



"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 Famouri¹, Seyyed Javad Iranban fard², Seyyed Mohammad Seyyed Hosseini³, Nazanin Pilehvari⁴

(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 validating 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 by 19 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



10.71737/jpm.2025.3093598



((مقاله پژوهشی))

وادی سرز

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

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 زنجیره 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 زنجیره تأمین با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی Any Logic پیاده‌سازی شده و فرایندهای مورد نیاز جهت تأیید اعتبارسنجی مدل صورت پذیرفت. پس از تأیید اعتبار مدل شبیه‌سازی ترکیبی، در گام اول جنبه‌های اقتصادی زنجیره تأمین مورد ارزیابی قرار گرفت. در این راستا، زنجیره تأمین از دو منظر تعداد ناوگان حمل‌ونقل و میزان سطوح سفارش دهی و نگهداری موجودی قطعات یدکی بررسی شد. به منظور بهینه‌سازی 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 زنجیره، سبب شده است تا در ابعاد اجتماعی و زیست محیطی نیز بهبود حاصل شود.

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

۱. دانشجوی دکتری گروه مدیریت صنعتی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد 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 زنجیره تأمین پایدار به بخشهای متفاوت مانند تأکید بر کیفیت، انتخاب تأمین‌کننده، استراتژی عملیات مدیریت زنجیره تأمین و تکنولوژی فرایند و تولید، در مجموع باعث شکل‌گیری یک پایه دانشی سیستماتیک برای کل حوزه گردیده است. یکی از موانع بزرگ پیش روی حوزه مدیریت زنجیره 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 زنجیره 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 مشی‌ها و رویه‌های درونی سازمان باعث بهبود کارایی، کاهش هزینه و افزایش کیفیت گردید. همچنین رویکردهای مؤثر برای تسهیم اطلاعات در پیکره زنجیره تأمین نیازمند گسترش هستند و پژوهشگران باید از مزیت فناوری اطلاعات و ارتباطات برای همکاری و مشارکت مؤثرتر بهره‌جویند.

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 زنجیره تأمین ناگزیر از تعقیب چندین هدف متناقض هستند، مانند پیشینه‌سازی سود، کمینه‌سازی هزینه‌های عملیات، کاهش تأثیرات مخرب زیست محیطی و افزایش رضایتمندی اجتماعی. البته چندین چالش دیگر همچون تصمیم‌گیرنده‌های متعدد، ارزیابی تأثیرات محیطی و مزایای اجتماعی در یک زنجیره تأمین چند جانبه مبتنی بر رویکرد بین‌سازمانی 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 می‌کند که در این تحقیق محصولات گروه‌های سمند، دنا و پژو مورد استفاده قرار گرفته است. به منظور استفاده مجدد از قطعات، زنجیره تأمین به صورت حلقه بسته در نظر گرفته شده تا قطعاتی که نیاز به دوباره‌کاری و تعمیر دارند نیز در این زنجیره در نظر گرفته شود. این قطعات شامل باتری، صندلی و سیلندر مربوط به هر سه گروه محصول می‌باشد که در زنجیره تأمین و مدل‌سازی لحاظ می‌گردد. تابع هدف مسأله به گونه‌ای تعریف شده است که در هر یک از ابعاد بتوان به اهداف موردنظر دست یافت. با توجه به شرایط عدم قطعیت در صنعت خودرو و همچنین ضرورت مدل‌سازی زنجیره تأمین پایدار، از نرم‌افزار شبیه‌سازی AnyLogic استفاده می‌شود. در این راستا اثرات عدم قطعیت در داده‌ها 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 منظور حفظ تعادل بین ابعاد سه گانه فوق و ارتقای عملکرد زنجیره 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 پژوهش حاضر و در راستای ایجاد الگوی پایداری زنجیره تأمین، مدل شبیه سازی زنجیره تأمین با در نظر 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 زنجیره 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 ایران خودرو خواهد بود. بنابراین هدف اصلی این تحقیق طراحی وبه کارگیری مدل زنجیره تأمین پایدار در گروه صنعتی ایران خودرو است. گوویندان و قلیزاده (۲۰۲۱)، مدلی برای یک شبکه لجستیک معکوس پایدار برای وسایل نقلیه پایان عمر در ایران را با ویژگی های داده های بزرگ و احتمال اختلال در ظرفیت تسهیلات طراحی کردند. هدف مدل به حداقل رساندن هزینه کل شبکه لجستیک معکوس پایدار و تاب آور است. از یک الگوریتم متقاطع آنتروپی به همراه بهینه سازی استوار مبتنی بر سناریو استفاده شده است. نتایج نشان می دهد که تغییر وضعیت سناریو به طور قابل توجهی بر هزینه های زیست محیطی و اجتماعی بهینه تأثیر می گذارد. رودباری و همکاران (۲۰۲۱)، یک مدل ریاضی چندهدفه برای طراحی یک زنجیره تأمین پایدار تاب آور بر اساس سطوح تصمیم گیری استراتژیک و تاکتیکی معرفی کردند. در این راستا، از برنامه ریزی ظرفیت بر اساس افزونگی برای مواجهه با انعطاف پذیری تقاضا استفاده شده است. زنجیره تأمین واکسن آنفلوآنزا در ایران برای اعتبار بخشیدن به مدل پیشنهادی مورد مطالعه قرار گرفته است. یک رویکرد بهینه سازی فازی استوار برای مقابله با عدم قطعیت ها استفاده شده است. مدل چندهدفه با برنامه ریزی آرمانی چندگزینه ای حل شده است. نتایج مشخص کرد که داشتن افزونگی در زنجیره تأمین همیشه هزینه های کل را افزایش نمی دهد. امیریان و همکاران (۲۰۲۲) یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط غیرخطی برای مسأله طراحی شبکه زنجیره تأمین پایدار و قابل اطمینان به صورت سه هدفه، چندمحصولی، چندسطحی، چندمنبعی، چندظرفیتی و چندمرحله ای

