

**Paper Type: Original Article**

A Mathematical Model for Supply Chain and Facility Location Problem

Sanaz Salmanzadeh¹ , Seyyed Hadi Naseri Ojaki¹ , Ali Abdi Seyyedkolai^{2,*} ¹ Department of Applied Mathematics, University of Mazandaran, Babolsar, Iran; sanaz.sz132@gmail.com; nhadi57@gmail.com.² Department of Operations Research, University of Mazandaran, Babolsar, Iran; aabdi64@gmail.com.**Citation:**Salmanzadeh, S., Naseri Ojaki, S. H., & Abdi Seyyedkolai, A. (2024). A mathematical model for supply chain and facility location problem. *Management: Modeling, analysis and applications*, 1(2), 74–81.

Received: 13/09/2023

Reviewed: 10/01/2024

Revised: 06/02/2024

Accepted: 18/03/2024

Abstract

Purpose: The purpose of this research is to design an optimal supply chain network focusing on the appropriate location of facilities (distribution centers) in order to reduce transportation costs and increase efficiency in responding to customer demand. Optimal facility location is one of the strategic issues in supply chain management that plays a vital role in reducing costs and improving service levels.

Methodology: To model the problem, a mathematical model of integer linear programming type is presented that optimizes facility location and product distribution by considering capacity, demand, and related cost constraints. To solve the model and find efficient solutions in a timely manner, the Iterative Local Search (ILS) metaheuristic algorithm is used.

Findings: The results of implementing the proposed model and algorithm show that by selecting the optimal location of facilities and optimizing the distribution process, the total system cost can be significantly reduced, and at the same time, a larger number of customers can be covered. Also, the ILS algorithm was able to achieve qualitative and acceptable results in a reasonable computational time.

Originality/Value: The main innovation of this research is in combining mathematical modeling of facility location with the ILS algorithm for supply chain network design. This approach simultaneously focuses on two key aspects—cost reduction and demand coverage increase—and can be used as a practical tool in strategic supply chain decision-making.

Keywords: Supply chain, Distribution centers, Location, Iterative local search algorithm.



Corresponding Author: aabdi64@gmail.com

<https://doi.org/10.22105/mmaa.v1i2.77>

Licensee. **Management: Modeling, Analysis and Application**. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



یک مدل ریاضی برای مساله زنجیره تامین و مکان یابی تسهیلات

ساناز سلمان زاده^۱، سید هادی ناصری اوجاکی^۱، علی عبدی سیدکلایی^۲

^۱گروه ریاضی کاربردی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.

^۲گروه تحقیق در عملیات، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.

چکیده

هدف: این پژوهش طراحی بهینه شبکه زنجیره تامین با تمرکز بر مکان یابی مناسب تسهیلات (مراکز توزیع) به منظور کاهش هزینه های حمل و نقل و افزایش کارایی در پاسخ گویی به تقاضای مشتریان است. مکان یابی بهینه تسهیلات یکی از مسایل راهبردی در مدیریت زنجیره تامین است که نقش مهمی در کاهش هزینه ها و بهبود سطح خدمت دارد.

روش شناسی پژوهش: برای مدل سازی مساله، یک مدل ریاضی از نوع برنامه ریزی خطی عدد صحیح ارائه شده است که با در نظر گرفتن محدودیت های ظرفیت، تقاضا و هزینه های مرتبط به بهینه سازی مکان یابی تسهیلات و توزیع محصولات می پردازد. جهت حل مدل و یافتن راه حل های کارا در زمان مناسب، از الگوریتم فرا ابتکاری جست و جوی محلی تکراری^۱ استفاده شده است.

یافته ها: نتایج حاصل از اجرای مدل و الگوریتم پیشنهادی نشان می دهد که با انتخاب بهینه مکان تسهیلات و بهینه سازی فرآیند توزیع، می توان هزینه کل سیستم را به طور قابل توجهی کاهش داد و هم زمان تعداد بیشتری از مشتریان را تحت پوشش قرار داد. همچنین الگوریتم ILS توانست در زمان محاسباتی مناسب به نتایج کیفی و قابل قبول برسد.

اصالت/ارزش افزوده علمی: نوآوری اصلی این پژوهش در ترکیب مدل سازی ریاضی مکان یابی تسهیلات با الگوریتم ILS برای طراحی شبکه زنجیره تامین است. این رویکرد به طور هم زمان بر دو جنبه کلیدی-کاهش هزینه و افزایش پوشش تقاضا-تمرکز دارد و می تواند به عنوان ابزاری کاربردی در تصمیم گیری های استراتژیک زنجیره تامین مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه ها: زنجیره تامین، مراکز توزیع، مکان یابی، الگوریتم محلی تکراری.

