



"Research Article"

10.71737/JPM.2025.312-3655



Designing a sustainable supply chain model by using a hybrid optimization model 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

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. For this purpose, 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 validation of the hybrid simulation 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 inventory. In order to optimize the result 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 and repairs and depreciation of Vehicles were calculated. 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 number of production of Peugeot products has increased to 33 thousand units per year, and there has been no significant change in the production of products of other groups. The establishment of the optimal situation, in addition to the economic benefits for the chain, has led to improvements in social and environmental dimensions as well.

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

1 - Introduction

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-Industrial Production, 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

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 and organizations use one or a combination of these paradigms based on strategic conditions and priorities.

The sustainable supply chain, which is the result of combining and balancing economic, environmental and social aspects, has received a lot of attention in recent years. Sustainable supply chain management is a competitive advantage for companies and increases efficiency and reduces costs. Vasei et al. (2023), noted that sustainable development in supply chain management is not only a limiting factor but also 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 market, which are very related to human factors. All the mentioned cases make it inevitable to design a comprehensive and effective model for the supply chain.

2- Literature Review

Abir et al. (۲۰۲۰), in a problem of designing a sustainable closed-loop supply chain network, sought to minimize total costs, reduce carbon dioxide emissions, and maximize sustainability by providing as much customer demand as possible. They considered the stability only at the level of the warehouse and for the demand uncertainty. Ahranjani et al. (۲۰۲۰), 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. (۲۰۲۰) considered sustainability in the design of a hydrogen supply chain network with three levels of producer, warehouse and customer. In order to deal with the combined uncertainty included in the model, they presented 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 investigating the sustainability in the supply chain of Iran Khodro Company using the hybrid simulation approach of discrete event based factors is presented. For this purpose, the factors identified in the supply chain and the behavior of each of them have been considered with the aim of designing a sustainable supply chain and creating a balance in 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, it is tried to take values for the decision variable in each iteration to ultimately lead to the optimization of the objective function. Therefore, the objective functions and constraints are defined according to the following equations in opt Quest software to perform the optimization.

4- Result

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%, Dana Group by 1.1%, and Peugeot Group by 8.9%. Also, the number of production of Peugeot products has increased by 33 thousand units per year, and there has been no significant change in the production of products of other groups. The 19-digit increase in the number of fleets led to an increase in the mileage of about 860,000 kilometers, and the traffic of vehicles for parts that need to be reworked due to quality problems also showed an increase of 5,750 kilometers. The increase in the fleet navigation shows that the parts produced by the suppliers and also the parts that need to be reworked in the simulation model of the current situation are waiting due to the lack of fleet. In terms of extracting the optimal/near-optimal point of ordering levels and the level of inventory maintenance, the objective function of minimizing the cost of maintaining parts and the cost of waiting for representatives to receive parts was considered. 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%, which will be a significant number to reduce the costs of the supply chain. This inventory reduction, if the number of the fleet increases to 223, will still provide the situation of sending parts from the warehouse on the same working day.

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, the supply chain was modeled and the aspects of sustainability were optimized. Another important point is that in previous researches, the economic aspect of the issue has been given more attention and less attention has been paid to the environmental dimensions and social effects of the issue. In this research, the simultaneous effect of economic, environmental and social factors on supply chain performance was measured.



10.71737/JPM.2025.312-3655



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؛ سید محمد سید حسینی^۳؛ نازنین پیله‌وری^۴

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 موردنیاز جهت تأیید اعتبارسنجی مدل صورت پذیرفت. پس از تأیید اعتبار مدل شبیه‌سازی ترکیبی، در گام اول جنبه‌های اقتصادی زنجیره تأمین مورد ارزیابی قرار گرفتند. 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 مسئول) Javad.iranban@iau.ac.ir