حدول ۱- طبقه بندی ادبیات

Table 1- Classification of literature

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

از این رو نوآوری و سهم مشارکت این تحقیق به شرح ذیل است:

استفاده از سناریوهای مختلف به منظور حفظ تعادل در ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی و ارتقای عملکرد زنجیره تأمین مطرح است. در همین راستا استخراج نقاط بهینه با استفاده از نرم افزار بهینه سازی - شبیه سازی صورت می پذیرد.

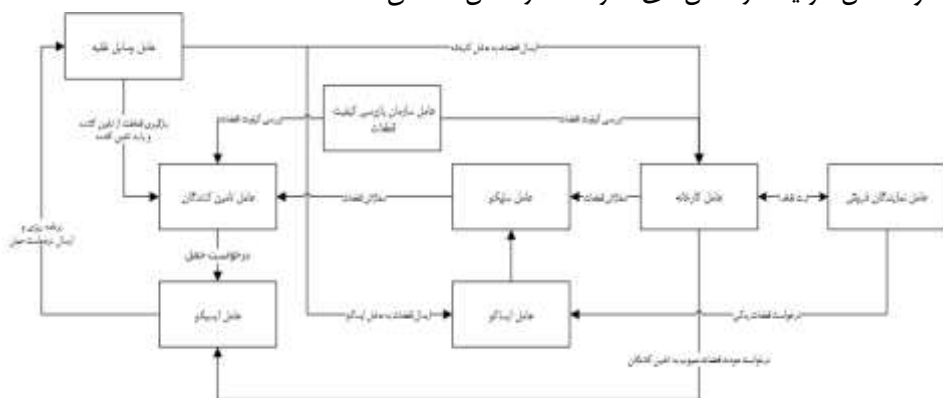
هدف اصلی از انجام این تحقیق طراحی مدل زنجیره تأمین پایدار با استفاده از مدل ترکیبی بهینه سازی شبیه سازی گسسته پیشامد در شرایط عدم قطعیت در خودروهای تجاری گروه صنعتی ایران خودرو می باشد.

معرفی ساختار مدل زنجیره تأمین

در زنجیره تأمین شرکت ایران خودرو و با نظر گرفتن ویژگی های اجزای زنجیره تأمین، تعریف هر جز به صورت عامل صورت پذیرفته که در ادامه عاملیت های این زنجیره تأمین به شرح زیر شناسایی شده اند:

- | | | |
|-------------------------|------------------------------------|----------------------|
| (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 عامل های ذکر شده در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- مدل ساختار زنجیره تأمین

Figure 1- Supply chain structure model

ابزار و روش

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

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

متغیرها و پارامترها:

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

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

متغیرها و پارامترها:

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
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 $LL_{ij} < UL_{ij} \quad \forall i, j$ در نرم افزار opt Quest به اجرا در آمده است. در جدول ۲، کلیه پارامترها و متغیرهای مسأله نشان داده شده 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}	تأمین کنندگان
زمان انتظار نمایندگان جهت دریافت قطعه i ام از گروه محصول j ام	W_{ij}	
هزینه نگهداری قطعه i ام از گروه محصول j ام	CH_{ij}	
تعداد قطعه i ام از گروه محصول j ام موجود در انبار عامل ایساکو	N_{ij}	ایساکو
تعداد وسیله نقلیه	x	کارخانه
حد پایین سفارش قطعه i ام از گروه محصول j ام	LL_{ij}	کارخانه
حد بالای سفارش قطعه i ام از گروه محصول j ام	UL_{ij}	

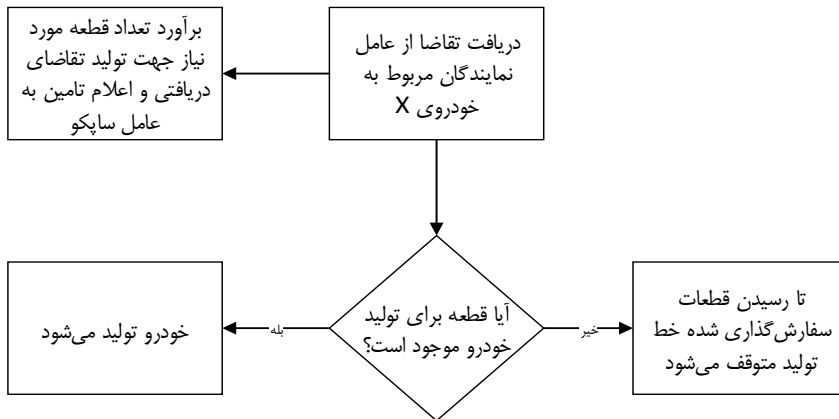
عامل تأمین کنندگان، وظیفه تولید قطعات مورد نیاز جهت تولید خودرو را بر عهده دارند. در خصوص قطعات صندلی و سرسیلندر به دلیل نیاز به قطعات پیش ساخته (استراچر صندلی و سرسیلندر خام) عامل های تأمین کننده قطعه نهایی برای عامل هایی که قطعات پیش ساخته صندلی و سیلندر را تولید می کنند، سفارش ثبت می نمایند. در زنجیره تأمین این تحقیق، تعداد ۲۳ عامل تأمین کننده به شرح جدول ۳ فعالیت می نمایند.

جدول ۳- عوامل تأمین‌کننده در زنجیره 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	استراکچر صندلی	700
2	ورامین	استراکچر صندلی	1000
3	کرج	استراکچر صندلی	600
4	کرج	استراکچر صندلی	600
5	قلعه خان	استراکچر صندلی	1100
6	تهران	صندلی مونتاژ شده	1200
7	ورامین	صندلی مونتاژ شده	1200
8	کرج	صندلی مونتاژ شده	1200
9	قلعه خان	صندلی مونتاژ شده	200
10	قلعه خان	صندلی مونتاژ شده	200
11	قزوین	سیلندر خام	1000
12	ابهر	سیلندر خام	800
13	اشتهارد	سیلندر خام	400
14	تاکستان	سیلندر خام	700
15	مشهد	سیلندر خام	600
16	تبریز	سیلندر خام	400
17	ساوه	سیلندر خام	300
18	قائم‌شهر	سیلندر ماشین‌کاری	1000
19	قزوین	سیلندر ماشین‌کاری	1200
20	تهران	سیلندر ماشین‌کاری	2200
21	اصفهان	باتری	800
22	تبریز	باتری	1400
23	تهران	باتری	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 نشان داده شده 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 ۳۶ ماهه در سیستم استخراج شده و در جدول ۴ نشان داده شده 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 به منظور انجام دوباره کاری و فرایندهای اصلاحی به عامل تأمین کننده مربوطه عودت داده می شود. در جدول ۵، درصد دفعات مواجهه با خرابی قطعات هر گروه خودروسازی نشان داده شده 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		
	Peugeot پژو	Dena دنا	Samand سمند
باتری battery	۰.۶%	۰.۴%	۰.۵%
صندلی chair	۰.۸%	۱.۱%	۰.۹%
سیلندر Cylinder	۰.۹%	۰.۵%	۰.۴%

