



# Optimization Model of Portable Cross-Dock Genetic and Grey Wolf Algorithm

Nasim Abdoli <sup>a</sup>, Hasan Rasay <sup>b\*</sup>

<sup>a</sup> Department of Industrial Engineering, Islamic Azad University Tehran North Branch, Tehran, Iran

<sup>b</sup> Assistant Professor of Industrial Engineering, Kermanshah University of Technology, Kermanshah, Iran

## Original Article

Use your device to scan and read the article online



**Citation:** Abdoli N, Rasay H. Optimization model of portable cross-dock genetic and Grey Wolf algorithm. *Industrial Innovations*. 2023; 1(1)1-20.

 <https://doi.org/10.52547/JII.1.1.1>

## KEYWORDS

Portable for cross-dock,  
Genetic Algorithm,  
Grey Wolf Optimizer.

## ABSTRACT

Warehousing using cross-docking is a well-known approach to distribute the products and decrease the costs of inventories and logistics in supply chain. In a cross-docking system, the goods are delivered from the delivery loader and moved directly to the shipping loader without storage in the warehouse or distribution center. The use of this system reduces manpower costs, inventory, as well as increasing customer response speed and better control of distribution operations. In this research, the plan of portable cross warehouse along with the use of fixed cross warehouse are taken into consideration in order to reduce the costs of constructing a cross docking system. Therefore, by presenting a mathematical model, it has been tried to determine the appropriate place to send and establish a portable and fixed cross warehouse, as well as planning to determine which type of warehouse to be used in each location. Due to the uncertainty of the amount of demand for goods to be transferred between the pickup and Delivery points, the fuzzy programming method has been used. Genetic and Gray Wolf algorithms have been used to solve the proposed model. To validate the performance of these evolutionary algorithms, for small-scale problems, it is used the solvers of GAMS software. The results of optimization show that the grey wolf algorithm provides better performance from the aspect of running time and the value of objective function. The number of products sent to the portable cross dock is one of the main results of the proposed approach.

## Extended Abstract

### 1. Purpose

In this research, a new form of portable cross-dock is proposed to minimize the construction cost, labor cost, and delivery time, and, therefore, these minimize the transportation costs. Since the location of cross-docks can be different regarding the geographical location of the producer and customer, and the type of cross-dock (fixed or portable) can affect the cost, the objective is here to select the right type and location of cross-docks in a supply chain to minimize the total operational cost. As the exact solution of the proposed model is complex for large-size problems, we used the Genetic Algorithm and Grey Wolf Algorithm to find near-optimal solutions. Besides, fuzzy programming has been used to address the uncertainty in the demand quantity.

### 2. Design/methodology/approach

This paper presents a MILP (Mixed Integer Linear Programming) location-allocation model for locating portable cross-docks that can: 1) determine the location of the cross-docks and identify which one is used at each location, 2) optimize the

\* Corresponding author.

E-mail address: [h.rasay@kut.ic.ir](mailto:h.rasay@kut.ic.ir)

DOI: <https://doi.org/10.52547/JII.1.1.1>

Received: July 23,2022; Received in revised form: October 22, 2022; Accepted: December 19, 2022

Article Type: Research Paper

©Author



location-allocation model in which the operational cost at the center, the establishment cost of the cross-dock, and additional capacity constraints at the portable cross-docks are considered. Also, the transportation cost between the demand and delivery points at different time intervals are considered, 3) provide an allocation-based optimization in which multiple portable and fixed cross-docks are considered, where the capacity for each portable cross-dock and the working time of each vehicle at the receiving and loading phases (at most 24 hours) are restricted, and the transportation cost for each vehicle is considered, and 4) use fuzzy method to address the uncertainty in the demand quantity.

### 3. Findings

In research about locating portable cross-docks for a supply chain network, Mousavi et al. (2019) used a mathematical model under uncertainty conditions to determine intuitive fuzzy sets with interval values to reduce the logistic cost of the cross-dock. However, they did not consider any constraint on the warehouses' capacity and simultaneous inclusion of portable and fixed cross-docks. The proposed possibilistic-stochastic fuzzy model is for a location problem with multiple cross-docks, including a movement function for the portable cross-dock. We assessed the objective functions and the results showed that the inclusion of the portable cross-dock reduces the cost compared to proposed model by Mousavi et al. (2019). Moreover, the Grey Wolf Algorithm has shown better quality than the Genetic Algorithm and solved the problems in a shorter time.

### 4. Research limitations/implications

The simultaneous consideration of fixed and portable cross-docks and the problem of which type of these cross-docks should be used at each location have not been addressed and are considered in this research for the first time. The following subjects can be considered for future research:

- To speed up the delivery process and complete elimination of fixed cross-docks, future models can consider only portable cross-docks.
- The problem of capacitated portable cross-docks can be solved by adding to the number of portable cross-docks.
- It is suggested that the proposed fuzzy possibilistic–stochastic solution approach can be hybridized with the robust optimization theory associated with highly complex and uncertain conditions.

### 5. Practical implications

This research has focused on a new form of cross-docks that are portable and can be made by prefabricated houses factories. These portable cross-docks are similar to the fixed ones except that they have movement possibilities. Since this new plan has no counterpart in the logistics industry, it was not possible to carry out a comparison study, but it can be used in the distribution sector of pharmaceutical industries and perishable goods or relief operations at emergency times.

### 6. Originality/value

Since long-term planning on the location of the cross-docks at different periods has a considerable effect on the distribution networks of logistic companies, the proposed model seeks to minimizing two types of associated costs: first in the establishment cost of cross-docks and second in the transportation costs of moving multi-product units of suppliers (receive nodes) to the center of docks and from the centers to the retailers (delivery nodes). All demands should be satisfied using the sufficient inventory of each product. Moreover, some constraints exist for the capacity of each dock center at each period.



## مدل بهینه‌سازی بارانداز عبوری قابل حمل بر اساس الگوریتم‌های بهینه‌ساز گرگ خاکستری و ژنتیک

نسیم عبدلی<sup>الف</sup>، حسن رسایی<sup>ب\*</sup>

<sup>الف</sup> کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران، [nasim.abdoli.ise@gmail.com](mailto:nasim.abdoli.ise@gmail.com)

<sup>ب</sup> استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران، [h.rasay@kut.ac.ir](mailto:h.rasay@kut.ac.ir)

واژگان کلیدی	چکیده
بارانداز عبوری، الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی، الگوریتم گرگ خاکستری.	در سیستم بارانداز عبوری، کالا از باربری دریافت شده و بدون ذخیره در انبار یا مرکز توزیع مستقیم به ناوگان حمل و نقل منتقل می‌شود. استفاده از این سیستم باعث کاهش هزینه‌های نیروی انسانی، موجودی و همچنین افزایش سرعت پاسخگویی به مشتریان و کنترل بهتر عملیات توزیع می‌شود. در این تحقیق به منظور کاهش هزینه‌های ساخت بارانداز عبوری، طرح بارانداز عبوری قابل حمل همراه در کنار بارانداز عبوری ثابت پیشنهاد شده است. سعی شده است تا با ارائه یک مدل ریاضی تصادفی، مکان بهینه برای ایجاد بارانداز عبوری قابل حمل و ثابت مشخص گردد و با برنامه‌ریزی برای تعیین نوع انبار مورد استفاده در هر مکان، هزینه‌های حمل و نقل به حداقل برسد. به دلیل عدم قطعیت در مورد میزان تقاضای کالاهایی که باید بین نقاط دریافت و تحویل منتقل شوند و برای به حداقل رساندن آن، از روش برنامه‌نویسی فازی استفاده شده است. برای حل مدل پیشنهادی از الگوریتم‌های ژنتیک و بهینه‌ساز گرگ خاکستری استفاده شده است. میزان ارسال محصولات به بارانداز عبوری قابل حمل یکی از دستاوردهای اصلی این تحقیق است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۱	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۷/۳۰	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۸	

### ۱- مقدمه

انبارداری با استفاده از بارانداز عبوری یک استراتژی لجستیکی است که اولین بار در صنعت حمل و نقل ایالات متحده در دهه ۱۹۳۰ مورد استفاده قرار گرفت. این استراتژی به عنوان یکی از اساسی‌ترین روش‌های توزیع و یک روش مفید برای کاهش موجودی و افزایش رضایت مشتری در زنجیره تأمین شناخته می‌شود. با استفاده از بارانداز عبوری، محصولات پراکنده در مکان‌های مختلف شبکه قبل از ارسال به مقصد در یک انبار جمع‌آوری می‌شوند. محصولات مختلف این مرکز بر اساس مقصد ارسال شده طبقه‌بندی و دسته‌بندی می‌شوند و سپس محصولاتی که مقصد یکسانی دارند با یکدیگر ادغام شده و در اسرع وقت، بدون اینکه به مدت طولانی ذخیره شوند، به مقصد ارسال می‌شوند. در این نوع انبارها برخلاف انبارهای سنتی، ذخیره کالا تا حد امکان کاهش می‌یابد و کلیه محموله‌ها ظرف ۲۴ ساعت از انبار خارج می‌شوند. هدف اصلی این انبارها جمع‌آوری تعداد زیادی محموله کوچک بین چندین فرستنده و گیرنده است [۱]. طبق تحقیقات انجام شده توسط ون بل<sup>۱</sup> و همکاران [۲] در زمینه بارانداز عبوری، طبقه‌بندی مسائل زمان‌بندی کامیون به سه بخش ویژگی‌های فیزیکی، عملیاتی و جریان تقسیم

<sup>۱</sup> Van belle

می‌شوند؛ اما آن<sup>۲</sup> [۳] در مقاله اخیر خود به این موضوع اشاره کرده است که این طبقه بندی بسیار غیر متداول است و تقسیم کلاسیک سطوح عملیاتی استراتژیک و تاکتیکی را پیشنهاد می‌کند. از سال ۲۰۰۲، تمرکز مقالات بارانداز عبوری بر روی دو سطح دیگر بوده است، اما از آنجا که تصمیمات در مقیاس بلندمدت استراتژیک در عملیات بارانداز عبوری از اهمیت زیادی برخوردار است، تمرکز این تحقیق بر تصمیمات اولیه‌ای خواهد بود که در مورد ویژگی‌های فیزیکی این سیستم در درازمدت گرفته خواهد شد.

