Journal of Green Management, Vol.4, No.4, Feb 2025, pp 39-65.

Optimizing Multi-Product Green Distribution Routing by SEO Meta-heuristic Algorithm

Asghar Arabi [1], Hojat Nabovati [2*]

1- Department of Industrial Engineering, Saveh Branch, Islamic Azad University, Saveh, Iran.
E-mail: arabi.bonro@gmail.com
2- Department of Industrial Engineering, Saveh Branch, Islamic Azad University, Saveh, Iran.
(Corresponding Author) E-mail: hojat.nabovati@iau.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received:
5 Aoril 2024
Received in revised form:
12 August 2024
Acceptance:
13 August 2024
Published online:
13 February 2025

Key words:
Green distribution,
Routing,
SEO algorithm.

Abstract

In this study, a model for optimizing the transportation route is proposed. The present model has been able to investigate the issue of vehicle routing from a different perspective by considering different customers, different demands, considering different distribution points, considering different products and different production process times. This research is divided into applied, fundamental, and developmental in terms of purpose, and the nature of this research is descriptive about logistical planning for the transportation of products to different customers. These were not available in previous studies, and other models have only increased profits in general. After solving the mathematical model by the meta-heuristic SEO method, the results indicated that the planning done for routing the vehicles had a significant contribution to reducing the operational costs, the route traveled, and at the same time reducing the consumption of fossil fuels, so that the delivery of the shipment to the customers was within the time frame requested by the customers and exactly proportional to the time limit, and the products were delivered to the customers before the end of the expected deadline. Customers have been delivered. Therefore, customers' demand has been delivered to customers in the shortest possible way, at the lowest cost, with the least emissions, and without shortage.

Cite this article: Arabi, A., Nabovati, H. (2025). Optimizing Multi-Product Green Distribution Routing by SEO Meta-heuristic Algorithm, *Green Management*, 4(4), 39-65.

© The Author(s).
Online ISSN: 2821-0050
Publisher: Islamic Azad University, Aliabad Katoul Branch.
https://sanad.iau.ir/journal/jgm

بهینه سازی مسیریابی توزیع سبزچند محصولی توسط الگوریتم فرا ابتکاری سئو

اصغر عربی[۱]، حجت نبوتی[۲*]

۱- گروه مهندسی صنایع، واحد ساوه، دانشگاه آزاد اسلامی، ساوه، ایران. رایانامه : arabi.bonro@gmail.com
۲- گروه مهندسی صنایع، واحد ساوه، دانشگاه آزاد اسلامی، ساوه، ایران. (نویسنده مسئول) رایانامه: hojat.nabovati@iau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۳/۰۱/۱۷

تاریخ بازنگری:
۱۴۰۳/۰۵/۲۲

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۰۵/۲۳

تاریخ انتشار:
۱۴۰۳/۱۱/۲۵

کلمات کلیدی:
توزیع سبز،
مسیریابی،
الگوریتم سئو.

چکیده

در این پژوهش مدلی در راستای بهینه‌سازی مسیر حمل و نقل پیشنهاد داده شده است. مدل حاضر با در نظر گرفتن، مشتریان مختلف، تقاضاهای مختلف، در نظر گرفتن نقاط توزیع مختلف، در نظر گرفتن محصولات مختلف و زمان فرآیند تولید متفاوت، توانسته مبحث مسیریابی وسایل نقلیه را از جنبه متفاوتی مورد بررسی قرار دهد. این پژوهش از نظر هدف به کاربردی، بنیادی و توسعه‌ای تقسیم می‌شود و ماهیت این تحقیق توصیفی در خصوص برنامه‌ریزی لجستیکی جهت انتقال محصولات به مشتریان مختلف می‌باشد. این موارد در مطالعات قبلی موجود نبوده و سایر مدل‌سازی‌ها تنها به صورت کلی به افزایش سود پرداخته‌اند. پس از حل مدل ریاضی توسط روش فرا ابتکاری سئو، نتایج گویای این موضوع بوده‌اند که برنامه‌ریزی انجام شده جهت مسیریابی وسایل نقلیه، سهم بسزایی در کاهش هزینه های عملیاتی، مسیر پیموده شده و در عین حال کاهش مصرف سوخت های فسیلی داشته است، بگونه‌ای که تحویل مرسوله به مشتریان در محدوده زمانی درخواستی مشتریان و دقیقا متناسب با محدودیت زمانی بوده است و محصولات قبل از پایان موعد مورد انتظار به مشتریان تحویل داده شده است. از این رو، تقاضا مشتریان در کوتاه ترین مسیر ممکن، کمترین هزینه، کمترین آلایندگی و بدون کمبود به مشتریان تحویل داده شده است.

استناد: عربی، اصغر و نبوتی، حجت(۱۴۰۳). بهینه سازی مسیریابی توزیع سبزچند محصولی توسط الگوریتم فرا ابتکاری سئو، *مدیریت سبز*، ۴ (۴)، ۶۵-۳۹.

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی واحد علی آباد کتول.

شاپا الکترونیکی: ۰۰۵۰-۲۸۲۱ https://sanad.iau.ir/journal/jgm

© نویسندگان.

مقدمه

افزایش شبکه زنجیره تأمین برای توسعه صنایع بسیار مهم هستند. برای بقا در بازار رقابت شدید امروزی، شرکت‌ها می‌بایست یک شبکه زنجیره تأمین کارآمد و پاسخگو طراحی کنند. هزینه های یک شبکه زنجیره تامین را می توان با طراحی مناسب در حدود شصت درصد کاهش داد. (هریسون[1]،۲۰۰۵) در سالیان اخیر پیشبرد اهداف بلند مدت سازمانی در گرو کسب مزیت رقابتی در بازار سرمایه می‌باشد. از اینرو صنایع مختلف تولیدی و نیز خدماتی در جستجوی راهبردهای عملیاتی در خصوص پیشرفت، توسعه، افزایش سود، کاهش هزینه‌ها و در نهایت جلب اعتماد مشتریان بوده‌اند. یکی از امور مهم در این خصوص که بیشتر مورد توجه مدیران در صنایع تولیدی بوده است، توجه به برنامه‌ریزی استراتژیک و عملیاتی در خصوص تولید، توزیع و مکان‌یابی بهینه محصولات و تجهیزات در کنار توجه به امر موجودی بوده است. برنامه‌ریزی درست تولید و توزیع مزیت‌های بسیاری را در پی خواهد داشت. در گام اول برنامه‌ریزی صحیح و بهینه تولید موجب کاهش هزینه‌های تولید می‌شود. کاهش هزینه‌های تمام شده تولید سبب خواهد شد که محصول تولیدی با هزینه کمتری به دست مشتریان برسد و لذا حاشیه سود بیشتری برای شرکت وجود خواهد داشت. از طرف دیگر کاهش هزینه‌ها با حفظ کیفیت محصول خروجی سبب جذب مشتریان بیشتر و نیز حفظ مشتریان کنونی محصولات خواهد شد. لذا همانگونه که مشخص است در سیستمی زنجیره‌وار این امور با یکدیگر در ارتباط بوده و به یکدیگر متصل هستند. سبب اتصال به چنین شکلی تنها در طراحی بهینه زنجیره تأمین کارا نهفته است. گام بعدی پس از تولید نیازمند توزیع محصولات می‌باشیم. امر توزیع در شبکه‌های زنجیره تأمین غالبا خود را در انتقالات و برنامه‌ریزی حمل و نقل نشان می‌دهد. یک برنامه‌ریزی کارا در این امر سبب کاهش کل هزینه‌های سیستم در بخش توزیع نیز خواهد شد. برنامه‌ریزی برای پوشش نیازمندی مشتریان در این راستا حسن توجه مشتری را به دنبال خواهد داشت. اما انتقالات در صنایع شیمیایی به علت فرار بودن محصولات تولیدی، شرایط خاص تولید و نگه‌داری، قابلیت اشتعال و سایر موارد در این بین از حساسیت بالاتری برخوردار می‌باشد. ویژگی منحصر به فرد این محصولات سبب می‌شود تا محدودیت‌های خاص و نیز منظقی در امر تولید، موجودی، نگهداری و توزیع و انتقال این محصولات وجود داشته باشد. از سوی دیگر توجه به ویژگی‌های زیست محیطی در حین انتقالات از اهمیت بسیار بالایی برخودار است. لذا در پژوهش حاضر با در نظر گرفتن موارد بالا در امر تولید، توزیع و مکان‌یابی و موجودی و نیز در نظر گرفتن ویژگی‌های زیست محیطی، مدلی دو هدفه در راستای کمینه‌سازی هزینه‌ها و نیز کاهش آلاینده‌های محیطی ارائه خواهد شد. تابع هدف اول مسئله به دنبال کمینه‌سازی کل هزینه‌های سیستم در صنایع شیمیایی بوده و تابع هدف دوم به دنبال کاهش آلاینده‌هاست. همچنین طبق فرض مسئله هر

1- Harrison

ماشینی که به نقاط مشتری وارد می‌شود باید از آن نیز خارج شود. جهت این امر و اجرای آن در مدل، محدودیت ساب تور لحاظ شده است همچنین میزان آلایندگی‌ها را به مقداری از پیش تعیین شده محدود می‌کند. برای حل مدل دو هدفه از الگوریتم فراابتکاری چند هدفه بهینه سازی اجتماعی سئو[1] بهره خواهیم برد و نتایج با حل دقیق مقایسه خواهد شد.

ادبیات نظری و پیشینه تحقیق

پژوهشی تحت عنوان طراحی شبکه خرید تولید توزیع چندهدفه در زنجیره تامین سبز با الگوریتم جستجوی گرانشی چندهدفه،توسط توکلی مقدم و همکاران انجام شده است. در مقاله ایشان، یک شبکه خرید، تولید- توزیع یکپارچه برای یک زنجیره تأمین سبز چهار سطحی طراحی شده است که هدف آن کمینه کردن هزینه کل سیستم که در برگیرنده هزینه خرید و ارسال مواد اولیه از تأمین کنندگان به تولیدکنندگان، هزینه ناشی از سرمایه گذاری های زیست محیطی در مراکز تولید، هزینه تولید محصول نهایی و هزینه های توزیع و ارسال محصول از تولیدکنندگان به مراکز توزیع و فروش است. با توجه به ظرفیت و امکانات موجود، بیشترین سطح سرویس دهی و خدمات رسانی به مشتریان ارائه گردیده که با حداقل ساختن کل تأخیرها در تحویل کالاها به مشتریان این مهم محقق شده است. بعلاوه میزان کل دی اکسیدکربن منتشر شده در اثر تولید و توزیع محصول در کل زنجیره را برای کنترل اثرات مخرب زیست محیطی زنجیره تأمین، به حداقل ممکن رسیده است. پس از ارائه مدل ریاضی توسعه یافته برای مسئله، یک الگوریتم فراابتکاری جدید بر اساس جستجوی گرانشی چندهدفه با دو نحوه نمایش متمایز برای جواب های مسأله، برای یافتن مجموعه جواب های بهینه پارتو ارائه و برای تعدادی مسأله نمونه تصادفی در ابعاد مختلف حل و مقایسه شده است (توکلی مقدم و همکاران[2]، ۲۰۱۵). طراحی یک مدل از زنجیره تأمین حلقه بسته با رویکرد مکان‌یابی مسیریابی تسهیلات توسط ژاله‌چیان و همکارانپیشنهاد شده است. نکته مورد توجه در این پژوهش بررسی موضوع مطرح شده در حالت وجود عدم قطعیت‌ها می‌باشد که جهت مقابله با این عدم قطعیت‌ها برنامه‌ریزی احتمالی در روند مدل‌سازی مسئله پیشنهاد کرده اند. سطوح مختلف پیشنهاد شده برای این مدل شامل توزیع کننده، مراکز توزیع باز، مراکز توزیع احتمالی، مراکز توزیع و بازیاقت باز و خرده فروش بوده است. همچنین جهت حل مدل از رویکردهای تئوری بازی‌ها[3]، رویه حدود پایین و الگوریتم فراابتکاری بهره برده‌اند.(ژاله چیان[4] و همکاران، ۲۰۱۶) . پینتو پژوهشی تحت عنوان حل یک مسئله دوهدفه دوسطحی لجستیک سبز را انجام داده است. وضعیتی که در مطالعه به آن پرداخته می شود به عنوان یک مسئله برنامه نویسی دو سطحی با چندین هدف در سطح بالا و یک هدف واحد در سطح پایین مدل سازی شده

