قطعه i ام از گروه محصول j ام

w_{ij} مجموع انتظار نمایندگان جهت دریافت قطعه i ام از گروه محصول j ام

X_{ij} تعداد وسیله نقلیه

$$Min\ Z = \sum_i \sum_j CW_{ij} \times W_{ij} + \sum_i \sum_j CH_{ij} \times N_{ij} \quad (۲)$$

متغییرها و پارامتر ها:

Cw_{ij} هزینه انتظار نمایندگان جهت دریافت قطعه i ام از گروه محصول j ام

w_{ij} مجموع انتظار نمایندگان جهت دریافت قطعه i ام از گروه محصول j ا

CH_{ij} هزینه نگهداری قطعه i ام از گروه محصول j ام

N_{ij} تعداد قطعه i ام از گروه محصول j ام موجود در انبار عامل ایساکو

محدودیت ها :

LL_{ij} حد پایین سفارش قطعه i ام از گروه محصول j ام

UL_{ij} حد بالای سفارش قطعه i ام از گروه محصول j ام

معادلات ۱ و ۲ همواره براساس محدودیت $\forall i\ j \quad LL_{ij} < UL_{ij}$ در نرم افزار opt Quest به اجرا در آمده است. در جدول ۲، کلیه پارامترها و متغیرهای مسأله نشان‌داده‌شده است.

جدول ۲- نمادگذاری
Table 2- Notation

توضیحات	نماد(پارامترها)	عاملیت
هزینه انتظار مشتری جهت دریافت گروه محصول i ام	CW_i	نمایندگان
زمان انتظار مشتریان جهت دریافت گروه محصول i ام	W_i	
هزینه نگهداری و تعمیرات و استهلاک وسیله نقلیه	CT	
هزینه انتظار نمایندگان جهت دریافت قطعه i ام از گروه محصول j ام	CW_{ij}	تأمین‌کنندگان
زمان انتظار نمایندگان جهت دریافت قطعه iام از گروه محصول jام	W_{ij}	
هزینه نگهداری قطعه iام از گروه محصول jام	CH_{ij}	
تعداد قطعه iام از گروه محصول jام موجود در انبار عامل ایساکو	N_{ij}	ایساکو
تعداد وسیله نقلیه	x	کارخانه
حد پایین سفارش قطعه iام از گروه محصول jام	LL_{ij}	کارخانه
حد بالای سفارش قطعه iام از گروه محصول jام	UL_{ij}	

عامل تأمین‌کنندگان، وظیفهٔ تولید قطعات موردنیاز جهت تولید خودرو را بر عهده دارند. در خصوص قطعات صندلی و سرسیلندر به دلیل نیاز به قطعات پیش‌ساخته (استراکچر صندلی و سرسیلندر خام) عامل‌های تأمین‌کننده قطعه نهایی برای عامل‌هایی که قطعات پیش‌ساخته صندلی و سیلندر را تولید می‌کنند، سفارش ثبت می‌نمایند. در زنجیره تأمین این تحقیق، تعداد ۲۳ عامل تأمین‌کننده به شرح جدول ۳ فعالیت می‌نمایند.

پرتال جامع علوم انسانی

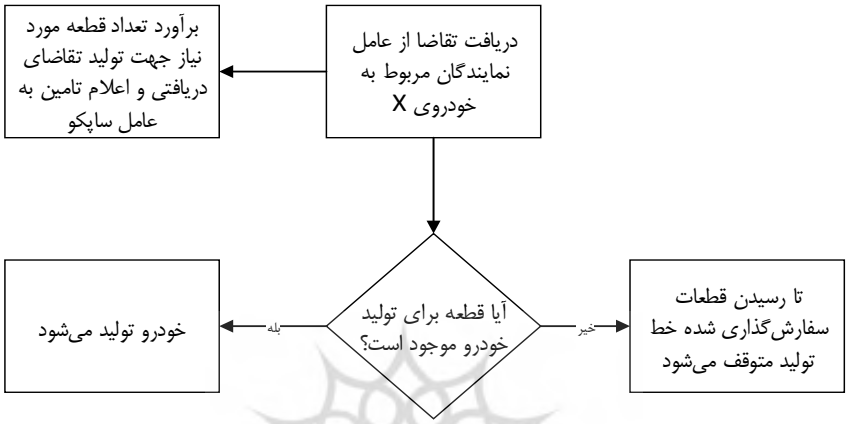
جدول ۳- عوامل تأمین‌کننده در زنجیرهٔ تأمین

Table 3- Supplier agents in the supply chain

شماره عامل تأمین‌کننده Supplier agent number	موقعیت مکانی Location		قطعه تولیدی production piece		ظرفیت روزانه تولید Daily production capacity
1	قزوین	Qazvin	استراکچر صندلی	chair structure	700
2	ورامین	Varamin	استراکچر صندلی	chair structure	1000
3	کرج	Karaj	استراکچر صندلی	structure chair	600
4	کرج	Karaj	استراکچر صندلی	structure chair	600
5	قلعه خان	Hasan Khan	استراکچر صندلی	Structure Chair	1100
6	تهران	Tehran	صندلی مونتاژ شده	assembled chair	1200
7	ورامین	Varamin	صندلی مونتاژ شده	assembled chair	1200
8	کرج	Karaj	صندلی مونتاژ شده	seat assembled	1200
9	قلعه خان	Hasan Khan	صندلی مونتاژ شده	Seat assembled	200
10	قلعه خان	Hasan Khan	صندلی مونتاژ شده	assembled chair	200
11	قزوین	Qazvin	سیلندر خام	Raw cylinder	1000
12	ابهر	Abhar	سیلندر خام	cylinder raw	800
13	اشتهارد	Ishtehard	سیلندر خام	raw cylinder	400
14	تاکستان	Takestan	سیلندر خام	Raw cylinder	700
15	مشهد	Mashhad	سیلندر خام	raw cylinder	600
16	تبریز	Tabriz	سیلندر خام	raw cylinder	400
17	ساوه	Saweh	سیلندر خام	raw cylinder	300
18	قائم‌شهر	Gaemshahr	سیلندر ماشین‌کاری	machined cylinder	1000
19	قزوین	Qazvin	سیلندر ماشین‌کاری	machined cylinder	1200
20	تهران	Tehran	سیلندر ماشین‌کاری	machined cylinder	2200
21	اصفهان	Isfahan	باتری	Battery	800
22	تبریز	Tabriz	باتری	battery	1400
23	تهران	Tehran	باتری	battery	2000

عامل کارخانه، تولید محصول نهایی (خودرو) را بر عهده دارد. برای تولید محصول نهایی، خطوط تولیدی با ظرفیت تولید متفاوتی در نظر گرفته شده است که برای تولید هر خودرو، نیاز به موجود بودن قطعات موردنیاز در انبار این عامل وجود دارد. عامل کارخانه برنامه‌ریزی تولید محصولات خود را بر اساس تقاضای دریافتی از عامل نمایندگان انجام می‌دهد. بدین صورت که پس از دریافت تقاضا از عامل نمایندگان، تعداد قطعات موردنیاز جهت تولید را به عامل ساپکو برای

برنامه‌ریزی تأمین اعلام می‌نماید. از آنجایی که عامل کارخانه دارای انبار و موجودی خطوط تولیدی است، فرایند تولید هم‌زمان با ثبت سفارش قطعات موردنیاز انجام می‌شود. در صورت موجود نبودن قطعات موردنیاز جهت تولید خودرو، خط تولیدی مربوط به محصول موردنظر متوقف می‌گردد. الگوریتم نحوه رفتار عامل کارخانه مربوط به هر یک از محصولات در شکل ۲ نشان‌داده‌شده است.