تاکنون مطالعات زیادی در بخش استراتژیک در سه بخش شکل، تعداد درها و حمل و نقل داخلی جهت کاهش هزینه نیروی انسانی، هزینه نیروی کار و حمل و نقل انجام شده است. در سال ۲۰۰۳ جان جی بارتولد<sup>۳</sup> [۴] به دنبال یافتن بهترین اشکال بارانداز عبوری متداول و اشکال غیر متداول آن بود. وی دریافت که پاسخ این مسئله بستگی به اندازه تسهیلات و الگوی جریان بار در داخل انبارها دارد. وی همچنین نشان داد که بسیاری از نقاط ضعف عملکرد بارانداز عبوری به دلیل طراحی ضعیف در این زمینه است که باعث افزایش هزینه‌های نیروی انسانی می‌گردد. در این مطالعه ما به دنبال یافتن جواب دو سؤال هستیم: ۱. آیا بهترین شکل انبار ارائه شده است؟ ۲. برای کاهش هزینه کل عملیات بایستی از کدام نوع بارانداز و در چه مکانی استفاده شود؟

در این مطالعه، شکل جدیدی از بارانداز عبوری ارائه شده است که به دنبال کاهش هزینه‌های ساخت، هزینه نیروی انسانی و کاهش زمان ارسال و در نتیجه کاهش هزینه حمل و نقل است. انبار قابل حمل، انباری است که می‌تواند توسط شرکت‌هایی که خانه‌های پیش‌ساخته و قابل حمل را می‌سازند، تولید شود. به گونه‌ای که در مدت زمان کوتاهی، چندین کانتینر قابل حمل مستطیلی به طور خودکار به فضایی کاملاً قابل استفاده برای انبار تبدیل می‌شود که فقط نیازمند زمین مسطح است و می‌توان واحدها را مطابق با استاندارد جهت ایجاد فضای بیشتر سر هم کرد. هزینه ساخت این مدل از انبار قابل حمل در مقایسه با هزینه‌های خرید، ساخت و تجهیز یک بارانداز عبوری ثابت بسیار ناچیز است. از آنجایی که یافتن مکان مناسب بین مشتری و تولیدکننده با توجه به موقعیت جغرافیایی تولیدکننده و مشتری متفاوت خواهد بود و تصمیم‌گیری در مورد استفاده از بارانداز عبوری قابل حمل یا ثابت باعث ایجاد تفاوت در هزینه می‌گردد، هدف اصلی این مطالعه تمرکز بر ایجاد نوع مناسب انبار در مکان مناسب، به منظور به حداقل رساندن هزینه عملیاتی کل زنجیره تأمین است که شامل هزینه‌های ساخت انبارها و هزینه‌های حمل و نقل می‌شود. از آنجا که مدل این مسئله یکی از آن دست مسائلی است که با افزایش اندازه مسئله، دستیابی به پاسخ دقیق مشکل خواهد بود، بنابراین بایستی از روش‌هایی که بتواند در زمان قابل قبولی به پاسخ‌های بهینه یا نزدیک به بهینه دسترسی پیدا کند، استفاده نمود. روش‌های فرا ابتکاری مدت‌هاست که توسط محققان استفاده می‌شود که نشان می‌دهد با تعریف صحیح مسئله در قالب یک روش فرا ابتکاری موجود، می‌توان پاسخ‌های مناسب را با زمان‌های قابل قبول به دست آورد؛ بنابراین، از الگوریتم ژنتیک و الگوریتم گرگ خاکستری برای یافتن راه‌حل‌های نزدیک به بهینه برای این مسئله استفاده خواهد شد. در قسمت دوم، ادبیات موضوعی تحقیق بیان شده است. در قسمت سوم، شکل جدید بارانداز و مقایسه آن با شکل فعلی توضیح داده شده است. در قسمت بعدی، مسئله تحقیق شرح داده شده است. در بخش چهارم، پیاده‌سازی مدل و راه‌حل آن بیان شده است و در نهایت در قسمت آخر، نتایج به دست آمده ذکر شده است.

## ۲- مروری بر ادبیات

این مقاله برای رفع شکاف موجود در ادبیات، یک مدل مکان‌یابی تخصیص طراحی کرده و پس از فرموله کردن، آن را با مسائل برنامه ریزی مکان مرکز بارانداز در شبکه‌های توزیع ادغام کرده است. همچنین این تحقیق، به منظور کاهش هزینه عملیاتی کل، روش جدیدی به نام بارانداز عبوری همراه معرفی می‌کند و با توجه به استفاده از این نوع انبار در کنار بارانداز عبوری ثابت، راه‌حل جدیدی را معرفی می‌کند که دارای شایستگی‌ها و مزایای رویکردهای توسعه یافته است. با استفاده از روش پیشنهادی، هزینه حمل کالا از تأمین‌کننده به مرکز بارانداز و از مرکز بارانداز به مشتری و در نتیجه هزینه کل به حداقل می‌رسد. مدل پیشنهادی با استفاده از دو الگوریتم ژنتیک و گرگ خاکستری و همچنین از طریق برنامه‌نویسی فازی و در

<sup>2</sup> Anne

<sup>3</sup> John J. Bartholdi

چارچوبی مؤثر برای رفع عدم قطعیت در میزان تقاضا از زمان دریافت تا تحویل حل شده است.

در باراندازهای عبوری که انبار بر روی تریلر ساخته شود و در اطراف آن تعدادی درب ورودی و خروجی برای بارگیری و تخلیه کالا وجود داشته باشد. این انبار قابلیت باز و بسته شدن و همچنین قابلیت حمل را دارد که باعث می‌شود هنگام حمل و نقل، فضای بسیار کوچکی برای حمل و نقل در جاده داشته باشد و از طرفی فضای بسیار بزرگی را برای توزیع کالا در هر مکانی ایجاد می‌کند.

موسوی و همکاران در سال ۲۰۱۹ در تحقیقی با موضوع انتخاب مکان مراکز بارانداز عبوری برای طراحی شبکه لجستیک، سعی کردند با ارائه یک مدل ریاضی تحت شرایط عدم قطعیت مجموعه‌های فازی شهودی با ارزش بازه‌ای با کاهش هزینه های لجستیکی مکان بارانداز عبوری را مشخص نمایند [۲۵]؛ اما در این تحقیق موضوع محدودسازی ظرفیت انبارها و توجه هم‌زمان به بارانداز عبوری ثابت و متحرک مورد توجه قرار نگرفته است.

در مجموع، این مقاله یک مدل مکان‌یابی-تخصیص MILP را برای مسئله مکان‌یابی بارانداز عبوری معرفی می‌کند که قادر است: ۱- محل بارانداز عبوری ثابت و متحرک را تعیین نموده و مشخص کند که در چه موقعیتی از نوع ثابت یا متحرک استفاده شود. ۲- مدل مکان‌یابی تخصیص که در آن هزینه‌های عملیاتی در مرکز بارانداز، هزینه ساخت بارانداز عبوری ثابت و محدودیت‌های ظرفیت بیشتر در بارانداز عبوری ثابت نسبت به بارانداز عبوری همراه را بهینه‌سازی کند. همچنین هزینه‌های عملیاتی، حمل و نقل کالا بین نقاط تقاضا و نقاط تحویل در بازه‌های زمانی مختلف در نظر گرفته شده است. ۳- بهینه‌سازی مبتنی بر تخصیص را که در آن چندین مرکز بارانداز متحرک و ثابت، به وسیله محدود کردن ظرفیت کالا برای هر بارانداز عبوری همراه و همچنین زمان کار هر وسیله نقلیه در مراحل دریافت و تحویل (کمتر از ۲۴ ساعت) و در نظر گرفتن هزینه حمل و نقل برای هر وسیله نقلیه، ارائه می‌دهد. ۴- به جهت کاهش دادن عدم قطعیت در میزان تقاضا، از روش فازی برای بهینه‌سازی مدل استفاده نموده است. در جدول ۱ مقایسه‌ای بین مقاله حاضر و آثار موجود در ادبیات صورت گرفته است.

از بررسی مقالات مشخص می‌شود توجه هم‌زمان به بارانداز عبوری ثابت و متحرک در مقالات قبلی مورد توجه قرار نگرفته است. همچنین این موضوع که در هر موقعیتی باید از کدام نوع (انبار ثابت یا متحرک) استفاده نمود نیز مورد بررسی محققین مختلف نبوده است. لذا با توجه به اهمیت هم‌زمان به کارگیری انبارهای ثابت و متحرک در موضوعات لجستیکی در این تحقیق به این موضوع توجه گردید و مدل ریاضی در این خصوص ارائه شد.

