نشریه علمی- پژوهشی مهندسی هوانوردی
سال بیست و هفتم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۴

اندازه‌گیری کارایی مدیران خطوط هوایی ایران با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای

معصومه پورمند[۱]، محسن رستمی مال خلیفه[*۲]، محمدعلی افشارکاظمی[۳]، محمدعلی کرامتی[۴]
۱. دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲. استاد گروه ریاضی، آمار و علوم کامپیوتر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۳. استاد گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران مرکز، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۴. استاد گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران مرکز، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
(دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۵)

چکیده

در این پژوهش، با استفاده از منطق فازی و روش جدیدی از تحلیل پوششی داده‌ها به بررسی کارایی کل و زیرواحدهای مستقل یک واحد تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان پرداخته شده است. ابتدا نواقص مدل‌های استاندارد بررسی و سپس رویکردهای مختلف تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای تحلیل شدند. مدل‌سازی مقادیر میانی که باید در مرحله اول بیشینه و در مرحله دوم کمینه شوند، انجام شده و با توجه به وجود ابهام و عدم قطعیت در دنیای واقعی، از منطق فازی و مفهوم برش آلفا جهت مواجهه استفاده شده است. مدل فازی ارائه شده تحت عنوان رویکرد کمینه-بیشینه فازی با داده‌های موجود اعتبارسنجی و عملکرد مدیران ۱۴ خط هوایی ایرانی ارزیابی شد. نتایج نشان دادند که خط هوایی تابان تنها خط هوایی است که در هر سه مرحله کاراست. خط هوایی معراج با کارایی کل ۰/۳۵ کمترین بازده را دارد که بیشتر تابع مرحله اول است. این پژوهش نشان می‌دهد که ارزیابی عملکرد مدیران خطوط هوایی با مدل‌های شبکه‌ای فازی می‌تواند راه‌حل مناسبی برای اندازه‌گیری کارایی مدیران در موقعیت‌هایی باشد که از یک سو با فرایندهایی چند مرحله‌ای و از سویی با عدم اطمینان بالا روبرو هستند.

واژه‌های کلیدی: *تحلیل پوششی داده‌ها شبکه‌ای، مدیر خط هوایی، رویکرد کمینه- بیشینه فازی، کارایی.*

Measuring the Efficiency of Iranian Airlines Manager Using Network Data Envelopment Analysis

Masoumeh Pourmand , Mohsen Rostami Malkhalifeh*, Mohammad Ali Afshar Kazemi, Mohammad Ali Keramati

Abstract

This study investigates the efficiency of total and independent sub-units of a decision-making unit under uncertainty using fuzzy logic and a new method of data envelopment analysis. Initially, the shortcomings of standard models were examined, followed by an analysis of different approaches to network data envelopment analysis. Intermediate measures that should be maximized in the first stage and minimized in the second stage were modelled. Given the ambiguity and uncertainty in the real world, fuzzy logic and the concept of alpha-cut were employed. The proposed fuzzy model, termed the fuzzy min-max method, was validated with existing data, and the performance of managers from 14 Iranian airlines was evaluated. The results indicated that Taban, is the only airline efficient in all three stages. Meraj airline, with a total efficiency of 0.35, has the lowest efficiency, primarily due to the first stage. This research demonstrates that evaluating the performance of airline managers using fuzzy network models can effectively measure managerial efficiency in multi-stage processes and high uncertainty scenarios.

Key words: *Two-stage Fuzzy Data Envelopment Analysis, Airline, fuzzy Min-Max approach, efficiency.*

* نویسنده پاسخگو: محسن رستمی مال خلیفه، تلفن: ۰۲۱۴۴۸۶۵۷۷۷، پست الکترونیک: mohsen_rostamy@yahoo.com
این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس از آدرس https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode دیدن فرمایید.

مقدمه

تحلیل پوششی داده‌ها یک تکنیک ناپارامتریک برای محاسبه کارایی نسبی واحدهای تصمیم گیری[1] همکار، در حضور ورودی‌ها و خروجی‌های متعدد می‌باشد[۱] که اولین بار توسط [۲] ارائه شده است. این تکنیک در ابتدا با فرآیندهای تولید یک مرحله ای سروکار داشته که در آن ساختار داخلی واحدهای تصمیم در نظر گرفته نمی شود. این در حالی است که در حال حاضر با پیچیده‌تر شدن فرایندها، بدون لحاظ کردن زیر واحدها که بعضاً هر کدام از آن‌ها نیز واحدهایی با فرایندهای پیچیده می‌باشند، نمی‌توان تصویر درستی از میزان کارایی کل و همچنین کارایی تک‌تک زیرواحدها داشت. این در حالی است که گاهی اوقات کارایی هرکدام از این زیر واحدها به‌تنهایی تاثیر مهمی بر کارایی کل واحد دارد.

خلاء لحاظ شدن ساختار داخلی یک واحد تصمیم با ارائه تحلیل پوششی داده‌های شبکه ای[2]، عنوانی که اولین بار توسط [۸] بکار برده شد، برطرف گردید. NDEA به فرآیندهای چند مرحله‌ای اشاره دارد، که در آن ساختار زیربنایی، که نشان دهنده جریان اقدامات میانی در بین مراحل است، نقش کلیدی در ارزیابی کارایی ایفا نموده [۱] و با لحاظ کردن کامل ساختار داخلی یک واحد تصمیم، اجازه درک بهتر فرآیندها را فراهم می‌سازند. با این وجود، پژوهش‌گران اغلب مدل‌های NDEA را در حالت قطعی در نظر گرفته اند، حال آن‌که یکی از ویژگی-های دنیای واقعی وجود انواع ابهام و عدم قطعیت در مسائل می‌باشد که همین امر لزوم اتخاذ رویکردی جهت مواجهه با آن را ضروری می‌سازد [۳].

لذا در این مقاله قصد داریم تا این گپ موجود در ادبیات را برای یکی از مدل‌های خاص شبکه‌ای تحت عنوان مدل دومرحله‌ای سری "کمینه-بیشینه"، پوشش دهیم. بنابراین تمرکز این مقاله بر حالت فازی از مدل دو مرحله‌ای سری تحلیل پوششی داده‌ها به عنوان راه حلی در مواجهه با ابهام‌های گفته شده می‌باشد. در ادبیات با استفاده از ابزار DEA، محققان مقالات زیادی با هدف اندازه‌گیری کارایی خطوط هوایی به چاپ رسانده‌اند. با این حال به نسبت مدل‌های استاندارد DEA، توجه کمتری به NDEA و حالت خاص‌تر آن تحلیل پوششی داده‌های شبکه ای فازی[3] شده است. این در حالی است که به گواه پژوهشگران حوزه هوانوردی، در نظر گرفتن کل مجموعه بزرگ یک خط هوایی به عنوان یک DMU بدون لحاظ کردن زیر واحدهایی مانند عملیات، نگهداری، خدمات و ... که خود هر کدام واحدهایی با فرایندهای پیچیده می‌باشند، نمی‌تواند تصویر درستی از میزان کارایی یک خط هوایی داشته باشد. از طرفی جهت ارزیابی عملکرد مدیران بیشتر ویژگی‌های رفتاری و فردی مدیران مد نظر قرار می‌گیرد[۴].

لوتانز[4] و همکاران [۴] معتقدند که جهت ارزیابی عملکرد مدیران می‌توان از سه دیدگاه متفاوت شامل نظام ارزیابی مبتنی بر ویژگی‌های فردی مدیر، نظام ارزیابی مبتنی بر رفتار مدیر و نظام ارزیابی مبتنی بر نتایج کاری مدیر استفاده کرد. نویسندگان این مقاله بر این باورند که دو مورد اول اگر چه تاثیرگذار و مهم هستند، لیکن در نهایت چیزی که در عمل اتفاق می‌افتد، ارزیابی مدیران بر مبنای نتایج کاری ایشان است. هرچه نتایج کاری درخشان‌تر باشد، مدیر کاراتر برآورد می‌شود و برعکس. این نوع ارزیابی البته می‌تواند مبنای منطقی داشته باشد. چرا که این موارد و یا بعبارتی ویژگی‌های رفتاری و فردی هر فرد در هر جایگاه، تاثیر مستقیمی بر تصمیم‌گیری او و در گام بعدی نتایج این تصمیم‌ها خواهد داشت و نتیجه نهایی این می‌شود که این موارد در بطن حالت سوم نهفته هستند. از این رو در این مقاله از مورد سوم استفاده نموده و میزان کارایی واحدها و زیرواحدها هم ارز کارایی مدیران آن‌ها درنظر گرفته می‌شود. با توجه به مطالب گفته شده بالا که ضرورت انجام پژوهش را مشخص می‌کنند، می‌توان به این موضوع اشاره کرد که هدف و دغدغه اصلی تحقیق پیش رو این است که با ارائه یک مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای فازی تحت عنوان مدل دومرحله‌ای سری کمینه- بیشینه فازی، گپ موجود در ادبیات در خصوص اندازه‌گیری کارایی یک واحد تصمیم با لحاظ زیرواحدها در شرایطی با داده‌های غیرقطعی پوشانده شود.

در ادامه مقاله شامل موارد زیر است:

- پیشینه پژوهش
- مدل سازی ریاضی
- منطق فازی
- مدل کمینه- بیشینه فازی

[1] DMU
[2] NDEA
[3] FNDEA
[4] Luthans

- معرفی ساختار شبکه خطوط هوایی و مطالعه موردی خطوط هوایی ایران
- ارائه نتایج شرکت های هواپیمایی ایرانی
- نتیجه گیری
- پیشنهادها

پیشینه پژوهش

تحلیل پوششی داده‌ها استاندارد[5] با دو مدل اولیه با مفروضات بازده به مقیاس ثابت و متغیر [۵] ، به ارزیابی فرآیندهای تولید یک مرحله ای سروکار دارد که در آن ساختار داخلی واحدهای تصمیم در آن در نظر گرفته نمی‌شوند.
از زمان ارائه این روش تا کنون محققان توسعه‌های نظری بسیاری را به آن افزوده و دامنه کاربرد عملی آن را به صورت معناداری افزایش داده‌اند(به عنوان مثال می‌توان به مقالات مروری [۶]و [۷]مراجعه نمود).
NDEA عنوانی است که اولین بار توسط [۸]و بر مبنای مطالعاتی بکار برده شد که پیش‌تر توسط [۹] انجام شده بود. NDEA به فرآیندهای چند مرحله ای اشاره دارد، که در آن ساختار زیربنایی، که نشان دهنده جریان اقدامات میانی در بین مراحل است، نقش کلیدی در ارزیابی کارایی ایفا می‌کند [۹]. بعبارتی ساختار داخلی DMUs را نیز در محاسبه کارایی در نظر می‌گیرد. این نوع مدل‌ها با لحاظ کردن کامل ساختار داخلی یک DMU اجازه درک بهتر فرآیندهای تولید را فراهم می‌سازند. در حالت شبکه‌ای سری، DMUs شامل ساختارهای دو یا چندمرحله‌ای با مقادیر میانی می‌باشند؛ بطوریکه در هر DMU، خروجی‌های هر مرحله، ورودی‌های مرحله بعدی هستند. بعبارت دیگر، بر خلاف مدل‌های سنتی DEA استاندارد که در آن DMUs به عنوان یک جعبه سیاه شناخته می‌شد، در NDEA، DMUs، شبکه ای از زیر فرایندهای به هم مرتبط (مراحل، زیر واحدها، تقسیمات و ...) بوده که اتصالات، نشان دهنده جریان مقادیر میانی است. بررسی و طبقه بندی جامعی از توسعه مدل های NDEA توسط [۱۱ و ۱۲] ارائه شده است.