شکل ۲- الگوریتم رفتار عامل کارخانه

Figure 2 -the Algorithm of factory agent behavior

عامل ایساکو، وظیفه تأمین قطعات مورد نیاز جهت خدمات پس از فروش را بر عهده دارد. تقاضای قطعات از سوی نمایندگان شرکت ایران خودرو برای عامل ایساکو ارسال می‌گردد. عامل ایساکو دارای انباری جهت ذخیره‌سازی قطعات یدکی است که از منطق سفارش‌دهی (s, S) پیروی می‌نماید. بدین صورت که اگر موجودی قطعه موردنظر کمتر از حد پایین s گردد، تا رسیدن موجودی به اندازه حد بالای S سفارش‌گذاری انجام می‌شود. ارسال برای عامل ایساکو به صورت مستقیم از عامل تأمین‌کنندگان و با هماهنگی حمل توسط عامل ایسیکو صورت می‌گیرد. تقاضای خودرو و قطعات یدکی مربوط به خدمات پس از فروش از سوی عامل نمایندگان به زنجیره تأمین وارد می‌شود. اطلاعات مربوط به تقاضای این عامل از داده‌های موجود برای تقاضای قطعات هر گروه از محصولات مربوط به بازه ۳۶ماهه در سیستم استخراج شده و در جدول ۴ نشان‌داده‌شده است.

جدول ۴- نتایج برازش تابع توزیع احتمالی نمایندگان مربوط به قطعات و خودروها

Table 4- The Results of distribution function of representatives (parts & cars)

عنوان Title	تابع توزیع برازش شده The fitted distribution function
تقاضای ماهانه باتری گروه سمند Samand Group's monthly battery demand	D. Uniform a=1697 b=1994
تقاضای ماهانه باتری گروه دنا Monthly battery demand of Dena Group	D. Uniform a=2368 b=2500
تقاضای ماهانه باتری گروه پژو Peugeot Group's monthly battery deman	D. Uniform a=3495 b=3824
تقاضای ماهانه صندلی گروه سمند Samand Group's monthly seat demand	D. Uniform a=509 b=598
تقاضای ماهانه صندلی گروه دنا Monthly demand for Dena Group seats	D. Uniform a=710 b=750
تقاضای ماهانه صندلی گروه پژو Peugeot Group's monthly seat demand	D. Uniform a=1048 b=1147
تقاضای ماهانه سیلندر گروه سمند Samand group's monthly cylinder demand	D. Uniform a=424 b=498
تقاضای ماهانه سیلندر گروه دنا Dena group's monthly cylinder demand	D. Uniform a=592 b=625
تقاضای ماهانه سیلندر گروه پژو Peugeot group's monthly cylinder demand	D. Uniform a=873 b=956

عامل سازمان بازرسی کیفیت قطعات وظیفه بررسی قطعات تولید شده توسط عامل تأمین کنندگان در محل تولید قطعه و محصول را بر عهده دارد. در صورت وجود مشکلات کیفی در خطوط تولیدی عامل کارخانه، قطعات به‌منظور انجام دوباره‌کاری و فرایندهای اصلاحی به عامل تأمین‌کننده مربوطه عودت داده می‌شود. در جدول ۵، درصد دفعات مواجهه با خرابی قطعات هر گروه خودروسازی نشان‌داده‌شده است.

جدول ۵- درصد نیاز به دوباره کاری قطعات

Table 5- Rework percentage of the parts

عنوان Title	قطعات دارای مشکل کیفی در فرایند تولید Defective parts in the production process		
	سمند Samand	دنا Dena	پژو Peugeot
باتری battery	۰۵٪	۰۴٪	۰۶٪
صندلی chair	۰۹٪	1.1٪	۰۸٪
سیلندر Cylinder	۰۴٪	۰۵٪	۰۹٪

عامل ایسیکو وظیفه برنامه‌ریزی حمل‌ونقل در زنجیره تأمین را بر عهده دارد. این عامل دارای ناوگان حمل‌ونقل به تعداد مشخصی است. درخواست‌های جابه‌جایی از عامل‌های دیگر عبارت است از:

- از عامل تأمین‌کننده جهت حمل قطعه به کارخانه
- از عامل تأمین‌کننده قطعات خام برای حمل قطعه به عامل تولیدکننده قطعه نهایی
- از عامل تأمین‌کننده جهت حمل قطعه به عامل ایساکو
- از عامل کارخانه جهت حمل قطعات معیوب و انجام فرایند اصلاحی و دوباره‌کاری

همان‌طور که مشخص است، این عامل، سفارش حمل از عامل‌های تأمین‌کننده و کارخانه را دریافت می‌نماید و به ترتیب دریافت سفارش و در صورت موجود بودن وسیله نقلیه آماده‌به‌خدمت، فرایند حمل آغاز می‌گردد.

عامل وسیلهٔ نقلیه، وظیفه جابه‌جایی قطعات را بر عهده دارد. فراخوانی این عامل توسط عامل ایسیکو خواهد بود و این عامل ممکن است بین عامل‌های کارخانه، تأمین‌کنندگان و ایساکو تردد نماید. این عامل دارای ظرفیت مشخص برای جابه‌جایی هر کدام از قطعات ذکر شده را دارا است. نحوه حرکت این عامل بر روی نقشه GIS خواهد بود و اطلاعات موردنیاز شامل مسیر و مسافت را از سرورهای OSM دریافت می‌نماید.