۱- مقدمه

مساله مکان یابی تسهیلات شاخه ای از مسایل تحقیق در عملیات می باشد که نمونه ای از مسایل زنجیره تامین محسوب می شود. مساله مکان یابی تسهیلات علاوه بر یافتن مکان بهینه برای تسهیلات به صورت هم زمان به دنبال طراحی بهینه شبکه نیز می باشد. مساله مکان یابی تاسیسات کاربردهای زیادی در مکان های تاسیسات عمومی و خصوصی دارد که؛ از جمله آن ها می توان به ایجاد شبکه مکان یابی انبارهای مرکزی توسط تولیدکنندگان و مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی توسط تصمیم گیرندگان شهری اشاره کرد [1]. تصمیم گیری در مورد مکان تاسیسات نقش به سزایی در طراحی شبکه های زنجیره تامین دارد، زیرا مکان یابی بهینه تاسیسات تاثیر زیادی بر هزینه و عملکرد زنجیره تامین دارد. هدف از بسیاری از مسایل بهینه سازی

¹ Iterative Local Search (ILS)

مکان‌یابی تسهیلات در شبکه زنجیره‌تامین کاهش هزینه‌های کل؛ از جمله استقرار، حمل‌ونقل، نگهداری و ... است [2]. تصمیم‌گیری در خصوص مکان تسهیلات، نقش حساسی در طراحی استراتژیک شبکه‌های زنجیره‌تامین بازی می‌کند، چرا که مکان‌یابی درست تسهیلات اثرات بسیار زیادی در منافع اقتصادی، ارایه خدمات مناسب و رضایت مشتریان دارد و این تصمیمات تاثیر زیادی بر هزینه و ویژگی عملکردی زنجیره‌ی تامین می‌گذارد.

جدول ۱- پیشینه پژوهش.

Table 1- Research background.

ردیف	عنوان	نویسنده	شرح	معیار استفاده‌شده
1	مساله طراحی شبکه مکان‌یابی تسهیلات ظرفیت‌دار پایدار؛ یک رویکرد چندهدفه مبتنی بر الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی غیرمسلط	براهمی و همکاران [3]	روی یک شبکه زنجیره‌تامین پایدار با ادغام هم‌زمان تصمیمات مربوط به مکان‌یابی تسهیلات و طراحی شبکه حمل‌ونقل کار کردند.	مکان تسهیلات، طراحی شبکه، امکانات و تسهیلات دارای ظرفیت، اثرات زیست‌محیطی
2	یک رویکرد ترکیبی الگوریتم ژنتیک کلید تصادفی بایاس ^۱ برای مساله مکان‌یابی تسهیلات دارای ظرفیت دومرحله‌ای	سویوتو و همکاران [4]	از روش ترکیبی جست‌وجوی خوشه‌ای، جست‌وجوی همسایگی بزرگ تطبیقی و برانچینگ محلی برای مکان‌یابی تسهیلات در شبکه زنجیره‌تامین بهره بردند.	مکان‌یابی تسهیلات دارای ظرفیت دومرحله‌ای، BRKGA، ریاضی، صنایع، زنجیره‌تامین
3	مدل مکان‌یابی تسهیلات چندهدفه برای اجرای اقتصاد دایره‌ای	بال و بادوردین [5]	از یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه برای بهینه‌سازی موقعیت تسهیلات بهره بردند که در آن معیارهای اجتماعی اقتصادی و محیطی در نظر گرفته شده است.	سیستم خدمات محصول، مکان تسهیلات، اقتصاد دایره‌ای، زنجیره‌تامین
4	رویکردهای اکتشافی برای مساله مکان‌یابی تسهیلات حمل‌ونقل جامد-p	داس و همکاران [6]	مساله مکان‌یابی تسهیلات حمل‌ونقل جامد را حل کردند به‌طوری که کل هزینه حمل‌ونقل به حداقل برسد. آن‌ها دو الگوریتم اکتشافی برای حل این مساله ارایه کردند.	مساله مکان‌یابی تسهیلات، مساله حمل‌ونقل جامد، مکان‌یابی تسهیلات حمل‌ونقل جامد p، بهینه‌سازی، رویکردهای اکتشافی
5	ادغام بهینه مساله مکان‌یابی تسهیلات در طراحی شبکه زنجیره‌تامین ساخت‌وساز چند منبع چند پروژه و چند تامین‌کننده تحت استراتژی موجودی مدیریت‌شده توسط فروشنده	گلپیرا [7]	یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط را با استفاده از یک سیستم خبره ارایه کردند که برای ادغام استراتژی موجودی در طراحی تسهیلات شبکه زنجیره‌تامین استفاده شده است.	زنجیره‌تامین ساخت‌وساز، بهینه‌سازی، مکان‌یابی تسهیلات موقت، موجودی مدیریت‌شده، فروشنده، مدل‌های کمی ریاضی، سیستم‌های خبره
6	یک مساله طراحی شبکه بانک خون با تصمیمات یکپارچه مکان‌یابی تسهیلات، موجودی و مسیریابی	کایا و اوزکوک [8]	یک شبکه زنجیره‌تامین برای سیستم توزیع خون طراحی کردند تا نیازهای بیمارستان‌ها را برآورده کند. آن‌ها از یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط استفاده کردند.	طراحی شبکه، مکان‌یابی تسهیلات، موجودی، مسیریابی خودرو، مدل غیرخطی اعداد صحیح مختلط
7	هزینه‌های محرومیت در مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات برای تدارکات امداد بشردوستانه	کوتس و کانتیلو [9]	یک مدل مکان‌یابی تسهیلات برای آماده‌سازی منابع در بلایا طراحی کردند.	تدارکات بشردوستانه، هزینه‌های محرومیت، هزینه‌های اجتماعی، مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات، واکنش در برابر بلایا
8	فرمول‌بندی و حل مساله مکان‌یابی تاسیسات دارای ظرفیت دومرحله‌ای با ظرفیت‌های چند سطحی	ایراوان و جونز [10]	روی حل مساله مکان‌یابی تسهیلات چند محصولی در زنجیره‌تامین دومرحله‌ای کار کردند. آن‌ها برای حداقل کردن هزینه‌های انبار و حمل‌ونقل از دو مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح بهره بردند.	مکان‌یابی تسهیلات، ریاضی، برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح

¹ Biased Random-Key Genetic Algorithm (BRKGA)

جدول ۱- ادامه.
Table 1- Continued.

ردیف	عنوان	نویسنده	شرح	معیار استفاده شده
9	مکان‌یابی تسهیلات و بهینه‌سازی مقیاس در زنجیره‌تامین حلقه‌بندی	ژن و همکاران [2]	مساله تصمیم‌گیری در سطح استراتژیک را با در نظر گرفتن مقیاس تسهیلات در یک شبکه زنجیره‌تامین حلقه‌بندی به منظور تعیین مکان بهینه تولیدکنندگان و مراکز لجستیکی را حل کردند.	مکان‌یابی و مقیاس تسهیلات، چند محصولی، عدم قطعیت، لجستیک معکوس، تولید مجدد

۲- بیان مساله

تشریح مدل ریاضی مساله زنجیره‌تامین و مکان‌یابی تسهیلات مرکز توزیع به این صورت می‌باشد که در سطح اول، کارخانه‌ها محصولات خود را به مراکز توزیع ارسال می‌کنند و در سطح دوم، جریان توزیع محصول از مراکز توزیع به مشتریان است. هدف اصلی این مساله، انتخاب چندین مکان برای ایجاد تسهیلات مراکز توزیع است. این مراکز هزینه ثابت برای تاسیس و ظرفیت محدود برای رسیدگی به تقاضاهای مشتریان دارند. تصمیمات در زنجیره باید به گونه‌ای اتخاذ شود که هزینه‌های کل سیستم؛ از جمله هزینه‌های ایجاد مراکز توزیع، ارسال محصولات از کارخانه‌ها به مراکز توزیع و از مراکز توزیع به مشتریان به حداقل برسد. حل هم‌زمان این مسایل در زنجیره‌تامین دوسطحی، باعث کاهش زمان و هزینه می‌شود. این مدل می‌تواند هزینه‌ها را کاهش و خدمات را با کیفیت بالاتری ارائه دهد. مراکز توزیع ممکن است محصول را از هر کارخانه‌ای دریافت کنند. کارخانه‌ها محصول را مستقیماً برای مشتری ارسال نمی‌کنند. علاوه بر این، حمل و نقل بین مشتریان مجاز نیست، در حالی که مراکز توزیع می‌توانند با یکدیگر ارتباط برقرار کرده و محصولات را مبادله کنند، زیرا در صورت ورشکستگی یکی از مراکز توزیع، محصولات می‌توانند به سایر مراکز توزیع با ظرفیت منتقل شوند. ظرفیت مراکز توزیع برای رفع نیازهای مشتریان کافی است. همچنین برای کاهش زمان حمل محصولات، چندین نوع خودرو برای حمل محصولات بین مشتری و مراکز توزیع، مراکز توزیع و کارخانه‌ها و خود مراکز پخش در نظر گرفته شده است، به طوری که زمان لازم برای حمل محصولات کمتر از حداکثر زمان تاخیر باشد. در زیر یک مدل ریاضی از مساله با نمادهای تعریف شده در این مدل ارائه شده است [11]:

تعاریف مجموعه‌ها

F	مجموعه‌های کارخانه
P	مجموعه‌ای از مکان‌های ممکن برای استقرار مراکز توزیع
C	مجموعه‌های مشتری
D	مجموعه مراکز توزیع
L	مجموعه وسایل نقلیه برای حمل و نقل محصولات

پارامترها

ω_{dp}	هزینه استقرار مرکز توزیع نوع d در محل p
ω_{fpl}	هزینه حمل و نقل محصول از کارخانه f به مرکز توزیع p با وسیله نقلیه l
ω_{pcl}	هزینه حمل و نقل محصول از مرکز توزیع p به مشتری c با وسیله نقلیه l
ω_{pql}	هزینه حمل محصول از مرکز توزیع p به مرکز توزیع q با وسیله نقلیه l
β_d	هزینه مرکز توزیع نوع d
δ_l	هزینه حمل و نقل محصول با وسیله نقلیه l
T_{fp}	حداکثر زمان انتقال یک محصول از کارخانه f به مرکز توزیع p
T_{pc}	حداکثر زمان انتقال یک محصول از مرکز توزیع p به مشتری c
T_{pq}	حداکثر زمان انتقال یک محصول از مرکز توزیع p به مرکز توزیع q
α_d	ظرفیت مرکز توزیع d
D_c	میزان تقاضای مشتری

متغیرهای تصمیم‌گیری

- X_{fpl} یک متغیر باینری است. اگر محصول بین کارخانه f و مرکز توزیع p با وسیله نقلیه l مبادله شود، مقدار یک و در غیر این صورت، مقدار صفر است.
- Y_{pcl} یک متغیر باینری است. اگر محصول بین مرکز توزیع d و مشتری c با وسیله نقلیه l مبادله شود، مقدار یک و در غیر این صورت، مقدار صفر است.
- Z_{dp} یک متغیر باینری است. اگر مرکز توزیع نوع d در محل p قرار داشته باشد، مقدار یک است. در غیر این صورت، مقدار صفر است.
- V_{pql} یک متغیر باینری است. اگر محصول بین مرکز توزیع p و مرکز توزیع q با وسیله نقلیه l مبادله شود، مقدار یک و در غیر این صورت، مقدار صفر است.

مدل ریاضی

$$\omega_{dp} = \sum_{d \in D} \beta_d \sum_{p \in P} Z_{dp}. \quad (1)$$

$$\omega_{fpl} = \sum_{l \in L} \delta_l \sum_{f \in F} \sum_{p \in P} \text{dist}(f, p) X_{fpl}. \quad (2)$$

$$\omega_{pcl} = \sum_{l \in L} \delta_l \sum_{p \in P} \sum_{c \in C} \text{dist}(p, c) Y_{pcl}. \quad (3)$$

$$\omega_{pql} = \sum_{l \in L} \delta_l \sum_{p \in P} \sum_{q \in P} \text{dist}(p, q) V_{pql}. \quad (4)$$

$$\min(\omega_{dp} + \omega_{fpl} + \omega_{pcl} + \omega_{pql}). \quad (5)$$

s. t.

$$\sum_{d \in D} Z_{dp} \leq 1, \text{ for all } p \in P. \quad (6)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{p \in P} Y_{pcl} = 1, \text{ for all } c \in C. \quad (7)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{f \in F} X_{fpl} = \sum_{f \in F} l \times \sum_{d \in D} Z_{dp}, \text{ for all } p \in P. \quad (8)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{c \in C} D_c Y_{pcl} \leq \sum_{d \in D} \alpha_d Z_{dp}, \text{ for all } p \in P. \quad (9)$$

$$T_f^{\text{loading}} + T_{fp}^{\text{transition}} + T_p^{\text{unloading}} \leq T_{fp}, \text{ for all } f \in F, \text{ for all } p \in P. \quad (10)$$

$$T_p^{\text{loading}} + T_{pc}^{\text{transition}} + T_c^{\text{unloading}} \leq T_{pc}, \text{ for all } p \in P, \text{ for all } c \in C. \quad (11)$$

$$T_p^{\text{loading}} + T_{pq}^{\text{transition}} + T_q^{\text{unloading}} \leq T_{pq}, \text{ for all } p \in P, \text{ for all } q \in P. \quad (12)$$