1 - MOSEO
2 - Tavakolimoghdam
3 - Game Theory
4- Zhalechian

است. در این مسأله، یک شرکت، یک کالا را بر روی یک زیرمجموعه انتخابی از مشتریان توزیع می کند. در حالی که یک تولید کننده کالاهای مورد تقاضای مشتریان منتخب را می سازد. شرکت دو هدف دارد: حداکثر کردن سود حاصل از فرآیند توزیع و به حداقل رساندن انتشار گاز دی اکسید کربن. مورد دوم به دلیل مقررات وضع شده توسط دولت مهم است. واضح است که بین هر دو هدف تضاد وجود دارد، زیرا حداکثر کردن سود سعی می‌کند تا حد امکان مشتریان را برای ارائه خدمات در بر گیرد. سپس، بزرگترین مسیرها مورد نیاز خواهند بود که باعث انتشار بیشتر دی اکسید کربن می شوند. با انجام این کار، الگوریتم پیشنهادی ایشان قصد دارد راه حل های کارآمدی را بیابد. تکامل انجام شده در هر جمعیت از طریق یک الگوریتم ژنتیک کلیدهای تصادفی جانبدارانه انجام شده است. علاوه بر این، یک الگوریتم پیوند مجدد مسیر به منظور یافتن مرز پارتو برای مسئله چند کالایی دو هدفه دو سطحی که در آن از راه‌حل‌های بدون تسلط جستجوی تابو و الگوریتم‌های تکاملی مشترک برای مقداردهی اولیه این رویه استفاده می‌شود؛ اقتباس شده است. آزمایش عددی کارایی روش‌های پیشنهادی ایشان را برای یافتن راه‌حل‌های با کیفیت خوب (برای حالت تک‌هدفه) و رسیدن به تقریب خوبی از جبهه پارتو (برای موارد دو هدفه) در زمان محاسباتی معقول نشان داده اند.(پینتو[1]، ۲۰۱۶). پسندیده و همکاران پژوهشی تحت عنوان مدلی برای مسئله چند کالایی مدیریت موجودی توسط فروشنده با محدودیت های تصادفی گنجایش انبار و بودجه را انجام دادند. همکاری در زنجیره ی تامین به عنوان یک تفاوت در کسب و کار و یک منبع ایجاد مزیت رقابتی شناخته شده است. یکی از پرکاربردترین انواع همکاری در زنجیره ی تامین، قرارداد مدیریت موجودی توسط فروشنده می باشد. در مقاله ایشان یک سیستم مدیریت موجودی توسط فروشنده دو سطحی با یک تامین کننده و چندین فروشنده مورد مطالعه قرار گرفته است. در این سیستم چند محصولی، تامین کننده کالاها را به صورت دوره ای برای فروشندگان ارسال می کند. با توجه به اینکه در واقعیت در مورد میزان بودجه و فضایی که شرکت ها می توانند دردسترس داشته باشند قطعیتی وجود ندارد؛ محدودیت های تصادفی فضای انبار و بودجه ی تامین کننده و فروشندگان به مدل افزوده شده است. هدف مدل حداقل کردن کل هزینه های زنجیره ی تامین با تعیین مقادیر بهینه ی سفارش برای هر فروشنده به ازای هر کالا می باشد. در انتها ارایه ی مثال عددی حل شده بوسیله ی نرم افزار گمز و تحلیل حساسیت روی پارامترهای تامین کننده و فروشندگان روشن ساختند که توجه به پارامترهای تامین کننده برای کاهش هزینه های کل سیستم موثرتر ارایه شده است. (پسندیده[2] و همکاران، ۲۰۱۸)

1 - Maldonado Pinto
2 -Pasandideh

علوی دوست و همکاران پژوهشی تحت عنوان برنامه ریزی غیرخطی اعداد صحیح مختلط دوهدفه برای شبکه های زنجیره تامین سه طبقه ای چند کالایی، را انجام دادند. هدف ایشان تعیین سطح خدمات بهینه است تا هزینه کل به حداقل برسد. دستیابی به چنین شرایطی مستلزم این بود که تعیین شود کدام گره های تامین کننده و کدام گره های مراکز توزیع در شبکه باید فعال باشند تا نیازهای خرده فروشان را برآورده کنند. موضوعی که فی نفسه یک مشکل بهینه سازی شبکه است. شبکه زنجیره تامین پیشنهادی برای مقاله ایشان، به صورت یک برنامه‌ریزی غیرخطی اعداد صحیح مختلط فرمول‌بندی شده است و برای حل این مشکل پیچیده، از سه الگوریتم ژنتیک به نام الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی غیر غالب، الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی غیرمسلط، و الگوریتم انتخاب مبتنی بر پارتو استفاد کردند و برای اعتبارسنجی، نتایج به‌دست‌آمده را مقایسه کردند (علوی دوست[1] و همکاران، ۲۰۱۸) اسکندری و همکاران، پژوهشی تحت عنوان طراحی یک شبکه زنجیره تامین دارویی دو هدفه در حالت عدم قطعیت با در نظر گرفتن زمان فسادپذیری تولید و تحویل دارو را انجام دادند. در مقاله ایشان یک شبکه زنجیره تامین دارویی دو هدفه در حالت عدم قطعیت پارامترهای هزینه های حمل و نقل و تقاضا، مدل سازی و توسعه داده شده است. برای کنترل پارامترهای غیر قطعی از روش بهینه سازی استوار بهره گرفته اند. هدف اصلی مقاله تعیین تعداد و مکان بهینه تسهیلات بالقوه از جمله مراکز تولید کننده دارو و مراکز توزیع دارو با در نظر گرفتن کاهش هزینه های طراحی شبکه زنجیره تامین و کاهش حداکثر تقاضای برآورده نشده از توزیع کالا به مناطق تقاضا می باشد. همچنین در مقاله ایشان زمان تولید، تحویل و فساد پذیری دارو نیز در مدل سازی مدنظر قرار گرفته است. برای حل این مدل یک مثال عددی تولید و با روش تصمیم گیری چند هدفه به حل مدل پرداخته شده است. نتایج بدست امده حاکی از کارایی این مدل در یافتن جبهه پارتو در زمان مناسب می باشد.(اسکندری[2] و همکاران، ۲۰۲۰). پاک و همکاران، پژوهشی تحت عنوان طراحی یک شبکه زنجیره تامین سبز چندهدفه برای یک شرکت خودروسازی را با استفاده از الگوریتم فراابتکاری بهبودیافته انجام دادند. هدف مقاله ایشان ارائه یک شبکه زنجیره تامین سبز پنج لایه چند محصولی برای یک شرکت خودروسازی است. شبکه زنجیره تامین سبز پیشنهاد شده شامل سطوح مختلفی از جمله تامین کنندگان، انبارها، کارخانه ها، مراکز توزیع و مشتریان است. هدف اول در مطالعه ایشان به حداقل رساندن هزینه های حمل و نقل و ساخت و ساز است و هدف دوم به حداقل رساندن انتشار دی اکسید کربن در طول فرآیند حمل و نقل در تمام سطوح زنجیره تامین می باشد. مسئله مورد مطالعه، با دو روش فراابتکاری در مقیاس بزرگ حل شده و از روش تاگوچی برای تنظیم پارامترهای این دو الگوریتم فراابتکاری استفاده شده است. علاوه بر این، از روش مبتنی بر اولویت برای

1 -Alavidoost
2 -Eskandari

رمزگذاری مدل دو هدفه استفاده شده است. حداقل محدودیت ظرفیت نیز در طراحی الگوریتم فراابتکاری در نظر گرفته شده و یک الگوریتم تعمیر جدید به منظور جلوگیری از تولید راه حل های غیرقابل اجرا مدل پیشنهاد شده است. چندین مسئله نمونه برای ارزیابی عملکرد الگوریتم های فراابتکاری پیشنهادی ایجاد شده و در نهایت، نتایج الگوریتم‌های پیشنهادی با استفاده از معیارهای عملکردی با یکدیگر مقایسه می‌شوند. نتایج نشان دهنده برتری نسخه ی نسخه ی دوم الگوریتم تکاملی مبتنی بر قوت پارتو نسبت به الگوریتم ژنتیک از نظر تمام معیارهای مقایسه است. (پاک[1] و همکاران، ۲۰۲۱)

کامرانپور و همکاران پژوهشی تحت عنوان فراابتکاری برای مشکل موجودی مدیریت شده فروشنده سبز دوهدفه در یک شبکه زنجیره تامین دو طبقه را انجام دادند. در پژوهش ایشان، پیشنهاد سه روش فراابتکاری توانمند برای حل بهینه آن در نمونه‌های مقیاس بزرگ است. در این راستا، الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی غیرغالب به عنوان یک روش شناخته شده و الگوریتم چند هدفه کشتی، الگوریتم چند هدفه گوزن قرمز مورد استفاده می‌شود. منطقه تحقیقاتی نتایج فراابتکاری با روش محدودیت اپسیلون در مجموعه ای از نمونه های مقیاس کوچک در مقایسه با نتایج ادبیات بررسی می شود. در نهایت، خروجی ها تایید می کنند که وضعیت کمبود مجاز به همراه عدم کاهش هزینه، میزان ارسال و سفارش بیشتری را نشان می دهد. به این ترتیب، عملکرد ، الگوریتم چند هدفه گوزن قرمز در مقایسه با الگوریتم چند هدفه کشتی و ژنتیک از طریق معیارهای مختلف تایید شده است (کامرانپور[2] و همکاران، ۲۰۲۲). آقایی پور و همکاران در پژوهشی به ارائه یک مدل ریاضی مکان یابی تسهیلات پویا در طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه – بسته، ازطریق بررسی استراتژیک یک افق برنامه ریزی چند دوره ای در جهت حداقل نمودن اثرات زیست محیطی و کسب مزیت رقابتی با نظریات پورتر پرداختند. مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط ارایه شده توسط ایشان مکانهای بهینه کارخانجات تولیدی، مراکز توزیع، مراکز جمع آوری و تسهیلات بازسازی استفاده شده همراه با جریانهای یکپارچه رو به جلو و معکوس، هزینه کل مکان تسهیلات و حمل و نقل مربوط به جریانهای رو به جلو و معکوس در شبکه را حداقل می نماید. این مدل دو طرفه مکانیابی تسهیلات برای انتقال محصولات نهایی وجمع آوری بازده های محصول در یک زنجیره تامین یکپارچه حلقه – بسته بطور همزمان مدنظر قرارگرفته است. مدل برنامه ریزی چند هدفه عدد صحیح آمیخته جدید برای مکان یابی تسهیلات و طراحی همزمان شبکه رو به جلو و معکوس جهت تعیین جامع راه حل های بلندمدت استراتژیک بسط داده شده که حداکثر نمودن ارزش خالص فعلی، جریان نقدینگی برای کل زنجیره تامین و همچنین حداقل نمودن انتشار گازهای گلخانه ای از

1- Pak
2 -Kamranpour

محصولات تولیدی تامین کنندگان را ارائه کردند. پارامترهای الگوریتم های پیشنهادی ازدحام ذرات و ژنتیک به کمک روش طراحی آزمایشات تاگوچی در مقاله ایشان تنظیم شده است. نتایج عددی نشان می دهد که مدل ارایه شده با الگوریتم های فراابتکاری فوق برای بدست آوردن جنبه های کمی برنامه ریزی استراتژیک در شرایط زنجیره تامین حلقه – بسته قابل استفاده می باشد. (آقائی‌پور[1] و همکاران، ۲۰۲۳).