جدول ۱ مروری بر ادبیات

نویسندگان	شماره مرجع	سال	نوع مدل	تابع هدف	راه حل	عدم قطعیت RO/SP/FS/DE	بنچره زمانی	بارگیری مستقیم	وسایل نقلیه متغیر	دوره تکی / چند زمانه	منفرد CD	شبکه CD	تکی / چند محصولی
رأس و جایارامان	[۵]	۲۰۰۸	MIP دو فاز	کمینه‌سازی (هزینه ثابت+ هزینه حمل و نقل+ هزینه توزیع)	SA با جستجوی TABU							•	M
عیسی گونزالس- فلیو	[۶]	۲۰۱۲	MIP	کمینه‌سازی (هزینه عملیاتی + فعال‌سازی ماهواره + هزینه حمل و نقل)	NE-LRP							•	
موسوی و همکاران	[۷]	۲۰۱۲	MIP دو فاز	کمینه‌سازی (تعداد بارانداز عبوری + هزینه سفر + هزینه عملیاتی)	برنامه‌ریزی فازی	FS		•				•	S
موسوی و همکاران	[۸]	۲۰۱۳	ZOP	کمینه‌سازی (هزینه ثابت + هزینه عملیاتی + هزینه حمل و نقل)	HAS, SA, TS				•			•	S
موسوی، توکلی مقدم	[۹]	۲۰۱۳	MIP دو مرحله‌ای	کمینه‌سازی (هزینه ثابت + هزینه جابه‌جایی محصول + هزینه حمل و نقل + هزینه جریمه برای تحویل زودهنگام و یا با تأخیر)	HSA							•	
ونشی و همکاران	[۱۰]	۲۰۱۳	مدل شبیه‌سازی	کمینه‌سازی (هزینه عملیاتی)	RSM, LHS راه‌اندازی خودکار	RO							
موسوی و همکاران	[۱۱]	۲۰۱۴	MILP دو فاز	کمینه‌سازی (هزینه ثابت + هزینه عملیاتی + هزینه جریمه + هزینه حمل و نقل)	FPSP ترکیبی	FS						•	
سید حسینی و همکاران	[۱۲]	۲۰۱۵	MIP	کمینه‌سازی (کل هزینه حمل و نقل+ هزینه عملیاتی)	نظریه صف							•	
مختاری نژاد و همکاران	[۱۳]	۲۰۱۵	MIP	کمینه‌سازی (هزینه سفر + زمان سفر)	GA و روش‌های مبتنی بر یادگیری ماشین			•				•	
موسوی و وحدانی	[۱۴]	۲۰۱۶	IFHGDM	پیدا کردن نقاط ایدئال برای ارزیابی و رتبه‌بندی مناسب‌ترین بارانداز عبوری	کوپراس و تاپسیس	FS						•	

گودرزی و زهگردی	[۱۵]	۲۰۱۶	MINLP	کمینه‌سازی (هزینه‌های ارسال + ثابت + متغیر + مسیریابی + عملیاتی)	BBO			•	•
موسوی و وحدانی	[۱۶]	۲۰۱۷	MILP	کمینه‌سازی (هزینه نگهداری + هزینه حمل و نقل)	SAICA	RO		•	•
مکنون و همکاران	[۱۷]	۲۰۱۷	MIP	کمینه‌سازی (هزینه مسیره‌های وسایل نقلیه)	الگوریتم جستجوی همسایگی بزرگ انطباقی			•	•
سلیمانی و همکاران	[۱۸]	۲۰۱۷	MILP	کمینه‌سازی (هزینه عملیاتی + شرایط تعادل بین تقاضا و ظرفیت)	GA				M
بهنامیان و همکاران	[۱۹]	۲۰۱۸	MILP	کمینه‌سازی (هزینه حمل و نقل + زمان اتمام آخرین کار + مجموع وزن‌دهی شده کل زمان تکمیل)	الگوریتم‌های ترکیبی GA, SA, DE				• S
رفیعی مجد و همکاران	[۲۰]	۲۰۱۸	MINLP	کمینه‌سازی (هزینه عملیاتی + هزینه افتتاح بارانداز عبوری + هزینه سوخت + هزینه راننده + هزینه راه‌اندازی و دریافت سفارش‌ها از توزیع‌کننده و ایمنی نگهداری محصولات در بارانداز و ارسال از تأمین‌کننده به مراکز توزیع)	آزادسازی لاگرانژ			•	• M
بنی آمریان و همکاران	[۲۱]	۲۰۱۸	MILP	بیشینه‌سازی (سود کل)	ترکیب (GA+MVNS), SA/ABC			•	• S
ماکسیم دوبلنتس	[۲۲]	۲۰۱۸	TSPCDF	کمینه‌سازی (کل هزینه جابجایی کامیون + کل هزینه انتظار کامیون + کل هزینه تأخیر در حرکت کامیون)	الگوریتم تکاملی دیپلوئید				
بارسینگ پراشانت	[۲۳]	۲۰۱۸	MILP	کمینه‌سازی (زمان حمل و نقل + هزینه عملیاتی)	SNA				•
چن و ژان	[۲۴]	۲۰۱۸	MIP	کمینه‌سازی (هزینه حمل و نقل + هزینه عملیاتی + هزینه انتشار کربن)	PSO			•	• M
موسوی و همکاران	[۲۵]	۲۰۱۹	IVIF- MCGDM	انتخاب مکان مراکز بارانداز عبوری برای طراحی شبکه لجستیک.	مجموعه‌های فازی شهودی با ارزش بازه‌ای	FS			
یان سون و همکاران	[۲۶]	۲۰۱۹	FMINLP	کمینه‌سازی (هزینه عملیاتی + جریمه دیرکرد یا زودکرد)	Branch-and-Bound	FS		•	•
میهرماه اوزمن وامل ایدوغان	[۲۷]	۲۰۲۰	LP	مکان‌یابی مرکز لجستیک	BWM- EDAS	RO			
سپهان یویانیک و همکاران	[۲۸]	۲۰۲۰	MP	مکان‌یابی خدمات لجستیک	MCMD DEMATEL/TOPSIS	FS			•

فاطمه دلفانی و همکاران	[۲۹]	۲۰۲۰	MILP	کمینه‌سازی (هزینه‌های عملیاتی + ریسک ارسال زباله‌های خطرناک + سایت ساکنین نزدیک به تأسیسات)	RPP, BPCCP	RO	•		
شهرزاد شاهپوری و همکاران	[۳۰]	۲۰۲۰	MIQCP	مکان‌یابی برای ایجاد بارانداز مرکزی در جهت توزیع باربری شهری	GIS- MCMD VIKOR				•
دمی‌تری موراوو و همکاران	[۳۱]	۲۰۲۰	MP	تعیین مکان بهینه برای مکان‌های لجستیک بین‌المللی	MCMD DEMATEL-MAIRCA	FS		•	• M
آصفه حسنی گودرزی و همکاران	[۳۲]	۲۰۲۱	MINLP	کمینه‌سازی (هزینه حمل و نقل + هزینه‌های ثابت + هزینه جریمه مورد انتظار)	GAMS/CPLEX				•
رضا شهبابی شاه میری و همکاران	[۳۳]	۲۰۲۱	MILP	کمینه‌سازی (هزینه‌های توزیع + تسریع زمان توزیع + حداکثر کردن نرخ آزادسازی شبکه بارانداز)	AUGMECON2-VIKOR		•	•	• M
علی مهدی نژادروشن و همکاران	[۳۴]	۲۰۲۱	HRC	کمینه‌سازی (هزینه‌های عملیاتی + هزینه کل موجودی استفاده‌نشده + هزینه حمل و نقل + حداکثر زمان سفر) + حداکثر رساندن سطح انعطاف‌پذیری تأسیسات	Hybrid of fuzzy DEMATEL-ANP	FS			
آصفه حسنی گودرزی و همکاران	[۳۵]	۲۰۲۲	MINLP	کمینه‌سازی (هزینه عملیاتی + هزینه سفر + متوسط هزینه در صف انتظار)	GA			•	• M
مقاله حاضر			MILP	کمینه‌سازی (هزینه حمل و نقل + هزینه‌های ثابت + هزینه‌های عملیاتی در مرکز بارانداز + زمان سفر)	GA & GWO			•	•

### ۳- شرح مسئله

امروزه بارانداز عبوری به دلیل عملکرد خوبی که در بخش های صنایع خرده فروشی و توزیع و صنعت حمل و نقل LTL داشته است، به طور گسترده ای مورد استقبال قرار گرفته اند. طبق گزارش کد<sup>۴</sup> در سال ۲۰۰۳ در ایالات متحده و کانادا بیشتر از ۱۰۰۰۰ بارانداز عبوری استفاده شده است که قاعدتاً تاکنون این عدد افزایش قابل چشمگیری نسبت به قبل داشته است. خرید یا اجاره بارانداز عبوری توسط بنگاه هایی انجام می شود که هیچ گونه تخصصی فنی در ارتباط با این موضوع ندارند و این امر سبب می شود که مکان و تسهیلات بدون در نظر گرفتن نکات مهمی مانند سهولت ورود و خروج تأسیسات، ساختار پارکینگ و کدهای ساختمان و معیارهای عملکرد داخلی مانند هزینه حمل و نقل یا ازدحام و ... انتخاب گردند که پیامد آن افزایش هزینه های نیروی انسانی و حمل و نقل خواهد بود. در شکل ۱ نمونه ای از این انبارها نشان داده شده است.



شکل ۱ نمونه ای از بارانداز عبوری

لذا این تحقیق بر روی طرح جدیدی از سیستم بارانداز عبوری تمرکز دارد که قابل حمل می باشد. این کانتینرها توسط شرکت های خدمات بارانداز عبوری قابل حمل و یا کارخانجات ساخت خانه های پیش ساخته تولید می شوند. همان طور که در شکل ۲ مشخص است، تولیدکنندگان با توجه به نیاز خود، سفارش خود را به این شرکت ها اعلام می کنند و این شرکت ها با توجه به محصولات تولیدکنندگان مختلف، انباری منطبق بر نیاز آن ها می سازند. بارانداز عبوری قابل حمل همانند بارانداز عبوری ثابت روشی در لجستیک است که نقاط مختلف و پراکنده در یک شبکه حمل و نقل را یکپارچه سازی می کند و دارای چند بارانداز دریافت و چندین بارانداز ارسال است که در آن کالاها توسط کامیون ورودی با زمان بندی مشخص شده، وارد بارانداز دریافت می شود؛ سپس کالاهای طبقه بندی شده در بارانداز حمل در کامیون خروجی بارگذاری می شوند و به مقصد مورد نظر ارسال می گردند. این کانتینرها قبل از رسیدن کامیون های حمل محصولات از طرف تولیدکنندگان مختلف، در محل مورد نظری که از قبل برنامه ریزی شده است، ارسال می گردند و بعد از استقرار در محل مورد نظر، ظرف مدت کوتاهی تغییر شکل می دهند و مورد استفاده قرار می گیرند.