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 وسیله 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

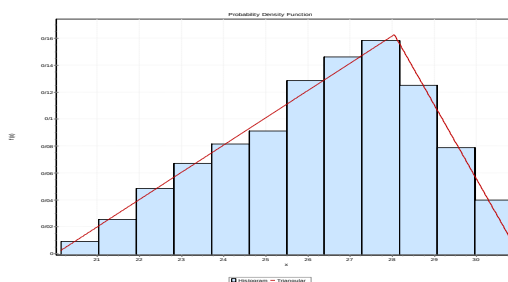
در این تحقیق از رویکرد شبیه‌سازی ترکیبی عامل بنیان گسسته پیشامد برای مدلسازی و برای بهینه‌سازی از روش فراابتکاری opt Quest استفاده شده است. opt Quest که برای حل مسائل بهینه‌سازی پیچیده استفاده می‌شود، عملیات بهینه‌سازی را بر اساس الگوریتم جستجوی تصادفی که از ترکیب سه الگوریتم جستجوی ممنوعه، جستجوی پراکندگی و شبکه عصبی می‌باشد انجام می‌دهد (ابوالقاسمیان و همکاران، ۲۰۲۰). برای شبیه‌سازی مدل از نرم افزار Any logic و با در نظر گرفتن عاملیت‌های مختلف زنجیره تأمین استفاده می‌شود. به منظور بهینه‌سازی ابعاد اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی از opt Quest استفاده می‌شود. در ابتدا، opt Quest یک 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).

یافته‌ها

متناسب سازی توابع برازش شده سیستم

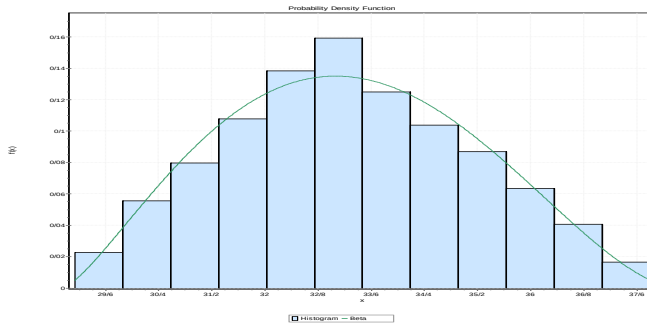
مشخصات خطوط تولیدی شرکت ایران‌خودرو مربوط به گروه محصولات ذکر شده در شکل‌های زیر ارائه شده است. به‌منظور استخراج تابع توزیع مربوط به سیکل زمانی تولید گروه محصولات، از داده‌های موجود در سیستم مربوطه به بازه زمانی ۳ ماهه برای ساخت مدل شبیه‌سازی در Any logic استفاده شده است.



شکل ۳- تابع توزیع تولید ساعتی گروه محصولات سمند

Figure 3- Hourly production distribution function of Samand products group

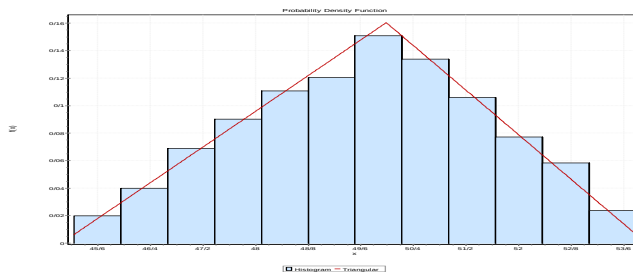
در هیستوگرام ترسیم شده در شکل ۳، تعداد تولید ساعتی گروه محصولات سمند نشان داده شده است، خطوط تولیدی این گروه محصول از تابع توزیع triangular (20, 28, 31) پیروی می‌نماید. در نمودار هیستوگرام شکل ۴، تعداد تولید ساعتی گروه محصولات دنا نشان داده شده است، خطوط تولیدی این گروه محصول از تابع توزیع beta با پارامترهای $\alpha_1=2/39$ ، $\alpha_2=2/7479$ ، $a=28/958$ 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 نشان داده شده است، خطوط تولیدی این گروه محصول از تابع توزیع triangular (45, 50, 53) پیروی می نماید.