روش حل مسأله

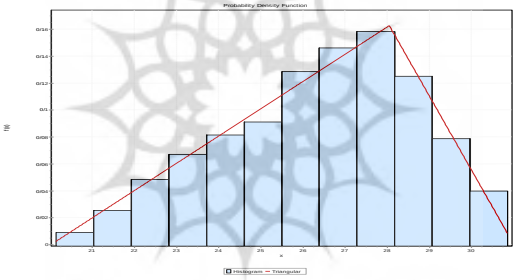
در این تحقیق از رویکرد شبیه‌سازی ترکیبی عامل بنیان گسسته پیشامد برای مدلسازی و برای بهینه سازی از روش فراابتکاری opt Questاستفاده شده است. opt Quest که برای حل مسائل بهینه‌سازی پیچیده استفاده می‌شود، عملیات بهینه‌سازی را بر اساس الگوریتم جستجوی تصادفی که از ترکیب سه الگوریتم جستجوی ممنوعه، جستجوی پراکندگی و شبکه عصبی می باشد انجام می‌دهد (ابوالقاسمیان و همکاران، ۲۰۲۰). برای شبیه سازی مدل از نرم افزار Any logic و با در نظر گرفتن عاملیت های مختلف زنجیرهٔ تأمین استفاده می شود . به منظور بهینه سازی ابعاد اقتصادی ، زیست محیطی و اجتماعی از opt Quest استفاده می شود. در ابتدا، opt Questیک نقطه تصادفی را به عنوان پاسخ اولیه انتخاب می‌کند. سپس با استفاده از تابع هدف و محدودیت‌های مسأله، مقدار هدف برای نقطه انتخاب شده را محاسبه می‌کند. سپس مجموعه‌ای از نقاط تصادفی دیگر را تولید کرده و برای هر کدام از این نقاط، مقادیر هدف را محاسبه می‌کند و با نقطه انتخابی اولیه مقایسه می‌کند (جهانگیری و همکاران، ۲۰۲۳). با استفاده از مقایسه مقادیر هدف، opt Quest تصمیم

می‌گیرد که آیا نقطه انتخابی برتر است و در این صورت آن را به‌عنوان نقطه بهبودیافته تلقی می‌کند. سپس محدوده جستجو را بر اساس نقطه بهبودیافته تغییر می‌دهد و این فرایند تکرار می‌شود تا به حالت هدف مورد نظر دست یابد. به‌عنوان یکی از الگوریتم‌های بهینه‌سازی قابل‌اطمینان و مؤثر شناخته می‌شود و در حل مسائل پیچیده و محاسباتی استفاده می‌شود (ابوالقاسمیان و همکاران، ۲۰۱۸).

یافته ها

متناسب سازی توابع برازش شده سیستم

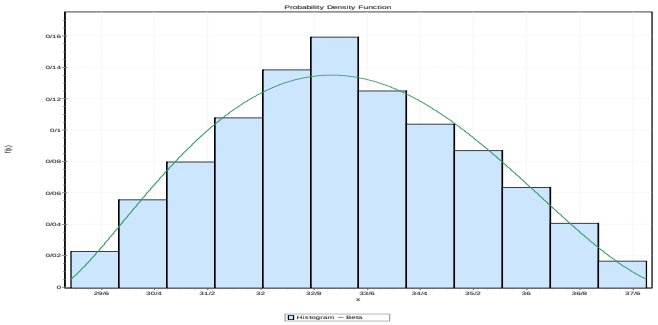
مشخصات خطوط تولیدی شرکت ایران‌خودرو مربوط به گروه محصولات ذکر شده در شکل‌های زیر ارائه شده است. به‌منظور استخراج تابع توزیع مربوط به سیکل زمانی تولید گروه محصولات، از داده‌های موجود در سیستم مربوطه به بازه زمانی ۳ماهه برای ساخت مدل شبیه‌سازی در Any logic استفاده شده است.



شکل ۳-تابع توزیع تولید ساعتی گروه محصولات سمند

Figure 3- Hourly production distribution function of Samand products group

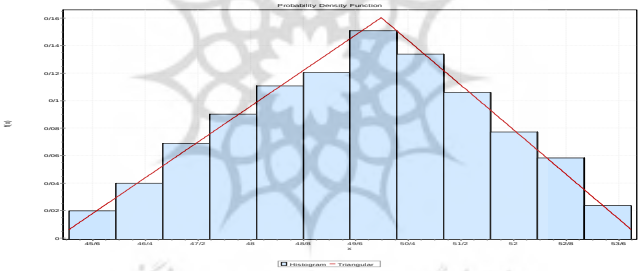
در هیستوگرام ترسیم شده در شکل ۳، تعداد تولید ساعتی گروه محصولات سمند نشان داده شده است، خطوط تولیدی این گروه محصول از تابع توزیع triangular (20, 28, 31) پیروی می‌نماید. در نمودار هیستوگرام شکل ۴، تعداد تولید ساعتی گروه محصولات دنا نشان داده شده است، خطوط تولیدی این گروه محصول از تابع توزیع beta با پارامترهای □1=2/39، □2=2/7479، a=28/958 و b=38/229 پیروی می‌نماید.



شکل ۴- تابع توزیع تولید ساعتی گروه محصولات دنا

Figure 4- hourly production distribution function of Dena products group

در نمودار هیستوگرام ۵، تعداد تولید ساعتی گروه محصولات پژو نشان‌داده‌شده است، خطوط تولیدی این گروه محصول از تابع توزیع triangular (45, 50, 53) پیروی می‌نماید.



شکل ۵- تابع توزیع تولید ساعتی گروه محصولات پژو

Figure 5- - hourly production distribution function of Peugeot product group

اعتبارسنجی مدل شبیه‌سازی

به جهت انجام اعتبارسنجی و به دلیل ماهیت احتمالی مدل شبیه‌سازی، نیاز است تا خروجی‌های مدل شبیه‌سازی با هسته‌های عدد تصادفی متفاوتی استخراج گردد. این امر به کاهش همبستگی بین خروجی‌های مدل و همگرا شدن نتایج کمک می‌نماید. به همین منظور مدل شبیه‌سازی ترکیبی به تعداد ۳۰ اجرا با هسته عدد تصادفی متفاوت اجرا شده است و میانگین نتایج آن با واقعیت در جدول ۶ مقایسه شده است.

جدول ۶- میانگین خروجی مدل شبیه‌سازی از منظر کارخانه

Table 6- The average output of the simulation model- the perspective of the factory

اختلاف difference	میانگین مدل شبیه‌سازی The average output of the simulation model	مقدارواقعی واقعیت amount of reality	عنوان Title
٪2	208287	212600	تولید سالانه گروه سمند Annual production of Samand
٪2.7	233726	240250	تولید سالانه گروه دنا Annual production of Dena
٪2.2	344463	352478	تولید سالانه گروه پژو Annual production of Peugeot

همان‌طور که مشاهده می‌شود اختلاف بین نتایج تولید واقعی گروه محصولات در یک سال با میانگین نتایج اجرای ۳۰ بار مدل شبیه‌سازی با اعداد تصادفی متفاوت، کمتر از ۵ درصد است بنابراین اعتبار مدل شبیه‌سازی از منظر تعداد تولید سالانه گروه محصولات تأیید می‌گردد. به منظور اعتبارسنجی مدل شبیه‌سازی از منظر تقاضای ورودی و نحوه برآورد تقاضای مشتریان، نتایج میانگین زمان انتظار مشتریان در گروه محصولات متفاوت از واقعیت با نتایج میانگین اجرای ۳۰ بار مدل شبیه‌سازی در جدول ۷ مقایسه شده است.

