

بررسی وزن مؤلفه‌های شاخص عملکرد لجستیک (LPI) بر اساس نوع کالا (ارزیابی به روش بهترین-بدترین آرمانی و بازنگری رتبه‌بندی کشورها)

مقاله علمی- پژوهشی

*عبدالرضا شیخ‌الاسلامی (نویسنده مسئول)، دانشیار، گروه برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم‌وصنعت ایران، تهران، ایران
شاهین حسینی، دانشجوی دکتری، گروه برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم‌وصنعت ایران، تهران، ایران
علی نوردی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم‌وصنعت ایران، تهران، ایران
راضیه آسوده، دانشجوی دکتری، گروه برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم‌وصنعت ایران، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Sheikh@iust.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۱۵ - پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۲۸

صفحه ۲۲۸-۲۰۹

چکیده

لجستیک به‌عنوان شبکه‌ای پیچیده از خدمات برای جابه‌جایی کالا و پشتیبانی از مبادلات داخلی و برون‌مرزی شناخته می‌شود. شاخص عملکرد لجستیک (LPI) که بانک جهانی از سال ۲۰۰۷ معرفی کرده است، هر دو سال یک‌بار کشورهای مختلف را بر اساس شش مؤلفه کلیدی رتبه‌بندی می‌کند؛ مؤلفه‌هایی که تاکنون وزن یکسانی داشته‌اند. کارآمدی نظام لجستیکی نقش تعیین‌کننده‌ای در رشد اقتصادی و دسترس‌پذیری کشورهای به بازارهای جهانی دارد، در حالی که ناکارآمدی آن هزینه تجارت و زمان دسترس‌پذیری را افزایش می‌دهد. هدف پژوهش حاضر بررسی اثر نوع کالای حمل‌شده بر اهمیت نسبی مؤلفه‌های LPI است. بدین منظور کالاهای در چهار گروه فله خشک، نیازمند کنترل دما، خطرناک و جنرال کارگو طبقه‌بندی شدند و با بهره‌گیری از پرسشنامه خبرگان و روش بهترین-بدترین آرمانی (GPBWM) وزن هر مؤلفه برای هر گروه تعیین گردید. یافته‌ها نشان می‌دهد که در کالاهای فله خشک و خطرناک، زیرساخت‌ها بیشترین اهمیت را دارند؛ در کالاهای نیازمند کنترل دما، کفایت و کیفیت خدمات لجستیکی اولویت بالاتری دارد و در جنرال کارگو، حمل‌ونقل بین‌المللی مؤلفه اصلی محسوب می‌شود. بر اساس این اوزان، بازنگری در رتبه‌بندی LPI کشورهای تغییرات معناداری را نشان داد. این نتایج به کشورهای امکان می‌دهد متناسب با ترکیب کالایی صادرات و واردات خود، بر مؤلفه‌های کلیدی تمرکز کرده و سیاست‌های بهبود عملکرد لجستیکی را هدفمند طراحی نمایند.

واژه‌های کلیدی: شاخص عملکرد لجستیک (LPI)، نوع کالا؛ وزن‌دهی مؤلفه‌ها؛ روش بهترین-بدترین آرمانی (GPBWM)،

تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)، رتبه‌بندی کشورها

۱- مقدمه

لجستیک به‌عنوان یک شبکه گسترده از خدمات، مسئولیت جابه‌جایی فیزیکی کالاها و حمایت از تجارت داخلی و بین‌المللی را بر عهده دارد و فراتر از حمل‌ونقل، شامل فعالیت‌هایی همچون انبارداری، کارگزاری، ترخیص از مرز، تحویل سریع، سیستم‌های پرداخت و ارائه خدمات زیرساختی مانند پایانه‌ها می‌شود. این

فعالیت‌ها بخشی از زنجیره ارزش هستند که جریان مؤثر کالاها، خدمات و اطلاعات را از منبع تا مصرف‌کننده برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل می‌کنند (R. De Souza, 2007). با افزایش ارتباطات بین‌الملتی و گسترش تجارت جهانی، اهمیت «لجستیک تجاری» بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته و شاخص‌ها و داده‌های

۲- پیشینه تحقیق

مرور ادبیات موجود درباره شاخص عملکرد لجستیک (LPI) عمدتاً بر سنجش کلی عملکرد کشورها و تبیین نقش مؤلفه‌هایی چون زیرساخت، ترخیص گمرکی و کیفیت خدمات متمرکز بوده و غالباً وزن مؤلفه‌ها را ثابت یا به‌صورت یکسان برای همه کشورها برآورد کرده است (با رویکردهایی نظیر PCA، آنتروپی، AHP و DEA). بااین حال، بیشتر این مطالعات ناهمگنی زنجیره‌های تأمین بر حسب «نوع کالا» را نادیده گرفته‌اند و بنابراین قادر به تبیین تفاوت‌های کارکردی LPI در حمل‌فله خشک، کالاهای وابسته با دما، خطرناک و جنرال کارگو نیستند. در این بخش، ضمن دسته‌بندی رویکردها و یافته‌های کلیدی، شکاف دانشی مرتبط با وزن‌دهی کالامحور روشن می‌شود و زمینه برای ارائه چارچوب GPBWM در این پژوهش فراهم می‌گردد.

ارکان (۲۰۱۴) با استفاده از داده‌های ۱۱۳ کشور و تحلیل رگرسیون نشان داد که کیفیت زیرساخت‌های جاده‌ای، ریلی و بندری نقش تعیین‌کننده‌ای در بهبود شاخص عملکرد لجستیک (LPI) دارد. توسعه راه‌آهن و ارتقای کیفیت بنادر از عوامل کلیدی افزایش رقابت‌پذیری و دستیابی به رتبه‌های بالاتر در عملکرد لجستیک محسوب می‌شوند (Erkan, 2014).

قاسمی و همکارش (۲۰۱۴) با استفاده از مدل رگرسیون خطی چندگانه و داده‌های تلفیقی، رابطه بین مؤلفه‌های شاخص عملکرد لجستیک (LPI) و شاخص رقابت‌پذیری جهانی (GCI) را بررسی کردند. نتایج نشان داد که بین LPI و GCI رابطه معناداری وجود دارد و در این میان، زیرساخت و به‌موقع بودن تحویل بیشترین تأثیر را بر رقابت‌پذیری کشورها دارند (قاسمی، ۲۰۱۴). رابطه بین GCI و مؤلفه‌های LPI در این مطالعه به‌صورت زیر است:

$$GCI = 1.896 + 0.039*TRCK + 0.639*INFRA + 0.196*LGST + 0.014*SHIP - 0.504*TIML$$

جاور و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی نقش نیروی کار ماهر در بخش لجستیک هند نشان دادند که سرمایه‌گذاری در آموزش، رفاه، شرایط کار و دستمزد می‌تواند بر کاهش هزینه‌ها، زمان، افزایش قابلیت اطمینان، انعطاف‌پذیری و ایمنی سیستم لجستیک اثرگذار باشد و در نهایت موجب بهبود عملکرد لجستیک و افزایش سودآوری شود (Amrita Jhawar, 2014).

بین‌المللی نقش کلیدی در تحلیل عملکرد کشورها ایفا می‌کند. بانک جهانی از سال ۲۰۰۷ شاخصی به نام «شاخص عملکرد لجستیک» (LPI)^(۱) را معرفی کرده است تا وضعیت لجستیکی کشورها را اندازه‌گیری کرده و به تصمیم‌گیرندگان در صنعت لجستیک کمک کند (Jean-François Arvis, 2010). این شاخص، ابزاری چندبعدی است که عملکرد لجستیک یک کشور را ارزیابی نموده و هر دو سال یکبار با همکاری تأمین‌کنندگان خدمات لجستیک و صاحب‌نظران دانشگاهی منتشر می‌شود. LPI شش بعد اصلی عملکرد لجستیک را در بر می‌گیرد: کارایی ترخیص گمرکی، کیفیت زیرساخت‌های تجاری و حمل‌ونقل، دسترسی به حمل‌ونقل بین‌المللی با هزینه رقابتی، کفایت و کیفیت خدمات لجستیکی، توانایی ردیابی کالاها و انطباق زمان تحویل با برنامه‌ریزی.

برای تعیین امتیاز هر کشور، کارشناسان جهانی به هر شش مؤلفه امتیاز می‌دهند و میانگین ساده این امتیازها نشان‌دهنده عملکرد لجستیکی کشور است. با این حال، پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهند که وزن مؤلفه‌ها باید متفاوت در نظر گرفته شود، زیرا اهمیت هر یک از این شش بعد در ارتقاء عملکرد لجستیکی یکسان نیست. نکته مهم دیگری که کمتر مورد توجه قرار گرفته، تأثیر نوع کالای حمل‌شده بر عملکرد لجستیکی کشورها است. هر یک از مؤلفه‌های LPI ممکن است نسبت به نوع کالای جابجا شده اهمیت متفاوتی داشته باشد و همین موضوع باعث می‌شود نمرات کشورها در شاخص LPI بسته به ترکیب صادرات و وارداتشان تغییر کند.

هدف این پژوهش بررسی اثر نوع کالای حمل‌شده بر LPI است تا سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران لجستیک بتوانند با اطلاعات دقیق‌تر و استراتژی‌های مؤثرتر، عملکرد لجستیکی کشور خود را ارتقاء دهند. (Jean-François Arvis, 2010) برای این منظور، با استناد به کتاب «Cargo Work» که کالاها را به ده دسته تقسیم کرده است (House, 2015) پژوهش حاضر چهار دسته کالای فله خشک، کالای نیازمند کنترل دما، کالای خطرناک و کالای جنرال کارگو را انتخاب کرده است. این دسته‌بندی به دلیل محدودیت در تعداد سؤالات پرسشنامه و کاهش احتمال خطا در پاسخ‌دهی خبرگان، مناسب‌ترین روش برای این پژوهش محسوب می‌شود و امکان تحلیل اثر نوع کالا بر شاخص عملکرد لجستیک را فراهم می‌آورد.

در سال ۲۰۱۸ کالینان و همکارش شاخصی با عنوان عملکرد لجستیک عملیاتی پایدار (SOLP)^(۶) را برای مقایسه با شاخص LPI بانک جهانی ارائه کردند. آن‌ها با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)^(۷) دریافتند که بین دو شاخص همبستگی اندکی وجود دارد؛ به‌طوری‌که کشوری ممکن است در LPI عملکرد مطلوبی داشته باشد اما در SOLP ضعیف باشد یا بالعکس. به‌عنوان نمونه، آمریکا، نروژ و هلند در هر دو شاخص قوی و کره جنوبی، ایتالیا، یونان و پرتغال در هر دو ضعیف ارزیابی شدند (Cullinane, 2019)

ویوک روی و همکاران (۲۰۱۸) یک چارچوب دومارحله‌ای برای تحلیل داده‌های LPI ارائه کردند. در این چارچوب ابتدا داده‌ها با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی K-Means گروه‌بندی شده و سپس با رگرسیون تطبیقی چندمتغیره (MARS)^(۸) روابط پیچیده غیرخطی میان ابعاد LPI و متغیرهای کلیدی (مانند سرانه تولید ناخالص ملی (GDP)) بررسی می‌شود. این رویکرد امکان شناسایی ارتباطات پنهان میان شاخص‌های لجستیک و عوامل اقتصادی را فراهم می‌سازد (V. Roy, 2018)

کاباک و همکاران (۲۰۱۸) رویکردی تحلیلی و مبتنی بر داده‌های عینی برای بررسی رابطه بین عملکرد لجستیک و صادرات ارائه کردند. این روش با استفاده از شاخص LPI و مطالعه موردی در کشورهای مانند ترکیه، برزیل و پرتغال نشان داد که رویکرد پیشنهادی می‌تواند ابزاری کاربردی برای تحلیل پیوند میان لجستیک و صادرات باشد (Özgür Kabak, 2018)

رضایی (۲۰۱۸) با به‌کارگیری روش بهترین-بدترین (BWM)^(۹) به وزن‌دهی شاخص مؤلفه LPI پرداخت. نتایج نشان داد که زیرساخت و کیفیت خدمات لجستیکی بالاترین و ردیابی کمترین اهمیت را دارند. همچنین اعمال این وزن‌ها موجب تغییر رتبه‌بندی بسیاری از کشورها نسبت به ارزیابی اولیه LPI شد (Rezaei W. S., 2018)

سیولک و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از رگرسیون سلسله‌مراتبی نشان دادند که شاخص عملکرد لجستیک (LPI) نقش واسطه‌ای معناداری در رابطه بین شاخص رقابت‌پذیری جهانی (GCI) و تولید ناخالص داخلی (GDP) دارد. نتایج بیانگر آن است که توانایی لجستیکی کشورها می‌تواند پیوند میان رقابت‌پذیری و رفاه اقتصادی را تقویت کند (Mustafa Emre Civelek, 2015)