شکل ۵- تابع توزیع تولید ساعتی گروه محصولات پژو

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

اعتبارسنجی مدل شبیه سازی

به جهت انجام اعتبارسنجی و به دلیل ماهیت احتمالی مدل شبیه سازی، نیاز است تا خروجی های مدل شبیه سازی با هسته های عدد تصادفی متفاوتی استخراج گردد. این امر به کاهش همبستگی بین خروجی های مدل و همگرا شدن نتایج کمک می نماید. به همین منظور مدل شبیه سازی 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 شبیه سازی از منظر کارخانه

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

اختلاف difference	میانگین مدل شبیه سازی The average output of the simulation model	مقدار واقعی 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

همان طور که مشاهده می شود اختلاف بین نتایج تولید واقعی گروه محصولات در یک سال با میانگین نتایج اجرای ۳۰ بار مدل شبیه سازی با اعداد تصادفی متفاوت، کمتر از ۵ درصد است بنابراین اعتبار مدل شبیه سازی از منظر تعداد تولید سالانه گروه محصولات تأیید می گردد. به منظور اعتبارسنجی مدل شبیه سازی 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 شبیه سازی در جدول ۷ مقایسه شده است.

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

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

اختلاف difference	خروجی مدل شبیه سازی 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 با opt 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 گروه‌های 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

عنوان Title	مقدار مدل شبیه‌سازی وضعیت فعلی The value of the current state simulation model	نتایج مدل شبیه‌سازی با تعداد ناوگان بهینه The results of the simulation model with the optimal number of fleets	درصد کاهش Percentage reduction
سمند Samand	1681	1613	4%
دنا Dana	1798	1778	1.1%
پژو Peugeot	716	652	8.9%

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 بهینه‌سازی تعداد ناوگان در زنجیره 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 بهینه‌سازی 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 شبیه‌سازی- 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

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

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

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

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

لازم به ذکر است به دلیل امکان تحت تأثیر قرار گرفتن 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 سفارش دهی جدید و بر اساس تابع هدف، محدودیت ها و متغیرهای تصمیم مشابه بهینه گردد. تعداد تکرار الگوریتم بهینه ساز برابر ۱۰۰۰ تکرار تنظیم شده است. خروجی بهینه سازی در جدول ۱۲ برای هزینه انتظار به منظور تعیین اندازه سطوح ارائه شده است.

جدول ۱۲- بهینه سازی هزینه انتظار نمایندگان

Table 12- Optimization of agents waiting cost

عنوان Title	حداقل موجودی بهینه Optimized inimum inventory	حداکثر موجودی بهینه Optimized maximum inventory	حداکثر موجودی وضعیت فعلی Maximum inventory- current situation	درصد کاهش موجودی انبار Percentage reduction in warehouse stock
باتری سمند Samand battery	800	1800	3700	51%
باتری دنا Dena battery	1100	2400	4900	51%
باتری پژو Peugeot battery	1600	3600	7300	50%
صندلی سمند Samand Chair	300	500	1100	54%
صندلی دنا Dena chair	550	700	1460	52%
صندلی پژو Peugeot chair	750	1100	2200	50%
سیلندر سمند Samand cylinder	350	450	1000	55%
سیلندر دنا Dana cylinder	500	600	1220	50%
سیلندر پژو Peugeot cylinder	700	930	1850	49%

همانطور که مشاهده می شود، سطح حداکثر نگهداری موجودی مربوط به تمامی اقلام بعد از انجام بهینه سازی، 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 زنجیره تأمین شرکت ایران‌خودرو پرداخته خواهد شد. انتشار گاز دی‌اکسیدکربن یکی از مهم‌ترین جنبه‌های زیست‌محیطی زنجیره تأمین است. در این تحقیق نیز باتوجه به 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 در نظر گرفتن طراحی مجدد سازه 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 به تبع آن میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن سنجیده می‌شود. داده‌های مربوط به وضعیت فعلی ظرفیت حمل و بارگیری قطعات مختلف در زنجیره تأمین در جدول ۱۳ ارائه شده است.

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

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

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

سناریو ۱: تغییر سازه 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 جابه‌جایی 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 زنجیره تأمین خواهد شد. با افزایش 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 ساینز 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 (۱۵۴۰ هزار کیلومتر) و مقدار پیمایش جهت جابه‌جایی قطعات معیوب کاهش ۱۹٫۲ درصدی (۴۰۳۹ 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 ۱۵۴۴ هزار کیلومتر ناوگان منجر به کاهش انتشار گاز دی‌اکسید کربن در زنجیره تأمین خواهد شد.