جدول ۷- میانگین خروجی مدل شبیه‌سازی از منظر عاملیت مشتریان (ساعت)

Table 7- The average output of the simulation model- customer agency (hours)

اختلاف difference	خروجی مدل شبیه‌سازی output of the simulation model	مقدار واقعی amount of reality	عنوان Title
-٪2	1623.06	1580	زمان انتظار مشتریان گروه سمند Waiting time Samand customers
-٪4.8	1876.6	1790	زمان انتظار مشتریان گروه دنا Waiting time Dena customers
٪3.8	702.1	730	زمان انتظار مشتریان گروه پژو Waiting time Peugeot customers

همان‌طور که مشاهده می‌شود اختلاف بین زمان انتظار مشتریان مربوط به گروه محصولات در واقعیت با خروجی‌های مدل شبیه‌سازی کمتر از ۵ درصد است. بنابراین اعتبار مدل شبیه‌سازی مورد تأیید قرار می‌گیرد.

نتایج بهینه سازی مدل شبیه‌سازی برای تعیین تعداد ناوگان مورد نیاز

الگوریتم بهینه‌سازی برای ۵۰۰ بار تکرار می‌گردد و در هر تکرار متغیر تصمیم تعداد وسیله نقلیه به‌عنوان ورودی در مدل شبیه‌سازی تنظیم می‌گردد و در انتهای زمان یکسال(۸۷۶۰ ساعت)، تابع هدف محاسبه و با استفاده از آن، مقدار جدید تعداد وسیله نقلیه مشخص می‌گردد. لازم به ذکر است که پارامترهای ورودی مسأله بهینه‌سازی با استفاده از محاسبات مربوط به فرصت از دست رفته، خواب سرمایه، هزینه استهلاک و نگهداری و تعمیرات ماشین‌آلات انجام گرفته است که در جدول ۸ ارائه شده است.

جدول ۸- محاسبه هزینه انتظار

Table 8- Calculation of waiting cost

هزینه ساعتی Cost per hour	عنوان Title
115740	هزینه انتظار مشتری گروه سمند Samand Group customer waiting cost
208333	هزینه انتظار مشتری گروه دنا Dena group customer waiting cost
92592	هزینه انتظار مشتری گروه پژو Peugeot group customer waiting cost
694	هزینه انتظار نمایندگان برای باتری گروه سمند cost of waiting for representatives to receive Samand batteries
694	هزینه انتظار نمایندگان جهت دریافت باتری گروه دنا cost of waiting for representatives to receive Dana group batteries
694	هزینه انتظار نمایندگان جهت دریافت باتری گروه پژو cost of waiting for representatives to receive Peugeot group batteries
6944	هزینه انتظار نمایندگان جهت دریافت صندلی گروه سمند cost of waiting for the representatives to get a seat in the Samand group
8680	هزینه انتظار نمایندگان جهت دریافت صندلی گروه دنا cost of waiting for the representatives to receive the Dena Group seat
6250	هزینه انتظار نمایندگان جهت دریافت صندلی گروه پژو cost of waiting for the representatives the seats of the Peugeot group
6944	هزینه انتظار نمایندگان جهت دریافت سیلندر گروه سمند cost of waiting for representatives to receive Samand Group cylinders
10416	هزینه انتظار نمایندگان جهت دریافت سیلندر گروه دنا cost of waiting for representatives to receive Dana group cylinders
6944	هزینه انتظار نمایندگان جهت دریافت سیلندر گروه پژو cost of waiting for representatives to receive Peugeot group cylinders

به‌منظور هدایت مسأله به سمت عدم افزایش غیرمؤثر وسیله نقلیه، به‌ازای هر وسیله نقلیه ۱۰٪ ارزش آن به‌عنوان هزینه در نظر گرفته شده است. پس از انجام فرایند بهینه‌سازی باopt Quest ، تعداد ۲۱۹ وسیله نقلیه به‌عنوان تعداد بهینه/ نزدیک بهینه انتخاب می‌شود. تعداد جدید ناوگان در مدل شبیه‌سازی وضعیت فعلی قرار داده می‌شود. در این صورت، مدت زمان انتظار مشتریان در گروه های مختلف محصولات نسبت به مدل وضعیت فعلی کاهش از خود نشان می‌دهد. نتایج مقایسه‌ای در جدول ۹ ارائه شده است.

جدول ۹- مقایسه مدت زمان انتظار مشتری

Table 9- Comparison of customer waiting time

درصد کاهش Percentage reduction	نتایج مدل شبیه‌سازی با تعداد ناوگان بهینه The results of the simulation model with the optimal number of fleets	مقدار مدل شبیه‌سازی وضعیت فعلی The value of the current state simulation model	عنوان Title
4٪	1613	1681	سمندSamand
1.1٪	1778	1798	دناDena
8.9٪	652	716	پژوPeugeot

بیشترین تأثیر از افزایش تعداد ناوگان، در تولیدات گروه پژو بوده است که با کاهش ۸.۹ درصدی زمان انتظار مشتریان همراه است. این امر به دلیل افزایش تعداد تولید این گروه محصول است.تعداد تولید سالیانه گروه محصولات مختلف با بهینه سازی تعداد ناوگان در زنجیرهٔ تأمین نشان داده شده است، در تعداد تولیدات گروه سمند و دنا تغییر ناچیز است، ولی تعداد تولید گروه محصولات پژو در یکسال بیش از ۳۳ هزار تولید خودرو بوده است.

نتایج بهینه سازی مدل شبیه‌سازی برای تعیین اندازه سطوح سفارش ایساکو

میزان سطوح سفارش دهی و میزان انبارش از مهم‌ترین ویژگی‌های عامل ایساکو است که در این بخش نسبت به انجام فرایند بهینه‌سازی آنها اقدام می‌شود. برای بهینه‌سازی از رویکرد شبیه-سازی– بهینه‌سازی و استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری مشابه بخش تعیین اندازه ناوگان اقدام شده است. وضعیت فعلی نقاط سفارش و حداکثر موجودی عامل ایساکو در جدول ۱۰ ارائه شده است.

جدول ۱۰- وضعیت فعلی نقاط سفارش و حداکثر موجودی عامل ایساکو

Table 10- The current status of the order points and the maximum inventory-Isaku agent

حداکثر موجودی Maximum inventory	حداقل موجودی Minimum inventory	عنوان Title
3700	1480	باتری سمندSamand battery
4900	1960	باتری دناDana battery
7300	2920	باتری پژوPeugeot battery
1100	440	صندلی سمند Chair Samand
1460	584	صندلی دناDana chair
2200	880	صندلی پژوPeugeot chair
1000	400	سیلندر سمندSamand cylinder
1220	488	سیلندر دناDana cylinder
1850	740	سیلندر پژوPeugeot cylinder

جهت انجام فرایند بهینه‌سازی، تابع هدف، محدودیت‌ها و متغیرهای تصمیم در پکیج بهینه‌ساز opt Quest تنظیم شده‌اند. داده‌های مربوط به هزینه نگهداری قطعات در جدول ۱۱ ارائه شده است. هزینه نگهداری شامل خواب سرمایه و ۳۰ درصد به‌عنوان هزینه‌های سربار در نظر گرفته شده است که از داده‌های موجود در سیستم و نظر خبرگان استخراج گردیده است.