کامبرچی و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از رگرسیون سلسله‌مراتبی نقش تعدیل‌کننده شاخص رقابت‌پذیری جهانی (GCI)^(۱۰) را بر شاخص مؤلفه LPI بررسی کردند. نتایج نشان داد که این اثر تنها در سه بُعد حمل‌ونقل بین‌المللی، قابلیت ردیابی و جدول زمانی معنادار است؛ بنابراین ارتقای این سه بُعد می‌تواند دستیابی کشورها به سطوح بالاتر GCI را تسهیل کند (Murat Çemberci, 2015)

مارتی و همکاران (۲۰۱۷) با بهره‌گیری از تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)، شاخص ترکیبی عملکرد لجستیک (DEA-LPI) را معرفی کرده و اثر متغیرهایی مانند درآمد و موقعیت جغرافیایی را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که عملکرد لجستیک ارتباط مستقیم با سطح درآمد و منطقه دارد و کشورهای پردرآمد به‌ویژه در اتحادیه اروپا بهترین عملکرد را دارند (Luisa Martí, 2017)

گانی (۲۰۱۷) با استفاده از داده‌های بین‌کشوری، تأثیر عملکرد لجستیک بر تجارت بین‌المللی را بررسی کرده و نشان داد بین شاخص عملکرد لجستیک (LPI) با صادرات و واردات رابطه مثبت و معناداری وجود دارد. نتایج بیانگر آن است که مؤلفه‌های لجستیک بیش از همه بر صادرات اثرگذارند و سرمایه‌گذاری مستمر در زیرساخت‌ها و خدمات لجستیکی به‌عنوان سیاست کلیدی برای بهبود تجارت بین‌المللی مطرح می‌شود (Gani, 2017)

ماریانو و همکاران (۲۰۱۷) با ترکیب روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)، تحلیل پنجره‌ای^(۱۱) و شاخص مالم کوئیست^(۱۲)، شاخص عملکرد لجستیک کم‌کربن (LCLPI)^(۱۳) را برای ۱۰۴ کشور طراحی کردند تا رابطه بین شاخص عملکرد لجستیک (LPI) و انتشار CO₂ بخش حمل‌ونقل بررسی شود. نتایج نشان داد کشورهایمانند ژاپن، آلمان و ایالات متحده بهترین عملکرد را در LCLPI داشتند و این شاخص می‌تواند مبنایی برای شناسایی راهکارهای پایدار در بخش لجستیک باشد (E. B. Mariano, 2017)

بیلدیریم و همکارش (۲۰۲۰) با بهره‌گیری از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی^(۱۰) و مدل ارزیابی نسبت افزودنی خاکستری (ARAS-G)^(۱۱) عملکرد لجستیک کشورهای OECD طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ را بررسی کردند. نتایج نشان داد وزن‌دهی فازی به مؤلفه‌های LPI و رتبه‌بندی با ARAS-G نسبت به رویکرد بانک جهانی واقع‌بینانه‌تر بوده و ارتباط قوی‌تری با تغییرات سالانه دارد (Yildirim, 2020). بیسنبايوف و همکارش در سال ۲۰۲۰ با ارائه شاخصی به نام ILPI به دنبال بهبود عملکرد فعلی لجستیک کشورها بود که توسط بانک جهانی منتشر می‌شوند. (Beysenbaev, 2020)

مهاپور و همکاران (۲۰۲۳) کشورهایی که در مؤلفه‌های خاصی مثل کیفیت خدمات لجستیک و جدول زمانی عملکرد بهتری دارند، در صادرات کالاهای حساس یا نیازمند کنترل دما موفق‌تر هستند (Mahpour, et al., 2023)

حسن و همکاران (۲۰۲۴) مؤلفه‌های زیرساخت و کیفیت خدمات لجستیک هسته اصلی شبکه عملکرد لجستیک هستند و تغییر در وزن آن‌ها می‌تواند رتبه کشورها را به‌طور قابل توجهی تغییر دهد (Hasan, et al., 2025)

وَنگ و همکاران (۲۰۲۴) کشورهایی با LPI بالاتر، به‌ویژه در مؤلفه‌های زیرساخت و حمل‌ونقل بین‌المللی، دسترسی بهتر به بازارهای خارجی دارند. بنابراین نوع کالایی که بیشتر صادر یا وارد می‌شود (مثل کالای فله خشک یا جنرال کارگو) می‌تواند اهمیت هر مؤلفه را تغییر دهد (Wang, 2024)

شاراوی و همکاران (۲۰۲۵) برخی مؤلفه‌ها اثرگذاری بیشتری بر رتبه‌بندی کلی LPI دارند و این اثرگذاری می‌تواند بسته به نوع کالا متفاوت باشد. برای مثال، زیرساخت‌ها و کیفیت خدمات لجستیک در کالاهای فله و خطرناک اهمیت بالاتری دارند (Sharawi, 2025)

جدول ۳. میزان اهمیت نسبی معیارهای LPI بر اساس مطالعه

بیلدیریم (Yildirim, 2020)

میزان اهمیت (وزن)	معیار
۰/۳۹	زیرساخت
۰/۱۹	جدول زمانی
۰/۱۴	خدمات لجستیک
۰/۱۴	گمرک
۰/۰۸	حمل‌ونقل بین‌المللی
۰/۰۷	ردیابی و پیگیری

جدول ۱. میزان اهمیت نسبی معیارهای LPI بر اساس مطالعه

رضایی و همکاران (Rezaei W. S., 2018)

میزان اهمیت (وزن)	معیار
۰/۲۴	زیرساخت
۰/۲۲	خدمات لجستیک
۰/۱۶	جدول زمانی
۰/۱۶	گمرک
۰/۱۳	حمل‌ونقل بین‌المللی
۰/۱۰	ردیابی و پیگیری

اولوتاش و همکارش (۲۰۱۹) با توجه به ضعف رویکرد بانک جهانی در در نظر گرفتن وزن مساوی برای مؤلفه‌های LPI، روشی ترکیبی برای وزن‌دهی ارائه کردند. آن‌ها با ادغام روش وزن‌دهی ذهنی (Subjective)، که به آن روش سوارا (SWARA) و روش وزن‌دهی عینی (Objective)، که به آن روش کریتیک (CRITIC)، تلاش نمودند مزایا و معایب هر دو رویکرد را پوشش دهند. نتایج نشان داد استفاده همزمان از روش‌های ذهنی و عینی می‌تواند وزن‌های واقع‌بینانه‌تری برای مؤلفه‌های LPI فراهم آورد (Alptekin Ulutaş, ۲۰۱۹)

جدول ۲. میزان اهمیت نسبی معیارهای LPI بر اساس مطالعه

اولوتاش (Alptekin Ulutaş, ۲۰۱۹)

میزان اهمیت (وزن)	معیار
۰/۲۵	زیرساخت
۰/۱۸	گمرک
۰/۱۷	حمل‌ونقل بین‌المللی
۰/۱۶	خدمات لجستیک
۰/۱۴	جدول زمانی
۰/۱۰	ردیابی و پیگیری

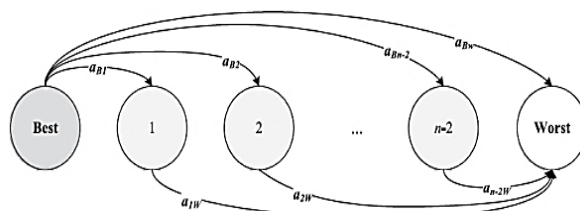
اکچی و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از رویکردی سه‌مرحله‌ای مبتنی بر شبکه بیزین (Bayesian) تقویت‌شده، مدل معادلات ساختاری حداقل مربعات جزئی و تحلیل نقشه اهمیت-عملکرد، تأثیر ارکان شاخص رقابت‌پذیری جهانی (GCI) بر شاخص عملکرد لجستیک (LPI) را بررسی کردند. نتایج نشان داد که ارتقای آمادگی فناوریانه، آموزش عالی، نوآوری، اندازه بازار و زیرساخت‌ها نقش کلیدی در بهبود عملکرد لجستیک کشورها دارد (Şule Önsel Ekici Özgür Kabak, 2019)

۳- روش تحقیق

متدولوژی پژوهش حاضر از نوع کاربردی و توصیفی-تحلیلی است و با هدف برآورد «وزن‌های کالامحور» برای مؤلفه‌های شاخص عملکرد لجستیک طراحی شده است. ابتدا با اتکا به ادبیات موضوع، چهار رده کالایی فله خشک، نیازمند کنترل دما، خطرناک و جنرال کارگو تعریف و چارچوب عملیاتی آنها تبیین می‌شود. سپس از یک نمونه هدفمند از خبرگان لجستیک و زنجیره تأمین، داده‌های مقایسه‌ای از طریق پرسشنامه ساخت‌یافته «بهترین-بدترین» گردآوری می‌گردد. وزن‌های هر مؤلفه برای هر رده کالایی با استفاده از مدل بهترین-بدترین آرمانی (GPBWM) و حل برنامه‌ریزی خطی استخراج و شاخص‌های سازگاری و توافق بین خبرگان (نظیر W کنдал) سنجیده می‌شود. در گام بعد، با اعمال وزن‌های به‌دست‌آمده بر امتیاز مؤلفه‌های LPI بانک جهانی، شاخص کالامحور کشورها محاسبه و در برابر سناریوی وزن‌های یک‌سان، تحلیل حساسیت و مقایسه رتبه‌ای انجام می‌گیرد. در نهایت، جابه‌جایی رتبه‌ها و پیامدهای سیاستی ناشی از تفاوت‌های کالامحور گزارش می‌شود.

۳-۱- روش بهترین-بدترین (BWM)

روش بهترین-بدترین (BWM) که توسط رضایی (۲۰۱۵) ارائه شد، یکی از تکنیک‌های نوین تصمیم‌گیری چندمعیاره است. در این روش تصمیم‌گیرنده ابتدا بهترین و بدترین شاخص‌ها را تعیین کرده و سپس مقایسات زوجی میان آن‌ها و سایر شاخص‌ها انجام می‌شود. در نهایت با حل یک مدل بهینه‌سازی، وزن معیارها به‌دست می‌آید. BWM نسبت به سایر روش‌ها به مقایسات زوجی کمتری نیاز دارد، نرخ سازگاری (Consistency Ratio) را محاسبه می‌کند و نتایجی پایدارتر و قابل اطمینان‌تر ارائه می‌دهد (Rezaei J., 2015).



شکل ۱. فلوچارت مقایسات روش بهترین-بدترین

(Rezaei J., 2015)

در روش بهترین-بدترین (BWM) برخلاف روش‌هایی مانند

AHP، مقایسه‌ها تنها بین معیارهای انتخاب‌شده به‌عنوان «بهترین» و «بدترین» با سایر معیارها انجام می‌شود. این امر باعث کاهش تعداد مقایسه‌های زوجی، افزایش سازگاری و در نتیجه اطمینان بیشتر نتایج می‌گردد. به‌طور مشخص، درحالی‌که در روش AHP تعداد مقایسه‌ها برابر با $\frac{m(m-1)}{2}$ هست، که در آن m تعداد معیارهایی است که قرار است با یکدیگر مقایسه شوند؛ اما در روش بهترین-بدترین تعداد مقایسه‌های زوجی از رابطه $2m - 3$ به‌دست می‌آید.

۳-۲- روش بهترین-بدترین آرمانی (Goal Programming (BWM

روش بهترین-بدترین (BWM) در برخی مسائل با بیش از سه معیار ممکن است منجر به چندین وزن بهینه شود که این امر برای تصمیم‌گیرنده مطلوب نیست (Rezaei J., 2016). برای رفع این مشکل، روش بهترین-بدترین آرمانی (GBWM) توسط امیری و امامت (۲۰۲۰) ارائه شد. این روش با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی و کاهش تعداد محدودیت‌ها از $5n - 4$ به $2n - 2$ ، علاوه بر تضمین یکتایی راه‌حل بهینه، پیچیدگی محاسبات را نیز کاهش می‌دهد (Emamat, 2020).

۳-۲-۱- مدل غیرخطی روش بهترین-بدترین آرمانی

در مدل غیرخطی پیشنهادشده، اگر رابطه $\frac{w_i}{w_j} = a_{ij}$ برقرار باشد، مدل کاملاً سازگار است؛ اما در دنیای واقعی همواره ناسازگاری‌هایی وجود دارد. بر این اساس مقدار ناسازگاری برای مقایسات بهترین معیار با دیگر معیارها در رابطه $y_j^+ - y_j^-$ و مقدار ناسازگاری برای مقایسه دیگر معیارها با بدترین معیار توسط رابطه $z_j^+ - z_j^-$ منعکس می‌گردد. تابع هدف این مدل کمینه‌سازی انحرافات کل است (Emamat, 2020).

$$\text{Min } Z = \sum_j (y_j^+ + y_j^-) + \sum_j (z_j^+ + z_j^-) \quad (1)$$

S.t:

$$\frac{w_j}{w_W} - a_{Bj} = y_j^+ - y_j^- \quad , \quad \text{for all } j \quad (2)$$

$$\frac{w_j}{w_W} - a_{jW} = z_j^+ - z_j^- \quad , \quad \text{for all } j \quad (3)$$

$$\sum_j w_j = 1 \quad , \quad \text{for all } j \quad (4)$$

$$w_j, y_j^+, y_j^-, z_j^+, z_j^- \geq 0 \quad (5)$$

$$\xi = \max_j \{y_j^+ - y_j^-, z_j^+ - z_j^-\} \quad (11)$$

$$\text{Consistency Ratio} = \frac{\xi}{\text{Consistency Index}} \quad (12)$$

۳-۲-۴ نمونه‌گیری خبرگان

در انتخاب خبرگان برای روش BWM، معیارهایی همچون درگیر بودن با مسئله، داشتن اطلاعات کافی و انگیزه همکاری مدنظر است (اصغریور، ۱۴۰۲) معمولاً تعداد خبرگان محدود بوده و در بسیاری مطالعات کمتر از ۱۰ نفر به کار گرفته می شود که امری متعارف در تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره است. لازم به ذکر است که برخلاف روش‌های آماری، BWM به تعیین حجم نمونه از طریق فرمول کوکران نیازی ندارد (A scaling, Saaty, 1977) (method for priorities in hierarchical structures, 1977)

۳-۳ طراحی پرسشنامه‌ی خبره روش بهترین-بدترین

برای محاسبه وزن و اهمیت شش معیار LPI در هر دسته کالایی، پرسشنامه‌ای مبتنی بر روش بهترین-بدترین (BWM) طراحی شد. این پرسشنامه شامل ۵۸ سؤال بوده که اطلاعات اولیه پاسخ‌دهندگان و نیز تعیین معیارهای بهترین و بدترین و مقایسات زوجی مربوطه برای چهار دسته کالایی را پوشش می‌دهد. در هر دسته، خبره نخست با اهمیت‌ترین و کم‌اهمیت‌ترین معیار را انتخاب کرده و سپس مقایسات زوجی با استفاده از طیف ۱ تا ۹ ساعتی انجام می‌دهد (Saaty, 2008)

۳-۲-۳ مدل خطی روش بهترین-بدترین آرمانی

در مدل خطی اگر رابطه $w_i = a_{ij}w_j$ برقرار باشد، مدل سازگاری کاملی دارد؛ اما همانند روش غیرخطی، در روش خطی نیز در دنیای واقعی ناسازگاری وجود دارد (Emamat, 2020)؛ بنابراین مدل خطی روش بهترین-بدترین به صورت زیر است:

$$\text{Min } Z = \sum_j (y_j^+ + y_j^-) + \sum_j (z_j^+ + z_j^-) \quad (6)$$

S.t:

$$w_B - a_{Bj}w_j = y_j^+ - y_j^- \quad , \quad \text{for all } j \quad (7)$$

$$w_j - a_{jW}w_W = z_j^+ - z_j^- \quad , \quad \text{for all } j \quad (8)$$

$$\sum_j w_j = 1 \quad , \quad \text{for all } j \quad (9)$$

$$w_j, y_j^+, y_j^-, z_j^+, z_j^- \geq 0 \quad (10)$$

۳-۲-۳ نرخ سازگاری در روش بهترین-بدترین آرمانی

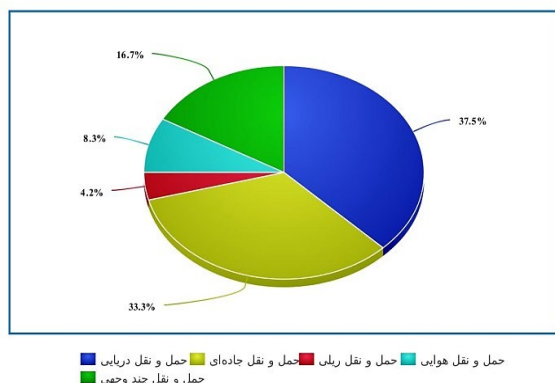
نرخ سازگاری نشان‌دهنده این است که مقایسه‌های انجام شده تا چه میزان قابل اعتماد بوده و نتیجه درستی را ایجاد می‌کند. در مدل BWM آرمانی (هم روش غیرخطی و هم روش خطی)، نرخ سازگاری از رابطه زیر تعیین می‌شود. این مقدار هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده‌ی سازگاری بیشتر مقایسه‌ها است (Emamat, 2020)

جدول ۴. ترجیحات ساعتی

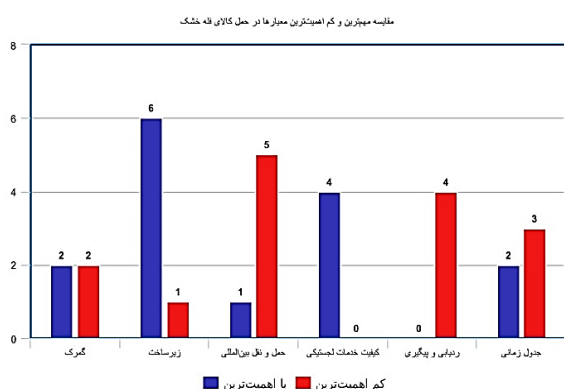
میزان اهمیت	وضعیت مقایسه I نسبت به J	توضیحات
۱	اهمیت برابر	شاخص I نسبت به J اهمیت برابر دارد و یا ارجحیتی نسبت به هم ندارند.
۳	نسبتاً مهم‌تر (اهمیت متوسط)	گزینه یا شاخص I نسبت به J کمی مهم‌تر است.
۵	خیلی مهم‌تر (اهمیت قوی)	گزینه یا شاخص I نسبت به J مهم‌تر است.
۷	خیلی زیاد مهم‌تر (اهمیت بسیار قوی)	گزینه یا شاخص I دارای ارجحیت خیلی بیشتری نسبت به J است.
۹	کاملاً مهم‌تر (اهمیت فوق‌العاده)	گزینه یا شاخص I از J مطلقاً مهم‌تر است.
۲-۴-۶-۸	حالات بینابینی	ارزش‌های بینابینی را نشان می‌دهد.

۳-۴- ارسال و تکمیل پرسشنامه

خدمات لجستیکی» بیشترین اهمیت و معیارهای «سهولت دسترسی به قیمت رقابتی حمل و نقل» و «ردیابی و پیگیری» کمترین اهمیت را از دیدگاه خبرگان دارند. این الگو با یافته‌های رضایی (۲۰۱۸) همخوانی قابل توجهی دارد.



شکل ۳. مدهای حمل و نقلی که خبرگان بیشتر با آن‌ها سروکار دارند



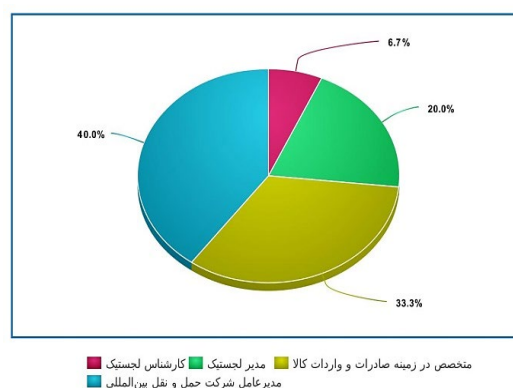
شکل ۴. با اهمیت ترین و کم اهمیت ترین معیارها

در حمل کالای فله خشک

بر اساس مقایسه‌های زوجی خبرگان در پرسشنامه کالای فله خشک، پانزده مدل برنامه‌ریزی خطی به روش بهترین-بدترین آرمانی تدوین و در نرم‌افزار LINGO حل شد. برای هر خبره، شش وزن معیارهای LPI و یک نرخ سازگاری محاسبه گردید. نرخ سازگاری در بازه ۰ تا ۱ قرار دارد و مقادیر کمتر از ۰,۲۰ به عنوان حد قابل قبول در نظر گرفته شد.

پرسشنامه این پژوهش در حوزه حمل و نقل و لجستیک به صورت برخط و از طریق کانال‌های ایمیل، لینکدین و واتس‌آپ در میان جامعه خبرگی توزیع شد تا پوشش نهادی و جغرافیایی مناسبی حاصل شود. چارچوب نمونه‌گیری به صورت هدفمند و بر مبنای صلاحیت حرفه‌ای طراحی گردید و از مشارکت‌کنندگان خواسته شد با اتکا به تجربه عملی و مدیریتی خود ارزیابی کنند.

ترکیب مشارکت‌کنندگان شامل اعضای هیئت‌مدیره انجمن صنفی شرکت‌های حمل و نقل بین‌المللی، مدیران شرکت‌های فعال در بازارهای داخلی و خارجی و نیز اساتید ایرانی شاغل در دانشگاه‌های بین‌المللی بود. به منظور ارتقای کیفیت داده‌ها، پیام دعوت حاوی توضیح هدف پژوهش و تضمین محرمانگی پاسخ‌ها ارسال شد و از داده‌ها صرفاً در قالب تحلیل‌های تجمیعی استفاده گردید. این رویکرد امکان گردآوری دآوری‌های خبرگانی متنوع و معتبر را برای برآورد وزن مؤلفه‌های مورد بررسی فراهم ساخت. شکل ۲ نمودار ترکیب شغلی خبرگان پاسخ‌دهنده را نشان می‌دهد.



شکل ۲. پراکندگی موقعیت شغلی خبرگان

پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها و بررسی پاسخ‌ها، ۶۰ مدل خطی بر مبنای روش بهترین-بدترین آرمانی با استفاده از نرم‌افزار LINGO تدوین شد. سپس تحلیل نتایج برای هر دسته کالایی و اثر آن بر شاخص عملکرد لجستیک انجام گرفت.

۳-۵- بررسی تأثیر حمل کالای فله خشک بر LPI

برای تحلیل تأثیر حمل کالای فله خشک بر شاخص عملکرد لجستیک (LPI)، داده‌های ۱۵ خبره بررسی و با استفاده از روش بهترین-بدترین و مدل برنامه‌ریزی خطی، وزن شش معیار LPI محاسبه شد. نتایج نشان داد که معیارهای «زیرساخت» و «کیفیت

جدول ۵. وزن معیارهای LPI در حمل کالای فله خشک

۰/۱۷۰۳	W_1	کارایی فرایندهای ترخیص کالا (گمرک)
۰/۳۲۱۲	W_2	کیفیت زیرساخت‌های تجاری و جابه‌جایی (زیرساخت)
۰/۰۸۴۱	W_3	سهولت دسترسی به قیمت رقابتی حمل و نقل
۰/۲۲۶۵	W_4	کفایت و کیفیت خدمات لجستیکی
۰/۰۷۴۳	W_5	توانایی در تعقیب و ردیابی کالاهای ارسالی (ردیابی و پیگیری)
۰/۱۲۳۷	W_6	تحویل به‌موقع کالا (جدول زمانی)

شدند و در وزن‌دهی معیارها لحاظ گردیدند. از مجموع پانزده مدل مربوط به کالای فله خشک، دوازده مدل سازگار بودند. در نهایت، وزن نهایی هر معیار بر اساس میانگین وزن‌های سازگار محاسبه و شاخص‌های آماری شامل حداقل، حداکثر و انحراف معیار گزارش شد.

در حمل کالای فله خشک، معیار «زیرساخت» بیشترین و معیار «ردیابی و پیگیری» کمترین اهمیت را به خود اختصاص داده است.

$$W_2 > W_4 > W_1 > W_6 > W_3 > W_5$$

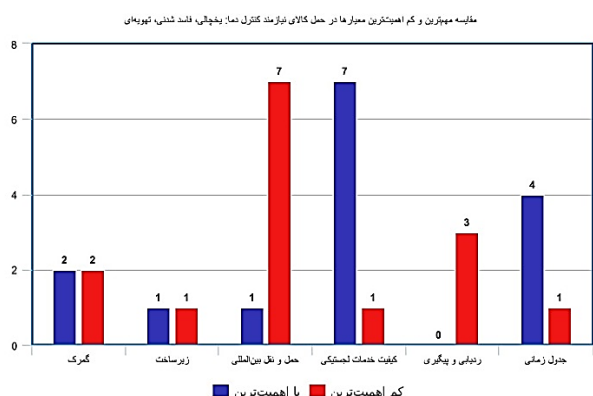
برای هر خبره شش وزن و یک نرخ سازگاری محاسبه شد. مدلهایی با نرخ سازگاری کمتر از ۰,۲۰ به‌عنوان سازگار پذیرفته

جدول ۶. نتایج وزن‌دهی LINGO برای کالای فله خشک

	خبره ۱	خبره ۲	خبره ۳	خبره ۴	خبره ۵	خبره ۶	خبره ۷	خبره ۸	خبره ۹	خبره ۱۰	خبره ۱۱	خبره ۱۲	خبره ۱۳	خبره ۱۴	خبره ۱۵	وزن هر معیار	
W1	۰.۰۸۷	۰.۲۷۸	۰.۱۶۹	۰.۰۴۶	۰.۴۳۲	۰.۰۱۱	۰.۰۹۵	۰.۰۶۴۳	۰.۰۰۰	۰.۱۴۱	۰.۰۱۶	۰.۵۲۵	۰.۰۷۴	۰.۱۴۵	۰.۰۳۷	۰.۱۷۰	
W2	۰.۰۸۷	۰.۲۷۸	۰.۵۰۷	۰.۳۲۴	۰.۰۸۶	۰.۰۱۴	۰.۴۷۳	۰.۰۷۱	۰.۰۰۰	۰.۲۱۱	۰.۵۷۳	۰.۱۰۵	۰.۴۴۴	۰.۴۳۴	۰.۳۳۲	۰.۳۲۱	
W3	۰.۱۰۲	۰.۰۴۰	۰.۱۲۷	۰.۳۲۴	۰.۰۳۶	۰.۳۸۵	۰.۰۲۳	۰.۰۷۱	۰.۰۰۰	۰.۰۸۵	۰.۰۷۲	۰.۰۷۵	۰.۰۳۷	۰.۰۲۴	۰.۰۶۶	۰.۰۸۴	
W4	۰.۶۱۱	۰.۲۷۸	۰.۱۰۱	۰.۱۶۲	۰.۰۸۶	۰.۰۱۴	۰.۱۵۸	۰.۰۷۱	۰.۰۰۰	۰.۴۲۳	۰.۱۴۳	۰.۱۳۱	۰.۱۴۸	۰.۱۴۵	۰.۳۳۲	۰.۲۲۶	
W5	۰.۰۸۷	۰.۰۳۵	۰.۰۳۴	۰.۰۳۶	۰.۲۱۶	۰.۴۸۱	۰.۰۹۵	۰.۰۷۱	۱.۰۰۰	۰.۰۳۵	۰.۰۸۲	۰.۰۳۳	۰.۰۷۴	۰.۱۰۸	۰.۰۶۶	۰.۰۷۴	
W6	۰.۰۲۵	۰.۰۹۳	۰.۰۷۲	۰.۱۰۸	۰.۱۴۴	۰.۰۹۶	۰.۱۵۸	۰.۰۷۱	۰.۰۰۰	۰.۱۰۶	۰.۱۱۵	۰.۱۳۱	۰.۲۲۲	۰.۱۴۵	۰.۱۶۶	۰.۱۲۴	
مجموع وزن ها	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱		
نرخ سازگاری	۰.۰۹۶۸	۰.۰۲۲۲	۰.۰۶۹۲	۰.۰۲۳۶	۰.۱۵۶۴	۰.۴۴۱۴	۰.۰۵۱۷	۰.۲۳۲۲	۱.۱۴۷۲	۰.۰۸۲۲	۰.۰۸۷۶	۰.۰۵۸۷	۰.۰۶۶۳	۰.۰۵۵۳	۰.۰۴۴۴		
میزان مجاز نرخ سازگاری ۰.۲۰	9	8	7	6	5	4	3	2	1	aBW							
	5.23	4.47	3.73	3	2.3	1.63	1	0.44	0	Consistency index (maxξ)							

جدول ۷. آمار خلاصه وزن مؤلفه‌های LPI برای کالای فله خشک

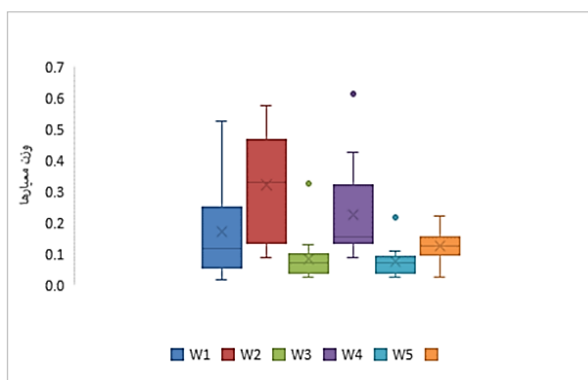
مؤلفه	میانگین	کمترین مقدار	بیشترین مقدار	انحراف معیار
گمرک	۰/۱۷۰۳	۰/۰۱۶۴	۰/۵۲۴۸	۰/۱۵۴۳
زیرساخت	۰/۳۲۱۲	۰/۰۸۶۳	۰/۵۷۲۶	۰/۱۶۳۱
حمل و نقل بین‌المللی	۰/۰۸۴۱	۰/۰۲۲۵	۰/۳۲۳۹	۰/۰۷۸۶
خدمات لجستیکی	۰/۲۲۶۵	۰/۰۸۶۳	۰/۶۱۰۹	۰/۱۵۰۹
ردیابی و پیگیری	۰/۰۷۴۳	۰/۰۲۴۱	۰/۲۱۵۸	۰/۰۵۰۶
جدول زمانی	۰/۱۲۳۷	۰/۰۲۵۵	۰/۲۲۲۲	۰/۰۴۷۸



شکل ۶. با اهمیت‌ترین و کم‌اهمیت‌ترین معیارها در حمل کالای نیازمند کنترل دما

برای استخراج وزن معیارهای شاخص عملکرد لجستیک (LPI) در ارتباط با حمل کالاهای نیازمند کنترل دما، مقایسه‌های زوجی پرسشنامه خبرگان با استفاده از روش بهترین-بدترین (BWM) تحلیل شد. بر این اساس پانزده مدل برنامه‌ریزی خطی در نرم‌افزار LINGO حل گردید و برای هر خبره، وزن شش معیار اصلی و نرخ سازگاری محاسبه شد. معیار سازگاری برابر ۰,۲۰ در نظر گرفته شد و نتایج نشان داد که تمامی مدل‌های پذیرفته‌شده در محدوده قابل قبول قرار دارند.

کشورهای فیجی، بلاروس و موریس اختصا یافت؛ امری که می‌تواند بازتاب هم‌سویی ساختار تجارت آن‌ها با مؤلفه‌هایی چون زیرساخت‌های فیزیکی، کارایی بندری و قابلیت‌های عملیاتی در حمل فله باشد. در مقابل، کشورهای مالی، کامبوج، اوکراین و گینه بیشترین کاهش رتبه را ثبت کردند؛ دلالتی بر آن‌که ضعف‌های زیرساختی یا ناکفایتی در کیفیت خدمات لجستیکی، در زنجیره‌های مبتنی بر محمولات فله خشک، اثر برجسته‌تری می‌یابد. به‌عنوان مطالعه موردی، چین در این چارچوب دو پله بهبود رتبه را تجربه کرده است. بر مبنای الگوی وزندهی جدید، برای چین و کشورهای با ترکیب کالایی مشابه، اولویت‌گذاری سیاستی مرحله‌ای (ابتدا سرمایه‌گذاری در توسعه و نوسازی زیرساخت‌ها (کریدورها، پایانه‌ها و تجهیزات تخلیه و بارگیری) و سپس ارتقای کفایت و کیفیت خدمات لجستیکی) توصیه می‌شود؛ جهت‌گیری‌ای که می‌تواند حداکثرسازی دستاوردهای عملکردی در LPI و پایداری رقابت‌پذیری تجاری را تسهیل کند.



شکل ۵. نمودار جعبه‌ای وزن مؤلفه‌های LPI (کالای فله خشک)

یافته‌های حاصل از اعمال وزن‌های برآوردشده مبتنی بر نظرات خبرگان برای رده «فله خشک» نشان می‌دهد که بازتنظیم اهمیت مؤلفه‌های LPI بازآرایی معناداری در رتبه‌بندی کشورها رقم می‌زند. در سنجش مجدد، جایگاه ۱۳۷ کشور تغییر کرده است؛ به‌نحوی که ۶۸ کشور ارتقای رتبه و ۶۹ کشور افت رتبه تجربه کرده‌اند، که تصویری نسبتاً متوازن از آثار مثبت و منفی بازوزندهی را ترسیم می‌کند. در میان برندگان، بیشترین بهبود به

۳-۶ بررسی تأثیر حمل کالای نیازمند کنترل دما بر LPI

در این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر حمل کالای نیازمند کنترل دما (یخچالی، فاسدشدنی، تهویه‌ای و ...) بر شاخص عملکرد لجستیک (LPI)، ابتدا نظرات ۱۵ خبره گردآوری و تحلیل گردید. سپس با بهره‌گیری از روش بهترین-بدترین (BWM) و مدل برنامه‌ریزی خطی، وزن هر یک از شش مؤلفه اصلی LPI محاسبه شد. نتایج نشان داد که معیارهای «کیفیت خدمات لجستیکی» و «جدول زمانی» بیشترین اهمیت را در حمل کالاهای نیازمند کنترل دما دارند، در حالی که «سهولت دسترسی به قیمت رقابتی حمل‌ونقل» و «ردیابی و پیگیری» در زمره کم‌اهمیت‌ترین معیارها قرار گرفتند.

جدول ۸. وزن معیارهای LPI در حمل کالای نیازمند کنترل دما

۰/۱۴۸۶	W_1	کارایی فرایندهای ترخیص کالا (گمرک)
۰/۱۵۷۱	W_2	کیفیت زیرساخت‌های تجاری و جابه‌جایی (زیرساخت)
۰/۰۶۳۱	W_3	سهولت دسترسی به قیمت رقابتی حمل و نقل
۰/۳۱۳۶	W_4	کفایت و کیفیت خدمات لجستیکی
۰/۰۷۸۵	W_5	توانایی در تعقیب و ردیابی کالاهای ارسالی (ردیابی و پیگیری)
۰/۲۳۹۰	W_6	تحویل به موقع کالا (جدول زمانی)

از میان پانزده مدل ساخته شده برای حمل کالاهای نیازمند کنترل دما، یازده مدل دارای سازگاری قابل قبول بودند و مبنای محاسبه وزن معیارها قرار گرفتند. وزن نهایی هر یک از مؤلفه‌های شاخص عملکرد لجستیک (LPI) با استفاده از روش GPBWM محاسبه و شاخص‌های آماری مرتبط از جمله حداقل، حداکثر و انحراف معیار نیز استخراج گردید.

نتایج وزن‌دهی نشان داد که در حمل کالاهای نیازمند کنترل دما، معیار «کفایت و کیفیت خدمات لجستیکی» بالاترین وزن را کسب کرده و در مقابل، معیار «سهولت دسترسی به قیمت رقابتی حمل و نقل» کمترین وزن را به خود اختصاص داده است.

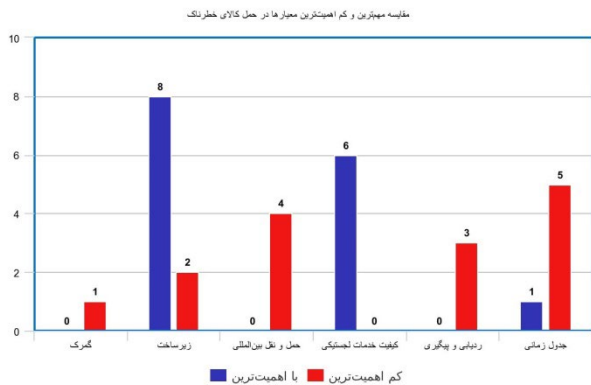
$$W_4 > W_6 > W_2 > W_1 > W_5 > W_3$$

جدول ۱۰. آمار خلاصه وزن مؤلفه‌های LPI برای کالای نیازمند کنترل دما

مؤلفه	میانگین	کمترین مقدار	بیشترین مقدار	انحراف معیار
گمرک	۰/۱۴۸۶	۰/۰۴۹۳	۰/۳۶۹۲	۰/۰۹۲۹
زیرساخت	۰/۱۵۷۱	۰/۰۵۱۹	۰/۳۷۸۰	۰/۰۹۰۷
حمل و نقل بین‌المللی	۰/۰۶۳۱	۰/۰۱۸۹	۰/۱۵۵۸	۰/۰۴۳۳
خدمات لجستیکی	۰/۳۱۳۶	۰/۱۱۳۲	۰/۶۴۸۶	۰/۱۹۱۰
ردیابی و پیگیری	۰/۰۷۸۵	۰/۰۱۷۵	۰/۱۱۶۹	۰/۰۲۶۸
جدول زمانی	۰/۲۳۹۰	۰/۰۲۷۰	۰/۵۶۶۰	۰/۱۶۲۶

جدول ۹. نتایج وزن‌دهی LINGO برای کالای نیازمند کنترل دما

	خبره ۱	خبره ۲	خبره ۳	خبره ۴	خبره ۵	خبره ۶	خبره ۷	خبره ۸	خبره ۹	خبره ۱۰	خبره ۱۱	خبره ۱۲	خبره ۱۳	خبره ۱۴	خبره ۱۵	وزن هر معیار
W1	۰.۰۸۱۱	۰.۰۵۱۹	۰.۲۱۰۵	۰.۰۴۹۳	۰.۱۱۴۹	۰.۰۰۰۰	۰.۲۰۳۰	۰.۱۶۶۷	۰.۰۷۸۷	۰.۳۶۹۲	۰.۰۰۰۰	۰.۲۱۰۰	۰.۰۹۴۳	۰.۱۸۹۰	۰.۰۹۸۰	۰.۱۴۸۶
W2	۰.۰۸۱۱	۰.۰۵۱۹	۰.۲۱۰۵	۰.۲۲۱۷	۰.۰۲۸۷	۰.۰۰۰۰	۰.۰۸۱۲	۰.۱۶۶۷	۰.۰۶۹۹	۰.۱۸۴۶	۰.۰۰۰۰	۰.۱۴۰۰	۰.۱۱۳۲	۰.۳۷۸۰	۰.۱۹۶۱	۰.۱۵۷۱
W3	۰.۰۸۱۱	۰.۱۵۵۸	۰.۰۵۲۶	۰.۰۴۹۳	۰.۰۲۳۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۲۵۴	۰.۱۶۶۷	۰.۱۲۵۹	۰.۰۹۲۳	۰.۰۰۰۰	۰.۰۳۰۰	۰.۰۱۸۹	۰.۰۲۳۶	۰.۰۳۹۲	۰.۰۶۳۱
W4	۰.۶۴۸۶	۰.۱۵۵۸	۰.۲۱۰۵	۰.۴۴۳۳	۰.۲۲۹۹	۰.۰۰۰۰	۰.۴۰۶۱	۰.۱۶۶۷	۰.۶۲۹۴	۰.۱۸۴۶	۱.۰۰۰۰	۰.۱۴۰۰	۰.۱۱۳۲	۰.۱۲۶۰	۰.۳۹۲۲	۰.۳۱۳۶
W5	۰.۰۸۱۱	۰.۱۱۶۹	۰.۱۰۵۳	۰.۰۸۸۷	۰.۵۷۴۷	۰.۰۰۰۰	۰.۰۸۱۲	۰.۱۶۶۷	۰.۰۱۷۵	۰.۰۴۶۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۶۰۰	۰.۰۹۴۳	۰.۰۹۴۵	۰.۰۷۸۴	۰.۰۷۸۵
W6	۰.۰۲۷۰	۰.۴۶۷۵	۰.۲۱۰۵	۰.۱۴۷۸	۰.۰۲۸۷	۱.۰۰۰۰	۰.۲۰۳۰	۰.۱۶۶۷	۰.۰۷۸۷	۰.۱۲۳۱	۰.۰۰۰۰	۰.۴۲۰۰	۰.۵۶۶۰	۰.۱۸۹۰	۰.۱۹۶۱	۰.۲۳۹۰
	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	
نرخ سازگاری	۰.۱۱۴۹	۰.۰۳۹۷	۰.۱۲۹۲	۰.۰۳۰۱	۰.۴۴۹۸	۱.۰۷۲۴	۰.۰۳۴۰	۰.۰۰۰۰	۰.۱۰۷۰	۰.۰۶۰۲	۰.۰۹۵۶	۰.۰۴۷۰	۰.۰۹۷۱	۰.۰۴۰۶	۰.۰۲۶۲	
میزان مجاز نرخ سازگاری ۰.۲۰											aBW	1	2	3	4	5
											Consistency index (max ξ)	0	0.44	1	1.63	2.3
												6	7	8	9	
												3	3.73	4.47	5.23	



شکل ۸. بااهمیت‌ترین و کم‌اهمیت‌ترین معیارها در حمل کالای خطرناک

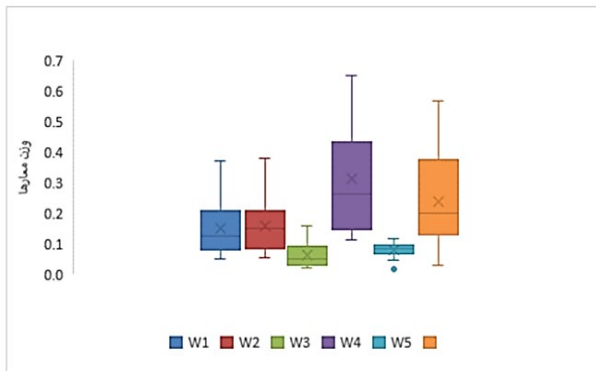
وزن معیارهای شش‌گانه LPI در بررسی تأثیر حمل کالای خطرناک بر روی LPI به صورت زیر محاسبه شده است.

جدول ۱۱. وزن معیارهای LPI در حمل کالای خطرناک

۰/۰۹۹۴	W_1	کارایی فرایندهای ترخیص کالا (گمرک)
۰/۳۲۰۲	W_2	کیفیت زیرساخت‌های تجاری و جابه‌جایی (زیرساخت)
۰/۰۷۵۸	W_3	سهولت دسترسی به قیمت رقابتی حمل و نقل
۰/۳۱۴۹	W_4	کفایت و کیفیت خدمات لجستیکی
۰/۰۹۵۵	W_5	توانایی در تعقیب و ردیابی کالاهای ارسالی (ردیابی و پیگیری)
۰/۰۹۴۲	W_6	تحويل به موقع کالا (جدول زمانی)

در نتایج وزن‌دهی معیارها در حمل کالای خطرناک مشخص شد که زیرساخت بیشترین اهمیت را دارد و پس از آن کفایت و کیفیت خدمات لجستیکی قرار می‌گیرد؛ در مقابل، معیار سهولت دسترسی به قیمت رقابتی حمل و نقل کمترین وزن را به خود اختصاص داده است.

$$W_2 > W_4 > W_1 > W_5 > W_6 > W_3$$



شکل ۷. نمودار جعبه‌ای وزن مؤلفه‌های LPI (کالای نیازمند کنترل دما)

اعمال وزن‌های استخراج‌شده از نظرات خبرگان بر شاخص عملکرد لجستیک (LPI) به جابه‌جایی معنادار رتبه‌ها در طیف و سعی از کشورها انجامید. یافته‌ها نشان می‌دهد شاخص‌های مرتبط با حمل اقلام دما-حساس (نظیر کارایی زنجیره سرد و قابلیت نگهداری و توزیع) محرک اصلی بهبود یا افت جایگاه کشورها هستند. کشورهایی که سهم بالایی از صادراتشان به این گروه اختصاص دارد، بیشترین تغییر رتبه را تجربه کرده و مستلزم تمرکز سیاستی بر ارتقای کیفیت خدمات و زیرساخت‌های مرتبط‌اند.

۷-۳- بررسی تأثیر حمل کالای خطرناک بر LPI

برای ارزیابی اثر حمل کالاهای خطرناک بر شاخص عملکرد لجستیک (LPI)، داده‌های حاصل از نظرات ۱۵ خبره به صورت هدفمند گردآوری و تحلیل شد. نتایج بیانگر آن است که در این رده کالایی، «زیرساخت» بیشترین اهمیت را دارد، در حالی که «جدول زمانی» و «سهولت دسترسی به قیمت‌های رقابتی حمل و نقل» کم‌اهمیت‌ترین معیارها تلقی شدند. این الگو نشان می‌دهد که ریسک‌پذیری و الزامات ایمنی عملیات، وزن مؤلفه‌های مرتبط با ظرفیت و کفایت زیرساخت را نسبت به سایر ابعاد افزایش می‌دهد. مقایسه با مطالعه رضایی (۲۰۱۸) نیز همسویی نتایج را تأیید می‌کند و سه معیار «زیرساخت»، «کیفیت خدمات لجستیکی» و «جدول زمانی» را در هر دو پژوهش به عنوان مؤلفه‌های کلیدی بازمی‌نماید.

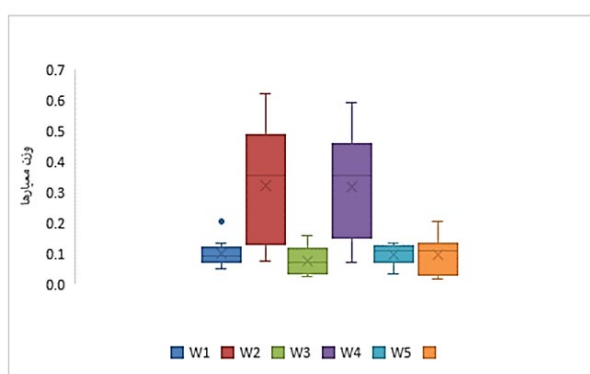
جدول ۱۲. نتایج وزندهی LINGO برای کالای خطرناک

وزن هر معیار	خبره ۱۵	خبره ۱۴	خبره ۱۳	خبره ۱۲	خبره ۱۱	خبره ۱۰	خبره ۹	خبره ۸	خبره ۷	خبره ۶	خبره ۵	خبره ۴	خبره ۳	خبره ۲	خبره ۱																					
W1	۰.۰۹۹۴	۰.۱۲۹۰	۰.۱۰۰۵	۰.۰۶۸۹	۰.۰۸۰۶	۰.۰۴۸۸	۰.۱۳۳۳	۰.۰۰۰۰	۰.۱۴۲۹	۰.۲۰۳۰	۰.۴۵۵۷	۰.۰۹۵۴	۰.۰۶۳۳	۰.۱۶۶۷	۰.۰۸۶۴	۰.۰۸۴۲																				
W2	۰.۳۲۰۲	۰.۳۸۷۱	۰.۲۰۱۰	۰.۶۴۰۱	۰.۱۶۱۳	۰.۳۹۰۵	۰.۴۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۱۴۲۹	۰.۰۸۱۲	۰.۰۰۸۱	۰.۱۱۹۳	۰.۵۷۰۱	۰.۱۶۶۷	۰.۵۱۸۴	۰.۰۷۳۷																				
W3	۰.۰۷۵۸	۰.۰۳۲۳	۰.۰۲۸۷	۰.۰۸۸۶	۰.۰۳۲۳	۰.۰۴۸۸	۰.۱۳۳۳	۱.۰۰۰۰	۰.۲۸۵۷	۰.۰۲۵۴	۰.۴۵۵۷	۰.۱۵۹۰	۰.۰۶۳۳	۰.۱۶۶۷	۰.۱۰۳۷	۰.۱۱۷۹																				
W4	۰.۳۱۴۹	۰.۱۹۳۵	۰.۴۰۱۹	۰.۰۶۸۹	۰.۴۸۳۹	۰.۳۹۰۵	۰.۱۳۳۳	۰.۰۰۰۰	۰.۱۴۲۹	۰.۴۰۶۱	۰.۰۰۷۲	۰.۴۷۷۱	۰.۱۹۰۰	۰.۱۶۶۷	۰.۱۲۹۶	۰.۵۸۹۵																				
W5	۰.۰۹۵۵	۰.۱۲۹۰	۰.۱۳۴۰	۰.۱۲۴۰	۰.۱۲۱۰	۰.۰۴۳۴	۰.۰۶۶۷	۰.۰۰۰۰	۰.۱۴۲۹	۰.۰۸۱۲	۰.۰۰۸۱	۰.۱۱۹۳	۰.۰۸۱۴	۰.۱۶۶۷	۰.۰۳۲۴	۰.۱۱۷۹																				
W6	۰.۰۹۴۲	۰.۱۲۹۰	۰.۱۳۴۰	۰.۰۲۹۵	۰.۱۲۱۰	۰.۰۷۸۱	۰.۱۳۳۳	۰.۰۰۰۰	۰.۱۴۲۹	۰.۲۰۳۰	۰.۰۶۵۱	۰.۰۲۹۸	۰.۰۳۱۷	۰.۱۶۶۷	۰.۱۲۹۶	۰.۰۱۶۸																				
مجموع وزن ها	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰																				
نرخ سازگاری	۰.۰۲۴۷	۰.۰۵۳۹	۰.۰۶۷۷	۰.۰۵۰۵	۰.۰۰۹۳	۰.۰۸۱۸	۰.۹۵۶۰	۰.۳۲۴۷	۰.۰۳۴۰	۰.۵۹۷۵	۰.۱۲۹۲	۰.۰۹۶۹	۰.۰۱۰۱	۰.۱۲۹۶	۰.۱۲۸۱	۰.۱۲۸۱																				
<table><tr><td>aBW</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td></tr><tr><td>Consistency index (maxξ)</td><td>0</td><td>0.44</td><td>1</td><td>1.63</td><td>2.3</td><td>3</td><td>3.73</td><td>4.47</td><td>5.23</td></tr></table>																	aBW	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Consistency index (maxξ)	0	0.44	1	1.63	2.3	3	3.73	4.47	5.23
aBW	1	2	3	4	5	6	7	8	9																											
Consistency index (maxξ)	0	0.44	1	1.63	2.3	3	3.73	4.47	5.23																											
میزان مجاز نرخ سازگاری ۰.۲۰																																				

جدول ۱۳. آمار خلاصه وزن مؤلفه‌های LPI برای کالای خطرناک

مؤلفه	میانگین	کمترین مقدار	بیشترین مقدار	انحراف معیار
گمرک	۰/۰۹۹۴	۰/۰۴۸۸	۰/۲۰۳۰	۰/۰۴۰۸
زیرساخت	۰/۳۲۰۲	۰/۰۷۳۷	۰/۶۲۰۱	۰/۱۹۱۹
حمل و نقل بین‌المللی	۰/۰۷۵۸	۰/۰۲۵۴	۰/۱۵۹۰	۰/۰۴۵۱
خدمات لجستیکی	۰/۳۱۴۹	۰/۰۶۸۹	۰/۵۸۹۵	۰/۱۶۷۹
ردیابی و پیگیری	۰/۰۹۵۵	۰/۰۳۲۴	۰/۱۳۴۰	۰/۰۳۴۵
جدول زمانی	۰/۰۹۴۲	۰/۰۱۶۸	۰/۲۰۳۰	۰/۰۵۷۷

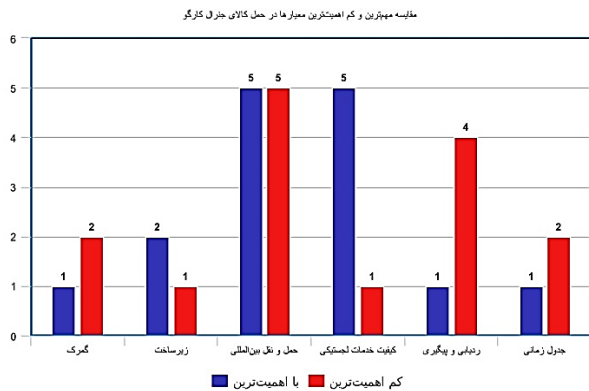
از میان ۱۵ مدل ساخته شده برای حمل کالای خطرناک، ۱۱ مدل از نظر سازگاری قابل قبول بودند و مبنای محاسبه وزن معیارها قرار گرفتند. وزن نهایی هر مؤلفه با استفاده از روش GPBWM تعیین شد و برای تحلیل پراکندگی، مقادیر حداقل، حداکثر و انحراف معیار نیز محاسبه گردید.



شکل ۹. نمودار جعبه‌ای وزن مؤلفه‌های LPI (کالای خطرناک)

۷۰ کشور بهبود رتبه را تجربه کرده‌اند، درحالی‌که رتبه ۶۶ کشور تنزل یافته است. این الگو بیانگر آن است که بازتعریف اهمیت مؤلفه‌ها، به‌ویژه در ارتباط با حمل کالاهای خطرناک، اثر معناداری بر سنجش عملکرد لجستیکی کشورها دارد. به عبارت دیگر،

اعمال وزن‌های حاصل از نظرات خبرگان بر شاخص عملکرد لجستیک (LPI) منجر به تغییرات گسترده‌ای در رتبه‌بندی کشورها گردید، به‌گونه‌ای که از میان ۱۶۰ کشور مورد بررسی، جایگاه ۱۳۶ کشور دستخوش جابه‌جایی شد. نتایج نشان داد که



شکل ۱۰. با اهمیت‌ترین و کم‌اهمیت‌ترین معیارها

در حمل کالای جنرال کارگو

وزن معیارهای شش‌گانه LPI در بررسی تأثیر حمل کالای جنرال کارگو بر روی LPI به‌صورت زیر محاسبه شده است.

جدول ۱۴. وزن معیارهای LPI در حمل کالای جنرال کارگو

۰/۱۰۶۶	W_1	کارایی فرایندهای ترخیص کالا (گمرک)
۰/۱۹۳۹	W_2	کیفیت زیرساخت‌های تجاری و جابه‌جایی (زیرساخت)
۰/۲۴۰۴	W_3	سهولت دسترسی به قیمت رقابتی حمل و نقل
۰/۲۰۱۰	W_4	کفایت و کیفیت خدمات لجستیک
۰/۱۰۹۰	W_5	توانایی در تعقیب و ردیابی کالاهای ارسالی (ردیابی و پیگیری)
۰/۱۴۹۱	W_6	تحويل به‌موقع کالا (جدول زمانی)

در ارزیابی معیارهای مرتبط با حمل کالای جنرال کارگو، نتایج خبرگان نشان داد که سهولت دسترسی به قیمت رقابتی حمل و نقل بالاترین اهمیت را دارد. پس از آن، کفایت و کیفیت خدمات لجستیک در رتبه دوم قرار گرفت، در حالی که کارایی فرایندهای گمرکی و توانایی ردیابی و پیگیری کالا کم‌ترین وزن و اهمیت را کسب کردند.

$$W_3 > W_4 > W_2 > W_6 > W_5 > W_1$$

از پانزده مدل ساخته‌شده برای کالای جنرال کارگو، سیزده مدل سازگار بوده و در محاسبه وزن هر معیار تأثیرگذار هستند.

ملاحظات ایمنی و زیرساختی مرتبط با این دسته کالاها قادر است آرایش کلی رتبه‌بندی جهانی LPI را دگرگون سازد. بر این اساس، توجه به ویژگی‌های کالامحور می‌تواند مبنایی برای بازنگری سیاست‌های توسعه لجستیک در سطح ملی و بین‌المللی فراهم آورد.

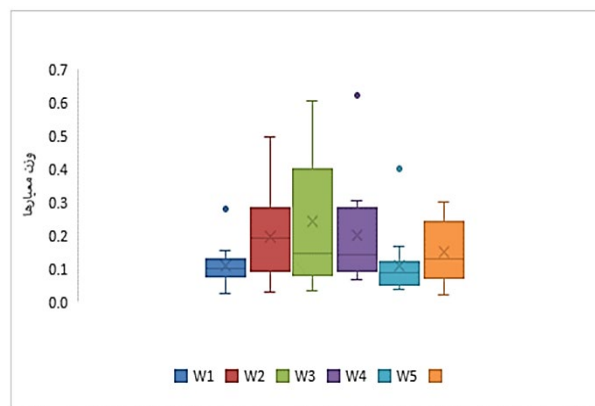
۳-۸- بررسی تأثیر حمل کالای جنرال کارگو بر LPI

برای ارزیابی اثر حمل کالای «جنرال کارگو» بر شاخص عملکرد لجستیک (LPI)، داده‌های پژوهش از طریق گردآوری نظرات ۱۵ خبره در حوزه حمل و نقل و زنجیره تأمین به‌دست آمد. تحلیل این داده‌ها نشان داد که در میان مؤلفه‌های شش‌گانه LPI، دو معیار «حمل و نقل بین‌المللی» و «کیفیت خدمات لجستیک» بیشترین فراوانی را در میان پاسخ‌دهندگان به‌عنوان مؤلفه‌های کلیدی و اثرگذار به خود اختصاص داده‌اند. در نقطه مقابل، «حمل و نقل بین‌المللی» و «ردیابی و پیگیری» بیشترین فراوانی را به‌عنوان کم‌اهمیت‌ترین معیارها از دیدگاه خبرگان کسب کرده‌اند؛ این امر بیانگر دوگانگی برداشت‌ها نسبت به اهمیت مؤلفه حمل و نقل بین‌المللی در شرایط متفاوت است.

مقایسه نتایج حاضر با مطالعه رضایی (۲۰۱۸) نیز تفاوت‌هایی را آشکار ساخت. در این پژوهش، بااهمیت‌ترین معیارها به‌ترتیب شامل «حمل و نقل بین‌المللی»، «کیفیت خدمات لجستیک»، «زیرساخت»، «گمرک»، «ردیابی و پیگیری» و «جدول زمانی» شناسایی شدند. این در حالی است که در مطالعه رضایی (۲۰۱۸)، «زیرساخت» در رتبه نخست اهمیت قرار داشت و پس از آن سایر مؤلفه‌ها اولویت‌بندی می‌شدند. همچنین، در زمینه معیارهای کم‌اهمیت، یافته‌های کنونی نشان دادند که «حمل و نقل بین‌المللی» و «ردیابی و پیگیری» از دیدگاه خبرگان در پایین‌ترین سطح اهمیت قرار دارند، در حالی که در پژوهش رضایی (۲۰۱۸)، «ردیابی و پیگیری» به‌طور مشخص در رتبه نخست کم‌اهمیت‌ترین معیارها معرفی شده بود. این اختلاف‌ها نشان‌دهنده پویایی ادراک خبرگان در بسترهای مختلف و ضرورت بازنگری مستمر در وزن‌دهی مؤلفه‌های LPI متناسب با ویژگی‌های کالامحور است.

جدول ۱۶. آمار خلاصه وزن مؤلفه‌های LPI برای جنرال کارگو

مؤلفه	میانگین	کمترین مقدار	بیشترین مقدار	انحراف معیار
گمرک	۰/۱۰۶۶	۰/۰۲۳۶	۰/۲۷۷۸	۰/۰۵۹۹
زیرساخت	۰/۱۹۳۹	۰/۰۳۰۵	۰/۴۹۵۶	۰/۱۲۳۶
حمل و نقل بین‌المللی	۰/۲۴۰۴	۰/۰۳۲۳	۰/۶۰۵۰	۰/۲۰۲۸
خدمات لجستیکی	۰/۲۰۱۰	۰/۰۶۷۲	۰/۶۲۱۶	۰/۱۴۸۲
ردیابی و پیگیری	۰/۱۰۹۰	۰/۰۳۸۰	۰/۴۰	۰/۰۹۲۱
جدول زمانی	۰/۱۴۹۱	۰/۰۱۹۴	۰/۳۰	۰/۰۹۰۸



شکل ۱۱. نمودار جعبه‌ای وزن مؤلفه‌های LPI (جنرال کارگو)

جدول ۱۵. نتایج وزن‌دهی LINGO برای کالای جنرال کارگو

	خبره ۱	خبره ۲	خبره ۳	خبره ۴	خبره ۵	خبره ۶	خبره ۷	خبره ۸	خبره ۹	خبره ۱۰	خبره ۱۱	خبره ۱۲	خبره ۱۳	خبره ۱۴	خبره ۱۵	وزن هر معیار
W1	۰.۰۷۷۷	۰.۰۷۰۸	۰.۱۳۶۴	۰.۰۲۳۶	۰.۰۷۵۰	۰.۰۰۰۰	۰.۲۷۷۸	۰.۱۶۶۷	۰.۱۰۰۸	۰.۱۰۱۳	۰.۰۴۶۲	۰.۱۲۷۰	۰.۱۵۲۷	۰.۱۰۰۰	۰.۰۹۶۸	۰.۱۰۶۶
W2	۰.۰۸۸۸	۰.۴۹۵۶	۰.۰۹۰۹	۰.۰۶۵۶	۰.۳۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۲۷۷۸	۰.۱۶۶۷	۰.۱۰۰۸	۰.۳۰۳۸	۰.۲۳۰۸	۰.۱۹۰۵	۰.۰۳۰۵	۰.۲۰۰۰	۰.۱۴۵۲	۰.۱۹۳۹
W3	۰.۰۸۸۸	۰.۱۲۳۹	۰.۱۳۶۴	۰.۵۹۰۳	۰.۱۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۵۵۶	۰.۱۶۶۷	۰.۰۶۰۵	۰.۱۵۱۹	۰.۳۶۹۲	۰.۳۸۱۰	۰.۴۵۸۰	۰.۰۳۳۳	۰.۰۳۲۳	۰.۲۴۰۴
W4	۰.۰۶۲۱۶	۰.۰۸۲۶	۰.۲۷۲۷	۰.۱۱۸۱	۰.۱۵۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۲۷۷۸	۰.۱۶۶۷	۰.۰۶۷۲	۰.۳۰۳۸	۰.۰۷۶۹	۰.۱۲۷۰	۰.۰۹۱۶	۰.۱۳۳۳	۰.۲۹۰۳	۰.۲۰۱۰
W5	۰.۱۰۳۶	۰.۱۶۵۲	۰.۰۹۰۹	۰.۰۸۴۳	۰.۰۷۵۰	۱.۰۰۰۰	۰.۰۵۵۶	۰.۱۶۶۷	۰.۰۵۰۴	۰.۰۳۸۰	۰.۰۴۶۲	۰.۰۴۷۶	۰.۱۱۴۵	۰.۰۴۰۰	۰.۱۴۵۲	۰.۱۰۹۰
W6	۰.۰۱۹۴	۰.۰۶۱۹	۰.۲۷۲۷	۰.۱۱۸۱	۰.۳۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۵۵۶	۰.۱۶۶۷	۰.۰۷۵۶	۰.۱۰۱۳	۰.۲۳۰۸	۰.۱۲۷۰	۰.۱۵۲۷	۰.۱۳۳۳	۰.۲۹۰۳	۰.۱۴۹۱
مجموع وزن‌ها	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	
نرخ سازگاری	۰.۱۲۶۰	۰.۰۲۷۷	۰.۱۸۱۸	۰.۰۹۰۳	۰.۱۲۲۷	۰.۹۵۶۰	۰.۰۹۶۶	۰.۰۱/۱	۰.۰۶۷۵	۰.۱۱۶۵	۰.۰۴۱۳	۰.۰۶۳۵	۰.۰۴۷۸	۰.۰۵۳۶	۰.۰۲۴۷	
میزان مجاز نرخ سازگاری ۰.۲۰	9	8	7	6	5	4	3	2	1	aBW						
	5.23	4.47	3.73	3	2.3	1.63	1	0.44	0	Consistency index (maxξ)						

گردآوری داده‌ها پرسشنامه‌ای ساختاریافته بر مبنای چارچوب GPBWM بود که مشتمل بر ۵۸ سؤال طراحی شد و در اختیار گروهی از خبرگان فعال در حوزه حمل‌ونقل و لجستیک قرار گرفت. این خبرگان ترکیبی از مدیران شرکت‌های داخلی و بین‌المللی، اعضای انجمن‌های صنفی و اساتید دانشگاهی متخصص در حوزه زنجیره تأمین بودند که از تنوع دیدگاه‌ها و عمق تجربه کافی برخوردار بودند.