تأثیر بهینه سازی بر روی مؤلفه‌های اجتماعی

مؤلفه‌های اجتماعی یکی دیگر از جنبه‌های پایداری در زنجیره تأمین است که در این تحقیق، تأثیر آن بر روی عملکرد کل زنجیره 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 ایران خودرو برای تأمین کنندگان
- به‌منظور ارزیابی تأثیر هر یک از موارد شناسایی شده، طیف فازی ۳ نقطه‌ای مثلثی^۱ 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	عدد فازی مثلثی
Title	Triangular fuzzy number
خیلی کم very little	(0, 0, 0.02)
کم Low	(0, 0.02, 0.1)
متوسط medium	(0.02, 0.1, 0.12)
زیاد Much	(0.1, 0.12, 0.15)
خیلی زیاد very 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	میانگین فازی بعد اجتماعی	عدد دی‌فازی
Social dimension	Fuzzy average	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

0.070	(0.026, 0.066, 0.116)	برگزاری دوره‌های آموزشی جهت توانمندسازی پرسنل Holding training courses to empower personnel
0.072	(0.024, 0.072, 0.119)	ایجاد امکانات رفاهی به‌منظور افزایش انگیزه شغلی Creating comfort facilities in order to increase job motivation

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 مؤلفه‌های بعد اجتماعی

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

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

باتوجه به 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 زنجیره تأمین با

در نظر گرفتن بعد اقتصادی زنجیره تأمین شامل تعداد بهینه ناوگان در زنجیره 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 شبیه سازی وضعیت فعلی زنجیره تأمین با استفاده از نرم افزار شبیه سازی Any Logic ایجاد گردید و فرایندهای مورد نیاز جهت اعتبارسنجی مدل انجام شد. پس از تأیید اعتبار مدل شبیه سازی ترکیبی، در گام اول جنبه های اقتصادی زنجیره تأمین مورد ارزیابی قرار گرفت. در این راستا، زنجیره تأمین از دو منظر تعداد ناوگان حمل و نقل 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 سفارش دهی و میزان نگهداشت موجودی، از رویکرد شبیه سازی بهینه سازی و استفاده از روش های فراابتکاری opt Quest بهره گرفته شد. تابع هدف حداقل کردن هزینه انتظار مشتریان جهت دریافت محصولات، هزینه انتظار نمایندگان جهت دریافت قطعات یدکی و هزینه های مربوط به نگهداری و تعمیرات و استهلاک وسایل نقلیه بود.

یکی از مهم ترین تأثیرات زیست محیطی زنجیره تأمین خودروسازی انتشار گاز دی اکسید کربن است. یکی از مهم ترین عامل های انتشار گاز دی اکسید کربن، حمل و نقل هایی است که جهت انتقال قطعات از عامل تأمین کنندگان به عامل کارخانه و عامل ایساکو و همچنین انتقال قطعات نیازمند دوباره کاری از عامل کارخانه به عامل تأمین کنندگان است. به همین منظور و طی مصاحبه با خبرگان مشخص گردید در صورت طراحی مجدد سائز پالت ها و تغییرات در فضای بارگیری، می توان در حالت بدبینانه ۵ درصد، در حالت متوسط ۱۰ درصد و در حالت خوش بینانه 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 زنجیره تأمین با استفاده از مدل شبیه سازی 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 می توان انتظار داشت.

در گام بعدی تأثیر مؤلفه‌های اجتماعی بر عملکرد زنجیره تأمین مورد بررسی قرار گرفته شد. به‌منظور استخراج عوامل اجتماعی تأثیرگذار بر زنجیره 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 ایران‌خودرو برای تأمین‌کنندگان 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 و تولید 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 داده‌های مربوط به تقاضا و سفارش‌گذاری تولید، نقش بسیار مهمی در تحقق برنامه‌های تولید دارند، پیشنهاد می‌گردد شرکت ایران‌خودرو انسجام حوزه برنامه‌ریزی را با حوزه تولید بر مبنای تقاضا و کاهش داده‌های غیر قطعی مد نظر قرار دهند. همچنین گسترش ابعاد زنجیره تأمین در خصوص تعداد محصولات و قطعات و تأمین‌کنندگان بیشتر مورد توجه قرار گیرد.

تمرکز بر زنجیره 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.

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 journal of 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., & Pishvae, 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**