$$\sum_{d \in D} Z_{dp} + \sum_{d \in D} Z_{dq} \leq \sum_{l \in L} V_{pql} + 1, \text{ for all } p \in P, \text{ for all } q \in P, q < p. \quad (13)$$

$$Z_{dp} \in \{0,1\}, \text{ for all } d \in D, \text{ for all } p \in P. \quad (14)$$

$$X_{fpl} \in \{0,1\}, \text{ for all } f \in F, \text{ for all } p \in P, \text{ for all } l \in L. \quad (15)$$

$$Y_{pcl} \in \{0,1\}, \text{ for all } p \in P, \text{ for all } c \in C, \text{ for all } l \in L. \quad (16)$$

$$V_{pql} \in \{0,1\}, \text{ for all } p \in P, \text{ for all } q \in P, \text{ for all } l \in L. \quad (17)$$

در مدل ریاضی بیان شده، معادله (۵) تابع هدف مساله را نشان می‌دهد. در این تابع هدف به حداقل رساندن هزینه استقرار مرکز توزیع (ω_{dp})، هزینه انتقال محصول از کارخانه به مرکز توزیع (ω_{fpl})، هزینه انتقال محصول از مرکز توزیع به مشتری (ω_{pcl}) و هزینه انتقال محصول از مرکز توزیع به مرکز توزیع دیگر (ω_{pql}) است که با استفاده از معادله (۱) تا معادله (۴) محاسبه می‌شود. در معادله (۱) تا معادله (۴)، تابع $\text{dist}(a, b)$ فاصله بین دو مکان a و b را نشان می‌دهد که این فاصله با کمک فرمول محاسبه فاصله اقلیدسی به دست می‌آید. محدودیت (۶) نشان می‌دهد که تنها یک نوع مرکز توزیع را می‌توان در هر مکان ممکن برای استقرار مرکز توزیع قرارداد. محدودیت (۷) بیان می‌کند که هر مشتری محصول خود را فقط از یک مرکز توزیع دریافت می‌کند؛ بنابراین، می‌توان ارتباط هر مشتری را با مراکز توزیع دیگر جهت افزایش اطمینان بیشتر کرد تا در صورت

عدم وجود محصول یا تعطیلی یک مرکز توزیع، از سایر مراکز توزیع به عنوان پشتیبان تقاضای مشتریان برآورده شود. **محدودیت (۸)** باید رعایت شود تا مراکز توزیع بتوانند از محصولات همه کارخانه ها استفاده کنند. **محدودیت (۹)** نشان می دهد که مجموع تقاضاهای ارسال شده مشتریان به مرکز توزیع نباید از حداکثر ظرفیت آن تجاوز کند. **محدودیت (۱۰)** تا **محدودیت (۱۲)** تاخیر ارسال محصولات را نشان می دهد؛ بنابراین، **محدودیت (۱۰)** بیان می کند که مجموع مدت زمان بارگیری محصول در کارخانه ($T_f^{loading}$)، مدت زمان انتقال محصول از کارخانه به مرکز توزیع ($T_{fp}^{transition}$) و مدت زمان تخلیه محصول در مرکز توزیع ($T_p^{unloading}$) باید کمتر از حداکثر زمان تعیین شده برای انتقال محصول از کارخانه به مرکز توزیع (T_{fp}) باشد. **محدودیت (۱۱)** نشان می دهد که مجموع مدت زمان بارگیری محصول در مرکز توزیع ($T_p^{loading}$)، مدت زمان انتقال محصول از مرکز توزیع به مشتری ($T_{pc}^{transition}$) و مدت زمان تخلیه محصول توسط مشتری ($T_c^{unloading}$) باید کمتر از حداکثر زمان تعیین شده برای انتقال محصول از مرکز توزیع به مشتری (T_{pc}) باشد. **محدودیت (۱۲)** نشان دهنده کمینه بودن مجموع مدت زمان بارگیری محصول در مرکز توزیع ($T_p^{loading}$)، مدت زمان انتقال محصول از مرکز توزیع به مرکز توزیع دیگر ($T_{pq}^{transition}$) و مدت زمان تخلیه محصول توسط مرکز توزیع ($T_q^{unloading}$) نسبت به حداکثر زمان تعیین شده برای انتقال محصول بین مراکز توزیع (T_{pq}) است. **محدودیت (۱۳)** ارتباط بین مراکز توزیع را نشان می دهد. **معادله (۱۴)** تا **معادله (۱۷)** مقادیر باینری را نشان می دهد که مقداردهی متغیرهای تصمیم با این مقادیر انجام می شود. در صورتی که هر یک از متغیرهای مدل ریاضی مساله بتوانند **محدودیت (۶)** تا **محدودیت (۱۳)** را با توجه به مقداردهی انجام شده رعایت کنند، جواب به دست آمده به عنوان یک جواب قابل قبول است.