محمودی و همکاران چارچوبی برای بهینه‌سازی زنجیره تامین میعانات نفتی با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی برای طراحی و اتخاذ تصمیم‌های استراتژیک و تاکتیکی مدل‌سازی ارایه کردند. بر اساس این چارچوب، هزینه های سرمایه گذاری و عملیاتی و انتشار گازهای گلخانه ای برای خطوط انتقال نفت و گاز را به حداقل رساندند تا نیازهای فشار و شبکه انتقال برآورده شود. همچنین تولید آلاینده‌ها را در بخش‌های مرتبط با زنجیره را به حداقل رساندند. با بکارگیری یک مورد مطالعه واقعی، تمام تصمیمات ممکن برای در نظر گرفتن جنبه های زیست محیطی زنجیره تامین در نظر گرفته اند. مدل پیشنهادی ایشان با دقت مطلوبی که در مقایسه با مدل سازی شبیه سازی و الگوریتم فراابتکاری ژنتیک قرار گرفته و می تواند اهداف را بخوبی برآورد کند. استفاده از مدل پیشنهادی ایشان هزینه ها را تا ۳۱ درصد و انتشار گازهای گلخانه ای را تا ۵۱ درصد کاهش می دهد. همچنین افزایش ۸ درصدی ظرفیت میادین و پالایشگاه ها و افزایش ۶۵ درصدی صادرات رخ خواهد داد. با استفاده از نتایج به دست آمده از حل مدل ایشان می توان سهم هر فرآورده نفتی را در بهای تمام شده و هر قسمت از زنجیره را در تولید گازهای گلخانه ای تعیین کرد. (محمودی, بذرافشان, & پور, ۲۰۲۳).

با مرور پیشینه تحقیقات متوجه می شویم که در سال های اخیر تحقیقات خوبی در زمینه شبکه توزیع سبز چند کالایی صورت گرفته که نشان از اهمیت این مباحث در بین یادگیرندگان می باشد. همچنین مرور تحقیقات پیشین نشان داد که تحقیقات متعددی در این مورد انجام شده است، اما هیچ تحقیقی حل شبکه توزیع سبز با در نظر گرفتن توابع هدف مطرح شده در این پژوهش و حل آن به کمک الگوریتم سئو، مورد بررسی قرار نداده است.

روش شناسی

مدل پیشنهادی مسئله به دنبال کاهش هزینه‌های حمل و نقل و نیز زمان حمل و نقل با استفاده از برنامه‌ریزی تولید می‌باشد. همچنین به علت وجود مواد شیمیایی درصدی آلایندگی موجود است که مدل در طی فرآیند خود سعی در کاهش آن‌ها خواهد داشت. در این سیستم تعدادی ماشین آلات و نیز تعدادی مشتری موجود هستند که هرمشتری می‌بایست یکبار مورد بازدید قرار گیرد. مدل‌سازی این مسئله به قرار زیر خواهد بود:

1- Aghayeepour

جهت مدل‌سازی مسئله ابتدا مفروضات زیر در نظر گرفته شده است:

- تمامی ماشین‌ها در زمان صفر در دسترس هستند.
- هر مشتری تنها یکبار می‌بایست بازدید شود.
- هر ماشین تنها می‌بایست حداقل از یک مشتری بازدید کند و نیازی به بازگشت به کارخانه ندارد.
- ظرفیت ماشین آلات نمی‌تواند از حد خود تجاوز کند
- هزینه انتقال مستقل از ظرفیت ماشین آلات می‌باشد
- یک ماشین تا زمانی که تمام مقدار سفارش بر روی آن بارگیری نشده باشد از محل کارخانه خارج نمی‌شود.

با این تعاریف پارامترهای و متغییرهای مدل پیشنهادی به صورت جدول ۱ و جدول ۲ می‌باشند.

جدول شماره ۱: پارامترهای مدل پیشنهادی

$\boldsymbol{V}$	نشان دهنده مکان توقف ماشین می‌باشد
W	مجموعه‌ای از ماشین آلات یکسان با ظرفیت $\boldsymbol{Q}$ و برابر با $\{\boldsymbol{1.2.\ldots.K}\}$
$(i.j)$	اندیس مشتری که متعلق به مجموعه $\boldsymbol{N}=\{\boldsymbol{1.2.\ldots.n}\}$ می‌باشد
J_i	اندیس سفارش مشتری i ام که متعلق به مجموعه $\boldsymbol{O}=\{\boldsymbol{J_1.J_2.\ldots.J_n}\}$ می‌باشد
P_i	زمان فرآیند سفارش مشتری i ام
q_i	مقدار تقاضای سفارش مشتری i ام
C_i	زمان تکمیل در فرآیند تولید سفارش مشتری i ام
k	اندیس مربوط به ماشین آلات که به مجموعه ماشین آلات $\boldsymbol{W}=\{\boldsymbol{1.2.\ldots.K}\}$ متعلق می‌باشد
Q	ظرفیت هر ماشین
t_{ij}	زمان سفر بر روی کمان $(\boldsymbol{i.j})$
C_{ij}	هزینه انتقال بر روی کمان $(\boldsymbol{i.j})$
P_{ij}	میزان آلایندگی محیطی در انتقال بر روی کمان $(\boldsymbol{i.j})$
Lim_p	حد بالای میزان آلایندگی

جدول شماره ۲: متغیرهای پیشنهادی مسئله

$\boldsymbol{x_{ijk}}$	متغیر صفر و یک و برابر با ۱ زمانی که ماشین k ام از کمان $(\boldsymbol{i.j})$ استفاده نماید، در غیر اینصورت ۰
y_{ik}	متغیر صفر و یک و برابر با ۱ زمانی که ماشین k ام سفارش $\boldsymbol{J_i}$ را بارگیری نماید، در غیر اینصورت ۰
z_{ij}	متغیر صفر و یک و برابر با ۱ زمانی که سفارش $\boldsymbol{J_i}$ بلافاصله قبل از سفارش $\boldsymbol{J_j}$ داده شود، در غیر اینصورت ۰
A_i^k	زمان رسیدن ماشین k ام به مشتری i ام

تابع هدف مسئله به دنبال کمینه‌سازی حداکثر زمان طی مسیر توسط همه ماشین آلات و نیز کمینه‌سازی هزینه‌های ناشی از انتقالات می‌باشد. با توجه به معادله ۱ تابع هدف در گام اول به دنبال کمینه کردن مجموع حداکثر زمان سفر و حداکثر زمان تکمیل فرآیند سفارش بوده و در گام دوم به کمینه‌سازی هزینه‌های انتقالات نیز خواهد پرداخت. از آنجایی که این هزینه‌ها همراستا بوده‌اند، لذا می‌توان در یک تابع هدف تجمیع شوند. همچنین این موارد زمانی عدد به خود می‌گیرند که سفری بر روی کمان (مسیر) مورد نظر به انجام برسد.

$$Min\ Z۱ = \left(\max_{k \in W} \left(\sum_{i \in V/\{n+۱\}} \sum_{j \in N} t_{ij} x_{ijk} + \max_{j \in N} (C_j y_{jk}) \right) \right) + \sum_{i \in V/\{n+۱\}} \sum_{j \in N} C_{ij}\ x_{ijk} \quad (۱)$$

با توجه به معادله ۲ به علت انتقال مواد شیمیایی مقداری آسیب زیست محیطی در انتقالات موجود است که تابع هدف دوم سعی در کمینه سازی آن‌ها در هر انتقال خواهد داشت.

$$Min\ Z۲ = \sum_{i \in V/\{n+۱\}} \sum_{j \in N} P_{ij}\ x_{ijk} \quad (۲)$$

محدودیت‌های مدل را جهت تشریح بیشتر می‌توان در دسته‌های زیر قرار داد:

معادله شماره ۳ این اطمینان را خواهد داد که همه مشتریان تنها یکبار مورد بازدید قرار گیرند. این محدودیت به صورت زیر می‌باشد:

$$\sum_{k=۱}^{K} \sum_{i=۰}^{n} x_{ijk} = ۱ \qquad j = ۱.۲.\ldots n \quad (۳)$$

طبق فرضیات مسئله باید تمامی ماشین آلات تنها یکبار بارگیری شوند. در معادله ۴ این محدودیت به صورت زیر می‌باشد:

$$\sum_{j=۱}^{n} x_{.jk} = ۱ \qquad k = ۱.۲.\ldots K \quad (۴)$$

طبق فرض مسئله هر ماشینی که به نقاط مشتری وارد می‌شود باید از آن نیز خارج شود. جهت این امر و اجرای آن در مدل، محدودیت شماره ۵ به کار رفته است. با توجه به این محدودیت، برای هر ماشین k جهت رساندن سفارش برای مشتری h، یا از مشتری قبلی و یا از کارخانه (انبار) شروع به حرکت خواهد کرد. همچنین پس از رساندن و تحویل سفارش مشتری h، ماشین k ام یا به سمت مشتری بعدی رفته و یا به کارخانه (انبار) بازخواهد گشت. لذا با توجه به این معادله هر ماشین موظف است که پس از رسیدن به نقطه مشخص مشتریان و تحویل سفارش، آن نقطه را ترک کرده و به سمت نقطه بعدی (مشتری یا انبار) رود.

$$\sum_{i=۰.i \neq h}^{n} x_{ihk} - \sum_{j=۰.j \neq h}^{n+۱} x_{hjk} = ۰ \qquad h = ۱.۲.\ldots.n\ \ k = ۱.۲.\ldots K \quad (۵)$$

نامعادله ۶ نشان دهنده این است که ظرفیت ماشین آلات نباید از حد خاصی تجاوز کند.

$$\sum_{i=۰}^{n} \sum_{j=۰}^{n} x_{ijk} q_j \leq Q \qquad k = ۱.۲.\ldots K \quad (۶)$$

نامعادله ۷ بیانگر رابطه موجود میان دو زمان برآورد سفارش می‌باشد. در این محدودیت زمان تکمیل در فرآیند تولید سفارش و زمان فرآیند همواره از زمان تکمیل تولید بعدی کمتر می‌باشد. در این معادله M به صورت عدد بسیار بزرگ در نظر گرفته می‌شود.

$$C_i + P_i - C_j \leq \left(1 - z_{ij}\right) M \quad i = 0.1.2. \ldots . n \;\; j = 0.1.2. \ldots . n \tag{۷}$$

معادلات ۸ و ۹ تضمین می‌کنند که هر سفارش بعد از هر سفارش دیگر به انجام برسد و یا در نهایت آخرین سفارش به انجام رسیده در مجموعه سفارشات باشد. در این معادلات همچنین لازم به ذکر است که سفارش $n + 1$ به عنوان یک آخرین سفارش مصنوعی با زمان سفارش در نظر گرفته شده است.

$$\sum_{i=0}^{n} z_{ij} = 1 \qquad j = 1.2. \ldots . n \tag{۸}$$

$$\sum_{j=1}^{n+1} z_{ij} = 1 \qquad i = 1.2. \ldots . n \tag{۹}$$

معادله ۱۰ ضمانت کننده این است که ماشین در زمان صفر شروع به کار می‌کند. این معادله به صورت زیر است:

$$C_0 = 0 \tag{۱۰}$$

در مدل پیشنهادی جهت جلوگیری از ایجاد ساب‌تور نامعادله ۱۱ پیشنهاد می‌شود که توسط یک عدد بسیار بزرگ محدود شده است. با توجه به این محدودیت زمان رسیدن به نقطه بعدی برابر با زمان رسیدن به نقطه قبلی و زمان سفر بر روی مسیر خواهد بود.

$$A_i^k + t_{ij} - A_j^k \leq \left(1 - x_{ijk}\right) M \; i = 0.1.2. \ldots . n \;\; j = 0.1.2. \ldots . n. k = 1.2. \ldots . K \tag{۱۱}$$

نامعادله ۱۲بیان می‌کند که هر یک از ماشین‌ها نمی‌توانند قبل از اینکه بزرگترین سفارش در میان همه سفارشات با بیشترین زمان تکمیل تولید شود، از کارخانه جدا شده و به سمت مشتریان حرکت کنند.