در گام بعد، داده‌های حاصل از پرسشنامه در قالب ۶۰ مدل خطی GPBWM پیاده‌سازی و با استفاده از نرم‌افزار تخصصی LINGO اجرا شد. این مرحله به منظور استخراج وزن‌های بهینه برای هر یک از مؤلفه‌های شاخص LPI در چهار دسته کالایی انجام گردید. نتایج تحلیل‌ها نشان داد که الگوی وزن‌دهی معیارها برای هر گروه کالایی تفاوت‌های معنادار و قابل توجهی با حالت وزن‌دهی یکنواخت (۰/۱۶۶۷) برای هر معیار در حالت مساوی دارد. به عبارت دیگر، نقش و اهمیت نسبی هر مؤلفه LPI بسته به نوع کالا تغییر می‌کند؛ برای نمونه، در کالاهای نیازمند کنترل دما کیفیت خدمات لجستیکی در اولویت قرار می‌گیرد، در حالی که در کالاهای خطرناک زیرساخت‌های ایمن و تخصصی اهمیت بالاتری دارند.

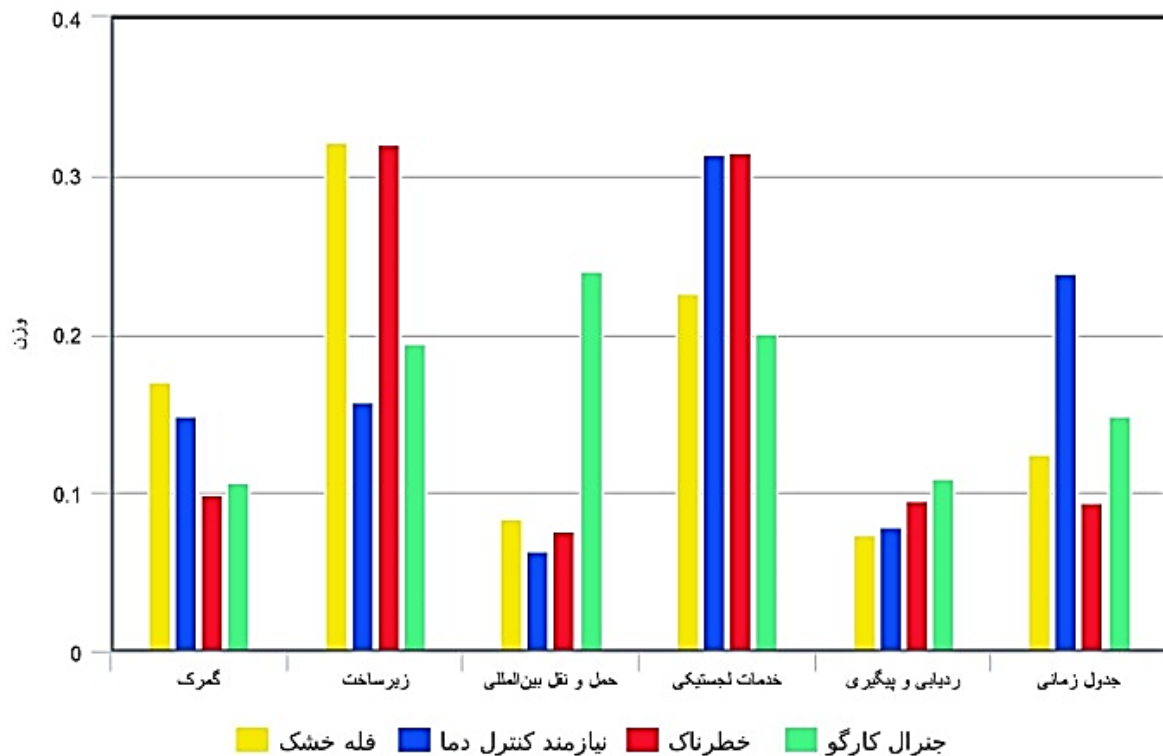
این یافته‌ها بیانگر آن است که ارزیابی سنتی LPI بر مبنای وزن‌دهی برابر نمی‌تواند به‌طور کامل واقعیت‌های عملیاتی در زنجیره‌های کالامحور را بازتابی کند. از این رو، نتایج پژوهش حاضر علاوه بر آشکار ساختن ضعف‌های رویکرد یکنواخت، مبنایی برای سیاست‌گذاری دقیق‌تر و توسعه راهبردهای متناسب با ویژگی‌های هر گروه کالایی فراهم می‌آورد.

با اعمال وزن‌های استخراج شده از نظرات خبرگان در خصوص حمل‌کالای جنرال کارگو بر رتبه‌بندی شاخص عملکرد لجستیک (LPI)، رتبه ۱۱۷ کشور از ۱۶۰ کشور تغییر کرد؛ به گونه‌ای که رتبه ۵۸ کشور بهبود یافت و رتبه ۵۹ کشور تنزل پیدا کرد. در این میان، کشورهایی چون زامبیا (با ۱۶ رتبه صعود) و سری‌لانکا و قرقیزستان (با ۶ رتبه سقوط) بیشترین تغییرات مثبت و منفی را تجربه کردند. همچنین در میان کشورهای برتر، تغییرات جزئی مشاهده شد؛ برای مثال هلند و بریتانیا بهبود و دانمارک، ژاپن و فنلاند افت رتبه داشتند. نتایج نشان داد که برخی کشورها، مانند امارات متحده عربی، توانستند با بهبود رتبه در میان ده کشور برتر قرار گیرند. بر اساس تحلیل انجام‌شده، تمرکز بر ارتقای مؤلفه‌های «سهولت دسترسی به قیمت رقابتی حمل‌ونقل» و «کفایت و کیفیت خدمات لجستیکی» می‌تواند مسیر بهبود عملکرد لجستیک در کشورهای آسیب‌پذیرتر را هموار سازد.

۴- یافته‌ها

این پژوهش با هدف اصلی تبیین و تحلیل نقش نوع کالای حمل‌شده در تفسیر و ارزیابی شاخص عملکرد لجستیک (LPI) طراحی و اجرا گردید. در این راستا، چهار گروه کالایی با ویژگی‌ها و الزامات متمایز شامل کالای فله خشک، کالاهای نیازمند کنترل دما، کالاهای خطرناک و در نهایت گروه «جنرال کارگو» به عنوان محورهای تحلیلی انتخاب شدند. این تقسیم‌بندی از آن جهت اهمیت دارد که هر یک از این گروه‌ها به‌طور متفاوتی از مؤلفه‌های لجستیکی متأثر می‌شوند و الزامات ویژه‌ای در ابعاد زیرساختی، خدماتی، ایمنی و زمان‌بندی به همراه دارند. هدف از این رویکرد آن بود که با تفکیک اثر کالامحور، بتوان تصویری واقع‌بینانه‌تر از جایگاه کشورها در شاخص LPI ترسیم کرد و از ارائه برآوردهای یکنواخت و غیرتمایز اجتناب شود.

برای نیل به این هدف، روش بهترین-بدترین آرمانی (GPBWM) به عنوان یکی از تکنیک‌های نوین در حوزه تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) به کار گرفته شد. انتخاب این روش به دلیل توانایی آن در کاهش ناسازگاری در قضاوت‌های خبرگان و ارائه نتایج پایدار و معتبر بوده است. ابزار



شکل ۱۲. مقایسه وزن معیارها در هر چهار دسته کالا

یافته‌های پژوهش نشان داد که وزن مؤلفه‌های شاخص عملکرد لجستیک (LPI) در چهار گروه کالایی مورد بررسی تفاوت‌های معنادار و قابل توجهی دارد و نمی‌توان برای همه آن‌ها یک الگوی واحد در نظر گرفت. در دسته کالاهای فله خشک و همچنین کالاهای خطرناک، معیار «زیرساخت» بالاترین وزن را به خود اختصاص داد که بیانگر نقش حیاتی شبکه‌های حمل‌ونقل، پایانه‌ها و تجهیزات تخصصی در جابه‌جایی ایمن و کارآمد این نوع محمولات است. در مقابل، در کالاهای نیازمند کنترل دما و گروه جنرال کارگو، معیار «کفایت و کیفیت خدمات لجستیکی» بیشترین اهمیت را یافت؛ نتیجه‌ای که نشان می‌دهد قابلیت‌های نرم‌افزاری و خدماتی، همچون مدیریت زنجیره سرد، زمان‌بندی دقیق، و ارائه خدمات متنوع و کارآمد، در این گروه کالاها تعیین‌کننده‌تر از سایر عوامل است.

از سوی دیگر، تحلیل داده‌ها نشان داد که معیارهای «ردیابی و پیگیری» و «سهولت دسترسی به قیمت رقابتی حمل‌ونقل» (به‌جز در گروه جنرال کارگو) در پایین‌ترین سطح اهمیت قرار دارند. این امر حاکی از آن است که اگرچه این دو مؤلفه می‌توانند در بهبود شفافیت و کاهش هزینه‌ها مؤثر باشند، اما در مقایسه با زیرساخت‌ها و کیفیت خدمات، تأثیر آن‌ها بر ارتقای جایگاه لجستیکی کشورها کمتر ارزیابی شده است. به‌طور کلی، نتایج

با استفاده از نرم‌افزار بهینه‌سازی لینگو، ۶۰ مدل خطی برای چهار دسته کالای مذکور ساخته و حل شد (مطابق شکل ۱۲). خروجی به‌دست‌آمده به ترتیب موارد زیر است.

-در دسته **کالای فله خشک** وزن معیارها به این صورت است: زیرساخت (۰/۳۲)، خدمات لجستیکی (۰/۲۳)، گمرک (۰/۱۷)، جدول زمانی (۰/۱۲)، حمل‌ونقل بین‌المللی (۰/۰۸)، ردیابی و پیگیری (۰/۰۷)؛

-در دسته **کالای نیازمند کنترل دما** وزن معیارها به این صورت است: خدمات لجستیکی (۰/۳۱)، جدول زمانی (۰/۲۴)، زیرساخت (۰/۱۶)، گمرک (۰/۱۵)، ردیابی و پیگیری (۰/۰۸)، حمل‌ونقل بین‌المللی (۰/۰۶)؛

-در دسته **کالای خطرناک** وزن معیارها به این صورت است: زیرساخت (۰/۳۲)، خدمات لجستیکی (۰/۳۱)، گمرک (۰/۱۰)، ردیابی و پیگیری (۰/۱۰)، جدول زمانی (۰/۰۹)، حمل‌ونقل بین‌المللی (۰/۰۸)؛

-در دسته **کالای جنرال کارگو** وزن معیارها به این صورت است: حمل‌ونقل بین‌المللی (۰/۲۴)، خدمات لجستیکی (۰/۲۰)، زیرساخت (۰/۱۹)، جدول زمانی (۰/۱۵)، ردیابی و پیگیری (۰/۱۱)، گمرک (۰/۱۱).

پژوهش بر این نکته تأکید می‌کند که دو حوزه کلیدی «ارتقای زیرساخت‌های حمل‌ونقل و لجستیک» و «بهبود کیفیت و کفایت خدمات لجستیکی» باید در کانون توجه سیاست‌گذاران و مدیران ملی قرار گیرد. تمرکز بر این دو حوزه می‌تواند ضمن کاهش محدودیت‌های ساختاری، به افزایش کارایی شبکه‌های زنجیره تأمین و بهبود رتبه کشورها در شاخص جهانی LPI منجر شود و در نهایت زمینه ارتقای رقابت‌پذیری اقتصادی و توسعه پایدار تجارت بین‌المللی را فراهم آورد.

۵- نتیجه‌گیری

شاخص عملکرد لجستیک (LPI) به‌عنوان یکی از ابزارهای معتبر در سنجش وضعیت لجستیکی کشورها، امکان مقایسه نظام‌مند عملکرد ملی در ابعاد مختلف زنجیره تأمین را فراهم می‌سازد. این شاخص که توسط بانک جهانی معرفی و به‌روزرسانی می‌شود، بر پایه ارزیابی خبرگان و در قالب شش مؤلفه اصلی شامل گمرک، زیرساخت، حمل‌ونقل بین‌المللی، کفایت و کیفیت خدمات لجستیکی، ردیابی و پیگیری، و جدول زمانی طراحی شده است. در رویکرد سنتی، وزن تمامی مؤلفه‌ها یکسان در نظر گرفته می‌شود و نمره نهایی کشورها میانگینی از این مقادیر است. با این حال، این رویه کاستی‌هایی دارد؛ چراکه اهمیت واقعی مؤلفه‌ها در عمل می‌تواند متناسب با نوع کالا و شرایط عملیاتی متفاوت باشد. به همین دلیل، در سال‌های اخیر مطالعات متعددی همچون پژوهش‌های رضایی (۲۰۱۸)، اولوتاش (۲۰۱۹) و ییلدیریم (۲۰۲۰) به مسئله وزن‌دهی پویا به مؤلفه‌های LPI پرداخته‌اند، هرچند هیچ‌یک از این تحقیقات نقش «نوع کالا» را به‌صورت مستقیم مورد توجه قرار نداده‌اند.

در پژوهش حاضر، این خلأ مورد بررسی قرار گرفت و با بهره‌گیری از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره بهترین-بدترین آرمانی (GPBWM) وزن‌های اختصاصی برای شش مؤلفه LPI در چهار گروه کالایی شامل فله خشک، نیازمند کنترل دما، خطرناک و جنرال کارگو استخراج شد. داده‌های پژوهش از طریق پرسشنامه‌ای ساختاریافته با ۵۸ سؤال گردآوری شد که برای پانزده خبره از فعالان و تصمیم‌گیران صنعت حمل‌ونقل و لجستیک ارسال گردید. در ادامه، با استفاده از نرم‌افزار لینگو، تعداد ۶۰ مدل خطی GPBWM توسعه و حل شد. نتایج حاصل، الگوهای متفاوتی از اهمیت نسبی مؤلفه‌ها در هر گروه کالایی نشان داد. برای نمونه، در کالاهای فله خشک و خطرناک،

مؤلفه «زیرساخت» بالاترین وزن را به خود اختصاص داد، در حالی که در کالاهای نیازمند کنترل دما، «کیفیت خدمات لجستیکی» و «جدول زمانی» در اولویت قرار گرفتند. همچنین در گروه جنرال کارگو، «حمل‌ونقل بین‌المللی» و «کیفیت خدمات لجستیکی» بیشترین اهمیت را داشتند.

اعمال این وزن‌ها بر داده‌های شاخص LPI بانک جهانی (نسخه ۲۰۱۸) منجر به تولید چهار رتبه‌بندی مجزا شد که بیانگر تغییرات قابل توجه جایگاه بسیاری از کشورها بود؛ به‌گونه‌ای که برخی کشورها ارتقا و برخی دیگر افت رتبه را تجربه کردند. این تغییرات اهمیت در نظر گرفتن ساختار کالامحور تجارت خارجی کشورها را آشکار ساخت و نشان داد که سیاست‌گذاران باید اولویت‌های بهبود لجستیکی را متناسب با ترکیب واردات و صادرات خود بازتعریف نمایند. در مجموع، دو مؤلفه «زیرساخت» و «کفایت و کیفیت خدمات لجستیکی» به‌عنوان محورهای کلیدی در بهبود عملکرد لجستیکی شناسایی شدند. به‌عنوان مثال، کشورهایی با سهم بالای کالاهای فله خشک در تجارت خارجی، می‌توانند از سه اولویت اصلی بهره‌گیرند: (۱) توسعه و نوسازی زیرساخت‌های تجاری و حمل‌ونقل شامل بنادر، پایانه‌ها، شبکه ریلی و جاده‌ای و فناوری‌های اطلاعاتی؛ (۲) ارتقای کفایت و کیفیت خدمات لجستیکی با محوریت متصدیان حمل‌ونقل، کارگزاران واسطه‌های گمرکی و (۳) بهبود فرآیندها و رویه‌های گمرکی با تأکید بر سرعت، شفافیت و قابلیت پیش‌بینی در ترخیص کالا. در مقابل، کشورهایی با حجم بالای مبادلات کالاهای نیازمند کنترل دما باید تمرکز خود را بر ارتقای خدمات لجستیکی تخصصی، تضمین زنجیره سرد و تحویل به‌موقع محموله‌ها قرار دهند.

همچنین شاخص عملکرد لجستیک نیازمند بازنگری و تکمیل در ابعاد مختلف است تا بتواند بازتاب‌دهنده واقعی‌تری از شرایط عملیاتی و تجاری کشورها باشد. یکی از مسیرهای آینده‌پژوهی در این حوزه، توجه به مؤلفه‌های زیست‌محیطی است؛ زیرا بخش حمل‌ونقل، به‌ویژه حمل‌ونقل دریایی، سهم قابل‌توجهی در انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد (حدود ۲/۸۹ درصد در سال ۲۰۲۴) و نادیده‌گرفتن این اثرات می‌تواند منجر به ارزیابی ناقص از پایداری سیستم‌های لجستیکی شود. همچنین، تنوع‌بخشی به دسته‌بندی کالاهای می‌تواند افق‌های جدیدی در تحلیل ایجاد کند؛ به‌گونه‌ای که علاوه بر طبقه‌بندی بر اساس شیوه حمل، دسته‌بندی بر مبنای ویژگی‌های فیزیکی یا حساسیت‌های عملیاتی کالا نیز

-Beysenbaev, R. D. (2020). Proposals for improving the Logistics Performance Index. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, (1), 36, 34-42.

-Cullinane, K. R. (2019). Evaluating the sustainability of national logistics performance using Data Envelopment Analysis. *Transport Policy*, (74), 35-46.

E. B. Mariano, J. A. (2017). CO₂ emissions and logistics performance: a composite index proposal. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 163. 166-178.

-Emamat, M. A. (2020). A goal programming model for BWM. *Informatica*. 31(1), 21-34.

-Erkan, B. (2014). The importance and determinants of logistics performance of selected countries. *Journal of Emerging Issues in Economics, Finance and Banking*, No. 6.

-Gani, A. (2016). The Logistics Performance Effect in International Trade. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 279-288.

-Hasan, M. K., Lei, Xunping, T., Wei, N., Nahar, N & Latif, Z. (2025). Exploring logistics performance index (LPI) from global perspective: a study based on network analysis. *Operations Management Research*, 18(3), 1088-1112.

-House, D. (2015). Cargo Work: For Maritime Operations. *Abingdon, UK* : Taylor & Francis.

-Jean-François Arvis, M. A. (2010). Connecting to Compete 2010: Trade Logistics in the Global Economy – The Logistics Performance Index and Its Indicators. Washington, DC : *World Bank*.

-Luisa Martí, J. C. (2017). A DEA-logistics performance index. *Journal of Applied Economics*. 169-192.

-Mahpour, A., Farzin, I., Baghestani, A., Ashouri, S., Javadi, Z & ,Asgari, L. (2023). The Impact of Logistics Performance on Export Market Penetration. *Financial Markets, Institutions & Risks*.

Murat Çemberci, M. E. (2015). The moderator effect of global competitiveness index on dimensions of logistics performance index. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, Vol.195, 1514-1524.

-Mustafa Emre Civelek, N. U. (2015). The mediator effect of logistics performance index on the relation between global competitiveness index and gross domestic

مدنظر قرار گیرد. از سوی دیگر، در طراحی و اجرای پژوهش‌های آینده، استفاده از روش‌های سهمیه‌بندی در انتخاب خبرگان می‌تواند به ایجاد تعادل در ترکیب پاسخ‌دهندگان کمک کرده و موجب شود دیدگاه‌های گروه‌های مختلف شامل مدیران، سیاست‌گذاران و دانشگاهیان به‌طور متوازن در نتایج نهایی منعکس گردد.

۶- پی‌نوشت‌ها

- 1- Logistics Performance Index
- 2- Global Competitiveness Index
- 3- Window Analysis
- 4- Malmquist Index
- 5- Low Carbon Logistics Performance Index
- 6- Sustainable Operational Logistics Performance
- 7- Data Envelopment Analysis
- 8- Multivariate Adaptive Regression Spline
- 9- Best Worst Method
- 10- Fuzzy Analytical Hierarchy Method
- 11- Grey Additive Ratio Assessment

۷- مراجع

-اصغریور، محمدجواد (۱۴۰۲). تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره. تهران، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.

-قاسمی، احمدرضا و آدوسی، حسین (۱۳۹۳). ارزیابی تأثیر عملکرد لجستیک بر رقابت‌پذیری جهانی در خلال سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳. مدیریت بازرگانی، شماره ۲، ۳۵۹-۳۸۰.

-Alptekin Ulutaş, K. (2019). An analysis of the logistics performance index of EU countries with an integrated MCDM model. *Economics and Business Review*, 5(4) 49-69.

-Amrita Jhavar, S. K. (2014). Analysis of the skilled work force effect on the logistics performance index—case study from India. *Logistics Research*. 1-10.

-Bank, W. (2023). Connecting to Compete 2023: Trade Logistics in an Uncertain Global Economy – Logistics Performance Index. Washington, DC. *World Bank*.

- Sharawi, H. (2025). The impact of LPIs' indicators on the global logistics performance index.
- Şule Önsel Ekici Özgür Kabak, F.Ü. (2019). Improving logistics performance by reforming the pillars of Global Competitiveness Index. *Transport Policy*, 81, 197-207.
- UNCTAD, N. (2018). Review of Maritime Transport 2018. *United Nations*.
- V. Roy, S. K. (2018). Facilitating the extraction of extended insights on logistics performance from the logistics performance index dataset: A two-stage methodological framework and its application. *Research in Transportation Business & Management*, 23-32.
- Wang, W. W. (2024). The impact of international logistics performance on import and export trade: an empirical case of the 'Belt and Road' initiative countries. *Palgrave Communications*. 11(1), 1-10.
- Yıldırım, B. F. (2020). Evaluating the logistics performance of OECD countries by using fuzzy AHP and ARAS-G. *Eurasian Economic Review*, 10(1), 27-45.
- product. *European Scientific Journal* (ESJ), 368-375.
- Özgür Kabak, F.Ü. (2018). Connecting logistics performance to export: A scenario-based approach. *Research in Transportation Economics*. 68-92.
- R. De Souza, M. G. (2007). An investigation into the measures affecting the integration of ASEAN's priority sectors (Phase 2): the case of logistics.
- Rezaei, J. (2015). Best worst multi criteria decision making method Some properties and a linear model. *Omega* 53, 45-57.
- Rezaei, J. (2016). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega* 64, 126-130.
- Rezaei, J. (2016). Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model. *Omega* 64, 126-130.
- Rezaei, W. S. (2018). Measuring the relative importance of the logistics performance index indicators using Best Worst Method. *Transport Policy*, 68, 158-169.
- Saaty, T. L (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234-281.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98.

Commodity-Specific Weighting of Logistics Performance Index (LPI) Components: A Goal-Programming Best–Worst Method (GPBWM) Assessment and Re-ranking of Countries

Abdolreza Shekholeslami, Associate Professor, School of Civil Engineering,

Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

Shahin Hassani, Ph.D., Student, School of Civil Engineering,

Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

Ali Navardi, M.Sc., Grad., School of Civil Engineering,

Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

Razieh Asoodeh, Ph.D., Student, School of Civil Engineering,

Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

E-mail: sheikh@iust.ac.ir

Received: March 2026- Accepted: August 2026

ABSTRACT

Logistics is recognized as a network of services facilitating the movement of goods and supporting domestic and cross-border trade. The Logistics Performance Index (LPI), introduced by the World Bank in 2007, ranks countries biennially based on their logistics performance. The index comprises six components, which have traditionally been considered equally important. Efficient logistics is a key driver of economic growth and global market access, whereas inefficiencies increase trade costs and hinder market access. This study aims to examine the impact of cargo type on the weighting of LPI components. Cargo was classified into four categories: dry bulk, temperature-sensitive, hazardous, and general cargo. Using an expert-based questionnaire and the Goal Programming Best-Worst Method (GPBWM), weights for each component were determined for each cargo category. The results indicate that infrastructure is the most critical component for dry bulk and hazardous cargo, logistics service adequacy and quality is most significant for temperature-sensitive cargo, and international shipment carries the highest importance for general cargo. Applying these weights resulted in notable changes to the LPI rankings of countries. These findings provide policymakers with guidance to focus on key components according to the type of export and import cargo, thereby facilitating targeted improvements in logistics performance.

Keywords: Logistics Performance Index (Lpi), Commodity Type, Component Weighting, Goal-Programming Best–Worst Method (Gpbwm), Multi-Criteria Decision Making (Mcdm), Country Ranking