در این جا مفروضاتی برای طراحی شبکه زنجیره تامین وجود دارد:

۱. مدل مساله زنجیره تامین در دو سطح شامل کارخانه، مراکز توزیع و مشتریان در نظر گرفته شده است.
۲. یک مرکز توزیع تمام تقاضای مشتریان را برآورده می کند.
۳. هر مراکز توزیع ظرفیت محدودی دارند که از پیش تعیین شده است.
۴. در هر مکان قرارگیری مراکز توزیع از پیش تعیین شده، امکان استقرار یک مرکز توزیع وجود دارد.
۵. محل استقرار مشتریان از قبل مشخص است اما مراکز توزیع باید مکان یابی شوند.

۳- پیاده سازی مدل

در این بخش به معرفی الگوریتم مورد مطالعه برای حل مساله پرداخته می شود. جهت حل مساله در مدت زمان اجرا کمتر از الگوریتم ILS از دسته الگوریتم های ابتکاری استفاده شد [12]، [13]. این الگوریتم از دو مفهوم همسایگی و آشفته گی برای حل مساله استفاده می کند. الگوریتم ILS تکرار شونده از یک جواب اولیه شروع به کار می کند. فرآیند یافتن جواب های همسایه و انتخاب بهترین جواب به عنوان جواب فعلی را تا زمانی ادامه می دهد که تعداد تکرارهای الگوریتم به پایان برسد. جواب اولیه را می توان در سه مرحله انجام داد. در مرحله اول به صورت تصادفی از بین مکان های انتخاب شده برای استقرار مراکز توزیع تعدادی انتخاب می شوند. در مرحله دوم، با در نظر گرفتن محدودیت های تعریف شده در مدل ریاضی مساله، مشتریان به نزدیک ترین مکان های انتخابی اختصاص داده می شوند. در مرحله سوم مرکز توزیع از مکان های انتخابی که هیچ مشتری به آنها اختصاص داده نشده حذف می شوند. **الگوریتم ۱** ساختار کلی یک ILS می باشد.

الگوریتم ۱ - جست و جوی محلی تکرار شونده.

Algorithm 1- Iterative local search.

جواب اولیه S را پیدا کن.

$S^* = (S)$ جست و جوی محلی

$S_{best} = S^*$

اگر ملاک خاتمه محقق نشده است به صورت زیر عمل کنید.

$S' = (S^*)$ آشفته گی

(S^*, S'', S_{best}) معیار پذیرش $S^* = (S')$ جست و جوی محلی $S'' =$

تا جایی ادامه دهید که الگوریتم پایان یابد.

* مکان یابی مجدد تسهیلات در صورتی امکان پذیر است که تسهیلات قبلا یک بار استقرار یافته باشند.

در این بخش آزمایش‌هایی جهت ارزیابی روش پیشنهادی بررسی می‌شود. برای آزمایش نمونه‌های مختلفی در اندازه‌های مختلف کوچک، متوسط و بزرگ به منظور ارزیابی روش پیشنهادی ایجاد شده است. نمونه‌های آزمایش شده به طور تصادفی ایجاد شدند و در این قسمت به دو صورت آزمایش می‌شوند. اولی یک آزمایش با استفاده از نرم‌افزار حل‌کننده برنامه‌ریزی خطی^۱ برای حل مسایل برنامه‌ریزی خطی که از دسته الگوریتم‌های دقیق به‌شمار می‌آید و آزمایش دیگر از یک الگوریتم ابتکاری *ILS* از دسته الگوریتم‌های تقریبی استفاده می‌شود که در محیط نرم‌افزار مطلب پیاده‌سازی شده است. پارامترهای تعریف‌شده برای حل مساله در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۲- پارامترهای مساله.
Table 2- Problem parameters.

پارامترهای مساله			مقدار		
			نوع ۱	نوع ۲	نوع ۳
هزینه استقرار هر مرکز توزیع			1500	3000	4500
ظرفیت نگهداری محصول توسط هر مرکز توزیع			100	200	300
تعداد تقاضاهای محصول توسط هر مشتری			20	20	20
تعداد محصولات تولیدشده توسط هر کارخانه			80	80	-80
هزینه حمل محصول توسط وسیله نقلیه			10	15	20

هر نمونه در این آزمایش‌ها ده بار اجرا و مورد ارزیابی قرار گرفت و میانگین مقادیر آن‌ها ذخیره شده است. نتایج این آزمایش‌ها در جدول ۳ نشان داده شده است.