$$A_0^k \geq \max_{j \in N}\left(C_j y_{jk}\right) \quad k = 1.2. \ldots . K \tag{۱۲}$$

معادله ۱۳ بیان می‌دارد که زمانی یک ماشین از مشتری دیدار می‌کند که بتواند سفارش مربوط به آن مشتری را برآورد کند. به عبارت دیگر از قبل به اندازه نیاز مشتری بر روی آن ماشین بارگیری به انجام رسیده باشد.

$$y_{jk} = \sum_{i=0, i \neq j}^{n} x_{ijk} \quad i = 0.1.2. \ldots . n. \;\; k = 1.2. \ldots . K \tag{۱۳}$$

نامعادله ۱۴ میزان آلایندگی‌ها را به مقداری از پیش تعیین شده محدود می‌کند.

$$\sum_{i \in V/\{n+1\}} \sum_{j \in N} P_{ij} \; x_{ijk} \leq Lim_p \tag{۱۴}$$

$$x_{ijk} \in \{0.1\} \quad i = 0.1.2. \ldots . n \;\; j = 1.2. \ldots . n + 1 \;\; k = 1.2. \ldots . K \tag{۱۵}$$

$$y_{jk} \in \{۰،۱\} \quad j = ۱،۲،\ldots.n \; k = ۱،۲،\ldots.K \tag{۱۶}$$

$$z_{ij} \in \{۰،۱\} \quad i = ۰،۱،۲،\ldots.n \; j = ۱،۲،\ldots.n \tag{۱۷}$$

مسئله حاضر ابتدا با استفاده روش ال پی متریک به یک مدل تک هدفه خطی عدد صحیح آمیخته تبدیل شده است. از این رو، مدل پیشنهادی بدست آمده را در نرم افزار گمز پیاده سازی و با استفاده از سیپلکس[1] مدل پیاده سازی شده حل شده است. سپس، کدنویسی در نرم افزار متلب به انجام رسیده است. با توجه به اثبات سخت[2] بودن مدل ارایه شده از الگوریتم فراابتکاری سئو (بهینه‌سازی مهندسی اجتماعی) استفاده شده است (لی[3] و همکاران، ۲۰۲۰).

الگوریتم فراابتکاری سئو (بهینه‌سازی مهندسی اجتماعی):

علیرغم که در سال های اخیر تعداد زیادی الگوریتم فراابتکاری ارائه شده است، اما باز با این حال محققان بیشتر از الگوریتم‌های سنتی برای حل مسائل استفاده می‌کنند. می‌توان گفت که در طول دو دهه اخیر بیشتر الگوریتم‌های فراابتکاری ارائه شده مبتنی بر جمعیت و دارای تعداد زیادی مراحل و پارامتر بوده‌اند که کار را برای درک و فهم و تنظیم آنها سخت کرده است. الگوریتم مهندسی اجتماعی توسط فتح‌اله فرد و همکاران در سال ۲۰۱۸ معرفی شده که الهام گرفته از قواعد مهندسی اجتماعی به عنوان یک پدیده نوظهور در دنیای واقعی امروز شبیه‌سازی شده است. این الگوریتم تنها با دو جواب ابتدایی تصادفی به نام مهاجم و مدافع شروع به کار می‌کند و فاز های جست و جو با استفاده از قواعد مهندسی اجتماعی می‌باشد که در آن مهاجم با استفاده از تکنیک‌های خاصی به دنبال رسیدن به اهداف مطلوب خود است (فتح الله فرد[4] و همکاران، ۲۰۱۸). این الگوریتم با توابع استاندارد ریاضی و مسائل مختلف در حوزه زمانبندی و حمل و نقل مورد تحلیل قرار گرفته است. در مهندسی اجتماعی، مهاجم به جای انجام حملات مستقیم با استفاده از تکنیک‌های خاصی فرد را وادار به فاش کردن اطلاعات می‌کند تا به هدف یا اهداف مورد نظر خویش برسد. با پیشرفت فناوری‌ها و افزایش رسانه‌های تعامل اجتماعی نحوه‌ی انجام دگرگونی‌های سیاسی، اقتصادی و اجتماعی برای پیشبرد جامعه به سمت و سوی خاص تفاوت پیدا کرده است. امروزه برای متقاعد کردن کسی به واگذاری از حق خود و فاش کردن اطلاعات مربوط به خود و کشاندن فرد مورد نظر به سمتی که مهاجم مد نظر اوست از یک نظام هوشمند به عنوان مهندسی اجتماعی بهره برده می‌شود. سارا گرنجر در دو مقاله خود اقدام به معرفی چرخه اصلی مهندسی اجتماعی و تکنیک‌های به کار برده در آن از طریق مهاجم می‌پردازد. ایشان در مقاله خود عنوان می‌کند که دیگر مهاجمان از انجام حملات با برخورد

1 - CPLEX
2 - NP-hard
3 - Li. (Li, 2020)
4 - Fathollah-Fard

فیزیکی جلوگیری میکنند و به دنبال یک سری از روش‌های هوشمند برای طعمه‌گذاری برای فرد مورد نظر هستند. و هم چنین اذعان کردند که دفاع در مقابل حملات مهندسی اجتماعی مانند هر جرمی دارای الگوی متداول می‌باشد. ایشان مدعی شدند که برای انجام حملات مهندسی اجتماعی یک چرخه‌ی چهار مرحله‌ای وجود دارد. ایشان اولین مرحله برای یک طعمه گذاری را مرحله‌ی یادگیری و بازآموزی مهاجم از مدافع می‌داند. در این مرحله مهاجم اقدام به آزمایش فرد مورد نظر و تست کردن او در بعدهای مختلف وارد می‌شود تا راه شناسایی ضربه به او را آغاز کند. مهم ترین نکته‌ای که هر فرد باید بیاموزد این است که چگونه اطلاعات امنیتی خود را حفظ کند و در قبال سوالات ساده از او، خیلی راحت فریب نخورده و وارد بازی مهاجم نشود. این اطلاعات میتواند در موضوعات متفاوتی باشد که در وهله‌ی اول برای مدافع ارزش چندانی نداشته باشند مانند علایق در مورد ویدئو ها، آهنگ‌ها و رشته‌های ورزشی و اتفاقات عامی که در اجتماع رخ می‌دهد و بعدهای دیگر شخصی در نظام خانوادگی. هر مهاجم قبل از شروع و انجام یک حمله مهندسی اجتماعی به یک سری چنین داده‌های نیاز دارد تا با شناسایی عکس العمل‌های فرد مورد نظر اقدام به طراحی یک حمله بر او را بکند. خبر گان مهندسی اجتماعی امروزه این عقیده را دارند که تمام رسانه‌های اجتماعی با گسترش طیف خود برای همه سعی در قالب کردن هدف خود و کشاندن جامعه به مسیر مورد نظر خود را دارند، اگرچه این چنین وانمود می‌کنند که قصد آنها کمک به آنهاست. در مرحله‌ی دوم مهاجم به دنبال به جا آوردن یک حمله مهندسی اجتماعی می‌باشد. کاملا مشهود است که قبل از انجام یک حمله باید نقاطی که در آن احتمال موفقیت در آن وجود دارد شناسایی شود. در این مرحله مهاجم شما را به سمتی که خود مایل می‌باشد می‌کشاند و تا در مسیر اهداف او قرار گیرید. مهم ترین نکته برای جلوگیری از یک حمله این است که بتوانید خواسته‌ی اصلی او را فهمیده و مانند مهاجم فکر کنید. برای انجام یک حمله‌ی مهندسی اجتماعی با توجه به یادگیری‌های گذشته تکنیک‌های متفاوتی وجود دارد. مانند: بهانه قراردادن، به خدمت گرفتن ، سرقت انحرافی، فیشینگ و غیره. در هر یک از تکنیک‌ها مهاجم به طریقی مدافع را به سمت و سوی مورد نظر خود می‌کشاند و سود لازم مورد نظر خود را می‌برد. مرحله‌ی سوم نحوه‌ی پاسخ مدافع به این حمله می‌باشد که چگونه در مقابل آن واکنش نشان داده و در چه حد اطلاعات و خواسته مورد نظر مهاجم را برآورده می‌کند. در آخرین قدم مهاجم اگر از یک حمله نتیجه مورد رضایت حاصل نشده باشد یا به طریق دیگر حمله را تکرار میکند یا از فرد مورد نظر دست کشیده و فرد دیگری را انتخاب میکند. در روش پیشنهادی هر جواب بیان کننده هر فرد و خصوصیات آن فرد شامل توانایی‌های او در زمینه ریاضیات، ورزشی، تجارت و غیره بیان کننده متغیرهای مساله می‌باشند(گرنجر[1]، ۲۰۰۲). همان طور که پیش تر گفته شد، این الگوریتم با دو جواب تصادفی شروع به کار می‌کند. جواب بهتر را مهاجم و

1 -Granger

دیگری را مدافع نام گذاری می‌کنیم. برای شبیه‌سازی یادگیری و بازآموزی از طرف مهاجم به مدافع، یک سری آزمایشات تصادفی برای هر مشخصه تعریف شده که در ان مهاجم یک مشخصه خود را در مدافع آزمایش می‌کند و مقدار یادگیری محاسبه شده و مدافع جدید به این صورت که بیشترین نرخ بازآموزی را داشت در صورت وجود جایگزین مدافع فعلی می‌شود. در ادامه انجام حملات از مدافع با توجه به تکنیک‌های که در اختیار اوست انجام میگیرد در طی این کنش‌ها مدافع به نقاطی که مدنظر مهاجم است منتقل شده تا پاسخ به حملات انجام گیرد و مدافع ارزیابی شده و این روند تا پایان حملات تکرار شده و اگر مدافع ارزش بیشتری نسبت به مهاجم داشته باشد جای این دو از یکدیگر عوض شده و در پایان مدافع جدید برای راه اندازی مجدد الگوریتم استفاده شده است. در این الگوریتم نیز مانند سایر فراابتکاری‌ها، فازهای جست و جو در نظر گرفته شده است. یادگیری و بازآموزی مدافع و مهاجم از یکدیگر جست و جوی محلی را در الگوریتم تشکیل می‌دهد. همچنین انجام حملات مهاجم به مدافع و نحوه پاسخ آن فاز تمرکز را تشکیل داده و درنهایت انتخاب مدافع جدید فاز تنوع را برای این الگوریتم تشکیل می‌دهد. (فتح الله فرد[1] و همکاران، ۲۰۱۹)

یافته ها

به منظور تنظیم الگوریتم، روش تاگوچی در اینجا اعمال می شود. روش تاگوچی تعداد آزمایشات لازم برای مباحث مهندسی کیفیت را کوتاه می‌کند (تاگوچی[2]، ۱۹۸۶). روش تاگوچی ویژگی‌های دو گروه اصلی را مقایسه می کند: عوامل کنترل و نویز. مقدار تنوع پاسخ برای تنظیم الگوریتم‌ها باید توسط نسبت سیگنال به نویز تخمین زده شود.(یوسفی[3] و همکاران، ۲۰۱۸). بنابراین، روند رویکرد تاگوچی یک نوع پاسخ بسیار وابسته است. به عبارت دیگر، پاسخ ارائه شده به هر دسته از گروه‌های مرتب سازی تاگوچی متصل است. برای کوچک کردن هر پارامتر الگوریتم در این مطالعه تحقیقاتی، "کوچکتر بهتر است" استفاده شده است، زیرا پاسخ ارائه شده از این مطالعه به حداقل رساندن است. مقدار انتخاب شده نسبت سیگنال به نویز در این مطالعه در معادله ۱۸ نشان داده شده است:

$$S/N = -10log\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} Y_i^2}{n}\right) \qquad (18)$$

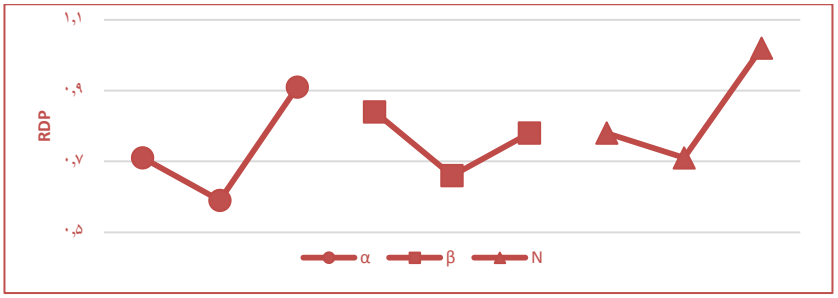
هر پارامتر الگوریتم رویکرد تاگوچی عاملی است که به سطوح خاصی نیاز دارد. بنابراین، این مطالعه شامل سه سطح است. اطلاعات بیشتر در مورد روش پیشنهادی سئو در جدول ۴ نشان داده شده است.