از آنجا که برنامه ریزی های بلندمدت در خصوص تصمیم گیری اینکه مرکز باراندازها در دوره های زمانی مختلف در کجا واقع شوند

<sup>4</sup> Code

<sup>5</sup> Robert Lewis Callum

<sup>6</sup> David Charles Mondul

تأثیر چشمگیری بر شبکه‌های توزیع شرکت‌های لجستیکی دارد، لذا هدف مدل ارائه‌شده به دنبال کاهش دو نوع هزینه است که اولین آن‌ها، هزینه‌های احداث بارانداز عبوری ثابت و دومین، هزینه‌های حمل و نقل برای انتقال واحدهای چند محصوله از تأمین‌کنندگان (گره‌های دریافت) به مرکز باراندازها و از مرکز باراندازها به خرده‌فروشان (گره‌های تحویل) هستند. کلیه تقاضاها با موجودی کافی هر محصول پوشش داده می‌شود. علاوه بر این، محدودیت‌هایی برای ظرفیت مرکز باراندازها در هر دوره وجود دارد. لذا می‌توان گفت محدودیت‌های (۱۲) و (۱۳) در توسعه مدل به کار رفته است.

### ۳-۱- مدل FPSP پیشنهادی برای شبکه‌های توزیع بارانداز عبوری

در این بخش، نمادهایی برای فرموله‌کردن مدل پیشنهادی MILP احتمالی- تصادفی فازی در مسئله مکان‌یابی با چندین مرکز بارانداز ارائه شده است.

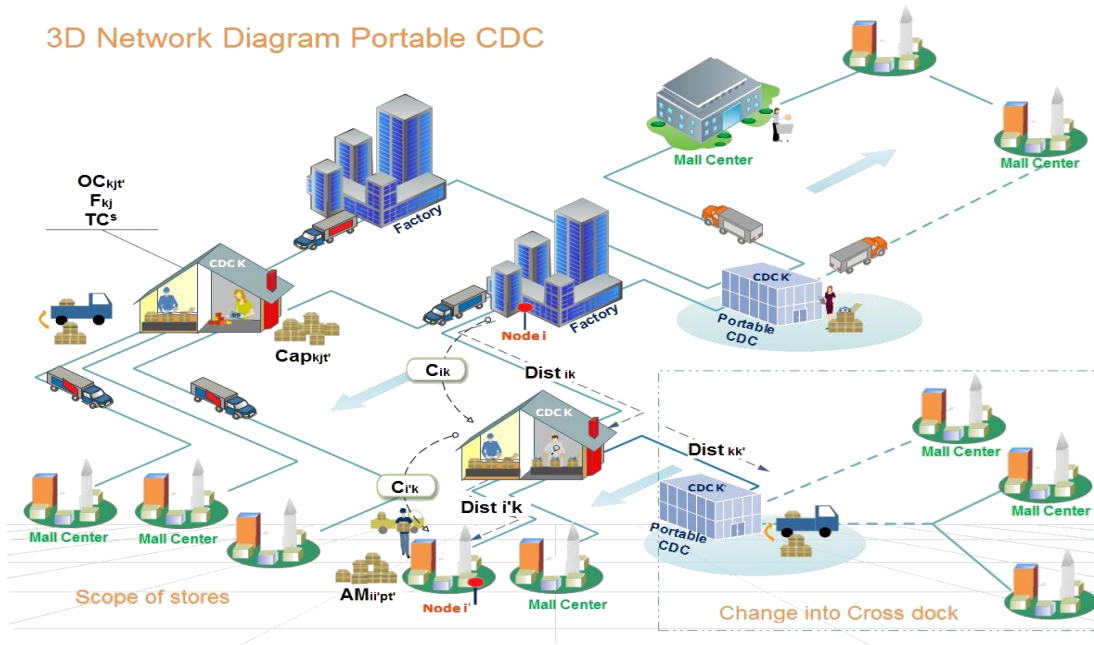
جدول ۲- الف پارامترها و مجموعه‌ها

$P$	مجموعه گره‌های دریافت $i = (1, 2, \dots, n)$
$D$	مجموعه گره‌های تحویل $i' = (1, 2, \dots, n)$
$K$	مرکز باراندازها مجموعه $CDC k = (1, 2, \dots, c)$
$P$	مجموعه محصولات $p = (1, 2, \dots, q)$
$t$	مجموعه زمان $t = (T_{min}, \dots, T_{max})$
$t'$	مجموعه دوره‌های زمانی $t' = (1, 2, \dots, t)$
$Q_{i,i',p,t'}$	برابر با ۱ هست اگر محصول نوع $P$ از گره $i$ به گره $i'$ در دوره $t'$ تحویل شده باشد، در غیر این صورت برابر با ۰ است.
$Am_{i,i',p,t'}$	مقدار محصول نوع $p$ در نقطه تحویل $i'$ در دوره $t'$
$Dist_{k,k'}$	فاصله $CDC k'$ تا $CDC k$
$Dist_{i,k}$	فاصله نقطه دریافت $i$ تا $CDC k$
$Dist_{i',k}$	فاصله نقطه دریافت $i'$ تا $CDC k$
$\tilde{C}_{i,k}$	هزینه حمل و نقل در واحد فاصله از گره دریافت $i$ تا $CDC k$
$\tilde{C}_{i',k}$	هزینه حمل و نقل در واحد فاصله از گره تحویل $i'$ تا $CDC k$
$TS_i$	محدوده پایین‌تر پنجره زمانی برای گره دریافت $i$
$TS_{i'}$	محدوده پایین‌تر پنجره زمانی برای گره تحویل $i'$
$TE_i$	محدوده بالاتر پنجره زمانی برای گره دریافت $i$
$TE_{i'}$	محدوده بالاتر پنجره زمانی برای گره تحویل $i'$
$Cap_{k,j,t'}$	ظرفیت $CDC k$ از نوع $j$ در دوره $t'$
$T_{min}, T_{max}$	حداقل و حداکثر افق زمانی
$\tilde{F}_{k,j}$	هزینه بازگشایی ثابت برای باز کردن $CDC k$ نوع $j$
$OC_{k,j,t'}$	هزینه عملیاتی برای $CDC k$ نوع $j$ در دوره $t'$
$T\tilde{C}^S$	حداکثر هزینه کل که می‌تواند برای باز کردن مرکز باراندازها پرداخت شود

جدول ۲- ب متغیرهای تصمیم

$X_{p,k,t,t'}^i$	برابر با ۱ است اگر محصول نوع $p$ در گره دریافت $i$ به $CDC k$ در دوره $t'$ در زمان $t$ ارسال شود و در غیر این صورت برابر با ۰ است.
$X_{p,k,t,t'}^{i'}$	برابر با ۱ است اگر محصول نوع $p$ در گره تحویل $i'$ محدود به $CDC k$ در دوره $t'$ در زمان $t$ باشد و در غیر این صورت برابر با ۰ است.
$S_{p,k,t,t'}$	مقدار محصول نوع $p$ در $CDC k$ در دوره $t'$ در زمان $t$
$x_{k,j,t}$	برابر با ۱ است اگر $CDC k$ نوع $j$ باز باشد و در غیر این صورت برابر با ۰ است.
$Z_{i,k,t}$	برابر با ۱ است اگر گره دریافت $i$ در دوره $t$ به $CDC k$ تخصیص داده شود و در غیر این صورت برابر با ۰ است.
$Z_{i',k,t}$	برابر با ۱ است اگر گره تحویل $i'$ در دوره $t$ به $CDC k$ تخصیص داده شود و در غیر این صورت برابر با ۰ است.
$Move_{k,k',t}$	برابر با ۱ است اگر $CDC k$ در دوره $t$ از دوره قبلی باز بوده باشد و در غیر این صورت برابر با ۰ است.