جدول ۱۱- هزینه نگهداری قطعات

Table 11- Parts maintenance cost

هزینه روزانه (ریال) Daily cost (Rials)	عنوان Title
103000	هزینه روزانه نگهداری باتری سمند Samand daily battery maintenance cost
103000	هزینه روزانه نگهداری باتری دنا Daily cost of battery maintenance of Dana
103000	هزینه روزانه نگهداری باتری پژو The daily cost of Peugeot attery maintenance
1030000	هزینه روزانه نگهداری صندلی سمند The daily cost of maintaining the chair of the Samand
1287500	هزینه روزانه نگهداری صندلی دنا The daily cost of maintaining the chair of the Dana
927000	هزینه روزانه نگهداری صندلی پژو The daily cost of maintaining Peugeot chairs

هزینه روزانه نگهداری سیلندر سمند The daily cost of maintaining the cylinder of Samand	1030000
هزینه روزانه نگهداری سیلندر دنا Daily maintenance cost of Dena cylinders	1545000
هزینه روزانه نگهداری سیلندر پژو Daily maintenance cost of Peugeot cylinder	1030000

لازم به ذکر است به دلیل امکان تحت‌تأثیر قرارگرفتن سطوح سفارش دهی جدید از تعداد وسایل نقلیه در اختیار عامل ایساکو، عدد مربوط به تعداد وسایل نقلیه مقدار بزرگی در نظر گرفته شده است تا در مرحله بعد مجدداً با سطوح سفارش‌دهی جدید و بر اساس تابع هدف، محدودیت‌ها و متغیرهای تصمیم مشابه بهینه گردد. تعداد تکرار الگوریتم بهینه‌ساز برابر ۱۰۰۰ تکرار تنظیم شده است. خروجی بهینه‌سازی در جدول ۱۲ برای هزینه انتظار به‌منظور تعیین اندازه سطوح ارائه شده است.

جدول ۱۲- بهینه سازی هزینه انتظار نمایندگان

Table 12- Optimization of agents waiting cost

درصد کاهش موجودی انبار Percentage reduction in warehouse stock	حداکثر موجودی وضعیت فعلی Maximum inventory–current situation	حداکثر موجودی بهینه Optimized maximum inventory	حداقل موجودی بهینه Optimized inimum inventory	عنوان Title
51٪	3700	1800	800	باتری سمندSamand battery
51٪	4900	2400	1100	باتری دناDena battery
50٪	7300	3600	1600	باتری پژوPeugeot battery
54٪	1100	500	300	صندلی سمندSamandChair
52٪	1460	700	550	صندلی دناDena chair
50٪	2200	1100	750	صندلی پژوPeugeot chair
55٪	1000	450	350	سیلندر سمندSamand cylinder
50٪	1220	600	500	سیلندر دناDana cylinder
49٪	1850	930	700	سیلندر پژوPeugeot cylinder

همانطور که مشاهده می‌شود، سطح حداکثر نگهداری موجودی مربوط به تمامی اقلام بعد از انجام بهینه‌سازی، در حدود ۵۰ درصد کاهش داشته است. این کاهش موجودی با حفظ حداکثر مجاز انتظار نمایندگان است.

تأثیر بهینه سازی مدل بر روی محیط زیست

در این قسمت، به بررسی جنبه‌های زیست‌محیطی پایداری زنجیرهٔ تأمین شرکت ایران‌خودرو پرداخته خواهد شد. انتشار گاز دی‌اکسیدکربن یکی از مهم‌ترین جنبه‌های زیست‌محیطی زنجیرهٔ تأمین است. در این تحقیق نیز باتوجه‌به تردد بالای وسایل نقلیه به جهت جابه‌جایی قطعات و قطعات معیوب، در سناریوهای مختلف میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در این سناریو فرض می‌گردد که امکان افزایش حمل قطعات با درنظرگرفتن طراحی مجدد سایز پالت و نحوه قرارگیری قطعات وجود دارد. به همین منظور در دو سناریوی مختلف و با افزایش حمل و بارگیری قطعات به میزان‌های ۵ درصدی و ۱۰ درصدی ،میزان تردد وسایل نقلیه و به‌تبع آن میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن سنجیده می‌شود. داده‌های مربوط به وضعیت فعلی ظرفیت حمل و بارگیری قطعات مختلف در زنجیرهٔ تأمین در جدول ۱۳ ارائه شده است.

جدول ۱۳- وضعیت فعلی ظرفیت حمل و بارگیری قطعات در زنجیرهٔ تأمین

Table 13- The current status of the capacity of carrying and loading parts in the supply chain

ظرفیت حمل و بارگیری وضعیت فعلی Carrying and loading capacity-current situation	عنوان Title
150	ظرفیت حمل باتری محصولات مختلف Battery carrying capacity of different
48	ظرفیت حمل صندلی محصولات مختلف Carrying capacity of different product
100	ظرفیت حمل سیلندر محصولات مختلف Cylinder carrying capacity of different

سناریو ۱: تغییر سایز پالت و افزایش ۵ درصدی ظرفیت بارگیری وسیله نقلیه

با افزایش ۵ درصدی ظرفیت حمل و بارگیری قطعات باتری، صندلی و سیلندر مربوط به گروه محصولات مختلف، مقدار کیلومتر پیمایش شده توسط ناوگان برای جابه‌جایی قطعات از عامل تأمین‌کنندگان به عامل کارخانه و عامل ایساکو کاهش ۴,۷ درصدی (۷۸۰ هزار کیلومتر) و مقدار پیمایش جهت جابه جایی قطعات معیوب کاهش ۱,۳ درصدی (۲۸۰۰ کیلومتر) را از خود نشان می‌دهد. در خصوص افزایش تعداد تولید و کاهش مدت زمان انتظار مشتریان جهت دریافت خودرو تفاوت معناداری مشاهده نشد. مجموع کاهش ۸۷۳ هزار کیلومتر ناوگان منجر به کاهش انتشار گاز دی‌اکسید کربن در زنجیرهٔ تأمین خواهد شد. باافزایش ظرفیت ۵ درصدی حمل و بارگیری، درصد

مواقع بیکاری ناوگان افزایش یافته است. با توجه به اجرای فرایند بهینه سازی مدل شبیه‌سازی مشخص گردید که تعداد نزدیک بهینه ناوگان در صورت افزایش ۵ درصدی ظرفیت حمل و بارگیری می‌تواند به ۲۱۹ وسیله کاهش یابد.

سناریو ۲: تغییر سایز پالت و افزایش ۱۰ درصدی ظرفیت بارگیری وسیله نقلیه

با افزایش ۱۰ درصدی ظرفیت حمل و بارگیری قطعات باتری، صندلی و سیلندر مربوط به گروه محصولات مختلف، مقدار کیلومتر پیمایش شده توسط ناوگان برای جابه‌جایی قطعات از عامل تأمین‌کنندگان به عامل کارخانه و عامل ایساکو کاهش ۹،۲ درصدی (۱،۵۴۰ هزار کیلومتر) و مقدار پیمایش جهت جابه جایی قطعات معیوب کاهش ۱۹،۲ درصدی (۴۰۳۹ کیلومتر) را از خود نشان می-دهد. در خصوص افزایش تعداد تولید و کاهش مدت زمان انتظار مشتریان جهت دریافت خودرو تفاوت معناداری مشاهده نشد. مجموع کاهش ۱،۵۴۴ هزار کیلومتر ناوگان منجر به کاهش انتشار گاز دی‌اکسید کربن در زنجیرهٔ تأمین خواهد شد.