یکی از طبقه‌بندی های مهم در این حوزه شامل تقسیم مدل‌های مذکور به دو حالت سری و موازی است. حالت موازی از بحث این مقاله خارج می‌باشد، لذا خواننده در صورت تمایل می‌تواند به مقالات مرتبط مراجعه نماید.

مدل دو مرحله‌ای سری که مورد بحث این مقاله است حالت خاصی از مدل NDEA بوده که در آن هر DMU شامل دو مرحله با مقادیر میانی می‌باشد. اتفاقاً در این روش مشکل اصلی همین مقادیر میانی هستند که از یک سو به عنوان خروجی‌های مرحله اول مطلوب است که بیشینه شوند و از سویی به عنوان ورودی‌های مرحله دوم باید کمینه شوند.

اگرچه در حوزه DEA، محققان مقالات زیادی با هدف اندازه‌گیری کارایی خطوط هوایی به چاپ رسانده‌اند، با این حال به نسبت مدل‌های استاندارد DEA، توجه کمتری به NDEA شده است. این در حالی است که به گواه پژوهش‌گران حوزه هوانوردی، در نظر گرفتن کل مجموعه بزرگ یک خط هوایی به عنوان یک DMU بدون لحاظ کردن زیر واحدهایی مانند عملیات، نگهداری، خدمات و ... که خود هر کدام واحدهایی با فرایندهای پیچیده می‌باشند، نمی‌تواند تصویر درستی از میزان کارایی یک خط هوایی داشته باشد[۱۳]. بعلاوه این‌که بسیار مشاهده می‌شود که مبنای عملکرد هر کدام از این زیرواحدها، خود به تنهایی معیار انتخاب شدن از سوی مسافران شده است[۱۴]. قابل ذکر است که در این حوزه نیز اخیرا مقالاتی با استفاده از مدل‌های شبکه‌ای انجام شده است. در این میان می‌توان به مقاله های نظیر [۲۰-۱۵] اشاره نمود، که بیان‌گر این است که با توجه به ماهیت پیچیده خطوط هوایی لزوم استفاده از مدل‌های شبکه‌ای در این حوزه درک شده است. با این حال یکی از موضوعاتی که در این بین مغفول مانده یا کمتر به آن پرداخته شده، ویژگی‌های دنیای واقعی مبنی بر وجود انواع ابهام و عدم قطعیت در مسائل بوده که همین امر لزوم اتخاذ رویکردی جهت مواجهه با آن را ضروری می‌سازد[۱۴]. استفاده از اعداد و منطق فازی یکی از راه‌حل‌ها در رویارویی با شرایط گفته شده است[۲۱و۲۲]. مدل‌های DEA نیز از این قاعده مستثنی نبوده و در مواقعی جهت بیان مقادیر از اعداد فازی کمک گرفته می‌شود. استفاده از تئوری مجموعه های فازی در DEA به چهار گروه کلی تقسیم می‌گردند که عبارتنداز: ۱- رویکرد تحمل ، ۲- رویکرد مبتنی بر برش آلفا ، ۳- رویکرد رتبه بندی فازی و ۴- رویکرد امکان . در این بین، از رویکرد برش α استفاده گسترده‌تری شده که با توجه به

[5] DEA

همخوانی با روش بکار رفته در مدل‌های پیشنهادی در این پژوهش نیز از آن استفاده شده است.

مدل‌های DEA دائما در حال توسعه بوده و با توجه به پیشرفت فناوری و در نتیجه، پیچیده‌تر شدن فرایندها و گسترش کسب و کارها، دامنه کاربردهای آن‌ها افزایش می‌یابد[۲۳]. در این میان صنعت حمل و نقل به‌خصوص صنعت حمل و نقل هوایی یکی از حوزه هایی است که ارزیابی عملکرد در آن همواره مورد توجه پژوهشگران بوده [۲۰]، که در ادامه به تفصیل به آن خواهیم پرداخت.

تجزیه راندمان جمعی [۲۴] و تجزیه راندمان مضربی [۲۵] اولین روش‌های ارزیابی کارایی کلی سیستم با در نظر گرفتن مقادیر میانی بین مراحل هر DMU هستند. همچنین [۲۶] مدل مضربی را با در نظر گرفتن مفهوم نظریه بازی (بازی مشارکتی یا غیر مشارکتی (رهبر، پیرو) مورد توجه قرار داد. در رویکرد رهبر- پیرو، کارایی مرحله ای به طور همزمان بهینه نمی‌شود، و اولویت به یکی از دو مرحله (مرحله رهبری) داده می‌شود. [۱۰] یک پارادایم ترکیبی را در مدل دومرحله‌ای ارائه کردند. همچنین، [۱] رویکرد برنامه‌ریزی چند هدفه‌ای را که از مدل بهینه سازی کمینه-بیشینه استفاده می‌کند، ارائه کردند و با الهام گرفتن از مفهوم ارتباط ضعیف در زنجیره تامین روشی را با همین نام معرفی کردند. [۲۷] هم یک نگاه چند هدفه به مدل دو مرحله‌ای داشتند و به کمک مدل‌های موجود در ادبیات به ارائه پاره‌تو برای این مسئله پرداختند.

در ادبیات، برای برخی رویکردها از جمله رهبر- پیرو، رویکردهای تجزیه جمعی و مضربی و همچنین رویکرد ارتباط ضعیف، مدل‌های فازی وجود دارد [۲۸ و ۲۹]. ولی برای رویکرد کمینه- بیشینه که مورد بحث این مقاله هست تا جایی که نویسندگان می‌دانند تا کنون مدل فازی ارائه نشده است. علاوه‌براین، مدل های ارائه شده نیز دارای کاستی‌های زیادی هستند؛ مثلا مدل ارائه شده توسط [۲۸]، با استفاده از یک مدل بهینه سازی دو سطحی، مشکل مقادیر میانی را برطرف کرد. بااین‌حال ضعف اصلی این مدل، ارائه یک مدل غیرخطی برای محاسبه حد پایین کارایی کل و همچنین عدم ارائه مدل برای محاسبه کارایی زیرواحدها می‌باشد (فقط از وزن‌های بهینه مدل اول برای محاسبه کارایی زیرواحدها استفاده کردند). مدل ارائه شده توسط [۲۹]، نیز در ارائه مدل فازی با کاستی مواجه است؛ بدین صورت که در این مقاله به ازای هر α فقط یک نقطه محاسبه می‌شود و با کمی دقت بر روی مدل ارائه شده درمی‌یابیم که در این مقاله، فقط برای حد بالای کارایی مدل ارائه شده و مدلی برای حد پایین کارایی ارائه نشده است. با توجه به ضعف‌های موجود در ادبیات در ارائه مدل فازی و همچنین لزوم ارائه مدلی جهت مواجهه با ابهامات دنیای واقعی برآن شدیم تا برای یکی از مدل‌های جدیدتر(کمینه- بیشینه)، مدلی فازی ارائه دهیم که با استفاده از رویکرد اتخاذ شده می توان مشکلات برخی از مدل‌های نام برده شده را نیز حل نمود. انجام این پژوهش‌ها و ضعف‌های موجود، اهمیت مقادیر میانی و پرداختن به فازهای مختلف یک فرایند را بیش از پیش مشخص نموده اند. از طرفی یکی از حوزه‌هایی که به گفته پژوهش‌گران [۲۱-۲۵] نیازمند توجه بیشتر با نوع نگاه به آن با این رویکرد و گذر از استفاده از DEA استاندارد می باشد، حوزه هوانوردی و بالاخص محاسبه کارایی خطوط هوایی است.

همزمان با دیگر صنایع یا کسب و کارهایی با فرایندهای گسترده‌تر، لزوم بکارگیری مدل‌های شبکه‌ای جهت محاسبه کارایی خطوط هوایی نیز که شامل چندین بخش کاملا مجزا نظیر خدمات، عملیات، نگهداری، آماد و پشتیبانی و ... می‌باشند، نیز باعث شد تا مدل‌های DEA استفاده شده برای تحلیل عملکرد، ساختار داخلی و مقادیر میانی را در نظر بگیرند[۱۸]؛ پژوهش‌هایی نظیر [۳۰-۳۲] بترتیب به ارزیابی کارایی ۵۹ ، ۵۳ و ۱۵خط هوایی بین‌المللی پرداختند.

مدل‌های دومرحله‌ای با رویکردهای متفاوت در ادبیات ارائه و مقادیر میانی لحاظ شده اند[۱۸، ۱۹ و ۳۳] و بسیاری دیگر که وجه تشابه اکثر این پژوهش‌ها نیز استفاده از داده‌های قطعی در مدل‌ها بوده است.

هرچند ساختارهای ۳ مرحله‌ای و در موارد نادر ۴ مرحله‌ای نیز در ادبیات دیده می‌شود اما به [۳]، ساختار دو مرحله ای با نام عملیات و خدمات برای ساختار خطوط هوایی مناسب‌تر است. پژوهش‌هایی نظیر [۳۴]، برای محاسبه کارایی ۱۱ شرکت هواپیمایی در ایران و [۱۵]، جهت اندازه‌گیری کارایی ۲۲ شرکت هواپیمایی طی سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۱۲، و همچنین [۳۱ و ۳۵]، از مدل دو مرحله‌ای استفاده کردند. ضمن اینکه پژوهش‌هایی نیز دیده می‌شوند که از FDEA استفاده کرده‌اند. نظیر محاسبه کارایی خطوط هوایی در نیجریه. همچنین [۳۶]، جهت محاسبه کارایی ایمنی هفت شرکت هواپیمایی ایرانی یک

روش جدیـــد از ترکیـــب FDEA و[6](FMADM)، پیشـــنهاد کردند. ایشان عنوان نمودند که علت اسـتفاده آن‌هـا از منطـق فازی "به دلایلی مانند عدم قطعیـت اطلاعـات و ریسـک بـالای هوانوردی در خطوط هوایی ایرانی بوده اسـت". آنهـا از FDEA برای محاسبه وزن یک معیار استفاده کردند و سپس رتبه‌بنـدی هر شرکت هواپیمایی را بر اسـاس وزن‌هـای بـه‌دسـت‌آمـده بـا استفاده از روش MADM تعیین کردند. سـلطانزاده و عمرانـی [۳۷]، برای اندازه‌گیری کارایی چند خط هوایی ایرانـی از مـدل شبکه پویا FDEA در بازه زمانی ۲۰۱۰-۲۰۱۲ استفاده کردند.