3D Network Diagram Portable CDC



شکل ۲ مفهوم بارانداز عبوری قابل حمل

۲-۳- مدل مکان‌یابی چندگانه مرکز باراندازها

مسئله مکان‌یابی مرکز باراندازها را می‌توان با توجه به نکات بالا از دیدگاه استراتژیک به شرح زیر مدل‌سازی کرد:

$$\begin{aligned}
 \text{Minimize} = & \sum_{j=1}^J \sum_{t'=1}^T \sum_{k=1}^C (\bar{F}_{k,j} + O\tilde{C}_{k,j,t'}) X_{kj} + \sum_{t'=1}^T \sum_{k'=1}^c \sum_{k=1}^c \sum_{t=T_{min}}^{T_{max}} Move_{k,k',t'} Dist_{k,k'} \\
 & + \sum_{t'=1}^T \sum_{p=1}^q \sum_{i'=1}^m \sum_{k=1}^c \sum_{t=T_{min}}^{T_{max}} X_{p,k,t,t'}^{i'} Dist_{i',k} \tilde{C}_{i',k} \\
 & + \sum_{t'=1}^T \sum_{p=1}^q \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^c \sum_{t=T_{min}}^{T_{max}} X_{p,k,t,t'}^i Dist_{i,k} \tilde{C}_{i,k}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Subject to:

$$\sum_{k=1}^c \sum_{t=T_{min}}^{TS_d-1} X_{p,k,t,t'}^{i'} = 0 \quad \forall i', p, t' \tag{2}$$

$$\sum_{k=1}^c \sum_{t=TS_d}^{TE_d} X_{p,k,t,t'}^{i'} \leq 1 \quad \forall i', p, t' \tag{3}$$

$$\sum_{k=1}^c \sum_{t=TE_d+1}^{T_{max}} X_{p,k,t,t'}^{i'} = 0 \quad \forall i', p, t' \tag{4}$$

$$X_{p,k,t,t'}^{i'} \leq Z_{i',k,t,t'} \quad \forall i', p, k, t, t' \tag{5}$$

$$\sum_{k=1}^c \sum_{t=T_{min}}^{TS_p-1} X_{p,k,t,t'}^i \leq 1 \quad \forall i', p, t' \tag{6}$$

$$\sum_{k=1}^C \sum_{t=TS_p}^{TE_p} X_{p,k,t,t'}^i = 1 \quad \forall i', p, t' \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^C \sum_{t=TE_p+1}^{T_{max}} X_{p,k,t,t'}^i = 1 \quad \forall i', p, t' \quad (8)$$

$$X_{p,k,t,t'}^i \leq Z_{i,k,t,t'} \quad \forall i, p, k, t, t' \quad (9)$$

$$\sum_{p=1}^q S_{p,k,t,t'} \leq \sum_{j=1}^J Cap_{k,j,t'} \quad (10)$$

$$S_{p,k,t,t'} = \sum_{i=1}^p X_{p,k,t,t'}^i Am_{i,i',p,t'} \quad \forall p, k, t', \text{ and } T_{min} \leq t \leq T_{max} \quad (11)$$

$$\sum_{k=1}^C \sum_{t=1}^{nT_{max}} X_{p,k,t,t'}^i = \sum_{k=1}^C \sum_{t=1}^{mT_{max}} X_{p,k,t,t'}^{i'} \quad \forall p, i, i', t', \text{ and } T_{min} \leq t \leq T_{max} \quad (12)$$

$$\sum_{k=1}^C \sum_{t=TE_p+1}^{T_{max}} S_{p,k,t,t'} = \sum_{p=1}^p Am_{i,i',p,t'} \quad \forall i', p, t' \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^c \sum_{k=1}^c \sum_{t=TS_p}^{T_{max}} \tilde{F}_{k,j} X_{k,t'} \leq T\tilde{C}^s \quad (14)$$

$$2Move_{k,k',t'} \leq X_{k,j \in portable, (t'-1)} + X_{k',j \in portable, t'} \quad \forall k, t, k' \text{ and } t > 1 \quad (15)$$

$$X_{p,k,t,t'}^i \leq \sum_{j=1}^J X_{k,t'} \quad \forall i, p, k, t', \text{ and } T_{min} \leq t \leq T_{max} \quad (16)$$

$$X_{p,k,t,t'}^{i'} \leq \sum_{j=1}^J X_{k,t'} \quad \forall i', p, k, t', \text{ and } T_{min} \leq t \leq T_{max} \quad (17)$$

$$\sum_{k=1}^C Z_{i',k,t,t'} \leq 1 \quad \forall i', t' \quad (18)$$

$$\sum_{k=1}^C Z_{i,k,t,t'} \leq 1 \quad \forall i, t' \quad (19)$$

$$S_{p,k,t,t'} \leq 0 \quad \forall p, k, t', \text{ and } T_{min} \leq t \leq T_{max} \quad (20)$$

$$X_{p,k,t,t'}^i, X_{p,k,t,t'}^{i'}, X_{k,t'} \in \{0,1\} \quad (21)$$

معادله ۱ نشان می‌دهد که هزینه‌های کل موجود در تابع هدف از جمله هزینه‌های حمل و نقل (هزینه حمل و نقل از تأمین‌کنندگان به مرکز بارانداز و سپس از مرکز بارانداز به مشتریان) و هزینه‌های حمل و نقل مرکز باراندازهای قابل حمل، هزینه‌های ثابت و هزینه‌های عملیاتی در مرکز بارانداز باید به حداقل برسد. محدودیت‌های (۲) - (۴) تضمین می‌کنند که هر تحویل، در صورت لزوم، در پنجره زمانی مشخص خود انجام شود و فراتر از آن محدوده مقدار صفر را در هر دوره زمانی به دست آورد. محدودیت (۵) تضمین می‌کند که حمل و نقل از نقطه دریافت به مرکز بارانداز در صورتی امکان‌پذیر است که این نقطه در دوره به مرکز بارانداز اختصاص یافته باشد. با توجه به معادله ۶ تا ۸، محدودیت‌های پنجره زمانی برای دریافت در نظر گرفته می‌شود. محدودیت (۹) این اطمینان را می‌دهد که اگر نقطه تحویل در دوره به مرکز بارانداز اختصاص یافته باشد، حمل و نقل از مرکز بارانداز به نقطه تحویل در دسترس است. محدودیت (۱۰) ظرفیت بالقوه مرکز باراندازها را در نظر می‌گیرد. معادله ۱۱ مقدار هر محصولی را که دریافت شده و باید در مرکز بارانداز در هر دوره زمانی مورد استفاده قرار گیرد، محاسبه می‌کند. محدودیت (۱۲) تضمین می‌کند تا دریافت‌ها و تحویل‌های هر محصول، تعادل همه تقاضاها را در هر دوره زمانی پوشش دهند. محدودیت (۱۳) تضمین می‌کند که همه محصولات باید در دوره  $t'$  که قبلاً در آن دوره دریافت شده بودند، تحویل داده شوند. محدودیت (۱۴) قید ظرفیت در کل هزینه‌های قابل پرداخت

برای باز کردن مرکز باراندازها را در نظر می‌گیرد. محدودیت (۱۵) مشخص می‌کند که آیا مرکز بارانداز در دوره‌های زمانی مختلف جایجا شده است یا خیر. محدودیت‌های (۱۶) و (۱۷) تضمین می‌کند که انتقال محصول  $p$  از تأمین‌کنندگان به مرکز بارانداز و از مرکز بارانداز به خرده‌فروشان در مراحل دریافت و تحویل تنها زمانی قابل انجام باشد که مرکز بارانداز مربوطه در هر بازه زمانی باز باشد. محدودیت‌های (۱۸) و (۱۹) تضمین می‌کند که هر نقطه را می‌توان در هر دوره زمانی فقط به یک مرکز بارانداز اختصاص داد. در نهایت، محدودیت‌های (۱۹) و (۲۰) عدم منفی بودن و باینری بودن متغیرهای تصمیم مربوطه را تضمین می‌کند.

#### ۴- اعتبارسنجی

جهت اعتبارسنجی مسئله ابتدا مسئله را در نرم‌افزار گمز با داده تصادفی مورد حل قرار داده شد تا صحت مدل مورد بررسی قرار گیرد. به همین منظور ابتدا مسئله در یک بعد کوچک مورد آزمایش قرار گرفت که ابعاد مسئله به شرح جدول ۳ است:

جدول ۳ ابعاد مسئله

دوره زمانی	زمان	محصولات	تعداد بارانداز عبوری ثابت و متحرک	تعداد بارانداز عبوری	گره برداشت	گره تحویل	تعداد کل گره
۳	۲۴	۲	۲	۲	(۳ و ۴)	(۱ و ۲)	۴

حال پس از تعیین ابعاد مسئله نیاز است که پارامترهای مسئله مقداردهی شوند. لذا نخست مطابق جدول ۴ پارامترهای لازم جهت مقداردهی برای محصولات از گره‌های برداشت به گره‌های تحویل تعیین می‌گردند که این پارامتر به صورت باینری (۰ و ۱) مقداردهی شده است که "۱" به معنای ارسال و "۰" به معنای عدم ارسال است.

جدول ۴ تعیین پارامترهای مقدار محصول در گره‌های تحویل و برداشت طی دوره زمانی مختلف

شماره دوره	شماره محصول	شماره محصول	گره تحویل	گره برداشت
۳	۲	۱	-	-
۱	۱	-	۳	۱
-	۱	-	۴	۱
۱	۱	۱	۴	۱
-	۱	۱	۳	۲
-	-	۱	۳	۲
-	-	۱	۴	۲

همان‌طور که از جدول ۴ قابل مشاهده است به طور مثال محصول شماره (۱) از گره (۱) به گره (۳) در دوره (۲ و ۳) تحویل داده شده است. حال پس از اینکه گره‌های تحویل و برداشت و تخصیص محصول شناسایی شد باید مقدار محصولی که از گره‌ها برداشت و تحویل خواهد شد مشخص شود که به شرح جدول ۵ است:

جدول ۵ تخصیص محصول به گره‌های تحویل و برداشت در دوره زمانی مختلف

شماره دوره	شماره محصول	شماره محصول	گره تحویل	گره برداشت
۳	۲	۱	-	-
۶۲	۹۲	-	۳	۱
-	۷۵	-	۴	۱
۶۴	۶۳	۹۴	۴	۱
-	۸۶	۸۰	۳	۲
-	-	۷۳	۳	۲
-	-	۶۶	۴	۲

پارامترهای بعدی که باید مقداردهی شود فاصله بارانداز عبوری از یکدیگر و فاصله گره دریافت تا بارانداز عبوری، فاصله بارانداز عبوری تا گره تحویل و هزینه‌های حمل است که به شرح جدول ۶ تا ۱۱ است:

جدول ۷ فاصله گره دریافت تا بارانداز عبوری

-	K1	K1
P1	۲۶۳	۲۲۸
p2	۲۰۹	۲۱۰

جدول ۶ فاصله بارانداز عبوری از یکدیگر

-	K1'	K2
K1	۲۷۷	۲۳۰
K2	۲۶۶	۲۷۶

جدول ۹ هزینه حمل از گره دریافت تا بارانداز عبوری

-	K1	K1
P1	۲۰	۲۱
p2	۲۳	۲۴

جدول ۸ فاصله بارانداز عبوری تا گره تحویل

-	K1	K1
D3	۲۶۳	۲۲۸
D4	۲۰۹	۲۱۰

جدول ۱۱ سایر پارامترها

$TS_p(p)$	/1 0,2 0/
$TS_a(d)$	/3 12,4 12/
$TE_p(p)$	/1 12,2 12/
$TE_a(d)$	/3 24,4 24/
$Cap(j)$	/1 1000,2 6000/
$T_{min}$	1
$T_{max}$	24
$F(j)$	/1 10000,2 80000/
$OC(j)$	/1 1000,2 2000/
$TC$	600000

جدول ۱۰ هزینه حمل از بارانداز عبوری تا گره تحویل

-	K1	K1
D3	۲۱	۲۰
D4	۲۳	۲۳

## ۵- تحلیل متغیرهای مسئله

جهت بررسی متغیرهای مسئله ابتدا باید تعیین شود بارانداز عبوری به چه گره دریافت و تحویلی در چه زمانی و در چه دوره‌ای تخصیص می‌یابد که در جداول زیر تعیین شده است.