تأثیر بهینه سازی بر روی مؤلفه های اجتماعی

مؤلفه‌های اجتماعی یکی دیگر از جنبه‌های پایداری در زنجیرهٔ تأمین است که در این تحقیق، تأثیر آن بر روی عملکرد کل زنجیرهٔ تأمین ارزیابی شده است. در این تحقیق تأثیر مؤلفه‌های اجتماعی بر روی نرخ تولید گروه محصولات مختلف کارخانه و میزان تولید عامل تأمین‌کنندگان سنجیده شده است. به‌منظور تعیین میزان تأثیر هر یک از مؤلفه‌های اجتماعی شناسایی شده بر افزایش تولید خطوط تولیدی عامل کارخانه، از روش دلفی فازی بهره گرفته شده است. با مصاحبه با خبرگان، مؤلفه‌های اجتماعی تأثیرگذار بر تعداد تولید عامل کارخانه به شرح زیر استخراج گردیده است:

- سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی (OHSAS)
- کاهش غیبت نیروی انسانی با سیستم‌های انگیزشی و کنترلی
- ایجاد ثبات شغلی
- برگزاری دوره‌های آموزشی جهت توانمندسازی پرسنل
- ایجاد امکانات رفاهی و تشویقی به‌منظور افزایش انگیزه شغلی

در خصوص تأثیر بعد اجتماعی بر عامل تأمین‌کنندگان، مؤلفه‌های زیر از طریق مصاحبه با خبرگان استخراج شد:

- برگزاری دوره‌های آموزشی تخصصی
- ایجاد روابط کاری بلندمدت و ایجاد اعتماد متقابل با تأمین‌کنندگان

- انتقال تجارب جهت کاهش غیبت نیروی انسانی
- الزام پیاده‌سازی سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی(OHSAS)
- امکان استفاده از خدمات رفاهی و انگیزشی شرکت ایران‌خودرو برای تأمین‌کنندگان

به‌منظور ارزیابی تأثیر هر یک از موارد شناسایی شده، طیف فازی ۳ نقطه‌ای مثلثی[1] به شرح جدول زیر توسط خبرگان تدوین شده است.

جدول ۱۴- طیف فازی ۳ نقطه ای مثلثی

Table 14- Triangular 3-point phase spectrum

عنوان Title	عدد فازی مثلثی Triangular fuzzy number
خیلی کمvery little	(0, 0, 0.02)
کمLow	(0, 0.02, 0.1)
متوسطmedium	(0.02, 0.1, 0.12)
زیادMuch	(0.1, 0.12, 0.15)
خیلی زیادvery much	(0.12, 0.15, 0.2)

به جهت ارزیابی میزان تأثیر مؤلفه‌های اجتماعی شناسایی شده در خصوص نرخ تولید کارخانه، از ۱۵ نفر صاحب‌نظر در صنعت خودروسازی درخواست شد که به هر یک از مؤلفه‌ها یکی از اعداد فازی طراحی شده را تخصیص دهند. سپس با استفاده از روش دلفی فازی، میانگین نظرات و در نهایت دی‌فازی کردن اعداد انجام شد. نتایج در جدول ۱۵ ارائه شده است.

جدول ۱۵- میانگین فازی و دی فازی نظرات

Table 15- Fuzzy and difuzzy average comments

مؤلفه اجتماعی Social dimension	میانگین فازی بعد اجتماعی Fuzzy average	عدد دی‌فازی number Diphasis
سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی (OHSAS) Occupational Health and Safety Management System	(0.005, 0.033, 0.073)	.037
کاهش غیبت نیروی انسانی با سیستم‌های انگیزشی و کنترلی Reducing the absence of manpower with incentive and control systems	(0.049, 0.094, 0.131)	.092
ایجاد ثبات شغلی Creating job stability	(0.018, 0.073, 0.11)	.067

1.Triangular Fuzzy numbers for five-point scale

برگزاری دوره‌های آموزشی جهت توانمندسازی پرسنل Holding training courses to empower personnel	(0.026, 0.066, 0.116)	.070
ایجاد امکانات رفاهی به‌منظور افزایش انگیزه شغلی Creating comfort facilities in order to increase job motivation	(0.024, 0.072, 0.119)	.072

همچنین به جهت ارزیابی میزان تأثیر مؤلفه‌های اجتماعی شناسایی شده در خصوص نرخ تولید عامل تأمین‌کنندگان، از نفرات مصاحبه‌شونده درخواست شد مشابه رویه قبل، به هر یک از مؤلفه‌ها یکی از اعداد فازی طراحی شده را تخصیص دهند. سپس با استفاده از روش دلفی فازی، میانگین نظرات و در نهایت دی‌فازی کردن اعداد انجام شد. نتایج در جدول ۱۶ ارائه شده است.

جدول ۱۶- تخصیص اعداد فازی به هر یک از مؤلفه های بعد اجتماعی

Table 16- Allocation of fuzzy numbers to each component of the social dimension

مؤلفه اجتماعی Social dimension	میانگین فازی بعد اجتماعی Fuzzy average of Social dimension	عدد دیفازی number Diphasis
برگزاری دوره های آموزشی تخصصی Holding specialized training courses	(0.019, 0.049, 0.091)	0.053
ایجاد روابط کاری بلندمدت و ایجاد اعتماد متقابل Establishing long-term working relationships and establishing mutual trust	(0.088, 0.122, 0.154)	0.121
انتقال تجارب جهت کاهش غیبت نیروی انسانی Transferring experiences to reduce the absence of manpower	(0.041, 0.085, 0.125)	0.084
الزام پیاده سازی(OHSAS) Implementation requirement (OHSAS)	(0.007, 0.043, 0.091)	0.047
استفاده از خدمات رفاهی جهت تأمین Use of welfare services for supply	(0.036, 0.084, 0.123)	0.081

باتوجه‌به محدودیت منابع، دو آیتم اجتماعی دارای بالاترین تأثیر در نرخ تولید کارخانه (کاهش غیبت نیروی انسانی و ایجاد امکانات رفاهی و تشویقی) به‌عنوان کاندید پیاده‌سازی در عامل کارخانه و دو آیتم ایجاد روابط کاری بلندمدت و ایجاد اعتماد متقابل و انتقال تجارب جهت کاهش غیبت نیروی انسانی به‌عنوان کاندید پیاده‌سازی در عامل تأمین‌کنندگان در نظر گرفته شده است؛ بنابراین در خطوط تولیدی مدل شبیه‌سازی موجود در عامل کارخانه، افزایش ۱۶,۴ درصدی و در ظرفیت تولید تأمین‌کنندگان افزایش ۲۰,۵ درصدی پیاده‌سازی شده است. مفروضات زنجیرهٔ تأمین با

درنظرگرفتن بعد اقتصادی زنجیرهٔ تأمین شامل تعداد بهینه ناوگان در زنجیرهٔ تأمین و سطوح بهینه نگهداشت موجودی و سفارش دهی عامل ایساکو (۲۲۳ وسیله نقلیه)و بعد اجتماعی (افزایش ۱۰ درصدی ظرفیت حمل و بارگیری) اجرا شده است.