^۳ استاد گروه مهندسی صنایع - تولید صنعتی 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 تاکید بر کیفیت، انتخاب تأمین‌کننده، استراتژی عملیات مدیریت زنجیره 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 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 مشی ها و رویه های 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 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 زنجیره 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 تصمیمگیرنده های متعدد، ارزیابی تأثیرات محیطی و مزایای اجتماعی در یک زنجیره 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 تامین 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 ؛ زنجیره تأمین بصورت 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 زنجیره تأمین و مدل سازی لحاظ می گردد. تابع هدف مساله بگونه ای 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 مدل سازی زنجیره تأمین پایدار، از نرم افزار شبیه سازی AnyLogic 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 تاثیر 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 ارتقاء 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 مساله موردنظر 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 و بکارگیری 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 می‌دهد که تغییر وضعیت سناریو به طور قابل توجهی 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 مورد مطالعه قرار گرفته است. یک رویکرد بهینه‌سازی فازی استوار برای مقابله با عدم قطعیت‌ها 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 مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین پایدار و قابل اطمینان به صورت سه هدفه، چندمحصولی، چندسطحی، چندمنبعی، چندظرفیتی و چندمرحله‌ای در نظر گرفتند. آنها از روش محدودیت نرمال شده برای حل مسئله 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 در نظر گرفتن 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 شده است. مدل پیشنهادی برای تعیین مقدار بهینه محصولات و اجزاء در هر بخش شبکه، برای به حداقل رساندن 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. با توجه به بررسی‌های صورت پذیرفته در

مطالعات نظری و تجربی، شکاف تحقیقاتی مشاهده شده در حوزه ارائه مدل ریاضی جهت بهینه‌سازی زنجیره تأمین پایدار برای صنعت خودروسازی در شرایط عدم قطعیت میباشد که تاکنون پژوهشی براین اساس انجام نشده است. در جدول ۱، طبقه بندی ادبیات تحقیق نشان داده شده است.

جدول ۱- طبقه بندی ادبیات
Table 1- Classification of literature

رویکرد حل			منطق حل		روش حل					پایداری	ساختار زنجیره تأمین	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 و همکاران
			*				*	*		*	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 ارتقا عملکرد زنجیره تأمین مطرح است. در همین راستا استخراج نقاط بهینه با استفاده از نرم افزار بهینه‌سازی- شبیه‌سازی صورت می‌پذیرد.

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

(۱)

متغیرها و پارامترها:

هزینه انتظار مشتری جهت دریافت گروه محصول i ام	Cw_i
مجموع 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}
مجموع انتظار نمایندگان جهت دریافت قطعه i ام از گروه محصول j ام	w_{ij}
تعداد وسیله نقلیه	X_{ij}

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

متغیرها و پارامترها:

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

محدودیت‌ها :

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

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 مسئله 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 استهلاك 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 (استراکچر 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.

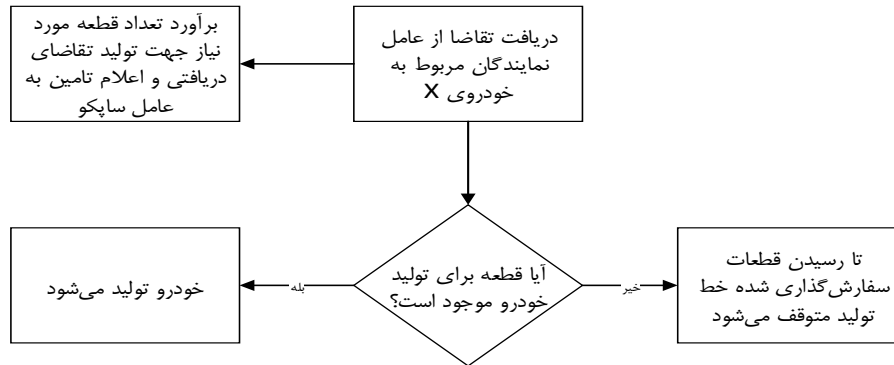
جدول ۳- عوامل تأمین کننده در زنجیره تأمین

Table 3- Supplier agents in the supply chain

شماره عامل تأمین کننده	موقعیت مکانی	قطعه تولیدی	ظرفیت روزانه
Supplier agent number	Location	production piece	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