1 - Fathollahi-Fard
2 - Taguchi
3 - Yousefi

جدول شماره ۴: فاکتورهای در نظر گرفته شده برای الگوریتم‌های پیشنهادی

الگوریتم	فاکتورها	سطوح		
		۱	۲	۳
سئو	A: Rate of collecting data (α)	۰,۲	۰,۲۵	۰,۳
	B: Rate of connecting attacker (β)	۰,۰۴	۰,۰۴۵	۰,۰۵
	C: Number of connections (N)	۵۰	۵۵	۶۰

جهت تعیین بهترین فاکتورهای الگوریتم می توان با استفاده از نرم افزار مینی تب و قسمت طراحی آزمایش تاگوچی بهره برد. نمودار مربوط به سیگنال به نویز برای الگوریتم سئو در شکل ۱ به نمایش در آمده است.(نبوتی، ۲۰۲۱)



شکل شماره۱: مقادیر سیگنال به نویز برای روش الگوریتم فراابتکاری سئو

همچنین با توجه به شکل ۱، مقادیر بهینه فاکتورهای پیشنهادی در جدول ۳ به نمایش در آمده است.

جدول شماره ۳: مقادیر بهینه پارامترها

پارامترهای بهینه	الگوریتم
α =۰.۲۵; β =۰.۰.۰۴۵; N =۵۵	سئو

همچنین لازم به ذکر است مقادیر ورودی برای شروع به حل مسئله به صورت جدول ۴ تعریف شده است.

جدول شماره ۴: مقادیر ورودی جهت حل مسئله

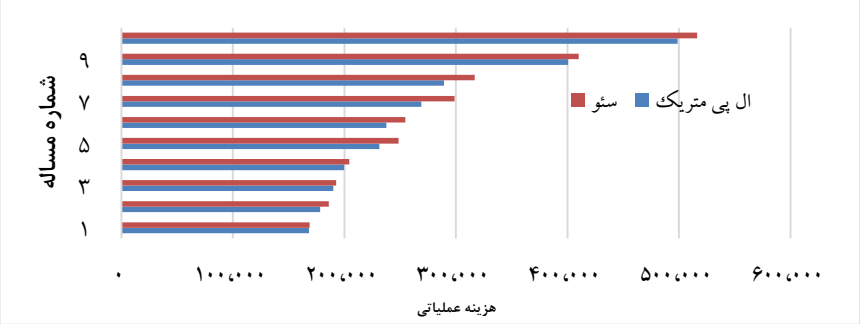
پارامتر	مقادیر
q_i	$\sim Uniform(800.3200)$
P_i	$\sim Uniform(20.80)$
C_i	$\sim Uniform(10.60)$
Q	$\sim Uniform(1000.1500)$
t_{ij}	$\sim Uniform(50.360)$
C_{ij}	$\sim Uniform(100000.2000000)$
P_{ij}	$\sim Uniform(30.100)$
Lim_p	$\sim Uniform(1000.2000)$

در گام بعدی مدل توسط کد نویسی و در حجم‌های مختلف توسط نرم‌افزار متلب حل شده است. جدول مقایسه‌ای پاسخ‌های متناظر گمز و زمان رسیدن به پاسخ مسئله در جدول ۵ به نمایش درآمده است.

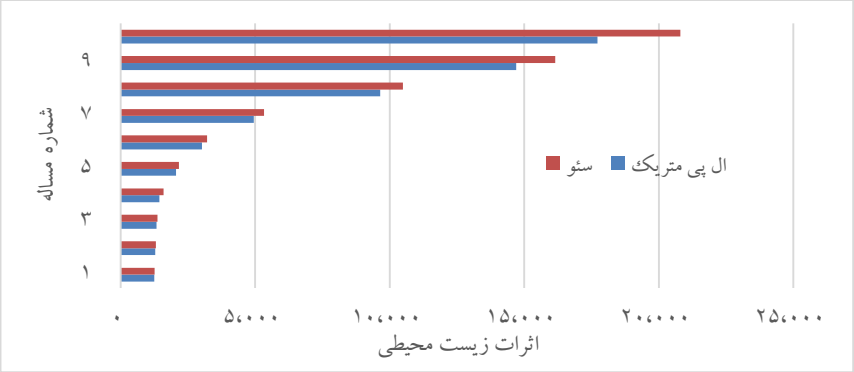
جدول شماره۵: مقایسه جواب های الگوریتم سئو با حل توسط نرم افزار گمز

زمان حل	ال‌پی‌متریک	زمان حل	سئو	توابع هدف	نمونه	شماره مساله
۱۸۹	۱۶۸۱۰۸	۱۸۶	۱۶۸۸۲۴	هزینه عملیاتی	N = ۳. K = ۳. O = ۳	۱
	۸۱.۱۲۵۶		۵۱.۱۲۶۹	اثرات زیست محیطی		
۲۳۲	۱۷۸۲۴۴	۱۸۶	۱۸۶۰۲۴	هزینه عملیاتی	N = ۵. K = ۴. O = ۴	۲
	۶۱.۱۲۹۱		۹۷.۱۳۱۷	اثرات زیست محیطی		
۲۵۰	۱۹۰۰۰۸	۱۸۶	۱۹۲۶۲۲	هزینه عملیاتی	N = ۸. K = ۶. O = ۴	۳
	۴۷.۱۳۳۱		۶۵.۱۳۷۲	اثرات زیست محیطی		
۲۶۲	۱۹۹۸۲۸	۱۸۶	۲۰۴۳۵۸	هزینه عملیاتی	N = ۹. K = ۸. O = ۵	۴
	۱.۱۴۳۹		۹۹.۱۵۹۸	اثرات زیست محیطی		
۲۶۹	۲۳۱۴۹۸	۱۹۰	۲۴۸۶۳۸	هزینه عملیاتی	N = ۱۲. K = ۸. O = ۵	۵
	۲۶.۲۰۶۶		۰۱.۲۱۷۵	اثرات زیست محیطی		
۲۸۴	۲۳۷۷۷۶	۱۹۰	۲۵۴۶۳۲	هزینه عملیاتی	N = ۱۵. K = ۱۰. O = ۶	۶
	۸۸.۳۰۲۵		۲.۳۲۱۹	اثرات زیست محیطی		
۳۷۸	۲۶۸۹۹۴	۱۹۲	۲۹۸۸۰۲	هزینه عملیاتی	N = ۱۸. K = ۱۰. O = ۷	۷
	۸۱.۴۹۵۴		۷۶.۵۳۲۷	اثرات زیست محیطی		
۴۳۶	۲۸۹۲۷۰	۱۹۲	۳۱۶۸۹۴	هزینه عملیاتی	N = ۲۰. K = ۱۲. O = ۸	۸
	۷۸.۹۶۴۸		۸۱.۱۰۴۸۷	اثرات زیست محیطی		
۶۰۱	۴۰۰۶۲۴	۱۹۸	۴۱۰۲۳۲	هزینه عملیاتی	N = ۲۵. K = ۱۲. O = ۸	۹
	۴.۱۴۷۰۲		۵.۱۶۱۵۶	اثرات زیست محیطی		
۸۸۴	۴۹۸۷۵۸	۱۹۸	۵۱۶۲۵۰	هزینه عملیاتی	N = ۳۰. K = ۱۵. O = ۱۰	۱۰
	۸.۱۷۷۲۰		۹.۲۰۸۰۰	اثرات زیست محیطی		

در جدول ۵ مقادیر مربوط به حل مسئله توسط سئو و ال‌پی‌متریک به نمایش در آمده‌اند. همچنین لازم به ذکر است که مقادیر زمان به دست آمده بر حسب ثانیه می‌باشد. با توجه به جداول قبلی لازم می‌باشد تا به مقایسه مقادیر به دست آمده بپردازیم. ابتدا برای نتایج به دست آمده از دو روش معرفی شده داریم.

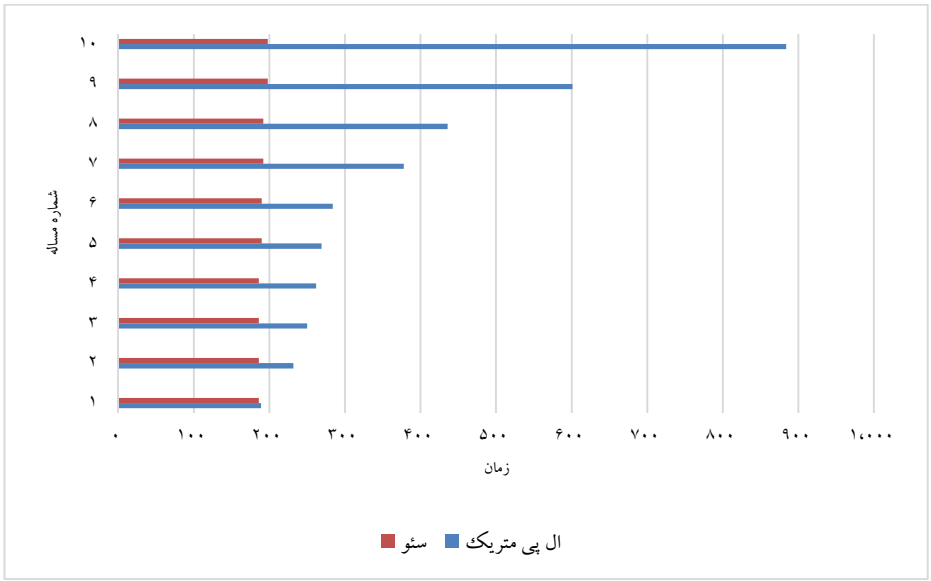


شکل شماره۲: مقایسه تابع هدف، هزینه عملیاتی به دست آمده توسط سئو و ال پی متریک



شکل۳: مقایسه تابع هدف اثرات زیست محیطی به دست آمده توسط سئو و ال پی متریک

با توجه به شکل ۲ و ۳ روش ال پی متریک با استفاده از سیپلکس[1] خود توانسته در تمامی موارد مقادیر بهینه‌تری (از لحاظ هزینه و اثرات زیست محیطی به ترتیب) را بیابد. همچنین همانگونه که از شکل پیداست الگوریتم سئو توانسته با تقریب بسیار قابل قبولی به پاسخ نهایی نزدیک شود و حتی در برخی نقاط تفاوت چندانی با عدد محاسبه شده با گمز ندارد. این قابلیت بالای این الگوریتم و روش را نشان می‌دهد.