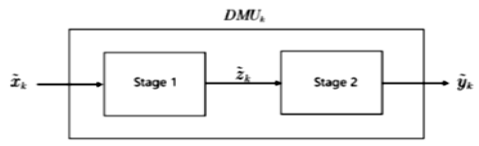
مرور پژوهش‌های انجام شده نشـان مـی‌دهـد کـه مسـئله ساختار داخلی و لزوم پرداختن به مقادیر میانی بعنوان شاخص-هایی تاثیرگذار بر کارایی کلی خط هـوایی، بـا ارائـه مـدل‌هـای شبکه‌ای شامل دو یا چند مرحله تـا حـدود زیـادی حـل شـده است. با این وجود و علیرغم انجام پژوهش‌های پراکنده، به نظـر می‌رسد که حل مسـئله عـدم قطعیـت و ابهـام در آن‌هـا هنـوز پابرجاست. این در حالی‌است که به گفته [۲]، در دنیای واقعـی، داده هـا در بسـیاری از مـوارد بـه دلیـل پیچیـدگی سیسـتم، نامشخص، مبهم و با عدم قطعیت روبرو هستند.

با توجه به مطالب عنوان شده به نظر می‌رسد که اسـتفاده از FNDEA یک ضرورت محسوب مـی‌شـود. لـذا تمرکـز ایـن مقاله بر حالت فازی از مدل دو مرحله‌ای تحلیل پوششی داده‌ها به عنوان راه حلی در مواجهه با ابهام‌های گفته شده می‌باشد.

مدل سازی ریاضی

در این بخش در ابتدا سـاختار مـدل دومرحلـه‌ای معرفـی شده، سپس تعریف و نحوه استفاده از منطق فازی در حل مـدل دومرحله‌ای و در نهایت روش اعمال آن بر مدل کمینه- بیشینه فازی و حل آن توضیح داده شده‌اند.

شکل **۱** ساختار پایه‌ای شبکه‌ی مدل پیش‌گفتـه را نشـان می‌دهد که در هر DMU تعدادی مقـادیر میـانی($\tilde{z}_{jd}$) واسـطه تبدیل ورودی ($\tilde{x}_{id}$) به خروجی نهایی ($\tilde{y}_{kd}$) می‌شوند.



شکل ۱– ساختار داخلی مدل دومرحله‌ای با مقادیر فازی [۳۸]

همانطور که پیشتر اشـاره شـد، تحلیـل پوششـی داده‌هـا (فرمول ۱) تکنیکی است که مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته و توسعه‌های نظری و کاربردهـای عملـی زیـادی در ایـن حوزه گزارش شده است.

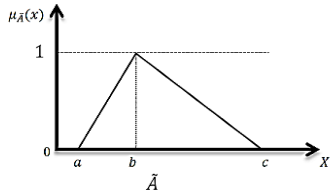
$$\begin{aligned} &Min\ Z_0 = \sum_{i=1}^{m} v_i\, x_{i0} \\ &St: \\ &\sum_{r=1}^{s} u_r y_{r0} = 1 \\ &j = 1,2,\ldots,n \\ &\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \le 0 \\ &i = 1,2,\ldots,m \\ &u_r, v_i \ge \varepsilon \end{aligned} \qquad (۱)$$

منطق فازی

پیشتر اشاره شد که ابهام و عدم قطعیت از شاخصـه هـای انکارناپذر مسائل در دنیـای واقعـی اسـت. اسـتفاده از منطـق و اعداد فازی می‌تواند رویکرد مناسبی برای مواجهـه باشـد [۲۲]. در مسائل و مدل‌های DEA نیز در حالـت فـازی گـاهی اوقـات مقادیر با اعداد فازی بیان می‌شوند. اعداد فـازی مثلثـی بعنـوان حالتی خاص از اعداد فازی ذوزنقه‌ای، تقریبا پرکاربردترین اعداد فازی هستند که فقط با سه راس $\tilde{A}=(a,b,c)$ تعریف می‌شوند. رابطه فرمولی **۲** و شکل **۲** متناظر با آن به ترتیب تابع عضـویت فازی مثلثی و فرمول تابع عضویت را نشان داده‌اند [۲۱].

یکی از پرکاربردترین روش‌های حـل مـدل‌هـای فـازی در ادبیات DEA، روش برش آلفا[7] است. مقـادیر ورودی، میـانی، و خروجی در این روش بصورت فرمول ۳ تعریف شده‌اند[۲۲].

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \dfrac{x-a}{b-a}, & a \le x \le b \\ \dfrac{c-x}{c-b}, & b \le x \le c \\ 0 & O.W. \end{cases} \qquad (۲)$$



شکل ۲ – تابع عضویت فازی مثلثی

[6] Fuzzy Multi Attribute Decision Making(FMADM)

7 α-cut

$$
\begin{aligned}
&(X_{id})_\alpha \\
&= \{x_{id} \in S(\tilde{x}_{id}) | \mu_{\tilde{X}_{id}}(x_{id}) \geq \alpha\}, \\
&\quad 0 \leq \alpha \leq 1 \\
&(Z_{jd})_\alpha \\
&= \{z_{jd} \in S(\tilde{z}_{jd}) | \mu_{\tilde{Z}_{id}}(z_{jd}) \geq \alpha\}, \\
&\quad 0 \leq \alpha \leq 1 \\
&(Y_{kd})_\alpha = \{y_{kd} \in S(\tilde{y}_{kd}) | \mu_{\tilde{Y}_{kd}}(y_{kd}) \geq \alpha\}, \\
&\quad 0 \leq \alpha \leq 1
\end{aligned}
\qquad ۳
$$

مقدار $\mu_{\tilde{E}_d}(e_d)$ با کمینه $\mu_{\tilde{X}_{id}}(x_{id})$، $\mu_{\tilde{Z}_{jd}}(z_{jd})$، و $\mu_{\tilde{Y}_{kd}}(y_{kd})$ برابر و طبق فرمول ۴ محاسبه می‌شود [21].

$$
\begin{aligned}
&\mu_{\tilde{E}_d}(e_d) \\
&= \underset{x,y,z}{Sup} \min_{i,j,k,d} \left\{ \begin{matrix} \mu_{\tilde{X}_{id}}(x_{id}) \\ ,\mu_{\tilde{Z}_{id}}(z_{jd}) \\ ,\mu_{\tilde{Y}_{kd}}(y_{kd}) \end{matrix} \middle| e_d = E_k(x,y,z) \right\}
\end{aligned}
\qquad ۴
$$

عبارت $E_k(x,y,z)$ بیانگر کارایی کل مدل اصلی است. در این حالت برای محاسبه تابع $\mu_{\tilde{E}_d}(e_d)$، باید مقادیر حدود پایین و بالا را در سطوح مختلف α بدست آورد.

مقادیر فازی همواره یک اینتروال روی α های متفاوت می‌باشند. لذا از فرمول ۵ برای تعاریف اعداد فازی در مدل استفاده می‌کنیم.

$$
\begin{aligned}
&(X_{id})_\alpha = [(x_{id})^l_\alpha, (x_{id})^u_\alpha] \\
&= \begin{bmatrix} \min\{x_{id} \in S(\tilde{x}_{id}) | \mu_{\tilde{X}_{id}}(x_{id}) \geq \alpha\} \\ ,\max\{x_{id} \in S(\tilde{x}_{id}) | \mu_{\tilde{X}_{id}}(x_{id}) \geq \alpha\} \end{bmatrix} \\
&(Z_{jd})_\alpha = \left[(z_{jd})^l_\alpha, (z_{jd})^u_\alpha\right] \\
&= \begin{bmatrix} \min\left\{z_{jd} \in S(\tilde{z}_{jd}) \middle| \mu_{\tilde{Z}_{jd}}(z_{jd}) \geq \alpha\right\} \\ ,\max\left\{z_{jd} \in S(\tilde{z}_{jd}) \middle| \mu_{\tilde{Z}_{jd}}(z_{jd}) \geq \alpha\right\} \end{bmatrix} \\
&(Y_{kd})_\alpha = [(y_{kd})^l_\alpha, (y_{kd})^u_\alpha] \\
&= \begin{bmatrix} \min\{y_{kd} \in S(\tilde{y}_{kd}) | \mu_{\tilde{Y}_{kd}}(y_{kd}) \geq \alpha\}, \\ \max\{y_{kd} \in S(\tilde{y}_{kd}) | \mu_{\tilde{Y}_{kd}}(y_{kd}) \geq \alpha\} \end{bmatrix} \\
&(E_d)_\alpha = [(e_d)^l_\alpha, (e_d)^u_\alpha] \\
&= \begin{bmatrix} \min\{e_d \in S(\tilde{e}_d) | \mu_{\tilde{E}_d}(e_d) \geq \alpha\}, \\ \max\{y_{kd} \in S(\tilde{e}_d) | \mu_{\tilde{E}_d}(e_d) \geq \alpha\} \end{bmatrix}
\end{aligned}
\qquad ۵
$$

به کمک این فرمول، فرمول ۱ را به مدل قطعی تبدیل و حل می‌کنیم. در این حالت، مدل ۱ به یک مسئله دو سطحی[8] تبدیل می‌شود. مقادیر هریک از متغیرهای x_{id}، z_{jd}، و y_{kd} با برش آلفای نظیر در سطح یک (برنامه بیرونی[9]) تعریف می‌شوند، و مقادیر کارایی در سطح دو(برنامه درونی[10]) مشخص می‌شوند. در هر سطح α، کوچکترین و بزرگترین مقادیر کارایی براساس مجموعه‌های x_{id}، z_{jd}، و y_{kd} در فرمول‌های ۳ و ۴ محاسبه می‌شوند و در نهایت با تغییر α، تابع عضویت[11] $\tilde{E}_d$ حاصل می‌شود.