در جدول ۳، ستون اول تعداد مشتریان نمونه آزمایش شده را نشان می‌دهد. ستون‌های دوم و سوم به ترتیب زمان اجرا و هزینه پیاده‌سازی زنجیره‌تأمین برای هر نمونه است که توسط *LP Solver* به‌دست آمده است. ستون‌های چهارم و پنجم نیز مدت‌زمان اجرا و هزینه پیاده‌سازی به‌دست‌آمده توسط الگوریتم *ILS* را نشان می‌دهد. در نهایت ستون ششم درصد بهبود روش پیشنهادی را در مقایسه با *LP Solver* نشان می‌دهد.

همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است، جواب به‌دست‌آمده با هر دو روش برای نمونه‌های کوچک و متوسط برابر است. با این حال زمان اجرای الگوریتم *ILS* کمی بیشتر از روش مقایسه شده است. دلیل آن تعداد حرکاتی است که برای به‌دست آوردن جواب‌های همسایه تعیین شده است؛ بنابراین، هرچه تعداد حرکات بیشتر باشد، مدت‌زمان اجرای الگوریتم طولانی‌تر می‌شود. با این حال، باید از حرکات بیشتری استفاده شود تا به جواب بهینه نزدیک شویم. در ادامه، با انجام آزمایش‌ها بر روی نمونه‌های بزرگ‌تر، الگوریتم *ILS* در هر دو مورد جواب به‌دست‌آمده و هم‌زمان رسیدن به جواب بهتر عمل می‌کند.

نتیجه و زمان رسیدن به جواب همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، روش مقایسه به دلیل محدودیت زمانی تعریف‌شده برای اجرا که نمی‌تواند بیشتر از ۳۶۰۰ ثانیه باشد، جوابی بهتر از روش *ILS* پیدا نمی‌کند. در نتیجه، روش *ILS* به میزان ۶۴/۳٪ بهتر از روش مقایسه‌ای برای نمونه‌های بزرگ در دستیابی به جواب بهینه است. شکل ۱ میانگین درصد بهبود روش *ILS* را در مقایسه با حل‌کننده برنامه‌ریزی خطی برای مقادیر مختلف مشتریان نشان می‌دهد.

جدول ۳- نتایج حاصل از اجرای الگوریتم جست‌وجوی محلی تکرارشونده و حل‌کننده برنامه‌ریزی خطی بر روی نمونه‌ها.
Table 3- Results from running the iterative local search algorithm and linear programming solver on the samples.

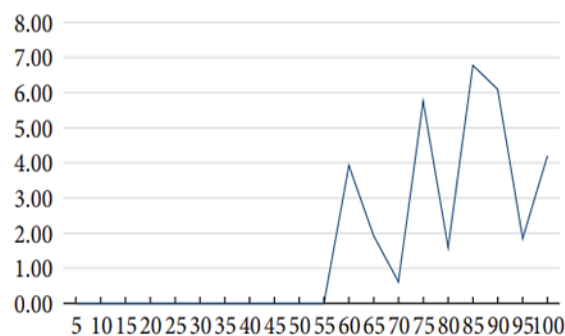
تعداد مشتری‌ها	حل‌کننده برنامه‌ریزی خطی		الگوریتم <i>ILS</i>		درصد بهبودی
	زمان (ثانیه)	هزینه (دلار)	زمان (ثانیه)	هزینه (دلار)	
5	0.0	514787	0.0	514787	0.00
10	0.1	1081289	0.1	1081289	0.00
15	0.1	1278341	0.2	1278341	0.00
20	0.1	1917551	0.4	1917551	0.00
25	0.1	2282635	0.7	2282635	0.00

¹ Linear programming solver (LP Solver)

جدول ۳- ادامه.

Table 1- Continued.

درصد بهبودی	الگوریتم ILS		حل کننده برنامه ریزی خطی		تعداد مشتری ها
	هزینه (دلار)	زمان (ثانیه)	هزینه (دلار)	زمان (ثانیه)	
0.00	2370025	0.9	2370025	0.3	30
0.00	2868954	5.1	2868954	8.0	35
0.00	3011616	4.4	3011616	0.7	40
0.00	3536169	3.9	3536169	11.3	45
0.00	3444839	4.1	3444839	14.9	50
0.00	3511459	7.8	3511459	7.2	55
3.92	3925200	66.6	4079149	> 3600	60
1.92	4441500	33.20	4526889	> 3600	65
0.61	4798100	96.113	4827437	> 3600	70
5.75	4959200	289.16	5244443	> 3600	75
1.59	5623300	592.62	5712874	> 3600	80
6.77	6006400	745.09	6413205	> 3600	85
6.10	6412000	7.988	6802864	> 3600	90
1.85	6528500	1267.17	6649143	> 3600	95
4.20	8736500	2085.23	9103453	> 3600	100



شکل ۱- میانگین درصد بهبودی روش پیشنهادی نسبت به حل کننده برنامه ریزی خطی.