شکل شماره۴: مقایسه زمان‌های حل

با توجه به شکل ۴، نمودار مربوط به زمان حل توسط دو روش ال پی متریک و سئو نشان داده است. هر چند در نمودار ۲ و ۳ الگوریتم سئو نتوانسته است به پاسخ بهینه نهایی دست یابد اما با نگاهی به نمودار ۴ توجه تفاوت زیاد زمان حل مسئله توسط الگوریتم سئو با روش دقیق

1- CIPLEX

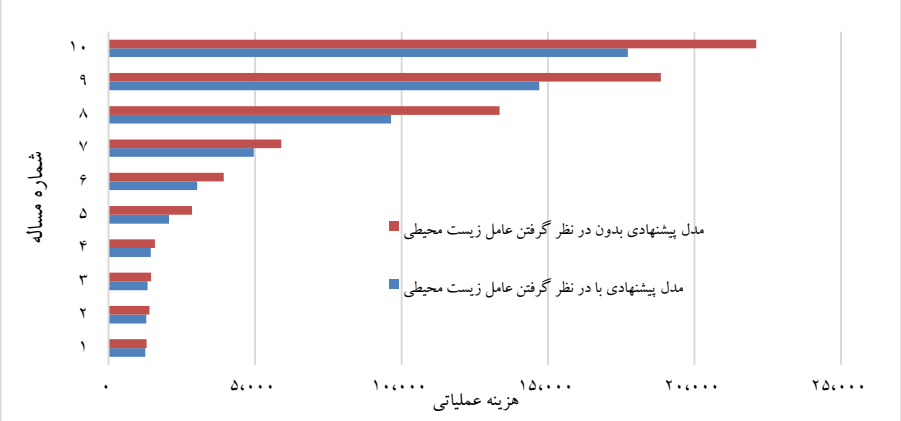
مشاهده میشود. الگوریتم سئو توانسته است در زمانی بسیار کمتر از گمز به پاسخ نهایی خود برسد و این قابلیت بالای این الگوریتم را نشان در حل مسائل با ابعاد بالا نشان می‌دهد.

تحلیل حساسیت

در قسمت قبل، مدل پیشنهادی توسط الگوریتم ال پی متریک و الگوریتم سئو حل شد و جهت ارزیابی عملکرد روش های حل، مدل پیشنهادی در مقیاس های مختلف حل شد. مشاهده شد که روش های حل پیشنهادی برای مدل توزیع محصولات کارایی و عملکرد مطلوبی دارند. حال، در این قسمت، به تحلیل مدل پیشنهادی بر اساس پارامترهای مهم و تاثیر گذار آن پرداخته می شود.مدل پیشنهادی دارای دو تابع هدف کاهش هزینه ها و کاهش اثرات زیست محیطی است در این قسمت مدل پیشنهادی را در دو حالت در نظر گرفتن تابع هدف اثرات زیست محیطی و بدون در نظر گرفتن اثرات زیست محیطی مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل ۵ و جدول ۶ نشان داده شده است که که در نظر گرفتن تابع هدف زیست محیطی به شکل موثری میزان اثر زیست محیطی (آلایندگی ها) را حداقل ۳/۸۱٪ تا ۳۸/۳۵ درصد کاهش می دهد.

جدول شماره ۶: مقایسه مدل پیشنهادی در حالت وجود تابع هدف زیست محیطی و عدم آن

نمونه	وجود کاهش اثرات زیست محیطی	عدم وجود کاهش اثرات زیست محیطی	درصد بهبود
N = ۳. K = ۳. O = ۳	۵۱.۱۲۶۹	۶۹۴.۱۳۰۴	۸۱.۳
N = ۵. K = ۴. O = ۴	۹۷.۱۳۱۷	۷۵۱.۱۴۰۰	۴۵.۸
N = ۸. K = ۶. O = ۴	۶۵.۱۳۷۲	۴۲۷.۱۴۵۷	۴۶.۹
N = ۹. K = ۸. O = ۵	۹۹.۱۵۹۸	۶۰۸.۱۵۸۶	۲۵.۱۰
N = ۱۲. K = ۸. O = ۵	۰۱.۲۱۷۵	۹۵۹.۲۸۴۸	۸۸.۳۷
N = ۱۵. K = ۱۰. O = ۶	۲.۳۲۱۹	۵۲۶.۳۹۳۱	۹۳.۲۹
N = ۱۸. K = ۱۰. O = ۷	۷۶.۵۳۲۷	۶۵۶.۵۹۰۳	۱۵.۱۹
N = ۲۰. K = ۱۲. O = ۸	۸۱.۱۰۴۸۷	۰۹.۱۳۳۴۹	۳۵.۳۸
N = ۲۵. K = ۱۲. O = ۸	۵.۱۶۱۵۶	۸۳.۱۸۸۵۵	۲۵.۲۸
N = ۳۰. K = ۱۵. O = ۱۰	۹.۲۰۸۰۰	۷.۲۲۱۰۶	۷۵.۲۴



شکل شماره۵: مقایسه مدل پیشنهادی با و بدون در نظر گرفتن اثرات زیست محیطی

-تحلیل حساسیت بر اساس از لحاظ اهمیت هر تابع هدف (جواب های پارتو)

مدل پیشنهادی دارای دو تابع هدف حداقل سازی هزینه های کل و حداقل سازی اثرات زیست محیطی است. از آنجایی کـه توابـع هـدف مسئله بر اساس داده های ورودی و فضای حل مدل متناقض هستند (یعنی با افزایش یکی، بقیه دچار کاهش خواهنـد شـد) بنـابراین، بـرای اینگونه مسائل از وزن اهمیت توابع هدف استفاده می گردد. تا به مدیران و تصمیم گیرندگان این امکان را بدهد بتوانند در شرایط مختلـف و بر اساس اهداف و برنامه های خود تصمیم گیری کنند. از این رو، در این قسمت مقادیر توابع هدف مدل پیشنهادی با وزن هـای اهمیـت متفاوت سنجیده می شود. از آنجایی که دو تابع هدف داریم و مجموع اوزان توابع هدف باید برابر یک شود، با حداقل ۱۰۰ حالت ممکـن روبرو هستیم که به تنهایی در قالب این پژوهش نمی گنجد. در نتیجه به بررسی رفتار کلی مدل پیشنهادی در ده حالـت مـورد بررسـی قـرار می گیرد. اگر W_1، W_2 به ترتیب وزن تابع هدف اول و دوم باشد. در این صورت بررسی جواب پارتو مدل پیشنهادی به صورت جـدول ۷ است.

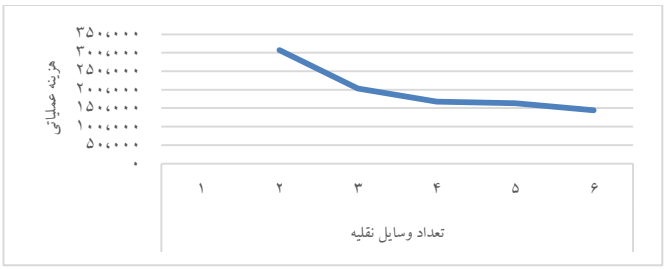
جدول شماره ۷: جواب پارتو مدل پیشنهادی در وزن (اهمیت) متفاوت از هر تابع هدف

توابع هدف	$w_1 = 0.1$	$w_1 = 0.2$	$w_1 = 0.3$	$w_1 = 0.4$	$w_1 = 0.5$	$w_1 = 0.6$	$w_1 = 0.7$	$w_1 = 0.8$	$w_9 = 0.9$
	$w_2 = 0.9$	$w_2 = 0.8$	$w_2 = 0.7$	$w_2 = 0.6$	$w_2 = 0.5$	$w_2 = 0.4$	$w_2 = 0.3$	$w_2 = 0.2$	$w_2 = 0.1$
هزینه عملیاتی	۱۶۸۱۰۸	۱۵۰۳۹۹	۱۵۳۱۲۹	۱۴۵۰۹۸	۱۷۶۳۸۶	۱۷۳۳۸۲	۱۸۴۹۵۶	۱۷۵۸۶۲	۱۷۱۹۸۶
زیست محیطی	۱۲۵۶٫۸۱	۱۳۹۳٫۲۴	۱۳۰۸٫۲	۱۴۳۱٫۷۲	۱۱۰۲٫۳۵	۱۰۸۹٫۷۹	۱۰۵۱٫۳	۱۳۷۳٫۱۳	۱۴۱۱٫۴

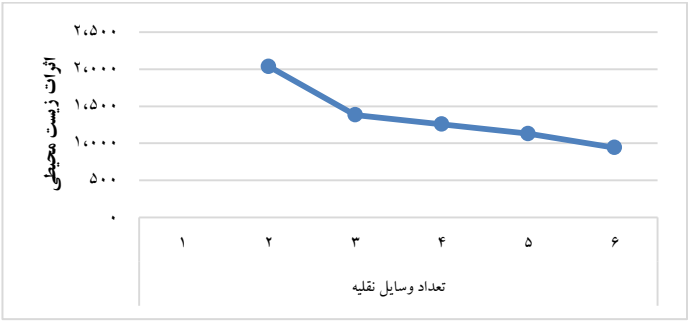
همانطور که جدول ۷ مشاهده می شود، مدل پیشنهادی بر اساس وزن هر تابع هدف بررسی شده است. در این جدول نشان داده شده اسـت، توابع هدف متناقض یک دیگر هستند، با افزایش یک تابع هدف، توابع هدف دیگر کاهش می یابند. از طرفـی دیگـر مـدیران بـرای بهبـود عملکرد و کارایی یک سیستم باید آن را بر اساس محدودت های موجود و با توجه به اهمیت اهداف برنامه ریزی کنند. از ایـن رو جـدول بالا یک خطی مشی مناسب برای جهت دهی به تصمیم گیری مدیران خواهد بود.

-تحلیل حساسیت بر اساس تعداد وسایل نقلیه

همانطور که در فرضیات فصل قبل بیان شد، برای نزدیک تر شدن مدل پیشنهادی به دنیای واقعی، چند وسیله نقلیه در نظر گرفته شده است. از این رو در این قسمت تعداد وسایل نقلیه از ۵۰ درصد کاهش و تا ۱۷۵ درصد افزایش نسبت به تعداد اصلی بررسی می گردد. نتـایج ایـن تغییرات در شکل های ۶ و ۷ نشان داده شده است.



شکل شماره۶: روند تغییرات تابع هدف هزینه ها با تغییر در تعداد وسایل نقلیه

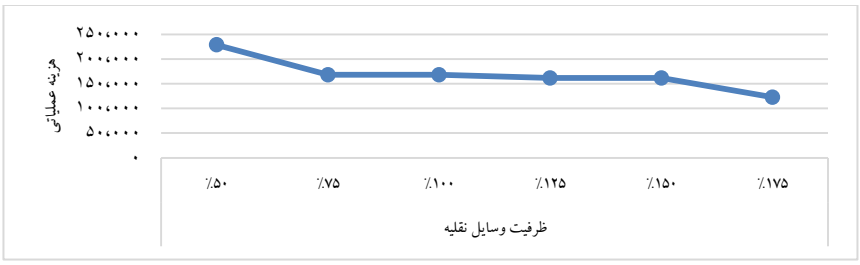


شکل شماره۷: روند تغییرات تابع هدف اثرات زیست محیطی با تغییر در تعداد وسایل نقلیه

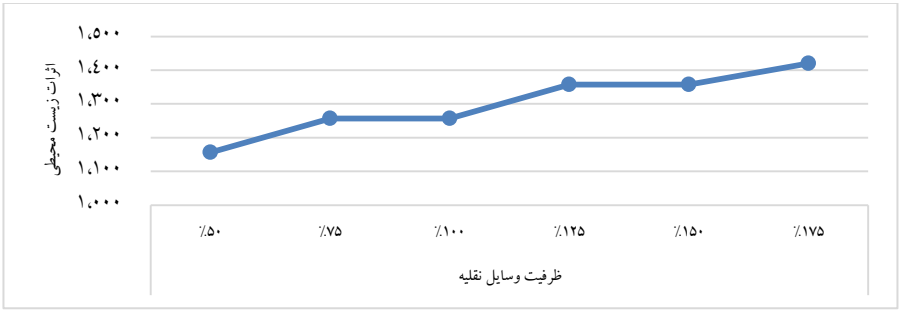
همانطور که در شکل ۶ و ۷ نشان داده شده است، با تعداد وسایل نقلیه به شدت تاثیر گذار بر توابع هدف است. به طور کلی نتایج زیر را می توان برداشت کرد. با کاهش تعداد وسایل نقلیه به یک عدد، مسئله غیر ممکن خواهد شد، زیرا ظرفیت وسیله نقلیه برای پاسخگویی به نیازهای مشتری کافی نیست. با کاهش تعداد وسایل نقلیه، علی رغم کاهش بکارگیری وسیله نقلیه، میزان مسافت پیموده شده به شدت افزایش می یابد که منجر به افزایش هزینه های عملیاتی و اثرات زیست محیطی می گردد و برعکس. یعنی، با افزایش تعداد وسایل نقلیه، تابع هدف هزینه های عملیاتی و اثرات زیست محیطی کاهش می یابد. از این رو تصمیم گیرندگان می توانند بر اساس اهمیت هر تابع هدف، جهت تغییر در میزان توابع هدف، میزان وسایل نقلیه را تغییر دهند.