جدول ۱۳ زمان تحویل محصول

گره تحویل	شماره محصول	شماره بارانداز عبوری	زمان	شماره دوره	۱	۲	۳
-	-	-	-	۱	۲	۳	
۳	۱	۱	۱۶	۱	-	-	
۳	۱	۱	۲۲	-	۱	-	
۳	۱	۱	۲۴	-	-	۱	
۳	۲	۱	۱۲	-	۱	-	
۳	۲	۱	۱۴	-	-	۱	
۳	۲	۱	۲۴	۱	-	-	
۴	۱	۱	۱۴	-	-	۱	
۴	۱	۱	۱۶	-	۱	-	
۴	۱	۱	۲۴	۱	-	-	
۴	۲	۱	۲۰	-	-	۱	
۴	۲	۱	۲۳	-	۱	-	
۴	۲	۱	۲۴	۱	-	-	

جدول ۱۲ زمان دریافت محصول

گره دریافت	شماره محصول	شماره بارانداز عبوری	زمان	شماره دوره	۱	۲	۳
-	-	-	-	۱	۲	۳	
۱	۱	۱	۱	-	۱	-	
۱	۱	۱	۴	۱	-	-	
۱	۱	۱	۹	-	-	۱	
۱	۲	۱	۳	-	۱	-	
۱	۲	۱	۴	۱	-	-	
۱	۲	۱	۱۰	-	-	۱	
۲	۱	۱	۳	-	-	۱	
۲	۱	۱	۴	-	۱	-	
۲	۱	۱	۵	۱	-	-	
۲	۲	۱	۶	-	-	۱	
۲	۲	۱	۱۱	-	۱	-	
۲	۲	۱	۱۲	۱	-	-	

## ۶- آنالیز حساسیت

از آنجا که این مسئله توسعه داده شده مسئله مقاله موسوی [۱۱] است و تابع جابه‌جایی بارانداز عبوری به آن اضافه شده است بنابراین ۵ مسئله که مطابق با داده‌های مقاله موسوی است را مورد آزمایش قرار و توابع هدف را مورد مقایسه قرار خواهیم داد.

جدول ۱۵ مقدار تابع هدف

شماره محصول گره تحویل	زمان شماره بارانداز عبوری	شماره دوره
۳۳۰۰۰	۱۲۱۶۸۰	۱۵۴۶۸۰

جدول ۱۴ میزان متغیر ارسالی به بارانداز عبوری

شماره بارانداز عبوری	شماره محصول	گره دریافت	زمان	شماره دوره
-	-	-	۱	۲ ۳
۱	۱	۱	-	۱۶۷ -
۱	۱	۴	-	۸۶ -
۱	۱	۵	۱۴۶	- -
۱	۱	۹	-	- ۶۲
۲	۱	۳	-	۶۳ -
۲	۱	۴	۹۴	- -
۲	۱	۱۰	-	- ۶۴
۲	۱	۱۲	۷۳	- -

جدول ۱۶ مقادیر پارامتر ۵ مثال تولیدشده

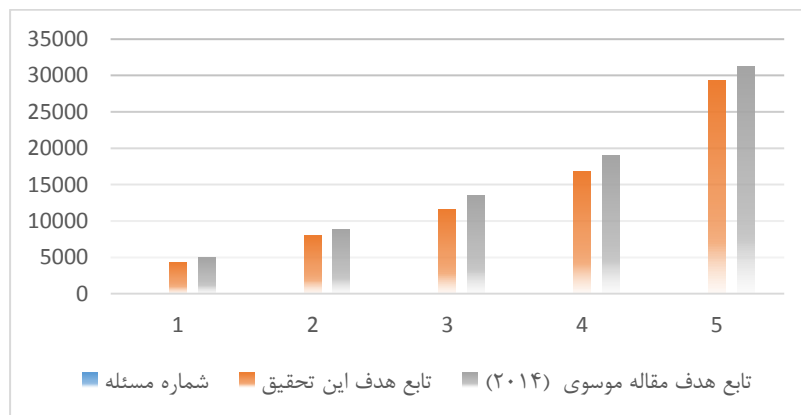
پارامتر	مسئله ۱	مسئله ۲	مسئله ۳	مسئله ۴	مسئله ۵
$D\dot{I}st_{k,k'}$	Uniform (80,250)	Uniform (100,250)	Uniform (120,300)	Uniform (100,300)	Uniform (80,350)
$D\dot{I}st_{i,k}$	Uniform (22,50)	Uniform (15,55)	Uniform (11,60)	Uniform (10,65)	Uniform (10,70)
$D\dot{I}st_{i',k}$	Uniform (80,250)	Uniform (100,250)	Uniform (120,300)	Uniform (100,300)	Uniform (80,350)
$TC$	Uniform (80,250)	Uniform (100,250)	Uniform (120,300)	Uniform (12000,20000)	Uniform (11000,24000)
$F(j)$	Uniform (1500,6000)	Uniform (2000,7000)	Uniform (3000,8000)	Uniform (2000,8000)	Uniform (2000,9000)
$Cap(j)$	Uniform (150,600)	Uniform (250,700)	Uniform (350,800)	Uniform (300,850)	Uniform (200,900)

جدول ۱۸ مقایسه توابع هدف این تحقیق با مقاله موسوی [۱۱]

شماره مسئله	تابع هدف این تحقیق	تابع هدف [۱۱]
۱	۴۳۵۰	۴۹۵۰
۲	۷۹۸۰	۸۹۰۰
۳	۱۱۶۵۰	۱۳۵۶۰
۴	۱۶۸۵۰	۱۸۹۶۰
۵	۲۹۳۶۰	۳۱۲۵۰

جدول ۱۷ ابعاد ۵ مثال طراحی شده

شماره مسئله	تعداد گره برداشت	تعداد بارانداز عبوری	تعداد گره تحویل	تعداد محصول
۱	۳	۲	۳	۲
۲	۴	۳	۵	۳
۳	۶	۴	۷	۳
۴	۷	۴	۸	۳
۵	۸	۵	۹	۴



شکل ۳ مقایسه مقاله موسوی [۱۱] و این تحقیق

طبق شکل ۳، همان‌طور که از نتایج مشخص است این تحقیق با در نظر گرفتن بارانداز عبوری متحرک باعث کاهش هزینه نسبت به مقاله موسوی شده است که این مهم‌ترین دستاورد این تحقیق است.

## ۷- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک روش یادگیری بر پایه تکامل بیولوژیک است. این روش در سال ۱۹۷۰ توسط جان هلند<sup>۷</sup> [۳۶] معرفی گردید. این روش‌ها با نام الگوریتم‌های تکاملی نیز خوانده می‌شوند. یک GA برای حل یک مسئله مجموعه بسیار بزرگی از راه‌حل‌های ممکن را تولید می‌کند. هر یک از این راه‌حل‌ها با استفاده از یک «تابع تناسب» مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. آنگاه تعدادی از بهترین راه‌حل‌ها باعث تولید راه‌حل‌های جدیدی می‌شوند؛ که این کار باعث تکامل راه‌حل‌ها می‌گردد. بدین ترتیب فضای جستجو در جهتی تکامل پیدا می‌کند که به راه‌حل‌های نزدیک به بهینه برسد.

### ۷-۱- ساختار نمایش جواب مسئله

ابتدا آرایه‌ای به شکل زیر ایجاد خواهیم کرد که طول کروموزوم مسئله را نمایش می‌دهد.

$$dim = K * TP + TP + P * C * TP + D * C * TP$$

### ۷-۲- عملگر تقاطع

در این تحقیق از تقاطع یکنواخت پیوسته استفاده شده است، بدین صورت که ابتدا والد به روش چرخ رولت انتخاب شده و سپس یک ماسک پیوسته به سبب کروموزوم ایجاد می‌شود و هر فرزند به نسبت این ماسک تصادفی، از هر یک از والدین ارث می‌برد.

$$y = \alpha * x_1 + (1 - \alpha) * x_2 = 0.24 * 0.49 + (1 - 0.24) * 0.80 = 0.72$$

جدول ۱۹ نحوه عملکرد تقاطع

والد ۱	۰/۴۹	۰/۶۲	۰/۳۷	۰/۸۴	۰/۰۸
ماسک تصادفی	۰/۲۴	۰/۳۱	۰/۵۴	۰/۴۸	۰/۹۵
والد ۲	۰/۸۰	۰/۴۷	۰/۱۶	۰/۴۶	۰/۹۱
فرزند ۱	۰/۷۲	۰/۵۲	۰/۲۸	۰/۶۵	۰/۸۳
فرزند ۲	۰/۵۹	۰/۵۸	۰/۲۶	۰/۶۶	۰/۱۶

### ۷-۳- عملگر جهش

مطابق جدول ۲۰، در این حالت تعداد جمعیت اولیه را در نرخ جهش ضرب می‌کنیم. به طور مثال فرض کنید اندازه جمعیت اولیه ۱۰ است و نرخ جهش ۰/۳ بنابراین باید ۳ تا از خانه‌های فوق را به‌طور تصادفی انتخاب و با عدد تصادفی جمع و تفریق می‌شود.

