

Fuzzy Multi-objective Production Distribution Planning by Considering CO₂ Emission Cost and Solving by a Novel Fuzzy Multi-choice Goal Programming

Mehdi Seifbarghy*^{}, **Pardis Shirin Bayan****

Abstract

In today's competitive world, companies need to effectively manage their supply chains in changing market conditions, and they are also obliged to compensate for their environmental damages. In this research, a two-echelon multi-product multi-period supply chain network with production and distribution centers has been modeled with three objectives: minimizing logistic costs, delivery time, and CO₂ emission costs. Customer demand parameters, available levels of human and machinery resources are uncertain and considered as fuzzy numbers. Additionally, the possibility of using subcontracting services for production and transportation operations at a higher cost exists. The main innovation of this research is modeling the possibility of using different transportation systems and considering their pollution, and using a novel fuzzy multi-criteria goal programming method (proposed in 2018) for solving the problem. Real data from "Daya Technology" company has also been used for case study and model evaluation.

Keywords: Supply Chain; Integrated Production-distribution Planning; Fuzzy Sets, CO₂ Emission; Multi-choice Goal Programming.

Received: Agu. 26, 2021; Accepted: Des. 26, 2022.

* Associate Professor, Alzahra University (Corresponding Author).

Email: M.Seifbarghy@alzahra.ac.ir

** Ph.D Students, Alzahra University.



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

شاپای چاپی: ۹۸۷۴-۲۲۵۱، شاپای الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵

سال سیزدهم، شماره ۴۹، بهار ۱۴۰۲، صص ۱۷۳ - ۱۹۸ (نوع مقاله: پژوهشی)

DOI: [10.48308/JIMP.13.1.173](https://doi.org/10.48308/JIMP.13.1.173)

برنامه‌ریزی تولید - توزیع چندهدفه فازی با در نظر گرفتن هزینه انتشار گاز CO₂ و رویکرد حل نوین برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای فازی

مه‌دی سیف برقی*^{ORCID}، پردیس شیرین بیان**

چکیده

در دنیای رقابتی امروز، شرکت‌ها باید زنجیره‌های تأمین خود را به‌طور مؤثر در شرایط متغیر بازار مدیریت کنند؛ همچنین شرکت‌ها ملزم به جبران آسیب‌های زیست‌محیطی خود شده‌اند. در این پژوهش، یک شبکه زنجیره تأمین دوسطحی، چندمحصولی و چنددوره‌ای شامل مراکز تولید و توزیع با سه هدف حداقل‌سازی هزینه‌های لجستیکی، زمان تحویل و هزینه‌های انتشار گاز CO₂ مدل‌سازی شده است. پارامترهای تقاضای مشتریان، سطح نیروی انسانی و ماشین‌آلات در دسترس دارای عدم قطعیت هستند و به‌صورت اعداد فازی در نظر گرفته شده‌اند؛ همچنین امکان بهره‌گیری از خدمات پیمانکاری برای عملیات تولید و حمل با هزینه بالاتر وجود دارد. نوآوری اصلی این پژوهش از منظر مدل‌سازی امکان بهره‌گیری از سیستم‌های حمل‌ونقل مختلف و همچنین توجه به آلاینده‌گی ناشی از آن‌ها و از منظر حل، بهره‌گیری از روش نوین آرمانی چندگزینه‌ای فازی (ارائه‌شده در ۲۰۱۸) است؛ همچنین از داده‌های واقعی شرکت «دایا تکنولوژی» برای مطالعه موردی و ارزیابی عملکرد مدل استفاده شده است.

کلیدواژه‌ها: زنجیره تأمین؛ برنامه‌ریزی تولید - توزیع یکپارچه؛ مجموعه‌های فازی؛ انتشار گاز CO₂؛ برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۰۴، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۱۰.

* دانشیار، دانشگاه الزهرا (نویسنده مسئول).

Email: M.Seifbarghy@alzahra.ac.ir

** دانشجوی دکتری، دانشگاه الزهرا.



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

۱. مقدمه

زنجیره تأمین متشکل از تمام سازمان‌ها و فرایندهایی است که مستقیم یا غیرمستقیم در تأمین نیازهای مشتری با هدف کاهش هزینه و افزایش پاسخگویی درگیر هستند. یکی از مباحث اثربخش در مدیریت زنجیره تأمین، برنامه‌ریزی تولید - توزیع یکپارچه است. تصمیمات تولید شامل تعیین مقدار مناسب تولید برای برآورده ساختن تقاضای مشتری و تصمیمات توزیع شامل تصمیماتی به منظور مشخص کردن راهی برای تحویل کالای تولیدشده از مراکز تولید به مراکز توزیع است. این مسائل به یکدیگر وابسته هستند و شایسته است به صورت توأم حل شوند.

در دنیای واقعی به دلیل کمبود اطلاعات دقیق، بسیاری از پارامترهای تأثیرگذار بر مسئله توأم با عدم قطعیت هستند. در این پژوهش پارامترهای تقاضا (به خصوص در صورت جدید بودن محصول)، سطح نیروی انسانی و ماشین‌آلات در دسترس (به خصوص در شرایط ناپایدار اقتصادی و مستهلک بودن ماشین‌آلات و یا نیاز به قطعات یدکی وارداتی) دارای عدم قطعیت فرض می‌شوند و این عدم قطعیت به صورت فازی در نظر گرفته شده است.

موضوع دیگری که در مسائل تولید - توزیع در نظر گرفته می‌شود، استفاده از سیستم‌های حمل چندوسيله‌ای است؛ به عبارت دیگر در حمل و نقل چندوسيله‌ایی می‌توان سیستم‌های مختلفی از حمل و نقل را به طور مؤثری در نظر گرفت و بر اساس زمان و هزینه هر مورد، سیستم مناسب را با توجه به شرایط موجود انتخاب کرد.

موضوع دیگری که در دهه‌های اخیر توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده، حفاظت از محیط‌زیست است. حفاظت از محیط‌زیست عبارت است از: تلاشی که به منظور حفظ سلامتی محیط و انسان‌ها در سطوح شخصی، سازمانی یا دولت، از محیط طبیعی صورت می‌گیرد. بدین منظور در این پژوهش به‌ازای انتشار آلاینده‌ها در کارخانه‌ها و توسط وسایل نقلیه که باعث آلودگی هوا می‌شوند، هزینه‌ای در نظر گرفته شده است که در کشورهای صنعتی بسیار معمول است؛ بنابراین در رابطه با ضرورت این پژوهش می‌توان گفت امروزه با توجه به گسترش مراکز تولید و توزیع محصولات و افزایش تقاضا و رقابت در بازار، مدیریت یکپارچه تولید - توزیع به منظور کاهش هزینه‌ها و برآورده کردن به موقع تقاضای مشتریان، نقش مؤثری در این زمینه ایفا می‌کند. از طرفی نیز حفاظت از محیط‌زیست یک امر مهم است که مراکز تولید و توزیع باید به آن توجه داشته باشند و یکی از نمودهای اصلی آن انتشار کربن است که باید کنترل شود؛ در ضمن در دنیای واقعی، تقاضای مشتریان و برخی دیگر از پارامترهای مدل در مسائل تولید - توزیع می‌توانند توأم با عدم قطعیت باشند و اطلاعات کاملی از آن‌ها در دسترس نباشد. به همین دلیل در این پژوهش، یک مسئله برنامه‌ریزی خطی سه‌هدفه برای تصمیمات تولید - توزیع در یک زنجیره تأمین دوسطحی شامل مراکز تولید و مراکز توزیع ارائه شده است. اهداف مسئله شامل کمینه‌سازی هزینه‌های لجستیکی مختلف در زنجیره، زمان تحویل و اثرات زیست‌محیطی است. مدل توسعه داده شده با

رویکرد نوینی از روش برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای فازی حل می‌شود. در این زنجیره، کالاها توسط مراکز تولید، تولید می‌شوند و سپس به مراکز توزیع ارسال می‌گردند و اگر مراکز توزیع، پاسخگوی تقاضای مشتری نباشند، مقدار کمبود در دوره بعد جبران خواهد شد؛ همچنین از توان پیمانکاران در تولید و حمل محصولات نیز استفاده خواهد شد. محدودیت بودجه و ظرفیت‌های تولید و حمل نیز چه در رابطه با اعضای اصلی زنجیره و چه در رابطه با پیمانکاران در نظر گرفته می‌شوند.

در ادامه مقاله، در بخش دوم مرور مبانی نظری و پیشینه پژوهش ارائه می‌شود در بخش سوم روش‌شناسی پژوهش ارائه خواهد شد. در بخش چهارم بر اساس داده‌های واقعی یک شرکت تولیدی تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهشی گزارش می‌شود. بخش پنجم نیز به نتیجه‌گیری و پیشنهادها برای پژوهش‌های آتی اختصاص دارد.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

امروزه در شرکت‌ها، مدیریت یکپارچه فرایندهای تولید توزیع، یک امر اساسی به‌منظور موفقیت آن‌ها محسوب می‌شود. مدیریت زنجیره تأمین، ضمن برنامه‌ریزی برای فرایندهای تولید - توزیع، هزینه‌ها را کاهش داده و باعث افزایش سود می‌شود. لیانگ^۱ (۲۰۰۸)، یک مدل چندهدفه فازی را برای حل مسئله تولید - توزیع با توابع فازی ارائه کرد [۱۲، ۱۳]. پاتاک و سرکار^۲ (۲۰۱۱)، یک مدل فازی زنجیره تأمین با در نظر گرفتن برنامه‌ریزی تولید - توزیع به‌صورت یکپارچه ارائه کردند. آن‌ها به‌منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت در تولید، تقاضا و ظرفیت انبار، از عدد فازی مثلثی بهره گرفتند [۲۰]. لیانگ (۲۰۱۲)، یک مدل برنامه‌ریزی تولید - توزیع یکپارچه فازی را با دو هدف هزینه و زمان ارسال برای یک زنجیره تأمین دوسطحی ارائه داد. وی همچنین یک روش برنامه‌ریزی خطی فازی توسعه‌یافته را برای برنامه‌ریزی خطی چندهدفه با ضرایب فازی پیشنهاد کرد [۱۴]. پیدرو و همکاران^۳ (۲۰۱۲)، یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی را ارائه کردند که هدف آن‌ها بهینه‌سازی سود، زمان‌های بیکاری و مقادیر برگشت به‌منظور برنامه‌ریزی تولید - توزیع در زنجیره تأمین سرمایه‌یک بود [۲۱]. نوییل و کاظمی^۴ (۲۰۱۶)، یک مدل دوهدفه فازی برای مسائل تولید - توزیع یکپارچه در یک زنجیره تأمین حلقه‌بسته چهارسطحی شامل کارخانه‌ها، انبارها، مناطق مشتریان و مراکز جمع‌آوری با هدف تعیین مقدار کالاهای ارسالی، مقدار کالاهای نگهداری‌شده و مقدار کالاهای بازیافتی در هر دوره زمانی توسعه دادند [۱۹]. موون و همکاران^۵