-تحلیل حساسیت بر اساس ظرفیت وسایل نقلیه

در مدل پیشنهادی، ظرفیت وسایل نقلیه محدود و متنوع است. از این رو، هر وسیله نقلیه در هر بار مسافرت، میزان محدودی محصول را می تواند جابجا کند. پس، به تعداد محدودی مشتری می تواند پاسخگو باشد. در این قسمت ظرفیت وسایل را تا ۵۰ در صد کاهش و همچنین تا ۱۷۵ درصد افزایش می دهیم تا به بررسی روند نتایج بپردازیم.



شکل شماره۸: روند تغییرات تابع هدف هزینه ها عملیاتی با تغییر در ظرفیت وسایل نقلیه

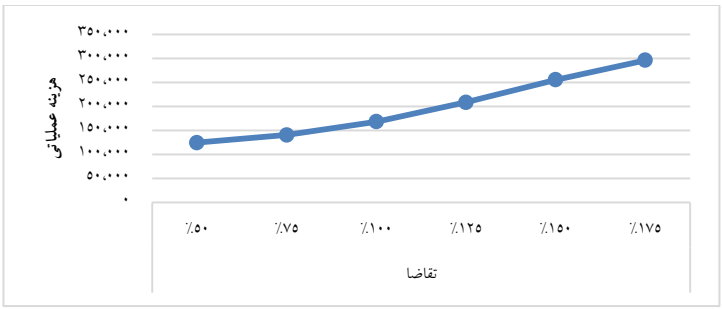


شکل شماره۹: روند تغییرات تابع هدف اثرات زیست محیطی با تغییر در ظرفیت وسایل نقلیه

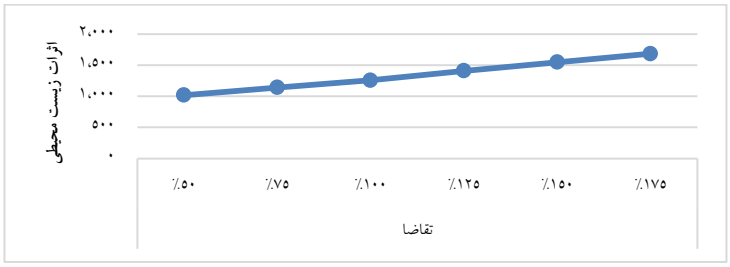
همانطور که در شکل های ۸ و۹ نشان داده شده است، ظرفیت وسایل نقلیه یکی از عوامل تاثیرگذار بر میزان توابع هدف تصمیم گیری است. یعنی کاهش و یا افزایش آن به شدت بر میزان توابع هدف و در نتیجه بر نوع تصمیم مدیران تاثیرگذار است.. و میتوان نتایج زیر را گرفت: ظرفیت وسایل نقلیه رابطه معکوس با هزینه های عملیاتی دارد. یعنی با کاهش ظرفیت وسایل نقلیه، علی رغم کاهش مسیر پیموده شده، تعداد وسایل تقلیه به کار گرفته شده افزایش می یابد و در نتیجه هزینه های عملیاتی افزایش می یابد و برعکس، با افزایش ظرفیت وسایل نقلیه، روندی نزولی در هزینه ها را مشاهده می کنیم.اثرات زیست محیطی، متناسب با ظرفیت وسایل نقلیه تغییر می کند. هر چه ظرفیت وسایل نقلیه کمتر، اثرات زیست محیطی نیز کمتر خواهد شد.

- تحلیل حساسیت بر اساس میزان تقاضا

تقاضا به عنوان عامل اصلی در پیدایش کارخانه، شرکت ها و ارگان ها در عرضه محصولات و خدمات متنوع می باشد. با تغییر روز افزون در تقاضا، باید زنجیره های موجود و یا در حال تاسیس آماده تغییرات در میزان تقاضا ها باشند. از این رو، در این قسمت، علی رغم طراحی مدل پیشنهادی بر اساس عدم قطعیت در تقاضا، رفتار مدل را نسب به تغییر در میزان تقاضا بررسی می گردد. بدین منظور، تقاضا را در بازه کاهش ۵۰ درصدی تا افزایش ۱۷۵ درصدی نسبت به حالت اصلی بررسی می کنیم که نتایج آن را در شکل های ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است.



شکل شماره۱۰: روند تغییرات تابع هدف هزینه ها با تغییر در میزان تقاضا



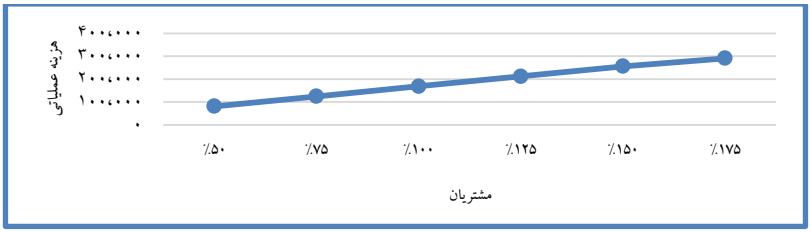
شکل شماره۱۱: روند تغییرات تابع هدف اثرات زیست محیطی با تغییر در میزان تقاضا

بر اساس شکل های ۱۰ و ۱۱، تقاضا به صورت مستقیم بر میزان توابع هدف تصمیم گیری تاثیرگذار است. این شکل ها علاوه بر کارایی مدل پیشنهادی در تامین حداکثری نیازهای مشتریان در نوسانات تقاضا، نشان از اهمیت تقاضا در روند تصمیم گیری مدیران و آمادگی آنها برای بحران و شرایط پیش بینی نشده را می دهد. مضافا، می توان نتایج زیر را از این شکل های گرفت: تقاضا به صورت مستقیم بر میزان هر دو تابع هدف تصمیم گیری تاثیرگذار است. هر چه تقاضا بیشتر گردد، میزان توابع هزینه های عملیاتی و اثرات زیست محیطی بیشتر خواهد شد. از آنجایی که تابع هدف زیست محیطی وابسته به میزان مسافت پیموده شده، زمان انتظار برای مشتری، مدت زمان خدمت رسانی و تعداد وسایل نقلیه بکارگیری شده است. برای کاهش میزان اثرات زیست محیطی در میزان تقاضاهای زیاد، علاوه بر انتخاب های واضح بهبود وسایل نقلیه و سوخت مصرفی، باید نحوه خدمت رسانی و انتخاب مسیر بهبود یابد.

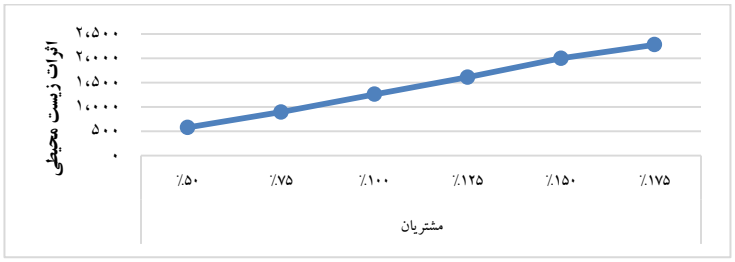
- تحلیل حساسیت بر اساس تعداد مشتریان

مشتریان به عنوان ارکان اصلی یک زنجیره هستند به گونه ای که، حتی با تغییر جزیی در ذائقه و نیازهای آن ها، ممکن یک شبکه دچار دگرگونی های عظیمی گردد. بنابراین، حفظ مشتریان قدیمی، جذب مشتریان جدید و ایجاد یک رابطه احساسی با این مشتریان جهت افزایش تعداد مشتریان بالفعل و گسترش و امکان جذب مشتریان بالقوه یک از اهداف استراتژیک هر سازمانی است. در این قسمت، به بررسی رفتار مدل پیشنهادی در پاسخدهی به بحران (افزایش ناگهانی مشتریان) و رکود (کاهش تعداد مشتریان) پرداخته می شود. از این

رو، تعداد مشتریان را تا ۵۰ درصد کاهش و سپس تا ۱۷۵ درصد نسبت به تعداد اصلی افزایش می دهیم که می توان نتایج این تغییرات را در شکل های ۱۳ و ۱۴ مشاهده کرد.



شکل شماره۱۲: روند تغییرات تابع هدف هزینه ها با تغییر در تعداد مشتریان



شکل شماره۱۳: روند تغییرات تابع هدف اثرات زیست محیطی با تغییر در تعداد مشتریان

شکل های ۱۲ و ۱۳ رابطه تغییر در تعداد مشتریان و توابع هدف مدل پیشنهادی را نشان می‌دهند. در این شکل ها، نشان داده شده است که با تاثیر کاهش و یا افزایش تعداد مشتریان بر توابع تصمیم گیری مشابه تغییر در میزان تقاضا است زیرا افزایش تعداد مشتریان، افزایش میزان تقاضا را معنی می‌دهد. اما بر اساس شکل های ۱۲ و ۱۳ در این تغییرات کاملا مبرهن است، که تعداد مشتریان تاثیری تقریبا خطی بر میزان توابع هدف دارد. از این رو، علی رغم تلاش بسیاری از شرکت ها برای جذب مشتریان بیشتر، اهمیت حفظ مشتریان بالفعل نسبت به جذب مشتریان جدید کاملا آشکار می گردد. از طرفی دیگر، مختصات جغرافیایی مشتریان نقشی کلیدی را در کنترل هزینه های علمیاتی و اثرات زیست محیطی بازی می کنند. بنابراین، مدیران باید تناسبی بین افزایش مشتریان و محتصات جغرافیایی آنها برقرار کنند تا از بروز افزایش هزینه ها و اثرات مخرب زیست محیطی جلوگیری کنند.

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش توسعه مدل ریاضی منطبق بر اهدف مورد نیاز در صنایع شیمیایی و با توجه به محدودیت های زمانی، تقاضا تمامی مشتریان بر اساس خواست مشتریان و در محدوده زمانی درخواست شده در نظر گرفته شده است و در تابع هدف اثرات زیست محیطی میزان

انتشارات گازهای آلاینده ناشی از خدمت رسانی به مشتریان از ۳,۸۱٪ تا ۳۸,۳۵٪ نسبت به مسیریابی وسیله نقلیه معمولی کاهش یافته است. از این رو مجموعه مسیریابی مورد نظر توانسته همزمان باعث سودآوری و کاهش آلایندگی در مدل شده و آن را بهینه کند. از طرفی دیگر، با تحلیل در رفتار مدل پیشنهادی مشخص شده است، که تعداد وسایل نقلیه و ظرفیت آنها، تعداد مشتریان و میزان تقاضای آنها بر مدل توزیع محصولات بسیار تاثیر گذار هستند که با ارائه تحلیل‌های مختلف، الگوهای مناسبی برای تصمیم گیری بهینه مدیران در شرایط مختلف ارائه شده است.

پس از حل مدل توسط الگوریتم فراابتکاری سئو، نتایج گویای این موضوع بوده‌اند که برنامه‌ریزی انجام شده جهت مسیریابی وسایل نقلیه، سهم بسزایی در کاهش هزینه های عملیاتی، مسیر پیموده شده و میزان انتشار آلایندگی ها و در عین حال کاهش مصرف سوخت های فسیلی داشته است، بگونه‌ای که تحویل مرسوله به مشتریان در محدوده زمانی درخواستی مشتریان و دقیقا متناسب با محدودیت زمانی فرآیندها بوده است. مضافا، طول عمر محدود مورد انتظار مشتریان رعایت شده است و محصولات قبل از پایان موعد مورد انتظار به مشتریان تحویل داده شده است. از این رو، تقاضا مشتریان در کوتاه ترین مسیر ممکن، کمترین هزینه، کمترین آلایندگی و بدون کمبود به مشتریان تحویل داده شده است. همچنین نتایج حاصل از الگوریتم‌های حل دقیق و فراابتکاری نشان دهنده انطباق بالای مدل‌سازی و محدودیت‌های مدل بوده است؛ بگونه‌ای که تمامی محدودیت‌های سیستم پیشنهادی شدنی شده و مسئله در مدت زمانی مطلوب توانسته به پاسخی بهینه دست یابد.

از دیدگاه مدیریتی مدل حاضر توانسته مقادیر بهینه را در هر محدوده زمانی شناسایی کند. به دست آوردن این مقادیر برای توزیع سبب دید وسیع مدیریتی از منابع موجود و سرمایه‌گذاری‌های آتی می‌شود. مدیریت خواهد توانست با برنامه‌ریزی مناسب برای توزیع و مسیریابی وسایل نقلیه از هزینه ها، مصرف سوخت های فسیلی و اثرات مخرب زیست محیطی آنها جلوگیری به عمل آورده و از سوی دیگر از تقاضا مشتریان را در محدوده زمانی درخواستی آنها برآورده کند. از طرفی دیگر، با کمترین هزینه ممکن بیشترین میزان کارایی ممکن در بکارگیری ناوگان حمل و نقل ایجاد شده است. از این رو، میتوان این ادعا را کرد که مدل پیشنهادی برای مسیریابی سبز وسایل نقلیه جهت ارسال محصولات در صنایع شیمیایی، دارویی، صنایع بهداشتی و آرایشی، صنایع غذایی و کشاورزی و سایر صنایع استفاده کرد.

- مواردی جهت مطالعات آتی

  - در نظر گرفتن مدلی چند هدفه در راستای افزایش سطح خدمت رسانی به مشتریان و کاهش استهلاک ناشی از حمل و نقل
  - در نظر گرفتن عمل ترافیک برای انتقال محصولات
  - در نظر گرفتن چندین انبار (مراکز تولید)
  - در نظر گرفتن کیفیت مسیر حمل ونقل
  - در نظر گرفتن حمل و نقل هوشمند و تاثیر آن بر هزینه ها و عملکرد شبکه توزیع
  - حل مسئله توسط سایر روش‌های فراابتکاری نظیر بهینه‌سازی ازدحام ذرات

منابع

آقائی‌پور, بصیری, اصغرزاده, & باقری. (۲۰۲۳). طراحی مدل ریاضی بهینه سازی شبکه لجستیک یکپارچه با رویکرد نوآوری در زنجیره تامین سبز راهبرد نوین کسب مزیت رقابتی. نخبگان علوم و مهندسی, ۴۳(۸), ۱۶۰-۱۷۵.

پسندیده, س., بهرامی, ز., & محمدی, م. (۲۰۱۸). مدلی برای مساله چند کالایی مدیریت موجودی توسط فروشنده با محدودیت های تصادفی گنجایش انبار و بودجه. مطالعات مدیریت صنعتی, ۱۶(۵۱), ۱-۲۷. doi: ۱۴۰۴.۱۱۰۱۶.۲۰۱۸/jims.۲۲۰۵۴.۱۰

محمودی, بذرافشان, & پور, ا. (۲۰۲۳). مدلسازی ریاضی و شبیه سازی بهبود جریان انتقال محصولات پتروشیمی در یک زنجیره تأمین سبز. مدیریت عملیات, ۳(۹), ۱۴۷-۱۷۸.

مقدم, ت., جعفرمزده, زواردهی, م. ع., & صابر. (۲۰۱۵). طراحی شبکه خرید-تولید-توزیع چندهدفه در زنجیره تأمین سبز با الگوریتم جستجوی گرانشی چندهدفه. نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید, ۲۶(۲), ۱۳۹-۱۵۵.

میثم, ج. ا., مهرداد, م. س. س., & محمد, ع. ف. (۲۰۲۰). طراحی یک شبکه زنجیره تامین داروی دو هدفه در حالت عدم قطعیت با در نظر گرفتن زمان فسادپذیری، تولید و تحویل دارو.

نبوتی, & حجت. (۲۰۲۱). الگوریتم پرندگان فاخته توسعه یافته جهت حل یک مدل جدید زمان بندی ماشین و وسیله حمل. *فصلنامه مدیریت راهبردی در سیستم های صنعتی (مدیریت صنعتی سابق)*, *۱۶*(۵۶), ۴۸-۶۵.

Abdi, A., Abdi, A., Fathollahi-Fard, A. M., & Hajiaghaei-Keshteli, M. (۲۰۱۹). A set of calibrated metaheuristics to address a closed-loop supply chain network design problem under uncertainty. International Journal of Systems Science: Operations & Logistics, ۱-۱۸.

Alavidoost, M., Tarimoradi, M., & Zarandi, M. F. (۲۰۱۸). Bi-objective mixed-integer nonlinear programming for multi-commodity tri-echelon supply chain networks. Journal of intelligent manufacturing, ۲۹, ۸۰۹-۸۲۶.

Amin, S. H., & Baki, F .(۲۰۱۷) .A facility location model for global closed-loop supply chain network design. Applied Mathematical Modelling, ۴۱, ۳۱۶-۳۳۰.

Bowling, I. M., Ponce-Ortega, J. M., & El-Halwagi, M. M. (۲۰۱۱). Facility location and supply chain optimization for a biorefinery .Industrial & Engineering Chemistry Research, ۵۰(۱۰), ۶۲۷۶-۶۲۸۶.

Chen, C., Yao, B., Chen, G., & Tian, Z. (۲۰۲۱). A queuing–location–allocation model for designing a capacitated bus garage system. Engineering Optimization, ۱- ۱۸.

Fathollahi-Fard, A. M ,.Hajiaghaei-Keshteli, M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (۲۰۱۸). The social engineering optimizer (SEO). Engineering Applications of Artificial Intelligence, ۷۲, ۲۶۷- ۲۹۳.

Fathollahi-Fard, A. M., Ranjbar-Bourani, M., Cheikhrouhou, N., & Hajiaghaei-Keshteli, M .(۲۰۱۹) .Novel modifications of social engineering optimizer to solve a truck scheduling problem in a cross-docking system. Computers & Industrial Engineering, ۱۳۷, ۱۰۶۱۰۳.

Ghasemi, P., & Khalili-Damghani, K. (۲۰۲۱). A robust simulation-optimization approach for pre-disaster multi-period location–allocation–inventory planning. Mathematics and computers in simulation, ۱۷۹, ۶۹- ۹۵.

Golshahi-Roudbaneh, A., Hajiaghaei-Keshteli, M., & Paydar, M. M. (۲۰۱۷). Developing a lower bound and strong heuristics for a truck scheduling problem in a cross-docking center. Knowledge-Based Systems, ۱۲۹, ۱۷- ۳۸.

Granger, S. (۲۰۰۲). Social engineering fundamentals, part II: Combat strategies. Security Focus, ۹.

Gulzari, A., & Tarakci, H. (۲۰۲۱). A healthcare location-allocation model with an application of telemedicine for an earthquake response phase. International Journal of Disaster Risk Reduction, ۵۵, ۱۰۲۱۰۰.

Harrison, T. P. (۲۰۰۵). The practice of supply chain management: where theory and application converge: Springer Science & Business Media.

Karampour, M. M., Hajiaghaei-Keshteli, M., Fathollahi-Fard, A. M., & Tian, G. (۲۰۲۲). Metaheuristics for a bi-objective green vendor managed inventory problem in a two-echelon supply chain network. Scientia Iranica, ۲۹(۲), ۸۱۶- ۸۳۷.

Khorasani, S. T., & Almasifard, M. (۲۰۱۸). The development of a green supply chain dual-objective facility by considering different levels of uncertainty. Journal of Industrial Engineering International, ۱۴(۳), ۵۹۳- ۶۰۲.

Li, F., Liu, T., Zhang, H., Cao, R., Ding, W., & Fasano, J. P. (۲۰۰۸). Distribution center location for green supply chain. Paper presented at the ۲۰۰۸ IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics.

Lin, Y., Jia, H., Yang, Y., Tian, G., Tao, F & ,.Ling, L. (۲۰۱۸). An improved artificial bee colony for facility location allocation problem of end-of-life vehicles recovery network. Journal of Cleaner Production, ۲۰۵, ۱۳۴- ۱۴۴.

Maldonado Pinto, C. S. (۲۰۱۷). Solving a green logistics bi-level bi-objective problem. Universidad Autónoma de Nuevo León ,

Martínez, J. C. V., & Fransoo, J. C. (۲۰۱۷). Green facility location. In Sustainable Supply Chains (pp. ۲۱۹-۲۳۴): Springer.

Mousavi, S. M., Bahreininejad, A., Musa, S. N., & Yusof, F. (۲۰۱۷). A modified particle swarm optimization for solving the integrated location and inventory control problems in a two-echelon supply chain network. Journal of intelligent manufacturing, ۲۸(۱), ۱۹۱- ۲۰۶.

Pak, N., Nahavandi, N., & Bagheri, B. (۲۰۲۱). Designing a multi-objective green supply chain network for an automotive company using an improved meta-heuristic algorithm. International Journal of Environmental Science and Technology, ۱- ۲۴.

Saadati, M., & Hosseininezhad, S. J. (۲۰۱۹). Designing a hub location model in a bagasse-based bioethanol supply chain network in Iran (case study: Iran sugar industry). Biomass and Bioenergy, ۱۲۲, ۲۳۸- ۲۵۶.

Sadeghi-Moghaddam, S., Hajiaghaei-Keshteli, M., & Mahmoodjanloo, M. (۲۰۱۷). New approaches in metaheuristics to solve the fixed charge transportation problem in a fuzzy environment. Neural Computing and Applications, ۱- ۲۱.

Sarker, B. R., Wu, B., & Paudel, K. P. (۲۰۱۹). Modeling and optimization of a supply chain of renewable biomass and biogas: Processing plant location. Applied Energy, ۲۳۹, ۳۴۳- ۳۵۵.

Srinivasan, S., & Khan, S. H. (۲۰۱۸). Multi-stage manufacturing/re-manufacturing facility location and allocation model under uncertain demand and return. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, ۹۴(۵-۸), ۲۸۴۷-۲۸٦۰.

Strong, D., Kay, M., Conner, B., Wakefield, T., & Manogharan, G. (۲۰۱۹). Hybrid manufacturing—Locating AM hubs using a two-stage facility location approach. Additive Manufacturing, ۲۵, ۴۶۹- .۴۷۶

Taguchi, G. (۱۹۸۶). Introduction to quality engineering: designing quality into products and processes. Retrieved from

Yadegari, E., Alem-Tabriz, A., & Zandieh, M. (۲۰۱۹). A memetic algorithm with a novel neighborhood search and modified solution representation for closed-loop supply chain network design .Computers & Industrial Engineering, ۱۲۸, ۴۱۸- .۴۳۶

Yousefi, K., J. Afshari, A., & Hajiaghaei-Keshteli, M. (۲۰۱۸). Heuristic approaches to solve the fixed-charge transportation problem with discount supposition. Journal of Industrial and Production Engineering, ۳۵(۷), ۴۴۴- .۴۷۰

Zhalechian, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Zahiri, B., & Mohammadi, M. (۲۰۱۶). Sustainable design of a closed-loop location-routing-inventory supply chain network under mixed uncertainty. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, ۸۹, ۱۸۲- .۲۱۴

Zhao, X., Xia, X., Wang, L., & Yu, G. (۲۰۱۸). Risk-averse facility location for green closed-loop supply chain networks design under uncertainty. Sustainability, ۱۰(۱۱), .۴۰۷۲