200	assembled chair	صندلی مونتاژ شده	Hasan Khan	قلعه خان	10
1000	Raw cylinder	سیلندر خام	Qazvin	قزوین	11
800	cylinder raw	سیلندر خام	Abhar	ابه‌ر	12
400	raw cylinder	سیلندر خام	Ishtehard	اشتهارد	13
700	Raw cylinder	سیلندر خام	Takestan	تاکستان	14
600	raw cylinder	سیلندر خام	Mashhad	مشهد	15
400	raw cylinder	سیلندر خام	Tabriz	تبریز	16
300	raw cylinder	سیلندر خام	Saweh	ساوه	17
1000	machined cylinder	سیلندر ماشین‌کاری	Gaemshahr	قائم‌شهر	18
1200	machined cylinder	سیلندر ماشین‌کاری	Qazvin	قزوین	19
2200	machined cylinder	سیلندر ماشین‌کاری	Tehran	تهران	20
800	Battery	باتری	Isfahan	اصفهان	21
1400	battery	باتری	Tabriz	تبریز	22
2000	battery	باتری	Tehran	تهران	23

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 می گردد. عامل ایساکو دارای انباری جهت ذخیره سازی قطعات یدکی است که از منطق سفارش دهی (s, S) پیروی می نماید. بدین صورت که اگر موجودی قطعه مورد نظر کمتر از حد پایین s گردد، تا رسیدن موجودی به اندازه حد بالای S سفارش گذاری انجام می شود. ارسال برای عامل ایساکو به صورت مستقیم از عامل تأمین کنندگان و با هماهنگی حمل توسط عامل ایسیکو صورت می گیرد. تقاضای خودرو و قطعات یدکی مربوط به خدمات پس از فروش از سوی عامل نمایندگان به زنجیره تأمین وارد می شود. اطلاعات مربوط به تقاضای این عامل از داده های 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

D. Uniform a=3495 b=3824	تقاضای ماهانه باتری گروه پژو Peugeot Group's monthly battery demand
D. Uniform a=509 b=598	تقاضای ماهانه صندلی گروه سمند Samand Group's monthly seat demand
D. Uniform a=710 b=750	تقاضای ماهانه صندلی گروه دنا Monthly demand for Dena Group seats
D. Uniform a=1048 b=1147	تقاضای ماهانه صندلی گروه پژو Peugeot Group's monthly seat demand
D. Uniform a=424 b=498	تقاضای ماهانه سیلندر گروه سمند Samand group's monthly cylinder demand
D. Uniform a=592 b=625	تقاضای ماهانه سیلندر گروه دنا Dena group's monthly cylinder demand
D. Uniform a=873 b=956	تقاضای ماهانه سیلندر گروه پژو Peugeot group's monthly cylinder demand

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 عنوان Title			قطعات دارای مشکل کیفی در فرایند تولید Defective parts in the production process
Peugeot پژو	Dena دنا	Samand سمند	
باتری battery	۰۵٪	۰۴٪	۰۶٪
صندلی chair	۰۹٪	۱.۱٪	۰۸٪
سیلندر Cylinder	۰۴٪	۰۵٪	۰۹٪

عامل ایسیکو وظیفه برنامه ریزی حمل و نقل در زنجیره تأمین را بر عهده دارد. این عامل دارای ناوگان حمل و نقل به تعداد مشخصی است. درخواست های جابجایی از عامل های دیگر عبارت است از:

- از عامل تأمین کننده 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

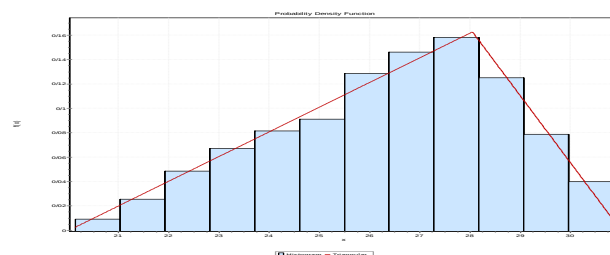
در این تحقیق از رویکرد شبیه‌سازی ترکیبی عامل بنیان گسسته پیشامد برای مدلسازی و برای بهینه‌سازی از روش فراابتکاری opt Quest استفاده شده است. opt Quest که برای حل مسائل بهینه‌سازی پیچیده استفاده می‌شود. عملیات بهینه‌سازی را بر اساس الگوریتم جستجوی تصادفی که از ترکیب سه الگوریتم جستجوی ممنوعه، جستجوی پراکندگی 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 مسئله، 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 به عنوان نقطه بهبودیافته تلقی می‌کند. سپس محدوده جستجو را بر اساس

