مجله پژوهش و کاربرد در مکانیک دوره ۱۴ شماره ۲ سال ۱۴۰۳ (۲۰۲۴) ۳۱-۱۴

توسعه یک رویکرد ترکیبی سناریومحور جهت ارزیابی حالت‌های مختلف حمل و نقل با در نظر داشتن مولفه‌های مکانیکی، پایداری، تاب‌آوری و چابکی

بهزاد شهرام[۱]، علی نادران[۲]*، حسن جوانشیر[۳]

۱- دانشجوی دکتری عمران گروه مهندسی عمران، دانشکده عمران، معماری و هنر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

behzad.shahram@srbiau.ac.ir

۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده عمران، معماری و هنر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

*نویسنده مسئول: naderan@srbiau.ac.ir

۳- استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده صنایع، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

H_Javanshir@Azad.ac.ir

چکیده

یکی از مسائل مهم در زنجیره‌های تأمین، انتخاب حالت حمل و نقل صحیح در جابجایی‌ها می‌باشد. معیارها و مولفه‌های متعددی بر این موضوع تاثیرگذار هستند که در زنجیره‌های تأمین مختلف این موضوع متفاوت می‌باشد. هدف مقاله حاضر ارزیابی حالت‌های حمل و نقل در زنجیره تأمین تجهیزات پزشکی مبتنی بر معیارهای مکانیکی، پایداری، چابکی و تاب‌آوری است در شرایط عدم قطعیت می‌باشد. از آنجا که عدم قطعیت در شرایط مختلف تاثیرگذار است در این راستا، ارزیابی حالت‌های حمل و نقل در سناریوهای گوناگون می‌بایست صورت گیرد که به همین جهت از روش بهترین بدترین فازی تصادفی (SFBWM) برای این موضوع و ارزیابی شاخص‌ها استفاده شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که هزینه، سرعت، ظرفیت حمل، انعطاف‌پذیری و اقتصاد ملی مهم‌ترین شاخص‌ها می‌باشند. نوآوری اصلی این مطالعه ارائه رویکرد توسعه یافته مبتنی بر سیستم استنتاج فازی (FIS) می‌باشد که در این روش توسعه‌یافته، شاخص‌های ارزیابی به صورت سلسله مراتبی و وزن‌دار استفاده شده‌اند و روش سیستم استنتاج فازی وزن‌دار سلسله‌مراتبی (HWFIS) ارائه شده است. یافته‌های این بخش نیز نشان می‌دهد که در حمل و نقل زنجیره تأمین تجهیزات بیمارستانی مبتنی بر معیارهای مکانیکی، پایداری، چابکی و تاب‌آوری، هواپیما کاراترین گزینه می‌باشد.

کلمات کلیدی:

انتخاب حالت حمل و نقل، مولفه‌های مکانیکی، پایداری ، تاب‌آوری، چابکی، اکسیژن‌ساز

مقدمه

مدیریت زنجیره تأمین نقش بسیار مهمی در بازار رقابتی و مدرن امروزی ایفا می‌کند. امروزه، مدیران می‌دانند که برای افزایش کارآمدی و بهره‌وری کسب‌وکار خود و کسب مزیت رقابتی، نیاز به توسعه یک برنامه مناسب برای زنجیره تأمین سازمان خود دارند(Pournader et al, 2021). در برنامه‌ریزی زنجیره تأمین، یکی از قسمت‌های حیاتی، شبکه توزیع است که می‌تواند عملکرد زنجیره تأمین را به طور چشمگیری بهبود ببخشد(Abbasi & Choukolaei, 2023). یک برنامه بهینه برای شبکه توزیع می‌تواند هزینه‌ها را (به ویژه هزینه‌های حمل‌ونقل) به طور چشمگیری کاهش دهد و رضایت مشتریان را افزایش دهد(Mogale et al, 2020). در برنامه‌ریزی استراتژیک برای مراکز توزیع، یکی از وظایف حیاتی انتخاب بهترین حالت حمل‌ونقل برای ارسال محصولات است. استفاده از حالت حمل و نقل مناسب می‌تواند عملکرد شبکه توزیع و در نتیجه عملکرد زنجیره تأمین را به طور چشمگیری بهبود ببخشد(Gomes et al, 2023). از آنجا که تعداد و تنوع حالت‌های حمل و نقل زیاد می‌باشند، در سال‌های اخیر به شدت افزایش یافته است، این وظیفه پیچیده‌تر شده است. در این راستا، استفاده از چارچوب‌های تصمیم‌گیری می‌تواند مفید باشد.

در حوزه زنجیره تأمین، در ابتدا و در رویکرد سنتی، تنها ابعاد مالی و اقتصادی زنجیره تأمین مورد توجه قرار می‌گرفت و محققان تنها بر اهداف مالی تمرکز داشتند. پس از مدتی، با افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی، توجه محققان به مشکل گنجاندن ملاحظات زیست‌محیطی (مانند کاهش انتشار کربن) در مسئله مدیریت زنجیره تأمین جلب شد، که به آن زنجیره تأمین سبز گفته می‌شود(Abbasi & Choukolaei, 2023). در جریان تحقیقات بعدی، محققان همچنین مسائل اجتماعی را در طراحی و مدیریت زنجیره‌های تأمین گنجاندند، که منجر به ظهور زنجیره‌های تأمین با مسئولیت اجتماعی شد(Khan et al, 2021). در نهایت، با یکپارچه‌سازی ابعاد مالی، زیست‌محیطی و اجتماعی، محققان زنجیره تأمین پایدار را معرفی کردند که در دو دهه گذشته به یک موضوع پراهمیت تبدیل شده است. در سال‌های اخیر، به دلیل برخی از ملاحظات و مقررات دولتی و بین‌المللی، گنجاندن ابعاد پایداری در کسب‌وکار ضروری است(Khan et al, 2021).

با افزایش چشمگیر نوسانات محیط کسب‌وکار و معرفی اختلالات غیرقابل پیش‌بینی (مانند همه‌گیری COVID-19)، و همچنین ماهیت پویای بازار، توجه محققان و مدیران به مفهوم حیاتی تاب‌آوری جلب شده است(Golan et al, 2021). به طور کلی، تاب‌آوری به عنوان توانایی یک سیستم برای مقابله با اختلالات تعریف می‌شود(Fu et al, 2023) که به دلیل نقش حیاتی مفهوم مذکور، به عنوان ستون اصلی مفاهیم جدید توسعه یافته مانند بادوامی و صنعت ۵.۰ نام برده می‌شود و این موضوع نشان می‌دهد این مفهوم در کسب‌وکارهای امروزی بسیار مهم است.

یکی دیگر از مولفه‌های مهم در مدیریت زنجیره تأمین که طی سال‌های گذشته اهمیت آن بیشتر مورد توجه قرار گرفته است، مفهوم چابکی است. چابکی به عنوان یکی از اصول اساسی در مدیریت زنجیره تأمین، نقش مهمی در پاسخگویی سریع و موثر به تغییرات محیطی و بازار ایفا می‌کند(Centobelli et al, 2020). این مفهوم، به زنجیره‌های تأمین امکان می‌دهد تا در برابر تقاضاهای متغیر مشتری و شرایط بازار نوسانی، به سرعت و با انعطاف‌پذیری بالا عمل کنند(Gomes et al, 2023). چابکی در زنجیره تأمین، از تولید تا تحویل نهایی محصول، اطمینان حاصل می‌کند که فرآیندها قابل تطبیق با شرایط جدید بوده و به سرعت می‌توانند بازآرایی شوند تا بهترین سرویس ممکن را به مشتریان ارائه دهند(Centobelli et al, 2020). افزایش چابکی و نیز پارامترهای مکانیکی در زنجیره تأمین به کاهش زمان عرضه، بهبود کیفیت محصول و کاهش هزینه‌ها کمک کرده و در نهایت، به شرکت‌ها اجازه می‌دهد تا مزیت رقابتی پایداری در بازار کسب کنند. با توجه به سرعت بالای تغییرات بازار و افزایش انتظارات مشتریان، داشتن یک زنجیره تأمین چابک بیش از پیش به یک ضرورت تبدیل شده است(Pournader et al, 2021). به طور کلی چابکی به عنوان ظرفیت یک سیستم برای مقابله با ماهیت پویای محیط کسب‌وکار شناخته می‌شود.

با توجه به اهمیت نکات ذکر شده، مقاله حاضر با هدف ارائه یک چارچوب تصمیم‌گیری ترکیبی برای انتخاب بهترین حالت حمل‌ونقل برای شبکه‌های توزیع در یک زنجیره تأمین پایدار می‌پردازد. برای این منظور، فهرستی از شاخص‌ها بر اساس ادبیات و نظرات کارشناسان

ارائه شده است. سپس، یک روش کارآمد جدید تحت عنوان روش بهترین بدترین تصادفی فازی (SFBWM) برای محاسبه اهمیت شاخص‌ها استفاده می‌شود که با در نظر داشتن سناریوهای مختلف، کارایی بیشتری در وزن‌دهی شاخص‌ها دارد. در مرحله بعدی، با استفاده از رویکرد توسعه یافته سیستم استنتاج فازی وزن‌دار سلسله‌مراتبی (HWFIS) برای ارزیابی حالت‌های حمل‌ونقل بالقوه به کار گرفته می‌شود. به طور کلی، در مقایسه با مقالات قبلی، مزیت اصلی این کار توسعه یک مدل تصمیم‌گیری فازی ترکیبی کارآمد برای بررسی مسئله انتخاب حالت حمل‌ونقل است.

در ادامه مقاله در بخش ۲ روش‌شناسی پژوهش مطرح می‌شود که نخست مبانی نظری و ادبیات تحقیق مطرح شده و سپس روش‌های تجزیه و تحلیل داده‌ها تشریح خواهد شد. سپس در بخش ۳ بحث و نتایج مطرح می‌شوند که نخست شاخص‌های ارزیابی بیان شده و با رویکرد توسعه یافته وزن‌دهی می‌شوند و بعد از آن اقدام به ارزیابی حالت‌های حمل و نقل می‌شود. در نهایت نیز جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ارائه خواهد شد.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در این بخش، نخست به بررسی مبانی نظری مطالعه پرداخته می‌شود و سپس پیشینه پژوهش مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد. در بخش مبانی نظری، حالت‌های حمل و نقل و اهمیت شبکه‌های توزیع مورد بررسی قرار می‌گیرند و سپس مفاهیم پایداری، تاب‌آوری و چابکی و اهمیت آن‌ها در شبکه توزیع مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

الف) حالت‌های حمل و نقل در شبکه‌های توزیع

حالت‌های حمل‌ونقل در شبکه‌های توزیع زنجیره تأمین نقش حیاتی در افزایش کارایی، کاهش هزینه‌ها و بهبود رضایت مشتری دارند(Mishra et al, 2024). هر حالت حمل‌ونقل دارای مزایا و معایب خاص خود است که باید با توجه به نیازهای خاص هر زنجیره تأمین در نظر گرفته شود. یکی از حالت‌های حمل و نقل که شاید پرکاربردترین حالت حمل‌ونقل به ویژه در مسافت‌های کوتاه تا متوسط می‌باشد، حمل و نقل جاده‌ای است. حمل‌ونقل جاده‌ای انعطاف‌پذیری بالایی دارد و امکان دسترسی به نقاط مختلف را فراهم می‌آورد. این حالت برای تحویل سریع و در زمان معین بسیار مناسب است و اغلب برای توزیع نهایی محصولات به مشتریان نهایی استفاده می‌شود(Zahedi et al, 2021). رویکردی دیگر، حمل‌ونقل ریلی است که برای حمل بارهای سنگین و حجم بالا در مسافت‌های طولانی مؤثر است. حمل‌ونقل ریلی اغلب هزینه‌های پایین‌تری نسبت به حمل‌ونقل جاده‌ای دارد، به ویژه هنگامی که مقادیر زیادی از کالاها باید منتقل شوند. این حالت همچنین از نظر زیست محیطی مطلوب‌تر است زیرا انتشار کربن کمتری نسبت به تریلرهای حمل‌ونقل جاده‌ای دارد(Mishra et al, 2024).

حمل‌ونقل دریایی حالت دیگر حمل و نقل است که برای انتقال حجم زیادی از کالا بین قاره‌ها ایده‌آل است. حمل‌ونقل دریایی در مقایسه با سایر حالت‌ها برای مسافت‌های بسیار طولانی اقتصادی‌تر است و قابلیت حمل بارهای بسیار سنگین و حجمی را دارد. این روش بخش مهمی از تجارت بین‌المللی را تشکیل می‌دهد و برای صادرات و واردات عمده استفاده می‌شود(Zahedi et al, 2021). حالت نهایی نیز حمل‌ونقل هوایی است که سریع‌ترین حالت حمل‌ونقل بوده و برای محصولات با ارزش بالا و زمان‌بندی حساس به زمان، مانند محصولات فاسدشدنی و اقلام فوری، بسیار مناسب است. با این حال، این حالت گران‌ترین نوع حمل‌ونقل است و معمولاً برای مواردی که سرعت اولویت دارد، استفاده می‌شود(Mishra et al, 2024).

بنابراین، انتخاب حالت حمل‌ونقل مناسب بر اساس معیارهایی مانند هزینه، زمان، حجم بار، پارامترهای مکانیکی و اثرات زیست‌محیطی بسیار مهم است. مدیریت مؤثر زنجیره تأمین نیازمند درک دقیق از ویژگی‌ها و مزایای هر حالت حمل‌ونقل و توانایی ادغام آن‌ها به نحوی است که به بهترین شکل به اهداف کلی زنجیره تأمین خدمت کند. در این مطالعه متناسب با شاخص‌های مختلف، حالت‌های گوناگون حمل و نقل مورد بررسی و تحلیل قرار خواهند گرفت.

ب) پایداری، پارامترهای مکانیکی، چابکی و تاب‌آوری در شبکه توزیع

در شبکه توزیع و انتخاب حالت‌های حمل و نقل، مولفه‌های مختلف پایداری، پارامترهای مکانیکی، چابکی و تاب‌آوری می‌توانند تاثیرات قابل توجهی بگذارند. پایداری در شبکه توزیع زنجیره تأمین به معنای ادغام ملاحظات زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی در تصمیم‌گیری‌ها و عملیات است. این اصل به کاهش اثرات منفی بر محیط زیست، بهبود رفاه اجتماعی و افزایش کارآمدی اقتصادی کمک می‌کند(Mogale et al, 2020). در شبکه‌های توزیع، پایداری می‌تواند شامل استفاده از منابع بازیافتی برای بسته‌بندی، کاهش انتشار دی‌اکسید کربن در فرآیندهای حمل‌ونقل و به‌کارگیری فناوری‌های کم مصرف در انبارداری باشد(Mangla et al, 2022). این تمرکز بر پایداری به ویژه در بازارهایی که مصرف‌کنندگان نگران تأثیرات محیطی محصولات هستند، می‌تواند به عنوان یک مزیت رقابتی عمل کند و باعث ایجاد وفاداری بیشتر مشتریان شود(Abbasi & Choukolaei, 2023).

چابکی در زنجیره تأمین به معنای توانایی سریع و موثر پاسخ‌گویی به تغییرات و نیازهای بازار است. در شبکه‌های توزیع، چابکی شامل توانایی تطبیق سریع با تغییرات تقاضا، مدیریت مؤثر موجودی‌ها و به‌روزرسانی فرآیندهای توزیع برای حداکثر سازی رضایت مشتری می‌شود. چابکی به شرکت‌ها کمک می‌کند تا در شرایط بازار ناپایدار، مانند تغییرات فصلی یا تأثیرات بیرونی مانند شیوع بیماری‌ها یا بحران‌های اقتصادی، سطح بالایی از خدمات را حفظ کنند(Centobelli et al, 2020). این ویژگی از ضایعات می‌کاهد و به کاهش هزینه‌های عملیاتی منجر می‌شود، زیرا شرکت‌ها می‌توانند به سرعت به بهینه‌سازی سازوکارهای داخلی خود بپردازند(Gomes et al, 2023).

تاب‌آوری در شبکه‌های توزیع زنجیره تأمین به توانایی سیستم برای مقاومت و بازیابی از اختلالات ناگهانی مربوط می‌شود. این شامل توسعه استراتژی‌هایی برای مقابله با ریسک‌های بالقوه، مانند اختلالات زنجیره تأمین، نوسانات شدید بازار یا بلایای طبیعی است(Golan et al, 2021). تاب‌آوری تضمین می‌کند که شبکه‌های توزیع قادر به ادامه عملیات حتی در شرایط دشوار هستند، که این می‌تواند شامل تنوع‌بخشی به منابع تأمین، ایجاد زیرساخت‌های قوی تکنولوژیک و افزایش قابلیت اطمینان پارامترهای مکانیکی در فرآیندهای کلیدی باشد. تاب‌آوری نه تنها به محافظت از عملیات در برابر شوک‌های ناگهانی کمک می‌کند، بلکه اطمینان می‌دهد که شرکت‌ها می‌توانند به سرعت به حالت عادی بازگردند و بنابراین توانایی رقابتی خود را حفظ کنند(Fu et al, 2023).

بنابراین توجه به مولفه‌های مذکور در ارزیابی حالت‌های حمل و نقل شبکه‌های توزیع دارای اهمیت است که در این مطالعه به آن‌ها پرداخته شده است.

ج) بررسی ادبیات تحقیق

در این بخش مرور ادبیات در زمینه ارزیابی بخش‌های مختلف زنجیره تأمین مورد بررسی قرار می‌گیرد. به طور مثال (Nag & Helal, 2016) یک رویکرد فازی جهت انتخاب تأمین‌کننده در سیستم توزیع دارویی ارائه کرده‌اند. روش مورد استفاده جهت ارزیابی توزیع‌کننده Fuzzy TOPSIS می‌باشد که معیارهای ارزیابی شامل کیفیت، تحویل، قیمت، چابکی، سطح سرویس، پارامترهای مکانیکی و برند سازمان می‌باشد. نتایج نشان داد که مدل Fuzzy TOPSIS به راحتی و به طرز مؤثری در محیط‌های نامطمئن قابل اجرا است و پتانسیل تکرار در سایر سناریوهایی که محیط عملیاتی پویا مشابهی دارند را دارد. (Wang et al, 2020) به بررسی مدیریت ریسک در عملیات توزیع مواد غذایی فاسدشدنی پرداخته است. هدف آن‌ها پیش‌بینی یا حتی کنترل خطرات ایمنی غذا در طول توزیع مواد غذایی فاسد شدنی است. مدل آن‌ها با هدف کمینه کردن هزینه‌های توزیع، یک مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با ضریب خطر ایمنی غذا و پنجره زمانی برای مواد غذایی فاسد شدنی ارائه می‌دهند. سپس، با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی وزن–پارامتر بهینه‌سازی نهنگی (WPWOA) مدل مساله حل شده که WPWOA در اکثر توابع معیار به طور قابل توجهی عملکرد بهتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها داشته است و سریع‌تر و قوی‌تر از WOA اصلی بوده و همچنین از همگرایی زودهنگام جلوگیری می‌کند. (Liao et al, 2020) به ارزیابی و انتخاب مرکز توزیع در زنجیره سرد پرداخته‌اند. آن‌ها از روش combined compromise solutions توسعه یافته در محیط

Pythagorean fuzzy استفاده کردند که برای نخستین بار ارائه شده است. آن‌ها از شاخص‌های پایداری در ارزیابی مراکز توزیع استفاده کردند که معیارهای یکپارچگی مرکز توزیع، شرایط منطقه‌ای و درجه آلودگی مهم‌ترین شاخص‌ها در ارزیابی‌ها بودند.
(Wahyuni et al, 2020) یک روش جدید جهت ارزیابی و انتخاب توزیع‌کننده ارائه کرده است. آن‌ها از روش چند معیاری فایده (MAUT) جهت ارزیابی توزیع‌کننده‌ها استفاده کردند. مهم‌ترین معیارهای شناسایی شده در ارزیابی شبکه‌های توزیع کیفیت کالا، قیمت مناسب، مکان استراتژیک و پاسخگویی می‌باشد. طبق بررسی‌های صورت گرفته در مطالعه آن‌ها ۵ توزیع‌کننده به عنوان گزینه‌های برتر انتخاب شدند. (Shamsuzzoha et al, 2020) یک شبکه زنجیره تأمین داده‌محور در شرکت توزیع‌کننده دارویی طراحی کرده است. در عمده‌فروشی، فرآیند لجستیک بخشی مهم از توانایی‌های اصلی است و بهینه‌سازی این فرآیند می‌تواند مزایای رقابتی قابل توجهی را فراهم کند. هدف آن‌ها بررسی علل شکاف‌های زنجیره تأمین و راه‌های کاهش اثرات آن است و اینکه چگونه یک سیستم لجستیک مرکزی هزینه سفر را کمینه کند تا به حملات زیست محیطی آسیب وارد نشود و به فرآیند ورودی شرکت مزایا ارائه کند. نتایج تحقیق نشان داد که سیستم لوله مرکزی می‌تواند جریان اطلاعات بهبود یافته، ظرفیت حمل بار بیشتر و کاهش انتشار CO2 را برای پشتیبانی از زنجیره تأمین و فرآیندهای لجستیک سازگار با محیط زیست و پایدار فراهم کند. (Sazvar et al, 2022) یک مدل داده‌محور برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده متناسب با پارادایم‌های پایداری و تاب‌آوری ارائه کرده‌اند. در مطالعه آن‌ها، ۲۲ معیار مشخص شده‌اند و برای ارزیابی وزن‌دهی شاخص‌ها از FBWM و تعیین قواعد سنجش عملکرد تأمین‌کنندگان از FIS استفاده شده است. هم‌چنین جهت ساخت مدل ارزیابی تأمین‌کنندگان از الگوریتم‌های یادگیری ماشین استفاده شده است. نتایج نشان داده‌اند که مدیران بیشتر به "پاسخگویی" و "توانایی" توجه داشته‌اند و شرکت‌های دیگر می‌توانند از این مدل در تصمیم‌گیری انتخاب تأمین کننده خود بر اساس داده‌های تاریخی استفاده کنند. (Vats et al, 2022) یک رویکرد تصمیم‌گیری در محیط خاکستری برای انتخاب توزیع‌کننده در زنجیره تأمین ارائه کردند. مطالعه موردی بررسی شده در مقاله آن‌ها تولیدکننده قطعات خودرو می‌باشد که ۴ تأمین‌کننده با ۸ معیار ارزیابی شدند. یافته‌ها نشان می‌دهد که معیارهای هزینه، سرعت تحویل و سفارش‌گیری مهم‌ترین معیارهای ارزیابی می‌باشند.
(ForouzeshNejad, 2023) به ارزیابی تأمین‌کنندگان چابک و پایداری در عصر انقلاب صنعتی چهارم پرداخته است. او شاخص‌ها را با استفاده از روش rough best–worst method (RBWM) وزن‌دهی کرده و سپس با استفاده از روش multi-attributive border approximation area comparison (IR-MABAC) تأمین‌کنندگان ارزیابی شدند. مهم‌ترین معیارها در ارزیابی‌های صورت گرفته در مطالعه وی انعطاف‌پذیری تولید، بهبود پارامترهای مکانیکی، هزینه، قابلیت اعتماد، کارخانه هوشمند و کیفیت می‌باشند.
(Nayeri, Khoie et al, 2023) یک مدل داده‌محور جهت ارزیابی تأمین‌کننده در زنجیره تأمین و تخصیص سفارش برای توزیع به آن‌ها ارائه کرده‌اند. روش ارائه شده جهت ارزیابی تأمین‌کنندگان SBWM بوده و سپس با استفاده از الگوریتم‌های داده‌محور پارامترهای شبکه زنجیره تأمین با در نظر گرفتن عدم قطعیت برآورد شده و در نهایت تخصیص سفارش به تأمین‌کنندگان صورت گرفته است. مهم‌ترین شاخص‌های شناسایی شده در مطالعه آن‌ها شامل هزینه، پارامترهای مکانیکی، چابکی و تولید آلودگی می‌باشد. (Zhao et al, 2023) یک رویکرد یکپارچه مبتنی بر مجموعه تئوری تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب تأمین‌کننده پایدار و تاب‌آور و تخصیص سفارش جهت توزیع ارائه کرده‌اند. در مطالعه آن‌ها که یک پژوهش دو سطحی می‌باشد، در بخش نخست تأمین‌کنندگان ارزیابی و انتخاب شده و سپس در مرحله بعد تخصیص سفارش به آن‌ها انجام می‌شود. ارزیابی تأمین‌کنندگان در مطالعه آن‌ها با رویکرد ویکور توسعه یافته انجام شده است و با رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی مدل تخصیص سفارش حل شده است. مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی تأمین‌کنندگان تحویل به موقع محصولات و توانایی مدیریت بحران می‌باشد. (Muneeb et al, 2023) مدلی جهت انتخاب تأمین‌کننده–تولیدکننده و توزیع‌کننده برای محصولات بازسازی‌شده در بستر اقتصاد چرخشی ارائه کرده‌اند. از آنجا که در بستر اقتصاد چرخشی نقش توزیع‌کننده محصولات در برخی موارد به عنوان تأمین‌کننده مواد اولیه از طریق محصولات بازگشتی می‌باشد، لذا این مدل به ارزیابی یکپارچه آن‌ها می‌پردازد. مهم‌ترین معیارها در ارزیابی صورت گرفته در مدل ارائه شده کاهش هزینه‌ها، کاهش اثرات زیست‌محیطی و حداکثرسازی درآمد می‌باشد.
در جدول شماره ۱، خلاصه‌ای از ادبیات تحقیق و مقایسه با این مطالعه نشان داده شده است.

جدول شماره (۱): خلاصه مرور ادبیات تحقیق

محقق (سال)	هدف	معیارهای ارزیابی						عدم قطعیت	روش حل	مطالعه موردی
		اقتصادی	اجتماعی	زیست‌محیطی	چابکی	تاب‌آوری				
Nag & Helal, 2016	ارزیابی تأمین‌کنندگان سیستم توزیع	*			*				Fuzzy Topsis	دارو
Wang et al, 2020	بررسی مدیریت ریسک در شبکه توزیع مواد غذایی فاسدشدنی	*		*					WPWOA	FMCG
Liao et al, 2020	ارزیابی شبکه توزیع	*	*	*					Pythagorean fuzzy CoCoSo	زنجیره تأمین سرد
Wahyuni et al, 2020	ارزیابی توزیع‌کننده	*			*				MAUT	فروشگاه‌های چندکالایی
Shamsuzzoha et al, 2020	طراحی شبکه توزیع	*	*	*					Mathematical model	دارو
Sazvar et al, 2022	ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده	*	*	*		*			FBWM-ML	دارو
Vats et al, 2022	ارزیابی و انتخاب توزیع‌کننده	*			*				Gray MCDM	قطعات خودرو
Nayeri et al, 2023	ارزیابی تأمین‌کننده و تخصیص سفارش جهت توزیع به آن‌ها	*		*		*		*	SBWM – DDFRS	تجهیزات پزشکی
Muneeb et al, 2023	ارزیابی شبکه تأمین‌کننده، تولیدکننده و توزیع‌کننده	*		*					MODM	لوازم خانگی
Forouzeshnejad, 2023	ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده در توزیع	*	*	*	*				RBWM - IR-MABAC	تجهیزات پزشکی
Zhao et al, 2023	ارزیابی تأمین‌کننده و تخصیص سفارش جهت توزیع به آن‌ها	*	*			*			VIKOR-MODM	---
مطالعه حاضر	ارزیابی حالت‌های حمل و نقل در بخش توزیع	*	*	*	*	*		*	FSBWM-WFIS	دستگاه اکسیژن‌ساز

در جمع‌بندی مرور ادبیات مشاهده می‌شود که به طور کلی ارزیابی شبکه‌های توزیع در شبکه‌های زنجیره تأمین به شکل‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. نکته قابل توجه این است که در نظر گرفتن هم‌زمان دسته شاخص‌های تاب‌آوری و پایداری و یا ترکیب آن‌ها با چابکی و پارامترهای مکانیکی در خصوص ارزیابی حالت‌های حمل و نقل در مطالعات مشاهده نمی‌شود. از طرف دیگر در نظر داشتن سناریوهای مختلف در ارزیابی‌ها دارای اهمیت است. بنابراین با توجه به توضیحات بیان شده، نوآوری‌های اصلی مطالعه حاضر که در راستای پاسخ به شکاف‌های تحقیقاتی بیان شده می‌باشد به شرح زیر می‌باشند:

- در نظر گرفتن هم‌زمان معیارهای مکانیکی، پایداری، تاب‌آوری و چابکی در ارزیابی شبکه‌های توزیع برای نخستین بار؛
- در نظر گرفتن عدم قطعیت در ارزیابی شبکه‌های توزیع؛
- ارزیابی توزیع‌کنندگان دستگاه‌های اکسیژن‌ساز؛
- ارائه یک رویکرد ترکیبی جدید توسعه یافته FSBWM-HWFIS

روش پژوهش

در این بخش، روش تحقیق تشریح می‌شود. نخست روش بهترین بدترین فازی تصادفی بررسی می‌شود و سپس روش سیستم استنتاج فازی سلسله‌مراتبی و رویکرد ترکیبی مورد استفاده تشریح می‌شود.

الف) روش بهترین بدترین فازی تصادفی (SFBWM)

همانطور که پیشتر ذکر شد، در این مطالعه، از روش SFBWM برای محاسبه وزن شاخص‌ها استفاده شده است. در این بخش، به طور مختصر این رویکرد تعریف شده است. SFBWM نسخه گسترش‌یافته‌ای از روش سنتی BWM برای مقابله با محیط‌های نامطمئن است. در واقع، این روش کارآمد برای رویارویی با عدم قطعیت‌های مبتنی بر رویداد و عدم قطعیت‌های اپیستمیک توسعه یافته است (Nayeri, Khoie et al, 2023). مزایای اصلی این روش به شرح زیر است (Nayeri, Khoie et al, 2023): (i) این رویکرد قابلیت اطمینان خروجی‌ها را افزایش می‌دهد، (ii) این روش با انواع مختلف عدم قطعیت‌ها سروکار دارد، (iii) این روش به راحتی می‌تواند با روش‌های مختلف ترکیب شود. در ادامه، مراحل SFBWM توضیح داده شده است. فرض کنید که S سناریو با اندیس s و N معیار با اندیس n وجود دارد. احتمال هر سناریو با PS_s نشان داده شده است به گونه‌ای که $\sum_s PS_s = 1$. علاوه بر این، B و W به ترتیب نمایانگر بهترین و بدترین شاخص‌ها باشند که توسط تصمیم‌گیرندگان تعیین شده‌اند. با در نظر گرفتن $\tilde{a}_{Bjs} = (l_{Bjs}, m_{Bjs}, u_{Bjs})$ به عنوان بردار مقایسه فازی بین بهترین شاخص و سایر شاخص‌ها، $\tilde{a}_{jWs} = (l_{jWs}, m_{jWs}, u_{jWs})$ به عنوان بردار مقایسه فازی بین بدترین شاخص و سایر شاخص‌ها، و $\widetilde{ws}_j = (l_{js}^w, m_{js}^w, u_{js}^w)$ به عنوان وزن‌های فازی شاخص‌ها، فرمولاسیون ریاضی SFBWM می‌تواند به صورت مدل (۱) نوشته شود (Nayeri, Khoie et al, 2023) که در آن w_j وزن معیار j ام و $\tilde{\xi}_s^* = (k_s^*, k_s^*, k_s^*)$ است. باید توجه داشت که در هر سناریو، بردارهای مقایسه می‌توانند بر اساس جدول ۱ تشکیل شوند. در نهایت، نسبت سازگاری (CR) می‌تواند بر اساس جدول ۲ و رابطه (۲) محاسبه شود.

$$
\begin{aligned}
&\text{Minimize } \sum_s PS_s \ \tilde{\xi}_s^* \\
&\text{subject to} \\
&\left|\frac{(l_{Bs}^w, m_B^w, u_{Bs}^w)}{(l_{js}^w, m_{js}^w, u_{js}^w)} - (l_{Bjs}, m_{Bjs}, u_{Bjs})\right| \le (k_s^*, k_s^*, k_s^*) && \forall j, s, \\
&\left|\frac{(l_{js}^w, m_{js}^w, u_{js}^w)}{(l_{Ws}^w, m_{Ws}^w, u_{Ws}^w)} - (l_{jWs}, m_{jWs}, u_{jWs})\right| \le (k_s^*, k_s^*, k_s^*) && \forall j, s, \\
&\sum_{j=1}^{n} R(\widetilde{ws}_{js}) = 1 && \forall s, \\
&l_{js}^w \le m_{js}^w \le u_{js}^w && \forall j, s, \\
&w_j = \sum_s P_s \, R(\widetilde{ws}_{js}) && \forall j, \\
&l_{js}^w \ge 0 && \forall j, s.
\end{aligned}
\qquad (1)
$$

جدول شماره (۲): متغیرهای زبانی SFBWM (Nayeri, Khoie et al, 2023)

اصطلاحات زبانی	تابع عضویت
کاملاً مهم (AI)	(3.5, 4, 4.5)
بسیار مهم (VI)	(2.5, 3, 3.5)
نسبتاً مهم (FI)	(1.5, 2, 2.5)
کم اهمیت (WI)	(0.6667, 1, 1.5)
به همان اندازه مهم (EI)	(1, 1, 1)

جدول شماره (۳): مقادیر تعریف شده برای CI (Nayeri, Khoie et al, 2023)

	(EI)	(WI)	(FI)	(VI)	(AI)
$\tilde{a}_{BW}$	(1, 1, 1)	(0.667, 1, 1.5)	(1.5, 2, 2.5)	(2.5, 3, 3.5)	(3.5, 4, 4.5)
CI	3.00	3.80	5.29	6.69	8.04

$$CR = {}^{\xi^*}/_{CI} \qquad (2)$$

ب) سیستم استنتاج فازی وزن‌دار سلسله‌مراتبی (HWFIS)

سیستم استنتاج فازی وزن‌دار (WFIS) یک روش در منطق فازی است که برای تصمیم‌گیری یا پیش‌بینی بر اساس داده‌های ورودی استفاده می‌شود. این روش با گنجاندن وزن‌ها برای قوانین فازی، سیستم استنتاج فازی سنتی را گسترش می‌دهد و امکان کنترل دقیق‌تری بر روند تصمیم‌گیری را فراهم می‌آورد(Amirkhani et al, 2020).

مراحل و گام‌های اجرایی روش WFIS به شرح زیر است(Amirkhani et al, 2020):

مرحله ۱: تعریف دامنه و مجموعه‌های فازی

– متغیرهای درگیر در فرآیند تصمیم‌گیری شناسایی شده و دامنه‌های مربوط به آن‌ها تعریف می‌شوند.

– توابع عضویت به هر مجموعه فازی اختصاص داده می‌شود تا میزان عضویت یک مقدار در یک مجموعه خاص تعیین شود.

مرحله ۲: فرمول‌بندی قوانین فازی

– مجموعه‌ای از قوانین فازی را مشخص کنید که رابطه بین متغیرهای ورودی و متغیر خروجی را بیان می‌کنند.

– هر قانون شامل یک مقدمه (ورودی) و یک نتیجه (خروجی) است. مقدمه با ترکیب مجموعه‌های فازی متغیرهای ورودی با استفاده از عملگرهای منطقی (و، یا، نه) تشکیل می‌شود.

– نتیجه یک مجموعه فازی یا یک مقدار دقیق را به متغیر خروجی اختصاص می‌دهد.

مرحله ۳: ارزیابی درجه سازگاری

– با توجه به مجموعه‌ای از مقادیر ورودی، درجه سازگاری هر قانون فازی با تعیین میزان اینکه مقادیر ورودی هر قانون را برآورده می‌کنند، ارزیابی می‌شود.

– این کار با ارزیابی توابع عضویت متغیرهای ورودی در مقادیر ورودی مربوطه انجام می‌شود.

مرحله ۴: محاسبه وزن‌های فعال‌سازی

– وزن‌های فعال‌سازی بر اساس درجه سازگاری هر قانون فازی اختصاص داده می‌شود.

– وزن فعال‌سازی اهمیت یا ارتباط یک قانون را در فرآیند تصمیم‌گیری نشان می‌دهد.

– محاسبه وزن‌های فعال‌سازی ممکن است بسته به روش مورد استفاده متفاوت باشد. در این مطالعه از رویکرد SFBWM برای وزن‌دهی معیارها استفاده می‌شود. این رویکرد با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف برای مقابله با عدم قطعیت و بر اساس این سناریوها، وزن‌ها به معیارها اختصاص داده می‌شود. در روش WFIS، وزن‌های معیارها با استفاده از روش SFBWM محاسبه می‌شوند.

مرحله ۵: تجمیع خروجی‌های قانون

– نتایج قوانین فازی با استفاده از عملگرهای تجمیع (مانند MAX، SUM) ترکیب می‌شوند تا یک مجموعه فازی واحد یا یک مقدار دقیق به عنوان خروجی تجمیع‌شده به دست آید.

مرحله ۶: غیرفازی کردن خروجی تجمیع‌شده

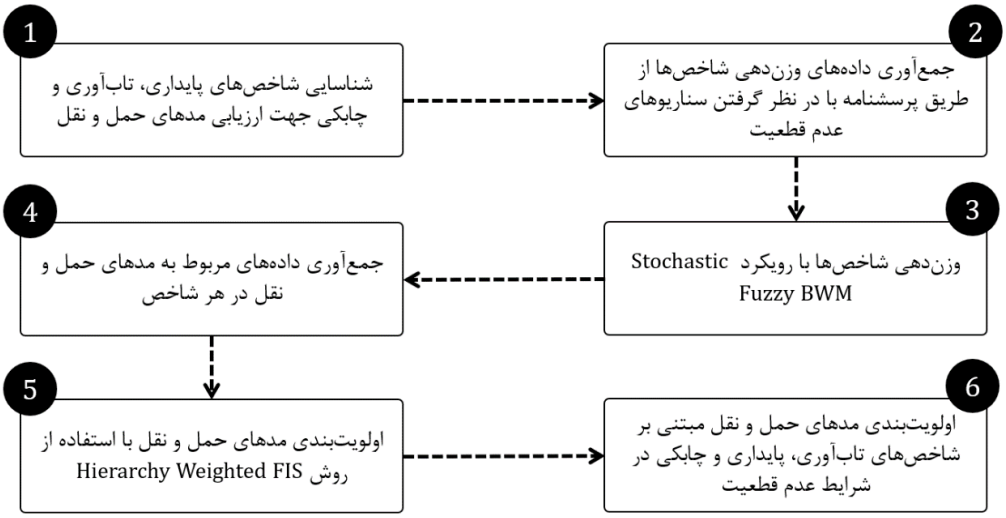
– خروجی تجمیع‌شده که یک مجموعه فازی است به یک مقدار دقیق تبدیل می‌شود که نمایانگر تصمیم نهایی یا پیش‌بینی است.

ج) روش حل ترکیبی

جهت ارزیابی حالت‌های حمل و نقل در مقاله حاضر یک رویکرد ترکیبی تصمیم‌گیری ارائه شده است. از آنجا که در شرایط مختلف عدم قطعیت‌هایی وجود دارد، به طور مثال با وقوع سیل امکان حمل و نقل هوایی راحت‌تر از حمل و نقل‌های زمینی می‌شود، بنابراین در ارزیابی‌ها می‌بایست سناریوهای مختلف را در نظر گرفت. در این راستا جهت وزن‌دهی شاخص‌های ارزیابی که در سه دسته پایداری، تاب‌آوری و چابکی شناسایی و دسته‌بندی می‌شوند، از رویکرد SFBWM استفاده شده که سناریوهای مختلف را در حالت فازی در نظر می‌گیرد.

با مشخص شدن وزن شاخص‌ها با استفاده از رویکرد HWFIS مدهای حمل و نقل که هدف اصلی مطالعه حاضر می‌باشند وزن‌دهی و اولویت‌بندی می‌شوند. رویکرد مورد استفاده جهت ارزیابی مدهای حمل و نقل FIS سلسله مراتبی می‌باشد که نخست مبتنی بر شاخص‌های هر دسته از پایداری، تاب‌آوری و چابکی امتیاز آن‌ها در این دسته‌ها مشخص شده و سپس با استفاده از وزن دسته‌ها، امتیاز و اولویت‌بندی نهایی مدهای حمل و نقل مشخص می‌شود.

با توجه به توضیحات بیان شده، گام‌های مقاله حاضر در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل شماره (۱): روش ترکیبی استفاده شده در این مطالعه

مزایای این روش ارائه شده نسبت به روش‌های دیگر شامل موارد زیر می‌باشد:

- مقابله با عدم قطعیت با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف در ارزیابی شاخص‌ها؛
- قابلیت تعریف تعداد بالای شاخص در ارزیابی‌ها به دلیل ساختار سلسله‌مراتبی HWFIS؛
- دخیل کردن وزن شاخص‌ها در ارزیابی مدهای حمل و نقل در روش HWFIS.

بحث و نتیجه‌گیری

در این بخش یافته‌های پژوهش تشریح می‌شوند که در گام نخست شاخص‌های ارزیابی مطرح می‌شود و سپس شاخص‌ها وزن‌دهی و مبتنی بر روش ترکیبی گزینه‌ها که همان حالت‌های حمل و نقل می‌باشند، ارزیابی می‌شوند.

الف) مطالعه موردی و شاخص‌های ارزیابی

مطالعه موردی مقاله حاضر ارزیابی حالت‌های حمل و نقل جهت جابجایی تجهیزات پزشکی و به طور خاص دستگاه اکسیژن‌ساژ در کشور ایران و کشورهای حاشیه خلیج‌فارس می‌باشد. از آنجا که این مراوده به صورت دو طرفه می‌باشد از تمامی روش‌های حمل و نقل

مانند خطوط هوایی، دریایی، ریلی و انواع خطوط زمینی می‌توان استفاده کرد. در این راستا، ساختار کلی حمل و نقلی مطالعه حاضر در شکل شماره ۲ نشان داده شده است.

شکل شماره (۲): شکل مطالعه موردی

جهت ارزیابی حالت‌های حمل و نقل شاخص‌های مکانیکی، پایداری، تاب‌آوری و چابکی در نظر گرفته شده است. دلیل انتخاب شاخص‌های پایداری اهمیت موضوعات زیست‌محیطی و اشتغال‌زایی می‌باشد. هم‌چنین به دلیل اهمیت تاب‌آوری و مدیریت بحران در حمل و نقل‌ها، شاخص‌های تاب‌آوری نیز در نظر گرفته شده و در کنار این مسائل شاخص‌های چابکی نیز دارای اهمیت است که سرعت جابجایی را بتوان در ارزیابی‌ها در نظر گرفت. شاخص‌های شناسایی شده در مقاله حاضر در جدول‌های ۴ تا ۶ نشان داده شده است.

جدول شماره (۴): شاخص‌های چابکی ارزیابی مدهای حمل و نقل

شاخص	تعریف	منبع
(C01) هزینه	اثربخشی روش حمل و نقل از نظر قیمت	Wahyuni et al, 2020 Nag & Helal, 2016
(C02) سرعت	سرعت حالت حمل و نقل در جابجایی محصولات	Wahyuni et al, 2020 Nayeri et al, 2023
(C03) حمل و نقل	انعطاف‌پذیری و قابلیت اطمینان حالت حمل و نقل از نظر حمل و نقل	Nayeri et al, 2023
(C04) میزان شکست	میزان خرابی دستگاه ها و امکانات مرتبط با حالت حمل و نقل	Wahyuni et al, 2020

جدول شماره (۵): شاخص‌های تاب‌آوری ارزیابی حالت‌های حمل و نقل

شاخص	تعریف	منبع
(C05) ظرفیت حمل	ظرفیت حمل و نقل در هر سفر حمل و نقل	Sazvar et al, 2022 Nayeri et al, 2023
(C06) انعطاف‌پذیری	انعطاف‌پذیری حالت حمل و نقل در میزان بار حمل شده در هر سفر	Zhao et al, 2023
(C07) امنیت	سطح ایمنی محموله در هنگام بارگیری و جابجایی	Nayeri et al, 2023
(C08) مدیریت بحران طبیعی	توانایی مدیریت حمل و نقل در زمان بحران های طبیعی مانند سیل و زلزله	Zhao et al, 2023 Sazvar et al, 2022

جدول شماره (۶): شاخص‌های پایداری ارزیابی حالت‌های حمل و نقل

شاخص	تعریف	منبع
(C09) مدیریت پسماند	قابلیت حالت حمل و نقل در مدیریت و کاهش ضایعات	Zhao et al, 2020 Sazvar et al, 2022
(C10) اقتصاد ملی	میزان تأثیر حالت حمل و نقل بر اقتصاد ملی	Shamsuzzoha et al, 2020
(C11) فرصت‌های شغلی	فرصت‌های شغلی ایجاد شده توسط حالت حمل و نقل	Zhao et al, 2020
(C12) مصرف انرژی	مصرف انرژی فسیلی در حالت‌های حمل و نقل	Jacyna et al, 2014
(C13) انتشار گازهای گلخانه‌ای	توانایی حالت حمل و نقل برای کنترل و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای	Zhao et al, 2020 Jacyna et al, 2014

ب) وزن‌دهی شاخص‌ها

در این بخش، خروجی‌های به دست آمده از SFBWM ارائه شده است. باید توجه داشت که برای جمع‌آوری داده‌ها، سه گروه از کارشناسان به ما کمک کرده‌اند و بردارهای مقایسه بر اساس میانگین نظرات کارشناسان شکل گرفته است. به این ترتیب، جدول شماره ۷ وزن شاخص‌ها را نشان می‌دهد. همانطور که در جدول شماره ۷ دیده می‌شود، از بین جنبه‌ها، چابکی به عنوان مهمترین جنبه انتخاب شده است و پایداری و تاب‌آوری دارای رتبه و وزن یکسانی هستند. از بین معیارهای چابکی، هزینه و کیفیت به عنوان بهترین شاخص‌ها انتخاب شده‌اند. همچنین، از بین شاخص‌های تاب‌آوری، انعطاف‌پذیری و ظرفیت حمل و نقل بر اساس شاخص‌های مکانیکی به عنوان مهمترین‌ها محاسبه شده‌اند. در نهایت، از بین معیارهای پایداری، مدیریت پسماند و انتشار گازهای گلخانه‌ای به عنوان مهمترین شاخص‌ها شناسایی شده‌اند. علاوه بر این، جدول شماره ۸ ارزش CR برای هر مرحله را نمایش می‌دهد. بر اساس جدول شماره ۸، برای تمام مراحل، ارزش CR کمتر از ۰.۱ و نزدیک به صفر است، که این امر قابلیت اطمینان و صحت خروجی‌های به دست آمده را تأیید می‌کند.

جدول شماره (۷): وزن شاخص‌های ارزیابی حالت‌های حمل و نقل

بعد	وزن بعد	شاخص	وزن داخلی شاخص	وزن نهایی شاخص
چابکی	۰.۳۴	(C01) هزینه	۰.۲۶	۰.۰۸۸۴
		(C02) سرعت	۰.۲۶	۰.۰۸۸۴
		(C03) حمل و نقل	۰.۲۳	۰.۰۷۸۲
		(C04) میزان شکست	۰.۲۵	۰.۰۸۵
تاب‌آوری	۰.۳۳	(C05) ظرفیت حمل	۰.۲۶	۰.۰۸۵۸
		(C06) انعطاف‌پذیری	۰.۲۹	۰.۰۹۵۷
		(C07) امنیت	۰.۲۲	۰.۰۷۲۶
		(C08) مدیریت بحران طبیعی	۰.۲۳	۰.۰۷۵۹
پایداری	۰.۳۳	(C09) مدیریت پسماند	۰.۲۶	۰.۰۸۵۸
		(C10) اقتصاد ملی	۰.۲۷	۰.۰۸۹۱
		(C11) فرصت‌های شغلی	۰.۱۸	۰.۰۵۹۴
		(C12) مصرف انرژی	۰.۱۴	۰.۰۴۶۲
		(C13) انتشار گازهای گلخانه‌ای	۰.۱۵	۰.۰۴۹۵

جدول شماره (۸): نرخ ناسازگاری مراحل مختلف ارزیابی شاخص‌ها

مرحله	نرخ ناسازگاری
ابعاد کلی	۰.۰۴۹۵
شاخص‌های چابکی	۰.۰۶۱۸۶
شاخص‌های تاب‌آوری	۰.۰۵۸۱۳
شاخص‌های پایداری	۰.۰۶۷۲۵

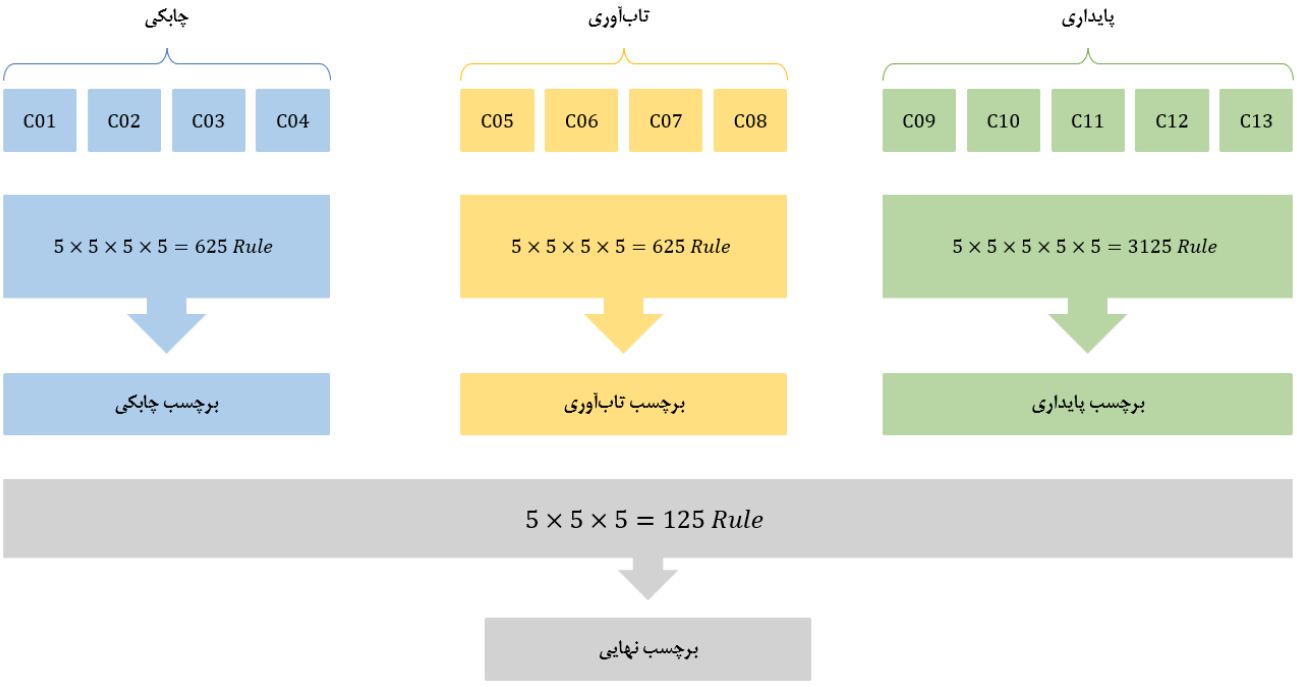
ج) تعیین برچسب داده‌ها با تحلیل پوششی داده‌ها

در این بخش، ارزیابی مدهای حمل و نقل متناسب با معیارهای مکانیکی، پایداری، تاب‌آوری و چابکی با رویکرد سیستم استنتاج فازی وزن‌دار سلسله مراتبی ارائه می‌شود. در این رویکرد جدید، در گام نخست مدهای حمل و نقل مبتنی بر ابعاد چابکی، تاب‌آوری و پایداری به طور جداگانه ارزیابی شده و سپس ارزیابی نهایی ارائه می‌شود. ساختار وزن‌دهی ارزیابی‌ها مبتنی بر اعداد فازی پنج‌گانه که در جدول شماره ۹ نشان داده شده است استفاده می‌شود.

جدول شماره (۹): اعداد فازی مورد استفاده در ارزیابی‌ها

مقیاس زبانی	عدد فازی مثلثی	عبارت کلامی
کارایی خیلی پایین	(1,1,1)	VL
کارایی پایین	(1,3,5)	L
کارایی متوسط	(3,5,7)	M
کارایی بالا	(5,7,9)	H
کارایی خیلی بالا	(7,9,11)	VH

ساختار سلسله‌مراتبی ارزیابی مدهای حمل و نقل نیز در شکل شماره ۳ نشان داده شده است.



شکل شماره (۲): ساختار سیستم استنتاج فازی سلسله‌مراتبی ارزیابی حالت‌های حمل و نقل

متناسب با ساختار سلسله‌مراتبی فازی بیان شده، ۶ حالت حمل و نقل مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرند. حالت‌های حمل و نقل شامل قطار باری، تراک‌های باری، کامیونت‌ها، هواپیما، کشتی و قایق می‌باشد که ارزیابی‌های مربوط به این گزینه‌ها در جدول‌های ۱۰ تا ۱۵ نشان داده شده است.

جدول شماره (۱۰): ارزیابی حالت حمل و نقل قطار

شاخص	مقدار	برچسب دسته	برچسب نهایی
C01	H	H	M
C02	VH		
C03	M		
C04	H		
C05	M	M	
C06	M		
C07	VH		
C08	M		
C09	H	M	
C10	H		
C11	L		
C12	M		
C13	M		

جدول شماره (۱۱): ارزیابی حالت حمل و نقل تراک

شاخص	مقدار	برچسب دسته	برچسب نهایی
C01	H	L	L
C02	L		
C03	M		
C04	L		
C05	L	L	
C06	L		
C07	L		
C08	VL		
C09	M	M	
C10	L		
C11	M		
C12	M		
C13	L		

جدول شماره (۱۲): ارزیابی حالت حمل و نقل کامیونت

شاخص	مقدار	برچسب دسته	برچسب نهایی
C01	H	M	L
C02	M		
C03	M		
C04	L		
C05	VL	L	
C06	M		
C07	L		
C08	VL		
C09	M	L	
C10	L		
C11	L		
C12	M		
C13	L		

جدول شماره (۱۳): ارزیابی حالت حمل و نقل هواپیما

شاخص	مقدار	برچسب دسته	برچسب نهایی
C01	M	VH	VH
C02	VH		
C03	VH		
C04	VH		
C05	H	H	
C06	H		
C07	H		
C08	H		
C09	H	H	
C10	VH		
C11	M		
C12	H		
C13	H		

جدول شماره (۱۴): ارزیابی حالت حمل و نقل کشتی

شاخص	مقدار	برچسب دسته	برچسب نهایی
C01	M	M	H
C02	VL		
C03	H		
C04	H		
C05	VH	H	
C06	VH		
C07	H		
C08	M		
C09	VH	H	
C10	H		
C11	H		
C12	H		
C13	H		

جدول شماره (۱۵): ارزیابی حالت حمل و نقل قایق

شاخص	مقدار	برچسب دسته	برچسب نهایی
C01	VH	M	M
C02	M		
C03	L		
C04	L		
C05	L	L	
C06	M		
C07	VL		
C08	VL		
C09	VH	H	
C10	M		
C11	M		
C12	H		
C13	H		

نکته قابل توجه این است که تمامی شاخص‌ها با رویکرد مثبت پاسخ داده شده است، به عبارتی اگر یک حالت حمل و نقل از جنبه نرخ خرابی امتیاز VH را گرفته است به معنای پایین بودن نرخ خرابی آن می‌باشد. طبق خروجی‌های جداول فوق مشاهده می‌شود که هواپیما بهترین گزینه انتخاب شده است که در دسته چابکی نیز به دلیل سرعت بالای آن و نرخ خرابی به نسبت کمتر دیگر مدهای حمل و نقل بهترین گزینه می‌باشد. در دسته تاب‌آوری کشتی و هواپیما بهترین گزینه‌ها بوده و در دسته پایداری هواپیما، کشتی و قایق بهترین گزینه‌ها انتخاب شدند. به طور کلی رتبه مدهای حمل و نقل ارزیابی شده به ترتیب شامل هواپیما، کشتی، قطار، قایق، کامیونت و تراک می‌باشد.

د) اعتبارسنجی روش توسعه داده‌شده

جهت اعتبارسنجی روش پیشنهادی، ارزیابی مدهای حمل و نقل با روش‌های ترکیبی FBWM-FVIKOR و FAHP-FTOPSIS نیز انجام شده و مقایسه شدند که بتوان اعتبار یافته‌های این روش را مورد بررسی قرار داد. در جدول شماره ۱۶ مقایسه بین رتبه‌های مربوط به مدهای مختلف حمل و نقل نشان داده شده است. طبق یافته‌های این بخش مشاهده می‌شود که ارزیابی‌ها در یک راستا می‌باشند و نشان از عملکرد مناسب رویکرد توسعه داده شده می‌باشد؛ اما نکته قابل توجه این است که رویکرد توسعه یافته در این مطالعه قابلیت تعریف سناریوهای مختلف و هم‌چنین مقایسه رتبه‌های آن‌ها در حالت‌های گوناگون را نیز می‌دهد.

جدول شماره (۱۶): ارزیابی حالت حمل و نقل با روش‌های مختلف

مدل حمل و نقل	FSBWM-HWFIS	FBWM-FVIKOR	FAHP-FTOPSIS
قطار	۳	۳	۴
تراک	۶	۶	۵
کامیونت	۵	۵	۶
هواپیما	۱	۱	۱
کشتی	۲	۲	۲
قایق	۴	۴	۳

هـ) جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

این مطالعه یک روش ترکیبی جدید جهت ارزیابی مدهای حمل و نقل در شرایط عدم قطعیت ارائه کرده است. معیارهای ارزیابی جهت مدهای حمل و نقل در این مقاله شامل پارامترهای مکانیکی، پایداری، تاب‌آوری و چابکی می‌باشد. در لجستیک و حمل و نقل زنجیره تأمین چابکی دارای اهمیت بالایی می‌باشد؛ زیرا مساله سرعت و تحویل به موقع محصولات در مقصد به خصوص در حوزه تجهیزات پزشکی و زنجیره تأمین بیمارستانی که مطالعه موردی حاضر می‌باشد ضروری است. نکته قابل توجه دیگر این است که در کنار چابکی، تاب‌آوری مدهای حمل و نقل نیز دارای اهمیت می‌باشد. توانایی مدیریت بحران و مقابله با ریسک‌های احتمالی و هم‌چنین امنیت و ایمنی تجهیزات در حین حمل و نقل پراهمیت بوده که در ارزیابی‌های این مطالعه به آن‌ها نیز پرداخته شده است. در کنار این معیارها، با توجه به اهمیت مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی در کنار مباحث اجتماعی، معیارهای پایداری نیز همواره دارای ضرورت و اهمیت بوده که ارزیابی‌ها در این مطالعه مبتنی بر معیارهای چابکی، تاب‌آوری و پایداری انجام شده است. یافته‌ها نشان داد که انعطاف‌پذیری، سرعت، ظرفیت حمل، تاثیرات زیست‌محیطی و تاثیرات بر اقتصاد ملی مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی می‌باشند.

از جنبه موضوعی، ارزیابی شبکه‌های توزیع یا سیستم‌های توزیع در زنجیره‌های تأمین مبتنی بر معیارهای پایداری (Shamsuzzoha et al, 2020)، مبتنی بر معیارهای چابکی (Liao et al, 2020) و مبتنی بر معیارهای تاب‌آوری (Nayeri, Khoie et al, 2023) انجام

شده است اما در نظر گرفتن هم‌زمان سه پارادایم پایداری، پارامترهای مکانیکی، چابکی و تاب‌آوری در ارزیابی‌ها در مطالعه‌ای یافت نشده که از این جهت این مقاله دارای نوآوری اساسی می‌باشد. هم‌چنین در نظر گرفتن عدم قطعیت در ارزیابی‌ها نیز دیگر مساله کلیدی بوده که در این مقاله در نظر گرفته شده است.

روش مورد استفاده در این مقاله نیز برای نخستین بار ارائه شده است. از رویکرد بهترین بدترین فازی توسعه‌یافته استفاده شده است که عدم قطعیت را با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف در ارزیابی شاخص‌ها در نظر می‌گیرد. اما بخش اصلی نوآوری این روش ساختار سلسله‌مراتبی و وزن‌دار FIS می‌باشد که رویکردی جدید با عنوان Hierarchy Weighted FIS ارائه شده است. در این روش نخست مبتنی بر شاخص‌های چابکی، تاب‌آوری و پایداری برچسب کارایی مدهای حمل و نقل متناسب با هر دسته مشخص می‌شود و سپس مبتنی بر خروجی‌های آن‌ها رتبه‌بندی نهایی انجام می‌شود. با طراحی چنین رویکردی، می‌توان هر تعداد شاخصی را در ارزیابی‌ها در نظر گرفت.

طبق خروجی‌های به دست آمده در این مقاله مشاهده می‌شود که در طراحی شبکه زنجیره تأمین تجهیزات بیمارستانی، با وجود گزینه‌های مختلف حمل و نقلی با پارامترهای مکانیکی متفاوت مانند راه‌های زمینی، دریایی و هوایی، بهترین گزینه از جنبه چابکی و سرعت عمل و مباحث تاب‌آوری و پایداری حمل و نقل هوایی می‌باشد. توانایی مدیریت بحران و مدیریت ریسک در این مد حمل و نقل از موارد دریایی و زمینی بیشتر بوده و هم‌چنین از جنبه سرعت عمل و چابکی نیز کارایی بالاتری نسبت به دیگر گزینه‌ها دارد. از دیگر سو، از جنبه زیست‌محیطی و مسائل اقتصاد ملی نیز حمل و نقل هوایی کارایی بیشتری داشته که به همین جهت برترین گزینه در جابجایی تجهیزات پزشکی انتخاب شده است.

در ادامه این مطالعه پیشنهاد می‌شود ارزیابی صورت گرفته در این ساختار برای صنایع و مطالعات موردی دیگر نیز مورد بررسی قرار گرفته و نتایج و یافته‌های آن‌ها با نتایج این مقاله مقایسه شود. هم‌چنین در توسعه روش ارائه شده در این مقاله برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود که ساختار Stochastic و سناریومحوری را در روش HWFIS اضافه کرد تا ارزیابی گزینه‌ها نیز متناسب با سناریوهای مختلف صورت گیرد.

مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان به نسبت سهم برابر در این پژوهش مشارکت داشته‌اند.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

References

Abbasi, S., & Choukolaei, H. A. (2023). A systematic review of green supply chain network design literature focusing on carbon policy. Decision Analytics Journal, 6, 100189.

Amirkhani, A., Nasiriyan-Rad, H., & Papageorgiou, E. I. (2020). A novel fuzzy inference approach: neuro-fuzzy cognitive map. International Journal of Fuzzy Systems, 22, 859-872

Centobelli, P., Cerchione, R., & Ertz, M. (2020). Agile supply chain management: where did it come from and where will it go in the era of digital transformation?. Industrial Marketing Management, 90, 324-345.

ForouzeshNejad AA. Leagile and sustainable supplier selection problem in the industry 4.0 era: a case study of the medical devices using hybrid multi-criteria decision making tool. Environ Sci Pollut Res. 2023;30(5):13418–37 .

Fu, W., Jing, S., Liu, Q., & Zhang, H. (2023). Resilient supply chain framework for semiconductor distribution and an empirical study of demand risk inference. Sustainability, 15(9), 7382.
Golan, M. S., Trump, B. D., Cegan, J. C., & Linkov, I. (2021). The vaccine supply chain: a call for resilience analytics to support COVID-19 vaccine production and distribution. In COVID-19: systemic risk and resilience (pp. 389-437). Cham: Springer International Publishing.
Gomes, K. R., Perera, H. N., Thibbotuwawa, A., & Sunil-Chandra, N. P. (2023). Comparative analysis of lean and agile supply chain strategies for effective vaccine distribution in pandemics: A case study of COVID-19 in a densely populated developing region. Supply Chain Analytics, 3, 100022.
Khan, S. A. R., Yu, Z., Golpira, H., Sharif, A., & Mardani, A. (2021). A state-of-the-art review and meta-analysis on sustainable supply chain management: Future research directions. Journal of Cleaner Production, 278, 123357.
Liao H, Qin R, Wu D, Yazdani M, Zavadskas EK. Pythagorean fuzzy combined compromise solution method integrating the cumulative prospect theory and combined weights for cold chain logistics distribution center selection. Int J Intell Syst. 2020;35(12):2009–31 .
Mangla, S. K., Kazançoğlu, Y., Yıldızbaşı, A., Öztürk, C., & Çalık, A. (2022). A conceptual framework for blockchain-based sustainable supply chain and evaluating implementation barriers: A case of the tea supply chain. Business strategy and the environment, 31(8), 3693-3716.
Mishra, A., Dutta, P., & Gottipalli, N. (2024). An optimization model for the downstream supply chain network, considering consolidated warehouses and the selection of transportation mode. International Journal of Productivity and Performance Management, 73(3), 912-942.
Mogale, D. G., Cheikhrouhou, N., & Tiwari, M. K. (2020). Modelling of sustainable food grain supply chain distribution system: a bi-objective approach. International Journal of Production Research, 58(18), 5521-5544.
Muneeb SM, Asim Z, Hajiaghaei-Keshteli M, Abbas H. A multi-objective integrated supplier selection-production-distribution model for re-furbished products: Towards a circular economy. Renew Sustain Energy Rev. 2023; 175:113156.
Nag K, Helal M. A Fuzzy TOPSIS approach in multi-criteria decision making for supplier selection in a pharmaceutical distributor. In: 2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). IEEE; 2016. p. 1126–30 .
Nayeri S, Khoei MA, Rouhani-Tazangi MR, GhanavatiNejad M, Rahmani M, Tirkolaee EB. A data-driven model for sustainable and resilient supplier selection and order allocation problem in a responsive supply chain: A case study of healthcare system. Eng Appl Artif Intell. 2023; 124:106511.
Pournader, M., Ghaderi, H., Hassanzadegan, A., & Fahimnia, B. (2021). Artificial intelligence applications in supply chain management. International Journal of Production Economics, 241, 108250.
Sazvar Z, Tavakoli M, Ghanavati-Nejad M, Nayeri S. Sustainable-resilient supplier evaluation for high-consumption drugs during COVID-19 pandemic using a data-driven decision-making approach. Sci Iran. 2022 ;
Shamsuzzoha A, Ndzibah E, Kettunen K. Data-driven sustainable supply chain through centralized logistics network: Case study in a Finnish pharmaceutical distributor company. Curr Res Environ Sustain. 2020; 2:100013 .
Vats P, Soni G, Rathore APS, Shukla OJ. Grey-based decision-making approach for the selection of distributor in a supply chain. Int J Intell Enterp. 2022;9(2):207–25 .
Wahyuni R, Defit S, Nurcahyo GW. The Multi Attribute Utility Theory (Death) Method In The Decision Of The Distributor Distributor Selection (Metode Multi Attribute Utility Theory (Maut) Dalam Keputusan Pemilihan Distributor Barang). J KomtekInfo. 2020;7(2):84–100 .

Wang Y, Yang C, Hou H. Risk management in perishable food distribution operations: A distribution route selection model and whale optimization algorithm. Ind Manag Data Syst. 2020;120(2):291–311 .

Zahedi, A., Salehi-Amiri, A., Hajiaghaei-Keshteli, M., & Diabat, A. (2021). Designing a closed-loop supply chain network considering multi-task sales agencies and multi-mode transportation. Soft Computing, 25, 6203-6235.

Zhao P, Ji S, Xue Y. An integrated approach based on the decision-theoretic rough set for resilient-sustainable supplier selection and order allocation. Kybernetes. 2023;52(3):774–808.