در نهایت تعداد تولید گروه محصولات سمند افزایش ۹٫۸ درصدی، گروه دنا افزایش ۳۱ درصدی و گروه پژو افزایش ۷٫۶ درصدی از خود نشان داده است.

بحث و نتیجه گیری

بدین منظور ابتدا مدل شبیه‌سازی وضعیت فعلی زنجیرهٔ تأمین با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی Any Logic ایجاد گردید و فرایندهای موردنیاز جهت اعتبارسنجی مدل انجام شد. پس از تأیید اعتبار مدل شبیه‌سازی ترکیبی، در گام اول جنبه‌های اقتصادی زنجیرهٔ تأمین مورد ارزیابی قرار گرفت.در این راستا، زنجیرهٔ تأمین از دو منظر تعداد ناوگان حمل‌ونقل و میزان سطوح سفارش دهی و نگهداری موجودی قطعات یدکی بررسی شد. در مدل وضعیت فعلی تعداد ۲۰۰ عدد ناوگان حمل و نقل در اختیار عامل تأمین کنندگان قرار دارد. به منظور استخراج جواب بهینه / نزدیک بهینه مربوط به تعداد ناوگان مورد نیاز و سطوح سفارش‌دهی و میزان نگهداشت موجودی، از رویکرد شبیه‌سازی بهینه-سازی واستفاده از روش‌های فراابتکاری opt Quest بهره گرفته شد. تابع هدف حداقل کردن هزینه انتظار مشتریان جهت دریافت محصولات، هزینه انتظار نمایندگان جهت دریافت قطعات یدکی و هزینه‌های مربوط به نگهداری و تعمیرات و استهلاک وسایل نقلیه بود.

یکی از مهم‌ترین تأثیرات زیست‌محیطی زنجیرهٔ تأمین خودروسازی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن است. یکی از مهم‌ترین عامل‌های انتشار گاز دی‌اکسیدکربن، حمل و نقل‌هایی است که جهت انتقال قطعات از عامل تأمین‌کنندگان به عامل کارخانه و عامل ایساکو و همچنین انتقال قطعات نیازمند دوباره‌کاری از عامل کارخانه به عامل تأمین‌کنندگان است. به همین منظور و طی مصاحبه با خبرگان مشخص گردید در صورت طراحی مجدد سایز پالت‌ها و تغییرات در فضای بارگیری، می‌توان در حالت بدبینانه ۵ درصد، در حالت متوسط ۱۰ درصد و در حالت خوش‌بینانه ۱۵ درصد افزایش ظرفیت حمل و بارگیری در وسایل نقلیه ایجاد نمود. به همین منظور تحلیل حساسیت میزان پیمایش وسایل نقلیه و تأثیر این افزایش بر عملکرد زنجیرهٔ تأمین با استفاده از مدل شبیه‌سازی انجام شد. در خصوص افزایش ۵ درصدی ظرفیت حمل و بارگیری کاهش ۴٫۷ درصدی پیمایش، در حالت افزایش ۱۰ درصدی ظرفیت حمل و بارگیری کاهش ۹٫۲ درصدی پیمایش و در حالت افزایش ۱۵ درصدی ظرفیت حمل و بارگیری کاهش ۱۲٫۶ درصدی پیمایش را می‌توان انتظار داشت.

در گام بعدی تأثیر مؤلفه‌های اجتماعی بر عملکرد زنجیرهٔ تأمین مورد بررسی قرار گرفته شد. به‌منظور استخراج عوامل اجتماعی تأثیرگذار بر زنجیرهٔ تأمین خودرو، از خبرگان شرکت ایران‌خودرو مصاحبه صورت گرفت و ۵ مؤلفه اجتماعی جهت افزایش نرخ تولید عامل کارخانه شامل سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی، کاهش غیبت نیروی انسانی با سیستم‌های انگیزشی و کنترلی، ایجاد ثبات شغلی، برگزاری دوره‌های آموزشی جهت توانمندسازی پرسنل و ایجاد امکانات رفاهی و تشویقی به منظور افزایش انگیزه شغلی و ۵ مؤلفه اجتماعی جهت افزایش ظرفیت تولید عامل تأمین‌کنندگان شامل برگزاری دوره‌های آموزشی تخصصی، ایجاد روابط کاری بلندمدت و ایجاد اعتماد متقابل با تأمین‌کنندگان، انتقال تجارب جهت کاهش غیبت نیروی انسانی با سیستم‌های کنترلی و انگیزشی در تأمین‌کنندگان، الزام پیاده‌سازی سیستم‌های مدیریت یکپارچه و سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت و امکان استفاده از خدمات رفاهی و انگیزشی شرکت ایران خدرو برای تأمین کنندگان شناسایی شد. به دلیل پیچیده بودن ارزیابی میزان تأثیر هر کدام از مؤلفه‌های اجتماعی بر موارد ذکر شده، از منطق فازی بهره گرفته شد. به همین منظور، ابتدا اعداد فازی متناسب با تأثیرات پیش‌بینی شده طراحی شد و با استفاده از رویکرد دلفی فازی، نظرات ۱۵ نفر از خبرگان گروه صنعتی ایران‌خودرو جمع‌آوری و تأثیر نهایی مؤلفه‌های اجتماعی مشخص شد. در خصوص تأثیر مؤلفه‌های اجتماعی شناسایی شده بر نرخ وتولید عامل کارخانه، بیشترین تأثیر مؤلفه کاهش غیبت نیروی انسانی با سیستم‌های انگیزشی و کنترلی شناسایی شد. در رتبه بعدی مؤلفه ایجاد امکانات رفاهی و تشویقی به منظور افزایش انگیزه شغلی تعیین شد. در خصوص مؤلفه‌های اجتماعی تأثیرگذار بر عملکرد تأمین‌کنندگان نیز ایجاد روابط کاری بلندمدت و ایجاد اعتماد متقابل در رتبه اول و انتقال تجارب جهت کاهش غیبت نیروی انسانی با سیستم‌های انگیزشی و کنترلی در تأمین‌کنندگان در رتبه دوم قرار دارند. برای مطالعات بیشتر بهره‌گیری از الگوریتم‌های یادگیری ماشین نیز یکی دیگر از جنبه‌های توسعه تحقیق فعلی است. در این حالت می‌توان از الگوریتم‌های یادگیری تقویتی و طراحی عامل یادگیرنده استفاده نمود. عامل تصمیم‌گیرنده فرایند یادگیری خود را با استفاده از مدل شبیه‌سازی ترکیبی توسعه داده شده انجام خواهد داد و در نهایت سیاست بهینه نحوه سفارش‌دهی و نگهداشت موجودی و برنامه‌ریزی تولید استخراج خواهد شد.