جدول ۲۰ نحوه عملگر جهش

۰/۴۳	۰/۶۲	۰/۳۷	۰/۸۴	۰/۰۸	۰/۴۳	۰/۶۲	۰/۳۷	۰/۸۴	۰/۰۸
۰/۸۶	۰/۰۲	۰/۳۵	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۸۶	۰/۰۲	۰/۳۴	۰/۲۸	۰/۲۵
۰/۳۸	۰/۳۷	۰/۲۴	۰/۶۸	۰/۸۱	$(0.1)^{-+}$	۰/۳۹	۰/۳۷	۰/۲۴	۰/۶۸
۰/۸۳	۰/۹۰	۰/۵۷	۰/۳۵	۰/۰۸	۰/۸۳	۰/۹۰	۰/۵۷	۰/۳۵	۰/۰۸
۰/۸۱	۰/۶۸	۰/۵۱	۰/۹۸	۰/۵۳	۰/۸۱	۰/۶۸	۰/۵۲	۰/۹۸	۰/۵۳

## ۸- الگوریتم گرگ خاکستری

الگوریتم گرگ خاکستری نخستین بار توسط میرجلیلی و همکاران [۳۷] در سال ۲۰۱۴ ابداع شده است. گرگ خاکستری از خانواده سگ‌ها است. هسته اصلی گروه اجتماعی گرگ‌ها از یک خانواده متشکل از زن و شوهر و فرزندانشان است که معمولاً در قالب گله‌ای از چند خانواده زندگی می‌کنند. گرگ به‌طور کلی یک شکارچی رأس هرم غذایی محسوب می‌شود به این معنا که آن‌ها در بالای زنجیره غذایی هستند و فقط انسان توانایی شکار آن‌ها را دارد. گرگ‌های خاکستری در دسته‌های ۵ تا ۱۲ تایی زندگی

<sup>7</sup> John Holland

می‌کنند و در داخل هر گروه یک جامعه طبقاتی وجود دارد که به وسیله یک نر و یک ماده غالب به نام آلفا هدایت می‌شود. آلفا عمدتاً مسئول تصمیم‌گیری در مورد امور گروه از جمله شکار، مکان خواب و زمان بیدار شدن است. جالب توجه است که آلفا لزوماً قوی‌ترین عضو گروه نیست اما از نظر مدیریتی بهترین است. این نشان می‌دهد که سازمان‌دهی و نظم و انضباط از قدرت مهم‌تر است. سطح دوم از سلسله مراتب گرگ خاکستری بتا است. بتا گرگ تابع است که به آلفا در تصمیم‌گیری‌ها یا سایر فعالیت‌های دسته کمک می‌کند. گرگ بتا می‌تواند زن یا مرد باشد و زمانی که گرگ آلفا می‌میرد یا خیلی پیر می‌شود، بتا بهترین گزینه برای آلفا شدن است. پایین‌ترین سطح از رتبه‌بندی گرگ خاکستری امگا است. امگا نقش یک قربانی را بازی می‌کند. امگا همیشه باید تسلیم گرگ‌های غالب دیگر شود. آن‌ها آخرین گرگ‌هایی هستند که اجازه غذا خوردن دارند. این نشان می‌دهد که امگا یک فرد مهم در دسته نیست؛ اما مشاهده می‌شود که با از دست دادن امگا کل دسته با مشکل روبرو می‌شود. اگر یک گرگ نه آلفا باشد نه بتا نه امگا، دلتا نامیده می‌شود. گرگ‌های دلتا از آلفا و بتا پیروی می‌کنند ولی بر امگا غالب هستند. پیشاهنگان، مأموران، بزرگان، شکارچیان و مراقبان متعلق به این دسته هستند. پیشاهنگ، مسئول دیدبانی مرزهای قلمرو هشدار به دسته در صورت مشاهده هر گونه خطر است. مأموران، مسئول حفاظت و تضمین امنیت دسته هستند. بزرگان، گرگ‌های باتجربه‌ای هستند که برای آلفا یا بتا شدن استفاده می‌شوند. شکارچیان به آلفا و بتا برای شکار طعمه کمک می‌کنند و مواد غذایی دسته را فراهم می‌کنند. در نهایت، مراقبان، مسئول مراقبت از گرگ‌های ضعیف، بیمار و زخمی در دسته هستند.

علاوه بر سلسله مراتب اجتماعی گرگ‌ها، شکار گروهی یکی دیگر از رفتار اجتماعی جالب گرگ خاکستری است. مراحل اصلی شکار گرگ خاکستری به صورت زیر است:

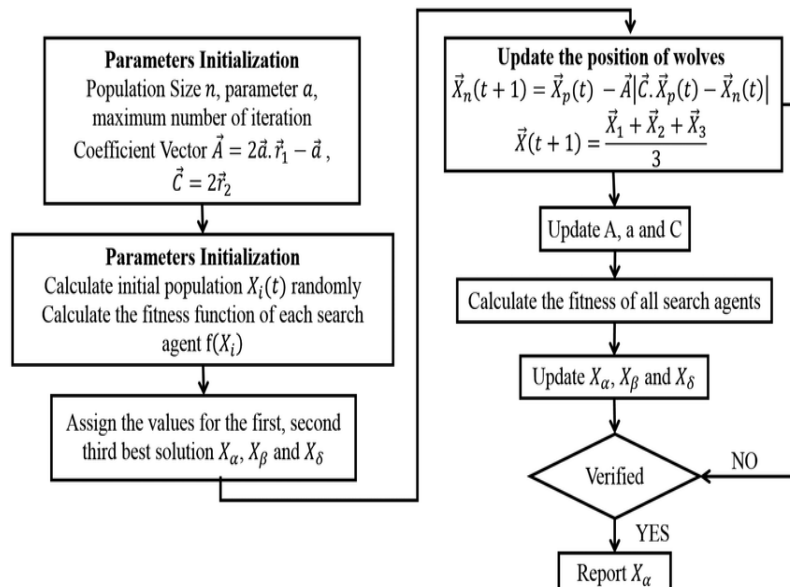
۱. ردیابی، تعقیب و نزدیک شدن به طعمه

۲. دنبال کردن، محاصره و آزار و اذیت طعمه تا زمانی که طعمه را از حرکت متوقف کند.

۳. حمله به سمت طعمه

در ادامه، این روش شکار و سلسله مراتب اجتماعی گرگ خاکستری به منظور طراحی مدل GWO و انجام بهینه‌سازی، به صورت ریاضی مدل‌سازی می‌شود.

در این تحقیق ساختار نمایش جواب مسئله در الگوریتم گرگ خاکستری و الگوریتم ژنتیک مشابه یکدیگر است که به همین منظور در شکل ۴ به صورت فلوجارت ساختار الگوریتم گرگ خاکستری خواهیم پرداخت.



شکل ۴ ساختار الگوریتم گرگ خاکستری

جدول ۲۱ ابعاد مسئله

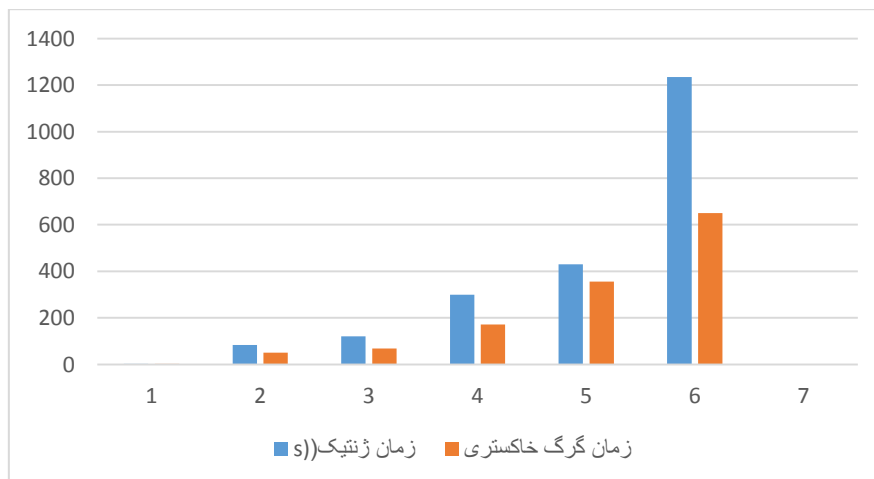
شماره مسئله	گره تحویل	گره برداشت	تعداد بارانداز عبوری	تعداد بارانداز عبوری ثابت و متحرک	محصولات	زمان	دوره زمانی
۱	۶	۸	۲	۲	۲	۲۴	۳
۲	۶	۸	۶	۶	۶	۲۴	۶
۳	۶	۱۲	۶	۶	۶	۲۴	۹
۴	۶	۱۲	۶	۱۰	۶	۲۴	۱۲
۵	۱۰	۳۰	۶	۶	۶	۲۴	۱۸
۶	۱۰	۳۰	۱۰	۱۴	۱۰	۲۴	۲۴