نقطه بهبود یافته تغییر می‌دهد و این فرایند تکرار می‌شود تا به حالت هدف موردنظر دست یابد. به عنوان یکی از الگوریتم‌های بهینه‌سازی قابل اطمینان و مؤثر شناخته می‌شود و در حل مسائل پیچیده و محاسباتی استفاده می‌شود (ابوالقاسمیان و همکاران، ۲۰۱۸).

یافته‌ها

متناسب سازی توابع برازش شده سیستم

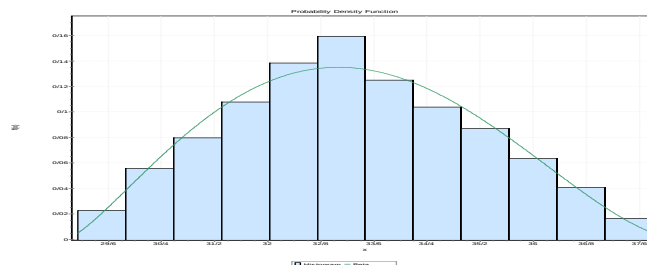
مشخصات خطوط تولیدی شرکت ایران خودرو مربوط به گروه محصولات ذکر شده در شکل‌های زیر ارائه شده است. به منظور استخراج تابع توزیع مربوط به سیکل زمانی تولید گروه محصولات، از داده‌های موجود در سیستم مربوطه به بازه زمانی ۳ ماهه برای ساخت مدل شبیه‌سازی در Any logic استفاده شده است.



شکل ۳- تابع توزیع تولید ساعتی گروه محصولات سمند

Figure 3- Hourly production distribution function of Samand products group

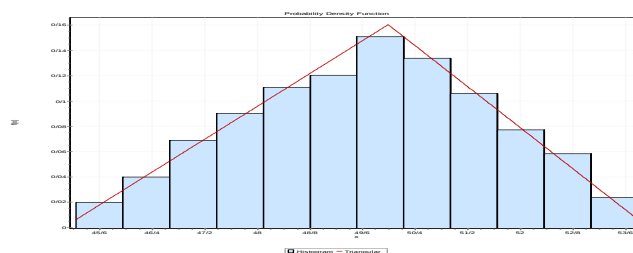
در هیستوگرام ترسیم شده در شکل ۳، تعداد تولید ساعتی گروه محصولات سمند نشان داده شده است، خطوط تولیدی این گروه محصول از تابع توزیع $\text{triangular}(20, 28, 31)$ پیروی می‌نمایند. در نمودار هیستوگرام شکل ۴، تعداد تولید ساعتی گروه محصولات دنا نشان داده شده است، خطوط تولیدی این گروه محصول از تابع توزیع beta با پارامترهای $\alpha_1=2/39$ ، $\alpha_2=2/7479$ و $b=38/229$ و $a=28/958$ پیروی می‌نمایند.



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 $\text{triangular}(45, 50, 53)$ 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

عنوان	مقدار واقعی	میانگین مدل شبیه سازی	اختلاف
Title	amount of reality	The average output of the simulation model	difference

تولید سالانه گروه سمند	212600	208287	2/2
Annual production of Samand			
تولید سالانه گروه دنا	240250	233726	2.7/2
Annual production of Dena			
تولید سالانه گروه پژو	352478	344463	2.2/2
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 و بنابراین اعتبار مدل شبیه‌سازی از منظر تعداد تولید سالانه گروه محصولات تایید 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)

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

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

6944	cost of waiting for representatives to receive Samand Group cylinders	هزینه انتظار نمایندگان جهت دریافت سیلندر گروه سمند
10416	cost of waiting for representatives to receive Dana group cylinders	هزینه انتظار نمایندگان جهت دریافت سیلندر گروه دنا
6944	cost of waiting for representatives to receive Peugeot group cylinders	هزینه انتظار نمایندگان جهت دریافت سیلندر گروه پژو