با توجه به اینکه دادهای مربوط به تقاضا و سفارش گذاری تولید، نقش بسیار مهمی در تحقق برنامه های تولید دارند،پیشنهاد می گردد شرکت ایران خودرو انسجام حوزه برنامه ریزی را با حوزه تولید بر مبنای تقاضا و کاهش داده های غیر قطعی مد نظر قرار دهند. همچنین گسترش ابعاد زنجیرهٔ تأمین در خصوص تعداد محصولات و قطعات و تأمین کنندگان بیشتر مورد توجه قرار گیرد.

تمرکز بر زنجیرهٔ تأمین حلقه بسته به منظور کاهش هزینه های دوباره کاری ، تعمیرات و ضایعات مربوط به قطعات بسیار کاربردی و ضروری است.

یکی از محدودیت های عمده تحقیق در ارتباط با حجم و تنوع داده های تحقیق بود . تعداد قطعات موجود در یک خودرو بیش از ده هزار قطعه است و تأمین کنندگان متعددی در رده های مختلف، مسئولیت تأمین قطعات را به عهده دارند. بنابراین امکان لحاظ نمودن همه موارد در مدل تحقیق نبود.

از محدودیتهای دیگر تحقیق شرایط عدم اطمینان و قطعیت درخصوص شرایط حاکم بر صنعت خودرو می باشد که بر عدم امکان استخراج داده های واقعی تأثیر گذار است.

از آنجا که در تحقیق حاضر از رویکرد شبیه سازی ترکیبی عامل بنیان گسسته پیشامد در صنعت خودروسازی استفاده شده است پیشنهاد می شود که این مدل در صنایع دیگر نیز مورد استفاده قرار گیرد. پیشنهاد می شود محدودیتهای سفارش گذاری و تأمین مواد اولیه توسط عامل تأمین کنندگان مورد نظر قرار گیرد.

تعارض منافع: نویسندگان هیچگونه تعارض منافع ندارند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

References

Abir, A. S., Bhuiyan, I. A., Arani, M., & Billal, M. M. (2020). Multi-objective optimization for sustainable closed-loop supply chain network under demand uncertainty: A genetic algorithm, arXiv [cs.CY, 1-5. **doi: 10.48550/arXiv.2009.06047**

Abolghasemian, M., & Darabi, H. (2018). Simulation based optimization of haulage system of an open-pit mine: Meta modeling approach. Organizational resources management researchs, 8(2), 1-17.

Abolghasemian, M., Ghane Kanafi, A., & Daneshmandmehr, M. (2020). A two-phase simulation-based optimization of hauling system in open-pit mine. Iranian journalof management studies, 13(4), 705-732.**doi:10.22059/IJMS.2020.294809.673898**

Amirian, S., Amiri, M., & Taghavifard, M. T. (2022). Sustainable and reliable closed-loop supply chain network design: Normalized Normal Constraint (NNC) method application. Journal of Industrial and Systems Engineering, 14(3), 33-68. **dor:20.1001.1.17358272.2022. 14.3.2.1**

Bondy J.A, Murty, U. S. R. (1976), "Graph Theory with Applications," American Elsevier, New York, 1-264.

Fazli-Khalaf, M., Naderi, B., Mohammadi, M., & Pishvaee, M. S. (2020). Design of a sustainable and reliable hydrogen supply chain network under mixed uncertainties: A case study. Int. J. Hydrogen Energy, vol. 45, no. 59, pp. 34503–34531**doi:10.1016/j.ijhydene.2020.05.276**

Ghasemi, P., & Abolghasemian, M. (2023). A Stackelberg game for closed-loop supply chains under uncertainty with genetic algorithm and gray wolf optimization. Supply Chain Analytics, 4(4), 1-16. [In Persian]. **doi:10.1016/j.sca.2023.100040**

Govindan, K., & Gholizadeh, H. (2021). Robust network design for sustainable-resilient reverse logistics network using big data: A case study of end-of-life vehicles. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 149(1). **doi: 10.1016/j.tre.2021.102279**

Jahangiri, S., Abolghasemian, M., Ghasemi, P., & Chobar, A. P. (2023). Simulation-based optimisation: analysis of the emergency department resources under COVID-19 conditions. International journal of industrial and systems engineering,43(1),1-19. **doi:10.1504/IJISE. 2023.128399**

Lutfi, A., Alqudah, H., Alrawad, M., Alshira'h, A. F., Alshirah, M. H., Almaiah, M. A., & Hassan, M. F. (2023). Green Environmental Management System to Support Environmental Performance: What Factors Influence SMEs to Adopt Green Innovations? Sustainability, 15 (13), 1-20. **doi:org/10.3390/su151310645**

Maiurova, A., Kurniawan, T. A., Kustikova, M., Bykovskaia, E., Othman, M. H. D., Singh, D., & Goh, H. H. (2022). Promoting digital transformation in waste collection service and waste recycling in Moscow (Russia): Applying a circular economy paradigm to mitigate climate change impacts on the environment. Journal of Cleaner Production, 354, 1-15. **doi:10.1016/j.jclepro.2022.131604**

Malihe, E. (2021). Choosing the technology in closed-loop build-to-order supply chain. Journal of Modern Operations Research, 1(1), 1-6. ICIORS13_205

Mousavi Ahranjani, P., Ghaderi, S. F., Azadeh, A. & Babazadeh, R. (2020), Robust design of a sustainable and resilient bioethanol supply chain under operational and disruption risks, Clean Technol. Environ. Policy, 22(1), 119–151. **doi:10.1007/s10098-019-01773-2**

Panwar, R., Pinkse, J., & De Marchi, V. (2022). The future of global supply chains in a post-COVID-19 world. California Management Review, 64(2), 5-23. **doi:10.1177/00081256211073355**

Roudbari, E. S., Ghomi, S. F., & Sajadieh, M. S. (2021). Reverse logistics network design for product reuse, remanufacturing, recycling and refurbishing under uncertainty. Journal of Manufacturing Systems, 60, 473-486. **doi:10.1016/j.jmsy.2021.06.012**

Vaseei, M., Daneshmand-Mehr, M., Bazrafshan, M., & Kanafi, A. G. (2023). A network data Envelopment analysis to evaluate the performance of a sustainable supply chain using bootstrap simulation. Journal of Engineering Research, 12(4), 904-915. **doi:org/10.1016/j.jer.2023 .10.003**

Zahoor, Z., Latif, M. I., Khan, I., & Hou, F. (2022). Abundance of natural resources and environmental sustainability: the roles of manufacturing value-added, urbanization, and permanent cropland. Environmental Science and Pollution Research, 29(54),82365-82378. **doi:10.1007/s11356-022-21545-8**

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی