نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید
IERPS
ISSN: 2345-2269
نشـریه پـژوهـش‌های مهنـدسـی صنـــایع در سیستـــم‌هــای تولیـــد
سال دوازدهم، شماره بیست و پنجم، پاییز و زمستان ۱۴۰۳، صفحـــه ۴۷-۶۱
www.ier.basu.ac.ir
DOI: https://doi.org/10.22084/ier.2025.30115.2185

تصمیم‌گیری انتخاب انبار متقاطع پایدار با توسعه یک چارچوب جدید مبتنی‌بر یادگیری ماشین و مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی

علی قربانی [۱]، **سید میثم موسوی** [۲*]

۱. دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران
۲. استاد گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
دریافت ۱۴۰۳/۸/۱۷
بازنگری ۱۴۰۳/۹/۲۸
پذیرش ۱۴۰۳/۱۰/۲۲
(مقاله پژوهشی)

کلمات کلیدی:
انبارهای متقاطع
مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی
تصمیم‌گیری چندمعیاره
روش TODIM
روش تقریب منیفولد یکنواخت و طرح‌ریزی

خلاصه

انبارهای متقاطع یک استراتژی لجستیکی برای جمع‌آوری، مرتب کردن و توزیع بهینه محصولات مختلف از تأمین‌کنندگان به مشتریان می‌باشند. شناسایی معیارهای کلیدی در توسعه و انتخاب مکان برای انبارهای متقاطع یکی از بحث‌های مهم در مدیریت شبکه‌های لجستیکی می‌باشد. انبارهای متقاطع با تسهیل جابه‌جایی سریع کالاها از تأمین‌کنندگان به مشتریان، نقش مهمی در زنجیره‌تأمین ایفا می‌کنند. هدف این تحقیق، ارائه یک مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره یکپارچه برای ارزیابی و انتخاب انبار متقاطع می‌باشد. در قالب یک رویکرد یکپارچه از روش‌های کاهش بعد و تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی‌بر مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی استفاده شده است. در این تحقیق برای کاهش بعد ماتریس تصمیم و تعیین وزن معیارها به ارائه یک روش جدید مبتنی‌بر روش تقریب منیفولد یکنواخت و طرح‌ریزی و ضریب همبستگی پرداخته شد. همچنین یک روش TODIM برمبنای فاصله کای‌دو در محیط نوتروسوفیک تک‌ارزشی توسعه یافته شد و برای رتبه‌بندی انبارهای متقاطع استفاده شد. در این تحقیق به شناسایی ۱۸ معیار در ۶ دسته اصلی پرداخته شد که شامل معیارهای پایداری و انرژی در بررسی انبارهای متقاطع نیز می‌باشد. نتایج نشان‌دهنده عملکرد مناسب رویکرد پیشنهادی در انتخاب انبارهای متقاطع با درنظر گرفتن معیارهای کمی و کیفی می‌باشد.

۱. مقدمه

رقابت زیادی در بازار امروز برای ارتقا کسب‌وکارها با تمرکز و سرمایه‌گذاری بیشتر برروی شبکه‌های لجستیک وجود دارد. بنابراین به‌حداقل رساندن هزینه‌ها و افزایش کارایی از اهداف مهم سیستم‌های لجستیکی می‌باشد. انبار متقاطع یک استراتژی لجستیکی است که در آن محصولات تأمین‌کنندگان از کامیون‌های ورودی تخلیه می‌شوند و سپس بلافاصله برروی کامیون‌های خروجی بارگیری می‌شوند، بدون این‌که در انبار ذخیره شوند. این استراتژی نیازبه فضای انبار را کاهش می‌دهد و هزینه‌های نگهداری موجودی را به‌حداقل می‌رساند. بااین‌حال، محصولات در انبارهای متقاطع ذخیره نمی‌شوند، بلکه برای مدت‌زمان بسیار کوتاهی (حداکثر ۲۴ ساعت) برای بسته‌بندی، بارگیری، ترکیب و توزیع نگهداری می‌شوند [۱]. انتخاب انبارهای متقاطع برای تأمین‌کنندگان بسیار مهم می‌باشد زیرا بر درآمد تأمین‌کنندگان و مزیت‌های رقابتی تأثیرگذار خواهند بود [۲]. بنابراین انتخاب محل مناسب برای احداث انبارهای متقاطع موضوع بسیار حیاتی برای تأمین‌کنندگان و توزیع‌کنندگان خواهد بود. بهترین موقعیت

* نویسنده مسئول: سید میثم موسوی
تلفن: ۰۲۱-۵۱۲۱۲۰۹۱؛ پست الکترونیکی: sm.mousavi@shahed.ac.ir

برای احداث انبار متقاطع باید دارای ویژگی‌هایی باشد که بتواند به‌طور کامل مزایای انبار متقاطع را ارائه دهد. درغیر این‌صورت ممکن است اهداف انبار متقاطع که افزایش کارایی و کاهش هزینه‌ها است را برآورده نکند. بسیاری از انبارهای متقاطع بزرگ درعمل از طراحی ضعیف رنج می‌برند که باعث افزایش هزینه‌های نیروی کار در انبار متقاطع می‌شود [۳].

در سال‌های گذشته در مورد احداث مکان بهینه و زمان‌بندی انبارهای متقاطع بحث‌هایی وجود داشته است. موسوی و همکاران [۴] مدلی دومرحله‌ای تحت عدم قطعیت پیشنهاد دادند که برای انتخاب محل انبار متقاطع و همچنین برنامه‌ریزی وسیله نقلیه مورد استفاده قرارگرفت. رجب‌زاده و موسوی [۵] یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط دوهدفه جدید تحت عدم قطعیت برای زمان‌بندی کامیون‌های ورودی و خروجی در یک مرکز انبار متقاطع ارائه دادند. رجب‌زاده و همکاران [۶] یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط با درنظر گرفتن قیمت‌های فروش محصولات در فروشگاه‌های اولیه و ثانویه و هزینه‌های حمل‌ونقل و بازگرداندن اقلام ناخواسته در انبار متقاطع ارائه دادند. عظیمی و همکاران [۷] یک مدل برنامه‌ریزی خطی اعداد صحیح مختلط در توزیع مجدد محصولات فروخته نشده باهدف بیشینه‌سازی سود در یک سیستم انبار متقاطع ارائه دادند. رجب‌زاده و موسوی [۸] یک مدل دوهدفه برنامه‌ریزی خطی اعداد صحیح مختلط برای زمان‌بندی کامیون‌ها ارائه دادند. هدف اول مدل پیشنهادی آن‌ها حداقل‌کردن زمان کل عملیات و هدف دوم مدیریت تجهیزات و نیروی انسانی لازم در ترمینال انبار متقاطع ازطریق حداقل کردن تعداد درهای درگیر در عملیات تخلیه و بارگیری بوده است.

در دنیای واقعی، انتخاب مکان انبار متقاطع یک مدل تصمیم‌گیری برای رهبران و مدیران زنجیره‌تأمین می‌باشد که باید عوامل متعددی را درنظر بگیرند. در فرآیند تصمیم‌گیری، به‌دلیل وجود عوامل مؤثر زیادی که وجود دارد، نمی‌توان بااستفاده از مدل‌های ریاضی تمام جنبه‌های آن را درنظر گرفت. همچنین امکان درنظرگرفتن چندین معیار متضاد و زیرمعیارهای آن‌ها را فراهم می‌کند [۹]. طیف گسترده‌ای از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای کمک به تصمیم‌گیرندگان برای انتخاب مناسب‌ترین مکان برای احداث انبار متقاطع وجود دارد، مانند: فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[۱]، فرآیند شبکه تحلیلی[۲]، اولویت‌بندی براساس شباهت به راه‌حل ایده‌آل[۳] و غیره.

هدف این تحقیق شناسایی معیارها و رتبه‌بندی انبارهای متقاطع بااستفاده از یک رویکرد یکپارچه می‌باشد. این رویکرد روش‌های کاهش بعد و تصمیم‌گیری چندمعیاره را ترکیب می‌کند. روش تقریب منیفولد یکنواخت و طرح‌ریزی[۴] یک تکنیک یادگیری ماشین[۵] است که برای اولین‌بار به کاهش بعد ماتریس تصمیم و شناسایی وزن معیارها بااستفاده از آن می‌پردازیم. در رویکرد جدید مبتنی‌بر این روش برای شناسایی وزن مؤلفه بااستفاده از ضریب همبستگی پیشنهاد می‌دهیم. درنهایت بااستفاده از روش توسعه یافته TODIM[۶] مبتنی‌بر مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی[۷] به رتبه‌بندی انبارهای متقاطع می‌پردازیم. این تحقیق یک رویکرد جامع برای شناسایی و وزن‌دهی به معیارها و انتخاب بهترین انبار متقاطع بین انبارهای متقاطع پیشنهادی ارائه می‌کند.

ساختار مقاله به‌شرح مقابل است: در بخش ۲ به‌دلیل وجود شباهت بین انبارهای متقاطع و مراکز توزیع، به معیارهای کلیدی در انتخاب انبارهای متقاطع و مراکز توزیع می‌پردازیم تا بتوانیم معیارهای جامع برای ارزیابی انبارهای متقاطع را شناسایی کنیم. بخش ۳ روش تحقیق پیشنهادی را مورد بحث قرار می‌دهد. بخش ۴ نیز نتایج روش تحقیق ارائه می‌شود. جمع‌بندی و پیشنهادها برای تحقیقات آتی در بخش ۵ ارائه می‌شود.

۲. مرور در ادبیات

انبارهای متقاطع برای صنایع مختلف ضروری است و شامل جابجایی کالا از تأمین‌کنندگان به مشتریان ازطریق یک انبار مرکزی بدون نیاز به ذخیره‌سازی طولانی‌مدت است. هدف این بررسی ادبیات، ادغام و ترکیب یافته‌های تحقیقاتی مختلف مربوط‌به انتخاب انبار متقاطع است. مطالعات محدودی در مورد انتخاب مکان بهینه انبارهای متقاطع در شبکه های لجستیکی وجود دارد. جایرامان و راس [۱۰] برای کاهش هزینه‌های مربوط به احداث تاسیسات و حمل‌ونقل، مسأله مکان تأسیسات را توسط انبارهای متقاطع مورد بررسی قراردادند. موسوی و وحدانی [۱۱] برای مسأله انتخاب مکان انبارهای متقاطع یک مدل تصمیم‌گیری گروهی سلسله مراتبی فازی شهودی جدید را ارائه دادند. موسوی [۱۲] برای مسأله ارزیابی کاندیداهای محل انبار متقاطع یک روش تصمیم‌گیری سلسله مراتبی فازی جدید با ارائه یک روش مقایسه زوجی فازی مردد با ارزش بازه‌ای گسترده برای محاسبه وزن معیارها ارائه داد. موسوی و همکاران [۱۳] برای انتخاب انبارهای متقاطع برای طراحی شبکه لجستیک یک مدل تصمیم‌گیری گروهی چندمعیاره جدید ارائه دادند. آن‌ها همچنین برای درنظر گرفتن عدم قطعیت، از مجموعه‌های فازی شهودی با ارزش فاصله‌ای استفاده‌کردند. در پژوهش نانگ [۱۴]، برای پشتیبانی از انتخاب مکان مرکز توزیع، از روش‌های فرآیند شبکه تحلیلی و روش اولویت‌بندی براساس شباهت به راه‌حل ایده‌آل برای پرداختن به مسأله احداث مرکز توزیع استفاده شده است. پوشکا و همکاران [۱۵] برای انتخاب مکان بهینه مرکز توزیع، ابتدا بااستفاده از روش FAHP بهبودیافته، وزن معیارهای انتخاب مرکز توزیع را تعیین کرده و سپس با به‌کارگیری روش CRADIS فازی،

1. Analytic Hierarchy Process (AHP)
2. Analytic Network Process (ANP)
3. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)
4. Uniform Manifold Approximation and Projection (UMAP)
5. Machine Learning (ML)
6. An acronym in Portuguese for interactive Multi-Criteria Decision Making
7. Single-Valued Neutrosophic sets (SVNS)

گزینه‌های مختلف را رتبه‌بندی نموده‌اند. آگربی و عابد [۱۶] باهدف انتخاب مکان مناسب برای مرکز توزیع، روشی جدید مبتنی‌بر تصمیم‌گیری چندمعیاره و چند بازیگر در محیط فازی توسعه داده‌اند.

در سالیان گذشته مطالعات متعددی برای رتبه‌بندی و انتخاب محل احداث انبارها بااستفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره انجام شده است. در یکی از تحقیقات از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای تعریف وزن معیارها و از روش شباهت اولویت سفارش به راه‌حل ایده‌آل برای رتبه‌بندی گزینه‌ها در انتخاب انبار زنجیره‌تأمین بشردوستانه استفاده شده است [۱۷]. در تحقیقی دیگر از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی با راه‌حل مصالحه ترکیبی برای انتخاب مکان مرکز توزیع محصولات کشاورزی فاسد شدنی استفاده شده است [۱۸]. کاراشان و کهرمان [۱۹] یک مدل تصمیم‌گیری یکپارچه بااستفاده از روش‌های دیمتل، فرآیند شبکه تحلیلی و روش شباهت اولویت سفارش به راه‌حل ایده‌آل برای انتخاب مکان حمل‌ونقل به‌کارگرفته اند. اخیراً روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره جدیدی نیز برای رتبه‌بندی گزینه‌ها ارائه شدند. استویچ و همکاران [۲۰] از روش جایگزین‌های اندازه‌گیری و رتبه‌بندی براساس راه‌حل سازش برای انتخاب تأمین‌کننده پایدار در صنعت مراقبت‌های بهداشتی توسعه داده‌اند. در تحقیقی دیگر بهشتی‌نیا و همکاران [۲۱] برای ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان در فروشگاه‌های دیجیتال به استفاده از روش جدید TOPKOR پرداخته‌اند.

مشخص کردن اهمیت معیارها در مسأله تصمیم‌گیری انتخاب انبارهای متقاطع، یک بخش اساسی است. به‌طور معمول، در مطالعات تصمیم‌گیری چندمعیاره از رویکردهای وزن‌دهی عینی یا ذهنی برای ارزیابی اهمیت معیارها استفاده می‌شود [۲۲-۲۴]. بااین‌حال، هر روش وزن‌دهی مزایا و معایب خاص خود را دارد. وزن معیارها تأثیر مستقیمی بر نتایج ارزیابی می‌گذارد و سپس به‌طور قابل توجهی بر تصمیمات برای انتخاب انبار متقاطع تأثیر دارد. باتوجه به این موضوع، این مطالعه یک روش وزن ترکیبی جدید را ایجاد می‌کند تا اهمیت هر معیار به‌درستی شناسایی شود. برای این منظور از روش کاهش بعد برای مقابله با ماتریس‌های با ابعاد بالا استفاده می‌شود تا تمام ویژگی‌های معیارها را در خود حفظ کند. همچنین از یک رویکرد یکپارچه مبتنی‌بر همبستگی بین معیارها برای شناسایی وزن معیارها استفاده می‌شود تا بتوان ارزیابی درستی از مؤلفه‌ها داشت. هدف این چارچوب رسیدگی به محدودیت‌های روش‌های سنتی تصمیم‌گیری چندمعیاره است که اغلب با داده‌های پیچیده و با ابعاد بالا مقابله می‌کنند.

اطلاعات پس‌زمینه‌ای که توسط ارتباطات و روابط رقابتی بین گزینه‌های مختلف شکل می‌گیرد، بر نتیجه اندازه‌گیری فاصله تأثیر می‌گذارد [۲۵]. نادیده گرفتن چنین اطلاعاتی ممکن است منجربه تصمیم‌گیری اشتباه در مسائل تصمیم‌گیری عملی شود. اندازه‌گیری فاصله، نقش مهمی در مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی دارد. بنابراین، لازم است اثر رقابت بین گزینه‌ها درنظر گرفته شود و اندازه‌گیری فاصله مناسب‌تری ایجاد شود. ازطرفی، تابه‌حال از معیارهای شباهت و فاصله متعددی برای حل مسائل مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی‌بر مجموعه های نوتروسوفیک تک‌ارزشی استفاده شده است [۲۶-۲۸]. هایپینگ و همکاران [۲۹] برای اولین‌بار معیار اندازه‌گیری فاصله کای‌دو را برای مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی ارائه دادند که معیار مهمی در تئوری آماری است. همچنین آن‌ها مزیت این معیار را در برابر معیارهای دیگر اثبات کردند.

انتخاب و ارزیابی انبارهای متقاطع یک مسأله تصمیم‌گیری جدید است و باتوجه به شرایط بیان عدم قطعیت به روش‌های مواجهه با عدم قطعیت نیاز است. بدین منظور استفاده از مجموعه‌های فازی توسعه‌یافته می‌تواند برای بیان عدم قطعیت در تصمیم‌گیری مفید باشد. استفاده از این مجموعه های فازی مانند مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی می‌تواند در روش‌های تصمیم‌گیری تأثیرگذار باشد و منجربه پوشش مناسب عدم قطعیت در تصمیم‌گیری‌ها شود. ازطرفی توسعه روش‌های تصمیم‌گیری مبتنی‌بر این مجموعه‌های فازی، به بهبود عملکرد این روش‌ها در فرآیند تصمیم‌گیری کمک می‌کند.

از طرفی روش TODIM برای اولین‌بار در سال ۱۹۹۱ معرفی شد [۳۰] و این روش با محاسبه درجه تسلط هر گزینه بر گزینه‌های دیگر تحت هر معیار، گزینه‌ها را رتبه‌بندی می‌کند؛ این روش می‌تواند به‌طور مؤثر ویژگی‌های رفتار روانشناختی تصمیم‌گیرندگان را در تصمیم‌گیری لحاظ کند. به‌طور همزمان، گسترش روش TODIM در محیط‌های فازی مختلف، منجربه توسعه روش TODIM می‌شود [۳۱,۳۲]. ازاین‌رو استفاده از این روش به‌دلیل درنظرگرفتن تأثیرات از تصمیم‌گیرندگان و درنظرگرفتن مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی می‌تواند برای حل مسأله انتخاب انبارهای متقاطع تحت عدم قطعیت‌های موجود مفید باشد.

در تحقیقات گذشته از معیارهای مختلف برای ارزیابی انبارها در شبکه‌های لجستیکی استفاده شده است. در جدول (۱) به بررسی ادبیات در استفاده از این معیارها در تحقیقات اخیر پرداخته شد که معیارهای مورد استفاده در انتخاب مراکز توزیع، انبار متقاطع و انبارها می‌باشند. در این پژوهش، معیارهای ارزیابی انبارهای متقاطع به شش دسته اصلی تقسیم‌بندی شده‌اند. این دسته‌بندی شامل: مکان، هزینه، خدمات، زیرساخت، منابع انسانی و انرژی و پایداری می‌باشد. هرکدام از این دسته‌ها شامل زیرمعیارهایی می‌شود که در جدول (۱) به آن‌ها اشاره می‌شود. باتوجه به جدول (۱)، استفاده از معیارهای مرتبط با انرژی و پایداری برای اولین‌بار در این تحقیق انجام شده است.

نوآوری‌های اصلی این تحقیق به‌شرح زیر می‌باشد:

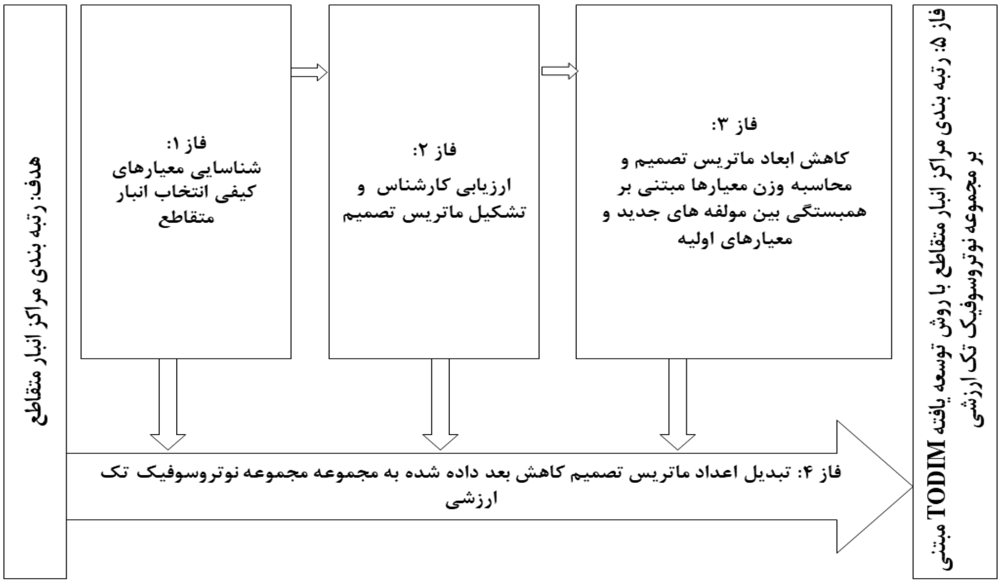
- ارائه یک روش وزن‌دهی ترکیبی جدید برای معیارهای ارزیابی مسأله انتخاب انبارهای متقاطع: بدین‌منظور برای اولین‌بار در این تحقیق به استفاده از روش تقریب منیفولد یکنواخت و طرح‌ریزی و روش ضریب همبستگی به ارائه رویکردی یکپارچه برای مواجهه با ماتریس‌های ابعاد بالا، شناسایی اهمیت معیارها و استخراج وزن آن‌ها پرداخته شده است.
- توسعه یک روش تصمیم‌گیری جدید برای رتبه‌بندی انبارهای

متقاطع در محیط فازی توسعه‌یافته: بدین‌منظور یک روش TODIM مبتنی‌بر فاصله کای‌دو با مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی برای اولین‌بار توسعه داده شده است.

- ارائه مجموعه‌ای کامل از معیارها برای ارزیابی انبارهای متقاطع: باتوجه به بررسی ادبیات در جدول (۱)، استفاده از معیارهای انرژی و پایداری برای اولین‌بار در انتخاب انبارهای متقاطع در این تحقیق صورت گرفته است.

جدول (۱). معیارهای مناسب برای انتخاب انبار متقاطع

تحقیق حاضر	[۳۳]	[۱۵]	[۱۳]	[۳۴]	[۱۶]	[۳۵]	[۳۶]	[۳۷]	[۳۸]	[۱۴]	توضیحات	زیرمعیارها	معیارها
✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓		✓	نزدیکی بین مکان و تأمین‌کنندگان است.	فاصله تا تأمین‌کنندگان (C11)	مکان (C1)
✓		✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓	نزدیکی بین مکان و بازار است.	فاصله تا بازار (C12)	
✓		✓				✓	✓	✓		✓	نزدیکی بین مکان و فرودگاه است.	فاصله تا فرودگاه (C13)	
✓		✓				✓	✓	✓		✓	نزدیکی بین مکان و بزرگراه است.	فاصله تا بزرگراه (C14)	
✓						✓	✓	✓		✓	نزدیکی بین مکان و بنادر است.	فاصله تا بندر (C15)	
✓						✓		✓		✓	نزدیکی بین مکان و راه‌آهن است.	فاصله تا راه‌آهن (C16)	
✓	✓	✓	✓					✓		✓	برای عملکرد صحیح جریان عملیاتی درنظر گرفته می‌شود.	ظرفیت کراس داک (C17)	
✓							✓			✓	هزینه زمینی است که انبار متقاطع در آن راه‌اندازی می‌شود.	هزینه زمین (C21)	هزینه (C2)
✓				✓		✓			✓	✓	هزینه نصب تأسیسات	هزینه نصب (C22)	
✓	✓	✓	✓	✓						✓	هزینه تحویل کالا به مشتریان است.	هزینه لجستیک (C23)	
✓										✓	پرداخت دستمزد به‌کارگران	هزینه نیروی کار (C24)	
✓				✓	✓					✓	دردسترس بودن سرویس ذخیره‌سازی	راحتی ذخیره‌سازی (C31)	خدمات (C3)
✓						✓		✓		✓	دردسترس بودن خدمات حمل‌ونقل	خدمات حمل‌ونقل (C32)	
✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓		✓	فضای کافی برای توسعه در آینده وجود داشته باشد.	اندازه منطقه ارزیابی شده (C41)	زیرساخت (C4)
✓						✓		✓		✓	وسایل حمل‌ونقل متنوع دردسترس داشته باشد	تنوع خدمات حمل‌ونقل (C42)	
✓								✓	✓	✓	دردسترس بودن منابع انسانی برای کار	دردسترس بودن منابع انسانی (C51)	دردسترس بودن منابع انسانی (C5)
✓											استانداردهای دفع زباله رعایت شود	دفع زباله و اثرات زیست‌محیطی(C61)	انرژی و پایداری(C6)
✓											صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کاهش آلایندگی	بهره‌وری انرژی و شیوه‌های پایدار(C62)	



شکل (۱). چارچوب تحقیقاتی پیشنهادی

۳. روش حل

در این بخش، یک رویکرد جدید تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی‌بر مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی برای ارزیابی مراکز انبار متقاطع پیشنهاد شده است. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب مرکز انبار متقاطع ضروری هستند، زیرا می‌توانند معیارهای متعدد و اغلب متضاد مانند هزینه، دسترسی و اثرات زیست‌محیطی را لحاظ کنند. این مدل‌ها با ارزیابی سناریوهای مختلف و ترکیب داده‌های کمی و کیفی، به‌طور مؤثر عدم قطعیت و ریسک را برطرف می‌کنند. علاوه‌براین، این روش‌ها کیفیت تصمیم‌گیری را افزایش می‌دهد و منجربه انتخاب‌های مکان آگاهانه‌تر و متعادل‌تر می‌شود. شکل (۱) چارچوب روش‌شناختی به‌کار رفته در این تحقیق را به‌صورت شماتیک نمایش می‌دهد.

این پژوهش چارچوبی جامع برای انتخاب بهینه مکان انبارهای متقاطع ارائه می‌دهد که در آن، طیف گسترده‌ای از معیارهای کمی و کیفی مرتبط درنظر گرفته شده‌اند. در این روش، پس‌از شناسایی و ارزیابی معیارها، از نظریه مجموعه‌های نوتروسوفیک تک‌ارزشی برای مدل‌سازی و مدیریت عدم قطعیت موجود در داده‌های کیفی استفاده می‌شود. برای پرداختن به پیچیدگی فرآیند تصمیم‌گیری، از تکنیک‌های کاهش بعد برای ساده‌سازی ماتریس ارزیابی استفاده می‌شود. در این پژوهش، روشی نوآورانه مبتنی‌بر ضریب همبستگی برای تعیین وزن معیارها ارائه شده است. درنهایت، از روش TODIM توسعه‌یافته مبتنی‌بر مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی برای رتبه‌بندی مکان‌های انبار متقاطع براساس ماتریس تصمیم یکپارچه استفاده می‌شود.

در این مسأله تصمیم‌گیری چندمعیاره، A_m $(m=1, 2, \ldots, M)$ مراکز انبار متقاطع می‌باشند و $B_n(n=1,2,\ldots,N)$ مجموعه‌ای از معیارهای انتخاب انبار متقاطع شناسایی شده می‌باشند. به‌منظور پرداختن به این مسأله، مراحل زیر پیشنهاد شده است:

فاز ۱: استقرار یک سیستم ارزیابی جامع معیارهای انتخاب انبار متقاطع

تعیین معیارهای انتخاب مکان مرکز توزیع یکی از مراحل حیاتی در فرآیند تصمیم‌گیری است. انتخاب انبار متقاطع شامل یک فرآیند تصمیم‌گیری پیچیده تحت تأثیر معیارهای مختلف است. برخی از معیارهای انتخاب انبار متقاطع مشابه با معیارهای انتخاب مراکز توزیع می‌باشد. زیرا انبارهای متقاطع در دریافت و توزیع محصولات شباهاتی با مراکز توزیع دارند. اما انبارهای متقاطع معمولاً کوچکتر هستند و ظرفیت ذخیره‌سازی محدودی دارند، درحالی‌که مراکز توزیع دارای امکانات ذخیره‌سازی بزرگتری هستند و طیف وسیع‌تری از خدمات را ارائه میدهند. برای ارزیابی جامع مکان‌های بالقوه، لازم است معیارهای کمی و کیفی مناسب و جامعی درنظر گرفته شود. اقدامات کیفی شامل جنبه‌های ذهنی است که کمیت کردن آن‌ها دشوار است و اغلب نیاز به قضاوت و ارزیابی کارشناسان دارد. بااستفاده از معیارهای مرتبط، فرآیند تصمیم‌گیری بااستفاده از بینش ذهنی کارشناسان رخ می‌دهد.

فاز ۲: ارزیابی خبره و تهیه ماتریس تصمیم

در گام نخست، به‌منظور جمع‌آوری داده‌های کیفی، از ارزیابی خبرگان درخصوص انبارهای متقاطع پیشنهادی استفاده خواهد شد. این اطلاعات فرد خبره را قادر می‌سازد تا از متغیرهای زبانی مبتنی‌بر مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی در ارزیابی انبارهای متقاطع براساس معیارهای کیفی استفاده کند. وانگ و همکاران [۳۹] برای به‌کارگیری آسان آن در زمینه‌های علمی و مهندسی، مفهوم مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی را معرفی کردند. مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی یک مبنای ریاضی برای مدیریت اطلاعات نادقیق، نامعین و متناقض فراهم می‌کند و برای برنامه‌های کاربردی در تصمیم‌گیری مناسب می‌باشد [۴۰]. مجموعه‌های نوتروسوفیک تک‌ارزشی در ادبیات ترجیح داده می‌شوند؛ زیرا این مجموعه‌ها پایه عددی مناسبی برای فرآیندهای تصمیم‌گیری پیچیده و انعطاف‌پذیر در مقایسه با سایر پایه‌های عددی

هستند [۴۱]. علاوه‌براین، مجموعه‌های نوتروسوفیک تک‌ارزشی مزیت بیان عدم قطعیت‌ها را با ظرافت بیشتری در ارزیابی‌های خبره ارائه می‌دهند؛ بنابراین طیف وسیع‌تری از قابلیت‌های بیانی را دراختیار کارشناسان قرار می‌دهند. نظرات خبره براساس اطلاعات مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی که در جدول (۲) آمده است، برای معیارهای کیفی جمع‌آوری می‌شود.

جدول (۲). متغیرها و اعداد زبانی ([۴۲])

متغیرهای زبانی	مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی
بسیار بالا (EH)	(1.00; 0.00; 0.00)
خیلی خیلی زیاد (VVH)	(0.90; 0.10; 0.10)
خیلی زیاد (VH)	(0.80; 0.15; 0.20)
زیاد (H)	(0.70; 0.25; 0.30)
نسبتاً بالا (MH)	(0.60; 0.35; 0.40)
ضعیف (F)	(0.50; 0.50; 0.50)
نسبتاً ضعیف (ML)	(0.40; 0.65; 0.60)
پایین (L)	(0.30; 0.75; 0.70)
خیلی پایین (VL)	(0.20; 0.85; 0.80)
خیلی خیلی پایین (VVL)	(0.10; 0.90; 0.90)
بسیار پایین (EL)	(0.00; 1.00; 1.00)

در این مرحله همچنین بااستفاده از رابطه (۱)، ماتریس تصمیم را نرمالایز و استاندارد می‌کنیم.

$$\tilde{\xi}_{ij} = \begin{cases} \dfrac{\xi_{ij} - \xi_j^-}{\xi_j^+ - \xi_j^-} \; , j \in P_b \\ \dfrac{\xi_j^- - \xi_{ij}}{\xi_j^+ + \xi_j^-} \; , j \in P_n \end{cases} \qquad \forall i, j \qquad (۱)$$

P_b و P_n مجموعه‌ای از معیارهای سود و هزینه می‌باشند و $\xi_j^+ =$ $Max\ \xi_{ij}$ و $\xi_j^- = Min\ \xi_{ij}$ می‌باشند.

فاز ۳: کاهش بعد و محاسبه وزن معیارها

الگوریتم‌های یادگیری ماشینی را می‌توان به‌طور کلی به یادگیری تحت نظارت، بدون نظارت، نیمه نظارت و تقویتی طبقه‌بندی کرد [۴۳]. کاهش ابعاد از روش‌های بدون نظارت در یادگیری ماشینی برای مدیریت داده‌های با ابعاد بالا و بهبود عملکرد مدل می‌باشند. روش‌های کاهش بعد می‌توانند به ساده‌سازی و کاهش ارزیابی‌های موردنیاز در مسائل تصمیم‌گیری، بدون کاهش عملکرد کمک کنند. تکنیک‌های مختلفی برای کاهش ابعاد استفاده می‌شود؛ ازجمله تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی که یک روش کاهش بعد پرکاربرد است [۴۴]. روش‌های کاهش بعد دارای مزایایی مانند فشرده‌سازی داده‌ها، کاهش هزینه‌های محاسباتی و حذف ویژگی‌های اضافی می‌باشد [۴۵]. روش تقریب منیفولد یکنواخت و طرح‌ریزی، عملکرد مناسب را در کاهش ابعاد در مقایسه با تکنیک‌های کلاسیک نشان داده است [۴۶]. همچنین عملکرد بالایی را در برابر روش t-SNE نشان می‌دهد و درعین‌حال ساختار سراسری بیشتری را در دیتای اولیه حفظ می‌کند و کارایی زمان اجرا بهتری را ارائه می‌دهد [۴۷].

روش تقریب منیفولد یکنواخت و طرح‌ریزی یک تکنیک کاهش بعد جدید است که مزایای متعددی را نسبت‌به روش‌های دیگر ارائه می‌دهد. یکی از مزایای این روش حفظ ساختار جهانی داده‌ها است [۴۷]. با افزایش تعداد معیارها، محاسبات در روش‌های تصمیم‌گیری نیز افزایش می‌یابد و هزینه‌های محاسباتی افزایش می‌یابد [۴۸]. برای کاهش تعداد محاسبات در روش‌های تصمیم‌گیری از روش‌های کاهش بعد استفاده می‌شود. علاوه‌براین، از یک رویکرد نوآورانه مبتنی‌بر روش تقریب منیفولد یکنواخت و طرح‌ریزی برای تعیین وزن معیارها در این تحقیق استفاده شده است. با درنظر گرفتن هردو ماتریس اصلی و کاهش یافته، این روش دید جامع‌تری از عملکرد معیارها به‌دست می‌آورد. درادامه، مراحل این روش به‌طور خلاصه شرح داده شده است.

مرحله ۱: تشکیل ماتریس تصمیم براساس ماتریس امتیاز. ماتریس امتیاز براساس رابطه (۲) به‌دست می‌آید:

$$S(\xi_{ij}) = \frac{3 + t_{ij} - 2i_{ij} - f_{ij}}{4} \qquad \forall i, j \qquad (۲)$$

t_{ij}، i_{ij} و f_{ij} به ترتیب ارزش‌های درستی، عدم قطعیت و نادرستی در مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی می‌باشند که به‌صورت (t_{ij}،i_{ij}، f_{ij}) نشان داده می‌شوند.

مرحله ۲: استفاده از روش تقریب منیفولد یکنواخت و طرح‌ریزی برای کاهش بعد.

مراحل این روش در زیر آورده شده است و برای اطلاعات بیشتر می‌توان به مقالات بیشتر رجوع کرد [۴۷،۴۹].

گام ۱: ساخت نمایش گراف.

در این روش در ابتدا مجموعه داده درنظر گرفته می‌شود و سپس یک نمودار بااستفاده از روش k نزدیکترین همسایه برای این مجموعه داده ساخته می‌شود. سپس شباهت بین نقاط در فضای ورودی را بااستفاده از هسته تابع پایه گاوسی یا شعاعی تخمین می‌زنیم. از شباهت بین این نقاط می‌توان برای محاسبه احتمال این‌که یک نقطه X_i نقطه X_j را به‌عنوان همسایه داشته باشد؛ استفاده کرد.

گام ۲: ساخت نمودار در فضای کاهش‌یافته.

در فضای کاهش‌یافته، احتمال این‌که دو نقطه در فضای کاهش‌یافته همسایه آن‌ها باشند را می‌توان با شباهت این نقاط محاسبه کرد.

گام ۳: بهینه‌سازی تابع هزینه.

در این گام به تعریف تابع هزینه پرداخته می‌شود که تفاوت بین نمایش‌های با ابعاد بالا و پایین را اندازه‌گیری می‌کند. این روش نمودار داده را در فضای کاهش‌یافته تغییر می‌دهد تا شبیه نمودار داده در فضای ورودی شود.

گام ۴: اعمال فرآیند بهینه‌سازی گرادیان کاهشی.

از روش گرادیان کاهشی برای بهینه‌سازی استفاده می‌شود که در آن بهینه‌سازی به‌صورت تکراری انجام می‌شود.

گام ۵: دستیابی به ماتریس کاهش بعد یافته.

درنهایت نمایش ماتریس کاهش‌یافته، ساختار محلی مجموعه داده اصلی را حفظ می‌کند.

مرحله ۳: محاسبه ضریب همبستگی بین مؤلفه‌های ماتریس جدید و

ماتریس اصلی.

ضریب همبستگی بین معیارها ازطریق رابطه (۳) به‌دست می‌آید.

$$r_{jt}=\frac{\sum_{i=1}^{m}(\tilde{\xi}_{ij}-\bar{\tilde{\xi}}_{j})(\tilde{\xi}_{ij}-\bar{\tilde{\xi}}_{t})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m}(\tilde{\xi}_{ij}-\bar{\tilde{\xi}}_{j})^2(\tilde{\xi}_{ij}-\bar{\tilde{\xi}}_{t})^2}} \qquad \forall\, j,t \tag{۳}$$

مرحله ۴: در این مرحله به محاسبه وزن معیارهای جدید (ماتریس کاهش بعد) با معیارهای اولیه پرداخته می‌شود. به‌طوری‌که مؤلفه‌هایی با میانگین همبستگی بالاتر با معیارهای اولیه، وزن بیشتری دریافت می‌کنند. برای محاسبه وزن معیارها از رابطه (۴) استفاده می‌شود.

$$W_j=\left|\frac{\frac{\sum_{t=1}^{n} r_{jt}}{n}}{\sum_{j=1}^{n}(\frac{\sum_{t=1}^{n} r_{jt}}{n})}\right| \qquad \forall\, j \tag{۴}$$

فاز۴: ادغام ماتریس تصمیم مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی

در این مرحله، داده‌های ماتریس کاهش بعد داده شده که معمولاً در مقادیر عددی واضح بیان می‌شوند، به مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی تبدیل می‌شوند. برای رسیدن به این هدف، ابتدا نرمال‌سازی بااستفاده از رابطه (۵) انجام می‌شود و سپس رابطه (۶) برای تبدیل اعداد واضح به مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی استفاده می‌شود [۵۰]. این تبدیل برای تأکید بر بیان اطلاعات مبهم یا نادقیق استفاده می‌شود که این فرآیند تصمیم‌گیری بهتر را تسهیل می‌کند [۵۱].

$$NX_{ij}=\frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m}(X_{ij})^2}} \qquad \forall j=1,2,\dots,n \tag{۵}$$

$$\mathrm{r}_{ij}=(t_{ij},i_{ij},f_{ij}) \tag{۶}$$

فاز ۵: رتبه‌بندی انبارهای متقاطع بااستفاده از روش TODIM توسعه‌یافته براساس مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی.

هنگامی‌که تمام داده‌های کمی به مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی تبدیل شدند، ماتریس تصمیم یکپارچه می‌شود. این شامل ترکیب مقادیر مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی برای مؤلفه‌های ماتریس کاهش بعد داده شده است. این ماتریس به‌عنوان ورودی فرآیند رتبه‌بندی بااستفاده از روش TODIM با مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی عمل می‌کند. در این بخش از روش TODIM برای رتبه‌بندی انبارهای متقاطع‌ها استفاده شده است. یکی از مزایای این روش این است که تعداد مقایسه‌های زوجی موردنیاز در ارزیابی‌ها را کاهش می‌دهد [۵۲]. روش TODIM برای درنظرگرفتن رفتار روانشناختی تصمیم‌گیرندگان طراحی شده است و ثابت کرده است که در حل مشکلات تصمیم‌گیری چندمعیاره مؤثر است [۳۰]. براساس نظریه چشم‌انداز، این رویکرد تسلط هر جایگزین را با ایجاد یک تابع ارزش چند ویژگی ارزیابی می‌کند [۵۳]. مراحل این روش به‌صورت زیر می‌باشد:

مرحله ۱: تعیین ماتریس تصمیم نهایی

در این مرحله انبارهای متقاطع را با $A=\{A_1,A_2,\dots,A_m\}$ نشان می‌دهیم، معیارها را با $B=\{B_1,B_2,\dots,B_n\}$ نشان می‌دهیم و همچنین وزن معیارها را نیز با $W=\{W_1,W_2,\dots,W_n\}$ نشان می‌دهیم که وزن معیارها مقادیری بین صفر تا یک دریافت می‌کنند. ماتریس تصمیم نهایی با مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی را نیز $R=(r_{ij})_{m\times n}=(t_{ij},i_{ij},f_{ij})_{ij}$ نشان می‌دهیم.

مرحله ۲: محاسبه وزن نسبی[1] هر معیار.

برای محاسبه وزن نسبی هر معیار از رابطه (۷) استفاده می‌شود که $W_r=Max\{W_j|\, j=1,2,\dots,n\}$ می‌باشد.

$$W_{jr}=\frac{W_j}{W_r} \qquad \forall j=1,2,\dots,n \tag{۷}$$

مرحله ۳: محاسبه درجه تسلط[2].

بااستفاده از رابطه (۸)، درجه تسلط هر انبار متقاطع بر هر انبار متقاطع دیگر دررابطه با هر معیار محاسبه می‌شود.

$$S(\varphi_j(CDC_i,CDC_t))=\begin{cases}\sqrt{W_{jr}D(r_{ij},r_{tj})/\sum_{j=1}^{n}W_{jr}}\,, & if\ S_{ij}>S_{tj}\\ 0, & if\ S_{ij}=S_{tj}\\ -\frac{1}{\theta}\sqrt{(\sum_{j=1}^{n}W_{jr})\,D(r_{ij},r_{tj})/W_{jr}}, & if\ S_{ij}<S_{tj}\end{cases} \tag{۸}$$

پارامتر θ ضریب تضعیف تلفات را نشان می‌دهد و $D(r_{ij},r_{tj})$ فاصله می‌باشد که برای محاسبه فاصله از روش فاصله کای‌دو[3] استفاده شده است که دررابطه (۱۰) نشان داده شده است. اگر $S_{ij}>S_{tj}$ باشد، آنگاه رابطه $\varphi_j(A_i,A_t)$ نشان‌دهنده سود می‌باشد. اگر $S_{ij}<S_{tj}$ باشد، آنگاه رابطه $\varphi_j(A_i,A_t)$ نشان‌دهنده ضرر می‌باشد. ماتریس درجه تسلط نیز به‌صورت $\varphi_j=[\varphi_j(A_i,A_t)]_{m\times m}$ می‌باشد.

فاصله یکی از معیارهای مهم برای بررسی میزان عدم تشابه بین دو مجموعه است که در زمینه‌های مختلف در محیط‌های فازی استفاده شده است. در تحقیقات اخیر از روش‌های مختلف برای محاسبه فاصله استفاده شده است. برای مثال، فاصله هلینگر[4] در روش TODIM استفاده شده است [۵۴،۵۵]. همچنین از فاصله هاسدورف برای محاسبه فاصله در روش TODIM مبتنی‌بر مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی نیز استفاده شده است [۲۸،۵۶]. در این تحقیق برای توسعه روش TODIM، از فاصله کای‌دو مبتنی‌بر مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی استفاده شده است. اولین‌بار این نوع فاصله توسط هایپینگ و همکاران در سال ۲۰۱۹ برای مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی توسعه داده شده است [۲۹]. نام اندازه‌گیری فاصله کای‌دو از آماره آزمون کای‌دو پیرسون گرفته شده است. فاصله کای‌دو را برای دو بردار X و Y را با $d(x,y)$ ازطریق رابطه (۹) به‌دست می‌آید [۵۷]. فرض کنید X برابر است با $\{x_1,x_2,\dots,x_n\}$ و Y برابر است با $\{\mathrm{y}_1,\mathrm{y}_2,\dots,\mathrm{y}_n\}$.

$$d(x,y)=\sum_{i=1}^{n}\frac{(x_i-y_i)^2}{x_i+y_i} \tag{۹}$$

برای جلوگیری از صفر شدن مخرج نسخه اصلاح شده‌ای برای

1. Relative Weight
2. Dominance degree
3. Chi-Square
4. Hellinger

محاسبه فاصله کای‌دو ارائه شده است که در رابطه (۱۰) نشان داده شده است [۲۹]. همچنین باید توجه داشت که عدد ثابت ۲ را می‌توان به‌عنوان هر عدد مثبت دیگری نیز تغییر داد.

$$d(x,y) = \sum_{i=1}^{n} \frac{(x_i - y_i)^2}{2 + x_i + y_i} \qquad (۱۰)$$

همچنین برای محاسبه تشابه بین مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی از رابطه شباهت کسینوس استفاده شده است که اولین‌بار توسط یی [۵۸] پیشنهاد شده است. ازطریق معیار تشابه کسینوس، امکان مقایسه اعداد مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی وجود دارد. بنابراین، این معیار برای مقایسه اعداد مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی استفاده شده است. معیار تشابه کسینوس در رابطه نشان داده شده است (۱۱).

$$S_{ij} = \frac{t_{ij}}{\sqrt{t_{ij}^2 + i_{ij}^2 + f_{ij}^2}} \qquad (۱۱)$$

مرحله ۴: محاسبه درجه تسلط کلی[1].

براساس ماتریس درجه تسلط، درجه تسلط کلی ($\delta_i(A_i, A_t)$) بین انبار متقاطع A_i و A_t ازطریق رابطه (۱۲) به‌دست می‌آید.

$$\delta_i(A_i, A_t) = \sum_{j=1}^{n} \varphi_j(A_i, A_t)\,, \quad i,t = 1,2,\dots,m \qquad (۱۲)$$

ماتریس درجه تسلط کلی نیز به‌صورت $\delta = [\delta(A_i, A_t)]_{m\times m}$ می‌باشد.

مرحله ۵: محاسبه مقدار کلی[2].

برای محاسبه مقدار کلی هر انبار متقاطع از رابطه (۱۳) استفاده می‌شود.

$$\delta(A_i) = \frac{\sum_{t=1}^{m} \delta(A_i, A_t) - min \sum_{t=1}^{m} \delta(A_i, A_t)}{max \sum_{t=1}^{m} \delta(A_i, A_t) - min \sum_{t=1}^{m} \delta(A_i, A_t)} \qquad (۱۳)$$

مرحله ۶: رتبه‌بندی انبارهای متقاطع.

هرچه مقدار $\delta(A_i)$ مربوطبه هر انبار متقاطع بیشتر باشد، انبار متقاطع مربوطه گزینه بهتری می‌باشد.

۴. نتایج

برای نشان دادن کاربرد رویکرد پیشنهادی، فرآیند انتخاب انبار متقاطع را دریک مثال کاربردی شرح می‌دهیم. در این فرآیند تصمیم‌گیری از معیارهای کمی و کیفی برای ارزیابی انبارهای متقاطع استفاده شده است. معیارهای کیفی به‌صورت داده‌های مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی از خبره جمع‌آوری شد. همچنین برای معیارهای کمی نیز از اعداد واضح نسبت‌به هر انبار متقاطع استفاده شد. باتوجه به چارچوب پیشنهادی به‌اختصار هر مرحله به‌صورت جداگانه شرح می‌دهیم.

۴-۱. وزن معیارها

در این تحقیق از ۱۸ معیار با بررسی ادبیات استفاده شده است. این معیارها در دو دسته کمی و کیفی تقسیم‌بندی می‌شوند و همچنین جنس معیارها نیز به دو دسته هزینه و سود تقسیم می‌شوند که در جدول (۳) ارائه شده است.

همچنین ۸ انبار متقاطع به‌عنوان کاندید پیشنهاد شده است. ماتریس تصمیم شامل معیارها و گزینه‌ها می‌باشد. ستون‌ها شامل معیارها و سطرها شامل ۸ گزینه برای انتخاب انبار متقاطع می‌باشد. همچنین در این فرآیند از مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی برای ارزیابی انبارهای متقاطع باتوجه به معیارهای کیفی استفاده شده است. همچنین از اعداد واضح یا قطعی برای نشان دادن اطلاعات هر انبار متقاطع نسبت‌به معیار کمی استفاده شده است. مراحل به این صورت است که ابتدا، بعد از تشکیل ماتریس تصمیم، ماتریس امتیاز بااستفاده از معادله (۱) محاسبه می‌شود. سپس ماتریس تصمیم بااستفاده از معادله (۲) نرمالایز و استاندارد می‌شود. سپس ابعاد ماتریس امتیاز بااستفاده از روش تقریب منیفولد یکنواخت و طرح‌ریزی کاهش بعد می‌یابد. درنهایت، ماتریس کاهش بعد یافته به‌دست می‌آید که در جدول (۴) نشان داده شده است. ماتریس کاهش بعد یافته شامل ۸ ستون یا مؤلفه و ۸ ردیف یا همان گزینه است.

جدول (۳). نوع معیارهای ارزیابی انبار متقاطع

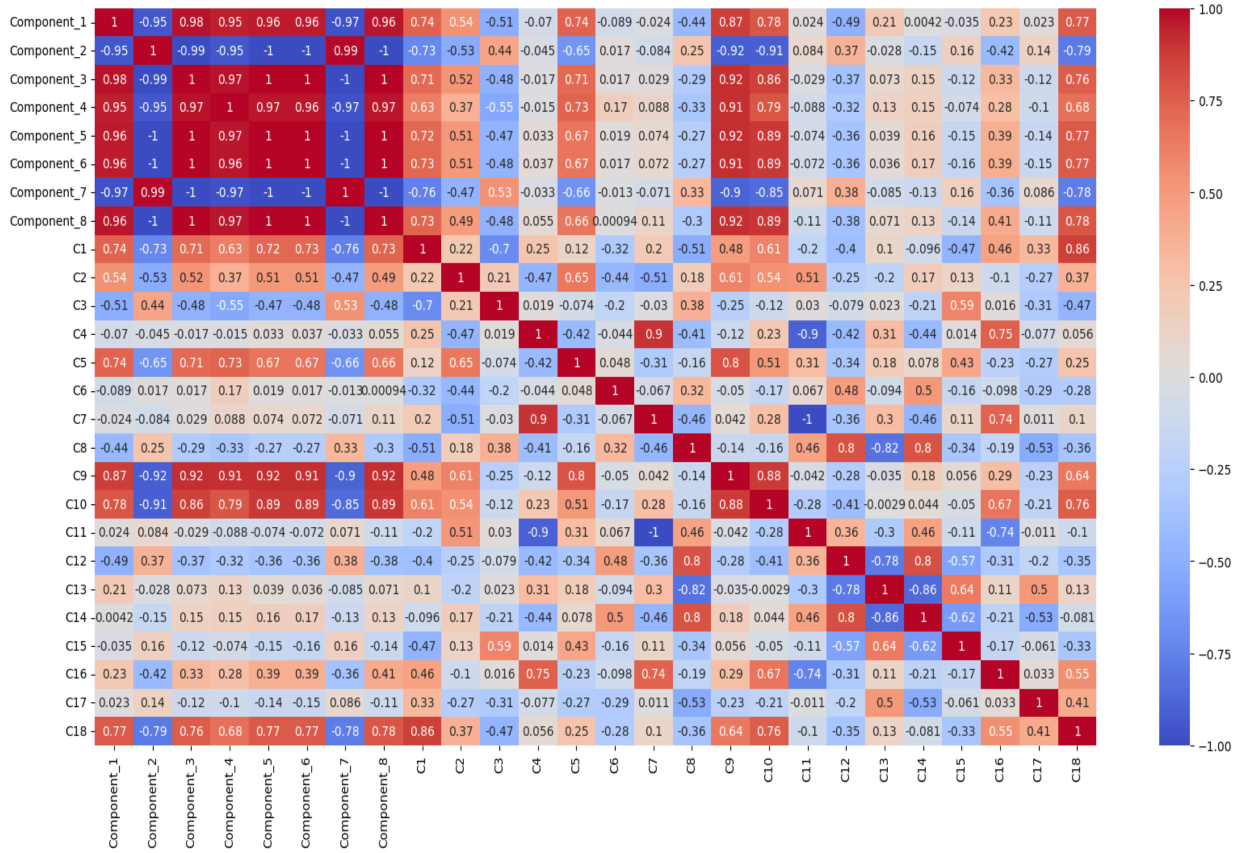
جنس معیارها	نوع معیارها	نام معیارها	معیارها	جنس معیارها	نوع معیارها	نام معیارها	معیارها
هزینه	کیفی	هزینه لجستیک	C23	هزینه	کمی	فاصله تا تأمین‌کنندگان	C11
هزینه	کیفی	هزینه نیروی کار	C24	هزینه	کمی	فاصله تا بازار	C12
سود	کیفی	راحتی ذخیره‌سازی	C31	هزینه	کمی	فاصله تا فرودگاه	C13
سود	کیفی	خدمات حمل‌ونقل	C32	هزینه	کمی	فاصله تا بزرگراه	C14
سود	کیفی	اندازه منطقه ارزیابی شده	C41	هزینه	کمی	فاصله تا بندر	C15
سود	کیفی	تنوع خدمات حمل‌ونقل	C42	هزینه	کمی	فاصله تا راه آهن	C16
سود	کیفی	در دسترس بودن منابع انسانی	C51	سود	کیفی	ظرفیت انبار متقاطع	C17
سود	کیفی	دفع زباله و اثرات زیست محیطی	C61	هزینه	کیفی	هزینه زمین	C21
سود	کیفی	بهره وری انرژی و شیوه های پایدار	C62	هزینه	کیفی	هزینه نصب	C22

1. Overall dominance degree

2. Overall value

جدول (۴). ماتریس تصمیم کاهش بعد یافته

	مؤلفه ۱	مؤلفه ۲	مؤلفه ۳	مؤلفه ۴	مؤلفه ۵	مؤلفه ۶	مؤلفه ۷	مؤلفه ۸
A_1	۶/۶۵۶	۶/۰۶۳	۳/۷۴۳	-۴/۵۹۷	۱۱/۶۹	۳/۰۹۶	۹/۳۸۶	۷/۶۶۳
A_2	۶/۹۶۹	۵/۶۷۹	۳/۳۸۸	-۴/۸۱۳	۱۲/۳۹	۴/۰۷۴	۹/۷۲	۸/۵۴۹
A_3	۶/۸۶۲	۶/۰۵۴	۳/۴۹۵	-۴/۷	۱۲/۱۳	۳/۴	۹/۵۲۸	۷/۸۴۶
A_4	۶/۳۸۸	۵/۸۹۸	۳/۶۱۸	-۴/۶۵۲	۱۲/۱۰	۴/۳۹۲	۹/۷۱۱	۸/۵۱
A_5	۶/۹۲۴	۵/۵۳۱	۳/۵۱۱	-۴/۹۰۴	۱۱/۷۸	۳/۹۶۵	۹/۵	۸/۹۳
A_6	۶/۸۱۹	۵/۱۴۴	۳/۷۸۳	-۴/۵۸	۱۲/۲۸	۴/۰۴۷	۹/۸۵۴	۸/۵۰۴
A_7	۱۶/۵۴	-۱/۴۲۹	۱۶/۶۳	۱۶/۸۵	۱۳/۸۷	۱۵/۴۰	۳/۶۵۶	۱۱/۳۱
A_8	۱۶/۷	-۱/۵۸۴	۱۶/۷۹	۱۷/۰۱	۱۴/۰۲	۱۵/۵۶	۳/۸۱۱	۱۱/۴۶



شکل (۲). ضریب همبستگی بین مؤلفه‌های ماتریس کاهش بعد داده شده و ماتریس اصلی

در گام بعد، برای وزن‌دهی به معیارها، از رویکرد جدیدی مبتنی‌بر ضریب همبستگی استفاده می‌شود. در ابتدا، ضریب همبستگی بین مؤلفه‌های جدید و معیارهای ماتریس امتیاز بااستفاده از معادله (۳) محاسبه می‌شود. سپس، وزن مؤلفه‌ها بااستفاده از معادله (۴) محاسبه می‌گردد. ضریب همبستگی بین معیارها در شکل (۲) نشان داده شده است. همچنین بااستفاده از این روابط مقدار وزن مؤلفه‌ها به‌ترتیب برابر است با: ۰/۱۱۳، ۰/۱۳۲، ۰/۱۲۶، ۰/۱۱۹، ۰/۱۳، ۰/۱۲۸، ۰/۱۲۳ و ۰/۱۲۹. ازطرفی، باتوجه به شکل (۲) می‌توان دریافت که معیارهای C11، C12، C15، C22، C23 و C62 دارای ارتباط خطی بیشتری با مؤلفه‌های ماتریس کاهش‌یافته هستند. بنابراین این معیارها دارای اهمیت بیشتری نسبت‌به معیارهای دیگر هستند. یعنی مؤلفه‌های ماتریس کاهش بعد یافته، بیشترین تأثیر را از این ۶ معیار اصلی می‌گیرند و به‌بهترین نحو ویژگی‌های داده‌ها را نمایان می‌سازند.

۴-۲. ادغام ماتریس تصمیم

در این مرحله ماتریس تصمیم نهایی ساخته می‌شود. ماتریس تصمیم شامل ماتریس کاهش بعد یافته است که مقادیر آن‌ها به نوتروسوفیک تکارزشی تبدیل می‌شود. زیرا ماتریس کاهش بعد یافته به‌صورت مقادیر واضح ارائه شد. از معادله (۵) و (۶) برای تبدیل اعداد واضح به مجموعه نوتروسوفیک تکارزشی استفاده می‌شود.

۴-۳. رتبه‌بندی انبارهای متقاطع

۸ انبار متقاطع در این بخش ارزیابی و انتخاب می‌شوند. ۱۸ معیار برای ارزیابی ۸ انبار متقاطع ممکن استفاده شده است. ۸ مؤلفه، از روش

کاهش بعد UMAP براساس معیارهای اولیه مشتق شده‌است. ۸ انبار متقاطع $(A_i\ (i = 1,2,3,4,5,6,7,8))$ تحت مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی ارزیابی می‌شوند که وزن ۸ مؤلفه به‌ترتیب برابر است با: ۰/۱۱۳، ۰/۱۳۲، ۰/۱۲۶، ۰/۱۱۹، ۰/۱۳، ۰/۱۲۸، ۰/۱۲۳ و ۰/۱۲۹ و سپس وزن نسبی بااستفاده از معادله (۷) به‌دست می‌آید. ماتریس درجه تسلط کلی $\delta=[\delta_i(A_i, A_t)]_{m\times m}$ در جدول (۵) نشان داده شده است. سپس، مقدار کلی هر A_i بااستفاده از رابطه (۱۳) محاسبه می‌شود. مقدار کلی هر A_i به‌ازای $\theta = 1$ به‌ترتیب برابر است با: ۰/۵۶۳، ۰/۷۴۲، ۰/۲۷۱، ۰/۷۲۲، ۰/۰۷، ۰/۵۵۱، ۰/۶۴۸ و ۰/۴۳۸. درنهایت انبارهای متقاطع رتبه‌بندی می‌شوند و نتایج زیر به‌دست می‌آید:

$$A_2 > A_4 > A_7 > A_1 > A_1 > A_8 > A_3 > A_5$$

۴-۴. تحلیل حساسیت

ثبات نتایج ارزیابی برای ارزیابی برتری یک رویکرد تصمیم‌گیری بسیار مهم است. ضریب θ نشان‌دهنده نگرش تصمیم‌گیرندگان نسبت‌به ضرر است و هرگونه تغییر در θ می‌تواند بر نتیجه تصمیم‌گیری تأثیر بگذارد [۵۹]. برای نشان دادن این‌که چگونه θ بر تصمیمات نهایی تأثیر می‌گذارد، مقادیر مختلفی برای θ درنظر می‌گیریم.

در این‌جا $\theta = 0.1,0.2,0.4,0.6,0,8,1,2,3,4,5$ را برای اجرای تحلیل حساسیت درنظر می‌گیریم. نتایج مربوط به تحلیل حساسیت در جدول (۶) نشان داده شده است.

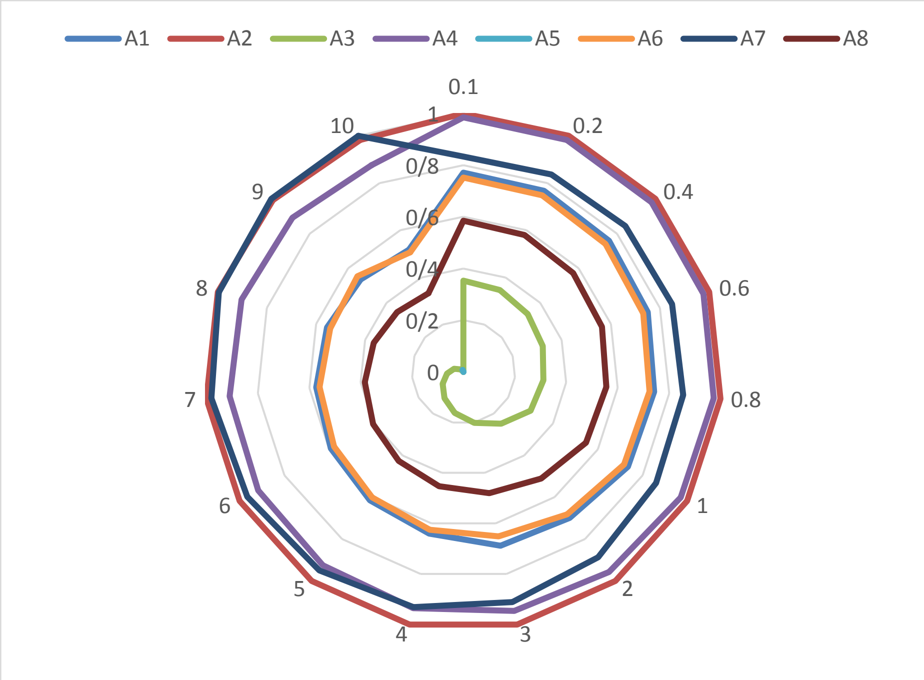
جدول (۵). ماتریس درجه تسلط کلی

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8
A_1	۰	-۱/۷۵	-۰/۱۷	-۱/۵۶	-۱/۱۷	-۰/۰۴	-۲/۲	-۱/۱۲
A_2	-۱/۱۴۹	۰	۰/۳۵	-۰/۸۴	-۰/۶	-۱/۱۵	-۱/۰۹	-۰/۱۱
A_3	-۱/۹۵۷	-۲/۹۸	۰	-۱/۸۲	-۰/۸	-۱/۹۸	-۳/۱۳	-۰/۹۵
A_4	-۰/۶۱۶	-۰/۸۴	۰/۱۱	۰	-۰/۴۲	-۰/۶۷	-۱/۸۴	-۰/۶۷
A_5	-۲/۳۰۱	-۳/۴۸	-۱/۴۴	-۳/۱۴	۰	-۲/۲۷	-۳/۰۵	-۱/۸۲
A_6	-۰/۱۲۰	-۱/۷۸	-۰/۱۷	-۱/۵۴	-۱/۱۹	۰	-۲/۲۷	-۱/۱۷
A_7	-۰/۵۱۱	-۲/۱۲	-۰/۴۵	-۲/۰۴	-۰/۱۸	-۰/۴۷	۰	-۰/۶
A_8	-۱/۴۷۹	-۱/۳۶	-۰/۸۴	-۱/۸۱	-۱/۲۶	-۱/۴۶	-۲/۱۹	۰

جدول (۶). رتبه‌بندی انبارهای متقاطع برای مقادیر مختلف θ

θ	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8
۰/۱	۰.۷۷۱	۱	۰.۳۵۳	۰.۹۸۵	۰	۰.۷۵۲	۰.۸۳۳	۰.۵۸۵
۰/۲	۰.۷۶۷	۱	۰.۳۴۷	۰.۹۸۳	۰	۰.۷۴۸	۰.۸۳۶	۰.۵۸
۰/۴	۰.۷۵۸	۱	۰.۳۳۵	۰.۹۸	۰	۰.۷۴	۰.۸۴۳	۰.۵۷۲
۰/۶	۰.۷۵	۱	۰.۳۲۳	۰.۹۷۷	۰	۰.۷۳۲	۰.۸۴۹	۰.۵۶۴
۰/۸	۰.۷۴۲	۱	۰.۳۱۱	۰.۹۷۴	۰	۰.۷۲۴	۰.۸۵۵	۰.۵۵۶
۱	۰.۷۳۵	۱	۰.۳	۰.۹۷۱	۰	۰.۷۱۷	۰.۸۶	۰.۵۴۸
۲	۰.۶۹۹	۱	۰.۲۴۸	۰.۹۵۸	۰	۰.۶۸۲	۰.۸۸۷	۰.۵۱۱
۳	۰.۶۸۸	۱	۰.۲۰۲	۰.۹۴۶	۰	۰.۶۵۱	۰.۹۱۱	۰.۴۸
۴	۰.۶۴	۱	۰.۱۶۲	۰.۹۳۵	۰	۰.۶۲۵	۰.۹۳۱	۰.۴۵۲
۵	۰.۶۱۵	۱	۰.۱۲۶	۰.۹۲۶	۰	۰.۶۰۱	۰.۹۵	۰.۴۲۶
۶	۰.۵۹۳	۱	۰.۰۹۳	۰.۹۱۸	۰	۰.۵۷۹	۰.۹۶۶	۰.۴۰۴
۷	۰.۵۷۳	۱	۰.۰۶۴	۰.۹۱	۰	۰.۵۶	۰.۹۸۱	۰.۳۸۴
۸	۰.۵۵۵	۱	۰.۰۳۸	۰.۹۰۳	۰	۰.۵۴۲	۰.۹۹۵	۰.۳۶۵
۹	۰.۵۳۵	۰.۹۹۳	۰.۰۱۴	۰.۸۹۱	۰	۰.۵۵۲	۱	۰.۳۴۶
۱۰	۰.۵۱۸	۰.۹۸۲	۰	۰.۸۷۶	۰.۰۰۸	۰.۵۰۶	۱	۰.۳۳۳

علی‌رغم تغییرات در θ، رتبه‌بندی کلی گزینه‌ها نسبتاً ثابت است. این نشان می‌دهد که روش TODIM به‌طور کلی در برابر تغییرات در ضریب ازدست دادن قوی است. درحالی‌که ممکن است مقدار کلی به‌شدت تغییر کند، ولی تغییراتی در رتبه‌بندی گزینه‌ها وجود ندارد. برای مثال، A_2 مرتباً رتبه‌بندی خود را با افزایش θ بهبود می‌بخشد که نشان می‌دهد نسبت‌به ضررگریزی حساس‌تر است. امتیازهای اختصاص داده شده به هر گزینه نیز با θ تغییر می‌کند. این نشان می‌دهد که اهمیت نسبی معیارهای مختلف بسته به نگرش تصمیم گیرنده نسبت‌به زیان می‌تواند متفاوت باشد. انتخاب θ باید منعکس‌کننده نگرش واقعی تصمیم‌گیرنده نسبت‌به ریسک و ضرر باشد. اگر تصمیم‌گیرنده به‌شدت ریسک‌گریز باشد، θ بالاتر ممکن است مناسب باشد. نمودار راداری تحلیل حساسیت نتایج نیز در شکل (۳) نشان داده شده است. باتوجه به شکل (۳)، مشخص است که A_2 در اکثر آزمایش‌ها رتبه بالاتری نسبت‌به سایر گزینه‌ها کسب کرده است. همچنین باتوجه به این شکل، گزینه A_5 بدترین گزینه در بین گزینه‌های تصمیم می‌باشد.



شکل (۳). نمودار راداری نتایج تحلیل حساسیت

۵. نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در این تحقیق یک رویکرد جدید ترکیبی برای مسأله انتخاب انبارهای متقاطع پیشنهاد می شود که به‌طور هم‌زمان به هر دو دسته از معیارهای کمی و کیفی با این رویکرد توجه می‌شود. رویکرد جدید در داده‌های یک مثال استفاده شد و نتایج عملی بودن روش را نشان داد. مسأله انتخاب انبارهای متقاطع با معیارهای کمی و کیفی بااستفاده از رویکرد پیشنهادی انجام شد. همچنین، این فرآیند امکان درنظر گرفتن عدم قطعیت را از دیدگاه مجموعه‌های نوتروسوفیک تک‌ارزشی فراهم کرد. فرآیند ارزیابی موجب شد تا کارشناسان بتوانند نظرات خود را در قالب مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی بیان کنند. در این رویکرد، برای ساده‌سازی فرآیند تصمیم‌گیری، ابعاد ماتریس تصمیم بااستفاده از روش UMAP کاهش می‌یابد. وزن معیارها براساس ماتریس کاهش‌یافته و ضریب همبستگی شناسایی می‌شود. همچنین از روش توسعه‌یافته TODIM مبتنی‌بر مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی برای رتبه‌بندی انبارهای متقاطع استفاده شد.

یافته‌های تحقیق، انتخاب موفقیت‌آمیز انبارهای متقاطع بهینه را با درنظر گرفتن معیارهای کمی و کیفی نشان می‌دهند درحالی‌که به‌طور مؤثر عدم قطعیت تصمیم‌گیری را دربر می‌گیرند. در این تحقیق، برای اولین‌بار یک روش ترکیبی جدید برای کاهش بعد و وزن‌دهی ارائه شده است. ابتدا به کاهش بعد ماتریس تصمیم پرداخته شد که ۱۸ معیار اولیه به ۸ مؤلفه کاهش یافت. همچنین باتوجه به ضریب همبستگی بین مؤلفه‌ها و معیارهای اولیه دریافتیم که معیارهای C11، C12، C15، C22، C23 و C62 دارای ارتباط خطی بیشتری با مؤلفه‌های ماتریس کاهش‌یافته هستند. بنابراین این معیارها دارای اهمیت بیشتری می‌باشند. ازطرف دیگر، برای اولین‌بار از معیار فاصله کای‌دو برای توسعه روش TODIM مبتنی‌بر مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی استفاده شده است. در تحلیل حساسیت روش پیشنهادی ثابت شد که گزینه دوم در اکثر آزمایش‌ها برتر از سایر گزینه‌ها بوده است.

رویکرد پیشنهادی دارای محدودیت‌هایی است، ازجمله این‌که تنها معیارهای محدودی درنظر گرفته شد. به این معنی که امکان اصلاح فهرست معیارها برای سایر مراکز لجستیکی وجود دارد. به عبارت دیگر، معیارهای جامع‌تری برای ارزیابی انبارهای متقاطع وجود دارد. همچنین، درنظر گرفتن معیارهای بیشتر مبتنی‌بر پایداری و صنعت ۴/۰ برای ارزیابی انبارهای متقاطع‌ها می‌تواند نتایج ارزیابی را بهبود بخشد. درنهایت، این مقاله فقط بر عدم قطعیت مبتنی‌بر مجموعه نوتروسوفیک تک‌ارزشی تمرکز می‌کند، درحالی‌که مجموعه‌های فازی نوع ۲ نیز می‌توانند برای ابهام استفاده شوند. برای افزایش استحکام مطالعات آینده، توصیه می‌شود که تکنیک‌های کاهش بعد جایگزین را که فاصله بین ماتریس‌های کاهش‌یافته و اصلی را به‌حداقل می‌رساند، برای تعیین دقیق‌تر وزن‌های متخصص و معیارها بررسی شود. همچنین برای توسعه روش TODIM نیز می‌توان به محاسبه از فواصل جدید در روابط آن استفاده کرد.

مراجع

[1] Stephan, K., N. Boysen, and J. Cross-docking, (2011). *Manage.* Control, 22(1): p. 129-137. https://doi.org/10.1007/s00187-011-0124-9.

[2] Boysen, N. and M. Fliedner, (2010). *Cross dock scheduling: Classification, literature review and research agenda.* Omega, 38(6): p. 413-422. https://doi.org/10.1016/j.omega.2009.10.008.

[3] Bartholdi, J. J. and K. R. Gue, (2004). *The best shape for a crossdock.* Transportation science, 38(2): 235-244. https://doi.org/10.1287/trsc.1030.0077.

[4] Mousavi, S. M., R. Tavakkoli-Moghaddam, and F. Jolai, (2013). *A possibilistic programming approach for the*

Dergisi, (22): 400-409. https://doi.org/10.31590/ejosat.849896.

[18] Kieu, P.T., et al., (2021). *A spherical fuzzy analytic hierarchy process (SF-AHP) and combined compromise solution (CoCoSo) algorithm in distribution center location selection: A case study in agricultural supply chain.* Axioms, 10(2): p. 53. https://doi.org/10.3390/axioms10020053.

[19] Karaşan, A. and C. Kahraman, (2019). *A novel intuitionistic fuzzy DEMATEL–ANP–TOPSIS integrated methodology for freight village location selection.* Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 36(2): p. 1335-1352. https://doi.org/10.3233/JIFS-17169.

[20] Stević, Ž., et al., (2020). *Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to COmpromise solution (MARCOS).* Computers & industrial engineering, 140: p. 106231. https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106231.

[21] Beheshtinia, M. A., et al., (2022). *Evaluating and ranking digital stores' suppliers using TOPKOR method.* International Journal of Engineering, 35(11): p. 2155-2163. https://doi.org/10.5829/ije.2022.35.11b.10.

[22] Mukhametzyanov, I., (2021). *Specific character of objective methods for determining weights of criteria in MCDM problems: Entropy, CRITIC and SD.* Decision Making: Applications in Management and Engineering, 4(2): 76-105. https://doi.org/10.31181/dmame210402076i.

[23] Wang, T.-C. and H.-D. Lee, (2009). *Developing a fuzzy TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights.* Expert systems with applications, 36(5): 8980-8985. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.11.035.

[24] Şahin, M., (2021). *Location selection by multi-criteria decision-making methods based on objective and subjective weightings.* Knowledge and Information Systems, 63(8): 1991-2021. https://doi.org/10.1007/s10115-021-01588-y.

[25] Song, C., Z. Xu, and J. Hou, (2021). *An improved TODIM method based on the hesitant fuzzy psychological distance measure.* International Journal of Machine Learning and Cybernetics, 12(4): p. 973-985. https://doi.org/10.1007/s13042-020-01215-2.

[26] Luo, M., G. Zhang, and L. Wu, (2022). *A novel distance between single valued neutrosophic sets and its application in pattern recognition.* Soft Computing, 26(21): 11129-11137. https://doi.org/10.1007/s00500-022-07407-y.

[27] Karabašević, D., et al., (2020). *A novel extension of the TOPSIS method adapted for the use of single-valued neutrosophic sets and hamming distance for e-commerce development strategies selection.* Symmetry, 12(8): p. 1263. https://doi.org/10.3390/sym12081263.

[28] Ali, M., Z. Hussain, and M.-S. Yang, (2022). *Hausdorff distance and similarity measures for single-valued neutrosophic sets with application in multi-criteria decision making.* Electronics, 12(1): p. 201. https://doi.org/10.3390/electronics12010201.

[29] Ren, H., S. Xiao, and H. Zhou, (2019). *A chi-square distance-based similarity measure of single-valued neutrosophic set and applications*. Infinite Study. http://dx.doi.org/10.15837/ijccc.2019.1.3430.

[30] Gomes, L. and M. Lima, (1991). *TODIMI: Basics and application to multicriteria ranking.* Found. Comput. Decis. Sci, 16(3-4): 1-16. https://fcds.cs.put.poznan.pl/FCDS/Old/1991.htm.

[31] Irvanizam, I., et al., (2020). *An Extended Fuzzy TODIM Approach for Multiple‐Attribute Decision‐Making with*

location problem of multiple cross-docks and vehicle routing scheduling under uncertainty. Engineering Optimization, 45(10): 1223-1249. https://doi.org/10.1080/0305215X.2012.729053.

[5] Rajabzadeh, M. and S. Mousavi, (2023). *A new interval-valued fuzzy optimization model for truck scheduling in a multi-door cross-docking system by considering transshipment and flexible dock doors extra cost.* Iranian Journal of Fuzzy Systems, 20(6): p. 63-84. https://doi.org/10.22111/ijfs.2023.41416.7203.

[6] Rajabzadeh, M., S.M. Mousavi, and F. Azimi, (2024). *A new gray optimization model for disposing or re-commercializing unsold goods in reverse logistics networks with a cross-docking center.* Kybernetes, https://doi.org/10.1108/K-12-2022-1637.

[۷] عظیمی، ف.، س.م. موسوی، م. رجبزاده، (۲۰۱۹). یک مدل برنامه‌ریزی خاکستری برای اسقاط یا تجاری‌سازی مجدد کالاها در عملیات لجستیک معکوس با درنظر گرفتن انبار متقاطع. *نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید.* ۷(۱۴) 163-177: https://doi.org/10.22084/ier.2019.19811.1881.

[۸] رجبزاده، م.، موسوی، س.م.، (۲۰۲۳). یک مدل برنامه‌ریزی امکانی دوهدفه برای زمان‌بندی کامیون در یک سیستم انبار متقاطع با درهای منعطف با درنظر گرفتن زمان حمل‌ونقل درون انبار. *نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید.* ۱۰(۲۱): ۱۱۹-۱۳۳. https://doi.org/10.22084/ier.2023.27388.2115.

[9] EVCİOĞLU, H.E. and M. KABAK, (2023). *Supplier selection in supply chain network using MCDM methods.* Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, 41(1): p. 1-16. https://doi.org/10.14744/sigma.2023.00001.

[10] Jayaraman, V. and A. Ross, (2003). *A simulated annealing methodology to distribution network design and management.* European Journal of Operational Research, 144(3): p. 629-645. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00153-4.

[11] Mousavi, S.M. and B. Vahdani, (2016). *Cross-docking location selection in distribution systems: a new intuitionistic fuzzy hierarchical decision model.* International Journal of computational intelligence Systems, 9(1): p. 91-109. https://doi.org/10.1080/18756891.2016.1144156.

[12] Mousavi, S.M., (2019). *A new interval-valued hesitant fuzzy pairwise comparison–compromise solution methodology: an application to cross-docking location planning.* Neural Computing and Applications, 31: p. 5159-5173. https://doi.org/10.1007/s00521-018-3355-y.

[13] Mousavi, S.M., et al., (2019). *A new decision model for cross-docking center location in logistics networks under interval-valued intuitionistic fuzzy uncertainty.* Transport, 34(1): 30-40. https://doi.org/10.3846/transport.2019.7442.

[14] Nong, T. N.-M., (2022). *A hybrid model for distribution center location selection.* The Asian Journal of Shipping and Logistics, 38(1): 40-49. https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2021.10.003.

[15] Puška, A., A. Štilić, and Ž. Stević, (2023). *A Comprehensive Decision Framework for Selecting Distribution Center Locations: A Hybrid Improved Fuzzy SWARA and Fuzzy CRADIS Approach.* Computation, 11(4): 73. https://doi.org/10.3390/computation11040073.

[16] Agrebi, M. and M. Abed, (2021). *Decision-making from multiple uncertain experts: case of distribution center location selection.* Soft Computing, 25(6): 4525-4544. https://doi.org/10.1007/s00500-020-05461-y.

[17] Ak, M.F. and A. Derya, (2021). *Selection of humanitarian supply chain warehouse location: A case study based on the MCDM methodology.* Avrupa Bilim ve Teknoloji

https://doi.org/10.47750/pnr.2022.13.S03.198.

[46] Trozzi, F., X. Wang, and P. Tao, (2021). *UMAP as a dimensionality reduction tool for molecular dynamics simulations of biomacromolecules: A comparison study.* The Journal of Physical Chemistry B, 125(19): 5022-5034. https://doi.org/10.1021/acs.jpcb.1c02081.

[47] McInnes, L., J. Healy, and J. Melville, (2018). *Umap: Uniform manifold approximation and projection for dimension reduction.* arXiv preprint arXiv: 1802.03426, https://doi.org/10.48550/arXiv.1802.03426.

[48] Krishnan, A.R., et al., (2021). *A modified CRITIC method to estimate the objective weights of decision criteria.* Symmetry, 13(6): 973. https://doi.org/10.3390/sym13060973.

[49] Becht, E., et al., (2019). *Dimensionality reduction for visualizing single-cell data using UMAP.* Nature biotechnology, 37(1): 38-44. https://doi.org/10.1038/nbt.4314.

[50] Elshabshery, A. and M. Fattouh, (2021). *On some Information Measures of Single–Valued Neutrosophic Sets and their Applications in MCDM Problems.* Int. J. Eng. Res. Technol, 10(5): p. 406-415. https://doi.org/10.17577/IJERTV10IS050160.

[51] Goyal, R.K., et al., (2022). *Obtaining Crisp Priorities for Triangular and Trapezoidal Fuzzy Judgments.* Comput. Syst. Sci. Eng., 41(1): p. 157-170. http://dx.doi.org/10.32604/csse.2022.018962.

[52] Zhang, C., et al., (2023). *Performance evaluation of technological service platform: A rough Z-number-based BWM-TODIM method.* Expert Systems with Applications, 230: 120665. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120665.

[53] Kahneman, D., (1979). *Prospect theory: An analysis of decisions under risk.* Econometrica, 47: p. 278. https://doi.org/10.2307/1914185.

[54] Lourenzutti, R. and R.A. Krohling, (2014) *The Hellinger distance in Multicriteria Decision Making: An illustration to the TOPSIS and TODIM methods.* Expert Systems with Applications, 41(9): 4414-4421. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.01.015.

[55] Chang, J., et al., (2021). *A probabilistic linguistic TODIM method considering cumulative probability-based Hellinger distance and its application in waste mobile phone recycling.* Applied Intelligence, 51: p. 6072-6087. https://doi.org/10.1007/s10489-021-02185-w.

[56] Hussain, Z., S. Abbas, and M.-S. Yang, (2022). *Distances and similarity measures of q-rung orthopair fuzzy sets based on the Hausdorff metric with the construction of orthopair fuzzy TODIM.* Symmetry, 14(11): 2467. https://doi.org/10.3390/sym14112467.

[57] Perlibakas, V., (2004). *Distance measures for PCA-based face recognition.* Pattern recognition letters, 25(6): p. 711-724. https://doi.org/10.1016/j.patrec.2004.01.011.

[58] Ye, J., (2013). *Multicriteria decision-making method using the correlation coefficient under single-valued neutrosophic environment.* International Journal of General Systems, 42(4): 386-394. https://doi.org/10.1080/03081079.2012.761609.

[59] Lu, Z., Y. Gao, and W. Zhao, (2020). *A TODIM-based approach for environmental impact assessment of pumped hydro energy storage plant.* Journal of Cleaner Production, 248: 119265. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119265.

Dual-Connection Numbers. Advances in Fuzzy Systems, 1: p. 6190149. https://doi.org/10.1155/2020/6190149.

[32] Lin, M., H. Wang, and Z. Xu, (2020). *TODIM-based multi-criteria decision-making method with hesitant fuzzy linguistic term sets.* Artificial Intelligence Review, 53: p. 3647-3671. https://doi.org/10.1007/s10462-019-09774-9.

[33] Deng, X. and S. Qu, (2020). *Cross-docking center location selection based on interval multi-granularity multicriteria group decision-making.* Symmetry, 12(9): p. 1564. https://doi.org/10.3390/sym12091564.

[34] Okatan, B.S., I. Peker, and B. Birdogan, (2019). *An Integrated DEMATEL-ANP-VIKOR Approach for Food Distribution Center Site Selection: A Case Study of Georgia.* Journal of Management Marketing and Logistics, 6(1): 10-20. https://doi.org/10.17261/Pressacademia.2019.1030.

[35] Durak, İ., et al., (2017). *Warehouse site selection in retail sector: application AHP (Analytical Hierarchy Process) and VIKOR methods.* International Journal of Business and Management Invention (IJBMI), 6(12): 65-73. https://www.ijbmi.org/papers/Vol(6)12/Version-2/H0612026573.pdf.

[36] Muerza, V., et al., (2024). *Selection of an international distribution center location: A comparison between stand-alone ANP and DEMATEL-ANP applications.* Research in Transportation Business & Management, 56: p. 101135. https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2024.101135.

[37] Wang, J., et al., (2024). *Optimizing Cross-Dock Terminal Location Selection: A Multi-Step Approach Based on CI-DEA–IDOCRIW–MABAC for Enhanced Supply Chain Efficiency—A Case Study.* Mathematics, 12(5): p. 736. https://doi.org/10.3390/math12050736.

[38] Quynh, M.P., et al., (2020). *Distribution center location selection using a novel multi criteria decision-making approach under interval neutrosophic complex sets*: Infinite Study. http://dx.doi.org/10.5267/j.dsl.2020.2.001.

[39] Wang, H., et al., (2010). *Single valued neutrosophic sets*. Infinite study. https://fs.unm.edu/SingleValuedNeutrosophicSets.pdf.

[40] Gobinath, V., et al., (2025). *Applications of Neutroscopic Sets in Science, the Humanities, and Education*, in *Data-Driven Modelling with Fuzzy Sets*. CRC Press. 1-14. https://doi.org/10.1201/9781003487104.

[41] Kara, K., et al., (2024). *A single-valued neutrosophic-based methodology for selecting warehouse management software in sustainable logistics systems.* Engineering applications of artificial intelligence, 129: 107626. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.107626.

[42] Kazimieras Zavadskas, E., R. Baušys, and M. Lazauskas, (2015). *Sustainable assessment of alternative sites for the construction of a waste incineration plant by applying WASPAS method with single-valued neutrosophic set.* Sustainability, 7(12): 15923-15936. https://doi.org/10.3390/su71215792.

[43] Kotsiantis, S.B., I.D. Zaharakis, and P.E. Pintelas, (2006). *Machine learning: a review of classification and combining techniques.* Artificial Intelligence Review, 26: p. 159-190. https://doi.org/10.1007/s10462-007-9052-3.

[44] Abdi, H. and L.J. Williams, (2010). *Principal component analysis.* Wiley interdisciplinary reviews: computational statistics, 2(4): 433-459. https://doi.org/10.1002/wics.101.

[45] Mulla, F.R. and A.K. Gupta, (2022). *A review paper on dimensionality reduction techniques.* Journal of Pharmaceutical Negative Results: 1263-1272.

IERPS Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

ISSN: 2345-2269

Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

Autumn and Winter 2024, Volume 12., No. 25., pp. 47-61

www.ier.basu.ac.ir

DOI: https://doi.org/10.22084/ier.2025.30115.2185

Sustainable Cross-Dock Selection Decision Making with a Development of a New Framework Based on Machine Learning and Single-Valued Neutrosophic Set

Ali Qorbani [1], Seyed Meysam Mousavi [2*]

[1] Ph.D. Student Industrial Engineering, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Shahed University, Tehran, Iran
[2] Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Shahed University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

***Article history*:**

Received: 7 - 11 - 2024
Revised: 18 - 12 - 2024
Accepted: 11 - 1 - 2025

***Keywords*:**

Cross-Dock
Single-Valued Neutrosophic Set
Multi-Criteria Decision Making
TODIM Method
Uniform Manifold Approximation and Projection Method

ABSTRACT

Cross-docking is a logistics strategy used to collect, sort, and optimally distribute various products from suppliers to customers. Identifying key criteria for the development and location selection of cross-docks is a crucial topic in logistics network management. Choosing a cross-dock location involves both technical and managerial considerations. Cross-docks play a significant role in the supply chain by facilitating the rapid movement of goods from suppliers to customers. The purpose of this research is to provide an integrated multi-criteria decision-making model for cross-dock evaluation and selection. This study employs an integrated approach combining dimensionality reduction methods and multi-criteria decision-making based on a single-valued Neutrosophic set. To reduce the dimension of the decision matrix and determine the weight of the criteria, we introduced a new method based on the Uniform Manifold Approximation and Projection (UMAP) method and correlation coefficient. Additionally, a TODIM method, developed based on the chi-square distance in the single-valued Neutrosophic environment, was used to rank cross-docks. Through a literature review, we identified 18 criteria in 6 main categories, including sustainability and energy criteria for cross-docks. The results demonstrate the effectiveness of the proposed approach in selecting cross-docks, considering both quantitative and qualitative criteria.

[*] Corresponding author. S.M. Mousavi
Tel.:021-51212091; E-mail address: sm.mousavi@shahed.ac.ir