



Resilient Distribution Network Design in Sustainable Grain Supply Chain: a Robust-Possibilistic Approach

Saeed Pirtaj, Mohammad Mousazadeh*

*Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, College of Farabi, University of Tehran, Iran
(Received: 02/05/2022, Revised: 17/07/2022, Accepted: 01/01/2023, Published: 20/02/2023)
DOR: 20.1001.1.20089198.1401.24.77.2.5

ABSTRACT

Today, the high importance of achieving food security for communities has made it necessary to provide a new perspective on the design of the grain supply chain distribution network to better adapt to real-world uncertainties and also to take into account disruptions. To this end, in this study, a mixed-integer linear programming model has been developed for the distribution network design problem in the grain supply chain, which has three objectives such as minimizing costs and maximizing job opportunities, both of which are examples of sustainability. In addition, considering the importance of grain in the food basket of households and the importance of food security, the third objective function has been developed focusing on the issue of resilience to deal with any disruption in the design of the distribution network. The robust-possibilistic programming approach is used to deal with uncertain demand and the multi-objective problem is solved using the improved epsilon constraint method. Finally, a compromised solution is selected using the TOPSIS method.

Keywords: Sustainable Supply Chain, Resilience, Uncertainty, Food Security, TOPSIS

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University

© Authors



* Corresponding Author Email: mousazadeh@ut.ac.ir

طراحی شبکه توزیع تاب آور در زنجیره تأمین پایدار غلات: یک رویکرد برنامه ریزی امکانی - استوار

سعید پیرتاج^۱، محمد موسی زاده^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، ۲- استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشکدهگان فارابی، دانشگاه تهران، ایران

DOR: 20.1001.1.20089198.1401.24.77.2.5

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۲/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۴/۲۶

چکیده

امروزه، اهمیت بالای دستیابی به امنیت غذایی برای جوامع، ارائه نگاهی نوین در طراحی شبکه توزیع زنجیره تأمین غلات را به منظور تطابق بیشتر با عدم قطعیت‌های دنیای واقع و لحاظ کردن اختلال‌ها ضروری ساخته است. بدین منظور، در تحقیق حاضر یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای مسئله طراحی شبکه توزیع در زنجیره تأمین غلات توسعه داده شده است که اهدافی همچون حداقل کردن هزینه‌ها و حداکثر کردن مشاغل ایجادشده، که هر دو از مصادیق پایداری به شمار می‌روند را دنبال می‌کند. به علاوه، با توجه به اهمیت غلات در سبد غذایی خانوارها و بحث امنیت غذایی، تابع هدف سوم نیز معطوف بر مبحث تاب‌آوری برای مقابله با هرگونه اختلال در طراحی شبکه توزیع موردنظر توسعه داده شده است. سپس از روش برنامه ریزی امکانی استوار پایه برای مقابله با تقاضای غیرقطعی استفاده شده است و مسئله چندهدفه با استفاده از روش محدودیت افسیلون بهبودیافته حل شده است؛ و در انتها بهترین نقطه مورد توافق، با استفاده از روش تاپسیس از میان نقاط کارای مسئله، انتخاب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: زنجیره تأمین پایدار، تاب‌آوری، عدم قطعیت، امنیت غذایی، تاپسیس

۱- مقدمه

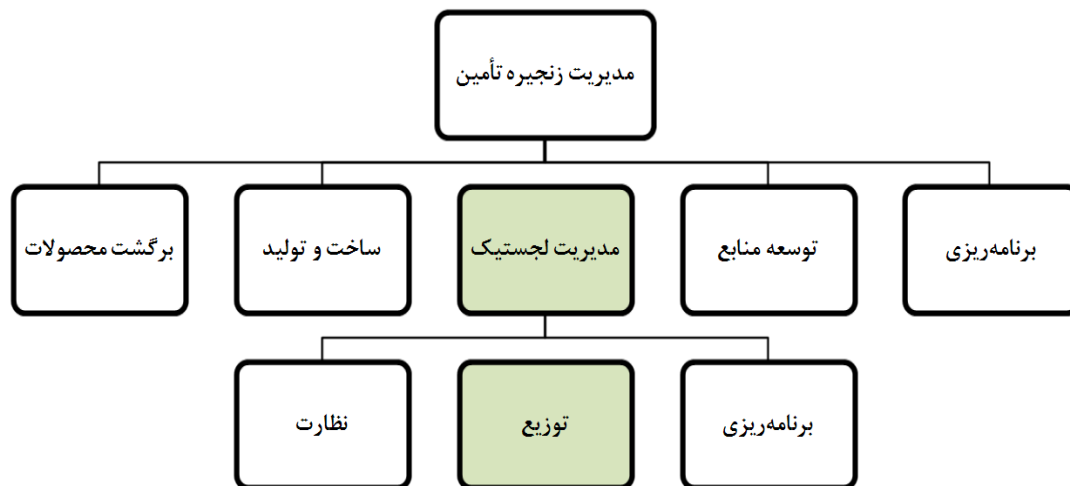
دو مفهوم مشکل به نظر می‌رسد. لجستیک و توزیع از اجزای مهم عملیات کارآمد روزانه برای تحویل کالا از یک مکان به مکان دیگر است. هر دوی این مؤلفه‌ها به طور کلی به انبارداری، کنترل سهام و نظارت بر جریان کالاها قبل از جابه‌جایی مربوط می‌شوند، اما باید توجه داشت که توزیع در واقع زیرمجموعه‌ای از مدیریت لجستیک است. یک تفاوت اساسی بین توزیع و لجستیک این است که لجستیک مربوط به برنامه ریزی و سازمان‌دهی کلی در مورد جابه‌جایی، ذخیره‌سازی و کنترل موجودی کالا است، در حالی که توزیع عموماً معطوف به محل قرارگیری فیزیکی کالا است. در واقع ارتباط لجستیک بیشتر با برنامه ریزی کلی است، در حالی که توزیع بیشتر مربوط به محل قرارگیری فیزیکی کالا از تولیدکننده به مصرف‌کننده است. هدف از لجستیک بهبود عملکرد داخلی با برنامه ریزی دقیق است، در حالی که هدف از توزیع، یافتن راه‌های مؤثر برای رسیدن کالا به مصرف‌کننده به صورتی است که به صرفه‌ترین و کارآمدترین روش ممکن اتخاذ شود [۶]. در شکل (۱) که فرآیندهای مدیریت زنجیره تأمین و مدیریت لجستیک را نشان می‌دهد، تفاوت‌های دو مفهوم توزیع و لجستیک به خوبی قابل درک است.

شبکه توزیع^۱ عامل اصلی سودآوری یک زنجیره تأمین است؛ زیرا مستقیماً بر هزینه‌های آن اثر می‌گذارد و حدود ۳۰٪ بهای تمام‌شده محصول نهایی را شامل می‌شود. از این رو شبکه توزیع، یک ملاحظه مهم برای شرکت‌های صنعتی است که دارای شبکه‌های زنجیره تأمین هستند [۱، ۲ و ۳]. توزیع به گام‌های برداشته شده برای انتقال و ذخیره یک محصول از مرحله تأمین‌کننده تا رسیدن محصول به دست مشتری نهایی در زنجیره تأمین اشاره دارد که شامل اقداماتی از جمله مکان‌یابی کارخانه‌های تولید و انبارهای توزیع و هم‌چنین تعیین بهترین راهبرد برای توزیع محصولات از کارخانه‌ها به انبارها و از انبارها به مشتریان است [۴ و ۵]. از آنجایی که توزیع و لجستیک^۲ دو مفهوم بسیار شبیه به هم هستند، تشخیص تفاوت‌های این

* رایانامه نویسنده مسئول: mousazadeh@ut.ac.ir

¹ Distribution Network

² Logistic



شکل (۱). فرآیندهای مدیریت زنجیره تأمین و مدیریت لجستیک

در ادامه‌ی روند این تحقیق، در بخش ۲ به مرور ادبیات و مقالات مرتبط اشاره خواهیم کرد. در بخش ۳ پس از بیان مفروضات و تشریح مسئله، یک مدل سه‌هدفه برای طراحی شبکه توزیع پایدار غلات فرموله می‌شود. در بخش ۴ رویکرد برنامه‌ریزی امکانی استوار برای مقابله با عدم قطعیت بیان خواهد شد. در بخش ۵ نتایج حاصل از حل مدل که توسط نرم‌افزار گمز صورت گرفته گزارش می‌گردد و در نهایت، در بخش ۶ به تحلیل نتایج و پیشنهادات آینده اشاره خواهیم کرد.

۲- مرور ادبیات

زنجیره‌های تأمین کشاورزی نقش حیاتی را برای پایداری^۵ ایفا می‌کنند زیرا منبع اصلی تأمین مواد غذایی در دنیا می‌باشند؛ اما به دلیل شرایط آب‌وهوایی با ریسک بیشتری مواجه هستند که سیستم امنیت غذایی جهانی را پیچیده می‌سازد. به همین منظور پریتری [۱۳] یک مدل بهینه‌سازی را برای زنجیره تأمین محصولات فاسدشدنی ارائه می‌دهد تا در مورد راهبرد مدیریت ریسک بهینه تصمیم‌گیری کند که سود مورد انتظار تصمیم‌گیرنده را تحت عدم قطعیت تقاضا و قیمت به حداکثر می‌رساند. امروزه گندم و محصولات جانبی آن به‌عنوان مهم‌ترین منبع دانه غذایی برای انسان در سراسر جهان در نظر گرفته می‌شوند. در این راستا، سید مهدی حسینی مطلق و همکاران [۱۴] در مقاله‌ای به مطالعه موردی واقعی زنجیره تأمین گندم در ایران می‌پردازند. آن‌ها با ارائه یک مدل ریاضی جدید، سعی در بهینه کردن هزینه کل طراحی شبکه زنجیره تأمین گندم دارند. در این مدل نقش عدم قطعیت برجسته می‌شود و سپس یک رویکرد قوی برای مقابله با عدم قطعیت اجتناب‌ناپذیر پارامترها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در آینده نزدیک، طراحی و بهره‌برداری

با توجه به آنچه در مورد اهمیت شبکه توزیع در زنجیره تأمین بیان شد، اکنون قصد داریم به طراحی شبکه توزیع در زنجیره تأمین پایدار غلات تحت شرایط عدم قطعیت^۱ بپردازیم. در سال‌های اخیر رشد سریع جمعیت جهان، افزایش چشم‌گیر نیاز به غذا را در پی داشته است. همچنین پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۵۰ تقاضای جهانی برای غذا دو برابر شود که این موضوع نشانگر اهمیت بالای زنجیره‌های تأمین مواد غذایی هم از بعد اقتصادی و هم از بعد اجتماعی می‌باشد [۸ و ۷]. به همین علت ایجاد بهبود در عملکرد زنجیره تأمین‌های محصولات کشاورزی به‌خصوص غلات به‌عنوان تأمین‌کننده بخش بزرگی از رژیم غذایی مردم دنیا بسیار مهم است [۹]. با توجه به تحول در بخش کشاورزی و چالش‌های جدیدی که با آن روبه‌رو است، مدیریت کارآمد زنجیره‌های تأمین محصولات کشاورزی به موضوعی جذاب برای محققان تبدیل شده است [۱۱ و ۱۰]. زنجیره‌های تأمین کسب‌وکارهای کشاورزی به دلیل ویژگی‌هایی مانند زمان طولانی عرضه، فصلی بودن، فسادپذیری (در برخی محصولات)، تقاضای غیرقطعی، هزینه‌های متغیر و همچنین تغییرات آب‌وهوایی بیشتر از زنجیره‌های تأمین تولید معمولی، تحت تأثیر عدم قطعیت‌ها قرار دارند. از این جهت حذف یا کاهش اثرات این عدم قطعیت‌ها تا حد زیادی در بهبود عملکرد زنجیره تأمین‌های کشاورزی تأثیرگذار خواهد بود و موجب دستیابی هرچه بهتر به مؤلفه امنیت غذایی^۲ برای مردم سراسر دنیا خواهد شد [۱۲]. لازم به ذکر است به همین منظور در این پژوهش، از رویکرد برنامه‌ریزی امکانی استوار^۳ با در نظر گرفتن مفهوم تاب‌آوری^۴ برای رویایی با تقاضای غیرقطعی در مدل بهره برده شده است.

¹ Uncertainty

² Food Security

³ Robust Possibilistic Programming

⁴ Resilience

⁵ Sustainability

تصادفی^۲ استفاده شده است. غلامیان و تقان‌زاده [۱۹] در مقاله‌ای طراحی زنجیره تأمین گندم را مورد بررسی قرار داده‌اند که شامل تصمیمات بلندمدت انتخاب تأمین‌کننده و یافتن سیلوهای جدید و تصمیمات میان‌مدت تخصیص و توزیع گندم و محصولات آن است. هدف مدل پیشنهادی انتخاب تأمین‌کنندگان، تعیین مقدار واردات، توزیع گندم و تولید محصولات آن است. این مدل با در نظر گرفتن ترکیب انواع مختلف گندم برای تولید محصولات مختلف، قرار دادن سیلوهای جدید و حالت‌های مختلف حمل‌ونقل در تمام سطوح زنجیره و اضافه کردن بخش صادرات توسعه می‌یابد. در نهایت، کاربرد این مدل در یک مطالعه موردی برای ایران بررسی شده است که صرفه‌جویی قابل توجهی در هزینه‌ها را نشان می‌دهد.

با توجه به اهمیت یکپارچه‌سازی جنبه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی در زنجیره تأمین مواد غذایی و کشاورزی موگاله و همکاران [۲۰] یک مدل دوهدفه را به منظور ایجاد یک زنجیره تأمین پایدار غلات که اهداف زیست‌محیطی مانند کمینه‌سازی انتشار دی‌اکسید کربن و اهداف اقتصادی مانند کمینه‌سازی هزینه‌های مورد انتظار را دنبال می‌کند، توسعه دادند؛ و در نهایت، مدل موردنظر با استفاده از دو الگوریتم چندهدفه مبتنی بر پارتو^۳ حل می‌شود. نتایج تحلیل حساسیت حاکی از آن است که تصمیم‌گیرندگان باید با حفظ تعادل بین دو هدف، تعداد کافی انبار در هر کشور تولیدکننده و مصرف‌کننده ایجاد کنند.

همان‌طور که در بخش مقدمه اشاره کردیم یکی از موارد مهم برای هر زنجیره تأمین جهت رسیدن به بهره‌وری حداکثری، داشتن یک شبکه توزیع مناسب است. از همین رو ولیدی و همکاران [۲۱] رویکردی برای طراحی یک شبکه توزیع ظرفیت‌دار با تمرکز بر صنعت لبنیات را بررسی کردند. در توابع هدف مدل آن‌ها، کمینه‌سازی هزینه‌ها و انتشار دی‌اکسید کربن که هر دو از موارد پایداری محسوب می‌شوند. در نظر گرفته شده است.

تولیدکنندگان محلی مواد غذایی، برای افزایش قابلیت رقابت‌پذیری، نیاز به ادغام در شبکه‌های تأمین‌کنندگان، توزیع‌کنندگان و مشتریان خود دارند. به همین جهت بوسونا و همکاران [۲۲] عملکرد یک شبکه توزیع غذای یکپارچه^۴ در سوئد را مورد بررسی قرار دادند. تجزیه و تحلیل مکان و مسیر با استفاده از داده‌های ۱۱ تولیدکننده، ۱۴۹ مشتری و یک مرکز توزیع انجام شد. در آن تحقیق از ابزارهای سیستم اطلاعات جغرافیایی^۵ استفاده شد. با توجه به پیشرفت‌های اخیر در محصولات

از زنجیره تأمین کشاورزی در معرض مقررات سخت‌تر و نظارت دقیق‌تر به‌ویژه برای محصولات آبی که مصرف انسان‌ها در نظر گرفته شده‌اند، قرار خواهد گرفت. این امر نشان می‌دهد که شیوه‌های سنتی زنجیره تأمین ممکن است در معرض تجدیدنظر و تغییر قرار گیرند. به همین جهت آهومدا و ویلاوبوس [۱۵] به بررسی سهم اصلی در زمینه برنامه‌ریزی تولید و توزیع برای محصولات کشاورزی پرداخته‌اند. تمرکز آن‌ها به‌طور خاص بر روی مدل‌هایی بوده که با توجه به ویژگی‌هایی مانند رویکردهای بهینه‌سازی مورد استفاده، نوع محصولات و دامنه برنامه‌ها با موفقیت اجرا شده طبقه‌بندی می‌شوند. در میان محصولات کشاورزی برنج نیز یک کالای راهبردی در زنجیره غذایی برای مردم و دولت‌ها است. زنجیره تأمین برنج شامل عناصر مختلفی از جمله مزارع، آسیاب‌های برنج، مراکز توزیع و بازارها است.

در پژوهشی که توسط صالحی امیری و همکارانش [۱۶] انجام شد با بررسی کامل مطالعات گذشته، یک شبکه جدید زنجیره تأمین حلقه بسته برای صنعت گردو به‌عنوان بخشی از محصول کشاورزی طراحی شده است؛ بنابراین، یک برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای شبکه پیشنهادی ایجاد شده است که هزینه‌های کلی صنعت گردو را به حداقل می‌رساند. شبکه طراحی شده، جریان روبه‌جلو و معکوس را نه‌تنها برای پاسخگویی به تقاضای بازارهای مختلف، بلکه برای آماده‌سازی محصولات برگشتی برای استفاده دوم در نظر می‌گیرد. به‌منظور حل مدل پیشنهادی، مجموعه‌ای از روش‌های دقیق، فراابتکاری و ترکیبی به کار گرفته شده است.

در مقاله بسکابادی و همکاران [۱۷] یک مدل ریاضی فازی جدید برای یک مسئله طراحی شبکه توزیع در یک سیستم زنجیره تأمین سبز چندمحصولی، چنددوره‌ای، چندلایه، چندکارخانه، چند خرده‌فروش، چندحالت حمل‌ونقل پیشنهاد شده است. سه هدف این مدل به حداقل رساندن هزینه کل شبکه، به حداکثر رساندن سود خالص سرانه برای هر منبع انسانی و کاهش انتشار CO₂ در سراسر شبکه است. کاظمی و همکاران [۱۸] یک مدل ریاضی دوهدفه برای به حداقل رساندن هزینه‌ها به‌عنوان یک هدف اقتصادی و به حداقل رساندن فرسایش خاک و تخریب آن به دلیل آب مصرفی برای کشت برنج به‌عنوان یک هدف زیست‌محیطی ارائه کردند. به‌منظور تأیید مدل پیشنهادی، یک مطالعه موردی از زنجیره تأمین برنج با مزارع تولیدکننده محدود مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر این، برخی پارامترها مانند بارش سالانه همراه با عوامل دیگر تحت سناریوهای مختلف ارائه شده است. در نهایت برای حل مدل پیشنهادی از برنامه‌ریزی آرمانی^۱ توسعه‌یافته و برنامه‌ریزی

² Stochastic programming

³ Pareto based multi objective algorithm

⁴ Integrated food distribution network

⁵ Geographic Information System

¹ Goal programming

در عین حال مشکلات انتخاب تأمین کننده، سفارش، ذخیره سازی، حمل و نقل و توزیع را بررسی می کند. علاوه بر این مدل پیشنهادی به عدم قطعیت های مرتبط با مقدار عرضه و تقاضای داخلی از طریق یک رویکرد مبتنی بر سناریوی تصادفی^۲ می پردازد. در تحقیق دیگری رضا بابا زاده و میثم شمسی [۲۸] یک مدل ریاضی فازی را برای بهینه سازی زنجیره تأمین گندم توسعه داده اند. مدل پیشنهادی برای یک افق برنامه ریزی ۱۰ ساله با فرضیات دنیای واقعی تحت عدم قطعیت توسعه داده شده است. با استفاده از مدل پیشنهادی، تصمیمات بهینه در مورد سطح زیر کشت گندم در استان های مختلف، ظرفیت سیلوه ها، میزان واردات، مبادله و صادرات گندم، حالت حمل و نقل و میزان ذخیره گندم در دوره های مختلف اتخاذ می شود. دو تابع هدف شامل اهداف اقتصادی و زیست محیطی توسط مدل پیشنهادی بهینه سازی شده اند. مدل پیشنهادی تحت شرایط عدم قطعیت مورد بررسی قرار گرفته و رویکرد برنامه ریزی احتمالی برای مقابله با عدم قطعیت پارامترها مورد استفاده قرار گرفته است. در نهایت مدل ارائه شده از طریق بررسی یک مطالعه موردی واقعی در ایران اعتبار سنجی شده است. نتایج به دست آمده کارایی مدل را برای اتخاذ تصمیمات استراتژیک و تاکتیکی بهینه در زنجیره تأمین گندم نشان می دهد. همچنین ترسنا و همکاران [۲۹] یک مدل برنامه ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط فازی را برای بهینه سازی چندهدفه از زنجیره تأمین آرد با در نظر گرفتن جایگزینی مواد خام که در آن ظرفیت تأمین کننده و تقاضای محصول در شرایط عدم قطعیت قرار دارد توسعه دادند. توابع هدف این مدل شامل به حداقل رساندن هزینه کل و به حداکثر رساندن کیفیت محصول، قابلیت اطمینان و استفاده از آرد محلی است. در نهایت از روش الگوریتم ژنتیک دسته بندی غیر غالب^۳ (NSGA-II) برای یافتن بهترین جواب استفاده شد. در چند دهه گذشته در برخی مناطق جهان تولید غلات غذایی به طور فزاینده ای افزایش داشته است. این در حالی است که ظرفیت ذخیره سازی به طور متناسب افزایش نیافته است. از این جهت دولت ها برای رفع این شکاف بر روی احداث سیلوه های گندم تمرکز کرده اند. در همین راستا موگاله و همکاران [۳۰] یک مدل ریاضی یکپارچه، چندمنظوره، چندوجهی و چنددوره ای برای مسئله تخصیص سیلوه های گندم برای پشتیبانی از فرآیند تصمیم گیری دولت ها را مورد بررسی قرار داده اند. در این مدل دو هدف متضاد یعنی حداقل سازی هزینه کل شبکه زنجیره تأمین و زمان انتظار کل (حمل و نقل و زمان توقف) به طور همزمان با استفاده از دو الگوریتم چندمنظوره مبتنی بر پارتو با پارامترهای کالیبره شده بهینه سازی شده اند.

فسادپذیر، مدیریت زنجیره تأمین محصولات فاسدشدنی^۱ توجه بسیاری از محققان را جلب کرده است. از این جهت ایوا میدوت و همکاران [۲۳] در مقاله ای به ارائه یک زنجیره تأمین فاسدشدنی چنددوره ای و چندرده ای می پردازند. این مطالعه شکل جدیدی از مکان یابی-مسیریابی را در یک شبکه زنجیره تأمین برای محصولات فاسدشدنی، با در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی، هزینه، زمان خرید و رضایت مشتری ارائه کرد، به طوری که هزینه های کل، زمان تحویل و انتشار آلاینده ها در شبکه به حداقل رسید در حالی که رضایت مشتری حداکثر شد. در الگوی غذایی روزانه، غلات به عنوان غذای پایه شناخته می شوند و در این میان گندم به دلیل خواص ویژه و قابلیت تبدیل شدن به نان به عنوان کالای اساسی و ضروری از اهمیت بسزایی برخوردار است. به همین علت بررسی و مدیریت صحیح مراحل مختلف آن از تولید تا توزیع می تواند تا حد زیادی کشورهای جهان را در جهت دستیابی به توزیع بهینه غذا و برقراری امنیت غذایی یاری کند [۲۴]. به همین منظور فائزه متولی طاهر و همکاران [۲۵] یک مدل ریاضی دوهدفه به منظور کمیته سازی هزینه های شبکه زنجیره تأمین گندم و همچنین کمیته سازی مصرف آب در طول روند تولید این محصول ارائه کردند و سپس این مدل دوهدفه با استفاده از روش برنامه ریزی آرمانی به یک مسئله تکهدفه تبدیل شد و در نهایت برای ارزیابی مدل پیشنهادی یک مثال عددی ارائه شد و نتایج تحلیل حساسیت گزارش گردید. در تحقیق دیگری شیوا زکایی و همکاران [۲۶] یک مدل بهینه سازی قوی برای طراحی زنجیره تأمین نان با وجود عدم قطعیت در تقاضا و ظرفیت عرضه ارائه کردند. در این تحقیق یک مدل پایه ارائه شد که هدف آن تعیین تصمیمات استراتژیک مکان و تخصیص تاکتیکی برای یک زنجیره تأمین چهار لایه قطعی است. سپس این مدل برای ترکیب عدم قطعیت در پارامترهای ورودی کلیدی با استفاده از یک رویکرد بهینه سازی قوی توسعه داده می شود که می تواند بر محدودیت های روش های راه حل مبتنی بر سناریو در یک روش قابل پیگیری غلبه کند. در نهایت نتایج عددی به دست آمده از اجرای مدل و آزمایش ها و تحلیل حساسیت به بینش های مدیریتی مهم و مفاهیم عملی می رسند. زنجیره های تأمین مواد غذایی کشاورزی در سال های اخیر به دلایل مختلف از جمله امنیت غذایی و مسائل مربوط به سلامت مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. در این میان با توجه به اهمیت گندم در سبد غذایی خانوار فهیمه پورمحمدی و همکاران [۲۷] یک مدل ریاضی خطی عدد صحیح مختلط را برای طراحی مجدد و برنامه ریزی زنجیره تأمین گندم ارائه کردند. مدل پیشنهادی مکان و ظرفیت تأسیسات ذخیره سازی جدید را تعیین می کند و

^۲ Scenario Based Stochastic Programming

^۳ Genetic Algorithm of Non Dominant Sorting

^۱ Perishable Product Supply Chain

اهمیت بسزایی پیدا کرده است، استواری جواب حاصله هم از حیث استواری بهینگی و هم استواری شدنی بودن، امری ضروری می‌نماید. از این جهت در این مقاله با بهره‌گیری از هر دو روش فازی و بهینه‌سازی استوار و ترکیب مزایای آن دو با هم از روش ترکیبی برنامه‌ریزی امکانی - استوار بهره.

لازم به توضیح است، هنگامی که برای مسئله‌ای داده‌های تاریخی وجود ندارد و یا توزیع احتمالی شناخته شده‌ای نمی‌توان برای داده‌ها برازش کرد، تصمیم‌گیرنده باید برای مجموعه‌ای از پارامترهای نامشخص به نظرات ذهنی/قضاوتی خبره‌ها تکیه کند. برنامه‌ریزی فازی روش بسیار مناسبی برای مقابله با چنین نوع از عدم قطعیت است. از سوی دیگر، در این تحقیق تمرکز بر غلات و محصولات غذایی است و از آنجایی که امنیت غذایی در دهه اخیر

جدول (۱). جدول مرور ادبیات

مقاله	محصول	تابع هدف			عدم قطعیت		
		اقتصادی	زیست‌محیطی	اجتماعی	تصادفی	فازی	امکانی
محمد و وانگ [۸]	گوشت	✓	✓			✓	
رحمانی و همکاران [۹]	مواد غذایی		✓				
کاظمی و همکاران [۱۸]	برنج	✓	✓		✓		
موگاله و همکاران [۲۰]	غلات	✓	✓				
ولیدی و همکاران [۲۱]	لبنیات	✓	✓				
ایوا مدوت و همکاران [۲۳]	محصولات فاسدشدنی		✓	✓			
حسینی مطلق و همکاران [۲۴]	گندم		✓			✓	
متولی طاهر و همکاران [۲۵]	گندم	✓	✓				
پورمحمدی و همکاران [۲۷]	گندم		✓		✓		
بابا زاده و شمسی [۲۸]	گندم	✓	✓			✓	
تریسنا و همکاران [۲۹]	آرد	✓	✓	✓			
موگاله و همکاران [۳۰]	غلات	✓	✓				
تحقیق حاضر	غلات	✓	✓	✓		✓	✓

تأمین گندم، برای رفع این معضل انبارهایی را با ظرفیت‌های مختلف در چندین ایالت در مناطق جغرافیایی پراکنده ایجاد می‌کنند تا شکاف ذخیره‌سازی موجود را پر کنند [۱۸]. در این مقاله، یک مدل سه‌هدفه توسعه داده شده است که اهداف چندگانه از جمله حداقل کردن هزینه‌های شبکه، حداکثر کردن مشاغل ایجاد شده در پی راه‌اندازی این زنجیره تأمین و هم‌چنین حداقل کردن

۳- بیان مسئله و مدل‌سازی

۳-۱- تعریف مسئله و بیان مفروضات

به دلیل افزایش مداوم تولید گندم در چند دهه گذشته یکی از مشکلاتی که زنجیره‌های تأمین گندم را دچار چالش کرده است، کمبود ظرفیت ذخیره‌سازی می‌باشد. به همین علت نهادهای اجرایی و متصدیان شبکه‌های زنجیره

$\delta_s, \delta_r, \delta_q$: میران جریمه در صورت پیچیدگی شدن
گره‌های q, r, s

μ_s, μ_q, μ_r : میران جریمه در صورت دایر شدن گره‌های
پیچیده q, r, s

α_{kp}^t : مجموع کامیون‌های نوع k که در طی دوره زمانی t در
مرکز تولید p وجود دارند.

α_{kr}^t : مجموع کامیون‌های نوع k که در طی دوره زمانی t در
انبار ایالتی r وجود دارند.

α_{lq}^t : مجموع کامیون‌های نوع l که در طی دوره زمانی t در
انبار مرکزی q وجود دارند.

α_{ms}^t : مجموع کامیون‌های نوع m که در طی دوره زمانی t
در انبار سطح منطقه‌ای s وجود دارند.

job_{pq}^k : مشاغل ایجاد شده در اثر حمل یک تن غلات غذایی

توسط کامیون نوع k از مرکز تولید p به انبار مرکزی q

job_{rs}^k : مشاغل ایجاد شده در اثر حمل یک تن غلات غذایی

توسط کامیون نوع k از انبار ایالتی r به انبار منطقه‌ای s

job_{sf}^m : مشاغل ایجاد شده در اثر حمل یک تن غلات غذایی

توسط کامیون نوع m از انبار منطقه‌ای s به فروشگاه f

job_{qr}^l : مشاغل ایجاد شده در اثر حمل یک تن غلات غذایی

توسط کامیون نوع l از انبار مرکزی q به انبار ایالتی r

g_{pq} : فاصله بین مرکز تولید p و انبار مرکزی q

g_{qr} : فاصله بین انبار مرکزی q و انبار ایالتی r

g_{rs} : فاصله بین انبار ایالتی r و انبار سطح منطقه‌ای s

g_{sf} : فاصله بین انبار سطح منطقه‌ای s و فروشگاه f

d_f^t : تقاضای فروشگاه f در طی دوره زمانی t

A_p^t : مقدار غلات تولیدشده در مرکز تولید p در طی دوره

زمانی t

ξ_{qr} : جریمه در صورت وجود جریان بین گره q و r

ξ_{rs} : جریمه در صورت وجود جریان بین گره r و s

w : یک عدد به اندازه کافی بزرگ

eps : یک عدد خیلی کوچک

o : عددی که اگر مجموع ورودی و خروجی به هر گره بیشتر
از آن باشد، آن گره پیچیده خواهد بود

v : هزینه متغیر حمل و نقل در هر کیلومتر توسط جاده

u : هزینه متغیر حمل و نقل در هر کیلومتر توسط ریل راه آهن

متغیرهای تصمیم باینری و عدد صحیح

X_q, Y_r, Z_s : اگر انبارهای مرکزی q ، ایالتی r و سطح

منطقه‌ای s افتتاح شوند ۱، در غیر این صورت ۰

جریمه‌های مربوط به مباحث تاب‌آوری در انبارها به‌عنوان
یک گره را دنبال می‌کند. مفروضات مدل عبارت‌اند از:

- تدارکات، تقاضا و ظرفیت ذخیره‌سازی انبارها مشخص و قطعی است.
- وسایل نقلیه حمل گندم، در صورت تکمیل نشدن ظرفیتشان حرکت نخواهند کرد.
- کمبود مجاز نیست.
- مکان انبارها از قبل تعیین شده و مشخص است.
- سه وسیله نقلیه ظرفیت‌دار ناهمگون با دسترسی محدود در هر رده و در هر دوره زمانی در دسترس هستند.

۳-۲- فرمول‌بندی مدل

اندیس‌ها

p : اندیس مراکز تولید

q : اندیس انبارهای مرکزی بالقوه

r : اندیس انبارهای ایالتی بالقوه

s : اندیس انبارهای سطح منطقه‌ای بالقوه

f : اندیس فروشگاه‌های دارای قیمت منصفانه

k : اندیس کامیون‌های موجود در مراکز تولید و انبارهای ایالتی

l : اندیس کامیون‌های موجود در انبارهای مرکزی

m : اندیس کامیون‌های موجود در انبارهای سطح منطقه‌ای

t : اندیس دوره زمانی

پارامترها

fc_s, fc_r, fc_q : هزینه‌های ثابت احداث انبارهای مرکزی q

انبارهای ایالتی r و انبار سطح منطقه‌ای s

ic_s, ic_r, ic_q : هزینه نگهداری هر واحد موجودی در

انبارهای مرکزی q ، انبارهای ایالتی r و انبارهای سطح

منطقه‌ای s

hc_s, hc_r, hc_q : هزینه رسیدگی به یک تن غلات در

انبارهای مرکزی q ، انبارهای ایالتی r و انبارهای سطح

منطقه‌ای s

job_s, job_r, job_q : مشاغل ایجاد شده در اثر راه‌اندازی

انبارهای مرکزی q ، انبارهای ایالتی r و انبارهای سطح

منطقه‌ای s

b_s^t, b_r^t, b_q^t : حداکثر ظرفیت ذخیره‌سازی انبارهای مرکزی

q ، انبارهای ایالتی r و انبارهای سطح منطقه‌ای s

e_m, e_l, e_k : هزینه ثابت به‌کارگیری کامیون‌های نوع l, k و

m

$\Omega_m, \Omega_l, \Omega_k$: ظرفیت باربری کامیون‌های نوع l, k و m

$$\sum_{t,m,s,f} e_m N_{sf}^{mt} + \sum_{t,p,q} v g_{pq} E_{pq}^t + \sum_{t,q,r} u g_{qr} G_{qr}^t + \sum_{t,r,s} v g_{rs} U_{rs}^t + \sum_{t,s,f} v g_{sf} V_{sf}^t + \sum_{t,q} I_q^t IC_q + \sum_{t,r} J_r^t IC_r + \sum_{t,s} B_s^t IC_s + \sum_t \left[\sum_{p,q} E_{pq}^t + \sum_{q,r} G_{qr}^t \right] hc_q + \sum_t \left[\sum_{q,r} G_{qr}^t + \sum_{q,r} U_{rs}^t \right] hc_r + \sum_t \left[\sum_{r,s} U_{rs}^t + \sum_{q,r} V_{sf}^t \right] hc_s$$

$$Max\ obj_2 = \sum_q job_q x_q + \sum_r job_r y_r + \sum_s job_s z_s \quad (2)$$

$$\sum_s job_s z_s + \sum_{t,k,p,q} job_{pq}^k N_{pq}^{kt} + \sum_{t,l,q,r} job_{qr}^l N_{qr}^{lt} + \sum_{t,k,r,s} job_{rs}^k N_{rs}^{kt} + \sum_{t,m,s,f} job_{sf}^m N_{sf}^{mt}$$

$$Min\ obj_3 = \sum_q \delta_q x'_q + \sum_r \delta_r y'_r + \sum_s \delta_s z'_s + \quad (3)$$

$$\sum_q \delta_q x'_q + \sum_r \delta_r y'_r + \sum_s \delta_s z'_s + \sum_q \mu_q x_q + \sum_r \mu_r y_r + \sum_s \mu_s z_s$$

محدودیت شماره ۴ بیان می کند که میزان غلات فرستاده شده از هر مرکز تولیدی به انبارهای مرکزی باید کمتر یا مساوی ظرفیت مرکز تولید باشد. معادلات ۵-۱۰ به ارسال غلات به گره های مختلف در صورت دایر شدن آن گره اشاره دارد. معادلات ۱۱-۱۳ بیان می کنند که خروجی از هر انبار در هر دوره باید کمتر از میزان موجودی انبار در انتهای همان دوره باشد. معادله ۱۴ معادله مربوط به تقاضای مشتریان است. معادلات ۱۵-۱۷ مربوط به ظرفیت ذخیره سازی انبارها و معادلات ۱۸-۲۰ معادلات تعادلی مربوط به موجودی انتهای دوره در انبارهاست.

$$\sum_q E_{pq}^t \leq A_p^t \quad \forall p, \forall t \quad (4)$$

$$E_{pq}^t \leq Wx_q \quad \forall p, \forall q, \forall t \quad (5)$$

$$V_{sf}^t \leq Wz_s \quad \forall s, \forall f, \forall t \quad (6)$$

$$G_{qr}^t \leq Wxy_{qr} \quad \forall q, \forall r, \forall t \quad (7)$$

$$U_{rs}^t \leq Wyz_{rs} \quad \forall r, \forall s, \forall t \quad (8)$$

x'_q, y'_r, z'_s : اگر گره های مربوط به انبار مرکزی q ، ایالتی r و سطح منطقه ای s پیچیده باشند ۱، در غیر این صورت ۰.
 i'_s, j'_r, B_s^t : مقدار غلات موجود در انبارهای مرکزی q ، ایالتی r و سطح منطقه ای s در انتهای دوره t
 xy_{qr} : حاصل ضرب متغیرهای باینری افتتاح شدن یا نشدن انبارهای مرکزی q و ایالتی r
 yz_{rs} : حاصل ضرب متغیرهای باینری افتتاح شدن یا نشدن انبارهای ایالتی r و سطح منطقه ای s
 xy''_{qr} : اگر بین گره q و r جریان وجود داشته باشد ۱، در غیر این صورت ۰.
 yz''_{rs} : اگر بین گره r و s جریان وجود داشته باشد ۱، در غیر این صورت ۰.

E_{pq}^t : مقدار غلات حمل شده از مرکز تولید p به انبار مرکزی q در طی دوره زمانی t

G_{qr}^t : مقدار غلات حمل شده از انبار مرکزی q به انبار ایالتی r در طی دوره زمانی t

V_{sf}^t : مقدار غلات حمل شده از انبار سطح منطقه ای s به فروشگاه f در طی دوره زمانی t

U_{rs}^t : مقدار غلات حمل شده از انبار ایالتی r به انبار سطح منطقه ای s در طی دوره زمانی t

N_{pq}^{kt} : تعداد کامیون نوع k که در طی دوره زمانی t از مرکز تولید p به انبار مرکزی q رفته اند

N_{qr}^{lt} : تعداد کامیون نوع l که در طی دوره زمانی t از انبار مرکزی q به انبار ایالتی r رفته اند

N_{rs}^{kt} : تعداد کامیون نوع k که در طی دوره زمانی t از انبار ایالتی r به انبار سطح منطقه ای s رفته اند

N_{sf}^{mt} : تعداد کامیون نوع m که در طی دوره زمانی t از انبار سطح منطقه ای s به فروشگاه f رفته اند

مسئله ی مورد نظر دارای سه تابع هدف می باشد که در معادلات ۱-۳ مشخص شده اند. معادله شماره ۱ تابع هدف اول یعنی کمینه کردن هزینه ها، معادله شماره ۲ تابع هدف دوم یعنی بیشینه سازی مشاغل ایجاد شده و معادله شماره ۳ تابع هدف سوم که مربوط به بحث تاب آوری است را نشان می دهد. در تابع هدف شماره سه به دنبال کمینه کردن جریمه دایر شدن هر گره پیچیده و وجود جریان مابین دو گره هستیم.

$$Min\ obj_1 = \sum_q fc_q x_q + \sum_r fc_r y_r + \sum_s fc_s z_s \quad (1)$$

$$\sum_{t,k,p,q} e_k N_{pq}^{kt} + \sum_{t,l,q,r} e_l N_{qr}^{lt} + \sum_{t,k,r,s} e_k N_{rs}^{kt} +$$

$$V_{sf}^t \leq \sum_m N_{sf}^{mt} \Omega_m \quad \forall s, \forall f, \forall t \quad (24)$$

$$\sum_q N_{pq}^{kt} \leq \alpha_{kp}^t \quad \forall p, \forall k, \forall t \quad (25)$$

$$\sum_r N_{qr}^{lt} \leq \alpha_{lq}^t \quad \forall q, \forall l, \forall t \quad (26)$$

$$\sum_s N_{rs}^{kt} \leq \alpha_{kr}^t \quad \forall k, \forall r, \forall t \quad (27)$$

$$\sum_f N_{sf}^{mt} \leq \alpha_{ms}^t \quad \forall m, \forall s, \forall t \quad (28)$$

$$\sum_{t,l} N_{qr}^{lt} \leq Wxy_{qr}'' \quad \forall q, \forall r \quad (29)$$

$$\sum_{t,k} N_{rs}^{kt} \leq Wyz_{rs}'' \quad \forall r, \forall s \quad (30)$$

$$\sum_{t,k,p} N_{pq}^{kt} + \sum_{t,l,r} N_{qr}^{lt} \leq (x_q' W) + O \quad \forall q \quad (31)$$

$$\sum_{t,k,p} N_{pq}^{kt} + \sum_{t,l,r} N_{qr}^{lt} \geq (O - (1 - x_q') W) + eps \quad \forall q \quad (32)$$

$$\sum_{t,l,q} N_{qr}^{lt} + \sum_{t,k,s} N_{rs}^{kt} \leq (y_r' W) + O \quad \forall r \quad (33)$$

$$\sum_{t,l,q} N_{qr}^{lt} + \sum_{t,k,s} N_{rs}^{kt} \geq (O - (1 - y_r') W) + eps \quad \forall r \quad (34)$$

$$\sum_{t,r,k} N_{rs}^{kt} + \sum_{t,m,f} N_{sf}^{mt} \leq (z_s' W) + O \quad \forall s \quad (35)$$

$$\sum_{t,r,k} N_{rs}^{kt} + \sum_{t,m,f} N_{sf}^{mt} \geq (O - (1 - z_s') W) + eps \quad \forall s \quad (36)$$

$$E_{pq}^t, G_{qr}^t, U_{rs}^t, V_{sf}^t, I_q^t, J_r^t, B_s^t \geq 0 \quad (37)$$

$$N_{pq}^{kt}, N_{qr}^{lt}, N_{rs}^{kt}, N_{sf}^{mt} \in Z^+ \quad (38)$$

۴- رویکرد برنامه‌ریزی امکانی استوار پایه

همان‌طور که در قسمت چکیده این مقاله اشاره کردیم، یکی از مواردی که امروزه حتماً باید در زنجیره تأمین‌های مختلف از جمله زنجیره تأمین غلات به آن توجه شود، در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود و ارائه رویکرد مناسبی برای مقابله با این عدم قطعیت‌ها جهت تطابق با دنیای واقعی و همچنین کاربردی بودن شبکه زنجیره تأمین طراحی شده می‌باشد. به همین جهت در این مقاله از رویکرد برنامه‌ریزی امکانی استوار پایه^۱ برای مقابله با تقاضای غیرقطعی مشتریان استفاده شده است. در این روش با

$$x_q + y_r - 1 = 2xy_{qr} \quad \forall q, \forall r \quad (9)$$

$$y_r + z_s - 1 = 2yz_{rs} \quad \forall r, \forall s \quad (10)$$

$$\sum_r G_{qr}^t \leq I_q^t \quad \forall q, \forall t \quad (11)$$

$$\sum_s U_{rs}^t \leq J_r^t \quad \forall r, \forall t \quad (12)$$

$$\sum_f V_{sf}^t \leq B_s^t \quad \forall s, \forall t \quad (13)$$

$$\sum_s V_{sf}^t \geq d_f^t \quad \forall f, \forall t \quad (14)$$

$$I_q^{(t-1)} + \sum_p E_{pq}^t \leq b_q^t \quad \forall q, \forall t \quad (15)$$

$$J_r^{(t-1)} + \sum_q G_{qr}^t \leq b_r^t \quad \forall r, \forall t \quad (16)$$

$$B_s^{(t-1)} + \sum_r U_{rs}^t \leq b_s^t \quad \forall s, \forall t \quad (17)$$

$$I_q^{(t-1)} + \sum_p E_{pq}^t \leq b_q^t - \sum_r G_{qr}^t = I_q^t \quad \forall q, \forall t \quad (18)$$

$$J_r^{(t-1)} + \sum_q G_{qr}^t \leq b_r^t - \sum_s U_{rs}^t = J_r^t \quad \forall r, \forall t \quad (19)$$

$$B_s^{(t-1)} + \sum_r U_{rs}^t \leq b_s^t - \sum_f V_{sf}^t = B_s^t \quad \forall s, \forall t \quad (20)$$

$$E_{pq}^t \leq \sum_k N_{pq}^{kt} \Omega_k \quad \forall p, \forall q, \forall t \quad (21)$$

$$G_{qr}^t \leq \sum_l N_{qr}^{lt} \Omega_l \quad \forall q, \forall r, \forall t \quad (22)$$

$$U_{rs}^t \leq \sum_k N_{rs}^{kt} \Omega_k \quad \forall r, \forall s, \forall t \quad (23)$$

محدودیت ۲۱-۲۴ به ظرفیت بارگیری هر کامیون و محدودیت ۲۵-۲۸ به تعداد کامیون در دسترس در هر مرکز اشاره دارد. محدودیت‌های ۲۹ و ۳۰ به وجود جریان بین دو گره پیچیده اشاره می‌کنند. معادلات ۳۱-۳۶ اشاره به این دارند که اگر میزان ورودی و خروجی به یک گره بیشتر از یک مقدار از پیش تعیین شده باشد، آن گره را پیچیده می‌نامیم. معادلات ۳۷ و ۳۸ نیز به تشریح نوع متغیرهای تصمیم استفاده شده در مدل ریاضی می‌پردازند.

^۱ Basic possibilistic chance constrained programming (BPCCP)

طبق فرمول بالا، در مسئله‌ی موردنظر تابع هدف اول به عنوان تابع اصلی نوشته می‌شود و دو تابع هدف دیگر در محدودیت آورده می‌شوند، که پس از حل اولیه در نرم افزار گمز نقاط PIS^+ و NIS^+ برای آن‌ها مشخص می‌گردد و در نهایت با ۵ نقطه شکست گام پیشروی تعیین می‌شود. جدول شماره (۲) نمایانگر مراحل حل مدل با روش محدودیت اِپسیلون بهبودیافته می‌باشد.

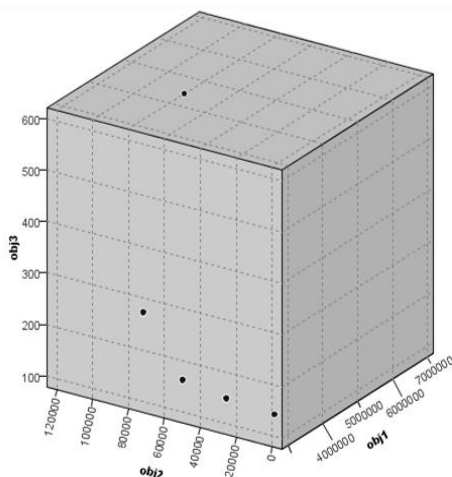
جدول (۲). مراحل انجام روش اِپسیلون بهبودیافته

ردیف	بهترین نقطه	بدترین نقطه	گام پیشروی
تابع هدف دوم	۱۱۷۹۹۹	۳۱۳۷	۲۸۷۱۵/۵
تابع هدف سوم	۱۲۹	۵۴۴	۱۰۳/۷۵

در جدول شماره (۳) جواب‌های کارای حاصل از حل چندهدفه نمایش داده شده‌اند. همچنین در شکل شماره (۳) مرز پارتو مربوط به هر سه تابع هدف مشخص گردیده است.

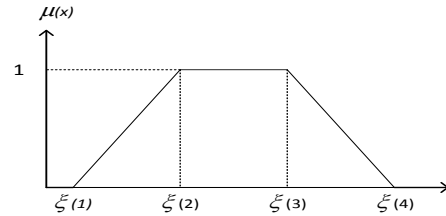
جدول (۳). جواب‌های کارا حاصل از حل مدل

ردیف	تابع اول	تابع دوم	تابع سوم
۱	۳,۰۴۹,۴۵۹/۲۷۵	۳,۱۸۳	۱۲۹
۲	۳,۱۴۴,۷۰۳/۵۲۵	۳۱,۸۵۶	۱۲۹
۳	۳,۳۶۷,۴۰۱/۲۷۵	۶۰,۵۶۸	۱۲۹
۴	۳,۷۱۸,۷۰۸/۷۷۵	۸۹,۲۸۴	۲۱۹
۵	۶,۳۶۹,۵۳۹/۷۷۵	۱۱۷,۹۹۹	۵۴۴



شکل (۳). مرز پارتو حاصل از حل مدل

استفاده از شاخص اندازه ضرورت^۱ به دنبال یافتن معادل قطعی برای تقاضاهای فازی مشتریان هستیم. فرمول روش برنامه ریزی امکانی استوار پایه تحت شاخص اندازه ضرورت نیز در ادامه و در مجموعه معادلات ۳۹ و ۴۰ مشخص گردیده است [۳۱].



شکل (۲). توزیع امکانی دوزنقه‌ای پارامتر فازی ξ

$$\min [E_z] = E [f^{\sim}]y + E [\bar{c}]x \quad (39)$$

$$s.t : \begin{aligned} Nec \{Ax \geq \bar{d}\} &\geq \alpha \\ Bx &= 0 \\ Nec \{Sx \leq \bar{d}\} &\geq \beta \\ Tx &\leq 1 \end{aligned}$$

$$y \in \{0, 1\}, x \geq 0$$

$$\min [E_z] = \left(\frac{f_{(1)} + f_{(2)}}{2} \right) y + \left(\frac{c_{(1)} + c_{(2)}}{2} \right) x$$

$$s.t : \begin{aligned} Ax &\geq (1 - \alpha)d_{(3)} + \alpha d_{(4)} \\ Bx &= 0 \\ Sx &\leq [(1 - \beta)N_{(2)} + \beta N_{(1)}]y \\ Tx &\leq 1 \\ y &\in \{0, 1\}, x \geq 0 \end{aligned} \quad (40)$$

۵- نتایج حاصل از حل مدل

در ابتدا لازم است اشاره شود که بخش زیادی از داده‌های مقاله از مقاله‌ی موگاله و همکاران [۱۸] به دست آمده است و بخشی از داده‌ها که مربوط به گره‌های تاب آور می‌باشد توسط نویسندگان توسعه داده شده است. در این مرحله پس از اینکه مدل موردنظر را با رویکرد عنوان شده در بخش ۴ تحت عدم قطعیت تقاضا فرموله کردیم، با استفاده از روش حل چندهدفه محدودیت اِپسیلون بهبودیافته^۲ [۳۲] در نرم افزار گمز جواب‌های بهینه را به دست می‌آوریم:

$$\max (f_1(x) + eps \times (s_2/r_2 + 10^{-1} \times s_3/r_3 + \dots + 10^{-(p-2)} \times s_p/r_p)) \quad (41)$$

$$s.t : \begin{aligned} \max f_2(x) - s_2 &= e_2 \\ \min f_3(x) + s_3 &= e_3 \\ \dots \\ \min f_p(x) + s_p &= e_p \end{aligned}$$

³ Positive Ideal Solution

⁴ Nadir/Negative Ideal Solution

¹ Necessity

² Improved augmented epsilon constraint

ماتریس تصمیم، ۴) تعیین ماتریس بی‌مقیاس وزن دار، ۴) یافتن حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل برای هر یک از نقاط موردنظر، ۵) محاسبه فاصله نقاط از آن‌ها و در نهایت ۶) محاسبه شاخص شباهت هر جواب و انتخاب بهترین جواب. برای به دست آوردن اطلاعات بیشتر در مورد روش تاپسیس به مرجع [۳۳] مراجعه گردد. در مسئله این پژوهش، تمامی معیارها کمی می‌باشد از این جهت مرحله کمی نمودن معیارهای کیفی را نخواهیم داشت. بنابراین به سراغ گام‌های بعد یعنی نرمال‌سازی ماتریس تصمیم می‌رویم. جدول شماره (۴) نشان‌گر ماتریس تصمیم برای مسئله‌ی موردنظر می‌باشد که وزن هر تابع هدف در آن نیز مشخص گردیده است.

جدول (۴). ماتریس تصمیم‌گیری

نوع معیار	هزینه (-)	اشتغال (+)	گره تاب‌آور (-)
وزن معیار	۰/۵	۰/۲۵	۰/۲۵
نقطه اول	۳,۰۴۹,۴۵۹/۲۷۵	۳,۱۸۳	۱۲۹
نقطه دوم	۳,۱۴۴,۷۰۲/۵۲۵	۳,۱۸۵۶	۱۲۹
نقطه سوم	۳,۳۶۷,۴۰۱/۲۷۵	۶۰,۵۶۸	۱۲۹
نقطه چهارم	۳,۷۱۸,۷۰۸/۷۷۵	۸۹,۲۸۴	۲۱۹
نقطه پنجم	۶,۳۶۹,۵۳۹/۷۷۵	۱۱۷,۹۹۹	۵۴۴

در این مرحله پس از تشکیل ماتریس تصمیم با استفاده از فرمول ۴۲، ابتدا به نرمال‌سازی آن با استفاده از روش نرم اقلیدسی می‌پردازیم و سپس مقادیر نرمال را در وزن هر معیار ضرب می‌کنیم که نتایج در جدول شماره (۵) نمایش داده شده است.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (42)$$

جدول (۵). ماتریس تصمیم نرمال × وزن

نوع معیار	هزینه (-)	اشتغال (+)	گره تاب‌آور (-)
وزن معیار	۰/۵	۰/۲۵	۰/۲۵
نقطه اول	۰/۱۷	۰/۰۰۵	۰/۰۵
نقطه دوم	۰/۱۷	۰/۰۵	۰/۰۵
نقطه سوم	۰/۱۸	۰/۰۹	۰/۰۵
نقطه چهارم	۰/۲۰	۰/۱۴	۰/۰۹
نقطه پنجم	۰/۳۵	۰/۱۸	۰/۲۱

پس از این مرحله به دنبال پیدا کردن یک ایده‌آل مثبت و یک ایده‌آل منفی برای هر تابع هدف هستیم. برای معیارهای مثبت، ایده‌آل مثبت بزرگ‌ترین مقدار آن معیار و ایده‌آل منفی کوچک‌ترین مقدار آن معیار است اما برای معیارهای منفی عکس این حالت برقرار می‌باشد.

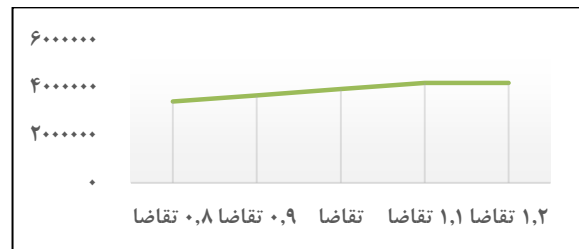
جدول (۶). ایده‌آل مثبت و منفی برای توابع هدف

	هزینه (-)	اشتغال (+)	تشکیل گره (-)
ایده‌آل مثبت (S+)	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۰۵
ایده‌آل منفی (S-)	۰/۳۵	۰/۰۰۵	۰/۲۱

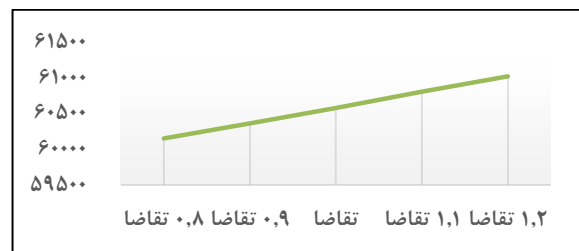
۶- تحلیل حساسیت و پیشنهادات آتی

۶-۱- مشاهدات عددی و تحلیل حساسیت

در این بخش قصد داریم اثر تقاضا را بر روی هر کدام از توابع هدف بررسی کنیم. به این منظور ضرایب مختلفی بین ۰/۸ تا ۱/۲ را در مدل گمز به تقاضای غیرقطعی که از ۲۰۰ تا ۷۰۰ هزار تن متغیر می‌باشد اختصاص می‌دهیم و میزان تغییرات میانگین جواب‌های پارتو را برای هر کدام از توابع هدف به صورت جداگانه بر روی نمودار بررسی خواهیم کرد. اشکال (۴) و (۵) میزان تغییرات میانگین جواب‌های پارتو برای هر کدام از توابع هدف اول و دوم را با توجه به ضرایب مختلفی از تقاضا نشان می‌دهند.



شکل (۴). تغییرات میانگین جواب‌های پارتو برای تابع هدف اول



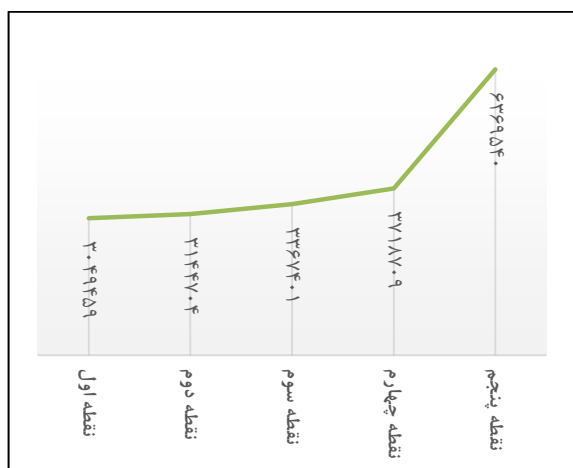
شکل (۵). تغییرات میانگین جواب‌های پارتو برای تابع هدف دوم

به‌خوبی از نمودارهای بالا می‌توان به این نتیجه رسید که با افزایش میزان تقاضا، مقادیر تابع هدف اول و دوم به‌صورت صعودی افزایش پیدا می‌کنند. در واقع به بیان ساده‌تر تقاضا بر روی این دو تابع هدف اثر مستقیم دارد که با توجه به گسترده‌تر شدن زنجیره تأمین موردنظر در اثر افزایش میزان تقاضا، موضوعی قابل پیش‌بینی بود و البته نشان‌گر معتبر بودن مدل توسعه داده شده نیز می‌بایست.

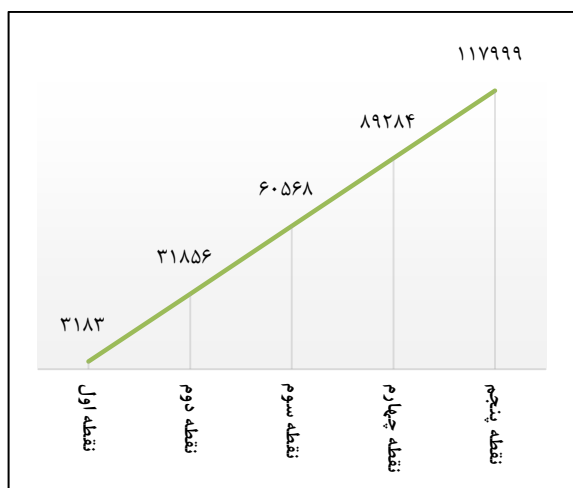
۶-۲- تعیین جواب ایده‌آل با استفاده از تاپسیس

حال با استفاده از روش تاپسیس^۱ بهترین جواب پارتو را از بین ۵ نقطه‌ای که در جدول شماره (۲) مشخص شده است انتخاب کنیم. مراحل این روش به ترتیب عبارت است از (۱) تشکیل ماتریس تصمیم، (۲) در نظر گرفتن وزن مناسب برای هر یک از توابع هدف، (۳) کمی نمودن معیارهای کیفی و نرمال‌سازی

^۱ TOPSIS



شکل ۶. جدول مقایسه هزینه‌ها



شکل ۷. جدول مقایسه ایجاد مشاغل

۳-۶- نتیجه‌گیری و تحلیل‌های مدیریتی

در این بخش به تحلیل جواب‌های کارای به‌دست‌آمده حاصل از حل مدل می‌پردازیم. به‌خوبی قابل‌درک است که توابع هدف در نظر گرفته‌شده از حیث ماهیت در تضاد با هم می‌باشند. به‌عنوان مثال تابع هدف اول به دنبال کمینه‌سازی هزینه کل زنجیره تأمین و در نتیجه به دنبال کاهش تعداد مراکز احداث‌شده از جمله سیلوهای گندم و انبارهای ذخیره‌سازی است، درحالی‌که تابع هدف دوم به‌منظور به حداکثر رساندن مشاغل ایجاد شده در طول زنجیره تأمین موردنظر، به دنبال افزایش تعداد مراکز بازگشایی شده می‌باشد. شواهد این استدلال نیز اطلاعات ارائه شده در جداول شماره (۳) و (۴) می‌باشد. جایی که وقتی از نقطه کارای اول به نقطه کارای دوم گذر می‌کنیم، مقدار تابع هدف دوم از ۳,۱۸۳ به ۳۱,۸۵۶ واحد بهبود می‌یابد درحالی‌که میزان تابع هدف اول از ۳,۰۴۹,۴۵۹ واحد هزینه به ۳,۱۴۴,۷۰۳ واحد هزینه افزایش می‌یابد (بدتر می‌شود).

در فرمول‌های شماره ۴۳ و ۴۴ نحوه محاسبه فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی نمایش داده شده است.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (43)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (44)$$

نتایج به‌دست‌آمده پس از محاسبه فواصل از ایده‌آل مثبت و منفی برای هر ستون از ماتریس نرمال شده وزن‌دار در جدول (۷) نمایش داده شده است.

جدول (۷). فواصل از ایده‌آل مثبت و منفی

نقطه	d_i^-	d_i^+
نقطه اول	۰/۲۴	۰/۱۸
نقطه دوم	۰/۲۵	۰/۱۳
نقطه سوم	۰/۲۵	۰/۰۹
نقطه چهارم	۰/۲۳	۰/۰۶
نقطه پنجم	۰/۱۸	۰/۲۴

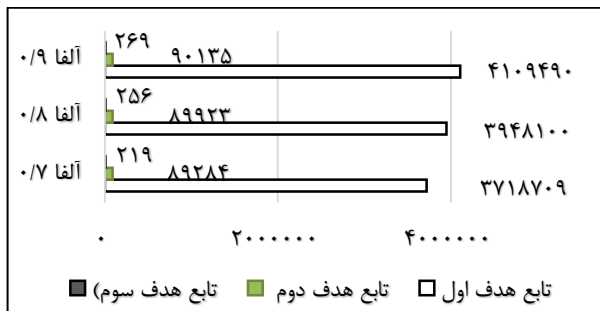
در نهایت با استفاده از معیار شاخص شباهت (فرمول ۴۵) گزینه‌ها را رتبه‌بندی می‌کنیم. همان‌طور که مشخص است از بین ۵ نقطه کارا مشخص شده در جدول شماره (۲)، پس از به‌کارگیری روش تاپسیس، بر اساس نتایج ارائه شده در جدول (۸) که نشان‌دهنده بیشترین نزدیکی به نقطه ایده‌آل مثبت و بیشترین دوری از نقطه ایده‌آل منفی است، نقطه کارای چهارم انتخاب می‌شود.

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (45)$$

جدول (۸). امتیاز نهایی گزینه‌ها (نقاط کارا)

نقطه	C_i
نقطه اول	۰/۵۷۷
نقطه دوم	۰/۶۴۵
نقطه سوم	۰/۷۳۱
نقطه چهارم*	۰/۷۷۰
نقطه پنجم	۰/۴۲۳

هم‌چنین به‌صورت بصری نیز نمودارهای زیر به‌خوبی نشان می‌دهد که نقطه چهارم یکی از بهترین جواب‌ها است، زیرا نه تنها از نظر هزینه اختلاف اندکی با بهینه‌ترین جواب دارد، بلکه از نظر ایجاد اشتغال و ارضای تابع هدف دوم عدد خوبی را به خود اختصاص داده است.



شکل (۸). جدول مقایسه توابع هدف به ازای مقادیر مختلف آلفا

۷- پیشنهادات آتی

در تحقیق حاضر یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط جهت طراحی شبکه توزیع در زنجیره تأمین غلات توسعه داده شده است که اهدافی همچون حداقل کردن هزینه‌ها، حداکثر کردن مشاغل ایجاد شده، حداقل‌سازی جریمه عدم تاب‌آوری در صورت مواجهه با اختلال را دنبال می‌کند. همچنین به ترتیب از روش برنامه‌ریزی امکانی استوار و روش محدودیت افسیلون بهبودیافته برای مواجهه با عدم قطعیت و حل مسئله‌ی چندهدفه استفاده شده است و مطلوب‌ترین نقطه کارا با استفاده از روش تاپسیس از میان ۵ نقطه کارای یافت شده، انتخاب شده است. به‌عنوان توسعه آتی این مقاله، می‌توان به استفاده از دیگر ابزارهای عدم قطعیت مانند روش‌های مبتنی بر سناریو برای مواجهه با انواع اختلال اشاره کرد. همچنین در نظر گرفتن تابع هدف زیست‌محیطی در جهت تحقق هر چه بیشتر مفهوم پایداری نیز می‌تواند از دیگر مسیرهای توسعه‌ی تحقیق حاضر باشد. به‌علاوه در نظر گرفتن مؤلفه‌های فسادپذیری برای طیف خاصی از غلات نیز می‌تواند متضمن استفاده از مدل توسعه داده شده، در مسائل واقعی باشد.

۸- مراجع

- [1] F. Goodarzian, D. Shishebori, H. Nasser, and F. Dadvar, "A bi-objective production-distribution problem in a supply chain network under grey flexible conditions," RAIRO - Oper. Res., vol. 55, pp. S1287-S1316, 2021.
- [2] N. Jawahar and A. N. Balaji, "A genetic algorithm for the two-stage supply chain distribution problem associated with a fixed charge," Eur. J. Oper. Res., vol. 194, no. 2, pp. 496-537, Apr. 2009.
- [3] Mozghan Dehghan KhalilAbad, Masoumeh Aref "Investigating the Impact of Supply Chain Quality Management Practices and Capabilities on Operational and Innovation Performance (A Case Study of Food Industry Companies in Mashhad)," Iranian Journal Of Supply Chain Management, vol. 23, no. 73, pp. 1-12, 2021. (in persian)
- [4] S. Chopra, "Designing the distribution network in a supply chain," 2003.

برای استفاده از روش پایه‌ی امکانی استوار (BPCCP) در این مدل، جهت تقابل با تقاضای غیرقطعی مشتریان عدد α (که در معادلات شماره ۳۹ و ۴۰ آورده شده است) به‌عنوان یک عدد اسکالر در نرم‌افزار گمز معرفی شده است. لازم به ذکر است که مقدار این پارامتر بین عدد نیم تا یک متغیر بوده و هر چه مقدار آن کمتر باشد، مدل رویکرد سهلگیرانه‌تری خواهد داشت و در مقابل، هر چه مقدار این پارامتر به عدد یک نزدیک‌تر باشد، مدل رویکرد سختگیرانه‌تری نسبت به داده‌های غیرقطعی اتخاذ خواهد نمود.

در ادامه، مدل موردنظر مسئله در این تحقیق با مقادیر متفاوت ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ برای پارامتر α حل شده است و نتایج حاصل از حل آن نیز در جدول (۹) و شکل (۸) گزارش شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار آلفا، مقادیر هر سه تابع افزایش یافته است. همچنین تعداد مراکز/تسهیلات بازگشایی شده یا ثابت مانده است و یا در مواردی افزایش پیدا کرده است. حال آنکه به دلیل اعمال رویکرد سخت‌گیرانه‌تر در مقادیر بزرگ‌تر از پارامتر آلفا، تعداد گره‌های پیچیده مدل در مقادیر بزرگ‌تر از این پارامتر، کاهش پیدا کرده است.

همان‌گونه که مشخص است، تحلیل حساسیت‌های ارائه شده نشان‌دهنده درستی و صحت کارکرد مدل توسعه داده شده و ابزار عدم قطعیت بهره برده شده است. که این نیز می‌تواند به اطمینان مدیران و متصدیان زنجیره تأمین در جهت استفاده از این مدل ارائه شده کمک نماید.

جدول (۹). جدول تحلیل حساسیت

توابع هدف و متغیرها تصمیم اصلی	$\alpha=0.9$	$\alpha=0.8$	$\alpha=0.7$
تابع هدف اول (هزینه)	۴,۱۰۹,۴۹۰/۳	۳,۹۴۸,۰۹/۶	۳,۷۱۸,۷۰۸/۸
تابع هدف دوم (اشتغال)	۹۰,۱۳۵	۸۹,۹۲۳	۸۹,۲۸۴
تابع هدف سوم (جریمه تشکیل گره پیچیده)	۲۶۹	۲۵۶	۲۱۹
تعداد انبار مرکزی دایر شده (q)	۳	۳	۳
تعداد انبار ایالتی دایر شده (r)	۴	۴	۴
تعداد انبار منطقه‌ای دایر شده (s)	۵	۵	۴
تعداد انبار پیچیده مرکزی (q*)	۱	۱	۱
تعداد انبار پیچیده ایالتی (r*)	۱	۱	۲
تعداد انبار پیچیده منطقه‌ای (s*)	۱	۲	۲

- [20] D. G. Mogale, N. Cheikhrouhou, and M. K. Tiwari, "Modelling of sustainable food grain supply chain distribution system: a bi-objective approach," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 58, no. 18, pp. 5521–5544, Sep. 2020.
- [21] S. Validi, A. Bhattacharya, and P. J. Byrne, "A case analysis of a sustainable food supply chain distribution system - A multi-objective approach," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 152, pp. 71–87, 2014.
- [22] T. Bosona, I. Nordmark, G. Gebresenbet, and D. Ljungberg, "GIS-Based Analysis of Integrated Food Distribution Network in Local Food Supply Chain," *Int. J. Bus. Manag.*, vol. 8, no. 17, pp. 13–34, 2013.
- [23] I. Meidute-Kavaliauskiene, F. Yıldırım, S. Ghorbani, and R. Činčikaitė, "The Design of a Multi-Period and Multi-Echelon Perishable Goods Supply Network under Uncertainty," *Sustainability*, vol. 14, no. 4, p. 2472, 2022.
- [24] S.-M. Hosseini-Motlagh, M. R. G. Samani, and F. Abbasi Saadi, "Strategic optimization of wheat supply chain network under uncertainty: a real case study," *Oper. Res.*, vol. 21, no. 3, pp. 1487–1527, Sep. 2021.
- [25] F. Motevalli taher, M. Paydar, and S. Emami, "Wheat supply chain network design," *Iranian Journal Of Supply Chain Management*, vol. 21, no. 65, pp. 47–59, 2020. (in persian)
- [26] S. Zokaee, A. Jabbarzadeh, B. Fahimnia, and S. J. Sadjadi, "Robust supply chain network design: an optimization model with real world application," *Ann. Oper. Res.*, vol. 257, no. 1–2, pp. 15–44, 2017.
- [27] F. Pourmohammadi, E. Teimoury, and M. R. Gholamian, "A scenario-based stochastic programming approach for designing and planning wheat supply chain (A case study)," *Decis. Sci. Lett.*, vol. 9, no. 4, pp. 537–546, 2020.
- [28] R. Babazadeh and M. Shamsi, "Green Design of Regional Wheat Supply Chains under Uncertainty."
- [29] T. Trisna, M. Marimin, Y. Arkeman, and T. C. Sunarti, "Fuzzy multi-objective optimization for wheat flour supply chain considering raw material substitution," *Int. J. Ind. Eng. Manag.*, vol. 11, no. 3, pp. 180–191, 2020.
- [30] D. G. Mogale, M. Kumar, S. K. Kumar, and M. K. Tiwari, "Grain silo location-allocation problem with dwell time for optimization of food grain supply chain network," *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 111, no. June 2017, pp. 40–69, 2018.
- [31] M. S. Pishvaei, J. Razmi, and S. A. Torabi, "Robust possibilistic programming for socially responsible supply chain network design: A new approach," *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 206, pp. 1–20, 2012.
- [32] M. Mousazadeh, S. A. Torabi, M. S. Pishvaei, and F. Abolhassani, "Accessible, stable, and equitable health service network redesign: A robust mixed possibilistic-flexible approach," *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 111, no. December 2017, pp. 113–129, 2018.
- [33] L. Ren, Y. Zhang, Y. Wang, and Z. Sun, "Comparative analysis of a novel M-TOPSIS method and topsis," *Appl. Math. Res. eXpress*, vol. 2007, pp. 1–10, 2007.
- [5] A. Amiri, "Designing a distribution network in a supply chain system: Formulation and efficient solution procedure," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 171, no. 2, pp. 567–576, Jun. 2006.
- [6] katie burke, "What's the Difference Between Logistics and Distribution?," *Warehousing & Logistics*, Aug. 2020.
- [7] F. Mohebalizadehgashti, H. Zolfagharinia, and S. H. Amin, "Designing a green meat supply chain network: A multi-objective approach," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 219, no. July 2019, pp. 312–327, 2020.
- [8] A. Mohammed and Q. Wang, "The fuzzy multi-objective distribution planner for a green meat supply chain," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 184, pp. 47–58, Feb. 2017.
- [9] M. Rahmani, Z. Sazvar, and A. Bozorgi amiri, "Presenting a three-objective mathematical model for sustainable planning of perishable agricultural materials supply chain," *Industrial Engineering and Management (Special Sharif for Engineering Sciences)*, vol. 1, no. 35, pp. 28–35, 2018. (in persian)
- [10] V. Borodin, J. Bourtembourg, F. Hnaïen, and N. Labadie, "Handling uncertainty in agricultural supply chain management: A state of the art," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 254, no. 2, pp. 348–359, 2016.
- [11] V. S. Yadav, A. R. Singh, A. Gunasekaran, R. D. Raut, and B. E. Narkhede, "A systematic literature review of the agro-food supply chain: Challenges, network design, and performance measurement perspectives," *Sustain. Prod. Consum.*, vol. 29, pp. 685–704, 2022.
- [12] G. Behzadi, M. J. O'Sullivan, T. L. Olsen, F. Scrimgeour, and A. Zhang, "Robust and resilient strategies for managing supply disruptions in an agribusiness supply chain," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 191, pp. 207–220, 2017.
- [13] P. Ray, "Agricultural Supply Chain Risk Management Under Price and Demand Uncertainty," *Int. J. Syst. Dyn. Appl.*, vol. 10, no. 2, pp. 17–32, 2021.
- [14] S. M. Hosseini-Motlagh, M. R. G. Samani, and F. Abbasi Saadi, "Strategic optimization of wheat supply chain network under uncertainty: a real case study," vol. 21, no. 3. Springer Berlin Heidelberg, 2021.
- [15] O. Ahumada and J. R. Villalobos, "Application of planning models in the agri-food supply chain: A review," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 196, no. 1, pp. 1–20, 2009.
- [16] A. Salehi-Amiri, A. Zahedi, N. Akbapour, and M. Hajiaghahi-Keshteli, "Designing a sustainable closed-loop supply chain network for walnut industry," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 141, p. 110821, May 2021.
- [17] A. Boskabadi, M. Mirmozaffari, R. Yazdani, and A. Farahani, "Design of a Distribution Network in a Multi-product, Multi-period Green Supply Chain System Under Demand Uncertainty," *Sustain. Oper. Comput.*, vol. 3, pp. 226–237, 2022.
- [18] M. J. Kazemi, M. M. Paydar, and A. Sattar Safaei, "Designing a bi-objective rice supply chain considering environmental impacts under uncertainty," *Sci. Iran.*, vol. 0, no. 0, pp. 0–0, 2021.
- [19] M. R. Gholamian and A. H. Taghazadeh, "Integrated network design of wheat supply chain: A real case of Iran," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 140, pp. 139–147, 2017.