جدول ۲۲ نتایج الگوریتم

شماره مسئله	cplex	زمان (s)	ژنتیک	زمان (s)	گرگ خاکستری	زمان (s)	فاصله از جواب بهینه (ژنتیک)	فاصله از جواب بهینه (گرگ خاکستری)
۱	۶۱۴۰۲۰۸	۳۶	۶۱۴۰۲۰۸	۱/۹	۶۱۴۰۲۰۸	۱/۹	۰	۰
۲	-	-	۱۶۶۰۴۳۲۱۳۸	۸۳	۱۶۵۹۴۴۵۳۴۵	۵۰	-	-
۳	-	-	۲۰۷۵۴۰۵۰۸۳	۱۲۱	۲۰۷۴۲۵۵۷۰۸	۶۹	-	-
۴	-	-	۴۱۴۷۲۰۰۲۰۷	۳۰۰	۴۱۴۷۲۰۰۲۰۷	۱۷۱	-	-
۵	-	-	۸۲۹۴۴۰۰۲۰۷	۴۳۰	۸۲۹۴۴۰۰۲۰۷	۳۵۶	-	-
۶	-	-	۵۵۵۶۸۵۳۴۷۴۷۴۸	۱۲۳۴	۵۵۵۶۸۵۳۴۷۴۷۴۸	۶۵۰	-	-

## ۹- نتیجه‌گیری

همان‌طور که از نتایج بالا پیداست الگوریتم گرگ خاکستری کیفیت بالاتری نسبت به الگوریتم ژنتیک دارد و در زمان کمتری مسئله را مورد حل قرار داده است. همچنین همان‌طور که از شکل ۵ قابل مشاهده است الگوریتم گرگ خاکستری و الگوریتم ژنتیک تقریباً برابر با یکدیگر می‌باشد اما الگوریتم گرگ خاکستری دارای عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم ژنتیک بوده است.



شکل ۵ مقایسه زمان حل در الگوریتم ژنتیک و گرگ خاکستری

## ۱۰- مراجع

- [1] Forger G. UPS starts world's premiere cross-docking operation. *Modern material handling*. 1995; 36(8):36-8.
- [2] Van Belle J, Valckenaers P, Cattrysse D. Cross-docking: State of the art. *Omega*. 2012; 40(6):827-46.
- [3] Ladier AL, Alpan G. Cross-docking operations: Current research versus industry practice. *Omega*. 2016; 62:145-62.

- [4] Bartholdi JJ, Gue KR. The best shape for a crossdock. *Transportation science*. 2004; 38(2):235-44.
- [5] Ross A, Jayaraman V. An evaluation of new heuristics for the location of cross-docks distribution centers in supply chain network design. *Computers & Industrial Engineering*. 2008; 55(1):64-79.
- [6] Gonzalez-Feliu J. Cost optimisation in freight distribution with cross-docking: N-echelon location routing problem. *Promet-Traffic&Transportation*. 2012; 24(2):143-9.
- [7] Mousavi SM, Vahdani B, Tavakkoli-Moghaddam R. Optimal design of the cross-docking in distribution networks: Heuristic solution approach. *International Journal of Engineering*. 2014; 27(4):533-44.
- [8] Mousavi SM, Tavakkoli-Moghaddam R, Siadat A, Vahdani B. A hybrid simulated annealing algorithm for location of cross-docking centers in a supply chain. In *International Workshop on Hybrid Metaheuristics 2013*; 12-21. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [9] Mousavi SM, Tavakkoli-Moghaddam R, Jolai F. A possibilistic programming approach for the location problem of multiple cross-docks and vehicle routing scheduling under uncertainty. *Engineering Optimization*. 2013; 45(10):1223-49.
- [10] Shi W, Liu Z, Shang J, Cui Y. Multi-criteria robust design of a JIT-based cross-docking distribution center for an auto parts supply chain. *European Journal of Operational Research*. 2013; 229(3):695-706.
- [11] Mousavi SM, Vahdani B, Tavakkoli-Moghaddam R, Hashemi H. Location of cross-docking centers and vehicle routing scheduling under uncertainty: a fuzzy possibilistic–stochastic programming model. *Applied Mathematical Modelling*. 2014; 38(7-8):2249-64.
- [12] Seyedhoseini SM, Rashid R, Teimoury E. Developing a cross-docking network design model under uncertain environment. *Journal of Industrial Engineering International*. 2015; 11(2):225-36.
- [13] Mokhtarinejad M, Ahmadi A, Karimi B, Rahmati SH. A novel learning based approach for a new integrated location-routing and scheduling problem within cross-docking considering direct shipment. *Applied Soft Computing*. 2015; 34:274-85.
- [14] Mousavi SM, Vahdani B. Cross-docking location selection in distribution systems: a new intuitionistic fuzzy hierarchical decision model. *International Journal of computational intelligence Systems*. 2016; 9(1):91-109.
- [15] Goodarzi AH, Zegordi SH. A location-routing problem for cross-docking networks: A biogeography-based optimization algorithm. *Computers & Industrial Engineering*. 2016; 102:132-46.
- [16] Mousavi SM, Vahdani B. A robust approach to multiple vehicle location-routing problems with time windows for optimization of cross-docking under uncertainty. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*. 2017; 32(1):49-62.
- [17] Maknoon Y, Laporte G. Vehicle routing with cross-dock selection. *Computers & Operations Research*. 2017; 77:254-66.
- [18] Soleimaninanadegany A, Hassan A, Galankashi MR. Product allocation of warehousing and cross docking: a genetic algorithm approach. *International Journal of Services and Operations Management*. 2017; 27(2):239-61.
- [19] Behnamian J, Fatemi Ghomi SM, Jolai F, Heidary P. Location-allocation and scheduling of inbound and outbound trucks in multiple cross-dockings considering breakdown trucks. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*. 2018; 11(1):51-65.
- [20] Rafie-Majd Z, Pasandideh SH, Naderi B. Modelling and solving the integrated inventory-location-routing problem in a multi-period and multi-perishable product supply chain with uncertainty: Lagrangian relaxation algorithm. *Computers & chemical engineering*. 2018; 109:9-22.
- [21] Baniamerian A, Bashiri M, Zabihi F. Two phase genetic algorithm for vehicle routing and scheduling problem with cross-docking and time windows considering customer satisfaction. *Journal of Industrial Engineering International*. 2018; 14(1):15-30.
- [22] Dulebenets MA. A diploid evolutionary algorithm for sustainable truck scheduling at a cross-docking facility. *Sustainability*. 2018; 10(5):1333.
- [23] Barsing P, Daultani Y, Vaidya OS, Kumar S. Cross-docking centre location in a supply chain network: A social network analysis approach. *Global Business Review*. 2018; 19(3\_suppl):S218-34.
- [24] Chen D, Zhang Y. Location Optimization of Cross Dock Network Considering Carbon Emissions. In *CICTP 2017: Transportation Reform and Change—Equity, Inclusiveness, Sharing, and Innovation 2018*; 1519-1527. Reston, VA: American Society of Civil Engineers.

- [25] Mousavi SM, Antuchevičienė J, Zavadskas EK, Vahdani B, Hashemi H. A new decision model for cross-docking center location in logistics networks under interval-valued intuitionistic fuzzy uncertainty. *Transport*. 2019; 34(1):30-40.
- [26] Sun Y, Liang X, Li X, Zhang C. A fuzzy programming method for modeling demand uncertainty in the capacitated road-rail multimodal routing problem with time windows. *Symmetry*. 2019; 11(1):91.
- [27] Özmen M, Aydoğan EK. Robust multi-criteria decision making methodology for real life logistics center location problem. *Artificial Intelligence Review*. 2020; 53(1):725-51.
- [28] Uyanik C, Tuzkaya G, Kalender ZT, Oguztimur S. An integrated DEMATEL-IF-TOPSIS methodology for logistics centers' location selection problem: an application for Istanbul Metropolitan area. *Transport*. 2020; 35(6):548-56.
- [29] Delfani F, Kazemi A, SeyedHosseini SM, Niaki ST. A novel robust possibilistic programming approach for the hazardous waste location-routing problem considering the risks of transportation and population. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*. 2021; 8(4):383-95.
- [30] Shahparvari S, Nasirian A, Mohammadi A, Noori S, Chhetri P. A GIS-LP integrated approach for the logistics hub location problem. *Computers & Industrial Engineering*. 2020; 146:106488.
- [31] Muravev D, Hu H, Zhou H, Pamucar D. Location optimization of CR express international logistics centers. *Symmetry*. 2020; 12(1):143.
- [32] Hasani Goodarzi A, Zegordi SH, Alpan G, Nakhai Kamalabadi I, Husseinzadeh Kashan A. Reliable cross-docking location problem under the risk of disruptions. *Operational Research*. 2021; 21(3):1569-612.
- [33] Shahabi-Shahmiri R, Asian S, Tavakkoli-Moghaddam R, Mousavi SM, Rajabzadeh M. A routing and scheduling problem for cross-docking networks with perishable products, heterogeneous vehicles and split delivery. *Computers & Industrial Engineering*. 2021; 157:107299.
- [34] Nezhadroshan AM, Fathollahi-Fard AM, Hajiaghahi-Keshteli M. A scenario-based possibilistic-stochastic programming approach to address resilient humanitarian logistics considering travel time and resilience levels of facilities. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*. 2021; 8(4):321-47.
- [35] Goodarzi AH, Diabat E, Jabbarzadeh A, Paquet M. An M/M/c queue model for vehicle routing problem in multi-door cross-docking environments. *Computers & Operations Research*. 2022; 138:105513.
- [36] Holland JH. Genetic algorithms and the optimal allocation of trials. *SIAM journal on computing*. 1973; 2(2):88-105.
- [37] Mirjalili S, Mirjalili SM, Lewis A. Grey wolf optimizer. *Advances in engineering software*. 2014; 69:46-61.