به‌منظور هدایت مسئله 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 وسایل نقلیه ۲۱۹ وسیله نقلیه به‌عنوان تعداد بهینه/ نزدیک بهینه انتخاب می‌شود. تعداد جدید ناوگان در مدل شبیه‌سازی وضعیت فعلی قرار داده می‌شود. در این‌صورت، 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	مقدار مدل شبیه‌سازی وضعیت فعلی	نتایج مدل شبیه‌سازی با تعداد ناوگان بهینه	درصد کاهش
Title	The value of the current state simulation model	The results of the simulation model with the optimal number of fleets	Percentage reduction
سمند Samand	1681	1613	4٪
دنا Dena	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 بهینه سازی مدل شبیه سازی برای تعیین اندازه سطوح سفارش ایساکو

میزان سطوح سفارش دهی و میزان انبارش از مهم ترین ویژگی های عامل ایساکو است که در این بخش نسبت به انجام فرایند بهینه سازی آنها اقدام می شود. برای بهینه سازی از رویکرد شبیه سازی - بهینه سازی و استفاده از الگوریتم های 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	حداقل موجودی	حداکثر موجودی
Title	Minimum inventory	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 بهینه سازی، تابع هدف، محدودیت ها و متغیرهای تصمیم در پکیج بهینه ساز opt Quest تنظیم شده اند. داده های مربوط به هزینه نگهداری قطعات در جدول ۱۱ ارائه شده است. هزینه نگهداری شامل خواب سرمایه و ۳۰ درصد به عنوان هزینه های سربار در نظر گرفته شده است که از داده های 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
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 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- بهینه‌سازی هزینه انتظار نمایندگان

Table 12- Optimization of agents waiting cost

عنوان Title	حداقل موجودی بهینه Optimized minimum inventory	حداکثر موجودی بهینه Optimized maximum inventory	حداکثر موجودی Maximum inventory- current	درصد کاهش موجودی انبار Percentage reduction in warehouse
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 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 زنجیره تأمین شرکت ایران‌خودرو پرداخته خواهد شد. انتشار گاز دی‌اکسیدکربن یکی از مهم‌ترین جنبه‌های زیست-محیطی زنجیره تأمین است. در این تحقیق نیز با توجه 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 سائیز 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 دی‌اکسید کربن 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	ظرفیت حمل و بارگیری وضعیت فعلی
Title	Carrying and loading capacity- current situation
ظرفیت حمل باتری محصولات مختلف	150
Battery carrying capacity of different product	
ظرفیت حمل صندلی محصولات مختلف	48
Carrying capacity of different product seats	
ظرفیت حمل سیلندر محصولات مختلف	100
Cylinder carrying capacity of different product	

سناریو ۱: تغییر سائیز 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 شبیه سازی مشخص گردید که تعداد نزدیک بهینه ناوگان در صورت افزایش ۵ درصدی ظرفیت حمل و بارگیری می تواند 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 جابه جایی قطعات از عامل تأمین کنندگان به عامل کارخانه و عامل ایساکو کاهش ۹,۲ درصدی (۱,۵۴۰ هزار کیلومتر) و مقدار پیمایش جهت جابجایی 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 دی اکسید کربن در زنجیره تأمین خواهد شد.

تأثیر بهینه سازی بر روی مؤلفه های اجتماعی

مؤلفه های اجتماعی یکی دیگر از جنبه های پایداری در زنجیره تأمین است که در این تحقیق، تأثیر آن بر روی عملکرد کل زنجیره تأمین ارزیابی شده است. در این تحقیق تأثیر مؤلفه های اجتماعی بر روی نرخ تولید گروه محصولات مختلف کارخانه و میزان تولید عامل تأمین کنندگان سنجیده خواهد شد. به منظور تعیین میزان تأثیر هر یک از مؤلفه های اجتماعی شناسایی شده بر افزایش تولید خطوط تولیدی عامل کارخانه، از روش دلفی فازی بهره گرفته می شود. با مصاحبه با خبرگان، مؤلفه های 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 سیستم های انگیزشی و کنترلی
- ایجاد ثبات شغلی
- برگزاری دوره های آموزشی جهت توانمندسازی پرسنل
- ایجاد امکانات رفاهی و تشویقی به منظور افزایش انگیزه شغلی

در خصوص تأثیر بعد اجتماعی بر عامل تأمین‌کنندگان، مولفه‌های 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^۱ به شرح جدول زیر توسط خبرگان تدوین شده است.

جدول ۱۴- طیف فازی ۳ نقطه‌ای 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)

¹ Triangular Fuzzy numbers for five-point scale

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

عدد دی‌فازی number Diphasis	میانگین فازی بعد اجتماعی Fuzzy average of Social dimension	مؤلفه اجتماعی Social dimension
.037	(0.005, 0.033, 0.073)	سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی (OHSAS) Occupational Health and Safety Management System
.092	(0.049, 0.094, 0.131)	کاهش غیبت نیروی انسانی با سیستم‌های انگیزشی و کنترلی Reducing the absence of manpower with incentive and control systems
.067	(0.018, 0.073, 0.11)	ایجاد ثبات شغلی Creating job stability
.070	(0.026, 0.066, 0.116)	برگزاری دوره‌های آموزشی جهت توانمندسازی پرسنل Holding training courses to empower personnel
.072	(0.024, 0.072, 0.119)	ایجاد امکانات رفاهی به منظور افزایش انگیزه شغلی Creating comfort facilities in order to increase job

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	میانگین فازی بعد اجتماعی	مولفه اجتماعی
number	Fuzzy average of	Social dimension
Diphasis	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 تامین Use of welfare services for supply

باتوجه به محدودیت منابع، دو آیتم اجتماعی دارای بالاترین تاثیر 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 شبیه‌سازی وضعیت فعلی زنجیره 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 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. 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 بهینه‌سازی و استفاده 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 زنجیره تأمین خودروسازی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن است. یکی از مهم‌ترین عوامل‌های 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 ساینز 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 زنجیره 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 مولفه‌های 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 مولفه 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 مولفه 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 مولفه‌های 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 مولفه‌های اجتماعی مشخص شد. در خصوص تأثیر مولفه‌های اجتماعی شناسایی شده بر نرخ تولید عامل کارخانه، بیشترین تأثیر مولفه کاهش غیبت نیروی انسانی با سیستم‌های انگیزشی و کنترلی شناسایی شد. در رتبه بعدی مولفه ایجاد امکانات رفاهی و تشویقی به منظور افزایش انگیزه شغلی تعیین شد. در خصوص مولفه‌های 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 ایران خودرو 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 تأمین کنندگان بیشتر مورد توجه قرار گیرد. تمرکز بر زنجیره تأمین حلقه بسته به منظور کاهش هزینه‌های دوباره کاری، تعمیرات و ضایعات مربوط به قطعات بسیار کاربردی و ضروری است.

یکی از محدودیت‌های عمده تحقیق در ارتباط با حجم و تنوع داده‌های تحقیق بود. تعداد قطعات موجود در یک خودرو بیش از ده هزار قطعه است و تأمین کنندگان متعددی در رده‌های 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 می‌باشد که بر عدم امکان استخراج داده‌های واقعی تأثیر گذار است.

از آنجا که در تحقیق حاضر از رویکرد شبیه‌سازی ترکیبی عامل بنیان گسسته پیشامد در صنعت خودرو مورد استفاده قرار گرفت پیشنهاد می‌شود که از این مدل در سایر صنایع دیگر نیز مورد استفاده قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود محدودیت‌های سفارش‌گذاری 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]. 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. **DOI: 20.1001.1.17358272.2022.14.3.2.1**
- Bondy J.A, Murty, U. S. R. "Graph Theory with Applications," American Elsevier, New York, 1976.
- 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, 100040. [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, 102279. **doi: org/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), 10645. **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, 131604. **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). **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*.
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**