1. Liang
2. Pathak & Sarkar
3. Peidro et al.
4. Nobil & Kazemi
5. Moon, et al.

(۲۰۱۶)، یک شبکه تولید - توزیع فازی را مدل کردند که شامل چهار سطح تأمین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده و خرده‌فروش است. مدل ارائه‌شده توسط آن‌ها شامل دو تابع هدف است که یکی از توابع هدف سود را حداکثر می‌کند و تابع هدف دوم مقدار کمبود را حداقل می‌سازد؛ آن‌ها همچنین محدودیت انتشار کربن که در اثر فعالیت‌های تولید و توزیع منتشر می‌شود را در نظر گرفتند [۱۷]. محمد و همکاران (۲۰۱۷)، یک مسئله تولید - توزیع را برای زنجیره تأمین سبز ارائه کردند. آن‌ها چهار تابع هدف فازی را به‌صورت هم‌زمان در نظر گرفتند و برای حل آن از روش‌های ال - پی متریک، اپسیلون محدودیت و برنامه‌ریزی آرمانی استفاده کردند [۱۵]. امیری و همکاران (۲۰۱۶)، یک مدل برنامه‌ریزی تولید - توزیع یکپارچه برای یک زنجیره تأمین سه‌سطحی شامل چندین تولیدکننده، چندین توزیع‌کننده و چندین مصرف‌کننده ارائه کردند. آن‌ها تقاضای مصرف‌کنندگان و هزینه‌های حمل‌ونقل در روش‌های مختلف حمل‌ونقل را به‌صورت غیرقطعی در نظر گرفتند و از رویکرد بهینه‌سازی استوار استفاده کرده‌اند [۱]. راد و همکاران (۲۰۱۶)، یک مسئله زنجیره تأمین دوسطحی با چندین محصول و یک تولیدکننده و همچنین یک توزیع‌کننده و چندین مشتری را بررسی کردند. در مدل ریاضی آن‌ها کمینه‌کردن هزینه‌ها موردتوجه قرار گرفته است که این هزینه‌ها شامل هزینه حمل‌ونقل، هزینه نگهداری موجودی و هزینه جریمه کمبود است [۲۲]. شراحی و همکاران (۲۰۱۸)، یک مسئله تولید - توزیع را در یک زنجیره تأمین با در نظر گرفتن عدم قطعیت فازی در عرضه و پردازش و تقاضا حل کردند [۲۶]. بادهوتیا و همکاران^۱ (۲۰۱۹)، یک مسئله برنامه‌ریزی تولید - توزیع یکپارچه برای یک شبکه زنجیره تأمین دوسطحی ارائه کردند. آن‌ها یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته چندهدفه فازی با فرض چندمحصولی، چنددوره‌ای و چند مرکز تولید ارائه کردند و سه تابع هدف هزینه، زمان و مقدار برگشت محصولات برگشتی را در مسئله در نظر گرفتند که به‌صورت فازی هستند و با توابع قطعه‌قطعه خطی نمایش داده می‌شوند [۲]. بادهوتیا و همکاران (۲۰۲۰)، یک مدل دوهدفه برای مسئله تولید - توزیع با چند دوره زمانی و چند محصول و دو روش حمل‌ونقل دریایی و هوایی تحت شرایط عدم قطعیت ارائه کردند. در مسئله آن‌ها دو پارامتر پردازش مجدد محصول و ظرفیت تولید دارای عدم قطعیت هستند. آن‌ها با استفاده از تعدادی سناریو و روش برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای مسئله را حل کردند [۴]. محمدی و همکاران (۲۰۲۰)، یک مدل دوهدفه زنجیره تأمین حلقه‌بسته سبز تحت شرایط عدم قطعیت ارائه کردند. آن‌ها جنبه‌های زیست‌محیطی را در کنار جنبه‌های اقتصادی در نظر گرفتند و مسئله را با روش اپسیلون محدودیت حل کردند [۱۶]. موسی‌خانی و همکاران (۲۰۲۰)، یک مدل برای برنامه‌ریزی تولید - توزیع در یک شبکه زنجیره تأمین سه‌سطحی شامل مراکز تولید، مراکز توزیع و مشتریان ارائه کردند. تابع هدف این پژوهش کمینه‌سازی اثرات زیست‌محیطی و هزینه‌های

لجستیکی بوده و پارامترهای تقاضا و سطح خدمت به صورت اعداد فازی در نظر گرفته شدند [۱۸]. گودرزینان و همکاران (۲۰۲۱)، یک مدل دوهدفه فازی را برای مسئله تولید - توزیع تحت شرایط عدم قطعیت ارائه کردند. شبکه زنجیره تأمین آن‌ها چهارسطحی و شامل تأمین‌کننده‌ها، تولیدکننده‌ها، توزیع‌کننده‌ها و مشتریان است. تابع هدف اول مسئله به صورت کمینه‌سازی هزینه‌ها و تابع هدف دوم به صورت بیشینه‌سازی نرخ قابلیت اطمینان سیستم است و به منظور حل مسئله یک روش حل هیبریدی دوفازی را مورد استفاده قرار دادند [۶]. ساجدی و همکاران (۲۰۲۱)، یک مسئله زنجیره تأمین سه‌هدفه چندمحصولی و چنددوره‌ای را با در نظر گرفتن عدم قطعیت و سناریوهای بازار با رویکرد ریسک ارائه دادند. آن‌ها مدل پیشنهادی را با داده‌های یک مطالعه موردی واقعی و با استفاده از الگوریتم فراابتکاری NSGA-II حل کردند [۲۵]. گودرزینان و همکاران (۲۰۲۱)، یک مدل ریاضی چندهدفه جدید را برای مسئله تولید - توزیع در یک زنجیره تأمین ارائه کردند که شامل چندین تأمین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده و مشتریان متفاوت است. آن‌ها پارامترهای هزینه، تقاضا و ظرفیت را به صورت غیرقطعی در نظر گرفتند و مسئله را با الگوریتم‌های NSGA-II و PGA حل و نتایج را مقایسه کردند [۷].

با مرور مباحث نظری موضوع می‌توان برخی از شکاف‌های موجود در پژوهش‌ها را از نظر مدل‌سازی و روش حل مشاهده کرد. از نظر مدل‌سازی، تابع هدف کاهش انتشار کربن از منظر جامعه و همین‌طور تابع هدف کاهش هزینه از منظر مدیریت زنجیره تأمین و همچنین تحویل سریع‌تر به مشتریان از منظر مصرف‌کننده نهایی یا همان مشتریان، کمتر مورد توجه پژوهشگران بوده است که در واقع در مدل مسئله جاری این موضوع از منظر سه‌ذی‌نفع زنجیره تأمین، مشتری و جامعه طراحی شده است؛ همچنین امکان وجود پیمانکار به‌طور هم‌زمان برای حمل‌ونقل محصولات تولیدی و برای تولید محصولات کمتر مورد توجه بوده است. در پژوهش حاضر این موضوع به صورت یک نوآوری خاص در نظر گرفته شده و ظرفیت مشخصی نیز بدین منظور برای این نوع خدمات تعریف شده است. در نهایت مدل مسئله در حالت حمل‌ونقل چندوسپله‌ای و چند-محصولی با چند دوره زمانی طراحی شده است. از منظر روش حل نیز اصولاً روش به‌کاررفته بسیار جدید بوده و در پژوهش‌های اخیر ارائه شده است و این پژوهش فرصت خوبی برای ارزیابی این روش نسبت به نسخه‌های سنتی آن است.

۳. روش شناسی پژوهش

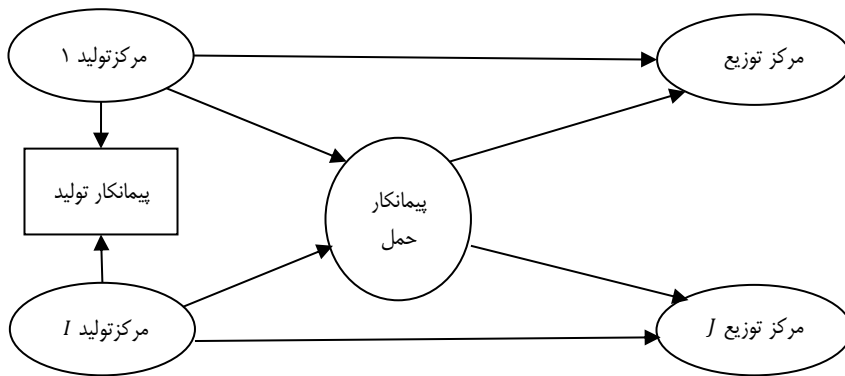
بیان مسئله و مفروضات. در پژوهش حاضر، یک شبکه زنجیره تأمین چندهدفه دوسطحی برای مسائل یکپارچه تولید - توزیع در نظر گرفته شده است. سطوح زنجیره شامل مراکز تولید کالا و مراکز توزیع است و هدف پژوهش، ارائه طرح تولید - توزیع برای چندین نوع محصول مشابه از مراکز تولید به مراکز توزیع با هدف برآورده کردن تقاضا در طول دوره برنامه‌ریزی است. سطح

نیروی انسانی به دلایلی مانند شرایط ناپایدار اقتصادی، آسیب‌دیدگی نیروی انسانی، بیماری به‌خصوص بیماری‌های ویروسی مانند کووید ۱۹، عرضه و تقاضای نیروی کار، اخراج کارگران و استعفا می‌تواند توأم با عدم قطعیت باشد. سطح ماشین‌آلات در دسترس به دلایلی مانند خرابی و نیاز به تعمیرات، به‌خصوص در وضعیت استهلاک بالای ماشین‌آلات و همچنین خارجی بودن ماشین‌آلات و نیاز به واردات قطعات یدکی، به‌خصوص در شرایط غیرعادی مانند تحریم، می‌تواند دارای عدم قطعیت باشد.

در این مسئله سه پارامتر مقدار تقاضا (به‌عنوان یک متغیر خارجی) و سطح نیروی انسانی و ماشین‌آلات در دسترس (به‌عنوان دو متغیر درونی) به دلیل ناکامل بودن یا عدم دسترسی به اطلاعات دقیق، به‌صورت غیرقطعی در نظر گرفته شده‌اند و عدم قطعیت این پارامترها به‌صورت اعداد فازی مثلثی نشان داده می‌شود. با توجه به خطی بودن مدل، توسعه یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی چندمحصولی با چندین وسیله حمل در قالب بهینه‌سازی یکپارچه تولید - توزیع در یک محیط غیرقطعی طی چند دوره زمانی مدنظر این پژوهش است؛ همچنین به دلیل عدم کفایت ظرفیت موجود، از پیمانکاران برای حمل و نقل و همچنین برای عملیات تولید استفاده شده و فرض می‌شود هزینه استفاده از پیمانکار، اولویت دوم سازمان است و به تبع هزینه بیشتری خواهد داشت. در خصوص کلیه هزینه‌ها فرض می‌شود، این هزینه‌ها نسبت به دوره اول خود با نرخ مشخصی رشد داشته باشند و این نرخ برای هزینه‌های مختلف می‌تواند متغیر باشد؛ همچنین کمبود نیز مجاز است؛ بدین صورت که تقاضای پیش‌بینی شده برای مراکز توزیع در یک دوره زمانی خاص می‌تواند توسط مراکز تولید، برآورده شود و یا به تأخیر بیفتد؛ اما تقاضای به‌تأخیر افتاده باید در دوره آتی برآورده شود. مدل ارائه شده در این مقاله توسعه یافته لیانگ (۲۰۰۸)، با افزودن تابع هدف سوم یعنی کاهش اثرات زیست‌محیطی و در نظر گرفتن چندین نوع وسیله حمل برای توزیع است. در واقع تابع هدف اول (حداقل‌سازی هزینه‌ها) و سوم با یکدیگر در تناقض هستند؛ زیرا کاهش اثرات زیست‌محیطی باعث افزایش هزینه‌ها می‌شود. توابع هدف دوم (کاهش زمان تحویل) و سوم نیز در تناقض هستند؛ زیرا برای کاهش زمان تحویل باید از وسایل حمل و نقل سریع‌تر استفاده کرد که عموماً آلودگی بیشتری را ایجاد می‌کند. بدین ترتیب با وجود توابع هدف متضاد به دنبال بهترین جواب‌های نامغلوب برای مسئله هستیم. به‌منظور تولید جواب‌های نامغلوب از روش برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای فازی استفاده شده است؛ بنابراین با توجه به اهمیت مسائل زیست‌محیطی، نوآوری این پژوهش در نظر گرفتن تابع هدف کاهش اثرات زیست‌محیطی در کنار توابع هدف هزینه و زمان از منظر سه‌ذی‌نفع زنجیره تأمین، مشتری و جامعه است؛ همچنین چندوسیله‌ای بودن حمل و نقل به تضاد بین تابع هزینه و زمان تحویل منجر خواهد شد. علاوه بر این در زمینه تولید و توزیع، از پیمانکار و خدمات مربوط به برون‌سپاری استفاده می‌شود و در نهایت برای حل مسئله از روش حل جدیدی در مقایسه با سایر نسخه‌های برنامه‌ریزی آرمانی استفاده خواهد شد؛ بنابراین

تفاوت این پژوهش با پژوهش لیانگ (۲۰۰۸) در اضافه‌شدن تابع هدف زیست‌محیطی و فرض چند وسیله حمل‌ونقل است و با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت توزیع و برون‌سپاری توزیع محدودیت‌های مسئله تکمیل‌تر شده و مسئله با روش حل متفاوتی از مقاله لیانگ (۲۰۰۸) حل شده است. مدل ارائه‌شده در پژوهش لیانگ (۲۰۰۸) با ترکیب مفهوم تصمیم‌گیری فازی ارائه شده توسط بلمن و زاده^۱ (۱۹۷۰) و روش برنامه‌ریزی فازی ارائه‌شده توسط حنان (۱۹۸۱)، حل شده است [۳، ۱۰]. بدین صورت که به‌ازای مقادیر مختلف توابع هدف، درجه عضویت تعیین می‌شود؛ سپس به‌ازای هر تابع هدف، نمودار قطعه‌قطعه خطی توابع عضویت ترسیم می‌شود و با استفاده از روابطی که در پژوهش ارائه شده است، معادلات قطعه‌قطعه خطی برای هر تابع هدف فرموله شده و در نهایت با ارائه یک متغیر کمکی، مدل ریاضی چندهدفه به یک مدل ریاضی با یک تابع هدف تبدیل می‌شود و مسئله با یک تابع هدف حل می‌شود؛ اما در این پژوهش از روش حل برنامه‌ریزی آرمانی فازی استفاده شده است. شکل ۱، شبکه زنجیره تأمین مسئله را نشان می‌دهد. مطابق شکل، تولید محصولات علاوه بر مراکز تولید می‌تواند در محل پیمانکار نیز انجام شود؛ همچنین ارسال محصولات از مراکز تولید به توزیع یا به‌طور مستقیم توسط آن‌ها و یا با واسطه از طریق پیمانکاران حمل انجام می‌شود؛ بنابراین مفروضات مسئله به‌صورت زیر است:

۱. همه توابع هدف و محدودیت‌ها معادلات خطی هستند؛
۲. مقدار ضرایب هزینه/ زمان در توابع هدف و محدودیت‌ها در طول افق برنامه‌ریزی مشخص و قطعی است؛
۳. پارامترهای تقاضا، ظرفیت ماشین و ظرفیت نیروی انسانی به‌صورت فازی در نظر گرفته شده و برای نمایش آن‌ها از الگوی عدد فازی مثلثی استفاده شده است؛
۴. تقاضای پیش‌بینی شده برای مقاصد در یک دوره زمانی خاص می‌تواند توسط منابع، برآورده شود و یا به تأخیر بیفتد؛ اما تقاضای به‌تأخیرافتاده باید در دوره بعد برآورده شود؛
۵. فرض چندمحصولی، چند وسیله حمل‌ونقل، چند دوره زمانی و ارزش زمانی پول در مسئله در نظر گرفته شده است؛
۶. تعداد وسایل حمل‌ونقل در دسترس مشخص بوده و دارای ظرفیت محدود هستند. در صورت نیاز به ظرفیت بیشتر برای توزیع از پیمانکاری استفاده می‌شود؛
۷. با توجه به محدود بودن منابع در دسترس، ظرفیت تولید نیز محدود است و در صورت نیاز به تولید کالای بیشتر از پیمانکار برای تولید استفاده می‌شود؛
۸. مالکیت مراکز تولید و مراکز توزیع به‌صورت واحد فرض شده است. مانند شرکت‌های «کاله» و «میهن» در کشور ایران.



شکل ۱. شبکه زنجیره تأمین مسئله

اندیس مجموعه‌ها

i : اندیس مراکز تولید ($i = 1, 2, \dots, I$)

n : اندیس انواع محصولات ($n = 1, 2, \dots, N$)

h : اندیس دوره زمانی برنامه‌ریزی ($h = 1, 2, \dots, H$)

j : اندیس مراکز توزیع ($j = 1, 2, \dots, J$)

p : اندیس نوع وسیله حمل و نقل ($p = 1, 2, \dots, P$)

k : اندیس توابع هدف ($k = 1, 2, \dots, K$)

توابع هدف

Z_1 : کل هزینه‌ها

Z_2 : کل زمان تحویل

Z_3 : اثرات زیست‌محیطی (انتشار CO_2)

متغیرهای تصمیم

Q_{inh} : مقدار تولید محصول n توسط مرکز تولید i در دوره h (units)

V_{inh} : مقدار تولید محصول n توسط پیمانکار برای مرکز تولید i در دوره h (units)

W_{inh} : سطح موجودی محصول n توسط مرکز تولید i در دوره h (units)

E_{inh} : مقدار سفارش پس‌افت محصول n برای مرکز تولید i در دوره h (units)

T_{inh}^p : مقدار محصول n که از مرکز تولید i به مرکز توزیع j با استفاده از روش حمل p در دوره زمانی h ارسال می‌شود (units).

$T S_{inh}^p$: مقدار محصول n که از مرکز تولید i به مرکز توزیع j با استفاده از روش حمل p در دوره زمانی h توسط پیمانکار ارسال می‌شود (units).

پارامترها

a_{in1} : هزینه تولید هر واحد محصول n توسط مرکز تولید i در دوره اول (\$/unit)
 e_a : درصد افزایش ثابت دوره به دوره هزینه تولید
 b_{in1} : هزینه تولید هر واحد محصول n برای مرکز تولید i توسط پیمانکار در دوره اول (\$/unit)
 e_b : درصد افزایش ثابت دوره به دوره هزینه تولید پیمانکاری
 c_{in1} : هزینه نگهداری موجودی هر واحد محصول n در مرکز تولید i در دوره اول (\$/unit)
 e_c : درصد افزایش ثابت دوره به دوره هزینه نگهداری موجودی
 d_{in1} : هزینه پس‌افت هر واحد محصول n توسط مرکز تولید i در دوره اول (\$/unit)
 e_d : درصد افزایش ثابت دوره به دوره هزینه پس‌افت
 k_{in1}^p : هزینه تحویل هر واحد محصول n از مرکز تولید i به مرکز توزیع j در دوره اول با استفاده از وسیله حمل p (\$/unit)
 e_k : درصد افزایش ثابت دوره به دوره هزینه تحویل بدون استفاده از پیمانکار
 g_{in1}^p : هزینه تحویل هر واحد محصول n از مرکز تولید i به مرکز توزیع j در دوره اول با استفاده از وسیله حمل p ، با استفاده از پیمانکار (\$/unit)
 e_g : درصد افزایش ثابت دوره به دوره هزینه تحویل در صورت استفاده از پیمانکار
 u_{inh}^p : زمان تحویل هر واحد محصول n از مرکز تولید i به مرکز توزیع j در دوره h با استفاده از وسیله حمل p (hour/unit)
 s_{inh}^p : ظرفیت هر وسیله حمل p برای محصول n که از مرکز تولید i به مرکز توزیع j در دوره h ارسال می‌شود (units)
 Nt_{inh}^p : تعداد وسیله نقلیه موجود از نوع p برای حمل محصول n از مرکز تولید i به مرکز توزیع j در دوره h (units)
 NS_{nh}^p : تعداد وسیله نقلیه موجود از نوع p برای حمل محصول n از پیمانکار به مقصد j در دوره h (فرض می‌شود این تعداد برای کلیه مراکز تولید برابر است) (units)
 D_{nhj} : تقاضای محصول n در مرکز توزیع j در دوره h (units)
 l_{in} : ساعت کاری نیروی انسانی صرف شده برای تولید هر واحد محصول n در مرکز تولید i (man-hour/unit)
 F_{ih} : حداکثر نفر - ساعت در دسترس برای مرکز تولید i در دوره h (man-hour)

r_{in} : ساعات صرف‌شده ماشین‌آلات برای تولید هر واحد محصول n در مرکز تولید i (machine-hour)
(hour/unit)

M_{ih} : حداکثر ظرفیت ماشین در دسترس برای مرکز تولید i در دوره h (machine-hour)

v_n : فضای انبارش مورد نیاز برای هر واحد محصول n (ft^2/unit)

R_{hj} : حداکثر فضای انبار در دسترس مرکز توزیع j در دوره h (ft^2)

SC_{ih} : حداکثر ظرفیت تولید پیمانکار برای مرکز تولید i در دوره h

B : کل بودجه (\$))

dis_{ij} : فاصله بین مرکز تولید i و مرکز توزیع j (km)

Em^p : مقدار CO_2 منتشر شده از حمل هر تن محصول در واحد فاصله با استفاده وسیله حمل p
(gr/ton/km)

Em_{in} : مقدار CO_2 منتشر شده از تولید هر واحد محصول n در مرکز تولید i (gr/unit)

c_{tax} : هزینه مالیات پرداختی برای انتشار CO_2 (\$/gr)

مدل ریاضی. با توجه به نمادهای تعریف‌شده، مدل ریاضی مسئله به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z_1 = & \sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \sum_{h=1}^H a_{in1} Q_{inh} (1 + e_a)^h \\ & + \sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \sum_{h=1}^H b_{in1} V_{inh} (1 + e_b)^h \\ & + \sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \sum_{h=1}^H c_{in1} W_{inh} (1 + e_c)^h \\ & + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{h=1}^H d_{in1} E_{inh} (1 + e_d)^h + \\ & \sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P k_{in1j}^p T_{inhj}^p (1 + e_k)^h \\ & + \sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P g_{in1j}^p Ts_{inhj}^p (1 + e_g)^h \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{Min } Z_2 = \sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P \left[\frac{u_{inhj}^p}{s_{inhj}^p} \right] (T_{inhj}^p + Ts_{inhj}^p) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{Min } Z_3 = & c_{tax} \left(\sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \sum_{h=1}^H (Em_{in}) (Q_{inh}) (1 + e_e)^h \right) \\ & + c_{tax} \left(\sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \sum_{h=1}^H (Em_{in}) (V_{inh}) (1 + e_e)^h \right) + \\ & c_{tax} \left(\sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^J \sum_{s=1}^S (Em^p) (T_{inhj}^p) (dis_{ij}) (1 + e_e)^h \right) \\ & + c_{tax} \left(\sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^J \sum_{s=1}^S (Em^p) (Ts_{inhj}^p) (dis_{ij}) (1 + e_e)^h \right) \end{aligned} \quad (3)$$

Subject to:

$$W_{in(h-1)} - E_{in(h-1)} + Q_{inh} + V_{inh} - (\sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P T_{inhj}^p + TS_{inhj}^p) = \quad (4)$$

$$\begin{aligned} W_{inh} - E_{inh} & \quad \forall i. n. h \\ Q_{inh} + V_{inh} & \geq E_{in(h-1)} \quad \forall i. n. h \end{aligned} \quad (5)$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I (T_{inhj}^p + TS_{inhj}^p) = \bar{D}_{nhj} \quad \forall n. h. j \quad (6)$$

$$T_{inhj}^p \leq s_{inhj}^p \cdot Nt_{inhj}^p \quad \forall i. n. h. j. p \quad (7)$$

$$\sum_{n=1}^N l_{in} Q_{inh} \leq \bar{F}_{ih} \quad \forall i. h \quad (8)$$

$$\sum_{n=1}^N r_{in} Q_{inh} \leq \bar{M}_{ih} \quad \forall i. h \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \sum_{p=1}^P v_n (T_{inhj}^p + TS_{inhj}^p) \leq R_{hj} \quad \forall j. h \quad (10)$$

$$Z_1 + Z_3 \leq B \quad (11)$$

$$\sum_{n=1}^N V_{inh} \leq SC_{ih} \quad \forall i. h \quad (12)$$

$$TS_{inhj}^p \leq s_{inhj}^p \cdot NS_{nhj}^p \quad \forall i. n. h. j. p \quad (13)$$

$$Q_{inh} \cdot V_{inh} \cdot W_{inh} \cdot E_{inh} \cdot T_{inhj}^p \cdot TS_{inhj}^p \geq 0 \quad \forall i. n. h. j. p \quad (14)$$

توابع هدف ارائه شده در معادلات ۱، ۲ و ۳، به ترتیب نمایانگر مجموع هزینه‌ها، زمان تحویل و اثرات زیست‌محیطی است. در تابع هدف نخست، مجموع هزینه‌های تولید چه در مراکز تولید و چه توسط پیمانکاران تولید، هزینه‌های نگهداری موجودی و پس‌افت و البته هزینه‌های حمل توسط مراکز تولید و پیمانکار با در نظر گرفتن افزایش دوره به دوره هزینه‌ها لحاظ شده است. تابع هدف دوم در واقع کل زمان صرف شده برای حمل و تحویل محصولات از مراکز تولید تا مراکز توزیع را فارغ از حمل توسط خود سیستم یا توسط پیمانکار ارائه می‌دهد. تابع هدف سوم نیز هزینه مالیات پرداختی به دولت به دلیل انتشار را نشان می‌دهد.

محدودیت ۴، رابطه تعادلی بین میزان تولید، ارسال و سطوح موجودی و کمبود دوره جاری و دوره قبل از آن را برای هر محصول در هر مرکز تولید نشان می‌دهد. طبق محدودیت ۵، مقدار کمبود در دوره قبل الزاماً باید توسط مقدار تولید و موجودی دوره جاری برآورده شود؛ به عبارت دیگر این محدودیت از تجمیع کمبودها جلوگیری می‌کند. طبق محدودیت ۶، مقدار محصول ارسالی توسط مراکز تولید، چه به صورت مستقیم و چه از طریق پیمانکار، تقاضای مراکز لجستیک را برآورده

می‌کند. با توجه به عدم قطعیت موجود در تقاضا، در این محدودیت تقاضا به صورت فازی نشان داده شده است. محدودیت ۷، نمایانگر محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه موجود در مراکز تولید است. در صورتی که به ظرفیت بیشتری برای توزیع نیاز باشد از پیمانکاری با هزینه بیشتر استفاده می‌شود. محدودیت‌های ۸ و ۹، به ترتیب نشان‌دهنده محدودیت نیروی انسانی در دسترس و ظرفیت ماشین‌آلات برای هر مرکز تولید در هر دوره زمانی هستند. به دلیل عدم قطعیت در سطح نیروی کار و ماشین‌آلات پارامترهای مرتبط با آن‌ها به صورت فازی نشان داده شده است. محدودیت ۱۰، محدودیت ظرفیت انبار در هر مرکز توزیع در هر دوره زمانی را نشان می‌دهد. محدودیت ۱۱، نشان‌دهنده محدودیت بودجه است. محدودیت ۱۲، نمایانگر محدودیت ظرفیت تولید پیمانکار در تولید محصولات مختلف است. محدودیت ۱۳، نشان‌دهنده محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه‌ای است که توسط پیمانکار برای توزیع استفاده می‌شود. محدودیت ۱۴، نیز وضعیت متغیرهای تصمیم مدل را نشان می‌دهد.

روش حل مسئله

محدودیت‌های فازی. در مدل ارائه‌شده، سه پارامتر غیرقطعی وجود دارد که به صورت فازی در نظر گرفته شده‌اند. این سه پارامتر عبارت‌اند از: تقاضای مشتریان، سطح نیروی انسانی در دسترس و ظرفیت ماشین‌آلات. به منظور جلوگیری از پیچیدگی مسئله، این پارامترها به صورت اعداد فازی مثلثی نمایش داده شده‌اند. مزیت اصلی عدد فازی مثلثی، سهولت و انعطاف‌پذیری در عملیات حسابی فازی است. تصمیم‌گیرنده می‌تواند توزیع فازی مثلثی را بر اساس سه رویکرد بدبینانه‌ترین مقدار، محتمل‌ترین مقدار و خوش‌بینانه‌ترین مقدار بسازد. این پارامترهای فازی در محدودیت‌های ۶ و ۸ و ۹، به کار رفته‌اند. به منظور غیرفازی سازی این محدودیت‌ها از روش تبدیل میانگین وزنی استفاده شده است [۱۱، ۲۳، ۲۴، ۲۷]. با در نظر گرفتن حداقل سطح عضویت قابل قبول α روابط قطعی معادل با محدودیت‌های ۶، ۸ و ۹، به ترتیب با معادلات ۱۵، ۱۶ و ۱۷، قابل جایگزینی خواهند بود.

$$\sum_{p=1}^p \sum_{i=1}^i (T_{inhj}^p + Ts_{inhj}^p) = w_1 D_{nhj.\alpha}^p + w_2 D_{nhj.\alpha}^m + w_3 D_{nhj.\alpha}^o \quad \forall n, h, j \quad (15)$$

$$\sum_{n=1}^N l_{in} Q_{inh} \leq w_1 F_{ih.\alpha}^p + w_2 F_{ih.\alpha}^m + w_3 F_{ih.\alpha}^o \quad \forall i, h \quad (16)$$

$$\sum_{n=1}^N r_{in} Q_{inh} \leq w_1 M_{ih.\alpha}^p + w_2 M_{ih.\alpha}^m + w_3 M_{ih.\alpha}^o \quad \forall i, h \quad (17)$$

در روابط بال $w_1 + w_2 + w_3 = 1$ است و w_1 ، w_2 و w_3 به ترتیب نشان‌دهنده وزن مقدار بدبینانه، محتمل‌ترین مقدار و مقدار خوش‌بینانه هستند. در این پژوهش $w_1 = w_3 = \frac{1}{6}$ و $w_2 = \frac{4}{6}$ در نظر گرفته شده و $\alpha = 0.5$ در نظر گرفته شده است. در موقعیت‌های عملی مقدار α و همین‌طور مقدار وزن‌ها بر اساس تجربه و دانش تصمیم‌گیرنده و یا نظر خبرگان تعیین می‌شود.

برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای^۱ نوین برای حل مسائل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی^۲. در مسائل تصمیم‌گیری چندهدفه (MODM)^۳ تصمیم‌گیرنده درصدد یافتن جواب‌هایی برای مسئله‌ای با چند تابع هدف بر اساس محدودیت‌های موجود است که این توابع هدف، ذاتاً با یکدیگر در تضاد هستند. درحقیقت یافتن جوابی که به‌صورت هم‌زمان همه توابع هدف را بهینه کند، تقریباً غیرممکن است. در گذشته به‌منظور حل این‌گونه مسائل از دو روش^۱ برنامه‌ریزی بازه‌ای^۴ و^۲ برنامه‌ریزی فازی به‌صورت گسترده‌ای استفاده شده است. از زمان معرفی مطالعه زاده (۱۹۶۵)، نظریه مجموعه‌های فازی برای حل مسائل تصمیم‌گیری چندهدفه جذابیت زیادی یافته است [۲۸]. این موضوع به توسعه برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی (FMOLP)^۵ منجر می‌شود که به تصمیم‌گیرنده اجازه می‌دهد سطوح مطلوب خود را برای هدف‌های فازی تنظیم کند. روش‌های زیادی برای حل مسائل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی مانند روش‌های ماکسی‌مین زیمرمن^۶ (۱۹۷۸)، روش میانگین حسابی^۷ لی و همکاران^۸ (۱۹۹۲)، روش دوفازی^۹ جو و همکاران^{۱۰} (۱۹۹۹)، ارائه شده است [۲۹، ۲۴، ۸، ۹، ۱۱]. روش‌های دوفازی و ماکسی‌مین عموماً نمی‌توانند جواب‌های کارآمدی را به‌دست آورند. در این پژوهش به‌منظور دستیابی به جواب‌های مناسب از روش جدید چانگ و همکاران^{۱۱} (۲۰۱۸)، استفاده شده است [۵]. در این روش مدل برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای جدیدی برای حل مسائل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه ارائه شده است که به جواب‌های ایده‌آل و غیرایده‌آل نیازی ندارد و به همین دلیل پیچیدگی فرایند حل مسئله کاهش می‌یابد. به‌منظور فهم بهتر روش برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی برای مسائل تصمیم‌گیری چندهدفه، ابتدا لازم است صورت کلی مسئله به‌صورت ریاضی بیان شود.

-
1. Multi-choice goal programming(MCGP)
 2. Fuzzy multi objective linear programming(FMLOP)
 3. Multi objective decision making
 4. Interval programming
 5. Fuzzy multi-objective linear programming
 6. Zimmermann
 7. Arithmetical average
 8. Lai
 9. Two-phase
 10. Guu
 11. Chung

مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه زیر را در نظر بگیرید:

$$\begin{aligned} \text{Max } z &= [z_k(x)]^T \quad k=1,2,\dots,l & (18) \\ \text{Min } w &= [w_s(x)]^T \quad s=1,2,\dots,r \\ \text{S.t:} \\ X &\in F \quad (F \text{ مجموعه ناحیه شدنی است}) \end{aligned}$$

در رابطه ۱۸، توابع دسته اول از نوع حداکثرسازی و دسته دوم از نوع حداقل‌سازی هستند. بر اساس مدل اول چانگ و همکاران^۱ (۲۰۱۸)، از طریق حل مدل برنامه‌ریزی خطی زیرمجموعه جواب‌های پارتو برای مسئله چندهدفه قابل تولید خواهد بود:

$$\begin{aligned} \text{Min } \sum_{k=1}^l (\alpha_k d_k^- + \xi_k e_k^-) + \sum_{s=1}^r (\beta_s d_s^+ + \delta_s e_s^+) & (19) \\ \text{S.t:} \end{aligned}$$

$$z_k(x) + d_k^- = y_k, \quad k=1,2,\dots,l \quad (20)$$

$$y_k + e_k^- = g_{k,max}, \quad k=1,2,\dots,l \quad (21)$$

$$w_s(x) - d_s^+ = y_s, \quad s=1,2,\dots,r \quad (22)$$

$$y_s - e_s^+ = g_{s,min}, \quad s=1,2,\dots,r \quad (23)$$

$$g_{k,min} \leq y_k \leq g_{k,max}, \quad g_{s,min} \leq y_s \leq g_{s,max} \quad (24)$$

$$k=1,2,\dots,l, \quad s=1,2,\dots,r$$

$$d_k^-, e_k^-, d_s^+, e_s^+ \geq 0, \quad k=1,2,\dots,l, \quad s=1,2,\dots,r \quad (25)$$

$$X \in F \quad (26)$$

در روابط بالا d_k^- و d_s^+ متغیرهای غیرمنفی بوده و به ترتیب معرف انحرافات منفی و مثبت مرتبط با روابط $z_k(x) - y_k$ و $w_s(x) - y_s$ در معادلات ۲۰ و ۲۲ هستند. مقادیر y_k و y_s نیز متغیرهای پیوسته هستند که به ترتیب در بازه‌های $g_{k,max} \leq y_k \leq g_{k,min}$ و $g_{s,max} \leq y_s \leq g_{s,min}$ تغییر می‌کنند. e_k^- و e_s^+ به ترتیب انحراف منفی و مثبت مرتبط با $y_k - g_{k,max}$ و $y_s - g_{s,min}$ را در معادلات ۲۱ و ۲۳ نشان می‌دهند که در آن $g_{k,max}$ و $g_{s,min}$ به ترتیب مقادیر حدود بالا و پایین توابع هدف حداکثر و حداقل هستند. α_k و β_s وزن‌های مربوط

¹ Chung

به انحرافات d_k^- و d_s^+ و ξ_k و δ_s وزن‌های مربوط به انحرافات e_k^- و e_s^+ هستند. محدودیت ۲۶، نیز معرف محدودیت‌های معمول مسئله است.

مدل ریاضی مسئله با استفاده از روش MCGP. با توجه به اینکه مدل ریاضی ارائه شده در این پژوهش دارای سه هدف حداقل‌سازی است، بر اساس روابط ۱۹ تا ۲۶ و در نظر گرفتن ضریب واحد برای متغیرهای انحرافات در تابع هدف، به صورت ساده‌ای مطابق با روابط ۲۷ تا ۳۵، خواهد شد. به ازای هر تابع هدف حداقل باید در تابع هدف جمع عبارات d_s^+ و e_s^+ قرار داده شود و در محدودیت‌های مسئله علاوه بر محدودیت‌های اصلی مسئله، به ازای هر تابع هدف حداقل، محدودیت‌های مرتبط به مسئله اضافه می‌شود.

$$\text{Min } d_1^+ + e_1^+ + d_2^+ + e_2^+ + d_3^+ + e_3^+ \quad (27)$$

S.t.

$$\sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \sum_{h=1}^H a_{in1} Q_{inh} (1 + e_a)^h \quad (28)$$

$$+ \sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \sum_{h=1}^H b_{in1} V_{inh} (1 + e_b)^h$$

$$+ \sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \sum_{h=1}^H c_{in1} W_{inh} (1 + e_c)^h$$

$$+ \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{h=1}^H d_{in1} E_{inh} (1 + e_d)^h +$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P k_{in1j}^p T_{inhj}^p (1 + e_k)^h$$

$$+ \sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P g_{in1j}^p T_{inhj}^p (1 + e_g)^h - d_1^+ =$$

$$y_1$$

$$y_1 - e_1^+ = g_{1.min} \quad (29)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P \left[\frac{u_{inhj}^p}{s_{inhj}^p} \right] (T_{inhj}^p + T_{s_{inhj}^p}) - d_2^+ = y_2$$

$$y_2 - e_2^+ = g_{2.min} \quad (30)$$

$$c_{tax} \left(\sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \sum_{h=1}^H (Em_{in}) (Q_{inh}) (1 + e_e)^h \right) + \quad (31)$$

$$c_{tax} \left(\sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \sum_{h=1}^H (Em_{in}) (V_{inh}) (1 + e_e)^h \right) +$$

$$c_{tax} \left(\sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^J \sum_{s=1}^S (Em^p) (T_{inhj}^p) (dis_{ij}) (1 + e_e)^h \right)$$

$$+ c_{tax} \left(\sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^J \sum_{s=1}^S (Em^p) (T_{s_{inhj}^p}) (dis_{ij}) (1 + e_e)^h \right) - d_3^+ = y_3$$

$$y_3 - e_3^+ = g_{3.min} \quad (32)$$

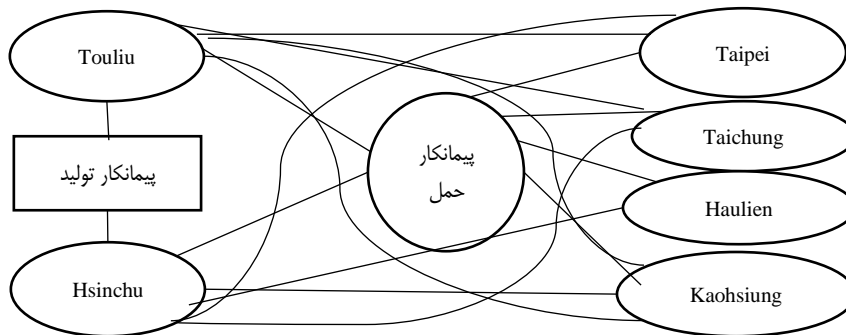
$$g_{k.min} \leq y_k \leq g_{k.max} \quad \forall k=1,2,3 \quad (33)$$

$$d_k^+ \cdot e_k^+ \geq 0 \quad \forall k=1,2,3 \quad (34)$$

$$(4), (5), (7), (10)-(14), (15)-(17) \quad (35)$$

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

داده‌های مسئله. به‌منظور نشان‌دادن عملکرد مدل پیشنهادی، داده‌های شرکت «دایا تکنولوژی» به‌عنوان یک مطالعه موردی در نظر گرفته شده که یک تولیدکننده پیشرو در زمینه ماشین‌آلات صنعتی در کشور تایوان است. این شرکت نخستین تولیدکننده ماشین‌بال اسکرو^۱ در جهان است که انواع مختلفی از آن را تولید و در نقاط مختلف دنیا توزیع کرده است. شکل ۲، شبکه زنجیره تأمین این شرکت را نشان می‌دهد.



شکل ۲. شبکه زنجیره تأمین مطالعه موردی

با توجه به شکل ۲، شبکه دارای دو مرکز تولید به نام‌های تولین و اچ‌سینچو و دارای چهار مرکز توزیع با نام‌های تایپیی، تایچونگ، هاولین و کاسیونگ است.

¹ Ball screw

سه نوع وسیله حمل شامل کامیون، قطار و هواپیما در نظر گرفته شده است. به منظور حل مسئله از داده‌های مقاله پایه، یعنی لیانگ (a 2008)، استفاده شده و مقادیر سایر داده‌هایی که صراحتاً داده نشده است، به صورت مقادیری منطقی و متناسب، تولید شده است که عبارت‌اند از: ظرفیت وسایل نقلیه؛ تعداد وسایل نقلیه در دسترس؛ مقدار انتشار آلاینده‌ها از هر نوع وسیله نقلیه و مراکز تولید؛ هزینه مالیات به‌ازای انتشار هر گرم آلاینده و مقدار پارامترهای $G_{k.min}$ و $G_{k.max}$. انتقال از طریق هواپیما، بیشترین هزینه و از طریق قطار، کمترین هزینه را دارد؛ از طرفی زمان تحویل از طریق هواپیما کمترین و توسط قطار، بیشترین مقدار را دارد.

کل بودجه در دسترس معادل ۶ میلیون دلار در نظر گرفته شده است. درصد افزایش کلیه هزینه‌ها طی دو دوره متوالی معادل ۲ درصد در نظر گرفته شده است. تعداد دوره‌های زمانی شامل ۳ دوره و مربوط به ماه‌های آوریل، می و ژوئن است. دو نوع محصول در نظر گرفته شده است. مقدار پارامترهای $G_{k.min}$ و $G_{k.max}$ معادل مقدار بهینه تابع هدف در حالت حل تک‌هدفه و به ترتیب برابر با صفر و برابر با ۲۰ درصد بیشتر از مقدار بهینه در نظر گرفته شده است.

در هر مرکز تولید تعداد ۲ کامیون، ۲ هواپیما و ۱ قطار در هر دوره برای اعزام به هر مرکز توزیع برای هر نوع محصول در دسترس می‌باشد و ظرفیت هر کامیون معادل حمل ۱۰۰۰ واحد محصول، هواپیما ۲۰۰۰ و قطار ۵۰۰۰ واحد است؛ همچنین از هر نوع وسیله حمل متعلق به پیمانکار در هر مرکز تولید برای اعزام به هر مرکز توزیع در هر دوره برای هر محصول صرفاً یکی وجود دارد.

مقدار گاز دی‌اکسید کربن تولیدشده برحسب گرم به‌ازای هر واحد محصول در مرکز تولید تولیدین برای محصول اول و دوم به ترتیب ۶ و ۸ و برای مرکز تولید اچ سینچو ۴ و ۲ است؛ همچنین مقدار کربن تولیدشده برحسب گرم به‌ازای حمل هر تن محصول در واحد مسافت (کیلومتر) برای کامیون، هواپیما و قطار به ترتیب ۳۰، ۳۰۲ و ۱۰ است و مالیات مربوط به تولید گاز مربوطه ۰/۰۲۶ دلار بر گرم در نظر گرفته شده است.

مقدار موجودی اولیه محصولات در مرکز تولید تولیدین به ترتیب ۴۰۰ و ۲۰۰ برای محصولات ۱ و ۲ و در مرکز تولید اچ سینچو معادل ۳۰۰ و ۲۰۰ برای محصولات ۱ و ۲ در نظر گرفته شده است. ظرفیت پیمانکار برای تولید در هر مرکز تولید در هر دوره معادل ۲۰۰۰۰ واحد محصول در نظر گرفته شده است. مقادیر پارامترهای مرتبط با هر مرکز تولید در دوره‌های مختلف و برای محصولات مختلف مطابق جدول ۱، است. مقدار پارامتر حداکثر فضای انبار در دسترس در همه دوره‌های زمانی برای مراکز توزیع تاییی، تایچونگ، هاولین و کاسیونگ به ترتیب برابر با ۶۵۰۰۰، ۶۲۰۰۰، ۶۵۰۰۰ و ۵۳۰۰۰ فوت مربع در نظر گرفته شده است.

جدول ۱. داده‌های مربوط به تولید در مراکز تولید (دلار)

مرکز تولید	دوره زمانی	محصول	a_{in1}	b_{in1}	c_{in1}	d_{in1}	l_{in}	r_{in}	v_n
تولین	آوریل	۱	۲۰	۲۵	۰/۳۰	۳۲	۰/۰۵	۰/۱۰	۲
	(دوره اول)	۲	۱۰	۱۲	۰/۱۵	۱۸	۰/۰۷	۰/۰۸	۳
اچ سینچو	آوریل	۱	۱۸	۲۴	۰/۲۸	۳۰	۰/۰۴	۰/۰۹	۲
	(دوره اول)	۲	۹	۱۲	۰/۱۴	۱۶	۰/۰۶	۰/۰۷	۳

مقادیر پارامترهای مرتبط با پارامترهای فازی مدل شامل \tilde{D}_{nhj} ، \tilde{F}_{ih} و \tilde{M}_{ih} که به ترتیب تقاضای هر مرکز توزیع در هر دوره برای هر محصول و حداکثر نفر ساعت نیروی کار در دسترس و حداکثر ظرفیت ماشین‌آلات در دسترس در هر مرکز تولید در هر دوره هستند، به صورت اعداد فازی در جدول‌های ۲، ۳ و ۴، ارائه شده است.

جدول ۲. مقادیر اعداد فازی مثلثی مربوط به \tilde{D}_{nhj}

مرکز توزیع	دوره زمانی	محصول	کران پایین	کران وسط	کران بالا
تایپی	آوریل	۱	۹۲۰۰	۱۰۰۰۰	۱۰۸۰۰
		۲	۶۰۰۰	۶۵۰۰	۷۰۰۰
	می	۱	۳۷۵۰	۳۰۰۰	۳۲۵۰
		۲	۸۵۰۰	۹۱۰۰	۹۷۰۰
تایچونگ	ژوئن	۱	۱۳۸۰۰	۱۵۰۰۰	۱۶۲۰۰
		۲	۲۷۵۰	۳۰۰۰	۳۲۵۰
	آوریل	۱	۲۲۵۰۰	۲۴۶۰۰	۲۶۷۰۰
		۲	۴۵۰۰	۵۰۰۰	۵۵۰۰
هالولین	می	۱	۲۴۸۶۱/۹	۲۷۲۳۰	۲۹۵۹۷/۵
		۲	۶۵۰۰	۷۲۰۰	۷۹۰۰
	ژوئن	۱	۵۶۲۵	۶۰۰۰	۶۳۷۵
		۲	۲۲۰۰۰	۲۴۰۰۰	۲۶۰۰۰
کاسیونگ	آوریل	۱	۲۷۰۰۰	۳۰۰۰۰	۳۳۰۰۰
		۲	۲۶۰۰	۳۰۰۰	۳۴۰۰
	می	۱	۱۰۵۰۰	۱۲۰۰۰	۱۳۵۰۰
		۲	۳۶۵۰	۴۰۰۰	۴۳۵۰
ژوئن	۱	۱۹۵۰۰	۲۴۰۰۰	۲۸۵۰۰	
	۲	۱۰۵۰۰	۱۱۵۰۰	۱۲۵۰۰	
آوریل	۱	۱۱۰۰۰	۱۲۳۰۰	۱۳۶۰۰	
	۲	۶۵۰۰	۷۱۰۰	۷۷۰۰	

۱۸۷۵۰	۱۷۰۰۰	۱۵۲۵۰	۱	می
۱۱۵۰۰	۱۰۵۰۰	۹۵۰۰	۲	
۱۶۹۵۰	۱۵۹۰۰	۱۴۸۵۰	۱	ژوئن
۱۰۰۵۰	۹۳۰۰	۸۵۵۰	۲	

جدول ۳. مقادیر اعداد فازی مثلثی مربوط به \bar{F}_{ih}

مرکز تولید	دوره زمانی	کران پایین	کران وسط	کران بالا
تولین	آوریل	۱۰۶۱/۲	۱۱۵۱/۲	۱۲۴۱/۲
	می	۱۰۶۱/۲	۱۱۵۱/۲	۱۲۴۱/۲
	ژوئن	۱۰۶۱/۲	۱۱۵۱/۲	۱۲۴۱/۲
اچ سینچو	آوریل	۱۲۳۳/۴	۱۵۰۰	۱۷۶۵/۹
	می	۱۲۳۳/۴	۱۵۰۰	۱۷۶۵/۹
	ژوئن	۱۲۳۳/۴	۱۵۰۰	۱۷۶۵/۹

جدول ۴. مقادیر اعداد فازی مثلثی مربوط به \bar{M}_{ih}

مرکز تولید	دوره زمانی	کران پایین	کران وسط	کران بالا
تولین	آوریل	۲۱۵۷/۷۵	۲۳۱۷/۷۵	۲۴۷۷/۷۵
	می	۲۱۵۷/۷۵	۲۳۱۷/۷۵	۲۴۷۷/۷۵
	ژوئن	۲۱۵۷/۷۵	۲۳۱۷/۷۵	۲۴۷۷/۷۵
اچ سینچو	آوریل	۲۹۷۶/۲۵	۳۱۷۶/۲۵	۳۳۷۶/۲۵
	می	۲۹۷۶/۲۵	۳۱۷۶/۲۵	۳۳۷۶/۲۵
	ژوئن	۲۹۷۶/۲۵	۳۱۷۶/۲۵	۳۳۷۶/۲۵

مقادیر مربوط به فاصله بین مراکز تولید و توزیع در جدول ۵، ارائه شده است.

جدول ۵. مقادیر فواصل بین مراکز تولید و توزیع dis_{ij}

تولین	تایپی	تایچونگ	هاولین	کاسیونگ
۲۲۵/۱	۷۱	۲۴۷/۸	۱۴۲/۶	۲۸۲
۸۵/۸	۹۴	۷۰۰		

دامنه مقادیر به هزینه تحویل توسط سیستم، هزینه تحویل توسط پیمانکار به‌ازای واحد بار و همچنین زمان تحویل به‌ازای ساعت بر واحد بار در جدول ۶، ارائه شده است.

جدول ۶. مقادیر هزینه و زمان تحویل بین مراکز تولید و توزیع

۰/۹-۵	کامیون	K_{in1j}^p
۰/۴-۴/۱	قطار	
۴-۴۱	هوایما	
۱/۸-۱۰	کامیون	g_{in1j}^p
۰/۸-۸/۲	قطار	
۸-۸۲	هوایما	
۱/۸-۱۵	کامیون	u_{inhj}^p
۲/۴-۱۸	قطار	
۰/۴-۴	هوایما	

نتایج پیاده‌سازی مدل. مدل ارائه‌شده در پژوهش ابتدا در حالت تک‌هدفه ساده در بسته‌افزاری گمز حل شد و مقدار هر یک از توابع هدف مطابق جدول ۷، به‌دست آمد. این مقادیر برای تعیین حدود بالا و پایین اهداف مطابق توضیحات داده‌شده در روش برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای فازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از طرفی رؤیت این اعداد تصور خوبی در رابطه با حدود مناسب نزدیک به بهینه هر یک از اهداف خواهد داد.

نتایج حل مسئله بر اساس مدل برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای فازی در جدول ۸، نشان داده شده است. همان‌طور که از نتایج مشخص است روش حل مورد استفاده، عملکرد مناسبی برای مدل پیشنهادی مسئله دارد. مقدار تابع هدف اول نسبت به مقدار بهینه آن اختلافی ندارد و توابع هدف دوم و سوم بیشتر از مقدار بهینه گزارش شده که طبیعی است؛ چراکه در توابع چندهدفه نمی‌توان هم‌زمان همه توابع را در بهینه‌ترین حالت ممکن به‌دست آورد. با توجه به نتایج جدول ۸، ظرفیت تولید برای تولید محصولات کافی نبوده است و از پیمانکار برای تولید محصولات استفاده شده است و مرکز تولید اچ سینچو برای تولید محصول دوم در دوره اول و سوم نیز دچار کمبود شده است که در دوره بعد جبران می‌شود. ظرفیت وسایل حمل نیز برای توزیع کافی نبوده است و از پیمانکاران برای توزیع نیز باید استفاده کرد. به همین دلیل به‌منظور پاسخ به این سؤال که اگر تعداد ماشین‌آلات در دسترس افزایش یابد و ظرفیت توزیع بیشتر شود، مقدار هزینه چه تغییری می‌کند، بررسی بیشتری روی مدل انجام شده و تعداد ماشین‌آلات در دسترس افزایش یافته است و نتایج در جدول ۹، مشاهده می‌شود. با توجه به جدول ۹، با افزایش تعداد کامیون‌ها و قطار مقدار هزینه در تابع هدف اول کاهش می‌یابد؛ چراکه بخش بیشتری از توزیع را خود مرکز توزیع انجام می‌دهد که هزینه کمتری دارد. مقدار تابع هدف دوم نیز کاهش می‌یابد؛ زیرا با افزایش تعداد وسایل نقلیه، سرعت توزیع نیز افزایش می‌یابد، مقدار تابع هدف سوم افزایش یافته است که آن هم به دلیل

افزایش وسایل نقلیه است؛ زیرا آلودگی بیشتری وارد محیط‌زیست می‌کند. نتایج تحلیل حساسیت روی پارامتر افزایش دوره‌به‌دوره هزینه در جدول ۱۰ و شکل ۳، نشان داده شده است.

جدول ۷. مقادیر توابع هدف در حالت تک‌هدفه

$Z_1 = 5337.78/57$	مقدار بهینه توابع هدف
$Z_2 = 285/35$	
$Z_3 = 32492/85$	

جدول ۸. مقادیر متغیرهای تصمیم

متغیر	مقدار
Z_k	$Z_1 = 5337.78/57$ $Z_2 = 69.41$ $Z_3 = 39799/82$
$Q_{inh}(units)$	$Q_{111} = 23.24, Q_{112} = 23.24, Q_{113} = 23.24$ $Q_{211} = 32913/46, Q_{212} = 35291/67, Q_{213} = 35291/67$ $Q_{221} = 3057/69$
$V_{inh}(units)$	$V_{111} = 5976, V_{121} = 14.24, V_{122} = 2000, V_{123} = 2000$ $V_{123} = 2000, V_{211} = 15686/54, V_{212} = 2798/62, V_{221} = 4313/46$ $V_{222} = 17201/38, V_{223} = 2000$
$W_{inh}(units)$	$W_{111} = 400, W_{121} = 200, W_{211} = 300$ $W_{221} = 200, W_{122} = 350, W_{212} = 2584/33, W_{222} = 2696/54$
$E_{inh}(units)$	$E_{221} = 604/85, E_{223} = 1603/46$
$T_{inhj}^p(units)$	$T_{1112}^1 = 1600, T_{1112}^2 = 5000, T_{1113}^1 = 2000, T_{1113}^2 = 5000$ $T_{1113}^3 = 4000, T_{1122}^1 = 2000, T_{1122}^2 = 5000$ $T_{1122}^3 = 1229/95, T_{1123}^2 = 4194/05, T_{1124}^2 = 5000, T_{1131}^2 = 2000,$ $T_{1132}^2 = 124, T_{1133}^1 = 2000, T_{1133}^2 = 5000, T_{1134}^1 = 5000$ $T_{1212}^2 = 5000, T_{1213}^2 = 3000, T_{1214}^1 = 824, T_{1214}^2 = 5000, T_{1222}^2 =$ $5000, T_{1223}^2 = 4000, T_{1224}^1 = 2000, T_{1224}^2 = 5000, T_{1232}^1 = 2000,$ $T_{1232}^2 = 5000, T_{1233}^1 = 1500, T_{1233}^2 = 5000, T_{1234}^2 = 5000, T_{2111}^1 =$ $2000, T_{2111}^2 = 5000, T_{2112}^1 = 2000, T_{2112}^2 = 5000, T_{2113}^1 =$ $2000, T_{2113}^2 = 5000, T_{2114}^1 = 2000, T_{2121}^2 = 3000, T_{2114}^2 =$ $5000, T_{2122}^1 = 2000, T_{2122}^2 = 5000, T_{2123}^1 = 2000$ $T_{2123}^2 = 5000, T_{2124}^1 = 2000, T_{2124}^2 = 5000, T_{2131}^1 = 2000,$ $T_{2131}^2 = 5000$ $T_{2132}^1 = 876, T_{2132}^2 = 5000, T_{2133}^1 = 2000, T_{2133}^2 = 5000, T_{2134}^1 = 2000,$ $T_{2134}^2 = 5000, T_{2211}^1 = 1500, T_{2211}^2 = 5000$ $T_{2214}^2 = 1276, T_{2221}^1 = 2000, T_{2221}^2 = 5000, T_{2222}^2 = 1500$

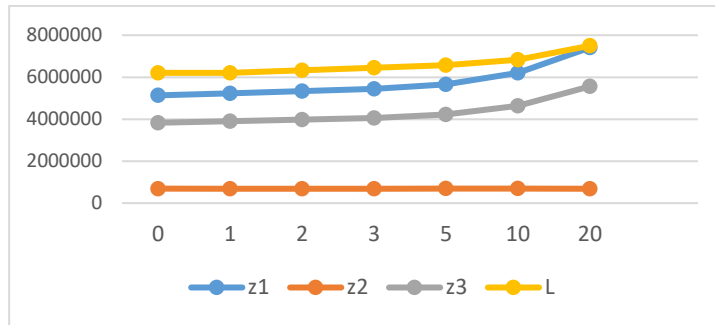
مقدار	متغیر
$T_{2224}^2 = 3500, T_{2231}^2 = 3000, T_{2232}^1 = 2000, T_{2232}^2 = 5000,$ $T_{2233}^2 = 5000, T_{2234}^2 = 4300$	
$TS_{1112}^2 = 5000, TS_{1113}^1 = 1000, TS_{1113}^2 = 5000, TS_{1122}^2 = 1000$ $TS_{1122}^2 = 5000, TS_{1133}^2 = 5000, TS_{1134}^2 = 1900, TS_{1222}^2 = 700,$ $TS_{1232}^2 = 5000, TS_{2111}^2 = 3000, TS_{2112}^1 = 1000, TS_{2112}^2 = 5000,$ $TS_{2113}^1 = 1000, TS_{2113}^2 = 5000, TS_{2114}^1 = 3000, TS_{2114}^2 = 5000$ $TS_{2122}^1 = 1000, TS_{2122}^2 = 5000, TS_{2123}^2 = 805,$ $TS_{2124}^2 = 5000, TS_{2131}^1 = 1000, TS_{2131}^2 = 5000, TS_{2133}^2 = 5000,$ $TS_{2221}^2 = 2100, TS_{2232}^2 = 5000$	$TS_{inhj}^p (units)$

جدول ۹. نتایج حل مدل با افزایش تعداد ماشین‌آلات در دسترس

تعداد وسایل حمل‌ونقل	مقدار توابع هدف	متغیر TS_{inhj}^p
۴ کامیون	$Z_1 = 5304082/45$	$TS_{1113}^2 = 2000, TS_{1122}^2 = 1424$
۲ قطار	$Z_2 = 626/42$	$TS_{2112}^2 = 4613/46, TS_{2122}^2 = 1805$
۲ هواپیما	$Z_3 = 40147/30$	$TS_{2131}^2 = 1000$

جدول ۱۰. نتایج تحلیل حساسیت مدل با تغییر درصد افزایش هزینه دوره‌به‌دوره

مجموع اختلاف توابع هدف از مقادیر بهینه	مقدار تابع هدف سوم	مقدار تابع هدف دوم	مقدار تابع هدف اول	درصد افزایش دوره‌به‌دوره هزینه‌ها
۱/۶	۳۸۲۸۵/۹۴	۶۹۰/۴۱	۵۱۳۳۸۸۵/۴۹	۰
۱/۶۲	۳۹۰۲۵/۶۸	۶۹۰/۴۱	۵۲۳۵۰۶۷/۰۴	۱
۱/۶۴	۳۹۷۹۹/۸۲	۶۹۰/۴۱	۵۳۳۷۰۷۸/۵۷	۲
۱/۶۷	۴۰۵۸۵/۵۴	۶۹۰/۴۱	۵۴۴۰۸۱۳/۷۵	۳
۱/۷۲	۴۲۱۸۸/۲۹	۶۹۱/۲۰	۵۶۵۱۸۲۷/۱۴	۵
۱/۸۵	۴۶۳۷۸/۳۶	۶۹۱/۲۰	۶۲۰۳۳۳۱/۴۱	۱۰
۲/۱۴	۵۵۶۰۴/۴۰	۶۹۰/۷۷	۷۴۰۸۶۹۳/۱۹	۲۰



شکل ۳. مقادیر تابع هدف با تغییر درصد افزایش هزینه دوره به دوره

با توجه به نتایج جدول ۱۰ و شکل ۳، تابع هدف اول با افزایش درصد یادشده روند صعودی داشته، درحالی که تابع هدف دوم تقریباً ثابت مانده است و تابع هدف سوم نیز روندی صعودی را نشان می‌دهد؛ همچنین منظور از مقدار L همان مقدار تابع هدف با روش حل برنامه‌ریزی آرمانی است.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش یک مسئله یکپارچه تولید - توزیع در زنجیره تأمین با در نظر گرفتن فرض چندمحصولی و چند دوره زمانی و عدم قطعیت در برخی پارامترهای کلیدی ارائه شد؛ به علاوه با در نظر گرفتن فرض امکان استفاده از چندین وسیله حمل، امکان بهره‌گیری از ترکیب بهتری از آن از نظر هزینه و زمان فراهم می‌شود؛ همچنین با در نظر گرفتن اثرات زیست‌محیطی سیستم‌های مختلف حمل می‌توان به هدف مسئولیت اجتماعی سازمانی نیز رسید. مسئله پیشنهادی با استفاده از روش حل نوین برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای فازی حل و نتایج محاسباتی آن ارائه شد.

یافته‌های این پژوهش از منظر کاربردی برای مدیران صنعت عبارت‌اند از:

۱. ارائه بینش گسترده‌تر به تصمیم‌گیرندگان در طراحی شبکه زنجیره تأمین با لحاظ کردن منافع مشتریان (با حداقل کردن زمان تحویل محصول) و منافع جامعه (با حداقل کردن اثرات تولید کربن) در کنار حداقل کردن هزینه‌های طراحی زنجیره تأمین. لازم به ذکر است وجوه یادشده عملاً در بلندمدت به انتفاع زنجیره تأمین با وفاداری بیشتر مشتریان و رعایت الزامات زیست‌محیطی با توجه به فشارهای وارده از طرف دولت منجر خواهد شد.

۲. توجه به برون‌سپاری فعالیت‌های لجستیکی مانند حمل‌ونقل و حتی عملیات تولید از طریق استفاده از پیمانکاران تولید و حمل. این مورد حتی اگر از نظر اقتصادی نیز هزینه‌های بیشتری داشته باشد، می‌تواند به تمرکز بیشتر مدیریت زنجیره بر فعالیت‌های کلیدی منجر شود و مزیت رقابتی بیشتر برای زنجیره تأمین ایجاد کند.

۳. ارائه بینش بهتر به مدیریت زنجیره تأمین در خصوص نحوه مواجهه با پارامترهای عدم قطعیت و امکان ایجاد سناریوهای مختلف تصمیم‌گیری برای مدیریت. لازم به ذکر است مواجهه با عدم قطعیت یکی از پیچیدگی‌های مدیریت زنجیره تأمین در کنار تضاد منافع اعضا است. مدل ارائه شده در پژوهش را می‌توان با روش‌های مختلفی از جمله موارد زیر توسعه داد:

- در نظر گرفتن بیش از دو سطح برای شبکه زنجیره تأمین؛
- اضافه کردن تصمیماتی مانند مکان‌یابی برای هر کدام از سطوح زنجیره؛
- در نظر گرفتن عدم قطعیت در پارامترهای مربوط به هزینه و زمان و غیره؛
- استفاده از سایر روش‌های حل و مقایسه آن با روش حل مورد استفاده در مقاله؛
- در نظر گرفتن سطح خدمت در برآورده‌سازی تقاضا و قراردادن مسئولیت اجتماعی به عنوان یک تابع هدف مجزا.

تعارض منافع. برای ارائه مطالب و نگارش این مقاله هیچ‌گونه کمک مالی از هیچ فرد، نهاد و سازمانی دریافت نشده است و نتایج و دستاوردهای این مقاله به نفع یا ضرر سازمان یا فردی خاص نخواهد بود. حضور نویسندگان در این پژوهش به عنوان شاهدی بی‌طرف ولی متخصص بوده است و نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافی ندارند.

منابع

1. Amiri, M., Barzegar, M., & Niknamfar, A. (2016). A Robust Optimization Approach for an Integrated Production Distribution Planning in a Supply Chain. *The Journal of Industrial Management Perspective*, 6(3), 9-28. (In Persian)
2. Badhotiya, G.K., Soni, G. & Mittal, M.L. (2019). Fuzzy multi-objective optimization for multi-site integrated production and distribution planning in two echelon supply chain. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 102, 635-645.
3. Bellman, R. E., & Zadeh, L. A. (1970). Decision-making in a fuzzy environment. *Management Science*, 17, 141-164.
4. Ben Abid, T., Ayadi, O., & Masmoudi, F. (2020). An integrated production-distribution planning problem under demand and production capacity uncertainties: new formulation and case study. *Mathematical Problems in Engineering*, 1, 1-15.
5. Chung, C.K., Chen, H.M., Chang, C.T., & Hau-Lieng Huang, H.L. (2018). On fuzzy multiple objective linear programming problems. *Expert Systems with Applications*, 114, 552-562.
6. Goodarzian, F., & Hosseini-Nasab, H. (2021). Applying a fuzzy multi-objective model for a production-distribution network design problem by using a novel self-adoptive evolutionary algorithm. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 8(1), 1-22.
7. Goodarzian, F., Shishebori, D., Nasserian, H., & Dadvar, F. (2021). A bi-objective production-distribution problem in a supply chain network under grey flexible conditions. *RAIRO Operations Research*, 55, 1287-1316.
8. Guu, S.M., & Wu, Y.K. (1999). Weight coefficients in two-phase approach for solving the multiple objective programming problems. *Fuzzy Sets and Systems*, 85, 45-48.
9. Guu, S.M., & Wu, Y.K. (1999). Two-phase approach for solving the fuzzy linear programming problems. *Fuzzy Sets and Systems*, 107, 191-195.
10. Hannan, E. L. (1981). Linear programming with multiple fuzzy goals. *Fuzzy Sets and Systems*, 6, 235-248.
11. Lai, Y. J., & Hwang, C. L. (1992). A new approach to some possibilistic linear programming problems. *Fuzzy Sets and Systems*, 49, 121-133.
12. Liang, T.F. (2008a). Fuzzy multi-objective production/distribution planning decisions with multi-product and multi-time period in a supply chain. *Computers and Industrial Engineering*, 55(3), 676-694.
13. Liang, T.F. (2008b). Integrating production-transportation planning decision with fuzzy multiple goals in supply chains. *International Journal of Production Research*, 46(6), 1477-1494, (2008b).
14. Liang, T.F. (2012). Integrated manufacturing/distribution planning decisions with multiple imprecise goals in an uncertain environment. *Quality and Quantity*, 46, 137-153.
15. Mohammed, A., & Wang, Q. (2017). The fuzzy multi-objective distribution planner for a green meat supply chain. *Int J Prod Econ*, 184, 47-58.
16. Mohammadi, M., & Soleimani, H. (2020). Investigating Open Loop and Closed-Loop Supply Chain under Uncertainty (Case Study: Iran Teransfo Company). *The Journal of Industrial Management Perspective*, 10(2), 33-53. (In Persian)

17. Moon, I., Jeong, Y. J., & Saha, S. (2016). Fuzzy Bi-Objective Production-Distribution Planning Problem under the Carbon Emission Constraint. *Sustainability*, 8(8), 798-811.
18. Mousakhani, S., & Sangari, M.S. (2020). An integrated location-production-distribution model in the green supply chain considering customer service level. *Industrial Management Studies*, 18(56), 275-304.
19. Nobil, A.H., Kazemi, A. (2016). Presenting a fuzzy multi-objective model for integrated production-distribution planning in a four-echelon closed-loop supply chain. *International Journal of Industrial Engineering & Production Management*, 27(1), 91-104. (In Persian)
20. Pathak, S., & Sarkar, S. (2011). A fuzzy optimization model to the aggregate production/distribution planning decision in a multi-item supply chain network. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 6(1), 163-173.
21. Peidro, D., Mula, J., Alemany, M.M.E., & Lario, F.-C. (2012). Fuzzy multi-objective optimisation for master planning in a ceramic supply chain. *International Journal of Production Research*, 50, 3011-3020.
22. Raad, A., Sadeghi, A., & Ghasemi, B. (2016). Mathematical Modeling of Two-Echelon with Multiple Manufacturers and Transportation in the Supply Chain. *The Journal of Industrial Management Perspective*, 6(3), 77-100. (In Persian)
23. Ramik, J., & Rimanek, J. (1985). Inequality relation between fuzzy numbers and its use in fuzzy optimization. *Fuzzy Sets and Systems*, 16, 123-138.
24. Rommelfanger, H. (1996). Fuzzy linear programming and applications. *European Journal of Operational Research*, 92, 512-527.
25. Sajedi, S., Sarfaraz, A., Bamdad, S., & Khalili-Damghani, K. (2021). Mathematical model of location, multi-commodity and multi-period in sustainable closed-loop supply chain considering risk and demand and quality uncertainty (A case Study). *Journal of Industrial Management Perspective*, 11(2), 271-304. (In Persian)
26. Sharahi, S., Khalili-Damghani, K., Abtahi, A.R., & Rashidi-Komijan, A. (2018). Type-II fuzzy multi-product, multi-level, multi-period location-allocation, production-distribution problem in supply chains: modelling and optimisation approach. *Fuzzy Information Engineering*, 10(2), 260-283.
27. Tanaka, H., Ichihashi, H., & Asai, K. (1984). A formulation of fuzzy linear programming problem based on comparison of fuzzy numbers. *Control and Cybernetics*, 13, 185-194.
28. Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, 338-353.
29. Zimmermann, H.J. (1978). Fuzzy programming and linear programming with several objective functions. *Fuzzy Sets and Systems*, 1, 45-55.