Figure 1- Average percentage improvement of the proposed method compared to the linear programming solver.

در شکل ۱، محور افقی تعداد مشتریان را نشان می دهد و محور عمودی درصد بهبود را نشان می دهد.

۴- نتیجه و جمع بندی

در این مقاله تحقیقاتی به منظور طراحی یک شبکه زنجیره تامین با تمرکز بر کاهش هزینه ها جهت حداکثرسازی تعداد محصولات توزیع شده به سوی مشتریان صورت گرفته است. از این رو مکان هایی برای استقرار مراکز توزیع انتخاب می گردد که منجر به بهبود عملکرد کل زنجیره تامین شود و پوشش تقاضا با کمترین اختلال انجام پذیرد. در این تحقیق برای انتخاب تعداد و مکان مناسب برای استقرار مراکز توزیع از الگوریتم جست و جوی تکرارشونده استفاده کردیم؛ از جمله پیشنهادهای آتی می توان مساله را در شرایط های مختلف مانند فازی، خاکستری و ... بررسی کرد.

منابع

- [1] Olivares-Benitez, E., González-Velarde, J. L., & Ríos-Mercado, R. Z. (2012). A supply chain design problem with facility location and bi-objective transportation choices. *Top*, 20, 729–753. <https://doi.org/10.1007/s11750-010-0162-8>
- [2] Zhen, L., Sun, Q., Wang, K., & Zhang, X. (2019). Facility location and scale optimisation in closed-loop supply chain. *International journal of production research*, 57(24), 7567–7585. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1587189>
- [3] Brahmi, M. A., Dahane, M., Souier, M., & Sahnoun, M. (2022). Sustainable capacitated facility location/network design problem: A non-dominated sorting genetic algorithm based multiobjective approach. *Annals of operations research*, 311(2), 821–852. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03659-9>
- [4] Souto, G., Morais, I., Faulhaber, L., Ribeiro, G. M., & González, P. H. (2021). A hybrid BRKGA approach for the two stage capacitated facility location problem. *2021 IEEE congress on evolutionary computation (CEC)* (pp. 2007–2014). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CEC45853.2021.9504856>

- [5] Bal, A., & Badurdeen, F. (2020). A multi-objective facility location model to implement circular economy. *Procedia manufacturing*, 51, 1592–1599. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.222>
- [6] Das, S. K., Roy, S. K., & Weber, G. W. (2020). Heuristic approaches for solid transportation-p-facility location problem. *Central european journal of operations research*, 28, 939–961. <https://doi.org/10.1007/s10100-019-00610-7>
- [7] Golpîra, H. (2020). Optimal integration of the facility location problem into the multi-project multi-supplier multi-resource construction supply chain network design under the vendor managed inventory strategy. *Expert systems with applications*, 139, 112841. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.112841>
- [8] Kaya, O., & Ozkok, D. (2020). A blood bank network design problem with integrated facility location, inventory and routing decisions. *Networks and spatial economics*, 20(3), 757–783. <https://doi.org/10.1007/s11067-020-09500-x>
- [9] Cotes, N., & Cantillo, V. (2019). Including deprivation costs in facility location models for humanitarian relief logistics. *Socio-economic planning sciences*, 65, 89–100. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2018.03.002>
- [10] Irawan, C. A., & Jones, D. (2019). Formulation and solution of a two-stage capacitated facility location problem with multilevel capacities. *Annals of operations research*, 272, 41–67. <https://doi.org/10.1007/s10479-017-2741-7>
- [11] Seyedkolaei, A. A., & Nasser, S. H. (2023). Facilities location in the supply chain network using an iterated local search algorithm. *Fuzzy information and engineering*, 15(1), 14–25. <https://doi.org/10.26599/FIE.2023.9270002>
- [12] Abdi Seyedkolaei, A., Hosseini Seno, S. A., & Moradi, A. (2021). Dynamic controller placement in software-defined networks for reducing costs and improving survivability. *Transactions on emerging telecommunications technologies*, 32(1), e4152. <https://doi.org/10.1002/ett.4152>
- [13] Moradi, A., Abdi Seyedkolaei, A., & Hosseini, S. A. (2020). Controller placement in software defined network using iterated local search. *Journal of ai and data mining*, 8(1), 55–65. <https://doi.org/10.22044/jadm.2019.7934.1931>