$$
\begin{cases} (e_o)^u_\alpha \\ (e^1_o)^u_\alpha \\ (e^2_o)^u_\alpha \end{cases} = \max_{\substack{(x_{id})^l_\alpha \leq x_{id} \leq (x_{id})^u_\alpha \\ (z_{jd})^l_\alpha \leq z_{jd} \leq (z_{jd})^u_\alpha \\ (y_{kd})^l_\alpha \leq y_{kd} \leq (y_{kd})^u_\alpha \\ \forall i \in I, j \in J, k \in K, d \in D}} \begin{cases} max(e_o) = \dfrac{\sum_{k \in K} u_k y_{ko}}{\sum_{i \in I} v_i x_{io}} \\ max(e^1_o) = \dfrac{\sum_{j \in J} w_j z_{jo}}{\sum_{i \in I} v_i x_{io}} \\ max(e^2_o) = \dfrac{\sum_{k \in K} u_k y_{ko}}{\sum_{j \in J} w_j z_{jo}} \\ S.t. \\ \dfrac{\sum_{k \in K} u_k y_{kd}}{\sum_{i \in I} v_i x_{id}} \leq 1, \forall d \in D \\ \dfrac{\sum_{j \in J} w_j z_{jd}}{\sum_{i \in I} v_i x_{id}} \leq 1, \forall d \in D \\ \dfrac{\sum_{k \in K} u_k y_{kd}}{\sum_{j \in J} w_j z_{jd}} \leq 1, \forall d \in D \\ v_i, w_j, u_k \geq \varepsilon, \quad \forall i, j, k \end{cases}
\qquad ۶
$$

روش حل مسئله دو سطحی این است که باید آن را به یک مسئله یک سطحی[12] تبدیل کرد. با توجه به مفهوم کارایی پاره‌تو[13] حداکثر کارایی در DMU_o تحت بررسی با یک آلفاکات، زمانی اتفاق می‌افتد که مقادیر ورودی در حداقل و مقادیر خروجی در حداکثر سطح خود باشند و همچنین باید در سایر واحدهای تصمیم، مقادیر ورودی در حداکثر و مقادیر خروروجی در حداقل سطح خود باشند. برای محاسبه حداقل کارایی معکوس این حالت باید رخ دهد[۲۱]. طبق این مفهوم

[8] two level
[9] the outer program (first level)
[10] in the inner program (second level)
[11] membership function
[12] one-level
[13] Pareto efficiency concept

مدل‌های ۶ و ۷ به ترتیب به مدل‌های ۸ و ۹ تبدیل خواهند شد.

$$\begin{cases} (e_o)_\alpha^u \\ (e_o^1)_\alpha^u \\ (e_o^2)_\alpha^u \end{cases} = \max_{\substack{(z_{jd})_\alpha^l \le z_{jd} \le (z_{jd})_\alpha^u \\ \forall j\in J, d\in D}} \begin{cases} max(e_o) = \dfrac{\sum_{k\in K} u_k (y_{ko})_\alpha^u}{\sum_{i\in I} v_i (x_{io})_\alpha^l} \\ max(e_o^1) = \dfrac{\sum_{j\in J} w_j (z_{jo})_\alpha^u}{\sum_{i\in I} v_i (x_{io})_\alpha^l} \\ max(e_o^2) = \dfrac{\sum_{k\in K} u_k (y_{ko})_\alpha^u}{\sum_{j\in J} w_j (z_{jo})_\alpha^l} \\ S.t. \\ \dfrac{\sum_{k\in K} u_k (y_{kd})_\alpha^l}{\sum_{i\in I} v_i (x_{id})_\alpha^u} \le 1, \forall d \in D \\ \dfrac{\sum_{j\in J} w_j (z_{jd})_\alpha^u}{\sum_{i\in I} v_i (x_{id})_\alpha^l} \le 1, \forall d \in D \\ \dfrac{\sum_{k\in K} u_k (y_{kd})_\alpha^u}{\sum_{j\in J} w_j (z_{jd})_\alpha^l} \le 1, \forall d \in D \\ v_i, w_j, u_k \ge \varepsilon, \quad \forall i,j,k \end{cases} \qquad ۷$$

$$\begin{cases} (e_d)_\alpha^l \\ (e_d^1)_\alpha^l \\ (e_d^2)_\alpha^l \end{cases} = \min_{\substack{(x_{id})_\alpha^l \le x_{id} \le (x_{id})_\alpha^u \\ (z_{jd})_\alpha^l \le z_{jd} \le (z_{jd})_\alpha^u \\ (y_{kd})_\alpha^l \le y_{kd} \le (y_{kd})_\alpha^u \\ \forall i\in I, j\in J, k\in K, d\in D}}$$

قابل توجه است که توابع هدف دو سطح در مدل ۱۰ باهم همسو (max-max) هستند، لذا به راحتی می‌توان آن را تبدیل به یک مسئله یک سطحی کرد و عبارت $\le z_{jd} \le$ $\left(z_{jd}\right)_\alpha^l$ را نیز به عنوان محدودیت در نظر گرفت؛ این درحالی است که در مدل ۱۱ این امر برقرار نیست. چرا که توابع هدف در آن غیرهمسو بوده (min-max) و بنابراین نمی‌توان روش گفته شده استفاده کرد. برای حل این مشکل از مدل ثانویه، استفاده نموده و توابع هدف را همسو کرده و پس از آن به یک مسئله یک سطحی تبدیل نموده‌ایم. در ادامه، با کمک مفاهیم بیان شده، به بررسی رویکرد مدل کمینه-بیشینه پرداخته و مدل خطی ارائه می‌شود.

مدل دومرحله‌ای کمینه- بیشینه فازی

حالت قطعی این مدل توسط [10] ارائه شده است. اساس این روش این است تا حداکثر فاصله کارایی استیج‌ها از مقدار ایده‌آلشان $(\tilde{E}_o^1, \tilde{E}_o^2)$ حداقل شود. سپس به کمک حداقل کردن نرم چبیشف ($\|L_\infty\|$) بعد از بدست آوردن بهینگی استیج‌ها، مقدار کارایی کل با حفظ بهینگی استیج‌ها حداکثر می‌شود. به عبارت دیگر، برطبق مدل فازی چندهدفه ارائه شده اولیه (فرمول۲)، این رویکرد تبدیل به یک مسئله بهینه سازی لکسیکوگرافیک[14] می‌شود. که در آن هدف این است که تا حد امکان مقادیر کارایی به حد ایده‌آل خود نزدیک شوند.

تا آنجا که نویسندگان این مقاله آگاهی دارند، تاکنون در ادبیات برای این رویکرد مدل فازی ارائه نشده که مدل فازی آن در این مقاله بصورت فرمول ۱۰ ارائه می‌شود.

$$\begin{cases} (e_o)_\alpha^u \\ (e_o^1)_\alpha^u \\ (e_o^2)_\alpha^u \end{cases} = \max_{\substack{(z_{jd})_\alpha^l \le z_{jd} \le (z_{jd})_\alpha^u \\ \forall j\in J, d\in D}} \begin{cases} max(e_o) = \dfrac{\sum_{k\in K} u_k}{\sum_{i\in I} v_i} \\ max(e_o^1) = \dfrac{\sum_{j\in J} w}{\sum_{i\in I} v_i} \\ max(e_o^2) = \dfrac{\sum_{k\in K} u_k}{\sum_{j\in J}} \\ S.t. \\ \dfrac{\sum_{k\in K} u_k (y_{ko})_\alpha^u}{\sum_{i\in I} v_i (x_{io})_\alpha^l} \le 1, \\ \dfrac{\sum_{k\in K} u_k (y_{kd})_\alpha^l}{\sum_{i\in I} v_i (x_{id})_\alpha^u} \le 1, \\ \dfrac{\sum_{j\in J} w_j z_{jo}}{\sum_{i\in I} v_i (x_{io})_\alpha^l} \le 1, \\ \dfrac{\sum_{j\in J} w_j z_{jd}}{\sum_{i\in I} v_i (x_{id})_\alpha^u} \le 1, \forall \\ \dfrac{\sum_{k\in K} u_k (y_{ko})_\alpha^u}{\sum_{j\in J} w_j z_{jo}} \le 1, \\ \dfrac{\sum_{k\in K} u_k (y_{ko})_\alpha^l}{\sum_{j\in J} w_j z_{jo}} \le 1, \\ v_i, w_j, u_k \ge \varepsilon, \end{cases} \qquad ۸$$

در فرمول بندی ۱۰ ابتدا با حداقل کردن حداکثر فاصله کارایی استیج‌ها با مقدار بهینه متناظر آن مقادیر، کارایی استیج‌ها تخمین زده می‌شوند (اگر فرض شود که مقادیر بهینه اولیه وزن‌ها، مقادیر v_i', w_j', u_k' باشند، آنگاه مقادیر کارایی استیج‌ها از فرمول‌های $\tilde{e}_o^{1*} = \sum_{j\in J} w_j' \tilde{z}_{jo} / \sum_{i\in I} v_i' \tilde{x}_{io}$ و $\tilde{e}_o^{2*} = \sum_{k\in K} u_k' \tilde{y}_{ko} / \sum_{j\in J} w_j' \tilde{z}_{jo}$ محاسبه می‌شوند). سپس برای محاسبه کارایی کل، به منظور حفظ بهینگی استیج‌ها، دو محدودیت $\sum_{j\in J} w_j \tilde{z}_{jo} / \sum_{i\in I} v_i \tilde{x}_{io} \ge \tilde{e}_o^{1*}$ و $\sum_{k\in K} u_k \tilde{y}_{ko} / \sum_{j\in J} w_j \tilde{z}_{jo} \ge \tilde{e}_o^{2*}$ وارد مدل می‌شوند.

[14] Lexicographic optimization

$$\begin{cases} (e_d)_\alpha^l \\ (e_d^1)_\alpha^l \\ (e_d^2)_\alpha^l \end{cases} = \min_{\substack{(z_{jd})_\alpha^l \le z_{jd} \le (z_{jd})_\alpha^u \\ \forall j \in J, d \in D}} \begin{cases} max(e_o) = \frac{\sum_{k\in K} u_k (y_{ko})_\alpha^l}{\sum_{i\in I} v_i (x_{io})_\alpha^u} \\ max(e_o^1) = \frac{\sum_{j\in J} w_j z_{jo}}{\sum_{i\in I} v_i (x_{io})_\alpha^u} \\ max(e_o^2) = \frac{\sum_{k\in K} u_k (y_{ko})_\alpha^l}{\sum_{j\in J} w_j z_{jo}} \\ S.t. \\ \frac{\sum_{k\in K} u_k (y_{ko})_\alpha^l}{\sum_{i\in I} v_i (x_{io})_\alpha^u} \le 1, \\ \frac{\sum_{k\in K} u_k (y_{kd})_\alpha^u}{\sum_{i\in I} v_i (x_{id})_\alpha^l} \le 1, \forall d \ne o \\ \frac{\sum_{j\in J} w_j z_{jo}}{\sum_{i\in I} v_i (x_{io})_\alpha^u} \le 1, \\ \frac{\sum_{j\in J} w_j z_{jd}}{\sum_{i\in I} v_i (x_{id})_\alpha^l} \le 1, \forall d \ne o \\ \frac{\sum_{k\in K} u_k (y_{ko})_\alpha^l}{\sum_{j\in J} w_j z_{jo}} \le 1, \\ \frac{\sum_{k\in K} u_k (y_{ko})_\alpha^u}{\sum_{j\in J} w_j z_{jo}} \le 1, \forall d \ne o \\ v_i, w_j, u_k \ge \varepsilon, \quad \forall i, j, k \end{cases} \qquad ۹$$

$$lex\ MIN \left\{ MAX \left[\left(\tilde{E}_o^1 - \sum_{j\in J} w_j \tilde{z}_{jo} \Big/ \sum_{i\in I} v_i \tilde{x}_{io} \right), \left(\tilde{E}_o^2 - \sum_{k\in K} u_k \tilde{y}_{ko} \Big/ \sum_{j\in J} w_j \tilde{z}_{jo} \right) \right], - \sum_{k\in K} u_k \tilde{y}_{ko} \Big/ \sum_{i\in I} v_i \tilde{x}_{io} \right\}$$

S. t.

$$\begin{aligned} &\sum_{k\in K} u_k \tilde{y}_{kd} \Big/ \sum_{i\in I} v_i \tilde{x}_{id} \le 1, \quad \forall d \in D \\ &\sum_{j\in J} w_j \tilde{z}_{jd} \Big/ \sum_{i\in I} v_i \tilde{x}_{id} \le 1, \quad \forall d \in D \\ &\sum_{k\in K} u_k \tilde{y}_{kd} \Big/ \sum_{j\in J} w_j \tilde{z}_{jd} \le 1, \quad \forall d \in D \\ &v_i, w_j, u_k \ge \varepsilon, \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K \end{aligned} \qquad ۱۰$$

بعد از محاسبه وزن‌ها، مقدار بهینه کارایی استیج‌ها و کارایی کل بصورت فرمول ۱۱ محاسبه می‌شود.

$$\begin{aligned} \tilde{e}_o^* &= \left(\sum_{k\in K} u_k^* \tilde{y}_{ko} \Big/ \sum_{i\in I} v_i^* \tilde{x}_{io} \right) \\ \tilde{e}_o^{1*} &= \left(\sum_{j\in J} w_j^* \tilde{z}_{jo} \Big/ \sum_{i\in I} v_i^* \tilde{x}_{io} \right) \end{aligned} \qquad ۱۱$$

$$\tilde{e}_o^{2*} = \left(\sum_{k\in K} u_k^* \tilde{y}_{ko} \Big/ \sum_{j\in J} w_j^* \tilde{z}_{jo} \right)$$

حال به کمک رویه‌ای که در ابتدای بخش روش شناسی ارائه شد، مدل قطعی برای فرمول بندی ۱۱، بصورت فرمول‌های ۱۲، ۱۳، ۱۵، و ۱۶ ارائه می‌شود.

لازم به ذکر است که در روند حل مدل، در تابع هدف از تغییر متغیر زیر (فرمول ۱۴) استفاده شد.

$$MAX \left[\left(\tilde{E}_o^1 - \sum_{j\in J} w_j \tilde{z}_{jo} \Big/ \sum_{i\in I} v_i \tilde{x}_{io} \right), \left(\tilde{E}_o^2 - \sum_{k\in K} u_k \tilde{y}_{ko} \Big/ \sum_{j\in J} w_j \tilde{z}_{jo} \right) \right] = \delta \qquad ۱۴$$

$$\begin{aligned} &\delta^l = MIN\ (\delta) \\ &S.\ t. \\ &\sum_{i\in I} v_i (x_{io})_\alpha^u = 1 \\ &\sum_{j\in J} \hat{z}_{jo} - \sum_{i\in I} v_i (x_{io})_\alpha^u \le 0 \\ &\sum_{j\in J} \hat{z}_{jd} - \sum_{i\in I} v_i (x_{id})_\alpha^l \le 0, \quad \forall d \in D, d \ne o \\ &\sum_{k\in K} u_k (y_{ko})_\alpha^l - \sum_{j\in J} \hat{z}_{jo} \le 0 \\ &\sum_{k\in K} u_k (y_{kd})_\alpha^u - \sum_{j\in J} \hat{z}_{jd} \le 0, \quad \forall d \in D, d \ne o \\ &\sum_{k\in K} u_k (y_{ko})_\alpha^l - \sum_{i\in I} v_i (x_{io})_\alpha^u \le 0 \\ &\sum_{k\in K} u_k (y_{kd})_\alpha^u - \sum_{i\in I} v_i (x_{id})_\alpha^l \le 0, \forall d \in D, d \ne o \\ &(E_o^1)_\alpha^l - \sum_{j\in J} \hat{z}_{jd} \le \delta \\ &((E_o^2)_\alpha^l - \delta) \sum_{j\in J} \hat{z}_{jo} - \sum_{k\in K} u_k (y_{ko})_\alpha^l \le 0 \\ &w_j (z_{jd})_\alpha^l \le \hat{z}_{jd} \le w_j (z_{jd})_\alpha^u, \quad \forall d \in D, j \in J \\ &v_i, w_j, u_k \ge \varepsilon \end{aligned} \qquad ۱۲$$

$$\begin{aligned} &\delta^u = MIN\ (\delta) \\ &S.\ t. \\ &\sum_{i\in I} v_i (x_{io})_\alpha^l = 1 \\ &\sum_{j\in J} \hat{z}_{jo} - \sum_{i\in I} v_i (x_{io})_\alpha^l \le 0 \end{aligned} \qquad ۱۳$$

$$\sum_{j\in J}\hat{z}_{jd}-\sum_{i\in I}v_i(x_{id})^u_\alpha\le 0,\qquad \forall d\in D, d\neq o$$
$$\sum_{k\in K}u_k(y_{ko})^u_\alpha-\sum_{j\in J}\hat{z}_{jo}\le 0$$
$$\sum_{k\in K}u_k(y_{kd})^l_\alpha-\sum_{j\in J}\hat{z}_{jd}\le 0,\qquad \forall d\in D, d\neq o$$
$$\sum_{k\in K}u_k(y_{ko})^u_\alpha-\sum_{i\in I}v_i(x_{io})^l_\alpha\le 0$$
$$\sum_{k\in K}u_k(y_{kd})^l_\alpha-\sum_{i\in I}v_i(x_{id})^u_\alpha\le 0, \forall d\in D, d\neq o$$
$$(E^1_o)^u_\alpha-\sum_{j\in J}\hat{z}_{jd}\le \delta$$
$$((E^2_o)^u_\alpha-\delta)\sum_{j\in J}\hat{z}_{jo}-\sum_{k\in K}u_k(y_{ko})^u_\alpha\le 0$$
$$w_j\left(z_{jd}\right)^l_\alpha\le \hat{z}_{jd}\le w_j\left(z_{jd}\right)^u_\alpha,\qquad \forall d\in D, j\in J$$
$$v_i, w_j, u_k\ge \varepsilon$$

اگرچه مدل‌های۱۲ و ۱۳ غیرخطی هستند ولی به‌راحتی می‌توان آن‌ها را با یک‌جستجوی دودویی[15] حل کرد. با فرض $\underline{\delta}\le\delta\le\overline{\delta}$، بطور واضح می‌توان‌گفت حداکثر مقدار $\overline{\delta}=1$ وحداقل مقدار $\underline{\delta}=0$ خواهد بود (این دو عدد به عنوان مقدار اولیه انتخاب می‌شوند)؛ بنابراین باید در بازه بین صفر و یک به سرچ بپردازیم. سپس فقط کافیست نقطه وسط بازه $(\delta'=(\underline{\delta}+\overline{\delta})/2)$ را به لحاظ شدنی بودن در میان محدودیت‌ها تست کنیم، اگر شدنی بود با $\overline{\delta}$ جایگزین می‌شود در غیر اینصورت با $\underline{\delta}$ جایگزین می‌شود. این جستجو آنقدر ادامه می‌یابد تا دوتا باند به اندازه کافی بهم نزدیک شوند.

در ادامه مقدار کارایی کل را با فرمول‌های ۱۵ و ۱۶ محاسبه می‌شوند.

$$(e^*_o)^l_\alpha=MAX\sum_{k\in K}u_k(y_{ko})^l_\alpha$$
S. t.
$$\sum_{i\in I}v_i(x_{io})^u_\alpha=1$$
$$\sum_{j\in J}\hat{z}_{jo}-\sum_{i\in I}v_i(x_{io})^u_\alpha\le 0$$
$$\sum_{j\in J}\hat{z}_{jd}-\sum_{i\in I}v_i(x_{id})^l_\alpha\le 0,\qquad \forall d\in D, d\neq o$$
$$\sum_{k\in K}u_k(y_{ko})^l_\alpha-\sum_{j\in J}\hat{z}_{jo}\le 0$$

۱۵

$$\sum_{k\in K}u_k(y_{kd})^u_\alpha-\sum_{j\in J}\hat{z}_{jd}\le 0,\qquad \forall d\in D, d\neq o$$
$$\sum_{k\in K}u_k(y_{ko})^l_\alpha-\sum_{i\in I}v_i(x_{io})^u_\alpha\le 0$$
$$\sum_{k\in K}u_k(y_{kd})^u_\alpha-\sum_{i\in I}v_i(x_{id})^l_\alpha\le 0, \forall d\in D, d\neq o$$
$$(E^1_o)^l_\alpha-\sum_{j\in J}\hat{z}_{jo}\le \delta^{l*}$$
$$((E^2_o)^l_\alpha-\delta^{l*})\sum_{j\in J}\hat{z}_{jo}-\sum_{k\in K}u_k(y_{ko})^l_\alpha\le 0$$
$$w_j\left(z_{jd}\right)^l_\alpha\le \hat{z}_{jd}\le w_j\left(z_{jd}\right)^u_\alpha,\qquad \forall d\in D, j\in J$$
$$v_i, w_j, u_k\ge \varepsilon$$

$$\sum_{j\in J}\hat{z}_{jo}-\sum_{i\in I}v_i(x_{io})^l_\alpha\le 0$$
$$\sum_{j\in J}\hat{z}_{jd}-\sum_{i\in I}v_i(x_{id})^u_\alpha\le 0,\qquad \forall d\in D, d\neq o$$
$$\sum_{k\in K}u_k(y_{ko})^u_\alpha-\sum_{j\in J}\hat{z}_{jo}\le 0$$
$$\sum_{k\in K}u_k(y_{kd})^l_\alpha-\sum_{j\in J}\hat{z}_{jd}\le 0,\qquad \forall d\in D, d\neq o$$
$$\sum_{k\in K}u_k(y_{ko})^u_\alpha-\sum_{i\in I}v_i(x_{io})^l_\alpha\le 0$$
$$\sum_{k\in K}u_k(y_{kd})^l_\alpha-\sum_{i\in I}v_i(x_{id})^u_\alpha\le 0, \forall d\in D, d\neq o$$
$$(E^1_o)^u_\alpha-\sum_{j\in J}\hat{z}_{jo}\le \delta^{u*}$$
$$((E^2_o)^u_\alpha-\delta^{u*})\sum_{j\in J}\hat{z}_{jo}-\sum_{k\in K}u_k(y_{ko})^u_\alpha\le 0$$
$$w_j\left(z_{jd}\right)^l_\alpha\le \hat{z}_{jd}\le w_j\left(z_{jd}\right)^u_\alpha,\qquad \forall d\in D, j\in J$$
$$v_i, w_j, u_k\ge \varepsilon$$

۱۶

در نهایت به کمک وزن‌های بدست آمده مقادیر کارایی هر بخش را حساب می‌کنیم.

مطالعه موردی: خطوط هوایی ایران

در نیم قرن گذشته، صنعت هواپیمایی بعنوان ایمن ترین و آسان ترین راه حمل و نقل، دستخوش تغییرات زیادی شده [۲۰] و تاثیر بسزایی بر رشد اقتصادی هر کشور دارد [۱۴]. بر طبق آمار منتشره در سالنامه سازمان بین‌المللی حمل و نقل هوایی۱۶، در بازه زمانی بین سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۲۲، تعداد

[15] bisection search

[16] International Air Transport Association (IATA)

مسافر حمل شده در جهان از ۳۰۰ میلیون نفر به حدود ۵ میلیارد نفر رسیده. این در حالی است که درامد خطوط هوایی نیز با رشدی چشم‌گیر به بیش از ۵۰۰ میلیارد دلار رسیده است. از این رو مدیریت هر شرکت هواپیمایی نیازمند آن است تا با ارزیابی صحیح از عملکرد حوزه های مختلف خود نظیر عملیات، خدمات، مالی و ... ، تصمیماتی متناسب با وضعیت خود و رقبا اتخاذ نماید. چرا که کوچکترین اشتباهی در تصمیم‌ها گاه ممکن است به قیمت نابودی کل شرکت تمام شود [۳۹].

ادبیات موجود این حوزه و مطالعات انجام شده نشان می-دهند که ورودی‌هایی نظیر ظرفیت صندلی‌های مسافری و تعداد کارکنان و همچنین خروجی‌هایی مانند ترکیب مقدار بار و مسافر حمل شده در مسافت، بیشتر مد نظر محققین بوده است. ضمن اینکه مقادیر میانی نظیر تعداد صندلی در دسترس، میزان ظرفیت بار و ... نیز در پژوهش‌ها مشاهده می‌شوند[۳۷].

بر این اساس در این پژوهش، با توجه به مطالب گفته شده در بخش مقدمه، و تمرکز بر نتایج عملکردی هر واحد و همچنین زیر واحدها به‌عنوان خروجی تصمیم‌های آن مدیر، کارایی مدیر هر بخش هم‌ارز کارایی آن بخش در نظر گرفته شده است.

با توجه به ادبیات موضوع و ظرفیت‌های در دسترس هر مدیر، و با توجه به [۴۰] و درجهت مقایسه نتایج این روش با نتایج روش ایشان، ظرفیت تعداد صندلی هر خط هوایی و تعداد کارکنان آن، به عنوان ورودی مرحله اول، تن-کیلومتر و صندلی-کیلومتر و همچنین تعداد پروازهای برنامه‌ریزی‌شده هر خط هوایی به‌عنوان متغیرهای میانی بین مرحله عملیات و مرحله خدمات و در نهایت تعداد مسافر در کیلومتر جابه‌جاشده و میزان وزن(تن) در کیلومتر جابه‌جا شده به عنوان خروجی در نظر گرفته می‌شوند (شکل ۳).

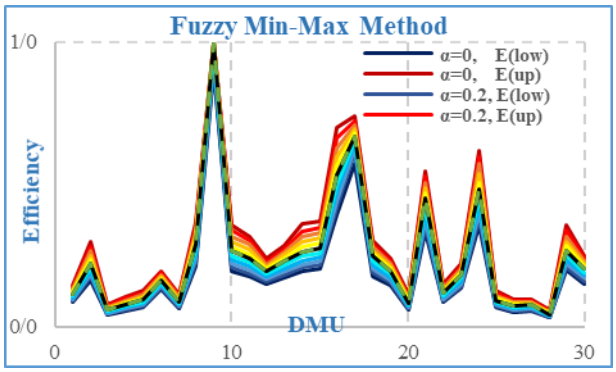
شکل ۳- ساختار شبکه دومرحله‌ای خطوط هوایی [۴۰]

پیشتر، داده های تجربی برای ۱۴ شرکت هواپیمایی ایران در سال ۲۰۱۴ از سازمان هواپیمایی کشوری ایران توسط [۴۰] جمع آوری شده است.

قابل توجه است که داده های مربوط به شاخص های مالی مانند هزینه سوخت، دستمزد کارمندان ، درآمد ، سود ، هزینه تجهیزات پرواز ، هزینه تعمیرات و نگهداری ، هزینه های عملیاتی و غیره در کتاب‌های سال آماری سازمان حمل و نقل هوایی ایران وجود ندارد. بنابراین ، در انتخاب شاخص ها ، عوامل مالی نادیده گرفته شده اند زیرا داده ها در دسترس نیستند. اگر داده های مالی در دسترس بود ، نتایج دقیق تری از محاسبه راندمان هواپیمایی بدست می آید.

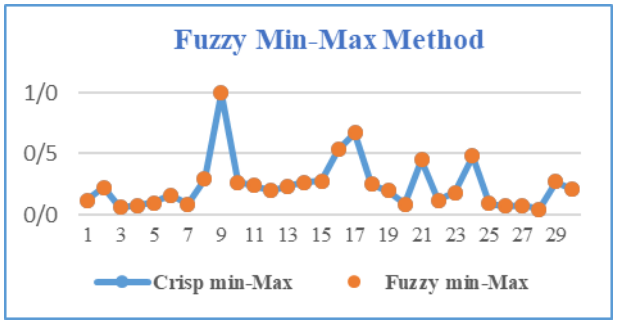
یافته‌های پژوهش

داده های تجربی برای ۱۴ خط هوایی در ایران از سالنامه رسمی منتشره توسط سازمان هواپیمایی کشوری ایران[17] عینا گردآوری شده است. این خطوط شامل خطوط هوایی آتا، آسمان، اترک، ایران ایر، ایران ایرتور، پویا، تابان، زاگرس، قشم، کاسپین، کیش‌ایر، ماهان، معراج و نفت‌ایر می‌باشند. جهت اعتبارسنجی مدل دومرحله‌ای کمینه- بیشینه فازی ارائه شده از داده‌های موجود ۳۰ واحد تصمیم در [۱۰]، استفاده شد. بدین صورت که ابتدا با استفاده از داده‌های قطعی موصوف در آلفاهای متفاوت نتایج بدست آمد که در شکل **۴** نشان داده شده است. سپس جهت راحتی مقایسه نتایج مدل ارائه شده فازی با مدل قطعی موصوف، نتایج به صورت خلاصه (α=1) در شکل **۵** نشان داده شده‌اند.



شکل۴: نتایج حل مدل کمینه- بیشینه فازی ارائه شده با استفاده از داده‌های دسپوتیس، سوتیروس و کاراناکاس، (۲۰۱۶)،

[17] Iranian Civil Aviation Organization of Iran (CAO)



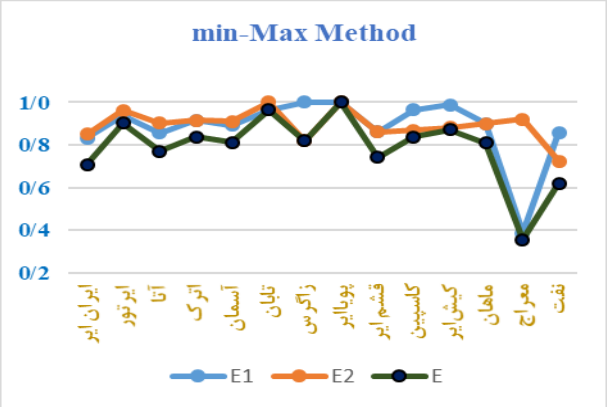
شکل ۵: مقایسه نتایج مدل کمینه- بیشینه فازی ارائه شده با مدل قطعی در برابر ۱

حال از مدل کمینه- بیشینه فازی پیشنهادی جهت ارزیابی کارایی ۱۴ شرکت موصوف با داده‌های واقعی استفاده می‌شود. از آنجایی که این داده‌ها قطعی می‌باشند، مفهوم داده¬های فازی مثلثی جهت فازی کردن آن‌ها به‌کار گرفته شده است. بدین‌صورت که به مقادیر واقعی به عنوان بیشترین مقدار ممکن ، ۵٪ اضافه (کم) شده تا حد بالا (پایین) بدست آید. سپس این اعداد مبنای کار در مدل‌های ارائه شده قرار گرفتند.

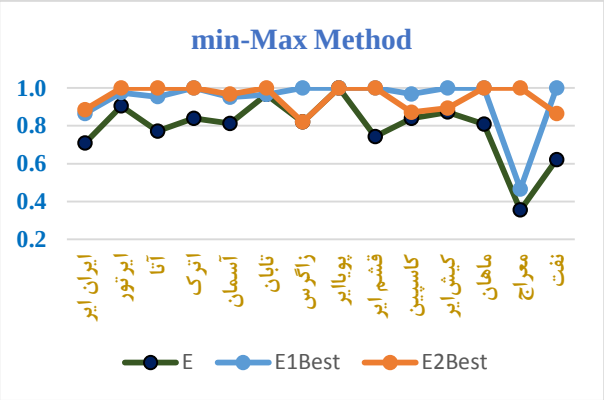
پس از اعتبارسنجی، با استفاده از داده‌های قطعی و فازی شده ۱۴ خط هوایی موصوف، مدل کمینه-بیشینه قطعی و فازی ارائه شده مجددا حل شد که نتایج بدست آمده در جدول **۱** و شکل‌های **۷** تا **۹** نشان داده شده‌اند.

جدول ۱- نتایج مدل دومرحله‌ای کمینه – بیشینه

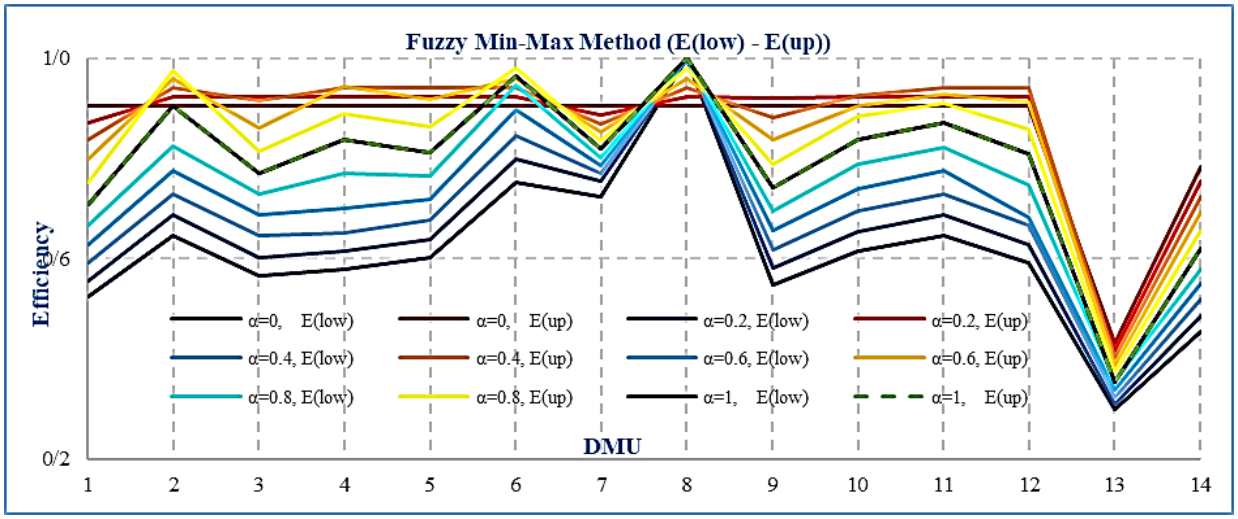
Airline	E1	E2	E	E1Best	E2Best
ایران ایر	۰/۸۳	۰/۸۶	۰/۷۱	۰/۸۷	۰/۸۷
ایرتور	۰/۹۳۳	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۶	۱
آتا	۰/۸۱	۰/۹۱	۰/۷۴	۰/۹۱	۱
اترک	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۸۴	۱	۱
آسمان	۰/۸۷	۰/۹۸	۰/۸۹	۰/۹۵	۰/۹۵
تابان	۰/۹۵	۱	۰/۹۲	۰/۹۲	۱
زاگرس	۰/۹۴	۰/۸۵	۰/۸۲	۱	۰/۸۱
پویاایر	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۷	۱	۱
قشم ایر	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۷۲	۱	۱
کاسپین	۰/۹۲	۰/۸۸	۰/۸۴	۰/۹۷	۰/۸
کیش‌ایر	۰/۹۸	۰/۸۸	۰/۸۷۱	۱	۰/۸۹
ماهان	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۸۰	۱	۱
معراج	۰/۳۸	۰/۹۱	۰/۳۵	۰/۴۵	۱
نفت	۰/۸۵	۰/۷۲	۰/۶۲	۱	۰/۸۶



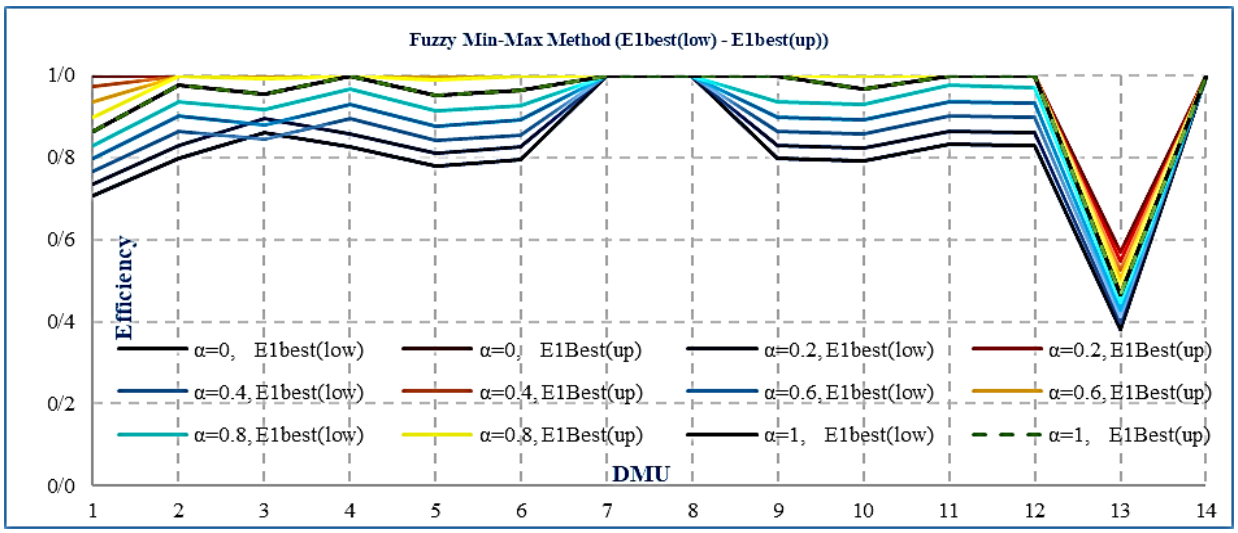
شکل ۶ -الف: نتایج کارایی کل و کارایی فازهای اول و دوم حاصل از حل مدل کمینه- بیشینه فازی ارائه شده



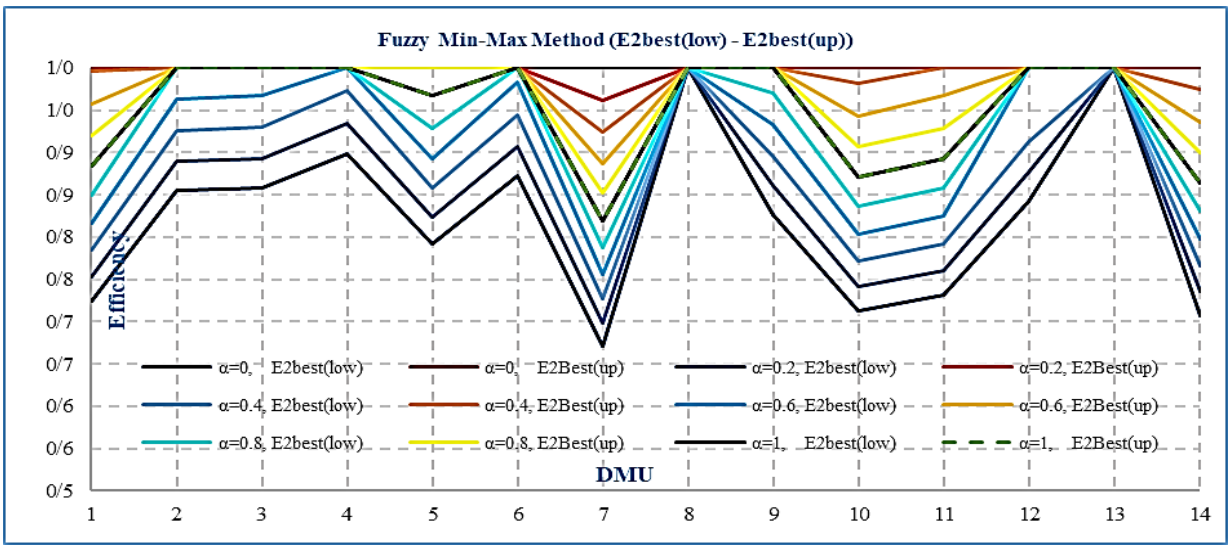
شکل ۶ -ب: نتایج کارایی کل و کارایی بهینه فازهای اول و دوم حاصل از حل مدل کمینه- بیشینه فازی ارائه شده



شکل ۷: نتایج کارایی کل حاصل از حل مدل کمینه- بیشینه فازی ارائه شده



شکل ۸: نتایج کارایی بهینه فاز اول حاصل از حل مدل کمینه- بیشینه فازی ارائه شده



شکل ۹:: نتایج کارایی بهینه فاز دوم حاصل از حل مدل کمینه- بیشینه فازی ارائه شده

نتیجه گیری

در این مقاله یک رویکرد جدید تحلیل پوششی داده های فازی برای ارزیابی کارایی در یک سری از فرآیندهای سری، تحت عنوان مدل دو مرحله ای کمینه- بیشینه فازی ارائه شد. در واقع، این یک رویکرد برنامه‌نویسی چند هدفه است که در آن هدف این است که تا حد امکان مقادیر کارایی فازهای مختلف همراه با کارایی کل بویژه در حضور داده‌های فازی، به حد ایده‌آل خود نزدیک شوند. مدل فازی ارائه شده با داده های موجود در ادبیات اعتبارسنجی و سپس کارایی مدیران خطوط هوایی ایران با استفاده از آن مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که مدل ارائه شده از توانایی کافی جهت مدل‌سازی فرایندهای پیچیده در واحدهای تصمیم بزرگ دارای زیرواحدهای متعدد برخوردار است.

با استفاده از داده‌های فازی شده، کارایی مدیران خطوط هوایی ایران مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که مدیران سه خط هوایی شامل پویا، تابان و ایرتور با مقدار کارایی کل بالای ۰/۹ در مقایسه با دیگران از وضعیت بهتری برخوردار بوده‌اند. البته در این میان تابان در ارزیابی مرحله اول، دوم و کل تنها خطی هوایی است که مدیران آن تقریبا کارا هستند. از طرفی با توجه به نتایج، مدیر خط هوایی معراج با کارایی کل ۰/۳۵ دارای بازده کمتری است. که بیشتر عدم کارایی آن به مرحله اول یعنی عملیات با بازده حدود ۰/۴۵ برمی‌گردد، که بسیار قابل تامل است.

نتایج بدست آمده از کارایی بهینه مراحل اول(عملیات) و دوم(خدمت) همچنین بیانگر این موضوع هستند که با تصمیم‌های متفاوت، بیشتر خطوط امکان کارا شدن دارند در حالی که اکنون با آن فاصله دارند. این به معنای تاثیر مستقیم تصمیم‌های مدیران بخش‌های میانی سازمان (زیرواحدها) در کارایی همان بخش‌ها و از آن مهم‌تر کارایی کل یک سازمان می‌باشد. به نحوی که برای بهبود کارایی کل باید بر بهبود کارایی زیربخش‌ها تاکید و تمرکز نمود. این امر به شدنی‌تر شدن این فرایند کمک شایانی می‌نماید.

در این میان تابان و معراج با بقیه کمی متفاوت هستند. در حالی که کارایی کلیه فازهای خط هوایی تابان تقریبا با حالت بهینه تفاوت چندانی ندارند، کارایی بهینه مرحله اول خط هوایی معراج فقط ۰/۴۶ می‌باشد که به‌تنها خطی تبدیل می‌شود که تفاوت بین کارایی و کارایی بهینه در آن مقدار معناداری است که آن را از دیگر خطوط متمایز می‌نماید. لذا مدیران آن باید بازنگری در روند تصمیم‌های خود با در نظر گرفتن امکانات و نوع فعالیت خود داشته باشند.

پیشنهادها

مدل ارائه شده قابلیت توسعه برای افزایش فازها را دارد. ضمن اینکه در همین مدل می‌توان به مقدار دلخواه ورودی‌ها، مقادیر میانی و خروجی‌ها را افزایش داد(البته این به شرطی است که تعداد واحدهای تصمیم نیز به مقدار مناسب افزایش یابد تا نتایج دقیق‌تری حاصل شود.). لذا جهت تحقیقات آینده می‌توان ارزیابی کارایی سیستم‌هایی با پیچیدگی (دارای مراحل و تعداد ورودی، مقادیر میانی و خروجی) بیشتر را مد نظر قرار داد. از طرفی می توان نتایج حاصل را با خروجی‌های حاصل از رویکردهای دیگر نظیر مدل‌های دومرحله‌ای تجمعی و مضربی، رهبر- پیرو و نظایر آن‌ها مقایسه نمود تا مناسب‌ترین حالت جهت ارزیابی خطوط هوایی مشخص شوند. ضمن اینکه تهیه یک جواب پاره‌تو از نتایج کلیه روش‌های گفته شده می‌تواند به مقایسه بهتر و انتخاب روش مناسبتر احتمالی کمک نماید.

همچنین مورد مهمی که در دستور کار نویسندگان این مقاله بعنوان هدف بعدی در نظر گرفته شده و به خوانندگان محترم نیز پیشنهاد می‌شود، اضافه کردن ورودی‌های شخصیتی و فردی هر مدیر و مقایسه نتایج حاصل از آن با نتایج این مقاله است. این امر می تواند اطلاعات بسیار ارزشمندی از میزان نهفتگی این خصایص در نتایج عملکرد واحدها داشته باشد.

پی‌نوشت‌ها

1.	Data Envelopment Analysis (DEA)
2.	Decision Making Units (DMUs)
3.	Network DEA (NDEA)
4.	measures
5.	Standard DEA
6.	Black Box
7.	Two-Stage
8.	Fuzzy logic
9.	fuzzy numbers
10.	Tolerance method
11.	defuzzification
12.	multiplicative efficiency decomposition
13.	composition paradigm
14.	Min-max method
15.	weak-link
16.	ASEAN-5
17.	Fuzzy NDEA(FNDEA)
18.	overall efficiency
19.	individual efficiency
20.	Most possible value
21.	validation
22.	Dual form
23.	lexicographic optimization
24.	Fuzzy Multi Attribute Decision Making (FMADM)

مراجع

[1]. Despotis, D.K., G. Koronakos, and D. Sotiros, *Composition versus decomposition in two-stage network DEA: a reverse approach.* Journal of productivity Analysis, 2016. 45(1): p. 71-87.

[2]. Farrell, M.J., *The measurement of productive efficiency.* Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General), 1957. 120(3): p. 253-281.

[3]. Heydari, C., H. Omrani, and R. Taghizadeh, *A fully fuzzy network DEA-Range Adjusted Measure model for evaluating airlines efficiency: A case of Iran.* Journal of Air Transport Management, 2020. 89: p. 101923.

[4]. Luthans, F., Luthans, B. C., & Luthans, K. W. (2021). Organizational behavior: An evidence-based approach fourteenth edition. IAP.

[5]. Charnes, A., et al., *Data Envelopment Analysis Approaches to Policy Evaluation and Management of Army Recruiting Activities I, Tradeoffs Between Joint Services and Army Advertising*. 1986, Research Report CCS 532 (Austin: The University of Texas at Austin. Center ….

[6]. Mardani, A., et al., *A comprehensive review of data envelopment analysis (DEA) approach in energy efficiency.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017. 70: p. 1298-1322.

[7]. Emrouznejad, A. and G.-l. Yang, A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016. Socio-economic planning sciences, 2018. 61: p. 4-8.

[8]. Fare, R. and S. Grosskopf, *Network DEA. Socio Economics Planning Science 4 (1), 35–49. utilities.* Ecological Economics, 2000. 18(2): p. 161.۱۷۵-

[9]. Färe, R. and D. Primont, *Efficiency measures for multiplant firms.* Operations Research Letters, 1984. 3(5): p. 257-260.

[10]. Despotis, D.K., G. Koronakos, and D. Sotiros, *Composition versus decomposition in two-stage network DEA: a reverse approach.* Journal of productivity Analysis, 2016. 45(1): p. 71-87.

[11]. Agrell, P.J. and A. Hatami-Marbini, *Frontier-based performance analysis models for supply chain management: State of the art and research directions.* Computers & Industrial Engineering, 2013. 66(3): p. 567-583.

[12]. Kao, C., *Network data envelopment analysis: A review.* European journal of operational research, 2014. 239(1): p. 1-16.

[13]. Li, Y., & Cui, Q. (2017). Airline energy efficiency measures using the Virtual Frontier Network RAM with weak disposability. *Transportation Planning and Technology*, 40(4), 479-504.

[14]. Heydari, C., Omrani, H., & Taghizadeh, R. (2020). A fully fuzzy network DEA-Range Adjusted Measure model for evaluating airlines efficiency: A case of

Iran. *Journal of Air Transport Management*, 89, 101923.

[15]. Li, Y., Wang, Y.-z., & Cui, Q. (2016). Has airline efficiency affected by the inclusion of aviation into European Union Emission Trading Scheme? Evidences from 22 airlines during 2008–2012. *Energy*, 96, 8-22.

[16]. Xu, X., & Cui, Q. (2017). Evaluating airline energy efficiency: An integrated approach with Network Epsilon-based Measure and Network Slacks-based Measure. *Energy*, 122, 274-286.

[17]. Cui, Q., & Li, Y. (2017). Airline efficiency measures using a Dynamic Epsilon-Based Measure model. Transportation Research Part A: *Policy and Practice*, 100, 121-134.

[18]. Li, Y., & Cui, Q. (2018). Airline efficiency with optimal employee allocation: an input-shared network range adjusted measure. *Journal of Air Transport Management*, 73, 150-162.

[19]. Cui, Q. (2019). Investigating the airlines emission reduction through carbon trading under CNG2020 strategy via a Network Weak Disposability DEA. *Energy*, 180, 763-771.

[20]. Cui, Q. (2020). Airline energy efficiency measures using a network range-adjusted measure with unified natural and managerial disposability. *Energy Efficiency*, 13(6), 1195-1211.

[21]. Alavidoost, M., Babazadeh, H., & Sayyari, S. (2016). An interactive fuzzy programming approach for bi-objective straight and U-shaped assembly line balancing problem. *Applied soft computing*, 40, 221-235.

[22]. Alavidoost, M. H. (2017). Assembly line balancing problems in uncertain environment: a novel interactive fuzzy approach for solving multi-objective fuzzy assembly line balancing problems: *LAP LAMBERT Academic Publishing*.

[23]. Mariz, F. B., Almeida, M. R., & Aloise, D. (2018). A review of dynamic data envelopment analysis: state of the art and applications. *International Transactions in Operational Research*, 25(2), 469-505.

[24]. Chen, Y., Cook, W. D., Li, N., & Zhu, J. (2009). Additive efficiency decomposition in two-stage DEA. *European Journal of Operational Research*, 196(3), 1170-1176.

[25]. Kao, C., & Hwang, S.-N. (2008). Efficiency decomposition in two-stage data envelopment analysis: An application to non-life insurance companies in Taiwan. *European Journal of Operational Research*, 185(1), 418-429.

[26]. Liang, L., Cook, W. D., & Zhu, J. (2008). DEA models for two- stage processes: Game approach and efficiency decomposition. *Naval Research Logistics (NRL)*, 55(7), 643-653.

[27]. Koronakos, G., Sotiros, D., & Despotis, D. K. (2019). Reformulation of Network Data Envelopment Analysis models using a common modelling framework. *European Journal of Operational Research*, 278(2), 472-480.

[28]. Kao, C., & Liu, S.-T. (2011). Efficiencies of two-stage systems with fuzzy data. *Fuzzy Sets and Systems*, 176(1), 20-35.

[29]. Nabahat, M. (2015). Two-Stage DEA with Fuzzy Data. *International Journal of Applied Operational Research*, 5(1), 51-61.

[30]. Wanke, P., Barros, C. P., & Chen, Z. (2015). An analysis of Asian airlines efficiency with two-stage TOPSIS and MCMC generalized linear mixed models. *International Journal of Production Economics*, 169, 110-126.

[31]. Duygun, M., Prior, D., Shaban, M., & Tortosa-Ausina, E. (2016). Disentangling the European airlines efficiency puzzle: A network data envelopment analysis approach. *Omega*, 60, 2-14.

[32]. Ali, N. S. Y., Yu, C., & See, K. F. (2021). Four decades of airline productivity and efficiency studies: A review and bibliometric analysis. *Journal*

of Air Transport Management, 96, 102099.

[33]. Omrani, H., & Soltanzadeh, E. (2016). Dynamic DEA models with network structure: An application for Iranian airlines. *Journal of Air Transport Management*, 57, 52-61.

[34]. Tavassoli, M., Faramarzi, G. R., & Saen, R. F. (2014). Efficiency and effectiveness in airline performance using a SBM-NDEA model in the presence of shared input. *Journal of Air Transport Management*, 34, 146-153.

[35]. Chen, Z., Wanke, P., Antunes, J. J. M., & Zhang, N. (2017). Chinese airline efficiency under CO2 emissions and flight delays: A stochastic network DEA model. *Energy Economics*, 68, 89-108.

[36]. Barak, S., & Dahooei, J. H. (2018). A novel hybrid fuzzy DEA-Fuzzy MADM method for airlines safety evaluation. *Journal of Air Transport Management*, *73*, 134-149.

[37]. Soltanzadeh, E., & Omrani, H. (2018). Dynamic network data envelopment analysis model with fuzzy inputs and outputs: An application for Iranian Airlines. *Applied soft computing*, 63, 268-288.

[38]. Jiang, B., Yang, C., & Li, J. (2021). The uncertain network DEA model for two-stage system with additive relationship. *Symmetry*, 13(10), 1893.

[39]. Pineda, P. J. G., Liou, J. J., Hsu, C.-C., & Chuang, Y.-C. (2018). An integrated MCDM model for improving airline operational and financial performance. Journal of Air Transport Management, 68, 103-117.

[40]. Sadeghi Moghaddam, M.R., H. Safari, M. Dehghan, and M. Rezaeifar. (2023). Measuring the efficiency of airlines using data envelopment analysis pproach. Aviation